

天津市工程建设标准



DB/T29-302-2022

备案号：J16380-2022

天津市预制拼装桥墩设计规程

Specification for design of prefabricated bridge
piers in Tianjin

2022-05-23 发布

2022-09-01 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

天津市预制拼装桥墩设计规程

Specification for design of prefabricated bridge piers in
Tianjin

DB/T29-302-2022
J16380-2022

主编单位：天津滨海旅游区基础设施建设有限公司
上海市城市建设设计研究总院（集团）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：2022 年 9 月 1 日

2022 天 津

天津市住房和城乡建设委员会文件

津住建设〔2022〕18号

市住房城乡建设委关于发布《天津市预制拼装桥墩设计规程》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》（津建设〔2019〕27 号）要求，天津滨海旅游区基础设施建设有限公司、上海市城市建设设计研究总院（集团）有限公司等单位编制完成了《天津市预制拼装桥墩设计规程》，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/T29-302-2022，自 2022 年 9 月 1 日起实施。

各相关单位在实施过程中如有意见和建议，请及时反馈给天津滨海旅游区基础设施建设有限公司、上海市城市建设设计研究总院（集团）有限公司。

本规程由天津市住房和城乡建设委员会负责管理，天津滨海旅游区基础设施建设有限公司、上海市城市建设设计研究总院（集团）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
2022 年 5 月 23 日

前 言

为落实《天津市人民政府关于加快推进装配式建设工程发展的意见》和市住建委《关于印发〈天津市市政基础设施建设推进工业化生产和装配式绿色施工行动计划（2017年—2019年）〉的通知》，改革桥梁施工方式，进一步节能降耗，降低桥梁施工对周边环境、交通的影响，改进桥墩生产、施工质量，天津市住房和城乡建设委员会委托天津滨海旅游区基础设施建设有限公司和上海市城市建设设计研究总院（集团）有限公司会同有关单位共同组成编制组，进行深入的调查研究，总结工程的实践经验，参考国内相关标准，在广泛征求意见的基础上，编制本规程。规程旨在指导预制拼装混凝土桥墩设计，实现桥梁工厂化、快速化建造。

本规程共分7章。其主要内容包括：总则、术语和符号、基本规定、材料、预制拼装桥墩结构设计、预制拼装桥墩抗震设计、构造设计以及附录等。

本规程由天津市住房和城乡建设委员会负责管理，由上海市城市建设设计研究总院（集团）有限公司负责具体技术内容的解释。各单位在执行本规程过程中，结合工程实践，总结经验，积累资料。如发现需要修改和补充之处，请及时将意见和有关资料函告上海市城市建设设计研究总院（集团）有限公司（地址：天津市西青区凌奥创意产业园南商业3号楼2单元4楼，邮编：300381，邮箱：37173753@qq.com，电话：022-58896819）。

本 规 程 主 编 单 位：天津滨海旅游区基础设施建设有限公司
上海市城市建设设计研究总院（集团）
有限公司

本 规 程 参 编 单 位：天津市政工程设计研究总院有限公司
天津城建设计院有限公司

同济大学
中新天津生态城建设局
天津市宁河区兴宁建设投资集团有限公司
天津高速公路集团有限公司
天津市交通运输综合行政执法总队工程质量安全支队
天津市公路事业发展服务中心
天津市滨海新区交通运输服务中心
中铁十八局集团第五工程有限公司

主 要 起 草 人 员：	李鹏飞	傅志训	王 彬	王 立
	王 亮	张 国	邓国瑞	于显波
	白洪亮	周林涛	周 良	陆元春
	闫兴非	王云龙	张 斌	马军伟
	张明奇	张 健	程永欢	张 涛
	王 宇	刁承浩	刘旭锴	曹 景
	黄思勇	张朝清	韩振勇	汤洪雁
	井润胜	王志强	郭 峰	党雪鹏
	刘金亮	张建东	王 峥	李如鑫
	岳向武	张 亮	田增朝	王 昌
	袁 全	杨 洋		
	徐治芹	王海良	崔志刚	孙运国
主 要 审 查 人 员：	郑永红	刘国慧	吕凤国	

目 次

1	总则	2
2	术语和符号	1
2.1	术语	1
2.2	符号	2
3	基本规定	4
4	材料	5
4.1	混凝土	5
4.2	钢筋	5
4.3	高强无收缩水泥灌浆料	6
4.4	砂浆垫层	7
4.5	灌浆连接套筒	7
4.6	灌浆连接金属波纹管	11
4.7	环氧树脂胶	14
4.8	预应力钢筋—锚具组装件	17
5	预制拼装桥墩结构设计	18
5.1	桥墩	18
5.2	吊点	20
6	预制拼装桥墩抗震设计	22
6.1	一般规定	22
6.2	抗震验算	23
7	构造设计	28

附录 A 高性能混凝土原材料性能指标要求..... 34

本规程用词说明 35

引用标准名录 36

条文说明 38

Contents

1	General Provisions	1
2	Terms and Symbols	2
2.1	Terms	2
2.2	Symbols	3
3	Basic Requirements	5
4	Materials	6
4.1	Concrete	6
4.2	Reinforcement	6
4.3	High-Strength Non-Shrink Grouting Materials	6
4.4	Grout Pad (Bedding Mortar) and Epoxy Resin Adhesive	7
4.5	The Grouting Couplers	8
4.6	The Grouting Ducts	12
4.7	Epoxy resin adhesive	15
4.8	Prestressing Steel-Anchorage	17
5	Precast Pier Design	18
5.1	Pier	18
5.2	Bearing point	20
6	Precast Pier Aseismic Design	22
6.1	General Requirements	22
6.2	Aseismic Checking Calculation	23
7	Detailing Design	28
Appendix A Requirements of high performance concrete material compositio		34
Explanation of Wording In This Specification		35
List of quoted standards		36
Explanation of Provisions (Commentary)		38

1 总则

1.0.1 为了适应预制拼装技术在桥梁下部结构建造的应用需要，明确预制拼装桥墩的设计技术要求，提高桥梁建设技术水平，缩短施工周期，降低施工对交通和环境的影响，保证工程安全、耐久、适用、经济、环保、美观，制定本规程。

1.0.2 本规程适用于天津市的公路、市政工程中预制拼装桥墩的设计。本规程中，预制混凝土桥墩的设计适用于抗震设防烈度为 8 度及 8 度以下的地区。

1.0.3 本规程适用于采用灌浆套筒连接或灌浆金属波纹管连接的预制拼装混凝土桥墩的设计。

1.0.4 预制拼装混凝土桥墩的设计除应符合本规程的规定外，尚应符合国家、行业和天津市相关现行技术标准的规定。

2 术语和符号

2.1 术语

2.1.1 预制拼装桥墩 prefabricated bridge piers

预制混凝土节段通过连接构造拼装形成的混凝土桥梁立柱、盖梁或系梁。

2.1.2 灌浆套筒连接 grouted sleeve coupler connection

通过高强无收缩水泥灌浆料填充在钢筋与连接套筒间隙，硬化后形成接头，将套筒连接的两段钢筋受力顺利传递的连接构造。

2.1.3 灌浆金属波纹管连接 grouted duct connection

通过高强无收缩水泥灌浆料填充在钢筋与金属波纹管间隙，硬化后形成对钢筋的锚固构造。

2.1.4 灌浆连接套筒 grouted coupler for rebar splicing

通过高强无收缩水泥灌浆料的传力作用将钢筋对接连接所用的金属套筒，通常采用铸造工艺或者机械加工工艺制造。

2.1.5 高强无收缩水泥灌浆料 high-strength non-shrinkage grouting material

高强无收缩水泥灌浆料是以水泥为基体，以高强材料为骨料，辅以高流动、防离析、微膨胀等性能外加剂组成的固态混合料，现场加水搅拌均匀后用于填充钢筋和套筒或金属波纹管间的空隙。

