

天津市工程建设标准



DB/T 29-318-2024
备案号 J17621-2024

天津市建筑地基基础检测 技术标准

Technical standard for testing of
building ground and foundation in Tianjin

2024-04-15 发布

2024-08-01 实施

天津市住房和城乡建设委员会 发布

天津市工程建设标准

天津市建筑地基基础检测技术标准

Technical standard for testing of
building ground and foundation in Tianjin

DB/T 29—318—2024

J17621-2024

主编单位：天津市建筑科学研究院有限公司

天津市建筑工程质量检测中心有限公司

批准单位：天津市住房和城乡建设委员会

实施日期：2024 年 08 月 01 日

2024 天 津

天津市住房和城乡建设委员会文件

津住建设函〔2024〕82号

市住房城乡建设委关于发布《天津市建筑 地基基础检测技术标准》的通知

各有关单位：

根据《市住房城乡建设委关于下达2019年天津市工程建设地方标准编制计划的通知》（津住建设〔2019〕27号）要求，天津市建筑科学研究院有限公司、天津市建筑工程质量检测中心有限公司等单位编制完成了《天津市建筑地基基础检测技术标准》，经市住房城乡建设委组织专家评审通过，现批准为天津市工程建设地方标准，编号为DB/T 29-318-2024，自2024年8月1日起实施。

各相关单位在实施过程中如有意见和建议，请及时反馈给天津市建筑科学研究院有限公司和天津市建筑工程质量检测中心有限公司。

本标准由天津市住房和城乡建设委员会负责管理，天津市建筑科学研究院有限公司和天津市建筑工程质量检测中心有限公司负责具体技术内容的解释。

天津市住房和城乡建设委员会

2024年4月15日

前 言

根据天津市住房和城乡建设委员会关于《市住房城乡建设委关于下达2019年天津市工程建设地方标准编制计划的通知》（津住建设〔2019〕27号）文件的要求，标准编制组经广泛调研，认真总结天津市建筑地基基础检测的实践经验和科研成果，同时参考有关国内先进检测技术及相关国家、行业标准，并在广泛征求意见的基础上，编制本标准。

本标准的主要技术内容是：1. 总则；2. 术语和符号；3. 基本规定；4. 地基载荷试验；5. 原位测试；6. 基桩静载试验；7. 低应变法检测；8. 高应变法检测；9. 声波透射法检测；10. 钻芯法检测；11. 锚杆检测；12. 施工过程检测；13. 基础工程质量检测。

本标准由天津市住房和城乡建设委员会负责管理，由天津市建筑科学研究院有限公司和天津市建筑工程质量检测中心有限公司负责具体技术内容的解释。执行过程中如有意见和建议，请寄送天津市建筑科学研究院有限公司（地址：天津市南开区灵隐道兴泰里30号，邮编：300193）。

本标准主编单位：天津市建筑科学研究院有限公司
天津市建筑工程质量检测中心有限公司

本标准参编单位：天津大学
天津建城基业集团有限公司
天津市勘察设计院集团有限公司
天津市地质工程勘测设计院有限公司
天津港滨科技发展有限公司
天津滨海地基研究所

天津市建联工程勘测有限公司
天津市市政工程设计研究总院有限公司
天津市博川岩土工程有限公司
天津市大地海陆岩土工程技术开发有限公司
天津市住房和城乡建设综合行政执法总队

本标准主要起草人员：徐 燕 何 晶 郑 刚 刘永超
周玉明 房宏泽 许 洁 符亚兵
杨 军 关 磊 王献敏 殷亚斌
汪 强 周国新 张建根 杨金瑞
周世冲 魏成娟 田文丽 程雪松
蔡克俭 孙怀军 胡清华 王照安
耿 威 常振川 姚秀成 李玉龙
孙友为 曹 颖 郭 庆 张海川
郑 明 曹 钢 李 强 刘晓瑞
李双玥 王建伟 王秀丽

本标准主要审查人员：胡德均 宋昭煌 王成华 张建新
赵建峰 秦银刚 王春雷

目 次

1	总则	1
2	术语和符号	2
2.1	术语	2
2.2	符号	5
3	基本规定	9
3.1	一般规定	9
3.2	工作程序	9
3.3	检测方法	13
3.4	检测数量	19
3.5	验证与扩大检测	20
3.6	检测结果评价与报告	22
4	地基载荷试验	25
4.1	一般规定	25
4.2	仪器设备及其安装	26
4.3	现场检测	29
4.4	检测数据分析与判定	31
5	原位测试	37
5.1	一般规定	37
5.2	标准贯入试验	38
5.3	圆锥动力触探试验	44

5.4	静力触探试验	48
5.5	十字板剪切试验	57
5.6	旁压试验	62
5.7	波速测试	72
6	基桩静载试验	80
6.1	一般规定	80
6.2	单桩竖向抗压静载试验	81
6.3	单桩竖向抗拔静载试验	87
6.4	单桩水平静载试验	89
6.5	单桩自平衡法静载试验	93
6.6	空心桩灌芯抗拔静载试验	99
7	低应变法检测	103
7.1	一般规定	103
7.2	仪器设备	103
7.3	现场检测	104
7.4	检测数据的分析与判定	105
8	高应变法检测	109
8.1	一般规定	109
8.2	仪器设备	109
8.3	现场检测	110
8.4	检测数据分析与判定	113
8.5	打桩监控	118
9	声波透射法检测	120

9.1	一般规定	120
9.2	仪器设备	120
9.3	现场检测	123
9.4	检测数据分析与判定	125
10	钻芯法检测	133
10.1	一般规定	133
10.2	仪器设备	133
10.3	现场检测	134
10.4	芯样试件截取与加工	138
10.5	芯样试件抗压强度试验	139
10.6	检测数据分析与判定	140
11	锚杆检测	146
11.1	一般规定	146
11.2	仪器设备及其安装	148
11.3	基本试验	150
11.4	蠕变试验	157
11.5	验收试验	158
11.6	粘结强度试验	163
11.7	持有荷载试验	166
11.8	拉力监测	167
12	施工过程检测	171
12.1	材料检测	171
12.2	预应力混凝土桩破坏性试验	172

12.3	成孔成槽质量检测.....	178
12.4	接桩焊缝质量检测.....	195
12.5	孔内摄像法检测	202
12.6	内力测试	204
12.7	地基基础工程测量.....	210
13	基础工程质量检测	221
13.1	一般规定	221
13.2	现场检测与成果报告	222
附录 A	磁测井法检测钢筋笼长度	228
附录 B	主要材料进场复验试验项目与取样规定	231
附录 C	试验记录表.....	255
附录 D	地基土试验数据统计计算方法.....	270
附录 E	圆锥动力触探锤击数修正	272
附录 F	静力触探头率定	274
附录 G	自平衡法静载试验等效转换方法.....	277
附录 H	锚杆加载-卸锚反力装置及测力计 张拉锁定装置图.....	280
附录 J	施工测量.....	284
附录 K	场地、地基及周边环境变形观测.....	287
附录 L	基础变形观测	290
附录 M	地下工程变形监测	296
附录 N	基坑变形监测及支护结构检测.....	303

附录 P 地下管线测量 310

附录 Q 爆破振动监测.....312

附录 R 地下水监测.....313

附录 S 结构健康监测 320

本标准用词说明 323

引用标准名录 324

附：条文说明 329

Contents

1	General Provisions.....	1
2	Terms and Symbols.....	2
2.1	Terms.....	2
2.2	Symbols.....	5
3	Basic Requirements.....	9
3.1	General Requirements.....	9
3.2	Test Procedures.....	9
3.3	Test Methods.....	13
3.4	Number of Tests.....	19
3.5	Verification and Extended Tests.....	20
3.6	Test Results Assessment and Report.....	22
4	Load Tests on Foundation.....	25
4.1	General Requirements.....	25
4.2	Equipments and Installation.....	26
4.3	Field Test.....	29
4.4	Test Date Interpretation.....	31
5	In-situ Tests.....	37
5.1	General Requirements.....	37

5.2	Standard Penetration Test.....	38
5.3	Cone Dynamic Penetration Test.....	44
5.4	Cone Penetration Test.....	48
5.5	Vane Shear Test.....	57
5.6	Pressuremeter Test.....	62
5.7	Wave Velocity Test.....	72
6	Static Load Tests on Piles.....	80
6.1	General Requirements.....	80
6.2	Vertical Compressive Static Load Test on Single Pile.....	81
6.3	Vertical Uplift Static Load Test on Single Pile.....	87
6.4	Lateral Static Load Test on Single Pile.....	89
6.5	Self-balanced Static Load Test on Single Pile.....	93
6.6	Uplift Static Load Test on Hole Fillings of Single Pile.....	99
7	Low-Strain Integrity Test.....	103
7.1	General Requirements.....	103
7.2	Equipments.....	103
7.3	Field Test.....	104
7.4	Test Data Interpretation.....	105
8	High-Strain Dynamic Test.....	109

8.1	General Requirements.....	109
8.2	Equipments.....	109
8.3	Field Test.....	110
8.4	Test Date Interpretation.....	113
8.5	Driven Pile Installation Monitoring.....	118
9	Cross-hole Sonic Logging.....	120
9.1	General Requirements.....	120
9.2	Equipments.....	120
9.3	Field Test.....	123
9.4	Test Date Interpretation.....	125
10	Croe Drilling Method.....	133
10.1	General Requirements.....	133
10.2	Equipments.....	133
10.3	Field Test.....	134
10.4	Interception and Processing of Core Sample.....	138
10.5	Compressive Strength Test on Core Specimen.....	139
10.6	Test Date Interpretation.....	140
11	Anchors Tests.....	146
11.1	General Requirements.....	146

11.2	Equipments and Installation.....	148
11.3	Basic Test.....	150
11.4	Creep Test.....	157
11.5	Acceptance Test.....	158
11.6	Bonding Strength Test.....	163
11.7	Load Retention Test.....	166
11.8	Pulling Force Monitoring.....	167
12	Tests of Construction Process.....	171
12.1	Material Tests.....	171
12.2	Destructive Test on Prestressed Concrete Piles.....	172
12.3	Pore and Groove Test.....	178
12.4	Weld Seam Test of Precast Butt Joints.....	195
12.5	Video Monitor Test in Holes.....	202
12.6	Internal Force Test.....	204
12.7	Foundation Surveying.....	210
13	Foundation Construction Quality Tests.....	221
13.1	General Requirements.....	221
13.2	Field Test and Reports.....	222

Appendix A Test of Reinforcement Length by Magnetic Method

		228
Appendix B	Reference Tables for Site Inspection terms of Main Material and Sampling Rules.....	231
Appendix C	Record Tables of Tests.....	255
Appendix D	Statistical Calculating Method of Data Obtained from Foundation Soils Experiments.....	270
Appendix E	Modification Coefficient of Cone Dynamic Penetrating Number.....	272
Appendix F	Calibration Coefficient of Static Penetration Test....	274
Appendix G	Equivalent Conversion Method of Self-balanced Static Loading Test.....	277
Appendix H	Drawings of Anchors Loading-Unloading Reaction Devices and Dynamometer Tensioning Locking Devices	280
Appendix J	Construction Survey.....	284
Appendix K	Deformation Observation for Field, Ground and Surroundings.....	287
Appendix L	Deformation Observation for Foundation.....	290
Appendix M	Underground Engineering Deformation Monitoring..	296

Appendix N	Monitoring of Building Excavation Engineering and Supported Structure Test.....	303
Appendix P	Underground Pipeline Measurements.....	310
Appendix Q	Monitoring of Blasting Vibration.....	312
Appendix R	Monitoring of Groundwater.....	313
Appendix S	Structure Health Monitoring.....	320
	Explanation of Wording in This Standard.....	323
	List of Quoted Standards	324
	Addition: Explanation of Provisions.....	329

1 总 则

1.0.1 为保证工程质量，规范建筑地基基础检测工作，做到安全适用、技术先进、评价正确、经济合理、保护环境，制定本标准。

1.0.2 本标准适用于天津市建筑工程、市政工程的地基基础质量检测、评价与验收。

1.0.3 建筑地基基础检测除应符合本标准的规定外，尚应符合国家、行业及天津市现行有关标准的规定。

2 术语和符号

2.1 术 语

2.1.1 地基 ground, foundation soils

支承基础的土体或岩体。

2.1.2 基础 foundation

将结构所承受的各种作用传递到地基上的结构组成部分。

2.1.3 桩（墙）身完整性 pile (wall) integrity

反映桩（墙）身截面尺寸相对变化、桩（墙）身材料密实性和连续性的综合定性指标。

2.1.4 桩（墙）身缺陷 pile (wall) defects

在一定程度上使桩（墙）身完整性恶化，引起桩（墙）身结构强度和耐久性降低，出现桩（墙）身断裂、裂缝、缩径、夹泥（杂物）、空洞、蜂窝、松散等不良现象的统称。

2.1.5 平板载荷试验 plate loading test

对天然地基、人工地基、复合地基的表面逐级施加竖向压力，测量其沉降随时间的变化，以确定其承载能力的试验方法；分为浅层平板载荷试验、深层平板载荷试验、岩石地基载荷试验和复合地基载荷试验。

2.1.6 标准贯入试验 standard penetration test (SPT)

用质量为 63.5kg 的穿心锤，以 76cm 的落距自由下落，将标准规格的贯入器自钻孔孔底预打 15cm，记录再打入 30cm 的锤击数，判定土的物理力学特性的原位试验方法。

2.1.7 圆锥动力触探试验 cone dynamic penetration test (DPT)

用标准质量的重锤，以一定高度的自由落距，将标准规格的圆锥形探头贯入土中，根据打入土中一定距离所需的锤击数，判定土的物理力学特性的原位试验方法。

2.1.8 静力触探试验 cone penetration test (CPT)

通过静力将标准圆锥形探头匀速压入土中，根据测定触探头的贯入阻力，判定土的物理力学特性的原位试验方法。

2.1.9 十字板剪切试验 vane shear test (VST)

用插入土中的标准十字板探头，以一定速率扭转，量测土破坏时的抵抗扭矩，测定土的不排水抗剪强度的原位试验方法。

2.1.10 旁压试验 pressuremeter test

在钻孔中，利用旁压仪对测试段孔壁施加径向压力使地基土体产生相应变形，测得土体压力与变形关系的原位测试方法。

2.1.11 预钻式旁压试验 preboring pressuremeter test

利用预先成孔，将旁压器放入孔内测试段，通过对测试段孔壁施加径向压力使地基土体产生相应变形，测得土体各级压力与变形对应关系的原位测试方法。

2.1.12 静载试验 static loading test

在桩顶部逐级施加竖向压力、竖向上拔力或水平推力，观测桩顶部随时间产生的沉降、上拔位移或水平位移，以确定相应的单桩竖向抗压承载力、单桩竖向抗拔承载力和单桩水平承载力的试验方法。

2.1.13 自平衡法静载试验 self-balanced static loading test

在桩身中预埋荷载箱，利用桩身自重、桩侧阻力及桩端阻力互相提供反力的基桩静载试验方法。

2.1.14 低应变法 low-strain integrity test

采用低能量瞬态或稳态方式在桩顶激振，实测桩顶部的速度时程曲线，通过波动理论分析，对桩身完整性进行判定的检测方法。

2.1.15 高应变法 high-strain dynamic test

用重锤冲击桩顶，实测桩上部的速度和力时程曲线，通过波动理论分析，对单桩竖向抗压承载力和桩身完整性进行判定的检测方法。

2.1.16 声波透射法 cross-hole sonic logging

在预埋声测管之间发射并接收声波,通过实测声波在混凝土介质中传播的声时、频率和波幅衰减等声学参数的相对变化,对混凝土灌注桩和地下连续墙墙体施工质量进行判定的检测方法。

2.1.17 声测线 wave measure line

在声波透射法检测中,声波发射换能器与声波接收换能器之间的连线。

2.1.18 钻芯法 core drilling method

用钻机钻取芯样,通过芯样特征、芯样试件抗压强度判定混凝土或水泥土的施工质量,确定桩(墙)长度、沉渣厚度、缺陷,鉴别岩石地基、桩端(墙底)持力层岩土性状,以及对应龄期强度的检测方法。

2.1.19 锚杆蠕变试验 anchor creep test

为确定锚杆在不同加荷等级的恒定荷载作用下位移随时间变化规律的试验。

2.1.20 锚杆验收试验 anchor acceptance test

在锚头逐级施加轴向拉力荷载至验收荷载,测量锚头随时间产生的轴向位移,以确定工程锚杆承载力是否符合设计要求的试验方法。

2.1.21 持有荷载试验 load retention test

采用液压千斤顶加载,对已锁定的预应力锚杆的锚头进行分级加载,以确定锚杆杆体持有荷载的试验。

2.1.22 锚杆锁定力 lock-off load of anchor

预应力锚杆张拉锁定完成时的初始预应力。

2.1.23 试成孔(槽) experimental drilling hole of cast-in-place pile or groove of diaphragm wall

钻孔灌注桩(地下连续墙)在施工前,为核对地层资料及检验所选设备、施工工艺及技术要求是否合适而进行的试验性成孔(槽)。

2.1.24 孔内摄像法 test method with video monitor through the hole

沿钻芯孔或管桩内腔，对孔壁进行摄影和观察，识别缺陷位置及形状，确定桩端（墙底）沉渣厚度、鉴别持力层岩土性状的检测方法。

2.1.25 内力测试 internal force test

通过应变、位移的测试，计算荷载作用下桩（墙）侧阻力、桩（墙）端阻力、桩（墙）身弯矩或构件内部应力分布、弯矩等的试验方法。

2.1.26 结构实体检验 entitative inspection of structure

在结构实体上抽取试样，在现场进行检验或送至有相应检测资质的检测机构进行检验。

2.2 符 号

2.2.1 作用和作用效应

F ——锤击力；

G_1 ——荷载箱上部桩的自重；

G_2 ——设计桩顶以上超灌高度的重量、空桩段泥浆或回填土自重及桩顶配重；

H ——单桩水平静载试验中作用于桩身的水平力；

Q ——施加于单桩和地基的竖向压力荷载，施加于锚杆的轴向荷载；

Q_0 ——锚杆试验的初始荷载；

$Q_{\max}$ ——最大试验荷载；

Q_{uu} ——上段桩极限加载值；

Q_{ud} ——下段桩极限加载值；

s ——位移量；

U ——单桩竖向抗拔静载试验中施加的上拔荷载；

Y_0 ——水平力作用点的水平位移;

δ ——桩顶上拔量;

σ_s ——钢筋应力。

2.2.2 抗力和材料性能

c ——桩身一维纵向应力波传播速度, 简称桩身波速;

c_u ——地基土不排水抗剪强度;

E ——材料弹性模量;

E_0 ——地基变形模量;

f_{ak} ——地基承载力特征值;

f_{cu} ——芯样试件抗压强度;

f_s ——双桥探头的侧壁摩阻力;

f_{spk} ——复合地基承载力特征值;

k_c ——锚杆蠕变率;

m ——地基土水平抗力系数的比例系数;

N ——标准贯入试验实测锤击数;

N_k ——标准贯入试验实测锤击数的标准值;

N' ——标准贯入试验修正锤击数;

N'_k ——标准贯入试验修正锤击数的标准值;

N_{10} ——轻型圆锥动力触探锤击数;

$N_{63.5}$ ——重型圆锥动力触探锤击数;

N_{120} ——超重型圆锥动力触探锤击数;

p_s ——单桥触探头的比贯入阻力;

Q_u ——单桩极限承载力, 锚杆极限抗拔承载力;

q_c ——双桥触探头的锥头阻力;

R_a ——单桩承载力特征值;

R_t ——锚杆抗拔承载力特征值;

v ——桩身混凝土声速;

Z ——桩身截面力学阻抗;

μ ——泊松比;

ρ ——桩身质量密度。

2.2.3 几何参数

A ——截面积;

A_s ——锚杆杆体横截面积;

B ——支墩宽度, 支座边宽;

b_0 ——桩身计算宽度;

d ——直径;

I ——桩身换算截面惯性矩;

L ——桩长, 锚杆长度;

L_{tb} ——杆体粘结段长度;

L_{tf} ——杆体自由段长度。

2.2.4 计算系数

A_c ——声波透射法波幅异常判断的临界值;

ΔL_1 ——从初始荷载至最大试验荷载, 杆体自由段长度的理论弹性伸长值;

ΔL_2 ——从初始荷载至最大试验荷载, 拉力型锚杆杆体自由段长度与 1/2 杆体粘结段长度之和的理论弹性伸长值;

J_c ——凯司法阻尼系数;

ν_y ——桩的水平位移系数;

α ——修正系数, 基础倾斜度;

β ——高应变法桩身完整性系数;

β_r ——芯样试件抗压强度换算系数;

γ_1 ——受检桩的抗压摩阻力转换系数;

γ_2 ——受检桩的抗拔摩阻力转换系数;

η ——温飘系数;

λ ——样本中不同统计个数对应的系数。

2.2.5 其他

A_p —— 声测线的波幅值；

c_m —— 桩身波速的平均值；

f —— 频率；

Δf —— 幅频信号曲线上桩底相邻谐振峰间的频差；

$\Delta f'$ —— 幅频信号曲线上缺陷相邻谐振峰间的频差；

n —— 样本数量；

PSD —— 声时-深度曲线上相邻两点连线的斜率与声时差的乘积；

T —— 信号周期；

ΔT —— 速度波第一峰与桩底反射波峰间的时间差；

t —— 时间；

v_c —— 声速的异常判断临界值；

v_0 —— 声速的异常判断值；

v_{01} —— 异常小值判断值；

v_{02} —— 异常大值判断值。

3 基本规定

3.1 一般规定

3.1.1 建筑地基基础检测方法的选择应根据各种检测方法特点和适用范围,综合考虑地质条件、设计要求、使用要求、施工质量可靠性、试验条件等因素,正确判定检测结果。

3.1.2 建筑地基基础检测可按照检测内容、施工阶段、质量验收进行分类。

1 建筑地基基础检测按检测内容可分为原材料及产品检验、工艺工序过程检测、实体检测。

2 建筑地基基础检测按施工阶段可分为施工前为设计提供依据的试验检测、施工过程的质量检测和监测、施工后为验收提供依据的工程检测,及运营阶段和既有建筑加固改造过程的检测与监测。

3 建筑地基基础质量验收可按单位工程、分部工程、子分部工程、分项工程、检验批划分,确定检测数量。

3.2 工作程序

3.2.1 工作程序应按图 3.2.1 进行。

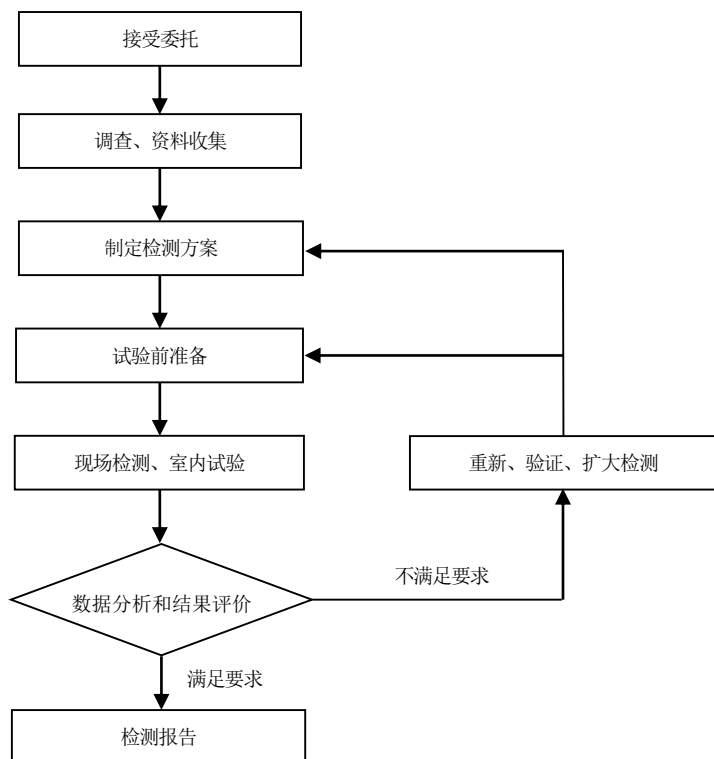


图 3.2.1 工作程序框图

3.2.2 准备工作

1 现场调查和资料收集宜包括下列内容：

- 1) 确定检测目的及委托方的具体要求；
- 2) 收集岩土工程勘察、相关设计、施工组织设计等文件，原材料的产品质量证明书、使用说明、配比、产品标准、使用部位等信息，了解场地周边状况、施工工艺等情况；
- 3) 分析检测方法现场实施的可行性。

2 检测方案宜包含下列内容：

- 1) 检测方法和编制依据;
- 2) 本条第 1 款所包含的内容;
- 3) 确定检测数量, 受检样品应进行唯一性标识;
- 4) 仪器设备和人员配备;
- 5) 现场条件和配合事项;
- 6) 检测(监测)周期和监测频率;
- 7) 绿色施工、安全生产措施及应急预案等。

3 检测用仪器设备应经法定计量检定机构检定或校准合格, 必须在检定或校准周期的有效期内使用。仪器设备性能除应符合相应的技术要求外, 尚应符合下列规定:

- 1) 检测前应对仪器设备检查调试, 检测过程中应加强仪器设备检查, 且在检测前和检测过程中对仪器进行率定抽查;
- 2) 仪器设备使用时应按校准结果设置相关参数;
- 3) 当现场操作环境不符合仪器设备使用要求时, 应采取有效措施, 保证仪器设备正常工作。

4 检测时间应符合下列规定:

- 1) 当主要材料、半成品、成品、建筑构配件进场时, 应进行抽样检验;
- 2) 当采用低应变法检测有粘结强度、截面规则的水泥粉煤灰碎石桩等竖向增强体的桩身完整性时, 受检桩身强度应达到 8MPa 以上;
- 3) 当采用低应变法或声波透射法检测混凝土桩(墙)身完整性时, 混凝土强度不应低于设计强度等级的 70%, 且预留立方体试块强度不应小于 15MPa;
- 4) 高应变法和静载试验的休止时间应符合下列规定: 当设计对龄期有明确要求时, 应满足设计要求; 地基施工后周围土体达到休止稳定后方可进行, 对于砂土, 不应少于 7d, 对于粉土, 不应少于 10d, 对于非饱和粘性土, 不应少于

15d, 对于饱和粘性土, 不应少于 25d, 对于桩端持力层为遇水易软化的风化岩层, 不应少于 25d, 泥浆护壁灌注桩宜延长休止时间; 人工地基检测应在竖向增强体满足龄期要求且地基施工后周围土体达到休止稳定后进行, 粘性土地基及有粘结强度增强体的复合地基不应少于 28d, 粉土地基不应少于 14d, 其他地基不应少于 7d; 压浆处理后休止时间不应少于 28 d;

- 5) 当采用钻芯法检测时, 受检样品的混凝土龄期应达到 28d 或预留同条件养护试件强度达到设计强度等级; 仅进行桩(墙)身完整性、桩长度或墙深度检测时, 混凝土强度宜达到 15MPa 以上; 受检水泥土桩(墙)的成桩(墙)龄期应达到设计龄期;
 - 6) 锚杆检测时间应符合下列规定: 当进行锚杆基本试验、蠕变试验、粘结强度试验及基础锚杆验收试验时, 锚固段注浆体强度不应低于设计强度的 90%, 或锚固段注浆体的龄期应达到 28d; 当进行支护锚杆验收试验、持有荷载试验、锁定力测试时, 锚固段注浆体强度不应低于设计强度的 75%; 当进行土钉验收试验时, 注浆体强度不应低于 10MPa 或设计强度的 70%;
 - 7) 地基基础工程监测应随施工进度进行, 并符合本标准第 12 章的相关规定;
 - 8) 基础工程质量检测应随施工进度进行, 并符合本标准第 13 章的相关规定。
- 5 受检样品及检测位置的确定, 应综合考虑下列因素:
- 1) 设计指定或认为重要的原材料及工程部位;
 - 2) 局部岩土条件复杂可能影响施工质量的工程部位或区域;
 - 3) 施工过程出现异常, 施工质量可能偏离正常情况或对施工质量有异议的部位;

- 4) 同检验批同一检测方法应随机抽样，试验点宜均匀分布；
- 5) 当采取两种或两种以上检测方法时，应根据前一种方法的检测结果确定后一种方法的抽检样品或抽检位置；
- 6) 当需要进行重新检测时，检测数量和位置的确定应由相关单位共同协商。

3.2.3 按照本标准相关技术要求对检验样品进行各项检测，记录检测过程及数据，分析判定结果，出具检测报告。

3.2.4 当发现检测数据异常时，应查找原因，重新检测或扩大检测。

3.3 检 测 方 法

3.3.1 建筑地基检测应根据设计要求、地基类型、检测目的、样品类型、岩土工程地质情况、工序工艺及检测方法的适用性等合理选择检测方法，按表 3.3.1 的规定确定。

表 3.3.1 建筑地基检测项目、检测内容与检测方法

检测项目	检测内容	检测方法
定位	位置、尺寸、标高及偏差	钢尺、测绳、全站仪、经纬仪、水准仪、RTK 法
焊缝质量	钢筋接头、接桩焊缝	抗拉试验、磁粉法、渗透法、超声波法
承载力及变形参数	天然地基、人工地基和复合地基承载力及变形参数，复合地基增强体等承载力及变形参数	载荷试验、单桩承载力试验、标准贯入试验、圆锥动力触探试验、静力触探试验
原位测试	密实性、强度、均匀性，判定砂土、粉土液化	压实度试验、干密度试验、标准贯入试验、圆锥动力触探试验、静力触探试验、十字板剪切试验、旁压试验、波速试验
复合地基增强体及基桩的施工质量	散体材料复合地基增强体密实度；水泥土搅拌桩、高压旋喷桩、水泥粉煤灰碎石桩、素混凝土桩、钢筋混凝土灌注桩、预制桩等桩身均匀性和完整性；强夯置换处理地基的墩体质量和着底情况；桩底沉渣厚度、验证持力层	标准贯入试验、圆锥动力触探试验、静力触探试验、低应变法、高应变法、声波透射法、钻芯法、成孔检测

1 天然地基岩土性状、地基处理均匀性及增强体施工质量检测,可根据各种检测方法的特点和适用范围,考虑地质条件及施工质量可靠性、使用要求等因素,选择标准贯入试验、圆锥动力触探试验、静力触探试验、十字板剪切试验、旁压试验、波速试验等一种或多种方法进行检测,检测结果结合载荷试验成果进行评价。当设计有要求时,应判别砂土、粉土液化状况。

2 人工地基承载力检测应符合下列规定:

- 1) 换填、预压、压实、挤密、强夯、注浆等方法处理后的人工地基应进行土(岩)地基载荷试验;
- 2) 水泥土搅拌桩、砂石桩、旋喷桩、夯实水泥土桩、水泥粉煤灰碎石桩、混凝土桩、树根桩、灰土桩、柱锤冲扩桩等方法处理后的地基应进行复合地基载荷试验;
- 3) 水泥土搅拌桩、旋喷桩、夯实水泥土桩、水泥粉煤灰碎石桩、混凝土桩、树根桩等有粘结强度的增强体应进行竖向增强体载荷试验;
- 4) 强夯置换墩地基应根据不同的加固情况,选择单墩竖向增强体载荷试验或单墩复合地基载荷试验;
- 5) 采用标准贯入试验、圆锥动力触探试验、静力触探试验、十字板剪切试验、旁压试验、波速试验方法判定地基承载力和变形参数时,应结合地区经验以及载荷试验结果综合判定。

3 换填地基的施工质量检验必须分层进行,并应在每层的压实系数符合设计要求后铺填上层。预压、夯实地基可采用原位测试和室内试验相结合的检测方法,室内试验应符合现行国家标准《土工试验方法标准》GB/T 50123 的相关规定。

4 检测水泥土搅拌桩、旋喷桩、夯实水泥土桩的桩长、均匀性及桩身强度判定或鉴别桩底持力层岩土性状,可选择钻芯法。有粘结强度、截面规则的水泥粉煤灰碎石桩、混凝土桩等桩身强度为

8MPa 以上竖向增强体的完整性检测可选择低应变法。

3.3.2 桩（墙）及锚杆检测应根据设计要求、类型、检测目的、岩土工程地质情况、施工工艺及检测方法的适用性等合理选择检测方法，按表 3.3.2 的规定确定。

表 3.3.2 桩（墙）及锚杆检测项目、检测内容与检测方法

检测项目	检测内容	检测方法
定位	尺寸、位置、标高及偏差	钢尺、测绳、全站仪、经纬仪、水准仪、RTK 法
成孔（槽）质量	桩（墙）孔的孔径（槽宽）、孔（槽）深、垂直度、沉渣厚度	机械组合法、超声波法、测绳法、探针法、重锤法
焊缝质量	钢筋接头、接桩焊缝	抗拉试验、磁粉法、渗透法、超声波法
桩（墙）身质量	桩（墙）身完整性及等级	低应变法、高应变法、声波透射法、钻芯法、孔内摄像法
基桩承载力	单桩竖向抗压承载力	单桩竖向抗压静载试验、单桩自平衡法静载试验、高应变法
	单桩竖向抗拔承载力	单桩竖向抗拔静载试验、单桩自平衡法静载试验
	单桩水平承载力	单桩水平静载试验
桩端（墙底）持力层	桩端（墙底）沉渣厚度、桩端（墙底）持力层性状	钻芯法、标准贯入试验、圆锥动力触探试验
应力、应变	侧摩阻力、端阻力	内力测试
空心桩灌芯	灌芯质量及芯柱抗拔承载力	灌芯抗拔静载试验
钢筋笼	钢筋笼长度	钢尺、磁测井法
锚杆	锚杆极限抗拔承载力，提供设计参数、验证施工工艺	基本试验
	验收荷载作用下锚杆的工作性状，判定锚杆抗拔性能是否满足设计要求	验收试验
	锚杆蠕变特性，为控制蠕变量和预应力损失提供设计参数	蠕变试验

1 单桩竖向极限承载力标准值应通过单桩静载试验确定。当设计有要求或有下列情况之一时，施工前应进行试验桩检测、锚杆基本试验，并确定极限承载力：

- 1) 设计等级为甲级的桩基、锚杆支护工程；
- 2) 无相关试验资料可参考的设计等级为乙级的桩基、锚杆支护工程；
- 3) 地基条件复杂、施工质量可靠性低的工程；
- 4) 采用的新桩型（锚杆）或新工艺成桩（锚）的桩基工程、锚杆支护工程。

2 对抗压承载力有设计要求的桩应进行竖向抗压承载力检验，对抗拔承载力有设计要求的桩（锚杆）应进行抗拔承载力检验，对水平承载力有设计要求的桩应进行水平承载力检验。

3 单桩竖向承载力检测应符合下列规定：

- 1) 应采用静载试验进行单桩竖向承载力检测；
- 2) 满足高应变法适用范围的基桩，可采用高应变法检测单桩竖向抗压承载力；
- 3) 特定条件下可采用自平衡法进行单桩承载力检测。

3.3.3 施工过程的检测与监测包括材料检测、预应力混凝土桩破坏性试验、成孔成槽质量检测、接桩焊缝质量检测、孔内摄像法检测、内力测试及工程监测。

1 地基基础工程采用的主要材料、半成品、成品、建筑构配件、器具和设备应进行现场检验，凡涉及安全、节能、环境保护和主要使用功能的重要材料、产品，均应按照各专业工程施工规范、验收规范和设计文件等规定进行复验，复验检测结果必须符合设计要求和产品标准，并经监理工程师检查认可。

2 各施工工序应按照施工技术标准进行质量控制，每道施工工序完成后，经施工单位自检或第三方检测符合规定后，方可进行下道工序施工，各专业工种之间的相关工序应进行交接，并经监理工

程师检查认可。

3 施工过程测量和监测内容及方法的选择应符合下列要求：

- 1) 变形监测方法包括水准测量、静力水准测量、三角高程测量、全站仪测量、卫星导航定位测量、激光测量、近景摄影测量等，应根据所测定的变形类型、精度要求和现场作业条件按表 3.3.3 的规定选择相应的监测方法，可同时选用多种监测方法互相校验；

表 3.3.3 变形监测项目与监测方法

监测项目	监测方法
水平位移	三角形网、极坐标法、交会法、GPS 测量、正倒垂线法、视准线法、引张线法、激光准直法、精密测（量）距、伸缩仪法、多点位移计、倾斜仪等
垂直位移	水准测量、液体静力水准测量、电磁波测距三角高程测量等
三维位移	全站仪自动跟踪测量法、卫星实时定位测量（GPS-RTK）法、摄影测量等
倾斜	经纬仪投点法、差异沉降法、激光准直法、垂线法、倾斜仪、电垂直梁等
挠度观测	垂线法、差异沉降法、位移计、挠度计等
裂缝	精密测（量）距、伸缩仪法、测缝计、位移计、摄影测量等
应力、应变	内力测试

- 2) 建筑物施工测量包括基础和桩位放样、各施工层上放线及轴线竖向投测等；
- 3) 场地、地基及周边环境位置变形观测包括场地沉降观测、地基土分层沉降观测、斜坡位移监测、周边环境变形观测等；
- 4) 基础变形观测包括沉降观测、水平位移观测、倾斜观测、裂缝观测、挠度观测、收敛变形观测、结构健康监测等；
- 5) 地下工程变形监测项目和内容应根据埋深、地质条件、地面环境、开挖断面和施工方法综合确定；
- 6) 建筑基坑工程监测项目包括巡视检查、水平位移监测、竖

向位移监测、深层水平位移监测、倾斜监测、裂缝监测、支护工程监测、土压力监测、挡土构件沉降监测、水泥土墙沉降监测、地下水监测、渗水与降雨监测、孔隙水压力监测、土体分层竖向位移监测、坑底隆起监测、爆破振动监测等；

- 7) 支护工程变形监测项目包括支护桩完整性与承载力检测、锚杆拉力检测与监测、喷射混凝土检测、地表裂缝监测、周边建筑物变形监测、支护结构变形监测、支护结构内力测试、地下管线及道路沉降监测等。

3.3.4 基础工程主要包括混凝土结构、砌体结构、钢结构、型钢和钢管混凝土结构、木结构等，工程检测应根据设计要求、检测目的、结构类型、施工工艺及检测方法的适用性等合理选择检测方法，按表 3.3.4 的规定确定。

表 3.3.4 基础工程质量检测项目、检测内容与检测（监测）方法

检测项目	检测内容	检测（监测）方法
结构强度	混凝土实体强度	钻芯法、回弹法
定位	基础轴线位置、基础顶面标高、位移及偏差	经纬仪、钢尺、水准测量
沉降量	基础的沉降量、沉降差及沉降速率，计算基础倾斜、局部倾斜、相对弯曲及构件倾斜	水准测量、静力水准测量、三角高程测量
水平位移	基础横向水平位移和纵向水平位移	全站仪、卫星导航定位、激光测量、近景摄影测量
缺陷	缺陷的位置分布、走向、长度、宽度、深度及其变化情况	孔内摄像法、比例尺、小钢尺、游标卡尺、方格网板、前方交会或单片摄影、测缝计或传感器
挠度	基础挠度	垂线法、差异沉降法、位移计、挠度计
收敛变形	矿山法施工的隧道围岩和衬砌结构、盾构法施工的隧道拼装环管片、其他地下坑道或结构的收敛变形	固定测线法、全断面扫描法、激光扫描法

3.3.5 既有建筑地基基础检测除应执行本标准相关规定外，尚应符合

合现行国家行业标准《既有建筑地基基础加固技术规范》JGJ 123 和《既有建筑地基基础检测技术标准》JGJ/T 422 的相关规定。

3.4 检测数量

3.4.1 地基基础工程主要原材料和产品进场复验抽检取样数量应符合本标准附录 B 及相关标准的规定。

3.4.2 地基基础工程现场检测抽样数量应符合本标准各章节相关规定。

1 子分项工程采用不同地基基础类型或不同地基处理方法时，应分别确定检测方法和抽检数量，按照本标准的相关规定执行。

2 同一单位工程中，当配套附属设施工程的地基基础与主体工程的基桩采用同一施工工艺同时进行施工时，可将附属设施工程与主体工程合并一起确定抽检数量，且各个附属设施工程应有检测资料。

3 因桩（墙）身第一个缺陷的缺陷程度太严重，导致无法检测或难以提供第一个缺陷以下的桩（墙）身质量，根据已有检测数据能够判定完整性类别为Ⅲ类或Ⅳ类时，可判定检测结果满足检测目的，其检测数量应计入本标准规定的抽检数量。

4 当选择标准贯入试验、静力触探试验、圆锥动力触探试验、十字板剪切试验、声波透射法、钻芯等方法检测深度未达到下列要求时，检测数量不得计入验收抽检数量：

- 1) 天然地基的检测深度应达到主要受力层深度；
- 2) 人工地基的检测深度应达到加固深度；
- 3) 复合地基桩间土和强夯置换墩墩间土的检测深度应达到竖向增强体底部；
- 4) 复合地基竖向增强体的检测深度应达到竖向增强体底部。

3.5 验证与扩大检测

3.5.1 当对检测结果有疑问或异议时,应进行验证检测,验证检测的数量宜根据实际情况确定,当某种方法不能全面评价时,应结合其他检测方法进行补充检测。

1 人工地基质量检测应合理选择两种或两种以上的检测方法验证地基承载力和施工质量。宜先进行标准贯入试验、静力触探试验、圆锥动力触探试验、十字板剪切试验等原位试验,以及分层压实系数试验和复合地基增强体桩身完整性、密实度检测,然后进行载荷试验。

2 地基载荷试验宜在原试点附近重新选点进行验证检测,可根据试验结果,综合分析评价标准贯入试验、静力触探试验、圆锥动力触探试验、十字板剪切试验等地基承载力检测结果。

3 波速试验宜与钻探、动力触探等测试方法密切配合使用。

4 桩身浅部缺陷可采用开挖验证,当桩身有明显缺陷,对桩身承载力有影响,根据完整性检测结果难以确定其是否满足设计要求时,宜采用静载试验进行单桩承载力抽检。

5 单桩竖向抗压承载力验证应采用单桩竖向抗压静载试验;对于直径大于等于 1500mm 的混凝土灌注桩,经工程质量各方责任主体共同确认,因试验设备或现场条件限制,难以进行单桩竖向抗压承载力检测时,应进行桩身完整性检测和桩端持力层核验;检测方法应选择钻芯法、声波透射法、高应变法。

6 桩身存在水平裂缝或接头存在缝隙的预制桩,可采用高应变法、孔内摄像法、静载试验进行验证。

7 不能明确桩身(墙)完整性类别或为Ⅲ类时,可根据实际情况采用静载试验、钻芯法、低应变法、高应变法、声波透射法、孔内摄像法、开挖等方法进行验证检测。

8 高应变检测承载力出现下列情况之一时,应采用静载试验方

法进一步验证:

- 1) 桩身存在缺陷, 无法判定桩的竖向承载力;
- 2) 桩身缺陷对水平承载力有影响;
- 3) 由于触变效应的影响预制桩在多次锤击下承载力下降;
- 4) 单击贯入度大, 桩底同向反射强烈且反射峰较宽, 侧阻力波、端阻力波反射弱, 波形表现出的桩竖向承载性状明显与勘察报告中的地基条件不符合;
- 5) 嵌岩桩桩底同向反射强烈, 且在时间 $2L/c$ 后无明显端阻力反射, 可采用钻芯法核验。

9 对于声波透射法检测结果有异议时, 可进行钻芯法验证; 当采用钻芯法检测长径比大于等于 25 的混凝土灌注桩时, 宜采用预埋管钻芯法。

当采用钻芯法对桩(墙)进行完整性检测时难以准确判定桩(墙)身缺陷程度时, 宜同时进行孔内摄像法检测。孔内摄像法抽样检测的受检样品宜按下列要求选择: 施工过程中出现异常的桩(墙); 渗漏的桩(墙); 施工过程中引起水平位移、上浮或深厚软土中弯曲的桩(墙); 受锤击拉应力影响较大的空心桩; 低应变法难以判定缺陷的受检桩, 或已发现缺陷, 需确定缺陷位置、范围及程度的桩(墙); 设计方认为重要的桩(墙); 钻芯法检测结果出现争议的灌注桩、地下连续墙及混凝土实体结构。

10 桩端(墙底)岩土层性状及沉渣厚度可选用钻芯法或标准贯入、圆锥动力触探等原位试验。

11 对钢筋笼长度有疑义时, 可采用磁测井法进行检测。

12 锚杆锁定力可采用持有荷载试验进行验证检测, 当实测锁定力为设计值的 80%~110%时, 可判定该锚杆锁定力值满足设计要求, 否则应对该批次锚杆重新张拉锁定; 所有施工质量有疑问的锚杆均应进行锚杆验收试验。

13 地基基础标准试件强度评定不满足要求或对试件的代表性

有疑义时，应对实体进行强度检测。

3.5.2 当检测结果不满足设计要求时，应扩大抽检。扩大抽检可采用原抽检方法或准确度更高的检测方法。扩大抽检的数量应符合下列规定：

1 当载荷试验、基桩静载试验、锚杆承载力验收试验或钻芯法检测结果不满足设计要求时，应按不满足设计要求的数量加倍扩大抽检；

2 当采用低应变法、高应变法和声波透射法抽检桩（墙）身完整性，出现Ⅳ类时应加倍抽检，所发现的Ⅲ、Ⅳ类桩（墙）之和大于抽检数量的 20%时，应采用有效的方法对剩余桩扩大抽检；

3 标准贯入试验、圆锥动力触探试验、静力触探试验、十字板剪切试验等方法抽检孔数超过 30%不满足设计要求时，应按不满足设计要求的孔数加倍扩大抽检，或适当增加载荷试验数量；

4 当基础承台的混凝土强度检测结果不满足设计要求时，应按不满足设计要求的数量加倍扩大抽检；

5 当预制桩承载力检测结果不满足设计要求时，可在全部复打或复压后，重新进行抽检；

6 当施工过程监测结果出现异常情况时，应增加监测点位或监测频次。

3.5.3 验证或扩大检测采用的方法和检测数量应得到工程建设相关单位的确认。

3.6 检测结果评价与报告

3.6.1 检测结果评价

1 地基承载力和加固土体质量评价应给出受检点的承载力实测值，并评价承载力是否满足设计要求。

2 桩（墙）身和锚杆施工质量评价应按照本标准第 6 章～第 12

章的相关规定执行。

- 1) 工程桩(锚杆)承载力验收检测应给出每根受检桩(锚杆)的承载力实测值,并评价单桩(锚杆)承载力是否满足设计要求。
- 2) 桩(墙)身完整性检测结果应给出受检桩(墙)身的完整性类别。桩(墙)身完整性类别应根据桩(墙)身缺陷对桩(墙)结构及承载力的影响程度进行分类并应符合表 7.4.3、表 8.4.10、表 9.4.6 和表 10.6.3 的规定。

3 各项检验与监测结果应给出实测值,并评价结果是否满足设计要求。

3.6.2 检测报告除应符合结构清晰、重点突出、用词规范、结论准确的要求外,尚应符合下列规定:

- 1 观测记录内容应真实完整,采用电子方式记录的数据,应完整存储在可靠的介质上;
- 2 数据处理、成果图表及检验分析资料应完整、清晰;
- 3 图式符号应规格统一、注记清楚;
- 4 观测记录、计算资料和技术成果均应有相关责任人签字;
- 5 观测记录、计算资料和技术成果应进行归档。

3.6.3 工程检测报告应包含下列内容:

- 1 报告编号、工程名称和地点,委托方、建设、勘察、设计、监理和施工单位,地基和基础类型,设计要求,检测的目的、依据、数量和日期;
- 2 相关技术资料,如岩土工程勘察报告、设计图纸等;
- 3 受检样品编号、位置和相关施工记录、检测点的标高、场地标高、地基或基坑设计标高;
- 4 检测仪器设备;
- 5 检测方法、标准;
- 6 检测过程描述、异常情况描述;

7 检测数据，实测与计算分析图表、数据汇总结果等；

8 与检测内容相应的结论。

3.6.4 原材料和产品进场复验试验及见证检验检测报告应包括下列内容：

1 报告编号、工程名称、委托单位、抽样单位、见证单位、检测数量、检测日期、检测条件；

2 样品名称、规格型号和等级、生产厂家、代表批量、样品编号、施工部位、样品状态描述等；

3 检测仪器设备；

4 检验方法标准及检验依据；

5 实测与计算分析曲线、表格和汇总结果；

6 检测结论。

4 地基载荷试验

4.1 一般规定

4.1.1 地基载荷试验包括土（岩）地基载荷试验和复合地基载荷试验。

4.1.2 土（岩）地基载荷试验适用于检测天然土质地基、岩石地基及采用换填、预压、压实、挤密、强夯、注浆处理后的人工地基。

1 地基土浅层平板载荷试验适用于确定浅层地基土、破碎或极破碎岩石地基的承载力和变形参数。

2 深层平板载荷试验适用于确定深层地基土和大直径桩的桩端土承载力和变形参数，深层平板载荷试验的试验深度不应小于5m。

3 岩石地基载荷试验适用于确定完整、较完整、较破碎岩石地基的承载力和变形参数。

4.1.3 复合地基载荷试验适用于水泥土搅拌桩、砂石桩、旋喷桩、夯实水泥土桩、水泥粉煤灰碎石桩、混凝土桩、树根桩、灰土桩、柱锤冲扩桩及强夯置换墩等竖向增强体和周边地基土组成的复合地基。当存在多层软弱地基时，应考虑到载荷板应力影响范围，选择大承压板多桩复合地基试验并结合其他检测方法进行。

4.1.4 为设计提供依据的地基载荷试验应加载至极限状态，工程验收检测的地基载荷试验及复合地基载荷试验最大加载量不应小于设计承载力特征值的2倍，岩石地基载荷试验最大加载量不应小于设计承载力特征值的3倍。

4.1.5 地基载荷试验的加载方式应采用慢速维持荷载法。

4.1.6 检测数量应符合下列规定：

1 天然地基、人工地基应进行地基载荷试验，单位工程检测数量为每300m²不应少于1个点，且不得少于3点，对于复杂场地或

重要建筑地基应增加抽检数量；

2 岩石地基载荷试验的检测数量应符合下列规定：

- 1) 对中风化岩、微风化岩的岩石地基应进行岩石地基载荷试验，单位工程检测数量为每 500m^2 不应少于 1 个点，且不得少于 3 点；
- 2) 在进行岩石地基载荷试验前，应采用钻芯法对岩石地基性状进行普查，单位工程检测数量为每 500m^2 不应少于 1 个孔，且不得少于 6 个孔。

3 复合地基载荷试验的检测数量应符合下列规定：

- 1) 复合地基载荷试验单位工程检测数量不应少于总桩数的 0.5%，且不应少于 3 点；可根据所采用的处理方法及地基土层情况，选择单桩复合地基载荷试验或多桩复合地基载荷试验；
- 2) 竖向增强体载荷试验的单位工程检测数量不应少于总桩数的 0.5%，且不得少于 3 根；
- 3) 当设计有要求时，应对复合地基桩间土和强夯置换墩墩间土进行抽检，检测方法和数量应按本标准第 3.3.1 条、本条第 1 款及第 5 章的相关规定执行。

4.2 仪器设备及其安装

4.2.1 承压板的选择应符合下列规定：

1 地基土平板载荷试验的承压板可采用圆形、正方形钢板或钢筋混凝土板。压板面积应符合设计要求或相关规定，浅层平板载荷试验承压板面积不应小于 0.25m^2 ，对于软土不应小于 0.5m^2 ，换填垫层和压实地基承压板面积不应小于 1.0m^2 ，强夯地基承压板面积不应小于 2.0m^2 ；

2 深层平板载荷试验的承压板可采用圆形、正方形钢板或钢筋

混凝土板，承压板直径不应小于 0.8m；

3 岩石地基载荷试验可采用圆形刚性承压板，直径不应小于 0.3m；

4 单桩复合地基载荷试验的承压板可用圆形或方形，面积为一根桩承担的处理面积；多桩复合地基载荷试验的承压板可用方形或矩形，其尺寸按实际桩数所承担的处理面积确定，宜采用预制或现场制作并应具有足够刚度。试验时承压板中心应与增强体的中心（或形心）保持一致，并应与荷载作用点相重合；

5 承压板应有足够强度和刚度。在拟试压表面和承压板之间应用粗砂或中砂层找平，土（岩）地基载荷试验铺砂厚度不应超过 20mm，复合地基载荷试验铺砂厚度应为 100mm~150mm，承压板尺寸大时取大值。

4.2.2 载荷试验的试坑标高应与地基设计标高一致。当设计有要求时，承压板应设置于设计要求的受检土层上。

4.2.3 浅层平板载荷试验试坑宽度或直径不应小于承压板宽度或直径的三倍，深层平板载荷试验的试井直径宜等于承压板直径，当试井直径需要大于承压板直径时，紧靠承压板周围土的高度不应小于承压板直径。基准梁及加荷平台支点（或锚桩）宜设在试坑以外，且与承压板边的净距不应小于 2m。试验前应采取措施，保持试坑底岩土的原状结构和天然湿度不变。当试验标高低于地下水位时，应将地下水位降至试验标高以下，再安装试验设备，待水位恢复后方可进行试验。

4.2.4 试验加载宜采用油压千斤顶，且千斤顶的合力中心、承压板中心应在同一铅垂线上。当采用两台或两台以上千斤顶加载时应并联同步工作，且千斤顶型号、规格应相同。

4.2.5 加载反力宜选择压重平台反力装置，应符合下列规定：

- 1** 加载反力装置能提供的反力不得小于最大加载量的 1.2 倍；
- 2** 应对加载反力装置的主要受力构件进行强度和变形验算；

- 3 压重应在试验前一次加足，并应均匀稳固地放置于平台上；
- 4 压重平台支墩施加于地基的压应力不宜大于地基承载力特征值的 1.5 倍。

4.2.6 荷重测量可采用放置在千斤顶上的荷重传感器直接测定；或采用并联于千斤顶油路的压力表或压力传感器测定油压，并应根据千斤顶率定曲线换算荷载。

4.2.7 沉降测量宜采用位移传感器或大量程百分表，应符合下列规定：

- 1 承压板面积大于 0.5m^2 时，应在其两个方向对称安置 4 个位移测量仪表，承压板面积小于等于 0.5m^2 时，可对称安置 2 个位移测量仪表；

- 2 位移测量仪表应安装在承压板上，各位移测量点距承压板边缘的距离应一致，宜为 $25\text{mm}\sim 50\text{mm}$ ；对于方形板，位移测量点应位于承压板每边中点；

- 3 应牢固设置基准桩，基准桩和基准梁应具有一定的刚度，基准梁的一端应固定在基准桩上，另一端应简支于基准桩上；

- 4 固定和支撑位移测量仪表的夹具及基准梁应避免太阳照射、振动及其他外界因素的影响。

4.2.8 试验仪器设备性能指标应符合下列规定：

- 1 压力传感器的测量误差不应大于 1%，压力表精度应优于或等于 0.4 级；

- 2 试验用千斤顶、油泵、油管在最大试验荷载时的压力不应超过规定工作压力的 80%；

- 3 荷重传感器、千斤顶、压力表或压力传感器的量程不应大于最大加载量的 3.0 倍，且不应小于最大加载量的 1.2 倍；

- 4 位移测量仪表的测量误差不应大于 $0.1\%\text{FS}$ ，分辨力应优于或等于 0.01mm 。

4.2.9 当加载反力装置为压重平台反力装置时，承压板、压重平台

支墩和基准桩之间的净距应符合表 4.2.9 的规定。

表 4.2.9 承压板、压重平台支墩和基准桩之间的净距

承压板与基准桩	承压板与压重平台支墩	基准桩与压重平台支墩
$> b$ 且 $>2.0m$	$> b$ 且 $> B$ 且 $>2.0m$	$> 1.5B$ 且 $>2.0m$

注： b 为承压板边宽或直径（m）， B 为支墩宽度（m）。

4.2.10 对大型平板载荷试验，当基准梁长度不小于 12m，但其基准桩与承压板、压重平台支墩的距离仍不能满足本标准表 4.2.9 的规定时，应对基准桩变形进行监测。监测基准桩的变形测量仪表的分辨力宜达到 0.1mm。

4.2.11 深层平板载荷试验应采用合适的传力柱和位移传递装置，并应符合下列规定：

1 传力柱应有足够的刚度，传力柱宜高出地面 50cm；传力柱宜与承压板连接成为整体，传力柱的顶部可采用钢筋等斜拉杆固定；

2 位移传递装置宜采用钢管或塑料管做位移测量杆，位移测量杆的底端应与承压板固定连接，位移测量杆宜每间隔一定距离与传力柱滑动相连，位移测量杆的顶部宜高出孔口地面 20cm；

3 当岩石埋藏深度较大时，可采用钢筋混凝土桩，但桩周需采取措施以消除桩身与土之间的摩擦力。

4.2.12 孔底岩基载荷试验采用孔壁基岩提供反力进行试验时，孔壁基岩提供的反力应大于最大试验荷载的 1.5 倍。

4.3 现场检测

4.3.1 试验前宜进行预压。预压荷载宜为最大加载量的 5%，预压时间宜为 5min。预压后卸载至零，测读位移测量仪表的初始读数并应重新调整零位。岩石地基载荷试验测量系统的初始稳定读数观测应在加压前，每隔 10min 读数一次，连续三次读数不变可开始试验。

4.3.2 试验加卸载分级及施加方式应符合下列规定：

1 地基土平板载荷试验的分级荷载宜为最大试验荷载的 $1/8 \sim 1/12$ ，岩石地基载荷试验的分级荷载宜为最大试验荷载的 $1/15$ ，复合地基载荷试验分级荷载宜为最大加载量或预估极限承载力的 $1/10 \sim 1/12$ ；

2 加载应分级进行，采用逐级等量加载，第一级荷载可取分级荷载的 2 倍；

3 卸载应分级进行，每级卸载量为分级荷载的 2 倍，逐级等量卸载；当加载等级为奇数级时，第一级卸载量宜取分级荷载的 3 倍；

4 加、卸载时应使荷载传递均匀、连续、无冲击，每级荷载在维持过程中的变化幅度不得超过分级荷载的 $\pm 10\%$ 。

4.3.3 载荷试验的试验步骤应符合下列规定：

1 地基土平板载荷试验和复合地基载荷试验每级荷载施加后应按第 10min、20min、30min、45min、60min 测读承压板的沉降量，以后应每隔半小时测读一次，岩石地基载荷试验每级加荷后立即测读承压板的沉降量，以后每隔 10min 应测读一次；

2 承压板沉降相对稳定标准：地基土平板载荷试验在连续两小时内，每小时的沉降量应小于 0.1mm；岩石地基载荷试验每 0.5h 内的沉降量不应超过 0.03mm，并应在四次读数中连续出现两次；复合地基载荷试验 1h 内承压板沉降量不应超过 0.1mm；

3 当承压板沉降速率达到相对稳定标准时，应再施加下一级荷载；

4 地基土平板载荷试验和复合地基载荷试验卸载时，每级荷载维持 1h，应按第 10min、30min、60min 测读承压板沉降量；卸载至零后，应测读承压板残余沉降量，维持时间为 3h，测读时间应为第 10min、30min、60min、120min、180min；岩石地基载荷试验每级卸载后，应隔 10min 测读一次，测读三次后可卸下一级荷载，全部卸载后，当测读 0.5h 回弹量小于 0.01mm 时，即认为稳定，终止

试验。

4.3.4 终止加载应符合下列规定：

- 1 土（岩）地基载荷试验出现下列情况之一时，可终止加载：
 - 1) 当浅层载荷试验承压板周边的土出现明显侧向挤出，周边土体出现明显隆起；
 - 2) 本级荷载的沉降量大于前级荷载沉降量的 5 倍，荷载与沉降曲线出现明显陡降；
 - 3) 在某一级荷载下，24h 内沉降速率不能达到相对稳定标准；
 - 4) 地基土平板载荷试验的累计沉降量已大于等于承压板边宽或直径的 6%或累计沉降量大于等于 150mm；当深层载荷试验沉降 s 急剧增大，荷载沉降（ $p-s$ ）曲线上有可判定极限承载力的陡降段，且沉降量超过 $0.04b$ （ b 为承压板直径）；当岩石地基载荷试验的荷载无法保持稳定且逐渐下降；
 - 5) 加载至要求的最大试验荷载且承压板沉降达到相对稳定标准。
- 2 复合地基载荷试验出现下列情况之一时，可终止加载：
 - 1) 沉降急剧增大，土被挤出或承压板周围出现明显的隆起；
 - 2) 承压板的累计沉降量已大于其边长（直径）的 6%或大于等于 150mm；
 - 3) 满足本条第 1 款第 5 项的要求。

4.4 检测数据分析与判定

4.4.1 地基承载力确定时，应绘制压力-沉降（ $p-s$ ）、沉降-时间对数（ $s-\lg t$ ）曲线，可绘制其他辅助分析曲线。

4.4.2 地基极限荷载的确定应符合下列规定：

1 土（岩）地基极限荷载可按下列方法确定：

- 1) 当出现本标准第 4.3.4 条第 1 款第 1、2、3 项情况时，取前一级荷载值；
- 2) 当出现本标准第 4.3.4 条第 1 款第 5 项情况时，取最大试验荷载。

2 当出现本标准第 4.3.4 条第 2 款第 1、2 项情况之一时，可视为复合地基出现破坏状态，其对应的前一级荷载应定为复合地基极限荷载。

4.4.3 试验点的地基承载力特征值确定应符合下列规定：

1 试验点的土（岩）地基承载力特征值可按下列方法确定：

- 1) 当（ $p-s$ ）曲线上有比例界限时，应取该比例界限所对应的荷载值；
- 2) 地基土平板载荷试验，当极限荷载小于对应比例界限荷载值的 2.0 倍时，应取极限荷载值的一半；岩石地基载荷试验，当极限荷载小于对应比例界限荷载值的 3.0 倍时，应取极限荷载值的 1/3；
- 3) 当满足本标准第 4.3.4 条第 1 款第 5 项情况，且（ $p-s$ ）曲线上无法确定比例界限，承载力又未达到极限时，地基土平板载荷试验应取最大试验荷载的一半所对应的荷载值，岩石地基载荷试验应取最大试验荷载的 1/3 所对应的荷载值；
- 4) 当按相对变形值确定天然地基及人工地基承载力特征值时，可按表 4.4.3-1 规定的地基变形取值确定，且所取的承载力特征值不应大于最大试验荷载的一半。当地基土性质不确定时，对应变形值宜取 $0.010b$ ；对有经验的地区，可按当地经验确定对应变形值；

表 4.4.3-1 按相对变形值确定天然地基及人工地基承载力特征值

地基类型	地基土性质	特征值对应的变形值 s_0
天然地基	高压缩性土	$0.015b$
	中压缩性土	$0.012b$
	低压缩性土和砂性土	$0.010b$
人工地基	中、低压缩性土	$0.010b$

注： s_0 为与承载力特征值对应的承压板沉降量； b 为承压板的边宽或直径，当 b 大于 2m 时，按 2m 计算。

5) 岩石地基承载力不进行深宽修正。

2 试验点的复合地基承载力特征值可按下列方法确定：

- 1) 当压力-沉降 ($p-s$) 曲线上极限荷载能确定，而其值大于等于对应比例界限的 2.0 倍时，可取比例界限；当其值小于对应比例界限的 2.0 倍时，可取极限荷载的一半；
- 2) 当 ($p-s$) 曲线为平缓的光滑曲线时，可按表 4.4.3-2 对应的相对变形值确定，且所取的承载力特征值不应大于最大试验荷载的一半。有经验的地区可按当地经验确定相对变形值，但原地基土为高压缩性土层时相对变形值的最大值不应大于 0.015。对变形控制严格的工程可按设计要求的沉降允许值作为相对变形值。

表 4.4.3-2 按相对变形值确定复合地基承载力特征值

地基类型	应力主要影响范围地基土特性	承载力特征值对应的变形值 s_0
沉管挤密砂石桩、振冲挤密碎石桩、柱锤冲扩桩、强夯置换墩	以黏性土、粉土、砂土为主的地基	$0.010b$
灰土挤密桩	以黏性土、粉土、砂土为主的地基	$0.008b$
水泥粉煤灰碎石桩、混凝土桩、夯实水泥土桩、树根桩	以黏性土、粉土为主的地基	$0.010b$
	以卵石、圆砾、密实粗中砂为主的地基	$0.008b$

续表 4.4.3-2

地基类型	应力主要影响范围地基土特性	承载力特征值对应的 变形值 s_0
水泥土搅拌桩、旋喷桩	以淤泥和淤泥质土为主的地基	$0.008b \sim 0.010b$
	以黏性土、粉土为主的地基	$0.006b \sim 0.008b$

注: s_0 为与承载力特征值对应的承压板沉降量; b 分别为承压板宽度或直径, 当 b 大于 2m 时, 按 2m 计算。

4.4.4 单位工程的地基承载力特征值确定应符合下列规定:

1 同一土层参加统计的试验点不应少于 3 点, 当其极差不超过平均值的 30% 时, 取其平均值作为该土层的地基承载力特征值;

2 当极差超过平均值的 30% 时, 应分析原因, 结合工程实际判别, 可增加试验点数量。

4.4.5 地基载荷试验应给出每个试验点的承载力检测值和单位工程的地基承载力特征值, 并应评价单位工程地基承载力特征值是否满足设计要求。

4.4.6 浅层平板载荷试验确定地基变形模量, 可按下式计算:

$$E_0 = I_0 (1 - \mu^2) \frac{pb}{s} \quad (4.4.6)$$

式中: E_0 ——变形模量 (MPa);

I_0 ——刚性承压板的形状系数, 圆形承压板取 0.785, 方形承压板取 0.886, 矩形承压板当长宽比 $l/b=1.2$ 时, 取 0.809, 当 $l/b=2.0$ 时, 取 0.626, 其余可计算求得, 但 l/b 不宜大于 2;

μ ——土的泊松比, 应根据试验确定; 当有工程经验时, 碎石土可取 0.27, 砂土可取 0.30, 粉土可取 0.35, 粉质黏土可取 0.38, 黏土可取 0.42;

b ——承压板直径或边长 (m);

p ——（ $p-s$ ）曲线线性段的压力值（kPa）；

s ——与 p 对应的沉降量（mm）。

4.4.7 深层平板载荷试验确定地基变形模量 E_0 ，可按下式计算：

$$E_0 = \omega \frac{pd}{s} \quad (4.4.7)$$

式中： ω ——与试验深度和土类有关的系数，按本标准第 4.4.8 条确定；

d ——承压板直径（m）；

p ——（ $p-s$ ）曲线线性段的压力值（kPa）；

s ——与 p 对应的沉降量（mm）。

4.4.8 与试验深度和土类有关的系数 ω 可按下列规定确定：

1 深层平板载荷试验确定地基变形模量的系数 ω 可根据泊松比试验结果，按下式计算：

$$\omega = I_0 I_1 I_2 (1 - \mu^2) \quad (4.4.8-1)$$

$$I_1 = 0.5 + 0.23 \frac{d}{z} \quad (4.4.8-2)$$

$$I_2 = 1 + 2\mu^2 + 2\mu^4 \quad (4.4.8-3)$$

式中： I_1 ——刚性承压板的深度系数；

I_2 ——刚性承压板与土的泊松比有关的系数；

z ——试验深度（m）。

2 深层平板载荷试验确定地基变形模量的系数 ω 可按表 4.4.8 选用。

表 4.4.8 深层平板载荷试验确定地基变形模量的系数 ω

土类 d/z	碎石土	砂土	粉土	粉质黏土	黏土
0.30	0.477	0.489	0.491	0.515	0.524
0.25	0.469	0.480	0.482	0.506	0.514
0.20	0.460	0.471	0.474	0.497	0.505
0.15	0.444	0.454	0.457	0.479	0.487
0.10	0.435	0.446	0.448	0.470	0.478
0.05	0.427	0.437	0.439	0.461	0.468
0.01	0.418	0.429	0.431	0.452	0.459

4.4.9 检测报告除应满足本标准第 3.6.3 条的规定外，尚应包括下列内容：

- 1 承压板形状及尺寸、试验点的平面位置图、剖面图及标高；
- 2 荷载分级及加载方式；
- 3 本标准第 4.4.1 条要求绘制的曲线及对应的数据表；
- 4 承载力特征值判定依据；
- 5 每个试验点的承载力检测值；
- 6 单位工程的承载力特征值。

5 原位测试

5.1 一般规定

5.1.1 原位测试包括标准贯入试验、圆锥动力触探试验、静力触探试验、十字板剪切试验、旁压试验、波速测试等方法。

5.1.2 检测方法及数量应符合下列规定：

1 标准贯入试验、圆锥动力触探试验、静力触探试验、十字板剪切试验应根据地基岩土性状选择一种或一种以上的方法对天然地基、复合地基以外的人工地基进行检测。每 300m^2 不应少于 1 个点，单位工程检测数量不少于 10 个点。当单位工程检测面积超过 3000m^2 时，超过部分每 500m^2 不应少于 1 个点；

2 散体材料复合地基增强体密实度可选择标准贯入试验、圆锥动力触探试验等进行检测，检测数量不应少于总桩（墩）数的 2%，且不少于 6 个点；

3 强夯置换处理地基墩体质量和着底情况可采用超重型或重型圆锥动力触探试验等进行检测，检测数量不应少于墩点数的 3%，且不应少于 6 个点；

4 对具有较强挤密、扰动作用的复合地基桩间土或强夯置换墩间土进行检测时，可采用标准贯入试验、圆锥动力触探试验、静力触探试验，检测数量不应少于总桩（墩）数的 2%，且不应少于 10 个点；

5 当设计有需要时，对于扰动、挤密作用较小的复合地基桩间土进行检测时，可采用标准贯入试验、圆锥动力触探试验、静力触探试验等一种或一种以上的方法，检测数量应按本条第 1 款规定确定；

6 预压地基质量检验应在卸载 3d~5d 后进行。对于堆载斜坡处应增加检测数量；

7 对于水泥为主剂的注浆法加固质量检测，应在注浆结束 28 天后进行，可采用标准贯入或圆锥动力触探等方法检测加固土体的均匀性，检测数量不应少于注浆孔数的 2%~5%，且不应少于 6 个点。基坑支护工程单位工程抽检数量每 200m² 不应少于 1 个点，且总数不应少于 6 个点；

8 对于消除液化的人工地基检测，应采用标准贯入试验进行检测，检测深度应穿透消除液化的目的粉（砂）土层。当消除液化采用强夯处理措施时，检测数量为每 100m² 不应少于 1 个点，且不应少于 10 个点。当采用振冲碎石桩、沉管砂石桩时，检测数量不应少于总桩数的 2%，且不应少于 10 个点；

9 旁压试验孔及试验段或试验点的数量应根据工程需要确定，每个建设场地或同一地质单元试验孔不应少于 3 个，每一主要土层试验段或试验点不应少于 6 个；

10 水泥土搅拌桩成桩 3d 内施工质量检验，可采用轻型动力触探(N₁₀)检查上部桩身的均匀性，检测数量不应少于总桩数的 1%，且不应少于 3 根。柱锤冲扩桩复合地基在施工结束后 7d~14d 可采用重型动力触探或标准贯入试验对桩身进行抽样检验，检测数量不应少于总桩数的 2%，且不应少于 6 根。

5.2 标准贯入试验

5.2.1 标准贯入试验适用于以下地基检测：

- 1** 确定砂土、粉土、黏性土性状；
- 2** 判定由砂土、粉土、黏性土构成的天然地基或人工地基的地基承载力、变形参数；
- 3** 评价地基处理效果；
- 4** 评价复合地基增强体的施工质量；
- 5** 判别饱和砂土、饱和粉土液化及液化级别。

5.2.2 仪器设备

1 标准贯入试验设备规格应符合表 5.2.2 的规定。

表 5.2.2 标准贯入试验设备规格

落锤		锤的质量（kg）	63.5±0.5
		落距（cm）	76±2
贯入器	对开管	长度（mm）	>500
		外径（mm）	51
		内径（mm）	35
	管靴	长度（mm）	50~76
		刃口角度（°）	18~20
		刃口单刃厚度（mm）	1.6
钻杆		直径（mm）	42
		相对弯曲	<1/1000

注：穿心锤导向杆应平直，保持润滑，相对弯曲<1/1000。

2 标准贯入试验设备应采用自动脱钩的自由落锤方式。

3 标准贯入试验所用穿心锤质量、钻杆和穿心锤导向杆相对弯曲度应定期进行标定。使用前应对管靴刃口的完好性、钻杆相对弯曲、穿心锤导向杆相对弯曲及表面的润滑程度等进行检查，确保设备与机具完好。

5.2.3 现场检测

1 标准贯入试验平面布设应符合下列规定：

- 1) 测试点应在检测区域均匀布置，并应具有代表性；
- 2) 复合地基桩间土测试点应布置在桩间等边三角形或正方形的中心；复合地基竖向增强体测试点宜布置在增强体中心；有检测加固土体强度变化等特殊要求时，可布置在离加固体边沿不同距离处，且测试点宜布置在加固体中心和桩间等边三角形或正方形中心点的连线上；
- 3) 评价地基处理效果和消除液化的处理效果时，处理前后的测试点位置宜相近，并应保证处理前后的测试点中心

水平距离不应小于 1.0m。

2 标准贯入试验的检测深度除应满足设计要求外，且应符合下列规定：

- 1) 天然地基的检测深度应达到主要受力层深度以下，且不少于基础底板埋深以下 5m；
- 2) 人工地基的检测深度应穿透人工地基底部至少 0.5m；
- 3) 复合地基桩间土及增强体检测深度应超过竖向增强体底部至少 0.5m；
- 4) 用于评价地基液化时，检测深度应符合现行国家标准《建筑抗震设计规范》GB 50011 的相关规定。

3 标准贯入试验孔应采用回转钻进，并保持孔内水位略高于地下水位。当孔壁不稳定时，可用泥浆护壁，在泥浆护壁不能保持孔壁稳定时，宜下套管护壁，试验点深度应在套管底端 75cm 以下。试验时钻至试验点深度以上 15cm 处，清除孔底残土后换用标准贯入器再进行试验。

4 标准贯入试验锤击速率应小于 30 击/min。试验时，应保持贯入器、探杆、导向杆连接后的垂直度，避免锤击偏心和侧向晃动，并采取涂抹润滑油等措施减小导向杆与锤间的摩阻力。

5 标准贯入试验应符合下列规定：

- 1) 先将贯入器打入土中 15cm，并记录预打锤击数；
- 2) 再记录每打入 10cm 的锤击数，累计打入 30cm 的锤击数为标准贯入试验实测锤击数 N ；
- 3) 当锤击数已达 50 击，而贯入深度未达 30cm 时，可记录 50 击的总贯入深度，按下式换算标准贯入试验实测锤击数 N ，并终止试验。

$$N = 30 \frac{50}{\Delta s} \quad (5.2.3)$$

式中： N ——标准贯入试验实测锤击数；

Δs ——50 击的总贯入深度（cm）。

6 贯入器拔出后，应对贯入器中的土样进行鉴别描述，当标准贯入试验目的是进行饱和粉土、饱和砂土液化判定，则应采取标贯器下部不少于 300g 的扰动土样送实验室进行颗粒分析试验。

7 标准贯入试验点的竖向测试间距应根据测试目的、地层情况、相关规范要求等综合确定，测试间距宜为 1.0m。

8 标准贯入试验数据可按本标准表 C.1.1 的格式记录。

5.2.4 检测数据分析与判定

1 当确定地基承载力特征值时宜采用标准贯入试验修正锤击数 N' ；当判别饱和砂土、饱和粉土液化时，应采用标准贯入试验实测锤击数；当鉴别岩土性状时可采用标准贯入试验实测锤击数 N 或标准贯入试验修正锤击数 N' 。当作杆长修正时，锤击数应按下式进行钻杆长度修正：

$$N' = \alpha N \tag{5.2.4-1}$$

式中： N' ——标准贯入试验修正锤击数；

N ——标准贯入试验实测锤击数；

α ——触探杆长度修正系数，可按表 5.2.4-1 确定。

表 5.2.4-1 标准贯入试验触探杆长度修正系数

触探杆长度 (m)	≤ 3	6	9	12	15	18	21
α	1.00	0.92	0.86	0.81	0.77	0.73	0.70

2 对于天然地基、人工地基和复合地基增强体，标准贯入试验结果应提供每个检测孔的标准贯入试验实测锤击数 N 与土层分类、深度的关系曲线或直方图，有需要时可提供每个检测孔的标准贯入试验修正锤击数 N' 与土层分类、深度的关系曲线或直方图。

3 对检测数据进行统计分析时，应剔除异常值。各分层土的标准贯入锤击数代表值应取每个检测孔不同深度的标准贯入试验锤

击数的平均值。

4 单位工程同一分类土层的标准贯入试验实测锤击数标准值和试验修正锤击数标准值，应按本标准附录 D 的统计计算方法确定。

5 砂土、粉土岩土性状可根据标准贯入试验实测锤击数的平均值按下列规定进行评价：

1) 砂土的密实度可按表 5.2.4-2 分为松散、稍密、中密、密实。

表 5.2.4-2 砂土的密实度分类

标准贯入试验实测锤击数 N 平均值	密实度
$N \leq 10$	松散
$10 < N \leq 15$	稍密
$15 < N \leq 30$	中密
$N > 30$	密实

2) 粉土的密实度可按表 5.2.4-3 分为稍密、中密、密实。

表 5.2.4-3 粉土的密实度分类

标准贯入试验实测锤击数 N 平均值	密实度
$N \leq 12$	稍密
$12 < N \leq 18$	中密
$N > 18$	密实

6 初步确定地基土承载力特征值时，可根据标准贯入试验修正锤击数标准值 N'_k ，按表 5.2.4-4、表 5.2.4-5 的规定进行确定。

表 5.2.4-4 砂土承载力特征值 f_{ak}

N'_k 土类	10~15	15~30	>30
中、粗砂	180~250	250~340	340~500
粉、细砂	140~180	180~250	250~340

注：分布沟、洼地、古运河及河漫地段的新近沉积土，根据实测或经验取值。

表 5.2.4-5 粉土、黏性土承载力特征值 f_{ak}

N'_k	3	5	7	9	11	13	15	17	19	21	23
f_{ak} (kPa)	105	145	190	235	280	325	370	430	515	600	680

7 根据标准贯入试验实测锤击数,可参照下式估算对于一般沉积黏性土的压缩模量:

$$E_{S_{1-2}} = A + BN \quad (5.2.4-2)$$

式中: $E_{S_{1-2}}$ ——土的压缩模量 (MPa);

N ——标准贯入试验实测锤击数;

A 、 B ——常数, 其中 $A=4.6\text{MPa}$, $B=0.21\text{MPa/击}$ 。

注: 式 (5.2.4-2) 适用于 $N=3$ 击~15 击。

8 地基处理效果可根据处理前后的试验数据进行对比评价。判定处理后的饱和粉土、饱和砂土液化应按现行国家标准《建筑抗震设计规范》GB 50011 的有关规定执行。

9 复合地基增强体的施工质量应按单桩进行评价,可根据检测孔的标准贯入试验实测锤击数对增强体的均匀性和密实程度进行评价。

5.2.5 检测报告除应满足本标准第 3.6.3 条的规定外, 尚应包括下列内容:

- 1 标准贯入锤击数及土层分类与深度关系曲线;
- 2 每个检测孔同一分类土层的标准贯入试验锤击数的平均值;
- 3 同一分类土层的标准贯入试验实测锤击数标准值;
- 4 岩土性状分析或地基处理效果评价;
- 5 复合地基竖向增强体施工质量或桩间土处理效果评价;
- 6 对天然地基、人工地基检测时,可根据地区经验或现场对比试验结果提供土层变形参数和地基承载力特征值。

5.3 圆锥动力触探试验

5.3.1 适用范围

1 圆锥动力触探试验可用于鉴别天然地基的岩土性状,判定其地基承载力;评价人工地基的地基处理效果,判定其地基承载力;评价复合地基增强体的施工质量;评价强夯置换墩着底情况。

2 按表 5.3.1 地基类型选择适当的试验方法。

表 5.3.1 圆锥动力触探试验方法与地基类型对应表

试验方法	地基类型
轻型圆锥动力触探试验	黏性土、粉土、粉砂、细砂等地基及人工地基
重型圆锥动力触探试验	黏性土、粉土、砂土、中密以下的碎石土、人工地基以及极软岩等地基;换填压实、夯实地基;水泥土搅拌桩、旋喷桩等复合地基增强体
超重型圆锥动力触探试验	密实碎石土、极软岩、软岩等地基及其换填夯实地基

5.3.2 仪器设备

1 圆锥动力触探试验的设备规格应符合表 5.3.2 的规定。

表 5.3.2 圆锥动力触探试验设备规格

类型		轻型	重型	超重型
落锤	锤的质量 (kg)	10.0±0.2	63.5±0.5	120±1
	落距 (cm)	50±2	76±2	100±2
探头	直径 (mm)	40	74	74
	锥角 (°)	60	60	60
探杆直径 (mm)		25	42	50~60
贯入指标	深度 (cm)	30	10	10
	锤击数	N_{10}	$N_{63.5}$	N_{120}

2 重型及超重型圆锥动力触探试验的落锤应采用自动脱钩装置。

3 探杆应顺直,每节探杆相对弯曲宜小于 0.5%,丝扣完好无裂纹。

5.3.3 现场检测

1 圆锥动力触探试验平面布设应符合本标准第 5.2.3 条第 1 款第 1、2 项的规定，在评价强夯置换墩着底情况时，测试点位置宜选择在置换墩中心。

2 圆锥动力触探检测深度除应满足设计要求外，且应符合下列规定：

- 1) 天然地基检测深度应达到主要受力层深度以下；
- 2) 人工地基检测深度应穿透人工地基地部至少 0.5m；
- 3) 复合地基增强体及桩间土检测深度应超过竖向增强体底部至少 0.5m；
- 4) 当检测深度不能满足本条第 1、2 项规定时，应执行下列规定：当有硬夹层时，宜穿过硬夹层后继续试验；当连续三次轻型圆锥动力触探贯入 30cm 锤击数超过 100 击时，应改用重型圆锥动力触探继续进行试验；当连续三次重型圆锥动力触探贯入 10cm 锤击数大于 50 击时，应改用超重型圆锥动力触探继续进行试验；
- 5) 当少数检测孔的检测深度不能满足本条第 1、2 项的规定时，应在原检测孔附近重新选点进行试验；当多数检测孔的检测深度不能满足本条第 1、2 项的规定时，应重新选择其他检测方法。

3 圆锥动力触探试验应采用自由落锤。

4 应连续锤击贯入，锤击速率宜为 15 击/min~30 击/min。

5 试验时，地面上触探杆高度不宜超过 1.5m，应避免锤击偏心、探杆倾斜和侧向晃动，触探杆倾斜度不应超过 2%。

6 每贯入 1m，应将探杆转动一圈半；当贯入深度超过 10m，每贯入 20cm 宜转动触探杆一次。

7 应及时记录试验点深度和锤击数；轻型圆锥动力触探记录每贯入 30cm 的锤击数（记为 N_{10} ）；重型圆锥动力触探记录每贯入 10cm 的锤击数（记为 $N_{63.5}$ ）；超重型圆锥动力触探记录每贯入 10cm

的锤击数（记为 N_{120} ）。

8 当探头直径磨损大于 2mm 或锥尖高度磨损大于 5mm 时，应及时更换探头。

9 圆锥动力触探试验数据可按本标准表 C.1.2 的格式记录。

5.3.4 检测数据分析与判定

1 检测数据进行分析处理时，应剔除异常值；轻型圆锥动力触探试验采用实测锤击数，重型和超重型圆锥动力触探试验应根据目的采用实测锤击数或采用修正锤击数，重型和超重型圆锥动力触探试验修正锤击数应符合本标准附录 E 的规定。

2 对于每个检测孔，圆锥动力触探试验结果应绘制圆锥动力触探锤击数与试验深度关系曲线图表。

3 计算单孔分层贯入指标平均值，应剔除临界深度以内的数值以及超前和滞后影响范围内的异常值。

4 应根据不同深度的动力触探锤击数，采用平均值法计算每个检测孔各层土的动力触探锤击数平均值。当同一检测孔同时采用不同类型圆锥动力触探试验时，应分别计算其平均值。

5 应根据各孔分层的贯入指标，采用本标准附录 D 的统计方法计算场地分层贯入指标平均值、标准值和变异系数等。当同一场地同时有不同类型圆锥动力触探试验时，应分别计算场地分层贯入指标平均值、标准值和变异系数。

6 地基土的岩土性状、地基处理的施工效果可根据单位工程各检测孔的圆锥动力触探锤击数、同一土层的圆锥动力触探锤击数统计值、变异系数进行评价。地基处理的施工效果宜根据处理前后的检测结果进行对比评价。

7 当采用圆锥动力触探试验锤击数评价复合地基竖向增强体的施工质量时，宜仅对单个增强体的试验结果进行统计和评价。

8 一般黏性土、粉土及其组成的素填土地基承载力特征值，可根据同一分类土层的轻型圆锥动力触探锤击数 N_{10} ，按表 5.3.4-1 和

表 5.3.4-2 的规定进行确定。

表 5.3.4-1 粉土、黏性土地基承载力特征值 f_{ak}

N_{10}	15	20	25	30
f_{ak} (kPa)	105	145	190	230

表 5.3.4-2 素填土地基承载力特征值 f_{ak}

N_{10}	15	20	30	40
f_{ak} (kPa)	85	115	135	160

注：本表适用于堆填时间超过 10 年的黏性土及超过 5 年的粉土。

9 评价碎石土密实时，可根据同一分类土层重型或超重型圆锥动力触探试验修正锤击数值，按表 5.3.4-3 和表 5.3.4-4 的规定进行评价。

表 5.3.4-3 碎石土密实度按 $N_{63.5}$ 分类

$N_{63.5}$	$N_{63.5} \leq 5$	$5 < N_{63.5} \leq 10$	$10 < N_{63.5} \leq 20$	$N_{63.5} > 20$
密实度	松散	稍密	中密	密实

注：本表适用于平均粒径等于或小于 50mm，且最大粒径小于 100mm 的碎石土。对于平均粒径大于 50mm，或最大粒径大于 100mm 的碎石土，可用超重型圆锥动力触探。

表 5.3.4-4 碎石土密实度按 N_{120} 分类

N_{120}	$N_{120} \leq 3$	$3 < N_{120} \leq 6$	$6 < N_{120} \leq 11$	$11 < N_{120} \leq 14$	$N_{120} > 14$
密实度	松散	稍密	中密	密实	很密

5.3.5 检测报告除应满足本标准第 3.6.3 条的规定外，尚应包括下列内容：

- 1 圆锥动力触探锤击数与贯入深度关系曲线图（表）；
- 2 每个检测孔的同一分类土层的圆锥动力触探锤击数平均值；
- 3 同一分类土层的圆锥动力触探锤击数的标准值、变异系数等；
- 4 提供下列试验要求的试验结果：
 - 1) 评价地基土的密实程度和均匀性；
 - 2) 评价复合地基竖向增强体的施工质量；
 - 3) 结合对比试验结果和地区经验确定地基土承载力特征值和

变形模量。

5.4 静力触探试验

5.4.1 静力触探试验适用于判定软土、一般黏性土、粉土、砂土及含少量碎石的土的天然地基及采用换填、预压、压实、挤密、夯实处理的人工地基的地基承载力和变形参数，评价地基处理效果。

5.4.2 仪器设备

1 静力触探可根据工程需要采用单桥触探头、双桥触探头或多功能探头，采用单桥触探头时应测定比贯入阻力，采用双桥触探头时应测定锥尖阻力和侧壁摩阻力。

2 单桥触探头和双桥触探头的规格应符合表 5.4.2 的规定，且触探头的外形尺寸和结构应符合下列规定：

- 1) 锥头与摩擦筒应同心；
- 2) 双桥触探头锥头等直径部分的高度，不应超过 3mm，摩擦筒与锥头的间距不应大于 10mm。

表 5.4.2 单桥和双桥静力触探头规格

锥底截面积 (cm ²)	锥底直径 (mm)	锥角 (°)	单桥触探头	双桥触探头	
			有效侧壁长度 (mm)	摩擦筒表面积 (cm ²)	摩擦筒长度 (mm)
10	35.7	60	57	150	133.7
				200	178.4
15	43.7	60	70	300	218.5

3 静力触探的贯入设备、探头、记录仪和传送电缆应作为整个测试系统按要求进行定期检定、校准或率定。率定方法应符合本标准附录 F 的规定。

4 触探主机应满足下列要求：

- 1) 应能匀速贯入，贯入速率为 (1.2±0.3) m/min，当使用孔压探头触探时，宜有保证贯入速率 1.2m/min 的控制装置；

- 2) 贯入和起拔时, 施力作用线应垂直机座基准面, 垂直度应小于 $30'$;
 - 3) 额定起拔力不应小于额定贯入力的 120%。
- 5 静力触探试验记录仪器的性能指标应满足下列要求:
- 1) 仪器显示的有效最小分度值不应大于 0.05%FS;
 - 2) 仪器按要求预热后, 时漂应小于 0.1%FS/h, 温度漂移误差应小于 0.01%FS/°C;
 - 3) 工作环境温度应为 -10°C ~ +45°C;
 - 4) 记录仪和电缆用于多功能探测触探时, 应保证各传输信号互不干扰。
- 6 探头的技术性能应满足下列要求:
- 1) 在额定荷载下, 检测总误差不应大于 3%FS, 其中非线性误差、重复性误差、滞后误差、归零误差均应小于 1%FS;
 - 2) 绝缘电阻不小于 500MΩ;
 - 3) 探头在工作状态下, 各部传感器的互扰值应小于本身额定测值的 0.3%;
 - 4) 双桥探头的两组桥路应互不干扰; 触探过程中, 上提触探头时, 两个传感器均应处于不受力状态; 摩擦筒应滑动灵活, 不因侧向受力而被卡住;
 - 5) 探头应能在温度为 -10°C ~ +45°C 条件下正常工作, 由于温度漂移而产生的量程误差, 可按下式计算, 不应超过满量程的 $\pm 1\%$:

$$\frac{\Delta V}{V} = \eta \Delta t \quad (5.4.2)$$

式中: ΔV ——温度变化所引起的误差 (mV);

V ——全量程的输出电压 (mV);

Δt ——触探过程中气温与地温引起触探头的最大温差 (°C);

η ——温飘系数，一般采用 0.0005/°C。

7 静力触探试验的数据传输线应采用屏蔽电缆，双桥触探头两组桥路的数据传输线宜分别屏蔽。

8 探杆直径应小于触探头的锥底直径；探杆应顺直，每节探杆轴线的直线度误差应小于 0.1%，丝扣完好无裂纹。

9 探头存储应配备防潮、防震的专用探头箱（盒），并应存放于干燥、阴凉的处所。

5.4.3 现场检测

1 静力触探测试点应根据工程地质分区或加固处理分区均匀布置，并应具有代表性；当评价地基处理效果时，处理前后的测试点位置宜相近，并应保证处理前后的测试点中心距离不应小于 1.0m。

2 静力触探测试深度除应满足设计要求外，尚应按下列规定执行：

- 1) 天然地基检测深度应达到主要受力层深度以下，且不少于基础底板埋深以下 5m；
- 2) 人工地基检测深度应穿透人工地基底部至少 0.5m；
- 3) 复合地基桩间土检测深度应超过竖向增强体底部至少 0.5m。

3 静力触探试验设备的安装应符合下列规定：

- 1) 检测孔及静力触探设备反力装置应避开地下电缆、管线及其他地下设施；
- 2) 应根据检测深度和表面土层的性质，选择合适的反力装置；
- 3) 静力触探设备安装应平稳、牢固。

4 应根据探测深度范围内土层性质和预估静力触探试验贯入阻力，选择分辨率及测试量程合适的静力触探头。

5 静力触探试验现场操作应符合下列规定：

- 1) 现场记录仪器应与率定触探头时的记录仪器相同;
 - 2) 贯入前, 应对触探头进行试压, 检查顶柱、锥头、摩擦筒可正常工作;
 - 3) 装卸触探头时, 不应转动触探头;
 - 4) 先将触探头贯入土中 $0.5\text{m}\sim 1.0\text{m}$, 然后提升 $5\text{cm}\sim 10\text{cm}$, 待量测仪器无明显零位漂移时, 记录初始读数或调整零位, 方能开始正式贯入;
 - 5) 触探的贯入速率应控制在 $(1.2\pm 0.3)\text{m/min}$ 范围内; 在同一检测孔的试验过程中宜保持匀速贯入;
 - 6) 当贯入深度超过 30m , 或穿过厚层软土后再贯入硬土层或密实砂层时, 应采取措施防止孔斜或断杆, 也可配置测斜探头, 测量触探孔的偏斜角, 校正土层界线的深度;
 - 7) 深度记录的误差不应超过触探深度的 $\pm 1\%$ 。
- 6 静力触探试验记录应符合下列规定:**
- 1) 贯入过程中, 在深度 10m 以内可每隔 $2\text{m}\sim 3\text{m}$ 提升探头一次, 测读零漂值, 调整零位; 以后每隔 10m 测读一次; 终止试验时, 必须测读和记录零漂值;
 - 2) 测读和记录贯入阻力的测试点间距宜为 0.1m , 同一检测孔的试验点间距应保持不变;
 - 3) 应及时核对实际孔深与记录深度的偏差; 当有明显偏差时, 应立即查明原因, 采取纠正措施;
 - 4) 应及时准确记录贯入过程中发生的各种异常或影响正常贯入的情况, 当可能影响测试数据的准确性时, 应立即停止施工并采取纠正措施。
- 7 当出现下列情况之一时, 应终止试验:**
- 1) 达到试验要求的贯入深度;
 - 2) 触探头的贯入阻力达到额定荷载值;
 - 3) 反力装置失效;

4) 静力触探孔倾斜度大于 10° 。

8 试验完成后, 触探头应及时起拔, 并清洗干净, 妥善保存, 不应使触探头暴晒。不得用电缆线提拉触探头。

9 静力触探试验数据可按本标准表 C.1.3 的格式记录。

5.4.4 检测数据分析与判定

1 试验数据的处理应符合下列规定:

- 1) 当出现零位漂移超过满量程的 $\pm 1\%$ 且小于 $\pm 3\%$ 时, 可按线性内插法校正;
- 2) 当记录曲线上出现脱节现象时, 应将停机前记录与重新开机后贯入 10cm 深度的记录连成圆滑的曲线;
- 3) 当记录深度与实际深度的误差超过 $\pm 1\%$ 时, 可在出现误差的深度范围内等距离调整。

2 单桥触探头的比贯入阻力, 双桥触探头的锥尖阻力、侧壁摩阻力及摩阻比, 应分别按下式计算:

$$p_s = K_p (\varepsilon_p - \varepsilon_0) \quad (5.4.4-1)$$

$$q_c = K_q (\varepsilon_q - \varepsilon_0) \quad (5.4.4-2)$$

$$f_s = K_f (\varepsilon_f - \varepsilon_0) \quad (5.4.4-3)$$

$$R_f = \frac{f_s}{q_c} \times 100\% \quad (5.4.4-4)$$

式中: p_s ——单桥触探头的比贯入阻力 (kPa);

q_c ——双桥触探头的锥尖阻力 (kPa);

f_s ——双桥触探头的侧壁摩阻力 (kPa);

R_f ——摩阻比 (%);

K_p ——单桥触探头率定系数 (kPa/ $\mu\varepsilon$);

K_q ——双桥触探头的锥尖阻力率定系数 (kPa/ $\mu\varepsilon$);

K_f ——双桥触探头的侧壁摩阻力率定系数 (kPa/ $\mu\varepsilon$);

ε_p ——单桥触探头的比贯入阻力应变量 ($\mu\varepsilon$);

ε_q ——双桥触探头的锥尖阻力应变变量 ($\mu\varepsilon$) ;

ε_f ——双桥触探头的侧壁摩阻力应变变量 ($\mu\varepsilon$) ;

ε_0 ——触探头的初始读数或零读数应变变量 ($\mu\varepsilon$) 。

3 对于每个检测孔,采用单桥触探头时应整理并绘制比贯入阻力与深度的关系曲线,采用双桥触探头时应整理并绘制锥尖阻力、侧壁摩阻力、摩阻比与深度的关系曲线。

4 采用静力触探测试指标进行土层力学分层时,采用单桥触探头测试时,应根据比贯入阻力与深度的关系曲线进行分层;当采用双桥触探头测试时,应以锥尖阻力与深度的关系曲线为主,结合侧壁摩阻力及摩阻比与深度的关系曲线进行分层。

划分土层力学分层界线时,应考虑贯入阻力曲线中的超前和滞后现象,宜以超前和滞后的中点作为分界点。

5 土层分类可按图 5.4.4 结合钻孔资料综合确定,对落在分类界限附件的点,应根据表 5.4.4-1 所列静力触探试验曲线特征进一步判别。

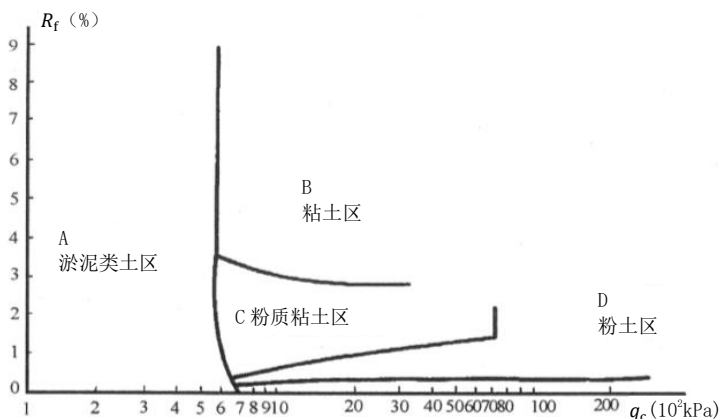


图 5.4.4 静力触探试验判定地基土类别

q_c —锥尖阻力 (10^2kPa) ; R_f —摩阻比(f_s/q_c) $\times 100\%$ (%) ; f_s —侧壁摩阻力 (kPa)

表 5.4.4-1 不同类别地基土静力触探试验曲线特征

土类名称	q_c (10^2kPa)	R_f (%)	曲线特征
填土	—	—	线形复杂，呈奇特尖刀状，且无明显规律
地表硬壳层	—	—	($q_c - h$) 曲线开始突出，随深度加大，很快收敛到正常土层的规律
淤泥类土	<7	$0.5\sim 5.0$	($q_c - h$)、($f_s - h$) 曲线近似直线，随深度加大，两曲线平行递增，强度稍大土层的 ($q_c - h$)、($f_s - h$) 曲线呈钝齿或小峰状，($f_s - h$) 曲线呈微波状
黏土	$6\sim 25$	$3.0\sim 5.0$	($q_c - h$)、($f_s - h$) 曲线均为圆滑、平缓的连续曲线，或呈粗钝齿状
粉质黏土	$6\sim 70$	$0.5\sim 3.0$	($q_c - h$)、($f_s - h$) 曲线稍有起伏，有少量尖齿
粉土	$7\sim 170$	$0.3\sim 1.5$	两曲线均呈密集尖峰状，且同步、靠拢
砂土	$7\sim 300$	$<0.3\sim 0.5$	两曲线呈现多尖峰状，峰值变化剧烈

注：($q_c - h$)、($f_s - h$) 曲线，分别为锥尖阻力 q_c 和侧壁摩阻力 f_s 随深度 h 的变化曲线。

6 应分层计算每个检测孔的锥尖阻力、侧壁摩阻力或比贯入阻力平均值。单位工程同一分类土层的锥尖阻力、侧壁摩阻力或比贯入阻力的标准值，应采用各检测孔同一分类土层所有检测数据按附录 D 的统计计算方法确定。统计计算时，应剔除临界深度以内的数值、超前和滞后影响范围内的异常值。

7 根据静力触探测试结果，可按表 5.4.4-2 估算地基承载力特征值。

表 5.4.4-2 静力触探试验估算 f_{ak}

q_c R_r	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70	80	90	100	110	120	130	140	150	160	170
5.0	74	86	97	107	116	124	131	137	142	146	149	151	152	160	168																			
4.5	73	85	96	106	115	123	130	136	141	145	148	150	151	159	167																			
4.0	72	84	95	105	114	122	129	135	140	144	147	149	151	159	166																			
3.5	71	83	94	104	113	121	128	134	139	143	146	148	150	158	165																			
3.0	70	82	93	103	112	120	127	133	138	142	145	147	149	157	164	171	177	182	186	189														
2.5	69	81	92	102	111	119	126	132	137	141	144	146	148	156	163	169	174	179	183	187	191	194	196	198										
2.0	68	80	91	101	110	118	125	131	136	140	143	145	147	155	162	168	173	178	182	186	190	193	195	197	201	205	208	211	214	217	219	221	223	225
1.5	65	77	87	97	105	113	120	125	129	133	135	137	138	145	151	156	161	166	170	173	177	180	182	184	188	192	195	198	201	203	205	207	209	211
1.1	64	75	85	95	103	110	117	122	126	129	131	133	134	140	145	150	155	160	164	167	170	173	176	179	183	187	190	193	196	199	201	203	205	207
0.8	63	74	84	93	101	108	114	119	123	126	128	129	130	135	140	145	150	154	158	161	164	167	170	172	176	180	183	186	189	192	194	196	198	200
0.5	62	73	83	92	100	107	113	118	122	125	127	128	129	134	139	144	149	153	157	160	163	166	169	171	175	179	182	185	188	191	193	195	197	199
0.3	61	72	82	91	99	106	112	117	121	124	126	127	128	133	138	143																		

注：1 f_{ak} —土层承载力特征值 (kPa)； q_c —锥尖阻力 (10^3 kPa)； R_r —摩阻比(f_s/q_c) $\times$ 100% (%)； f_s —侧摩阻力 (10^2 kPa)； A —淤泥类土区； B —黏土区； C —粉质黏土区； D —粉土区；
2 表中 q_c 、 f_s 采用平均值；
3 表中数值可内插。

