

天津市基桩自平衡法静载荷试验 技术导则

Technical guidelines for static loading test of
self-balanced method of foundation piles in
Tianjin

2019-09-12 发布

2019-11-01 实施

天津市住房和城乡建设委员会 发布

天津市基桩自平衡法静载荷试验技术导则

Technical guidelines for static loading test of
self-balanced method of foundation piles in Tianjin

主编单位：天津市地质工程勘察院

天津市建筑科学研究院有限公司

批准部门：天津市住房和城乡建设委员会

实施日期：2019 年 11 月 01 日

2019 天 津

天津市工程建设标准

天津住建网全文公开

天津市住房和城乡建设委员会文件

津住建设〔2019〕56号

市住房和城乡建设委关于发布《天津市基桩自平衡法静载荷试验技术导则》的通知

各有关单位：

根据《市建设交通委关于下达 2013 年天津市建设系统第一批工程建设地方标准编制计划的通知》（津建科[2013]521 号）要求，天津市地质工程勘察院和天津市建筑科学研究院有限公司编制完成了《天津市基桩自平衡法静载荷试验技术导则》，经市住房和城乡建设委组织专家评审通过，现批准发布，自 2019 年 11 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地质工程勘察院和天津市建筑科学研究院有限公司。

本导则由天津市住房和城乡建设委员会负责管理。天津市地质工程勘察院和天津市建筑科学研究院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

2019 年 9 月 12 日

天津市工程建设标准

天津住建网全文公开

前 言

根据《市建设交通委关于下达2013年天津市建设系统第一批工程建设地方标准编制计划的通知》(津建科[2013]521号)文件要求,导则编制组经广泛调研,认真总结实践经验,参考国内外相关技术标准,并在广泛征求意见的基础上,制定本导则。

本导则主要技术内容有:1.总则;2.术语和符号;3.试验工作程序;4.测试设备及安装;5.现场检测;6.检测数据的分析与判定;7.试验后注浆技术要求。

本导则由天津市住房和城乡建设委员会负责管理,由天津市地质工程勘察院和天津市建筑科学研究院有限公司负责具体技术内容的解释。执行过程中如有意见或建议,请寄送天津市地质工程勘察院(天津市南开区红旗南路261号,邮编300191),天津市建筑科学研究院有限公司(天津市南开区灵隐道兴泰里30号,邮编300193)。

本 规 程 主 编 单 位: 天津市地质工程勘察院
天津市建筑科学研究院有限公司

本 规 程 参 编 单 位: 天津市地质基础工程公司
天津市地基检测中心
铁三院(天津)工程有限公司
东南大学土木工程学院
杭州欧感科技有限公司

本标准主要起草人员: 杨 军 许 洁 李跃义 徐 燕
郑依依 张俊红 任连海 赵 存
何 晶 陈 丰 王士国 樊勇军

龚 浩 郝金山 黄建军 海宝权
王 原 黄艳萍 任春山 龚维明
白永宏

本标准主要审查人员：韩振勇 顾晓鲁 王成华 宋昭煌
董 雪 赵志峰 邓应平

天津市工程建设标准
天津住建网全文公开

目 次

1	总则	1
2	术语和符号	2
2.1	术语	2
2.2	符号	2
3	试验工作程序	4
3.1	检测数量	4
3.2	检测桩位的确定	4
3.3	检测前的准备	4
3.4	检测结果评价和检测报告	5
4	测试设备及安装	7
4.1	测试设备	7
4.2	荷载箱的安装	9
4.3	加压测试系统	9
4.4	位移测试系统	10
5	现场检测	11
6	检测数据的分析与判定	13
7	试验后注浆技术要求	15
附录 A	等效转换方法	16
附录 B	自平衡法静载荷试验记录表	20
本导则用词说明		22
引用标准名录		23
条文说明		25

Contents

1	General Provisions.....	1
2	Terms and Symbols.....	2
2.1	Terms	2
2.2	Symbols	2
3	Testing Procedure.....	4
3.1	Number of Test Piles.....	4
3.2	Confirming the Testing Pile Position	4
3.3	Preparation before Testing	4
3.4	Test Results Assessment and Report	5
4	Testing Equipment and Installation.....	7
4.1	Testing Equipment	7
4.2	Loading Box Installation.....	9
4.3	Pressure Testing System.....	9
4.4	Displacement Testing System	10
5	Field Testing.....	11
6	Test Data Anglysis and Assessment.....	13
7	Technical requirements for grouting after test	15
	Appendix A Equivalent Conversion Method	16
	Appendix B Date Sheets of Self-balanced Static Loading Test	20
	Explanation of Wording in this Guidelines.....	22
	List of Quoted Standards	23
	Addition: Explanation of Provisions.....	25