2.1.6 砂浆垫层 bedding mortar

填充在不同类型构件拼接缝之间的高强无收缩砂浆过渡层。

2.1.7 砂浆拼接缝 mortar joint

采用高强无收缩砂浆进行找平连接的接缝，常用于立柱与承台、立柱与盖梁之间的拼接。

2.1.8 环氧拼接缝 epoxy joint

采用环氧树脂胶进行连接的接缝，常用于立柱节段之间以及盖梁节段之间的拼接。

2.1.9 调节垫块 adjustment cushion block

设置在不同类型构件拼接缝之间的垫块，用于调节构件标高、水平度、垂直度以及控制砂浆垫层的厚度。

2.2 符号

d_s ——纵向钢筋直径；

d ——灌浆连接套筒外径；

E_c ——混凝土弹性模量；

I_{eff} ——有效截面抗弯惯性矩；

M_y ——屈服弯矩；

ϕ_y ——等效屈服曲率；

θ_p ——潜在塑性铰区域的塑性转角；

θ_u ——塑性铰区域的最大容许转角；

Δ_d ——地震作用下柱顶的位移；

Δ_u ——立柱容许位移；

ϕ_y ——截面的等效屈服曲率；

ϕ_u ——极限破坏状态的曲率；

K ——延性安全系数；

L_p ——等效塑性铰长度；

H ——悬臂柱的高度或塑性铰截面到反弯点的距离；

b ——矩形截面的短边尺寸或圆形截面直径或墩柱的宽度；

f_y ——纵向钢筋抗拉强度标准值;
 ε_{cu} ——混凝土极限压应变;
 ε_{su}^R ——约束钢筋的折减极限应变;
 ε_{lu} ——纵向钢筋的折减极限应变;
 V_{c0} ——剪力设计值;
 V_c ——塑性铰区混凝土的抗剪能力贡献(kN);
 V_s ——横向钢筋的抗剪能力贡献 (kN);
 v_c ——塑性铰区混凝土抗剪强度(MPa);
 f_{cd} ——混凝土抗压强度设计值;
 A_e ——核心混凝土面积;
 A_g ——立柱塑性铰区域截面全面积;
 μ_Δ ——立柱位移延性系数;
 P_c ——立柱截面最小轴压力;
 A_{sp} ——螺旋箍筋面积;
 A_v ——计算方向上箍筋面积总和;
 s ——箍筋的间距;
 f_{yh} ——箍筋抗拉强度标准值;
 D' ——螺旋箍筋环的直径;
 h_0 ——核心混凝土受压边缘至受拉侧钢筋重心的距离;
 ϕ ——抗剪强度折减系数;
 A_k ——破坏面上剪力键根部的面积;
 f_c ——混凝土的立方体极限抗压强度;
 σ_n ——接缝上的压应力;
 η_a ——预应力筋—锚具组装件静载试验测得的锚具效率系数;
 ε_{apu} ——预应力筋—锚具组装件达到实测极限拉力时的总应变。

3 基本规定

3.0.1 在工程可行性研究阶段，预制拼装桥墩设计应综合考虑设计、预制、运输、拼装、运维等条件，采用结构合理、经济美观、运输方便、拼装快捷且后期运维方便的设计方案。

3.0.2 在预制拼装桥墩初步设计阶段，应遵循标准化和模数化的原则，满足通用性和少规格的要求。应根据本地区已有预制拼装工程桥墩类型情况，并结合工程实际情况确定合理的桥墩尺寸和形状，并选择适宜的拼接构造和节段划分方式。

3.0.3 在预制拼装桥墩施工图设计阶段，应注重细部构造设计，满足预制拼装的质量控制和精度要求，确保预制节段之间拼装时的精确匹配和连接可靠。

3.0.4 设计单位编制的设计文件应明确设计意图，指出关键技术点，并在施工前进行设计交底。

3.0.5 预制立柱节段之间的钢筋连接应采用灌浆套筒，预制立柱与承台或盖梁之间的钢筋连接可采用灌浆套筒连接或灌浆金属波纹管连接，金属波纹管仅埋置于墩台的承台和盖梁中。两种方式的钢筋连接可在同一截面布置。盖梁节段之间以及墩柱与系梁之间可采用预应力的形式连接。

3.0.6 预制立柱应根据施工运输、吊装能力确定立柱预制长度。

4 材料

4.1 混凝土

4.1.1 混凝土强度等级不宜低于 C40，预应力混凝土构件不应低于 C45。

4.1.2 主体结构宜采用高性能混凝土，高性能混凝土应符合附录 A 的规定。

4.2 钢筋

4.2.1 预制拼装桥墩中主筋应采用普通 HRB400 级及以上热轧钢筋，HRB500 级及以上钢筋的连接形式应进行专项研究。

4.2.2 钢筋应具有出厂质量证明书和试验报告单，进场时除应检查其外观和标志外，尚应分批抽取试件进行力学性能检验，检验合格后方可使用。钢筋的各项性能指标应满足相关生产、施工和质量验收标准。

4.2.3 钢筋表面应洁净、无损伤，钢筋平直、无局部弯折，主要受力钢筋端头切断后应磨平，外露钢筋应采取临时防护措施，防止钢筋锈蚀。

4.3 高强无收缩水泥灌浆料

4.3.1 灌浆连接套筒或灌浆金属波纹管中使用的高强无收缩水泥灌浆料的技术指标，应符合表 4.3.1 的规定。

表 4.3.1 高强无收缩水泥灌浆料技术指标

检 测 项 目		性 能 指 标
流动度/mm	初始	≥320
	30 min	≥260
抗压强度/ MPa	1d	≥35
	3d	≥60
	28d	≥100
竖向自由膨胀率/%	3h	≥0.02
	24h 与 3h 差值	0.02~0.5
	28d 与 24h 差值	≥0.00
氯离子含量/%		≤0.03
泌水率/%		0.00

4.3.2 高强无收缩水泥灌浆料的试验方法、检验与验收应符合现行行业标准《钢筋连接用套筒灌浆料》JGT 408 的相关规定。

4.3.3 高强无收缩水泥灌浆料宜采用配套灌浆掺合料。高强无收缩水泥灌浆料在干燥条件下未开封包装前有效存放时间不应大于 3 个月，开封包装后应立即使用，如有剩余应做废弃处理。