8 根据静力触探测试成果，可按表 5.4.4-3 估算地基土压缩模量，用以估算荷载较小的建筑物地基沉降。

表 5.4.4-3 静力触探试验估算 Es_{1-2}

q_c	R_f	Es_{1-2}	q_c	R_f	Es_{1-2}	q_c	R_f	Es_{1-2}
3	5.0~0.3	2.2~2.5	13	5.0~0.3	5.7~6.0	55	2.5~0.5	11.8~12.2
4	5.0~0.3	2.9~3.2	14	5.0~0.3	5.8~6.2	60	2.5~0.5	12.4~12.8
5	5.0~0.3	3.5~3.8	15	5.0~0.3	5.9~6.3	65	2.5~0.5	13.0~13.4
6	5.0~0.3	4.0~4.3	20	5.0~0.3	6.7~7.2	70	2.5~0.5	13.6~14.0
7	5.0~0.3	4.4~4.7	25	5.0~0.3	7.5~8.0	80	2.0~0.5	14.9~15.3
8	5.0~0.3	4.7~5.0	30	3.0~0.3	8.4~8.8	90	2.0~0.5	16.2~16.6
9	5.0~0.3	4.9~5.2	35	3.0~0.5	9.1~9.6	110	2.0~0.5	18.8~19.1
10	5.0~0.3	5.1~5.4	40	3.0~0.5	9.8~10.3	130	2.0~0.5	21.4~21.6
11	5.0~0.3	5.3~5.6	45	3.0~0.5	10.5~11.0	150	2.0~0.5	24.0~24.2
12	5.0~0.3	5.5~5.8	50	3.0~0.5	11.1~11.6	170	2.0~0.5	26.6~26.7

注：1 Es_{1-2} —压缩模量（MPa）； q_c —锥尖阻力（ 10^2kPa ）； f_s —侧摩阻力（ 10^2kPa ）； R_f —摩阻比（ f_s/q_c ） $\times 100\%$ （%）。

2 表中数值可内插。

9 静力触探试验应给出每个试验孔的检测结果和单位工程的主要土层的检测评价结果。

5.4.5 检测报告除应满足本标准第 3.6.3 条的规定外，尚应包括下列内容：

1 锥尖阻力、侧壁摩阻力、摩阻比随深度的变化曲线，或比贯入阻力随深度的变化曲线；

2 每个检测孔同一分类土层的锥尖阻力、侧壁摩阻力或比贯入阻力的单孔平均值；

3 同一分类土层的锥尖阻力、侧壁摩阻力或比贯入阻力平均值或标准值；

4 结合比对试验结果和地区经验的地基土层变形模量和承载力特征值；

5 对检测地基处理加固效果的工程，应提供处理前后的锥尖阻

力、侧壁摩阻力或比贯入阻力的对比曲线。

5.5 十字板剪切试验

5.5.1 十字板剪切试验适用于测定饱和软黏性土天然地基、人工地基的不排水抗剪强度和灵敏度，可推定原状土与人工地基的地基承载力，检验原状土地基质量和桩间土加固效果。

5.5.2 仪器设备

1 十字板剪切试验设备可分为机械式和电测式，主要由十字板头、记录仪、探杆与贯入设备等组成。

2 十字板剪切仪的设备参数及性能指标应符合表 5.5.2-1～表 5.5.2-4 的规定。

表 5.5.2-1 十字板头主要技术参数

板宽 <i>B</i> (mm)	板高 <i>H</i> (mm)	板厚 (mm)	刃角 (°)	轴杆直径 (mm)	面积比 (%)
50	100	2	60	13	14
75	150	3	60	16	13

表 5.5.2-2 扭力测量设备主要技术指标

扭矩测量范围 (<i>N·m</i>)	扭矩测量范围 (°)	扭转速率 (γ /min)
0~80	0~360	6~12

表 5.5.2-3 电测式十字板剪切仪的扭力传感器性能指标

检测总误差	传感器出厂时的 对地绝缘电阻	现场试验传感器 对地绝缘电阻	传感器护套 外径
不应大于 3%FS (其中非线性误差、重复性误差、滞后误差、归零误差均应小于 1%FS)	不应小于 500M Ω (在 300kPa 水压下恒压 1h 后, 绝缘电阻应大于 300M Ω)	$\geq 200\text{M}\Omega$	不宜大于 20mm

表 5.5.2-4 电测式十字板记录仪性能指标

时漂	温漂	有效最小分度值
应小于 0.1%FS/h	应小于 0.01%FS/℃	应小于 0.06%FS

3 加载设备可利用地锚反力系统、静力触探加载系统或其他加

压系统。

4 十字板头、记录仪、探杆、电缆等应作为整个测试系统按要求进行定期检定、校准或率定。

5 现场量测仪器应与探头率定时使用的量测仪器相同，信号传输线应采用屏蔽电缆。

5.5.3 现场检测

1 场地和仪器设备安装应符合下列规定：

- 1) 检测孔位应避开地下电缆、管线及其他地下设施；
- 2) 检测孔位场地应平整；
- 3) 试验过程中，机座应始终处于水平状态；地表水体下的十字板剪切试验，应采取必要措施，保证试验孔和探杆的垂直度。

2 机械式十字板剪切试验操作应符合下列规定：

- 1) 十字板头与钻杆应逐节连接并拧紧；
- 2) 十字板插入至试验深度后，应静止 2min~3min，方可开始试验；
- 3) 扭转剪切速率宜采用 6 %min~12 %min，并应在 2min 内测得峰值强度；测得峰值或稳定值后，继续测读 1min，以便确认峰值或稳定值；
- 4) 需要测定重塑土抗剪强度时，应在峰值强度或稳定值测试完毕后，按顺时针扭转方向连续转动 6 圈后，再按本款第 3 项测定重塑土的不排水抗剪强度。

3 电测式十字板剪切仪试验操作应符合下列规定：

- 1) 十字板探头压入前，宜将探头电缆一次性穿入需用的全部探杆；
- 2) 现场贯入前，应连接量测仪器并对探头进行试力，确保探头能正常工作；
- 3) 将十字板头直接缓慢贯入至预定试验深度处，使用旋转装

置卡盘卡住探杆；静止 3min~5min 后，测读初始读数或调整零位，开始试验；

- 4) 以 6%min~12%min 的转速施加扭力，每 1°~2°测读数据一次。当峰值或稳定值出现后，再继续测读 1min，所得峰值或稳定值即为试验土层剪切破坏时的读数 P_f 。

4 十字板插入钻孔底部深度应大于 3.0 倍~5.0 倍孔径；对非均质或夹薄层粉细砂的软黏性土层，宜结合静力触探试验结果，选择软黏土进行试验。

5 十字板剪切试验深度宜按工程要求确定。试验深度对原状土地基应达到应力主要影响深度，对处理土地基应达到地基处理深度；试验点竖向间距可根据地层均匀情况确定，均质土宜为 1.0m~2.0m。

6 测定场地土的灵敏度时，宜根据土层情况和工程需要选择有代表性的孔、段进行。

7 十字板剪切试验应记录下列信息：

- 1) 十字板探头的编号、十字板常数、率定系数；
- 2) 初始读数、扭矩的峰值或稳定值；
- 3) 及时记录贯入过程中发生的各种异常或影响正常贯入的情况。

8 当出现下列情况之一时，可终止试验：

- 1) 达到检测要求的测试深度；
- 2) 十字板头的阻力达到额定荷载值；
- 3) 电信号陡变或消失；
- 4) 探杆倾斜度超过 2%。

9 十字板剪切试验数据可按本标准表 C.1.4、表 C.1.5 的格式记录。

5.5.4 检测数据分析与判定

- 1 出现下列情况时，宜对试验数据进行处理：

- 1) 出现零位漂移超过满量程的 $\pm 1\%$ 时, 可按线性内插法校正;
- 2) 记录深度与实际深度的误差超过 $\pm 1\%$ 时, 可在出现误差的深度范围内等距离调整。

2 机械式十字板剪切仪的十字板常数可按下式计算确定:

$$K_c = \frac{2R}{\pi D^2 \left(\frac{D}{3} + H \right)} \quad (5.5.4-1)$$

式中: K_c ——机械式十字板剪切仪的十字板常数 ($1/m^2$);

R ——施力转盘半径 (m);

D ——十字板头直径 (m);

H ——十字板板高 (m)。

3 地基土不排水抗剪强度可按下式计算确定:

$$C_u = 1000K_c(P_f - P_0) \quad (5.5.4-2)$$

$$\text{或} \quad C_u = K(\varepsilon - \varepsilon_0) \quad (5.5.4-3)$$

$$\text{或} \quad C_u = 10K_c\eta R_y \quad (5.5.4-4)$$

式中: C_u ——地基土不排水抗剪强度 (kPa), 精确到 0.1kPa;

P_f ——剪损土体的总作用力 (N);

P_0 ——轴杆与土体间的摩擦力和仪器机械阻力 (N);

K ——电测式十字板剪切仪的探头率定系数 ($kPa / \mu\varepsilon$);

ε ——剪损土体的总作用力对应的应变测试仪读数 ($\mu\varepsilon$);

ε_0 ——初始读数 ($\mu\varepsilon$);

K_c ——十字板常数; 当板头尺寸为 50mm×100mm 时, 取 $0.00218cm^{-3}$; 当板头尺寸为 75mm×150mm 时, 取 $0.00065cm^{-3}$;

R_y ——原状土剪切破坏时的读数 (mV);

η ——传感器率定系数 (N cm/mV)。

4 地基土重塑土强度可按下式计算:

$$C'_u = 1000K_c(P'_f - P'_0) \quad (5.5.4-5)$$

或
$$C'_u = K(\varepsilon' - \varepsilon'_0) \quad (5.5.4-6)$$

或
$$C'_u = 10K_c\eta R'_y \quad (5.5.4-7)$$

式中: C'_u ——地基土重塑土强度 (kPa), 精确到 0.1kPa;

P'_f ——剪损重塑土体的总作用力 (N);

ε' ——剪损重塑土对应的最大应变值;

P'_0 、 ε'_0 ——重塑土强度测试前的初始读数;

R'_y ——重塑土剪切破坏时的读数 (mV)。

5 土的灵敏度可按下式计算:

$$S_t = \frac{C_u}{C'_u} \quad (5.5.4-8)$$

式中: S_t ——土的灵敏度。

6 对于每个检测孔, 应计算不同测试深度地基土的不排水剪切强度、重塑土强度和灵敏度。

7 每个检测孔的不排水抗剪强度、重塑土强度和灵敏度的代表值应取根据不同深度的十字板剪切试验结果的平均值。参加统计的试验点不应少于 3 点, 当其极差不超过平均值的 30% 时, 取其平均值作为代表值; 当极差超过平均值的 30% 时, 应分析原因, 结合工程实际判别, 可增加试验点数量。

8 软土地基的固结情况及加固效果可根据地基土的不排水抗剪强度、灵敏度及其变化进行评价。

9 初步判定地基土承载力特征值时, 可按下式进行估算:

$$f_{ak} = 2C_u + \gamma h \quad (5.5.4-9)$$

式中: f_{ak} ——地基承载力特征值 (kPa) ;

γ ——土的天然重度 (kN/m³) ;

h ——基础埋置深度 (m), 当 $h > 3.0\text{m}$ 时, 宜根据经验进行折减。

10 十字板剪切试验应给出每个试验孔 (点) 主要土层的检测和评价结果。

5.5.5 检测报告除应满足本标准第 3.6.3 条的规定外, 尚应包括下列内容:

1 每个检测孔的地基土的不排水抗剪强度、重塑土强度和灵敏度与深度的关系曲线 (图表), 必要时绘制抗剪强度与扭转角度的关系曲线;

2 根据土层条件和地区经验, 对实测的十字板不排水抗剪强度进行修正;

3 同一分类土层的不排水抗剪强度、重塑土强度和灵敏度的标准值;

4 结合比对试验结果和地区经验所确定的地基承载力、估算土的液性指数、判定软黏性土的固结历史、检验地基加固改良的效果。

5.6 旁压试验

5.6.1 预钻式旁压试验适用于评价黏性土、粉土、砂土、碎石土、残积土等天然地基及其人工地基的地基承载力和变形参数, 有经验时也可用于极软岩和软岩。

5.6.2 仪器设备

1 预钻式旁压仪主要由旁压器、加压稳压装置、变形测量装置、数据测读装置、导压管及高压气源装置等组成。

2 旁压器为圆柱状结构，在中空的刚性圆筒体上套有弹性模，形成密闭可扩张的圆柱状空间，可分为单腔式和三腔式两种结构形式，三腔式上下为辅助腔，中间为测量腔。

3 加压稳压装置主要由压力源连接管、减压阀、控制阀门和调压阀等组成。压力源应根据不同型号旁压仪设备的结构要求选用相应的压力源装置，宜采用高压氮气或其他相关压力源；高压氮气经减压阀一级减压后通过精密调压阀对系统加压和稳压。

4 变形测量系统主要由测管、位移传感器、压力传感器及数据测读仪等部件组成，测量和记录被测土体受压稳定后的相应变形值。测量精度应符合下列规定：

- 1) 压力精度的控制和测读的允许误差为 $\pm 1\%$ ；
- 2) 旁压器测量腔径向向膨胀变量的测读允许误差应为测量腔径向膨胀总变量的 $\pm 1\%$ 。

5 导压管用于变形测量系统与旁压器间的连接，可分为同轴高压软管或多根单管。导压管应连接可靠、拆卸方便、受环境温度影响小，并应适应野外现场作业条件。

6 旁压仪成孔辅助设备可采用钻机等机具。

5.6.3 仪器率定

1 仪器率定分为综合变形率定和弹性膜约束力率定。率定应符合下列规定：

- 1) 初次使用或较长时间放置后再次启用时，应对仪器进行综合变形率定和弹性膜约束力率定；
- 2) 更换或改变导压管长度，或更换测管等设备部件后，应进行仪器的综合变形率定；
- 3) 更换弹性膜后，应对仪器进行弹性膜约束力率定；
- 4) 20 次试验后宜进行弹性膜约束力率定，在地基承载力特征值小于 120kPa 的土层中每 10 次试验后宜进行弹性膜约束力率定。

2 仪器综合变形率定应符合下列规定:

- 1) 将旁压器放置于率定管内, 使弹性膜径向受到刚性限制;
- 2) 率定时每一级压力增量可取仪器额定压力的 $1/10$, 最大加压至仪器额定压力的 80% , 各级压力下的观测时间应与现场试验一致;
- 3) 量测每一级压力对应的位移或体积值, 并绘制关系曲线(仪器的综合率定曲线), 其直线对应压力轴的斜率即为仪器综合变形率定系数 (α)。

3 弹性膜约束力率定应符合下列规定:

- 1) 将旁压器竖立于地面, 使弹性膜处在自由膨胀的状态;
- 2) 率定前应先对弹性膜预膨胀收缩, 使其自由胀缩 4 次~5 次;
- 3) 率定时每一级压力增量宜为 10kPa ;
- 4) 量测每一级压力对应的位移或体积值, 绘制 ($P-S$) 或 ($P-V$) 关系曲线(弹性膜约束力率定曲线)。

5.6.4 现场检测

1 旁压试验孔位及试验层位的确定应符合下列要求:

- 1) 旁压试验应在有代表性的位置和深度进行, 旁压器的量测腔应在同一土层内。试验点的垂直间距不宜小于 1.0m , 且不宜小于旁压器测量腔长度的 1.5 倍。试验孔与已有钻孔的水平距离不宜小于 1.0m ; 且不应小于已有钻孔或原位测试孔直径的 3 倍;
- 2) 旁压试验的最小深度不得小于 1.0m 。

2 预钻孔应符合下列要求:

- 1) 试验段成孔应垂直、光滑平顺、完整, 且应降低对孔壁岩石的扰动或保持原状;
- 2) 试验段成孔直径宜大于旁压器外径 $2.0\text{mm}\sim 6.0\text{mm}$;
- 3) 试验成孔深度应大于或等于旁压器底端深度 0.2m ;

4)每个试验段成孔后应立即试验,严禁一次成孔,多段试验。

3 旁压试验操作应符合下列规定:

- 1) 仪器设备安装应水平、稳定,试验前应检查装置的连接状况、待机状态、参数设置等;
- 2) 调整高压气源瓶上的减压阀,输出压力宜大于预估所需最大试验压力 0.2MPa;在试验过程中应保持压力源输出压力高于当前的试验压力;
- 3) 进行注水和调零操作;
- 4) 旁压器放置时应将旁压器用钻杆或连接杆连接,导压管宜隔段缚扎在钻杆上,将旁压器放至试验深度,并量测记录试验深度及地下水位;
- 5) 试验加压应逐级进行。分级等级可采用预期临塑压力的 $1/5 \sim 1/7$,初始阶段加荷等级可取小值,必要时,可作卸荷再加荷试验,测定再加荷旁压模量;
- 6) 加压稳压时间应根据土的特征或试验要求确定。每级压力应维持 1min 或 2min 或 3min 后再施加下一级压力,维持 1min 时,加荷后 15s、30s、60s 测读变形量;维持 2min 时,加荷后 15s、30s、60s、120s 测读变形量;维持 3min 时,加荷后 15s、30s、60s、120s、180s 测读变形量。

4 符合下列条件之一时,可终止试验:

- 1) 当测管实测体积达到旁压器测腔固有体积;
- 2) 当水体积或水位变化明显加快,且测读变形时间 15s、30s、60s 后一个测读的变形量差值是前一个变形量差值的 5 倍;
- 3) 试验压力达到仪器的额定压力。

5 试验结束后应立即对旁压器进行消压、回水和排水工作,并应符合下列规定:

- 1) 当试验深度小于 2.0m 且仍需继续试验时,可将调压阀减压使压力降到零,利用弹性模的约束力迫使旁压器中的水

回至测管；

- 2) 当试验深度大于 2.0m 且仍需继续试验时，宜根据相关的操作方法，利用系统内的压力，使旁压器中的水回至水箱备用，并保持水箱盖打开；
- 3) 阀门置于排水位置，利用试验时系统内的压力将旁压器中的水排净，并旋松调压阀；
- 4) 待旁压器和系统完全消压 2min~3min 后，取出旁压器。

6 旁压试验数据可按本标准表 C.1.6 的格式记录。

5.6.5 检测数据分析与判定

1 资料整理前应先对试验记录数据进行校正，并应符合下列规定：

- 1) 压力校正应按下式计算：

$$P = p_m + p_w - p_i \quad (5.6.5-1)$$

式中： p ——校正后的压力（kPa）；

p_m ——记录仪或压力表读数（kPa）；

p_w ——静水压力（kPa）；

p_i ——弹性膜约束力（kPa），由各级总压力（ $p_m + p_w$ ）所对应的测量位移（或体积）值查弹性膜的约束力率定曲线取得。

- 2) 位移或体积校正和体积与位移的换算应按下式计算：

$$S = S_m - \alpha(p_m + p_w) \quad (5.6.5-2)$$

$$V = V_m - \alpha(p_m + p_w) \quad (5.6.5-3)$$

$$V = SF \quad (5.6.5-4)$$

式中： S ——校正后的测管水位位移值（cm）；

S_m ——各级总压力（ $p_m + p_w$ ）所对应的测管水位位移值

(cm) ;

α ——仪器综合变形率定系数 (cm/kPa) ;

V ——校正后的旁压器测量腔受压膨胀体积 (cm³) ;

V_m ——各级总压力 ($p_m + p_w$) 所对应的体积值 (cm³) ;

F ——测管内截面面积 (cm²) 。

2 旁压试验 ($p-S$) 曲线或 ($p-V$) 曲线应使用校正后的压力和校正后的位移或体积绘制, 并应符合下列规定:

- 1) 纵坐标为位移或体积, 位移宜按 1 单位代表 5cm 水位下降值, 体积宜为 1 单位代表 100cm³;
- 2) 横坐标为压力, 压力宜为按 1 单位代表 100kPa;
- 3) 绘制曲线时, 宜先连直线段, 并两端延长与纵轴相交, 用拟合法绘制曲线部分, 定出曲线与直线段的交点 (直线段的终点)。

3 旁压试验基本参数的确定应符合下列规定:

- 1) 初始压力 p_0 宜根据试验情况确定。当试验成孔与旁压器匹配、土层扰动较小、测试数据完整且旁压曲线有较明显的初始段时, 可通过作图法确定初始压力 p_0 ; 当采用作图法困难时, 可采用静止土压力根据计算法确定初始压力 p_0 。作图法和计算法应符合下列规定:
 - (1) 采用作图时, 应将旁压试验曲线直线段延长相交于位移 (体积) 轴, 由交点作平行于压力轴的直线相交于曲线的一点, 此点所对应的压力为初始压力 p_0 ;
 - (2) 采用计算法时, 应按下式计算初始压力 p_0 :

$$p_0 = K_0 \gamma Z + u \quad (5.6.5-5)$$

$$u = \gamma_w (Z - h_w) \quad (5.6.5-6)$$

式中: K_0 ——试验深度处静止土压力系数, 可按地区经验确定,

对于正常固结和轻度超固结的砂土和粉土取 0.5，可塑到坚硬状态的黏性土取 0.6，软塑黏性土、淤泥和淤泥质土取 0.7；

γ ——试验深度以上土的重度 (kN/m^3)，有多层土层时，可采用厚度加权平均值，地下水位以下取有效重度；

Z ——孔口至试验段中点的深度 (m)；

u ——试验深度处土的孔隙水压力 (kPa)，在地下水位以上 $u=0$ ；在地下水位以下，由式 (5.6.5-6) 确定；

h_w ——孔口距孔内地下水位深度 (m)。

2) 临塑压力 p_f 可按下列方法确定：

(1) 旁压试验 ($p-S$) 或 ($p-V$) 曲线直线段的终点所对应的压力为临塑压力 p_f ，对应的位移为 S_f 或体积 V_f ；

(2) 稳压 3min 时 ($p-\Delta S_{(180-30)}$) 或 ($p-\Delta V_{(180-30)}$)、稳压 2min 时 ($p-\Delta S_{(120-30)}$) 或 ($p-\Delta V_{(120-30)}$)、稳压 1min 时 ($p-\Delta S_{(60-30)}$) 或 ($p-\Delta V_{(60-30)}$) 曲线直线变形段终点，即曲线与直线段拐点所对应的压力。

3) 极限压力 p_L 可按下列方法确定：

(1) 当试验加压的最大压力未达到极限压力时，需外推旁压试验曲线确定 p_L ，将旁压试验曲线末端光滑自然地作延长线，并呈趋于位移 S 或体积 V 轴平行的渐进线时，其渐进线与旁压试验曲线延长线的切点对应的压力即为极限压力 p_L ；

(2) 在旁压试验曲线的右面位移或体积轴上确定合适的位移或体积坐标比例，把临塑压力 p_f 以后曲线部分各点的位移 S 或体积 V 值取 $1/S$ 倒数或 $1/V$ ，与对应的

压力 p 作 $(p - 1/S)$ 或 $(p - 1/V)$ 的关系曲线 (该曲线应为一近似的直线), 在该直线上取 $1/(2S_0 + S_c)$ 或 $1/(2V_0 + V_c)$ 所对应的压力即为极限压力 p_L 。

4 旁压模量应根据旁压曲线直线段斜率按下式计算:

1) 用位移 S 计量时:

$$E_m = 2(1 + \mu) \left(S_c + \frac{S_0 + S_f}{2} \right) \frac{\Delta p}{\Delta S} \quad (5.6.5-7)$$

2) 用体积 V 计量时:

$$E_m = 2(1 + \mu) \left(V_c + \frac{V_0 + V_f}{2} \right) \frac{\Delta p}{\Delta V} \quad (5.6.5-8)$$

式中: E_m ——旁压模量 (kPa);

$\Delta p/\Delta S$ 、 $\Delta p/\Delta V$ ——旁压试验曲线直线段的斜率 (kPa/cm, kPa/cm³);

μ ——泊松比, 根据地区经验确定; 无经验时可按表 5.6.5-1 确定;

S_c ——旁压器测试腔固有体积 V_c 用测管水位位移值表示 (cm);

S_0 ——旁压曲线直线段延长线与纵轴 (位移轴) 的交点, 其值为旁压器弹性模接触孔壁所消耗的水体积用测管水位位移值表示 (cm);

S_f ——临塑压力 p_f 所对应的测管水位位移值 (cm);

V_c ——旁压器测试腔固有体积 (cm³);

V_0 ——旁压曲线直线段延长线与纵轴 (体积轴) 交点表示的值, 即为旁压器弹性模接触孔壁所消耗的水体积 (cm³);

V_f ——临塑压力所对应的体积 (cm^3)。

表 5.6.5-1 土的泊松比 μ 值

岩土的类型和状态		μ
碎石土		0.27
砂土		0.30
粉土		0.35
粉质黏土	坚硬状态	0.25
	可塑状态	0.30
	软塑状态	0.35
黏土	坚硬状态	0.25
	可塑状态	0.35
	软塑状态	0.38
淤泥和淤泥质土		0.42

5 旁压剪切模量应按下式确定：

1) 用位移 S 计量时：

$$G_m = \left(S_c + \frac{S_0 + S_f}{2} \right) \frac{\Delta p}{\Delta S} \quad (5.6.5-9)$$

2) 用体积 V 计量时：

$$G_m = \left(V_c + \frac{V_0 + V_f}{2} \right) \frac{\Delta p}{\Delta V} \quad (5.6.5-10)$$

式中： G_m ——旁压剪切模量 (kPa)；

6 地基承载力特征值可按下列方法确定，并可根据实际情况进行深度修正。

1) 利用极限压力 p_L 确定：

地基旁压试验到极限状态时，可按下列两种情况确定地基承载力特征值 f_{ak} ：

(1) 当极限压力 p_L 小于等于临塑压力 p_f 的 2 倍时，取极

限压力的二分之一，由下式确定：

$$f_{ak} = \frac{p_L}{2} - p_0 \quad (5.6.5-11)$$

(2) 当极限压力 p_L 大于临塑压力 p_f 的 2 倍时，由下式确定：

$$f_{ak} = \frac{p_L - p_0}{K} \quad (5.6.5-12)$$

式中： K ——安全系数，根据地区经验确定；无经验时可按表 5.6.5-2 确定。

表 5.6.5-2 安全系数 K 值

土类	黏性土	粉土	砂土
安全系数	2~2.4	2.3~3.3	2.7~3.6

2) 利用临塑压力 p_f 由下式确定：

$$f_{ak} = \lambda(p_f - p_0) \quad (5.6.5-13)$$

式中： f_{ak} ——地基承载力特征值（kPa）；

λ ——修正系数，根据地区经验确定；无经验时，取 0.7~1.0。

7 软黏土的不排水抗剪强度可按式估算：

$$C_u = \frac{p_L - p_0}{N_p} \quad (5.6.5-14)$$

式中： C_u ——不排水抗剪强度（kPa）；

N_p ——系数，可取 6.18。

8 砂土的有效摩擦角可按式估算：

$$\varphi' = 5.77 \ln \frac{p_L - p_0}{250} + 24 \quad (5.6.5-15)$$

式中： φ' ——有效摩擦角（°）。

9 侧向基床系数可按下式估算：

$$K_m = \beta \frac{\Delta p}{\Delta \gamma} \quad (5.6.5-16)$$

式中： K_m ——侧向基床系数（MPa/m）；

Δp ——旁压试验压力增量（kPa）；

$\Delta \gamma$ —— Δp 对应的径向位移增量（mm）；

β ——修正系数，根据地区经验确定；无经验时可按表 5.6.5-3 确定。

表 5.6.5-3 修正系数 β 值

土层名称	淤泥质土	黏性土	饱和粉土、砂土	全、强风化岩土
修正系数	0.20~0.25	0.25~0.35	0.20~0.30	0.25~0.35

10 旁压试验应给出每个试验孔（点）主要土层的检测和评价结果。

5.6.6 检测报告除应满足本标准第 3.6.3 条的规定外，尚应包括下列内容：

1 每个检测点对各级压力和相应的扩张体积分别进行约束力和体积的修正后，绘制压力与体积曲线，需要时可作蠕变曲线；

2 根据压力与体积曲线，结合蠕变曲线确定初始压力、临塑压力和极限压力；

3 根据压力与体积曲线的直线段斜率，计算旁压模量、变形参数等；

4 结合比对试验结果和地区经验所确定的地基承载力和变形参数，检验地基加固改良的效果。

5.7 波 速 测 试

5.7.1 波速测试适用于测定各类岩土体的压缩波、剪切波、瑞利波的速度，根据任务要求采用单孔法、跨孔法和面波法。波速测试孔或点的位置、数量、深度等应根据检测技术要求、地质条件确定。

5.7.2 仪器设备

1 用于测试岩土波速的主要仪器设备应由振源、检波器、放大器、采集与记录系统、处理软件构成。

2 振源应符合下列要求：

- 1) 单孔法测试时，宜采用地面敲击法，剪切波振源宜采用锤和尺寸为 $3000\text{mm} \times 250\text{mm} \times 50\text{mm}$ 的木板激振，木板上荷重宜大于 500kg ；压缩波振源宜采用锤和金属板激振；
- 2) 跨孔法测试时，剪切波振源可采用剪切波锤，也可采用标准贯入试验装置；压缩波振源宜采用电火花或爆炸激振；
- 3) 面波法测试时，瞬态法可采用大锤、炸药激振，稳态法可采用电磁或机械激振器激振。

3 检波器应符合下列要求：

- 1) 采用速度型检波器，其固有频率宜小于地震波主频率的 $1/2$ ；用于面波法测试宜采用固有频率不大于 4.0Hz 的低频检波器；
- 2) 检波器之间其固有频率差不应大于 0.1Hz ，灵敏度和阻尼系数差别不应大于 10% ；
- 3) 孔内三分量传感器应由三个相互垂直检波器组成，其中一个竖直向、两个水平向。其技术指标除满足上述要求外，应严格密封防水。

4 放大器应符合下列要求：

- 1) 通频带应满足所采集波的频率范围要求；
- 2) 仪器动态范围不应低于 120dB ，模/数转换器 (A/D) 的位数不宜小于 16 位；
- 3) 各通道的幅度和相位应一致，各频率点的幅度差在 5% 以内，相位差不应大于采样间隔的一半；
- 4) 仪器采样时间间隔应满足不同周期波的时间分辨，保证在最小周期内 4 个~8 个采样点；仪器采样长度应满足距离

震源最远的通道采集讯号长度的需要。

5 波速测试的采集与记录系统处理软件应具备下列功能：

- 1) 接收信号转化为离散数字量，具有采集、储存数字信号和对数字信号处理的智能化功能；
- 2) 采集参数的检查与改正、采集文件的组合拼接、成批显示及记录中分辨坏道和处理等功能；
- 3) 识别和剔除干扰波功能；
- 4) 应具有对波速处理成图的文件格式和成图功能，并应为通用计算机平台所调用；
- 5) 分频滤波和检查各分频段有效波的发育及信噪比的功能；
- 6) 瞬态面波仪尚应具有分辨识别及利用基阶面波成分的功能，反演地层剪切波速度和层厚功能。

6 用于测试岩体声波速度的仪器和设备应包括下列各项：

- 1) 岩石数字声波测试仪；
- 2) 孔中接收、发射换能器，一发双收单孔测试换能器，弯曲式接收换能器，夹心式发射换能器；
- 3) 声波激发锤，电火花振源；
- 4) 干孔测试设备；
- 5) 仰孔注水设备。

7 多通道记录系统测试前应进行频响与幅度的一致性检查，在测试需要的频率范围内各通道应符合一致性要求。

5.7.3 现场检测

1 单孔法测试应符合下列规定：

- 1) 剪切波振源木板的长轴中垂线应对准测试孔中心，孔口与木板的垂直距离宜为 1.0m~3.0m，木板与地面应紧密接触；压缩波振源金属板距孔口的距离宜为 1.0m~3.0m；
- 2) 振源标高宜与孔口标高一致；
- 3) 测试时应根据地质分层将三分量传感器设置在孔内预定深

度处固定，测点间距宜 1.0m~3.0m，测试工作宜自下而上进行；

- 4) 剪切波测试时，应沿木板长轴方向分别敲击其两端，记录极性相反的两组振动波形；
- 5) 压缩波测试时，可通过锤击金属板、也可采用落锤或爆炸产生压缩波，记录振动波形。

2 跨孔法测试应符合下列规定：

- 1) 测试场地宜平坦，测试时可设置一个振源孔，两个或两个以上接收孔，孔间距宜相等；振源孔和接收孔应布置在一条直线上，可一次成孔或分段成孔；
- 2) 试验孔的间距应根据岩性、地层厚度和测试要求确定。在保证直达波首先到达测试传感器的条件下，土层宜取 2.0m~5.0m，岩层宜取 8.0m~15.0m；
- 3) 钻孔应垂直，宜用泥浆或硬聚氯乙烯塑料套管护壁；
- 4) 振源与接收孔内的三分量传感器应设置在同一水平面上；测点竖直间距宜为 1.0m~2.0m；
- 5) 当测试深度大于 15.0m 时，应对测试孔进行倾斜度及倾斜方位的测试，测点间距不应大于 1.0m。

3 面波法测试应符合下列规定：

- 1) 瞬态面波测试记录通道不应少于 12 道，道间距宜为 1.0m~3.0m；应在排列延长线方向，距排列首端或末端检波器 1.0m~5.0m 处激发；
- 2) 稳态瑞利波测试记录通道宜为 2 道~4 道，道间距宜为 1.0m~2.0m；稳态激振频率宜由高向低变化，频率的步长应随测试深度增加而减小。

4 岩体声波测试应符合下列规定：

- 1) 测点可选择在平洞、钻孔、风钻孔或地表露头；
- 2) 相邻两测点的距离，宜根据声波激发方式确定，采用换能

器激发时，距离宜为 1.0m~3.0m；当采用电火花激发时，距离宜为 10.0m~30.0m；当采用锤击激发时，距离应大于 3.0m；

- 3) 进行孔间穿透测试时，应量测两孔口中心点的距离，其相对误差应小于 1%；当两孔轴线不平行时，应量测钻孔的倾角和方位角，计算两测点之间的距离；
- 4) 单孔测试时，源距不得小于 0.3m~0.5m，换能器每次移动距离不得小于 0.2m；
- 5) 在钻孔或风钻孔中进行孔间穿透测试时，换能器每次移动距离宜为 0.2m~1.0m。

5.7.4 检测数据分析与判定

1 单孔法测试资料整理应符合下列规定：

- 1) 压缩波到达检测点的时间，应采用竖向传感器记录的压缩波初至时间；
- 2) 剪切波到达检测点的时间，应采用水平传感器记录的两组极性相反剪切波交汇点的初至时间；
- 3) 压缩波或剪切波从振源到测点的时间，应按下式进行斜距校正：

$$T = KT_L \quad (5.7.4-1)$$

$$K = \frac{H + H_0}{\sqrt{S^2 + (H + H_0)^2}} \quad (5.7.4-2)$$

式中：T——压缩波或剪切波从振源到达测点经斜距校正后的时间（s）；

T_L ——压缩波或剪切波从振源到达测点的实测时间（s）；

K——斜距校正系数；

H——测点的深度（m）；

H_0 ——振源与孔口的高差（m）；当振源低于孔口时， H_0 为负值；

S ——从板中心到测试孔孔口的水平距离（m）。

4) 每一波速层的压缩波波速或剪切波波速，应按下式计算：

$$V = \frac{\Delta H}{\Delta T} \quad (5.7.4-3)$$

式中： V ——波速层的压缩波波速或剪切波波速（m/s）；

ΔH ——波速层的厚度（m）；

ΔT ——压缩波或剪切波传到波速层顶面和底面的时间差（s）。

2 跨孔法测试资料整理应符合下列规定：

1) 初至时间确定按单孔法确定；

2) 每个测试深度的压缩波波速及剪切波波速，应按下式计算：

$$V = \frac{\Delta S}{T_2 - T_1} \quad (5.7.4-4)$$

式中： T_1 ——压缩波或剪切波到达第1个接收孔测点的时间（s）；

T_2 ——压缩波或剪切波到达第2个接收孔测点的时间（s）；

ΔS ——由振源到两个接收孔测点距离之差（m）。

3 面波法测试资料整理应符合下列规定：

1) 面波数据资料预处理时，应检查现场采集参数的输入正确性和采集记录的质量。采用具有提取面波频散曲线功能的软件，获取测试点的面波频散曲线；

2) 频散曲线的分层，应根据曲线的曲率和频散点的疏密变化综合分析；分层完成后，反演计算剪切波层速度和层厚；

3) 应根据实测瑞利波速度和泊松比，按下式计算剪切波波速：

$$V_s = \frac{V_R}{\eta_s} \quad (5.7.4-5)$$

$$\eta_s = \frac{0.87 + 1.12\mu_d}{1 + \mu_d} \quad (5.7.4-6)$$

式中： V_s ——剪切波速度（m/s）；

V_R ——面波速度（m/s）；

η_s ——与泊松比有关的系数；

μ_d ——动泊松比。

4 岩体声波测试资料整理应符合下列规定：

1) 岩体声波数据处理时，应通过调入并显示采集记录，将荧光屏上的光标关门讯号调整到纵波、剪切波初至位置，测读声波传播时间；或者利用自动关门装置，测读声波传播时间；

2) 岩体的纵波速度和剪切波速度应按下式计算：

$$V_p = \frac{L}{t_p - t_0} \quad (5.7.4-7)$$

$$V_s = \frac{L}{t_s - t_0} \quad (5.7.4-8)$$

$$V_p = \frac{L_2 - L_1}{t_{p2} - t_{p1}} \quad (5.7.4-9)$$

$$V_s = \frac{L_2 - L_1}{t_{s2} - t_{s1}} \quad (5.7.4-10)$$

式中： V_p ——纵波波速（m/s）；

V_s ——剪切波波速（m/s）；

L ——发射、接收换能器中心间的距离（m）；

t_p ——直透法纵波的传播时间（s）；

t_s ——直透法剪切波的传播时间（s）；

t_0 ——仪器系统的零延时（s）；

$L_1(L_2)$ ——平透法发射换能器至第一（二）个接收换能器两中心的距离（m）；

$t_{p1}(t_{s1})$ ——平透法发射换能器至第一个接收换能器纵（剪切）波的传播时间（s）；

$t_{P2}(t_{s2})$ ——平透法发射换能器至第二个接收换能器纵（剪切）波的传播时间（s）。

5 地基的动剪切模量、动弹性模量和动泊松比应按下式计算：

$$G_d = \frac{\rho}{g} V_s^2 \quad (5.7.4-11)$$

$$E_d = 2(1 + \mu_d) \frac{\rho}{g} V_s^2 \quad (5.7.4-12)$$

$$\mu_d = \frac{\left(\frac{V_p}{V_s}\right)^2 - 2}{2 \left[\left(\frac{V_p}{V_s}\right)^2 - 1 \right]} \quad (5.7.4-13)$$

式中： G_d ——动剪切模量（MPa）；

E_d ——动弹性模量（MPa）；

μ_d ——动泊松比；

ρ ——重力密度（kN/m³）；

g ——重力加速度（m/s²）。

6 波速测试应给出每个试验（孔）点的检测结果和单位工程的主要土层的评价结果。

5.7.5 成果报告除应满足本标准第 3.6.3 条的规定外，尚应包括下列内容：

1 压缩波、剪切波测试应绘制波速-深度曲线与工程地质柱状图进行对比；

2 应绘制地基处理前后波速-深度对比关系曲线；

3 面波测试应绘制频散曲线及断面图；

4 应绘制岩体速度与孔深的关系曲线；

5 应结合其他原位测试成果，分析岩土层相关参数，评价加固效果。

6 基桩静载试验

6.1 一般规定

6.1.1 本方法适用于检测基桩承载力,包括单桩的竖向抗压承载力、抗拔承载力和水平承载力及空心桩灌芯抗拔承载力。试验桩的桩型尺寸、成桩工艺和质量控制标准应与工程桩一致。

6.1.2 检测方法应符合下列规定:

1 单桩竖向抗压静载试验:为设计提供依据的试验桩,应加载至桩侧与桩端的岩土阻力达到极限状态;工程桩验收检测时,加载量不应小于设计要求的单桩承载力特征值的 2.0 倍;当桩的承载力由桩身强度控制时,可按设计要求的加载量进行加载。特殊条件下工程桩验收可采用自平衡法,按本标准 6.5 节的相关规定执行;

2 单桩竖向抗拔静载试验:为设计提供依据的试验桩,应加载至桩侧岩土阻力达到极限状态或桩身材料强度达到设计要求;工程桩验收检测时,施加的上拔荷载不应小于单桩竖向抗拔承载力特征值的 2.0 倍或使桩顶产生的上拔量达到设计要求的限值;当抗拔承载力受抗裂条件控制时,可按设计要求确定最大加载值;预估的最大试验荷载不得大于钢筋的设计强度。特殊条件下工程桩验收可采用自平衡法,按本标准 6.5 节的相关规定执行;

3 单桩水平静载试验:为设计提供依据的试验桩,宜加载至桩顶出现较大水平位移或桩身结构破坏;工程桩验收检测时,可按设计要求的水平位移允许值控制加载;

4 空心桩灌芯抗拔静载试验:为设计提供依据的试验桩,应加载至极限状态;工程桩验收检测时,最大试验荷载宜为设计要求的混凝土灌芯抗拔承载力,且不应大于灌芯锚固主筋钢筋屈服下轴心受拉设计值及芯柱混凝土受拉承载力设计值。

6.1.3 单桩承载力检测数量应符合下列规定：

1 为设计提供依据的试验桩检测应依据设计确定的基桩受力状态，采用相应的静载试验方法确定单桩极限承载力，检测数量应满足设计要求，且在同样条件下不应少于 3 根；

2 工程桩和永久性支护结构基桩应进行承载力检测，相同条件下单桩承载力抽检桩数不应少于总桩数的 1%，且不得少于 3 根。

6.1.4 复合地基的单桩静载试验可按本章相关规定执行。

6.2 单桩竖向抗压静载试验

6.2.1 抗压试桩的受力状态应与设计规定的受力状态一致。

6.2.2 仪器设备及安装

1 试验加载设备宜采用液压千斤顶。当采用两台或两台以上千斤顶加载时，应符合下列规定：

- 1) 采用的千斤顶型号、规格应相同，应并联同步工作；
- 2) 千斤顶的合力中心应与受检桩的横截面形心重合。

2 加载反力装置可根据现场条件，选择锚桩反力装置、压重平台反力装置、锚桩压重联合反力装置、地锚反力装置等，且应符合下列规定：

- 1) 加载反力装置提供的反力不得小于预估最大试验荷载的 1.2 倍；
- 2) 加载反力装置的构件应满足承载力和变形的要求；
- 3) 工程桩作锚桩时，锚桩数量不宜少于 4 根，对锚桩的桩侧土阻力、钢筋、接头进行验算，且应对锚桩上拔量进行监测，锚桩桩顶最终上拔量不宜超过 10mm；
- 4) 压重宜在试验前一次加足，并均匀稳固地放置在平台上，且压重施加于地基的压应力不宜大于地基承载力特征值的 1.5 倍。

3 荷载与沉降的测量宜选用自动测量记录仪器,且应符合下列规定:

- 1) 荷载测量可用放置在千斤顶上的荷重传感器直接测定,当通过并联于千斤顶油路的压力表或压力传感器测定油压时,应根据千斤顶率定曲线进行荷载换算;
- 2) 荷重传感器、压力传感器或压力表的准确度应优于或等于 0.5 级。试验用压力表、油泵、油管在最大加载时的压力不应超过额定工作压力的 80%;
- 3) 位移测试仪表宜采用大量程的位移传感器或百分表,测量误差不得大于 0.1%FS,分辨力应优于或等于 0.01mm。

4 直径或边宽大于 500mm 的桩,应在其两个方向对称安置 4 个位移测试仪表,直径或边宽小于等于 500mm 的桩,可对称安置 2 个位移测试仪表。

5 沉降测定平面应设置在桩顶以下 200mm~500mm 之间,测点应固定在桩身上。

6 基准梁应具有足够刚度,梁的一端应固定在基准桩上,另一端应简支于基准桩上。

7 固定和支撑位移测量仪表的夹具及基准梁应避免气温、振动及其他外界因素的影响。

8 试桩、锚桩(压重平台支墩边)和基准桩之间的中心距离应符合下列规定:

- 1) 应优先符合表 6.2.2 的规定;
- 2) 对软土地基压重平台堆载重量较大或大直径桩静载试验,当基准梁长度达到 12m,但基准桩和试桩、锚桩、压重平台支墩之间的距离仍不能满足表 6.2.2 的规定时,此时应对基准桩竖向位移进行监测或采用静力水准、电子水准仪等设备对试桩沉降进行量测。

表 6.2.2 试桩、锚桩（或压重平台支墩边）和基准桩之间的中心距离

反力装置	试桩与锚桩中心距 (或压重平台支墩边)	试桩与基准桩中心距	基准桩与锚桩中心距 (或压重平台支墩边)
锚桩横梁	$\geq 4(3)D$ 且 $>2.0\text{m}$	$\geq 4(3)D$ 且 $>2.0\text{m}$	$\geq 4(3)D$ 且 $>2.0\text{m}$
压重平台	$\geq 4(3)D$ 且 $>2.0\text{m}$	$\geq 4(3)D$ 且 $>2.0\text{m}$	$\geq 4(3)D$ 且 $>2.0\text{m}$
地锚装置	$\geq 4D$ 且 $>2.0\text{m}$	$\geq 4(3)D$ 且 $>2.0\text{m}$	$\geq 4D$ 且 $>2.0\text{m}$

注：1 D 为试桩、锚桩或地锚的设计直径或边宽，取其较大者；

2 当试桩或锚桩为扩底桩或多支盘桩时，试桩和锚桩的中心距不应小于 2 倍扩大端直径；

3 括号内数值可用于工程桩验收检测时多排桩设计桩中心距离小于 $4D$ 或压重平台支墩下 2 倍~3 倍宽度影响范围内的地基土已进行加固处理的情况。

6.2.3 现场检测

1 试验桩桩顶宜高出试坑底面，试坑底面宜与桩承台底标高一致。

2 混凝土试桩桩头处理应符合下列规定：

- 1) 剔除桩顶部破碎层和软弱或不密实混凝土；
- 2) 桩头顶面用水平尺找平，桩头中轴线与桩身上部中轴线应重合，桩头截面积宜与原桩身截面积相同；
- 3) 桩头主筋应全部直通至桩顶混凝土保护层之下，各主筋应在同一高度上；
- 4) 距桩顶 1 倍桩径范围内，宜用厚度为 3mm~5mm 的钢板围裹或距桩顶 1.5 倍桩径范围内设置箍筋，间距不宜大于 100mm，桩顶应设置水平钢筋网片 1 层~2 层，间距 60mm~100mm；
- 5) 桩头混凝土强度等级应比原桩身强度提高 1 个~2 个等级，且不得低于 C30。

3 试验前后对试验桩的桩身完整性进行检测。为设计提供依据的灌注桩，施工时应进行成孔质量检测，桩身中、下部位出现明显扩径的桩，不宜作为试验桩。

4 单桩竖向抗压静载试验应采用慢速维持荷载法。

5 试验加、卸载方式应符合下列规定：

- 1) 加载应分级进行，采用逐级等量加载，分级荷载宜为最大加载量或单桩预估极限承载力的 $1/10$ ，第一级荷载可取分级荷载的 2 倍；
- 2) 卸载应分级进行，每级卸载量宜取加载时分级荷载的 2 倍，且应逐级等量卸载；
- 3) 加、卸载时，应使荷载传递均匀、连续、无冲击，每级荷载在维持过程中的变化幅度不得超过分级荷载的 $\pm 10\%$ 。

6 慢速维持荷载法试验应符合下列规定：

- 1) 每级荷载施加后，应分别按第 5min、15min、30min、45min、60min 测读桩顶沉降量，以后每隔 30min 测读一次桩顶沉降量；
- 2) 沉降相对稳定标准：每级荷载作用下每一小时内的沉降量不超过 0.1mm，并连续出现两次（从每级荷载施加后的第 30min 开始，按 1.5h 连续三次每 30min 的沉降观测值计算）；
- 3) 当桩顶沉降速率达到相对稳定标准时，可施加下一级荷载；
- 4) 卸载时，每级荷载维持 1h，隔 15min 测读一次，读两次后，隔 30min 再测读一次；卸载至零后，应测读桩顶残余沉降量，维持时间不得少于 3h。

7 试验出现下列情况之一时，即可终止加载：

- 1) 桩体破坏，桩顶变形急剧增大；
- 2) 某级荷载作用下，桩顶沉降量大于前一级荷载作用下的沉降量的 5 倍，且桩顶总沉降量超过 40mm；
- 3) 某级荷载作用下，桩顶沉降量大于前一级荷载作用下的沉降量的 2 倍，且在 24h 内未达到本条第 6 款第 2 项相对稳定标准；
- 4) 荷载-沉降曲线呈缓变型时，可加载至桩顶总沉降量

60mm~80mm,当桩端阻力尚未充分发挥或复合地基增强体桩长超过 25mm 时,可加载至桩顶总沉降量超过 80mm;

- 5) 已达到设计要求的最大加载量或变形量;
- 6) 已达到反力装置的最大加载量;
- 7) 工程桩作锚桩时,锚桩上拔量已达到允许值。

8 单桩竖向抗压静载试验数据可按本标准表 C.2.1 的格式记录。

9 测试桩身应变和桩身截面位移时,数据的测读时间应符合本条第 6 款的规定。

6.2.4 检测数据分析与判定

1 单桩竖向抗压静载试验数据处理应绘制竖向荷载-沉降($Q-s$)关系曲线、沉降-时间对数($s-\lg t$)关系曲线;也可绘制其他辅助分析曲线。

2 当进行桩身应变和桩身截面位移测定时,应按本标准第 12.6 节的规定,整理测试数据,绘制桩身轴力分布图,计算不同土层的桩侧阻力和桩端阻力。

3 单桩竖向抗压极限承载力应按下列方法分析确定:

1) 对于陡降型曲线:

(1) 取($Q-s$)曲线上陡降起始点所对应的荷载为极限荷载;

(2) 取($s-\lg t$)曲线尾部出现明显向下弯曲的前一级荷载为极限荷载;

(3) 以上述两项综合分析确定极限承载力。

2) 对于缓变型曲线:混凝土桩及桩径小于 800mm 的竖向增强体宜根据桩顶总沉降量,取 s 等于 40mm 对应的荷载值;对于 D (D 为桩端直径) 大于等于 800mm 的桩,可取 $s=0.05D$ 对应的荷载值,当桩长大于 40m 时,宜考虑桩身弹性压缩;水泥土桩及桩径大于 800mm 的竖向增强体宜根据桩顶总沉降量,取 s 等于 40mm~50mm 对应的荷载

值；

3) 出现本标准第 6.2.3 条第 7 款第 2 项情况时，宜取前一级荷载值；

4) 不满足上述 1~3 项情况时，取最大试验荷载作为单桩竖向抗压极限承载力。

4 为设计提供依据的单桩竖向抗压极限承载力的统计取值，应符合下列规定：

1) 对参加算数平均的试验桩检测结果，当极差不超过平均值的 30% 时，可取其算数平均值为单桩竖向抗压极限承载力；当极差超过平均值的 30% 时，应分析原因，结合桩型、施工工艺、地基条件、基础形式等工程具体情况，综合确定极限承载力，不能明确极差过大的原因时，宜增加试桩数量；

2) 试桩数量小于 3 根或 3 根以下的柱下承台，应取最低值。

5 单桩竖向抗压承载力特征值应按单桩竖向抗压极限承载力的 50% 取值。

6.2.5 检测报告除应包括本标准第 3.6.3 条内容外，尚应包括下列内容：

1 试桩及锚桩的设计与施工资料、锚桩数量；

2 加载反力装置类型，堆载法应指明堆载重量；

3 加、卸载方法，荷载分级；

4 本标准第 6.2.4 条第 1 款要求绘制的曲线及对应的数据表；

5 承载力判定依据；

6 当进行分层侧阻力和端阻力测试时，应包括传感器类型、安装位置，轴力计算方法，各级荷载作用下的桩身轴力曲线，各土层的桩侧极限侧阻力和桩端阻力。

6.3 单桩竖向抗拔静载试验

6.3.1 上拔试桩的受力状态应与设计规定的受力状态一致。

6.3.2 仪器设备及安装

1 试验加载设备宜采用液压千斤顶，加载方式应符合本标准第 6.2.2 条第 2 款的规定。

2 加载反力装置可根据现场情况确定，宜利用工程桩提供支座反力，也可采用地基提供支座反力。采用地基提供反力时，施加于地基的压应力不宜超过地基承载力特征值的 1.5 倍。

3 荷载、上拔量测量及其仪器技术要求应符合本标准第 6.2.2 条第 3 款的规定。

4 上拔量测量点宜设置在桩顶以下不小于 1 倍桩径的桩身上，不得设置在受拉钢筋上。

5 试桩、支座与基准桩之间的最小中心距离应符合表 6.2.2 的规定。

6.3.3 现场检测

1 钢筋主筋应为通长，且露出桩顶至少 30 倍钢筋直径，并不得有影响钢筋抗拉强度的损伤。试坑底面宜与桩承台底标高一致，受检桩顶露出试坑底面的高度不宜小于 600mm。

2 试桩检测应符合本标准 6.2.3 条第 3 款的规定，对有接头的预制桩，应复核接头强度。

3 单桩竖向抗拔静载试验应采用慢速维持荷载法。慢速维持荷载法的加、卸载方式及桩顶上拔量的观测应分别符合本标准第 6.2.3 条第 5、6 款的规定。设计有要求时，可采用多循环加、卸载方法或恒载法。

4 试验出现下列情况之一时，即可终止加载：

1) 某级荷载作用下，桩顶上拔量大于前一级荷载作用下的上拔量 5 倍；

- 2) 按桩顶上拔量控制, 累计桩顶上拔量超过 100mm;
- 3) 按钢筋抗拉强度控制, 钢筋应力达到钢筋强度设计值, 或某根钢筋拉断;
- 4) 对于工程桩验收检测, 达到设计或抗裂要求的最大上拔量或上拔荷载值。
- 5 单桩竖向抗拔静载试验数据可按本标准表 C.2.1 的格式记录。
- 6 测试桩身应变和桩端上拔位移时, 数据的测读时间应符合本标准第 6.2.3 条第 6 款的规定。

6.3.4 检测数据分析与判定

1 单桩竖向抗拔静载试验数据处理应绘制上拔荷载-桩顶上拔量 ($U - \delta$) 关系曲线和桩顶上拔量-时间对数 ($\delta - \lg t$) 关系曲线。

2 当进行桩身应变和桩端上拔位移测定时, 按本标准第 12.6 节的规定, 整理测试数据, 绘制桩身轴力分布图, 计算不同土层的桩侧抗拔阻力。

3 单桩竖向抗拔极限承载力应按下列方法分析确定:

- 1) 根据上拔量随荷载变化的特征确定: 对陡变型 ($U - \delta$) 曲线, 应取陡升起始点对应的荷载值;
- 2) 根据上拔量随时间变化的特征确定: 应取 ($\delta - \lg t$) 曲线斜率明显变陡或曲线尾部明显弯曲的前一级荷载值;
- 3) 在某级荷载作用下抗拔钢筋断裂时, 应取前一级荷载值;
- 4) 当受检桩在最大上拔荷载作用下, 未出现本款前三项情况时, 其取值应按照设计要求最大上拔量控制值对应的荷载、施加的最大荷载或钢筋应力达到设计强度值时对应的荷载确定。

4 为设计提供依据的单桩竖向抗拔极限承载力的统计取值应符合本标准第 6.2.4 条第 4 款的规定。

5 单桩竖向抗拔承载力特征值应按单桩竖向抗拔极限承载力的 50%取值。当工程桩不允许带裂缝工作时, 应取桩身开裂的前一

级荷载作为单桩竖向抗拔承载力特征值，并与按极限荷载 50%取值确定的承载力特征值相比，取低值。

6.3.5 检测报告除应包括本标准第 3.6.3 条内容外，尚应包括下列内容：

- 1 试桩的桩径尺寸、材料强度、主筋情况；
- 2 加载反力装置类型；
- 3 加、卸载方法，荷载分级；
- 4 本标准第 6.3.4 条第 1 款要求绘制的曲线及对应的数据表；
- 5 承载力判定依据；
- 6 当进行抗拔侧阻力测试时，应包括传感器类型、安装位置，轴力计算方法，各级荷载作用下的桩身轴力曲线，各土层的抗拔极限侧阻力。

6.4 单桩水平静载试验

6.4.1 本方法适用于在桩顶自由的试验条件下，检测单桩的水平承载力，推定地基土水平抗力系数的比例系数。

6.4.2 仪器设备及安装

1 试验加载设备宜采用卧式千斤顶，其加载能力不得小于最大试验加载量的 1.2 倍。

2 水平推力的反力可由相邻桩提供；当专门设置反力结构时，其承载能力和刚度应大于试验荷载的 1.2 倍。

3 荷载、水平位移测量系统应符合本标准第 6.2.2 条第 3 款的有关规定外，尚应符合下列规定：

- 1) 在水平力作用平面的受检桩两侧应对称安装两个位移测试仪表；
- 2) 当测量桩顶转角时，应在水平力作用平面以上 50cm 的受检桩两侧对称安装两个位移测试仪表；

- 3) 固定位移测试仪表的基准桩应设置在与作用力方向垂直且与位移方向相反的试桩侧面,与试桩净距不应小于 1 倍桩径且不宜小于 2.0m;
- 4) 测量桩身应变时,各测试断面的测量传感器应沿受力方向对称布置在远离中性轴的受拉和受压主筋上;埋设传感器的纵剖面与受力方向之间的夹角不得大于 10° 。地面下 10 倍桩径或桩宽的深度范围内,桩身的主要受力部分应加密测试断面,断面间距不宜超过 1 倍桩径;超过 10 倍桩径或桩宽的深度,测试断面间距可以加大。桩身内传感器的埋设应符合本标准第 12.6 节的规定;
- 5) 桩的挠曲变形可通过在桩内预埋测斜管,采用活动式测斜仪逐段对桩身斜率变化进行测试,预埋测斜管的测斜方向应与桩身挠曲变形方向一致。

6.4.3 现场检测

1 水平作用点宜与实际工程桩基承台底面标高一致。千斤顶和试验桩接触处应安设球形铰支座,千斤顶作用力应水平通过桩身轴线。

2 加载方法应根据工程桩实际受力特性选用单向多循环加载法或本标准第 6.2.3 条第 6 款规定的慢速维持荷载法。当对试桩桩身横截面弯曲应变进行测量时,宜采用维持荷载法。

3 试验加、卸载方式和水平位移测量应符合下列规定:

- 1) 单向多循环加卸载试验法的分级荷载,不应大于单桩预估水平极限承载力或最大试验荷载的 $1/10$;每级荷载施加后,恒载 4min 测读桩的水平位移值,然后卸载至零,停 2min 测读残余水平位移,至此完成一个加卸载循环;如此循环 5 次完成一级荷载的位移观测;试验不得中途停歇;
- 2) 慢速维持荷载法应符合本标准第 6.2.3 条第 5、6 款的规定。

4 试验出现下列情况之一时，即可终止加载：

1) 桩身折断；

2) 水平位移超过 40mm 或达到设计要求的水平位移允许值。

5 单向多循环加载法的单桩水平静载试验检测数据可按本标准表 C.2.2 的格式记录。

6 测试桩身横截面弯曲应变时，数据的测读宜与水平位移测量同步。

6.4.4 检测数据分析与判定

1 单桩水平静载试验数据处理应符合下列规定：

1) 采用单向多循环加载法时，应分别绘制水平力-时间-作用点位移 ($H-t-Y_0$) 关系曲线和水平力-位移梯度 ($H-\Delta Y_0/\Delta H$) 关系曲线；

2) 采用慢速维持荷载法时，应分别绘制水平力-力作用点位移 ($H-Y_0$) 关系曲线、水平力-位移梯度 ($H-\Delta Y_0/\Delta H$) 关系曲线、力作用点位移-时间对数 ($Y_0-\lg t$) 关系曲线和水平力-力作用点位移双对数 ($\lg H-\lg Y_0$) 关系曲线；

3) 绘制水平力、水平力作用点水平位移-地基土水平抗力系数的比例系数的关系曲线 ($H-m$ 、 Y_0-m)。

2 当桩顶自由且水平力作用位置位于地面处时， m 值应按下式确定：

$$m = \frac{(v_y H)^{\frac{5}{3}}}{b_0 Y_0^{\frac{5}{3}} (EI)^{\frac{2}{3}}} \quad (6.4.4-1)$$

$$\alpha = \left(\frac{m b_0}{EI} \right)^{\frac{1}{5}} \quad (6.4.4-2)$$

式中： m ——地基土水平抗力系数的比例系数 (kN/m^4)；

α ——桩的水平变形系数 (m^{-1})；

v_y ——桩顶水平位移系数，由式(6.4.4-2)试算 α ，当 $\alpha h \geq 4.0$

时 (h 为桩的入土深度), $\nu_y=2.441$;

H ——作用于地面的水平力 (kN);

Y_0 ——水平力作用点的水平位移 (m);

EI ——桩身抗弯刚度 (kN m²); 其中 E 为桩身材料弹性模量, I 为桩身换算截面惯性矩;

b_0 ——桩身计算宽度 (m); 对于圆形桩: 当桩径 $D \leq 1\text{m}$ 时, $b_0=0.9(1.5D+0.5)$; 当桩径 $D > 1\text{m}$ 时, $b_0=0.9(D+1)$; 对于矩形桩, 当边宽 $B \leq 1\text{m}$ 时, $b_0=1.5B+0.5$; 当边宽 $B > 1\text{m}$ 时, $b_0=B+1$ 。

3 对进行桩身横截面弯曲应变测定的试验, 应绘制各级水平力作用下的桩身弯矩分布图和水平力-最大弯矩截面钢筋拉应力 ($H - \sigma_s$) 曲线, 并应列表给出相应的数据。

4 单桩水平临界荷载可按下列方法综合确定:

- 1) 取单向多循环加载法的 ($H - t - Y_0$) 曲线或慢速维持荷载法的 ($H - Y_0$) 曲线出现拐点的前一级水平荷载值;
- 2) 取 ($H - \Delta Y_0 / \Delta H$) 曲线或 ($\lg H - \lg Y_0$) 曲线上第一拐点对应的水平荷载值;
- 3) 取 ($H - \sigma_s$) 曲线第一拐点对应的水平荷载值。

5 单桩水平极限承载力可按下列方法综合确定:

- 1) 取单向多循环加载法的 ($H - t - Y_0$) 曲线产生明显陡降的前一级, 或慢速维持荷载法的 ($H - Y_0$) 曲线发生明显陡降的起始点对应的水平荷载值;
- 2) 取慢速维持荷载法的 ($Y_0 - \lg t$) 曲线尾部出现明显弯曲的前一级水平荷载值;
- 3) 取 ($H - \Delta Y_0 / \Delta H$) 曲线或 ($\lg H - \lg Y_0$) 曲线上第二拐点对应的水平荷载值;
- 4) 取桩身折断或受拉钢筋屈服时的前一级水平荷载值。

6 为设计提供依据的水平极限承载力和水平临界荷载统计取

值应符合本标准第 6.2.4 条第 4 款的规定。

7 单桩水平承载力特征值的确定应符合下列规定：

- 1) 当桩身不允许开裂或灌注桩的桩身配筋率小于 0.65%时，可取水平临界荷载的 0.75 倍作为单桩水平承载力特征值；
- 2) 对钢筋混凝土预制桩、钢桩和桩身配筋率不小于 0.65%的灌注桩，可取设计桩顶标高处水平位移所对应荷载的 0.75 倍作为单桩水平承载力特征值。对水平位移敏感的建筑物取 6mm，对水平位移不敏感的建筑物取 10mm；
- 3) 取设计要求的水平允许位移对应的荷载作为单桩水平承载力特征值，且应满足桩身抗裂要求。

6.4.5 检测报告除应包括本标准第 3.6.3 条内容外，尚应包括下列内容：

- 1 试桩的截面尺寸及配筋情况；
- 2 加、卸载方法，荷载分级；
- 3 本标准第 6.4.4 条第 1、2 款要求绘制的曲线及对应的数据表，计算地基土水平抗力系数的比例系数；
- 4 承载力判定依据；
- 5 当进行钢筋应力测试并由此计算桩身弯矩时，应包括传感器类型、安装位置，内力计算方法以及本标准第 6.4.4 条第 3 款要求的计算结果和图表。

6.5 单桩自平衡法静载试验

6.5.1 本方法适用于传统静载试验条件受限时的基桩竖向承载力检测。

6.5.2 仪器设备及安装

1 试验装置可由下列系统组成：

- 1) 加压测试系统由荷载箱、高压油管、加压油泵、油压测量

仪表组成;

- 2) 位移测试系统由位移传递装置、位移测量仪表、位移基准装置组成;
- 3) 对加载进行控制,并采集压力和位移数据的压力控制和数据采集系统。

2 荷载箱应符合以下规定:

- 1) 荷载箱宜进行整体检定或校准,应经法定计量单位检定或校准合格。加载分级不宜少于 5 级,当无法进行整体检定或校准时,可对组成荷载箱的液压缸逐一进行检定或校准,液压缸规格型号必须相同,且相同油压时的液压缸出力相对误差应小于 3%;
- 2) 荷载箱检定或校准示值重复性不应大于 3%;
- 3) 荷载箱空载启动压力不应小于额定压力的 4%;
- 4) 荷载箱在 1.2 倍额定压力下持荷时间不应小于 30min,在额定压力下持荷时间不应小于 2h,持荷过程中荷载箱不应出现泄漏、压力减小值大于 5%等异常现象;
- 5) 荷载箱有效面积比应按下式计算。钻孔灌注桩荷载箱放置于桩端以上时,有效面积比应为 $45% < \rho < 60%$;荷载箱放置于桩端时,有效面积比应为 $45% < \rho \leq 100%$;

$$\rho = \frac{A_h}{A_p} 100\% \quad (6.5.2)$$

式中: ρ ——有效面积比;

A_h ——荷载箱的面积 (m^2);

A_p ——桩身截面面积 (m^2);

- 6) 荷载箱最大双向加荷值不应小于预估单桩最大加荷值的 1.2 倍,荷载箱的行程不应小于 12cm;
- 7) 灌注桩荷载箱的外部形状不应妨碍灌注桩的成桩过程;

8) 荷载箱应在出厂前组装成整体, 不允许在现场拼装。

3 荷载箱埋设位置应符合下列规定:

- 1) 受检桩为抗压桩, 预估极限端阻力小于预估极限侧阻力时, 应将荷载箱置于桩身平衡点处;
- 2) 受检桩为抗压桩, 预估极限端阻力大于预估极限侧阻力时, 将荷载箱置于桩端, 并在桩顶采取一定量的配重措施;
- 3) 受检桩为抗拔桩时, 荷载箱应置于桩端; 桩端阻力提供的反力不够维持加载时, 可采取加深桩长或桩端后注浆措施。

4 荷载箱的安装应符合以下规定:

- 1) 荷载箱应平放于试桩平衡点处的截面中心, 荷载箱位移方向与桩身轴线的夹角不应大于 1° ;
- 2) 荷载箱的顶、底面必须分别与上下钢筋笼的主筋牢固连接。

5 试验荷载应通过高压油泵施加, 荷载测量可采用并联于荷载箱油路的压力表或压力传感器测定压力值, 根据荷载箱的率定系数换算荷载。荷载测量仪器应符合本标准第 6.2.2 条第 3 款的规定。

6 导向钢筋应符合以下规定:

- 1) 导向钢筋一端应与荷载箱内圆边缘处焊接, 另一端应与钢筋笼主筋焊接;
- 2) 导向钢筋的数量、直径宜与钢筋笼主筋相同;
- 3) 导向钢筋与荷载箱的上、下截面夹角应大于 60° 。

7 位移测量的要求:

- 1) 位移测量宜采用大量程的位移传感器或百分表, 应对称安置二组, 每组不少于 2 个位移测量仪表, 分别用于测量荷载箱处的向上、向下位移; 并符合本标准第 6.2.2 条第 3、6、7 款的规定;
- 2) 位移杆(丝)与护套管应符合下列要求: 位移杆(丝)应具有足够的刚度, 确保将荷载箱处的位移传递到地面; 保护位移杆(丝)的护套管应与荷载箱焊接, 多节护套管连

接时可采用机械连接或焊接方式，焊缝应满足强度要求，并确保不渗漏水泥浆；护套管与荷载箱应保持垂直，并与钢筋笼主筋牢固绑定；上位移杆（丝）宜固定在荷载箱顶面位置，下位移杆（丝）宜固定在荷载箱底面位置。

6.5.3 现场检测

1 基桩自平衡法静载试验应采用慢速维持荷载法。试验加、卸载方式及位移观测应符合本标准第 6.2.3 条第 5、6 款的规定。

2 试验出现下列情况之一时，即可终止加载：

- 1) 某级荷载作用下，荷载箱上段或下段位移增量超过前一级荷载作用下位移增量的 5 倍，且位移总量超过 40mm；
- 2) 某级荷载作用下，荷载箱上段或下段位移增量超过前一级荷载作用下位移增量的 2 倍，且经 24h 尚未达到本标准第 6.2.3 条第 6 款第 2 项相对稳定标准；
- 3) 已达到设计要求的最大加载量，且荷载箱上段和下段位移达到本标准第 6.2.3 条第 6 款第 2 项相对稳定标准；
- 4) 当荷载-位移曲线呈缓变型时，向上或向下位移总量可加载至 40mm~60mm；
- 5) 荷载已达荷载箱加载极限，或荷载箱上、下段桩的位移已超过荷载箱行程，即可终止加载。

3 自平衡法静载试验数据可按本标准表 C.2.3 和表 C.2.4 的格式记录。

6.5.4 检测数据分析与判定

1 基桩自平衡法静载试验数据处理应绘制荷载与荷载箱上、下位移量的关系曲线（ $Q_u - s_u$ ）、（ $Q_d - s_d$ ）；位移量与加荷时间的单对数曲线（ $s_u - \lg t$ ）、（ $s_d - \lg t$ ）；按照本标准附录 G 的规定，完成抗压桩的等效转换，并绘制等效转换曲线（ $Q - s$ ）。

2 上段桩极限加载值 Q_{uu} 和下段桩极限加载值 Q_{ud} 应按下列方法综合确定：

- 1) 根据位移随荷载的变化特征确定：对于陡变型曲线，应取曲线发生明显陡变的起始点对应的荷载值；
- 2) 根据位移随时间的变化特征确定极限加载值，应取位移与加载时间的单对数曲线尾部出现明显弯曲的前一级荷载值；
- 3) 当出现本标准第 6.5.3 条第 2 款第 1、2 项情况时，宜取前一级荷载值；
- 4) 缓变型曲线可根据位移量确定，上段桩极限加载值取对应位移为 40mm 时的荷载，当上段桩长大于 40m 时，宜考虑桩身弹性压缩量；下段桩极限加载值取位移为 40mm 对应的荷载值，对直径大于等于 800mm 的桩，可取荷载箱向下位移量为 0.05D（D 为桩端直径）对应的荷载值；
- 5) 按本款第 1~4 项判定上段桩和下段桩的承载力未达极限时，取最大试验荷载作为上段桩极限加载值和下段桩极限加载值。

3 单桩竖向抗压极限承载力应按下列公式计算：

$$Q_u = \frac{Q_{uu} - G_1 - G_2}{\gamma_1} + Q_{ud} \quad (6.5.4-1)$$

式中： Q_u ——单桩竖向极限承载力（kN）；

Q_{uu} ——上段桩极限加载值（kN）；

Q_{ud} ——下段桩极限加载值（kN）；

G_1 ——荷载箱上部桩的自重，地下水位以下应取浮重度计算（kN）；

G_2 ——设计桩顶以上超灌高度的重量、空桩段泥浆或回填土自重及桩顶配重，地下水位以下应取浮重度计算（kN）；

γ_1 ——受检桩的抗压摩阻力转换系数；根据荷载箱上部土的类型确定：黏性土、粉土， $\gamma_1=0.8$ ；砂土， $\gamma_1=0.7$ ；

对于岩石 $\gamma_1=1.0$ ；若上段桩周有不同类型的土层， γ_1 按厚度取加权平均值。

4 单桩竖向抗拔极限承载力应按下列式确定：

$$Q_u = \frac{Q_{uu} - G_2}{\gamma_2} \quad (6.5.4-2)$$

式中： Q_u ——单桩竖向极限承载力（kN）；

Q_{uu} ——上段桩极限加载值（kN）；

G_2 ——设计桩顶以上超灌高度的重量、空桩段泥浆或回填土自重，地下水位以下应取浮重度计算（kN）；

γ_2 ——受检桩的抗拔摩阻力转换系数；应根据实际情况通过相近条件的比对试验确定，但不得小于 1.1。

5 为设计提供依据的单桩竖向抗压（拔）极限承载力的统计取值应符合本标准第 6.2.4 条第 4 款的规定。

6 单桩竖向抗压（拔）承载力特征值应按单桩竖向抗压（拔）极限承载力的 50%取值。

7 采用自平衡法静载试验进行单桩竖向承载力检测的工程桩，试验完成后必须进行注浆，且注浆压力不小于 2MPa。

- 1) 注浆管应采用钢管，与钢筋笼主筋固定，连接应采用丝扣连接或套焊，确保不漏浆，上端加盖、保证管内无异物；注浆管数量应根据桩径大小设置，对直径不大于 800mm 的桩，应对称布置 2 根注浆管，对直径大于 800mm 而不大于 1200mm 的桩，应对称布置 3 根注浆管，对直径大于 1200mm 而不大于 2500mm 的桩，应对称布置 4 根注浆管。
- 2) 注浆材料宜采用强度等级为 P.O 42.5 以上的水泥配制，浆液的水灰比宜为 0.5~0.65，确保浆体强度达到桩身设计强度要求，且无收缩。
- 3) 注浆流量不宜超过 75L/min，当相邻注浆管冒出水泥浆时

可终止注浆。

6.5.5 检测报告除应包括本标准第 3.6.3 条内容外，尚应包括下列内容：

- 1 试桩的截面尺寸及配筋情况；
- 2 荷载箱的规格、数量、埋设位置、最大加载值及相关记录；
- 3 加、卸载方法，荷载分级；
- 4 本标准第 6.5.4 条第 1 款要求绘制的曲线及对应的数据表；
- 5 承载力判定依据。

6.6 空心桩灌芯抗拔静载试验

6.6.1 本方法适用于空心桩混凝土灌芯抗拔承载力、芯柱混凝土与桩内壁的粘结强度的检测。

6.6.2 仪器设备及安装

1 试验加载设备宜采用空心液压千斤顶，加载方式应符合本标准第 6.2.2 条第 1 款的规定，加载反力装置宜利用工程桩平整桩顶提供支座反力，施加于桩顶的最大压应力不宜超过设计芯柱混凝土强度。

2 荷载、位移测量及其仪器技术要求应符合本标准第 6.2.2 条第 3 款的规定，应分别在芯柱混凝土顶面、桩顶面及锚拉主筋上布设位移计，每个监测面对称布置 2 个。

6.6.3 现场试验

1 试桩、支座与基准桩之间的最小中心距离应符合表 6.2.2 的规定。

2 试桩桩型尺寸、成桩工艺、灌芯深度、钢筋笼尺寸和质量控制标准应与工程桩一致，且钢筋露出桩顶长度不应小于加载设备安装所需长度，并不得有影响钢筋抗拉强度的损伤，使用锁具紧固后钢筋受力应均匀。

3 位移基准值的确定应符合下列规定：

- 1) 在初始荷载作用下，应每间隔 5min 测读一次位移；
- 2) 当相邻两次位移增量不大于 0.01mm 时，可视为位移稳定，取最后一次读数作为位移基准值。

4 试验加载应符合下列规定：

- 1) 为设计提供依据的试验桩加载应分级进行，采用逐级等量加载，分级荷载宜为预估最大试验荷载的 1/10，其中，第一级加载量可取分级荷载的 2 倍；
- 2) 工程桩验收最大试验荷载宜为设计要求的极限抗拔承载力，且不应大于灌芯锚固主筋钢筋屈服下轴心受拉设计值及芯柱混凝土受拉承载力设计值，初始荷载 (Q_0) 宜取预估最大试验荷载的 30%；
- 3) 工程桩验收宜采用单循环加载法，初始荷载取值、荷载分级和位移观测时间应按表 6.6.3 的规定确定；

表 6.6.3 单循环加载法的加载分级和位移观测时间表

试验荷载值与预估最大试验荷载的比例 (%)						
初始荷载	加载过程					
30	50	60	70	80	90	100
观测时间 (min)	≥30					

- 4) 每级荷载施加完成后应每隔 5min 分别测读一次芯柱混凝土顶面、桩顶面及锚拉主筋的位移；
- 5) 当 30min 内芯柱混凝土顶面和桩顶的位移增量分别不大于 0.01mm 时，可视为位移达到相对稳定，可继续施加下一级荷载；
- 6) 当试验桩加载至最大预估试验荷载值尚未出现本条第 5 款规定的终止加载情况时，宜按照最大试验加载值 10% 的荷载增量继续进行 1 个~2 个循环的加载试验，设计有要求时应加载至破坏状态；当工程桩加载至最大预估试验荷载值尚未出现本条第 5 款规定的终止加载情况时，可终止加

载。

5 试验出现下列情况之一时，即可终止加载：

- 1) 上拔量急剧增大，芯柱与管壁出现缝隙或锚拉钢筋周围混凝土开裂；
- 2) 本级荷载产生的单位荷载下的芯柱位移增量达到或超过前一级荷载产生的单位荷载下的位移增量的 5 倍；
- 3) 芯柱混凝土顶面或桩顶面位移在 2h 内未达到本条第 4 款第 5 项规定的相对稳定标准；
- 4) 锚拉钢筋屈服或断裂；
- 5) 已达到设计要求的最大加载量；
- 6) 已达到反力装置的最大加载量。

6 灌芯抗拔静载试验数据可按本标准表 C.2.5 的格式记录。

7 当桩身埋设传感器时，可检测芯柱混凝土应变、分层抗拔侧阻力及钢筋的应力分布。

6.6.4 检测数据分析与判定

1 灌芯抗拔静载试验数据处理应绘制荷载-芯柱相对变形($U - \Delta\delta$)关系曲线和芯柱相对变形-时间对数($\Delta\delta - \lg t$)关系曲线等。

2 测试芯柱应变和上拔位移时，测读时间应符合本标准第 6.6.3 条第 4 款第 3~5 项的规定。

3 灌芯抗拔极限承载力应按下列方法分析确定：

- 1) 根据相对变形随荷载变化的特征确定：对陡变型($U - \Delta\delta$)曲线，应取陡升起始点对应的荷载值；
- 2) 根据相对变形随时间变化的特征确定：应取($\Delta\delta - \lg t$)曲线斜率明显变陡或曲线尾部明显弯曲的前一级荷载值；
- 3) 在某级荷载作用下抗拔钢筋断裂、芯柱混凝土开裂或芯柱与管壁出现缝隙，应取前一级荷载值；
- 4) 当受检桩在最大试验荷载作用下，未出现前三款情况时，其取值应为施加的最大荷载。

4 为设计提供依据的灌芯抗拔极限承载力的统计取值应符合本标准第 6.2.4 条第 4 款的规定。

6.6.5 检测报告除应包括本标准第 3.6.3 条内容外，尚应包括下列内容：

- 1 芯柱尺寸、材料强度、钢筋配置；
- 2 加载反力装置类型；
- 3 加载方法，荷载分级；
- 4 本标准第 6.6.4 条第 1 款要求绘制的曲线及对应的数据表；
- 5 承载力判定依据；
- 6 当进行应力测试时，应包括传感器类型、安装位置，轴力计算方法，各级荷载作用下的桩身轴力曲线，各层粘结力等。

7 低应变法检测

7.1 一般规定

7.1.1 本方法适用于检测混凝土桩的桩身完整性,判定桩身缺陷的程度及位置。桩长的有效检测范围应通过现场试验确定。

7.1.2 对桩身截面多变且变化幅度较大的灌注桩,应采用其他方法辅助验证低应变法检测的有效性。

7.1.3 检测数量应符合下列规定:

1 每个承台抽检桩数不应少于 1 根;

2 设计等级、地质条件复杂、成桩质量可靠性较低的灌注桩抽检桩数不应少于总桩数的 40%,预制桩不得少于总桩数的 30%,且不得少于 20 根;

3 为设计提供依据的试桩、市政桥梁工程、新桩型或新工艺的基桩抽检比例为 100%;

4 有粘结强度的复合地基增强体及刚性桩复合地基中的混凝土灌注桩和预制桩,检测桩数不应少于总桩数的 20%,且不得少于 20 根。

7.2 仪器设备

7.2.1 检测仪器的主要技术性能指标应符合现行国家行业标准《基桩动测仪》JG/T 3055 的有关规定,且应具有信号显示、储存和处理分析功能。

7.2.2 瞬态激振设备应包括能激发宽脉冲和窄脉冲的力锤和锤垫;力锤可装有力传感器;稳态激振设备应为电磁式稳态激振器,其激振力可调,扫频范围为 10Hz~2000Hz。

7.3 现场检测

7.3.1 受检桩应符合下列规定：

- 1 桩身强度应符合本标准第 3.2.2 条第 4 款第 3 项的规定；
- 2 桩头的材质、强度、截面尺寸应与桩身基本等同；
- 3 桩顶面应平整、密实，并与桩轴线基本垂直。

7.3.2 测试参数设定应符合下列规定：

- 1 时域信号记录的时间段长度应在 $2L/c$ 时刻后延续不少于 5ms；幅频信号分析的频率范围上限不应小于 2000Hz；
- 2 设定桩长应为桩顶测点至桩底的施工桩长，设定桩身截面积应为施工截面积；
- 3 桩身波速可根据本地区同类型桩的测试值初步设定；
- 4 采样时间间隔或采样频率应根据桩长、桩身波速和频域分辨率合理选择；时域信号采样点数不宜少于 1024 点；
- 5 传感器的设定值应按计量检定或校准结果设定。

7.3.3 测量传感器安装和激振操作应符合下列规定：

- 1 安装传感器部位的混凝土应平整；传感器安装应与桩顶面垂直；用耦合剂粘结时，应具有足够的粘结强度；
- 2 激振点与测量传感器安装位置应避开钢筋笼的主筋影响；
- 3 激振方向应沿桩轴线方向；
- 4 瞬态激振应通过现场敲击试验，选择合适重量的激振力锤和软硬适宜的锤垫，宜用宽脉冲获取桩底或桩身下部缺陷反射信号，宜用窄脉冲获取桩身上部缺陷反射信号；
- 5 稳态激振应在每一个设定频率下获得稳定响应信号，并应根据桩径、桩长及桩周土约束情况调整激振力大小。

7.3.4 信号采集和筛选应符合下列规定：

- 1 应根据桩径大小，桩心对称布置 2 个～4 个激振点和检测点；
- 2 实心桩的激振点应选择在桩中心，检测点宜在距桩中心 $2/3$

半径处；空心桩的激振点与检测点宜在桩壁厚的 1/2 处，其与桩中心连线形成的夹角宜为 90°；

3 不同激振点和检测点的实测信号一致性较差时，应分析原因，并增加激振点和检测点的数量；

4 信号不应失真和产生零漂，信号幅值不应超过测量系统的量程；

5 每检测点保留的有效测试信号的数量不得少于 3 个。

7.4 检测数据的分析与判定

7.4.1 桩身波速平均值的确定应符合下列规定：

1 当桩长已知、桩底反射信号明确时，应在地基条件、设计桩型、成桩工艺相同的基桩中，选取不少于 5 根 I 类桩的桩身波速值，按下式计算其平均值：

$$c_m = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n c_i \quad (7.4.1-1)$$

$$c_i = \frac{2000L}{\Delta T} \quad (7.4.1-2)$$

$$c_i = 2L\Delta f \quad (7.4.1-3)$$

式中： c_m ——桩身波速的平均值（m/s）；

c_i ——第*i*根受检桩的桩身波速值（m/s），且 $|c_i - c_m|/c_m$ 不宜大于 5%；

L ——测点下桩长（m）；

ΔT ——速度波第一峰与桩底反射波峰间的时间差（ms）；

Δf ——幅频信号曲线上桩底相邻谐振峰间的频差（Hz）；

n ——参加波速平均值计算的基桩数量（ $n \geq 5$ ）。

2 当无法满足本条第 1 款要求时，波速平均值可根据本地区相同桩型及成桩工艺的其他桩基工程的实测值，结合桩身混凝土的骨

料品种和强度等级综合确定。

7.4.2 桩身缺陷位置应按下式计算：

$$x = \frac{1}{2000} \Delta t_x c \tag{7.4.2-1}$$

$$x = \frac{1}{2} \frac{c}{\Delta f'} \tag{7.4.2-2}$$

式中：x ——桩身缺陷至传感器安装点的距离（m）；

Δt_x ——速度波第一峰与缺陷反射波峰间的时间差（ms）；

c ——受检桩的桩身波速（m/s），无法确定时可用桩身波速的平均值替代；

$\Delta f'$ ——幅频信号曲线上缺陷相邻谐振峰间的频差（Hz）。

7.4.3 桩身完整性类别应结合缺陷出现的深度、测试信号衰减特性以及设计桩型、成桩工艺、地基条件、施工情况，按表 7.4.3-1 和表 7.4.3-2 所列实测时域信号特征或幅频信号特征进行综合分析判定。

1 灌注桩桩身完整性判定类别

表 7.4.3-1 灌注桩桩身完整性判定

完整性类别	时域信号特征	幅频信号特征
I	2L/c 时刻前无缺陷反射波，有桩底反射波	桩底谐振峰排列基本等间距，其相邻频差 $\Delta f \approx c/2L$
II	2L/c 时刻前出现轻微缺陷反射波，有桩底反射波	桩底谐振峰排列基本等间距，其相邻频差 $\Delta f \approx c/2L$ ，轻微缺陷产生的谐振峰与桩底谐振峰之间的频差 $\Delta f' > c/2L$
III	有明显缺陷反射波，其他特征介于 II 类与 IV 类之间	
IV	2L/c 时刻前出现严重缺陷反射波或周期性缺陷反射波，无桩底反射波；或因桩身浅部严重缺陷使波形出现低频大振幅衰减振动，无桩底反射波	缺陷谐振峰排列基本等间距，相邻频差 $\Delta f' > c/2L$ ，无桩底谐振峰；或因桩身浅部严重缺陷只出现单一谐振峰，无桩底谐振峰

注：对于长大灌注桩因桩端阻抗与持力层阻抗相匹配，导致实测信号无桩底反射波时，可适当增加高应变法进行辅助判别。

2 预制桩桩身完整性判定类别

表 7.4.3-2 预制桩桩身完整性判定

完整性类别	时域信号特征	幅频信号特征
I	对于单节桩, $2L/c$ 时刻前无缺陷反射波, 有桩底反射波; 对于双节及多节桩, 桩身及接桩部位均无缺陷反射波, 高应变测试曲线在 $2L/c$ 时刻有明显桩底反射特征	桩底谐振峰排列基本等间距, 其相邻频差 $\Delta f \approx c/2L$, 无接桩部位谐振峰
II	对于双节及多节桩, 桩身部位无缺陷反射波; 接桩部位有轻微缺陷反射波; 高应变测试曲线在 $2L/c$ 时刻有明显桩底反射特征	桩底谐振峰排列基本等间距, 其相邻频差 $\Delta f \approx c/2L$, 接桩部位产生的谐振峰与桩底谐振峰之间的频差 $\Delta f' > c/2L$
III	桩身部位有轻微缺陷反射波; 其他特征介于 II 类与 IV 类之间	
IV	桩身或接桩部位有明显缺陷反射波; 低应变测试曲线在 $2L/c$ 时刻没有桩底反射特征; 因桩身浅部严重缺陷使波形出现低频大振幅衰减振动, 无桩底反射波	桩身缺陷或接桩部位谐振峰排列基本等间距, 相邻频差 $\Delta f' > c/2L$, 无桩底谐振峰; 或因桩身浅部严重缺陷只出现单一谐振峰, 无桩底谐振峰

注: II 类桩仅限于双节及多节桩接桩部位存在轻微缺陷的情况。单节桩不存在 II 类桩。

7.4.4 采用时域信号分析判定受检桩的完整性类别时, 应结合成桩工艺和地基条件, 识别和判断下列易引起桩身缺陷误判的情况:

- 1 混凝土灌注桩桩身截面变化;
- 2 较强的波阻抗变化引起二次反射;
- 3 混凝土预制桩桩侧局部强土阻力引起负向反射及二次反射;
- 4 采用部分挤土方式沉桩的大直径开口预应力管桩, 桩孔内土芯闭塞部位产生的负向反射及其二次反射;
- 5 纵向尺寸效应使混凝土桩桩身阻抗突变处的反射波幅值降低。

7.4.5 对于嵌岩桩, 当桩底反射信号为单一反射波且与锤击信号同向时, 应采取钻芯法、孔内摄像法、静载试验或高应变法核验桩底嵌岩情况。

7.4.6 低应变检测报告应给出桩身完整性检测的实测信号曲线。

7.4.7 检测报告除应包括本标准第 3.6.3 条内容外，还应包括下列内容：

- 1** 桩身波速取值；
- 2** 桩身完整性描述，缺陷的位置及桩身完整性类别；
- 3** 时域信号时段所对应的桩身长度标尺、指数或线性放大的范围及倍数；或幅频信号曲线分析的频率范围、桩底或桩身缺陷对应的相邻谐振峰间的频差。

8 高应变法检测

8.1 一般规定

8.1.1 本方法适用于检测基桩的竖向抗压承载力和桩身完整性；监测预制桩打入时的桩身应力和锤击能量传递比，为选择沉桩工艺参数及桩长提供依据。

8.1.2 进行竖向抗压承载力检测时，宜具有现场实测经验和本地区相近条件下的可靠对比验证资料，灌注桩的承载力计算应采用实测曲线拟合法。

8.1.3 检测数量应符合下列规定：

1 预制桩、钢桩采用高应变法同时进行桩身完整性检测和单桩竖向抗压承载力检测，抽检桩数不应少于相同条件下总桩数的 5%，且不得少于 10 根；

2 混凝土灌注桩满足高应变法适用范围时，抽检数量不应少于相同条件下总桩数的 5%，且不得少于 5 根；

3 当打入式预制桩进行打桩监控时，在相同条件下监控数量不应少于 3 根。

8.2 仪器设备

8.2.1 检测设备包括信号采集分析仪、传感器、锤击设备和贯入度测量仪等。信号采集分析仪和传感器的主要技术性能指标不应低于现行国家行业标准《基桩动测仪》JG/T 3055 规定的 2 级标准。

8.2.2 自由重锤、打桩机械或类似装置均可作为锤击设备，但不得采用导杆式柴油锤、振动锤。自由重锤宜用铸钢或铸铁制作，且应质量均匀、形状对称、锤底平整。

8.2.3 采用自由落锤时，应具有稳固的导向装置。锤的重量不应小

于预估单桩竖向抗压极限承载力的 1%，桩径大于 800mm 或桩长大于 35m 时宜适当增加锤重。

8.2.4 桩的贯入度可采用精密水准仪等仪器测定。

8.3 现场检测

8.3.1 检测前的准备工作，应符合下列规定：

1 对于不满足本标准第 3.2.2 条第 4 款第 4 项规定休止时间的预制桩，应根据本地区经验，合理安排复打时间，确定承载力的时间效应；

2 桩顶面应平整，桩顶高度应满足锤击装置的要求，桩锤重心应与桩顶对中，锤击装置架立应垂直；

3 对不能承受锤击的桩头应进行加固处理，混凝土桩的桩头处理应符合本标准第 6.2.3 条第 2 款的规定；

4 钢筋混凝土桩桩顶应设置桩垫，并根据使用情况及时更换。桩垫可采用 10mm~30mm 厚的湿润中粗砂、胶合板、木板和纤维板等材质均匀的材料。

8.3.2 传感器的安装应符合下列要求：

1 高应变法检测时的冲击响应可采用对称安装在桩顶下桩侧表面的加速度传感器和应变传感器测量；

2 在桩顶下桩侧表面安装应变传感器和加速度传感器如图 8.3.2 所示，应符合下列规定：

1) 应变传感器和加速度传感器，宜分别对称安装在距桩顶不小于 $2D$ 或 $2B$ 的桩侧表面处；对于大直径桩，传感器与桩顶之间的距离可适当减小，但不得小于 $1D$ ；传感器安装面处的材质和截面尺寸应与原桩身相同，传感器不得安装在截面突变处附近；

2) 应变传感器与加速度传感器的中心应位于同一水平线上；

同侧的应变传感器和加速度传感器间的水平距离不宜大于 80mm;

- 3) 各传感器的安装面材质应均匀、密实、平整; 当传感器的安装面不平整时, 可采用磨光机将其磨平;
- 4) 安装传感器的螺栓钻孔应与桩侧表面垂直; 安装完毕后的传感器应紧贴桩身表面, 传感器的敏感轴应与桩中心轴平行; 锤击时传感器不得产生滑动;
- 5) 安装应变式传感器时, 应对其初始应变值进行监视; 安装后的传感器初始应变值不应过大, 锤击时传感器的可测轴向变形余量的绝对值混凝土桩不得小于 $1000\mu\epsilon$, 钢桩不得小于 $1500\mu\epsilon$ 。

3 当连续锤击监测时, 应将传感器连接电缆有效固定。

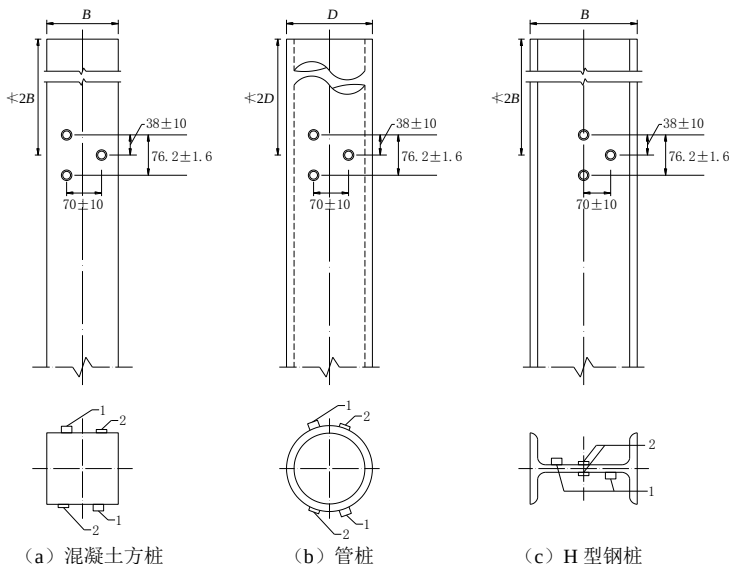


图 8.3.2 传感器安装示意图

注: 图中尺寸单位为 mm。

1—加速度传感器; 2—应变传感器; B—矩形桩的边宽; D—桩身外径

8.3.3 参数设定和计算，应符合下列规定：

- 1 采样时间间隔宜为 $50\mu s\sim 200\mu s$ ，信号采样点数不宜少于 1024 点；
- 2 传感器的设定值应按计量检定或校准结果设定；
- 3 测点处的桩截面尺寸应按实际测量确定；
- 4 测点以下桩长和截面积可采用设计文件或施工记录提供的数据作为设定值；
- 5 桩身材料质量密度应按表 8.3.3 取值；

表 8.3.3 桩身材料质量密度 (t/m^3)

钢桩	混凝土预制桩	离心管桩	混凝土灌注桩
7.85	2.45~2.50	2.55~2.60	2.4

- 6 桩身波速可结合本地经验或按同场地同类型已检桩的平均波速初步设定，现场检测完成后应按本标准第 8.4.3 条进行调整；
- 7 桩身材料弹性模量应按下式计算：

$$E = \rho c^2 \tag{8.3.3}$$

式中： E ——桩身材料弹性模量（kPa）；
 ρ ——桩身材料质量密度（ t/m^3 ）；
 c ——桩身应力波传播速度（m/s）。

8.3.4 现场检测应符合下列规定：

- 1 交流供电的测试系统应接地良好，检测时测试系统应处于正常状态；
- 2 采用自由落锤为锤击设备时，应符合重锤低击原则，最大锤击落距不宜大于 2.5m；
- 3 现场信号采集时，应检查采集信号的质量，并根据桩顶最大动位移、贯入度、桩身最大拉应力、桩身最大压应力、缺陷程度及其发展情况等，综合确定每根受检桩记录的有效锤击信号数量；
- 4 发现测试波形紊乱，应分析原因；桩身有明显缺陷或缺陷程

度加剧，应停止检测。

8.3.5 承载力检测时应实测桩的贯入度，单击贯入度宜为 2mm～6mm。

8.4 检测数据分析与判定

8.4.1 检测承载力时选取锤击信号，宜取锤击能量较大的击次。

8.4.2 出现下列情况之一时，高应变锤击信号不得作为承载力分析计算的依据：

1 传感器安装处混凝土开裂或出现严重塑性变形使力曲线最终未归零；

2 严重锤击偏心，两侧力信号幅值相差超过 1 倍；

3 四通道测试数据不全。

8.4.3 桩底反射明显时，桩身波速可根据速度波第一峰起升沿的起点到速度反射峰起升或下降沿的起点之间的时差与已知桩长值确定（图 8.4.3）；桩底反射信号不明显时，可根据桩长、混凝土波速的合理取值范围以及邻近桩的桩身波速值综合确定。

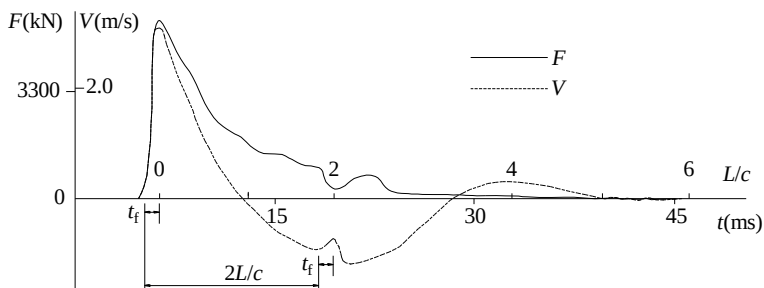


图 8.4.3 桩身波速的确定

8.4.4 桩身材料弹性模量和锤击力信号的调整应符合下列规定：

1 当测点处原设定波速随调整后的桩身波速改变时，相应的桩

身材料弹性模量应按本标准式(8.3.3)重新计算;

2 对于采用应变传感器测量应变并由应变换算冲击力的方式,当原始力信号按速度单位存储时,桩身材料弹性模量调整后尚应对原始实测力值校正。

8.4.5 高应变实测的力和速度信号第一峰起始段不成比例时,不得对实测力或速度信号进行调整。

8.4.6 承载力分析计算前,应结合地基条件、设计参数,对下列实测波形特征进行定性检查:

1 实测曲线特征反映出的桩承载性状;

2 桩身缺陷程度和位置,连续锤击时缺陷的扩大或逐步闭合情况。

8.4.7 采用凯司法判定桩的承载力,应符合下列规定:

1 桩身材质、截面应基本均匀;

2 阻尼系数 J_c 宜根据同条件下静载试验结果校核,或应在已取得相近条件下可靠对比资料后,采用实测曲线拟合法确定 J_c 值,拟合计算的桩数不应少于检测总桩数的 30%,且不应少于 3 根;

3 在同一场地、地基条件相近和桩型及其截面积相同情况下, J_c 值的极差不宜大于平均值的 30%;

4 单桩承载力应按下列凯司法公式计算:

$$R_c = \frac{1}{2}(1 - J_c)[F(t_1) + ZV(t_1)] + \frac{1}{2}(1 + J_c)\left[F\left(t_1 + \frac{2L}{c}\right) - ZV\left(t_1 + \frac{2L}{c}\right)\right] \quad (8.4.7-1)$$

$$Z = \frac{EA}{c} \quad (8.4.7-2)$$

式中: R_c ——凯司法单桩承载力计算值(kN);

J_c ——凯司法阻尼系数;

t_1 ——速度第一峰对应的时刻；

$F(t_1)$ —— t_1 时刻的锤击力（kN）；

$V(t_1)$ —— t_1 速时刻的质点运动速度（m/s）；

Z ——桩身截面力学阻抗（kN s/m）；

A ——桩身截面面积（m²）；

L ——测点下桩长（m）。

5 对于 $(t_1 + 2L/c)$ 时刻桩侧和桩端土阻力均已充分发挥的摩擦型桩，单桩竖向抗压承载力检测值可采用式(8.4.7-1)的计算值；

6 对于土阻力滞后于 $(t_1 + 2L/c)$ 时刻明显发挥或先于 $(t_1 + 2L/c)$ 时刻发挥并产生桩中上部强烈反弹这两种情况，宜分别采用下列方法对式(8.4.7-1)的计算值进行提高修正，得到单桩竖向抗压承载力检测值：

1) 将 t_1 延时，确定 R_c 的最大值；

2) 计入卸载回弹的土阻力，对 R_c 值进行修正。

8.4.8 采用实测曲线拟合法判定桩承载力，应符合下列规定：

1 所采用的力学模型应明确、合理，桩和土的力学模型应能分别反映桩和土的实际力学性状，模型参数的取值范围应能限定；

2 拟合分析选用的参数应在岩土工程的合理范围内；

3 曲线拟合时间段长度在 $(t_1 + 2L/c)$ 时刻后延续时间不应小于 20ms；对于柴油锤打桩信号，在 $(t_1 + 2L/c)$ 时刻后延续时间不应小于 30ms；

4 各单元所选用的土的最大弹性位移 s_q 值不应超过相应桩单元的最大计算位移值；

5 拟合完成时，土阻力响应区段的计算曲线与实测曲线应吻合，其他区段的曲线应基本吻合；

6 贯入度的计算值应与实测值接近。

8.4.9 单桩竖向抗压承载力特征值应按本方法得到的单桩竖向抗

压承载力检测值的 50%取值。

8.4.10 桩身完整性可采用下列方法进行判定：

1 采用实测曲线拟合法判定时，拟合所选用的桩、土参数应符合本标准第 8.4.8 条第 1、2 款的规定；根据桩的成桩工艺，拟合时应考虑桩身尺寸、材质因设计或施工工艺原因造成的变化，对混凝土预制桩应考虑接桩缝隙。

2 等截面桩且缺陷深度 x 以上部位的土阻力 R_x 未出现卸载回弹时，桩身完整性系数 β 和桩身缺陷位置 x 应分别按下式计算，桩身完整性可按表 8.4.10 并结合经验判定。

$$\beta = \frac{F(t_1) + F(t_x) + Z[V(t_1) - V(t_x)] - 2R_x}{F(t_1) - F(t_x) + Z[V(t_1) + V(t_x)]} \quad (8.4.10-1)$$

$$x = c \frac{t_x - t_1}{2000} \quad (8.4.10-2)$$

式中： t_x ——缺陷反射峰对应的时刻（ms）；

x ——桩身缺陷至传感器安装点的距离（m）；

R_x ——缺陷以上部位土阻力的估计值，等于缺陷反射波起始点的力与速度乘以桩身截面力学阻抗之差值（图 8.4.10）；

β ——桩身完整性系数，其值等于缺陷 x 处桩身截面阻抗与 x 处以上桩身截面阻抗的比值。

表 8.4.10 桩身完整性判定

类 别	β 值
I	$\beta = 1.0$
II	$0.8 \leq \beta < 1.0$
III	$0.6 \leq \beta < 0.8$
IV	$\beta < 0.8$