1 总 则

1.0.1 为规范天津市基桩自平衡法静载荷试验，做到安全适用、技术先进、数据准确、评价正确，为施工及验收提供依据，制定本导则。

1.0.2 本导则适用于天津市范围内传统静载试验条件受限时的基桩竖向承载力检测和评价。

1.0.3 在天津市范围内进行基桩自平衡法静载荷试验除应执行本导则外，尚应符合国家、行业现行有关标准的规定。

2 术语和符号

2.1 术语

2.1.1 基桩 foundation pile

桩基础中的单桩。

2.1.2 自平衡法静载荷试验 static loading test of self-balanced method

将荷载箱埋置于预估桩身平衡点处，通过荷载箱逐级施加荷载，观测位移，通过试验数据绘制上、下段桩的荷载—位移曲线，从而得到试桩单桩竖向抗压（抗拔）承载力的一种试验方法。

2.1.3 荷载箱 load cell

自平衡法静载荷试验中用于施加荷载的加载装置。

2.1.4 平衡点 balanced position

基桩上段桩桩身自重及桩侧抗拔极限摩阻力之和与下段桩桩侧抗压极限摩阻力及极限桩端阻力之和基本相等的位置。

2.2 符号

2.2.1 抗力和材料性能

E_p — 桩身弹性模量；

Q_u — 单桩竖向极限承载力。

2.2.2 作用与作用效应

- q_s — 侧摩阻力；
 Q_b — 桩端轴力；
 Q — 单桩竖向静载荷试验中的等效桩顶荷载；
 Q_{uu} — 上段桩极限加载值；
 Q_{ud} — 下段桩极限加载值；
 s — 桩顶位移；
 s_u — 荷载箱处向上的位移；
 s_d — 荷载箱处向下的位移。

2.2.3 几何参数

- A_h — 荷载箱的面积；
 A_p — 桩身截面面积；
 D — 桩身直径（外径）；
 L_u — 上段桩长度；
 u — 桩身周长。

2.2.4 其他

- 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；
 ρ — 荷载箱有效面积比；
 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。

3 试验工作程序

3.1 检测数量

3.1.1 检测数量的确定应以单位工程同条件下的基桩总数为计算依据。

3.1.2 单桩极限承载力采用基桩自平衡法静载荷试验确定时,检测数量应满足设计要求,且在同一条件下不应少于 3 根。

3.1.3 承载力验收检测采用基桩自平衡法静载荷试验时,对设计等级为甲级、地质条件复杂的桩基,其检测数量不应少于同一条件下分项工程基桩总数的 1%,且不应少于 3 根;其他桩基工程的检测数量不宜少于基桩总数的 1%,且不应少于 3 根。

3.2 检测桩位的确定

3.2.1 检测桩位应符合下列规定:

- 1 符合设计要求;
- 2 选择地质特征有代表性的区域;
- 3 基本均匀分布。

3.3 检测前的准备

3.3.1 试验工作宜按接受委托、资料收集、方案制定、设备安装与

成桩、现场检测、数据分析和结果评价、检测报告的程序进行。

3.3.2 检测机构在试验前,应具备岩土工程勘察资料、桩基设计资料及图纸、基桩施工原始记录等资料,及委托方和设计单位的检测要求。

3.3.3 检测机构应根据收集资料,制定检测实施方案。检测方案宜包含下列内容:

- 1 工程概况,地基条件,桩基设计要求,施工工艺,检测方法和数量,受检桩选取原则;
- 2 荷载箱的规格、数量、埋设位置和最大加载值;
- 3 受检桩的施工要求,检测进度以及所需的仪器设备、机械和人员组织;
- 4 检测质量保证措施、安全保证措施;
- 5 现场检测过程中与施工单位的配合计划。

3.3.4 基桩检测用仪器设备应在检定或校准的有效期内,检测前应对仪器设备进行检查调试,确认其工作状态正常。

3.3.5 检测开始时间应符合下列规定:

- 1 承载力检测前,桩身混凝土强度应达到设计要求,从成桩到开始试验的休止时间不应少于 25 天;
- 2 基桩采用后注浆施工工艺时,注浆后休止时间不应少于 20 天,当浆液中掺入早强剂时休止时间不应少于 15 天。