4.4 砂浆垫层

4.4.1 砂浆垫层应采用高强无收缩砂浆，在同尺寸试块加载试验下，高强无收缩砂浆 1d 的抗压强度不应小于 30MPa，28d 的抗压强度不应小于 60MPa 且高出被连接构件强度等级的一个等级 (5MPa)，28d 竖向膨胀率应控制在 0.02%~0.10%。

4.4.2 砂浆垫层宜选用质地坚硬、级配良好的中砂，细度模数不应小于 2.6，含泥量不应大于 1%，且不应有泥块存在。

4.4.3 砂浆垫层初凝时间宜大于 2h。

4.5 灌浆连接套筒

4.5.1 灌浆连接套筒宜采用高强球墨铸铁、优质碳素结构钢、低合金高强度结构钢或合金结构钢制作，并应在符合现行行业标准《钢筋连接用灌浆套筒》JG/T 398 的规定的基礎上，符合本节其它规定。

4.5.2 灌浆套筒按钢筋连接方式可分为全灌浆套筒和半灌浆套筒。半灌浆套筒宜采用机械加工灌浆套筒。

4.5.3 采用球墨铸铁制造的灌浆套筒，材料应符合现行国家标准《球墨铸铁件》GB/T 1348 规范的规定，其材料尚应符合表 4.5.3 的规定。

表 4.5.3 球墨铸铁灌浆套筒的材料性能

项目	材料	抗拉强度 (MPa)	断后伸长率 (%)	球 化 率 (%)	硬度 (HBW)
性能指标	QT600-5	≥600	≥ 5	≥ 85	190~270

4.5.4 采用优质碳素结构钢、低合金高强度结构钢或合金结构钢制造的灌浆套筒，其材料性能应符合现行国家标准《优质碳素结构钢》GB/T 699、《低合金高强结构钢》GB/T 1591、《合金结构钢》GB/T 3077、《结构用无缝钢管》GB/T 8162 的规定，钢材应采用退火钢，其材料尚应符合表 4.5.4 的规定。

表 4.5.4 机械加工灌浆套筒的材料性能

项目	性能指标
屈服强度/MPa	≥ 355
抗拉强度/MPa	≥ 600
断后伸长率/%	≥ 14

4.5.5 用于机械加工灌浆套筒的冷轧精密无缝钢管，应进行退火处理。机械加工灌浆套筒采用冷压或冷轧加工加肋和缩口成型后，应再次进行退火处理。机械加工灌浆套筒成品热处理质量与检验应符合现行国家标准《冷拔或冷轧精密无缝钢管》GB/T3639 的规定。

4.5.6 全灌浆套筒一端为预制安装端，另一端为现场拼装端，套筒中间应设置钢筋限位挡板；预制安装端及现场拼装端用于钢筋伸入锚固的长度均不应小于 $10d_s$ ；套筒下端应设置压浆口，套筒上端应设置出浆口，压浆口下缘与端部净距应大于 30mm，且不宜大于 50mm；安装时套筒方向应正确放置。全灌浆套筒尺寸宜满足表 4.5.6 的要求。

表 4.5.6 全灌浆套筒尺寸规格表

主筋直径 (mm)	套筒尺寸 (mm)							
	最小内径	灌（出）浆口内径	球墨铸铁灌浆套筒			机械加工灌浆套筒		
			外径	最小壁厚	长度	外径	最小壁厚	长度
16	32	20	54	4	330	42	3	330
20	44	20	62	4	410	55	3	410
25	48	20	67	4.5	510	60	3.5	510
28	51	20	70	5	570	64	4	570
32	55	20	77	5.5	650	70	4.5	650
36	60	20	85	6.5	730	78	5.5	730
40	65	20	95	7	810	89	6	810

注：表内套筒尺寸为采用HRB400级热轧钢筋连接时的推荐值，可根据实际生产条件在不影响套筒性能的前提下做适当调整；灌浆套筒尺寸偏差均应满足现行行业标准《钢筋连接用灌浆套筒》JG/T 398的规定。

4.5.7 半灌浆套筒的钢筋机械连接端为预制安装端，另一端为现场拼装端；现场拼装端用于钢筋伸入锚固的长度不应小于 $10d_s$ ；现场拼装端下端应设置压浆口，上端应设置出浆口，压浆口下缘与端部净距应大于 30mm，且不宜大于 50mm。半灌浆套筒尺寸宜满足表 4.5.7 要求。

表 4.5.7 半灌浆套筒尺寸规格表

主筋 直径 (mm)	套筒尺寸 (mm)							
	最小内 径	灌（出）浆口内 径	球墨铸铁灌浆套筒			机械加工灌浆套筒		
			外 径	壁 厚	长 度	外 径	最小壁 厚	长 度
16	27	20	54	4	220	39	3	206
20	29	20	62	4	260	43	3	251
25	36	20	67	4.5	320	52	3.5	310
28	43	20	70	5	350	60	4	348
32	55	20	77	5.5	390	70	4.5	394
36	60	20	81	6.5	430	78	5.5	440
40	65	20	95	7	475	89	6	480

注：表内套筒尺寸为采用HRB400级热轧钢筋连接时的推荐值，可根据实际生产条件在不影响套筒性能的前提下做适当调整；灌浆套筒尺寸偏差均应满足现行行业标准《钢筋连接用灌浆套筒》JG/T 398的规定。

4.5.8 灌浆连接套筒与高强无收缩水泥灌浆料组合体系性能应符合现行行业标准《钢筋套筒灌浆连接应用技术规程》JGJ 355 中接头性能要求，且接头型式试验及现场抽检试验时，试件破坏应断于母材或试件实测抗拉强度不小于被连接钢筋抗拉承载力标准值的1.25 倍。

4.5.9 灌浆连接套筒与高强无收缩水泥灌浆料组合体系应配套供应，并应在安装前进行组合体系单向拉伸强度试验。施工现场使用的灌浆连接套筒与高强无收缩水泥灌浆料应与提供试验检测的产品保持一致。

4.5.10 灌浆连接套筒应包括相关的合格附属配件，包括压浆管、出浆管、密封环、端盖、止浆塞、密封柱塞等。端盖应能防止拼装过程中垫层砂浆倒灌入灌浆套筒。

4.5.11 灌浆连接套筒在储存和运输过程中应有防止雨淋、锈蚀、沾污和损伤等防护措施，灌浆连接套筒不应采用影响套筒与混凝土之间粘结性能的涂层材料。

4.5.12 灌浆连接套筒与高强无收缩水泥灌浆料组合体系单向拉伸强度试验以连续生产的同原材料、同类型、同规格、同批号为一个检验批，检验每批数量不大于 1500 个，每批随机抽取 3 个灌浆套筒制作对中连接接头试件。当 3 个试件均符合 4.5.8 的规定时，该验收批应评为合格，当有 1 个试件不符合上述规定时，应随机再抽取 6 个试件进行抗拉强度复检，当复检的试件全部合格时，可评定该验收批为合格；复检中如仍有 1 个试件的抗拉强度不符合规定，则该验收批应评为不合格。