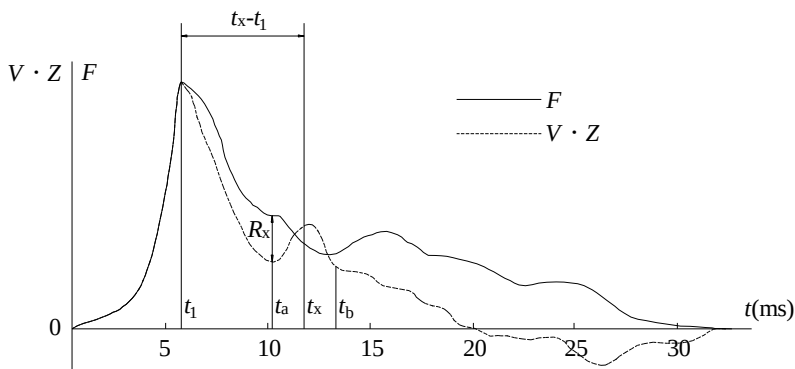


图 8.4.10 桩身完整性系数计算

8.4.11 出现下列情况之一时，桩身完整性宜按地基条件和施工工艺，结合实测曲线拟合法或其他检测方法综合判定：

- 1 桩身有扩径；
- 2 混凝土灌注桩桩身截面渐变或多变；
- 3 力和速度曲线在第一峰附近不成比例，桩身浅部有缺陷；
- 4 锤击力波上升缓慢；
- 5 本标准第 8.4.10 条第 2 款的情况：缺陷深度 x 以上部位的土阻力 R_x 出现卸载回弹。

8.4.12 检测报告除应包括本标准第 3.6.3 条规定的内容外，尚应包括下列内容：

- 1 实测的力与速度信号曲线；
- 2 凯司法计算中采用的桩身波速值和 J_c 值；
- 3 实测曲线拟合法所选用的各单元桩和土的模型参数、拟合曲线、土阻力沿桩身分布图；
- 4 检测采用重锤参数、落距、实测贯入度等。

8.5 打 桩 监 控

8.5.1 为选择桩型、桩长和桩端持力层进行试打桩时，应符合下列规定：

- 1 试打桩位置的工程地基条件应具有代表性；
- 2 试打桩过程中，应按桩端进入的土层逐一进行测试；当持力层较厚时，应在同一土层中进行多次测试。

8.5.2 桩端持力层应根据试打桩的打桩阻力与贯入度的关系，结合场地岩土工程勘察报告综合判定。

8.5.3 采用试打桩预估桩的承载力应符合下列规定：

- 1 应通过试打桩复打试验确定桩的承载力恢复系数；
- 2 复打至初打的休止时间应符合本标准第 3.2.2 条第 4 款第 4 项的规定。

8.5.4 桩身锤击应力监测应符合下列规定：

- 1 被监测桩的桩型、材质应与工程桩相同；施打机械的锤型、落距和垫层材料及状况应与工程桩施工时相同；
- 2 应包括桩身锤击拉应力和锤击压应力两部分。

8.5.5 桩身锤击应力最大值监测宜符合下列规定：

- 1 桩身锤击拉应力宜在预计桩端进入软土层或桩端穿过硬土层进入软夹层时测试；
- 2 桩身锤击压应力宜在桩端进入硬土层或桩侧土阻力较大时测试。

8.5.6 传感器安装点以下深度的桩身锤击拉应力应按下列公式计算：

$$\sigma_t = \frac{1}{2A} \left[F(t_1 + \frac{2L}{c}) - ZV(t_1 + \frac{2L}{c}) + F(t_1 + \frac{2L-2x}{c}) + ZV(t_1 + \frac{2L-2x}{c}) \right] \quad (8.5.6)$$

式中： σ_t ——深度 x 处的桩身锤击拉应力（kPa）；

x ——传感器安装点至计算点的深度（m）；

A ——桩身截面面积 (m^2)。

8.5.7 最大桩身锤击拉应力出现的深度,应与式(8.5.6)确定的最大桩身锤击拉应力相对应。

8.5.8 最大桩身锤击压应力可按下式计算:

$$\sigma_p = \frac{F_{\max}}{A} \quad (8.5.8)$$

式中: σ_p ——最大桩身锤击压应力 (kPa);

$F_{\max}$ ——实测的最大锤击力 (kN)。

8.5.9 桩锤实际传递给桩的能量应按下式计算:

$$E_n = \int_0^{t_e} FV dt \quad (8.5.9)$$

式中: E_n ——桩锤实际传递给桩的能量 (kJ);

t_e ——采样结束的时刻 (s)。

8.5.10 桩锤最大动能宜通过测定锤芯最大运动速度确定。

8.5.11 桩锤传递比应按桩锤实际传递给桩的能量与桩锤额定能量的比值确定;桩锤效率应按实测的桩锤最大动能与桩锤额定能量的比值确定。

8.5.12 试打桩和打桩监控的报告除应包括本标准第 8.4.12 条规定的内容外,尚应包括:所采用的桩锤型号、桩垫类型,以及监测得到的锤击数、桩侧和桩端静阻力、桩身锤击拉应力和压应力、桩身完整性以及能量传递比随入土深度的变化。

9 声波透射法检测

9.1 一般规定

9.1.1 本方法适用于检测混凝土灌注桩的桩身完整性、地下连续墙的墙身完整性，判定桩（墙）身混凝土缺陷位置、范围和程度。

9.1.2 桩径、墙宽应在仪器的检测能力范围内，受检桩直径或连续墙墙宽不宜小于 600mm。

9.1.3 当出现下列情况之一时，可对测试区域混凝土质量进行评价，不得对整桩或整幅墙的完整性进行评定：

- 1 声测管未沿桩（墙）身通长配置；
- 2 声测管堵塞导致检测数据不全；
- 3 声测管埋设不符合本标准第 9.2.3 条的规定。

9.1.4 声波透射法检测数量应符合下列规定：

- 1 设计等级为甲级的大直径灌注桩，按不少于总桩数 10%的比例采用声波透射法检测，每个柱下承台检测桩数不应少于 1 根，且不少于 10 根；

- 2 市政工程检测数量不应少于总桩数的 50%；

- 3 对同一受检桩，当采用预埋管钻芯法检测预埋管管底以下部分的桩身混凝土质量、桩底沉渣厚度和桩端持力层岩土性状时，应同时采用声波透射法检测预埋管管底以上部分的桩身混凝土质量；

- 4 对地下连续墙检测墙体质量，检测墙段数不宜少于总墙段数的 20%，且不宜少于 3 个槽段。

9.2 仪器设备

9.2.1 声波检测仪应符合下列规定：

- 1 具有实时显示和存储接收信号波形的功能，并具有频率测量

或频谱分析功能；

- 2 具有信号自动采集功能，且宜一发双收或一发多收；
- 3 具有首波实时显示功能和自动记录换能器位置功能；
- 4 声波发射脉冲为阶跃或矩形脉冲，电压幅值宜为 200V～1000V，且分档可调；
- 5 最小采样时间间隔应小于等于 0.5 μ s，系统频带宽度应为 1kHz～300kHz，声波幅值测量相对误差应小于 5%，系统最大动态范围不得小于 100dB。

9.2.2 换能器应符合下列规定：

- 1 圆柱状，径向水平振动应无指向性；
- 2 谐振频率宜为 30kHz～60kHz；
- 3 外径小于声测管内径，有效工作段长度不得大于 150mm；
- 4 水密性应满足 1.0MPa 水压不渗水；
- 5 换能器连接导线上应有深度标记，换能器应配置扶正器。

9.2.3 声测管

- 1 声测管及其埋设应符合下列规定：
 - 1) 声测管宜采用金属管，壁厚不应小于 2mm，其内径应比换能器外径大 15mm 且不大于 25mm；
 - 2) 声测管应下端封闭、上端加盖、管内无异物；声测管连接处应光顺过渡，管的连接宜采用螺纹连接，且不得漏水；
 - 3) 声测管应牢固焊接或绑扎在钢筋笼内侧，且相互平行定位准确，固定点间距不大于 2 米；
 - 4) 声测管应埋设至桩端（墙底），管口高出混凝土顶面 100mm 以上，且各声测管管口高度宜一致；
 - 5) 声测管焊接时应防止接口处焊瘤内溢影响换能器正常通行；
 - 6) 钢筋笼下放前应进行声测管间距的校核。
- 2 声测管应沿钢筋笼内侧呈对称形状布置（图 9.2.3-1），并依次编号。声测管埋设数量应符合下列规定：

- 1) 桩径小于或等于 800mm 时, 不少于 2 根声测管;
- 2) 桩径大于 800mm 且小于或等于 1600mm 时, 不少于 3 根声测管;
- 3) 桩径大于 1600mm 时, 不少于 4 根声测管;
- 4) 桩径大于 2500mm 时, 宜增加预埋声测管数量。

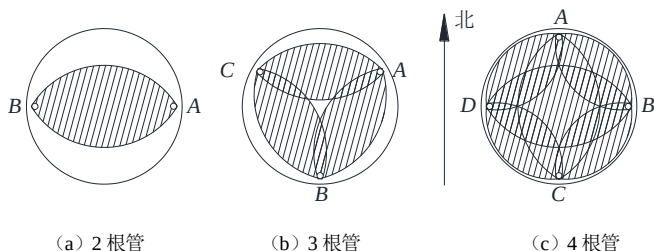


图 9.2.3-1 灌注桩声测管布置示意图

注: 检测剖面编组 (检测剖面序号为 j) 分别为: 2 根管时, AB 剖面 ($j=1$); 3 根管时, AB 剖面 ($j=1$), BC 剖面 ($j=2$), CA 剖面 ($j=3$); 4 根管时, AB 剖面 ($j=1$), BC 剖面 ($j=2$), CD 剖面 ($j=3$), DA 剖面 ($j=4$), AC 剖面 ($j=5$), BD 剖面 ($j=6$)。

3 地下连续墙的声测管间距不宜大于 1.5m; 对于单个槽段, 声测管埋设数量不应少于 5 根; 对于异型槽段, 应在阴角处、阳角处各布设 1 根声测管; 检测相邻槽段接头混凝土质量时, 应在两幅墙的接头处埋设声测管, 如图 9.2.3-2 所示。

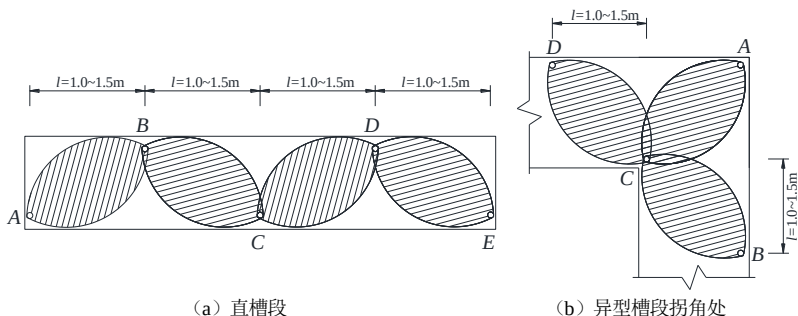


图 9.2.3-2 地连墙声测管布置示意图

- 4 钻芯孔或预埋管钻芯法中的预埋管可作为声测通道。

9.3 现场检测

9.3.1 现场检测前准备工作应符合下列规定：

- 1 准确量测声测管内、外径和相邻声测管外壁间净距离，内、外径的测量精度为 $\pm 0.1\text{mm}$ ，外壁间净距离的测量精度为 $\pm 1\text{mm}$ ；
- 2 将各声测管内注满清水，检查声测管畅通情况，换能器应能在声测管全程范围内正常升降，必要时对声测管进行冲洗、清理；
- 3 采用率定法确定仪器系统延迟时间；
- 4 计算声测管及耦合水层声时修正值；
- 5 声测管及声测剖面编号。

9.3.2 现场平测和斜测应符合下列规定：

- 1 发射与接收声波换能器应通过深度标志分别置于不同声测管中；
- 2 平测时，声波发射与接收声波换能器应始终保持相同深度（图 9.3.2a）；斜测时，声波发射与接收换能器应始终保持固定高差（图 9.3.2b），两个换能器中点连线的水平夹角应与接受信号灵敏度相适应；
- 3 声波发射与接收换能器应同步升降，声测线间距不应大于 100mm ；升降过程中，应校核换能器的深度，并校正换能器的高差，确保测试波形的稳定性，升降应匀速且不宜大于 0.5m/s ；
- 4 应实时显示、记录每条声测线的信号时程曲线，并读取首波声时、幅值；当需要采用信号主频值作为异常声测线辅助判据时，尚应读取信号的主频值；保存检测数据的同时，应保存波列图信息；
- 5 同一检测剖面的声测线间距、声波发射电压和仪器设置参数应保持不变。

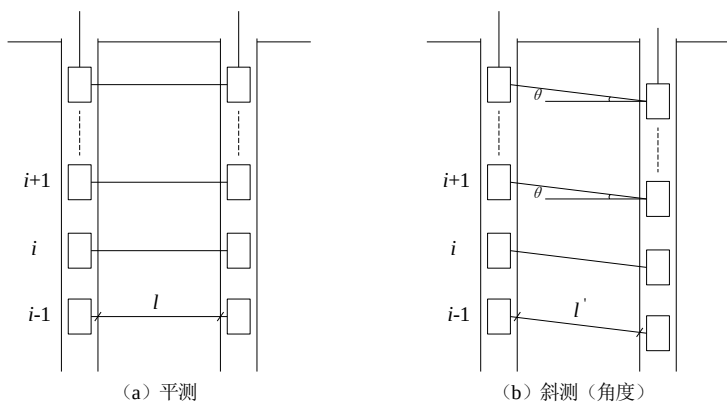


图 9.3.2 平测、斜测示意图

9.3.3 在桩（墙）身质量可疑的声测线附近，应采用增加声测线或交叉斜测、采用扇形扫测（图 9.3.3）等方式，进行复测和加密测试，确定缺陷的位置和空间分布范围，排除因声测管耦合不良等非缺陷因素导致的异常声测线；也可用声波层析成像技术（CT 技术）进行扫测和数据分析。

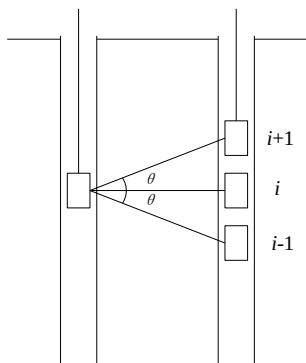


图 9.3.3 扇形扫测示意图

9.4 检测数据分析与判定

9.4.1 当因声测管倾斜、变形导致声速数据有规律地偏高或偏低变化时，应先对管距进行合理修正，然后对数据进行统计分析；当实测数据明显偏离正常值无法进行合理修正，并影响对该桩（墙）身完整性评价时，检测数据不得作为评价桩（墙）身完整性的依据。

9.4.2 平测时的各声测线的声时、声速、波幅及主频，应根据现场检测数据按下式计算，并绘制声速-深度曲线和波幅-深度曲线，也可绘制辅助的主频-深度曲线以及能量-深度曲线。

$$t_{ci}(j) = t_i(j) - t_0 - t' \quad (9.4.2-1)$$

$$v_i(j) = \frac{l'_i(j)}{t_{ci}(j)} \quad (9.4.2-2)$$

$$A_{pi}(j) = 20 \lg \frac{a_i(j)}{a_0} \quad (9.4.2-3)$$

$$f_i(j) = \frac{1000}{T_i(j)} \quad (9.4.2-4)$$

式中： i ——声测线编号，应对每个检测剖面自下而上（或自上而下）连续编号；

j ——检测剖面编号，按本标准第 9.2.3 条第 2、3 款编组；

$t_{ci}(j)$ ——第 j 检测剖面第 i 声测线声时（ μs ）；

$t_i(j)$ ——第 j 检测剖面第 i 声测线声时测量值（ μs ）；

t_0 ——仪器系统延迟时间（ μs ）；

t' ——声测管及耦合水层声时修正值（ μs ）；

$l'_i(j)$ ——第 j 检测剖面第 i 声测线的两声测管的外壁间净距离

(mm)；平测时，为两声测管管口的外壁间净距离；斜测时，为声波发射和接收换能器各自中点对应的声测管外壁处之间的净距离，可由桩顶面两声测管的外壁间净距离和发射接收声波换能器的高差计算得到；

$v_i(j)$ ——第 j 检测剖面第 i 声测线声速 (km/s)；

$A_{pi}(j)$ ——第 j 检测剖面第 i 声测线的首波幅值 (dB)；

$a_i(j)$ ——第 j 检测剖面第 i 声测线信号首波幅值 (V)；

a_0 ——零分贝信号幅值 (V)；

$f_i(j)$ ——第 j 检测剖面第 i 声测线信号主频值 (kHz)，可经信号频谱分析得到；

$T_i(j)$ ——第 j 检测剖面第 i 声测线首波周期 (μs)。

9.4.3 异常信号分析与判定

1 当采用平测或斜测时，第 j 检测剖面的声速异常判断概率统计值应按下列方法确定：

1) 第 j 检测剖面各声测线的声速值 $v_i(j)$ 由大到小依次按下式排序：

$$v_1(j) \geq v_2(j) \geq \dots v_{k'}(j) \geq \dots v_{i-1}(j) \geq v_i(j) \geq v_{i+1}(j) \geq \dots v_{n-k}(j) \\ \geq \dots v_{n-1}(j) \geq v_n(j) \quad (9.4.3-1)$$

式中： $v_i(j)$ ——第 j 检测剖面第 i 声测线声速， $i = 1, 2, \dots, n$ ；

n ——第 j 检测剖面的声测线总数；

k ——拟去掉的低声速值的数据个数， $k = 0, 1, 2, \dots$ ；

k' ——拟去掉的高声速值的数据个数， $k' = 0, 1, 2, \dots$ 。

2) 对逐一去掉 $v_i(j)$ 中 k 个最小数值和 k' 个最大数值后的其余数据，应按下式进行统计计算：

$$v_{01}(j) = v_m(j) - \lambda s_x(j) \quad (9.4.3-2)$$

$$v_{02}(j) = v_m(j) + \lambda s_x(j) \quad (9.4.3-3)$$

$$v_m(j) = \frac{1}{n-k-k'} \sum_{i=k'+1}^{n-k} v_i(j) \quad (9.4.3-4)$$

$$s_x(j) = \sqrt{\frac{1}{n-k-k'-1} \sum_{i=k'+1}^{n-k} (v_i(j) - v_m(j))^2} \quad (9.4.3-5)$$

$$C_v(j) = \frac{s_x(j)}{v_m(j)} \quad (9.4.3-6)$$

式中： $v_{01}(j)$ ——第 j 剖面的声速异常小值判断值；

$v_{02}(j)$ ——第 j 剖面的声速异常大值判断值；

$v_m(j)$ —— $(n-k-k')$ 个数据的平均值；

$s_x(j)$ —— $(n-k-k')$ 个数据的标准差；

$C_v(j)$ —— $(n-k-k')$ 个数据的变异系数；

λ ——由表 9.4.3 查得的与 $(n-k-k')$ 相对应的系数。

表 9.4.3 统计数据个数 $(n-k-k')$ 与对应的 λ 值

$n-k-k'$	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19
λ	1.28	1.33	1.38	1.43	1.47	1.50	1.53	1.56	1.59	1.62
$n-k-k'$	20	22	24	26	28	30	32	34	36	38
λ	1.64	1.69	1.73	1.77	1.80	1.83	1.86	1.89	1.91	1.94
$n-k-k'$	40	42	44	46	48	50	52	54	56	58
λ	1.96	1.98	2.00	2.02	2.04	2.05	2.07	2.09	2.10	2.11
$n-k-k'$	60	62	64	66	68	70	72	74	76	78
λ	2.13	2.14	2.15	2.17	2.18	2.19	2.20	2.21	2.22	2.23
$n-k-k'$	80	82	84	86	88	90	92	94	96	98
λ	2.24	2.25	2.26	2.27	2.28	2.29	2.29	2.30	2.31	2.32
$n-k-k'$	100	105	110	115	120	125	130	135	140	145
λ	2.33	2.34	2.36	2.38	2.39	2.41	2.42	2.43	2.45	2.46

续表 9.4.3

$n-k-k'$	150	160	170	180	190	200	220	240	260	280
λ	2.47	2.50	2.52	2.54	2.56	2.58	2.61	2.64	2.67	2.69
$n-k-k'$	300	320	340	360	380	400	420	440	470	500
λ	2.72	2.74	2.76	2.77	2.79	2.81	2.82	2.84	2.86	2.88
$n-k-k'$	550	600	650	700	750	800	850	900	950	1000
λ	2.91	2.94	2.96	2.98	3.00	3.02	3.04	3.06	3.08	3.09
$n-k-k'$	1100	1200	1300	1400	1500	1600	1700	1800	1900	2000
λ	3.12	3.14	3.17	3.19	3.21	3.23	3.24	3.26	3.28	3.29

- 3) 按 $k=0$ 、 $k'=0$ 、 $k=1$ 、 $k'=1$ 、 $k=2$ 、 $k'=2$ ……的顺序，将参加统计的数列最小数据 $v_{n-k}(j)$ 与异常小值判断值 $v_{01}(j)$ 进行比较，当 $v_{n-k}(j) \leq v_{01}(j)$ 时剔除最小数据；将最大数据 $v_{k'+1}(j)$ 与异常大值判断值 $v_{02}(j)$ 进行比较，当 $v_{k'+1}(j) \geq v_{02}(j)$ 时剔除最大数据；每次剔除一个数据，对剩余数据构成的数列，重复式 (9.4.3-2~9.4.3-5) 的计算步骤，直到下列两式成立：

$$v_{n-k}(j) > v_{01}(j) \quad (9.4.3-7)$$

$$v_{k'+1}(j) < v_{02}(j) \quad (9.4.3-8)$$

- 4) 第 j 检测剖面的声速异常判断概率统计值，应按下式计算：

$$v_0(j) = \begin{cases} v_m(j)(1-0.015\lambda) & \text{当 } C_v(j) < 0.015 \text{ 时} \\ v_{01}(j) & \text{当 } 0.015 \leq C_v(j) \leq 0.045 \text{ 时} \\ v_m(j)(1-0.045\lambda) & \text{当 } C_v(j) > 0.045 \text{ 时} \end{cases} \quad (9.4.3-9)$$

式中： $v_0(j)$ ——第 j 检测剖面的声速异常判断概率统计值。

- 2 受检桩（墙）的声速异常判断临界值，应按下列方法确定：

- 1) 剖面的声速临界值应按下列方法确定：根据预留同条件混

凝土试件或钻芯法获取芯样试件的抗压强度与声速对比试验,结合本地经验,分别确定桩(墙)身混凝土声速的低限值 v_L 和混凝土试件的声速平均值 v_p 。

(1) 当 $v_L < v_0(j) < v_p$ 时

$$v_c(j) = v_0(j) \quad (9.4.3-10)$$

式中: $v_c(j)$ ——第 j 检测剖面的声速异常判断临界值;

$v_0(j)$ ——第 j 检测剖面的声速异常判断概率统计值。

(2) 当 $v_0(j) \leq v_L$ 或 $v_0(j) \geq v_p$ 时,应分析原因, $v_c(j)$ 的取值可参考同一桩(墙)的其他检测剖面的声速异常判断临界值或同一工程相同类型且混凝土质量较稳定的其他桩(墙)的声速异常判断临界值综合确定。

- 2) 当不具备 1) 款条件时,剖面的声速临界值可按下列方法确定:桩(墙)身混凝土质量较稳定,同一检测剖面内声速值符合正态分布规律时,可按式(9.4.3-10)判定;桩(墙)身混凝土质量较差,同一检测剖面内声速值不符合正态分布规律或声速值整体明显偏低时, $v_c(j)$ 的取值可参考同一桩(墙)的其他检测剖面的声速异常判断临界值或同一工程相同类型桩(墙)的声速异常判断临界值综合确定。
- 3) 对只有单个检测剖面的桩(墙),其声速异常判断临界值等于检测剖面声速异常判断临界值;对具有三个及三个以上检测剖面的桩(墙),应取各个检测剖面声速异常判断临界值的算术平均值,作为该桩(墙)各声测线的声速异常判断临界值。

3 声速 $v_i(j)$ 异常应按式判定,满足下式的声速值可判定为异常。

$$v_i(j) \leq v_c \quad (9.4.3-11)$$

4 波幅异常判断的临界值,应按式计算:

$$A_m(j) = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n A_{pi}(j) \quad (9.4.3-12)$$

$$A_c(j) = A_m(j) - 6 \quad (9.4.3-13)$$

波幅 $A_{pi}(j)$ 异常应按式判定，满足下式的波幅值可判定为异常。

$$A_{pi}(j) < A_c(j) \quad (9.4.3-14)$$

式中： $A_m(j)$ ——第 j 检测剖面各声测线的波幅平均值（dB）；

$A_{pi}(j)$ ——第 j 检测剖面第 i 声测线的波幅值（dB）；

$A_c(j)$ ——第 j 检测剖面波幅异常判断的临界值（dB）；

n ——第 j 检测剖面的声测线总数。

5 当采用信号主频值作为辅助异常声测线判据时，主频-深度曲线上主频值明显降低的声测线可判定为异常。

6 当采用接收信号的能量作为辅助异常声测线判据时，能量/幅值-深度曲线上接收信号能量/幅值明显降低可判定为异常。

7 采用斜率法作为辅助异常声测线判据时，声时-深度曲线上相邻两点的斜率与声时差的乘积 PSD 值应按式计算。当 PSD 值在某深度处突变时，宜结合波幅变化情况进行异常声测线判定。

$$PSD(j, i) = \frac{[t_{ci}(j) - t_{ci-1}(j)]^2}{z_i - z_{i-1}} \quad (9.4.3-15)$$

式中： PSD ——声时-深度曲线上相邻两点连线的斜率与声时差的乘积（ $\mu s^2/m$ ）；

$t_{ci}(j)$ ——第 j 检测剖面第 i 声测线的声时（ μs ）；

$t_{ci-1}(j)$ ——第 j 检测剖面第（ $i - 1$ ）声测线的声时（ μs ）；

z_i ——第 i 声测线深度（m）；

z_{i-1} ——第（ $i - 1$ ）声测线深度（m）。

9.4.4 采用声波层析成像法分析判定桩（墙）身完整性时，应符合下列规定：

1 反演分析的数学模型应科学、合理，能反映声波在混凝土中的传播性状；

2 网格单元的几何尺寸应与测点间距一致；

3 当埋设两根声测管时，可采用二维网格；当埋设三根及以上声测管时，宜采用三维网格，也可采用二维网格分别对每个检测剖面进行分析；

4 反演计算得到的声速值应在合理区间范围内；

5 宜以声时分析为主。

9.4.5 缺陷的空间分布范围，可根据以下情况判定：

1 同一深度上各检测剖面缺陷的分布；

2 复测、加密和斜测结果；

3 声波层析成像法分析结果。

9.4.6 桩（墙）身完整性类别根据各剖面的可疑缺陷区的空间分布范围、可疑缺陷区域测点的声学参数偏离正常值的程度和接收波形变化情况，结合桩（墙）类型、地质情况、施工工艺等因素可按表 9.4.6 所列特征进行综合判定。

表 9.4.6 桩（墙）身完整性判定表

完整性类别	特 征
I	所有测点声学参数正常，接收波形正常； 个别测点的多个声学参数轻微异常，但此类测点离散，在深度上未形成一定的区域，接收波形基本正常或个别测点波形轻微畸变； 多个测点的个别声学参量轻微异常，其他声学参量正常，但空间分布范围小，接收波形基本正常或个别测点波形轻微畸变
II	一个或多个剖面上多个测点的多个声学参数轻微异常，在深度和径向形成较小的区域，多个测点接收波形存在明显畸变；其中个别测点的声速低于低限值； 一个或多个剖面上多个测点的个别声学参量明显异常，其他声学参量轻微异常，在深度和径向形成较小的区域，多个测点的接收波形存在明显畸变，其中个别测点的声速低于低限值
III	某一深度范围内，一个或多个剖面上多个测点的多个声学参数明显异常，在深度或径向形成较大的区域，多个测点接收波形存在严重畸变或个别测点无法检测到首波，其中多个测点的声速低于低限值； 一个或多个剖面上多个测点的个别声学参数异常严重，其他声学参数明显异常，在深度或径向形成较大的区域，多个测点接收波形存在严重畸变或个别测点无法检测到首波，其中多个测点的声速低于低限值
IV	某一深度范围内，多个剖面上的多个测点的个别或多个声学参数异常严重，在深度或径向形成很大区域，波形严重畸变或无法检测到首波，较多测点的声速低于低限值

9.4.7 检测报告除应符合本标准的第3.6.3条规定外，尚应包含下列内容：

- 1 声测管布置图及声测剖面编号；
- 2 受检桩（墙）各剖面的声速 深度、波幅/能量 深度、主频 深度和 PSD 值等曲线，并标记各自的临界值，整桩（墙）波速、波幅的平均值；
- 3 各检测剖面实测波列图，对于III、IV类桩的报告还应附其缺陷区域的双向斜测或扇形测试结果的声阴影图；
- 4 缺陷的位置以及对缺陷性质的分析判断；
- 5 当对管距进行修正时，应注明管距修正的范围及方法；
- 6 加密测试、扇形扫测、声波层析成像法分析的有关情况说明。

10 钻芯法检测

10.1 一般规定

10.1.1 本方法适用于混凝土桩（墙）、水泥土桩（墙）及混凝土结构和构件的质量检测。检测内容包括混凝土和水泥土抗压强度、桩长和墙深、桩端（墙底）沉渣厚度、缺陷程度及位置，鉴别桩（墙）底部的岩土层性状。

10.1.2 钻芯法检测数量应符合下列规定：

- 1 灌注桩的检测数量应符合本标准第 9.1.4 条第 1 款的规定；
- 2 当声波透射法检测桩（墙）身混凝土质量出现异常时，应采用钻芯法检测桩（墙）身混凝土质量和强度，灌注桩取芯的数量为总桩数的 10%，地下连续墙取芯的数量为总槽段 5%；
- 3 对于直径大于等于 1500mm 的混凝土灌注桩，因试验设备或现场条件限制，难以进行单桩竖向抗压承载力检测时，应进行桩身完整性检测和桩端持力层核验；检测方法应选择钻芯法，检测数量不应少于总桩数的 10%，且不少于 10 根；
- 4 单位工程水泥土桩（墙）检测数量不应少于总桩数的 1%，且不应少于 6 根；
- 5 基础工程实体抽样原则和检测数量应符合本标准第 13.2.2 条的规定。

10.2 仪器设备

10.2.1 桩（墙）钻取芯样应采用液压操纵的钻机，并配置适宜的水泵；混凝土结构或构件芯样应采用钻芯机，并应配备水冷却系统。

10.2.2 钻具的选取应根据检测对象合理选用钻芯机、单动双管钻具、单动三管钻具，并配备相应的孔口管、扩孔器、卡簧、扶正稳

定器和可捞取松软渣样的钻具。混凝土桩（墙）钻芯严禁使用单动单管钻具。

10.2.3 钻头的选取应符合下列规定：

1 钻取混凝土芯样时应根据混凝土设计强度等级选用合适粒度、浓度、胎体硬度的金刚石钻头，且外径不宜小于 100mm；

2 钻取水泥土芯样时可选用合金钻头，钻头外径不宜小于 108mm。

10.2.4 锯切芯样的锯切机应具有冷却系统和夹紧固定装置。芯样试件端面的补平和磨平装置应满足芯样制作的要求。

10.2.5 压力试验机应符合现行国家标准《液压式万能试验机》GB/T 3159 及《试验机 通用技术要求》GB/T 2611 的相关规定，测量精度为 $\pm 1\%$ ，试件破坏荷载应大于压力机全量程的 20%，且小于压力机全量程的 80%。

10.2.6 钢筋检测仪应适用于现场操作，最大探测深度不应小于 60mm，探测位置偏差不宜大于 3mm。

10.3 现场检测

10.3.1 混凝土灌注桩的钻芯孔数、钻孔位置和钻探深度应符合下列规定：

1 桩径小于 1.2m 的桩，不应少于 1 孔；桩径为 1.2m~1.6m 的桩，不应少于 2 孔；桩径大于 1.6m 的桩，不应少于 3 孔；

2 当钻芯孔为 1 个时，宜在距桩中心 10cm~15cm 的位置开孔；当钻芯孔为 2 个或 2 个以上时，开孔位置宜在距桩中心 0.15D~0.25D 范围内均匀对称布置；

3 桩端持力层的钻探应符合下列规定：

1) 每根受检桩不得少于 1 孔，其钻探深度应满足设计要求，当设计无明确要求时，桩底持力层的钻探深度不应小于

3d;

- 2) 对桩端持力层有夹层、岩溶或桩端注浆的工程, 每根受检桩的每个钻芯孔对桩端持力层的钻探深度均不应小于 3d, 且不应少于 5m。

4 钻芯法检测深度应达到受检测桩端(墙底)部以下 0.5m, 对验证缺陷的钻芯检测深度可根据缺陷位置确定。

10.3.2 地下连续墙的钻芯孔数、钻孔位置和钻探深度应符合下列规定:

- 1 每幅受检单元墙段不少于 3 个孔, 单孔应截取 6 组芯样, 上部芯样位置距墙顶、下部芯样位置距墙底均不大于 1.0m;

- 2 两端孔宜在距墙段接头 1000mm~1500mm 的范围内开孔, 其他钻孔宜在两端孔之间均匀布置;

- 3 持力层验证时, 每幅受检单元墙段不应少于 1 孔钻至设计要求的深度, 且钻入持力层的深度不应少于 3 倍墙厚。

10.3.3 水泥土桩的钻芯孔数、钻孔位置和钻探深度应符合下列规定:

- 1 每根受检桩应钻 1 孔, 当桩径或长轴大于 1.2m 时, 宜增加钻孔数量;

- 2 钻孔芯位置宜在桩直径的 1/3~1/4 处;

- 3 检测深度应达到受检桩底部以下 0.5m;

- 4 需要鉴别桩底持力层岩土性状时, 应按设计要求钻进持力层一定深度, 无设计要求时, 钻进深度应大于 2d。

10.3.4 水泥土墙的钻芯孔数、钻孔位置和钻探深度应符合下列规定:

- 1 每个受检点应钻 1 孔, 当墙宽大于 1.2m 时, 宜增加钻孔数量;

- 2 钻孔位置宜在墙中轴线附近;

- 3 检测深度应达到设计要求。

10.3.5 基础工程混凝土结构钻孔位置和钻探深度应符合下列规定：

- 1 结构受力较小的部位；
- 2 混凝土强度具有代表性的部位；
- 3 宜采用钢筋探测仪测试或局部剔凿的方法避开主筋、预埋件和管线；

- 4 钻取多个芯样时，芯样宜取自不同部位；

- 5 钻探深度应满足芯样试件高度要求。

10.3.6 钻机设备安装必须周正、稳固、底座水平。钻机在钻芯过程中不得发生倾斜、移位，混凝土桩（墙）芯孔垂直度偏差不得大于 0.5%，水泥土桩（墙）钻芯孔垂直度偏差不得大于 1%。

10.3.7 钻机钻进应符合下列规定：

- 1 钻机钻进混凝土桩（墙）时应符合下列规定：

- 1) 正常钻进时，对胶结良好的混凝土每回次进尺宜控制在 1.5m 内；
- 2) 胶结不良层、断层等，回次进尺宜控制在 0.5m 左右；
- 3) 开孔钻进、桩端（墙底）持力层面以上 1.0m 以内及持力层钻进，回次进尺不宜超过 1.0m；
- 4) 钻至桩端（墙底）时，宜采取减压、慢速钻进、干钻等适宜的方法和工艺，钻取沉渣并测定沉渣厚度。

- 2 钻机钻进水泥土桩（墙）时应符合下列规定：

- 1) 应严格控制回次进尺，每回次进尺不应大于 1.0m，钻孔直径不应小于 108mm，取芯直径不应小于 100mm；
 - 2) 保持芯样的连续完整性，总取芯率不应小于 80%；
 - 3) 钻进到桩端（墙底）时应超过桩长（墙深），取出 100mm～200mm 的原状土，以便与桩（墙）身水泥土对比，同时应准确测量桩端（墙底）标高；
 - 4) 芯样从取样器中推出时应平稳，严禁试样受拉、受弯。
- 3 采用钻芯机钻取基础工程混凝土芯样时，在未安装钻头前应

先通电确认主轴的旋转方向为顺时针，钻进时用于冷却钻头和排除混凝土碎屑的冷却水流量宜为 3L/min~5L/min，宜保持匀速钻进。

10.3.8 提钻卸取芯样时，应拧卸钻头和扩孔器，严禁敲打卸芯。

10.3.9 芯样的存放、标识、记录、贮存、运输应符合下列规定：

1 钻取的芯样应由上而下按回次顺序放进芯样箱中，芯样侧面上宜清晰标明回次数、块号、本回次总块数，并应及时记录钻进情况，对芯样质量做初步描述。含钻探标示牌的芯样全貌应在截取芯样前进行拍照，并应包含工程名称、检测对象编号、钻芯孔号、芯样试件拟截取位置、桩长（墙深）、孔深等信息；

2 芯样描述应包含下列内容：

- 1) 对芯样的描述包括钻进深度，芯样连续性、完整性、胶结情况、表面光滑情况、断口吻合程度、芯样形状、骨料大小分布情况，气孔、蜂窝麻面、沟槽、破碎、夹泥、松散的情况，以及取样编号和取样位置等；
- 2) 对持力层的描述包括持力层钻进深度，岩土名称、芯样颜色、结构构造、裂隙发育程度、坚硬及风化程度，以及取样编号和位置，分层岩层应分别描述；
- 3) 对水泥土芯样的描述还应包括：外观特征、气味、密实程度、均匀性、含灰量、硬度和状态等。

3 芯样在运送和保存过程中应采取有效的保护措施，避免因压、震、晒、冻等原因在运输和贮存过程中而损坏；

4 水泥土芯样取出后应立即有效密封，防止水分散失，保证天然含水量和原状结构，且在 24h 内进行无侧限抗压强度试验。

10.3.10 钻芯后留下的孔洞应及时进行修补；当质量评价不满足设计要求时，应暂时封存钻芯孔，留待处理。

10.4 芯样试件截取与加工

10.4.1 截取混凝土灌注桩抗压芯样试件应符合下列规定：

1 当桩长小于 10m 时，每孔应截取不少于 2 组芯样；当桩长为 10m~30m 时，每孔应截取不少于 3 组芯样；当桩长大于 30m 时，每孔应截取不少于 4 组；每组芯样应制作 3 个抗压强度试件；

2 上部芯样位置距桩顶设计标高不宜大于 1 倍桩径或超过 2m，下部芯样位置距桩底设计标高不宜大于 1 倍桩径或超过 2m，中间芯样宜等间距截取；

3 缺陷位置能取样时，应截取 1 组芯样进行混凝土抗压试验；

4 同一基桩的钻芯孔数大于 1 个且某孔在某深度发现缺陷时，则应在其他孔的相同深度处截取芯样进行抗压强度试验。

10.4.2 截取混凝土地下连续墙抗压强度试件应符合下列规定：

1 每孔至少截取 6 组芯样，每组芯样应制作 3 个抗压强度试件；

2 上部芯样位置距墙顶、下部芯样位置距墙底均不宜大于 1m，中间芯样宜等间距截取；

3 缺陷位置能取样时，应截取 1 组芯样进行混凝土抗压试验；

4 每幅受检单元墙段的钻芯孔数大于 1 个且某孔在某深度发现缺陷时，则应在其他孔的相同深度处截取芯样进行抗压强度试验。

10.4.3 水泥土桩（墙）应每米深度留取 1 个有代表性的芯样进行无侧限抗压强度检测，或桩身抗压强度芯样按每孔不少于 9 个截取且按桩体三等分段各取 3 个。

10.4.4 桩（墙）芯样加工和试件尺寸应按现行国家行业标准《建筑基桩检测技术规范》JGJ 106-2014 附录 E 的相关规定执行。

10.4.5 基础工程混凝土芯样加工和试件尺寸应按现行国家行业标准《钻芯法检测混凝土强度技术规程》JGJ/T 384-2016 第 5 章的相关规定执行。

10.5 芯样试件抗压强度试验

10.5.1 混凝土芯样试件的抗压强度试验应符合下列规定：

1 芯样试件应在自然干燥状态下进行抗压试验；当结构工作条件比较潮湿需要确定潮湿状态下混凝土的抗压强度时，芯样试件宜在 $20^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$ 的清水中浸泡 $40\text{h} \sim 48\text{h}$ ，从水中取出后应去除表面水膜，并立即进行试验；

2 混凝土芯样试件的抗压强度试验的操作应符合现行国家标准《混凝土物理力学性能试验方法标准》GB/T 50081 中对立方体试件抗压强度试验的规定；

3 在混凝土芯样试件抗压强度试验中，当发现试件内混凝土粗骨料最大粒径大于 0.5 倍芯样试件平均直径，且强度值异常时，该试件的强度值不得参与统计平均；

4 混凝土芯样试件抗压强度应按下列公式计算：

$$f_{\text{cu}} = \beta_c \frac{4p}{\pi d^2} \quad (10.5.1)$$

式中： f_{cu} ——混凝土芯样试件抗压强度（MPa），精确至 0.1MPa；

p ——芯样试件抗压试验测得的破坏荷载（N）；

d ——芯样试件的平均直径（mm）；

β_c ——芯样试件强度换算系数，取 1.0，当有可靠试验依据时，也可根据混凝土原材料和施工工艺情况通过试验确定。

5 桩底岩芯单轴抗压强度试验以及岩石单轴抗压强度标准值的确定，宜按国家标准《建筑地基基础设计规范》GB 50007-2011 附录 J 执行。

10.5.2 水泥土芯样试件的抗压强度试验应符合下列规定：

1 水泥土芯样试件的抗压强度试验的操作应符合《天津市岩土工程技术规范》DB/T 29-20-2017 附录 F 中对室内水泥土抗压强度

试验的规定；

2 水泥石芯样试件抗压强度应按下式计算：

$$f_{cu} = \frac{4p}{\pi d^2} \quad (10.5.2)$$

式中： f_{cu} ——水泥石芯样试件抗压强度（MPa），精确至 0.1MPa；

p ——芯样试件抗压试验测得的破坏荷载（N）；

d ——芯样试件的平均直径（mm）。

10.6 检测数据分析与判定

10.6.1 混凝土芯样试件抗压强度的确定应符合下列规定：

1 取一组 3 块试件强度值的平均值，作为该组混凝土芯样试件抗压强度检测值；

2 同一受检样品同一深度部位有两组或两组以上混凝土芯样试件抗压强度检测值时，取其平均值作为该结构该深度处混凝土芯样试件抗压强度检测值；

3 取同一受检样品不同深度位置的混凝土芯样试件抗压强度检测值中的最小值，作为该结构混凝土芯样试件抗压强度检测值；

4 钻芯法确定检验批的混凝土抗压强度推定值时应按国家行业标准《钻芯法检测混凝土强度技术规程》JGJ/T 384-2016 第 6.3 节的规定执行；

5 对间接测强方法进行钻芯修正时应按国家行业标准《钻芯法检测混凝土强度技术规程》JGJ/T 384-2016 第 6.4 节的规定执行。

10.6.2 桩端持力层性状应根据持力层芯样特征，并结合岩石芯样单轴抗压强度检测值、标准贯入或动力触探试验结果，进行综合判定或鉴别。

10.6.3 桩（墙）身完整性类别判定应符合下列规定：

1 混凝土桩（墙）身完整性类别应结合钻芯孔数、现场混凝土

芯样特征、芯样试件抗压强度试验结果，按表 10.6.3-1 所列特征进行综合判定：

- 1) 当混凝土出现分层现象时，宜截取分层部位的芯样进行抗压强度试验。当混凝土抗压强度满足设计要求时，可判为Ⅱ类；当混凝土抗压强度不满足设计要求或不能制作成芯样试件时，应判为Ⅳ类；
- 2) 多于三个钻芯孔的桩（墙）身完整性可类比表 10.6.3-1 的三孔特征进行判定；
- 3) 混凝土质量评价应按单个受检样品进行；
- 4) 当出现混凝土芯样试件抗压强度检测值小于混凝土设计强度等级，桩长（墙深）、桩（墙）身底沉渣厚度不满足设计要求、桩端（墙底）持力层岩土性状（强度）或厚度不满足设计要求时，应判定该受检桩（墙）不满足设计要求；
- 5) 未进行通长钻芯、钻芯孔偏出混凝土结构或桩（墙）外，以及遇钢筋无法继续钻进时，仅对钻取芯样部分进行评价，且不得进行完整性分类。

表 10.6.3-1 混凝土桩（墙）身完整性判定表

类别	特征		
	单孔	两孔	三孔
I	混凝土芯样连续、完整、胶结好，芯样侧表面光滑、骨料分布均匀，芯样呈长柱状、断口吻合		
	芯样侧表面仅见少量气孔	局部芯样侧表面有少量气孔、蜂窝麻面、沟槽，但在另一孔同一深度部位的芯样中未出现，否则应判为II类	局部芯样侧表面有少量气孔、蜂窝麻面、沟槽，但在三孔同一深度部位的芯样中未同时出现，否则应判为II类
II	混凝土芯样连续、完整、胶结较好，芯样侧表面较光滑、骨料分布基本均匀，芯样呈柱状、断口基本吻合。有下列情况之一：		
	1 局部芯样侧表面有蜂窝麻面、沟槽或较多气孔； 2 芯样侧表面蜂窝麻面严重、沟槽连续或局部芯样骨料分布极不均匀，但对应部位的混凝土芯样试件抗压强度检测值满足设计要求，否则应判为III类	1 芯样侧表面有较多气孔、严重蜂窝麻面、连续沟槽或局部混凝土芯样骨料分布不均匀，但在两孔同一深度部位的芯样中未同时出现； 2 芯样侧表面有较多气孔、严重蜂窝麻面、连续沟槽或局部混凝土芯样骨料分布不均匀，且在另一孔同一深度部位的芯样中同时出现，但该深度部位的混凝土芯样试件抗压强度检测值满足设计要求，否则应判为III类； 3 任一孔局部混凝土芯样破碎段长度不大于10cm，且在另一孔同一深度部位的局部混凝土芯样的外观判定完整性类别为I类或II类，否则应判为III类或IV类	1 芯样侧表面有较多气孔、严重蜂窝麻面、连续沟槽或局部混凝土芯样骨料分布不均匀，但在三孔同一深度部位的芯样中未同时出现； 2 芯样侧表面有较多气孔、严重蜂窝麻面、连续沟槽或局部混凝土芯样骨料分布不均匀，且在任两孔或三孔同一深度部位的芯样中同时出现，但该深度部位的混凝土芯样试件抗压强度检测值满足设计要求，否则应判为III类； 3 任一孔局部混凝土芯样破碎段长度不大于10cm，且在另两孔同一深度部位的局部混凝土芯样的外观判定完整性类别为I类或II类，否则应判为III类或IV类

续表 10.6.3-1

类别	特征		
	单孔	两孔	三孔
III	大部分混凝土芯样胶结较好，无松散、夹泥现象。有下列情况之一：		
	1 芯样不连续、多呈短柱状或块状； 2 局部混凝土芯样破碎段长度不大于 10cm	1 芯样不连续、多呈短柱状或块状； 2 任一孔局部混凝土芯样破碎段长度大于 10cm 但不大于 20cm，且在另一孔同一深度部位的局部混凝土芯样的外观判定完整性类别为 I 类或 II 类，否则应判为 IV 类	1 芯样不连续、多呈短柱状或块状； 2 任一孔局部混凝土芯样破碎段长度大于 10cm 但不大于 30cm，且在另两孔同一深度部位的局部混凝土芯样的外观判定完整性类别为 I 类或 II 类，否则应判为 IV 类； 3 任一孔局部混凝土芯样松散段长度不大于 10cm，且在另两孔同一深度部位的局部混凝土芯样的外观判定完整性类别为 I 类或 II 类，否则应判为 IV 类
IV	有下列情况之一：		
	1 因混凝土胶结质量差而难以钻进； 2 混凝土芯样任一段松散或夹泥； 3 局部混凝土芯样破碎长度大于 10cm	1 任一孔因混凝土胶结质量差而难以钻进； 2 混凝土芯样任一段松散或夹泥； 3 任一孔局部混凝土芯样破碎长度大于 20cm； 4 两孔同一深度部位的混凝土芯样破碎	1 任一孔因混凝土胶结质量差而难以钻进； 2 混凝土芯样任一段松散或夹泥段长度大于 10cm； 3 任一孔局部混凝土芯样破碎长度大于 30cm； 4 其中两孔在同一深度部位的混凝土芯样破碎、松散或夹泥

注：当上一缺陷的底部位置标高与下一缺陷的顶部位置标高的高差小于 30cm 时，可认定两缺陷处于同一深度部位。

2 水泥土桩（墙）身完整性类别判定应符合下列规定：

- 1) 水泥土桩（墙）应根据钻进过程中芯样描述（状态、搅拌均匀性）、水泥土芯样无侧限抗压强度和标准贯入试验判断桩（墙）身强度及连续性。应描述每 500mm 段的芯样

状况和每 1000mm 段提供一个抗压强度值；

- 2) 桩端（墙底）持力层性状应根据芯样特征、标准贯入或动力触探试验结果等综合判定；
- 3) 桩（墙）身均匀性及质量评价应接单根（幅）受检桩（墙）进行，并根据现场水泥石芯样特征等进行综合评价；桩（墙）身均匀性评价标准应按表 10.6.3-2 的规定执行，单桩（墙）质量评定标准应按表 10.6.3-3 的规定执行；
- 4) 钻芯孔偏出桩（墙）外时，仅对钻取芯样部分进行评价；
- 5) 对芯样检测不合格的桩（墙）应在其附近加倍进行钻芯检测，以判断是否为个别现象，如仍出现不合格桩，则应查清范围，采取必要的补救措施；
- 6) 由于水泥桩（墙）从上到下搅拌不均，强度值要求也不同，具体评价强度的方法可采用不同深度，不同判别值的要求，具体数值由设计单位确定；
- 7) 水泥石桩（墙）质量评价宜按检验批进行。受检桩（墙）强度应按检验批进行评价，强度标准值应满足设计要求。受检水泥石桩（墙）身要求的均匀性和桩端（墙底）持力层岩土性状接单根桩（单幅墙）进行评价，应满足设计要求。

表 10.6.3-2 水泥石桩（墙）均匀性评价标准表

桩（墙）均匀性描述	芯样特征
均匀性良好	芯样连续、完整，搅拌均匀，呈柱状；水泥石搅拌纹理清晰，无水泥粒块
均匀性一般	芯样基本完整，搅拌基本均匀，呈柱状，部分呈块状；水泥石搅拌纹理不连续，含水泥粒块且颗粒直径小于 2cm
均匀性差	芯样胶结一般，呈柱状、块状，局部松散，搅拌不均匀；水泥石无搅拌纹理，夹水泥块或较多水泥富集块，且水泥石结块颗粒直径大于 2cm

表 10.6.3-3 水泥土桩（墙）身质量评定标准表

桩（墙）质量分类	特征
I类：合格	含灰量正常或较多，水泥土搅拌均匀，芯样坚硬，桩长与抗压强度达到或超过设计值
II类：基本合格	含灰量正常，水泥土搅拌基本均匀，芯样较硬，桩长符合设计要求，抗压强度不低于设计值的 90%
III类：不合格	含灰量少，水泥土搅拌不均匀，芯样松软，桩长低于设计桩长，抗压强度低于设计值的 90%

10.6.4 检测报告除应包括本标准第 3.6.3 条规定的内容外，尚应包括下列内容：

- 1 钻芯取样结构或构件种类、外形尺寸、设计混凝土强度等级、龄期、配合比、抗压强度试验报告；
- 2 钻芯设备及芯样试件的加工和处理情况；
- 3 钻芯数量、钻孔数量、开孔位置、芯样进尺、持力层进尺、总进尺，芯样试件组数、岩石试件个数、标准贯入和圆锥动力触探试验结果；
- 4 编制每孔柱状图；
- 5 芯样单轴抗压强度试验结果；
- 6 芯样彩色照片；
- 7 异常情况说明。

11 锚杆检测

11.1 一般规定

11.1.1 锚杆的检测适用于各类岩土锚固与支护工程中锚杆抗拔承载力和锚固质量检测，检测方法包括基本试验、蠕变试验、验收试验、粘结强度试验、持有荷载试验、锁定力测试及拉力监测等。

11.1.2 锚杆检测方法的选择应符合下列规定：

1 应根据地质条件、工程特征、杆件类型、设计要求、施工工艺及工程阶段等因素，合理选择检测方法，多种方法有机结合，综合判断检测结果；

2 为设计提供依据进行基本试验、蠕变试验及粘结强度试验的锚杆，其地质条件应具有代表性，设计参数和施工工艺应与工程锚杆相同；进行持有荷载试验、锁定力测试及拉力监测的工程锚杆应具有代表性；

3 锚杆极限抗拔承载力应通过基本试验确定；

4 对锚固段主要位于粘性土层、填土层、全风化与强风化的泥质岩中或节理裂隙发育张开且填充有粘性土的岩层中的预应力锚杆，宜进行蠕变试验；

5 锚固段设置在强风化岩中的锚杆应按土层锚杆进行检测；

6 施工完成后的锚杆应进行验收试验。受检锚杆的选择应符合本标准第 3.2.2 条第 5 款的规定；

7 当缺少类似工程实践经验或设计要求时应进行锚杆的粘结强度试验；

8 预应力锚杆采用持有荷载试验确定杆体持有荷载时应符合下列规定：

1) 未进行锚杆拉力监测或有效监测数量不满足本标准第

11.1.3 条第 7 款的规定时；

- 2) 超过安全使用期的临时锚杆，工程竣工 3 年后的永久性土层锚杆，工程竣工 5 年后的永久性岩石锚杆；
- 3) 工程出现异常情况时；
- 4) 锚杆拉力监测结果有疑问时。

9 预应力锚杆应进行锁定力测试，可采用锚杆测力计或持有荷载试验；

10 永久性预应力锚杆及安全等级为一级支护工程中的临时性预应力锚杆应进行锚杆自由段杆体拉力监测。

11.1.3 锚杆检测数量的确定应符合下列规定：

1 锚杆基本试验的检测数量应符合下列规定：

- 1) 同一检验批中永久性锚杆不应少于 6 根；
- 2) 同一检验批中临时性锚杆不应少于 3 根；
- 3) 同一检验批中土钉不应少于 3 根。

2 锚杆蠕变试验检测数量不应少于 3 根；

3 锚杆验收试验的检测数量应符合下列规定：

- 1) 同一检验批中施工质量有问题的锚杆应全部进行锚杆验收试验，其余锚杆检测数量不应少于锚杆总数的 5%，且不应少于 5 根；
- 2) 同一检验批中土钉验收试验检测数量不应少于土钉总数的 1%，且不应少于 5 根。

4 锚杆粘结强度试验检测数量不应少于 3 根；

5 预应力锚杆持有荷载试验检测数量应符合下列规定：

- 1) 同一检验批中永久性锚杆不应少于锚杆总数的 3%，且不应少于 3 根；
- 2) 同一检验批中临时性锚杆不应少于锚杆总数的 1%，且不应少于 3 根。

6 锚杆锁定力测试的检测数量应符合下列规定：

- 1) 同一检验批中永久性锚杆不应少于锚杆总数的 5%，且不应少于 5 根；
 - 2) 同一检验批中临时性锚杆不应少于锚杆总数的 3%，且不应少于 5 根。
- 7 预应力锚杆自由段杆体拉力监测数量应符合下列规定：
- 1) 同一检验批中永久性预应力锚杆不应少于锚杆总数的 5%，且不应少于 5 根；
 - 2) 同一检验批中临时性预应力锚杆不应少于锚杆总数的 3%，且不应少于 5 根。

8 锚杆锚固段杆体拉力监测数量可根据工程实际情况和设计
要求综合确定。

11.1.4 锚杆无损检测可按现行国家行业标准《锚杆锚固质量无损检测技术规程》JGJ/T 182 的规定执行。

11.2 仪器设备及其安装

11.2.1 试验加载装置安装前，应采取措施确保试验锚杆处于独立
受力状态，不应受支撑构件、垫层或混凝土面层的影响。

11.2.2 基本试验、蠕变试验、验收试验、持有荷载试验、粘结强度
试验宜采用液压千斤顶加卸载，其作用力方向应与杆体轴线重合；
预应力锚杆进行锁定力测试时，可采用锚杆测力计。

11.2.3 试验仪器设备性能指标应符合下列规定：

1 荷重传感器、压力传感器或压力表的准确度应优于或等于
0.5 级；

2 试验用油泵、油管在最大加载时的工作压力不应超过规定工
作压力的 80%；

3 荷重传感器、千斤顶、压力表或压力传感器的量程应与测量
范围相适应，测量值宜控制在全量程的 25%~80%；

4 位移测量仪表的测量误差不大于 0.1%FS，分度值/分辨力应优于或等于 0.01mm。

11.2.4 荷载量测可用放置在千斤顶上的荷重传感器直接测定，或采用并联于千斤顶油路的压力表或压力传感器测定油压，根据千斤顶校准结果换算荷载。

11.2.5 锚头位移宜采用位移传感器或百分表测量，且应符合下列规定：

1 位移测量点应选择在锚杆顶部或非受力锚杆杆体上，位移测量方向应与锚杆的轴向变形方向平行；

2 应安装 1 个～2 个位移测量仪表；

3 位移测量系统应设置基准桩和基准梁，位移测量仪表的基座应固定在基准梁上，不得使用千斤顶作为位移测量基准点；

4 基准桩应优先设置在与试验加载装置不同标高的下一台阶的岩土层中；

5 基准桩、基准梁和固定位移测量仪表的夹具应避免太阳照射、振动及其他外界因素的影响。

11.2.6 提供加载反力的连续墙、排桩、腰梁、圈梁等支撑构件或喷射混凝土面层，其提供的反力不应小于最大试验荷载的 1.2 倍；加载反力装置施加给岩土层的压应力不宜大于岩土承载力特征值的 1.5 倍。锚杆试验加载反力装置应符合下列规定：

1 加载反力装置提供的反力不得小于最大试验荷载的 1.2 倍；

2 加载反力装置的构件应满足承载力和变形的要求。

11.2.7 锚杆试验装置可根据试验条件及试验要求选择支座横梁反力装置、支撑凳式反力装置、承压板式反力装置、预应力张拉及卸锚装置，见附录 H。加载反力装置的选择应符合下列规定：

1 基础锚杆应采用支座横梁反力装置；

2 支护锚杆可采用支座横梁反力装置、支撑凳式反力装置；支护型岩石锚杆和锚杆支护结构体系中设置有连续墙、排桩、腰梁、

圈梁等支撑构件的土层锚杆，也可采用承压板式反力装置；

3 土钉宜采用支撑凳式反力装置、支座横梁反力装置，当设置有喷射混凝土面层时，也可采用承压板式反力装置；

4 持有荷载试验应采用支撑凳式反力装置。

11.2.8 锚杆中心、支座边（承压板）、基准桩中心之间的距离应符合表 11.2.8 的规定。

表 11.2.8 锚杆中心、支座边（承压板边）、基准桩中心之间的距离

反力装置类型	距离		
	两支座净距	基准桩中心与锚杆中心	基准桩中心与支座边（承压板边）
支座横梁反力装置	$\geq 4B$ 且 $\geq 6d$ 且 $> 2.0\text{m}$	$> 2.0\text{m}$	$\geq 1.5B$ 且 $> 2.0\text{m}$
支撑凳式反力装置	$\geq 3.0d$	$> 1.0\text{m}$	$\geq 1B$ 且 $> 1.0\text{m}$
承压板式反力装置	—	$> 1.0\text{m}$	$\geq 1B$ 且 $> 1.0\text{m}$

注：1 B 为支座边宽度或承压板边宽； d 为锚杆（土钉）钻孔直径。

2 当按本标准第 12.2.5 条第 4 款设置基准桩时，基准桩与锚杆距离、基准桩与反力装置距离可不执行本表的规定。

11.2.9 锚杆内力测试应符合本标准第 12.6 节的相关规定。

11.3 基本试验

11.3.1 本方法适用于确定锚杆极限抗拔承载力，提供锚杆设计参数、验证锚杆施工工艺及预应力锚杆弹性变形验算结果。基本试验的锚杆不得选用工程锚杆，且全长粘结型锚杆宜设置 0.5m~1.0m 的自由段。

11.3.2 基本试验加卸载方法的选择应符合下列规定：

- 1 基础锚杆应采用分级维持荷载法，也可采用多循环加卸载法；
- 2 支护锚杆应采用多循环加卸载法，当有成熟的地区经验时，钢筋锚杆也可采用单循环加卸载法；
- 3 土钉宜采用单循环加卸载法。

11.3.3 基本试验最大试验荷载（ $Q_{\max}$ ）预估值的确定应符合下列

规定:

1 拉力型锚杆应取锚固段注浆体与岩土体之间破坏荷载预估
值、杆体与锚固段注浆体之间破坏荷载预估两者中较小者的 1.0
倍~1.5 倍;

2 压力型锚杆应取锚固段注浆体与岩土体之间破坏荷载预估
值的 1.0 倍~1.5 倍, 且不宜超过锚固段注浆体局部抗压破坏荷载
的 0.90 倍;

3 钢绞线锚杆杆体应力不应超过杆体极限强度标准值的 0.85
倍; 钢筋锚杆杆体应力不应超过杆体屈服强度标准值的 0.90 倍;

4 预估锚杆锚固段注浆体与岩土体之间破坏荷载、杆体与锚固
段注浆体之间破坏荷载, 可按照现行国家标准《建筑地基基础设计
规范》GB 50007、《建筑边坡工程技术规范》GB 50330、《岩土锚杆
与喷射混凝土支护工程技术规范》GB 50086 及现行国家行业标准
《建筑基坑支护技术规程》JGJ 120、《高压喷射扩大头锚杆技术规
程》JGJ/T 282 等规范的相关规定进行计算;

5 当设计有要求时, 应按照设计要求取值。

11.3.4 钢绞线锚杆在试验前应预紧, 并应符合下列规定:

1 单束(单组)钢绞线的预紧荷载宜为 $0.1 N_k/n \sim 0.2 N_k/n$,
当连续两遍预紧伸长增量不超过 3mm 时, 可终止预紧;

2 整束或各组钢绞线宜共同进行预紧, 预紧荷载宜为最大试验
荷载的 15%, 荷载施加完成后持荷 5min; 卸荷并退出全部工具锚
夹片。

11.3.5 基本试验中初始荷载(Q_0)的选取应符合下列规定:

1 支护型钢筋锚杆宜取预估最大试验荷载的 10%;

2 支护型钢绞线锚杆宜取预估最大试验荷载的 30%;

3 基础锚杆宜取 0。

11.3.6 基本试验的加卸载方法应符合下列规定:

1 试验中加载速度宜为 $0.05 N_k/\text{min} \sim 0.10 N_k/\text{min}$, 卸载速度

宜为加载速度的 2.0 倍；

2 基本试验多循环加卸载法应符合下列规定：

- 1) 荷载分级和锚头位移观测时间应根据初始荷载取值按表 11.3.6-1 和表 11.3.6-2 的规定确定；

表 11.3.6-1 钢筋杆体锚杆基本试验多循环加卸载法的
加载分级和锚头位移观测时间表

循环次数	试验荷载值与预估最大试验荷载的比例（%）											
	初始荷载	加载分级							卸载分级			
第一循环	10	30	—	—	—	—	—	50	—	—	30	10
第二循环	10	30	50	—	—	—	—	60	—	50	30	10
第三循环	10	30	50	—	—	—	60	70	—	50	30	10
第四循环	10	30	50	—	—	60	70	80	—	50	30	10
第五循环	10	30	50	—	60	70	80	90	70	50	30	10
第六循环	10	30	50	60	70	80	90	100	70	50	30	10
观测时间（min）	5	5	5	5	5	5	5	≥10	5	5	5	5

注：初始荷载取最大试验荷载预估值的 10%。

表 11.3.6-2 钢绞线杆体锚杆基本试验多循环加卸载法的
加载分级和锚头位移观测时间表

循环次数	试验荷载值与预估最大试验荷载的比例（%）										
	初始荷载	加载分级							卸载分级		
第一循环	30	50	—	—	—	—	—	60	—	—	30
第二循环	30	50	—	—	—	60	70	—	50	30	
第三循环	30	50	—	—	60	70	80	—	50	30	
第四循环	30	50	—	60	70	80	90	70	50	30	
第五循环	30	50	60	70	80	90	100	70	50	30	
观测时间（min）	5	5	5	5	5	5	≥10	5	5	5	

注：初始荷载取最大试验荷载预估值的 30%。

- 2) 在每一循环的非最大荷载作用下，每级荷载加载或卸载完成后持荷 5min，并在第 0min、5min 测读锚头位移；

- 3) 在每一循环的最大荷载作用下, 加载完成后, 应每间隔 5min 测读一次锚头位移; 当锚头位移达到本标准第 11.3.8 条的相对稳定标准时, 方可卸载;
 - 4) 当加载至最大预估试验荷载值尚未出现本标准第 11.3.9 条规定的终止加载情况时, 宜按照最大试验加载值 10% 的荷载增量继续进行 1 个~2 个循环的加卸载试验。
- 3 基本试验单循环加卸载法应符合下列规定:
- 1) 荷载分级和锚头位移观测时间应根据初始荷载取值按表 11.3.6-3 和表 11.3.6-4 的规定确定;

表 11.3.6-3 钢筋杆体锚杆基本试验单循环加卸载法的

加载分级和锚头位移观测时间表

试验荷载值与预估最大试验荷载的比例 (%)											
初始荷载	加载分级							卸载分级			
10	30	50	60	70	80	90	100	70	50	30	10
观测时间 (min)	≥10							5			

注: 初始荷载取最大试验荷载预估值的 10%。

表 11.3.6-4 钢绞线杆体锚杆基本试验单循环加卸载法的

加载分级和锚头位移观测时间表

试验荷载值与预估最大试验荷载的比例 (%)									
初始荷载	加载过程						卸载过程		
30	50	60	70	80	90	100	70	50	30
观测时间 (min)	≥10						5		

注: 初始荷载取最大试验荷载预估值的 30%。

- 2) 每级荷载施加完成后, 应每间隔 5min 测读一次锚头位移;
- 3) 锚头位移达到本标准第 11.3.8 条规定的相对稳定标准时, 可继续施加下一级荷载;
- 4) 卸载时, 每级荷载持荷 5min, 并在第 0min、5min 测读锚头位移;
- 5) 当加载至最大预估试验荷载值尚未出现本标准第 11.3.9 条

规定的终止加载情况时,宜按照最大试验加载值 10%的荷载增量继续进行 1 个~2 个循环的加载试验。

4 基本试验分级维持荷载法应符合下列规定:

- 1) 加载应分级进行,采用逐级等量加载,分级荷载宜为预估最大试验荷载的 1/10,其中,第一级加载量可取分级荷载的 2 倍;卸载应分级进行,每级卸载量可取分级荷载的 2 倍;
- 2) 每级荷载施加完成后,应每间隔 5min 测读一次锚头位移;
- 3) 锚头位移达到本标准第 11.3.8 条规定的相对稳定标准时,可继续施加下一级荷载;
- 4) 卸载时,每级荷载持荷 15min,并在第 0min、5min、10min、15min 测读锚头位移;
- 5) 当加载至最大预估试验荷载值尚未出现本标准第 11.3.9 条规定的终止加载情况时,宜按照最大试验加载值 10%的荷载增量继续进行 1 个~2 个循环的加载试验。

11.3.7 基本试验锚头位移基准值的确定应符合下列规定:

- 1 在初始荷载作用下,应每间隔 5min 测读一次锚头位移;
- 2 当相邻两次锚头位移增量不大于 0.01mm 时,可视为锚头位移稳定,取最后一次读数作为锚头位移基准值。

11.3.8 基本试验锚头位移相对稳定标准应符合下列规定:

1 单、多循环加卸载法:

- 1) 在 0min~30min 观测时间内,当岩石锚杆、土层锚杆、土钉相邻两次锚头位移增量分别不大于 0.05mm、0.10mm、0.20mm 时,可视为位移达到相对稳定;
- 2) 当 30min 内锚头位移仍不稳定时,则应延长观测时间,当岩石锚杆、土层锚杆、土钉出现 1h 内锚头位移增量分别不大于 0.50mm、1.00mm、2.00mm 时,可视为位移达到相对稳定。

2 分级维持荷载法:当岩石锚杆、土层锚杆在 30min 内锚头位移增量不大于 0.05mm、0.10mm 时,可视为位移达到相对稳定。

11.3.9 当出现下列情况之一时,应终止加载:

1 锚杆杆体破坏;

2 多循环加卸载法中,本次循环荷载产生的单位荷载下的锚头位移增量达到或超过前一循环荷载产生的单位荷载下的位移增量的 5 倍;

3 单循环加卸载法和分级维持荷载法中,本级荷载产生的单位荷载下的锚头位移增量达到或超过前一级荷载产生的单位荷载下的位移增量的 5 倍;

4 土层锚杆在 3h 内、岩石锚杆在 2h 内,锚头位移未达到本标准第 11.3.8 条规定的相对稳定标准;

5 已加载至预估最大试验荷载值或完成了增加的 1 级~2 级荷载试验,且锚头位移达到相对稳定标准。

11.3.10 锚杆抗拔试验数据可按本标准表 C.3.1 的格式记录;试验结果应按照每级荷载对应的锚头位移列表整理;多循环加卸载法应绘制荷载-位移($Q-s$)曲线、荷载-弹性位移($Q-s_e$)曲线及荷载-塑性位移($Q-s_p$)曲线;单循环加卸载法和分级维持荷载法应绘制荷载-位移($Q-s$)曲线;也可绘制其他辅助分析曲线。

11.3.11 单根锚杆极限抗拔承载力 Q_u 应按下列方法确定:

1 符合本标准第 11.3.9 条第 1~4 款情况之一时,单循环加卸载法和分级维持荷载法取前一级荷载值;多循环加卸载法取前一循环最大试验荷载值;

2 符合本标准第 11.3.9 条第 5 款情况时,取最大试验荷载值。

11.3.12 锚杆极限抗拔承载力的统计值应按下列方法确定:

1 参加统计的试验锚杆,当其试验结果满足极差不超过平均值的 30%时,该批锚杆极限抗拔承载力 Q_u 取其平均值;

2 当极差超过 30%时,宜增加试验数量,并分析极差过大的原

因，结合工程实际情况确定该批锚杆极限抗拔承载力。

11.3.13 基础锚杆抗拔承载力特征值 R_t 应按极限抗拔承载力 Q_u 的 50%取值。

11.3.14 预应力支护锚杆应进行弹性变形验算，并应符合下列规定：

1 实测弹性位移量可取锚头总位移与卸载至初始荷载时的锚头位移之差；

2 锚杆杆体自由段长度的理论弹性伸长量，可按下式计算：

$$\Delta L_1 = \frac{(Q_{\max} - Q_0)L_{\text{tf}}}{EA_s} \quad (11.3.14)$$

式中： ΔL_1 ——从初始荷载至最大试验荷载，杆体自由段长度的理论弹性伸长值（mm）；

$Q_{\max}$ ——最大试验荷载（kN）；

Q_0 ——初始荷载（kN）；

L_{tf} ——杆体自由段长度（m）；

E ——杆体弹性模量（MPa）；

A_s ——杆体横截面积（ m^2 ）。

3 实测弹性位移量应大于该荷载下杆体自由段长度的理论弹性伸长值 ΔL_1 的 80%；

4 不满足上述规定时应建议设计单位和施工单位调整设计参数和施工工艺。

11.3.15 检测报告除应包括本标准第 3.6.3 条规定的内容外，尚应包括下列内容：

1 锚杆的类型、编号、位置、尺寸（孔径、长度、倾角、杆体直径与面积、锚固段长度、自由段长度、粘结段长度等）、杆体材料、材料强度；

2 加载反力装置、试验方法；

- 3 绘制本标准第 11.3.10 条规定的相关曲线及对应的数据表；
- 4 每根受检锚杆极限承载力及确定依据；
- 5 预应力锚杆弹性变形验算结果。

11.4 蠕变试验

11.4.1 本方法适用于检测锚杆蠕变特性，提供蠕变率，为控制蠕变量和预应力损失提供锚杆设计参数。

11.4.2 钢绞线锚杆应在试验前按照本标准第 11.3.4 条的规定进行预紧。

11.4.3 蠕变试验加卸载方法应符合下列规定：

1 试验中加卸载速度、锚头位移标准值的测读应符合本标准第 11.3.6 条第 1 款和第 11.3.7 条的规定；

2 加载分级和锚头位移观测时间应按照表 11.4.3 的规定确定，在观测时间内荷载应保持稳定；

表 11.4.3 蠕变试验的加载分级和锚头位移观测时间表

加荷等级 (kN)	观测时间 (min)			
	临时锚杆		永久锚杆	
	t_1	t_2	t_1	t_2
$0.25N_k$	—	—	5	10
$0.50N_k$	5	10	15	30
$0.75N_k$	15	30	30	60
$1.00N_k$	30	60	60	120
$1.20N_k$	45	90	120	240
$1.50N_k$	60	120	180	360

注： t_1 为每级加载总观测时间的 50%， t_2 为每级加载总观测时间。

3 每级荷载施加完成后，应根据观测时间分别按第 0min、5min、10min、15min、30min、45min、60min 测读一次锚头位移，1h 后应每隔 30min 测读一次锚头位移；

4 在非最大试验荷载作用下，观测时间达到表 11.4.3 中的规定

值时，可施加下一级荷载；

5 在最大试验荷载作用下，观测时间达到表 11.4.3 中的规定值时，可卸载；卸载时每级荷载维持 5min，并在第 0min、5min 测读锚头位移。

11.4.4 蠕变试验数据可按本标准表 C.3.1 的格式记录。试验结果应按每级荷载对应的锚头位移列表整理，绘制每级荷载作用下锚杆锚头位移-时间对数（ $s - \lg t$ ）曲线。

11.4.5 蠕变率应按下式计算：

$$k_c = \frac{s_2 - s_1}{\lg t_2 - \lg t_1} \quad (11.4.5)$$

式中： k_c ——锚杆蠕变率（mm）；

s_1 —— t_1 时间测得的蠕变量（mm）；

s_2 —— t_2 时间测得的蠕变量（mm）。

11.4.6 锚杆在最大试验荷载作用下的蠕变率 k_c 不应大于 2.0mm。

11.4.7 检测报告除应包括本标准第 3.6.3 条规定的内容外，尚应包括下列内容：

1 锚杆或土钉的类型、编号、位置、尺寸（孔径、长度、倾角、杆体直径与面积、锚固段长度、自由段长度、粘结段长度等）、杆体材料、材料强度；

2 加载反力装置、锚杆试验方法等；

3 绘制本标准第 11.4.4 条规定的相关曲线及对应的数据表；

4 锚杆蠕变率。

11.5 验收试验

11.5.1 本方法适用于确定验收荷载作用下锚杆的工作性状，判定锚杆抗拔性能是否满足设计要求，为工程验收提供依据。

11.5.2 锚杆验收试验加卸载方式的选择宜符合下列规定：

- 1 基础锚杆宜采用分级维持荷载法，也可采用多循环加卸载法；
- 2 土钉宜采用单循环加卸载法；
- 3 支护锚杆宜采用单循环加卸载法，也可采用多循环加卸载法。

11.5.3 锚杆验收荷载应按照设计要求确定，并应符合下列规定：

1 基础锚杆验收试验荷载应等于抗拔承载力特征值与锚杆抗拔安全系数的乘积；

2 最大试验荷载不应小于锚杆验收荷载，当采用本标准第 11.5.13 条和第 11.5.14 条的规定进行检测结果评价时，宜取锚杆验收荷载的 1.1 倍～1.2 倍。

11.5.4 试验前，对未锁定的钢绞线锚杆，应在试验前采用本标准第 11.3.4 条规定对索锚进行预紧；对已锁定的预应力锚杆应解除预应力，锚杆卸锚装置可采用本标准附录 H（图 H.1-2）支撑凳式反力装置。

11.5.5 基础锚杆验收试验中初始荷载（ Q_0 ）宜取 0；支护型锚杆、土钉验收试验中初始荷载（ Q_0 ）宜取最大试验荷载的 30%。

11.5.6 试验中加卸荷速度和锚头位移基准值的确定应符合本标准第 11.3.6 条第 1 款和第 11.3.7 条的规定。

11.5.7 验收试验加卸载方法应符合下列规定：

1 验收试验的单循环加卸载法应符合下列规定：

1) 荷载分级和锚头位移观测时间应符合表 11.5.7-1 的规定；

表 11.5.7-1 验收试验的单循环加卸载法的荷载分级和锚头位移观测时间

试验荷载值与最大试验荷载值的比例（%）									
初始荷载	加载分级						卸载分级		
30	50	60	70	80	90	100	70	50	30
观测时间（min）	≥10						5		

2) 每级荷载施加完成后，应每间隔 5min 测读一次锚头位移；

3) 锚头位移相对收敛标准：当后 5min 的位移增量小于前 5min 的位移增量时，可视为锚头位移达到相对收敛标准；

- 4) 锚头位移达到相对收敛标准时，可施加下一级荷载；
- 5) 卸荷时，每级荷载持荷 5min，并在 0min、5min 测读锚头位移；
- 6) 当出现本标准第 11.5.8 条规定的终止加载情况时，可终止加载。

2 验收试验的多循环加卸载法应符合下列规定：

- 1) 荷载分级和锚头位移观测时间应符合表 11.5.7-2 的规定；

表 11.5.7-2 验收试验多循环加卸载法的荷载分级和锚头位移观测时间

循环次数	试验荷载值与最大试验荷载值的比例 (%)									
	初始荷载	加载分级						卸载分级		
第一循环	30	—	—	—	—	—	50	—	—	30
第二循环	30	50	—	—	—	—	60	—	—	30
第三循环	30	50	—	—	—	60	70	—	50	30
第四循环	30	50	—	—	60	70	80	—	50	30
第五循环	30	50	—	60	70	80	90	70	50	30
第六循环	30	50	60	70	80	90	100	70	50	30
观测时间 (min)	1	1	1	1	1	1	≥10	1	1	1

- 2) 在每一循环的非最大荷载作用下，每级荷载施加或卸载完成后，持荷 1min，测读一次锚头位移；
- 3) 锚头位移相对收敛标准：当后 5min 的位移增量小于前 5min 的位移增量时，可视为锚头位移达到相对收敛标准；
- 4) 在每一循环的最大荷载作用下，荷载施加完成后，应每隔 5min 测读一次锚头位移；当锚头位移达到相对收敛标准时，方可卸载；
- 5) 当出现本标准第 11.5.8 条规定的终止加载情况时，可终止加载。

3 验收试验的分级维持荷载法应符合本标准第 11.3.6 条第 4 款的规定，当出现本标准第 11.5.8 条规定的终止加载情况时，可终止加载；

4 预应力锚杆在验收试验完成后应按设计要求进行锁定。

11.5.8 当出现下列情况之一时，应终止加载：

- 1 当出现本标准第 11.3.9 条第 1~4 款规定的情况之一时；
- 2 已加载至最大试验荷载值，且锚头位移达到位移相对收敛标准。

11.5.9 验收试验数据可按本标准表 C.3.1 的格式记录。试验结果的整理及曲线绘制应符合本标准第 11.3.10 条的规定。

11.5.10 锚杆抗拔承载力检测值 T_y 应按下列方法分析确定：

1 当出现本标准第 11.5.8 条第 1 款中情况之一时，单循环加卸载法、分级维持荷载法，取前一级荷载值；多循环加卸载法，取前一循环最大试验荷载值；

2 当出现本标准第 11.5.8 条第 2 款情况时，取最大试验荷载值。

11.5.11 支护锚杆弹性变形验算应符合下列规定：

1 实测弹性位移量可取为锚头总位移与卸载至初始荷载时的锚头位移之差；

2 杆体自由段长度的理论弹性伸长值，可按本标准公式 (11.3.14) 计算；

3 拉力型锚杆杆体自由段长度与 1/2 杆体粘结段长度之和的理论弹性伸长值，可按下列公式计算：

$$\Delta L_2 = \frac{(Q_{\max} - Q_0)(L_{\text{tf}} + \frac{L_{\text{tb}}}{2})}{EA_s} \quad (11.5.11)$$

式中： ΔL_2 ——从初始荷载至最大试验荷载，杆体自由段长度与 1/2 杆体粘结段长度之和的理论弹性伸长值 (mm)；

$Q_{\max}$ ——最大试验荷载 (kN)；

Q_0 ——初始荷载 (kN)；

L_{tf} ——杆体自由段长度 (m)；

L_{tb} ——杆体粘结段长度 (m) ;

E ——杆体弹性模量 (MPa) ;

A_s ——杆体横截面积 (m^2) 。

4 拉力型支护锚杆实测锚头弹性位移量应大于杆体自由段长度的理论弹性伸长值 ΔL_1 的 80%，且应小于杆体自由段长度与 1/2 杆体粘结段长度之和的理论弹性伸长值 ΔL_2 ；

5 压力型支护锚杆实测锚头弹性位移量应大于杆体自由段长度的理论弹性伸长值 ΔL_1 的 80%，且应小于杆体自由段长度的理论弹性伸长值 ΔL_1 的 120%。

11.5.12 当对单根受检锚杆进行评价时，合格锚杆的判定应符合下列规定：

- 1 锚杆抗拔承载力检测值不应小于锚杆验收荷载；
- 2 锚杆变形应符合本标准第 11.5.11 条的规定；
- 3 当设计有要求时，锚杆的总位移量应满足设计要求。

11.5.13 系统锚杆承载力检测值宜采用统计评价，当满足下列条件时，可判定所检测的工程锚杆验收试验结果满足设计要求：

- 1 锚杆抗拔承载力检测值的平均值不应小于锚杆验收荷载；
- 2 锚杆抗拔承载力检测值的最小值不应小于锚杆验收荷载的 0.9 倍；
- 3 锚杆变形应符合本标准第 11.5.11 条的规定；
- 4 当设计有要求时，锚杆的总位移量应满足设计要求。

11.5.14 土钉验收试验，应对同一条件的土钉承载力检测值进行统计评价，当满足下列条件时，可判定所检测的土钉验收试验结果满足验收要求：

- 1 土钉抗拔承载力检测值的平均值不应小于土钉验收试验荷载；
- 2 土钉抗拔承载力检测值的最小值不应小于土钉验收试验荷载的 0.8 倍；

3 当设计有要求时,土钉的变形应满足设计要求。

11.5.15 测试报告除应包括本标准第 3.6.3 条规定的内容外,尚应包括下列内容:

1 锚杆或土钉的类型、编号、位置、尺寸(孔径、长度、倾角、杆体直径与面积、锚固段长度、自由段长度、粘结段长度等)、杆体材料、材料强度;

2 加载反力装置、加载方法等;

3 绘制本标准第 11.5.9 条规定的相关曲线及对应的数据表;

4 支护锚杆或土钉验收标准与确定依据、抗拔承载力检测值;

5 支护锚杆变形验算结果。

11.6 粘结强度试验

11.6.1 本方法适用于确定锚杆锚固段注浆体与岩土层之间的粘结强度。

11.6.2 粘结强度试验宜加载至锚固段注浆体与岩土体之间发生破坏,当杆体承载力不够时,可采取加大杆体的截面面积的措施。

11.6.3 传感器安装应符合本标准第 12.6 节的有关规定,且应与锚杆杆体实现有效连接。

11.6.4 传感器埋设断面的选择应符合下列规定:

1 应根据拟测试岩土层的空间分布和锚杆受力特点及传感器特性进行合理布设;

2 在不同岩土层分界面处布设测试断面,同一岩土层的测量断面宜等间距布置,间距宜为 1.0m~3.0m;

3 宜在距孔口 1 倍~2 倍的锚杆直径处作为传感器数据校核断面,应设置在锚杆自由段上。

11.6.5 传感器埋设应符合下列规定:

1 将组装合格的锚杆杆体和排气管送入孔内,引出观测电缆,

检查注浆管和排气管是否通畅；

2 埋设完成后应测读传感器初始值，满足试验要求后即封堵孔口，按照设计要求注浆；

3 测点较多时，宜设置集线箱，并对传感器进行编号；

4 观测电缆与集线箱应设置保护装置；

5 应记录传感器埋设情况。

11.6.6 粘结强度试验步骤应符合下列规定：

1 试验宜采用本标准第 11.3 节规定的基本试验单循环加卸载法；

2 试验前应测读传感器基准值，每隔 5min 测读一次，当相邻 2 次读数的差值不大于测试仪器的分度值时，取最后一次读数值作为观测基准值；

3 在测读锚头位移时应同步测读、记录埋设传感器读数。

11.6.7 传感器埋设记录可按照本标准表 C.6.0 的格式记录，锚杆粘结强度试验数据可按照本标准表 C.3.1 的格式记录，锚杆粘结强度试验中传感器测试数据可按照本标准表 C.3.2 的格式记录，并绘制不同试验荷载下锚杆杆体沿轴向的变化曲线及粘结力与试验荷载的关系曲线。

11.6.8 粘结强度试数据分析应符合下列规定：

1 试验数据的整理应剔除异常数据，当同一断面有一个以上测读值时应取平均值；

2 锚杆杆件轴力应根据测读数据确定；

3 各级试验荷载作用下的锚固段注浆体与岩土层之间的粘结力可按式计算：

$$q_{si}(j) = \frac{P_i(j) - P_{i+1}(j)}{\pi d(L_{i+1} - L_i)} \quad (11.6.8)$$

式中： $q_{si}(j)$ ——第 j 级试验荷载作用下，锚杆第 i 断面与 $i+1$ 断

面内锚固段注浆体与岩土层之间单位面积粘结力
(kPa)；

$P_i(j)$ ——第 j 级试验荷载作用下，锚杆第 i 断面的杆体轴力
(kN)；

L_i ——锚头到第 i 断面的锚杆长度 (m)；

d ——锚固段钻孔直径 (m)；

j ——试验荷载加载级别；

i ——锚杆测试断面顺序号， $i = 1, 2, \dots, n$ ，并自
锚杆杆顶以下从小到大排列。

11.6.9 锚固段注浆体与岩土层之间粘结强度 q_{sk} 的确定应符合下列规定：

1 粘结强度可取粘结力-荷载关系曲线中的极限粘结力；

2 同一条件下参加统计的试验锚杆不得少于 3 根，当粘结强度极差不超过平均值的 30% 时，宜取其平均值为粘结强度标准值。

11.6.10 检测报告除应包括本标准第 3.6.3 条规定的内容外，尚应包括下列内容：

1 锚杆或土钉的类型、编号、位置、尺寸（孔径、长度、倾角、杆体直径与面积、锚固段长度、自由段长度、粘结段长度等）、杆体材料、材料强度；

2 传感器类型、安装位置、安装记录；

3 加载反力装置、加载方法等；

4 绘制本标准第 11.6.7 条规定的相关曲线及对应的数据表，杆体轴力计算方法及各级荷载作用下的杆体轴力曲线；

5 每根受检锚杆粘结力的确定依据；

6 粘结力、粘结强度试验结果。

11.7 持有荷载试验

11.7.1 本方法适用于测定锚杆的杆体持有荷载，也可用于测定预应力锚杆锁定力。锚杆锁定力测试宜选用锚杆测力计进行测试，也可采用持有荷载试验进行验证测试。采用持有荷载试验测定预应力锚杆锁定力时，应在张拉锁定后 12h 内完成试验。

11.7.2 当采用持有荷载试验进行锁定力测试时，持有荷载试验应采用支撑凳式反力装置，其仪器设备及其安装应符合本标准第 11.2.7 条的有关规定。

11.7.3 持有荷载试验加载方式和锚头位移测读应符合下列规定：

- 1 持有荷载试验的最大试验荷载不应大于验收荷载；
- 2 持有荷载试验中加卸荷速度、锚头位移基准值的测读应符合本标准第 11.3.6 条第 1 款和 11.3.7 条的规定；
- 3 初始荷载宜为锚杆设计锁定力值的 30%；
- 4 加载应分级进行，采用逐级等量加载，分级荷载宜为锚杆设计锁定值的 5%，宜采用 0.5mm~1.0mm 塞尺插入锚具与承压板之间的间隙，判断锚头是否松动；
- 5 位移观测期间，荷载变化幅度不应超过分级荷载量的 $\pm 10\%$ ；
- 6 每级荷载施加完成后，应维持荷载 5min，宜在第 0min、5min 测读锚头位移；
- 7 当出现锚头位移突变或锚具松动时，应继续 2 级~4 级加载后终止试验；
- 8 当试验荷载加载至验收荷载，且未出现锚头位移突变或锚具松动时，应终止试验；
- 9 持有荷载试验完成后应按设计要求进行重新锁定。

11.7.4 预应力锚杆锁定力测试数据可按本标准表 C.3.3 的格式记录，持有荷载试验数据可按本标准表 C.3.4 的格式记录，测力计安装记录可按本标准表 C.3.5 的格式记录。宜按荷载与对应的锚头位

移列表整理，并应绘制荷载-位移($P-s$)关系曲线。

11.7.5 持有荷载应按下列方法分析确定：

1 当荷载-位移($P-s$)关系曲线上位移突变明显时，应取其陡升起始点所对应的荷载值；

2 当荷载-位移($P-s$)关系曲线难以准确确定其陡升起始点时，应取曲线两侧拟合直线的交汇点所对应荷载值的前一级荷载；

3 当出现本标准第 11.7.3 条第 8 款时，应取大于等于最大试验荷载；

4 当按本条第 1、2 款难以确定持有荷载时，可用塞尺按本标准第 11.7.3 条第 4 款规定进行操作，宜取工作锚松动时对应荷载的前一级荷载；

5 当设计有要求时，杆体持有荷载应按设计要求进行判定。

11.7.6 检测报告除应包括本标准第 3.6.3 条规定的内容外，尚应包括下列内容：

1 锚杆或土钉的类型、编号、位置、尺寸（孔径、长度、倾角、杆体直径与面积、锚固段长度、自由段长度、粘结段长度等）、杆体材料、材料强度；

2 加载反力装置、试验方法、加载方法等；

3 绘制本标准第 11.7.4 条规定的相关曲线及对应的数据表；

4 每根受检锚杆的持有荷载的确定依据；

5 持有荷载试验测试结果。

11.8 拉力监测

11.8.1 锚杆拉力监测可用于确定锚杆轴向拉力随时间的变化规律，分析锚杆的实际工作状态，为工程安全评价、验证及优化设计、信息化施工提供依据。

11.8.2 锚杆拉力监测应符合下列规定：

1 预应力锚杆应同时进行锚杆自由段和锚固段杆体的拉力监测；

2 锚杆自由段和全长粘结型非预应力锚杆锚头附近的杆体拉力宜选用锚杆测力计进行测试；

3 锚杆自由段杆体拉力也可采用持有荷载试验进行测试；

4 锚杆锚固段杆体拉力可选择振弦式、电阻应变式、光纤光栅式等传感器进行测试。

11.8.3 传感器安装与埋设应符合本标准第 11.6.4 条、第 11.6.5 条和第 12.6 节的相关规定，且应与杆体实现有效连接。

11.8.4 锚杆自由段杆体拉力监测应符合下列规定：

1 锚杆测力计安装完成后，锚杆张拉锁定前应进行测力计初读数；锚杆张拉锁定后，应进行锚杆锁定力第一次测读；

2 每次观测时，测力计应读数 2 次，相邻两次读数间隔 5min，取 2 次读数的平均值作为本次观测值，并应同时量测、记录环境温度、记录工程施工或运行情况；

3 预应力锚杆自由段杆体拉力监测频率应符合下列规定：

1) 施工期间，在锚杆张拉锁定后的最初 7d 内宜 1 次/（1～2）d，7d 后宜（1～2）次/7d；

2) 运行区间，宜（1～2）次/30d；

3) 当遇降雨、邻近地层开挖、相邻锚杆张拉、支撑拆除、爆破震动等情况及监测数据变化速率过快时，应增加监测频次；

4) 永久性工程竣工后，锚杆拉力监测时间不宜少于 24 个月。

11.8.5 锚杆锚固段杆体拉力监测应符合下列规定：

1 锚固段注浆体终凝后应进行第一次测读；

2 对预应力锚杆，锚杆张拉锁定前宜进行一次测数，锚杆张拉锁定后应进行一次测读；

3 每次观测时，测力计应读数 2 次，相邻两次读数间隔 5min，

取 2 次读数的平均值作为本次观测值，并应同时记录工程施工或运行情况；

4 在开挖初期，锚杆段杆体拉力监测频率宜 1 次/（1~2）d，以后宜 1 次/（7~14）d，也可根据工程需要和锚杆锚固段杆体拉力变化情况确定。

11.8.6 当出现下列情况之一时，应提高监测频率：

- 1 监测数据达到或超过报警值；
- 2 监测数据异常；
- 3 锚固结构出现开裂；
- 4 出现影响锚固工程及周边环境安全的异常情况。

11.8.7 传感器埋设记录可按照本标准表 C.6.0 的格式记录，测力计安装记录可按照本标准表 C.3.5 的格式记录，预应力锚杆锁定力测试数据可按照本标准表 C.3.3 的格式记录，锚杆自由段杆体拉力监测数据可按照本标准表 C.3.6 的格式记录，锚杆锚固段杆体拉力监测数据可按照本标准表 C.3.7 的格式记录。

11.8.8 监测数据处理与信息反馈应符合下列规定：

- 1 监测数据整理应剔除异常数据；
- 2 锚杆自由段杆体拉力监测结果的整理应符合下列规定：
 - 1) 宜按照监测时间对应锚杆拉力列表整理；
 - 2) 宜绘制锚杆拉力时态曲线；
 - 3) 宜绘制锚杆拉力工况曲线；
 - 4) 宜对监测数据进行拟合分析，预测锚杆拉力的变化趋势；
 - 5) 也可绘制锚杆拉力变化速率时态曲线。
- 3 锚杆锚固段杆体拉力监测结果的整理应符合下列规定：
 - 1) 宜按照工程施工情况、监测时间、监测位置、传感器编号等列表整理；
 - 2) 宜绘制锚杆不同断面拉力-随时间变化曲线；
 - 3) 宜绘制锚杆不同断面拉力-随工况变化曲线；

4) 宜对监测数据进行拟合分析, 预测锚杆拉力的变化趋势。

4 锚杆拉力监测结果应及时反馈委托方及相关单位;

5 当监测数据达到或超过报警值时应进行监测报警。

11.8.9 监测报告除应包括本标准第 3.6.3 条规定的内容外, 尚应包括下列内容:

1 监测内容;

2 锚杆测力计、传感器安装记录;

3 监测锚杆测点布置图, 传感器埋设点分布图;

4 监测依据;

5 本标准第 11.8.8 条规定要求绘制的曲线及对应的数据表;

6 数据处理的确切依据和必要的分析过程;

7 锚杆拉力监测结果。

12 施工过程检测

12.1 材料检测

12.1.1 一般规定

1 混凝土结构、装配式结构等原材料、预制构件的质量检验应符合设计要求和现行国家标准《混凝土结构工程施工质量验收规范》GB 50204 的相关规定。

2 钢材、焊接材料和连接件等钢结构原材料及成品的进场、焊接或连接检验应符合设计要求和现行国家标准《钢结构工程施工质量验收规范》GB 50205 的相关规定。

3 水泥、砂浆、砖等砌体结构原材料的质量检验应符合设计要求和现行国家标准《砌体结构工程施工质量验收规范》GB 50203 的相关规定。

4 木材、木产品、胶合木、钢材、连接件、涂料及药剂等木结构原材料的质量检验应符合设计要求和现行国家标准《木结构工程施工质量验收规范》GB 50206 的相关规定。

5 砂、石子、石灰、粉煤灰、矿（钢）渣粉等掺合料、外加剂等原材料的质量、检验项目、批量和检验方法应符合国家现行相关规定。

6 防水卷材、防水涂料、密封材料等地下防水工程原材料的质量检验应符合设计要求和现行国家标准《建筑与市政工程通用防水规范》GB 55030 及《地下防水工程质量验收规范》GB 50208 的相关规定。

7 预埋构件和仪器设备等成品材料的质量检验应符合设计要求和现行国家、国家行业标准的相关规定。

8 组合结构原材料的质量检验应符合设计要求和现行强制性

工程建设规范《组合结构通用规范》GB 55004 的相关规定。

12.1.2 检测数量

1 主要材料进场复验检测项目与取样规定应符合本标准附录 B 的规定及相关现行标准的要求。

2 对涉及结构安全、节能、环境保护和主要使用功能的试块、试件及材料，应按相关现行标准进行见证检验。

3 灌注桩混凝土强度检验的试件应在施工现场随机抽取。来自同一搅拌站的混凝土，每浇筑 50m^3 时必须至少留置 1 组试件；当混凝土浇筑量不足 50m^3 时，每连续浇筑 12h 必须至少留置 1 组试件。对单柱单桩，每根桩应至少留置 1 组试件。

4 兼作永久结构的地下连续墙与地下结构底板、梁及楼板之间连接的预埋钢筋接驳器应按每 500 套为一个检验批进行抽样复验，每批应抽检 3 件，复检内容为外观、尺寸、抗拉强度等。

12.1.3 检测报告应按本标准第 3.6.4 条的规定执行。

12.2 预应力混凝土桩破坏性试验

12.2.1 一般规定

1 本试验适用于检测预应力混凝土桩成品质量，每个检验批抽检桩节数不少于 2 根。

2 检测项目、检测数量及扩大检测原则应符合下列规定：

- 1) 应对样品的规格、型号、龄期进行逐项核查，满足设计图纸和施工工艺要求；
- 2) 应对尺寸偏差和外观质量进行检测，检测项目应符合表 12.2.4 的要求，同一检验批中出现一节桩的抽检结果不符合要求时应加倍检测，再发现不合格情况则该批次的产品不准使用；

- 3) 应对钢筋(棒)的数量、直径、螺旋筋直径和间距、螺旋筋加密区长度及钢筋混凝土保护层厚度进行抽检,同一检验批中发现不合格产品时该检验批不准使用;
- 4) 应对端板几何尺寸进行检测,凡端板厚度或电焊坡口尺寸不合格的桩不得使用;
- 5) 当对桩身混凝土强度存在异议时,可对桩身混凝土强度进行抽检,检测方法宜采用钻芯法或全截面抗压试验。钻芯法检测及结果评价宜符合现行国家标准《钻芯检测离心高强混凝土抗压强度试验方法》GB/T 19496 的有关规定,且芯样直径宜为 70cm~100cm,最小不得小于 70cm。当对预应力混凝土桩钻芯法的检测结果评价有争议时,可采用管桩全截面抗压试验进行评价,管桩全截面抗压试验应符合国家行业标准《预应力混凝土管桩技术标准》JGJ/T 406 的相关规定;
- 6) 当对产品所用(预应力)钢筋(棒)、螺旋筋、端板等材质有争议时,应对钢材材质进行抽检。

12.2.2 仪器设备

- 1 π 尺、钢直尺、钢卷尺和直角靠尺分度值为 0.5mm。
- 2 钢直尺、游标卡尺和塞尺分度值为 0.02mm。
- 3 20 倍读数放大镜分度值为 0.01mm。
- 4 拉力试验机应符合现行国家标准《金属材料 拉伸试验 第 1 部分: 室温试验方法》GB/T 228.1 的相关规定。

12.2.3 现场检测

1 破损

- 1) 自抽检桩的一端剔凿混凝土,使预应力钢筋(棒)和箍筋裸露,剔凿长度 $L_t \geq$ 加密区长度+100mm。
- 2) 混凝土保护层厚度检测时,取桩身中部及距两端 1m~3m 范围与桩身轴线相垂直的 3 个截面或圆周进行剔凿。

2 预应力混凝土桩外观质量、混凝土保护层厚度、尺寸允许偏差的检测项目和检测方法应按表 12.2.3 的规定执行。

3 钢筋（棒）的抗拉强度：现场取长度 600mm 样品 3 根，用拉力试验机检测，按现行国家标准《金属材料 拉伸试验 第 1 部分：室温试验方法》GB/T 228.1 的相关规定执行。

4 端板材质：按现行国家行业标准《先张法预应力混凝土管桩用端板》JC/T 947 或《预应力混凝土空心方桩》JG/T 197 的相关规定执行。

表 12.2.3 预应力混凝土桩破损检测项目、检测方法及评价标准

序号	项目	检查工具和检查方法	评价标准
1	长度	用钢卷尺测量，精确至 1mm	符合本标准表 12.2.4、现行相关标准及设计要求
2	管桩外径 方桩边长	用 π 尺在与桩身轴线相垂直的同一圆周测量直径；或用卡尺或钢直尺在与桩身轴线相垂直的同一截面测量相互垂直的两直径（边长），取其平均值，精确至 1mm	
3	桩端部倾斜	将直角靠尺的一边紧靠桩身，另一边与端板紧靠，测其最大间隙处，精确至 1mm	
4	桩身弯曲度	桩水平放置，将拉线紧靠桩的两端部，用钢直尺测量其弯曲处的最大距离，精确至 1mm	符合本标准表 12.2.4、现行相关标准及设计要求
5	管桩壁厚	用卡尺或钢直尺在与桩身轴线相垂直的同一截面测量相互垂直直径上的 4 个壁厚，取其平均值，精确至 1mm	
6	方桩内径	用钢直尺在与桩身轴线相垂直的同一截面测量相互垂直方向的 2 个内径，取其平均值，精确至 1mm	
7	钢筋（棒） 数量	目测	符合设计要求
8	钢筋（棒） 直径	用游标卡尺测量任意 3 根同规格钢筋（棒）直径，取平均值	符合设计要求
9	钢筋骨架	用钢卷尺和卡尺测量，精确至 1mm	符合本标准 12.2.4 条第 4 款