3.3.6 自平衡法静载荷试验前应采用声波透射法进行桩身完整性检测。

3.4 检测结果评价和检测报告

3.4.1 工程桩承载力验收检测应给出受检桩的承载力检测值,并评价单桩承载力是否满足设计要求。

3.4.2 检测报告应包括以下内容：

1 工程名称、地点，建设、勘察、设计、监理和施工单位，基础类型、建筑规模、设计要求，检测目的，检测依据，检测数量和检测日期；

2 地基条件描述、相应的地质剖面图或柱状图；

3 受检桩的桩型、尺寸、桩号、桩位、桩顶标高、荷载箱参数、荷载箱位置及相关施工记录；

4 受检桩桩身完整性检测结果；

5 检测方法、依据的检测标准、检测仪器设备、加卸载方法，检测过程描述及承载力判定依据；

6 受检桩的检测数据表、结果汇总表和相应的检测成果曲线；

7 受检桩进行分层侧阻力和端阻力测试时，还应有传感器类型、安装位置、轴力计算方法，各级荷载下桩身轴力变化曲线、各土层的桩侧极限侧阻力和桩端阻力；

8 与检测内容相应的检测结论。

3.4.3 受检桩出现异常情况时，应说明其检测过程、原因分析以及建议采取措施。

4 测试设备及安装

4.1 测试设备

4.1.1 基桩自平衡法静载荷试验装置可由下列系统组成（图 4.1.1）：

1 荷载箱、高压油管、加压油泵、油压测量仪表组成的加压测试系统；

2 位移传递装置、位移测量仪表、位移基准装置组成的位移测试系统；

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。

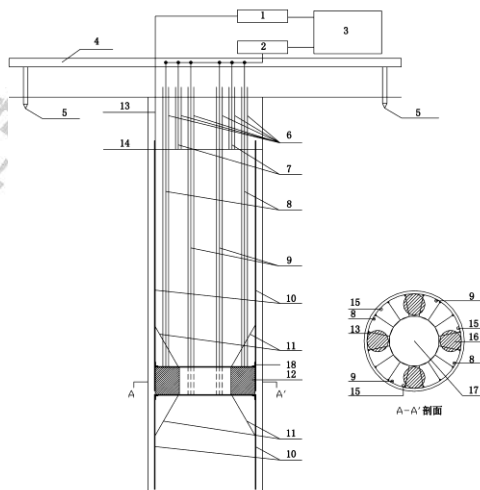


图 4.1.1 灌注桩自平衡法静载荷试验系统

1—加压系统；2—位移系统；3—静载试验仪（压力控制和数据采集）；
4—基准梁；5—基准桩；6—位移杆（丝）护管；7—桩顶测量位移杆（丝）；
8—上位移杆（丝）；9—下位移杆（丝）；10—钢筋笼主筋；11—导向钢筋；
12—荷载箱；13—高压油管；14—设计桩顶面；15—声测管；16—千斤顶；
17—导管孔；18—L 型加强筋

4.1.2 荷载箱的生产、检定应符合以下规定：

1 荷载箱应经法定计量单位检定合格。荷载箱宜进行整体检定，加载分级数不宜少于五级，当无法进行整体检定时，可对组成荷载箱的液压缸逐一进行检定，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应不小于额定压力的 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 $45\% < \rho \leq 100\%$ 。

$$\rho = \frac{A_h}{A_p} \times 100\% \quad (4.1.2)$$

A_h —荷载箱的面积（ m^2 ）；

A_p —桩身截面面积（ m^2 ）；

4.1.3 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。

4.1.4 灌注桩荷载箱的外部形状不应妨碍灌注桩的成桩过程。

4.1.5 荷载箱应在出厂前组装成整体，不允许在现场拼装。

4.2 荷载箱的安装

4.2.1 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。

4.2.2 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° 。

4.2.3 荷载箱的顶、底面必须分别与上下钢筋笼的主筋牢固连接。

4.2.4 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° 。

4.3 加压测试系统

4.3.1 荷载的量测宜选用自动测量记录仪器。

4.3.2 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油压，根据荷载箱的率定系数换算荷载。

4.3.3 荷载测量所用压力表或压力传感器的准确度应优于或等于 0.5 级，量程不应小于 60MPa。

4.3.4 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%。

4.4 位移测试系统

4.4.1 位移测量宜采用大量程的位移传感器或百分表,宜优先选用自动测量记录仪器。

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

4.4.3 位移杆(丝)与护套管应符合下列要求:

1 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。

2 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。

3 护套管与荷载箱应保持垂直,并与钢筋笼主筋牢固绑定。

4.4.4 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。

4.4.5 位移测量应对称安置二组,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。

4.4.6 基准梁应具有足够的刚度,梁的一端应有效固定在基准桩上,另一端应简支在基准桩上。

4.4.7 固定和支承位移量测仪表的夹具及基准梁应避免受气温、振动及其它外界因素的影响,当基准梁暴露在阳光下时,应采取遮挡措施。

4.4.8 试桩和基准桩之间的中心距离不应小于 3 倍的受检桩直径,且不应小于 2.0m。

5 现场检测

5.0.1 基桩自平衡法静载荷试验应采用慢速维持荷载法。

5.0.2 试验加载卸载方式应符合下列规定：

1 加载应分级进行，且采用逐级等量加载，分级荷载宜为最大加载值或预估极限承载力的 $1/10 \sim 1/12$ ，第一级加载量可取分级荷载的 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，且每级荷载在维持过程中的变化幅度不得超过分级荷载的 $\pm 10\%$ 。