4.6 灌浆连接金属波纹管

4.6.1 金属波纹管应采用圆形钢波纹管。

4.6.2 金属波纹管应用于 HRB400 级热轧钢筋连接时，钢筋锚固长度不应小于 $24 d_s$ ，且不得拼接。当采用 HRB500 级及以上的钢筋或混凝土强度等级小于 C40 时，钢筋锚固长度应根据试验结果进行确定。

4.6.3 金属波纹管应选用符合现行国家标准《直缝电焊钢管》GB/T 13793 规定的直缝钢管或符合现行国家标准《结构用无缝钢管》GB/T 8162 规定的无缝钢管。钢管采用 Q235 钢或以上牌号的钢材。

4.6.4 金属波纹管尺寸宜满足表 4.6.4-1、表 4.6.4-2 要求。

表 4.6.4-1 波纹管尺寸规格表

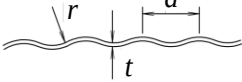
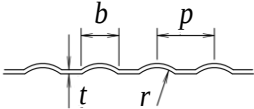
波纹管外径 D/mm	60		76					89			
钢筋直径/mm	12	14	16	18	20	22	25	28	32	36	40
壁厚 t/mm	2										
波高 a/mm	3										
波谷处外径 d/mm	$d=D-2\times a$										
波谷处内径 d_1/mm	$d_1=d-2\times t$										
封口板直径 d_2/mm	$d_2=d+10$										
封口板厚度 t_2/mm	3										
波纹类型	I 型（连续圆弧）						II 型（圆弧加直线形）				
波纹类型图示											
波距 p/mm	32						32				
波宽 b/mm	32						20~32				
波纹半径 r/mm	21						16~42				

表 4.6.4-2 波纹管尺寸偏差表

序号	项目	尺寸偏差
1	壁厚 t/mm	+0.2
2	波距 p/mm	± 2.0
3	波高 a/mm	± 0.5

续表 4.6.4-2 波纹管尺寸偏差表

序号	项目	尺寸偏差
4	外径 D / mm	$-1.0,+3.0$
5	内径 d_1 / mm	$-1.0,+3.0$
6	长度 L / mm	± 3.0
7	切口面倾斜/ mm	$<1\% \times d$

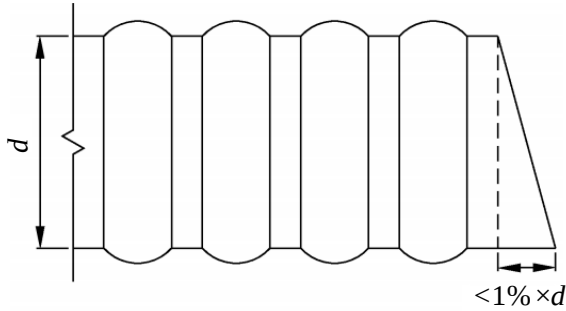


图 4.6.4 切口面倾斜示意图

4.6.5 金属波纹管下端应设置压浆口连接压浆管，上端应设置出浆口连接出浆管或直接由端部出浆；压浆口下缘与端部净距应大于 30mm，不宜大于 50mm。

4.6.6 金属波纹管应包括相关的合格附属配件，包括压浆管、出浆管、钢筋伸入段封盖、封口板等。

4.6.7 金属波纹管在储存和运输过程中应有防止雨淋、锈蚀、沾污和损伤等防护措施。

4.6.8 金属波纹管与高强无收缩水泥灌浆料组合体系锚固接头的抗拉强度不应小于连接钢筋抗拉强度标准值，且破坏时应断于接头外钢筋。

4.6.9 金属波纹管在安装前应进行金属波纹管与高强无收缩水泥灌浆料组合体系单向拉伸强度试验，以连续生产的同原材料、同类型、同规格、同批号为一个检验批，检验每批数量不大于 1500 个，每批随机抽取 3 个金属波纹管制作对中锚固接头试件。当 3 个试件均符合 4.6.8 的规定时，该验收批应评为合格，当有 1 个试件不符合上述规定时，应随机再抽取 6 个试件进行抗拉强度复检，当复检的试件全部合格时，可评定该验收批为合格；复检中如仍有 1 个试件的抗拉强度不符合规定，则该验收批应评为不合格。

4.7 环氧树脂胶

4.7.1 环氧树脂胶有害物质限量应符合《建筑胶粘剂有害物质限量》 GB 30982。

4.7.2 环氧树脂胶主要性能应符合表 4.7.2 的规定。

表 4.7.2 环氧树脂胶主要性能要求

性能项目			性能要求
物理性能	颜色		固化后与被连接构件外表面颜色相近
	可施胶时间/min		≥20
	可粘结时间/min		≥60，且≤240
	抗流挂性能/mm		≥10
	固化速度 (低限温度条 件)	12 小时抗压强度 /MPa	≥40

续表 4.7.2 环氧树脂胶主要性能要求

性能项目			性能要求
		24 小时抗压强度 /MPa	≥ 60
		7 天抗压强度/MPa	≥ 80
	可挤压性/mm ²	150N	≥ 3000
		2000N	≥ 7500
		4000N	≥ 10000
	收缩率/%		≤ 0.1
	热变形温度/℃		≥ 50
	吸水率/%		≤ 0.5
	水中溶解率/%		≤ 0.1
	不挥发物含量/%		≥ 99
力学性能	压缩强度/Mpa	12h	≥ 20
		24h	≥ 60
		7d	≥ 80
	压缩弹性模量 /MPa	瞬时	≥ 8000
		延时（1 小时）	≥ 6000
	混凝土与混凝土对粘弯曲性能		混凝土本体破坏
	混凝土与混凝土压缩剪切强度/Mpa		≥ 14

续表 4.7.2 环氧树脂胶主要性能要求

性能项目		性能要求
力学性能	钢对钢拉伸抗剪强度 /MPa	≥ 17
	钢对混凝土的正拉粘结 强度/MPa	≥ 3.0 , 且为混凝土本体破坏
长期使用性能	耐湿热老化性	混凝土本体破坏
	耐冻融循环能力	混凝土本体破坏
	耐疲劳应力作用能力 a/200 万次	试件不破坏
	耐长期应力作用能力	钢对钢拉伸剪切试件不破坏, 且蠕变的变 形值小于 0.4mm
耐介质侵蚀 性能 ^b	耐碱性介质	混凝土本体破坏
	耐酸性介质	混凝土本体破坏
	耐盐雾作用	混凝土本体破坏

注: 1 本条文中所列均为胶体在适用温度范围内的指标;

2 对承受荷载作用的环氧树脂胶, 应检测角标“a”的项目;

3 对使用环境的介质有特殊要求的环氧树脂胶, 检测角标“b”的项目。

4.8 预应力钢筋—锚具组装件

4.8.1 预应力钢筋宜采用预应力钢绞线，也可采用热轧、轧后余热处理或热处理的精轧螺纹钢；其力学性能应符合国家现行标准《预应力混凝土用钢丝》GB/T 5223、《预应力混凝土用钢绞线》GB/T 5224、《预应力混凝土用螺纹钢筋》GB/T 20065 的规定。