续表 12.2.3

序号	项目		检查工具和检查方法	评价标准
10	管桩混凝土保护层厚度		用深度游标卡尺或钢直尺在同一截面上均匀分布的 3 处不同部位测量最外层钢筋的混凝土保护层, 精确至 1mm	符合本标准 12.2.4 条第 2 款
11	方桩混凝土保护层厚度		用深度游标卡尺在方桩中部同一断面的两处不同部位测量, 精确至 0.1mm	符合本标准 12.2.4 条第 2 款
12	粘皮、麻面和蜂窝		管桩采用目测	桩身外表面应平整, 无粘皮、麻面和蜂窝
			方桩用钢直尺和钢卷尺测量粘皮和麻面的尺寸并计算其面积; 用游标卡尺测量粘皮和麻面的深度, 精确至 1mm	局部粘皮和麻面累计面积不应大于桩总外表面的 0.5%; 每处粘皮和麻面的深度不得大于 5mm, 且应修补
13	桩身合缝漏浆		漏浆长度: 用钢卷尺测量, 精确至 1mm	无漏浆
			漏浆深度: 用钢丝插入漏浆处孔隙, 然后用游标卡尺测量钢丝的深度, 精确至 0.1mm	漏浆深度不应大于 5mm, 方桩每处漏浆长度不得大于 300mm, 累计长度不得大于总长度的 10%, 或对称漏浆的搭接长度不得大于 100mm, 管桩累计长度不得大于周长的 1/6, 且应修补
14	混凝土局部磕损		管桩采用目测	无磕损
			方桩用钢直尺和钢卷尺测量混凝土局部磕损处的尺寸并计算其面积; 用游标卡尺测量混凝土局部磕损处的深度, 精确至 1mm	局部磕损深度不应大于 5mm, 每处面积不得大于 5000mm ² , 且应修补
15	内外表面露筋		目测	无露筋
16	表面裂缝		用 20 倍读数放大镜测量, 精确至 0.01mm	不得出现环向和纵向裂缝, 但龟裂、水纹和内壁浮浆层中的收缩裂缝不在此限
17	端板	尺寸	用游标卡尺测量, 精确至 0.1mm	符合本标准表 12.2.4 的要求
		桩端面平整度	目测	桩端面混凝土和预应力钢筋锚头不得高出端板平面

续表 12.2.3

序号	项目		检查工具和检查方法	评价标准
18	端板端面平面度		用钢直尺立起横放在端板面上缓慢旋转,用塞尺测量最大间隙,精确至 0.1mm	符合本标准表 12.2.4 的要求
19	断筋、脱头		目测	无断筋、脱头
20	桩套箍凹陷		用游标卡尺测量,精确至 1mm	凹陷深度不应大于 10mm
21	内表面混凝土塌落		目测	无塌落
22	接头和桩套箍与桩身结合面	漏浆	用深度游标卡尺测量漏浆深度,精确至 0.1mm	无漏浆
			用钢卷尺测量漏浆长度,精确至 1mm	
		空洞和蜂窝	目测	无空洞和蜂窝

12.2.4 质量验收标准

1 预应力混凝土桩尺寸允许偏差应符合表 12.2.4 的规定。

表 12.2.4 预应力混凝土桩尺寸允许偏差

产品名称	先张法预应力混凝土管桩		预应力离心混凝土空心方桩	
序号	项目	允许偏差	项目	允许偏差
1	长度 L (mm)	$\pm 0.5\%L$	桩长 L (mm)	$+0.7\%L$ $-0.5\%L$
2	端部倾斜 (mm)	$\leq 0.5\%D(B)$	端部倾斜 (mm)	$\leq 0.5\%a$
3	外径 D	300mm~700mm	边长 a (mm)	$+5$ -4
		800mm~1400mm		
4	壁厚 t (mm)	$+20$ 0	内径 d (mm)	$+5$ 负偏差无限
5	保护层厚度 (mm)	$+5$ 0	保护层厚度 (mm)	$+10$ 0
6	桩身弯曲度	$L \leq 15m$	桩身弯曲度	$\leq L/500$
		$15m < L \leq 30m$		

续表 12.2.4

产品名称	先张法预应力混凝土管桩			预应力离心混凝土空心方桩		
序号	项目		允许偏差	项目		允许偏差
7	端板	端板端面平面度(mm)	≤ 0.5	端板	端板外侧平面度(mm)	≤ 1.5
		外径(mm)	0 -1		外边长(mm)	± 1
		内径(mm)	0 -2		内边长(mm)	± 2
		厚度(mm)	正偏差不限 0		厚度(mm)	正偏差不限 0

2 先张法预应力混凝土管桩钢筋的混凝土保护层厚度不应小于 35mm，其中地基处理、设备基础和临时性建筑基础用管桩钢筋的混凝土保护层厚度不应小于 25mm；方桩预应力钢筋的混凝土保护层厚度不应小于 30mm，外边长为 250mm 与 300mm；空心方桩的混凝土保护层厚度不应小于 25mm，用于特殊要求环境下的空心方桩预应力钢筋的混凝土保护层厚度应符合相关标准的要求。

3 预应力混凝土钢棒应符合现行国家标准和设计要求的規定。

4 先张法预应力混凝土管桩钢筋数量、钢筋直径、钢筋骨架应符合国家标准《先张法预应力混凝土管桩》GB/T 13476 的相关规定；预应力离心混凝土空心方桩钢筋数量、钢筋直径、钢筋骨架应符合国家行业标准《预应力离心混凝土空心方桩》JC/T 2029 或《预应力混凝土空心方桩》JG/T 197 的相关规定。

5 端板材质及厚度应符合国家行业标准《先张法预应力混凝土管桩用端板》JC/T 947 的相关规定。

6 尺寸偏差、外观质量、钢筋的数量、直径、螺旋筋直径和间距、螺旋筋加密区长度及钢筋混凝土保护层厚度检测数据可按本标准表 C.4.0 的格式记录。

12.2.5 检测数据分析与判定

1 方桩外观质量检测项目经修补能符合相应规定的,判定外观质量合格。

2 全部检测项目符合相关标准及设计要求时,判定为合格;当抽检结果出现不符合要求时,应按相关标准加倍检测,加倍检测全部符合的,判定合格,并与不符合报告形成关联报告;加倍检测全部或部分不符合的,判定为不合格,该批产品不准使用并必须撤离现场。

12.2.6 检测报告除应满足本标准第 3.6.3 条的规定外,尚应包括下列内容:

- 1 验收等级;
- 2 表面状况;
- 3 样品破损前后的彩色照片;
- 4 缺陷判定;
- 5 补修情况;
- 6 检验结果等。

12.3 成孔成槽质量检测

(1) 钻孔灌注桩成孔质量检测

12.3.1 适用范围

1 钻孔灌注桩成孔质量检测应包括孔深、孔径、垂直度、沉渣厚度等项目。

2 灌注桩成孔质量检测方法应根据成孔尺寸、检测方法适用性、现场具体条件等按表12.3.1-1规定选用。

表 12.3.1-1 灌注桩成孔质量检测项目、方法、仪器设备及适用范围

检查项目	检测方法	仪器设备及器具	适用范围
孔深	深度编码法	深度编码器及滑轮	普遍适用
	测绳法	孔深测绳	普遍适用
孔径	超声波法	超声波成孔检测仪	孔径小于 0.6m 的桩孔不宜选用、泥浆性能指标超过表 12.3.1-2 规定的不宜选用
	机械接触法	伞型孔径仪	孔径大于 2.5m 的桩孔不宜选用
垂直度	超声波法	超声波成孔检测仪	孔径小于 0.6m 的桩孔不宜选用、泥浆性能指标超过表 12.3.1-2 规定的不宜选用
	顶角测量法	测斜仪及扶正器	孔径大于 2.5m 的桩孔不宜选用
	圆心拟合法	伞型孔径仪	
沉渣厚度	电阻率法	电阻率法沉渣测定仪	地下水含盐量高时不宜选用
	探针法	探针法沉渣测定仪	孔径小于 0.6m 的桩孔不宜选用
	重锤法	沉渣重锤	普遍适用

3 泥浆护壁钻孔灌注桩成孔检测时,距孔底部1.0m内泥浆性能应符合表12.3.1-2中的规定。

表 12.3.1-2 泥浆性能指标

项目	单位	指标	检测方法
重度	kN/m ³	<12.5	比重计
粘度	s	≤28	粘度计
含砂量	%	≤8	洗砂瓶

4 成孔质量检验标准的各项指标应符合设计要求,并应符合国家现行标准《建筑地基基础工程施工质量验收标准》GB 50202、《建筑桩基技术规范》JGJ 94等的有关规定。

5 成孔检测数量应符合下列规定:

- 1) 试成孔及静载试验桩孔应100%进行检测;
- 2) 每个承台的检测孔数不应少于1个;
- 3) 对地质条件复杂或成桩质量可靠性较低的灌注桩、非等直径灌注桩,抽检数量不应少于总桩孔数的40%,且不应少

于20个孔；其他灌注桩的抽检数量不应少于总桩孔数的20%，且不应少于10个孔；

4) 市政桥梁桩的成孔应100%进行检测。

12.3.2 仪器设备

1 超声波法检测仪器设备应符合下列规定：

- 1) 孔径检测精度不应超过 $\pm 0.2\%FS$ ；
- 2) 孔深度检测精度不应超过 $\pm 0.3\%FS$ ；
- 3) 测量系统为超声波脉冲系统，发射功率不应小于5W；
- 4) 超声波工作频率应满足检测精度要求；
- 5) 脉冲重复频率应满足检测精度要求；
- 6) 检测通道不应少于二通道；
- 7) 记录方式为模拟式或数字式；
- 8) 具有自校功能；
- 9) 超声波探头遇到护筒或孔底时应有自动控制停机功能；
- 10) 检测过程中，超声波探头升降速度应可调节。

2 伞形孔径仪应符合下列规定：

- 1) 被测孔径小于1.2m时，孔径检测误差不应超过 $\pm 15mm$ ，被测孔径大于等于1.2m时，孔径检测误差不应超过 $\pm 25mm$ ；
- 2) 机械臂不应少于4支，机械臂应能同时张开，张开时应具备足够的长度、强度和张力，以确保末端能接触孔壁；
- 3) 非等直径桩检测应增加可以进入扩径最深处的辅助装置。

3 测绳法孔深检测设备应符合下列规定：

- 1) 测绳宜采用钢丝绳；
- 2) 测绳的长度应定期进行校准；
- 3) 与测绳相连的锥状重物，质量不宜小于2kg，锥角不宜大于 45° 。

4 深度编码法孔深检测设备应符合下列规定：

- 1) 检测设备应由伞型孔径仪或沉渣测定仪集成的深度编码器

和滑轮组成；

2) 检测设备应进行标定，深度编码器和滑轮应同步工作。

5 顶角测量法测斜仪应符合下列规定：

1) 测量范围： $0^{\circ}\sim 10^{\circ}$ ；

2) 测量误差：不应超过 $\pm 0.1^{\circ}$ ；

3) 分辨率：不应低于 0.05° 。

6 沉渣检测重锤应符合下列规定：

1) 重锤宜采用质量 $2\text{kg}\sim 5\text{kg}$ 的平底金属锤，锤底面宜为圆形，直径宜为 $9\text{cm}\sim 13\text{cm}$ ；

2) 重锤高度和直径之比宜为 $1.5:1\sim 2:1$ ；

3) 重锤悬挂绳宜为钢丝绳。

7 电阻率法沉渣测定仪应符合下列规定：

1) 电极系绝缘电阻不宜小于 $50\text{M}\Omega$ ；

2) 探头总质量不宜小于 5kg ，探头直径不宜大于 10cm ，探头总长度不宜小于 80cm ；

3) 探头微电极长度不宜大于 5cm ，电阻率测量误差应小于 5% ；

4) 仪器应具备实时显示功能，倾角传感器角度误差不得超过 $\pm 1^{\circ}$ 。

8 探针法沉渣测定仪应符合下列规定：

1) 探针最大伸出长度不宜小于 20cm ；

2) 探头重量、探针刚度和截面尺寸应根据泥浆性状等确定，探针行程范围内，应具有刺穿沉渣能力。

12.3.3 孔深检测

1 孔深检测应在清孔完毕后立即进行。可采用测绳法单独检测或在孔径、垂直度检测时，使用深度编码同步进行检测。

2 孔深检测起算标高应与成孔施工起算标高一致，孔深测量指示误差应 $\leq 3\%$ 。

3 测绳法孔深检测应符合下列规定：

- 1) 测绳应对准桩孔中心部位下放;
- 2) 锥状重物下放到孔底后应反复上下提升, 提升高度宜为 1.0m, 让锥状重物穿过沉渣, 直到下落后深度不再增加为止, 读取测绳刻度, 即为检测孔深。
- 4 深度编码法孔深检测应符合下列规定:
 - 1) 具有深度编码器的仪器, 当电缆上特殊标志下到成孔施工起算标高时, 停止下放, 将特殊标志至探头底端的距离作为孔深检测起始深度, 并输入仪器;
 - 2) 测试时, 开动绞车, 均匀下放探头, 探头下放速度不宜大于 6m/min, 探头触到孔底后, 孔深记录应同时停止记数, 仪器保存孔深数据;
 - 3) 检测值应通过孔深系数进行修正。孔深系数应按下式计算:

$$\delta = \frac{l_r}{l_d} \quad (12.3.3)$$

式中: δ ——孔深系数;

l_r ——实际深度 (m);

l_d ——显示深度 (m)。

12.3.4 孔径检测

1 试成孔完成后, 孔径应进行多次跟踪检测, 跟踪检测时间宜为 12h~24h, 检测间隔宜为 3h~4h。

2 非等直径钻孔灌注桩的试成孔或最初施工的 2 个工程桩孔, 宜在成孔后 1h 内等间隔检测, 检测频率不宜少于 3 次。

3 超声波法孔径检测应符合以下规定:

- 1) 检测应在清孔完毕, 孔中泥浆内气泡基本消散后、安放钢筋笼之前进行;
- 2) 检测前应利用护筒直径作为标准距离, 使用超声波法成孔检测仪的自校程序测出当前泥浆的声速并验证仪器系统,

验证应至少进行2次。自校验证完成后应及时锁定相关参数设置，在该孔的检测过程中不应变动；

- 3) 仪器探头应对准护筒中心轴线；
- 4) 检测宜自孔口至孔底或自孔底至孔口连续进行；
- 5) 检测方向应为正交四个方向，直径大于4m的桩孔、试成孔及静载荷试桩孔应增加检测方位；
- 6) 检测剖面的走向与实际方位的关系应标明；
- 7) 检测时应保证超声波信号清晰有效，探头升降应保持匀速，且不宜大于10m/min；
- 8) 当不满足要求时，应降低泥浆相对密度及含砂率后，重新检测。

4 超声波法检测记录图应符合以下规定：

- 1) 记录图应标记检测时间、设计孔径、检测方向及孔底深度；
- 2) 记录图应有明显的刻度标记，能准确显示任何深度截面的孔径及孔壁的形状；
- 3) 记录图纵横比例尺，应根据设计孔径及孔深合理设定，并应满足分析精度需要。

5 超声波在泥浆介质中传播速度，可根据已知的孔口尺寸和孔口所测的声时值，按下式计算：

$$c = \frac{2(d_0 - d')}{t_1 + t_2} \quad (12.3.4-1)$$

式中： c ——超声波在泥浆介质中传播的速度（m/s）；

d_0 ——护筒直径（m）；

d' ——探头直径（m）；

t_1 、 t_2 ——互为反向的换能器实测的声时值（s）。

6 超声波法钻孔灌注桩孔径检测数据处理应符合下列规定：

- 1) 探头中心与孔壁的净距离可按下式计算：

$$l_i = c \frac{t_i}{2} + \frac{d'}{2} \quad (12.3.4-2)$$

式中: l_i ——第 i ($i = 1, 2, 3, 4$) 方向探头中心与孔壁的距离 (m) ;

t_i ——第 i ($i = 1, 2, 3, 4$) 方向上孔壁反射信号的声时值 (s) 。

2) 成孔孔径 (如图12.3.4-1) 应按下列方法计算:

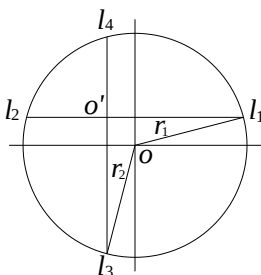


图 12.3.4-1 超声波法孔径计算示意图

O —桩孔中心; O' —探头中心

$$d = r_1 + r_2 \quad (12.3.4-3)$$

$$r_1 = \frac{\sqrt{(l_3 - l_4)^2 + (l_1 + l_2)^2}}{2} \quad (12.3.4-4)$$

$$r_2 = \frac{\sqrt{(l_1 - l_2)^2 + (l_3 + l_4)^2}}{2} \quad (12.3.4-5)$$

式中: d ——测点位置的孔径 (m) ;

r_1, r_2 ——测点位置的桩孔半径 (m) ;

l_1, l_2, l_3, l_4 ——测点位置现场实测探头中心至孔壁的水平距离 (m) 。

7 伞形孔径仪现场检测应符合下列规定:

- 1) 伞形孔径仪进入现场检测前应进行标定, 标定应按照现行地方标准《天津市钻孔灌注桩成孔、地下连续墙成槽检测技术规程》DB/T 29-112相关规定执行。标定完毕后恒定电流源电流和量程, 仪器常数及起始孔径在检测过程中不得变动;
 - 2) 检测应在钻孔清孔完毕后, 安放钢筋笼之前进行;
 - 3) 检测前应校正好自动记录仪与孔口滑轮的同步关系;
 - 4) 检测前深度起算标高应与成孔施工起算标高一致;
 - 5) 孔径检测应自孔底向孔口连续进行; 伞形孔径仪降至孔底后, 仪器的机械臂应同时张开, 然后匀速提升伞形孔径仪并实时记录孔径测量值, 提升速度不宜大于10m/min, 且提升速度能保证采集到清晰、可靠的数据。孔径变化较大处, 应降低探头提升速度;
 - 6) 检测结束时, 应根据孔口护筒直径的检测结果, 复核仪器的测量误差, 必要时应重新标定后再次检测。
- 8 伞型孔径仪检测记录图应满足下列规定:**
- 1) 记录图应标记检测时间、设计孔径及孔底深度;
 - 2) 记录图应有明显孔径及深度的刻度标记, 能准确显示任何深度截面的孔径;
 - 3) 记录图应有设计孔径基准线、基准零线及同步记录深度标记;
 - 4) 记录图纵横比例尺, 应根据设计孔径及孔深合理设定, 并应满足分析精度需要。
- 9 伞形孔径仪张角采用电位差检测时, 孔径 d 可按下式计算:**

$$d = D_0 + k \frac{\Delta V}{I} \quad (12.3.4-6)$$

式中: D_0 ——起始孔径 (m);
 k ——仪器常数 (m/Ω);

ΔV ——信号电位差 (V) ;

I ——恒定电流源电流 (A) 。

10 伞形孔径仪张角采用机械臂倾角 (图12.3.4-2) 检测时, 孔径 d 应按下式计算:

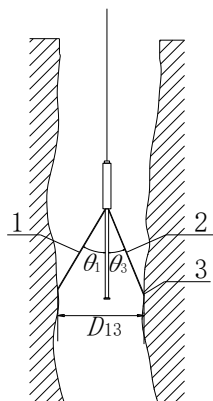


图 12.3.4-2 机械臂倾角检测时孔径计算示意图

1—机械臂 1; 2—机械臂 3; 3—孔壁

$$D_{13} = L \sin \theta_1 + L \sin \theta_3 \quad (12.3.4-7)$$

$$D_{24} = L \sin \theta_2 + L \sin \theta_4 \quad (12.3.4-8)$$

$$d = \frac{D_{13} + D_{24}}{2} \quad (12.3.4-9)$$

式中: D_{13} 、 D_{24} ——分别为测点位置正交两个方向的孔径检测值 (m) ;

L ——机械臂长度 (m) ;

θ_1 、 θ_2 、 θ_3 、 θ_4 ——分别为正交机械臂 1、2、3、4 与铅垂线之间的夹角, 其中机械臂 1、3 在一个平面上, 2、4 在与之正交的平面上。

12.3.5 垂直度检测

1 钻孔灌注桩成孔垂直度检测可采用顶角测量法、圆心拟合法、

超声波法。

2 顶角测量法测斜仪进入现场检测前应进行标定,标定应按照现行地方标准《天津市钻孔灌注桩成孔、地下连续墙成槽检测技术规程》DB/T 29-112相关规定执行。

3 顶角测量法垂直度检测可在清孔完毕后,在未提钻的钻具内进行或直接放入桩孔内进行。

4 顶角测量法孔内直接进行垂直度检测应外加扶正器,宜在孔径检测完成后进行。扶正器的直径应根据孔径检测结果合理选择,并需满足测量精度要求。

5 顶角测量法成孔垂直度检测应避开明显扩径段。

6 顶角测量法垂直度检测前应进行孔口校零。

7 顶角测量法垂直度检测步骤应符合下列规定:

- 1) 在仪器主机上设置孔径、测斜仪外径(带扶正器则为扶正器外径)等参数;
- 2) 将测斜装置下降至孔中预设起始深度位置,测斜仪不应碰触孔壁、保持自然垂直状态,并在此处做角度零度值校验;
- 3) 测斜仪下行时,每间隔3m~5m深度应暂停,待顶角显示值稳定时保存该测点数据,然后继续下测直到孔底;
- 4) 相邻测点的间距不宜大于5m,在顶角变化较大处宜加密检测点数,在接近孔底位置检测最后一个测点。

8 顶角测量法桩孔垂直度 K 可按下式计算:

$$K = \frac{E}{L} \times 100\% \quad (12.3.5-1)$$

$$E = \frac{d}{2} - \frac{\phi}{2} + \sum h_i \sin\left(\frac{\theta_i + \theta_{i-1}}{2}\right) \quad (12.3.5-2)$$

式中: K ——桩孔垂直度(%);

E ——桩孔偏心距(m);

- L ——实测孔深 (m) ;
 d ——孔径或钻具内径 (m) ;
 ϕ ——测斜探头或扶正器外径 (m) ;
 h_i ——第 i 段测点距 (m) ;
 θ_i ——第 i 测点实测顶角 ($^{\circ}$) ;
 θ_{i-1} ——第 $i-1$ 测点实测顶角 ($^{\circ}$) 。

9 采用圆心拟合法进行垂直度检测的伞型孔径仪应符合本标准第12.3.2条第2款的规定,检测应符合本标准第12.3.4条第7款的规定,检测数据应在伞形孔径仪进行孔径检测时同时产生。

10 超声波法进行垂直度检测应符合本标准第12.3.4条第3款的规定,检测数据应在超声波检测进行孔径检测时同时产生。

11 超声波法垂直度检测数据处理应符合下列规定:

1) 偏心距 (图12.3.5) 应按下式计算:

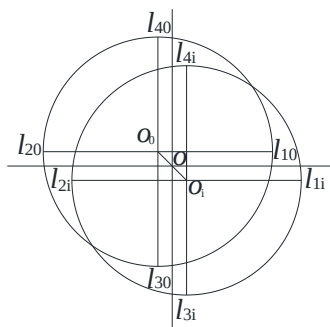


图 12.3.5 超声波法桩孔偏心距计算示意图

O —探头中心点; O_0 —第 1 测点孔口的桩孔中心点; O_i —第 i 测点处的桩孔中心点

$$X_0 = \frac{l_{10} - l_{20}}{2} \quad (12.3.5-3)$$

$$Y_0 = \frac{l_{30} - l_{40}}{2} \quad (12.3.5-4)$$

$$X_i = \frac{l_{1i} - l_{2i}}{2} \quad (12.3.5-5)$$

$$Y_i = \frac{l_{3i} - l_{4i}}{2} \quad (12.3.5-6)$$

$$E_i = \sqrt{|X_0 - X_i|^2 + |Y_0 - Y_i|^2} \quad (12.3.5-7)$$

式中： X_0 、 Y_0 ——第 1 测点孔口处声波探头中心相对于桩孔中心点的坐标（m）；

X_i 、 Y_i ——第 i 测点处声波探头中心相对于桩孔中心点的坐标（m）；

l_{10} 、 l_{20} 、 l_{30} 、 l_{40} ——第 1 测点处声波探头中心距离孔壁四个方向的水平距离（m）；

l_{1i} 、 l_{2i} 、 l_{3i} 、 l_{4i} ——第 i 测点处声波探头中心距离孔壁四个方向的水平距离（m）；

E_i ——桩孔在第 i 测点处的偏心距（m）。

2) 垂直度应按下式计算：

$$K_i = \frac{E_i}{L_i} \times 100\% \quad (12.3.5-8)$$

式中： K_i ——桩孔在第 i 测点处的垂直度（%）；

L_i ——桩孔在第 i 测点的深度（m）。

12.3.6 沉渣厚度检测

1 钻孔灌注桩成孔的沉渣厚度检测，宜在清孔完毕后，灌注混凝土前进行。

2 每个桩孔沉渣厚度检测应至少进行3次，取检测数据的平均值为沉渣厚度检测值。

3 沉渣厚度检测可选用重锤法、电阻率法或探针法。

4 重锤法沉渣厚度检测步骤应符合下列规定：

- 1) 重锤应对准孔中心部位，下放重锤到桩孔底；
 - 2) 重锤触碰到孔底后应进行二次提升，提升高度宜为1.0m～2.0m，应根据孔深、泥浆性状等确定；
 - 3) 提升后让重锤自由下落到沉渣顶面，拉直测绳，以成孔施工起算标高为基准，读取测绳读数，测绳读数与孔深测试深度之差，即为沉渣厚度。
- 5 电阻率法沉渣厚度检测步骤应符合下列规定：
- 1) 将沉渣测定仪探头对准桩孔中心部位，下放沉渣测定仪探头直到桩孔底，下放探头时观察电阻率值变化范围，选取合适的测量量程或放大倍数；
 - 2) 将沉渣测定仪探头提升1.0m～2.0m，再让测定仪探头自由下落，穿透沉渣层达到原状土层；
 - 3) 将沉渣测定仪探头匀速缓慢地提升，沉渣测定仪自动记录桩孔底不同深度的泥浆电阻率，并绘制出“泥浆电阻率-深度”曲线，直到将测定仪探头提升至距离桩孔底约2.0m高度停止；
 - 4) 泥浆电阻率-深度曲线上的突变点以下部分可判断为沉渣，其厚度由深度坐标量取。
- 6 探针法沉渣厚度检测步骤应符合下列规定：
- 1) 沉渣探头下放到桩孔（槽）底部沉渣层上表面时，探头内的探针应归于初始位置；
 - 2) 主机读取探头状态，当探头倾斜超过一定范围时提示调整探头位置直至探头近似直立；
 - 3) 主机控制探针缓慢伸出，同时测定探针各伸出长度对应的探头倾斜角度或探针压力；
 - 4) 当探针穿过沉渣到达孔（槽）底部原状土层时，探针运动受阻，探头发生倾斜，探针压力也发生突变，主机上同步绘制探针长度-倾斜角度曲线或探针长度-探针压力曲线，

曲线开始发生变化时对应的探针伸出长度即为当前位置沉渣厚度；

5) 探针全部伸出后自动停止，并保存数据；

6) 主机控制探针回收，并上提沉渣探头，结束检测。

12.3.7 每孔检测完毕应及时填写现场检测记录表。现场检测记录表应包括以下内容：

1 工程名称及桩孔编号；

2 孔设计参数；

3 检测方法；

4 检测仪器设备型号及编号、现场仪器校准结果；

5 各项检测内容的检测结果及偏差；

6 成孔质量评定。

12.3.8 检测报告除应满足本标准第 3.6.3 条的规定外，尚应包括下列内容：

1 仪器设备型号、室内自检过程及结果，现场自校过程及结果；

2 仪器工作原理及检测过程，检测参数设置及检测过程叙述；

3 每个桩孔的测试记录图和现场检测记录表等；

4 列表叙述所有被测桩孔的检测结果；

5 根据检测结果和规范、设计要求对所测桩孔结果进行评价。

(II) 地下连续墙成槽检测

12.3.9 适用范围

1 地下连续墙成槽质量检测项目应包括槽深、槽宽、垂直度、沉渣厚度等。

2 地下连续墙成槽质量检测方法应根据检测方法适用性、现场具体条件等按表12.3.9规定选用。

表 12.3.9 地下连续墙成槽质量检测项目、方法、仪器设备及适用范围

检查项目	检测方法	仪器设备及器具	适用范围
垂直度	超声波法	超声波成孔检测仪	槽宽小于 0.6m 的槽段不宜选用、 泥浆性能指标超过表 12.3.1-2 规定的 不宜选用
槽深	超声波法	超声波成孔检测仪	
槽宽	超声波法	超声波成孔检测仪	
沉渣厚度	电阻率法	电阻率法沉渣测定仪	地下水含盐量高时不宜选用
	探针法	探针法沉渣测定仪	槽宽小于 0.6m 的槽不宜选用
	重锤法	重锤	普遍适用

3 超声波法检测时，槽内泥浆性能应符合本标准第12.3.1条第3款的规定。

4 成槽质量检验标准的各项指标应符合设计要求，并应符合国家现行标准《建筑地基基础工程施工质量验收标准》GB 50202的有关规定。

5 成槽检测数量应符合下列规定：

- 1) 试成槽、异型槽（非矩形槽）应100%进行成槽质量检测；
- 2) 地下连续墙作为永久结构，成槽应100%检测；地下连续墙作为临时结构，成槽检测比例不应少于总槽段数的20%，且不应少于10个槽段，每个槽段检测数量不应少于3个断面。

6 超声波法槽宽检测应标明检测剖面走向与实际方位的关系及检测断面在槽段平面图的具体位置。

7 成槽检测记录图应符合以下规定：

- 1) 记录图纵横比例尺，应根据设计槽宽及槽深合理设定，并应满足分析精度需要；
- 2) 记录图应有明显的刻度标记，能准确显示任何深度截面的槽宽及槽壁的形状；
- 3) 记录图应标记检测时间、设计槽宽、检测方向及槽底深度。

12.3.10 仪器设备

1 超声波法检测仪器设备应符合本标准第12.3.2条第1款的规

定。

2 仪器自校应符合以下规定：

- 1) 每个槽段测试前应利用导墙宽度作为标准距离，使用超声波法成孔检测仪的自校程序测出当前泥浆的声速并验证仪器系统，验证应至少进行2次；
- 2) 自校验证完成后应及时锁定相关参数设置，在该槽段的检测过程中不应变动。
- 3 测绳法槽深检测设备应符合本标准第12.3.2条第3款的规定。
- 4 深度编码法槽深检测设备应符合本标准第12.3.2条第4款的规定。
- 5 重锤法沉渣厚度检测用重锤应符合本标准第12.3.2条第6款的规定。
- 6 电阻率法沉渣测定仪应符合本标准第12.3.2条第7款的规定。
- 7 探针法沉渣测定仪应符合本标准第12.3.2条第8款的规定。

12.3.11 槽深检测

1 槽深检测应在清孔完毕后立即进行。可采用测绳法单独检测或在槽宽、垂直度检测时，使用深度编码同步进行检测。

2 槽深检测起算标高应与成孔施工起算标高一致，槽深测量指示误差应 $\leq 3\text{‰}$ 。

3 测绳法槽深检测应符合本标准第12.3.3条第3款的规定。

4 深度编码法槽深检测应符合本标准第12.3.3条第4款的规定。

12.3.12 槽宽检测

1 超声波法槽宽检测应符合下列规定：

- 1) 地下连续墙成槽质量检测应在第一次清槽完毕，施工接头部位洗刷完毕，槽中泥浆内气泡基本消散后、安放钢筋笼之前进行；
- 2) 检测前应按本标准第12.3.10条第2款规定对仪器系统进行自校；

- 3) 仪器探头宜对准导墙中心轴线,用于检测的一组探头超声发射面应与导墙平行;
- 4) 单元槽段中间断面宜做二方向检测,槽段端头连接部位宜做三方向检测;
- 5) 检测宜自槽口至槽底或自槽底至槽口连续进行;
- 6) 检测时应保证超声波信号清晰有效,探头升降应保持匀速,且不宜大于10m/min。

2 超声波在泥浆介质中传播速度,可根据已知的槽口尺寸和槽口所测的声时值,按下式计算:

$$c = \frac{2(d_0 - d')}{t_1 + t_2} \quad (12.3.12-1)$$

式中: c ——超声波在泥浆介质中传播的速度 (m/s);

d_0 ——导墙宽度 (m);

d' ——探头直径 (m);

t_1 、 t_2 ——互为反向的换能器实测的声时值 (s)。

3 超声波法检测槽宽应按下式计算:

$$d = d' + c \frac{t_1 + t_2}{2} \quad (12.3.12-2)$$

式中: d ——实测槽宽 (m);

c ——超声波在泥浆介质中传播的速度 (m/s);

d' ——探头直径 (m);

t_1 、 t_2 ——探头对称位置槽壁反射信号的实测声时值 (s)。

12.3.13 垂直度检测

1 超声波法垂直度检测应与槽宽检测同步进行,检测应符合本标准第12.3.12条第1款的规定。

2 超声波法垂直度检测偏心距应按下式计算:

$$E_i = |Y_0 - Y_i| \quad (12.3.13-1)$$

式中： E_i ——第 i 测点处的偏心距；

Y_0 、 Y_i ——分别为第 1 和第 i 测点处超声波探头与槽壁的垂直距离（m）。

3 槽垂直度 K 应按下式计算：

$$K = \frac{E}{L} \times 100\% \quad (12.3.13-2)$$

式中： E ——槽的偏心距（m）；

L ——实测槽深度（m）。

12.3.14 沉渣厚度检测

1 地下连续墙成槽的沉渣厚度检测，宜在清孔清槽完毕后，灌注混凝土前进行。

2 地下连续墙每个单元槽段沉渣厚度检测应选槽段的两端和中间各进行1次，取检测数据的平均值为最终检测结果。

3 沉渣厚度检测方法可按本标准第12.3.6条第3款选取，检测过程应符合本标准第12.3.6条第4～6款的规定。

12.3.15 现场检测记录应符合本标准第12.3.7条的相关规定。

12.3.16 检测报告应符合本标准第12.3.8条的相关规定。

12.4 接桩焊缝质量检测

12.4.1 一般规定

1 接桩焊缝的无损检测应在外观检验合格后进行，无损检测方法应根据设计要求或现场焊接情况确定。

2 多节预制桩接桩焊缝质量宜采用探伤检测，可采用渗透法、磁粉法和超声波法，应符合现行国家标准《钢结构焊接规范》GB 50661 的相关规定。

渗透法可用于混凝土预制桩焊接接头表面开口不连续检测，现场检测宜采用非荧光着色渗透检测；磁粉法可用于由铁磁性材料制成的角形结合板焊接的预制方桩焊接接头表面及表面检测，一般采用磁轭法进行检测；超声波法适用于母材壁厚不小于 4mm 的碳素结构钢和低合金高强度结构钢的钢板对接全熔透焊接钢桩对接接头的检测和先张法预应力管桩端板的焊接接头检测。

3 同一工程多节预制桩接头焊缝探伤抽样检验不得少于 3 个接头；钢桩的焊接接头按接头总数的 10%进行超声检测，对于同一工程，探伤抽样检验不得少于 3 个接头。

12.4.2 仪器设备

1 渗透检测产品族应符合下列规定：

- 1) 产品族包括渗透剂、清洗剂、显像剂，宜采用成品套装喷罐式渗透检测剂，应使用同一厂家生产的同一系列配套渗透检测剂，不得将不同种类的检测剂混合使用。渗透检测剂的质量应符合现行国家行业标准《无损检测 渗透检测用材料》JB/T 7523的有关规定；
- 2) 渗透剂可采用喷罐式的水洗型或溶剂去除型，显像剂可采用快干式的湿显像剂；
- 3) 渗透系列产品的灵敏度等级应符合现行国家标准《无损检测 渗透检测第3部分：参考试块》GB/T 18851.3的规定，1型参考试块用于确定荧光和着色渗透产品族的灵敏度等级，2型参考试块，用于评定荧光和着色渗透产品族的性能。

2 磁粉法检测仪器设备应符合下列规定：

- 1) 磁轭的磁极间距应在75mm~200mm之间，检测的有效区域为两极连线两侧各50mm的范围内磁化区域应有不少于15mm的重叠；
- 2) 当使用磁轭最大间距时，交流电磁轭至少应有45N的提升

力；直流电磁轭至少应有177N的提升力；交叉磁轭至少应有118N的提升力（磁极与试件表面间隙为0.5mm）；

- 3) 磁粉检测用试片应符合现行国家标准《无损检测 磁粉检测用试片》GB/T 23907的相关规定。

3 超声波法检测仪器设备应符合下列规定：

- 1) 仪器设备包括超声波探伤仪、探头、耦合剂；
- 2) 超声波探伤仪应符合现行国家行业标准《钢结构超声波探伤及质量分级法》JG/T 203-2007第4.3条的相关要求；
- 3) 探头应符合现行国家行业标准《钢结构超声波探伤及质量分级法》JG/T 203-2007第4.4条的相关规定，并尽量选择短前沿、高频率的小晶片斜探头；
- 4) 耦合剂应符合现行国家行业标准《钢结构超声波探伤及质量分级法》JG/T 203-2007第4.6条的相关规定，采用透声性好，有良好润湿特性，且不损伤检测表面的耦合剂。

12.4.3 现场操作

1 渗透法检测现场操作应符合下列规定：

- 1) 被检表面的温度应在10℃～50℃范围之间。特殊情况下，在温度不低于5℃时也可以使用。当温度低于10℃或高于50℃时，渗透产品族和工艺规程应按照现行国家标准《无损检测 渗透检测 第2部分：渗透材料的检验》GB/T 18851.2、《无损检测 渗透检测 第5部分：温度高于50℃的渗透检测》GB/T 18851.5、及《无损检测 渗透检测 第6部分：温度低于10℃的渗透检测》GB/T 18851.6的相关规定执行；
- 2) 预清洗：清洗区域应足够大，预清洗应确保被检表面无残留物，如有必要，可使用机械或化学方法。超声波探伤仪应符合现行国家行业标准《钢结构超声波探伤及质量分级法》JG/T 203-2007第4.3条的相关要求；

- 3) 渗透：可使用喷、刷、浇、浸等方法进行施加渗透剂。在整个渗透时间内，应确保被检表面始终保持充分的润湿；
 - 4) 清洗：应先使用干净无绒毛的布去除多余渗透剂，然后应使用干净无绒毛的布沾少许溶剂进行清除。施加去除剂时应避免将不连续的渗透剂也去除掉；
 - 5) 显像：施加显像剂应在去除多余渗透剂后尽快进行。显像剂应保持均匀状态，并应均匀地施加到被检表面上；
 - 6) 观察：湿显像剂干燥后，应立即进行首次观察。被检表面应在自然光或人造白光灯下检测，且被检件表面上的光照度不小于500lx，观察条件应避免眩光和反射光。当显像时间刚过，应进行最终观察；
 - 7) 记录：现场可采用文字记述、草图、胶带、可剥离显像剂、照片、影印、录像等方式记录观测结果；
 - 8) 后处理：如果检测产品有可能有害于后续工序或使用功能，必须对受检件进行后清洗处理。
- 2 磁粉法检测现场操作应符合下列规定：
- 1) 预处理：清除焊缝表面的油污、灰尘、铁锈、毛刺、氧化皮、金属屑、焊渣、加工标记及会影响检测灵敏度的物质。使用水磁悬液时，焊缝表面应严格除油，使用油磁悬液时，焊缝表面应干燥；
 - 2) 磁化：根据被探部件的部位，调节探伤器的开度（75mm～100mm）放在部件的探伤面上，探伤器两磁极与被探部件接触良好；
 - 3) 施加磁粉或磁悬液：以30mm/s的速度移动探伤器磁轭，同时向检测区域施加磁粉，观察磁粉流动情况，有无磁粉聚集；
 - 4) 磁痕的观察与记录：被检区域应采用照度不低于500lx的日光或灯光均匀照明，发现磁粉聚集时，随时做好标记，每

个检测区域检查两次，前后检查的磁力线大体相互垂直；缺陷记录可采用照相，贴印等方法；

- 5) 缺陷评级：根据磁粉检测出来的磁痕显示，鉴别出是相关显示还是非相关显示或是伪显示，只有相关显示是由缺陷引起的。再进一步确定是否是裂纹再细区分磁痕属于条状磁痕还是圆形磁痕，按磁痕方向确定属于纵向缺陷还是横向缺陷；
- 6) 退磁：如有要求，应采用相应方法进行退磁；
- 7) 后处理：清洗焊缝表面包括孔中裂缝和通路中的磁粉；使用水磁悬液检验，为防止生锈，可用脱水防锈处理；若涂抹了反差增强剂，应予清洗干净。

3 超声波法现场操作应符合下列规定：

- 1) 检测时焊缝及其母材温度应在 $0^{\circ}\text{C}\sim 60^{\circ}\text{C}$ 之间；
- 2) 预制桩焊接接头焊缝余高应高出母材 $3\text{mm}\sim 5\text{mm}$ ，然后将余高修磨至与端板母材齐平，且修磨后必须使被检区域光滑，焊缝表面不得有气孔、夹渣、焊渣、飞溅等缺陷；
- 3) 预制桩焊接接头焊缝检测因端板形状问题无法从焊缝两侧进行探伤，因此不指定检验等级，采用斜探头在焊缝上作平行扫查，做横向缺陷检测，在满足探伤灵敏度的情况下，宜使用 5MHz 、短前沿、小晶片斜探头为主；
- 4) 钢桩对接焊缝一般采用B级检验；
- 5) 焊缝探伤DAC曲线的绘制均应符合《钢结构超声波探伤及质量分级法》JG/T 203-2007表5中B级的规定。

12.4.4 检测数据分析与判定

1 渗透法检测的验收等级分级及判定应符合下列规定：

- 1) 渗透法验收等级应符合表 12.4.4-1 的规定：

表 12.4.4-1 渗透法推荐检测参数

验收等级	表面状况	渗透的系统类型
1	良好表面 ^a	荧光着色渗透剂,《无损检测渗透检测第2部分:渗透材料的检验》GB/T 18851.2 中的高灵敏度
2	光滑表面 ^b	任意
3	一般表面 ^c	任意
a 焊缝盖面和母材表面光滑清洁,无咬边、焊波和焊接飞溅。此类表面通常是自动 TIG 焊、埋弧焊(全自动)及用铁粉电极的手工金属电弧焊; b 焊缝盖面和母材表面较光滑,有轻微咬边、咬边、焊波和焊接飞溅。此类表面通常是手工金属电弧焊(平焊)盖面焊道用氩气保护的 MAG 焊; c 焊缝盖面和母材表面为焊后自然状况。此类表面是手工金属电弧焊或 MAG 焊(任意焊接部位)		

注:若无特殊要求或委托方要求提高验收等级的情况下,桩基接桩焊缝经打磨后验收等级最高可选择 2 级,一般选用 3 级。

2) 渗透法验收等级的判定应符合表 12.4.4-2 的规定:

表 12.4.4-2 渗透法显示的验收等级

显示类型	验收等级		
	1	2	3
线状显示(l 为显示长度)	$l \leq 2$	$l \leq 4$	$l \leq 8$
非线状显示(d 为主轴长度)	$d \leq 4$	$d \leq 6$	$d \leq 8$

2 磁粉法检测的验收等级分级及判定应符合下列规定:

1) 磁粉法验收等级应符合表 12.4.4-3 的规定:

表 12.4.4-3 磁粉法推荐的检测参数

验收等级	表面状况	检测介质
1	良好表面 ^a	彩色磁粉+反差增强剂
2	光滑表面 ^b	彩色磁粉+反差增强剂
3	一般表面 ^c	彩色磁粉+反差增强剂
a 焊缝盖面和母材表面光滑清洁,无咬边、焊波和焊接飞溅。此类表面通常是自动 TIG 焊、埋弧焊(全自动)及用铁粉电极的手工金属电弧焊; b 焊缝盖面和母材表面较光滑,有轻微咬边、咬边、焊波和焊接飞溅。此类表面通常是手工金属电弧焊(平焊)盖面焊道用氩气保护的 MAG 焊; c 焊缝盖面和母材表面为焊后自然状况。此类表面是手工金属电弧焊或 MAG 焊(任意焊接部位)		

注:若无特殊要求或委托方要求提高验收等级的情况下,桩基接桩焊缝经打磨后验收等级最高可选择 2 级,一般选用 3 级。

2) 磁粉法验收等级的判定应符合表 12.4.4-4 的规定:

表 12.4.4-4 磁粉法显示的验收等级

显示类型	验收等级		
	1	2	3
线状显示 (l 为显示长度)	$l \leq 1.5$	$l \leq 3$	$l \leq 6$
非线状显示 (d 为主轴长度)	$d \leq 2$	$d \leq 3$	$d \leq 4$

3 超声波焊缝不允许缺陷及缺陷评定应符合《钢结构超声波探伤及质量分级法》JG/T 203-2007 第 9.6 条和 9.7 条的相关规定。

4 判定焊接质量是否合格应符合下列规定:

- 1) 渗透法检测、磁粉法检测可允许有线状显示和非线状显示存在。检验发现 1 处裂纹缺陷时, 应直接评定为不合格;
- 2) 对于预制桩接桩焊缝抽样检验结果判定, 当焊缝检出不合格时, 应加倍抽检, 对不合格的焊缝进行返修, 返修后进行复检。返修复检部位应在检测报告的检测结果中标明;
- 3) 对于钢桩焊接焊缝抽样应按检验结果判定, 应符合《钢结构焊接规范》GB50661-2011 第 8.1.8 条的相关规定, 所有检出的不合格焊缝应按《钢结构焊接规范》GB50661-2011 第 7.12 节的相关规定予以返修至检查合格, 返修复检部位应在检测报告的检测结果中标明。

5 现场检测可分别按表 C.5.1~表 C.5.3 的格式记录。

6 检测报告除应包括本标准第 3.6.3 条规定的内容外, 尚应包括下列内容:

- 1) 表面状况, 检件材质, 焊接方法, 检测部位示意图, 验收等级;
- 2) 渗透系统名称、观察条件、采用试块等;
- 3) 磁化类型, 电流类型, 检测介质, 观察条件等;
- 4) 超声波检测母材厚度, 探头规格、耦合剂等;
- 5) 缺陷判定;
- 6) 返修情况等。

12.5 孔内摄像法检测

12.5.1 一般规定

1 本方法适用于空心桩、有钻孔的灌注桩及地下连续墙、混凝土实体结构的完整性检测。

2 检测数量应符合下列规定：

- 1) 作为复核性检测时，检测数量应根据工程具体情况，经有关各方确认后进行选择；
- 2) 结合其他检测方法的检测结果作为验收性检测时，检测数量不应少于本标准有关完整性检测中规定的检测数量。

12.5.2 仪器设备

1 定性检测仪器设备的成像分辨率不低于 720×756 像素，并应有深度记录装置，摄像头定位装置。

2 定量检测仪器设备应符合下列规定：

- 1) 摄像仪分辨率不应低于 1920×1080 像素，彩色低照度应达到 0.1lux ；
- 2) 摄像角度宜为 360° ，方位精度应达到 1° ；
- 3) 深度或距离计数精度优于 0.1m 。

3 检测仪器设备应具备良好的稳定性及绝缘性，且应具备工作范围所必须的防尘、防潮、防震等功能，并能在 $-10^\circ\text{C} \sim +40^\circ\text{C}$ 温度范围内正常工作。

12.5.3 现场检测

1 检测前应按下述顺序进行准备工作：

- 1) 了解施工工艺和施工中出现异常情况；
- 2) 定量表述缺陷时，应事先确定缺陷尺寸换算值（标定值）。

2 试件，应先进行孔内清理，清理范围应满足检测深度的要求，水下检测在清洗后应静止一段时间，待气泡消散及砂粒沉淀后方可进行检测。

3 对于渗水严重的部位，可一边抽水，一边进行检测。

4 现场工作应符合下列规定：

- 1) 摄像应记录工程名称、孔（井）号、检测日期等参数；
- 2) 图像显示的深度相对误差不应大于0.5%，与电缆标记的绝对误差不应大于10.0cm，每隔50cm应进行一次校正；
- 3) 记录的图像应清晰可辨，且能读出罗盘显示的方位；
- 4) 应在清孔深度内全程检测；
- 5) 成像可采用图像与视频相结合的方法，也可对异常部位静止拍摄影像，连续拍摄时的摄像机移动速度不宜大于30m/min。

5 采用单镜头多次成像检测仪进行检测时，应合理安排检测次数、速度、角度，保证对孔壁进行全面检测。

6 采用多镜头一次成像检测仪进行检测时，应针对可能的缺陷位置放慢行进速度进行重点拍摄。

12.5.4 检测数据分析与判定

1 检测数据处理应符合下列规定：

- 1) 缺陷类型、位置应根据摄像的视频、图像确定；
- 2) 缺陷的宽度、倾斜角度应按标定值确定；
- 3) 定量检测生成的图像宜展开、拼接成分段连续的图片，横向应按从左到右按北、东、南、西、北方向展开，并标注方位；垂向应标注深度或高程，并标识缺陷。

2 检测报告除应包括本标准第 3.6.3 条规定的内容外，尚应包括下列内容：

- 1) 检测结果描述包括孔壁混凝土浇注质量及空洞、裂隙、离析等缺陷的位置与程度，混凝土破碎、断裂、裂隙等缺陷的位置与程度，接桩质量等；
- 2) 应给出孔内摄像视频、各缺陷部位的截图及照片的电子文档。

12.6 内 力 测 试

12.6.1 内力测试适用于横截面尺寸基本恒定或已知的构件。

12.6.2 内力测试可得到下列技术参数：

1 基桩内力测试

- 1) 单桩竖向抗压静载试验可测定桩身应变或桩身截面位移，计算桩的分层侧阻力、端阻力；
- 2) 单桩竖向抗拔静载试验和灌芯抗拔静载试验可测定桩身应变或桩端上拔量，计算桩的分层抗拔侧阻力；
- 3) 单桩水平静载试验可测定桩身横截面的弯曲应变，计算桩身弯矩分布和最大弯矩位置；
- 4) 桩侧各土层的负摩阻力和中性点位置；
- 5) 打桩施工时桩身各部位的锤击拉、压应力。

2 锚杆内力测试

- 1) 锚杆自由段杆体拉力；
- 2) 锚杆锚固段杆体拉力、粘结强度；
- 3) 锚杆轴力等。

3 支护结构内力监测

- 1) 围护墙内力；
- 2) 围护墙侧向土压力；
- 3) 支撑轴力；
- 4) 立柱内力；
- 5) 围檩或腰梁内力。

4 基础实体结构构件内力测试

- 1) 结构内力分布；
- 2) 结构变形。

12.6.3 仪器设备

- 1 内力测试宜根据测试目的、构件类型及施工工艺选用测力计、

电阻应变式传感器、振弦式传感器、滑动测微计或光纤式应变传感器等。

2 检测传感器、测力计及测试仪器组成的测量系统应符合下列规定：

- 1) 测量值宜控制在测试系统全量程的 25%~80%范围内；
- 2) 振弦式测试系统的测量误差不大于 2.5%FS，分辨力应优于或等于 1Hz；
- 3) 电子应变测试系统的测量误差不大于 1.0%FS，分辨力优于或等于 $1\mu\epsilon$ ；
- 4) 光纤光栅测试系统的测量误差不大于 1.0%FS，分辨力优于或等于 1pm。

3 基坑监测传感器的量程不宜小于设计值的 1.5 倍，精度不宜低于 0.5%FS，分辨率不宜低于 0.5%FS。

12.6.4 现场检测

1 桩（墙）及构件内力测试应按照下列规定执行：

- 1) 传感器测量断面应设置在两种不同性质土层的界面处，且距构件顶部和底部的距离满足仪器设备和受力要求，较厚土层宜增加测试断面。在地面处或地面以上应设置一个测量断面作为传感器标定断面。传感器标定断面处应对称设置 4 个传感器，其他测量断面处可对称埋设 2 个~4 个传感器，当桩径较大、地下连续墙宽、实体结构体积庞大或试验要求较高时取高值；
- 2) 采用滑动测微计时，可在构件内通长埋设 1 根或 1 根以上的测管，测管内宜每隔 1m 设测标或测量断面一个；
- 3) 钢桩可将电阻应变计直接粘贴在桩身上，振弦式和光纤式传感器可采用焊接或螺栓连接固定在桩身上；混凝土桩和地下连续墙可采用焊接或绑焊工艺将传感器固定在钢筋笼上；对采用蒸汽养护或高压蒸养的混凝土预制桩，应选

用耐高温的电阻应变计、粘贴剂和导线；实体结构可采用焊接或绑焊工艺将传感器固定在钢筋笼上，也可将电阻应变计直接粘贴在构件上；

- 4) 电阻式应变传感器及其连接电缆，应有可靠的防潮绝缘防护措施；正式测试前，传感器及电缆的系统绝缘电阻不得低于 $200\text{M}\Omega$ ；
 - 5) 应变测量所用的仪器，宜具有多点自动测量功能，仪器的分辨力应优于或等于 $1\mu\epsilon$ ；
 - 6) 弦式钢筋计应按主筋直径大小选择，并采用与之匹配的频率仪进行测量。频率仪的分辨力应优于或等于 1Hz ，仪器的可测频率范围应大于桩在最大加载时频率的 1.2 倍，使用前，应对钢筋计逐个标定，得出压力（拉力）与频率之间的关系；
 - 7) 带有接长杆的弦式钢筋计宜焊接在主筋上，不宜采用螺纹连接；
 - 8) 滑动测微计测管的埋设应确保测标同构件位移协调一致，并保持测标清洁。对钢管桩，可通过安装在测管上的测标与钢管桩的焊接，将测管固定在桩壁内侧；对非高温养护预制桩，可将测管预埋在预制桩中；管桩可在沉桩后将测管放入中心孔中，用含膨润土的水泥浆充填测管与桩壁间的空隙；对灌注桩、地下连续墙和钢筋混凝土实体结构，可在浇筑混凝土前将测管绑扎在主筋上，并应采取防止钢筋笼扭曲的措施；
 - 9) 滑动测微计测试前后，应进行仪器标定，获得仪器零点和标定系数。
- 2 锚杆内力测试应按照下列规定执行：
- 1) 测力计安装前应测读基准值；测力计受力方向应与锚杆轴线重合；锚杆自由段杆体拉力监测、锁定力测试时测力计

应安装在工作锚与垫板之间；测力计、观测电缆和集线箱应设置保护装置；

- 2) 电阻应变计宜选用标距为 3mm~10mm 的应变片，温度补偿片的型号应与工作片相同；粘贴前应将贴片位置的杆体表面进行打磨和去污清理；粘贴后的应变片和接线端子应进行防水防潮的密封处理；应变片引出的导线应采用屏蔽电缆，并由独立保护管引出；正式测试前应变片与导线的系统绝缘电阻值应大于 200MΩ；
- 3) 粘贴式光纤光栅应变计，在粘贴前应将贴片位置的杆体表面进行打磨和去污清洗；可采用点焊将传感器的安装片脚和锚杆杆体连接；传感器应进行防潮处理和缓冲保护；连接传感器的传输光纤可沿钢筋的两肋布置，并进行粘结处理；应在测点位置附近布置温度传感器，温度传感器可绑扎在锚杆杆体上；
- 4) 应力计、应变计与钢筋锚杆的连接宜在施工现场作业棚的台架上进行；当杆体材料为普通钢筋时宜采用机械连接或焊接；连接后的应力计、应变计受力方向应与锚杆杆体轴线方向一致；应力计、应变计及观测电缆应进行编号并进行妥善保护；应力计、应变计的频率或电阻初值应在正常范围内；
- 5) 锚杆内力监测应按照本标准第 11.8 节的相关规定执行。

3 当应变与位移需要同时测量时，位移测试应与应变测试同步。

12.6.5 检测数据分析与判定

1 内力测试数据整理应符合下列规定：

- 1) 采用电阻应变式传感器测量，但未采用六线制长线补偿时，应按下式对实测应变值进行导线电阻修正：

$$\text{采用半桥测量时：} \varepsilon = \varepsilon' \left(1 + \frac{r}{R} \right) \quad (12.6.5-1)$$

$$\text{采用全桥测量时: } \varepsilon = \varepsilon' \left(1 + \frac{2r}{R} \right) \quad (12.6.5-2)$$

式中: ε ——修正后的应变值;

ε' ——修正前的应变值;

r ——导线电阻 (Ω);

R ——应变计电阻 (Ω)。

2) 采用弦式钢筋计测量时, 应根据率定系数将钢筋计的实测频率换算成力值, 再将力值换算成与钢筋计断面处混凝土应变相等的钢筋应变值。

3) 采用滑动测微计测量时, 应按下式计算应变值:

$$e = (e' - z_0)K \quad (12.6.5-3)$$

$$\varepsilon = e - e_0 \quad (12.6.5-4)$$

式中: e ——仪器读数修正值;

e' ——仪器读数;

z_0 ——仪器零点;

K ——率定系数;

ε ——应变值;

e_0 ——初始测试仪器读数修正值。

4) 数据处理时, 应删除异常测点数据, 求出同一断面有效测点的应变平均值, 并应按下式计算该断面处的构件轴力:

$$Q_i = \bar{\varepsilon}_i E_i A \quad (12.6.5-5)$$

式中: Q_i ——构件第 i 断面处轴力 (kN);

$\bar{\varepsilon}_i$ ——第 i 断面处应变平均值, 长期监测时应消除构件徐变

影响；

E_i ——第 i 断面处构件材料弹性模量 (kPa)；当构件测量断面与标定断面两者的材质、配筋一致时，应按标定断面处的应力与应变的比值确定；

A_i ——第 i 断面处构件截面面积 (m²)。

- 5) 每级试验荷载下，应将构件不同断面处的轴力值制成表格，并绘制轴力分布图。构件周围土的分层侧阻力和构件端阻力应分别按下式计算：

$$q_{si} = \frac{Q_i - Q_{i+1}}{ul_i} \quad (12.6.5-6)$$

$$q_p = \frac{Q_n}{A_0} \quad (12.6.5-7)$$

式中： q_{si} ——构件第 i 断面与 $i + 1$ 断面间侧阻力 (kPa)；

q_p ——构件的端阻力 (kPa)；

i ——构件检测断面顺序号， $i = 1, 2, \dots, n$ ，并自顶面以下从小到大排列；

u ——构件周长 (m)；

l_i ——第 i 断面与第 $i + 1$ 断面之间的构件长度 (m)；

Q_n ——构件端部的轴力 (kN)；

A_0 ——构件端部面积 (m²)。

- 6) 构件第 i 断面处的钢筋应力应按下式计算：

$$\sigma_{si} = E_s \varepsilon_{si} \quad (12.6.5-8)$$

式中： σ_{si} ——构件第 i 断面处的钢筋应力 (kPa)；

E_s ——钢筋弹性模量 (kPa)；

ε_{si} ——构件第 i 断面处的钢筋应变。

- 7) 指定构件断面的沉降以及两个指定构件断面之间的沉降差,可采用位移杆测量。位移杆应具有一定的刚度,宜采用内外管形式:外管固定在构件,内管下端固定在需测试断面,顶端高出外管 100mm~200mm,并能与测试断面同步位移。

2 锚杆拉力监测数据分析可按照本标准第 11.8 节的相关规定执行。

12.7 地基基础工程测量

12.7.1 地基基础工程测量主要观测垂直和水平两个方向的变形量,涉及平面控制测量和高程控制测量,主要包括施工测量和变形监测,变形监测包括场地、地基土及周边环境变形观测、地基基础变形观测、地下工程变形监测、地下水监测与控制及结构健康监测等。

1 平面控制网的建立可采用卫星定位测量、导线测量、三角形网测量、自由设站测量等方法。

2 高程控制测量可采用水准测量、电磁波测距三角高程测量、卫星定位高程测量等方法。

12.7.2 下列建筑在施工期间和使用期间应进行变形测量:

- 1 地基基础设计等级为甲级的建筑;
- 2 软弱地基上的地基基础设计等级为乙级的建筑;
- 3 加层、扩建建筑或处理地基上的建筑;
- 4 受邻近施工影响或受场地地下水等环境因素变化影响的建筑;
- 5 采用新型基础或新型结构的建筑;
- 6 大型城市基础设施;
- 7 体型狭长且地基土变化明显的建筑。

12.7.3 地基基础的变形测量应符合下列规定:

1 施工期间的变形测量应符合下列规定：

- 1) 对各类建筑应进行沉降观测，宜进行场地沉降观测、地基土分层沉降观测和斜坡位移观测；
- 2) 对基坑工程，应进行基坑及其支护结构变形观测及周边环境变形监测，对一级基坑应进行基坑回弹观测；
- 3) 对高层和超高层建筑应进行倾斜观测；
- 4) 当建筑出现裂缝时应进行裂缝观测；
- 5) 当建筑施工需要时应进行其他类型的变形观测。

2 使用期间的变形测量应符合下列规定：

- 1) 对各类建筑应进行沉降观测；
- 2) 对高层、超高层建筑及高耸构筑物应进行水平位移观测和倾斜观测；
- 3) 对超高层建筑应进行挠度观测、日照变形观测和风振变形观测；
- 4) 对市政桥梁、博览（展览）馆及体育馆等大跨度建筑应进行挠度观测和风振变形观测；
- 5) 对隧道、涵洞等应进行收敛变形观测；
- 6) 当建筑出现裂缝时应进行裂缝观测；
- 7) 当建筑运营对周边环境产生影响时应进行周边环境变形观测；
- 8) 对超高层建筑、大跨度建筑、异型建筑及地下公共设施、涵洞、桥隧等大型市政基础设施宜进行结构健康监测；
- 9) 建筑运营管理需要时应进行其他类型的变形观测。

3 变形测量可采用独立的平面坐标系统及高程基准。对大型或有特殊要求的项目，宜采用 2000 国家大地坐标系及 1985 国家高程基准或 2000 天津城市坐标系及天津市大沽高程系。

4 变形测量应采用公历纪元、北京时间作为统一基准。

5 变形测量应以中误差作为衡量精度的指标，并以二倍中误差

作为极限误差。

6 监测标志应稳固、明显、结构合理，监测点的位置应避开障碍物，便于观测。建筑变形测量基准点和工作基点的布设及观测应符合现行国家标准《建筑变形测量规范》JGJ 8 的相关规定；

7 建筑变形测量应根据确定的观测频率和观测周期进行观测，变形观测频率和观测周期应根据建筑的安全等级、变形类型、变形特征、变形量、变形速率、施工进度计划及外界因素影响等情况确定；

8 各期变形测量应在短时间内完成。对不同期测量宜采用相同的观测网形、观测路线和观测方法，并宜使用相同的测量仪器设备。对于特等或一等变形观测尚宜固定观测人员、选择最佳观测时段并在相近的环境条件下观测；

9 各期变形测量作业过程中应进行观测数据的记录存储，同时应进行现场巡视，并记录建筑状态、施工进度、气象和周边环境状况以及作业中出现的相关情况；当某期变形测量作业中出现监测点被破坏或不能被观测时，应在备注中说明，并应及时通报委托方；当按任务要求或项目技术设计，变形测量作业将终止时，若变形尚未达到稳定状态应及时与委托方沟通，并应在技术报告中明确说明；

10 建筑变形测量过程中发生下列情况之一时，应立即实施安全预案，同时应提高观测频率或增加观测内容：

- 1) 变形量或变形速率出现异常变化；
- 2) 变形量或变形速率达到或超出变形预警值；
- 3) 开挖面或周边出现塌陷、滑坡；
- 4) 建筑本身或周边环境出现异常；
- 5) 由于地震、暴雨、冻融等自然灾害引起的其他变形异常情况。

11 各期变形测量应进行数据整理和成果质量检查，最终综合成果应进行质量验收。成果整理应符合下列规定：

- 1) 每次变形观测结束后,应及时进行成果整理;项目完成后应对成果资料进行整理并装订;
- 2) 当建筑变形测量任务全部完成或委托方需要时,应提交各期观测成果和技术报告作为综合成果;按期或按变形发展情况提交变形测量阶段性成果内容应包括本期及前 1 期~2 期的观测成果、与前 1 期观测间的变形量和变形速率、本期观测后的累计变形量、相关图表及简要说明和建议等。

12.7.4 作业前与作业中应根据现场作业条件的变化情况对所用仪器设备进场检查校正,作业过程中应避免振动影响。建筑测量的仪器设备包括:

- 1 标志、标识;
- 2 量尺:钢尺、卷尺、水平尺、直角尺、卡尺、塞尺、测缝计等;
- 3 应力、应变传感器;
- 4 水位计、孔隙水压力计等;
- 5 分层沉降计、沉降磁环、测斜仪等;
- 6 水准仪及配套水准尺;
- 7 全站仪;
- 8 卫星导航定位测量系统;
- 9 激光测量系统;
- 10 近景摄影测量系统等。

12.7.5 现场观测方法应按本标准附录 J~附录 S 及国家、行业现行标准的相关规定执行。

12.7.6 工程测量数据处理与信息管理系统宜具备下列功能:

- 1 应能接收各期变形测量的观测数据,并对数据格式进行转换;
- 2 应能进行各期观测数据的核验和处理;
- 3 应能进行基准点、工作基点及监测点标识信息管理;

- 4 应能进行基准点网的平差计算和稳定性分析;
- 5 应能对观测数据、计算数据、成果数据建立相应的数据库;
- 6 应能对监测点进行变形分析;
- 7 应能生成变形测量成果图表;
- 8 宜能进行变形测量数据建模和预报;
- 9 宜能进行变形的三维可视化表达;
- 10 应具有用户管理和安全管理功能。

12.7.7 数据整理应符合下列规定:

1 建筑测量的观测记录、计算资料及成果的管理和分析宜采用专业测量数据处理与信息管理系统进行;

2 每期变形观测结束后,应依据测量误差理论和统计检验原理对获得的观测数据及时进行平差计算处理,并计算各种变形量;

3 建筑变形观测数据的平差计算应符合下列规定:

- 1) 应利用稳定的基准点作为起算点;
- 2) 应采用严密的平差方法和可靠的软件系统;
- 3) 应确保平差计算所用观测数据、起算数据准确无误;
- 4) 应剔除含有粗差的观测数据;
- 5) 对特等和一等变形测量,应对可能含有系统误差的观测值进行系统误差改正。

4 对各类建筑变形监测点网和变形测量成果,平差计算的单位权中误差及变形参数的精度应符合现行国家标准《建筑变形测量规范》JGJ 8 的相关规定;

5 建筑变形测量平差计算分析中的数据取位应符合表 12.7.7 的规定。

表 12.7.7 变形测量平差计算分析中的数据取位要求

等级	高差 (mm)	角度 ($''$)	距离 (mm)	坐标 (mm)	高程 (mm)	沉降值 (mm)	位移值 (mm)
特等	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
一等	0.01	0.01	0.1	0.1	0.01	0.01	0.1
二、三等	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
四等	0.1	1	1	1	0.1	0.1	1

12.7.8 监测点变形分析应符合下列规定：

1 监测项目的变形分析宜包括下列内容：

- 1) 观测成果的可靠性；
- 2) 监测体的累计变形量和两相邻观测周期的相对变形量分析；
- 3) 相关影响因素（荷载、气象和地质条件等）的作用分析；
- 4) 回归分析；
- 5) 有限元分析；
- 6) 较小规模的项目至少应包括本款第 1~3 项内容。

2 对二等和三等及部分一等变形测量，相邻两期监测点的变形分析可通过比较监测点相邻两期的变形量及测量极限误差进行，当变形量小于测量极限误差时，可认为该监测点在这两期之间没有变形或变形不显著；

3 对特等及有特殊要求的一等变形测量，当监测点两期间的变形量符合下式时，可认为该监测点在这两期之间没有变形或变形不显著：

$$\Delta < 2\mu\sqrt{Q} \quad (12.7.8)$$

式中： Δ ——两期间的变形量；

μ ——单位权中误差，可取两期平差单位权中误差的算术平均值；

Q ——监测点变形量的协因数；

4 对多期变形观测结果应综合分析多期的累积变形特征，当监

测点相邻两期间变形量小、但多期间变形量呈现出明显变化趋势时，应认为其有变形。

12.7.9 建模和预报应符合下列规定：

1 对于多期建筑变形观测成果，根据需要应建立反映变形量与变形因子关系的数学模型，对引起变形的原因作出分析和解释，必要时还应对变形的发展趋势进行预报；

2 建筑变形测量的建模应符合下列规定：

- 1) 当一个目标体上所有监测点或部分监测点的变形状况总体一致时，可利用这些监测点的平均变形量建立相应的数学模型；
- 2) 当各监测点变形状况差异大或某些监测点变形状况特殊时，应对各监测点或特殊监测点分别建立数学模型；
- 3) 对特等和有特殊要求的一等变形观测成果，可利用地理信息系统技术对整体变形进行空间分析和可视化表达。

3 建立变形量与变形因子关系数学模型可采用回归分析方法，并应符合下列规定：

- 1) 应以不少于 10 期的观测数据为依据，通过分析各期所测的变形量与相应荷载、时间之间的相关性，建立荷载或时间-变形量数学模型；
 - 2) 变形量与变形因子之间的回归模型应简单，包含的变形因子数不宜超过 2 个；回归模型可采用线性回归模型和指数回归模型、多项式回归模型等非线性回归模型；
 - 3) 当只有 1 个变形因子时，可采用一元回归分析方法；
 - 4) 当考虑多个变形因子时，宜采用逐步回归分析方法，确定影响显著的因子。
- 4 对沉降观测，当观测周期为等时间间隔时，可采用灰色建模方法，建立沉降量与时间之间的灰色模型；**
- 5 建立变形量与变形因子关系模型后，应对模型的有效性进行**

检验分析，用于后续分析预报的数学模型应是有效的；

6 当利用变形量与变形因子关系模型进行变形趋势预报时，应给出预报结果的误差范围及适用条件。

12.7.10 建筑地基基础工程测量技术报告应包括下列内容：

1 项目概况应包括项目来源，观测目的和要求，测区地理位置及周边环境，项目起止时间，总观测次数，实际布设和测定的基准点、工作基点、监测点点数，项目承担方及主要人员等；

2 观测方法、作业过程、依据的技术标准，采用的平面坐标系或高程基准，设计和方案的技术变更，仪器设备及自动化监测系统，基准点及监测点的标志及其布设，观测精度、观测频率和观测周期，观测及数据处理方法，各期观测时间，单次（各期）监测结果、累计监测结果、综合成果及精度统计情况、项目成果清单等；

3 成果质量检验情况；

4 变形测量过程中出现的异常、预警及其他特殊情况；

5 支护结构监测报告；

6 变形分析方法、结论及建议；

7 基准点、工作点、观测点分布图、相邻地基沉降的距离-沉降曲线、场地地面等沉降曲线、各土层荷载-沉降-深度曲线、各土层沉降量-填土高度时程曲线、监测点位移综合曲线、水平位移图、裂缝变化曲线、挠度曲线、收敛变形观测成果图、沉降速度-时间-沉降量曲线图、荷载-时间-沉降量曲线图、支护结构变形曲线、回弹纵横断面图等图表附件。

12.7.11 变形质量检验

1 对建筑地基变形测量成果的质量宜实行两级检查一级验收，并应符合下列规定：

1) 两级检查中的一级检查和二级检查应分别由项目承担方的作业部门、质量管理部门实施；

2) 验收宜由项目委托方组织实施。

2 变形测量成果质量检验应依据下列文件进行：

- 1) 项目委托书或合同书，以及项目委托方与承担方达成的其他文件；
- 2) 设计图纸或施测方案；
- 3) 依据的技术标准；
- 4) 项目承担方的质量管理文件。

3 对变形测量成果应根据质量检验结果评定质量等级，分为合格和不合格两级。当成果出现下列情况之一时，应判定为质量不合格：

- 1) 基准点的数量及标志不符合标准要求；
- 2) 所用仪器设备不满足标准规定的精度要求或未经检定，或未在检定有效期内使用；
- 3) 观测成果精度不符合标准要求；
- 4) 数据不真实；
- 5) 成果内容不符合本标准第 12.7.3 条第 11 款第 2 项的要求。

4 变形测量成果质量检验应符合下列规定：

- 1) 对所用变形观测记录、计算和分析结果应进行一级检查；
- 2) 对提交给委托方的变形测量阶段性成果应进行二级检查；
- 3) 对变形测量综合成果应进行二级检查，并宜进行验收；
- 4) 质量检测中当需要利用仪器设备时，其精度等级不应低于相关标准技术要求的仪器设备精度等级；
- 5) 质量检验过程应形成记录，并进行归档。

12.7.12 变形质量检查

1 变形测量成果质量的两级检查均应采用内业全数检查、外业针对性检查的方式进行，检查过程应填写记录。

2 对首期变形测量成果，应检查下列内容：

- 1) 基准点、监测点的布设位置图；
- 2) 标石、标志的构造及埋设照片；

- 3) 仪器设备的检定和检验资料;
- 4) 外业观测记录和内业计算资料;
- 5) 变形测量成果图表;
- 6) 与项目有关的其他资料。

3 对其他各期变形测量成果, 应主要检查下列内容:

- 1) 仪器设备的检定和检验资料;
- 2) 外业观测记录和内业计算资料;
- 3) 基准点检验分析资料;
- 4) 变形测量成果图表;
- 5) 与项目有关的其他资料。

4 对变形测量综合成果应在质量检查后编写质量检查报告。质量检查报告应包括检查工作概况、项目成果概况、检查依据、检查内容及方法、主要质量问题及处理情况、质量统计及质量等级等内容;

5 当质量检查中发现不符合项时, 应立即提出处理意见, 返回作业部门进行纠正。纠正后的成果应重新进行质量检查, 直至符合要求。

12.7.13 变形质量验收

1 当变形测量成果需要进行质量验收时可采用抽样核查方式, 并应符合下列规定:

- 1) 应对各类变形观测成果分别进行质量验收;
- 2) 首期观测成果应为必查样本;
- 3) 对其他各期成果应随机抽取不少于期数的 10%作为样本, 且至少为 1 期;
- 4) 对抽取的样本应进行内业全数核查、外业针对性核查。

2 变形测量成果质量验收时应主要核查下列内容:

- 1) 技术设计或施测方案;
- 2) 技术报告;

3) 整理检查记录或报告;

4) 与项目有关的其他资料。

3 变形测量成果质量验收宜形成质量验收报告并评定质量等级。质量验收报告应包括验收工作概况、项目成果概况、验收依据、抽样情况、核查内容及方法、主要质量问题及处理情况、质量统计及质量等级等内容。

13 基础工程质量检测

13.1 一般规定

13.1.1 建筑基础工程包括砌体结构、混凝土结构、钢结构和木结构等。检测内容包括结构强度检验和变形测量。

13.1.2 基础工程检测方法应按照本标准第 3.3.4 条的规定和相关国家及行业现行标准的规定选择。

13.1.3 砌体结构工程包括砌筑砂浆、砖砌体工程、石砌体工程、混凝土小型空心砌块砌体工程、钢筋砌体工程及填充墙砌体工程等，应对砂浆强度和砌体强度进行现场检测。

13.1.4 混凝土结构工程子分部工程可划分为模板、钢筋、预应力、混凝土、现浇结构及装配式结构等分项工程，应对各分项工程进行相关质量检验。

13.1.5 钢结构工程质量验收包括焊接、紧固件连接、零部件加工、构件组装和预拼装、结构安装、涂装等内容，应对各分项工程进行相关质量检验。

13.1.6 型钢及钢管混凝土结构工程质量验收包括构件现场拼装、柱脚锚固、构件安装、型钢或钢管混凝土柱与钢筋混凝土梁连接、钢管内钢筋骨架、钢管混凝土浇筑质量、涂装等内容，应对各分项工程进行相关质量检验。

13.1.7 木结构工程质量验收包括结构形式、结构布置、构件尺寸、荷载效应标准组合作用下的结构性能、涂层及药剂等内容，应对各分项工程进行相关质量检验。

13.1.8 基础工程施工质量应符合现行国家标准《建筑地基基础工程施工质量验收标准》GB 50202 及现行强制性工程建设规范《组合结构通用规范》GB 55004 的相关规定。

13.2 现场检测与成果报告

13.2.1 工程测量应按照本标准附录 J 施工测量的相关规定执行。

1 施工前应对放线尺寸进行复验。

2 施工中应对钢筋、模板和轴线位置、预埋件和预留孔洞中心线位置、砌筑质量、钢筋保护层厚度及标高等进行检验。

3 施工后应对轴线位置、基础顶面标高、定位、位置偏差及变形观测等进行检验。

13.2.2 混凝土结构工程质量检验应符合下列规定：

1 应对各分项工程进行混凝土结构质量检验，主控项目和一般项目的质量均应符合现行国家标准《建筑地基基础工程施工质量验收标准》GB 50202 和《混凝土结构工程施工质量验收规范》GB 50204 的相关规定，并根据检测结果进行合格判定；

2 混凝土抗压强度检验和评定应符合现行国家标准《混凝土结构工程施工质量验收规范》GB 50204 的相关规定，并应按照现行国家标准《混凝土强度检验评价标准》GB/T 50107 的规定分批检验评定；划入同一检验批的混凝土其施工持续时间不宜超过 3 个月，检验评定混凝土强度时应采用 28d 或设计规定龄期的标准养护试件；

3 混凝土有耐久性指标要求时，应按现行国家行业标准《混凝土耐久性检验评定标准》JGJ/T 193 的规定检验评定；

4 对涉及混凝土结构安全有代表性的部位进行实体验收。实体检验应包括混凝土强度、钢筋保护层厚度、结构位置与尺寸偏差等，必要时可增加其他检验项目；

5 基础工程结构实体混凝土强度检测中桩（墙）结构和构件可按本标准第 10 章钻芯法检测进行，其他结构和构件的质量检测应依据现行国家标准《混凝土结构现场检测技术标准》GB/T 50784 和《混凝土结构工程施工质量验收规范》GB 50204 进行，宜采用

直接检测的钻芯法和间接检测的回弹法、回弹-取芯法，抽样原则与检测数量应符合现行国家标准《混凝土结构工程施工质量验收规范》GB 50204 的相关规定；

6 钻芯法检测混凝土抗压强度构件的抽取应符合下列规定：确定检测批的混凝土抗压强度推定值时，芯样数量应根据检测批的容量确定，直径 100mm 的芯样试件的最小样本量不宜小于 15 个，小直径芯样试件的最小样本量不宜少于 20 个；确定单个构件混凝土抗压强度推定值时，芯样试件的数量不应少于 3 个，钻芯对构件工作性能影响较大的小尺寸构件，芯样试件的数量不得少于 2 个；

7 回弹法检测混凝土抗压强度构件的抽取原则：按批量检测时宜采取分层计量抽取方法，可依据现行行业标准《回弹法检测混凝土抗压强度技术规程》JGJ/T 23 的相关规定进行，且最小样本容量应符合现行国家标准《混凝土结构现场检测技术标准》GB/T 50784-2016 表 3.4.4 的相关规定；进行单个构件推定时，每个构件布置测区不宜少于 10 个；回弹值测量完毕后，应在有代表性的位置测量碳化深度值，测量数不应少于构件测区数的 30%，取其平均值作为该构件所有测区的碳化深度值；

8 回弹-取芯法检测混凝土抗压强度构件的抽取应符合下列规定：

- 1) 回弹构件的抽取：同一混凝土强度等级的构件，抽取构件最小数量应符合下列规定，并应均匀分布：构件总数 20 个以下，抽取全数；构件数量 20-150 个，抽取 20 个；构件数量 151-280 个，抽取 26 个；构件数量 281-500 个，抽取 40 个；构件数量 501-1200 个，抽取 64 个；构件数量 1201-3200 个，抽取 100 个；不宜抽取截面高度小于 300mm 的梁和边长小于 300mm 的柱。
- 2) 钻取芯样的抽取：对同一强度等级的混凝土，应将每个构件 5 个测区中的最小测区平均回弹值进行排序，并在其最

小的 3 个测区各钻取 1 个芯样。芯样应采用带水冷却装置的薄壁空心钻钻取，其直径宜为 100mm。且不宜小于混凝土骨料最大粒径的 3 倍；

9 结构实体钢筋保护层厚度检验构件的选取应均匀分布，并应符合下列规定：

- 1) 对非悬挑梁板类构件，应各抽取构件数量的 2%且不少于 5 个构件进行检验；
- 2) 对悬挑梁，应抽取构件数量的 5%且不少于 10 个构件进行检验；当悬挑梁数量少于 10 个时，应全数检验；
- 3) 对悬挑板，应抽取构件数量的 10%且不少于 20 个构件进行检验；当悬挑板数量少于 20 个时，应全数检验；

10 基础工程的结构实体位置与尺寸偏差检验构件的选取应均匀分布，并应符合现行国家标准《混凝土结构工程施工质量验收规范》GB 50204 的相关规定。

13.2.3 砌体结构工程应对砂浆强度和砌体强度进行现场检测，应符合现行国家标准《砌体结构工程施工质量验收规范》GB 50203、《砌体工程现场检测技术标准》GB/T 50315 和《砌体基本力学性能试验方法标准》GB/T 50129 及现行国家行业标准《贯入法检测砌体砂浆抗压强度技术规程》JGJ/T 136 的相关规定，抽样原则与检测数量应符合下列规定：

1 应将检测区域划分为一个或若干个可以独立进行分析的结构单元，每一结构单元划分为若干个检测单元，测点布置应能使测试结果全面、合理反映检测单元的施工质量或其受力性能；

2 每一检测单元内，不宜少于 6 个测区，应将单个构件（单片墙体、柱）作为一个测区，当一个检测单元不足 6 个构件时，应将每个构件作为一个测区。采用原位轴压法、扁顶法、切制抗压试件法检测，当选择 6 个测区有困难时，可选取不少于 3 个测区测试，但宜结合其他非破损检测方法综合进行强度推定；

3 每一测区应随机布置若干测点，各种检测方法的测点数，应符合下列要求：原位轴压法、扁顶法、切制抗压试件法、原位单剪法、筒压法测点数不应少于 1 个；原位双剪法，推出法，测点数不应少于 3 个；砂浆片剪切法、砂浆回弹法、点荷法、砂浆片局压法、烧结砖回弹法，测点数不应少于 5 个；回弹法的测位，相当于其他检测方法的测点；

4 烧结砖回弹法每个检测单元中应随机选择 10 个测区。每个测区的面积不宜小于 1.0m^2 ，应在其中随机选择 10 块条面向外的砖作为 10 个测区供回弹测试。选择的砖与砖墙边缘的距离应大于 250mm；

5 贯入法检测砌筑砂浆抗压强度时，应以面积不大于 25m^2 的砌体构件或构筑物为一个构件。取龄期相近的同楼层、同来源、同种类、同品种和同强度等级的砌筑砂浆且不大于 250m^3 砌体为一批，抽检数量不应少于砌体总构件数的 30%，且不应少于 6 个构件。基础砌体可按一个楼层计。每一构件应测试 16 点；

6 砌体工程的现场检测方法可按下列测试内容分类：

- 1) 砌体抗压强度可采用原位轴压法、扁顶法、切制抗压试件法；
- 2) 砌体工作应力、弹性模量可采用扁顶法；
- 3) 砌体抗剪强度可采用原位单剪法、原位双剪法；
- 4) 砌筑砂浆强度可采用推出法、筒压法、砂浆片剪切法、砂浆回弹法、点荷法、砂浆片局压法；
- 5) 砌筑块体抗压强度可采用烧结砖回弹法、取样法。

13.2.4 钢结构工程质量检验应符合下列规定：

1 应对焊接工程、紧固件连接工程、钢零件及钢部件加工、钢构件组装、钢构件预拼装工程、单层及多层钢结构安装工程、空间结构安装工程、涂装工程等各分项工程进行质量检验，主控项目和一般项目的质量均应符合现行国家标准《钢结构工程施工质量

验收标准》GB 50205 的相关规定；

2 钢结构焊接工程焊缝质量的内部缺陷一级应该按 100%检测、二级按 20%抽取；焊缝外观质量应按承受静荷载的二级焊缝每批同类构件抽检 10%，承受静荷载的一级焊缝和承受动荷载的焊缝每批同类构件抽检 15%，且不少于 3 件；被抽检构件中，每一类型焊缝应按条数抽检 5%，且不应少于 1 条，每条应抽检 1 处，总抽检数不应少于 10 处；

3 钢结构工程有关观感质量、安全及功能检验和见证检测项目应按照国家标准《钢结构工程施工质量验收标准》GB 50205 的相关规定。

13.2.5 型钢、钢管混凝土结构工程质量检验应符合下列规定：

1 应对构件现场拼装、柱脚锚固、构件安装、型钢或钢管混凝土柱与钢筋混凝土梁连接、钢管内钢筋骨架、钢管混凝土浇筑质量、涂装等各分项工程进行质量检验，主控项目和一般项目的质量均应符合现行国家标准《钢管混凝土工程施工质量验收规范》GB 50628 及现行强制性工程建设规范《组合结构通用规范》GB 55004 的相关规定；

2 钢结构焊接工程焊缝质量检测应符合本章第 13.2.4 条第 2 款及现行国家标准《钢管混凝土工程施工质量验收规范》GB 50628 的相关要求；

3 钢管内混凝土应检测强度等级、工作性能、收缩性及密实度等，检测方法应符合现行国家、行业标准的相关规定；

4 有关观感质量的检验、紧固件连接工程、防腐涂装工艺检验项目、钢结构工程有关安全及功能的检验和见证检测应符合本节第 13.2.4 条的相关规定。

13.2.6 木结构工程质量检验应符合下列规定：

1 应对结构形式、结构布置、构件尺寸、荷载效应标准组合作用下的结构性能、涂层及药剂等各分项工程进行质量检验，主控项

目和一般项目的质量均应符合现行国家标准《木结构工程施工质量验收规范》GB 50206 的相关规定；

2 结构复合木材和工字型木格栅应作荷载效应标准组合作用下的结构性能检验，每一检验批每一规格随机抽取 3 根。

13.2.7 检测报告除应满足本标准第 3.6.3 条的规定外，尚应包括下列内容：

- 1 结构位置检验结果；
- 2 砌筑质量检验结果；
- 3 钢筋保护层厚度检验结果；
- 4 混凝土、灌浆料的性能检验结果；
- 5 钢筋接头的试验报告；
- 6 裂缝检验结果；
- 7 植筋锚固力检测结果；
- 8 结构实体检验结果等；
- 9 结构工程各分项检验结果。

附录 A 磁测井法检测钢筋笼长度

A.1 一般规定

A.1.1 本方法适用于桩（墙）中或桩（墙）周除钢筋笼以外无连续铁磁性体干扰时的灌注桩（地下连续墙）钢筋笼长度或预制桩桩长的检测。

A.1.2 混凝土钢筋笼长度抽检数量不宜少于总桩数的 1%，且不得少于 3 根。

A.2 仪器设备

A.2.1 井中磁力仪除应具备连续记录或点测记录并实时存储、显示深度-磁场强度垂直分量（ $h-Z$ ）曲线的功能外，尚应符合下列要求：

- 1 测量范围-99999nT~99999nT；
- 2 磁敏元件转向差 $<300\text{nT}$ ；
- 3 数字输出更新速度 ≥ 3 次/秒；
- 4 工作环境温度-10℃~70℃。

A.2.2 井下探头应符合下列要求：

- 1 测量孔深 $\leq 150\text{m}$ ；
- 2 耐压 $>1.5\text{MPa}$ ；
- 3 孔斜 $<20^\circ$ 。

A.3 现场检测

A.3.1 钻孔布置应符合下列规定：

- 1 钻孔宜设置在距离受检桩（墙）外侧边缘不大于 0.5m 的土

中，且钻孔竖向中心线应平行于桩（墙）身纵轴线，也可设置在受检桩（墙）的中心位置，钻孔竖向中心线应与桩（墙）身纵轴线吻合；

2 钻孔内径宜为 60mm~90mm，钻孔深度宜大于钢筋笼底设计深度 5m；

3 钻孔周围存在软弱土层时，宜在钻孔中设置 PVC 管，其内径应大于 60mm。

A.3.2 检测前应检查钻孔或 PVC 管的通畅情况。

A.3.3 现场检测应符合下列规定：

1 探头在检测孔内或由上向下或由下向上进行检测。下放或提升应匀速，且不超过 20cm/s；

2 探头在检测孔内的采样间距宜在 10cm~50cm 范围内；

3 检测时应及时记录数据，同时显示深度-垂直分量（ $h-Z$ ）数据曲线。

A.3.4 发现钢筋笼长度与设计长度不符时，应进行复测，并确认钢筋笼底端位置。

A.3.5 测试结束后，钻芯孔应采用水泥浆回灌。

A.4 检测数据分析与判定

A.4.1 根据实测垂直分量 Z 曲线下端平坦的 Z 值，结合本地地磁图判断测区的垂直分量 Z 背景值 Z_0 。

A.4.2 垂直分量 Z 明显低于或高于背景值 Z_0 时，可判定有钢筋笼存在。

A.4.3 钢筋笼底端位置应按下列方法综合判定：

1 根据深度-垂直分量（ $h-Z$ ）数据曲线，取深度-垂直分量（ $h-Z$ ）数据曲线下部小于背景场转成大于背景场的拐点所对应的深度位置；

2 根据深度-磁场垂直分量梯度 ($h - \frac{dZ}{dh}$) 曲线确定时, 取深度-磁场垂直分量梯度 ($h - \frac{dZ}{dh}$) 曲线最深的明显极值点所对应的深度位置。

A.4.4 检测报告除应满足本标准第 3.6.3 条的规定外, 尚应包括下列内容:

- 1 设计的钢筋笼总长度、各节钢筋笼连接点、规格等;
- 2 钻孔位置、钻孔深度、孔径等;
- 3 仪器名称、型号、编号;
- 4 所发现的问题记录以及处置情况;
- 5 检测平面示意图、实测钢筋笼长度的数据和曲线。

附录 B 主要材料进场复验试验项目与取样规定

表 B 主要材料进场复验试验项目与取样规定

序号	种类名称 相关标准、规范代号	复验项目	组批规则及取样数量规定
一	混凝土结构工程(GB 50204-2015)		
1	钢筋		
1.1	钢筋原材		
(1)	热轧带肋钢筋 (GB/T 1499.2-2018)	力学性能、弯曲/反向弯曲性能、重量偏差、抗震设防要求(强屈比、屈服比、最大力总延伸率)	①组批: 钢筋应按批进行检查和验收, 每批由同一牌号、同一炉罐号、同一规格的钢筋组成。每批重量应不大于 60t。超过 60t 的部分, 每增加 40t (或不足 40t 的余数), 增加一个拉伸试验试样和一个弯曲试验试样。 ②取样: 共 8/9 个 力学性能: 2 个; 牌号带 E 反向弯曲: 1 个; 牌号不带 E 反向弯曲: 1 个, 或弯曲性能: 2 个; 重量偏差: 5 个。 在切取试样时, 应将钢筋端头的 500mm 去掉后再切取 500mm。
(2)	热轧光圆钢筋 (GB/T 1499.1-2017)	力学性能、弯曲性能、重量偏差	①组批: 钢筋应按批进行检查和验收, 每批由同一牌号、同一炉罐号、同一规格的钢筋组成。每批重量应不大于 60t。超过 60t 的部分, 每增加 40t (或不足 40t 的余数), 增加一个拉伸试验试样和一个弯曲试验试样。 ②取样: 共 9 个 力学性能: 2 个; 弯曲性能: 2 个; 重量偏差: 5 个。 在切取试样时, 应将钢筋端头的 500mm 去掉后再切取 500mm。
(3)	钢筋混凝土用余热处理钢筋 (GB/T 13014-2013)	力学性能、弯曲性能、重量偏差	同上
(4)	冷轧带肋钢筋 (GB/T 13788-2017)	力学性能、弯曲试验、重量偏差	①组批: 钢筋应按批进行检查和验收, 每批应由同一牌号、同一外形、同一规格、同一生产工艺和同一交货状态的钢筋组成。每批不大于 60t。

续表 B

序号	种类名称 相关标准、规范代号	复验项目	组批规则及取样数量规定
(4)	冷轧带肋钢筋 (GB/T 13788-2017)	力学性能、弯曲试验、重量偏差	②取样：每一验收批取一组试件（拉伸 1 个；弯曲 2 个；重量偏差：5 个）。 在切取试样时，应将钢筋端头的 500mm 去掉后再切取 500mm。
1.2	钢筋焊接(JGJ 18-2012)		
(1)	钢筋闪光对焊接头	拉伸试验、弯曲试验	①组批：同一台班内由同一焊工完成的 300 个同牌号、同直径钢筋焊接接头应作为一批。当同一台班内，焊接的接头数量较少，可在一周内累计计算；累计仍不足 300 个接头，也按一批计。 ②取样：力学性能试验时，试件应从成品中随机抽取 6 个试件，其中 3 个做拉伸试验，3 个做弯曲试验。 异径钢筋接头可只做拉伸试验。
(2)	箍筋闪光对焊接头	拉伸试验	①组批：同一台班内由同一焊工完成的 600 个同牌号、同直径箍筋闪光对焊接头应作为一个检验批。如超出 600 个接头，其超出部分可以与下一台班完成接头累积计算。 ②取样：每个检验批中应随机切取 3 个对焊接头做拉伸试验。
(3)	钢筋电弧焊接头	拉伸试验	①组批：在现浇混凝土结构中，应以 300 个同牌号、同形式接头作为一批；在房屋结构中，应在不超过二楼层中 300 个同牌号钢筋、同形式接头作为一批。 ②取样：每批随机切取 3 个接头，做拉伸试验。 a.在装配式结构中，可按生产条件制作模拟试件，每批 3 个，做拉伸试验。 b.钢筋与钢板电弧搭焊接接头可只进行外观检查。 注：在同一批中若有 3 种不同直径的钢筋焊接接头，应在最大直径钢筋接头和最小直径钢筋接头中分别切取 3 个试件进行拉伸试验。 c.当模拟试件试验结果不符合要求时，因进行复验。复检应从现场焊接接头中切取，其数量和要求与初始试验相同。

续表 B

序号	种类名称 相关标准、规范代号	复验项目	组批规则及取样数量规定
(4)	钢筋电渣压力焊接头	拉伸试验	①组批：在现浇混凝土结构中，应以 300 个同牌号钢筋接头作为一批；在房屋结构中，应在不超过二楼层中 300 个同牌号钢筋接头作为一批；当不足 300 个接头时，仍应作为一批。 ②取样：每批接头中随机切取 3 个试件做拉伸试验。 注：在同一批中若有 3 种不同直径的钢筋焊接接头，应在最大直径钢筋接头和最小直径钢筋接头中分别切取 3 个试件进行拉伸试验。
(5)	钢筋气压焊接头	拉伸试验、弯曲试验（板、梁的水平筋连接）	①组批：在现浇混凝土结构中，应以 300 个同牌号钢筋接头作为一批；在房屋结构中，应在不超过二楼层中 300 个同牌号钢筋接头作为一批；当不足 300 个接头时，仍应作为一批。 ②取样：在柱、墙的竖向钢筋连接中，应从每批接头中切取 3 个接头做拉伸试验；在梁、板的水平钢筋连接中，应另取 3 个接头做弯曲试验。 在同一批中，异径钢筋气压焊接头可只做拉伸试验。 注：在同一批中若有 3 种不同直径的钢筋焊接接头，应在最大直径钢筋接头和最小直径钢筋接头中分别切取 3 个试件进行拉伸试验。
(6)	预埋件钢筋 T 型接头	拉伸试验	①组批：应以 300 件同类型预埋件作为一批。一周内连续焊接时，可累计计算。当不足 300 件时，亦应按一批计算。 ②取样：应从每批预埋件中随机切取 3 个接头做拉伸试验。试件的钢筋长度应大于或等于 200mm，钢板（锚板）的长度和宽度应等于 60mm，并视钢筋直径的增大而适当增大。

续表 B

序号	种类名称 相关标准、规范代号	复验项目	组批规则及取样数量规定
1.3	钢筋机械连接(JGJ 107-2016)		
(1)	钢筋机械连接	抗拉强度试验 工艺检验：残余变形、抗拉强度试验（接头工艺检验应针对不同钢筋生产厂的钢筋进行，施工过程中更换钢筋生产厂或接头技术提供单位时，应补充进行工艺检验。）	①组批： a.同钢筋生产厂、同强度等级、同规格、同类型和同型式接头应以 500 个为一个验收批，不足 500 个也应作为一个验收批。 b.同一接头类型、同型式、同等级、同规格的现场检验连续 10 个验收批抽样试件抗拉强度试验一次合格率为 100%时，验收批接头数量可扩大为 1000 个。 c.对有效认证的接头产品，验收批数量可扩大至 1000 个；当现场抽检连续 10 个验收批抽样试件极限抗拉强度一次合格率为 100%时，验收批接头数量可扩大为 1500 个。当扩大后的各验收批中出现抽样试件极限抗拉强度检验不合格的评定结果时，应将随后的各验收批数量恢复为 500 个，且不得再次扩大验收批数量。 ②取样： a.每种规格钢筋接头试件不应少于 3 根，复检应取 6 根。 b.当验收批接头数量少于 200 个时，应随机抽取 2 个试件，复检应取 4 根。
2	预应力筋		
(1)	预应力混凝土用钢丝 (GB/T 5223-2014)	抗拉强度、最大力总伸长率	①组批：钢丝应成批检查和验收、每批钢丝由同一牌号、同一规格、同一加工状态的钢丝组成，每批质量不大于 60t，每批抽取一组试件。 ②取样：抗拉强度、最大力总伸长率要求在每（任一）盘中任意一端截取，3 根/每批。
(2)	预应力混凝土用中强度钢丝 (GB/T 30828-2014)	抗拉强度、最大力总伸长率	①组批：钢丝应成批验收，每批由同一牌号、同一规格、同一强度等级、同一个生产工艺制作的钢丝组成。每批重量不大于 60t。 ②取样：在每盘钢丝任意一端取样，抗拉强度、最大力总伸长率要求在每（任一）盘中任意一端截取，3 根/每批。

续表 B

序号	种类名称 相关标准、规范代号	复验项目	组批规则及取样数量规定
(3)	预应力混凝土用钢棒 (GB/T 5223.3-2017)	抗拉强度、伸长率（伸长率包括最大力总伸长率和断后伸长率，日常检验可用断后伸长率代替，仲裁试验以最大力总伸长率为准）	①组批：钢棒应成批检查和验收，每批钢棒由同一牌号、同一规格、同一加工状态的钢棒组成，每批重量不大于 60t。 ②取样：在每（任）一盘中任意一端截取，抗拉强度、断后伸长率 1 根/盘，最大力总伸长率 3 根/批。
(4)	预应力混凝土用钢绞线 (GB/T 5224-2014)	抗拉强度、最大力总伸长率	①组批：预应力用钢绞线应成批验收，每批由同一牌号、同一规格、同一生产工艺控制的钢绞线组成，每批重量不大于 60t。 ②取样：在每（任）盘卷中任意一端截取，抗拉强度、最大力总伸长率 3 根/每批。
(5)	预应力筋用锚具、夹具和连接器 (JGJ 85-2010) (GB/T 14370-2015) (GB/T 230.1-2018)	外观、硬度静载锚固性能（锚具、夹具和连接器用量不足检验批规定数量的 50%，且供货方提供有效的检验报告时，可不作静载锚固性能检验）	①组批：每个检验批的锚具不宜超过 2000 套，连接器不宜超过 500 套，夹具不宜超过 500 套。获得第三方独立认证的产品，其检验批的批量可扩大一倍。 ②取样：外观，每批产品中抽取 2%且不应少于 10 套。硬度，每批产品中抽取 3%且不应少于 5 套样品（多孔夹片式锚具的夹片，每套应抽取 6 片）。静载锚固性能，在外观检查和硬度检验均合格的锚具中抽取样品，与相应规格和强度等级的预应力筋组成 3 个预应力-锚具组装件。
(6)	预应力混凝土用金属波纹管 (JG 225-2020)	集中荷载下径向刚度、集中荷载作用后抗渗漏、弯曲后抗渗漏	①组批：预应力混凝土用金属波纹管按批进行检验。每批应由同一个钢带生产厂生产的同一批钢带所制造的预应力混凝土用金属波纹管组成。每半年或累计 50000m 生产量为一批，取产量最多的规格。 ②取样：集中荷载下径向刚度 3 根，集中荷载作用后抗渗漏 3 根，弯曲后抗渗漏 3 根。

续表 B

序号	种类名称 相关标准、规范代号	复验项目	组批规则及取样数量规定
(7)	无粘结预应力钢绞线 (JG 161-2016)	防腐润滑脂量、护套厚度	①组批：每批产品由同一公称抗拉强度、同一公称直径、同一生产工艺生产的无粘结预应力钢绞线组成，每批产品质量不应大于 60t。 ②取样：应从同一批产品任意盘卷的任意一端端部 1m 后的部位截取不同试验所需长度的试样，防腐润滑脂量、护套厚度取 3 件/批。
(8)	无粘结预应力筋用锚具系统 (JGJ 92-2016)	防水性能	②取样：同一品种、同一规格的锚具系统为一批，每批抽取 3 套。
(9)	成品灌浆材料 (GB/T 50448-2015)	截锥流动度（Ⅱ、Ⅲ类）、流锥流动度（Ⅰ类）、坍落扩展度（Ⅳ类）、抗压强度、竖向膨胀率 冬期施工：抗压强度比 高温环境：抗压强度比、热震性（高温环境）	①组批：每 200t 应为一个检验批，不足 200t 的应按一个检验批计，每一检验批应为一个取样单位。取样：取样应有代表性，总量不得少于 30kg，样品应混合均匀，并用四分法，将每一检验批取样量缩减至试验所需量的 2.5 倍。 注：用于冬期施工的水泥基灌浆材料除检测主要性能，还应检测抗压强度比检测，用于高温环境下的水泥基灌浆材料应增加抗压强度比和热震性检测。
3	水泥		
(1)	通用硅酸盐水泥 (GB 175-2007)	凝结时间、安定性、强度	①组批：按同一厂家、同一品种、同一代号、同一强度等级、同一批号且连续进场的水泥，袋装不超过 200t 为一批，散装不超过 500t 为一批，每批抽样不少于一次。袋装水泥和散装水泥应分别进行编号和取样，每编号为一取样单位。水泥出厂编号按年生产能力规定见标准。 ②取样：应有代表性，可连续取，亦可从 20 个以上的不同部位取等量样品，总量至少 12kg。

续表 B

序号	种类名称 相关标准、规范代号	复验项目	组批规则及取样数量规定
4	外加剂(GB 50119-2013)		
(1)	普通减水剂 (GB 8076-2008)	pH 值、密度 (或细度)、含 固量(或含水 率)、减水率、 1d 抗压强度 比(早强型普 通减水剂)、凝 结时间差(缓 凝型普通减水 剂)	①组批: 同一厂家、同一品种、同一性能、同一批号且连续进场的混凝土外加剂, 不超过 50t 为一批。 ②取样: 每一检验批取样量不应少于 0.2t 胶凝材料所需用的剂量, 取样应充分混匀。
(2)	高效减水剂 (GB 8076-2008)	pH 值、密度 (或细度)、含 固量(或含水 率)、减水率、 凝 结 时 间 差 (缓凝型普通 减水剂)	
(3)	聚羧酸系高性能减水剂 (GB 8076-2008)	pH 值、密度 (或细度)、含 固量(或含水 率)、减水率、 1d 抗压强度 比(早强型聚 羧酸系高性能 减水剂)、凝 结时间差(缓 凝型聚羧酸高 性能减水剂)	
(4)	引气剂及引气减水剂 (GB 8076-2008)	pH 值、密度 (或细度)、含 固量(或含水 率)、含气量、 含气量经时损 失、减水率(引 起减水剂)	