5.0.3 位移观测过程应符合下列规定：

1 每级荷载施加后，应分别按第 5min、15min、30min、45min、60min 测读一次位移量，以后每隔 30min 测读一次；

2 位移相对稳定标准：每级荷载作用下每一小时内的位移增量 Δs_i 应不超过 0.1mm，并连续出现两次（从每级荷载施加后的第 30min 开始，由连续三次或三次以上每 30min 的位移观测值计算）；

3 每级卸载后隔 15min 应测读一次位移量，读两次后，隔 30min 再读一次位移量，即可卸下一级荷载，全部卸载后，隔 3~4h 再读一次位移量。

5.0.4 试验满足下列条件之一时，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 Δs_i 超过前一级荷载作用下位移增量 Δs_{i-1} 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 Δs_i 超过前一级荷载作用下位移增量 Δs_{i-1} 的 2 倍，且经 24h 尚未达到本导则第

5.0.3 条第 2 款相对稳定标准：

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 5.0.3 条第 2 款相对稳定标准；

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 40~60mm；

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。

5.0.5 检测数据宜按本导则附录 B 的格式记录。

6 检测数据的分析与判定

6.0.1 检测数据的整理应符合下列规定：

- 1 应提供竖向静载荷试验结果汇总表；
- 2 应绘制荷载与位移量的关系曲线 $Q_u - s_u$ 、 $Q_d - s_d$ ；
- 3 应绘制位移量与加荷时间的单对数曲线 $s_u - \lg t$ 、 $s_d - \lg t$ ；
- 4 宜绘制抗压桩等效转换曲线 $Q - s$ 。

6.0.2 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 当出现本导则第 5.0.4 条第 1、2 款情况时，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 按本条第 1~4 款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。

6.0.3 单桩竖向抗压极限承载力应按下列式计算：

$$Q_u = \frac{Q_{uu} - G_1 - G_2}{\gamma_1} + Q_{ud} \quad (6.0.3)$$

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：粘性土、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。

6.0.4 单桩竖向抗拔极限承载力应按下列公式确定

$$Q_u = \frac{Q_{uu} - G_2}{\gamma_2} \quad (6.0.4)$$

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对比试验确定，但不得小于 1.1。

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

7 试验后注浆技术要求

7.0.1 工程桩采用自平衡法静载荷试验进行单桩竖向承载力检测，试验完成后必须对荷载箱部位进行注浆。

7.0.2 注浆管应符合下列规定：

- 1 注浆管应采用钢管；
- 2 注浆管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；
- 3 灌注桩注浆管应与钢筋笼主筋固定；
- 4 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。

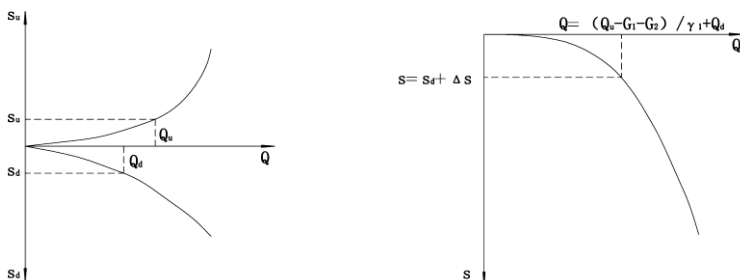
7.0.3 注浆材料宜采用强度等级为 P.O 42.5 以上的水泥配制，浆液的水灰比宜为 0.5~0.65，确保浆体强度达到桩身设计强度要求，且无收缩。

7.0.4 注浆过程应符合下列要求：

- 1 注浆流量不宜超过 75L/min；
- 2 当相邻注浆管冒出水泥浆时可终止注浆。

附录 A 等效转换方法

A.0.1 桩身无内力测试元件时，桩顶等效荷载、位移应按下列公式计算转换计算（图A.0.1）：



(1) 基桩自平衡法静载荷试验曲线

(2) 等效转换曲线

图 A.0.1 自平衡法静载荷试验结果转换示意

$$Q = \frac{(Q_u - G_1 - G_2)}{\gamma_1} + Q_d \quad (\text{A.0.1-1})$$

$$s = s_d + \Delta s \quad (\text{A.0.1-2})$$

$$\Delta s = \frac{[(Q_u - G_1 - G_2) / \gamma_1 + 2Q_d] L_u}{2E_p A_p} \quad (\text{A.0.1-3})$$

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；

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。

A.0.2 桩身有内力测试元件时的计算应符合下列规定：

1 桩身内力测试依据行业现行标准《建筑基桩检测技术规范》JGJ 106附录A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 $Q(i)$ 和变位量 $s(i)$ 可用下式表示 (示意图见图A.0.2)：