4.8.2 预制拼装桥墩中的无粘结或有粘结预应力筋—锚具组装件的锚固性能，应符合国家现行标准《预应力筋用锚具、夹具和连接器》GB/T 14370 及《预应力筋用锚具、夹具和连接器应用技术规程》JGJ 85 的相关规定，宜采用有粘结预应力筋-锚具组装件。

4.8.3 新型预应力筋—锚具组装件应经过检测单位试验检测，试验参数合格后，方可采用。

5 预制拼装桥墩结构设计

5.1 桥墩

5.1.1 满足本规程对灌浆连接套筒、金属波纹管、高强无收缩水泥灌浆料以及砂浆垫层等连接材料和构造要求时，预制拼装桥墩可按行业现行标准《公路桥涵设计通用规范》JTG D60、《公路钢筋混凝土及预应力混凝土桥涵设计规范》JTG 3362 及《城市桥梁设计规范》CJJ11 进行验算。

5.1.2 桥墩应进行承载能力极限状态和正常使用极限状态设计。

5.1.3 根据桥墩在制造、运输、安装和使用过程中的作用影响，可将桥梁设计分为四种状况：持久状况、短暂状况、偶然状况、地震状况。

5.1.4 预制拼装桥墩在 5.1.3 所述四种设计状况均应进行承载能力极限状态设计；对持久状况还应进行正常使用极限状态设计；对短暂状况及地震状况，可根据需要进行正常使用极限状态设计；对偶然状况，可不进行正常使用极限状态设计。

5.1.5 预制立柱进行设计时，应考虑上下砂浆拼接缝厚度的影响，确定立柱预制长度。

5.1.6 塑性铰区域不应使用半灌浆套筒。

5.1.7 灌浆连接套筒布置在预制立柱中时，应考虑套筒对立柱刚度及相关构造的影响。

5.1.8 采用沿长度方向分段预制拼装的盖梁（系梁），在进行正常使用极限状态计算时，应保持盖梁（系梁）的接缝位置全截面受压；

在进行承载能力极限状态计算时，应计入拼接缝张开时对盖梁（系梁）的承载能力的影响；在分段安装时，应施加临时预应力，按短暂状况进行构件的应力计算，盖梁（系梁）的节段间压应力不宜小于 0.3MPa。

5.1.9 采用分节预制拼装的立柱，在分节安装时，立柱节段间应均匀受力，需施加临时预压力将环氧粘结剂在立柱全断面均匀挤出，压应力不宜小于 0.15MPa。

5.1.10 设计的施工工序应避免高强无收缩水泥灌浆料在凝固过程中产生破坏，应满足下列规定：

1 灌浆套筒连接和金属波纹管连接能在进入下一工序后保持受压时，进入相应工序前内部填充的高强无收缩水泥灌浆料强度应大于 35MPa；

2 当灌浆套筒连接和金属波纹管连接不能在进入下一工序后保持受压时，进入相应工序前内部填充的高强无收缩水泥灌浆料强度应大于 60MPa。

5.1.11 应根据所处环境条件考虑预制拼装立柱和盖梁的拼接缝、立柱和盖梁预制构件的耐久性设计，拼接缝处环氧树脂胶和砂浆垫层应满足耐久性能指标要求。

5.1.12 预制立柱耐久性设计在满足现行国家标准《混凝土结构耐久性设计规范》GB/T 50476 和现行行业标准《公路工程混凝土结构耐久性设计规范》JTG/T 3310 的同时，应满足下列规定：

1 当矩形、T 形和 I 形截面偏心受压立柱构件满足 $e_0/h \leq 0.55$ ，或圆形截面偏心受压构件满足 $e_0/r \leq 0.55$ 时，可不对接缝层进行特殊处理；

2 当立柱受力状态不满足款 1 要求时，当在作用（荷载）的频遇组合和荷载准永久组合下接缝处正截面受拉边缘出现拉应力，但拉应力小于预制构件材料和接缝界面材料的允许设计拉应力时，可不对接缝层进行特殊处理；

3 当立柱受力状态不满足本条款 1 和款 2 的要求时,但是按频遇组合并考虑长期作用影响时计算的裂缝宽度不超过规范规定的最大裂缝宽度限值时,可采用合适方式将受拉边缘拉应力控制到预制构件材料和接缝界面材料的相应允许设计拉应力,或将接缝层埋入承台结构内部 5cm 以上,并确保接缝层外包承台混凝土强度、刚度、耐久性。

5.2 吊点

5.2.1 预制构件的吊点可采用预埋钢筋吊环、预埋钢绞线吊环、预留吊装孔、预埋吊耳等形式。

5.2.2 吊点设计除应进行吊件在拉拔、剪切和拉剪耦合三种受力状态下自身强度验算外,尚应对预埋吊件的各种锚固破坏形态进行验算。验算时,应考虑各种不利荷载的基本组合,分项系数应取为 1。吊环的应力允许值应计入安全系数和动力系数的影响,且不应大于屈服强度标准值的 1/4.5 倍。

5.2.3 预埋钢筋吊环应采用 HPB300 钢筋制作,严禁使用冷加工钢筋。每个吊环按两肢截面计算,在构件自重标准值作用下,吊环的拉应力不应大于 65MPa。

5.2.4 预埋钢绞线吊环宜采用符合现行国家标准《预应力混凝土用钢绞线》GB/T 5224 的公称直径为 15.2mm、抗拉强度标准值为 1860MPa 的高强度低松弛钢绞线。每个吊环按两肢截面计算,只存在垂直吊工况时,在作用基本组合下,钢绞线的拉应力不应大于 350MPa。对于存在翻转和垂直吊组合工况,且翻转次数不大于 3 次时,在作用基本组合下,钢绞线的拉应力不应大于 280MPa。

5.2.5 吊点混凝土的承载能力应按照现行行业标准《混凝土结构后锚固技术规程》JTJ 145 进行验算。

5.2.6 构件吊点应根据构件重心位置和吊装工况按照最不利情况分配吊点荷载。

5.2.7 构件翻身次数超过 3 次及以上，单个钢绞线吊环承载能力标准值应通过现场同工况试验确定，由试验确定的钢绞线吊环安全系数不应小于 3。

5.2.8 预埋钢筋吊环中钢筋锚入预制构件的深度不应小于 35 倍吊环直径，端部应做成 180° 弯钩，且应与构件内钢筋焊接或绑扎。

5.2.9 预埋钢绞线吊环布置应符合以下规定：

1 制作时，宜采用 2~3 根钢绞线一组进行弯制；

2 预埋时，钢绞线吊环宜伸出预制构件 200mm 以上，伸出部分宜采用 1mm 厚以上的铁管进行包裹；锚固端应按 P 锚设置，埋深应大于 1m。钢绞线吊环的弯曲半径不应小于 80mm。