续表 B

序号	种类名称 相关标准、规范代号	复验项目	组批规则及取样数量规定
(5)	早强剂 (GB 8076-2008)	密度（或细度）、含固量（或含水率）、碱含量、氯离子含量、1d 抗压强度比	同上
(6)	缓凝剂 (GB 8076-2008)	密度（或细度）、含固量（或含水率）、凝结时间差	
(7)	泵送剂 (GB 8076-2008)	pH 值、密度（或细度）、含固量（或含水率）、减水率、坍落度 1h 经时变化值	
(8)	防冻剂 (JC/T 475-2004)	氯离子含量、密度（或细度）、含固量（或含水率）、碱含量、含气量、减水率（复合类防冻剂）	
(9)	速凝剂 (JC/T 477-2005)	密度（或细度）、水泥净浆初凝和终凝时间	
(10)	防水剂 (JC/T 474-2008)	密度（或细度）、含固量（或含水率）	
(11)	阻锈剂 (JGJ/T 192-2009)	pH 值、密度（或细度）、含固量（或含水率）	

续表 B

序号	种类名称 相关标准、规范代号	复验项目	组批规则及取样数量规定
(12)	膨胀剂 (GB/T 23439-2017)	水中 7d 限制膨胀率、细度	①组批：同一厂家、同一品种、同一性能、同一批号且连续进场的混凝土外加剂，不超过 50t 为一批。 ②取样：每一检验批取样量不应少于 10kg，取样应充分混匀。
5	掺合料		
(1)	用于水泥和混凝土中的粉煤灰 (GB/T 1596-2017)	细度、密度、需水量比、强度活性指数、安定性、含水量、三氧化硫、烧失量、游离氧化钙	①组批：按同一厂家、同一品种、同一技术指标、同一批号且连续的矿物掺合料，粉煤灰不超过 200t 为一批。 ②取样：应有代表性，可连续取，也可从 10 个以上的不同部位取等量样品，总量至少 3kg。
(2)	用于水泥和混凝土中的粒化高炉矿渣粉 (GB/T 18046-2017)	密度、比表面积、活性指数、流动度比、初凝时间比、含水量、三氧化硫、氯离子、烧失量	①组批：按同一厂家、同一品种、同一技术指标、同一批号且连续的矿物掺合料，粒化高炉矿渣粉不超过 500t 为一批。 ②取样：应有代表性，可连续取，也可从 20 个以上的不同部位取等量样品，总量至少 20kg，试样应混合均匀，按四分法取出比试验量大一倍的试样。
6	集料		
(1)	普通混凝土用砂 (JGJ 52-2006) 建筑用砂 (GB/T 14684-2022)	颗粒级配、堆积密度、含泥量、泥块含量、氯离子含量（海砂）、石粉含量（人工砂及混合砂）	①组批：应按砂、石的同产地同规格，以 400m ³ 或 600t 为一批，不足 600t 亦为一批。 ②取样： a.砂：在料堆上取样时，取样部位应均匀分布，取样前先将取样部位表面铲除，然后从不同部位抽取大致等量的砂 8 份（每份约 11kg），组成一组样品。然后用四分法缩至约 20kg。 b.石：在料堆上取样时，取样部位应均匀分布，取样前先将取样部位表面铲除，然后从不同部位抽取大致相等的石子 16 份，组成一组样品。每份约 5kg~40kg，然后缩分至约 40kg 或 80kg 送试。
(2)	普通混凝土用石 (JGJ 52-2006) 建筑用卵石、碎石 (GB/T 14685-2022)	颗粒级配、针片状颗粒含量、泥块含量、含泥量	

续表 B

序号	种类名称相关标准、规范代号	复验项目	组批规则及取样数量规定
(3)	轻粗集料 (GB/T 17431.1-2010) (GB/T 17431.2-2010)	颗粒级配、堆积密度、吸水率、筒压强度、粒型系数、强度标号（高强轻粗集料）	①组批：轻集料按类别、名称、密度等级分批检验与验收，每 400m ³ 为一批。不足 400m ³ 亦按一批计。 ②取样： a.应从每批产品中随机取有代表性的试样。 b.初次抽取的试样不应少于 10 份，其总料量应多于试验用料量的一倍。 c.初次抽取试样应符合下列规定：对均匀料堆进行取样时，试样可从料堆锥体从上到下的不同部位，不同方向任选 10 个点抽取。但要注意避免抽取离析的及面层的材料。从袋装料和散装料（车、船）抽取试样时，应从 10 个不同位置和高度（或料袋）中抽取。具体取样数量可参考相关产品标准（表）
(4)	轻细集料 (GB/T 17431.1-2010) (GB/T 17431.2-2010)	细度模数、堆积密度	
7	混凝土用水		
(1)	混凝土拌合用水 (JGJ 63-2006)	pH 值、氯离子、硫酸根离子、可溶物含量、不溶物含量、碱含量（碱活性骨料）	①取样数量：水质检验水样不应少于 5L；用于测定水泥凝结时间和胶砂强度的水样不应少于 3L。 ②取样方法：地表水宜在水域中心部位、距水面 100mm 以下采集；地下水应在放水冲洗管道后接取，或直接用容器采集；再生水应在取水管道终端取；混凝土企业设备洗刷水应沉淀后，在池中距水面 100mm 以下采集。
8	混凝土		
(1)	混凝土 (GB/T 50081-2019) (GB/T 50107-2010) (JGJ/T 104-2011) (GB 50209-2010)	抗压强度	①组批： a.每拌制 100 盘且不超过 100m ³ 时，取样不得少于一次； b.每工作班拌制不足 100 盘时，取样不得少于一次； c.连续浇筑超过 1000m ³ 时，每 200m ³ 取样不得少于一次； d.每一楼层取样不得少于一次； e.每次取样应至少留置一组试件； f.冬期施工，除了按要求留置的试件外，还应增设不少于 2 组同条件试件（临界强度试件）；

续表 B

序号	种类名称 相关标准、规范代号	复验项目	组批规则及取样数量规定
(1)	混凝土 (GB/T 50081-2019) (GB/T 50107-2010) (JGJ/T 104-2011) (GB 50209-2010)	抗压强度	g.建筑地面的混凝土，同一施工批次，同一配合比，每一层（或检验批）建筑地面工程不少于 1 组，每一层（或检验批）建筑地面面积大于 1000m² 时，每增加 1000m² 增加一组试件；小于 1000m² 按 1000m² 计算，取 1 组试件； h.散水、明沟、踏步、台阶、坡道，同一施工批次、同一配合比每 150 延长米不少于 1 组试件。 ②取样： a.同一组混凝土拌合物的取样，应在同一盘混凝土或同一车混凝土中取样。取样量应多于试验所需量的 1.5 倍，且不宜小于 20L； b.取样应具有代表性，宜采用多次采样的方法。宜在同一盘混凝土或同一车混凝土的 1/4 处、1/2 处和 3/4 处分别取样，并搅拌均匀，第一次取样和最后一次取样的时间间隔不宜超过 15min。
(2)	轻骨料混凝土 (JGJ/T 12-2019)	抗压强度	
(3)	抗渗混凝土 (GB/T 50082-2009) (GB 50208-2011)	抗压强度、抗渗等级	组批及取样： a.混凝土抗渗试件：连续浇筑混凝土每 500m³ 应留置一组 6 个抗渗试件，且每项工程不得少于 2 组； b.混凝土抗压强度试件：同一工程、同一配合比的混凝土，取样频率与试件留置组数应符合混凝土条款的规定。
(4)	不发火集料及混凝土 (GB 50209-2010)	不发火性	①组批：不少于 50 个试件。 ②取样： a.粗骨料：从不少于 50 个试件中选出做不发生火花的试件 10 个（应是不同表面、不同颜色、不同结晶体、不同硬度）。每个试件重 50g~250g，准确度应达到 1g； b.粉状骨料：应将这些细粒材料用胶结料（水泥或沥青）制成块状材料进行试验。试件数量同上； c.不发火水泥砂浆、水磨石、水泥混凝土的试验用试件同上。

续表 B

序号	种类名称 相关标准、规范代号	复验项目	组批规则及取样数量规定
9	装配式		
(1)	预制构件 (GB 50204-2015) (DB/T 29-243-2016)	结构性能检验 或实体验证	结构性能检验： ①组批：同一类型预制构件不超过 1000 个为一批。 ②抽样：每批随机抽取 1 个构件进行结构性能检验。 实体验证： ①组批：同一类型预制构件不超过 1000 个为一批。 ②抽样：每批随机抽取构件数量的 2%且不少于 5 个构件。
(2)	灌浆料 (JGJ 355-2015) (JG/T 408-2019) (JGJ 1-2014) (DB/T 29-243-2016)	灌浆料拌合物 30min 流动度、泌水率及 3d 抗压强度、 28d 抗压强度、 3h 竖向膨胀率、 24h 与 3h 竖向膨胀率差值	①组批：同一成分、同一批号的灌浆料，不超过 50t 为一批。 ②取样：取样应有代表性，可从多个部位取等量样品，样品总量不应少于 30kg。施工时，每工作班应制作 1 组，且每层不应少于 3 组，试件规格 40mm×40mm×160mm 的长方体，标准养护 28d 后进行抗压强度。
(3)	套筒灌浆连接接头 (JGJ 355-2015) (JGJ 107-2016) (DB/T 29-243-2016)	抗拉强度、工艺检验：屈服强度、抗拉强度、残余变形、灌浆料 28d 抗压强度	①组批：同一批号、同一类型、同一规格的灌浆套筒，不超过 1000 个为一批。 ②取样：每批制作 3 个试件。对于工艺检验，每种规格钢筋制作 3 个对中套筒灌浆连接接头，采用灌浆料拌合物制作的 40mm×40mm×160mm 试件不应少于 1 组，接头试件及灌浆料试件在标准养护条件下养护 28d。

续表 B

序号	种类名称 相关标准、规范代号	复验项目	组批规则及取样数量规定
10	回填土		
(1)	回填土 (GB 50202-2018) (GB 50209-2010) (GB/T 50123-2019)	干密度或压实 系数（击实试 验、压实系数、 含水率）	组批及取样： ①用环刀法取样时： a.基坑和室内回填，每层按 $100\text{m}^2 \sim 500\text{m}^2$ 取样 1 组，且每层不少于 1 组； b.柱基回填，每层抽样柱基总数的 10%，且不少于 5 组； c.基槽或管沟回填，每层按长度 $20\text{m} \sim 50\text{m}$ 取样 1 组，且每层不少于 1 组； d.室外回填，每层按 $400\text{m}^2 \sim 900\text{m}^2$ 取样 1 组，且每层不少于 1 组，取样部位应在每层压实后的下半部。 ②采用灌砂或灌水法取样时，取样数量可较环刀法适当减少，但每层不少于 1 组。 注：不同压实机具分层厚度： a.平辗，$250\text{mm} \sim 300\text{mm}$； b.振动压实机，$250\text{mm} \sim 350\text{mm}$； c.柴油打夯，$200\text{mm} \sim 250\text{mm}$； d.人工打夯，$<200\text{mm}$。 ③粒径小于 5mm 粘性土应进行轻型击实试验，粒径不大于 20mm 的土应进行重型击实试验，采用三层击实时，最大粒径不大于 40mm。 ④用四分法取代表性土样 20kg（轻型击实）或 50kg（重型击实）。
二	砌体工程(GB 50203-2011)		
1	水泥		
(1)	砌筑水泥 (GB/T 3183-2017)	强度、安定性	①组批：按同一生产厂家、同一等级、同一品种、同一批号且连续进场的水泥，袋装不超过 200t 为一批，散装不超过 500t 为一批，每批抽样不少于一次。 ②取样：应有代表性，可连续取，亦可从 20 个以上的不同部位取等量样品，总量至少 12kg。

续表 B

序号	种类名称 相关标准、规范代号	复验项目	组批规则及取样数量规定
2	砂浆		
(1)	砌筑砂浆 (JGJ/T 70-2009)	抗压强度	①组批：每一检验批且不超过 250m³砌体的各类、各强度等级的普通砌筑砂浆，每台搅拌机应至少抽检一次。 ②取样： a.同一类型、强度等级的砂浆试块不应少于 3 组，同一验收批砂浆只有 1 组或 2 组试块时，每组试块抗压强度平均值应大于或等于设计强度等级值的 1.10 倍；对于建筑结构的安全等级为一级或设计使用年限为 50 年及以上的房屋，同一验收批砂浆试块的数量不得少于 3 组； b.砂浆强度应以标准养护，28d 龄期的试块抗压强度为准； c.制作砂浆试块的砂浆稠度应与配合比设计一致。
(2)	砌筑砂浆增塑剂 (JG/T 164-2004)	抗压强度比、 凝结时间差	①组批：掺量大于 5%的增塑剂，每 200t 为一批号，掺量小于 5%并大于 1%的增塑剂，每 100t 为一批号，掺量小于 1%并大于 0.05%的增塑剂，每 50t 为一批号，掺量小于 0.05%的增塑剂，每 10t 为一批号。不足一个批号的应按一个批号计。 ②取样：每一编号取样量不少于试验所需数量的 2.5 倍，同一编号的产品必须混合均匀。
3	预拌砂浆(JGJ/T 223-2010)		
(1)	湿拌砌筑砂浆	保水率、抗压强度	①组批：同一生产厂家、同一品种、同一等级、同一批号且连续进场的湿拌砂浆，每 250m³为一个检验批，不足 250m³时，应按一个检验批计。 ②取样：试验取样应采取随机取样，每个试验取样量不应少于试验用量的 4 倍。
(2)	湿拌抹灰砂浆	保水率、抗压强度、拉伸粘接强度	
(3)	湿拌地面砂浆	保水率、抗压强度	
(4)	湿拌防水砂浆	保水率、抗压强度、抗渗压力、拉伸粘接强度	

续表 B

序号	种类名称 相关标准、规范代号		复验项目	组批规则及取样数量规定
(5)	干混 砌筑 砂浆	普通砌筑砂浆	保水率、抗压 强度	①组批：同一生产厂家、同一品种、同一等级、同一批号且连续进场的干混砂浆，每 500t 为一个检验批，不足 500t 时，应按一个检验批计。 ②取样：试验取样应采取随机取样，试样不应少于试验用量的 4 倍。
		薄层砌筑砂浆	保水率、抗压 强度	
(6)	干混 抹灰 砂浆	普通抹灰砂浆	保水率、抗压 强度、拉伸粘 接强度	
		薄层抹灰砂浆	保水率、抗压 强度、拉伸粘 接强度	
(7)	干混地面砂浆		保水率、抗压 强度	
(8)	干混普通防水砂浆		保水率、抗压 强度、抗渗压 力、拉伸粘接 强度	
4	砖			
(1)	烧结普通砖 (GB/T 5101-2017)		强度等级	①组批：每一生产厂家，每 15 万块为一验收批，不足时按一批计。 ②取样：采用随机抽样法从外观质量检验后的样品中抽取 10 块。
(2)	烧结多孔砖 (GB/T 13544-2011)		强度等级	①组批：每一生产厂家，每 10 万块为一验收批，不足时按一批计。 ②取样：采用随机抽样法从外观质量检验后的样品中抽取 10 块。
(3)	烧结空心砖、空心砌块 (GB/T 13545-2014)		强度等级	①组批：烧结空心砖每一生产厂家，每 10 万块为一验收批，不足时按一批计。 烧结空心砌块每 3.5-15 万块为一批，不足 3.5 万块按一批计。 ②取样：采用随机抽样法从外观质量检验合格的样品中抽取 10 块。
(4)	蒸压粉煤灰砖 (JC/T 239-2014)		强度等级	①组批：每一生产厂家，每 10 万块为一验收批，不足时按一批计。 ②取样：采用随机抽样法从外观质量和尺寸偏差检验合格的样品中抽取 20 块。

续表 B

序号	种类名称 相关标准、规范代号	复验项目	组批规则及取样数量规定
(5)	蒸压灰砂砖 (GB/T 11945-2019)	抗压强度	①组批：每一生产厂家，每 10 万块且不超过 1000m ³ 为一批，不足 10 万块亦按一批计。 ②取样：采用随机抽样法从外观质量和尺寸偏差检验合格的样品中抽取 5 块。
(6)	混凝土实心砖 (GB/T 21144-2023)	抗压强度	①组批：同一种原材料、同一工艺生产、相同质量等级的 10 万块为一批，不足 10 万块亦按一批计。 ②取样：采用随机抽样法从外观质量检验后的样品中抽取 10 块。
5	混凝土小型空心砌块		
(1)	普通混凝土小型砌块 (GB/T 8239-2014)	强度等级	①组批：每一生产厂家，每 1 万块为一验收批，不足 1 万块按一批计。 ②取样：从尺寸偏差和外观质量合格的检验批中，根据高宽比， $H/B \geq 0.6$ 随机抽取 5 块， $H/B < 0.6$ 随机抽取 10 块。
(2)	轻集料混凝土小型空心砌块 (GB/T 15229-2011)	抗压强度、密度等级	
(3)	蒸压加气混凝土砌块 (GB/T 11968-2020)	抗压强度（干密度、抗压强度、干燥收缩、抗冻性、导热系数）	①组批：同品种、同规格、同级别的砌块，以 30000 块为一批，不足 3000 块亦为一批。 ②取样： 干密度：3 组； 抗压强度：5 组； 干燥收缩：3 组； 抗冻性：6 组共； 导热系数：1 组。

续表 B

序号	种类名称 相关标准、规范代号	复验项目	组批规则及取样数量规定
三	钢结构工程(GB 50205-2020)		
1	钢材		
(1)	碳素结构钢 (GB/T 700-2006)	钢板（碳素结构钢、低合金高强度结构钢、建筑结构用钢板、桥梁用结构钢、碳素结构钢和低合金结构钢热轧钢板和钢带）：拉伸性能、弯曲性能、冲击性能、厚度方向性能 钢管（低压流体输送用焊接钢管、直缝电焊钢管、结构用无缝钢管）：拉伸性能、弯曲性能、冲击性能、压扁、扩口 钢棒（优质碳素结构钢、合金结构钢）：拉伸性能、冲击性能 焊钉：机械性能和焊接性能（注：设计有复验要求的项目，要满足设计要求。）	①组批： a.碳素结构钢、低合金高强度结构钢、建筑结构用钢板、桥梁用结构钢：应成批验收，每批由同一牌号、同一炉号、同一质量等级、同一品种、同一尺寸、同一交货状态的钢材组成。每批重量不应大于 60t； b.低压流体输送用焊接钢管、直缝电焊钢管：外径不大于 219.1mm，每个班次生产的钢管；外径大于 219.1mm，但不大于 406.4mm，200 根；外径大于 406.4mm，100 根； c.结构用无缝钢管：外径不大于 76mm，且壁厚不大于 3mm，400 根；外径大于 351mm，50 根；其他尺寸，200 根； d.优质碳素结构钢、合金结构钢：每批由同一牌号、同一炉号、同一加工方法、同一尺寸、同一交货状态、同一热处理制度（或炉次）的钢棒组成； e.碳素结构钢和低合金结构钢热轧钢板和钢带：每批由同一牌号、同一炉号、同一质量等级、同一交货状态的钢板和钢带组成。 ②取样： 拉伸试样的取样位置及样品制备按照 GB/T 2975 和 GB/T 228.1 进行；弯曲试样的取样位置及制备按照 GB/T 2975 和 GB/T 232 进行；冲击试验的取样位置及制备按照 GB/T 2975 和 GB/T 229 进行；化学成分的取样按照 GB/T 20066 进行；厚度方向性能的取样位置及制备按照 GB/T 5313 进行；管弯曲的取样方法按照 GB/T 244 进行；管压扁的取样方法按照 GB/T 246 进行；管扩口的取样方法按照 GB/T 242 进行。 圆柱头焊钉取样：机械性能 3 个每组，焊接性能拉伸、打弯各 3 个每组，样品加工尺寸按照 GB/T 10433 进行。
(2)	低合金高强度结构钢 (GB/T 1591-2018)		
(3)	优质碳素结构钢 (GB/T 699-2015)		
(4)	低压流体输送用焊接钢管 (GB/T 3091-2015)		
(5)	直缝电焊钢管 (GB/T 13793-2016)		
(6)	结构用无缝钢管 (GB/T 8162-2018)		
(7)	建筑结构用钢板 (GB/T 19879-2015)		
(8)	碳素结构钢和低合金结构钢热轧钢板和钢带 (GB/T 3274-2017)		
(9)	桥梁用结构钢 (GB/T 714-2015)		
(10)	合金结构钢 (GB/T 3077-2015)		
(11)	输送流体用无缝钢管 (GB/T 8163-2018)		
(12)	电弧螺柱焊用圆柱头焊钉 (GB/T 10433-2002)		

续表 B

序号	种类名称 相关标准、规范代号	复验项目	组批规则及取样数量规定
2	焊接材料		
(1)	非合金钢及细晶粒钢 焊条 (GB/T 5117-2012)	熔敷金属拉伸 试验熔敷金属 冲击试验熔敷 金属化学成分 (注: 以上项 目为重要钢结 构采用的焊接 材料抽样复 检)	根据相关产品标准制作标准试件。 熔敷金属拉伸性能和冲击性能取样及制 备方法按照 GB/T 25774.1 进行; 熔敷金属化 学成分取样及制备方法按照 GB/T 25777 进 行。
(2)	热强钢焊条 (GB/T 5118-2012)		
(3)	非合金钢及细晶钢药 芯焊丝 (GB/T 10045-2018)		
(4)	埋弧焊用热强钢实心 焊丝、药芯焊丝和焊 丝-焊剂组合分类要 求 (GB/T 12470-2018)		
(5)	热强钢药芯焊丝 (GB/T 17493-2018)		
(6)	埋弧焊用非合金钢及 细晶粒钢实心焊丝、 药芯焊丝和焊丝-焊 剂组合分类要求 (GB/T 5293-2018)		
(7)	气体保护电弧焊用碳 钢、低合金钢焊丝 (GB/T 8110-2020)		
四	地下防水工程(GB 50208-2011)		
1	防水卷材		
(1)	改性沥青聚乙烯胎防 水卷材 (GB 18967-2009)	可溶物含量、 拉力、延伸率、 低温柔度、热 老化后低温柔 度、不透水性	①组批: 以同一类型, 同一规格 10000m ² 为一批, 不足 10000m ² 亦可作为一批。 ②取样: 大于 1000 卷抽 5 卷, 每 500 卷~ 1000 卷抽 4 卷, 100 卷~499 卷抽 3 卷, 100 卷以下抽 2 卷, 进行规格尺寸和外观质量检 验。在外观质量检验合格的卷材中, 任取一 卷做物理性能检验。
(2)	弹性体改性沥青防水 卷材 (GB 18242-2008)		
(3)	塑性体改性沥青防水 卷材 (GB 18243-2008)		

续表 B

序号	种类名称 相关标准、规范代号	复验项目	组批规则及取样数量规定
(4)	自粘聚合物改性沥青防水卷材 (GB 23441-2009)	断裂拉伸强度、断裂伸长率、不透水性、低温弯折性、撕裂强度	同上
(5)	带自粘层的防水卷材 (GB/T 23260-2009)		
(6)	预铺防水卷材 (GB/T 23457-2017)		
(7)	湿铺防水卷材 (GB/T 35467-2017)		
(8)	聚氯乙烯(PVC)防水卷材 (GB 12952-2011)		
(9)	氯化聚乙烯防水卷材 (GB 12953-2003)		
(10)	高分子防水卷材 (第一部分片材) (GB/T 18173.1-2012)		①组批：以连续生产的同品种、同规格的5000m²片材为一批（不足5000m²时，以连续生产的同品种、同规格的片材量为一批，日产量超过8000m²则以8000m²为一批）。 ②取样：大于1000卷抽5卷，每500卷~1000卷抽4卷，100卷~499卷抽3卷，100卷以下抽2卷，进行规格尺寸和外观质量检验。在外观质量检验合格的卷材中，任取一卷做物理性能检验。
2	防水涂料		
(1)	聚氨酯防水涂料 (GB/T 19250-2013)	拉伸强度、断裂伸长率、撕裂强度、低温弯折性、不透水性	①组批：组批：每5t为一批，不足5t按一批抽样。 ②取样：在每批产品中随机抽取两组样品，一组样品用于检验，另一组样品封存备用。每组至少5kg(多组分产品按比例抽取)，抽取前产品应搅拌均匀。
(2)	聚合物乳液建筑防水涂料 (JC/T 864-2008)	拉伸强度、断裂延伸率、低温柔性、不透水性	①组批：组批：每5t为一批，不足5t按一批抽样。 ②取样：产品抽样按GB/T3186进行，总共取4kg样品用于检验。

续表 B

序号	种类名称 相关标准、规范代号	复验项目	组批规则及取样数量规定
(3)	聚合物水泥防水涂料 (GB/T 23445-2009)	拉伸强度（无处理）、断裂伸长率（无处理）、粘结强度（无处理）、低温柔性、不透水性（I 型）、抗渗性（II 型、III 型）	①组批：每 5t 为一批，不足 5t 按一批抽样。 ②取样：产品的液体组分抽样按 GB/T 3186 的规定进行，配套固体组分的抽样按 GB/T 12573-2008 中袋装水泥的规定进行，两组份共取 5kg 样品。
(4)	水泥基渗透结晶型防水材料 (GB 18445-2012)	抗折强度、粘结强度、抗渗性	①组批：每 10t 为一批，不足 10t 按一批抽样。 ②抽样：每批产品随机抽样，抽取 10kg 样品，充分混匀。取样后，将样品一分为二。一份检验，一份留样备用。
(5)	聚合物水泥防水砂浆 (JC/T 984-2011)		①组批：每 10t 为一批，不足 10t 按一批抽样。 ②抽样：在每批产品中不少于 6 个（组）取样点随机抽取，样品总质量不少于 20kg。样品分为两份，一份试验，一份备用。试验前应将所取样品充分混合均匀。
3	密封材料		
(1)	聚氨酯建筑密封胶 (JC/T 482-2022)	密度、下垂度（N 型）或流平性（L 型）、表干时间、挤出性（单组分）或适用期（多组分）、拉伸模量、弹性恢复率、定伸粘结性、浸水后定伸粘结性、冷拉-热压后粘结性、质量损失率、人工气候老化后粘结性（户外且直接暴露阳光下）	①组批：以同一分类的产品每 5t 为一批进行检验，不足 5t 也作为一批。 ②取样：单组分产品由该批产品中随机抽取 3 件包装箱，从每件包装箱中随机抽取 4 支样品，共取 12 支；多组分产品按配比随机抽样，共抽取 6kg，取样后立即密封包装。取样后，将样品均分为二份。一份检验，另一份备用。

续表 B

序号	种类名称 相关标准、规范代号	复验项目	组批规则及取样数量规定
(2)	聚硫建筑密封胶 (JC/T 483-2022)	密度、下垂度 (N 型)或流 平性 (L 型)、 表干时间、适 用期、拉伸模 量、弹性恢复 率、定伸粘结 性、浸水后定 伸粘结性、冷 拉-热压后粘 结性、质量损 失率、28d 浸 水后定伸粘结 性、低温柔性 (-40℃)	①组批: 以同一分类的产品每 10t 为一批 进行检验, 不足 10t 也作为一批。 ②取样: 按配比随机抽样, 共抽取 6kg, 取样后立即密封包装。取样后, 将样品均分 为二份。一份检验, 另一份备用。
(3)	混凝土接缝用建筑密 封胶 (JC/T 881-2017)	流动性、挤出 性、定伸粘结 性	①组批: 每 2t 为一批, 不足 2t 按一批抽 样。 ②取样: 单组分产品由该批产品中随机抽 取 3 件包装箱, 从每件包装箱中随机抽取 4 支样品, 共取 12 支。多组分产品按配比随机 抽样, 共抽取 6kg, 取样后应立即密封包装。 取样后, 将样品均分为两份。一份检验, 一 份备用。
4	其他材料		
(1)	高分子防水材料 第 2 部分: 止水带 (GB/T 18173.2-2014)	拉伸强度、扯 断伸长率、撕 裂强度	①组批: 每月同标记的止水带产量为一批 抽样。 ②取样: 1 米。
(2)	高分子防水材料 第 3 部分: 遇水膨胀橡 胶 (GB/T18173.3-2014)	硬度、拉伸强 度、拉断伸长 率、体积膨胀 倍率	①组批: 每 5000m 为一批, 不足 5000m 按 一批抽样。 ②取样: 任意 1m 处随机取 3 点进行规格 尺寸检验, 并在检验合格的产品中随机抽取 足够的试样。
(3)	高分子防水卷材胶粘 剂 (JC/T 863-2011)	剥离强度	①组批: 每 5t 产品为一批, 不足 5t 的按 一批抽。 ②取样: 每批产品随机抽取 2kg 样品, 充 分混匀。将样品分为二份, 一份检验, 一份 备用。

续表 B

序号	种类名称 相关标准、规范代号	复验项目	组批规则及取样数量规定
(4)	沥青基防水卷材用基层处理剂 (JC/T 1069-2008)	固体含量、耐热性、低温柔性、剥离强度	①组批: 每 5t 产品为一批, 不足 5t 的按一批抽样。 ②取样: 在每批产品总共取 2kg 样品, 放入洁净密闭容器中密封好。
(5)	膨润土橡胶遇水膨胀止水条 (JG/T 141-2001)	规定时间吸水膨胀倍率、最大吸水膨胀倍率、密度、耐热性、低温柔性、耐水性	①组批: 每 5000m 为一批, 不足 5000m 按一批抽样。 ②抽样: 每批任选 3 箱, 每箱任取一盘, 检测外观及规格尺寸后, 在距端部 0.1m 外任一部位截取长度约 1m 试样一条。
(6)	遇水膨胀止水胶 (JG/T 312-2011)	表干时间、拉伸性能、体积膨胀倍率	①组批: 每 5t 产品为一批, 不足 5t 的按一批抽样。 ①取样: 随机抽样, 抽样量为 5 支。
(7)	钠基膨润土防水毯 (JG/T 193-2006)	单位面积质量、膨润土膨胀指数、拉伸强度、最大负荷下伸长率、剥离强度、渗透系数、滤失量、膨润土耐久性	①组批: 每 100 卷为一批, 不足 100 卷按一批。 ②抽样: 100 卷以下抽 5 卷, 进行尺寸偏差和外观质量检验。在外观质量检验合格的卷材中, 任取一卷作物理性能检验。
(8)	水泥基渗透结晶型防水材料 (GB 18445-2012)	抗折强度、抗压强度、湿基面粘接性能、细度、28d 抗渗性能	①组批: 每 10t 为一批, 不足 10t 按一批抽样。 ②抽样: 每批产品随机抽样, 抽取 10kg 样品, 充分混匀。取样后, 将样品一分为二。一份检验, 一份留样备用。
(9)	砂浆、混凝土防水剂 (JC 474-2008)	密度、氯离子含量、总碱量、细度、含水率、固体含量	①组批: 年产不小于 500t 的每 50t 为一批, 年产 500t 以下的每 30t 为一批, 不足 50t 或者 30t 的, 也按照一个批量计。 ②抽样: 取样量不少于 0.2t 水泥所需用的外加剂量。

续表 B

序号	种类名称 相关标准、规范代号	复验项目	组批规则及取样数量规定
(10)	混凝土膨胀剂 (GB/T 23439-2017)	细度、凝结时间、水中 7d 的限制膨胀率、7d 的抗压强度	①组批：日产量超过 200t 时，以不超过 200t 为一编号，不足 200t 时，以日产量为一编号。 ②抽样：取样应具有代表性，可连续取，也可从 20 个以上不同部位取等量样品，总量不小于 10kg。
(11)	聚合物水泥防水砂浆 (JC/T 984-2011)	抗压性能、抗折性能、粘结强度、抗渗性	①组批：每 10t 为一批，不足 10t 按一批抽样。 ②抽样：在每批产品中不少于 6 个（组）取样点随机抽取，样品总质量不少于 20kg。样品分为两份，一份试验，一份备用。试验前应将所取样品充分混合均匀。
(12)	建筑用橡胶结构密封垫 (GB/T 23661-2022)	硬度、拉断强度、拉断伸长率、压缩永久变形(100℃、24h)、耐臭氧、耐热空气老化、夹持力	①组批：以同日同机台生产的不多于 3000 件结构密封垫为一批。 ②取样：取足够试验的试样。
五	木结构工程(GB 50206-2012)		
1	木材		
(1)	方木与原木 (GB 50206-2012)	弦向（横向）静曲强度	①组批：同一幢房屋为一批。 ②取样：每一检验批每一树种随机抽取 3 株（根）。
		平均含水率	①组批：同一幢房屋为一批。 ②取样：每一检验批每一树种每一规格随机抽取 5 根。
(2)	胶合木 (GB 50206-2012)	抗弯性能 横向静曲强度	①组批：同一幢房屋为一批。 ②取样：每一检验批同一胶合工艺、同一层板类别、树种组合、构件截面组坯的同类型构件随机抽取 3 根。
		弧形构件曲率半径及偏差	①组批：同一幢房屋为一批。 ②取样：每一检验批 100%。
		平均含水率	①组批：同一幢房屋为一批。 ②取样：每一检验批每一树种每一规格随机抽取 5 根。

续表 B

序号	种类名称 相关标准、规范代号	复验项目	组批规则及取样数量规定
2	连接件		
(1)	圆钉(YB/T 5002)	抗弯强度	②抽样：每检验批每一规格随机抽取 10 枚。
(2)	钉、螺栓连接件	规格、数量	②抽样：全数检验。
3	防护		
(1)	防腐剂	载药量	①组批：每幢建筑面积 $\leq 300\text{m}^2$ 、总建筑面积 $\leq 3000\text{m}^2$ 或单体建筑面积 $> 300\text{m}^2$ 为一批。 ②取样：每一检验批 100%。
		透入度 (BG/T 50329)	①组批：每幢建筑面积 $\leq 300\text{m}^2$ 、总建筑面积 $\leq 3000\text{m}^2$ 或单体建筑面积 $> 300\text{m}^2$ 为一批。 ②取样：每一检验批随机抽取 5~10 根构件，均匀钻取 20 个（油性药剂）或 48 个（水性药剂）芯样。
(2)	刨花板 (GB/T 4897-2015)	甲醛释放量 (BG 18580)	①组批：同一规格连续生产的产品中抽取 3 张样板。 ②取样：随机抽取 1 张样板，裁（ 500 ± 5 ） $\text{mm} \times$ （ 500 ± 5 ） mm^2 块，可拼合。
(3)	细木工板 (GB/T 5849-2016)		②取样：随机抽取 1 张样板，裁（ 500 ± 5 ） $\text{mm} \times$ （ 500 ± 5 ） mm^2 块，可拼合。
(4)	普通胶合板 (GB/T 9846-2015)		②取样：随机抽取 1 张样板，裁（ 500 ± 5 ） $\text{mm} \times$ （ 500 ± 5 ） mm^2 块，可拼合。
(5)	中密度纤维板 (GB/T 11718-2021)		②取样：随机抽取 1 张样板，裁（ 500 ± 5 ） $\text{mm} \times$ （ 500 ± 5 ） mm^2 块，可拼合。
(6)	阻燃剂		②取样：每一检验批随机抽取 3 组，每组短翼（ 495 ± 5 ） $\text{mm} \times$ （ 1500 ± 5 ） mm 和长翼（ 1000 ± 5 ） $\text{mm} \times$ （ 1500 ± 5 ） mm 各 1 块。

附录 C 试验记录表

C.1 原位测试

C.1.1 标准贯入试验数据可按表 C.1.1 的格式记录

表 C.1.1 标准贯入试验记录表

工程编号		工程名称		工程地点		试验日期										
检测孔编号		孔口高程		(m)	检测孔深度	(m)	初见水位埋深	(m)	静止水位埋深	(m)						
地基类型										(m)						
成因时代	变层深度 (m)	回次进尺 (m)	岩芯采取率 (%)	岩土野外定名	岩土描述					标准贯入试验					备注	
					颜色	湿度	状态	层理	含有物	物质成分、结构等补充描述	预打锤击数 (N)	实测锤击数 (N)			探杆长度 (m)	修正锤击数 (N')
											15cm	10cm	10cm	10cm	30cm	

项目负责人:

校核:

记录:

C.1.2 圆锥动力触探试验数据可按表 C.1.2 的格式记录

表 C.1.2 圆锥动力触探试验记录表

工程编号				建设单位			
工程名称				工程地点			
检测孔编号				地基类型		试验日期	
触探类型	☐ N_{10}	☐ $N_{63.5}$	☐ N_{120}	孔口高程	(m)	静止水位埋深	(m)
探杆总长度 (m)	试验点起始 深度 (m)	贯入度 (cm)	实测锤击数 (击)	修正锤击数 (击)	土层描述		备注

项目负责人：

校核：

记录：

C.1.3 静力触探试验数据可按表 C.1.3 的格式记录

表 C.1.3 静力触探试验记录表

工程编号				建设单位			
工程名称				工程地点			
检测孔编号				地基类型		试验日期	
设备编号				探头编号		率定系数	$K_p =$ $K_q =$ $K_f =$
深度 (m)	单桥触探头的比 贯入阻力应变量 ε_p (μE)	双桥触探头的锥 尖阻力应变量 ε_q (μE)	双桥触探头的侧 壁摩阻力应变量 ε_f (μE)	触探头的初始读数 或零读数应变量 ε_0 (μE)		备注	

项目负责人：

校核：

记录：

C.1.4 十字板剪切试验数据可按表 C.1.4 的格式记录

表 C.1.4 十字板剪切试验记录表

工程名称				仪器编号				原状土强度 S_u				(kPa)			
试验地点				传感器（钢环）号				重塑土强度 S'_u				(kPa)			
试验深度		(m)		率定系数 ξ				灵敏度 $S_t = S_u/S'_u$							
孔口高程		(m)		板头规格、类型		H/D= , D= (mm)		残余强度 S_{vt}				(kPa)			
试验日期				静止水位埋深		(m)		土名、状态							
原状土剪切								重塑土剪切							
序数 j	转角 修正量 $\Delta\theta$	修正 后转角 θ	仪表 读数 ε	修正 后读数 (ε)	剪切力 τ (kPa)	序数 j	仪表 读数 ε	修正 后读数 (ε)	剪切力 τ (kPa)	序数 j	转角 修正量 $\Delta\theta$	修正 后转角 θ	仪表 读数 ε'	修正 后读数 (ε')	剪切力 τ (kPa)
仪表初读数			$\varepsilon_0 =$; $\varepsilon'_0 =$			剪应力 $\tau_j = K\xi(\varepsilon_j - \varepsilon_0) =$ $\tau'_j = K\xi(\varepsilon'_j - \varepsilon'_0) =$ 强度 $s_u = (\tau_i)_{\max} =$ $s'_u = (\tau'_i)_{\max} =$ $s_{ur} = (\tau_j)_{\min} =$ $\Delta\theta_j = \frac{7.2 \times 10^{-5} l (M_1) j}{\pi^2 (d_1^4 - d_2^4)} ;$ 转角修正量 修正后转角 $\theta_j = j^\circ - \Delta\theta_j$									
读数计量单位															
轴杆 摩擦 读数	原状	$\varepsilon_0 =$													
	重塑														

项目负责人：

校核：

记录：

C.1.5 十字板剪切试验成果可按表 C.1.5 的格式绘制

表 C.1.5 十字板剪切试验成果图

[illegible]

记录:

C.1.6 旁压试验数据可按表 C.1.6 的格式记录

表 C.1.6 旁压试验记录表

工程名称		试验点号		孔口高程						(m)			
工程地点		旁压器号		试验深度						(m)			
试验孔号		成孔工具		静止水位埋深						(m)			
测管水位离孔口高度				(m)	旁压器中腔所受静水压力					(kPa)			
试验土层描述					试验日期								
顺 序 号	压力 P (kPa)			测管水位位移 S (cm)（累计值）							1/ S		
	压力表 读数 P_m	总压力 $P_m + P_w$	弹性膜 约束力 P_i	校正后 压力 P	S_m					仪器综合变 形校正 值 $\alpha_{p_m + p_w}$		校正 后 S	
					15s	30s	60s	120s	180s				ΔS

项目负责人：

校核：

记录：

C.2 基桩静载试验现场检测记录表

C.2.1 单桩竖向抗压/抗拔静载试验数据可按表 C.2.1 的格式记录

表 C.2.1 单桩竖向抗压/抗拔静载试验记录表

工程名称				桩号				试验日期			
桩型				龄期		(d)		仪器设备编号			
荷载级别	油压 (MPa)	荷载 (kN)	测读 时间	位移测量仪表读数(mm)				本级位移 (mm)	累计位移 (mm)	备注	
				表 1	表 2	表 3	表 4				

校核：

检测：

- 注： 1 对抗压桩表中位移可更换为沉降，对抗拔桩表中位移可更换为上拔量；
- 2 对锚桩法中的锚桩上拔位移监测也可按本表格进行记录；
- 3 采用慢速维持荷载法的单桩水平静载试验数据可按此表的格式记录。

C.2.2 单向多循环加载法的单桩水平静载试验数据可按表 C.2.2 的格式记录

表 C.2.2 单向多循环加载法单桩水平静载试验记录表

工程名称				桩号		上下表距		试验日期				
桩型		龄期				(d)		仪器设备编号				
油压 (MPa)	荷载 (kN)	观测 时间	循环 数	加载		卸载		水平位移 (mm)		加载上 下表读 数差	转角	备注
				上表	下表	上表	下表	加载	卸载			

校核:

检测:

C.2.3 单桩自平衡法静载试验数据可按表 C.2.3 的格式记录

表 C.2.3 单桩自平衡法静载试验记录表

工程名称							桩号				试验日期					
桩型尺寸					荷载箱埋设位置				仪器设备编号				龄期		(d)	
荷载 (kN)	记录 时间 (h•min)	间隔 时间 (min)	向上位移 s_u (mm)				向下位移 s_d (mm)				桩顶位移 s (mm)					
			表 1	表 2	平均	累计	表 1	表 2	平均	累计	表 1	表 2	平均	累计		

校核:

检测:

C.2.4 单桩自平衡法静载试验荷载-位移汇总表可按表 C.2.4 的格式记录

表 C.2.4 单桩自平衡法静载试验汇总表

工程名称				桩号		桩型 尺寸		试验 日期	
序号	荷载 (kN)	历时(min)		向上位移 s_u (mm)		向下位移 s_d (mm)		桩顶位移 s (mm)	
		本级	累计	本级	累计	本级	累计	本级	累计

校核:

检测:

C.2.5 空心桩灌芯抗拔静载试验数据可按表 C.2.5 的格式记录

表 C.2.5 空心桩灌芯抗拔静载试验记录表

工程名称							桩号				试验日期				
桩型尺寸							灌芯深度		(m)		芯柱龄期		(d)		
							芯笼尺寸								
荷载 (kN)	油压 读数 (kPa)	间隔 时间 (min)	桩芯位移(mm)				桩顶位移(mm)				钢筋位移(mm)				备注
			表 1	表 2	平 均	累 计	表 1	表 2	平 均	累 计	表 1	表 2	平 均	累 计	

校核:

检测:

C.3 锚杆检测

C.3.1 支护基础锚杆抗拔/锚杆蠕变/锚杆验收试验数据可按表 C.3.1 的格式记录

表 C.3.1 支护基础锚杆抗拔/锚杆蠕变/锚杆验收试验记录表

工程名称				锚杆编号				试验日期				龄期		(d)			
锚杆类型				加载反力装置				仪器设备									
☐ 锚杆轴向拉力标准值				☐ 锚杆承载力特征值				(kN)		最大试验荷载				(kN)			
☐ 基本试验				☐ 验收试验				☐ 多循环加卸载法				☐ 单循环加卸载法				☐ 分级维持荷载法	
千斤顶编号及型号						压力表编号						位移计编号					
荷载 级别	荷载 (kN)	油压 (MPa)	测读 时间 (min)	位移测量仪表读数(mm)			位移(mm)			备注							
				表 1	表 2	平均	增量	累计									

校核:

检测:

C.3.2 锚杆粘结强度试验的传感器测试数据可按表 C.3.2 的格式记录

表 C.3.2 锚杆粘结强度试验的传感器测试记录表

工程名称								
锚杆编号					传感器类型		标定情况	
序号	试验荷载 (kN)	检测日期	测读 时间	测点编号	传感器编号	传感器读数	测点锚杆轴 力(kN)	备注

校核:

检测:

C.3.3 预应力锚杆锁定力测试数据可按表 C.3.3 的格式记录

表 C.3.3 预应力锚杆锁定力测试记录表

工程名称				锚具型号				试验日期				龄期		(d)	
张拉设备编号				测力计类型				标定情况							
序号	锚杆 编号	测力 计编 号	测力计 基准值	环境温 度 (℃)	测读 时间	测力计 读数	力值 (kN)	力值 平均值 (kN)	实测 锁定力值 (kN)	备注					

校核:

检测:

C.3.4 锚杆持有荷载试验数据可按表 C.3.4 的格式记录。

表 C.3.4 锚杆持有荷载试验记录表

工程名称				锚杆编号				试验日期				龄期		(d)			
锚杆类型				试验加载反力装置													
设计锁定力值						(kN)		验收荷载								(kN)	
压力表编号				千斤顶编号及型号						位移计编号							
荷载 级别	油压 (MPa)	荷载 (kN)	测读 时间	位移测量仪表读数(mm)			位移(mm)			备注							
				表 1	表 2	平均	增量	累计									

校核:

检测:

C.3.5 锚杆测力计安装记录可按表 C.3.5 的格式记录

表 C.3.5 锚杆测力计安装记录表

工程名称				安装日期			
锚杆测力计类型				测试项目			
序号	锚杆编号	测点位置	锚杆测力计编号	安装时间	环境温度(℃)	张拉前测力计读数(基准值)(kN)	备注

校核:

检测:

C.3.6 锚杆自由段杆体拉力监测数据可按表 C.3.6 的格式记录

表 C.3.6 锚杆自由段杆体拉力监测记录表

工程名称											
测力计类型						标定情况					
初测日期				上次监测日期				本次监测日期			
锚杆编号	测力计编号	上次拉力(kN)	测读时间	环境温度(℃)	本次测力计读数	本次拉力(kN)	本次拉力变化(kN)	累计拉力变化(kN)	工程实施情况	备注	

校核:

检测:

C.3.7 锚杆锚固段杆体拉力监测数据可按表 C.3.7 的格式记录

表 C.3.7 锚杆锚固段杆体拉力监测记录表

工程名称											
锚杆编号				传感器类型				标定情况			
初测日期				上次监测日期				本次监测日期			
序号	测点编号	传感器编号	上次拉力(kN)	测读时间	本次传感器读数	本次拉力(kN)	本次拉力变化(kN)	累计拉力变化(kN)	工程实施情况	备注	

校核：

检测：

C.4 预应力混凝土桩破坏性试验记录表

C.4.0 预应力混凝土桩破坏性试验数据可按表 C.4.0 的格式记录
表 C.4.0 预应力混凝土桩破坏性试验记录表

检验编号				样品名称									
委托日期		检验日期		检验条件									
检验依据				图 集									
样品规格				仪器编号									
验证样品		端板材质		仪器名称									
检验项目		技术要求		检验结果		检验项目		技术要求		检验结果			
桩型尺寸	长度(mm)				端板尺寸	端面平面度(mm)							
	外径/边长(mm)					外径/边长(mm)							
						内径/边长(mm)							
						厚度(mm)							
	内径/壁厚(mm)				配筋尺寸	主筋数量(根)							
						主筋直径(mm)							
	桩端部倾斜(mm)												
	桩身弯曲度(mm)												
保护层厚度(mm)				螺旋钢筋间距(mm)									
检验项目		技术要求				检验结果							
外观质量	粘皮、麻面和蜂窝												
	桩身合缝漏浆												
	局部磕损												
	内外表面漏筋												
	表面裂缝												
	桩端面平整度												
	断筋脱头												
	桩套箍凹陷												
	内表混凝土塌落												
	桩头和桩套箍与桩身结合面		漏浆										
空洞 蜂窝													

校核:

检测:

C.5 接桩焊接质量检测

C.5.1 渗透法检测试验数据可按表 C.5.1 的格式记录

表 C.5.1 渗透法检测记录表

工程名称				检件名称			检验内容			
检件材质				检验方法			检 验	比例		
表面状况				检件规格				数量		
光照度				渗透剂型号			渗透剂类型			
检验依据				清洗剂型号			观察方法			
验收等级				显像剂型号			显像时间			
坡口形式				焊接方法			试块			
操作 条件	渗透温度			渗透时间			检件温度			
	干燥温度			干燥时间			检验部位			
操作 方法	清洗方法			渗透剂施加方法			检验地点			
	干燥方法			显像剂施加方法			检验日期			
检验部位示意图:										
检验结论:										
备注										

校核:

检测:

C.5.2 磁粉法检测试验数据可按表 C.5.2 的格式记录

表 C.5.2 磁粉法检测记录表

工程名称		检件名称			
仪器型号和编号		检验内容		检验	比例
检件材质		磁粉类型			长度
表面状况		磁化方法		检验部位	
标准试片		电流类型		检件总量	
光照度		磁化方式		接头类型	
检验依据		磁化时间		检验介质	
执行标准		磁粉施加方法		检验地点	
验收等级		检验时机		检验日期	
检验部位示意图:					
检验结论:					
备注					

校核:

检测:

C.5.3 超声波法检测试验数据可按表 C.5.3 的格式记录

表 C.5.3 超声波法检测记录表

工程名称		检验内容			
仪器型号和编号		检件材质		检件名称	
坡口形式		焊缝类型		检件规格	
表面状况		焊接方式		耦合剂	
探头	规格及编号	前沿/角度		扫描线调节	
	规格及编号	前沿/角度		扫描线调节	
采用试块		表面补偿		检验比例	
灵敏度余量		检验时机		检验部位	
探伤灵敏度		检验等级		检验总量	
检验方法		评定等级		检验地点	
检验依据				检验日期	
检测部位示意图:					
检验结论:					
备注					

校核:

检测:

C.6 内 力 测 试

C.6.0 传感器埋设记录可按表 C.6.0 的格式记录

表 C.6.0 传感器埋设记录表

工程名称					安装日期	
点位编号			传感器类型		测试项目	
序号	测点编号	测点位置	传感器编号	埋设完成后读数		备注

校核：

检测：

附录 D 地基土试验数据统计计算方法

D.0.1 本统计计算方法适用于天然土地基和处理后地基的标准贯入、动力触探、静力触探等原位试验数据的标准值计算。

D.0.2 标准贯入、动力触探、静力触探等原位试验数据的标准值，应根据各检测点的试验结果，按单位工程进行统计计算。当试验结果需要进行深度修正时，应先进行深度修正。

D.0.3 原位试验数据的平均值、标准差和变异系数应按下式计算：

$$\phi_m = \frac{\sum_{i=1}^n \phi_i}{n} \quad (\text{D.0.3-1})$$

$$\sigma_f = \sqrt{\frac{1}{n-1} \left[\sum_{i=1}^n \phi_i^2 - \frac{\left(\sum_{i=1}^n \phi_i \right)^2}{n} \right]} \quad (\text{D.0.3-2})$$

$$\delta = \frac{\sigma_f}{\phi_m} \quad (\text{D.0.3-3})$$

式中： ϕ_i ——原位试验数据的试验值或试验修正值；当同一检测孔的同一分类土层中有多个检测点时，取其平均值；当难以按深度划分土层时，可根据原位试验结果沿深度的分布趋势自上而下划分 3 个～5 个深度范围进行统计；

ϕ_m ——原位试验数据的平均值；

σ_f ——原位试验数据的标准差；

δ ——原位试验数据的变异系数；

n ——参与统计的个数。

D.0.4 单位工程同一土层或同一深度范围的原位试验数据的标准值应按下式计算确定：

$$\phi_k = \gamma_s \phi_m \quad (\text{D.0.4-1})$$

$$\gamma_s = 1 - \left(\frac{1.704}{\sqrt{n}} + \frac{4.678}{n^2} \right) \delta \quad (\text{D.0.4-2})$$

式中： ϕ_k ——原位试验数据的标准值；

γ_s ——统计修正系数。

附录 E 圆锥动力触探锤击数修正

E.0.1 当采用重型圆锥动力触探推定地基土承载力或评价地基土密实时，锤击数应按下式修正：

$$N_{63.5} = \alpha_1 N'_{63.5} \quad (\text{E.0.1})$$

式中： $N_{63.5}$ ——修正后的重型圆锥动力触探锤击数（击）；

$N'_{63.5}$ ——实测重型圆锥动力触探锤击数（击）；

α_1 ——修正系数，按表 E.0.1 取值。

表 E.0.1 重型圆锥动力触探锤击数修正系数

$\frac{N'_{63.5}(\text{击})}{\alpha_1}$ 杆长(m)	5	10	15	20	25	30	35	40	≥ 50
2	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
4	0.96	0.95	0.93	0.92	0.90	0.89	0.87	0.86	0.84
6	0.93	0.90	0.88	0.85	0.83	0.81	0.79	0.78	0.75
8	0.90	0.86	0.83	0.80	0.77	0.75	0.73	0.71	0.67
10	0.88	0.83	0.79	0.75	0.72	0.69	0.67	0.64	0.61
12	0.85	0.79	0.75	0.70	0.67	0.64	0.61	0.59	0.55
14	0.82	0.76	0.71	0.66	0.62	0.58	0.56	0.53	0.50
16	0.79	0.73	0.67	0.62	0.57	0.54	0.51	0.48	0.45
18	0.77	0.70	0.63	0.57	0.53	0.49	0.46	0.43	0.40
20	0.75	0.67	0.59	0.53	0.48	0.44	0.41	0.39	0.36

E.0.2 当采用超重型圆锥动力触探评价碎石土（桩）密实时，锤击数应按下式修正：

$$N_{120} = \alpha_2 N'_{120} \quad (\text{E.0.2})$$

式中： N_{120} ——修正后的超重型圆锥动力触探锤击数（击）；

N'_{120} ——实测超重型圆锥动力触探锤击数（击）；

α_2 ——修正系数，按表 E.0.2 取值。

表 E.0.2 超重型圆锥动力触探锤击数修正系数

$\begin{matrix} N'_{120}(\text{击}) \\ \alpha_2 \\ \text{杆长(m)} \end{matrix}$	1	3	5	7	9	10	15	20	25	30	35	40
1	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
2	0.96	0.92	0.91	0.90	0.90	0.90	0.90	0.89	0.89	0.88	0.88	0.88
3	0.94	0.88	0.86	0.85	0.84	0.84	0.84	0.83	0.82	0.82	0.81	0.81
5	0.92	0.82	0.79	0.78	0.77	0.77	0.76	0.75	0.74	0.73	0.72	0.72
7	0.90	0.78	0.75	0.74	0.73	0.72	0.71	0.70	0.68	0.68	0.67	0.66
9	0.88	0.75	0.72	0.70	0.69	0.68	0.67	0.66	0.64	0.63	0.62	0.62
11	0.87	0.73	0.69	0.67	0.66	0.66	0.64	0.62	0.61	0.60	0.59	0.58
13	0.86	0.71	0.67	0.65	0.64	0.63	0.61	0.60	0.58	0.57	0.56	0.55
15	0.86	0.69	0.65	0.63	0.62	0.61	0.59	0.58	0.56	0.55	0.54	0.53
17	0.85	0.68	0.63	0.61	0.60	0.60	0.57	0.56	0.54	0.53	0.52	0.50
19	0.84	0.66	0.62	0.60	0.58	0.58	0.56	0.54	0.52	0.51	0.50	0.48

附录 F 静力触探头率定

F.0.1 探头率定可在特制的率定装置上进行，探头率（标）定设备应符合下列规定：

- 1 探头率定用的测力（压）计或力传感器，其公称量程不宜大于探头额定荷载的两倍，精度不应低于Ⅲ级；
- 2 探头率定达满量程时，率定架各部杆件应稳定；
- 3 率定装置对力的传递误差应小于 0.5%。

F.0.2 率定前的准备工作应符合下列规定：

- 1 连接触探头和记录仪并统调平衡，当确认正常后，方可正式进行率定工作；
- 2 当采用电阻应变仪时，应将仪器的灵敏系数调至与触探头中传感器所贴的电阻应变片的灵敏系数相同；
- 3 触探头应垂直稳固旋转在率定架上，率定架的压力作用线应与被率定的探头同轴，并不应使电缆线受压；
- 4 对于新的触探头应反复预压到额定载荷，反复次数宜为 3 次~5 次，以减少传感元件由于加工引起的残余应力。

F.0.3 触探头的率定可分为固定桥压法和固定系数法两种，其率定方法和资料整理应符合下列规定：

- 1 当采用固定桥压法时，可按下列规定执行：
 - 1) 选定量测仪器的供桥电压，电阻应变仪的桥压应是固定的；
 - 2) 逐级加荷，一般每级为最大贯入力的 1/10；
 - 3) 每级加荷均应标明输出电压值或测记相应的应变值；
 - 4) 每次率定，加卸荷不得少于 3 遍，同时对顶柱式传感器还应转动顶柱至不同角度，观察载荷作用下读数的变化，其测定误差应小于 1%FS；
 - 5) 计算每一级荷载下输出电压（或应变值）的平均值，绘制

以荷载为纵坐标, 输出电压值(或变量值)为横坐标的率定曲线, 其非线性误差应符合本标准第 5.4.2 条第 6 款的规定;

6) 触探头的率定系数按下式计算:

$$K = \frac{P}{A\varepsilon} \text{ 或 } K = \frac{P}{AU_p} \quad (\text{F.0.3-1})$$

式中: K ——触探头的率定系数 (MPa/ $\mu\varepsilon$ 或 MPa/mV);

P ——率定时所加的总压力 (N);

A ——触探头截面积或摩擦筒面积 (mm^2);

ε —— P 所对应的应变值 ($\mu\varepsilon$);

U_p —— P 所对应的输出电压 (mV)。

2 当采用固定系数法时, 可按下列规定执行:

- 1) 指定一个标定系数 K , 当输出电压每 mV 或画线长每 cm 表示贯入阻力 1MPa、2MPa、4MPa, 按下式计算出输出电压为满量程时, 所需加的总荷载:

$$P = KAl \quad (\text{F.0.3-2})$$

式中: P ——总荷载 (N);

A ——探头截面积或摩擦筒面积 (mm^2);

l ——满量程的输出电压值 (mV) 或记录纸带的宽度 (cm)。

- 2) 输入一个假设的供桥电压 U , 并施加荷载为 $P/2$, 记录笔指针未达满量程的一半处, 则调整供桥电压, 使其指针指于满量程的一半处。然后卸荷, 指针应回到零位。如不归零则调指针归零。如此反复加卸荷, 使记录笔指针从零位往返至满量程的一半处;
- 3) 在调整后的供桥电压下, 按 $P/10$ 逐级加荷至满量程, 分级卸荷使记录笔返回零点;

4) 按上述步骤, 其测试误差应符合本标准第 6.4.2 条第 6 款的规定, 调整后的供桥电压即为率定的供桥电压值。

3 对于探头的分辨率, 当采用电子电位差计测试时, 每伏桥路电压下, 仪器指针画线长度不应小于 0.05 mm; 当以应变量显示时, 仪表的显示值不应小于 $10\mu\varepsilon$ 。

附录 G 自平衡法静载试验等效转换方法

G.0.1 桩身无内力测试元件时, 桩顶等效荷载、位移应按下式转换计算 (图G.0.1) :

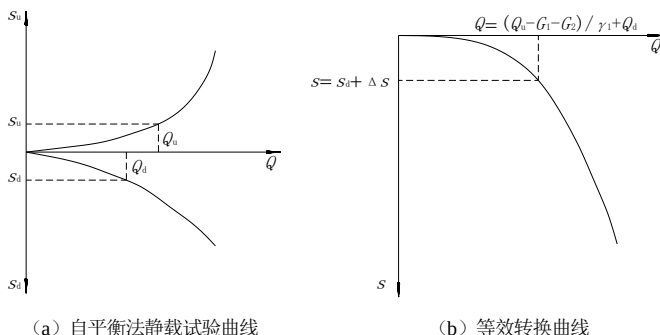


图 G.0.1 自平衡法静载试验结果转换示意

$$Q = \frac{(Q_u - G_1 - G_2)}{\gamma_1} + Q_d \quad (\text{G.0.1-1})$$

$$s = s_d + \Delta s \quad (\text{G.0.1-2})$$

$$\Delta s = \frac{\left(\frac{Q_u - G_1 - G_2}{\gamma_1} + 2Q_d \right) L_u}{2E_p A_p} \quad (\text{G.0.1-3})$$

式中: Q ——桩顶等效荷载 (kN) ;

Q_d ——下段桩的加载值 (kN) , 可直接测定;

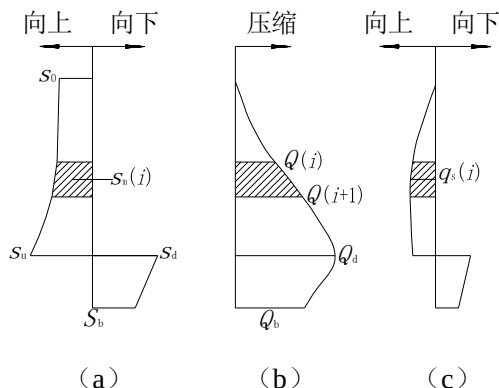
Q_u ——对应于自平衡法 ($Q - S_u$) 曲线中上段桩位移绝对值等于 S_u 时的上段桩荷载 (kN) ;

s ——桩顶等效位移 (m) ;

- s_d ——荷载箱处向下的位移 (m)，可直接测定；
 Δs ——桩身压缩量 (m)；
 L_u ——上段桩长度 (m)；
 E_p ——桩身弹性模量 (kPa)；
 A_p ——桩身截面面积 (m²)；
 G_1 ——荷载箱上部桩的自重 (kN)；
 G_2 ——设计桩顶以上超灌高度的重量、空桩段泥浆或回填土自重及桩顶配重，地下水位以下应取浮重度计算 (kN)；
 γ_1 ——转换系数，根据荷载箱上部土的类型确定：粘性土、粉土 $\gamma_1=0.8$ ，砂土 $\gamma_1=0.7$ ，岩石 $\gamma_1=1.0$ ；若上部有不同类型的土层， γ_1 按厚度取加权平均值。

G.0.2 桩身有内力测试元件时的计算应符合下列规定：

- 1 桩身内力测试依据本标准第12.6节执行；
- 2 将荷载箱以上部分分割成 n 个单元，任意一单元 i 的桩轴向力 $Q(i)$ 和变位置 $s(i)$ 可用下式表示 (图G.0.2)：



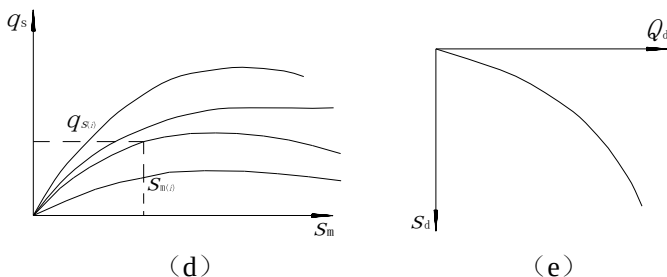


图 G.0.2 自平衡法的轴向力、桩侧摩阻力与变位量的关系

s_0 —桩顶变位； s_u 、 s_d —荷载箱处的向上和向下变位量；

s_b —桩端变位量； Q_d —荷载箱荷载； Q_b —桩端轴向力；

$S_m(i)$ — i 单元中点的变位量； $q_s(i)$ — i 单元的桩侧摩阻力

$$Q(i) = Q_d + \frac{1}{2} \sum_{m=i}^n q_s(m) [U(m) + U(m+1)] h(m) \quad (\text{G.0.2-1})$$

$$s(i) = s_d + \sum_{m=i}^n \frac{Q(m) + Q(m+1)}{A_p(m) E_p(m) + A_p(m+1) E_p(m+1)} h(m) \quad (\text{G.0.2-2})$$

式中： Q_d ——荷载箱荷载（kN）；

s_d ——荷载箱处的向下变位量（m）；

$q_s(m)$ —— m 点（ $i \sim n$ 之间的点）的桩侧摩阻力（假定向上为正值）（kPa）；

$U(m)$ —— m 点处桩周长（m）；

$A_p(m)$ —— m 点处桩截面面积（m²）；

$E_p(m)$ —— m 点处桩弹性模量（kPa）；

$h(m)$ ——分割单元 m 的长度（m）。

3 基桩自平衡法静载试验测出的桩侧摩阻力 $q_s(i)$ 与单元中点变位量 $S_m(i)$ 的曲线可转换为传统桩顶加载的桩侧摩阻力与位移的曲线，通过荷载传递法进行迭代计算可获得等效桩顶荷载及桩顶位移。对于荷载还没有传到荷载箱处时，直接采用荷载箱上段桩（ $Q_u - s_u$ ）曲线进行转换。

附录 H 锚杆加载-卸锚反力装置及测力计

张拉锁定装置图

H.1 锚杆加载反力装置图

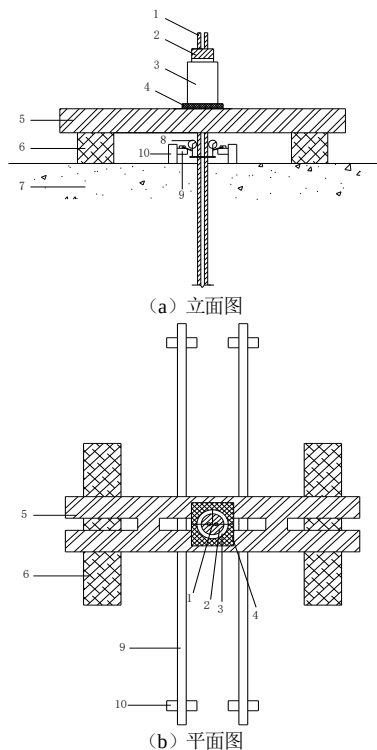


图 H.1-1 支座横梁反力装置示意图

1—试验锚杆；2—工具锚；3—穿心式千斤顶；4—垫板；5—主梁；
6—反力支座；7—垫层；8—位移测量仪表；9—基准梁；10—基准桩

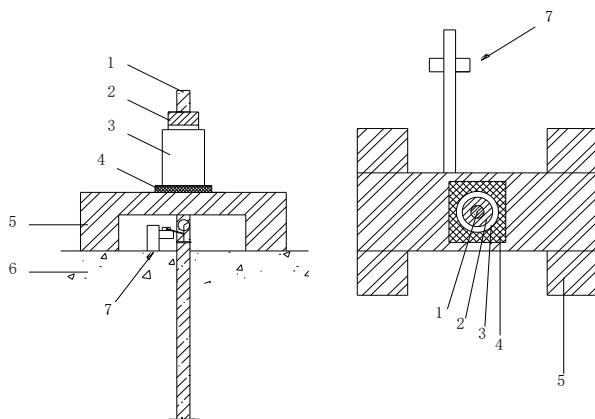


图 H.1-2 支撑凳式反力装置示意图

1—试验锚杆；2—工具锚；3—穿心千斤顶；4—垫板；
5—支撑凳；6—喷射混凝土面层、岩土层；7—基准梁与基准桩

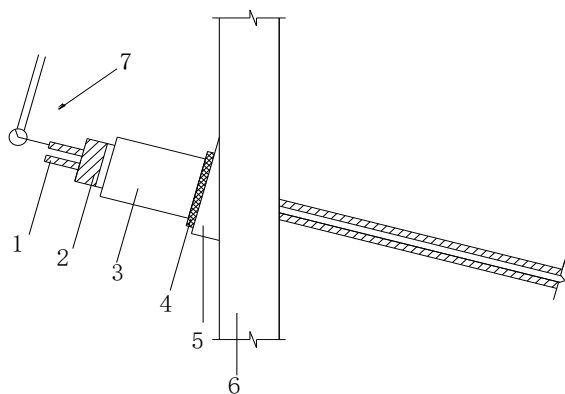


图 H.1-3 承压板式反力装置示意图

1—试验锚杆；2—工具锚；3—穿心千斤顶；
4—承压板；5—腰梁或台座；6—支挡结构；7—位移测量装置

H.2 预应力锚杆张拉与卸锚装置图

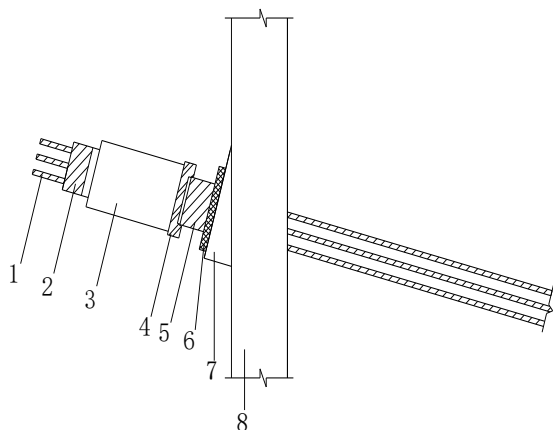


图 H.2-1 锚杆的张拉锁定装置示意图

1—试验锚杆；2—工具锚；3—穿心式千斤顶；4—限位板；
5—工作锚；6—垫板；7—腰梁或台座；8—支撑结构

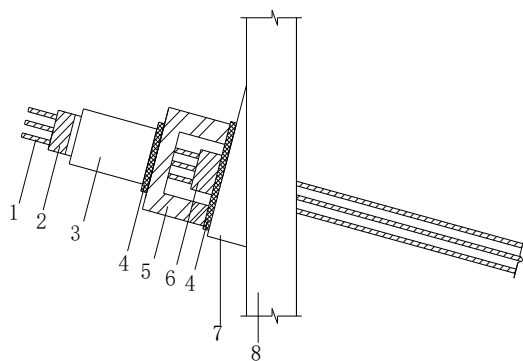


图 H.2-2 锚杆卸锚装置示意图

1—试验锚杆；2—工具锚；3—穿心式千斤顶；4—垫板；
5—支撑凳；6—工作锚；7—腰梁或台座；8—支撑结构

H.3 安装测力计的张拉锁定装置图

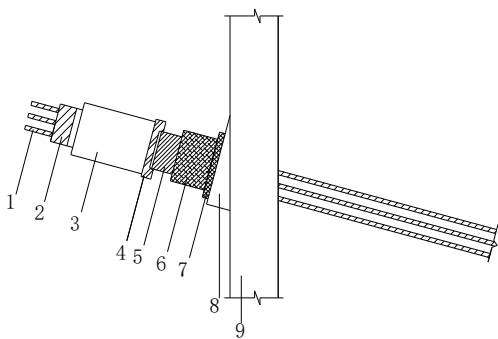


图 H.3 安装锚杆测力计的锚杆张拉锁定装置示意图

1—试验锚杆；2—工具锚；3—穿心式千斤顶；4—限位板；5—工作锚；
6—测力计；7—垫板；8—腰梁或台座；9—支撑结构

附录 J 施 工 测 量

J.1 一 般 规 定

J.1.1 施工材料包括建筑物施工放样、轴线投测和标高传递等。

J.1.2 施工应进行放线、放样、标高、轮廓尺寸、垂直度及允许偏差测量。

J.2 仪 器 设 备

J.2.0 测量仪器可采用水准仪、全站仪、经纬仪、钢尺、测绳、井径仪、水平尺等，除应满足本标准第 3.2.2 条第 3 款的要求外，尚应符合第 12.7.4 条和第 12.7.11 条第 4 款第 4 项的规定。

J.3 现 场 测 量

J.3.1 施工项目应建立施工控制网，精度应满足施工要求。

J.3.2 建筑物施工控制网布设和施工放样应符合现行国家标准《工程测量标准》GB 50026 的相关规定。

J.3.3 结构实体位置与尺寸偏差检验项目及检验方法应符合现行国家标准《建筑地基基础工程施工质量验收标准》GB 50202、《混凝土结构工程施工质量验收规范》GB 50204、《砌体结构工程施工质量验收规范》GB 50203 及《钢结构工程施工质量验收标准》GB 50205 的相关规定。

J.4 测量精度及允许偏差

J.4.1 建筑物施工控制网的主要技术要求和测量允许偏差应符合

现行国家标准《工程测量标准》GB 50026 的相关规定。

J.4.2 放线尺寸、基桩放样允许偏差、基础标高、基础轮廓，基桩桩长、桩径、桩位偏差、桩顶标高及桩垂直度偏差观测结果等应符合现行国家标准《建筑地基基础工程施工质量验收标准》GB 50202 及设计要求的相关规定。

J.4.3 锚杆长度、直径、位置、标高观测结果等应符合质量验收检验标准及设计要求。

J.4.4 喷射混凝土层的厚度应符合质量验收检验标准及设计要求。

J.4.5 结构工程验收位置偏差除应符合设计要求外，尚应符合下列规定：

1 现浇结构及设备基础和装配式结构构件的尺寸和位置允许偏差及检验方法应符合现行国家标准《混凝土结构工程施工质量验收规范》GB 50204 的相关规定；

2 砌体结构的尺寸和位置允许偏差及检验方法应符合现行国家标准《砌体结构工程施工质量验收规范》GB 50203 的规定；

3 钢结构工程外形尺寸及安装位置偏差及检验方法应符合现行国家标准《钢结构工程施工质量验收标准》GB 50205 的相关规定；

4 钢管混凝土结构工程外形尺寸及安装位置偏差及检验方法应符合现行国家标准《钢管混凝土工程施工质量验收规范》GB 50628 的相关规定；

5 木结构尺寸及安装位置偏差及检验方法应符合现行国家标准《木结构工程施工质量验收规范》GB 50206 的相关规定；

6 组合结构尺寸及安装位置偏差及检验方法应符合现行强制性工程建设规范《组合结构通用规范》GB 55004 的相关规定。

J.5 数据分析与判定

J.5.1 观测数据处理应按本标准第 12.7.7 条～12.7.9 条及相关规定执行。

J.5.2 观测报告除应满足本标准第 12.7.10 条的规定外，尚应包括下列内容：

- 1** 放线、轴线、基桩放样、基础标高、基础轮廓复核结果；
- 2** 基桩桩长、桩径、桩位偏差、桩顶标高及桩垂直度复核结果；
- 3** 锚杆长度、直径、位置、标高复核结果；
- 4** 喷射混凝土层的厚度、表面质量检测结果；
- 5** 围护结构的表观质量、平整度、构件的几何尺寸和垂直度偏差、位置偏差、标高等复核结果。

附录 K 场地、地基及周边环境变形观测

K.1 一般规定

K.1.0 场地、地基及周边环境变形观测包括场地沉降观测、地基土分层沉降观测、斜坡位移监测、周边环境变形观测，应按照现行国家标准《建筑变形测量规范》JGJ 8 的相关规定执行。建筑场地沉降观测应测定建筑影响范围内的相邻地基沉降、建筑影响范围之外的场地地面沉降。

K.2 建筑场地沉降观测

K.2.1 地基的沉降观测应在建筑施工前开始进行，变形观测可采用四等监测精度，点位间距宜为 30m~50m，定期出具监测报告，出现异常情况及时报警。

K.2.2 建筑场地沉降观测的周期应根据不同任务要求、产生沉降的不同情况以及沉降速率等因素具体分析确定，并应符合下列规定：

1 基础施工期间的相邻地基沉降观测，基坑降水时和基坑开挖过程中应每天观测 1 次。混凝土底板浇完 10d 以后，每 2d~3d 观测 1 次，直至地下室顶板完工和水位恢复，若水位恢复时间较短、恢复速度较快，应在水位恢复的前后 1 周内每 2d~3d 观测 1 次，同时应观测水位变化，此后可每周观测 1 次，直至填土完工；

2 在上部结构施工期间的相邻地基沉降观测和场地地面沉降观测的周期可按照本标准附录 L 基础变形观测的相关规定执行。

K.3 地基土分层沉降观测

K.3.1 地基土分层沉降观测应测定场地及地基内部各分层土的沉

降量、沉降速率以及有效压缩层的厚度。

K.3.2 分层沉降可采用分层沉降计、沉降磁环或直接埋设分层沉降标志的方法。分层沉降计、沉降磁环以及分层沉降标志的埋设，在填土区可在填土时分层埋设，在原状土区时可采用钻孔法埋设。

K.3.3 分层沉降观测宜采用二等沉降观测精度。分层沉降观测应采用水准测量分别测出各标顶的高程，或采用分层沉降仪分别测量各土层的压缩量，计算各土层的沉降量。

K.3.4 分层沉降观测应从基坑开挖后基础施工前开始，直至建筑竣工后沉降稳定时为止。观测周期可按照本标准附录 L 的相关规定执行。首期观测应在标志埋好 7d 后进行。

K.4 斜坡位移监测

K.4.1 斜坡位移监测用于监测存在不良地质作用的建筑边坡或存在对建筑安全和稳定有影响的自然斜坡和人工边坡，监测内容应根据斜坡滑移的危害程度或防治工程等级确定，可根据工程的不同阶段按表 K.4.1 的规定进行选择。

表 K.4.1 斜坡位移监测内容

阶段	主要监测内容
前期	地表（或边坡表面）裂缝
整治期	地表（或边坡）的水平位移或垂直位移、深部钻孔倾斜、土体或岩体应力、地下水位
整治后	地表（或边坡）的水平位移或垂直位移、深部钻孔倾斜、地表倾斜、地表（或边坡表面）裂缝、土体或岩体应力、地下水位

K.4.2 斜坡位移监测可采用二等或三等精度。对局部斜坡或人工高边坡不应低于四等精度。当有特殊要求时，应另行确定监测精度。

K.4.3 斜坡位移监测的频率应视斜坡的发育程度及季节变化等情况确定，并应符合下列规定：

- 1 雨季宜每半月或 1 月观测 1 次，旱季可每季度观测 1 次；
- 2 当发现滑移速度增快，或遇暴雨、地震、解冻等情况时，应

提高观测频率；

3 当发现有大范围的滑移可能或有其他异常时，应在确保观测作业安全的前提下提高观测频率，并立即将观测结果报告委托方。

K.5 周边环境变形

K.5.1 当某建筑的施工或运营对周边的其他建筑、道路、管线、地面等造成影响，导致周边环境可能发生变化时，应对周边环境进行变形观测。

K.5.2 周边环境变形测量应根据具体变形对象和变形类型，分别采用本附录的相应方法进行。

K.5.3 周边环境监测应根据需要延续至变形趋于稳定状态后结束。

K.5.4 数据处理与变形评价应按本标准第 12.7.7 条～第 12.7.9 条的相关规定执行。

K.5.5 观测报告除应满足本标准第 12.7.10 条的规定外，尚应包括相下列内容：

- 1** 相邻地基沉降的距离-沉降曲线和场地地面等沉降曲线；
- 2** 各土层荷载-沉降-深度曲线和各土层沉降量-填土高度时程曲线；
- 3** 监测点位移综合曲线；
- 4** 斜坡滑移的边界、面积、滑动量、滑动方向、主滑线以及滑动速度资料等。

附录 L 基础变形观测

L.1 一般规定

L.1.0 基础变形观测包括沉降观测、水平位移观测、倾斜观测、裂缝观测、挠度观测、收敛变形观测等。

L.2 基础沉降观测

L.2.1 沉降观测应测定建筑基础的沉降量、沉降差及沉降速度，并应根据需要计算基础倾斜、局部倾斜、相对弯曲及构件倾斜。

L.2.2 沉降观测应根据现场作业条件采用水准测量、静力水准测量或三角高程测量等方法。

L.2.3 沉降观测的精度等级应符合现行行业标准《建筑变形测量规范》JGJ 8 的相关规定，建筑基础和上部结构的沉降观测精度不应低于三等。

L.2.4 首次测量（即零周期）应连续进行两次的独立观测，并取观测结果的中数作为测量初始值。首次测量的时间对一般建筑可在基础完工后或地下室砌完后开始观测，对大型、高层建筑可在基础垫层或基础底部完成后开始观测。

L.2.5 建筑施工阶段的沉降观测频次应根据建筑物的地基类型和加荷情况合理确定：

1 装配式钢筋混凝土结构、砖砌外墙的单层或多层的工业厂房，按不同施工阶段，分别进行 1 次观测；

2 多层民用建筑物及其他工业建筑物，每施工完毕 1 层～3 层楼后观测 1 次，观测总次数不应少于 5 次，竣工后的观测周期可根据建（构）筑物的稳定情况确定；

3 高层建筑施工期间的观测周期应每增加 1 层～2 层观测 1 次，

封顶后应每 3 个月观测 1 次，应观测 1 年；若最后 2 个观测周期的平均沉降速率小于 $0.02\text{mm}/\text{日}$ ，可认为整体趋于稳定，若各沉降观测点的沉降速率均小于 $0.02\text{mm}/\text{日}$ ，可终止观测；不满足时，应继续按 3 个月间隔进行观测，应在最后两期建筑物稳定指标符合规定停止观测；

4 加固地基上的多层建筑逐层监测，高层每增加 2 层~3 层观测 1 次；

5 对于改扩建工程逐层监测；

6 建筑物设备安装和装修各测 1 次；

7 建筑物完工交付使用前观测 1 次；

8 若建筑施工均匀增高时，应至少在增加荷载的 25%、50%、75%和 100%时各测 1 次；

9 施工过程中如出现停工，在停工时及重新开工时各观测 1 次。停工期间，视需要进行观测；

10 有特殊荷载要求的，视具体情况确定观测频次。

L.2.6 建筑运营阶段观测频次应视地基土类型和沉降速率大小而定。第一年观测频次宜为 3 次~4 次，第二年观测频次宜为 2 次~3 次，以后每年观测 1 次，直至稳定或满足观测要求为止。有特殊要求者可调整观测频次。

L.2.7 在观测过程中，如有基础附近地面荷载突然增减、基础四周大量积水、长时间连续降雨等情况，应增加观测次数。当建筑物突然发生急剧沉降、不均匀沉降或严重裂缝时，应立即进行逐日或几天一次的连续观测。

L.2.8 沉降稳定标准：应根据沉降量与时间关系曲线判定建筑物沉降稳定与否，具体取值宜结合地基土的压缩性、岩土工程等级等确定。当最后 100d 的沉降速率小于 $0.01\text{mm}/\text{d} \sim 0.02\text{mm}/\text{d}$ ，可认为已进入稳定阶段，一级岩土工程沉降速率 $< 1\text{mm}/100\text{d}$ 。

L.2.9 应以表格的形式整理全部观测点的观测数据，绘制时间-沉

降曲线，并计算每个观测点的本次观测结果和累计沉降量，沉降速率；也可计算建筑物平均沉降量、基础倾斜，局部倾斜、沉降差、基础相对弯曲等。

1 基础倾斜可按下式计算：

$$\alpha = \frac{s_i - s_j}{L} \quad (\text{L.2.9-1})$$

式中： α ——基础倾斜度；

s_i ——基础倾斜方向观测点 i 的沉降量（mm）；

s_j ——基础倾斜方向观测点 j 的沉降量（mm）；

L ——观测点 i, j 之间的距离（mm）。

基础局部倾斜也可按上式计算。此时取砌体承重结构沿纵墙 6m~10m 内基础上两观测点 i, j 的沉降量为 s_i, s_j ，两点 i, j 间的距离为 L 。

2 基础相对弯曲可按下式计算：

$$f_c = \frac{2s_k - (s_i + s_j)}{L} \quad (\text{L.2.9-2})$$

式中： f_c ——基础相对弯曲；弯曲量以向上凸起为正，反之为负；

s_k ——基础中观测点 i, j 之间的中点 k 的沉降量（mm）。

L.3 水平位移观测

L.3.1 水平位移按坐标系统可分为横向水平位移、纵向水平位移及特定方向水平位移。横向水平位移和纵向水平位移可通过监测点的坐标测量获得，特定方向水平位移可直接测定。

L.3.2 应根据现场作业条件采用全站仪测量、卫星导航定位测量、激光测量或近景摄影测量等方法。

L.3.3 水平位移观测周期应符合下列规定：

- 1 施工期间可在建筑每加高 2 层~3 层观测 1 次，主体结构封顶后可每 1 月~2 月观测 1 次；
- 2 使用期间可在第一年观测 3 次~4 次，第二年观测 2 次~3 次，第三年后每年观测 1 次，直至稳定为止；
- 3 若在观测期间发现异常或特殊情况应提高观测频率。

L.4 倾 斜 观 测

L.4.1 建筑施工过程中及竣工验收前宜对建筑上部结构或墙面、柱等进行倾斜观测。建筑运营阶段，当发生倾斜时，应及时进行倾斜观测。

L.4.2 观测方法可采用经纬仪投点法、前方交会法、正垂线法、激光准直法、差异沉降法、倾斜仪测记法等，地基基础工程倾斜观测宜采用差异沉降法。

L.4.3 观测精度宜采用三等水平位移观测精度。

L.4.4 倾斜观测周期宜根据倾斜速率每 1 月~3 月观测 1 次；当出现基础附近因大量堆载或卸载、场地降雨长期积水等导致倾斜速度加快时，应提高观测频率；施工期间倾斜观测的周期和频率，宜与沉降观测同步。

L.5 裂 缝 观 测

L.5.1 对建筑基础结构上明显的裂缝应进行裂缝观测，监测内容包括裂缝的位置分布和走向、长度、宽度、深度及其变化情况。深度观测宜选在裂缝最宽的位置。

L.5.2 裂缝观测方法应符合下列规定：

- 1 对数量少、量测方便的裂缝，可分别采用比例尺、小钢尺或游标卡尺等工具定期量测标志间距离求得裂缝变化值，或用方格网

板定期读取坐标差计算裂缝变化值；

2 对大面积且不利于人工量测的众多裂缝，宜采用前方交会或单片摄影方法观测；

3 当需要连续监测裂缝变化时，可采用测缝计或传感器自动测记方法观测；

4 对裂缝深度量测，当裂缝深度较小时宜采用凿出法和单面接触超声波法监测；当深度较大时，宜采用超声波法监测。

L.5.3 裂缝的宽度量测精度不应低于 1.0mm，长度量测精度不应低于 10.0mm，深度量测精度不应低于 3.0mm。

L.5.4 裂缝观测周期应根据裂缝变化速率确定。初期可半个月测 1 次，以后宜每月测 1 次，当发现裂缝加大时，应提高观测频率，必要时应持续观测。

L.6 挠 度 观 测

L.6.1 当建筑基础、桥梁、大跨度构件、建筑上部结构、墙、柱等发生挠度变形或有要求时应进行挠度观测。

L.6.2 挠度观测精度可采用二等或三等。

L.6.3 挠度观测可与沉降观测同时进行，应分别进行竖向观测和横向观测。竖向挠度值和横向挠度值应按照现行国家行业标准《建筑变形测量规范》JGJ 8 的相关规定的计算。

L.7 收敛变形观测

L.7.1 对矿山法施工的隧道围岩和衬砌结构、盾构法施工的隧道拼装环管片、其他地下坑道或结构等应进行收敛变形观测。

L.7.2 收敛变形观测应以测线长度测量中误差作为精度衡量指标。

L.7.3 对一等和二等精度观测应采用固定测线法，对三等和四等精度观测可采用固定测线法、全断面扫描法或激光扫描法。

L.8 基础沉降观测

L.8.1 观测数据处理应按本标准第 12.7.7 条～12.7.9 条及相关规定执行。

L.8.2 观测报告除应满足本标准第 12.7.10 条的规定外，尚应包括下列内容：

- 1 时间-荷载-沉降曲线和等沉降曲线；
- 2 水平位移图；
- 3 倾斜曲线；
- 4 裂缝位置分布图和裂缝变化曲线；
- 5 挠度曲线；
- 6 固定测线或收敛断面布置图及收敛变形观测成果图。

附录 M 地下工程变形监测

M.1 一般规定

M.1.1 地下工程变形监测项目和内容应根据埋深、地质条件、地面环境、开挖断面和施工方法等因素综合确定，监测内容应根据工程需要和设计要求按表 M.1.1 选择。

表 M.1.1 地下工程变形监测项目

阶段	项目		主要监测内容	
地下工程施工阶段	地下建（构）筑物 基坑	支护结构	位移监测	支护结构水平侧向位移、垂直位移
				立柱水平位移、垂直位移
			挠度监测	桩墙挠曲
		应力度监测		桩墙侧向水土应力和桩墙内力、支护结构界面上侧向压力、水平支撑轴力、地基反力、地层压力、静水压力及浮力
		地基	位移监测	基坑回弹、分层地基土沉降
			地下水	基坑内外地下水位、坑内渗漏
		结构、基础	位移监测	主要柱基、墩台的垂直位移、水平位移、倾斜
				连续墙水平侧向位移、垂直位移、倾斜
				建筑裂缝
				底板垂直位移
			挠度监测	桩墙（墙体）挠曲、梁体挠度
			应力度监测	侧向地层抗力及地基反力、地层压力、静水压力及浮力

续表 M.1.1

阶段	项目		主要监测内容	
地下工程施工阶段	地下隧道	隧道结构	位移监测	隧道拱顶下沉、隧道底面回弹、衬砌结构收敛变形
				衬砌结构裂缝
				围岩内部位移
			挠度监测	侧墙挠曲
			地下水	地下水位、渗漏
			应力监测	围岩压力及支护间应力、锚杆内力和抗拔力、钢筋格栅拱架内力及外力、衬砌内应力及表面应力
	受影响的地面建（构）筑物、地表沉陷、地下管线	地表面、地面建（构）筑物、地下管线	位移监测	地表沉陷
				建（构）筑物水平位移、垂直位移、倾斜
				建（构）筑物裂缝
				地下管线水平位移、垂直位移
				土体水平位移
			地下水	地下水位
地下工程运营阶段	地下建（构）筑物	结构、基础	位移监测	主要柱基、墩台的垂直位移、水平位移、倾斜
				连续墙水平侧向位移、垂直位移、倾斜
				建筑裂缝
				底板垂直位移
			挠度监测	连续墙挠曲、梁体挠度
			地下水	地下水位、渗漏
	地下隧道	结构、基础	位移监测	衬砌结构变形
				衬砌结构裂缝
				拱顶下沉
				底板垂直位移
			挠度监测	侧墙挠曲

M.1.2 地下工程运营期间变形监测，其内容可减少，监测周期也可延长，但应满足运营安全监控的需要。

M.2 监测方法

M.2.1 水平位移观测可采用交会法、视准线法、极坐标法、自由设站法、激光准直法、三维激光扫描法等，也可采用全站仪自动跟踪测量法。

M.2.2 垂直位移观测宜采用水准测量方法或静力水准测量方法，精度满足要求时也可采用电磁波测距三角高程测量法或三维激光扫描法。

M.2.3 地下建（构）筑物、地下隧道在施工和运营初期应对受影响的地面建（构）筑物、地表和地下管线等进行同步变形测量，并应符合下列规定：

1 地面建（构）筑物的垂直位移变形观测点应布设在建筑物的主要柱基上，水平位移变形观测点宜布设在建筑物外墙的顶端和下部等变形敏感部位，点位间距宜为 15m~20m；

2 地表沉陷变形观测点应布设在地下工程的变形影响区内，新奥法隧道施工时，地表沉陷变形观测点应沿隧道地面中线呈横断面布设，断面间距宜为 10m~50m，两侧的布点范围宜为隧道深度的 2 倍，每个横断面不少于 5 个变形观测点；

3 变形区内的燃气、上下水和热力等地下管线的变形观测点，宜设立在管顶或检修井的管道上，变形观测点可采用抱箍式和套筒式标志；当不能在管线上直接设点时，可在管线周围土体中埋设位移传感器间接监测管线的变形；

4 变形观测宜采用水准测量方法、极坐标法、交会法等。

M.2.4 地下工程变形监测的各种传感器应布设在不良地质作用、断层、衬砌结构裂缝部位及其他变形敏感的部位，应同时兼顾水平位移和垂直位移变形观测点的布设；应力、应变的数据采集宜自动化，监测周期宜与变形监测周期同步。

M.3 监测精度

M.3.1 监测的精度，应根据工程需要和设计要求确定。

M.3.2 重要地下建（构）筑物的结构变形和地基基础变形宜采用二等精度，一般的结构变形和基础变形可采用三等精度。

M.3.3 重要的隧道结构、基础变形可采用三等精度，一般的结构、基础变形可采用四等精度。

M.3.4 受影响的地面建（构）筑物的变形监测精度应符合现行国家标准《工程测量标准》GB 50026 的相关规定，地面沉陷和地下管线变形监测精度不宜低于三等。

M.4 监测周期

M.4.1 地下建（构）筑物的变形监测周期应根据埋深、岩土工程条件、建筑结构特点和施工进度确定。

M.4.2 隧道变形监测周期应根据隧道的施工方法、支护衬砌工艺、横断面的大小以及隧道的岩土工程条件等因素合理确定；当采用新奥法施工时，新设立的拱顶下沉变形观测点的初始观测值应在隧道下次掘进爆破前获取，变形观测周期应符合表 M.4.2 的规定；当采用盾构法施工时，对不良地质构造、断层和衬砌结构裂缝的隧道断面的变形监测周期，在变形初期宜每天观测 1 次，变形相对稳定后可延长，稳定后可终止观测。

表 M.4.2 新奥法施工拱顶下沉变形监测的周期

阶段 (d)	0~15	16~30	31~90	>90
观测周期	1 次/d~2 次/d	1 次/2d	1 次/周~2 次/周	1 次/月~3 次/月

M.4.3 对于基坑周围建（构）筑物的变形观测应在基坑开始开挖或降水前进行初始观测，回填完成后可终止观测，其变形监测宜与基坑变形监测同步。

M.4.4 对于受隧道施工影响的地面建（构）筑物、地表和地下管

线等的变形监测应在开挖面距前方监测体的距离等于隧道埋深和隧道高度之和时进行初始观测，观测初期宜每天观测 1 次~2 次，相对稳定后可延长监测周期，恢复稳定后可终止观测；当采用新奥法施工时，地面建（构）筑物、地表沉陷的观测周期应符合表 M.4.4 的规定。

表 M.4.4 新奥法施工地面建（构）筑物、地表沉陷的观测周期

监测体或监测断面距开挖工作面的前、后距离	$L < 2B$	$2B \leq L < 5B$	$L \geq 5B$
观测周期	1 次/d~2 次/d	1 次/2d	1 次/周

注：1 表中 L 为监测体或监测断面距开挖工作面的前、后距离（m），B 为开挖面宽度（m）；
2 新奥法施工时，当地面建（构）筑物、地表沉陷观测 3 个月后，可根据变形情况将观测周期调整为每月观测 1 次，恢复稳定后可终止观测。

M.4.5 地下工程施工期间当监测体的变形速率明显增大时，应增加观测次数至每周多次或每日多次，当变形量达到预警值或有事故征兆时，应持续观测。

M.4.6 地下工程在运营初期，第一年宜每季度观测 1 次，第二年宜每半年观测 1 次，以后宜每年观测 1 次，但在变形速率增大时应增加观测次数。

M.5 隧道的变形监测

M.5.1 隧道的变形监测应对临近开挖面的隧道断面、不良地质构造、断层和衬砌结构裂缝较多的隧道断面的变形进行监测。

M.5.2 隧道内的基准点应埋设在变形区外相对稳定的地方或隧道横通道内，可设立深层钢管标，位移监测基准点个数不宜少于 3 个点。

M.5.3 变形观测点应按断面布设，当采用新奥法施工时，断面间距宜为 10m~50m，点位应布设在隧道的顶部、底板和两腰，项目需要时可加密布设，新增设的监测断面宜靠近开挖面；当采用盾构

法施工时监测断面应选择并布设在不良地质构造、断层和衬砌结构裂缝的部位。

M.5.4 隧道拱顶下沉和底面回弹宜采用收敛计法、断面测量法和水准测量方法；三等及以下精度要求的，也可采用全站仪自动跟踪测量法。

M.5.5 衬砌结构收敛变形宜采用收敛计进行监测，也可采用极坐标法测量、全站仪自由设站法、三维激光扫描等方法。

M.5.6 可在地表布设沉降监测横断面，埋设土体分层沉降计、沉降磁环、测斜管等。

M.6 裂 缝 观 测

M.6.1 地下建筑物的建筑裂缝观测应按附录 L.5 节的相关规定执行。

M.6.2 隧道内的基准点应埋设在变形区外相对稳定的地方或隧道横通道内，可设立深层钢管标，位移监测基准点个数不宜少于 3 个点。

M.7 数据分析与判定

M.7.1 观测数据处理应按本标准第 12.7.7 条～12.7.9 条及相关规定执行。

M.7.2 观测报告除应满足本标准第 12.7.10 条的规定外，尚应符合下列规定：

- 1 技术成果报告应包括当日报表、阶段性分析报告和总结报告；
- 2 当日报表应包括下列内容：
 - 1) 当日天气情况和施工现场工况；
 - 2) 仪器监测项目各监测点的本次测试值、单次变化值、变化速率以及累计值等，必要时绘制相关曲线；

- 3) 巡视检查记录;
- 4) 对监测项目应有正常或异常的判断性结论;
- 5) 对达到或超过监测预警值的监测点应有预警标示, 并有分析和建议;
- 6) 对巡检检查发现的异常情况应有详细描述, 危险情况应有报警标示, 并有分析和建议;
- 7) 其他相关说明。

3 阶段性报告应包括下列内容:

- 1) 该监测阶段相应的工程、气象及周边环境概况;
- 2) 该监测阶段的监测项目及测点的布置图;
- 3) 各监测项目数据的整理、统计及监测成果的过程曲线;
- 4) 各监测项目监测值的变化分析、评价及发展预测;
- 5) 相关的设计和施工建议。

4 监测报告应包括下列内容:

- 1) 工程概况;
- 2) 监测依据;
- 3) 监测项目;
- 4) 监测点布置;
- 5) 监测设备和监测方法;
- 6) 监测频率;
- 7) 监测预警值、爆破参数;
- 8) 天气情况、施工现场情况、周边环境概况、巡视检查记录及异常和危险情况记录;
- 9) 日报、阶段性报告、总结报告;
- 10) 基坑变形曲线, 基坑回弹纵、横断面图及工程检测报告;
- 11) 各监测项目全过程的发展变化分析及整体评述;
- 12) 监测工作结论与建议等。

附录 N 基坑变形监测及支护结构检测

N.1 一般规定

N.1.1 符合下列条件的基坑应实施基坑工程监测：

- 1 基坑设计安全等级为一、二级的基坑；
- 2 开挖深度大于或等于 5m 的下列基坑：
 - 1) 土质基坑；
 - 2) 极软岩基坑、破碎的软岩基坑、极破碎的岩体基坑；
 - 3) 上部为土体、下部为极软岩、破碎的软岩、极破碎的岩体构成的土岩组合基坑。
- 3 开挖深度小于 5m 但地质条件、周围环境和地下管线复杂，或影响毗邻建、构筑物安全的基坑。

N.1.2 基坑工程监测及支护结构检测应按现行国家标准《工程测量标准》GB 50026、《建筑基坑工程监测技术标准》GB 50497 和现行行业标准《建筑基坑支护技术规程》JGJ 120 等标准及本标准的有关规定执行，项目宜包括下列内容：

- 1 支护工程结构质量；
- 2 桩墙顶水平位移；
- 3 孔隙水压力；
- 4 土体侧向变形；
- 5 桩墙体变形；
- 6 桩墙体土压力；
- 7 支撑轴力；
- 8 坑底隆起变形；
- 9 地下水位测试；
- 10 锚杆轴力；

- 11 基坑周边地面及建筑的沉降;
- 12 基坑周围地下管线的垂直和水平位移墙体土压力;
- 13 桩墙顶和立柱沉降监测;
- 14 裂缝监测;
- 15 基坑渗漏监测;
- 16 爆破振动监测等。

N.2 监测方法

N.2.1 基坑工程监测方法应根据基坑类别、现场条件、设计要求等进行选择。

N.2.2 对一级基坑宜采用自动化监测方式。

N.2.3 应采用视准线、测小角、前方交会、极坐标、方向线偏移法、卫星导航定位测量或测斜仪等方法进行水平位移观测;测定特定方向上的水平位移时可采用视准线法、小角度法、投点法等;测定监测点任意方向的水平位移时可视监测点的分布情况,采用前方交会法、自由设站法、极坐标法等;当测点与基准点无法通视或距离较远时,可采用 GPS 测量法或三角、三边、边角测量与基准线法相结合的综合测量方法。

N.2.4 应采用几何水准测量、三角高程测量或液体静力水准测量方法进行垂直位移观测。

N.2.5 宜采用应变计、应力计、土压力计、孔隙水应力计、水位计等传感器对支护结构内力、土体压力、孔隙水压力、水位等进行观测。

N.2.6 回弹变形观测点的高程宜采用水准测量方法,基坑开挖前的回弹观测宜采用数字水准仪配以铅垂钢尺读数的钢尺法;较浅基坑的观测可采用数字水准仪配辅助杆垫高水准尺读数的辅助杆法;基坑开挖后的回弹观测应利用传递到坑底的临时工作点,对辅助设

备应进行温度、尺长和拉力等项修正。

N.3 监 测 精 度

N.3.1 基坑围护墙（边坡）顶部、周边建筑、周边管线水平位移监测精度，应根据其水平位移预警值按表 N.3.1 确定。

表 N.3.1 水平位移监测精度要求

工程监测等级		一级	二级	三级	四级
水平位移 预警值	累计值 D (mm)	$D \leq 40$		$40 < D \leq 60$	$D > 60$
	变化速率 v_D (mm/d)	$v_D \leq 2$	$2 < v_D \leq 4$	$4 < v_D \leq 6$	$v_D > 6$
监测点坐标中误差 (mm)		≤ 1.0	≤ 1.5	≤ 2.0	≤ 3.0

- 注：1 监测点坐标中误差是指监测点相对测站点（如工作基点等）的坐标中误差，监测点相对于基准线的偏差中误差为点位中误差的 $1/\sqrt{2}$ ；
2 当根据累计值和变化速率选择的精度要求不一致时，水平位移监测精度优先按变化速率预警值的要求确定；
3 以中误差作为衡量精度的标准。

N.3.2 基坑围护墙（边坡）顶部、立柱、基坑周边地表、管线和邻近建筑、道路的竖向位移监测精度，应根据其竖向位移预警值按表 N.3.2 确定。

表 N.3.2 竖向位移监测精度要求

工程监测等级		四级	四级	四级	四级
竖向位移 预警值	累计值 S (mm)	$S \leq 20$	$20 < S \leq 40$	$40 < S \leq 60$	$S > 60$
	变化速率 v_S (mm/d)	$v_S \leq 2$	$2 < v_S \leq 4$	$4 < v_S \leq 6$	$v_S > 6$
监测点测站高差中误差 (mm)		≤ 0.15	≤ 0.5	≤ 1.0	≤ 1.5