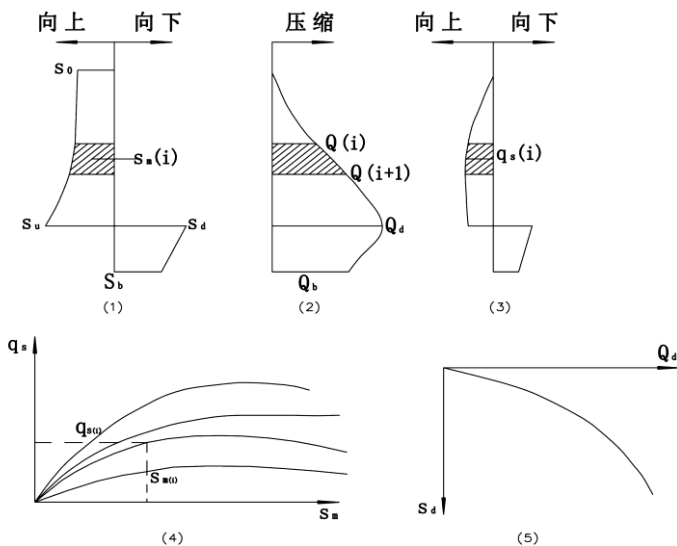


图 A.0.2 自平衡法的轴向力、桩侧摩阻力与变位量的关系

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

$$Q(i) = Q_d + \frac{1}{2} \sum_{m=i}^n q_s(m) \{U(m) + U(m+1)\} h(m) \quad (\text{A.0.2-1})$$

$$s(i) = s_d + \sum_{m=i}^n \frac{Q(m) + Q(m+1)}{A_p(m)E_p(m) + A_p(m+1)E_p(m+1)} h(m) \quad (\text{A.0.2-2})$$

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 基桩自平衡法静载荷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 B 自平衡法静载荷试验记录表

B.0.1 自平衡法静载荷试验宜按表 B.0.1 的格式记录。

表 B.0.1 自平衡法静载荷试验记录表

工程名称			桩号		桩型尺寸		试验日期							
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

记录：

校核：

B.0.2 自平衡法静载荷试验荷载-位移汇总表宜按表 B.0.2 的格式记录。

表 B.0.2 自平衡法静载荷试验汇总表

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

记录:

校核:

本导则用词说明

1 为便于在执行本导则条文时区别对待，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它有关标准和规范执行时，写法为：“应按……执行”或“应符合……的要求（或规定）”。

引用标准名录

- 1 《建筑地基基础设计规范》GB 50007
- 2 《建筑基桩自平衡静载试验技术规程》JGJ/T 403
- 3 《建筑基桩检测技术规范》JGJ 106
- 4 《基桩静载试验 自平衡法》JTT 738
- 5 《建筑基桩检测技术规程》DB/T 29-38

天津市工程建设标准
天津住建网全文公开

天津市基桩自平衡法静载荷试验 技术导则

条文说明

2019 天 津

天津市工程建设标准
天津住建网全文公开

制定说明

本导则编制过程中，编制组进行了广泛的调查研究，总结了天津市建筑工程和市政工程基础设施工程建设中基桩自平衡法静载荷试验的实践经验，同时参考了交通部先进技术法规、技术标准，通过工程实测，取得了建筑基桩自平衡法静载荷试验技术的重要技术参数。

为便于广大设计、施工、检测、科研、学校等单位有关人员在使用本导则时能正确理解和执行条文规定，《天津市基桩自平衡法静载荷试验技术导则》编制组按章、节、条顺序编制了本导则的条文说明，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。但是，本条文说明不具备与导则正文同等的法律效力，仅供使用者作为理解和把握导则规定的参考。

目 次

1	总则	29
2	术语和符号	30
2.1	术语	30
3	试验工作程序	32
3.1	检测数量	32
3.2	检测桩位的确定	32
3.3	检测前的准备	33
3.4	检测结果评价和检测报告	34
4	测试设备及安装	35
4.1	测试设备	35
4.2	荷载箱的安装	36
4.3	加压测试系统	38
4.4	位移测试系统	39
5	现场检测	40
6	检测数据的分析与判定	41
7	试验后注浆技术要求	43

1 总 则

1.0.1 天津市地基土层为第四系海陆交互沉积的松散沉积物，主要为淤泥质土、粘性土、粉土、砂土组成。地质条件决定了天津市的建筑工程需大量采用桩基础，随着天津市城市建设的发展，近年来建（构）筑物向高、重、大方向发展，各种大直径、大吨位桩基础应用越来越普遍，确定桩基础承载力最可靠的方法是传统静载试验。传统静载试验测试基桩承载力，成果直观、准确可靠，是其他检测方法的比较依据。然而在狭窄场地、坡地、基坑底、水上及超大吨位等情况下，传统静载试验（堆载法和锚桩法）受到场地和加载能力等因素的约束，以致许多大吨位和特殊场地的桩基础承载力得不到可靠的数据。基桩自平衡法静载荷试验的出现了弥补了传统静载试验的不足，可作为传统静载试验的补充。