5.2.10 预制构件的吊点距离预制构件边缘的最小边距应大于 15cm。

6 预制拼装桥墩抗震设计

6.1 一般规定

6.1.1 本章适用于墩高小于 40m 的预制拼装桥墩抗震分析。对于墩高超过 40m,墩身在计算方向第一阶振型质量参与系数小于 60%,且结构进入塑性的高墩桥梁,应做专项研究。

6.1.2 预制拼装桥墩抗震设计、分析计算、验算和延性构造应符合现行行业标准《城市桥梁抗震设计规范》CJJ 166、《公路桥梁抗震设计规范》JTG/T 2231-01 的相关规定。

6.1.3 预制拼装桥墩抗震设计参照现行行业抗震设计规范,可采用类型 I 和类型 II 两种抗震体系。对于设防烈度 8 度地区,优先采用类型 II 抗震体系。

1 采用类型 I 抗震体系时,桥墩采用延性设计,参照本规范 6.2 节及第七章相关条款进行抗震计算及抗震构造措施设计。设防烈度 7 度地区,采用灌浆套筒连接时,灌浆连接套筒宜布置在预制立柱中。设防烈度 8 度地区,连接套筒或金属波纹管应设置在承台及盖梁内。

2 采用类型 II 抗震体系时,桥墩采用减隔震设计,减隔震装置应满足现行行业抗震设计规范的相关要求。

6.1.4 在进行预制拼装桥墩抗震分析时,E1 地震作用下,立柱抗弯刚度可按毛截面计算,考虑柱身内连接套筒对立柱刚度的影响;E2 地震作用下,潜在屈服立柱的有效截面抗弯刚度应按下式计算:

$$E_c \times I_{\text{eff}} = \frac{M_y}{\phi_y} \quad (6.1.4)$$

式中： E_c ——立柱的混凝土弹性模量(kN/m²)；

I_{eff} ——立柱有效截面抗弯惯性矩(m⁴)；

M_y ——立柱屈服弯矩(kN·m)；

ϕ_y ——等效屈服曲率(1/m)。

6.1.5 E1 地震作用下，预制拼装立柱应在弹性范围内工作，基本不损伤，应校核其强度；E2 地震作用下，预制拼装立柱可发生轻微损伤，产生弹塑性变形，耗散地震能量，但立柱的塑性铰区域应具有足够的塑性变形能力。

6.1.6 预制拼装桥墩中的盖梁和基础应按能力保护原则设计，在 E2 地震作用下基本不发生损伤。

6.2 抗震验算

6.2.1 E2 地震作用下，预制拼装立柱按式(6.2.2)验算潜在塑性铰区域沿顺桥向、横桥向的塑性转动能力，但对于规则桥梁，可按式(6.2.3)验算桥立柱顶的位移。

6.2.2 E2 地震作用下，应按下式验算立柱潜在塑性铰区域沿顺桥向、横桥向的塑性转动能力：

$$\theta_p \leq \theta_u \quad (6.2.2)$$

式中： θ_p ——在 E2 地震作用下，潜在塑性铰区域的塑性转角；

θ_u ——塑性铰区域的最大容许转角，按本规程第 6.2.4 条的规定计算。

6.2.3 在 E2 地震作用下，规则桥梁中的预制拼装立柱可按按下式验算柱顶的位移：

$$\Delta_d \leq \Delta_u \quad (6.2.3)$$

式中： Δ_d ——E2 地震作用下柱顶的位移(cm)；

Δ_u ——立柱容许位移(cm)，可按本规程第 6.2.5 条或 6.2.6 条的规定计算。

6.2.4 塑性铰区域的最大容许转角应根据极限破坏状态的曲率能力，按下式计算：

$$\theta_u = L_p (\phi_u - \phi_y) / K \quad (6.2.4-1)$$

式中： ϕ_y ——截面的等效屈服曲率(1/cm)，可按本规程第 6.2.7 条的规定计算；

ϕ_u ——极限破坏状态的曲率能力(1/cm)，可按本规程第 6.2.8 条的规定计算；

K ——延性安全系数，灌浆套筒位于墩身潜在塑性铰区域时取 2.5，灌浆套筒或灌浆金属波纹管位于承台或盖梁内时取 2.2；

L_p ——等效塑性铰长度(cm)，可取下两式计算结果的较小值：

$$L_p = 0.08H + 0.022 f_y d_s \geq 0.044 f_y d_s \quad (6.2.4-2)$$

$$L_p = \frac{2}{3} b \quad (6.2.4-3)$$

式中： H ——悬臂柱的高度或塑性铰截面到反弯点的距离(cm)；

b ——矩形截面的短边尺寸或圆形截面直径(cm)；

f_y ——纵向钢筋抗拉强度标准值(MPa)；

d_s ——纵向钢筋的直径(cm)。

6.2.5 预制单立柱容许位移应按下列式计算：

$$\Delta_u = \frac{1}{3}H^2 \times \varphi_y + (H - \frac{L_p}{2}) \times \theta_u \quad (6.2.5)$$

6.2.6 对于预制双柱墩、排架墩(图 6.2.6)，其顺桥向的容许位移可按式 6.2.5 计算；横桥向的容许位移可在盖梁处施加水平力 F ，进行非线性静力分析，当立柱的任一塑性铰达到其最大容许转角时，盖梁处的横桥向水平位移即为容许位移。

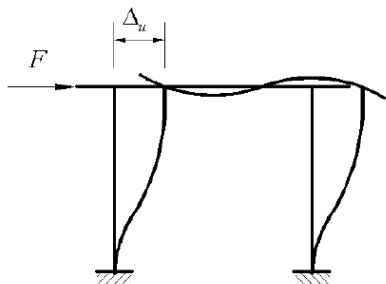


图 6.2.6 框架型预制拼装桥墩

6.2.7 理想弹塑性弯矩—曲率($M-\phi$)曲线的等效屈服曲率 ϕ_y ，可根据图 6.2.7 中两个阴影面积相等求得，计算中应考虑最不利轴力组合。

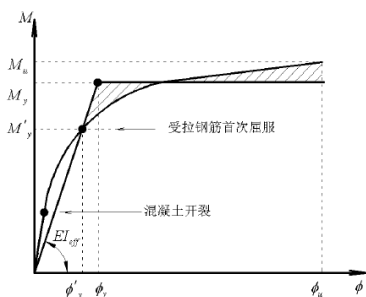


图 6.2.7 等效屈服曲率

6.2.8 极限破坏状态的曲率能力 ϕ_u 应通过考虑最不利轴力组合的 $M-\phi$ 曲线确定，为混凝土应变达到极限压应变 ϵ_{cu} ，或约束钢筋达到折减极限应变 ϵ_{su}^R ，或纵向钢筋达到折减极限应变 ϵ_{lu} 时相应的曲率。

6.2.9 对于高宽比小于 2.5 的预制拼装矮立柱，可不验算立柱的变形，但应将其顺桥向和横桥向 E2 地震作用效应和永久作用效应组合后，按现行的公路桥涵设计规范规定验算立柱的强度。