- 注：监测点测站高差中误差是指相应精度与视距的几何水准测量单程一测站的高差中误差。

N.3.3 基坑回弹监测应测定基坑开挖到底及基础浇灌施工前的回弹量，观测精度等级宜采用二级或三级。

N.4 监 测 周 期

N.4.1 基坑变形观测的周期应根据施工进度确定。

N.4.2 基坑变形观测应从基坑支护结构施工开始，基坑开挖期间宜根据基坑开挖深度和基坑安全等级每 1d~2d 观测 1 次，位移速率或位移量大时应每天观测 1 次~2 次，基坑开挖间隙或开挖及桩基施工结束后且变形趋于稳定时可 7d 观测 1 次。

N.4.3 当基坑的位移速率或位移量迅速增大、达到预警值或出现其他异常情况时，应在确保观测作业安全的前提下提高观测频率，并立即报告委托方。

N.5 支护工程检测

N.5.1 支护工程混凝土桩质量检测应符合下列规定：

1 成孔质量检测应按下列规定执行：

- 1) 混凝土灌注桩成孔质量检测方法可按本标准第 12.3 节的规定执行；
- 2) 灌注桩排桩施工前应进行试成孔，试成孔数量应根据工程规模和场地地层特点确定，且不宜少于 2 个孔；
- 3) 对钻孔灌注桩承重桩与支承桩，检测数量不宜少于成孔数的 20%，且不宜少于 10 孔。

2 桩身完整性检测应按下列规定执行：

- 1) 支护工程中的混凝土灌注桩应采用低应变法进行桩身完整性检测，灌注桩排桩检测数量不宜少于总桩数的 20%，且不得少于 10 根，桩墙合一时，低应变法检测数量应为总桩数的 100%；采用声波透射法检测的灌注桩排桩数量不应低于总桩数的 10%，且不应少于 3 根；当根据低应变法或声波透射法判定的桩身完整性为Ⅲ类、Ⅳ类时，应采用钻芯法进行验证；
- 2) 支撑桩完整性检测应采用低应变法、声波透射法或钻芯法，以上 3 种方法检测总数量不应少于总桩数的 10%，且不

应少于 10 根；

- 3) 钢管混凝土支承柱下桩应采用低应变法检测桩身完整性，检测数量为 100%，当发现立柱有缺陷时，应采用声波透射法或钻芯法进行验证；
- 4) 预制桩采用低应变法进行桩身完整性检测，抽检数量不宜少于总桩数的 20%，且不得少于 10 根。

3 应根据按设计要求进行承载力抽检，承载力检测宜采用静载试验方法。

N.5.2 水泥土桩（墙）的强度质量检测应符合下列规定：

1 基坑开挖前水泥土桩（墙）的强度指标应满足设计要求，强度检测宜采用钻芯法，截取芯样进行抗压强度试验，可按本标准第 10 章的相关规定执行；

2 采用水泥土搅拌桩、重力式水泥土墙及高压喷射注浆止水帷幕时，取芯数量不宜少于总桩数的 1%，且不得少于 6 根；

3 采用型钢水泥土搅拌墙时，三轴水泥土搅拌桩取芯数量不宜少于总桩数的 2%，且不得少于 3 根；

4 采用渠式切割水泥土连续墙时，取芯数量宜沿基坑周边每 50 延米取 1 点，且不应少于 3 个点；

5 采用水泥土搅拌桩、高压喷射注浆等土体加固的桩身强度检测宜采用钻芯法，取芯数量不宜少于总桩数的 0.5%，且不得少于 3 根；

6 注浆法加固结束 28d 后，宜采用静力触探、动力触探、标准贯入等原位测试方法对加固土层进行检验，检测点的位置应根据注浆加固布置和现场条件确定，每 200m² 检测数量不应少于 1 个点，且总数量不应少于 5 点。

N.5.3 锚杆质量检测可按本标准第 11 章的规定执行，抽检数量应符合本标准第 11.1.3 条的要求。对施工质量有疑问的支护锚杆，可按本标准第 3.5.1 条第 12 款的规定执行。

N.5.4 地下连续墙质量检测应符合下列规定：

1 混凝土抗压强度应符合设计要求，墙身混凝土抗压强度试块每 100m³ 混凝土不少于 1 组，且每幅墙段不应少于 1 组，每组为 3 件；

2 混凝土抗渗等级应符合设计要求，墙身混凝土抗渗试块每 5 幅墙段不应少于 1 组，每组为 6 件，作为永久结构的地下连续墙抗渗质量标准可按现行国家标准《地下防水工程质量验收规范》GB 50208 的相关规定执行；

3 成槽质量检测方法及检测数量可按本标准第 12.3 节的相关规定执行；

4 地下连续墙墙体完整性检测应选择声波透射法，永久性结构的地下连续墙抽检数量不应少于总槽段数的 20%，且不得少于 6 个槽段，临时性结构的地下连续墙抽检数量不应少于总槽段数的 10%，且不得少于 3 个槽段；当声波透射法检测墙身混凝土质量出现异常时，可补充钻芯法检测，按本标准第 10.1.2 条第 2 款的规定执行；

5 设计有要求时，可利用取芯钻孔作墙体高压注水抗渗试验。

N.5.5 喷射混凝土质量检测应符合下列规定：

1 喷射混凝土厚度应采用钻芯法检查，结构性喷层每 100m² 检查 1 个点，防护性喷层每 400m² 检查 1 个点，隧洞拱部喷层每 50m²~80m² 检查 1 个点，喷层厚度的合格标准为所有检查点中 60% 不小于设计厚度、最小值不应小于设计厚度的 60%，检查孔处喷层厚度平均值不应小于设计厚度；

2 喷射混凝土支护工程应进行喷射混凝土 28d 龄期抗压强度试验，地下工程应进行 1d 龄期抗压强度试验，工作环境有特殊要求的喷射混凝土工程，尚应进行抗冻、抗渗或耐腐蚀性试验；

3 结构性喷射混凝土应进行抗压强度和粘结强度试验，必要时尚应进行抗弯强度、残余抗弯强度（韧性）试验、抗冻性和抗渗性试验；

4 喷射混凝土强度试验标准试块应在喷射混凝土试验板上用切割法或钻芯法取得；

5 抗压强度试件应在工程施工中制取，每 500m² 喷射混凝土取 1 组，小于 500m² 喷射混凝土的独立工程不得少于 1 组，每组试块不得少于 3 个，材料或配合比变更时应另作 1 组；

6 喷射混凝土工程质量检验和验收标准应符合现行国家标准《岩土锚杆与喷射混凝土支护工程技术规范》GB 50086 的相关规定。

N.6 数据分析与判定

N.6.1 观测数据处理与评价应按本标准第 12.7.7 条～12.7.9 条的相关规定执行。

N.6.2 技术成果应包括当日报表、阶段性报告、总结报告。技术成果报告提供的内容应真实、准确、完整，宜用文字阐述和绘制变化曲线或图形相结合的形式表达。除应符合本标准第 12.7.10 条的规定外，尚应按下列规定执行：

1 阶段性监测报告应包括本标准第 M.7.2 条第 3 款的内容；

2 基坑工程监测总结报告除满足本标准第 3.6.3 条的规定外，尚应包括监测项目、测点布置、监测频率、爆破参数、各监测项目全过程的发展变化分析及整体评述、监测工作结论与建议。

附录 P 地下管线测量

P.1 一般规定

P.1.1 地下管线测量适用于埋设在地下的各类管道、电缆的调查和测绘，测量对象包括给水、排水、燃气、热力管道和各类工业管道及电力和通信电缆。

P.1.2 地下管线测量的内容包括查明地下管线种类、平面位置、走向、埋深或高程、规格、性质、材质等，编绘地下管线图应根据需要建立地下管线信息管理系统。

P.2 测量方法

P.2.1 图根控制宜采用 RTK 图根测量、图根导线、极坐标法等，坐标系统和高程基准宜与原有基础资料相一致。

P.2.2 管线点的平面坐标可采用全站仪极坐标法或卫星定位 RTK 法施测，高程可采用水准测量或电磁波测距三角高程测量的方法施测。

P.2.3 成图比例尺宜选用 1:500 或 1:1000，长距离专用管线可选用 1:2000~1:5000。

P.2.4 地下管线调查可采用对明显管线点的实地调查、隐蔽管线点探查、疑难点位开挖等方法确定管线的测量定位。对需要建立地下管线信息系统的项目，还应对管线的属性做进一步调查。应按现行国家标准《工程测量标准》GB 50026 的相关规定执行。

P.3 测量精度

P.3.1 管线点相对于邻近控制点的点位测量中误差不应大于

50mm。

P.3.2 高程测量中误差不应大于 20mm。

P.4 数据分析与判定

P.4.1 地下管线信息系统应按现行国家标准《工程测量规范》GB 50026 的相关规定执行。

P.4.2 当对地下管线信息系统的软硬件进行升级或更新时，必须进行相关数据备份，并在系统和数据安全的情况下进行。

附录 Q 爆破振动监测

Q.1 一般规定

Q.1.0 爆破振动监测应符合现行国家标准《建筑基坑工程监测技术标准》GB 50497 的相关规定。

Q.2 现场监测

Q.2.1 收集基坑开挖爆破规模、爆破方式、孔网、起爆网路、药量等爆破参数。

Q.2.2 合理选择自触发设定值，设置的量程、记录时间及采样频率应满足对被测物理量的监控要求。

Q.2.3 测量过程应避免影响环境振动测量值的非振动源干扰。

Q.2.4 测量过程中应保证仪器电压稳定。

附录 R 地下水监测

R.1 一般规定

R.1.0 地下水监测应包括地下水位监测、孔隙水压力监测、地下水渗漏调查与检测、渗水与降雨监测、压水试验等。

R.2 仪器设备

R.2.1 地下水监测仪器设备可采用水位计、孔隙水压力计、水泵、空气压缩机、供水设备、止水材料、过滤器、测试设备等。

R.2.2 地下水渗漏可采用红外热像仪、超声检测仪、电极与电阻等仪器设备进行检测和监测。

R.3 现场监测

R.3.1 地下水位监测

1 地下水位监测宜采用钻孔内设置水位管或设置观测井,通过水位计进行量测。水位管宜在基坑预降水前至少 1 周埋设,并逐日连续观测水位取得稳定初始值。

2 地下水位量测精度不宜低于 10mm。

3 潜水水位管直径不宜小于 50mm,饱和软土等渗透性小的土层水位管直径不宜小于 70mm,滤管长度应满足量测要求;承压水位监测时被测含水层与其他含水层之间应采取有效的隔水措施。

R.3.2 孔隙水压力监测

1 孔隙水压力宜通过埋设钢弦式或应变式等孔隙水压力计测试。

2 孔隙水压力计量程应满足被测压力范围的要求,可取静水压

力与超孔隙水压力之和的 2 倍，精度不宜低于 $0.5\%F \cdot S$ ，分辨率不宜低于 $0.2\%F \cdot S$ 。

3 孔隙水压力计埋设可采用压入法、钻孔法等。

4 孔隙水压力计埋设前应符合下列规定：

- 1) 孔隙水压力计应浸泡饱和，排除透水石中的气泡；
- 2) 核查标定数据，记录探头编号，测读初始读数。

5 采用钻孔法埋设孔隙水压力计时，钻孔直径宜为 110mm~130mm，不宜使用泥浆护壁成孔，钻孔应圆直、干净；封口材料宜采用直径 10mm~20mm 的干燥膨润土球。

6 孔隙水压力计埋设后应测量初始值，宜逐日量测 1 周以上并取得稳定初始值。

7 应在孔隙水压力监测的同时测量孔隙水压力计埋设位置附近的地下水位。

R.3.3 钻孔压水试验应按照现行行业标准《水电工程钻孔压水试验规程》NB/T 35113 的相关规定执行。

R.3.4 地下水渗漏

1 地下工程渗漏水检测应按照设计的防水等级标准要求进行，包括防水工程观感质量检查、巡视、隐蔽工程验收资料检查，调查渗漏发生时间、部位、渗漏量及发生规律，进行裂缝检测、地下水位监测、渗流量监测等。地下工程出现渗漏水时，应迅速查明原因，及时进行治理，符合设计要求的防水等级后方可验收。

2 地下防水工程应对下列部位重点监测渗漏水情况：

- 1) 基坑工程重点监测渗漏水工程部位包括土体、支护结构、桩头、孔口、坑池等；
- 2) 地下防水工程重点监测渗漏水工程部位包括防水层的基层、防水混凝土结构和防水层被掩盖部位、施工缝、变形缝、后浇带等防水构造、管道穿过防水层的封故部位、渗排水层、盲沟和坑槽、结构裂缝注浆处理部位、衬砌前围岩渗

漏水处理部位、基坑的超挖和回填。

3 地下防水工程的观感质量检查应符合下列规定：

- 1) 防水混凝土应密实，表面应平整，不得有露筋、蜂窝等缺陷；不得有大于 0.2mm 的贯通裂缝；
- 2) 水泥砂浆防水层应密实、平整，粘结牢固，不得有空鼓、裂纹、起砂、麻面等缺陷；
- 3) 卷材防水层接缝应粘贴牢固，封闭严密，防水层不得有损伤、空鼓、折皱等缺陷；
- 4) 涂料防水层应与基层粘结牢固，不得有脱皮、流淌、鼓泡、露胎、折皱等缺陷；
- 5) 塑料防水板防水层应铺设牢固、平整，搭接焊缝严密，不得有下垂、绷紧破损现象；
- 6) 金属板防水层焊接不得有裂纹、未熔合、夹渣、焊瘤、咬边、烧穿、弧坑、针状气孔的缺陷；
- 7) 施工缝、变形缝、后浇带、穿墙管、埋设件、预留通道接头、桩头、孔口、坑、池等防水构造应符合设计要求；
- 8) 锚喷支护、地下连续墙、盾构隧道、沉井、逆筑结构等防水构造应符合设计要求；
- 9) 排水系统不淤积、不堵塞，确保排水通畅；
- 10) 结构裂缝的注浆效果应符合设计要求。

4 地下工程渗漏水调查

- 1) 明挖法地下工程开挖过程中渗漏水调查应随时进行，并记录异常情况，及时反馈；雨季应增加监测频次，并按照应急预案做好准备。调查内容包括周围环境的变化，渗漏水的现状、水源及影响范围，渗漏水的变化规律，衬砌结构的损害程度，运营条件，季节变化，自然灾害，结构稳定性等；
- 2) 明挖法地下防水工程应在混凝土结构和防水层验收合格以

及回填土完成，即可停止降水，待地下水位恢复至自然水位且趋向稳定时，方可进行地下防水工程渗漏调查；

- 3) 房屋建筑地下防水工程应调查混凝土结构内表面的侧墙和底板；地下商场、地铁车站、军事地下车库等单建式地下工程应调查混凝土结构内表面的侧墙、底板和顶板；
- 4) 绘制结构内表面的渗漏水展开图，并标示出发现裂缝的位置、宽度、长度和漏水现象；经堵漏及补强的原渗漏水部位；符合防水等级标准的渗漏水位置。

5 地下工程渗漏水检测

- 1) 检测方法包括巡视、水位监测、孔隙水压力监测、地下水渗流监测、红外热像法、超声法、直流电法、孔内摄像法等，并结合水平位移监测资料综合评价；雨季应增加监测频次；
- 2) 地下防水工程渗漏水检测应按照现行国家标准《地下防水工程质量验收规范》GB 50208 的相关规定执行，可采用红外热像法、超声法、直流电法、孔内摄像法等；
- 3) 记录地下工程渗漏水及治理方法。

6 红外热像法应符合下列规定：

- 1) 红外热像法适用于大面积快速扫描，现场检测用红外热像仪应符合现行行业标准《建筑红外热像检测要求》JG/T 269 的规定；
- 2) 红外热像仪应有足够像素，在进行室内检测时，宜使用像素不小于 640×480 且温度分辨率小于或等于 0.06℃ 的红外热像仪，或采用辅助手段；
- 3) 红外热像法渗漏水现场检测过程中，环境温度变化幅度不超过 2℃，室外风力变化不应超过 2 级，且最大风力不应大于 5 级；
- 4) 检测部位表面不宜有明水，现场检测的拍摄角度不宜超过

45℃；超过 45℃的，应在报告中的红外热谱图旁注明；

- 5) 红外热像法现场检测宜先对被测区域进行普查，获取红外热像图，然后对温度异常部位进行详细检测；拍摄防水层的红外热像图，且同一部位的红外热像图不应少于 2 张，疑似渗漏水部位应适量增加照片数量，并应用草图说明其所在位置，同时应拍摄可见光照片；被检部位面积较大时应分区域进行拍摄，但相邻图像之间应有重合部分；记录并标识被拍摄位置的角度与方向，保存被检部位对应的红外热像图及可见光照片。

7 超声法应符合下列规定：

- 1) 超声法适用于检测渗漏区域混凝土的缺陷形状、大小、位置。现场检测用超声法应符合《混凝土结构现场检测技术标准》GB/T 50784 的规定；
- 2) 检测混凝土渗漏裂缝的深度可用单面平测法、双面斜测法；
- 3) 检测混凝土不密实区、空洞等内部缺陷的位置时，当测试部位具有两对相互平行的测试面时，宜采用对测法；当测试部位具有一对相互平行的测试面时，宜采用对测和斜测相结合的方法；
- 4) 超声法检测混凝土构件内部缺陷时声学参数的测量应根据检测要求和现场操作条件，确定缺陷测试部位；测试部位混凝土表面应清洁、平整，必要时可用砂轮磨平或用高强度快凝砂浆抹平；抹平砂浆应与待测混凝土良好粘结；在满足首波幅度测读精度的条件下，应选择较高频率的换能器；换能器应通过耦合剂与混凝土测试表面保持紧密结合，耦合层内不应夹杂泥沙和空气；检测时应避免超声传播路径与内部钢筋轴线平行，当无法避免时，应使测线与该钢筋的最小距离不小于超声测距的 1/6；应根据测距大小和混凝土外观质量，设置仪器发射电压、采样频率等参数，

检测统一测区位置时，仪器参数宜保持不变；应读取并记录声时、波幅和主频值，必要时存取波形；检测中出现可疑数据时应及时查找原因，必要时应进行复测或加密测点补测；

- 5) 使用双面对测、双面斜测法超声法检测混凝土内部缺陷时，被测部位应具有可进行检测的测试面，并保证测线能穿过被检测区域；测试范围应大于有怀疑的区域，使测试范围内具有同条件的正常混凝土；总测点数不应少于 30 个，且其中同条件的正常混凝土的对比用测点数不应少于总测点数的 60%，且不少于 20 个；
- 6) 使用单面平测法超声检测混凝土裂缝深度时，当结构的裂缝部位只有一个可测面，裂缝的估计深度不大于 500mm 且比被测构件厚度至少小 100mm 以上时，可采用单面平测法检测混凝土裂缝深度；当单面平测法检测混凝土裂缝深度时，受检裂缝两侧均应具有清洁、平整且无裂缝的检测面，检测面宽度均不宜小于估计的缝深，被测裂缝中不应有积水或泥浆等充填物。

8 直流电法应符合下列规定：

- 1) 直流电法适用于检测大面积渗漏的检测，如游泳池、水池、地下室等大面积渗漏情况，现场检测应符合行业标准《城市工程地球物理探测标准》CJJ/T 7 的相关规定；
- 2) 直流电法应根据检测要求和应用条件，选用充电法、高密度电阻率法等；
- 3) 同一地电类型的测点应统一进行参数测定；
- 4) 直流电法的现场工作和数据采集时，当多台仪器在同一场地同时工作时，不同供电单元间的距离不应小于最大供电电极距的 5 倍；电极应与电线连接可靠，安置位置应准确，接地良好；现场工作时可采取并联电极、浇盐水等措施改

善接地条件；供电电流应稳定，同一观测条件下两次电流测量值的相对误差应小于 1.0%；测量电极应使用同一类电极，高密度电阻率法宜使用不锈钢电极或铜电极；对曲线上的特征点、畸变段及有疑义的测段，应进行自检观测；利用电阻率法进行接地电阻测量时，应同时测量接地处地层的电阻率；

- 5) 自检观测应改变供电电极的接地条件或重新布极，并改变供电电流；经自检观测证明基本观测确实有误时，应采用自检观测数据作为基本观测数据。

R.4 数据分析与判定

R.4.1 数据处理应按本标准第 12.7.7 条和第 12.7.8 条的相关规定执行，压水试验资料整理与计算应符合现行行业标准《水电工程钻孔压水试验规程》NB/T 35113 的相关规定。渗漏水监测资料整理应包括渗漏水记录、绘制结构内表面的渗漏水展开图和渗漏水处理方法。

R.4.2 监测报告除应满足本标准第 12.7.10 条的规定外，尚应包括试验地段的水文地质条件，试验方法，透水率、渗透系数计算，渗漏水情况及治理方法，地下水流量、地下水控制方法、突涌稳定性验算、降水引起的地层变形计算等。

- 1 红外热像法检测报告应包括渗漏的区域、范围、中心点。

- 2 超声法检测报告应包括混凝土渗漏的裂缝位置、裂缝深度、不密实区域范围、空洞位置等。

- 3 直流电法探测报告应包括剖面图、曲线图、平面剖面图等成果图件，分析研究和判断被测部位是否渗漏，确定渗漏的平面位置、形态等。

附录 S 结构健康监测

S.1 一般规定

S.1.1 结构健康监测应采用自动化健康监测系统采集结构及现场环境信息，并应通过分析结构的各种特征对结构健康状况进行评价。对重要结构宜同时采用常规监测手段。

S.1.2 监测内容应符合表 S.1.2 的规定：

表 S.1.2 健康监测内容

监测类别	监测内容
几何形变类	水平位移、沉降、倾斜、挠度等
结构反应类	应变、内力、速度、加速度等
环境参数类	温度、湿度、风速、地震等
外部荷载类	车速、车载等
材料特性类	锈蚀、裂缝、疲劳等

S.2 仪器设备

S.2.1 结构健康监测应根据建筑结构的特点及监测要求、现场条件等选择监测内容及传感器。

S.2.2 对几何形变类的监测，宜选择全站仪测量、静力水准测量、卫星导航定位测量、激光测量、近景摄影测量等方法进行，观测技术要求应符合现行行业标准《建筑变形测量规范》JGJ 8 的相关规定。

S.2.3 对结构反应类、环境参数类、外部荷载类和材料特性类的监测，采用传感器的性能参数及技术要求等应符合现行国家相关标准的规定。

S.2.4 传感器应布置在能充分反映结构及环境特征的位置上，布设

位置应符合下列规定：

- 1 应布置在结构受力最不利处或已损伤处；
- 2 应利用结构对称性原则，优化传感器数量；
- 3 对重点部位应增加传感器；
- 4 应能缩短信号传输距离；
- 5 应便于安装和更换传感器。

S.3 监测周期

S.3.0 结构健康监测的频率应能反映被监测的结构行为和结构状态，并满足分析评价要求。当需要对各监测点数据做相关分析时，应同步采集数据。

S.4 现场监测

S.4.0 对传感器采集的数据应进行降噪处理，剔除由监测系统自身引起的异常值。

S.5 数据分析与判定

S.5.1 对沉降、水平位移、倾斜、挠度监测的数据处理应符合现行行业标准《建筑变形测量规范》JGJ 8 的相关规定。

S.5.2 应按本标准和现行国家有关标准的规定整理各类监测数据，绘制各监测参数的变化状态曲线，分析趋势，并对结构的应力、变形等参数的相关性进行分析。

S.5.3 对风险较大的结构，宜建立有限元模型，根据实测参数反算结构其他参数的符合性，评价结构的安全状况。

S.5.4 根据安全评价结果进行相应的安全预警。

S.5.5 数据处理与评价应按本标准第 12.7.7 条和第 12.7.8 条的相

关规定执行。

S.5.6 监测报告除应满足本标准第 12.7.10 条的规定外，尚应包括监测技术方案和自动化监测系统及技术资料。

本标准用词说明

1 为便于在执行本标准条文时区别对待,对要求严格程度不同的用词说明如下:

1) 表示很严格,非这样做不可的用词:

正面词采用“必须”,反面词采用“严禁”;

2) 表示严格,在正常情况下均应这样做的用词:

正面词采用“应”,反面词采用“不应”或“不得”;

3) 表示允许稍有选择,在条件许可时首先应这样做的用词:

正面词采用“宜”,反面词采用“不宜”;

4) 表示有选择,在一定条件下可以这样做的用词,采用“可”。

2 条文中指明必须按其他有关标准和规范执行时,写法为:
“应按……执行”或“应符合……的规定”。

引用标准名录

1	《工程结构通用规范》	GB 55001
2	《建筑与市政地基基础通用规范》	GB 55003
3	《组合结构通用规范》	GB 55004
4	《钢结构通用规范》	GB 55006
5	《木结构通用规范》	GB 55005
6	《砌体结构通用规范》	GB 55007
7	《混凝土结构通用规范》	GB 55008
8	《工程勘察通用规范》	GB 55017
9	《工程测量通用规范》	GB 55018
10	《建筑与市政工程通用防水规范》	GB 55030
11	《民用建筑通用规范通用规范》	GB 55031
12	《建筑与市政工程施工质量控制通用规范通用规范》	GB 55032
13	《建筑地基基础设计规范》	GB 50007-2011
14	《混凝土结构设计规范》	GB 50010
15	《建筑抗震设计规范》	GB 50011
16	《岩土工程勘察规范》	GB 50021-2001
17	《工程测量标准》	GB 50026
18	《岩土锚杆与喷射混凝土支护工程技术规范》	GB 50086-2015
19	《建筑地基基础工程施工质量验收标准》	GB 50202-2018
20	《砌体结构工程施工质量验收规范》	GB 50203
21	《混凝土结构工程施工质量验收规范》	GB 50204-2015
22	《钢结构工程施工质量验收标准》	GB 50205
23	《木结构工程施工质量验收规范》	GB 50206

- 24 《地下防水工程质量验收规范》 GB 50208-2011
- 25 《民用建筑可靠性鉴定标准》 GB 50292-2015
- 26 《建筑工程施工质量验收统一标准》 GB 50300
- 27 《建筑边坡工程技术规范》 GB 50330
- 28 《建筑基坑工程监测技术标准》 GB 50497
- 29 《钢管混凝土工程施工质量验收规范》 GB 50628
- 30 《钢结构焊接规范》 GB 50661-2011
- 31 《复合土钉墙基坑支护技术规范》 GB 50739-2011
- 32 《金属材料 拉伸试验 第 1 部分：室温试验方法》
GB/T 228.1
- 33 《试验机 通用技术要求》 GB/T 2611
- 34 《液压式万能试验机》 GB/T 3159
- 35 《先张法预应力混凝土管桩》 GB/T 13476
- 36 《金属粘贴式电阻应变计》 GB/T 13992
- 37 《岩土工程仪器基本参数及通用技术条件》
GB/T 15406-2007
- 38 《无损检测 渗透检测第 2 部分：渗透材料的检验》
GB/T 18851.2
- 39 《无损检测 渗透检测第 3 部分：参考试块》 GB/T 18851.3
- 40 《无损检测 渗透检测第 5 部分：温度高于 50℃ 的渗透检测》
GB/T 18851.5
- 41 《无损检测 渗透检测第 6 部分：温度低于 10℃ 的渗透检测》
GB/T 18851.6
- 42 《钻芯检测离心高强混凝土抗压强度试验方法》
GB/T 19496
- 43 《无损检测 磁粉检测用试片》 GB/T 23907
- 44 《混凝土物理力学性能试验方法标准》 GB/T 50081
- 45 《混凝土强度检验评价标准》 GB/T 50107

46	《土工试验方法标准》	GB/T 50123
47	《砌体基本力学性能试验方法标准》	GB/T 50129
48	《砌体工程现场检测技术标准》	GB/T 50315
49	《混凝土结构现场检测技术标准》	GB/T 50784-2016
50	《建筑变形测量规范》	JGJ 8
51	《建筑地基处理技术规范》	JGJ 79-2012
52	《建筑桩基技术规范》	JGJ 94
53	《建筑基桩检测技术规范》	JGJ 106-2014
54	《建筑基坑支护技术规程》	JGJ 120-2012
55	《既有建筑地基基础加固技术规范》	JGJ 123
56	《建筑地基检测技术规范》	JGJ 340
57	《回弹法检测混凝土抗压强度技术规程》	JGJ/T 23
58	《贯入法检测砌筑砂浆抗压强度技术规程》	JGJ/T 136
59	《混凝土中钢筋检测技术标准》	JGJ/T 152
60	《锚杆锚固质量无损检测技术规程》	JGJ/T 182
61	《混凝土耐久性检验评定标准》	JGJ/T 193
62	《高压喷射扩大头锚杆技术规程》	JGJ/T 282
63	《钻芯法检测混凝土强度技术规程》	JGJ/T 384-2016
64	《锚杆检测与监测技术规程》	JGJ/T 401
65	《预应力混凝土管桩技术标准》	JGJ/T 406-2017
66	《既有建筑地基基础检测技术标准》	JGJ/T 422
67	《无损检测 渗透检测用材料》	JB/T 7523
68	《先张法预应力混凝土管桩用端板》	JC/T 947
69	《预应力离心混凝土空心方桩》	JC/T 2029
70	《预应力混凝土空心方桩》	JG/T 197
71	《钢结构超声波探伤及质量分级法》	JG/T 203-2007
72	《建筑红外热像检测要求》	JG/T 269
73	《土木工程用光纤光栅应变传感器》	JG/T 422

74 《基桩动测仪》	JG/T 3055
75 《城市工程地球物理探测标准》	CJJ/T 7
76 《大量程百分表检定规程》	JJG 379
77 《铁路工程地质原位测试规程》	TB 10018-2018
78 《水电水利工程岩体观测规程》	DL/T 5006
79 《水电工程钻孔压水试验规程》	NB/T 35113
80 《挤扩灌注桩技术规程》	DB 29-65-2011
81 《天津市岩土工程技术规范》	DB/T 29-20-2017
82 《天津市钢筋混凝土地下连续墙施工技术规程》	DB/T 29-103-2018
83 《天津市钻孔灌注桩成孔、地下连续墙成槽检测技术规程》	DB/T 29-112
84 《天津市岩土工程勘察规范》	DB/T 29-247-2017
85 《天津市轨道交通岩土工程勘察规程》	DB/T 29-253

天津市工程建设标准

天津市建筑地基基础检测 技术标准

DB/T 29-318-2024
J17621-2024

条文说明

2024 天 津

制 订 说 明

本标准编制过程中,编制组对天津市建筑地基基础工程现状进行了广泛的调查研究,总结了多年来的实践经验,同时参考了国内外的先进技术、方法标准,通过调研、征求意见,对标准内容进行反复研讨、分析、论证,开展专题研究和工程实例验证等工作,为本次标准编制提供了依据。

为便于广大建设、监理、设计、施工、检测各方和相关管理部门的有关人员在使用本标准时能正确理解和执行条文规定,《天津市建筑地基基础检测技术标准》编制组按章、节、条顺序编制了本标准的条文说明,对条文规定的目的、依据以及执行中需注意的有关事项进行了说明和解释。但是,本条文说明不具备与标准正文同等的法律效力,仅供使用者作为理解和把握标准规定的参考。

目 次

1	总则	335
3	基本规定	336
3.1	一般规定	336
3.2	工作程序	338
3.3	检测方法	341
3.4	检测数量	342
3.5	验证与扩大检测	342
3.6	检测结果评价与报告	343
4	地基载荷试验	344
4.1	一般规定	344
4.2	仪器设备及其安装	346
4.3	现场检测	350
4.4	检测数据分析与判定	352
5	原位测试	354
5.1	一般规定	354
5.2	标准贯入试验	356
5.3	圆锥动力触探试验	358
5.4	静力触探试验	360
5.5	十字板剪切试验	364

5.6	旁压试验	366
5.7	波速测试	370
6	基桩静载试验	375
6.1	一般规定	375
6.2	单桩竖向抗压静载试验	376
6.3	单桩竖向抗拔静载试验	378
6.4	单桩水平静载试验	379
6.5	单桩自平衡法静载试验	381
6.6	空心桩灌芯抗拔静载试验	385
7	低应变法检测	387
7.1	一般规定	387
7.2	仪器设备	389
7.3	现场检测	389
7.4	检测数据的分析与判定	392
8	高应变法检测	394
8.1	一般规定	394
8.2	仪器设备	395
8.3	现场检测	397
8.4	检测数据分析与判定	400
8.5	打桩监控	406
9	声波透射法检测	408
9.1	一般规定	408
9.2	仪器设备	408

9.3	现场检测	410
9.4	检测数据分析与判定	414
10	钻芯法检测	421
10.1	一般规定	421
10.2	仪器设备	422
10.3	现场取样	423
10.4	芯样试件截取与加工	425
10.5	芯样试件抗压强度试验	427
10.6	检测数据分析与判定	428
11	锚杆检测	431
11.1	一般规定	431
11.2	仪器设备及其安装	434
11.3	基本试验	436
11.4	蠕变试验	442
11.5	验收试验	442
11.6	粘结强度试验	448
11.7	持有荷载试验	449
11.8	拉力监测	451
12	施工过程检测	454
12.1	材料检测	454
12.2	预应力混凝土桩破坏性试验	454
12.3	成孔成槽质量检测	455
12.4	接桩焊缝质量检测	469

12.5	孔内摄像法检测	470
12.6	内力测试	471
12.7	地基基础工程测量.....	475
13	基础工程质量检测	476
13.2	现场检测与成果报告	476
附录 A	磁测井法检测钢筋笼长度	477
附录 J	施工测量	478
附录 K	场地、地基及周边环境变形观测.....	479
附录 L	基础变形观测	480
附录 M	地下工程变形监测	484
附录 N	基坑变形监测及支护结构检测	485
附录 P	地下管线测量	488
附录 Q	爆破振动测量.....	489
附录 R	地下水监测	490
附录 S	结构健康监测	492

1 总 则

1.0.1 近年来，随着建筑工程向更高、更大、更深的方向发展，地基基础施工涌现了大量新技术、新方法、新工艺、新理念，相应的检测与监测技术取得了长足的进步。目前，我国地基基础相关设计、施工规范较多，涵盖了部分检测与监测内容，但完整性仍有欠缺，相同内容的条文规定也有差异。本标准汇集了各种检测与分析方法，不仅适应施工技术发展趋势，使我市建筑地基基础检测工作得以进一步规范，而且对保证建筑地基基础工程的施工质量与安全提供了全面支持。

1.0.2 本标准侧重于地基基础的质量检测，包括过程检测及验收检测，主要适用于工业与民用建筑、市政工程等。检测内容涵盖了施工前（包括建筑材料及产品等复试）检测、施工过程监控、施工完成后的验收检测等各重要环节，采用了测绘、勘察、检测等各种试验手段，涉及了物理、力学、化学、程控、网络等多学科的综合运用，较全面的覆盖了地基基础施工的各种类型，用多种多样的检测方法将地基工程、基础工程、支护工程检测及变形监测串联起来，为地基基础检测与质量验收提供了依据。此外，交通、铁路、电力、港口等工程的地基基础检测可根据工程实际情况确定，检测方法可参照本标准执行。

3 基本规定

3.1 一般规定

3.1.1 建筑地基基础工程的施工质量对整个工程的安全稳定具有十分重要的意义,检验和验收是施工质量控制的重要手段。检验是对检验项目的特征、性能进行量测、检查、试验等,并将结果与标准规定的要求进行比较,以确定项目每项性能是否合格的活动。验收是建筑工程质量在施工单位自行检查合格的基础上,由工程质量验收责任方组织,工程建设相关单位参加,对检验批、分项、分部、单位工程及其隐蔽工程的质量进行抽样检验,对技术文件进行审核,并根据设计文件和相关标准以书面形式对工程质量是否达到合格做出确认。由于我市地质条件复杂多样,且地基基础工程具有高度的隐蔽性,从而使得地基基础工程的设计、施工、检测和验收相对复杂,一旦存在质量隐患,处理困难,危害巨大。因此,地基基础检测工作是整个地基基础工程中不可缺少的重要环节,只有提高地基基础检测工作的质量和检测结果评价的可靠性,才能真正做到保证地基基础工程质量与安全。

地基基础工程质量控制的主要内容包括材料、工序和实体。建筑材料的品质达标是结构强度达到设计要求的基石,控制每道工序的质量是保证工程整体质量要求的必要条件。建筑地基基础工程实体检测包括外观检查、尺寸偏差、位置偏差、承载力检测、完整性检测、变形观测、支护结构监测、内力测试、结构强度检验等检测项目。

建筑地基基础工程一般按勘察、设计、施工、验收及运营五个阶段顺序进行,涉及砌体、混凝土、钢结构、钢管混凝土结构、木结构、支护结构以及地下防水工程等有关内容,其质量管控贯穿了

整个施工与运营过程，包括设计—施工前期准备阶段、施工—施工过程监控与检查阶段、验收—施工后的检测与工程验收阶段各环节，另外建筑物使用期间健康监测及使用功能的拓展与结构加固，也需要对既有建筑地基基础进行相应的检测。

《建筑工程施工质量验收统一标准》GB 50300、《建筑地基基础工程施工质量验收标准》GB 50202 等技术规范是建筑工程项目验收必须遵守的原则。上述标准对进场检验、见证检验、复验、抽样原则、检验数量进行了规定，质量验收应按主控项目和一般项目验收，检查数量应按检验批抽样。地基基础的分项工程一般划分为一个检验批，有地下层的基础工程可按不同地下层划分检验批，对于工程量较少的分项工程可划分为一个检验批。地基基础中的土方工程和基坑支护工程虽不构成建筑工程实体，但因其是建筑施工中不可缺少的重要环节和必要条件，其质量关系到建筑工程的质量和施工安全，因此将其列入施工验收的内容。

检验批应按照施工工艺、样品型号、规格、技术指标等进行划分，检验批的合格与否主要取决于主控项目和一般项目的检验结果。主控项目是对检验批的基本质量起决定性影响的关键项目，这种项目的检验结果具有否决权，需要特别控制，因此要求主控项目必须全部符合规定，意味着主控项目不允许有不符合要求的检验结果。一般项目是较关键项目，相对于主控项目可以允许在抽查的数量里有 20%的不合格率。对采用计数检验的一般项目，要求其合格率为 80%及以上，且在允许存在的 20%以下的不合格点中不得有严重缺陷。严重缺陷是指对结构构件的受力性能、耐久性能、安装要求及使用功能有决定性影响的缺陷。具体的缺陷严重程度一般很难量化确定，通常需要现场监理、施工单位根据检测结果结合专业知识和经验分析判断。

3.2 工 作 程 序

3.2.1 框图 3.2.1 是检测机构应遵循的基本工作程序。实际执行检测程序中,由于不可预知的原因,如设计要求的变化、现场调查情况与委托方的介绍不符,实施时发现原确定的检测方法难以满足检测目的的要求,或在现场检测尚未全部完成就已发现质量问题而需要进一步排查,都可能使原检测方案中的抽检数量、受检位置、检测方法等发生变化。

验证检测和扩大检测宜重新进行委托。重新检测包括两种情况:一是重新选择检测方法进行检测,以达到满足检测目的的要求,此时应该从制定检测方案开始;二是检测方法不变,对受检样品进行再次检测或重新选择受检样品再进行检测,以达到验收合格的规定。

框图中的“率定”,要求检测仪器设备除应按本标准第 3.2.2 条第 3 款进行检定或校准外,还应按相关规定进行率定、标定,如静力触探头的率定及十字板探头的率定等。

3.2.2 为了正确地对地基基础工程质量进行检测和评价,提高地基基础工程检测工作的质量,做到有的放矢、控制成本,应尽可能详细地了解 and 搜集有关的技术资料,需要通过调查来进一步明确委托方的具体要求和现场实施的可行性。

制定检测方案要考虑的因素较多,本条提出的检测方案内容为一般情况下包含的内容,如进行承载力检测时一是要考虑受检样品的特殊性,不同的承载力、不同尺寸的荷载板,对场地条件和试验设备的要求是不一样的,直接影响检测方法的选择;二是要考虑受检工程所在场区的试验设备能力;三是要考虑现场条件的局限性;同时还应考虑检测过程中可能出现的争议。因此,检测方案可能需要与委托方或设计方共同协商制定,尤其是确定受检位置。

若委托单位要求检测单位对有疑问的受检样品进行检测,这类样品较特殊,不具备正常抽样样品的代表性。建议对这类受检样品

单独作为一个验收批进行处理。

本条第3款对仪器设备从多方面进行了规定。第一，测试仪器设备分两类，一类是有量值溯源要求的仪器设备，另一类是没有量值溯源要求的设备。第二，有量值溯源要求的仪器设备应进行检定或校准，且使用时应在其有效期之内，这是《中华人民共和国计量法》的要求，以保证检测数据的准确可靠性和可追溯性。当采用校准时，应按校准结果设置仪器设备相关参数，如静载试验中的千斤顶，应进行校准，并按校准结果计算荷载大小，而不能按千斤顶的理论活塞面积计算荷载。第三，对于有量值溯源要求的仪器设备，当不能进行校准时，本标准提出了率定的要求。第四，应针对检测方法中有关仪器设备性能的具体指标要求，判断所选用仪器设备的性能是否符合相应检测方法的要求。第五，仪器设备元器件会有损坏、或由于检测工作的环境较差、使用不当等造成仪器设备出现不正常情况，这就要求检测人员在检测前对仪器设备检查调试，并根据需要，加强使用期间的仪器设备运行检查，在仪器设备使用过程中，增加对仪器设备进行检定或校准以及率定，保证检测数据准确可靠。第六，操作环境要求应与测量仪器设备对环境温湿度、电压波动、电磁干扰、振动冲击等现场环境条件的要求相一致。

本条第4款第4、5项说明如下：对人工地基和复合地基进行验收检测时，应考虑休止时间，因为地基土的密实、土的触变效应、孔隙水压力的消散、水泥或化学浆液的固结等均需要一个期限，增强体的密实和强度达到稳定也需要一定时间，施工结束后立即进行验收检测难以反映地基处理的实际效果。休止时间应根据岩土工程勘察资料、地基处理方法，结合设计要求综合确定。

本条第4款第5项说明如下：在混凝土达到龄期后进行钻芯检测，因工期紧张、某些紧急情况需要对混凝土的质量、均匀性进行检测，可以适当提前。龄期小于设计要求的28d或90d，所测强度值不宜换算为设计要求的28d或90d龄期强度值，应直接采用实测

强度值进行桩（墙）身质量判定。若实测强度值不满足强度要求，可在达到龄期时进行复测。水泥土强度随着龄期增长而增长，但二者不是线性关系，而且由于水泥土的不均匀性特点，二者也很难建立相关的关系式，因此对于水泥土的抗压强度不能进行推算。

本条第 4 款第 6 项说明如下：注浆体是一种与龄期相关的材料，在一定时间内，其抗压强度随时间的增加而增长。在最初几天内强度快速增加，随后逐渐变缓，其物理力学参数变化趋势亦大体如此。锚杆工程受季节气候、施工环境或工期紧等因素的影响，往往不允许等到全部工程锚杆施工完成并都达到 28d 龄期强度后再开始检测。为做到信息化施工，尽早发现锚杆的施工质量问题并及时处理，同时考虑到支护锚杆验收试验的最大试验荷载只是其设计极限抗拔承载力的 75%左右，对注浆体强度的要求可适当放宽。因此，对于验收试验的检测与测试，规定注浆体强度应大于设计强度的 75%，土钉注浆体强度达到 10MPa 或不低于设计强度的 70%后进行。对基础锚杆，由于锚杆验收试验的最大试验荷载与其设计极限承载力相当，因此基础锚杆验收试验检测开始时间应与锚杆基本试验相同。

确定抽检样品位置是十分重要的工作，由于检测成本和周期问题，很难做到对地基基础工程全部进行检测。施工后验收检测的最终目的是查明隐患、确保安全。为了在有限的抽检数量中更充分地暴露地基基础存在的质量问题，首先应考虑本款第 1~3 项所规定的情况，其次才考虑抽检对象宜均匀分布。应着重关注以下三点，一是应充分考虑局部岩土复杂性可能影响施工质量或结构安全，如局部存在破碎带、软弱夹层、或者淤泥层比较厚，与正常地质条件相比，施工质量更难控制，因此，应确保对这些部位的抽样；二是，当采用两种或两种以上的方法对地基基础施工质量进行抽检，一般遵循先普查、后详检的原则，应根据前一种方法的检测结果确定后一种方法的抽检位置，合理搭配、优势互补，相互验证；三是原材

料和产品随机抽样有严格的规定,而实际工程中地基基础承载力检测抽样的随机性很难执行到位。

3.3 检测方法

3.3.1 表 3.3.1 给出了地基检测内容与检测方法,供编制检测技术方案参考,尤其是原位试验方法,应结合工程实践经验合理选择。

天然地基和人工地基除应进行地基承载力检验,还应采用其他原位测试检验其岩土性状、地基处理质量与效果、增强体桩身质量等。地基检测宜先采用原位测试进行普查,有针对性地进行载荷试验,然后与载荷试验结果进行对比。

在夯压密实填土过程中,取样检验分层土的厚度视施工机械而定,一般情况下宜按 20cm~50cm 分层进行检验。采用环刀法取样时,取样点应位于每层 2/3 的深度处。检验砂垫层使用的环刀容积不应小于 200cm³,以减少其偶然误差。

3.3.2 表 3.3.2 给出了桩(墙)及锚杆检测内容与检测方法,供编制检测技术方案参考,应结合工程实践经验合理选择。

施工前进行试验桩检测、锚杆试验并确定单桩极限承载力或锚杆抗拔极限承载力的目的是为设计单位选定桩型(锚杆类型)和持力层、掌握桩侧和桩端阻力(锚杆应力)分布并为确定承载力提供依据,同时也为施工单位在新的地基条件下设定并调整施工工艺参数进行必要的验证。对设计等级高及缺乏地区经验的工程,可获得经济可靠的设计施工参数,减少盲目性,意义重大。

3.3.3 基坑监测方法的选择应综合考虑各种因素,监测方法简便易行有利于适应施工现场条件的变化和施工进度要求。

支护工程的变形监测具体反映了支护结构的变化情况,为其安全使用提供准确的预报,是施工安全的重要保证。

在保证工程安全的前提下,应鼓励基坑工程现场监测的技术进

步，以减轻劳动强度、提高工作效率、降低监测成本。自动化实时监测系统应采用性能稳定、技术成熟且经过工程实践检验的设备、技术与方法。

3.4 检测数量

3.4.2 根据现行国家标准《建筑工程施工质量验收统一标准》GB 50300，具有独立使用功能的单位工程是建筑工程施工质量竣工验收的基础，因此，一般情况下，实体抽检数量应按单位工程进行计算确定。

结合天津市实际情况，本条对一些比较特殊的地基基础工程的抽检数量做了原则性的规定，设计单位根据上部结构和岩土工程勘察资料，可能在同一单位工程中同时采用天然地基、人工地基和桩基础等不同类型的组合，也可能在同一单位工程中同时采用了预应力管桩和混凝土灌注桩等不同桩型，对于这种情况，应将不同施工工艺的受检样品划为不同的子分项工程（检验批），抽取一定数量的样本进行检测。

3.5 验证与扩大检测

3.5.1 本条第 3 款波速试验是一种物探手段，用于宏观定性判别岩土体的密实情况和均匀性。若使其波速测试结果和工程地质参数相对应，应结合该场地的地质资料和其他原位测试结果比较后综合判定。

本条第 12 款规定施工质量有疑问的锚杆应全部进行锚杆验收试验，若试验结果不满足设计要求，则应对不合格锚杆进行相应技术处理。

3.5.2 本条第 1 款关于锚杆验收试验出现不合格锚杆的扩大抽检规定，采用建设工程领域常用的处置方法，按不合格锚杆、土钉数量的 2 倍进行扩大抽检。

3.6 检测结果评价与报告

3.6.2~3.6.4 条规定了检测报告中应包含的内容，保证了检测报告的质量，有利于委托方、设计等单位对报告的使用。

检测报告应根据所采用的检测方法和相应的检测内容，出具检测结论。为使报告内容完整和具有较强的可读性，报告中应包括常规内容的叙述。还需特别强调检测报告应包含检测数据和曲线以及主要计算依据。实际工作中，检测单位可适当调整报告内容，以满足检测报告符合工程所在地行政主管部门的规定和要求。

4 地基载荷试验

4.1 一般规定

4.1.2 土(岩)地基载荷试验是一种在现场模拟地基基础工作条件的原位试验方法,在拟检测的土(岩)地基上置放一定尺寸的刚性承压板,对承压板逐级加荷,测定承压板的沉降(由于承压板为刚性,因此承压板的沉降等于拟检测地基的沉降)随荷载的变化,以确定土(岩)地基承载力和变形参数。本标准的土(岩)地基载荷试验适用于天然土地基、天然岩石地基及没有竖向增强体的人工处理地基包括换填地基、预压地基、压实地基、挤密地基、强夯地基、注浆地基等。载荷试验的目的是确定承载力及变形参数,以便为设计提供依据或检验地基是否满足设计要求。本章的变形参数主要是指地基的变形模量,未涉及地基基床系数。

土(岩)地基载荷试验分为浅层平板载荷试验、深层平板载荷试验和岩基载荷试验,未包含螺旋板载荷试验。浅层平板载荷试验和深层平板载荷试验又统称为地基土平板载荷试验或平板载荷试验。

深层平板载荷试验与浅层平板载荷试验的区别在于荷载是作用于半无限体的表面还是作用于半无限体的内部,浅层平板载荷试验的荷载作用于半无限体的表面,深层平板载荷试验的荷载作用于半无限体的内部。本标准规定深层平板载荷试验的试验深度不应小于 5m,也有资料规定深层平板载荷试验的试验深度不应小于 3m。深层平板载荷试验的深度过浅,则不符合变形模量计算假定荷载作用于半无限体内部的条件。

对于完整、较完整、较破碎的岩石地基应选择岩基载荷试验,对于破碎、极破碎的岩石地基以及土类地基应选择浅层平板载荷试

验或深层平板载荷试验。

4.1.3 复合地基与其他地基的区别在于部分土体被增强或被置换形成增强体，由增强体和周围地基土共同承担荷载，本条给出适用于复合地基载荷试验检测的各种地基处理方法。

4.1.4 根据《建筑地基基础设计规范》GB 50007-2011 规定，要求最大加载量不应小于设计要求的地基承载力特征值的 2.0 倍、岩基承载力特征值的 3.0 倍。如果最大加载量取为设计要求的土（岩）地基承载力特征值的 2.0 倍或 3.0 倍，当其中一个试验点的承载力特征值偏小，按照本标准第 4.4.4 条和第 4.4.5 条的规定，则单位工程的地基承载力特征值不满足设计要求。为了避免这种情况，本标准按本条规定执行。在设计阶段，为设计提供依据的载荷试验应加载至极限状态，从而获得完整的（ $p-s$ ）曲线，以便确定承载力特征值。

4.1.5 对于地基土载荷试验的加载方式，加荷方法为我国惯用的维持荷载法。根据各级荷载维持时间长短及各级荷载作用下地基沉降的相对稳定标准，分为慢速维持荷载法及快速维持荷载法。本标准与《建筑地基基础设计规范》GB 50007 和《建筑地基检测技术规范》JGJ 340 的规定一致。

4.1.6 土（岩）地基载荷试验能准确提供土（岩）地基的承载力及变形参数。对于天然地基，检测数量应按照地基基础占地面积来计算；对于采用土（岩）地基载荷试验确定承载力的人工地基，检测数量应按照地基处理面积来计算，而不应按照地基基础占地面积来计算，一般来说，单位工程的地基处理面积不小于建（构）筑物的占地面积。对于建筑物以外区域检测密度可适当减少。

复合地基载荷试验的检测数量的规定：

1 本款明确规定复合地基应进行载荷试验。载荷试验的形式可根据实际情况和设计要求采取下面三种形式之一：第一，单桩（墩）复合地基载荷试验；第二，多桩复合地基载荷试验；第三，单桩或

多桩复合地基载荷试验相结合。选择多桩复合地基平板载荷试验时,应考虑试验设备和试验场地的可行性;

2 考虑到复合地基大面积荷载的长期作用结果与小面积短时荷载作用的试验结果有一定的差异,而且竖向增强体是主要施工对象,因此,需要再对竖向增强体的承载力和桩身质量进行检测。

4.2 仪器设备及其安装

4.2.1 浅层平板载荷试验的承压板尺寸大小与需要评价的处理土层深度有关,深度越深、承压板尺寸则越大。

载荷试验的承压板尺寸要考虑其应力主要影响范围能覆盖主要加固处理土层厚度。承压板下应力主要影响范围为 2.0 倍~2.5 倍承压板直径(或边宽),承压板直径或边宽宜为拟评价处理土层的深度的 1/2 或 2/5。

对于人工地基的载荷试验,由于试验的压板面积有限,考虑到大面积荷载长期作用结果与小面积短时荷载作用的试验结果有一定差异,故需要对载荷板尺寸有限制。

强夯处理和预压处理的有效深度为 7.0m~10.0m 时,应考虑压板的尺寸效应,根据处理深度的大小,采用较大的承压板,目前 3.0m 尺寸的承压板应用的不少,最大承压板尺寸超过了 5.0m。《建筑地基处理技术规范》JGJ 79 和《建筑地基基础工程施工质量验收标准》GB 50202 均规定对于强夯地基不应小于 2.0m²。

土(岩)地基载荷试验承压板形状宜采用圆形板和正方形板,不应采用矩形板。

关于深层平板载荷试验的尺寸确定,《岩土工程勘察规范》GB 50021-2001(2009 年版)规定深层平板载荷试验的试井截面应为圆形,承压板直径宜取 0.8m~1.2m,《建筑地基基础设计规范》GB 50007 规定承压板直径采用 0.8m。因此本标准规定深层平板载

荷试验承压板直径不应小于 0.8m。

对于较破碎岩石，岩基载荷试验采用 0.3m 直径承压板，可能影响试验结果的准确性，因此，本标准规定岩基载荷试验的直径不应小于 0.3m。

承压板的面积为单桩或多桩承担的处理面积，单桩复合地基的承压板面积可按照等效圆直径计算：

d_e 为一根桩分担的处理地基面积的等效圆直径 (m)；等边三角形布桩 $d_e = 1.05s$ ，正方形布桩 $d_e = 1.13s$ ，矩形布桩 $d_e = 1.13\sqrt{s_1s_2}$ ， s 、 s_1 、 s_2 、 s_3 分别为边长、桩间距、纵向桩间距和横向桩间距。

承压板应有足够刚度板，原因如下：

1 承压板应有足够刚度，保证加载过程不出现翘曲变形，是为确保地基尽可能产生均匀沉降，以模拟地基在刚性基础作用下的实际受力变形状况。如承压板刚度不够，当荷载加大时，承压板本身的变形影响到沉降量测读；

2 为了检测主要处理土层，当该土层不在基础底面，需采用多桩复合地基载荷试验而加大承压板尺寸以加大压力影响深度时，刚度不足引起承载板本身变形问题更为明显。

承压板底面下铺砂，主要是找平作用，找平砂层应尽可能薄。影响复合地基载荷试验的主要因素有承压板尺寸和褥垫层厚度，褥垫层厚度主要调节桩土荷载分担比例，褥垫层厚度过小桩对基础产生明显的应力集中，桩间土承载能力不能充分发挥，主要荷载由桩承担失去了复合地基的作用；厚度过大当承压板较小时影响主要加固区的检测效果，造成检测数据失真。如采用设计的垫层厚度进行试验，试验承压板的宽度对独立基础和条形基础应采用基础设计的宽度，对大型基础试验有困难时应考虑承压板尺寸和垫层厚度对试验结果的影响。

4.2.2 当设计有要求时,承压板应设置于设计要求的受检土层。在实际工程中,由于承压板尺寸大小的限制,难以准确评价深部土层(该部分土层仍然是设计需要验算的主要受力土层之一)的承载力性状,在这种情况下,有必要将承压板设置在一定深度的受检土层上进行试验,获得更完整的试验资料,对地基承载能力进行评价。

4.2.3 试验试坑宽度或直径不应小于承压板宽度或直径的 3 倍参考了《建筑地基处理技术规范》JGJ 79 的相关规定。对于深层平板载荷试验,试井截面应为圆形,紧靠承压板周围土层高度不应小于承压板直径,以尽量保持半无限体内部的受力状态,避免试验时土的挤出。

复合地基在开挖至基底标高时进行载荷试验,当基底土保护不当、或因晾晒时间过长、或因现场基坑降水导致试验土含水量变化形成硬层时,试验数据失真。试验前应采取防水和排水措施,防止试验场地地基土含水量变化或地基土扰动,影响试验结果。

4.2.4 当采用两台及两台以上千斤顶加载时,为防止偏心受荷,要求千斤顶活塞直径应一样且应并联同步工作;在设备安装时,千斤顶的合力中心、承压板中心、反力装置重心、拟试验区域的中心应在同一铅垂线上。

4.2.5 加载反力装置应优先选用压重平台反力装置。与桩的静载试验相比,平板载荷试验的试验荷载要小得多,因此,要求压重在试验前一次加足。但对于单墩复合地基载荷试验等,当承压板面积非常大,不配置(难以配置满足标准要求的)反力支墩时,可参考实体结构载荷试验,一边堆载,一边试验。

4.2.6 用荷重传感器(直接方式)和油压表(间接方式)两种荷载测量方式的区别在于:前者采用荷重传感器测力,千斤顶仅作为加载设备使用而不是作为测量仪器使用,不需考虑千斤顶活塞摩擦对出力的影响;后者采用并联于千斤顶油路的压力表测量力时,应根据千斤顶的校准结果换算力。同型号千斤顶在保养正常状态下,相

同油压时的出力相对误差约为 1%~2%，非正常时可高达 5%。采用传感器测量荷重或油压，容易实现加卸荷与稳压自动化控制，且测量精度较高。采用压力表测定油压时，为保证测量精度，其精度等级应优于或等于 0.4 级，不得使用 1.5 级压力表控制加载。

4.2.7 承压板沉降测量仪表可采用位移传感器或百分表等测试仪表，其性能应满足本标准第 4.2.8 条的规定。美国材料试验协会标准（ASTM）D1195 和 D1196 中采用的位移测量仪表测点均距承压板边缘的距离为 25.4mm。为了统一位移测试仪表的安装位置，本标准规定位移测试仪表应安装在承压板上，安装点应在承压板边中而不宜安装在角上且各位移测试仪表在承压板上的安装点距承压板边缘的距离宜为 25mm~50mm。对于直径为 0.8m 的深层平板载荷试验，可对称安置 2 个位移测量仪表。

4.2.8 为保证液压系统的安全，在最大试验荷载时，要求试验用千斤顶、油泵、油管的压力不应超过规定工作压力的 80%。压力表的最佳使用范围为压力表量程的 1/4~2/3，因此，应根据最大试验荷载合理选择量程适当的压力表。调查表明，部分检测机构由于千斤顶或其他仪器设备所限，存在“大秤称轻物”的现象，本标准规定荷重传感器、千斤顶、压力表或压力传感器的量程不应大于最大加载量的 3.0 倍，且不应小于最大加载量的 1.2 倍。

对于机械式大量程（50mm）百分表，《大量程百分表检定规程》JJG 379 规定 1 级标准为：全程示值误差和回程误差分别不超过 40 μ m 和 8 μ m，相当于满量程（注：FS：full scale，满量程或全量程）测量误差不大于 0.1%。

4.2.9 承压板、压重平台支墩和基准桩之间的距离综合考虑了广东省建筑科学研究院等单位研究成果和《建筑地基基础设计规范》GB 50007、《建筑地基处理技术规范》JGJ 79、“Standard test method for bearing capacity of soil for static load and spread footings” ASTM D1194 的有关规定。

4.2.10 大型平板载荷试验基准梁的安装存在以下问题：型钢一般长 12m，超过 12m 的基准梁需要组装或拼装，现场组装较困难且现场组装的基准梁稳定性较差；一般平板车的运输长度为 12m，超过 12m 的基准梁运输较困难。因此，本标准认为 12m 长的基准梁即使不满足表 4.2.9 的规定也可以使用，但在这种情况下应对基准桩位移进行监测。

当需要对基准桩位移进行监测时，《建筑基桩检测技术规范》JGJ 106 指出：简易的办法是在远离土墩处用水准仪或张紧的钢丝观测基准桩的竖向位移。与对受检桩的沉降观测要求相比，本标准对基准桩位移的监测要求也降低了，但要求位移测量仪表的分辨力宜达到 0.1mm。

4.2.11 传力装置应采用有足够刚度的传力柱组成，并将传力柱与承压板连接成整体，传力柱的顶部可采用钢筋等斜拉杆固定定位，从而确保安全。

位移传递装置宜采用钢管或塑料管做位移测量杆，位移测量杆的底端应与承压板固定连接，每间隔一定距离位移测量杆应与传力柱滑动相连，以保证位移测量的准确性。

4.2.12 当孔底岩基载荷试验采用传力装置进行测试时，其传力装置和位移传递装置的做法同本标准第 4.2.11 条。孔底岩基载荷试验当采用桩孔基岩提供反力时，鉴于实际情况的复杂性，应确保作业安全，并尽可能减少试验条件对基准桩变形的影响。

4.3 现场检测

4.3.1 在所有试验设备安装完毕之后，应进行一次系统检查。其方法是施加一较小的荷载进行预压，目的是消除整个量测系统由于安装等人为因素造成的间隙而引起的非真实沉降；排除千斤顶和管路中之空气；检查管路接头、阀门等是否漏油等。如一切正常，卸载

至零，待位移测试仪表显示的读数稳定后，并记录位移测试仪表初始读数，即可开始进行正式加载。如果按 10%预压相当于一级的加压力，所得的（ $p-s$ ）曲线需要修正。

4.3.2 《建筑地基基础设计规范》GB 50007 规定岩石地基荷载试验的分级荷载为预估设计荷载的 1/10，并规定将极限荷载除以 3 的安全系数，所得值与对应于比例界限的荷载相比较，取小值为岩石地基承载力特征值。因此，本标准规定岩石地基载荷试验的荷载分级宜为 15 级。

4.3.3 《建筑地基基础设计规范》GB 50007 和《岩土工程勘察规范》GB 50021-2001（2009 年版）规定岩石地基载荷试验的沉降稳定标准为连续三次读数之差均不大于 0.01mm，鉴于 0.01mm 是百分表的读数精度，在现场试验时难以操作，本标准将岩石载荷试验的沉降稳定标准修改为：30min 读数之差小于 0.03mm，并在四次读数中连续出现两次，卸载半小时一级，以有利于现场操作。

4.3.4 试验终止条件的制定参考了《岩土工程勘察规范》GB 50021-2001（2009 年版）、《建筑地基基础设计规范》GB 50007、《建筑地基处理技术规范》JGJ 79 和《建筑地基基础检测规范》DBJ 15-60 的规定。发生明显侧向挤出隆起或裂缝，表明受荷地层发生整体剪切破坏，这属于强度破坏极限状态；等速沉降或加速沉降，表明承压板下产生塑性破坏或刺入破坏，这是变形破坏极限状态；过大的沉降（浅层平板载荷试验承压板直径的 0.06 倍、深层平板载荷试验承压板直径的 0.04 倍），属于超过限制变形的正常使用极限状态。当承压板尺寸过大时，增加沉降量明显不易操作且已无太多意义，因此设定沉降量上限为 150mm。

4.4 检测数据分析与判定

4.4.1 同一单位工程的试验曲线的沉降坐标宜按相同比例绘制压力-沉降($p-s$)、沉降-时间对数($s-\lg t$)曲线,加载量的坐标应为压力,也可在同一图上同时标明荷载量和压力值。

4.4.2 地基的极限承载力,是指滑动边界范围内的全部土体都处于塑性破坏状态,地基丧失稳定时的极限承载力。典型的($p-s$)曲线上可以分成三个阶段:即压密变形阶段、局部剪损阶段和整体剪切破坏阶段。三个阶段之间存在两个界限荷载,前一个称比例界限(临塑荷载),后一个称极限荷载。比例界限标志着地基土从压密阶段进入局部剪损阶段,当试验荷载小于比例界限时,地基变形主要处于弹性状态,当试验荷载大于比例界限时,地基中弹性区和塑性区并存。极限荷载标志着地基土从局部剪损破坏阶段进入整体破坏阶段。按本条第2款取值,是偏于安全的取值。

4.4.3 关于表 4.4.3-1 中取值的说明如下:根据《建筑地基基础设计规范》GB 50007 关于按相对变形确定地基特征值的规定,取 s/b 或 $s/d=0.01\sim 0.015$ 所对应的荷载为深层平板载荷试验与浅层平板载荷试验的地基承载力特征值,本标准的取值参照《铁路工程地质原位测试规程》TB 10018-2018 表 3.4.4 中的规定,但对压板尺寸作限定。

地基基础设计规范规定的地基设计原则,各类建筑物地基计算均应满足承载力计算要求,设计为甲、乙级的建筑物均应按地基变形设计,控制地基变形成为地基设计的主要原则。对于水泥土搅拌桩和旋喷桩,按主要加固土层性质提出的取值范围,高压缩性土取高值。

4.4.4 当极差超过平均值的 30%时,如果分析能够明确试验结果异常的试验点不具有代表性,可将异常试验值剔除后,再进行统计计算确定单位工程承载力特征值。

4.4.5 载荷试验不仅要求给出每点的承载力特征值,而且要求给出单位工程的承载力特征值是否满足设计要求的结论。对工业与民用建筑(包括构筑物)来说,单位工程的载荷试验结果的离散性要比单桩承载力的离散性小,因此,有必要根据载荷试验结果给出单位工程的承载力特征值。还需说明两点:其一,承载力检测因时间短暂,其结果仅代表试桩那一时刻的承载力,更不能包含日后自然或人为因素(如桩周土湿陷、膨胀、冻胀、融沉、侧移,基础上浮、地面超载等)对承载力的影响;其二,承载力评价可能出现矛盾的情况,即承载力不满足设计要求而满足有关规范要求。因为规范一般给出满足安全储备和正常使用功能的最低要求,而设计时常在此基础上留有一定余量。考虑到责权划分,可以作为问题或建议提出,但仍需设计方复核和有关各责任主体方确认。

4.4.6 建筑地基基础施工质量验收一般对变形模量并无要求,考虑到设计的需要,本标准对浅层平板载荷试验确定变形模量进行了规定,计算方法主要参考了《岩土工程勘察规范》GB 50021-2001(2009年版)和广东省地方标准《建筑地基基础检测规范》DBJ 15-60。本标准进一步规定应优先根据试验确定土的泊松比 μ ,当无试验数据时,方可参考经验取值。

4.4.7 深层平板载荷试验确定变形模量的计算公式参照了《岩土工程勘察规范》GB 50021-2001(2009年版)的规定,深层平板载荷试验荷载作用在半无限体内部,式(4.4.7)是在 Mindlin 解的基础上推算出来的,适用于地基内部垂直均布荷载作用下变形模量的计算。

4.4.8 ω 是与试验深度和土类有关的系数。当土的泊松比 μ 根据试验确定时,可按式(4.4.8)计算,该公式来源于岳建勇和高大钊的推导(《工程勘察》2002年1期);当土的泊松比按本标准第4.4.6条的经验取值时,则可制成本标准表4.4.8。

5 原位测试

5.1 一般规定

5.1.2 本条具体解释如下：

1 复合地基应根据增强体的数量确定检测点数量，故本款仅对天然土地基、复合地基以外的人工地基检测数量进行了规定。在天津地区，根据《岩土工程勘察规范》GB 50021-2001（2009年版），地基复杂程度等级一般为二级（中等复杂），对于天然地基详细勘察时，勘察孔间距可取15m~30m，一般不超过30m即可满足地基评价。对于复合地基以外的人工地基检测数量，如换填地基、预压地基、强夯地基，其检测数量主要参考《建筑地基处理技术规范》JGJ 79-2012等相关要求，结合工程经验，取数量高值或面积小值确定。当选择标准贯入试验、圆锥动力触探试验、静力触探试验、十字板剪切试验等一种以上的检测方法时，检测数量为所有检测点的总和，但每种检测方法至少有6个检测点。

2、3 这两款是复合地基增强体检测数量确定标准。天津地区碎石桩、强夯置换墩等应用不广泛，《建筑地基处理技术规范》JGJ 79-2012中对于砂石桩施工质量的检测数量为桩孔数的2%及以上，对于强夯置换墩着底情况及承载力与密实随深度的变化，检测数量不应少于墩点数的3%，且不应少于3点。考虑到加固体加固质量往往离散性较大，故适当增加检测数量要求。当选择标准贯入试验、重型（超重型）圆锥动力触探试验等一种以上的检测方法时，检测数量为所有检测点的总和，但每种检测方法至少有3个检测点。

4 采用如挤密（振冲）碎（砂）石桩、强夯置换墩复合地基时，对桩间土的挤密、扰动作用较强，桩间土地基承载力较原勘察报告

提供的承载力可能提高较大,为准确评价桩间土的挤密、扰动情况,可采用标准贯入试验、圆锥动力触探试验、静力触探试验对处理后的桩(墩)间土进行检测。当选择标准贯入试验、圆锥动力触探试验、静力触探试验等一种以上的检测方法时,检测数量为所有检测点的总和,但每种检测方法至少有 6 个检测点。

5 地基处理前,场地一般应进行了岩土工程详细勘察工作,提供了地基土分布、承载力等,采用如长螺旋钻孔灌注成桩的 CFG 桩、深层搅拌桩等对于桩间土扰动、挤密作用较小的复合地基时,桩间土在施工前后的物性变化等相对较小,当设计有需要确定地基处理后桩间土承载力变化时,选择标准贯入试验、圆锥动力触探试验、静力触探试验等一种以上的检测方法时,检测数量为所有检测点的总和,但每种检测方法至少有 6 个检测点。

6 为了使地基土内孔隙水压力充分消散,要求预压地基质量检验在卸载 3d~5d 后进行。

7 依据《建筑地基处理技术规范》JGJ 79-2012 中相关要求确定,根据实际工程经验,采用注浆法加固往往针对处理面积相对较小的场地,故适当降低最低检测数量要求。当选择标准贯入试验、圆锥动力触探试验等一种以上的检测方法时,检测数量为所有检测点的总和,但每种检测方法至少有 3 个检测点。

8 目前对于饱和粉(砂)土液化判定,工程上主要依据标准贯入试验,检测深度应穿透消除液化的目的粉(砂)土层。对于采用强夯等非复合地基的液化处理方式时,按处理面积确定检测点数量;对于复合地基形式的液化处理方式,按复合地基加固体数量确定检测点数量。根据天津实际工程经验,当采用大面积的密排预应力管桩时,对液化土的消除或降低液化等级效果也很好,效果检测时检测数量按总桩数的 2%,且不少于 10 个点确定。

5.2 标准贯入试验

5.2.1 依据《岩土工程勘察规范》GB 50021-2001（2009 年版），标准贯入试验锤击数，可对砂土、粉土、黏性土的物理状态，土的程度、变形参数、地基承载力、单桩承载力，砂土和粉土的液化，成桩的可能性等做出评价。

作为建（构）筑地基基础检测，标准贯入试验主要用来检测天然地基和人工地基以及复合地基桩间土的承载力，确定其岩土性状，评价地基处理效果。评价复合地基增强体的施工质量。

5.2.2 本条主要根据《岩土工程勘察规范》GB 50021-2001（2009 年版）确定，同时对锤重、落距等误差要求进行了规定。

采用自动脱钩的自由落锤方式，可保证落距的准确性，锤击能量的一致。

通过定期标定，可淘汰损坏的穿心锤等设备，基本保证了使用设备的完好性，在通过使用前的进一步检查，确保使用设备与机具完好，为试验结果的可靠性提供了基础。

5.2.3 在评价地基处理效果和液化处理效果时，通过同一位置处理前后测试数据的对比，可最大化地消除地基土分布不均匀等对评价结果造成的影响。处理前后的测试点中心距离不应小于 1.0m，可避免因处理前钻探施工扰动土体对处理后测试结果造成影响。

人工地基包括复合地基以及地基处理后形成的换填地基、预压加固地基等，检测深度应穿透换填垫层、预压加固段、复合地基段。

记录贯入器打入土中 15cm 的预打锤击数，可根据测试目的地层的性质、预打锤击数进一步判断试验时孔底虚土厚度，从而确定测试结果的可靠性。

室内颗粒分析试验测定土的黏粒含量，然后按《建筑抗震设计规范》GB 50011 中相关要求对饱和粉（砂）土液化判定。

《岩土工程勘察规范》GB 50021-2001（2009 版）5.7.9 条规定，

采用标准贯入试验判别液化时，试验点的竖向间距宜为 1.0m~1.5m；《天津市岩土工程勘察规范》DB/T 29-247-2017 中第 5.2.5 条规定，采取原状土试样或进行原位测试的竖向间距，在地基持力层内或基础底面下 1.0 倍基础宽度内宜为 1.0m，主要受力层以下可为 2.0m，用于液化判别的测试应一米一测。为了统一标准，且考虑到操作的便利性，故本条规定测试间距宜为 1.0m。

5.2.4 根据《天津市岩土工程技术规范》DB/T 29-20，确定地基承载力特征值应根据经杆长修正后的标准贯入试验锤击数 N' ，按其他规范确定地基承载力特征值时，应根据规范具体要求确定是否进行杆长修正。《建筑抗震设计规范》GB 50011-2010（2016 年版），现行《公路工程地质勘察规范》JTG C20、《水运工程抗震设计规范》JTS 146、《天津市岩土工程勘察规范》DB/T 29-247 等规范，饱和粉土、砂土液化判定应采用标准贯入试验实测锤击数 N （未经杆长修正）。

采用标准贯入试验一是可以确定地基承载力，二是判定地基均匀性，三是判定增强体施工质量。

异常值既有人为操作不规范产生，也有地基土局部的变化引起，故在统计时应删除。

砂土的判定标准依据《岩土工程勘察规范》GB 50021-2001（2009 年版）确定，粉土的判定标准参考天津市标准《岩土工程技术规范》DB 29-20、《天津市轨道交通岩土工程勘察规程》DB/T 29-253 确定。

表 5.2.4-4 和表 5.2.4-5 引自《天津市岩土工程技术规范》DB/T 29-20-2017，规范中明确规定地基承载力应进行深度修正。工程应用时，可根据标准贯入试验修正锤击数标准值进行插值查表使用。由于标准贯入锤击数离散性较大，根据查表确定砂土、粉土、黏性土地基承载力特征值时，应根据同一工程的不同测试手段测试结果进行调整。

复合地基竖向增强体的施工工艺和采用材料的种类较多,只有相同的施工工艺并采用相同材料的增强体才有可比性,本条规定只对单个增强体进行评价。

5.3 圆锥动力触探试验

5.3.1 圆锥动力触探分为轻型、重型和超重型。轻型动力触探的优点是轻便,对于施工验槽、填土勘察、查明局部软弱土层等均具有较高的应用价值。重型动力触探应用广泛。超重型动力触探适用于碎石土和软岩。圆锥动力触探试验设备轻巧,测试速度快、费用较低,可作为地基检测的普查手段。

由于轻型、重型、超重型圆锥动力触探试验的锤击能量差别大,应根据地基土性合理选择圆锥动力触探试验类型。

5.3.2 本条主要根据《岩土工程勘察规范》GB 50021-2001(2009年版)确定,同时对锤重、落距等误差要求进行了规定。

保持探杆顺直,可有效减小对试验结果的影响,故对探杆相对弯曲进行规定。

5.3.3 评价强夯置换墩着底情况时测试点位置选择在置换墩中心,可避免因置换墩墩体直径变化(扩径、缩径)对测试结果造成的影响。

为全面评价地基质量,故当有硬夹层时,宜穿过硬夹层后继续试验。因地基土组成不同、触探设备的规格不同等原因,均会造成触探设备的贯入能力不同,为避免强行贯入造成设备损坏、长时间难以贯入等原因,对轻型动力触探和重型动力触探分别给出可终止试验的条件。为避免因局部地层变化而导致锤击数增大,故而轻易更换触探类型,从而规定了连续三次的贯入要求。对于超重型动力触探,目前相关规范均未有明确的试验终止条件,考虑到超重型动力触探施工相对不方便,在天津地区应用不广泛,故亦未明确试验

终止条件，具体施工中可结合实际条件确定。

当检测深度不满足要求时，主要有两种解决方案，一是调整检测孔位；二是重新选择检测方法，包括改变动力触探试验的设备规格，将轻型圆锥动力触探试验改为重型圆锥动力触探试验，将重型圆锥动力触探试验改为超重型圆锥动力触探试验，或改用其他检测方法。

依据《岩土工程勘察规范》GB 50021-2001（2009 年版）规定了圆锥动力触探的试验操作要求。

对探头直径磨损或锥尖高度磨损允许程度进行规定，一是保证测试标准的统一，结果可靠，二是方便现场检查更换。

5.3.4 圆锥动力触探锤击数是否修正或如何修正取决于使用目的和建立统计关系背景。轻型圆锥动力触探试验深度一般小于 4m，故锤击数可不考虑修正。《岩土工程勘察规范》GB 50021-2001（2009 年版）规定，在采用重型及超重型圆锥动力触探锤击数确定碎石土密实时，应进行锤击数的修正，在进行力学分层，评定土的均匀性和物理性质、土的强度、变形参数、地基承载力、单桩承载力，检测地基处理效果时，应用试验成果时是否修正或如何修正，应根据建立统计关系时的具体情况确定。《建筑地基检测技术规范》JGJ 340 及部分地方标准，在判定地基承载力时，均明确重型和超重型圆锥动力触探试验锤击数应进行修正。天津地区重型及超重型圆锥动力触探应用不广泛，尚未建立有齐全的统计关系，故本条要求重型和超重型圆锥动力触探试验是否进行锤击数修正，应根据应用目的确定。鉴于目前所收集到重型和超重型圆锥动力触探试验锤击数的修正关系及公式基本一致，故本标准采用《岩土工程勘察规范》GB 50021-2001（2009 年版）提供的修正关系公式。

如采用轻型圆锥动力触探试验进行基槽底土质均匀性检验时，因现场工作量较大，采用表格记录便于操作，且表格记录结果便于查看，故可采用表格记录的形式。

超前和滞后范围内的圆锥动力触探锤击数不能反映真实土性，故应在分层统计时剔除。

同一检测孔采用不同类型圆锥动力触探时，应分别按圆锥动力触探类型统计。

在整理同一场地多孔触探资料时，应结合钻探资料进行分析。

通过地基处理前后的检测结果对比，如平均贯入击数的提高幅度、贯入击数的均匀性等，可判断地基处理施工效果。

表 5.3.4-1 和表 5.3.4-2 引自《天津市岩土工程技术规范》DB/T 29-20，同时，应采用本标准附录 D 统计修正（标准值）。对于素填土确定地基承载力特征值时，应注意填垫年限。

碎石土的密实度划分标准采用《岩土工程勘察规范》GB 50021-2001（2009 版）中相关标准，应采用深度修正锤击数值。

5.4 静力触探试验

5.4.1 静力触探试验一般在软土、软塑～可塑状黏性土、稍密～密实粉土和砂土及相应的处理土地基中较为适用。对于含少量碎石土层，其适用性应根据碎石含量、粒径级配等条件而确定。

5.4.2 静力触探探头是量测贯入土阻力的关键部件，他是贯入过程中直接感受土的阻力、并将其变成电讯号的元件。为实现这一过程，可采用不同型式的传感器，电阻应变式传感器最为常用。探头包括摩擦筒和锥头两部分，有严格的规格和质量要求。目前，国内外使用的探头可分为三种类型。

1 单桥探头：是将锥头与外套筒连在一起，因此只能测量一个参数。该类探头功能少，规格与国际标准不统一，其应用受到一定限制。

2 双桥探头：是一种将锥头与摩擦筒分开的探头，利用锥头可测定锥头阻力、利用摩擦筒可测定侧壁摩阻力。

3 多功能探头：一般是在双桥探头基础上再安装一种或几种具备其他功能的传感器。既可测定锥头阻力和侧壁摩阻力，也可测定孔隙水压力、探杆的倾斜度、地层电阻率、地层波速等参数。

单、双桥探头目前基本上已有统一的技术规格。对不在本表中列出的其他类型触探头，其质量若能达到本标准所规定的技术要求，也可采用。国际通用探头锥底截面积为 10cm^2 ，国内多用探头锥底截面积为 15cm^2 。

静力触探的贯入设备和记录仪作为设备应定期校准，校准的方式可采用自校、外校，或相结合的方式。静力触探探头、传感器必须室内率定合格后才能使用，使用中应定期率定，间隔时间最长为 3 个月；当连续使用时，贯入深度累计 3000m 增加率定一次；当遇超负荷碰撞等特殊情况下应及时率定。

按《岩土工程仪器基本参数及通用技术条件》GB/T 15406-2007 中 6.1.6 规定要求，工作环境温度应为 $-10^{\circ}\text{C} \sim +45^{\circ}\text{C}$ 。

探头传感器除室内率定误差（非线性误差、重复性误差、滞后误差、温度漂移、归零误差）不应超过满量程的 1.0% 外，要求现场的归零误差不应超过 3%。因此，现场试验过程中，当探头返回地面时必须记录归零误差，这是试验数据质量好坏的重要标志。

按《岩土工程仪器基本参数及通用技术条件》GB/T 15406-2007 中 6.2.2 规定要求，探头在工作状态下，各部传感器的互扰值应小于本身额定测值的 0.3%。

采用屏蔽电缆是避免外界高压的干扰，两组桥路分别屏蔽是避免桥路中交流电讯号引起的相互干扰。电缆应用良好的防水性和绝缘性。

我国的静力触探绝大部分采用电阻应变式传感器。与其配套的记录仪器主要有电阻应变仪、自动记录绘图仪、数字式测力仪及数据采集仪（静探微机）四种。前三种记录仪器的功能均有局限性，仪器虽能满足一般测试的需要，但资料整理时工作量大，效率低。

为了减少探杆与孔壁的摩擦力,要求探杆的直径应小于锥底的直径。若需增设扩孔器,考虑到其安设部位不能影响测试数据,安装位置应在对探头测试影响范围之外。

探杆应有足够的强度,抗拉强度应大于 600MPa,应采用高强度无缝管材,不得有裂纹和损伤,避免触探时发生断杆事故。触探杆的丝扣必须完好无裂纹,触探杆相互连接后,丝扣要闭合无间隙。每根探杆的长度宜为 1m,便于操作、装运及核查贯入深度。

按《岩土工程仪器基本参数及通用技术条件》GB/T 15406-2007 第 6.2.2 条规定要求,每节探杆轴线的直线度误差应小于 0.1%。

5.4.3 本条规定了静力触探测试深度控制原则。对于天然地基,检测深度可按《天津市岩土工程勘察规范》DB/T 29-247 中对于一般性勘察孔深度的要求执行。

为防止检测孔及静力触探设备反力装置(地锚)施工时发生安全事故,应避开地下电缆、管线等其他地下设施。根据检测深度和表面土层的性质,选择触探施工时能提供足够的反力装置。

对于天津中南部地区埋深 40m 以上土层,由于土性不同,静力触探测试锥尖阻力差别较大,淤泥质土一般在 0.2MPa~0.6MPa 之间,黏土、粉质黏土一般在 0.6MPa~3MPa 之间,粉土一般在 3MPa~20MPa 之间,粉砂一般在 15MPa~40MPa 之间。对于天津北部地区,埋深很浅的粉砂土土质密实,锥尖阻力一般超过 30MPa,甚至高达 40MPa~50MPa 以上。

通过静力触探测试现场操作的一些基本规定,可消除温漂、保证贯入深度的准确、防止测试过程中的断杆事故等。

检查零漂是保证测试数据质量的基本环节。地温与气温的差异,将引起触探头零读数的漂移,因此规定了触探头贯入土中 0.5m~1.0m,测出零读数以校正其影响值。根据天津市勘察院在天津地铁勘察项目中的地温测试数据显示,天津中南部在埋深 4m~5m 以下,地温基本不受气温影响。

通过静力触探测试现场测试数据记录的一些基本规定,可保证静力触探测试结果的准确性,符合使用要求。

《岩土工程勘察规范》GB 50021 中要求深度间隔一般采用 0.1m,不超过 0.2m。考虑到天津地区土层分布变化较大,采用深度 0.1m 间隔可更准确的记录地层变化,在技术及实际工作中均可很容易实现,故本标准要求测试点间距宜为 0.1m。

静力触探测试终孔的控制原则,当触探头的贯入阻力达到额定荷载值或反力装置失效,原则上可采取更换更大量程触探头或增加反力的措施,重新进行施工,直至达到试验要求的贯入深度。

当静力触探孔倾斜过大时,一是容易产生断杆事故,二是通过测斜反推探测实际深度较困难,三是探头受力状态与实际竖向、水平向受力状态有差异,可能导致探测阻力不准,故规定了倾斜度不大于 10° 的要求。

为了保证触探头的测试精度及避免因提拉触探头而导致的电缆断裂损坏,不得用电缆线提拉触探头。

5.4.4 静力触探测试过程中产生的异常现象包括:零点漂移、记录曲线上的脱节、记录深度与实际深度之间的误差等。

1 零点漂移的修正有两种方法:一是在测零读数时发现漂移,立即使仪器调零,在计算整理原始资料时,则无需再修正;另一种是将测得的零读数记录下来,仪表不调零,在整理资料时将实测数据通过零读数分别予以修正,修正方法按线性内插法进行。

2 记录曲线脱节的修正,统一规定将停机前的记录点与开机后贯入 10cm 处的记录点连接成圆滑曲线。

3 记录深度与实际深度之间产生误差的原因较多,因设备的更新换代,目前深度记录基本采用电子记录仪,导致深度记录误差的因素主要有导轮磨损、导轮与触探杆打滑以及孔斜、触探杆弯曲等。若由于导轮磨损引起的误差,应及时更换导轮;若因孔斜引起的误差,测定斜度,作深度修正是非常必要的。

4 当静力触探探头由坚硬土层进入松软土层或由松软土层进入坚硬土层时, 往往出现静探曲线中的“超前”和“滞后”现象, 其幅度一般为 10cm~20cm。

5.5 十字板剪切试验

5.5.2 机械式十字板剪切仪的特点是施加的力偶对转杆不产生额外的推力。他利用蜗轮蜗杆扭转插入土层中的十字板头, 借助开口钢环测定土层的抵抗扭力, 从而得到土的抗剪强度。

电测十字板剪切仪与机械式的主要区别在于测力装置不用钢环, 而是在十字板头上端连接一个贴有电阻应变片的扭力传感器装置(主要由高强度弹簧钢的变形柱和成正交贴在其上的电阻片等组成)。通过电缆线将传感器信号传至地面的电阻应变仪或数字测力仪, 然后换算十字板剪切的扭力大小。他可以不用事前钻孔, 且传感器只反映十字板头处受力情况, 故可消除轴杆与土之间, 传力机械等的阻力以及坍孔使土层扰动的影响。如果设备有足够的压入力和旋扭力, 则可自上而下连续进行试验。

信号传输线采用屏蔽电缆可防止或减小杂散信号干扰, 保证测试结果的准确性。

5.5.3 安装平稳才能保证钻杆入土的垂直度以及形成与理论假定一致的剪切圆柱体。

试验点的深度间距宜结合钻探、静力触探确定的地层情况而定, 宜为 1.0m~2.0m, 当需要获得多个检测点的数据而土层厚度不够时, 深度间距可为 0.8m; 当土层随深度的变化复杂时, 可根据工程实际需要, 选择有代表性的位置布置试验点, 不一定均匀间隔布置试验点, 遇到变层, 增加检测点。

5.5.4 十字板不排水抗剪强度计算的假定为: 当十字板在土中扭转时, 土柱周围的剪力是均匀的, 土柱体上、下两端也是均匀的。

根据原状土与重塑土不排水抗剪强度的比值可计算灵敏度,可评价软黏土的触变性。

实践证明,正常固结的饱和软黏性土的不排水抗剪强度是随深度增加的;室内抗剪强度的试验成果,由于取样扰动等因素,往往不能很好地反映这一变化规律;利用十字板剪切试验,可以较好地反映土的不排水抗剪强度随深度的变化。绘制抗剪强度与扭转角的关系曲线,可了解土体受剪时的剪切破坏过程,确定软土的不排水抗剪强度峰值、残余值及不排水剪切模量。目前十字板头扭转角的测定还存在困难,有待研究。

根据 $(C_u - h)$ 曲线,判定软土的固结历史:若 $(C_u - h)$ 曲线大致呈一通过地面原点的直线,可判定为正常固结土;若 $(C_u - h)$ 直线不通过原点,而与纵坐标的向上延长轴线相交,则可判定为超固结土。

当单独采用十字板剪切试验统计结果评价地基时,初步设计时可根据不排水抗剪强度标准值,根据规范提供的经验公式推定地基土承载力特征值。十字板剪力试验结果宜结合平板载荷试验结果对地基土承载力特征值作出评价。利用十字板剪切试验成果计算出来的地基土承载力特征值,在没有载荷试验作对比的情况下,不宜作为工程设计和验收的最终依据。

地基承载力与原状土不排水抗剪强度 C_u 之间有着良好的线性关系,国内一些勘察设计单位根据几十年大量工程实践经验、现场试验对地基承载力与原状土不排水抗剪强度之间的关系进行统计、分析得到一些经验公式。本条规定对经验公式中的埋置深度进行了取值限制,建议当 $h > 3.0\text{m}$ 时应进行适当折减。

5.6 旁压试验

5.6.1 旁压试验是在钻孔中,通过对测试段孔壁施加径向压力使地基土产生相应的变形,测得土体压力与变形关系的原位测试方法。旁压仪根据其旁压器置入土体的方式不同,分为预钻式、自钻式和压入式三种。国内以预钻式为主,自钻式和压入式少有应用,故本标准各条规定是针对预钻式旁压试验。

5.6.2 目前已有多种不同型号的旁压仪存在,但结构形式和试验原理大致相似,本标准选用了当前最常用的旁压仪设备,而不是以某一种型号的旁压仪设备作为功能示范。

旁压器也称旁压探头,是旁压仪设备中的一个主要部件。不同型号的旁压仪设备配置有与之尺寸规格相适应的旁压器。辅助腔的作用在于延长孔壁土层受压段的长度,减少测量腔端部影响。当土体受压时,测量腔部分周围土体均匀受压,使土层近似处于平面应力状态。单腔式旁压器的弹性膜易于装卸更换,逐渐被广泛使用。经国内外相关的研究和大量试验表明,单腔式旁压器在其测量腔的长径比满足一定条件后,对旁压试验的测试结果无明显影响。所以上述两种结构形式的旁压器均已得到广泛应用。

压力源一般采用高压气源,连接管宜采用高压管,也可采用油压装置等。考虑到安全性、稳定性,高压气源一般采用氮气。

变形测量系统是旁压设备的重要部件,主要功能是测量和记录在每一个规定的时间点,系统向旁压器所施加的压力值和相对应的测管向旁压器注入的水量值。水量值有体积和位移两种表示方法。该量值可采用人工目测和手动记录其数据,也可采用传感器等电子测读方法,有效提高测读精度和准确度,减少人为误差,降低劳动操作强度。

导压管是旁压仪设备中传送液体和压力的部件,一般不宜将普通尼龙管直接作为导压管使用。试验压力大于 3.0MPa 的导压管建

议使用耐高压的复合软管，现多采用同轴高压软管。

5.6.3 率定是旁压试验前应进行的重要准备工作，不仅能检验旁压试验设备的完好情况，而且可以确定旁压设备压力损失和位移（或体积）损失，旁压仪的调压阀、量管、导管、压力计等在加压过程中均会产生变形，造成水位下降或体积损失，这种水位下降或体积损失为仪器的综合变形，通过率定可以对试验结果进行修正。

1 初次使用设备因对设备的压力损失和位移（体积）损失情况不明，仪器长期不用，设备开关有腐蚀，密封性差，管道内会有杂质沉淀，均需对仪器进行综合变形率定和弹性膜约束力率定。

2 加长或缩短导管、更换测管或注水管等，由于连接量测装置与旁压器的管路体积的改变，不同材质的差异，会使设备压力损失和位移（或体积）损失有所改变，需要对仪器综合变形进行率定。

3 试验前无论是更换新的弹性膜还是已多次使用过的弹性膜，性能均有较大的变化，需对弹性膜约束力进行率定。

4 弹性膜长期使用，约束力会有较大的变化，当地基承载力较低时，试验过程中弹性膜膨胀较大，变形会比较大，故根据相关试验结果，做了本规定。

仪器综合变形校正系数很小，一般不大于 $0.015\text{cm}^3/\text{kPa}$ ，该值对于高压缩性土的变形，可以忽略不计，相反对于低压缩性土的变形，就不可忽视，应根据土的压缩性区别对待。

弹性膜的约束力，主要因材料为橡胶，多次胀缩后，会逐渐产生松弛。因此，换膜首次率定前，应先胀缩 4 次～5 次，使弹性膜约束力趋于稳定值，再进行率定试验，试验 20 次后，需复率定一次。因约束力对试验变形量影响所占的比重较大，在承载力低的土层中进行试验时，应增加率定次数频率。

5.6.4 旁压试验点的布置，应在了解地层剖面的基础上进行，以便能合理地在有代表性的位置上布置试验。旁压试验应保证旁压器测量腔置于同一土层中，若置于两种或两种以上岩土层中时，由于土

性软硬差异，易导致加荷后弹性膜破裂；即使不破裂，加荷后，在软弱土层中弹性膜变形大，较硬土层中弹性膜变形小，旁压曲线失真。根据实践经验，旁压试验的影响范围，水平方向约为 60cm，上下方向约为 40cm，为避免相邻试验点应力影响范围重叠，建议试验点的垂直间距不宜小于 1.0m，试验孔与已有钻孔的水平距离不宜小于 1.0m。

旁压器长度一般为 450mm~800mm，加上一个 200mm~300mm 的连接接手，其总长度接近 1.0m，若最小试验深度小于 1.0m，则旁压器就不能放置到预定的深度。

预钻式旁压试验中，成孔是重要的一环，用回转钻机成孔时，在试验段范围内要用与旁压器直径匹配的钻头和岩芯管，使成孔直径满足试验要求。在钻孔里进行原位测试，测试成果的真实性取决于孔壁土体的原状程度和天然湿度，成孔质量对试验成果影响较大，尤其是作图法中确定初始压力时，成孔匹配性对初始压力取值影响大。旁压器下端有 0.1m 的保护筒锥，成孔后往往有一定孔底沉淀物，因此旁压器底端要求保留至少 0.2m 空间段，保证旁压器能放置到指定深度进行试验。成孔完成后应及时试验，否则会变形过大，成孔坍塌，下放旁压器困难。若一次成孔，多段试验，一方面会使成孔时间长，变形过大，造成坍塌；另一方面，钻具多次上下，造成成孔直径偏大，影响试验成果的准确性。

由于旁压器设备型号较多，具体的试验步骤，应按所用型号的旁压仪操作使用说明进行，旁压器放置时将旁压器用钻杆或连接杆连接，导压管隔段缚扎在钻杆上，避免在提出旁压器时由于导压管的弯曲而损坏导压管或旁压器，试验深度大时更应注意。为保证在临塑压力前有足够的测点，以保证绘制直线段的必要精度，规定试验压力等级可采用预期临塑压力的 $1/5 \sim 1/7$ ，当记录数据表明，变形明显增大，出现拐点，以后的压力增量可以适当加大。加压速率或各级压力的观察时间，国内常用的观测时间有 1min、2min、3min、

5min 和 10min, 国外多采用 1min 或 2min, 本标准规定各级压力下观测时间为 1min、2min、3min 均可。对于软塑黏性土、淤泥和淤泥质土观测时间宜用 2min。

旁压试验要求呈现被测土体的受压变形到破坏的过程, 因此要求尽量接近或达到土体的极限压力应力状态时终止试验。由于变形过大, 旁压器测量腔扩张体积相当于其固有体积时, 测量管水位下降到测管底部, 无法继续测量其变形; 当测管水位明显大幅度加快变化时, 表明被测土体已接近或到达极限破坏状态, 也有可能弹性模意外破损; 试验压力超过仪器设备的额定压力会造成设备的损坏。

对旁压器进行消压、回水或排水工作, 使弹性模恢复到原始状态, 以便顺利地从中取出旁压器。

5.6.5 国内求解初始压力 p_0 , 目前使用最普遍的是作图法, 要求在加荷初始阶段采用小增量, 尽可能采集较多的试验数据, 试验成孔严格按标准要求进行, 有明显的初始阶段。否则可采用本条中规定的计算法来确定。

国内自从开展旁压试验以来, 大部分习惯直接在旁压曲线上取拐点所对应的压力为临塑压力 p_f 。大量试验资料表明, 正常的旁压曲线均有很好的直线段, 且拐点明显, 且临塑压力 p_f 很易确定。对直线段不明显, 较难确定临塑压力情况下, 也可采用稳压 3min 或 2min 或 1min 时压力与位移增量或压力与体积增量曲线的直线段拐点来确定临塑压力。

旁压试验曲线经过临塑压力后, 趋向于与纵轴平行的渐近线时所对应的压力为极限压力 p_L , 一般试验压力最大只能加到接近极限压力。因为此时土体接近破坏, 如不及时终止试验, 测管里的水位迅速下降, 同时旁压器弹性模迅速膨胀, 有引起破裂的危险。为此规定了终止试验的条件, 这样极限压力一般需要采用推算的方法求得。常见的有外推法、倒数曲线、双对数和相对体积法等。本标准选用了外推法、倒数曲线法, 主要考虑方法比较简单。

由于加荷采用快速法,相当于不排水条件,依据弹性理论,可采用本标准的式(5.6.5-7、5.6.5-8)计算旁压模量。

旁压试验成果的分析应用中利用极限压力 p_L 和临塑压力 p_f 确定地基承载力特征值,是目前国内常用的方法。

由 R.J.Mair (1987) 提出的评价软黏土不排水抗剪强度的方法,经过全国各地多年使用,和其他原位测试、土工试验对比,取得了较好的效果。

通过 $K_m = \Delta p / \Delta \gamma$ 估算的侧向基床系数比其他手段获得的水平基床系数和经验值要大得多。这是因为通过公式估算时, Δp 取值采用拟弹性段的塑限压力与初始压力的差值,以及对应的孔隙半径差。 K_m 体现的旁压试验(拟)弹性阶段的侧向基床系数,而实际工程中 K_m 值多处于弹-塑性阶段或塑性阶段,故以此计算的数值偏大,在工程中采用旁压试验确定水平基床系数,应根据不同土性,应力条件进行修正,公式中采用了修正系数,该修正系数是根据全国多个工程旁压试验成果与土工试验、标贯试验、扁铲试验以及地方经验值比较后确定。

5.7 波速测试

5.7.1 波速测试多采用单孔法、跨孔法、面波法、岩体声波测试等方法。

1 单孔法多采用孔口激振,孔内接收的下孔法。普遍应用于岩土勘察中的波速测试和换填垫层法、强夯法加固地基的质量检测。

悬挂法波速测井是将震源与接收检波器置于钻孔中,以井液作为耦合剂,用电磁震源垂直于井壁作用一瞬时冲击力,通过井液耦合,在井壁地层中产生两种类型质点震动,一种是质点震动方向垂直于井壁,沿井壁方向传播,称为剪切波,另一种是质点震动方向与传播方向相同,称为压缩波,位于震源下方的两个检波器接收沿

井壁地层传播的剪切波信号并转换成电信号，然后传输到仪器进行采集、记录。

2 跨孔法须采用多个试验孔进行测试，操作较复杂，对较深地层的波速测试不适用。

3 面波法较普遍地应用于岩土勘察中的波速测试和换填垫层法、强夯法加固地基的质量检测。

4 岩体声波测试测点可选择在地表露头、钻孔和风钻孔中，适用于岩体波速测试。

5.7.2 对于土层波速测试，希望能通过相反方向的激发产生极性相反的二组剪切波，以便于确定剪切波的初至时间。

单孔法和跨孔法采用的三分量井下传感器，其外形是一全密封的钢筒，直径一般为 $\Phi 100\text{mm}$ 、长度为 300mm ；内置1个竖向、2个相互垂直水平向检波器，传感器外壳附有气囊。面波测试的检波器不同于通常使用的地震检波器，他不仅要求频响特性好，而且低频段比通常使用的地震检波器低得多。国内一般用于面波测试的地震检波器低频应在 4Hz 左右。

5.7.3 板式振源离测试孔的距离，应根据第一层土的厚度和其下是否存在高速层来确定。当第一层土的厚度较大时可取大值，但不宜超过 3.0m ；当其下存在高速层时可取小值，但不宜小于 1.0m 。

跨孔法测试为避免折射波的干扰，孔间距离不应大于临界距离（见图1），可按下式计算临界距离：

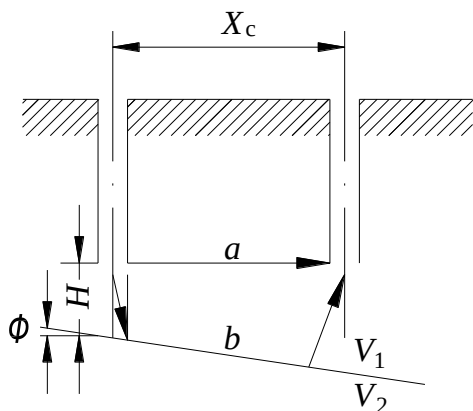


图 1 直达波与折射波传播途径

a—直达波传播途径；b—折射波传播途径

$$X_c = \frac{2H \cos i \cos \phi}{1 - \sin(i + \phi)} \quad (1)$$

$$X_c = 2H \sqrt{(V_2 + V_1)(V_2 - V_1)} \quad (\phi = 0) \quad (2)$$

式中： X_c ——临界距离（m）；

H ——沿钻孔方向振源至高速层的距离（m）；

i ——临界角； $i = \arcsin(V_1/V_2)$ ；

V_1 ——低速层波速（m/s）；

V_2 ——高速层波速（m/s）；

ϕ ——地层界面倾角；以顺时针方向为正，逆时针方向为负。

当跨孔法测试的深度超过 15m 时，为了得到在每一测试深度孔间距的准确数据，应进行测斜工作。

5.7.4 单孔法的资料整理过程中，应注意下述两个问题：

1 如果靠近地表的土层为低速层，下有高速层可能会产生折射波，因此，除在标准中规定的震源离孔的距离外，在资料整理中也应考虑是否存在这一问题；

2 在计算波速时，应作斜距校正。本标准是将板式振源理想化为点振源，点振源位于板中心距井口距离为 S (m)，如图 2 所示：

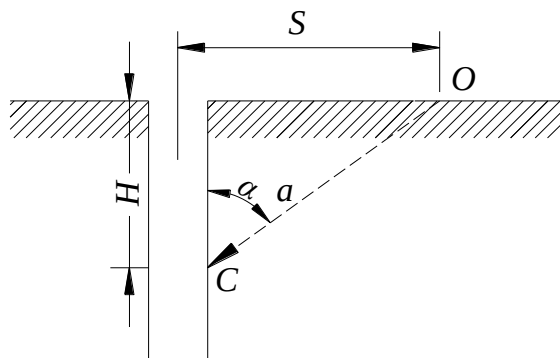


图 2 斜距按三角关系校正图

按这种假设进行的斜距校正，弹性波自振源点沿 OC 传到拾振器的时间为：

$$t = \frac{\sqrt{(S^2 + H^2)}}{V_s} \quad (3)$$

随测试深度的增加，斜距接近孔深；当测试深度超过 15m 时，可不再作斜距校正。

应按式 (1)、式 (2) 计算临界距离，判明传感器所接收到的是否为直达波；比较相邻孔及多孔波速值，如果波速值基本一致，可认为无折射影响。

面波频散曲线反映了地层面波速度随深度的变化情况,可根据波速划分地层,但应注意,频散曲线上纵坐标在物理意义上是波长,波长与勘探深度的对应关系和地质体的物理力学指标有关,较为复杂。因此,在有条件的场地要与已知钻孔数据进行对比,做深度校正。