基桩自平衡法静载荷试验与传统静载试验相比具有很多优势。主要表现为试验装置比较简单，占用场地小，试验省时、省力、安全、无污染。试验后对荷载箱处进行注浆，仍可作为工程桩使用，综合费用低等。

1.0.2 本导则适用于天津市范围内建筑工程和市政工程，基桩传统静载试验条件受限时的竖向承载力检测与评价。“传统静载试验条件受限”是指传统静载试验方法难以实施的大直径、大吨位、狭窄场地、基坑底部、逆作法、水上等基桩检测情况。本导则适用于钻孔灌注桩的检测与评价。

1.0.3 天津市的岩土工程地质环境十分特殊，为典型的滨海软土地区，为保证基础建设的质量，在天津市辖范围内进行基桩自平衡法静载荷试验，强调首先应按照本导则的规定严格实施，除此以外还应符合国家、行业现行相关标准。

2 术语和符号

2.1 术语

2.1.2 自平衡法静载荷试验是将一种特制的荷载箱埋设在桩身预估平衡点位置。试验时，从桩顶通过输压管对荷载箱内腔施加压力，推開箱盖与箱底，调动桩周土的摩阻力与端阻力，从而测得桩的单桩竖向抗压（抗拔）承载力。其测试原理见图 2.1.2。

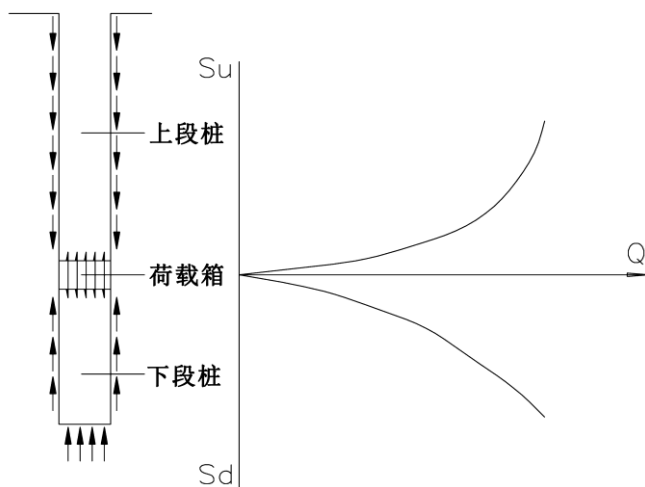


图 2.1.2 测试原理图

2.1.4 自平衡法静载荷试验中的平衡点是桩身相对平衡位置，将荷载箱埋置在平衡点，技术是合理的，投入上是经济的，但在实际工程中平衡点的确定是复杂的过程。试验前根据岩土工程勘察报告提

供的参数、试桩邻近的钻孔资料，结合经验来确定“平衡点”存在一定偏差是可能的，偏差的存在会造成试验时一段桩达到极限状态，另一段桩还未达到极限状态，由此确定的单桩竖向极限承载力小于真实的极限承载力，试验结果偏于保守，对于工程质量来说是安全的。

天津市工程建设标准
天津住建网全文公开

3 试验工作程序

3.1 检测数量

3.1.1 基桩检测是抽样检测，检测结果要代表拟建场地内的桩基情况，严格规定如何确定检测数量是必要的，只有在满足抽样原则、抽样比例和检测数量的前提下，才能够对桩基做出正确的评价。

3.1.2 本条规定了同一条件下的试桩数量不应少于 3 根，是保障合理评价试桩结果的最低要求，3 根的奇数是为了在出现异常情况时可以有一个多数与少数的基本判断，避免出现两根试桩时的各 50% 的尴尬局面。若实际中由于某些原因不足以为设计提供可靠依据或设计另有要求时，可根据实际情况增加试桩数量。另外，如果施工时桩参数发生较大变动或施工工艺发生变化，应重新试桩。

3.1.3 本条规定了各条件下工程桩采用基桩自平衡法静载荷试验进行承载力验收时检测数量的低限。

3.2 检测桩位的确定

3.2.1 工程桩检测系抽样检测，按设计单位的书面要求进行，为了更准确计算平衡点的位置，尽量靠近勘探孔。本条所述的抽样原则是有先后次序的，应顺序考虑。

3.3 检测前的准备

3.3.2 所搜集的各种资料应为委托方提供的有关勘察设计施工单位的有效报告图件,设计单位的检测要求应为书面有效文本或在有效图件上文字注明。基础资料不齐全、试验检测所需数据不是书面有效文本或图件、检测场地不具备进场条件,不应组织检测。

3.3.3 为满足建设方在质量、安全及工期方面的要求,检测机构应根据现场情况,从仪器设备、人员组织、质量保证措施、安全措施、检测周期等方面认真编写有针对性的检测方案,并在检测过程中遵照实施。荷载箱埋设过程中,检测单位与施工单位的配合至关重要,检测人员要现场指导施工单位操作人员在钢筋笼上正确安装、焊接荷载箱。吊装钢筋笼时,采取防护措施,防止钢筋笼过大变形,损坏荷载箱。下放钢筋笼和灌注混凝土过程加强质量控制,保证基桩的施工质量。