6.2.10 预制拼装立柱塑性铰区域沿顺桥向和横桥向的斜截面抗剪强度应按下列公式验算：

$$V_{cd} \leq \phi(V_c + V_s) \quad (6.2.10-1)$$

$$V_c = 0.1v_c A_e \quad (6.2.10-2)$$

$$v_c = \begin{cases} 0, & P_c \leq 0 \\ \lambda(1 + \frac{P_c}{1.38 \times A_g})\sqrt{f_{cd}} \leq \min \begin{cases} 0.355\sqrt{f_{cd}} \\ 1.47\lambda\sqrt{f_{cd}} \end{cases}, & P_c > 0 \end{cases} \quad (6.2.10-3)$$

$$0.03 \leq \lambda = \frac{\rho_s f_{yh}}{10} + 0.38 - 0.1\mu_\Delta \leq 0.3 \quad (6.2.10-4)$$

$$\rho_s = \begin{cases} \frac{4A_{sp}}{sD'}, \text{圆形截面} \\ \frac{2A_v}{bs}, \text{矩形截面} \end{cases} \leq 2.4 / f_{yh} \quad (6.2.10-5)$$

$$V_s = \begin{cases} 0.1 \times \frac{\pi A_{sp} f_{yh} D'}{2s}, & \text{圆形截面} \\ 0.1 \times \frac{A_v f_{yh} h_0}{s}, & \text{矩形截面} \end{cases} \leq 0.08 \sqrt{f_{cd}} A_e \quad (6.2.10-$$

6)

式中： V_{c0} ——剪力设计值(kN)；
 V_c ——塑性铰区混凝土的抗剪能力贡献(kN)；
 V_s ——横向钢筋的抗剪能力贡献 (kN)；
 v_c ——塑性铰区混凝土抗剪强度(MPa)；
 f_{cd} ——混凝土抗压强度设计值(MPa)；
 A_e ——核心混凝土面积，可取 $A_e=0.8A_g(\text{cm}^2)$ ；
 A_g ——立柱塑性铰区域截面全面积(cm^2)；
 μ_Δ ——立柱位移延性系数，为立柱地震位移需求 Δ_d 与立柱塑性铰屈服时的位移 Δ_y 之比；
 P_c ——立柱截面最小轴力，对于框架墩横桥向需按6.2.6条计算(kN)；
 A_{sp} ——螺旋箍筋面积(cm^2)；
 A_v ——计算方向上箍筋面积总和(cm^2)；
 s ——箍筋的间距(cm)；
 f_{yh} ——箍筋抗拉强度设计值(MPa)；
 b ——墩柱的宽度(cm)；
 D' ——螺旋箍筋环的直径(cm)；
 h_0 ——核心混凝土受压边缘至受拉侧钢筋重心的距离(cm)；
 ϕ ——抗剪强度折减系数， $\phi=0.85$ 。

7 构造设计

7.0.1 预制拼装桥墩设计中应考虑预应力筋管道、钢筋、连接套筒或金属波纹管相互之间的合理布置。

7.0.2 预制拼装立柱纵向钢筋宜采用直径 28mm 及以上的大直径钢筋，纵向钢筋之间的中心距宜小于 200mm，且至少每隔一根宜用箍筋或拉筋固定。

7.0.3 预制拼装桥墩套筒间净距不宜小于下面三个条件中的大值：25mm、骨料最大粒径的 1.5 倍、被连接纵向钢筋的直径 d_s 。灌浆套筒的混凝土保护层厚度不应小于 30mm，最外侧钢筋的混凝土保护层厚度应符合现行《公路钢筋混凝土及预应力混凝土桥涵设计规范》JTG 3362 及相关现行行业耐久性设计规范的规定。

7.0.4 采用灌浆套筒连接建造的预制桥墩，应在灌浆连接套筒压浆口下缘处设一道箍筋。

7.0.5 预制拼装桥墩中的灌浆套筒的混凝土保护层厚度不应小于 30mm，最外侧钢筋的混凝土保护层厚度应符合现行《公路钢筋混凝土及预应力混凝土桥涵设计规范》JTG 3362 的规定。

7.0.6 预制拼装桥墩中的圆形金属波纹管净距不应小于 50mm，且不应小于管道直径的 1 倍，保护层厚度应符合行业现行标准《公路钢筋混凝土及预应力混凝土桥涵设计规范》JTG 3362 及相关现行行业耐久性设计规范的规定，宜大于 100mm。

7.0.7 当预制拼装桥墩中纵向受力钢筋的混凝土保护层厚度大于 50mm，小于 65mm 时，当由作用频遇组合和预加力产生的混凝土主拉应力小于 0.7 倍混凝土的抗拉强度标准值时，可不对保护层配置防裂、防剥落的钢筋网片。

7.0.8 预制拼装桥墩中立柱与承台或立柱与盖梁之间的拼装接缝砂浆垫层厚度宜为 20mm~30mm。立柱与立柱，盖梁与盖梁之间宜采用环氧接缝，厚度宜为 1mm~3mm。

7.0.9 连接套筒设置在立柱内且其位于潜在塑性铰区域内时，箍筋的配置还应符合下列要求：

1 箍筋加密区的长度应符合《城市桥梁抗震设计规范》CJJ 166、《公路桥梁抗震设计规范》JTG/T 2231-01 的规定，且不应小于连接套筒的高度加 $5d$ (d 为连接套筒外径) 范围；

2 连接套筒高度加 $5d$ (连接套筒外径) 范围外箍筋量应逐渐减少，但箍筋的体积配箍率不应少于塑性铰区域体积配箍率的 50%。

7.0.10 灌浆连接套筒与箍筋连接应采用绑扎，不得采用焊接。

7.0.11 墩柱的纵向钢筋应延伸至盖梁和承台的另一侧面，且纵向钢筋的锚固长度应在现行《公路钢筋混凝土及预应力混凝土桥涵设计规范》JTG 3362 要求的基础上增加 $10d_s$ (d_s 为纵向钢筋的直径) 或采用其他等效锚固措施。

7.0.12 预制拼装桥墩柱身塑性铰加密区域配置的箍筋应延伸到盖梁和承台内，当连接套筒或波纹管位于盖梁或承台内时，在满足现行抗震设计规范构造要求的情况下，延伸到盖梁和承台的距离还不宜小于连接套筒或波纹管的高度。

7.0.13 预制立柱中采用预应力钢绞线或精轧螺纹钢时宜将张拉端置于立柱顶端，锚固端置于承台内，锚固端采用预埋式带索 P 形锚具或后穿自锁式锚具。

7.0.14 预制拼装盖梁采用上下分层浇筑混凝土时，下层预制构件与上层现浇结构之间可不使用剪力键。预制拼装盖梁采用横向分段预制拼装建造时，预制构件的拼接面宜采用剪力键。