岩体声波测试数据整理过程中,可按下列原则和方法判别剪切波:

- 1 在岩体介质中,剪切波出现在纵波之后,其速度之比 $V_p/V_s = t_s/t_p \geq 1.7$;
- 2 接收到的纵波频率应大于横波频率 ($f_p > f_s$);
- 3 剪切波的振幅应比纵波的振幅大 ($A_s > A_p$);
- 4 采用锤击法时,改变锤击的方向;采用换能器发射时,改变发射电压的极性;此时,接收到的纵波相位不变,剪切波相位改变 180° 。

结合钻探工作可以利用波速划分地层、评价岩体的完整性,划分强风化、中风化、微风化界限。岩土剪切波速度与地基土的承载力特征值 f_{ak} 、变形模量 E_0 、压缩模量 E_a 、动力触探击数 $N_{63.5}$ 、标准贯入击数 N 关系密切,可用于评价各类岩土层的强度和变形指标,也可对场地砂土液化进行评价。

6 基桩静载试验

6.1 一般规定

6.1.1 单桩静载试验是公认的检测基桩承载力最直观、最可靠地传统方法。本章单桩包含复合地基竖向增强体，适用于确定水泥土搅拌桩、旋喷桩、夯实水泥土、水泥粉煤灰碎石桩、混凝土桩、树根桩、强夯置换墩等。

6.1.2 按照基桩的受力特征，单桩承载力试验应在桩顶施加试验荷载，可采用堆载、锚桩、堆锚联合、地锚等反力方式；在场地条件不具备以上反力方式时，可采用自平衡法进行承载力验收。

为设计提供依据的试桩静载试验应加载至桩的极限承载状态甚至破坏。近年来，工程桩中大量使用预应力混凝土空心桩，桩芯混凝土灌注质量一直以来没有相应的检测方法，天津市建筑科学研究院有限公司、天津市建筑工程检测中心有限公司、天津建城基业集团有限公司及天津市建联工程勘测有限公司开展了灌芯抗拔承载力试验的研究，在桩顶面利用锁定的灌芯主筋，以空心桩顶面为设备支撑面，穿心千斤顶加载进行试验。总结概括了试验过程中混凝土灌芯粘结强度、钢筋屈服强度、混凝土抗拉强度的关系，确定了灌芯抗拔静载试验方法，得以验证空心桩灌芯抗拔承载力、混凝土灌芯粘结强度是否满足设计要求。

6.1.3 通过在桩身埋设测试元件，并与桩的静载试验同步进行的桩身内力测试，能充分了解桩周土层侧阻力和桩底端阻力发挥特征、桩周土的地基反力特性，具有实际普遍意义。设计提出侧阻和端阻测试要求时，应在试验桩施工中安装测试桩身应变或变形的元件，以得到试桩的侧摩阻力分布和端阻力，为设计选择桩基持力层提供依据，静载试验装置的设计和安装应符合试验安全的要求。

6.1.4 试验桩场地的选择应有代表性，附近应有地质钻孔。

6.2 单桩竖向抗压静载试验

6.2.2 为防止加载偏心，千斤顶的合力中心应与反力装置的重心、桩横截面形心重合（桩顶扩径除外），并保证合力方向与桩顶面垂直。

采用任一反力装置，应保证竖向荷载全部作用在与水平面垂直的桩轴线方向上。当工程桩做锚桩时，监测其上拔量，可有效监控加载设备在试验过程中的变化，防止锚桩超负荷使用，保证静载试验的安全，提高数据分析的准确性。若锚桩还承受水平力时，尚应在试验中监测锚桩水平位移。大吨位试验应对加载装置进行强度及变形验算，主梁及次梁挠度不大于钢梁长度的 $1/400$ 。

荷重传感器测力不需要考虑千斤顶活塞摩擦对出力的影响，压力表（间接方式）需通过率定换算千斤顶出力。当油路工作压力较高时，会出现接头漏油、油管爆裂、千斤顶出力受限等情况，应选用耐高压、大压力、大量程压力表、油泵、油管。

沉降测量若选用百分表，其量程不应小于 50mm ，应符合现行国家标准《大量程百分表检定规程》JJG 379 中的规定。推荐使用先进的光学测量仪器，可有效减小外界环境因素的影响，提高测量精度。

为保证安全，采用大吨位压重平台反力装置的静载荷试验，应采用自动测量记录仪器，压重平台周边应采取安全防护措施。

支墩对试桩、基准桩的影响程度与荷载水平及土质条件等有关。当支墩边距试桩较近时，大吨位堆载地面下沉将对桩产生负摩阻力，特别对摩擦型桩将明显影响其承载力，另外，桩加载时，地面同时卸载，地基土回弹会对基准桩产生影响。对于软土场地的特大吨位堆载，为减小对试桩产生附加影响，应考虑对支墩影响范围内的地

基土进行加固，若支墩出现明显下沉，可在远离支墩处用水准仪或张紧的钢丝观测基准桩的竖向位移。有条件可采用适宜的光学或电子等测量仪器进行远距离观测。

6.2.3 试桩的选取应具有代表性。为便于沉降测量仪表安装，试桩顶部宜高出试坑地面；为使试桩受力条件与设计条件相同，试坑底面宜与桩承台底标高一致。

按要求处理好试桩桩头，避免因桩头强度不足而造成测试结果的失实。

沉降测定平面宜在千斤顶底座承压板以下桩身位置，从而测得桩顶的实际沉降数据，避免因其他原因所导致的测试数据失实。

基准桩应打入地面以下足够深度，保持稳固。基准梁应一端固定，另一端简支，以减少温度变化而引起的挠曲变形。

慢速维持荷载法是我国公认且已沿用几十年的标准试验方法。天津市地层以软土为主，每级荷载达到稳定时间较长，因此应采用慢速维持荷载法。

每级荷载在维持过程中的变化幅度不得超过该级增减量的 $\pm 10\%$ ，桩在每级荷载作用下出现下沉，千斤顶伸长随之出现荷载减小，因此，试验过程中应及时补压。

当桩身存在水平整合型缝隙、桩端有沉渣或吊脚、预应力管桩出现上浮、桩端持力层出现软化现象时，可能会出现本级荷载沉降超过上一级荷载对应沉降 5 倍的陡降，当缝隙闭合或桩端与硬持力层接触后，随着持载时间或荷载增加，变形梯度往往逐渐变缓；当桩身强度不足桩被压断时，也会出现陡降，但与前者相反，随着沉降增加，荷载不能维持甚至大幅降低。所以，出现陡降后不宜立即卸荷，而应使桩下沉量超过 40mm，以大致判断造成陡降的原因。

非嵌岩的长（超长）桩和大直径（扩底）桩的（ $Q-s$ ）曲线一般呈缓变型，在桩顶沉降达到 40mm 时，桩端阻力一般不能充分发挥。前者由于长细比大、桩身弹性压缩量大，桩顶沉降较大时，

桩端位移还很小；后者虽桩端位移较大，但尚不足以使端阻力充分发挥。因此，放宽桩顶总沉降量控制标准是合理的。

6.2.4 同一工程同一类型的各试桩曲线横坐标 Q 和纵坐标 s 的最大取值宜相同，易于对照分析和比较。

《建筑地基基础设计规范》GB 50007 规定的单桩竖向抗压承载力特征值是按单桩竖向抗压极限承载力除以安全系数 2 得到的，综合反映了桩侧、桩端极限阻力控制承载力特征值的低限要求。

本条中的“单桩竖向抗压极限承载力”来自两种情况：对于验收试验，即为按第 6.2.4 条第 3 款得到的单桩极限承载力值；而对于为设计提供依据的检测，还需按第 6.2.4 条第 4 款进行统计取值。

6.3 单桩竖向抗拔静载试验

6.3.2 加载反力装置应首先考虑利用工程桩作反力，一般能满足上拔荷载要求。为保证反力梁的稳定性，应注意反力桩顶面直径（或边长）不小于反力架的梁宽。当无法利用工程桩而采用天然地基作反力时，两边支座处的地基土强度应相近，且两边支座与地面的接触面积宜相同，避免加载过程中两边沉降不均造成受检桩偏心受拉，可采用简单地基处理或调整支座两边受力面积来满足要求。

6.3.3 在混凝土桩的受拉钢筋上设置位移观测点，会因钢筋变形导致上拔量观测数据失实，因此规定桩顶上拔量测量平面应在桩身位置。同时，为防止混凝土桩保护层开裂对上拔量测试的影响，上拔量观测点应避开混凝土明显破裂区域设置。

6.3.4 拔桩试验与抗压试验一样，一般应绘制 $(U - \delta)$ 曲线和 $(\delta - \lg t)$ 曲线，但当上述两种曲线难以判别时，也可以辅以 $(\delta - \lg U)$ 曲线或 $(\lg U - \lg \delta)$ 曲线，以确定拐点位置。

6.4 单桩水平静载试验

6.4.1 桩的水平承载力静载试验除了桩顶自由的单桩试验外,还有带承台桩的水平静载试验(考虑承台的底面阻力和侧面抗力,以便充分反映桩基在水平力作用下的实际工作状态)、桩顶不能自由转动的不同约束条件及桩顶施加垂直荷载等试验方法,也有循环荷载的加载方法。加载方法的确定都可根据设计的特殊要求给予满足,并参考本方法进行。

桩的抗弯能力取决于桩和土的力学性能、桩的长度、抗弯刚性、宽度、桩顶约束等因素。试验条件应尽可能和实际工作条件接近,将各种影响降低到最小的程度,使试验成果能尽量反映工程桩的实际情况。

6.4.2 为保证各测试断面的应力最大值及相应弯矩的测量精度,试桩设置时应严格控制测点的纵剖面与力作用方向之间的偏差。对承受水平荷载的桩而言,桩的破坏是由于桩身弯矩引起的结构破坏。因此对中长桩而言,浅层土的性质起了重要作用,在这段范围内的弯矩变化也最大。为找出最大弯矩及其位置,应加密测试断面。

6.4.3 若水平力作用点位置高于基桩承台底标高,试验时在相对承台底标高处产生附加弯矩,影响测试结果,也不利于将试验成果根据实际桩顶的约束予以修正。球形铰支座的作用是在试验过程中,保持作用力的方向始终水平和通过桩轴线,不随桩的倾斜或扭转而改变。

单向多循环加载法主要是模拟实际结构的受力形式,当需要考虑长期水平荷载作用影响时,宜采用慢速维持荷载法。

6.4.4 地基土水平抗力系数随深度增长的比例系数 m 值的计算公式仅适用于水平力作用点至试坑地面的桩自由长度为零的情况。按桩、土相对刚度不同,水平荷载作用下的桩-土体系有两种工作状态和破坏机理,一种是“刚性短桩”,因转动或平移而破坏,相

当于 $ah < 2.5$ 时的情况；另一种是工程中常见的“弹性长桩”，桩身产生挠曲变形，桩下段嵌固于土中不能转动，即本条中 $ah \geq 4.0$ 的情况。在 $2.5 \leq ah < 4.0$ 范围内，称为“有限长度的中长桩”。《建筑桩基技术规范》JGJ 94 对中长桩的 v_y 变化给出了具体数值（见表 1）。因此，在按式（6.4.4-1）计算 m 值时，应先试算 ah 值，以确定 ah 是否大于或等于 4.0，若在 $2.5 \sim 4.0$ 范围以内，应调整 v_y 值重新计算 m 值（有些国家行业标准不考虑）。当 $ah < 2.5$ 时，式（6.4.4-1）不适用。

表 1 桩顶水平位移系数 v_y

桩的换算埋深 ah	4.0	3.5	3.0	2.8	2.6	2.4
桩顶自由或铰接时的 v_y 值	2.441	2.502	2.727	2.905	3.163	3.526

注：当 $ah > 4.0$ 时取 $ah = 4.0$ 。

试验得到的地基土水平抗力系数的比例系数 m 不是一个常量，而是随地面水平位移及荷载而变化的曲线。

对混凝土长桩或中长桩而言，桩在水平荷载作用下，桩侧土体随着荷载的增加，其塑性区自上而下逐渐开展扩大，最大弯矩断面向下移，最后形成桩身结构的破坏。所测水平临界荷载为桩身产生开裂前所对应的水平荷载。因为只有混凝土桩才会产生开裂，故只有混凝土桩才有临界荷载。

单桩水平承载力特征值除与桩的材料强度、截面刚度、入土深度、土质条件、桩顶水平位移允许值有关外，还与桩顶边界条件（嵌固情况和桩顶竖向荷载大小）有关。

桩顶自由的单桩水平静载试验得到的承载力和弯矩仅代表试桩条件的情况，要得到符合实际工程桩嵌固条件下的受力特性，需将试桩结果转化，而转化的关键是求得地基土水平抗力系数的比例系数 m 值。考虑到水平荷载-位移关系的非线性且 m 值随荷载或位移的增加而减小，有必要给出 $(H - m)$ 和 $(Y_0 - m)$ 曲线并按以下考虑确定 m 值：

- 1 可按设计给出的实际荷载或桩顶位移确定 m 值；
- 2 设计未作具体规定的，可取水平承载力特征值对应的 m 值。

与竖向抗压、抗拔桩不同，混凝土桩（除高配筋率桩外）在水平荷载作用下的破坏模式一般为弯曲破坏，极限承载力由桩身强度控制。因此在单桩水平承载力特征值的确定上，不采用水平极限承载力除以安全系数的方法，而是将桩身强度、开裂和允许位移等条件作为控制因素。正因为基桩的水平承载力极限状态主要受桩身强度（抗弯刚度）制约，通过水平静载试验给出的极限承载力和极限弯矩对强度控制设计非常必要。

抗裂要求不仅涉及到桩身抗弯刚度，也涉及桩的耐久性，本条第 7 款第 3 项虽然可以按照设计要求的水平允许位移确定水平承载力，但根据现行国家标准《混凝土结构设计规范》GB 50010，只有裂缝控制等级为三级的构件，才允许出现裂缝，且桩所处的环境类别至少是二级以上（含二级），裂缝宽度限制为 0.2mm。因此，当裂缝控制等级为一、二级时，水平承载力特征值就不应超过水平临界荷载。

按设计要求的水平允许位移确定水平承载力特征值，桩身抗裂要求和承载力安全系数是设计应考虑的事情，单桩水平载荷试验难以对此进行分析评价，并认为设计在确定水平允许位移已经考虑到了桩身抗裂要求和承载力安全系数。

6.5 单桩自平衡法静载试验

6.5.1 本方法适用于天津市范围内建筑工程和市政交通工程，基桩传统静载试验条件受限时的基桩竖向承载力检测，弥补了传统静载试验方法难以实施大直径、大吨位、狭窄场地、基坑底部、逆作法、水上工程等特殊环境的基桩检测的不足。

6.5.2 荷载箱是一种特制的加荷装置,是基桩自平衡法静载试验的关键设备,需按基桩类型、截面尺寸、检测要求、施工工艺、加载能力进行订制生产,使用前应经法定计量单位进行系统检定,现场不得拆卸或重新组装。本条从荷载箱的生产、检定及耐压性等方面做了基本的规定,目的是为保证荷载箱的整体质量。

规定荷载箱最大双向加荷值不应小于预估单桩最大加荷值的1.2倍是为了保证荷载箱在加至最大加荷值时仍处于荷载最优发挥区间,不至于在最大加荷时出现加压费力现象。对荷载箱的行程规定是为了保证在桩身位移能达到标准要求终止加载条件的最大位移。

灌注桩荷载箱的截面外径尺寸宜与钢筋笼内径一致,截面内径应大于灌注导管外径100mm。

荷载箱埋设位置应根据岩土工程勘察报告进行估算,为保证平衡点估算的准确性,应选择试验桩最近的勘探孔资料计算,并根据剖面反映的地层起伏做适当调整。

荷载箱必须埋设在桩的截面中心,以防产生偏心轴向力。当荷载箱位移方向与桩身轴线方向夹角小于 1° 时,可以保证荷载箱所发出力的99.9%作用在桩身轴线上,其偏心影响很小,可忽略不计。

并联于荷载箱油路的压力表或压力传感器测量到的是油压,采用法定计量单位出具的检定报告中检定系数将油压换算成施加于桩上的荷载。本条对荷载测量所用仪表的准确度做了要求,目的是为了保证试验中压力值真实、可靠。当油路工作压力较高时,有时出现油管爆裂、接头漏油、油泵加压不足造成荷载箱加压受限,压力表在超过其 $3/4$ 满量程时的示值误差增大。所以,应当控制最大加荷时的油压,选用耐高压、工作压力大和量程大的油管、油泵和压力表。

荷载箱上下设置喇叭状的导向钢筋作用是为了保证灌注成桩时导管能顺利通过荷载箱,避免导管上下移动对荷载箱产生碰撞,

从而影响荷载箱的工作质量。

对试验过程中位移观测系统所采用的仪器、仪表的性能、测量误差、分度值/分辨力做了要求，目的是为了保证位移检测数据真实、可靠，使各种人为或外界的影响降到最低限度。对位移测量仪表的最少数量进行了规定，当桩径较大时宜增加位移测量仪表。每组 2 个时采用对称布置，每组 3 个时采用品字型布置，每组 4 个时采用按钢筋笼周长平均布置。有条件时宜进行桩顶位移测试，在桩顶布置一组位移测量仪表，起到辅助监测荷载箱工作状态的作用。自平衡法静载试验检测过程中，地面变形远小于锚桩法静载试验，因此试桩和基准桩之间的中心距离按本标准表 6.2.2 中锚桩法静载试验要求执行。

位移杆(丝)是基桩自平衡法静载试验中重要的位移传递系统，目的是将位移传递到地面，以便检测人员安装仪表进行记录。为保证测量达到足够精度，对位移杆(丝)进行了规定。位移杆宜为钢质的管材，位移丝宜采用钢丝绳(直径不应小于 2.5mm)。位移杆(丝)设置在护套管中，护套管宜采用内径不小于 50mm 的钢管或镀锌管。护套管应与钢筋笼焊接牢固并保证垂直，且分别与荷载箱焊接，焊缝应满足强度要求，护管应密封，确保不渗漏。荷载箱顶面、底面有钢板或加强钢梁，并预留有位移标杆、丝和位移护管的孔位，安装方便，连接可靠，容易操作和保护。

6.5.3 在试验过程中，运用终止加载条件分别对上、下两段桩的测试情况进行判断，只要满足其中一个终止加载条件之一，即可终止加载。对于抗拔桩的自平衡法静载试验终止加载情况，按本条上段桩位移的规定进行判定。

6.5.4 单桩竖向抗压试验时，荷载箱埋设在设计桩端标高以上，自平衡法静载试验时荷载箱上部桩身自重和有效桩顶以上空桩段内的物体自重方向与桩侧阻力方向一致，故在判定桩侧阻力时应当扣除。本法测出的上段桩摩阻力方向是向下的，与常规摩阻力方向相

反。传统加载时，侧阻力将使土层压密，而该法加载时，上段桩侧阻力将使土层减压松散，故该法测出的摩阻力小于常规摩阻力，国内外大量的对比试验已证明了该点。

目前国外对该法测试值如何得出抗压桩承载力的方法也不相同。有些国家将上、下两段实测值相加作为单桩抗压极限承载力，这样偏于安全、保守。有些国家将上段摩阻力乘以 1.5 再与下段桩相加而得单桩抗压极限承载力。我国将向上、向下摩阻力根据土性划分，对于黏性土，向下摩阻力的 0.6~0.8 为向上摩阻力；对于砂土，向下摩阻力的 0.5~0.7 为向上摩阻力。根据天津地区工程实践经验，对于黏性土，向下摩阻力的 0.8 为向上摩阻力；对于砂土，向下摩阻力的 0.7 为向上摩阻力较适宜。

抗拔试验桩，荷载箱埋设在设计桩端处，测出的上段桩极限加载值应扣除设计桩顶以上超灌高度的重量、空桩段泥浆或回填土自重。

自平衡法静载试验加载方式是桩底托桩，传统抗拔静载试验是桩顶拔桩，两种加载方式中，桩顶拔桩摩阻力最小。应根据实际情况通过相近条件的比对试验确定 γ_2 ，根据相关论文中室内单桩渗水力模型试验结果，表明不同的加载部位和加载方向对于桩的侧阻力的大小、分布和发展过程有重要的影响，试验中桩底托桩与桩顶拔桩的侧摩阻力之比为 1.1。因此，为保证安全，对于抗拔桩， γ_2 取值不得小于 1.1。

抗压桩荷载箱埋设在设计桩端标高以上，为确保作为试桩的工程桩在自平衡法静载试验后能正常使用，施工单位必须对完成自平衡法静载试验的工程桩进行注浆处理。

6.6 空心桩灌芯抗拔静载试验

6.6.1 空心桩灌芯抗拔承载力不仅涉及到桩身强度,也受到芯柱混凝土强度、主筋屈服强度、钢筋与芯柱混凝土的粘结强度、芯柱混凝土与空心桩内壁粘结强度等因素的影响。抗拔试验破坏基本呈脆性破坏,主要有芯柱混凝土与钢筋粘结强度破坏、钢筋屈服破坏及芯柱混凝土与桩内壁粘结强度破坏三种形式,由于桩芯内壁很粗糙,在保证施工质量的前提下,灌芯混凝土与桩内壁粘结强度非常高。

目前施工现场主要对抗拔空心桩的单桩抗拔承载力进行检测,而对灌芯的抗拔承载力检测还是空白。混凝土灌芯、尤其对内径较小的空心桩,能否保证施工质量尚存在不少问题,故对管桩灌芯进行抗拔承载力检测是很必要的。预应力管桩国标及各地方标准、图集也对抗拔管桩的灌芯最小长度给出了要求,《预应力混凝土管桩技术标准》JGJ/T 406-2017 第 5.2.10 条第 4 款则给出了具体管桩灌芯抗拔承载力验算公式,包括灌芯混凝土与管桩内壁的粘结强度验算和灌芯混凝土纵向钢筋的抗拉强度验算。考虑到管桩灌芯抗拔验算属于桩基与基础连接强度的计算,故其抗拔检测值不应小于基本组合下的最大单桩抗拔力设计值,具体数值由设计方提供。从已完成的多组试验结果看,如果空心桩灌芯能保证施工质量,其与空心桩内壁的粘结强度还是具有很大的潜力。

6.6.2 加载装置应利用工程桩平整桩顶作反力装置支撑面,由芯柱混凝土与桩内壁之间的粘结强度及其与钢筋的粘结强度提供反力,装置高度应满足架设位移传感器的要求。这样就避免了桩土体系对试验的影响,简化了边界条件,使检测结果更准确。

6.6.3 由于加载过程与桩土体系没有相对位移,为方便架设可适当缩小基准桩与试桩之间的距离。

灌芯芯柱抗拉具有脆性破坏的特点,工程桩验收试验最大加载应控制在弹性变形阶段。本标准结合天津地区工程实践经验,参考

了现行国家行业标准《锚杆检测与监测技术规程》JGJ/T 401 和国家标准《建筑地基基础设计规范》GB 50007-2011 附录 M 的相关规定，采用 30min 时间间隔的位移增量作为判别位移稳定标准的依据，有利于现场操作。实际工程中，基桩施工工期较短，验收试验适当减少了荷载的加载级数。

6.6.4 现行相关规范、图集中对灌芯抗拔力的表述暂无统一标准。本标准规定为设计提供依据的试验桩检测结果予以统计取值，工程桩验收检测提供单桩灌芯抗拔极限承载力即可。

7 低应变法检测

7.1 一般规定

7.1.1 低应变法不仅检测方法简便、直观，而且检测速度快捷，已在国内外普遍采用。本方法对桩身缺陷程度不做定量判定，对不同类型的缺陷性质较难区分，桩身缺陷的类型判定及定量定性分析需要结合地基条件、施工情况，并辅以开挖、钻芯法、声波透射法、孔内摄像法等其他方法验证。

由于受桩周土约束、激振能量、桩身材料阻尼和桩身截面阻抗变化等因素的影响，应力波从桩顶传至桩底再从桩底反射回桩顶的传播为一能量和幅值逐渐衰减过程。桩底反射信号的识别受到多种因素限制，有效检测长度范围受到影响。具体工程的有效检测桩长，应通过现场试验，依据能否识别桩底反射信号，确定该方法是否适用。尽管测不到桩底反射信号，但若有效检测长度范围内存在缺陷，则实测信号中必有缺陷反射信号。因此，本方法仍可用于查明有效检测长度范围内是否存在缺陷。

一维线弹性杆件模型是低应变法的理论基础。因此受检杆体的长径比、瞬态激励脉冲有效高频分量的波长与杆体的横向尺寸之比均不宜小于 10，设计杆体截面宜基本规则。另外，一维理论要求应力波在杆中传播时平截面假设成立，所以，对异形的竖向杆体，本方法不适用。

本方法对杆体缺陷程度只作定性判定，尽管利用实测曲线拟合法分析能给出定量的结果，但由于杆体的尺寸效应、测试系统的幅频相频响应、高频波的弥散、滤波等造成的实测波形畸变，以及杆体侧土阻尼、土阻力和杆体阻尼的耦合影响，曲线拟合法还不能达到精确定量的程度。

目前人工地基工程中常用的竖向增强体有碎石桩、砂桩、水泥土桩、石灰桩、灰土桩、CFG 桩等。根据竖向增强体的性质，桩体复合地基又可分为三类：散体材料桩复合地基、一定粘结强度材料桩复合地基和高粘结强度材料桩复合地基。其中，散体材料桩复合地基的增强体材料是颗粒之间无粘结的散体材料，如碎石、砂等，散体材料桩只有依靠周围土体的围箍作用才能形成桩体，桩体材料本身单独不能形成桩体。其他可称为粘结材料桩，视粘结强度的不同又可分为一般粘结强度桩和高粘结强度桩（也有人称为半刚性桩和刚性桩）。为保证桩土共同作用，常常在桩顶设置一定厚度的褥垫层。一般粘结强度桩复合地基如水泥土桩复合地基、灰土桩复合地基等，其桩体刚度较小；高粘结强度材料桩复合地基的桩体通常以水泥为主要胶结材料，有时以混凝土或由混凝土与其他掺和料构成，桩身强度较高，刚度很大。这几种类型中，散体材料增强体明显不符合低应变反射法的检测理论模型，因此不属于本方法的检测范围。而经大量试验证明：类似水泥土搅拌桩形成的一般粘结强度的竖向增强体，因其掺入水泥量、均匀性变化较大，强度较低，采用低应变法往往难以达到满意的效果，故一般只作为一种试验方法提供工程参考。

7.1.2 本条要求对桩身截面多变且变化幅度较大的灌注桩的检测有效性进行辅助验证，主要原因如下：

1 阻抗变化会引起应力波多次反射，且阻抗变化截面离桩顶越近，反射越强，当多个阻抗变化截面的一次或多次反射相互叠加时，造成波形难于识别；

2 阻抗变化对应力波向下传播有衰减，截面变化幅度越大引起的衰减越严重；

3 大直径灌注桩的横向尺寸效应，桩径越大，短波长窄脉冲激励造成响应波形的失真就越严重，难以采用；

4 桩身阻抗变化范围的纵向尺度与激励脉冲波长相比越小，阻

抗变化的反射就越弱，即所谓偏离一维杆波动理论的“纵向尺寸效应”越显著。

7.2 仪 器 设 备

7.2.1 检测仪器应尽量选用安装谐振频率较高的加速度传感器，且高频窄脉冲冲击响应测量时不宜使用速度传感器。

7.2.2 瞬态激振操作应通过现场试验选择不同材质的锤头、锤垫，以获得低频宽脉冲或高频窄脉冲。除大直径桩外，冲击脉冲中的有效高频分量可选择不超过 2000Hz（钟形力脉冲宽度为 1ms，对应的高频截止分量约为 2000Hz）。目前激振设备普遍使用的是力锤、力棒，其锤头或锤垫多选用工程塑料、高强尼龙、铝、铜、铁、橡皮等材质，锤的质量为几百克至几十千克不等。

稳态激振设备可包括扫频信号发生器、功率放大器及电磁式激振器。由扫频信号发生器输出等幅值、频率可调的正弦信号，通过功率放大器放大至电磁激振器输出同频率正弦激振力作用于桩顶。

7.3 现 场 检 测

7.3.1 桩顶条件和桩头处理好坏直接影响测试信号的质量，应符合以下规定：

1 灌注桩应凿去桩顶浮浆或松散、破损部分，露出坚硬的混凝土表面；桩顶表面应平整干净且无积水；妨碍正常测试的桩顶外露主筋应割掉；

2 对于预制桩，当端板与桩身混凝土之间结合紧密时，可不进行处理；

3 测试时桩头应与混凝土承台、垫层断开。

7.3.2 桩长参数应以施工桩长为依据，按测点至桩底的距离设定。测试前桩身波速可根据本地区同类桩型的测试值初步设定，实际分

析时应按桩长计算的波速重新设定或按本标准第 7.4.1 条确定的波速平均值 c_m 设定。在实测时域信号采样过程中,既要较高的采样频率利于缺陷位置的准确判断,也要合理选用采样频率,兼顾频域分辨率。

稳态激振的频率间隔,一般设置为 3Hz、5Hz、10Hz。理论上每一频率下激振持续时间越长越好,这样有利于消除信号中的随机噪声。实际测试过程中,为提高工作效率,只要保证获得稳定的激振力和响应信号即可。

7.3.3 为保证高质量的响应信号应做好以下工作:

1 传感器安装底面与桩顶面之间不得留有缝隙,安装部位混凝土凹凸不平时应磨平,传感器用藕合剂粘结时,粘结层应尽可能薄;

2 激振点与传感器安装点应远离钢筋笼的主筋,其目的是减少外露主筋对测试产生干扰信号。若外露主筋过长而影响正常测试时,应将其割短;

3 要求激振方向应沿桩轴线方向是为了有效减少敲击时的水平分量;

4 瞬态激振可通过改变锤的重量及锤头材料,改变冲击入射波的脉冲宽度及频率成分。锤头质量较大或硬度较小时,冲击入射波脉冲较宽,低频成分为主;当冲击力大小相同时,其能量较大,应力波衰减较慢,适合于获得长桩桩底信号,有利于下部缺陷的识别。锤头较轻或硬度较大时,冲击入射波脉冲较窄,含高频成分较多;冲击力大小相同时,虽其能量较小并加剧大直径桩的尺寸效应影响,但较适宜于桩身浅部缺陷的识别及定位。现场检测人员应能够熟练操作仪器,对所获波形在现场完成合理、快速的判断,选择适合的激振点、检测点以及敲击方式(锤重、锤垫等);

5 稳态激振在每个设定的频率下激振时,为避免频率变换过程产生失真信号,应具有足够的稳定激振时间,以获得稳定的激振力和响应信号,并根据桩径、桩长及桩周土约束情况调整激振力。稳

态激振器的安装方式及好坏对测试结果起着很大的作用。为保证激振系统本身在测试频率范围内不出现谐振,激振器的安装宜采用柔性悬挂装置,同时在测试过程中应避免激振器出现横向振动。

7.3.4 本条对激振点和检测点位置进行了规定。

1 检测的激振点和检测点布置见图3,当预制桩桩顶高于地面根多,或灌注桩桩顶部分桩身截面很不规则,或桩顶与承台等其他结构相连而不具备传感器安装条件时,可将两支测量响应传感器对称安装在桩顶以下的桩侧表面,且宜远离桩顶。

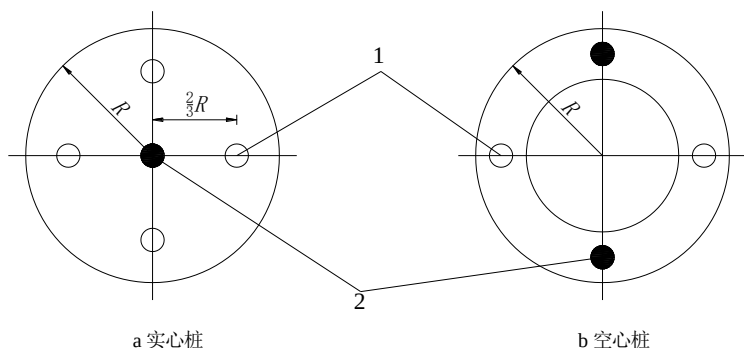


图3 传感器安装点、激振(锤击)点布置示意图

1—传感器安装点; 2—激振锤击点

2 桩径增大时,桩截面各部位的运动不均匀性也会增加,桩浅部的阻抗变化往往表现出明显的方向性,故应增加检测点数量,使检测结果能全面反映桩身结构完整性情况。

3 应合理选择测试系统量程范围,特别是传感器的量程范围,避免信号波峰削波。

4 每个检测点有效信号数不宜少于3个,通过叠加平均可提高信噪比。

7.4 检测数据的分析与判定

7.4.1 为分析不同时段或频段信号所反映的桩身阻抗信息、核验桩底信号并确定桩身缺陷位置,需要确定桩身波速及其平均值 c_m 。波速除与桩身混凝土强度有关外,还与混凝土的骨料品种、粒径级配、密度、水灰比、成桩工艺(导管灌注、振捣、离心)等因素有关。波速与桩身混凝土强度整体趋势上呈正相关关系,即强度高波速高,但二者并不为一一对应关系,不能依据波速去评判混凝土强度等级,反之亦然。

对于超长桩或无法明确找出桩底反射信号的桩,可根据本地区经验并结合混凝土强度等级,综合确定波速平均值,或利用成桩工艺、桩型相同且桩长相对较短并能够找出桩底反射信号的桩确定的波速,作为波速平均值。此外,当某根桩露出地面且有一定的高度时,可沿桩长方向间隔一可测量的距离段安置两个测振传感器,通过测量两个传感器的响应时差,计算该桩段的波速值,以该值代表整根桩的波速值。

7.4.2 由于采用平均波速和瞬态激振的锤击方式测桩,公式(7.4.2-1)和(7.4.2-2)中的受检桩波速存在误差,导致桩身缺陷的位置也是有误差的。

7.4.3 本条强调了判断预制桩桩身完整性类别时,应充分考虑到制桩工艺对测试方法的影响,注意区分反射波出现在桩身和接桩部位时的两种不同情况。尤其是预应力混凝土管桩,桩身的破坏极易形成纵向劈裂(裂缝),且多属急剧脆性破坏,反射波方法很难形成明显的反射界面,在有些情况下即使破坏很严重,反射波也并不明显,更难看到二次反射。由于结构构造方面的原因,桩身的轻微损伤也极易引起整个桩身结构的损毁。从工程安全及耐久性考虑,桩身的轻微损伤是应该被严格禁止的。桩身的破坏反射有时表现为测试曲线上出现小幅低频背景,甚至是类似灌注桩扩径的特征,很容

易产生错判、漏判。因此有必要强调，根据反射波的幅值来判断桩身部位完整性时一定要从严把握，宜先考虑判为Ⅱ类“合格桩”带来的安全隐患。对于双节及多节桩，还应结合高应变法、孔内摄像法等综合判定桩身完整性类别。

判断桩身完整性及划分缺陷类别时，还应考虑到预制桩接桩焊接工艺对测试方法的影响。现在普遍采用的管桩焊接工艺为端板外周 U 型口焊接，上下节桩端板面间有时会存在微小的间隙，在接桩部位仍有可能表现为一强反射界面。桩焊接工艺不能将桩合成一个完整的整体。从弹性波动理论意义上讲，某些情况下接桩部位出现反射波应属正常现象。对于接桩部位反射波较明显的情况，必要时宜进一步结合高应变方法、孔内摄像法、静载进行复核。接桩部位低应变法判定为Ⅲ、Ⅳ类的桩，静载试验承载力并不低，用高应变方法测试分析可判断为Ⅰ、Ⅱ类桩。因此对接桩部位出现反射波时，应慎重对待。

7.4.4 在信号没有受尺寸效应、测试系统频响等影响产生畸变的前提下，可按下列建议尝试采用实测曲线拟合法进行辅助分析：

- 1 宜采用实测力波形作为边界条件输入；
- 2 桩顶横截面尺寸应按现场实际测量结果确定；
- 3 通过同条件下、截面基本均匀的相邻桩曲线拟合，确定引起应力波衰减的桩土参数取值。

7.4.5 对嵌岩桩，桩底沉渣和桩端下存在的软弱夹层、溶洞等是直接关系到该桩能否安全使用的关键因素。虽然本方法不能确定桩底情况，但理论上可以将嵌岩桩桩端视为杆件的固定端，并根据桩底反射波的方向及其幅值判断桩端端承效果，也可通过导纳值、动刚度的相对高低提供辅助分析。采用本方法判定桩端固嵌效果差时，应采用钻芯、孔内摄像、静载或高应变等检测方法核验桩端嵌岩情况，保证基桩使用安全。

8 高应变法检测

8.1 一般规定

8.1.1 高应变法的主要功能是判定单桩竖向抗压承载力是否满足设计要求。要得到极限承载力,应使桩侧和桩端岩土阻力充分发挥,否则只能得到承载力检测值。

高应变法检测桩身完整性具有激励能量高、检测有效深度大的优点,特别在判定桩身水平整合型缝隙、预制桩接头等缺陷时,能够在查明这些“缺陷”是否影响竖向抗压承载力的基础上,合理判定缺陷程度。带有普查性的完整性检测,应优先采用低应变法。

高应变检测技术是从打入式预制桩发展起来的,试打桩和打桩监控属于其特有的功能,是静载试验无法做到的。

现在普遍采用的混凝土预制桩、预应力混凝土管桩焊接工艺仅为桩外点焊或圆圈焊接。受工艺限制,上下节桩的顶底面间有时会不可避免地存在间隙。由于完整性测试中,弹性波引起的桩身的应变是微量级的(位移量级为 $10^{-5}\text{m}\sim 10^{-6}\text{m}$),因此从弹性波动理论意义上讲,经过焊接的接桩部位仍有可能表现为一个反射界面。而这现象的存在不利于弹性波向下传播。

8.1.2 高应变法检测属于半直接法,需要合理的桩土参数参与承载力计算,对检测人员操作和理论水平要求较高,因此本条规定要求具有现场实测经验以及可靠对比验证资料;高应变计算承载力有凯司法和实测曲线拟合法两种,前者桩土模型较简单、计算参数不确定性较大,适用于中小直径等截面的打入桩。灌注桩的截面尺寸和材质的非均匀性、施工的隐蔽性(干作业成孔桩除外)及由此引起的承载力变异性普遍高于打入式预制桩,而灌注桩检测采集的波形质量低于预制桩,波形分析中的不确定性和复杂性又明显高于预制桩。

8.2 仪 器 设 备

8.2.1 仪器的主要技术性能指标要求是按现行国家行业标准《基桩动测仪》JG/T 3055 提出的，比较适中，大部分型号的国产和进口仪器能满足。因动测仪器的使用环境较差，故仪器的环境性能指标和可靠性也很重要。本条对安装于距桩顶附近桩身侧表面的响应测量传感器-加速度计的量程未做具体规定，原因是对于不同类型的桩，各种因素影响使最大冲击加速度变化很大。建议根据实测经验来合理选择，宜使选择的量程大于预估最大冲击加速度值的一倍以上。如对钢桩，宜选择 $20000\text{m/s}^2 \sim 30000\text{m/s}^2$ 量程的加速度计。

8.2.2 导杆式柴油锤荷载上升时间过于缓慢，容易造成速度响应信号失真。

8.2.3 无导向锤的脱钩装置多基于杠杆式原理制成，操作人员需在离锤很近的范围内操作，缺乏安全保障，且脱钩时会不同程度地引起锤的摇摆，更容易造成锤击严重偏心而产生垃圾信号。

锤的重量大小直接关系到桩侧、桩端岩土阻力发挥的高低，只有获得包含土阻力充分发挥信息的信号才能视为有效信号，也才能作为高应变承载力分析与评价的依据。锤重不变时，随着桩横截面尺寸、桩的质量或单桩承载力的增加，锤与桩的匹配能力下降，试验中直观表象是锤的强烈反弹，锤落距提高引起的桩顶动位移或贯入度增加不明显，而桩身锤击应力的增加比传递给桩的有效能量的增加效果更为显著，因此轻锤高落距锤击是错误的做法。个别检测机构，为了降低运辅（搬运）、吊（安）装成本和试验难度，一味采用轻锤进行试验，由于土阻力（承载力）发挥信息严重不足，遂随意放大调整实测信号，导致承载力虚高；有时，轻锤高击还引起桩身破损。本条是保证信号有效性规定的最低锤重要求，也是体现高应变法“重锤低击”原则的最低要求。

本条未规定锤重增加范围的上限值，一是体现“重锤低击”原

则，二是考虑以下情况：

1 桩较长或桩径较大时，一般使侧阻、端阻充分发挥所需位移大；

2 桩是否容易被“打动”取决于桩身“广义阻抗”的大小。广义阻抗与桩身截面波阻抗和桩周土岩土阻力均有关。随着桩径增加，波阻抗的增加通常快于土阻力，而桩身阻抗的增加实际上就是桩的惯性质量增加，仍按极限承载力的 1%选取锤重，将使锤对桩的匹配能力下降。

因此，不仅从土阻力，也要从桩身惯性质量两方面考虑提高锤重是更科学的做法。

8.2.4 测量贯入度的方法较多，可视现场具体条件选择：

1 如采用类似单桩静载试验架设基准梁的方式测量，准确度较高，但现场工作量大，特别是重锤对桩冲击使桩周土产生振动，使受检桩附近架设的基准梁受影响，导致桩的贯入度测量结果可靠度下降；

2 预制桩锤击沉桩时利用锤击设备导架的某一标记作基准，根据一阵锤（如 10 锤）的总下沉量确定平均贯入度，简便但准确度不高；

3 采用加速度信号二次积分得到的最终位移作为贯入度，操作最为简便，但加速度计零漂大和低频响应差（时间常数小）时将产生明显的积分漂移，且零漂小的加速度计价格很高；另外因信号采集时段短，信号采集结束时若桩的运动尚未停止（以柴油锤打桩时为甚）则不能采用；

4 用精密水准仪时受环境振动影响小，观测准确度相对较高。

8.3 现场检测

8.3.1 承载力时间效应因地而异,以沿海软土地区最显著。成桩后,若桩周岩土无隆起、侧挤、沉陷、软化等影响,承载力随时间增长。工期紧休止时间不够时,除非承载力检测值已满足设计要求,否则应休止到满足本标准第 3.2.2 条第 4 款第 4 项规定的时间为止。

锤击装置垂直、锤击平稳对中、桩头加固和加设桩垫,是为了减小锤击偏心 and 避免击碎桩头;在距桩顶规定的距离下的合适部位对称安装传感器,是为了减小锤击在桩顶产生的应力集中和对偏心进行补偿。所有这些措施都是为保证测试信号质量提出的。

8.3.3 采样时间间隔为 $100\ \mu\text{s}$,对常见的工业与民用建筑的桩是合适的。但对于超长桩,例如桩长超过 60m,采样时间间隔可放宽为 $200\ \mu\text{s}$,当然也可增加采样点数。

应变式传感器直接测到的是其安装面上的应变,并按下式换算成锤击力:

$$F = AE\varepsilon \quad (4)$$

式中: F —— 锤击力;

A —— 测点处桩截面积;

E —— 桩身材料弹性模量;

ε —— 实测应变值。

显然,锤击力的正确换算依赖于测点处设定的桩参数是否符合实际。另一需注意的问题是:计算测点以下原桩身的阻抗变化、包括计算的桩身运动及受力大小,都是以测点处桩头单元为相对“基准”的。

测点下桩长是指从桩头传感器安装点至桩底的距离,一般不包括桩尖部分。

对于普通钢桩,桩身波速可直接设定为 5120m/s 。对于混凝土桩,桩身波速取决于混凝土的骨料品种、粒径级配、成桩工艺(导

管灌注、振捣、离心)及龄期,其值变化范围大多为 3000m/s~4500m/s。混凝土预制桩可在沉桩前实测无缺陷桩的桩身平均波速作为设定值;混凝土灌注桩应结合本地区混凝土波速的经验值或同场地已知值初步设定,但在计算分析前,应根据实测信号进行校正。

8.3.4 对本条各款依次说明如下:

1 传感器外壳与仪器外壳共地,测试现场潮湿,传感器对地未绝缘,交流供电时常出现 50Hz 干扰,解决办法是良好接地或改用直流供电;

2 根据波动理论分析:若视锤为一刚体,则桩顶的最大锤击应力只与锤冲击桩顶时的初速度有关,落距越高,锤击应力和偏心越大,越容易击碎桩头(桩端进入基岩时因桩端压应力放大造成桩尖破损)。此外,强锤击压应力是使桩身出现较强反射拉应力的先决条件,即使桩头不会被击碎,但当打桩阻力较低(例如挤土上浮桩、深厚软土中的摩擦桩)、且入射压力脉冲较窄(即锤较轻)或桩较长时,桩身有可能被拉裂。轻锤高击并不能有效提高桩锤传递给桩的能量和增大桩顶位移,因为力脉冲作用持续时间显著与锤重有关;锤击脉冲越窄,波传播的不均匀性,即桩身受力和运动的不均匀性(惯性效应)越明显,实测波形中土的动阻力影响加剧,而与位移相关的静土阻力呈明显的分段发挥态势,使承载力的测试分析误差增加。事实上,若将锤重增加到单桩承载力特征值的 10%~20%以上,则可得到与静动法(STATNOMIC 法)相似的长持续力脉冲作用。此时,由于桩身中的波传播效应大大减弱,桩侧、桩端岩土阻力的发挥更接近静载作用时桩的荷载传递性状。因此,“重锤低击”是保障高应变法检测承载力准确性的基本原则,这与低应变法充分利用波传播效应(窄脉冲)准确探测缺陷位置有着概念上的区别;

3 高应变试验成功的关键是信号质量以及信号中的信息是否充分。所以应根据每锤信号质量以及动位移、贯入度和大致的土阻

力发挥情况，初步判别采集到的信号是否满足检测目的的要求。同时，也要检查混凝土桩锤击拉、压应力和缺陷程度大小，以决定是否进一步锤击，以免桩头或桩身受损。自由落锤锤击时，锤的落距应由低到高；打入式预制桩则按每次采集一阵（10 击）的波形进行判别；

4 检测工作现场情况复杂，经常产生各种不利影响。为保证采集到可靠的数据，检测人员应能正确判断波形质量、识别干扰，熟练诊断测量系统的各类故障。

8.3.5 贯入度的大小与桩尖刺入或桩端压密塑性变形量相对应，是反映桩侧、桩端土阻力是否充分发挥的一个重要信息。贯入度小，即通常所说的“打不动”，使检测得到的承载力低于极限值。本条是从保证承载力分析计算结果的可靠性出发，给出的贯入度合适范围，不能片面理解成在检测中应减小锤重使单击贯入度不超过 6mm。贯入度大且桩身无缺陷的波形特征是 $2L/c$ 处桩底反射强烈，其后的土阻力反射或桩的回弹不明显。贯入度过大造成的桩周土扰动大，高应变承载力分析所用的土的力学模型，对真实的桩-土相互作用的模拟接近程度变差。据国内发现的一些实例和国外的统计资料：贯入度较大时，采用常规的理想弹-塑性土阻力模型进行实测曲线拟合分析，不少情况下预示的承载力明显低于静载试验结果，统计结果离散性很大！而贯入度较小、甚至桩几乎未被打动时，静动对比的误差相对较小，且统计结果的离散性也不大。若采用考虑桩端土附加质量的能量耗散机制模型修正，与贯入度小时的承载力提高幅度相比，会出现难以预料的承载力成倍提高。原因是：桩底反射强意味着桩端的运动加速度和速度强烈，附加土质量产生的惯性力和动阻力恰好分别与加速度和速度成正比。可以想见，对于长细比较大、侧阻力较强的摩擦型桩，上述效应就不会明显。此外，6mm 贯入度只是一个统计参考值，本标准第 3.5.1 条第 8 款第 4 项已针对此情况作了具体规定。

8.4 检测数据分析与判定

8.4.1 从一阵锤击信号中选取分析用信号时,除要考虑有足够的锤击能量使桩周岩土阻力充分发挥外,还应注意下列问题:

- 1 连续打桩时桩周土的扰动及残余应力;
- 2 锤击使缺陷进一步发展或拉应力使桩身混凝土产生裂隙;
- 3 在桩易打或难打以及长桩情况下,速度基线修正带来的误差;
- 4 对桩垫过厚和柴油锤冷锤信号,因加速度测量系统的低频特性造成速度信号出现偏离基线的趋势项。

8.4.2 高质量的信号是得出可靠分析计算结果的基础。除柴油锤施打的长桩信号外,力的时程曲线应最终归零。对于混凝土桩,高应变测试信号质量不但受传感器安装好坏、锤击偏心程度和传感器安装面处混凝土是否开裂的影响,也受混凝土的不均匀性和非线性的影响。这些影响对采用应变式传感器测试、经换算得到的力信号尤其敏感。混凝土的非线性一般表现为:随应变的增加,割线模量减小,并出现塑性变形,使根据应变换算到的力值偏大且力曲线尾部不归零。本标准所指的锤击偏心相当于两侧力信号之一与力平均值之差的绝对值超过平均值的 33%。通常锤击偏心很难避免,因此严禁用单侧力信号代替平均力信号。

8.4.3 桩身平均波速也可根据下行波起升沿的起点和上行波下降沿的起点之间的时差与已知桩长值确定。对桩底反射峰变宽或有水平裂缝的桩,不应根据峰与峰间的时差来确定平均波速。桩较短且锤击力波上升缓慢时,可采用低应变法确定平均波速。

8.4.4 通常,当平均波速按实测波形改变后,测点处的原设定波速也按比例线性改变,弹性模量则应按平方的比例关系改变。当采用应变式传感器测力时,多数仪器并非直接保存实测应变值,如有些是以速度($V = c\varepsilon$)的单位存储。若弹性模量随波速改变后,仪器不能自动修正以速度为单位存储的力值,则应对原始实测力值校正。

注意：本条所说的“力值校正”与本标准第 8.4.5 条所禁止的“比例失调时”的随意调整是截然不同的两种行为。

8.4.5 通常情况下，如正常施打的预制桩，力和速度信号在第一峰处应基本成比例，即第一峰处的 F 值与（ VZ ）值基本相等（见图 8.4.3）。但在以下几种不成比例（比例失调）的情况下属于正常：

- 1 桩浅部阻抗变化和土阻力影响；
- 2 采用应变式传感器测力时，测点处混凝土的非线性造成力值明显偏高；
- 3 锤击力波上升缓慢或桩很短时，土阻力波或桩底反射波的影响。

信号随意比例调整均是对实测信号的歪曲，并产生虚假的结果。如通过放大实测力或速度进行比例调整的后果是计算承载力不安全。因此，为保证信号真实性，禁止将实测力或速度信号重新标定。这一点必须引起重视，因为有些仪器具有比例自动调整功能。

8.4.6 高应变分析计算结果的可靠性高低取决于动测仪器、分析软件和人员素质三个要素，其中起决定作用的是具有坚实理论基础和丰富实践经验的高素质检测人员，对波形的正确定性解释的重要性超过软件建模分析计算本身，对人员的最主要要求是正确解读波形，增强波形正确判读能力的关键是提高人员的素质，仅靠技术规范以及仪器和软件功能的增强是无法做到的。

8.4.7 凯司法与实测曲线拟合法在计算承载力上的本质区别在于，前者在计算极限承载力时，单击贯入度与最大位移是参考值，计算过程与他们无关。另外，凯司法承载力计算公式是基于以下三个假定推导出的：

- 1 桩身阻抗基本恒定；
- 2 动阻力只与桩底质点运动速度成正比，即全部动阻力集中于桩端；
- 3 土阻力在时刻（ $t_2 = t_1 + 2L/c$ ）已充分发挥。

显然，它只适用于截面较均匀的桩。

公式中的唯一未知数——凯司法无量纲阻尼系数 J_c 定义为仅与桩端土性有关，一般遵循随土中细粒含量增加阻尼系数增大的规律。 J_c 的取值是否合理在很大程度上决定了计算承载力的准确性。所以，缺乏同条件下的静动对比校核或大量相近条件下的对比资料时，其使用范围将受到限制。当贯入度达不到规定值或不满足上述假定时， J_c 值实际上变成了一个无明确意义的综合调整系数。特别值得一提的是灌注桩，也会在同一工程、相同桩型及持力层时，可能出现 J_c 取值变异过大的情况。

由于式 (8.4.7-1) 给出的 R_c 值与位移无关，仅包含 ($t_2 = t_1 + 2L/c$) 时刻之前所发挥的土阻力信息，通常除桩长较短的摩擦型桩外，土阻力在 $2L/c$ 时刻不会充分发挥，尤以端承型桩显著。所以，需要采用将 t_1 延时求出承载力最大值的最大阻力法 (RMX 法)，对与位移相关的土阻力滞后 $2L/c$ 发挥的情况进行提高修正。

桩身在 $2L/c$ 之前产生较强的向上回弹，使桩身从顶部逐渐向下产生土阻力卸载（此时桩的中下部土阻力属于加载）。这对于桩较长、侧阻力较大而荷载作用持续时间相对较短的桩较为明显。因此，需要采用将桩中上部卸载的土阻力进行补偿提高修正的卸载法 (RSU 法)。

RMX 法和 RSU 法判定承载力，体现了高应变法波形分析的基本概念——应充分考虑与位移相关的土阻力发挥状况和波传播效应，这也是实测曲线拟合法的精髓所在。另外，凯司法还有几种子方法可在积累了成熟经验后采用，他们是：

1 在桩尖质点运动速度为零时，动阻力也为零，此时有两种与 J_c 无关的计算承载力“自动”法，即 RAU 法和 RA2 法。前者适用于桩侧阻力很小的情况，后者适用于桩侧阻力适中的场合；

2 通过延时求出承载力最小值的最小阻力法 (RMN 法)。

8.4.8 实测曲线拟合法是通过波动问题数值计算,反演确定桩和土的力学模型及其参数值。其过程为:假定各桩单元的桩和土力学模型及其模型参数,利用实测的速度(或力、上行波、下行波)曲线作为输入边界条件,数值求解波动方程,反算桩顶的力(或速度、下行波、上行波)曲线。若计算的曲线与实测曲线不吻合,说明假设的模型及参数不合理,有针对性地调整模型及参数再进行计算,直至计算曲线与实测曲线(以及贯入度的计算值与实测值)的吻合程度良好且不易进一步改善为止。虽然从原理上讲,这种方法是客观唯一的,但由于桩、土以及他们之间的相互作用等力学行为的复杂性,实际运用时还不能对各种桩型、成桩工艺、地基条件,都能达到十分准确地求解桩的动力学和承载力问题的效果。所以,本条针对该法应用中的关键技术问题,作了具体阐述和规定:

1 桩与土模型

- 1) 目前已有成熟使用经验的土的静阻力模型为理想弹-塑性或考虑土体硬化或软化的双线性模型;模型中有两个重要参数——土的极限静阻力 R_u 和土的最大弹性位移 s_q , 可以通过静载试验(包括桩身内力测试)来验证。在加载阶段,土体变形小于或等于 s_q 时,土体在弹性范围工作;变形超过 s_q 后,进入塑性变形阶段(理想弹-塑性时,静阻力达到 R_u 后不再随位移增加而变化)。对于卸载阶段,同样要规定卸载路径的斜率和弹性位移限;
- 2) 土的动阻力模型一般习惯采用与桩身运动速度成正比的线性粘滞阻尼,带有一定的经验性,且不易直接验证;
- 3) 桩的力学模型一般为一维杆模型,单元划分应采用等时单元(实际为特征线法求解的单元划分模式),即应力波通过每个桩单元的时间相等,由于没有高阶项的影响,计算精度高;
- 4) 桩单元除考虑 A 、 E 、 c 等参数外,也可考虑桩身阻尼和裂

隙。另外,也可考虑桩底的缝隙、开口桩或异形桩的土塞、残余应力影响和其他阻尼形式;

- 5) 所用模型的物理力学概念应明确,参数取值应能限定;避免采用可使承载力计算结果产生较大变异的桩-土模型及其参数。

2 拟合时应根据波形特征,结合施工和地基条件合理确定桩土参数取值。因为拟合所用的桩土参数的数量和类型繁多,参数各自和相互间耦合的影响非常复杂,而拟合结果并非唯一解,需通过综合比较判断进行参数选取或调整。正确选取或调整的要点是参数取值应在岩土工程的合理范围内。

3 本款考虑两点原因:一是自由落锤产生的力脉冲持续时间通常不超过 20ms (除非采用很重的落锤),但柴油锤信号在主峰过后的尾部仍能产生较长的低幅值延续;二是与位移相关的总静阻力一般会不同程度地滞后于 $2L/c$ 发挥,当端承型桩的端阻力发挥所需位移很大时,土阻力发挥将产生严重滞后,因此规定 $2L/c$ 后延时足够的时间,使曲线拟合能包含土阻力响应区段的全部土阻力信息。

4 为防止土阻力未充分发挥时的承载力外推,设定的 s_q 值不应超过对应单元的最大计算位移值。若桩、土间相对位移不足以使桩周岩土阻力充分发挥,则给出的承载力结果只能验证岩土阻力发挥的最低程度。

5 土阻力响应区是指波形上呈现的静土阻力信息较为突出的时间段。所以本条特别强调此区段的拟合质量,避免只重波形头尾,忽视中间土阻力响应区段拟合质量的错误做法,并通过合理的加权方式计算总的拟合质量系数,突出土阻力响应区段拟合质量的影响。

6 贯入度的计算值与实测值是否接近,是判断拟合选用参数、特别是 s_q 值是否合理的辅助指标。

8.4.9 高应变法检测承载力检测值多数情况下不会与静载试验桩的明显破坏特征或产生较大的桩顶沉降相对应,总趋势是沉降量偏

小。为了与静载的极限承载力相区别，称为本方法得到的承载力检测值或动测承载力。

8.4.10 高应变法检测桩身完整性具有锤击能量大，可对缺陷程度定量计算，连续锤击可观察缺陷的扩大和逐步闭合情况等优点。但和低应变法一样，检测的仍是桩身阻抗变化，一般不宜判定缺陷性质。

式(8.4.10-1)适用于截面基本均匀桩的桩顶下第一个缺陷的程度定量计算。当有轻微缺陷，并确认为水平裂缝（如预制桩的接头缝隙）时，裂缝宽度 δ_w 可按下式计算：

$$\delta_w = \frac{1}{2} \int_{t_a}^{t_b} \left(V - \frac{F - R_x}{Z} \right) dt \quad (5)$$

当满足本条第2款“等截面桩”和“土阻力未卸载回弹”的条件时， β 值计算公式为解析解，即 β 值测试属于直接法，在结果的可信度上，与属于半直接法的高应变法检测判定承载力是不同的。

“土阻力未卸载回弹”限制条件是指：当土阻力 R_x 先于 $t_1 + 2x/c$ 时刻发挥并产生桩中上部明显反弹时， x 以上桩段侧阻提前卸载造成 R_x 被低估， β 计算值被放大，不安全，因此公式(8.4.10-1)不适用。此种情况多在长桩存在深部缺陷时出现。

8.4.11 对于本条第1、2款情况，宜采用实测曲线拟合法分析桩身扩径、桩身截面渐变或多变的情况，但应注意合理选择土参数。

高应变法锤击的荷载上升时间通常在1ms~3ms范围，因此对桩身浅部缺陷的定位存在盲区，不能定量给出缺陷的具体部位，也无法根据式(8.4.10-1)来判定缺陷程度，只能根据力和速度曲线不成比例的情况来估计浅部缺陷程度；当锤击力波上升缓慢时，可能出现力和速度曲线不成比例的似浅部阻抗变化情况，但不能排除土阻力的耦合影响。对浅部缺陷桩，宜用低应变法检测并进行缺陷定位。

8.5 打 桩 监 控

8.5.1 打桩过程监测是指预制桩施打开始后进行的打桩全部过程测试,也可根据重点关注的预计穿越土层或预计达到的持力层段测试。传统打桩终锤标准由设计人员根据打桩公式及经验确定,通常以贯入度或高程为依据,其理论依据是贯入度或高程与基桩承载力具有某种对应关系,出发点是为保证桩的承载力满足设计要求。由于设计人员受到经验和方法的局限,地质资料不够详尽或数据不够准确,对不同的桩锤性能与贯入度的关系考虑不够全面,有时按设计人员确定的打桩终锤标准不尽合理。高应变法检测能够即时、方便而又比较可靠地确定桩的承载力,沉桩过程中对不同贯入度情况下桩的承载力进行测试,可以得到满足承载力的贯入度标准。在同一场地上选取几根有代表性的桩,测定其承载力相应的贯入度,进而根据贯入度与承载力的关系制定合理的打桩终锤标准,显然这样的终锤标准更加科学并符合实际。

8.5.2 通过对实测试打桩得承载力与贯入度的相关分析,可以对地质资料进行校核,并对设计持力层等有关参数提出修正意见。

8.5.5 桩身锤击拉应力是混凝土预制桩施打抗裂控制的重要指标。在深厚软土地区,打桩初始阶段侧阻和端阻虽小,但桩很长,桩锤能正常爆发起跳(高幅值锤击压应力是产生强拉应力的必要条件),桩底反射回来的上行拉力波的头部(拉应力幅值最大)与下行传播的锤击压力波尾部叠加,在桩身某部位产生净的拉应力。当拉应力强度超过混凝土抗拉强度时,引起桩身拉裂。开裂部位一般发生在桩的中上部,桩愈长或锤击力持续时间愈短,最大拉应力部位就愈往下移。当桩进入硬土层后,随着打桩阻力的增加拉应力逐步减小,桩身压应力逐步增加,如果桩在易打情况下已出现拉应力水平裂缝,渐强的压应力在已有裂缝处产生应力集中,使裂缝处混凝土逐渐破碎并最终导致桩身断裂。

入射压力波遇桩身截面阻抗增大时，会引起小阻抗桩身压应力放大，桩身可能出现下列破坏形态：表面纵向裂缝、保护层脱落、主筋压曲外凸、混凝土压碎崩裂。

8.5.8 当打桩过程中突然出现贯入度骤减甚至拒锤时，应考虑与桩端接触的硬层对桩身锤击压应力的放大作用。

9 声波透射法检测

9.1 一般规定

9.1.1 在桩（墙）身预埋一定数量的声测管，通过水的耦合，超声波从一根声测管中发射，在另一根声测管中接收，可以测出被测混凝土介质的声学参数。由于超声波在混凝土中遇到缺陷时会产生绕射、反射和折射，因而到达接收换能器时声时、波幅及主频发生改变。超声波法就是利用这些声波特征参数来判别桩（墙）身混凝土的质量，亦可对地下连续墙相邻墙段接头的混凝土质量进行评价。

由于隐蔽工程跨孔测试的测试误差高于上部结构混凝土的检测，且桩（墙）身混凝土纵向各部位硬化环境不同，粗细骨料分布不均匀，因此该方法不宜用于推定混凝土强度。

9.1.2 当桩径或墙宽小于 600mm 时，声测管的声耦合误差使声时测试的相对误差增大，因此桩径或墙宽小于 600mm 时应慎用本方法；基桩经钻芯法检测后（有两个以及两个以上的钻孔）需进一步了解钻芯孔之间的混凝土质量时也可采用本方法检测。边长大于 2m 的矩形桩的检测，参照地连墙的检测标准。

9.1.3 因声测管原因不能对整桩（墙）进行测试时，声测数据只能评价可测试区域的混凝土质量，对整桩（墙）的评价可采取其他检测手段。

9.2 仪器设备

9.2.1 声波测试仪器应具有实时显示波形和分析功能，是为了提高现场检测及室内数据处理的工作效率，保证检测结果的准确性和科学性。具有自动采集和一发双收或一发多收功能，可以极大提高现场采集效率和数据精度。

发射电压仅影响信号穿透距离，不宜做强制性要求。

由于桩（墙）身混凝土的声波透射法检测没有涉及混凝土强度的推定，因此系统的最小采样时间间隔放宽至 $0.5\mu\text{s}$ 。首波自动判读可采用阈值法，亦可采用其他方法，对于判定为异常的波形，应人工校核数据。

9.2.2 换能器的谐振频率越高，对缺陷的分辨率越高，但高频声波在介质中衰减快，有效测距变小。选配换能器时，在保证有一定的接收灵敏度的前提下，原则上尽可能选择较高频率的换能器。本标准规定用 $30\text{kHz}\sim 60\text{kHz}$ 谐振频率范围的换能器，在混凝土中产生的声波波长约 $8\text{cm}\sim 15\text{cm}$ ，能探测的缺陷尺度约在分米量级。当测距较大接收信号较弱时，宜选用带前置放大器的接收换能器，也可采用低频换能器，提高接收信号的幅度，但后者要以牺牲分辨力为代价。

声波检测一般以水作为耦合剂，换能器的水密性指标规定为 1.0MPa 满足大部分长度小于 100m 的工程检测要求，但对于信号线的长度超过 100m 的换能器应提高其水密性指标的要求，保证其安全可靠。

9.2.3 声测管内径与换能器外径相差过大时，声耦合误差明显增加；相差过小时，影响换能器在管中的移动，因此两者差值取 $15\text{mm}\sim 25\text{mm}$ 为宜。声测管管壁太薄或材质较软时，混凝土灌注后的径向压力可能会使声测管产生过大的径向变形，影响换能器正常升降，甚至导致试验无法进行，因此要求声测管有一定的径向刚度，宜采用钢管、镀锌管等金属管材，不宜采用 PVC 管。另外，由于钢材的温度系数与混凝土相近，可避免混凝土凝固后与声测管脱开产生空隙。声测管的平行度是影响测试数据可靠性的关键，因此，应保证成桩后各声测管之间基本平行。

在声波透射法检测中，超声波特征仅与收、发检测管间连线两边窄带区域（声测剖面）的混凝土质量密切相关。当灌注桩的直径

增大时,每组声测管间超声波的混凝土检测范围占桩截面积比例减小,不能反映桩身截面混凝土的整体质量状况,因此,声测管的数量及布置方法决定了桩身混凝土实际的检测面积和检测范围,对直径大的桩必须增加声测管的数量。声测管布置,三管应按等边三角形均匀布置(构成三个声测剖面),四管则应按正方形均匀布置(构成六个声测剖面)。

对于 L 形墙段,在阴角处、阳角处各布设 1 根声测管,两侧直线段宜等间距布置,且间距不大于 1.5m。

声波透射法可用于圆锁口管接头、工字钢接头、十字钢板接头、V 形钢板接头、铰接接头、铰接头等混凝土接头以及金属接头,不宜用于橡胶接头。

进行钻芯作业时如果使用泥浆,当钻芯孔作为声测通道时,应对钻芯孔采用清水冲洗。

9.3 现场检测

9.3.1 原则上,桩(墙)身混凝土满 28 天龄期后进行声波透射法检测是合理的。但是,为了加快工程建设进度、缩短工期,当采用声波透射法检测桩(墙)身缺陷和判定其完整性类别时,可适当将检测时间提前,以便能在施工过程中尽早发现问题,及时补救,赢得宝贵时间。这种适当提前检测时间的做法基于以下两个原因:一是声波透射法是一种非破损检测方法,不会因检测导致桩(墙)身混凝土强度降低或破坏;二是在声波透射法检测桩(墙)身完整性时,没有涉及混凝土强度问题,对各种声参数的判别采用的是相对比较法,混凝土的早期强度和满龄期后的强度有一定的相关性,而混凝土内因各种原因导致的内部缺陷一般不会因时间的增长而明显改善。

1 率定法测定仪器系统延迟时间的方法如下:将发、收换能器

平行置于清水中的同一高度,其中心间距从 400mm 左右、以 100mm 的间距开始逐次加大两换能器之间的距离,并同时测量声时;再分别以纵、横轴表示间距和声时作图,在声时横轴上的截距即为 t_0 ,也可用线性回归的方法计算出 t_0 。为保证测试精度,两换能器间距的测量误差不大于 0.5%,测量点不少于 5 个点。

$$t = t_0 + bl \quad (6)$$

式中: t ——声时 (μs);

t_0 ——仪器系统延迟时间 (μs);

b ——直线斜率 ($\mu s/mm$);

l ——换能器表面净距离 (mm)。

2 声测管及耦合水层声时修正值按下式计算:

$$t' = \frac{d_1 - d_2}{v_t} + \frac{d_2 - d'}{v_w} \quad (7)$$

式中: t' ——声测管及耦合水层声时修正值 (μs);

d_1 ——声测管外径 (mm);

d_2 ——声测管内径 (mm);

d' ——换能器外径 (mm);

v_t ——声测管材料声速 (km/s), 对钢质声测管, 波速一般可取 6000m/s;

v_w ——水的声速 (km/s), 20℃时水的声速可取 1480m/s。

3 同一工程的声测管和声测剖面按规定的顺序编号记录,便于复检、验证试验对比及对缺陷的加固、补强等工程处理定位。

9.3.2 本条说明如下:

1 径向换能器在径向无指向性,但在垂直面上有指向性,且换能器的接收响应随着发、收换能器中心连线与水平面夹角 θ 的增大而非线性递减,夹角越大接收响应效果越差。斜测主要用于确定缺

陷的径向范围，夹角过小导致准确程度变差，在不影响穿透能力的前提下要求越大越好。因此关于斜测角度，最佳方式是不规定具体的角度，从对缺陷的分辨能力来说，斜测角度越大越好，但是对设备的发射能量、接收灵敏度有很高的要求。不同品牌的设备，差异也很大，有的设备能以较大角度做斜测；设备的发展也很快，几年就有新变化，今后设备可能会以更大的斜测角度进行斜测。虽然目前国内大部分规范都规定斜测时夹角不大于 30° ，扇形扫测时夹角不大于 40° ，但是从斜测的原理和技术发展的角度来讲，标准不应应对斜测角度硬性规定，因此本标准对斜测的要求是在不影响接受信号灵敏度情况下角度尽量大一些。

2 声测线间距将影响桩身缺陷纵向尺寸的检测精度，间距越小，检测精度越高。一般混凝土的缺陷在空间有一定的分布范围，规定声测线间距不大于 100mm，可满足工程检测精度的要求。当采用自动提升装置时，声测线间距还可进一步减小。

自动记录声波发射与接收换能器位置时，提升过程中电缆线带动编码器卡线轮转动，编码器计数卡线轮转动值换算得到换能器位置。电缆线与编码器卡线轮之间滑动、卡线轮直径误差等因素均会导致编码器位置计数与实际传感器位置有一定误差，因此每隔一定间距应进行一次高差校核。此外，自动记录声波发射与接收换能器位置时，如果同步升降声波发射与接收换能器的速度过快，会导致换能器在声测管中剧烈摆动，甚至与声测管管壁发生碰撞，对接受的声波波形产生不可预测的影响。因此换能器的同步升降速度不宜过快，应保证测试波形的稳定性。

非匀速下降的换能器在由静止（或缓降）变为向下运动（或快降）时，由于存在不同程度的失重现象，使电缆线出现不同程度松弛，导致换能器位置不准确。因此一般宜从桩底开始同步提升换能器进行检测来保证记录的换能器位置的准确性。采用下降方式检测时，必须保持下降的匀速性。

3 不仅要求同一检测剖面、最好是同一桩(墙)的各检测剖面,检测时都能满足各检测剖面声波发射电压和仪器设置参数不变的条件,使各检测剖面的声学参数具有可比性,利于综合判定。但应注意:4管6剖面时,若采用四个换能器同步提升并自动记录则属例外,此时对角线剖面的测距比边线剖面的测距大1.41倍,而长测距会增大声波衰减。

9.3.3 对可疑缺陷的细测有水平加密、交叉斜测和扇形扫测三种方法。其中水平加密细测是基本方法,而目前因自动深度记录及声参量采集的设备大量应用,水平同步测试的测点间距调节方面,可以用较小的间距而不影响测试效率;而交叉斜测或扇形扫测主要用于确定缺陷在径向的位置和大小,对于桩(墙)身完整性分类的判定十分重要,在平测后对平测数据异常的区域进行初步分析,如初步判断该桩(墙)身完整性有可能判为Ⅲ类、Ⅳ类或在Ⅱ类、Ⅲ类之间时,应做交叉斜测或扇形扫测(顶部低强区和底部沉渣除外),以便为后续判断提供准确依据;其发、收换能器连线的水平夹角越大,斜测法对缺陷径向范围的分辨力越高,但考虑到换能器在深度方向存在指向性,应确保在仪器设备性能范围内。扇形测试操作复杂且声波参数(尤其是幅度)的对比性较差,建议少使用。

CT技术的应用需要专门的分析软件,虽然不作强制推行,但提倡有条件的检测单位将其作为桩(墙)身缺陷定量分析的方法使用。

目前部分改进型的声波层析成像技术支持用平测加斜测的数据来实现。声波层析成像法的特点是测试工作量大,采集数据信息量多。测试要求说明如下:

1 确保声波层析成像法的检测效果,首先应保证测线位置的准确性;

2 考虑到换能器有效工作段长度和工程质量验收对缺陷大小的要求,相邻发射点的深度间距不宜小于5cm;

3 一般来说,多次重复斜测的方式获得所需要的全部检测分析数据(发射与接收声波换能器同步提升)的工作效率要比多次重复扇形扫测的方式获得所需要的全部检测分析数据(发射声波换能器不动,提升接收声波换能器)更高一些。

9.4 检测数据分析与判定

9.4.1 当声测管倾斜时,声测管弯曲部分各测点测距将偏离在桩(墙)顶的测量值,导致声速值偏离混凝土声速正常取值,一般这种测距变化沿深度方向有一定规律,表现为各条声速值有规律地偏离(高或低)混凝土正常取值,此时一般采用高阶曲线拟合等方法对各条测线测距作合理修正,然后重新计算各测线的声速。如果不对声测管倾斜进行合理的修正,将严重影响声速临界值的合理取值,因此本条规定声测管倾斜时可作测距修正。但是,对于各测线声速值的偏离沿深度方向无变化规律的,不得随意修正。当无法进行合理修正但各声测线的波幅及主频正常无畸变时,此时可以按照波幅、主频对混凝土质量进行判定。

9.4.2 在声测中,不同声测线的波幅差异很大,采用声压级(分贝)来表示波幅更方便。

9.4.3 本条第1款说明如下:

1 同批次混凝土试件在正常情况下强度值的波动是服从正态分布规律的,这已被大量的实测数据证实。由于混凝土构件的声速与其强度存在较显著的相关性,所以其声速值的波动也近似地服从正态分布规律。灌注桩和地下连续墙作为一种混凝土构件,可认为在正常情况下其各条声测线的声速测试值也近似服从正态分布规律。这是用概率法计算混凝土灌注桩和地下连续墙各剖面声速异常判断概率统计值的前提。

2 如果某一剖面有 n 个声测线,相当于进行了 n 个试件的声速

试验,在正常情况下,这 n 条声测线的声速值的波动可认为服从正态分布规律。但是,由于桩(墙)身混凝土在成型过程中,环境条件或人为过失的影响或测试系统的误差等都会导致 n 个测试值中的某些值偏离正态分布规律,在计算某一剖面声速异常判断概率统计值时,应剔除偏离正态分布的声测线,通过对剩余的服从正态分布规律的声测线数据进行统计计算就可以得到该剖面桩(墙)身混凝土在正常波动水平下可能出现的最低声速,这个声速值就是判断该剖面各声测线声速是否异常的概率统计值。

3 本标准在计算剖面声速异常判断概率统计值时采用了“双边剔除法”。一方面,桩(墙)身混凝土硬化条件复杂、混凝土粗细骨料不均匀、桩(墙)身缺陷、声测管耦合状况的变化、测距的变异性(将受检体顶面的测距设定为整个检测剖面的测距)、首波判读的误差等因素可能导致某些声测线的声速值向小值方向偏离正态分布。另一方面,混凝土离析造成的局部粗骨料集中、声测管耦合状况的变化、测距的变异、首波判读的误差、以及部分声测线可能存在声波沿环向钢筋的绕射等因素也可能导致某些声测线声速测值向大值方向偏离正态分布,这也属于非正常情况,在声速异常判断概率统计值的计算时也应剔除,否则两边的数据不对称,加剧剩余数据偏离正态分布,影响正态分布特征参数 v_m 和 s_x 的推定。

双剔除法是按照下列顺序逐一剔除:(1)异常小,(2)异常大,(3)异常小,……,每次统计计算后只剔一个,每次异常值的误判次数均为 1。

在实际计算时,先将某一剖面 n 个声测线的声速测试值从大到小排列为一数列,计算这 n 个测试值在正常情况下(符合正态分布规律下)可能出现的最小值 $v_{01}(j) = v_m(j) - \lambda s_x(j)$ 和最大值 $v_{02}(j) = v_m(j) + \lambda s_x(j)$,依次将声速数列中大于 $v_{02}(j)$ 或小于 $v_{01}(j)$ 的数据逐一剔除(这些被剔除的数据偏离了正态分布规律),再对剩余数据构成的数列重新计算,直至式(9.4.3-7)和式(9.4.3-

8) 同时满足, 此时认为剩余数据全部服从正态分布规律。 $v_{01}(j)$ 就是判断声速异常的概率法统计值。

由于统计计算的样本数是 10 个以上, 因此对于短桩, 可通过减小声测线间距获得足够的声测线数。

桩(墙)身混凝土均匀性可采用变异系数 $C_v = s_x(j)/v_m(j)$ 评价。

4 当桩(墙)身混凝土质量稳定, 声速测试值离散小时, 由于标准差 $s_x(j)$ 较小, 可能导致异常判断概率统计值 $v_{01}(j)$ 过高从而误判; 另一方面当桩(墙)身混凝土质量不稳定, 声速测试值离散大时, 由于 $s_x(j)$ 过大, 可能会导致异常判断概率统计值 $v_{01}(j)$ 过小从而导致漏判。为尽量减小出现上述两种情况的机率, 对变异系数 $C_v(j)$ 作了限定。

通过大量工程桩检测剖面统计分析, 发现将 $C_v(j)$ 限定在 $[0.015, 0.045]$ 区间内, 声速异常判断概率统计值的取值落在合理范围内的机率较大。

本条第 2 款说明如下:

1 v_L 和 v_p 的合理确定是大量既往检测经验的体现。声速低限值相对应的混凝土强度不宜低于 $0.9R$ (R 为混凝土设计强度), 若试件为钻孔芯样, 则不宜低于 $0.85R$ 。当桩(墙)身混凝土未达到龄期而提前检测时, 应对 v_L 、 v_p 的取值作适当调整。

2 概率法从本质上说是一种相对比较法, 他考察的只是各条声测线声速与相应检测剖面内所有声测线声速平均值的偏离程度。当声测管倾斜或桩(墙)身存在多个缺陷时, 同一检测剖面内各条声测线声速值离散很大, 这些声速值实际上已严重偏离了正态分布规律, 基于正态分布规律的概率法判据已失效, 此时, 不能将概率法临界值 $v_0(j)$ 作为该检测剖面各声测线声速异常判断临界值 v_c , 式 (9.4.3-10) 就是对概率法判据值作合理的限定。实际检测中常遇到不具备采用预留试件或芯样获得声速低限值和声速平均值情况, 概

率法作为一种相对比较法,同一检测剖面内声速值符合正态分布规律时,同样符合式(9.4.3-10)。

3 同一类型是指施工工艺相同、混凝土的设计强度和配合比相同。

4 声速的测试值受非缺陷因素影响小,测试值较稳定,不同剖面间的声速测试值具有可比性。取各检测剖面声速异常判断临界值的平均值作为该桩(墙)各剖面内所有声测线声速异常判断临界值,可减小各剖面间因为用概率法计算的临界值差别过大造成的完整性判别上的不合理性。另一方面,对同一桩(墙),桩(墙)身混凝土设计强度和配合比以及施工工艺相同,应该采用一个临界值标准来判定各剖面所有声测线对应的混凝土质量。当某一剖面声速临界值明显偏离合理取值范围时,应分析原因,计算时应剔除。

本条第4款说明:波幅判据没有采用如声速判据那样的各检测剖面取平均值的办法,而是采用单剖面判据,这是因为不同剖面间测距及声耦合状况差别较大,使波幅不具有可比性。此外,波幅的衰减受桩(墙)身混凝土不均匀性、声波传播路径和点源距离的影响,故应考虑声测管间距较大时波幅分散性而采取适当的调整。

因波幅的分贝数受仪器、传感器灵敏度及发射能量的影响,故应在考虑这些影响的基础上再采用波幅临界值判据。当波幅差异性较大时,应与声速变化及主频变化情况相结合进行综合分析。

本条第5款说明:在使用主频判据时,应保持声波换能器具有单峰的幅频特性和良好的耦合一致性,接收信号不应超量程,否则削波带来的高频谐波会影响分析结果。若采用FFT方法计算主频值,还应保证足够的频域分辨率。

本条第6款说明:接收信号的能量与接收信号的幅值存在正相关性,可以将约定的某一足够长时间段内的声波时域曲线的绝对值对时间积分后得到的结果(或约定的某一足够长时段内的声波时域曲线的平均幅值)作为能量指标。接收信号的能量反映了声波在混

混凝土介质中各个声传播路径上能量总体衰减情况，是测区混凝土质量的综合反映，也是波形畸变程度的量化指标。使用能量判据时，接收信号不应超量程。

本条第 7 款说明：在缺陷的边缘，声时将发生突变，桩（墙）身存在缺陷的声测线对应声时-深度曲线上的突变点。经声时差加权后的 *PSD* 判据图更能突出桩（墙）身存在缺陷的声测线，并在一定程度上减小了声测管的平行度差或混凝土不均匀等非缺陷因素对数据分析判断的影响。实际应用时可先假定缺陷的性质（如夹层、空洞、蜂窝等）和尺寸，计算临界状态的 *PSD* 值，作为 *PSD* 临界值判据，但需对缺陷区的声速作假定。

9.4.4 采用声波层析成像法分析判定桩（墙）身完整性时，应重点关注声速明显异常区域和声速严重异常区域。目前声波层析成像法的分析技术只能采用声速参数进行分析。

9.4.5 声波透射法与其他的完整性检测方法相比，具有信息量更丰富、全面、细致的特点：可以依据对缺陷处加密测试（斜测、交叉斜测、扇形扫测以及声波层析成像技术）来确定缺陷几何尺寸；可以将不同检测剖面在同一深度的缺陷状况进行横向关联，来判定桩（墙）身缺陷的横向分布。

9.4.6 综合考虑桩（墙）身缺陷的分布（深度及径向尺寸大小）、声学参数偏离正常值的相对程度、接收波形畸变的相对程度，对桩（墙）身完整性类别进行判定，体现了超声波法的定性研究成果的特点。其中空间分布范围大小的判定是一个相对的概念，是缺陷的几何尺寸与桩径、桩长等几何参数相比较的结果。声学参数偏离程度也是和该桩（墙）所用原材料、配合比、管距、检测设备类似的无缺陷桩（墙）的声学参数相比较，因此经验数据的统计，对于评判受检桩（墙）十分重要。结合桩（墙）类型、地质情况和施工工艺等因素综合判定，目的使检测的结果更能符合表 2 的要求，同时

对归类于Ⅲ类、Ⅳ类的判别，应充分考虑其现状是否能满足设计的要求，避免过严或过松。

声速的异常程度可参考下表：

表 2 声速异常程度判定表

声速（m/s）	声速异常程度
$v_i(j)>v_c$	无异常
$0.85v_c<v_i(j)\leq v_c$	轻微异常
$0.75v_c<v_i(j)\leq 0.85v_c$	较明显异常
$0.65v_c\leq 0.75v_c$	明显异常
$v_i(j)\leq 0.65v_c$	严重异常

声波接收波形畸变程度示例见图 4。

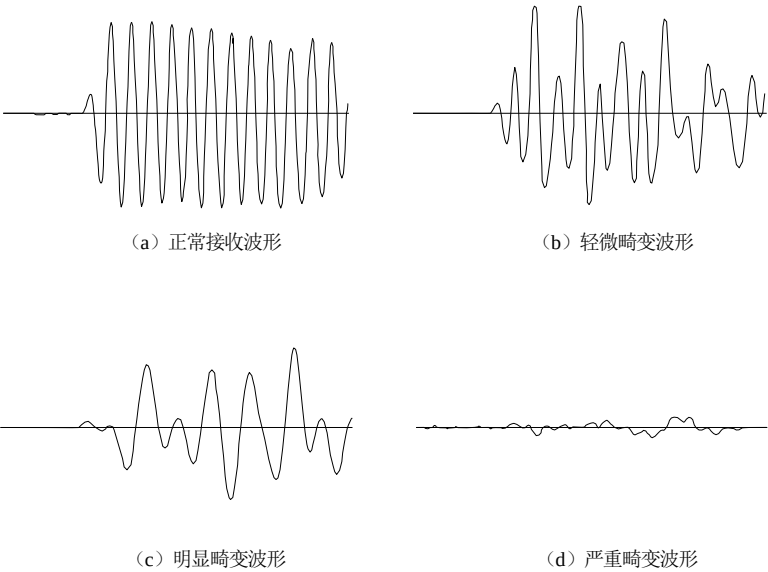


图 4 接收波形畸变程度示意

9.4.7 实测波形的后续部分可反映声波在发、收换能器之间的混凝土介质中各种声波传播路径上总能量衰减状况，其影响区域大于首波，因此检测剖面的实测波形波列图有助于测试人员对桩（墙）身缺陷程度及位置进行直观判断。

10 钻芯法检测

10.1 一般规定

10.1.1 钻芯法是检测混凝土和水泥土施工质量的一种有效手段，不受场地条件的限制，特别适用于隐蔽工程的质量检测。钻芯法检测的主要目的有四个：

- 1 检测混凝土和水泥土质量情况，如胶结状况、有无气孔、松散或断裂等，强度是否符合设计要求；
- 2 混凝土桩端（墙底）沉渣厚度是否符合设计或标准的要求；
- 3 桩端（墙底）持力层的岩土性状（强度）和厚度是否符合设计或标准要求；
- 4 验证施工记录桩长。

受检桩长径比较大时，成孔的垂直度和钻芯孔的垂直度很难控制，钻芯孔容易偏离桩身，当桩径小于 800mm 或墙宽小于 600mm、长径比大于 40 时，宜慎重采用钻芯法。

由于水泥土桩强度低，均匀性相对较差，其强度评定和完整性评价偏差有时较大，可采取圆锥动力触探法试验、标准贯入试验等原位测试手段进行辅助检测。

当桩（墙）身存在缺陷时，除了对取出的芯样进行描述和进行抗压强度试验外，还可以采用孔内摄像法对孔壁及孔底进行观察，具体方法见本标准第 13.4 节。

水泥土桩（墙）用作帷幕止水时，其抗渗能力为主要指标，而水泥土芯样往往质量较差、取芯率低，水泥土芯样的室内渗透试验效果常常不理想，利用钻芯孔进行现场压水试验得到渗透指标更加真实有效。

利用钻芯法的钻芯孔，可对水泥土桩（墙）进行孔内旁压试验、

圆锥动力触探法试验、标准贯入试验；可对地下连续墙、水泥土墙进行墙体注水抗渗试验，确定墙体是否满足抗渗要求。

10.2 仪 器 设 备

10.2.1 钻芯机具、锯切设备等检测设备的技术性能直接影响到芯样质量、芯样设计强度的标准差，因此，对设备刚度要求较高。

10.2.2 钻取芯样的真实程度与所用钻具有很大关系，进而直接影响检测结果判定。桩（墙）取芯钻机宜采用岩芯钻探的液压高速钻机，并配有相应的钻塔和牢固的底座，机械技术性能良好，不得使用立轴旷动过大的钻机。钻杆应顺直，直径宜为 50mm。

钻机设备参数应满足：额定最高转速不低于 790r/min；转速调节范围不少于 4 档；额定配用压力不低于 1.5MPa。

水泵的排水量宜为 50L/min~160L/min，泵压宜为 1.0MPa~2.0MPa。

孔口管、扶正稳定器（又称导向器）及可捞取松软渣样的钻具应根据需要选用。

为提高钻取桩（墙）芯样的完整性，钻芯检测用钻具应为单动双管钻具，严禁使用单动单管钻具。

基础实体混凝土结构构件钻芯机应符合现行国家行业标准《钻芯法检测混凝土强度技术规程》JGJ/T 384 的规定。

10.2.3 为了获得比较真实的芯样，要求混凝土钻芯法检测应采用金刚石钻头，钻头胎体不得有肉眼可见的裂纹、缺边、少角喇叭型磨损。此外，还需注意金刚石钻头、扩孔器与卡簧的配合和使用的细节。

芯样试件直径不宜小于骨料最大粒径的 3 倍，在任何情况下不得小于骨料最大粒径的 2 倍，否则试件强度的离散性较大。目前，钻头外径有 76mm、91mm、101mm、110mm、130mm 几种规格；

当受检桩（墙）采用商品混凝土、骨料最大粒径小于 30mm 时，可选用外径为 91mm 的钻头；如果不检测混凝土强度，可选用外径为 76mm 的钻头。

10.2.4 芯样制作分两部分，一部分是锯切芯样，另一部分是对芯样端部进行处理。锯切芯样时应尽可能保证芯样不缺角、两端面平行，可采用单面锯或双面锯。当芯样端部不满足要求时，可采取补平或磨平方式进行处理。

10.2.6 钢筋检测仪在钻芯工作中主要用于确定混凝土结构中钢筋的位置，避免钻芯过程中损伤钢筋，保证钻芯取样的顺利进行，对探测位置偏差限值的要求应符合现行国家行业标准《混凝土中钢筋检测技术标准》JGJ/T 152 的规定。

10.3 现场取样

10.3.1 对于验证桩身混凝土强度、桩长、桩端持力层、桩底沉渣的检测，钻芯孔数能满足需要即可；对缺陷桩的验证，一般不能少于规定的孔数。

同时考虑到成桩垂直度和钻芯孔垂直度很难控制，本标准给出了钻芯取样的孔位布置。钻芯孔位置要考虑混凝土桩在浇筑时浇捣不均匀、不同深度或同一深度的不同位置混凝土浇捣质量可能不同、水下浇筑的混凝土在导管附近的混凝土质量相对较差不具有代表性等情况，需合理布置孔位，才能客观反映桩身混凝土的实际情况。对于验证检测的桩，宜开孔在有疑问的部位。单孔钻芯检测发现桩身混凝土质量问题时，需在同一基桩增加钻孔验证。

为准确确定桩的中心点，保证开孔位置，桩头一般开挖裸露，来不及开挖或不便开挖的桩，由全站仪测定桩位中心。

对设计未有明确桩端持力层的钻孔深度，本标准规定有 1 孔取样深度不宜小于 3 倍桩径，主要考虑持力层分布不均匀、岩溶、地

下采空区等不良地质条件下的工程桩，验证桩端持力层情况时，钻孔深度超过桩底标高 0.5m 即可。

10.3.2 地下连续墙单元墙段通用标准长度一般为 6m，“L”型、“T”型、“Z”型等异形墙段各肢的长度总和一般不大于 6m，单元墙段钻芯孔数量过少不利于全面评价该墙段的施工质量。

当进行缺陷验证、墙底存在岩溶或地下采空区等不良地质条件以及墙底注浆时，钻芯要求与灌注桩相同。

10.3.3 采用钻芯法检验水泥土搅拌桩均匀性和强度最直观、最准确。水泥土搅拌桩中心部位存在喷浆盲区，其强度相对较低，钻芯孔位应避开喷浆盲区，在距桩边缘 $1/3 \sim 1/4$ 桩直径处。对桩底持力层可采用标准贯入、圆锥动力触探试验等方法鉴别，试验宜在距桩底 50cm 内进行。

10.3.6 钻芯设备应精心安装，钻机立轴中心、天轮中心（天车前沿切点）与孔口中心必须在同一铅垂线上。设备安装后，应进行试运转，在确认正常后方能开钻。钻进初始阶段应对钻机立轴进行校正，及时纠正立轴偏差，确保钻芯过程不发生倾斜、移位。

受检构件较长时，应使用扶正稳定器确保钻芯孔的垂直度。构件面与钻机塔座距离大于 2m 时，宜安装孔口管，孔口管应垂直且牢固。

当出现钻芯孔与构件偏离时，应立即停机记录，分析原因。当有争议时，可进行钻孔测斜，以判断是受检构件倾斜超过标准要求还是钻芯孔倾斜超过规定要求。

10.3.7 钻至缺陷位置时，采用减压、慢速钻进，若遇钻具突降，立即停钻，及时测量机上余尺，准确记录孔深及有关情况；钻至混凝土桩端（墙底）时，为检测沉渣厚度或桩端（墙底）持力层为强风化岩层或土层时，一般采用干钻等适宜的钻芯方法和工艺钻取沉渣并测量厚度，对持力层为中、微风化岩石时，将桩端（墙底）0.5m 左右的混凝土芯样、0.5m 左右的持力层以及沉渣纳入同一个回次。

对缺陷部位的验证取芯,一般取至缺陷位置下不少于 1.0m。对中、微风化岩层的桩端持力层,直接钻取芯样鉴别;对强风化岩层或土层,采用标准贯入、动力触探等方法鉴别,试验一般在距桩端(墙底) 1.0m 内进行。

对水泥土宜采用单动双管小水量钻进法,回次进尺不宜超过 1m,重点取芯部位不应超过 0.5m,以保证芯样完整性和不低于 80% 采取率。遇加固效果较差土层时,可采用取土器取样,但应注意:

1 优先采用静压方式,如采用锤击,应做到重锤少击;

2 下放取土器必须平稳,避免戳坏孔壁使孔底淤积浮土,或者撞击孔底,引起土样扰动;

3 提升取样器时要做到平稳,切勿陡然升降或碰撞孔壁,以免土样失落。

10.3.9 芯样取出后,钻机操作人员应由上而下按回次顺序放进芯样箱中,芯样侧表面上应清晰标明回次数、块号、本回次总块数(宜写成带分数的形式,如 $2\frac{3}{5}$ 表示第 2 回次共有 5 块芯样,本块芯样为第 3 块)。及时记录孔号、回次数、起至深度、块数、总块数、芯样质量的初步描述及钻进异常情况。

水泥土芯样一旦暴露在大气中,其强度将快速增长。为获得原位状态水泥土强度,芯样取出后需立即用塑料薄膜密封,且在 24h 内进行无侧限抗压强度试验。

10.4 芯样试件截取与加工

10.4.1 以概率论为基础、用可靠性指标度量桩基、地下连续墙的可靠度是比较科学的评价其强度的方法,即在钻芯法受检桩(墙)的芯样中截取一批芯样试件进行抗压强度试验,采用统计的方法判断混凝土强度是否满足设计要求。但在应用上存在以下一些困难:一是由于施工的特殊性,评价单一受检构件的混凝土强度比评价整

个工程的混凝土强度更合理。二是混凝土桩（墙）应作为受力构件考虑，薄弱部位的强度（结构承载能力）能否满足使用要求，直接关系到结构安全。综合多种因素考虑，为了取得较多的统计样本，准确评价单位工程同一条件下受检桩（墙）的混凝土强度标准值，要求受检桩（墙）每根（每幅）按上、中、下截取 3 组 9 个芯样试件。

一般来说，蜂窝麻面、沟槽等缺陷部位的强度较正常胶结的混凝土芯样强度低，无论是严把质量关，尽可能查明质量隐患，还是便于设计人员进行结构承载力验算，都有必要对缺陷部位的芯样进行取样试验。因此，缺陷位置能取样试验时，应截取一组芯样进行混凝土抗压试验。

如果同一桩（墙）的钻芯孔数大于 1 个，其中一孔在某深度存在蜂窝麻面、沟槽、空洞等缺陷，芯样试件强度可能不满足设计要求，按多孔强度计算原则，在其他孔的相同深度部位取样进行抗压试验是非常必要的，在保证结构承载能力的前提下，可减少加固处理费用。

10.4.3 由于水泥土桩从上到下搅拌不均，强度值要求也不同，应每米截取芯样进行抗压强度试验，且难以做到混凝土芯样那样 3 个芯样一组取样，因此规定截取每米段中抗压强度试件为 1 个；如果水泥土搅拌不均匀取样困难，可采用标准贯入试验，试验间隔应按每米深度进行，并对标贯器内芯样进行描述。当取得的芯样不满足制成试验样品条件时，应在记录表内说明。

10.4.4 芯样在加工过程中，由于受加工机械、加工人员等外在因素的影响，芯样断面的平整度和垂直度有时不能满足抗压试验的要求，需采用专门的机具磨平或补平。补平的厚度对强度有一定的影响，补平层越薄，对强度影响越小。

试件的直径、高度、垂直度、平整度均会对抗压强度试验结果产生影响，进行抗压强度试验之前，对芯样几何尺寸进行测量，符

合相应精度和偏差范围的方能进行抗压强度试验。为了避免在对芯样试件高径比进行修正,规定有效芯样试件的高度在 $0.95D \sim 1.05D$ (D 为芯样平均直径)。为了避免芯样试件强度离散性偏大,观察芯样侧面的情况,要求所选芯样试件不能有裂缝或有其他较大缺陷,芯样试件内不得含有钢筋;同时尽量确保芯样试件平均直径大于 3 倍表观骨料最大粒径。

10.5 芯样试件抗压强度试验

10.5.1 混凝土芯样试件的强度值不等于在施工现场取样、成型、同条件养护试块的抗压强度,也不等于标准养护 28 天的试块抗压强度。芯样试件抗压强度与同条件试块或标养试块抗压强度之间存在差别,其原因主要是成型工艺和养护条件的不同。

当有可靠试验依据时,芯样试件强度换算系数可根据混凝土原材料和施工工艺情况通过试验确定。混凝土芯样试件一般应在自然干燥的状态下进行试验。芯样试件是含水量对强度有一定影响,含水愈多则强度愈低。一般情况下强度等级高的混凝土强度降低较少,强度等级低的混凝土强度降低较多。因此,应根据构件的工作条件来确定试件的试验状态。

大部分实测数据表明桩(墙)身混凝土芯样抗压强度低于控制混凝土材料质量的立方体试件抗压强度,但降低幅度存在较大的波动范围,也有一些实测数据表明混凝土芯样抗压强度并不低于控制混凝土材料质量的立方体试件抗压强度。当排除龄期和养护条件(温度、湿度)差异时,尽管普遍认同芯样强度低于立方体强度,尤其是在桩(墙)身混凝土中钻芯更是如此,目前尚不能采用一个统一的折算系数来反映芯样强度与立方体强度的差异。为了安全起见,本标准不推荐采用某一个统一的折算系数,对芯样强度进行修正。

与工程地质钻探相比，桩端（墙底）持力层钻芯的主要目的是判断或鉴别桩端（墙底）持力层岩土性状，因单桩钻芯所能截取的完整岩芯数量有限，当岩石芯样单轴抗压强度试验仅仅是配合判断桩端（墙底）持力层岩性时，检测报告中可不给出岩石单轴抗压强度标准值，只给出单个芯样单轴抗压强度检测值。

10.6 检测数据分析与判定

10.6.1 混凝土芯样试件抗压强度的离散性比混凝土标准试件要大，应取平均值作为检测值。

同一根桩或同一幅墙有两个或两个以上钻芯孔时，应综合考虑各孔芯样强度来评定桩（墙）身承载力。取同一深度部位各孔芯样试件抗压强度（每孔取一组混凝土芯样试件抗压强度检测值参与平均）的平均值作为该深度的混凝土芯样试件抗压强度检测值，是一种简便实用方法。

虽然桩（墙）身轴力上大下小，但从设计角度考虑，桩（墙）承载力受最薄弱部位的混凝土强度控制。因此，规定受检体中不同深度位置的混凝土芯样试件抗压强度检测值中的最小值为混凝土芯样试件抗压强度检测值。

10.6.3 本条第 1 款说明如下：虽然桩（墙）身完整性和混凝土芯样试件抗压强度是两个不同的概念，但是为了充分利用钻芯法的有效检测信息、更客观地评价其质量，完整性判断应根据混凝土芯样表观特征和缺陷分布情况并结合局部芯样强度检测值进行综合判定，应关注缺陷部位能否取样制作成芯样试件以及缺陷部位的芯样试件强度的高低。当混凝土芯样的外观完整性介于Ⅱ类和Ⅲ类之间时，利用出现缺陷部位的“混凝土芯样试件抗压强度检测值是否满足设计要求”这一辅助手段，加以区分。

桩长（墙身）的检测精度应考虑桩端（墙底）锅底形的影响。

按连续性涵义，实测长度小于施工记录应判为Ⅳ类。

当存在水平裂缝时，可结合水平荷载设计要求和水平裂缝深度进行综合判断：当桩（墙）受水平荷载较大且水平裂缝位于桩（墙）上部时应判为Ⅳ类桩；当设计对水平承载力无要求且水平裂缝位于桩（墙）下部时可判为Ⅱ类桩；其他情况可判为Ⅲ类。

限于目前测试技术水平，尚不能将桩（墙）身混凝土强度是否满足设计要求与桩身完整性类别直接联系起来，虽然钻芯法能检测桩（墙）身混凝土强度，但并非是本标准第 3.6.1 条的要求。此外，钻芯法的桩（墙）身完整性Ⅰ类判据中，也未考虑混凝土强度问题，因此，如没有对芯样抗压强度检测的要求，有可能出现完整性为Ⅰ类但混凝土强度却不满足设计要求的情况。

判定受检桩（墙）是否满足设计要求除考虑桩长（墙身）和芯样试件抗压强度检测值外，当设计有要求时，应判断桩端（墙底）的沉渣厚度、持力层岩土性状（强度）或厚度是否满足设计要求，否则，应判断是否满足相关规范的要求。另外，钻芯法属于直接法，桩（墙）身完整性类别是通过芯样及其外表特征观察得到的。根据表 10.6.3 关于Ⅳ类判据的描述，Ⅳ类肯定存在局部的影响桩（墙）身结构承载力的低质混凝土，即混凝土强度不满足设计要求。因此，对于完整性评价为Ⅳ类的，可以明确其不满足设计要求。