3.3.4 如果仪器设备工作状态不正常,其检测结果肯定失真,因此检测机构应保证检测所用仪器设备在有效检定期内,检测前,检测人员应对检测所用仪器设备进行检查调试,确认其工作状态正常方可进行相应的检测工作。

3.3.5 桩身混凝土强度不足,试验时可能引起桩身损伤或破坏,为分清责任,承载力检测前桩身混凝土强度应达到设计强度。

桩基施工过程中不可避免地扰动桩周土,降低土体强度,引起桩的承载力下降,以高灵敏度饱和粘性土中的摩擦桩最明显。随着休止时间的增加,土体重新固结,土体强度逐渐恢复提高,桩的承载力也逐渐增加。成桩后桩的承载力随时间而变化的现象称为桩的承载力时间效应,软土地区这种效应尤其突出。时间效应的变化规律一般是初期增长较快,随后渐慢,待达到一定时间后趋于相对稳定,其增长快慢和幅度除与土性和类别有关,还与桩的施工工艺有关。

天津地区主要以粘性土、粉土、粉砂组成，滨海地区还分布有大量软土，基桩是典型的摩擦桩，根据天津市静载试验经验，灌注桩从成桩到开始试验休止时间不应少于 25 天是比较合理的。对采用后注浆施工工艺的桩，应同时满足注浆后的休止时间。

3.3.6 自平衡法静载荷试验中，有时会因桩身缺陷，桩身截面突变处应力集中或桩身强度不足造成桩身结构破坏，在静载试验前对试桩进行完整性检测，可为分析桩身结构破坏的原因提供证据。

3.4 检测结果评价和检测报告

3.4.1 承载力现场试验数据通过综合分析所确定或判定的值称为承载力检测值，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加上一定的安全系数，故实际工程中会遇到设计要求严于规范要求的情况，因此检测结果必须明确给出单桩承载力是否满足设计要求的结论。

3.4.2 本条规定了检测报告中应包含的一些内容，其目的是为使报告具有较强的可读性和内容完整性，除必要的概况描述、检测结论外，还应该包含各受检桩的检测数据和曲线等。

3.4.3 对异常情况的出现过程应做简要叙述，同时分析其可能的原因，并从检测角度提出应采取的措施，供有关方面参考。

4 测试设备及安装

4.1 测试设备

4.1.2 荷载箱是一种特制的加荷装置，是基桩自平衡法静载荷试验的关键设备，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使用质量。

4.1.3 本条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导则要求终止加载条件的最大位移。

4.1.4 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。荷载箱的外部形状不应妨碍混凝土的顺利灌注和浮浆的排出，避免灌注时导管在荷载箱位置产生卡管或造成钢筋笼上浮，避免浮浆停滞在荷载箱底部，造成局部强度过低，加载过程中局部混凝土被压碎或变形过大，导致试验失败，影响桩身质量。

4.1.5 检测现场环境条件简陋、组装设备及人员专业水平达不到专业液压设备生产厂家的水平，现场组装的同心度和同步性质量不能保证，且组装完成后也无试压条件。本条规定就是为了保证荷载箱的整体质量。

4.2 荷载箱的安装

4.2.1 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。

荷载箱埋设位置:受检桩为抗压桩,极限端阻力小于预估极限侧阻力,荷载箱放置在桩身平衡点处,使上、下段桩的极限承载力基本相等,以维持加载;极限端阻力大于预估极限侧阻力时,荷载箱置于桩端,根据上段桩和下段桩反力的相差值采取桩顶配重;受检桩为抗拔桩时,荷载箱直接置于桩端,桩端处无法提供需要的反力,应通过加深桩长增加侧摩阻力或利用桩端后注浆工艺增大桩端阻力及侧摩阻力。

荷载箱的埋设位置是一个重要的关键技术,埋设位置可根据下列公式计算:

$$Q_{uu} = Q_{ud} \quad (1)$$

$$Q_{uu} = \sum \lambda_i \psi_{si} q_{sik} u l_i + G_1 + G_2 \quad (2)$$

$$Q_{ud} = u \sum \psi_{si} q_{sik} l_i + \psi_p q_{pk} A_p \quad (3)$$

下段桩桩身范围内的土层厚度之和,即为荷载箱距桩端的距离。

式中: Q_{uu} — 上段桩极限加载值(kN);

Q_{ud} — 下段桩极限加载值(kN);

q_{sik} — 桩侧第*i*层土极限侧阻力标准值,对扩底桩变截面以上 $2d$ 长度范围不计侧阻力(kPa);

q_{pk} — 极限端阻力标准值(kPa);

- u — 桩身周长(m);
- l_i — 桩周第*i*层土的厚度(m);
- 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);