本条第 2 款说明如下：水泥土是由水泥固化剂与土层原地拌合而成，其原理、施工工艺决定了水泥土的状态受水泥固化剂、土层性质、拌合工艺等因素影响，即便同一场地同类型水泥土性能变异性相对混凝土来说大得多，因此水泥土的质量评定必须是芯样状态、强度相结合来判断。由于土层的不同以及施工工艺的影响，同一根桩（一幅墙）上下的水泥土往往也存在明显的差异性，因此连续描述芯样状态和进行强度试验是必要的。

对水泥土抗压强度的判定，应考虑现场抽芯设备、芯样的搬运和整形过程中试块损坏因素的影响。

芯样坚硬、较硬、可塑状况可用手指压入难易程度判断，坚硬状况无压痕、较硬状况有轻微压痕、可塑状况可捏成团。

由于水泥土桩（墙）通常为大面积复合地基工程，数量较多，其中的 1 根或几根桩（1 幅或几幅墙）并不起到决定作用，而是作为一个整体发挥作用，因此水泥土桩（墙）的质量评价可按检验批进行。

此外，由于水泥土桩（墙）强度低，均匀性相对较差，其强度评定和均匀性评价偏差有时较大，因此钻芯法仅作为水泥土桩（墙）的辅助检测手段，当其强度和均匀性较差时，应采用载荷试验确定复合地基的承载力。

11 锚杆检测

11.1 一般规定

11.1.1 明确了本标准的适用范围,即适用于各类岩土锚固与支护工程中的锚杆。本标准所称锚杆包含了土钉,未涉及混凝土坝锚固工程中的锚杆。岩土锚固与支护工程主要包括:

边坡锚固支护工程:板肋式、格构式和排桩式锚杆挡墙工程,岩石锚喷支护工程,边坡土钉墙支护工程;

基坑锚固支护工程:排桩锚杆、连续墙锚杆和土钉墙支护工程;

基础锚固工程:承受切向力、承受倾覆力矩、承受拉力的基础锚固、抗浮锚固工程。这类锚杆的受力特征主要是承受竖向抗拔力,统称为基础锚杆;

隧道锚固支护工程:地铁、公路、铁路、水利电力等行业隧道与洞室喷锚支护工程;

井巷锚固支护工程:斜井、竖井、受采动影响的回采巷道、采区集中巷道、运输巷道等锚固支护工程。

主要锚固段设置于强风化岩(含全风化岩)中的锚杆,称为岩石锚杆,但其相关性能更接近于土层锚杆,故本标准规定这类锚杆应按土层锚杆进行试验和测试。

11.1.2 锚杆的基本试验、蠕变试验、粘结强度试验等,属施工前进行的试验项目,目的是为设计提供依据和验证施工工艺,因此,要求这些试验锚杆应具有两方面的代表性:一是地质条件应具有代表性;二是锚杆参数和施工工艺应具有代表性,宜与工程锚杆相同。工程锚杆施工完成后,选择用来进行持有荷载试验、锁定力测试和拉力监测的工程锚杆应具有代表性,从而保证样本的试验结果能反映总体的质量情况。

影响工程锚杆锚固效果的因素很多,涉及很多内容,包括了地质条件、设计要求、施工工艺、支护结构和主体结构等。

锚杆的预期使用功能和安全性需通过有代表性的锚杆验收试验来判断和评价,锚杆验收试验的目的是及时发现设计、施工过程中存在缺陷,在分部工程验收前,以便采取相应的措施加以解决,保证锚杆的质量和工程安全。目前,工程锚杆施工完成后,其他各种试验都不能代替现场抗拔验收试验,故验收试验应严格执行。

11.1.3 鉴于岩土层工程地质条件的多变性,为了准确地确定锚杆的承载力性能,本条对锚杆的各种承载力试验检测数量及和轴力监测数量作了规定。

1 临时性锚杆、土钉基本试验的检测数量不应少于 3 根,与现行相关规范一致;永久性锚杆和基础锚杆(基础锚杆为永久性锚杆)基本试验的检测数量不应少于 6 根,与现行国家标准《建筑地基基础设计规范》GB 50007 对岩石锚杆的规定一致。但需指出,该检测数量的规定是对同一地质条件而言的。在按本标准第 11.3.12 条的规定进行统计时,只有统计对象的性质基本一样才具有统计意义,这就要求参与统计的同一检验批锚杆的设计参数一致、施工工艺相同、岩土性质类似,因此,若同一工程有不同的地层条件尤其是锚固段的岩土性质不一样时,则应相应地增加基本试验的锚杆数量。

对安全等级为一级支护工程、设计等级为甲级地基基础工程中的锚杆,对采用新工艺、新材料或新技术的锚杆和无锚固工程经验的岩土层内的锚杆,如:荷载分散型锚杆等,由于其施工难度大、破坏后果严重或其技术上不够成熟,供参考与借鉴的资料不多,应引起高度的重视。

2 岩土锚杆的蠕变是导致锚杆预应力损失的主要因素之一。工程实践表明,粘土层、淤泥质土层、填土层、极度风化的泥质岩层,或节理裂隙发育张开且充填有粘性土的岩层对蠕变极为敏感,因而在该类地层中设计锚杆时,应充分了解锚杆的蠕变特性,以便合理

地确定锚杆的设计参数和荷载水平，并采取适当措施控制蠕变量，从而有效控制预应力损失。目前我市开展锚杆蠕变试验的数量尚不多，应更多地开展有关试验研究，积极积累试验数据。

3 锚杆验收试验的检测数量的规定，是综合国内外有关规定并结合我国的实践经验而提出的，与现行国家行业标准《锚杆检测与监测技术规程》JGJ/T 401 的规定一致。本条规定的检测数量为第三方的检测数量，其他锚杆可由施工单位自行检测。ISO/DIS 22477-5 强制性规定：锚杆验收试验应全数检测。

表 3 相关规范对锚杆验收试验数量的规定

规范名称	检测数量百分比 (%)	最少检测数量 (根)
《岩土锚杆与喷射混凝土支护工程技术规范》GB 50086	多循环试验 5	多循环试验 3
	单循环试验：剩余全部锚杆	
欧盟 ISO/DIS 22477-5	100	全部数量
《建筑边坡工程技术规范》 GB 50330	5	5
《建筑地基基础设计规范》 GB 50007	5	岩石锚杆：6 土层锚杆：5
《建筑基坑支护技术规程》 JGJ 120	5	3
《高压喷射扩大头锚杆技术规程》 JGJ/T 282	5	3
《锚杆检测与监测技术规程》 JGJ 401	锚杆 5 土钉 1	锚杆 5 土钉 5
《水电水利工程预应力锚索施工规范》 DL/T 5083	5	3
《水电水利工程边坡施工技术规范》 DL/T 5255	预应力锚杆 5	----
	非预应力锚杆 200 根一组，每组 3 根	----
《公路工程质量检验评定标准 第一册 土建工程》JTG F 80/1	1	3
《铁路路基工程施工质量验收标准》TB 10414	施工单位 3 监理单位不少于施工单 位的 20	----

11.2 仪器设备及其安装

11.2.1 试验时锚杆应与垫层等脱离，处于独立受力状态；否则，当锚杆与支撑体系（支撑构件）、混凝土面层连为一体时，试验得到的不是单一锚杆的承载能力。当土钉与喷射混凝土面层、加强钢筋连为一体时，试验得到的不是单一土钉的承载能力。

11.2.3 为保证液压系统的安全，要求试验用油泵、油管在最大加载时的压力不应超过规定工作压力的 80%。荷重传感器、千斤顶、压力表或压力传感器的最佳使用范围约为量程的 $1/4 \sim 3/4$ ，因此，应根据最大试验荷载合理选择量程适当的测量设备。调查表明，部分检测机构由于千斤顶或其他仪器设备所限，存在“大秤称轻物”的现象，本标准规定荷重传感器、千斤顶、压力表或压力传感器的量程不应大于试验要求的最大加载量的 4 倍且不应小于最大加载量的 1.25 倍。

11.2.5 本条是关于位移测量系统的要求。试验时应对锚头或锚头附近杆体的轴向位移进行测量，为方便安装位移测试仪表，可在锚杆杆体上安装卡具或焊接小钢板。位移测量点和位移测量基准点均不得设置在千斤顶上。

对于支护锚杆，基准桩宜设置在试验加载装置的下方，不宜沿试验加载装置的水平方向设置，如此，试验锚杆受力时，对基准桩的影响较小，而且可采用较小尺寸的基准梁。

11.2.6、11.2.7 加载反力装置施加给岩土层的压应力不宜大于岩土承载力特征值的 1.5 倍，与现行国家行业标准《建筑基桩检测技术规范》JGJ 106 的相关规定一致，但对于基坑、边坡，尚应注意其岩土承载力的各向异性特性。锚杆抗拔试验的加载反力装置分为支座横梁反力装置、支撑凳式反力装置和承压板式反力装置。

1 支座横梁反力装置是将支座设置在离锚杆一定距离处，将横梁设置于支座上，再在横梁上安装（穿心式）千斤顶，由横梁将荷

载反力传至支座及其周围岩土层中去的一种加载反力装置。

2 支撑凳式反力装置是介于支座横梁反力装置和承压板式反力装置中的一种反力装置，他将支座与横梁固定为一体，尤其适用于坡面上安装。

3 承压板式反力装置是将承压板置于锚杆支撑构件上，在板中心开有一孔洞，试验锚杆杆体穿过孔洞，再在承压板上安装穿心式千斤顶，由承压板下的支撑构件提供荷载反力的一种加载反力装置。

在正常情况下，支座横梁反力装置对试验结果影响较小，承压板式反力装置的影响较大，支撑凳式反力装置的影响介于二者之间。从在坡面上反力装置安装的难易角度来看，支座横梁反力装置较难安装，承压板式反力装置较易安装，支撑凳式反力装置介于二者之间。

基础锚杆为永久性锚杆，其实际使用寿命与建（构）筑物的生命周期相同，且为隐蔽工程，其作用与抗拔桩同等重要。基础锚杆的过早失效将严重影响建（构）筑物的安全，因此其抗拔试验反力装置应选用较为严格的支座横梁反力装置。

与支撑凳式反力装置和承压板式反力装置相比，支座横梁反力装置对试验结果的影响要小些，因此，有条件时宜优先选择支座横梁反力装置。但考虑到支护锚杆试验采用支座横梁反力装置在大多数情况下安装存在较大的困难，本标准规定，当支护结构设置有连续墙、排桩、腰梁、圈梁等支承构件时，可选用承压板式反力装置，当然，在这种情况下，选择支撑凳式反力装置会更为合适。

11.2.8 关于锚杆中心、支座边（承压板边）、基准桩中心之间的距离的规定，说明如下：

1 支座横梁反力装置规定的锚杆中心与支座边的距离应大于等于 $2B$ （ B 为支座边宽）且大于 1.0m ，其依据是根据广东省建筑科学研究院进行的支墩地基周围上体变形性状测试分析的结果确定的。其研究成果表明：支墩底面地基荷载小于其地基土极限承载

力时,支墩周围地表地基土变形量:距离支墩边大于 $1B$ 且大于 2m 处地地变形在 2mm 以内,距离支墩边大于 $1.5B$ 且大于 3m 处地基变形在 1mm 以内,距离支墩边大于 $2B$ 且大于 4m 处地基变形量在 0.5mm 左右。当支墩底面地基荷载大于地基土极限承载力时,支墩周围地表地基土变形量较大,可能沉降也可能隆起。

2 支撑凳式反力装置规定的锚杆中心与支座边的距离应大于等于 $1.5d$ (d 为锚杆钻孔直径),是考虑到在基坑侧壁上安装有关测试设备较困难,与基础锚杆相比,做了一定的调整,要求放宽了一些。

3 基准桩中心与基础锚杆中心的距离的确定参考了广东省建筑科学研究院等单位的研究成果,其成果表明:抗拔锚杆周围土体的变形:当距锚杆的距离 $\geq 6d$ 且 $>1.0\text{m}$ 时,锚杆周围地表地基土体的变形大都在 1mm 以下;当距锚杆的距离 $\geq 6d$ 且 $>2.0\text{m}$ 时,锚杆周围地表地基土体的变形大都在 0.5mm 以下。

4 基准桩中心与支护锚杆(土钉)中心、反力支座边的距离的确定,与基础锚杆相比,考虑到在基坑、边坡等侧壁上安装有关测试设备的难度,基准桩中心与锚杆中心的距离以及基准桩中心与反力支座边的距离均做了一定的调整。

5 当按本标准第 11.2.5 条第 4 款设置基准桩时,基准桩受反力支座、受检锚杆的影响较小,故基准桩与锚杆距离、基准桩与反力装置的距离可不执行表 11.2.8 的规定。

11.3 基本试验

11.3.1 各种锚杆均可进行基本试验确定其极限抗拔承载力,验证锚杆设计参数和施工工艺的合理性,为锚杆设计、施工提供依据。设置 $0.5\text{m}\sim 1.0\text{m}$ 的自由段是为了减小承压板下的土体应力对全长粘结型锚杆承载力的影响。

11.3.2 锚杆抗拔试验加卸载方法分为多循环加卸载法、单循环加卸载法、分级维持荷载法。

分级维持荷载法是现行国家标准《建筑地基基础设计规范》GB 50007 专门对岩石锚杆试验规定的,也与现行国家行业标准《建筑基桩检测技术规范》JGJ 106 的基桩静载试验的分级维持荷载法相一致。

11.3.3 锚杆抗拔承载力达到极限状态,有以下三种可能:第一种情况是锚固段注浆体与岩土层之间发生破坏;第二种情况是杆体与注浆体之间发生破坏或注浆体发生破坏;第三种情况是锚杆杆体破坏。这涉及岩土体、注浆体和锚杆杆体三种材料介质,很显然,从工程实践的角度来看,岩土体的工程特性是最复杂的,锚杆杆体材料的力学特性是清楚的,注浆体介于两者之间,是比较清楚的。通过基本试验实现第一种破坏形式是最理想的,从而确定锚固段注浆体与岩土层之间的破坏荷载。对于硬质岩石,宜确保不发生锚杆杆体破坏的情形。因此,应根据地质条件、锚杆类型等情况合理确定锚杆基本试验的最大试验荷载 ($Q_{\max}$)。

1 拉力型锚杆:对土层锚杆、软质岩中的岩石锚杆,一般不会发生锚杆杆体与锚固段注浆体之间的破坏,最大试验荷载可取预估锚杆的锚固段注浆体与岩土体之间破坏荷载 (T_{yt}) 的 1.0 倍~1.5 倍;对硬质岩石中的岩石锚杆,可能发生锚杆的锚固段注浆体与岩体之间破坏、也可能发生锚杆杆体与锚固段注浆体之间破坏,最大试验荷载应根据计算结果取其最小破坏荷载的 1.0 倍~1.5 倍。由于预估锚杆破坏荷载的不确定性,规定基本试验的最大试验荷载应比预估破坏荷载高出 0%~50%。

2 对压力型锚杆,锚杆的破坏应控制在锚固段注浆体与岩土体之间,不宜发生锚固段注浆体局部抗压等其他形式的破坏。压力型锚杆锚固段注浆体局部受压破坏荷载可按现行国家标准《岩土锚杆与喷射混凝土支护工程技术规范》GB 50086-2015 的第 4.6.15 条规

定计算。

3 本款规定是为了避免发生锚杆杆体破坏。通常,钢绞线、钢筋的设计是可控因素,可根据具体试验目的的不同,适当增加钢绞线、钢筋的截面积或改用抗拉强度更高的杆体。对钢绞线、钢丝束,不应超过杆体极限承载力的 0.8 倍~0.9 倍;普通钢筋,不应超过杆体极限承载力的 0.9 倍~1.0 倍。

锚杆杆体极限承载力可按国家标准《岩土锚杆与喷射混凝土支护工程技术规范》GB 50086-2015 的第 4.6.8 条规定计算。

4 对验证性基本试验,或当设计有要求时,可按设计要求取值。

5 预估锚杆的锚固段注浆体与岩土体间破坏荷载、锚固段注浆体与岩土体之间粘结强度取值,以及预估锚杆杆体与锚固段注浆体之间破坏荷载、锚杆杆体与锚固段注浆体粘结强度取值是锚杆设计的核心内容,可根据设计文件按现行国家标准《建筑地基基础设计规范》GB 50007、《建筑边坡工程技术规范》GB 50330、《岩土锚杆与喷射混凝土支护工程技术规范》GB 50086、《复合土钉墙基坑支护技术规范》GB 50739 或现行国家行业标准《建筑基坑支护技术规程》JGJ 120、《高压喷射扩大头锚杆技术规程》JGJ/T 282 等规范的有关规定进行计算,各规范对计算参数均有取值范围或相应取值的规定,应按照工程实际情况选取。由于现行标准关于这方面的规定存在不同程度的差异,当设计文件引用两本及以上技术标准,且存在破坏荷载预估值不一致时,应要求设计人员予以明确。

11.3.4 锚杆张拉和锁定是预应力锚杆施工的最后道工序,也是检验锚杆性能最直观的方式。因此,基本试验也应重视锚杆的张拉预紧工序,对张拉顶紧、锚具的选型等方面进行控制,取 0.1 倍~0.2 倍设计拉力值对各钢绞线预紧十分重要,有利于减缓张拉过程中各钢绞线的受力不均匀性以及减小锚杆的预应力损失。当锚杆轴向拉力标准值为 N_k 、钢绞线束数或组数为 n 时,单束(组)钢绞线的预紧荷载宜取 N_k/n 的 10%~20%。

11.3.5 对钢绞线预应力锚杆，考虑到在解除预应力后钢绞线可能存在扭曲变形，需在更大的荷载作用下才可能基本消除钢绞线可能存在的扭曲变形，因此，将初始荷载增加至最大试验荷载预估值的30%，以确保钢绞线预应力锚杆试验数据的有效性。

11.3.6 多循环加卸载法是锚杆基本试验的主要试验方法，一般分六个循环完成加卸载试验，第一循环的最大试验荷载值为预估最大试验荷载的50%，依次增加10%，至第六循环加载至预估最大试验荷载的100%。每一循环均从初始荷载开始加载，至本循环的最大试验荷载值后，然后卸至初始荷载。假设严格规定“分级荷载为预估最大试验荷载的10%，每级加卸载为一倍的分级荷载”，那么，完整的加卸载表应为表4，实际工程中，均减少了荷载的加卸载级数，如现行国家行业标准《建筑基坑支护技术规程》JGJ 120 将第六循环的九级加载（假设初始荷载取10%）减少为三级荷载，现行国家标准《建筑地基基础设计规范》GB 50007 减少为四级荷载。

表 4 基本试验多循环加卸载法的完整加卸载分级表

循环次数	试验荷载值与预估最大试验荷载的百分比（%）																		
	加载分级										卸载分级								
第一循环	10	20	30	40	—	—	—	—	—	50	—	—	—	—	—	40	30	20	10
第二循环	10	20	30	40	50	—	—	—	—	60	—	—	—	—	50	40	30	20	10
第三循环	10	20	30	40	50	—	—	—	60	70	60	—	—	—	50	40	30	20	10
第四循环	10	20	30	40	50	—	—	60	70	80	70	60	—	—	50	40	30	20	10
第五循环	10	20	30	40	50	—	60	70	80	90	80	70	60	—	50	40	30	20	10
第六循环	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	90	80	70	60	50	40	30	20	10

关于每级荷载持荷时间即观测时间，在每一循环的非最大荷载作用下，每级荷载加载或卸载完成后持荷5min，测读两次位移，即获得持荷5min的锚头位移差。在每一循环的最大荷载作用下，由于需要对位移进行判稳，因此，观测时间应大于10min。

关于荷载持荷过程中是否需要判断位移达到相对稳定标准的问题，现行规范中有要求的也有不要求的，本标准规定：在每一循

环的非最大荷载作用下，不判稳；在每一循环的最大荷载作用下，判稳。

本标准表 11.3.6-3、表 11.3.6-4 单循环加卸载法的加载分级与锚头位移观测时间表是根据本标准表 11.3.6-1、表 11.3.6-2 中每一循环的最大试验荷载及相应的观测时间整理而成。

11.3.8 现行国家标准《建筑地基基础设计规范》GB 50007-2011 附录 M 规定岩石锚杆应连续 4 次（每次间隔 5min）测读的锚头位移增量均小于 0.01mm 才达到相对稳定标准，在现场试验时难以操作。本标准采用 30min 时间间隔的位移增量作为判别位移稳定标准的依据，有利于现场操作。

11.3.9 在实际工程中，锚杆抗拔试验终止加载一般对应以下几种情况：

1 千斤顶的油压明显下降，即使油泵继续供油但荷载无法恢复到试验荷载水平，无法继续加载。

2 千斤顶的油压基本稳定或通过油泵持续供油能保证千斤顶的油压基本稳定，在这过程中，锚头位移持续增加，随着时间的变化，或位移增量满足本条第 2、3 款的规定，或本级持荷时间满足本条第 4 款的规定。关于按锚杆位移增量控制的破坏标准，目前有的规范规定：后一级荷载产生的锚头位移增量达到或超过前一级荷载产生位移增量的 2 倍的规定；现行国家标准《复合土钉墙基坑支护技术规范》GB 50739-2011 土钉破坏标准规定“后一级荷载产生的位移增量超过前一级荷载（第一、二级除外）产生位移增量的 3 倍”；现行国家标准《岩土锚杆与喷射混凝土支护工程技术规范》GB 50086-2015 规定“黏性土 10min 内（砂性土、岩层 5min 内）的变形大于 2mm 即为破坏”；基桩和地基检测类规范均规定“后一级荷载产生的位移增量超过前一级荷载产生位移增量的 5 倍”；国家行业标准《建筑基坑支护技术规程》JGJ 120-2012 规定“从第二级加载开始，后一级荷载产生的单位荷载下的锚头位移增量达到或

超过前一级荷载产生的单位荷载下的位移增量的 5 倍”。

3 本条第 5 款的情形,达到了试验目的,从而终止加载、开始卸载。基于本标准第 11.3.14 条变形验算的要求,终止加载后,应进行卸载并按规定测读锚头位移。当出现本条第 2~5 款情况之一时,是可以进行正常的卸载操作的,当出现本条第 1 款情况时,可能难以进行正常的卸载操作,可从残余荷载开始进行卸载。另一种特殊情况是千斤顶漏油等试验装置出现故障,终止试验,出现这种情况时,应重新试验。

11.3.11 当出现本标准第 11.3.9 条第 1~4 款情况之一时,可认为锚杆已加载至极限状态,由于最后一级荷载的锚头位移未满足位移稳定标准的要求,故应取前一级荷载值为锚杆的极限抗拔承载力,但是,对于多循环加卸载法,有可能前一级荷载值小于前一循环最大试验荷载值,因此,要求取前一循环最大试验荷载值为锚杆的极限抗拔承载力。当出现本标准第 11.3.9 条第 5 款情况时,无法判断锚杆是否加载至极限状态,只能取最大试验荷载值为锚杆的极限抗拔承载力。

11.3.14 这条是关于预应力支护锚杆弹性变形验算的具体规定,仅要求达到 $s_e > 80\% \Delta L_1$ (s_e 为实测锚头弹性位移量),目的是验证杆体自由段长度是否符合设计要求,详细解释见本标准第 11.5.11 条的条文说明。当难以测得真实的锚杆弹性位移量时(当出现本标准第 11.3.9 条第 2、3 款的情况之一,且试验荷载不能稳定时,或出现本标准第 11.3.9 条第 1 款情况时),对单循环加卸载法,可不进行锚杆弹性变形验算,对多循环加卸载法,可取前一循环的试验数据进行锚杆弹性变形验算。

11.4 蠕变试验

11.4.1 蠕变试验适用于特定岩土层的预应力锚杆，确定预应力锚杆的蠕变特性。工程实践表明，黏土层、淤泥质土层、填土层对蠕变极为敏感，因而在该类地层中设计锚杆时，应充分了解锚杆的蠕变特性，以便合理地确定锚杆的设计参数和荷载水平，并且采取适当措施，控制蠕变量，从而有效控制预应力损失。

影响锚杆蠕变特性的主要因素有锚杆材料与锚固结构的徐变性质、锚固段注浆体的徐变特性、被锚固介质的流变特性。其中钢材的徐变影响仅占预应力值的 1% 左右，混凝土或锚固段注浆体徐变引起的预应力损失约为 5%~6%。对于岩体或土体中的预应力锚杆，大部分预应力损失则来源于岩土体的流变特性，所以应着重考虑锚固介质的特性。

蠕变试验包括蠕变速率试验和预应力损失试验，本标准仅涉及蠕变速率试验。

11.4.3 荷载水平对锚杆蠕变性能有明显的影响，即荷载水平愈高，蠕变量越大，趋于收敛的时间也越长。锚杆的蠕变主要发生在加荷初期，因而规定了加荷初期应多次记录锚杆的蠕变值。蠕变试验卸载时，卸载等级与加载等级相同，每级荷载只需测读两次锚头位移。

11.4.5、11.4.6 蠕变率是锚杆蠕变特性的一个主要参数。他表明锚杆变形随时间的变化趋势，即蠕变的变化趋势，蠕变率是每级荷载作用下，观察周期内最终时刻蠕变曲线的斜率，可判断锚杆的长期工作性能。

11.5 验收试验

11.5.1 锚杆验收试验也称为抗拔承载力检测试验，包括基础锚杆验收试验、支护锚杆验收试验、土钉验收试验。锚杆验收试验是一种采用接近于锚杆实际工作条件的试验方法，对锚杆施加大于设计

轴向拉力值的短期荷载,判定锚杆抗拔承载力检测值是否满足设计要求,或验证工程锚杆是否具有与设计要求相近的抗拔安全系数,为工程验收提供依据。

11.5.2 分级维持荷载法主要是针对基础锚杆设置的,超高吨位岩石锚杆也可选用。现行国家标准《建筑地基基础设计规范》GB 50007-2011 规定支护型岩石锚杆试验采用分级维持荷载法。

验收试验的多循环加卸载法是针对超长钢绞线锚杆、超高吨位岩石锚杆设置的,以便更好地反映锚杆的工作性状和试验方法的适用性。对承受循环荷载的基础锚杆宜采用多循环加卸载法。

11.5.3 本条是关于锚杆验收荷载取值的规定。

1 由于现行锚杆设计方面的规范较多,相关规范对锚杆设计体系和抗拔安全系数有不同的规定,设计参数有采用锚杆轴向拉力标准值的,也有采用锚杆轴向拉力特征值的。因此,本标准只是简单地规定锚杆验收荷载应按设计要求确定,包括设计图纸上标明的验收荷载和按设计所依据的技术标准来确定验收荷载。部分现行规范的有关规定介绍如下:

- 1) 现行国家标准《建筑地基基础设计规范》GB 50007 设计的锚杆:土层锚杆取 $0.85f_yA_s$; 岩石锚杆取锚杆承载力特征值 (R_s) 的 2 倍;
- 2) 现行国家标准《建筑边坡工程技术规范》GB 50330 设计的锚杆:永久性锚杆取 $1.50N_{ak}$ (N_{ak} : 锚杆轴向拉力标准值)、临时性锚杆取 $1.20N_{ak}$;
- 3) 现行国家标准《岩土锚杆与喷射混凝土支护工程技术规范》GB 50086 设计的锚杆:永久性锚杆取 $1.2N_d$ (N_d : 锚杆的轴向拉力设计值),临时性锚杆取 $1.1N_d$; 对永久性锚杆 $N_d=1.35\gamma_wN_k$ 、(γ_w : 工作条件系数,一般情况取 1.1),临时性锚杆 $N_d=1.25N_k$;
- 4) 现行国家行业标准《建筑基坑支护技术规程》JGJ 120 设

计的锚杆：对支护结构安全等级为一级、二级、三级工程中的锚杆，分别为 $1.4N_k$ 、 $1.3N_k$ 、 $1.2N_k$ 。（ N_k ：锚杆轴向拉力标准值）；

- 5) 现行国家行业标准《高压喷射扩大头锚杆技术规程》JGJ/T 282 设计的锚杆：永久性锚杆取 $1.5R_t$ ，临时性锚杆取 $1.2R_t$ 。
- 6) 对于土钉，现行国家行业标准《建筑基坑支护技术规程》JGJ 120 规定：验收荷载应取土钉轴向拉力标准值的 1.3 倍或 1.2 倍（分别对应安全等级为二级、三级的土钉墙）；
- 7) 对于基础锚杆，现行国家标准《建筑地基基础设计规范》GB 50007 规定：锚杆抗拔安全系数取 2.0，验收荷载应取抗拔承载力特征值（ R_t ）的 2.0 倍。

2 本条对锚杆验收试验的最大试验荷载（ $Q_{\max}$ ）取值的原则性进行了规定。

- 1) 最大试验荷载不应小于锚杆验收荷载。首先，在制定试验方案时，应确定验收荷载，这是设计对具体工程项目提出的锚杆承载力要求；然后确定评价规则，依据评价规则来确定验收试验的最大试验荷载，验收试验的最大试验荷载可以等于验收荷载也可以大于验收荷载；最后，根据试验结果确定抗拔承载力检测值，将抗拔承载力检测值（或及其统计值）与验收荷载进行比较，评价工程锚杆是否满足设计要求。
- 2) 对钢绞线锚杆，在验收试验的最大试验荷载作用下，应确保杆体有足够的强度，预应力钢绞线锚杆杆体应力应符合本标准第 11.3.3 条第 3 款的规定。
- 3) 当对检测结果采用统计评价时，规定最大试验荷载宜为 1.1 倍~1.2 倍锚杆验收荷载，是与本标准第 11.5.13 条和第 11.5.14 条的规定相协调，以保证评价结果的客观性和科

学性以及可操作性。

- 4) 在实际检测工作中,在条件许可的情况下,最大试验荷载宜尽可能大于验收荷载;有利于当出现个别锚杆不合格时,进行设计复核和工程处理。

11.5.4 预应力锚杆在试验前可能存在两种状态,第一种是预应力锚杆还没有进行张拉,要求试验前进行预紧,否则锚杆尤其钢绞线锚杆的实测位移可能较大;第二种情况是锚杆处于张拉锁定状态,要求试验前应解除预应力,以反映锚杆的实际受力状态和位移变化。为正确解除锚杆的预应力,宜采用本标准附录 H(图 H.2-2)的锚杆卸锚装置进行解除预应力操作。

11.5.5 关于锚杆验收试验的初始荷载,从工程锚杆验收试验的角度考虑,本标准规定支护锚杆和土钉初始荷载统一取最大试验荷载的 30%,当然,初始荷载也可取最大试验荷载的 10%。

11.5.7 单循环加卸载法是支护锚杆验收试验的主要试验方法。单循环加卸载法的荷载分级采用的是按最大试验荷载进行分级,未采用按设计荷载或标准荷载值进行分级。其优点是:第一,可与基本试验的荷载分级相统一;第二,便于系统锚杆、土钉的荷载分级;第三,方便检测技术人员操作。

本标准要求每级荷载均进行锚头位移判稳,目的是加强检测方法的严谨性,要求每级荷载的观测时间均不少于 10min,测读位移的时间间隔为 5min,且应进行第 0min 的读数。

验收试验多循环加卸载法的初始荷载取最大试验荷载预估值的 30%,在每一循环的非最大荷载作用下,每级荷载持荷 1min,不需要判稳,在每一循环的最大荷载作用下,需要判断位移是否收敛。

11.5.8 本条第 2 款为正常完成验收试验的终止加载条件,其余同本标准第 11.3.9 条的条文说明。

11.5.10 本条是关于单根锚杆的抗拔承载力检测值的确定方法,见本标准第 11.3.11 条的条文说明。

11.5.11 本条是关于支护锚杆弹性变形验算的具体规定。

1 在计算理论弹性伸长值时,对拉力型锚杆-杆体自由段长度取千斤顶上方工具锚(也可简单地从锚头或工作锚开始计算)与隔离套管末端之间的杆体长度,杆体粘结段长度取隔离套管末端至杆体末端之间的杆体长度;对压力型锚杆-杆体自由段长度取工具锚至杆体末端之间的杆体长度;对全长粘结型锚杆-杆体自由段长度可取为 0,杆体粘结段长度取工作锚至杆体末端之间的杆体长度。

2 本标准规定应对支护锚杆进行弹性变形验算,未规定对基础锚杆和土钉进行弹性变形验算。对拉力型预应力支护锚杆,要求 $80\%\Delta L_1 < s_e < \Delta L_2$ (s_e 为实测锚头弹性位移量);对拉力型非预应力支护锚杆(包括全长粘结型支护锚杆),杆体自由段长度为 0,可仅验算 $s_e < \Delta L_2$;对压力型支护锚杆,要求 $80\%\Delta L_1 < s_e < 120\%\Delta L_1$ 。

当出现本标准第 11.5.8 条第 1 款情况时,锚杆弹性变形验算要求见本标准第 11.3.14 条的条文解释。

3 对于支护锚杆,由于锚杆验收荷载小于锚杆轴向拉力标准值的 k 倍(k 为锚杆抗拔安全系数,部分规范的锚杆抗拔安全系数取值见表 5),因此,为评价工程锚杆的质量和性能进行弹性变形验算是必要的,要求实测弹性位移量应在合理的区间范围之内。

对拉力型锚杆,若实测弹性位移远小于相应荷载下杆体自由段长度的杆体理论弹性伸长值的 80%,则表明杆体自由段长度小于设计值,或杆体自由段预应力筋的非粘结段长度不符合设计要求,因而当出现锚杆位移时将增加锚杆的预应力损失;若实测弹性位移大于杆体自由段长度与 1/2 杆体粘结段长度之和理论弹性伸长值,可能锚固段注浆体产生了明显的塑性变形或在相当范围内锚固段注浆体与杆体间的粘结作用已被破坏,这就意味着部分锚固段长度位于滑移区或破坏区内,则表明锚杆的承载力将受到严重削弱,甚至

将危及工程安全。

对压力型锚杆，若测得的弹性位移远小于相应荷载下杆体自由段长度的理论弹性伸长值的 80%，则说明锚杆杆体可能承受较大的摩擦力、注浆隔离效果不好，或锚杆长度不够，未能满足压力型锚杆的设计要求；若测得的弹性位移大于杆体自由段长度的理论弹性伸长值的 120%，则说明锚杆材质可能存在质量问题或在相当范围内锚固段注浆体与土体间的粘结作用已被破坏，锚杆的承载力将受到严重削弱，甚至将危及工程安全。

表 5 部分规范的锚杆抗拔安全系数取值

规范名称	安全系数类型	安全等级	临时性锚杆	永久性锚杆
《岩土锚杆与喷射混凝土支护 工程技术规范》 GB 50086	锚杆锚固段注浆体 与地层间的粘结抗 拔安全系数	一级	1.8	2.2
		二级	1.6	2.0
		三级	1.5	2.0
《建筑边坡工程技术规范》 GB 50330	锚杆锚固体抗拔 安全系数	一级	2.0	2.6
		二级	1.8	2.4
		三级	1.6	2.2
《建筑边坡工程技术规范》 GB 50330	锚杆杆体抗拔 安全系数	一级	1.8	2.2
		二级	1.6	2.0
		三级	1.4	1.8
《建筑基坑支护技术规程》 JGJ 120	锚杆抗拔 安全系数	一级	1.8	--
		二级	1.6	--
		三级	1.4	--

11.5.12 除本标准第 11.5.13 条要求系统锚杆的抗拔承载力采用统计评价外，一般来说，对每一根受检锚杆应单独评价其是否满足设计要求。单根锚杆评价有三点要求，即锚杆的抗拔承载力检测值、支护锚杆的变形验算、总位移测量值均应满足设计要求。

11.5.13 系统锚杆指为保证边坡整体稳定，在坡体上按一定格式设置的锚杆群。由于系统锚杆是整体受力，故增加了抗拔力算术平均值不小于设计抗拔力、抗拔力最小值不小于设计抗拔力的 0.9 倍的验收要求。

11.5.14 本条是按整批土钉进行验收的标准，与现行国家标准《复合土钉墙基坑支护技术规范》GB 50739 的规定一致。由于土钉是整体受力，与锚杆的受力性状有差异，故增加了抗拔力算术平均值不小于设计抗拔力、抗拔力最小值不小于设计抗拔力的 0.8 倍的验收要求。当按单根土钉进行合格评价时，应符合本标准第 11.5.12 条的规定。

11.6 粘结强度试验

11.6.1 本标准对测试锚固段注浆体与岩土层之间的粘结强度进行了规定。锚杆粘结强度包括两部分，一个是锚固段注浆体与岩土层之间的粘结强度，另一个是锚固段注浆体与杆体之间的粘结强度。杆体与锚固段注浆体之间的粘结强度大多在试验室内进行。本标准中锚杆粘结强度指锚固段注浆体与岩土层之间的粘结强度。目前，测试锚固段注浆体与岩土层之间的粘结强度有两种试验方法，一种是埋设测试元件，一种是不埋设测试元件。实际工程中，在钢绞线上较难安装传感器，在钢筋上安设传感器的技术较为成熟，因此，锚杆粘结强度安设传感器测试法主要适用于杆体材料为钢筋、高强钢筋的拉力型锚杆。

11.6.2 只有当锚固段注浆体与岩土体间发生的破坏，才有可能测得锚固段注浆体与岩土层间粘结强度。因此，为了避免出现杆体破坏或锚固段注浆体与杆体之间的破坏，可采取加大杆体的截面面积的措施。

11.6.4 数据校核断面的设置应引起足够的重视，否则传感器数据的校核难以进行。

11.6.5 传感器的埋设要求采用了现行电力国家行业标准《水电水利工程岩体观测规程》DL/T 5006 的有关规定。传感器的埋设应能满足测试的技术要求，并保护已埋设传感器及导线，避免损伤。

11.6.7 由于锚杆粘结强度试验结果是用来指导设计的，因此，应按本章第 3 节基本试验的规定进行试验，推荐采用单循环加卸载法；试验过程中，要求同时对锚头位移测量仪表和埋设传感器进行读数和记录，包括锚头位移和埋设传感器的基准值。

11.6.8、11.6.9 粘结强度是根据测试区段的两个断面杆体轴力测试结果计算得到，对于单个测试区段或者两个关联性不强的测试区段，可针对每个测试区段绘制杆体轴力-试验荷载曲线、粘结力-试验荷载的关系曲线；对于两个或两个以上连续测试区段，还应绘制锚杆轴力-深度-试验荷载曲线、绘制粘结力-深度-试验荷载曲线。

计算得出的锚固段注浆体与岩土体之间粘结力为两测量断面间的平均粘结力，因此，极限粘结强度为拟测试锚固段的平均极限粘结强度。由于测量数据具有离散性，绘制锚杆不同断面（杆体）轴力随试验荷载的变化曲线（锚杆轴力-深度-试验荷载曲线）、粘结力随试验荷载的变化曲线（锚杆粘结力-深度-试验荷载曲线），可分析锚杆轴力、粘结力沿轴向分布以及随试验荷载的变化趋势，合理剔除异常数据，有助于粘结强度的确定。

在本标准中，锚杆粘结强度都是通过特定条件测出的，应注意锚固段长度与锚固效应的变化关系，尤其是短锚固段锚杆测试法获得的锚杆粘结强度，在设计使用时应调整或折减。

11.7 持有荷载试验

11.7.1 持有荷载试验是采用千斤顶加载反力装置，对已锁定的（预应力）锚杆的锚头进行分级加载，以确定锚杆杆体持有荷载的一种试验方法。持有荷载试验既可用于检测预应力锚杆在工作期间的杆体预应力变化情况，也可对非预应力锚杆的杆体拉力进行检测。对未埋设锚杆测力计的锚杆，采用持有荷载试验测试锚杆杆体持有荷载是一种有效的方法。

锚杆张拉锁定后,在预应力锚杆工作期间,随着时间变化,锚杆杆体持有荷载可能会减少,也可能会增加。通过持有荷载试验可以获得试验时的锚杆杆体持有荷载,因此,如果在锚杆张拉锁定完成时,进行持有荷载试验,此时的试验结果即为锚杆锁定力值。

11.7.3 本条规定的目的主要防止在持有荷载试验时,如其最大试验荷载大于验收荷载时,有可能将锚杆拉坏。当锚杆持有荷载大于等于验收荷载时,由于锁定力设计值小于验收荷载,此时,锚杆处于严重的超张拉状态,或者说处于非正常工作状态,设计应提出工程处理意见。

规定初始荷载宜为锚杆设计锁定力值的 30%,目的是避免锚杆的实际持有荷载偏低,而难以测出其持有荷载;分级荷载宜为锚杆设计锁定值的 5%,目的是保证测得的持有荷载有较高的准确性。当试验荷载加载至验收荷载时,不论是否出现锚头位移突变或锚具松动,均应终止试验。

给出了锚杆持有荷载测试的具体步骤。当采用自动测量方式时,可将其 30s~60s 内的连续读数的平均值取为 1 次读数。

11.7.5 当采用交汇点确定持有荷载时,交汇点两侧应有足够数量的实测数据,以便客观判断交汇点,当编制计算程序进行判断时,可分别对交汇点两侧的数据进行直线拟合,且应去除过渡区的测点,再确定两条直线的交汇点,并取交汇点附近所对应的测量点的前一级荷载为锚杆持有荷载。宜优先根据荷载试验的荷载-位移曲线确定持有荷载,当难以确定时,也可利用“插片法”确定杆体持有荷载。

11.8 拉力监测

11.8.1 通过对锚杆锚固段拉力监测的监测结果可掌握锚杆的内力与变形状态,分析锚杆拉力变化规律和机理,为验证及优化设计、调整施工程序、评估工程安全状态提供依据。

锚杆拉力监测对象既包括预应力锚杆也包括非预应力锚杆,监测时间既包括施工期间的监测也包括竣工验收后的营运监测。施工过程中的监测可进行动态设计,调整施工程序,进一步加强施工过程的安全控制。竣工验收后营运监测,可评价锚固结构的长期安全状态。积累监测资料还可为类似的工程项目提供设计和施工经验。

11.8.2 拉力监测的手段主要有两种,一种是锚杆锚固段拉力监测,可在锚固段注浆体范围内的杆体上安装传感器,对锚杆锚固段杆体拉力进行监测。当在多个测点埋设安装传感器时,还可掌握锚杆拉力的空间分布变化规律。其传感器可按以下原则来选取:

1 当杆体材料为普通钢筋时,传感器的选用比较灵活,可选用振弦式钢筋应力计、粘贴式电阻应变计、封装式光纤光栅应变计或粘贴式光纤光栅应变计。

2 当杆体材料为预应力螺纹钢筋、钢管时,由于高强钢筋难以焊接、变形大等特点,宜选用粘贴式电阻应变计、粘贴式光纤光栅应变计进行测试。

3 当杆体材料为钢绞线时,应当注意锚索杆体变形测量元件的量程问题。高强钢绞线的强度一般采用 1860MPa,如试验荷载采用其强度标准值的 80%~90%,则其应变量大 7000 $\mu\epsilon$ ~8000 $\mu\epsilon$ (微应变),目前应变测试元件的量程通常在 3000 $\mu\epsilon$ 以下,且应变片对锚索杆体的适用性不强,振弦式钢索计对锚索杆体的安装因受锚杆孔径的限制也不易实现。因此,对钢绞线锚杆,电阻应变计、振弦钢筋应力计、光纤光栅传感器均难以适用,应通过有效试验的方法选用合适可行的传感器。

4 压力型锚杆,由于杆体与注浆锚固体不粘结,一般不进行锚杆锚固段拉力监测。

另一种是预应力锚杆自由段拉力监测,可在工作锚和锚固结构之间安装锚杆测力计,对杆体拉力进行监测,是目前应用较多的一种监测手段;也可通过重复性的持有荷载试验获得杆体拉力,达到对杆体拉力的监测目的。严格说,这类测试结果代表锚头附近的杆体拉力。

11.8.4 本条对锚杆自由段杆体拉力监测方法作出了相应的规定,采用锚杆测力计监测非预应力锚杆锚头附近的杆体拉力时,应执行本条第 1、2 款的规定。

为实现数据共享和操作方便,锚杆自由段拉力监测的第一次测读数据取锚杆锁定力值。

采用锚杆测力计监测非预应力锚杆锚头附近的杆体拉力时,宜按本条第 3 款的规定执行。实际监测工作中,监测频率尚应结合下列因素进行相应的调整:

1 锚杆拉力监测频率应根据设计要求、工程施工进程、气象条件及周边环境变化情况综合确定;

2 临时性锚杆拉力监测应覆盖锚杆的整个寿命周期。在锚杆施工后的一定时间段内,监测频率应加密,并根据监测结果的变化情况确定后续的监测频率;当气象条件对工程稳定性不利时,或工程施工导致周边环境发生明显变化时,应及时观测并增加观测频率;

3 永久性锚杆拉力监测应持续(1~2)个水文年。在工程施工期的监测频率与临时性预应力锚杆相同;工程竣工后,监测频率可逐步减少,但在锚杆施工后 1 年内,监测频率不应少于 2 次/月;在锚杆施工 1 年后,监测频率不应少于 1 次/月;当气象条件对工程稳定性不利时,或工程周边环境发生明显变化时,应及时进行观测,并根据观测结果确定是否增加监测频率;

4 当锚杆拉力监测结果出现明显异常时,应加密观测。

11.8.8 异常数据是指个别数据偏离预期或大量统计数据结果的情况，如果把这些数据和正常监测数据放在一起进行统计分析，可能会影响监测结果的正确性，如果把这些数据简单地剔除，又可能忽略了重要的监测信息，所以需要判断异常数据，及时核查确认，分析其产生原因，是否影响工程质量及安全，判断是否将其剔除。

每次观测后应立即对数据进行计算、整理，打印相关监测报表，并根据监控量测数据绘制锚杆自由段拉力随时间变化曲线（锚杆自由段拉力-时态曲线）、锚杆自由段拉力随工况变化曲线（锚杆自由段拉力-工况曲线），锚杆不同断面轴力随时间变化曲线（锚杆轴力-深度-时态曲线）和锚杆不同断面轴力随工况变化曲线（锚杆轴力-深度-工况曲线），以便分析时间效应和空间效应的影响。然后根据已监测数据分布状况，选择合适的函数进行回归分析，对后期数据进行预测，并与控制基准值进行比较，结合施工工况综合分析锚杆和支护结构的工作状态。

在营运期间，不论是锚杆自由段杆体拉力监测，还是锚杆锚固段杆体拉力监测，都应围绕支护结构是否安全来进行分析判断和预测。

11.8.9 监测报告一般包括项目概况、监测方法和依据、监测项目等。监测方法中应包括监测期、监测频率、测点分布、数据处理方法等，监测项目包括监测参数、采用的监测设备及其检校情况。

12 施工过程检测

12.1 材料检测

12.1.1、12.1.2 复验是建筑材料、设备等进入施工现场后，在外观质量检查和质量证明文件核查符合要求的基础上，按照有关规定从施工现场抽取试样送至试验室进行检验的活动。建设工程的原材料种类繁多，本标准共 6 大类产品，基本覆盖了地基、基础、边坡与基坑、锚杆、钢结构预埋件、防水等施工的全部原材，主要材料进场复验应根据相关产品标准和设计图纸执行，并甄别出厂检验、型式检验、进场复验在抽样数量和检测项目上的不同。

本节中基础材料的抽检要求若为现行根据标准的强制性条文，应严格执行。

12.2 预应力混凝土桩破坏性试验

12.2.1 预制混凝土桩进入施工现场后应验证成品质量是否符合产品标准和设计要求，宜按单位工程进行抽检，当工程规模较大、施工方法不同或生产厂家不同时，可将单位工程划分为若干检验批，按照检验批进行抽检。

如检验批的样本数量较大，当出现不合格情况时，该检验批的工程桩不准使用，可能会造成较大浪费；若单位工程划分的检验批较多，可能会增加抽检数量。其中规格型号、尺寸偏差和外观质量、端板几何尺寸等检测项目，可按供货批次划分检验批；预应力钢棒数量和直径、螺旋筋直径和间距、螺旋筋加密区的长度及钢筋混凝土保护层厚度、桩身混凝土强度等检测项目，可按产品生产厂家划分检验批。

12.3 成孔成槽质量检测

(1) 钻孔灌注桩成孔检测

12.3.1 综合了目前主要的成孔质量检测方法，按检测对象进行了分类，方便检测人员选用。为合理选择仪器设备，检测人员应该对各种仪器设备的优、缺点进行比较深入的了解。伞形孔径仪检测成孔孔径，通过伞形孔径仪四机械臂紧贴孔壁，四机械臂的电阻值变化来探测孔径大小。受弹簧弹力影响，弹力过大，测量孔径偏大，弹力过小，机械臂张开无力，最大测量范围受限。目前国内伞形孔径仪一般测量范围为 $\Phi 500\text{mm} \sim \Phi 1600\text{mm}$ ，通过定制，最大测量范围可以达到 2500mm 。

超声波法检测时探头部分需占据一定的空间尺寸，且超声检测存在盲区。根据天津市超声波法成孔检测的应用情况，孔径小于 600mm 时，超声波法成孔检测实际操作有难度，测试效果也不好控制。故规定被检测孔径不宜小于 600mm 。对于最大检测孔径未作规定，按照目前的仪器性能，最大检测孔径可以达到 12.0m ，但实际最大检测能力受现场检测环境的影响，应由现场实测确定。

表 6～表 9 分别对孔深、孔径、垂直度、沉渣厚度的常用检测方法 & 仪器设备进行了较详细的对比。

表 6 孔深检测常用方法及仪器设备对比

对比项目	测绳法	深度编码法
仪器设备及器具	测绳	深度编码器、滑轮
优点	检测方便、快捷	与其他检测同步进行
缺点	锥状重物因泥浆、沉渣等原因，未必完全到达孔底	探头因泥浆、沉渣等原因，未必完全到达孔底

表 7 孔径检测常用方法及仪器设备对比

对比项目	机械接触法	超声波法
仪器设备及器具	伞型孔径仪	超声波成孔检测仪
优点	测点间距一般较大，测点较少，也可设定小间距，但效率较低	测点间距小，测点较多，可直观反映孔壁形态
适用性	不同大小的孔径，选不同型号的探头；直径大于 2.5m 以上不宜采用本法检测	适用于仪器能力范围内各孔径、各形状的桩孔，不宜检测直径小于 600mm 的桩孔
泥浆影响	桩孔内气泡、泥浆相对密度和含砂率对测试结果影响不大，工期紧张时宜采用此法	泥浆相对密度超过 1.2，含砂率超过 5%，或桩孔内气泡等对测试结果有影响，等待清孔或气泡消失可能花费时间较长

表 8 垂直度检测常用方法及仪器设备对比

对比项目	顶角测量法	圆心拟合法	超声波法
仪器设备及器具	测斜仪、扶正器	伞型孔径仪	超声波成孔检测仪
优点	测点间距一般较大，测点较少，也可设定小间距，但效率较低		测点间距小，测点较多
适用性	不同大小的孔径，选不同型号的探头；直径大于 2.5m 以上不宜采用本法检测		适用于仪器能力范围内各孔径、各形状的桩孔，不宜检测直径小于 600mm 的桩孔
泥浆影响	桩孔内气泡、泥浆相对密度和含砂率对测试结果影响不大，工期紧张时宜采用此法		泥浆相对密度超过 1.2，含砂率超过 5%，或桩孔内气泡等对测试结果有影响，等待清孔或气泡消失可能花费时间较长
操作便捷性	需要更换专用测斜探头进行	垂直度和孔径同步检测完成	探头升降 1 次，垂直度和孔径同步完成

表 9 沉渣厚度检测常用方法及仪器设备对比

对比项目	电阻率法	探针法	测锤法
仪器设备及器具	电阻率法沉渣测定仪	探针法沉渣测定仪	沉渣测锤
适用性	因体积小，可在下导管前检测，也可在下导管后在导管内检测	在下导管前检测	一般在下导管后检测，也可在下导管前检测
地下水影响	地下水含盐量高时不宜采用	无影响	无影响

泥浆是超声波传播的介质，泥浆的重度、粘度及含砂量等指标直接影响超声波的传播性能。实际工程检测中曾经出现泥浆过稠，

将探头完全封闭,造成根本没有检测信号的现象,因此,检测时孔内泥浆性能应满足仪器使用的要求。

因新设备、新工艺的应用发展及实际工程需要,设计要求的合格标准往往要高于规范要求的合格标准,成孔成槽质量检测结果应首先满足设计要求,其次是符合《建筑地基基础工程施工质量验收标准》GB 50202 及现行各标准中的相关规定。

根据《天津市岩土工程技术规范》DB/T 29-20-2017 第 10.9.1 条规定“施工前宜进行试成孔,数量不少于 2 个,以便核对地质资料,设备、施工工艺等。如出现缩径、坍孔、回淤、贯入度不能满足设计要求时,应拟定补救技术措施,或重新考虑施工工艺”。静载试桩本身要有代表性,试验前对静载试验试桩进行成孔检测,可有效避免由于成孔质量而影响试验结果的现象,并可对异常试验结果进行分析。

为真实反映成孔质量,检测数量应有一定的比例,具体数量应根据建筑物的重要性、地基基础等级、地质条件复杂程度等因素确定。等直径钻孔灌注桩成孔抽测数量的规定,是参照了《建筑基桩检测技术规范》JGJ 106-2014 第 3.3.3 条第 1 款中其他桩基工程桩身完整性质量检测抽测数量的规定及第 2 款柱下承台桩完整性质量检测抽测数量的规定。非等直径钻孔灌注桩成孔抽测数量的规定,遵循了天津市工程建设标准《挤扩灌注桩技术规程》DB 29-65-2011 第 6.1.3 条的相关规定,根据此类桩的成桩工艺情况,适当提高了检测比例。当钻孔灌注桩为市政桥梁基桩时,其成孔应 100%检测。

12.3.2 目前,接触式仪器法孔径检测设备为伞型孔径仪,天津地区所用伞型孔径仪采用 4 支机械臂,对十字正交方向的孔径进行同步测量,从多年工程案例看,应用效果不错。采用伞型孔径仪对孔径的测量误差,主要产生原因来自 3 个方面:一是随着孔径变大,机械臂挠度引起的误差;二是桩孔壁土层的强度不同,在同一张力下末端嵌入的程度不同引起的误差;三是后期数据处理转化为孔径

时的孔径算法误差。对可能产生的误差，需要检测人员根据情况合理评估。

测绳变形主要是测绳长期受拉长度伸长，使测量孔深小于实际孔深，可能造成孔深超标准要求的允许偏差值，故应注意测绳材质的选择及定期对测绳进行校准。与测绳连接的重物应有一定的重量和尖锐度，才能穿过沉渣层，到达持力层表面。

重锤法检测采用的重锤偏轻，当成孔工艺采用旋挖成孔、地质情况较差时，孔底泥浆较稠，对重锤产生一定的浮阻力，将不能准确地测量沉渣厚度。另外，大多数施工单位用长 20cm~30cm 的 2 根或 4 根钢筋捆绑在一起代替重锤，由于其端部面积较小，在一定条件下，它可以穿入沉渣层一定深度，也不能准确测量出沉渣厚度。高度和直径比例合理，才有一定冲击力，可以克服泥浆浮力，同时保证重锤底面能停留在沉渣顶面。

悬挂重锤的测绳宜采用钢丝绳，不宜采用尼龙测绳，由于重锤的重量较大，尼龙绳容易被拉伸，产生较大变形，使测量出的沉渣厚度偏小，与真实值可能存在较大差距。

探头电极带电裸露在泥浆中工作，需要具有良好的绝缘性能，且与泥浆电阻率相差较大；质量太轻不易刺到孔底，直径太大时，在导管壁内检测时易碰到管壁，长度要大于导管到孔底的距离，否则探头倾倒有卡住的可能；电极距长度过大，分辨率低，且两点间电阻大了不易测出信号；倾角传感器实时掌握探头是否铅直，若倾斜会造成沉渣厚度检测值偏大。

探针法沉渣测定仪用于检测沉渣厚度的探头必须具有一定的重量，探针应具有一定的刚度、长度和截面尺寸，否则无法穿透沉渣；探头面积过大，可能造成探头落在沉渣顶面，无法进入沉渣下面的真正原状土持力层。

12.3.3 孔深检测在清孔完毕后立即进行是为了减小孔内泥浆中包裹的砂粒及泥屑随时间不断沉淀对孔深产生的影响。测绳法工作原

理是将悬挂锥形重物的带标尺的测绳沿孔中心下探到孔底,读取孔口测绳标尺读数即为孔深。深度编码器法是通过滑轮及光电脉冲法计数的装置,在探头下行时带动滑轮转动,由转动圈数与滑轮周长的乘积计算出孔深。伞形孔径仪和顶角测量法测斜仪所用孔口滑轮均集成了深度编码器,因此在孔径和垂直度检测时可同时完成孔深检测。

从桩孔中心部位下放测绳可保证下放过程中测绳悬挂的锥状重物与孔壁有一定距离,避免锥状重物与孔壁的碰撞,影响孔壁稳定和测绳下放到孔底。测绳下放时间段内,孔内可能已经产生的沉渣,因此锥状重物下放到孔底后要反复提升,让锥状重物穿过沉渣。

孔口滑轮经过一段时间的使用后会因磨损造成轮径变小,垂吊探头的电缆因长期张拉会变形,均给深度检测带来误差,为此应定期将井口滑轮、电缆及记录仪组成的深度检测系统送交计量检测机构进行系统检定,修正采集系统中的孔深系数,以保证检测精度。

12.3.4 通过对试成孔后孔径的跟踪检测,可以对比分析出孔径随时间的变化情况,施工单位可依据孔径变化规律,对成孔后钢筋笼下放、二次清孔、混凝土灌注工序所用时间进行合理控制,在最佳时间段内灌注成桩,保证桩的质量。

非等直径钻孔灌注桩成孔工艺是在等直径钻孔灌注桩的基础上,通过机械或液压装置孔壁进行挤压或切削,在桩身或桩端形成扩大部分,最后灌注混凝土而成。由于施工工艺较等直径钻孔灌注桩复杂,孔壁不规则,相对于等直径钻孔灌注桩,孔径稳定性差,成孔后更容易发生大的变形或坍塌,因此前期应加强观测。

超声波在不同的泥浆中传播速度不完全相同,通过对已知距离的校准,实测当前泥浆声速,可以使仪器参数的设置适合,使实测声时值和计算测距数据符合实际情况。为避免出现不真实的检测结果,自校验证完成后应及时锁定相关参数设置,在检测过程中不得变动。

探头若偏离护筒中心,一般情况下实际检测的是桩孔两个正交弦断面的弦长。所以检测中探头越接近中心,孔径检测误差越小。另外,超声波探头发射面外侧 200mm 距离范围内为超声波法检测盲区,对于小直径钻孔灌注桩桩孔检测,探头若偏离护筒中心较远,可能会因为桩孔较小的偏斜,导致探头进入盲区而无法检测。

根据其他地区的检测经验,直径大于 4m 的桩孔非轴对称孔径变化现象出现的机会,较一般直径的桩孔要多。另外,根据支盘桩以往的检测经验,有时会出现局部盘高或盘径变小的现象,所以应该增加检测方位,全面了解孔壁变化。而对于一般等直径钻孔灌注桩桩孔检测,正交两个方向就可以满足要求。

标明检测剖面的走向与实际方位的目的是一旦发现非轴对称缺陷,可以通过检测方向与实际方位的关系,确定缺陷的具体位置。

检测中,有时会出现记录信号模糊断续及空白,原因有多种,可能是仪器升降速度过快,因为超声波探头每分钟重复频率是固定的,探头行进过快,相当于拉长了测点的间距,降低了分辨精度;可能局部深度范围内泥浆过稠,而探头超声波发射功率小,或灵敏度低造成反射信号弱;可能泥浆中气泡屏蔽了超声波;可能泥浆中存在悬浮物导致超声波的散射等等。因此,可以采用降低探头升降速度,或增大灵敏度及发射功率,检查不同深度泥浆的性能指标等手段,保证检测精度。

通过量取、分析、计算检测记录图,可以得出钻孔灌注桩孔的垂直度、孔径及孔深。记录图纵横比例尺,应根据设计孔径及孔深合理设定,并应满足分析精度需要。如表 10 是 KODEN 系列仪器的设定:

表 10 KODEN 系列仪器的参数设定

方向	仪器参数		
横向	孔径	量程设定 (R)	备注
	<70cm	0.5m	注: R>4m 时应采用 SHIFT 移位档。
	70cm~150cm	1.0m	
	150cm~300cm	2.0m	
	>300cm	4.0m	
纵向	孔深	SYNC (与深度成比例)	1m=记录纸长度
	<10m	1/40	2.5cm
	10m~15m	1/50	2.0cm
	15m~25m	1/100	1.0cm
	>25m	1/100~1/200	1.0cm~2.0cm

本条中式(12.3.4-1)实际是对两个互为反向的声波换能器的实测波速取平均值。

当采用 4 个测量杆时,应能同步显示两个正交方向的桩孔径及平均桩孔径。当桩孔底泥浆较稠时,孔径仪的测量杆可能没有立即张开接触到桩孔壁,使桩孔底测试值比实际偏小。此时应结合桩孔施工情况,对检测结果进行综合判断。

式(12.3.4-6~12.3.4-9)伞形孔径仪的检测结果是个各机械臂各自检测结果的平均值,对非轴对称的桩孔径变化的孔检测时存在一定的误差。

12.3.5 顶角测量法垂直度检测在钻具内进行,应在清孔完毕后,提钻前,顺钻具内管将测斜探头放至钻头上部的某一相对固定的位置,通过提升钻头,在不同孔深位置进行检测直至孔口。

顶角测量法测斜探头外径很小,在钻孔内直接测斜时应外加扶正器。在孔径检测完成后,了解实际孔径的变化情况,可以合理选择扶正器,避免出现扶正器过小或过大。另外由于无法对桩孔明显扩径段进行测斜,通过孔径检测结果就可以避开,避免出现虚假的测斜结果。

模拟式测斜仪为电桥平衡式读数，先要检查电缆补偿，再孔口校零，下放测量过程中，注意检查刻度盘红线，如果漂移，则应检查绝缘性，重新检测。数字式测斜仪也应孔口校零，只有待其稳定后才能取值，不然检测过程会出现负值或影响检测数据的准确性。

顶角测量法测斜应自桩孔口向下进行检测，反之就有可能因探头受到电缆的牵引而无法完全接触桩孔壁，使顶角检测值偏小而产生误差。测点宜等间距均匀布置，测点间距过大会影响测试的全面性。提出“在接近桩孔底位置检测最后一个测点”，是为了避免现场测试时沉渣过厚，可能造成测斜装置发生偏斜，使测得的角度不真实；如果在钻杆内倾斜，测斜装置完全进入钻头时可能会卡在钻头中无法提升，因此，本条并不强求必须把最深的测点放在桩孔最底部。桩孔的垂直度以最后一个测点的顶角值为桩孔底顶角值进行计算。

若桩孔垂直度检测超标，为保证检测精度，应该重复检测，二次检测结果误差应小于 1%，否则应查明原因，再次检测，可以取其中二次误差小于 1%的检测结果的平均值作为最终检测结果。三次检测结果误差均大于 1%，仪器设备应重新标定。

圆心拟合法的工作原理：采用伞形孔径仪进行孔径检测时，记录各机械臂的方位及角度，在桩孔中各深度进行拟合、插值形成一条由拟合成的圆心连成的空间曲线，再将空间曲线拟合成空间直线，用此直线相对重力方向的倾斜角度推算垂直度。如图 5 所示。

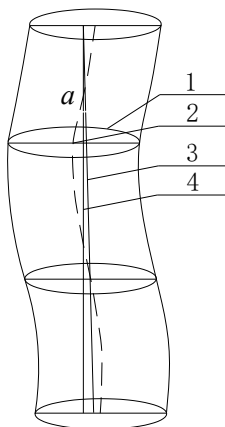


图5 圆心拟合法计算垂直度原理示意图

1—孔径轮廓线；2—孔径中心线；3—中心拟合线；4—铅垂线

圆心拟合法计算垂直度的简要原理如下：

灌注桩桩孔在每个深度下的截面可以看作为一个圆，若圆的圆心为 O ，则在空间坐标系中，圆心的集合可以表达为下式：

$$O_i(x_i, y_i, z_i) (i=1, 2, 3 \dots n) \quad (8)$$

式中： x_i 、 y_i ——每个深度截面的圆心的位置的横、纵坐标；

z_i ——代表圆心所在截面的深度。

对于空间坐标系中的离散点集 $(x_i, y_i, z_i) (i=1, 2, 3 \dots n)$ ，可以根据最小二乘原理拟合一条空间直线 l ，若该直线与铅垂线的夹角为 α ，其相对于铅垂线的斜率为 k ，则 $k = \tan \alpha$ ；

1 当 $x_1 = x_2 = \dots = x_n$ 时，

$$k = \frac{n \sum y_i^2 - (\sum y_i)^2}{n \sum y_i z_i - \sum y_i \sum z_i} \quad (9)$$

该情况实际等效为在 YOZ 平面内进行直线拟合。

2 当 $y_1 = y_2 = \dots = y_n$ 时,

$$k = \frac{n \sum x_i^2 - (\sum x_i)^2}{n \sum x_i z_i - \sum x_i \sum z_i} \quad (10)$$

该情况实际等效为在 XOZ 平面内进行直线拟合。

3 当 $z_1 = z_2 = \dots = z_n$ 时,

$$\alpha = 90^\circ, k = \infty \quad (11)$$

该情况实际等效为在 XOY 平面内进行直线拟合。

4 当 $x_1, x_2, \dots, x_n, y_1, y_2, \dots, y_n, z_1, z_2, \dots, z_n$ 均不全相等时, 则

$$k = \sqrt{\left(\frac{n \sum x_i^2 - (\sum x_i)^2}{n \sum x_i z_i - \sum x_i \sum z_i} \right)^2 + \left(\frac{n \sum y_i^2 - (\sum y_i)^2}{n \sum y_i z_i - \sum y_i \sum z_i} \right)^2} \quad (12)$$

超声波检测仪器一般具有自动成图功能, 仪器内部的软件已经把测距和探头尺寸进行了计算, 可直接从孔剖面图上读出换能器中心与孔壁的距离。但是在使用具有自动成图功能的超声波仪器测孔时, 由于探头位置未必在孔的圆心位置, 剖面图上显示的孔壁距离并非一定等于孔径 (图 12.3.5), 因此对孔径、偏心距和垂直度的计算进行了相应的规定。

12.3.6 沉渣的形成原因和组成较复杂: 一是成孔时产生的岩土碎屑以及松散土层塌落的块体与泥浆混合在一起, 沉淀于孔底部, 虽经清孔仍未能全部清除而残落在孔底部的物质; 二是清孔后, 孔内泥浆沉淀, 孔壁塌孔也会产生沉渣。泥浆和沉渣的界面并非泾渭分明, 常常泥浆裹夹着沉渣, 从下到上颗粒由粗到细, 由稠到稀逐步过渡渐变, 沉渣的界面较模糊。因此, 即使使用仪器测量, 也带有一定的误差和经验性。

沉渣厚度的测量误差, 与沉渣和原状土的差异有关, 沉渣和持

力层强度差距较大，相对检测误差较小；而沉渣和持力层强度差距较小，相对检测误差较偏大。对可能产生的误差，需要检测人员根据情况合理评估。

钻孔灌注桩沉渣厚度检测时，测点宜成品字型布置，取检测数据的平均值为最终检测结果，可避免偶然误差，真实反映孔（槽）底的沉渣状况。

天津地区钻孔灌注桩成孔沉渣检测有重锤法、电阻率法、探针法，施工单位沉渣检测基本都采用重锤法，检测单位主要是应用电阻率法，少数也在应用近几年发展起来的探针法。

1 重锤法：重锤法是使用最广泛的沉渣测量方法，通过成孔成槽深度减去平底锤下落至沉渣顶面的深度间接推算沉渣厚度的方法。重锤法测量需凭人的手感来判断沉渣的顶面位置，需要一定的实践经验。

2 电阻率法：灌注桩的泥浆多为钻机钻进过程中自然形成，它的粘度和含砂量取决于土层的性质及破碎程度、循环处理的工艺等，这些都会造成桩孔中泥浆的不均匀。尤其是桩孔底部未被完全破碎的土块，及含砂量大、胶体率差的泥浆被大量沉淀下来，孔底比重较大的泥浆与上部颗粒悬浮较好的泥浆存在着较明显的电性差异，由于需区分薄层的电阻率差异，故采用地球物理勘探常用的微电极系。他在泥浆中供一不受土层影响的交变电场，对均匀泥浆测得的电阻率将是一条直线。在沉渣和均匀泥浆的界面上，电阻率会发生变化，利用电阻率-深度曲线的拐点可以确定沉渣的分界位置。图 6 中，1、2、3、4 为四个圆环状的电极。1、2 之间产生一个恒流电场。3、4 之间采样得到电势差，由于不同的介质所产生的电势差是不一样的。计算机记录孔底两米的电阻率的曲线，操作人员通过曲线拐点来判断沉渣厚度，如图 7 所示。在地下水含盐量高的地区，各界面电阻率差异不明显时，本方法的适用性可能较差。

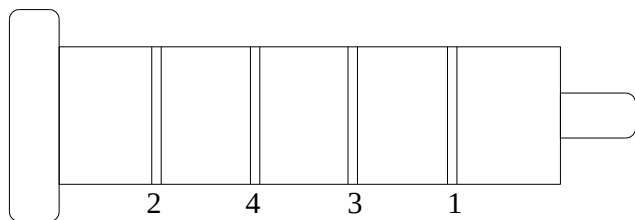


图6 微电极系

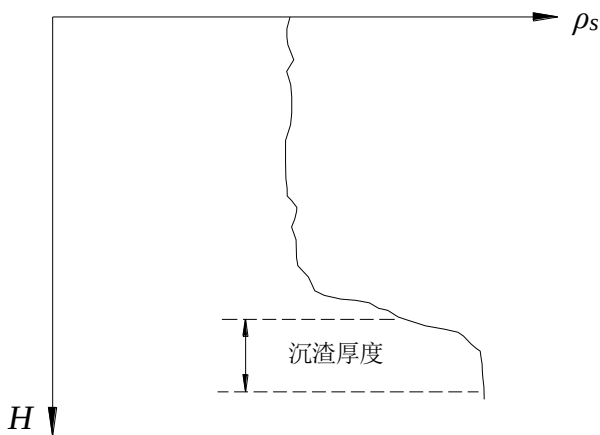


图7 沉渣厚度的判别

3 探针法：在一个探头上集成了探针伸缩装置、探针压力传感器（或电流表）和探头倾角传感器。检测时，其底部的圆盘停留在沉渣层顶面，在主机中的程序控制下，机械探针将从圆盘中心处的一个圆孔中伸出，并穿过沉渣层，到达原状土层表面。桩孔底平整时，探头靠自重直立于桩孔底，探针到达原状土层时自重全作用在探针上，压力曲线和倾角曲线均明显变化；桩孔底不平整时，探头靠钢丝绳牵引直立于桩孔底，探针到达原状土层时探针受压力较小，压力曲线变化较小而倾角曲线变化明显。综合压力曲线和探头倾斜

角度曲线的变化来给出沉渣厚度的检测结果。

另外，桩孔底平整时，探头靠自重直立于桩孔底，探针到达硬岩时自重全作用在探针上，压力曲线和倾角曲线均明显变化；桩孔底不平整时，探头靠钢丝绳牵引直立于桩孔底，探针到达硬土层时探针受压力较小，压力曲线变化较小而倾角曲线变化明显。因此本方法对桩底沉渣平整度的适应性较强。

当孔底泥浆较稠时，重锤在下沉到一定深度后，钢丝绳因其自重因素，还会不断下滑，会使操作者错误判断沉渣已符合标准要求。在这种情况下，应注意测绳下滑的刻度，若达到孔深量测数值时，应二次提升重锤到一定高度，并用力上下抖动，当有较强的沉坠感时，让重锤自由下落到沉渣顶面，拉直测绳，对照测绳读数。

重锤法通过孔深测试深度减去平底锤下落至沉渣顶面的深度间接推算沉渣厚度的方法，只有沉渣测试起算标高与孔深测试起算标高一致，才能保证推算出的沉渣厚度正确。

电阻率法检测沉渣厚度时，将沉渣探头提升后自由下落，目的是使探头能够穿过沉渣层，同一场地内同一持力层的前 1 个~2 个孔沉渣检测时，可反复按不同落距提升探头，宜从 1.0m 开始，以后按 30cm~50cm 逐级增加落距，直到落距增加时，进入沉渣的深度基本不再增加为止，以此确定同一条件下，沉渣测定仪自由下落高度。另外，倾角传感器在检测过程中应基本铅直，如果开始倾角过大，可拉动连接线，纠正其倾角。

探针法沉渣测定仪在一个探头上集成了探针伸缩装置、探针压力传感器（或电流表）和探头倾角传感器。检测时，其底部的浮盘被沉渣层的顶面阻止，在主机中的程序控制下，机械探针将从浮盘中心处的圆孔中伸出，并穿过沉渣层，到达原状土层表面，此时探针受阻，压力值增大，探头的倾角暂时变化很小；当探头倾角值逐渐增大，压力值会逐渐减小。综合压力曲线和探头倾斜角度曲线的变化来给出沉渣厚度的检测结果。

(II) 地下连续墙成槽检测

12.3.9 本条考虑了超声波法检测时探头部分需占据一定的空间尺寸，且超声检测存在盲区。天津地区地下连续墙厚度一般为800mm~1000mm，根据天津市超声波法成槽检测的应用情况，小于600mm时，超声波法成槽检测实际操作难度很大，测试效果也不理想。故规定被检测槽宽不宜小于600mm。对于最大检测槽宽范围未作规定，按照目前的仪器性能，最大检测槽宽可以达到12.0m，但实际最大检测能力应由现场实测确定。

《天津市钢筋混凝土地下连续墙施工技术规程》DB/T 29-103-2018第7.0.5条中规定“钢筋混凝土地下连续墙施工前，宜选一槽段试成槽，以检验成槽机的性能、泥浆的配合比并复核地质资料”。对试成槽进行检测，如果测得的槽孔垂直度、槽宽、槽深、槽壁稳定性和回淤沉渣等现场实测指标不符合设计要求时，应拟定补救技术措施或重新考虑施工工艺。异型槽槽段种类较多，如“L”型、“T”型、“Z”型等，成槽施工时难度大，要求精度高，应进行全部检测。

为确切反映成槽质量，检测数量应有一定的比例，具体数量应根据建（构）筑物重要性、地基基础等级、地质条件复杂程度等因素确定。检测比例参照了《建筑地基基础工程施工质量验收标准》GB 50202-2018第7.7.6条表7.7.6-3及天津市多年来成槽检测质量控制情况确定。

12.3.11 槽深检测在清孔完毕后立即进行是为了减小槽内泥浆中包裹的砂粒及泥屑随时间不断沉淀对槽深产生的影响。目前超声波检测仪均集成了深度编码器，因此在槽宽和垂直度检测时可同时完成槽深检测。

12.3.12 从槽口至槽底检测时，由于泥浆浮托作用信号出现漂移或局部信号异常时，应放慢下放速度，并在槽底返回时进行检测，用

于对比验证分析。

地下连续墙施工中施工接头非常重要，若接头拔出过早，混凝土未完全凝固，容易侧向鼓出，造成相邻槽段施工困难事故，所以必要时应对槽段端头部位进行检测。接头拔出后，便于和槽段体前后一起检测。

12.4 接桩焊缝质量检测

12.4.1 目前，预制桩接头多采用焊接方式，各节桩端板焊接的部位包括焊缝、熔合区和热影响区。多节预制桩接桩焊缝若出现不饱满等严重缺陷或偷工减料，轻则影响桩身完整性，低应变时域曲线会出现强烈反射，重则影响基桩承载能力。在工程事故中出现过接桩处点焊的案例，加强对多节预制桩接头焊缝质量的检测是非常必要的。焊缝表面开口不连续包括裂纹、重皮、折叠、气孔和未熔合等缺陷。

采用超声波法必须满足以下要求：

- 1) 板厚大于 4mm 或需检测桩基焊接焊缝内部缺陷的焊缝；
- 2) 焊缝表面修磨后不得有气孔，夹渣，焊渣，飞溅等缺陷。

若焊缝及热影响区修磨光滑后被检表面有以上缺陷，则不符合超声波检测的要求，可采用表面检测。

12.4.2 采用喷罐式渗透检测剂时，其喷罐表面不得有锈蚀，喷罐不得出现泄漏。当不同族组的产品混用时，可能出现渗透液、乳化剂、去除剂和显像剂等材料各自都符合规定要求，但他们之间不相容，最终使渗透探伤无法进行。

12.4.3 预清洗区域要求足够大是为了防止来自实际被检表面附近区域的干扰。要求表面无残留物便于渗透剂渗入任一不连续内（专业术语指表面开口缺陷）。去除诸如污垢、铁锈、油、油脂或油漆等难于清洗的污染物可使用机械的或化学的方法。

干燥时间通常为 5min~10min, 为防止不连续中渗透剂被蒸发掉, 应避免干燥时间过长或温度气压过高。

12.5 孔内摄像法检测

12.5.1 本方法既可以进行单项检测, 也可对其他完整性检测结果进行验证复核。本方法通过桩芯空孔或竖向钻孔进行直观检查, 可对桩身缺陷位置、形式(包括性状、角度)和程度(包括缺陷的宽度和范围)进行准确描述, 具有下列优点: 检测直观、可精确检测缺陷位置; 可对多重缺陷进行检测; 可对竖向缺陷进行检测; 可对缺陷进行定量分析; 可对采用快速接头施工的管桩进行检测; 可进行超长桩的检测; 可对灌注桩钻芯孔进行复核检测; 弥补低应变法、高应变法、超声波法、钻芯法等检测方法的不足。

12.5.2 摄像分辨率越高越好, 但过高的分辨率会大幅度增加视频的数据量及检测成本。我国标准清晰度电视(SDTV)图像分辨率为: 720×756 像素, 高清晰度电视(HDTV)图像分辨率为: 1920×1080 像素。取标准清晰度电视得分辨率作为摄像仪的最低分辨率标准符合目前仪器发展的水平, 也兼顾了工程需要。

仪器的清晰度要求处理分辨率外还有很多方面, 包括对比度、色度等以及一定的主观因素, 因此, 在条文中没有明确的要求。但其清晰度要以工程实际检测中能够无争议地分辨缺陷形式、程度和范围为标准。

深度是该检测中非常重要的数据, 深度记录可以准确地体现缺陷的位置。摄像头定位装置的作用不但可以稳定摄像头获取清晰图像, 而且可以掌握摄像头与孔壁的距离, 以便进行缺陷宽度定量分析。

12.5.3 由于检测样品的差异性 & 外部因素的影响, 实际操作程序中, 检测程序可能根据实际情况进行动态调整。因为各工程的孔径

等条件不同,缺陷图像的尺寸大小并不直接反应其真实缺陷的尺寸大小,则需要进行换算。在需要定量表述缺陷时,应提前在标准的孔径条件下进行换算值标定。

孔内清理的清洁程度影响到检测清晰度及质量,因此检测前需进行孔内清理。

由于孔内摄像检测技术是一项新兴的技术,所以可能会有多种多样的检测设备,但其基本原理大同小异,一般有单镜头多次成像和多镜头一次成像检测仪。检测时应根据工程特点及仪器使用的要求,按照一定的速度和方法进行检测。总的目标是全面、清晰获得孔内的图像,为后期分析提供准确、良好的数据。

12.5.4 检测数据分析与判定

1 仪器使用前,已经用标准模型对缺陷的宽度、倾斜角度进行了标定,有一个标定值。因此,缺陷的宽度、倾斜角度等应按标定值确定。数据处理时,应将构件编号、拍摄范围、缺陷位置、缺陷形式、宽度、主倾斜角度等进行记录。

2 孔内摄像检测报告是一种直观的检测方法,其数据来源是视频信息,能够完整地体现内壁的完整性,因此,应给出孔内摄像视频。照片比视频更加直观,对有缺陷的部位应给出照片。

12.6 内 力 测 试

12.6.3 对锚杆监测与测试传感器及二次测试仪表组成的测量系统性能指标作出了相应的规定。同时应选择尺寸适宜的传感器,方便埋设。

量程:传感器的量程宜使测量值处在整个量程的80%之内。

测量误差(精度):传感器精度是指测量结果的可靠程度,是测量中各类误差的综合反映,测量误差越小,传感器精度越高。传感器精度用其量程范围内的最大基本误差与满量程输出之比的百

分数表示,其基本误差是传感器在规定正常工作条件下所具有的测量误差,由系统误差和随机误差两部分组成。

分辨率:传感器应具有良好而稳定的分辨率,且不低于所需监测参数的最小单位量级。

漂移:应严格控制传感器测量值的漂移,如漂移由温度等环境因素产生,可采用温度补偿措施或对温度进行监测,同时进行温度修正。

线性度:传感器应具有良好而稳定的线性度,在对结构位移及应变等反应进行监测时宜满足较高的线性度要求。

灵敏度:传感器应具有良好而稳定的灵敏度和信噪比。

重复性:传感器应具有良好而稳定的重复性。

稳定性:传感器应具有良好的稳定性、较强的环境适应能力。

12.6.4 锚杆锁定力测试与预应力锚杆自由段拉力监测可通过设置在孔口的锚杆测力计量测预应力锚杆的荷载值。

由于环式锚杆测力计使用条件简单方便,本标准推荐环式锚杆测力计。环式锚杆测力计常用的有钢环式、轮辐式和液压式三种,可根据使用条件、精度要求和经济合理性选用。

目前常用的传感器主要有:振弦式钢筋应力计、电阻应变式传感器、光纤光栅传感器等,宜根据监测目的和要求,以及传感器技术、环境特性进行选用。各种传感器特点简要介绍如下:

1 振弦式传感器是以拉紧的金属弦作为敏感元件的谐振式传感器。由振弦、磁铁、夹紧装置和受力机构组成,利用不同的受力机构可做成测拉力、压力、扭矩或加速度等各种类型的振弦式传感器。当弦的长度确定之后,其固有振动频率的变化量即可表征弦所受拉力的大小,通过相应的测量电路,就可得到与拉力成一定关系的电信号。振弦的材料与质量直接影响传感器的精度、灵敏度和稳定性。产品特性应符合现行国家标准《土工试验仪器 岩土工程仪器 振弦式传感器 通用技术条件》GB/T 13606 的规定。

2 电阻应变式传感器是以电阻应变计为转换元件的电阻式传感器，由弹性敏感元件、电阻应变计、补偿电阻和外壳组成，可根据具体测量要求设计成多种结构形式。弹性敏感元件受到所测量的力而产生变形，并使附着其上的电阻应变计一起变形。电阻应变计再将变形转换为电阻值的变化，从而可以测量力、压力、扭矩、位移、加速度和温度等多种物理量。产品特性应符合现行国家标准《金属粘贴式电阻应变计》GB/T 13992 的规定。

3 光纤光栅应变传感器最常用的是布拉格光纤光栅应变传感器。传感过程是通过外界物理参量对光纤布拉格波长的调制来获取传感信息，是一种波长调制型光纤传感器。应变直接影响光纤光栅的波长漂移，在工作环境较好或测量精度要求不高的情况下，可将裸光纤光栅作为应变传感器直接粘贴在待测结构的表面或者是埋设在结构的内部；由于光纤光栅比较脆弱，在恶劣工作环境中非常容易破坏，因而需要对其进行封装后才能使用。目前常用的封装方式主要有基片式、管式和基于管式的两端夹持式。产品特性应符合现行国家行业标准《土木工程用光纤光栅应变传感器》JG/T 422 的规定。

4 分布式光纤传感器中较常用的是基于布里渊光时域反射仪（BOTDR）的分布式光纤传感器。BOTDR 分布式光纤传感技术是基于单一脉冲的布里渊散射获取外界环境因素信息的传感方法，由于其测量精度较布拉格光纤光栅应变传感器低，本标准未对其做出相应的规定。

5 传感器技术与环境特性见表 11。

表 11 传感器技术与环境特性一览表

特性 \ 类型	振弦式传感器	电阻应变式传感器	光纤光栅传感器
传感器体积	大	较小	小
蠕变	较大，适宜长期观测	较大，需提升制作技术与工艺	较小，适宜长期观测

续表 11

特性 \ 类型	振弦式传感器	电阻应变式传感器	光纤光栅传感器
测量灵敏度	较低	较高	较高
温度变化影响程度	温度变化范围较大时需修正	可以实现温度变化的自补偿	可以实现温度变化的自补偿
导线长度影响	不影响	六线制不需要, 其他需进行导线电阻影响修正	不影响
绝缘要求	要求不高	要求高	要求不高
埋设工作量	大	大	较大
线性	好	较好	好
耐久性	较高	差	高
灵敏度	较高	低	高
精度	$2\mu\epsilon \sim 3\mu\epsilon$	$3\mu\epsilon \sim 5\mu\epsilon$	$1\mu\epsilon \sim 2\mu\epsilon$
抗电磁干扰能力	差	差	好

锚杆测力计应安装在锚头与被锚固结构之间, 可对锚杆锁定力和自由段杆体拉力进行测试。目前国内使用的锚杆测力计有钢弦式、应变式和液压式, 可根据测试对象和测试时间选用。安装表面应垂直锚杆轴线, 测力计受压面应与锚杆轴线垂直, 测力计受力中心应减少与孔轴线的偏差, 这些因素等均会影响测试结果的准确性, 应严格要求。

钢筋等均匀材料制作的构件选用的应变片标距较小, 一般为 $5\text{mm} \sim 10\text{mm}$ ($3\text{mm} \sim 6\text{mm}$)。在温度变化较大的环境中进行应变监测时, 应优先选用具有温度补偿措施或温度敏感性低的应变计, 或采取有效措施消除温差引起的自由应变。电阻应变计制作时需使用绝缘胶保护电阻应变计及裸露焊点; 测点的连接应采用屏蔽电缆, 导线的对地绝缘电阻值应在 $200\text{M}\Omega$ 以上; 电缆屏蔽线应与被测物绝缘; 测量和补偿所用连接电缆的长度和线径应相同, 电阻应变计及电缆的系统绝缘电阻不应低于 $100\text{M}\Omega$, 对测量时间较长的情况, 应大于 $200\text{M}\Omega$ 。

传感器与锚杆杆体连接、传感器的埋设应能满足监测的技术要求，并保证监测过程中避免预埋传感器及导线损伤，同时应避免结构出现不可恢复的永久性损伤。

12.7 地基基础工程测量

12.7.1 本条给出了工业与民用建筑在施工和运营期间对建筑场地、建筑基坑、基础实体进行工程测量的主要内容。工程测量的任务是测定建筑物、构筑物在施工及使用期间形状与位置的变化特征，目的是保证地基基础施工的安全与质量。

12.7.2 地基基础变形测量是获取建筑场地、地基、基础、上部结构及周边环境在建筑施工期间和使用期间的变形信息，为建筑施工、运营及质量安全管理等提供信息支持与服务，并为工程设计、管理及科研等积累和提供技术资料。

13 基础工程质量检测

13.2 现场检测与成果报告

13.2.2 现行国家标准《混凝土结构工程施工质量验收规范》GB 50204 规定，混凝土强度进行合格评定时试验龄期可以大于 28d（如 60d、90d），具体龄期可由建筑结构设计人员规定。

混凝土抗压强度现场检测方法可采用回弹法、超声-回弹综合法、后装拔出法、后锚固法等间接法进行检测，也可采用直接检测抗压强度的钻芯法进行检测。

结构实体混凝土强度应按不同强度等级分别检验，检验方法宜采用同条件养护试件方法；当未取得同条件养护试件强度或同条件养护试件强度不符合要求时，可采用回弹-取芯法进行检验。

钻芯法确定构件混凝土抗压强度的推定值应依据现行行业标准《钻芯法检测混凝土强度技术规程》JGJ/T 384 的相关规定执行。

回弹法检测的混凝土抗压强度推定值应依据现行行业标准 GB/T 50784《混凝土结构现场检测技术标准》的相关规定执行。

回弹-取芯法判定结构实体混凝土强度，应依据现行国家标准《混凝土结构工程施工质量验收规范》GB 50204 的相关规定执行。

附录 A 磁测井法检测钢筋笼长度

A.1 一般规定

A.1.1 在国内钢筋笼长度检测方法主要有磁测井法和充电法，因与充电法比较，磁测井法所受干扰更小、准确率更高，故磁测井法更通用。

磁测井法属于地球物理探测方法，他是通过研究磁性体周围磁场变化的空间分布特征和分布规律，对磁性物体空间分布做出解释。对应检测钢筋笼长度的磁测井法，钢筋笼形成磁异常是我们检测的对象，其他铁磁性物体等形成的磁异常就是干扰磁异常。如果干扰磁异常强度接近或超过钢筋笼磁异常时，钢筋笼磁异常被干扰磁异常掩盖，此时就不能用磁测井法来检测钢筋笼长度。

附录 J 施 工 测 量

J.1 一 般 规 定

J.1.1 本标准涉及的建筑物包括工民建、水工建筑物、市政桥梁、隧道及综合管廊等。

附录 K 场地、地基及周边环境变形观测

K.1 一般规定

K.1.0 建筑场地的沉降观测，主要是为了确定建筑场地的稳定性。通常采用水准测量的方法，确定地面沉陷、地面裂缝或场地滑坡等的稳定性。

附录 L 基础变形观测

L.2 基础沉降观测

L.2.1 沉降观测是基础变形观测的一部分，是通过测定建（构）筑物的高程随时间而产生的位移大小和方向，提供变形趋势及稳定预报的方法，一般贯穿于建筑的整个施工阶段并延续至运营使用阶段，是地基基础变形特征研究、设计验证、工程验收、地基基础事故处理、建筑物维修保护的重要手段之一。

根据场地地基类型和施工进度（加荷），分别按工业厂房、多（高）层民用建筑，规定了施工阶段的观测频次。

装配式工业厂房可按回填基坑、安装柱子和屋架、砌筑墙体、设备安装等施工进度进行监测。

当地基基础经加固后，有时不能对所有加固基础进行检测，或检测难以直接全面反映加固效果，通过沉降观测来判断基础稳定性是一种必不可少的手段。

对于建于局部结构上的游泳池、水塔、油罐、工业厂房中的吊车、结构上承受振动荷载等有特殊荷载要求的观测项目，应按照有针对性的方案进行观测。如吊车试运行前后，在设计最大荷载下，各监测 1 次；游泳池、水塔或油罐应在试水前后各监测 1 次；结构上承受振动荷载的观测项目则应能反映出振动与沉降时程曲线，从而分析振动对建筑地基基础沉降的影响。

使用期的观测，应根据地基土类型和沉降速率来确定观测频次，并将施工期间与竣工后的观测频数与观测期限统一考虑。当有地区经验时，使用期的观测期限可以参照地区经验制定，当没有地区经验时，可参照如下规定：砂土地基 2 年，粘土地基 5 年，软土地基 10 年。

对地基基础验收资料不齐全的既有建筑,采用桩基或复合地基的房屋地基基础安全性没有直接有效可靠的检测评价手段,借助沉降观测的手段是目前较为可行的方法,因此,可参照现行国家标准《民用建筑可靠性鉴定标准》GB 50292-2015 第 7.2.4 条并结合本标准规定的沉降观测方法,对既有建筑地基基础安全性评级。

某些建(构)筑物的沉降与外界因素关系密切,观测频次应随自然条件、荷载变化相应调整。对某些特殊观测项目,为了正确分析变形原因,在观测时必须详细记录气象情况及荷载变化。

对于既有建筑,基础发生沉降或不均匀沉降而导致开裂,根据开裂发生的范围,可以整体监测,也可以局部监测;根据沉降速率的大小,确定监测的频次和期限。一般来说,沉降发展的阶段,应逐日或几天一次监测一次,当沉降速率小于 0.067mm/d ,且有变缓的趋势,可以降低观测频率。

沉降观测的误差除仪器误差外,还有观测误差和外界环境产生的误差。观测误差主要有水准管气泡居中误差、估读误差和水准尺倾斜误差。外界环境产生的影响有地球曲率的影响、大气折光的影响、温度变化的影响、仪器尺垫下沉的影响等。

水准管气泡居中误差:水准管居中的程度,依靠观测者眼睛的判断。如果气泡居中有误差,视准轴就不水平,微小的倾角造成读数误差。居中误差在前、后视测量中一般不等,因此在计算测站高差中不能抵消它的影响。在观测中,应该仔细整平水准管,尽可能减小此项误差。

估读误差:观测时,根据中丝在水准尺的厘米分格内的位置,估读毫米读数。因此在望远镜内看到中丝的宽度与厘米分划格宽度的比例决定了估读的精度,此项误差与望远镜的放大率、视距长度有关。在野外作业时,按相应等级的测量规范限制视距长度,减小估读误差。此外,视差对读数的正确与否有直接影响,瞄准水准尺时一定要仔细调焦。

水准尺倾斜误差：水准尺不竖直，会造成读数误差，且读数偏大。为了避免水准尺倾斜，扶尺者应双手扶尺，注意垂直。如果尺上配有水准器，扶尺时应保持气泡居中。

地球曲率的影响：高差是两地面点的水准面之间的垂直距离差，因此理论上讲，用水准仪测量高差，视线与水准面平行。但地球曲率对前、后视读数有影响，只有当前、后视距相等时，地球曲率对高差的影响才能完全消除。因此规范规定视距差应在一定范围内。

大气折光的影响：受外界条件的影响，地表附近各处的大气密度是变化的，水平视线在通过大气时产生折射现象，变为曲线，从而对读数产生影响。因此应选择大气状况稳定的观测时段进行现场测量。

温度变化的影响：阳光直接照射在仪器上，部件受热后产生变形，从而影响仪器轴线间的几何关系。所以，在晴天测量时应给仪器撑伞防晒。

仪器尺垫下沉的影响：测量时，应注意仪器随时间逐渐下沉的问题，尽可能提高观测速度，缩短观测时间。

L.8 基础沉降观测

L.8.1 沉降观测成果是分阶段提交的，对于每一次观测后的报表，可采用表格方式描述；对于工程竣工沉降观测报告和最终观测报告，应以文字和图表详细描述。

L.8.2 沉降观测报告应包括工程概况、测点布置、观测频次、仪器设备、观测情况、观测结果、结果分析评价以及相关图表。观测情况包括了施工进度、堆载分布、异常天气、裂缝等。对于正常施工的项目，观测结果分析应包括：最大沉降量和最大沉降速率的发生时段，最后三周期的沉降量和沉降速率，并根据需要计算基础倾斜、相对弯曲度，评价地基沉降是否稳定且满足规范要求。沉降观测成

果是分阶段提交的，对于每一次观测后的报表，可采用表格方式描述；对于工程竣工沉降观测报告和最终观测报告，应以文字和图表详细描述。

水平位移观测的沉降观测成果是分阶段提交的，对于每一次观测后的报表，可采用表格方式描述；对于工程竣工沉降观测报告和最终观测报告，应以文字和图表详细描述。

附录 M 地下工程变形监测

M.1 一般规定

M.1.1 目前基坑工程监测技术发展很快，主要体现在监测方法的自动化、远程化以及数据处理和信息管理的软件化。建立基坑工程监测数据处理和信息管理系统，利用专业软件帮助实现数据的实时采集、分析、处理和查询，使监测成果反馈更具有时效性，并提高成果可视化程度，更好地为设计和施工服务，做到及时预警和预测，有效保证基坑工程开挖的安全，宜逐步推广应用。

附录 N 基坑变形监测及支护结构检测

N.1 一般规定

N.1.1 本条是对建筑基坑工程监测实施范围的界定，对需进行监测的基坑工程做了规定。基坑设计安全等级是由基坑工程设计方综合考虑基坑周边环境和地质条件的复杂程度、基坑深度等因素，按照基坑破坏后果的严重程度所划分的设计等级。基坑设计安全等级按照现行相关规范确定。土质基坑设计安全等级应按现行行业标准《建筑基坑支护技术规程》JGJ 120 的相关规定划分；岩体基坑设计安全等级应按现行国家标准《建筑边坡工程技术规范》GB 50330 的相关规定进行划分。

基坑支护结构以及周边环境的变形和稳定与基坑的开挖深度有关，相同条件下基坑开挖深度越深，支护结构变形或位移以及对周边环境的影响也越大。基坑设计安全等级为一、二级的基坑开挖深度大，一旦支护结构失效、岩土体变形或位移过大对周边环境、地下主体结构的施工安全影响很严重，因此规定对一、二级基坑工程应进行基坑工程监测。

基坑工程的安全性还与场地的岩土工程条件以及周边环境的复杂性密切相关，按住建部建办质〔2018〕31号文《危险性较大的分部分项工程安全管理办法》规定执行。

“开挖深度小于5m但现场地质情况和周围环境较复杂的基坑”的含义是要求虽然基坑开挖深度没有达到5m，但地质条件、周边环境（邻近建筑、道路、管线等）较复杂的基坑工程亦应实施监测。现场地质情况较复杂指基坑周边存在厚层有机质土、淤泥与淤泥质黏土、暗浜、暗塘、暗井、古河道；临近江、海、河边并有水力联系；存在渗透性较大的含水层并有承压水；基坑潜在滑塌范围内存

在土岩软弱结构面、岩体结构面向坑内倾斜等情况。周围环境较复杂指基坑开挖和降水影响范围内存在城市轨道交通，输油、输气管道，共同沟，压力总水管，高压铁塔，历史文物，近代优秀建筑以及其他需要保护的建筑等情况。因岩土工程、周边环境的特殊性和不确定性，不可能将“较复杂”的现场地质情况和周围环境一一列出，实际工作中要具体问题具体分析，并应遵守相关的行业和管理规定。

N.1.2 考虑到基坑监测范围及内容的广度、尤其是对大型地下设施、城市生命线等工程位移控制，应事先与相应管理部门取得联系，协调确定报警值等，因此强调监测方案须经设计、监理、业主或承包商及相关单位共同确认后实施的重要性。

设计人员应根据基坑工程的具体情况提出基坑监测要求。目前基坑工程的设计计算还不能十分准确，无论是计算模式还是计算参数，常常和实际情况不完全一致。为了保证工程安全，监测是非常必要而且是必须做的工作，调整支护设计，遇到紧急情况时，应及时发出警报，以便采取应急措施。监测报警值是监测工作实施的前提，是监测期间对基坑工程正常、异常和危险三种状态进行判断的重要依据，因此基坑工程必须确定监测报警值。监测报警值应由基坑工程设计方根据基坑工程的设计计算结果、周边环境中被保护对象的控制要求等确定。

监测项目应与基坑工程设计、施工方案相匹配，应针对监测对象的关键部位进行重点观测，各监测项目的选择应利于形成互为补充、验证的监测体系。每个基坑工程都必须监测，但监测项目的选择既关系到基坑工程的安全，也关系到费用的大小。任意增加监测项目是对工程费用的浪费，但盲目减少监测项目则很可能因小失大，造成严重的后果，本条规定就是在这样的原则指导下，结合目前国内的监测技术水平和工程应用现状提出的。本标准特别增加了对施工状况、基坑渗漏水情况的工程现场监测。

N.3 监测精度

N.3.1 水平位移监测精度确定时，考虑了以下几方面因素：一是应能满足监测预警的要求，包括变化速率及预警累计值两个监测预警值的控制要求；二是与现行测量规范规定的测量精度相协调；三是在控制监测成本的前提下适当提高精度要求。竖向位移监测精度确定方法与水平位移监测精度基本相同。

N.5 支护工程检测

N.5.1 由于施工过程中产生的各种问题而对钢管混凝土支撑柱的施工质量产生异议时，可采用声波透射法或侧向钻芯取样进行辅助质量检测，以作为钢管混凝土支撑柱质量检测的参考依据。

N.5.5 喷射混凝土抗压强度和粘结强度试验的试件数量、试验方法及合格标准应按照现行国家标准《岩土锚杆和喷射混凝土支护工程技术规范》GB 50086-2015 中第 12.2 节及附录 M、附录 N 的相关规定执行。

附录 P 地下管线测量

P.4 数据分析与判定

P.4.1 本条提出对地下管线地理信息系统和数据的安全要求,在系统升级和更新时必须确保数据的安全,避免数据丢失对信息安全造成损害,对地下管线地理信息系统的生产运营管理造成损失。

附录 Q 爆破振动测量

Q.2 现场监测

Q.2.1 测量应在无雨雪、无雷电的天气环境下进行，测量过程中应避免强电磁场、剧烈的温度梯度变化、强风等非振动源引起的干扰，以保证得到真实的爆破振动物理量。

附录 R 地下水监测

R.1 一般规定

R.1.0 天津市地处九河下梢，地下水埋深较浅，地下水位的波动、地表径流的变化、降雨影响等水文条件的改变对基坑施工、边坡稳定、地下工程渗漏都有较大影响；另外，建筑物向更深更大更高的方向发展，可利用的土地资源也包括了工程地质与水文地质条件较差的地区，应加大地下水对建（构）筑物安全稳定影响的研究以及检测方法的开发。

R.3 现场监测

R.3.2 孔隙水压力探头埋设有两个关键，一是保证探头周围填砂渗水通畅和透水石不堵塞，二是防止上下层水压力贯通。

压入法宜在无硬壳层的软土层中使用，或钻孔到软土层后再采用压入的方法埋设；钻孔法若采用一钻孔多钻头方法埋设则应保证封口质量，防止上下层水压力形成贯通。

孔隙水压力计在埋设时有可能产生超孔隙水压力，故要求孔隙水压力计在基坑施工前 2 周～3 周埋设，有利于孔隙水压力消散，初始值更加合理。

泥浆护壁成孔后不易清洗干净，且会引起孔隙水压力计前端透水石堵塞。

量测静水位的变化是为了在计算中消除水位变化的影响，获得真实的超孔隙水压力值。

R.3.4 随着地下空间的开发和利用，地下工程的埋置深度愈来愈深，水位地质条件和工程地质条件愈来愈复杂，地下工程渗漏水

情况时有发生，严重影响了地下工程的使用功能和结构耐久性。及时发现渗漏点，查明渗漏原因是保证封堵成功的关键。

观感质量检测难以定量，只能以观察、触摸或简单量测方式进行，由检测者的主观印象判断，综合给出质量评价。对应质量“差”的检测项目返修处理。

附录 S 结构健康监测

S.1 一般规定

S.1.1 结构健康监测系统一般由传感器系统、数据采集与传输系统、数据处理与控制系统、数据库系统、安全评估系统等几部分组成。结构健康监测系统设计时要综合考虑监测对象结构形式、受力特点、关键部位、使用功能及所处的环境，充分考虑工程结构各阶段的健康监测需求，既要保证监测要求，又要经济可行。

S.3 监测周期

S.3.0 结构健康监测系统按监测频率一般划分为 3 级：一级为在线实时监测系统；二级为定期在线连续监测系统；三级为定期监测系统。实际工程中可根据需要进行选择。