ψ_{si} 、 ψ_p —大直径桩侧阻力、端阻力尺寸效应系数,按表 1 取值;

表 1 大直径灌注桩侧阻力尺寸效应系数 ψ_{si} 、端阻力尺寸效应系数 ψ_p

土类型	粘性土、粉土	砂土、碎石土
ψ_{si}	$(0.8/d)^{1/5}$	$(0.8/d)^{1/3}$
ψ_p	$(0.8/D)^{1/4}$	$(0.8/D)^{1/3}$

注:当为等直径桩时,表中 $D=d$ 。

λ_i ——抗拔系数,粘性土、粉土取 0.8,砂土取 0.7。

根据天津市已完成十几个工程实例上百根桩的检测数据分析,粘性土、粉土取 0.8,砂土取 0.7 计算出的平衡点位置,在最终加载条件下,可以保证约 90%的试验桩上、下段桩的承载力充分发挥,能较准确地反映桩的极限承载力。

4.2.2 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。

4.2.3 灌注桩钢筋笼在荷载箱位置断开,上段钢筋笼的主筋与荷载箱的上部顶面或上部加强箍牢固焊接在一起,下段钢筋笼的主筋与

荷载箱的底面或下部加强箍牢固连接在一起,连接必须满足强度要求,以避免施工过程中荷载箱脱落。当荷载箱和下段钢筋笼重量较大,仅仅靠钢筋笼主筋与荷载箱顶底面或加强箍的连接强度不能承受荷载箱和下段钢筋笼重量时,可分别在顶底面主筋焊接位置设 L 型加强筋。

4.2.4 本条是对荷载箱上下设置喇叭状的导向钢筋所做的规定,设置喇叭状导向钢筋的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。

4.3 加压测试系统

4.3.1 本条规定宜选用自动测量记录仪器,目的是为了将各种人为因素的影响降到最低限度。但有时受现场条件限制,无法使用自动测量记录仪时,也可采用人工测量记录。

4.3.2 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。

4.3.3 本条对荷载测量所用仪表的准确度做了要求,目的是为了保証试验中压力值真实、可靠。

4.3.4 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。

4.4 位移测试系统

4.4.1~4.4.2 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。

4.4.3 位移杆（丝）是基桩自平衡法静载荷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。

4.4.4 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。

4.4.5 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。

4.4.7 本规定目的是为了保证位移检测数据真实、可靠，减少外界因素对位移测量结果的影响。

4.4.8 自平衡法静载荷试验检测过程中，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行业现行标准《建筑基桩检测技术规范》JGJ 106 中锚桩法静载试验要求执行。

5 现场检测

5.0.1 慢速维持荷载法,是我国公认且已沿用至今的基桩静载荷试验方法,在本市进行基桩自平衡法静载荷试验只能采用慢速维持荷载法。

5.0.2~5.0.3 试验加载卸载及位移观测参考了天津市现行标准《建筑基桩检测技术规程》DB/T 29-38 中试验加卸载及位移观测的规定。

5.0.4 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荷试验终止加载情况,按本条上段桩位移的规定进行判定。

6 检测数据的分析与判定

6.0.1 绘制各类曲线是为了方便帮助判定极限承载力。同一工程中，同型试桩曲线纵坐标和横坐标的绘制比例应相同，这样可以使曲线图结果直观，便于比较。

6.0.2 上段桩极限加载值 Q_{uu} 和下段桩极限加载值 Q_{ud} 的确定参考了天津市现行标准《建筑基桩检测技术规程》DB/T 29-38 中单桩竖向抗压（抗拔）极限承载力的确定方法。

6.0.3 单桩竖向抗压试验时，荷载箱埋设在设计桩端标高以上，自平衡法静载荷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、下两段实测值相迭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 再与下段桩迭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，对于粘性土，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，对于粘性土，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。

泥浆比重宜选择现场实测值，当无实测值时，泥浆比重按 1.1~

1.25 选取。

6.0.4 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。

自平衡法静载荷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。

7 试验后注浆技术要求

7.0.1 抗压桩荷载箱埋设在设计桩端标高以上,为确保做为试桩的工程桩在自平衡法静载荷试验后能正常使用,施工单位必须对完成自平衡法静载荷试验的工程桩进行注浆处理。

7.0.2 注浆过程中,注浆管会承受一定的压力,为保证注浆成功,对注浆管材料进行了相应的规定,当声测管或护套管兼做注浆管时需满足注浆要求。注浆管设置数量根据桩径大小确定,目的在于确保注浆浆液的均匀对称及注浆的可靠性。

7.0.3 注浆材料与浆液水灰比根据大量工程实践经验提出。水灰比过大容易造成浆液流失,降低注浆的有效性,水灰比过小会增大注浆阻力,降低可注性。可掺入微膨胀外加剂,防止浆液固化过程产生收缩,影响浆体强度。