7.0.15 立柱拼接缝宜避开水位变动区。当拼接缝处于冻融范围或水位变动区时，接缝处应采用提高耐久性的措施。

7.0.16 桩柱式桥墩的立柱、系梁采用预制拼装时，应符合下列规

定：

1 中部系梁整体预制时，上下应各带一段立柱，每段高度应不小于 1.5 倍柱径 D 或 1.5 倍立柱长边尺寸 A ，如图 7.0.16-1 所示；

2 顶部系梁整体预制时，上端至立柱顶，下端带立柱预制，长度应不小于 1.5 倍柱径 D 或 1.5 倍立柱长边尺寸 A ，如图 7.0.16-2 所示；

3 当系梁分段预制并设置预应力时，拼接缝可设置在系梁端部距离立柱不小于 0.5m 处，接缝应采用环氧粘结剂，拼接面应如图斜向设置，如图 7.0.16-3 所示。拼接面斜交角 α 不宜小于 60° 。

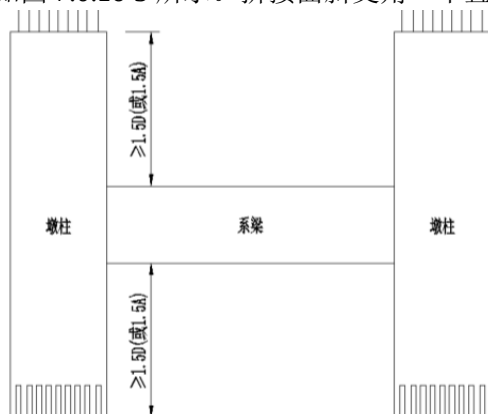


图 7.0.16-1 中部系梁预制示意图



图 7.0.16-2 顶部系梁预制示意图

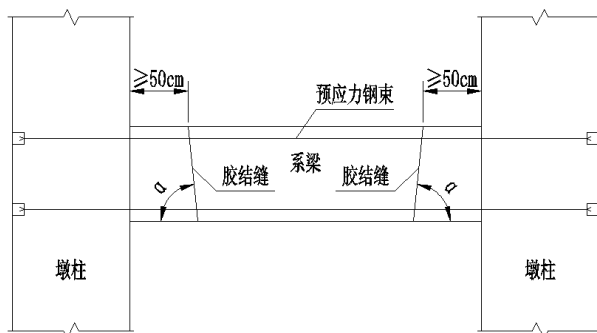


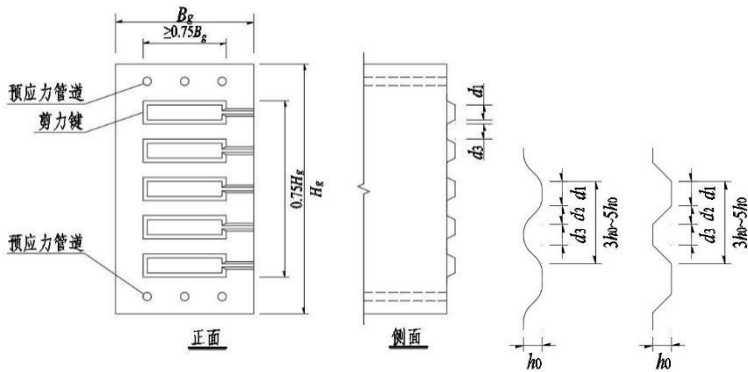
图 7.0.16-3 系梁设置预应力预制示意图

7.0.17 对可能承受车辆撞击力作用的墩柱，可考虑采用剪力键拼接方式。

7.0.18 抗震设防烈度 8 度地区的桥梁，桥墩预制拼装构件的拼接面宜设置剪力键。

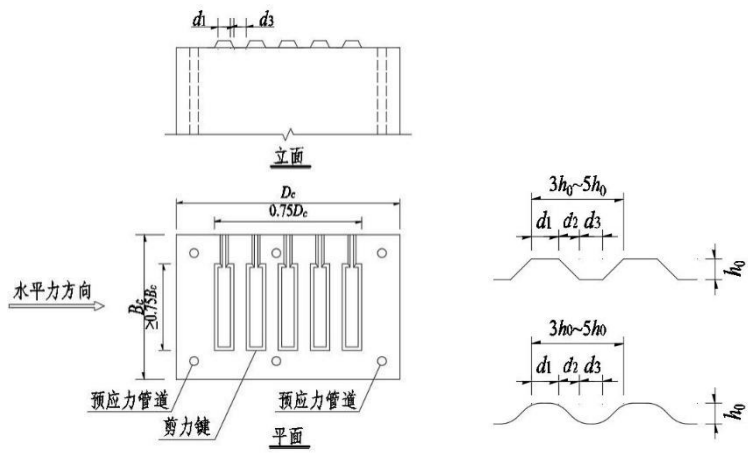
7.0.19 剪力键的设计应保证施工方便、受力安全可靠。剪力键的尺寸可以参照图 7.0.19-1、图 7.0.19-2 进行设计。其他类型的剪力键在进行充分的论证后亦可使用。剪力键中宜布置直径不低于

6mm 的构造钢筋。



(a) 剪力键构造 (b) 剪力键大样

图 7.0.19-1 盖梁剪力键构造尺寸示意图



(a) 剪力键构造 (b) 剪力键大样

图 7.0.19-2 墩柱剪力键构造尺寸示意图

7.0.20 应根据安装时剪力键中环氧树脂胶粘结剂的挤出能力合理的进行剪力键的设计。可将剪力键（槽）一侧设置成与构件表面平齐（图 7.0.20-a），或在剪力槽设置一道出胶口（图 7.0.20-b），并对构件匹配面施加预压力，以促进环氧树脂胶的挤出。

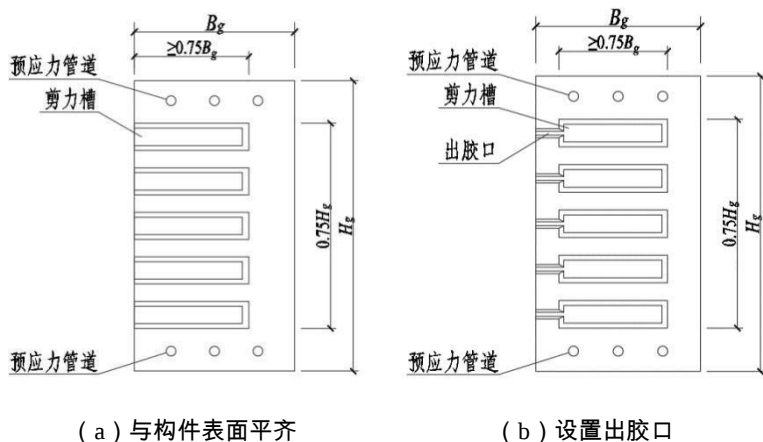


图 7.0.20 剪力槽构造示意图

7.0.21 灌浆套筒或金属波纹管设置在承台及盖梁内时，立柱箍筋的配置应符合工程所采用抗震规范中相应的构造要求。

7.0.22 其他抗震构造措施设计应满足现行行业标准《城市桥梁抗震设计规范》CJJ 166、《公路桥梁抗震设计规范》JTG/T 2231-01 的相关规定。

附录 A 高性能混凝土原材料性能指标要求

A.0.1 水泥应选用品质稳定、强度等级不低于 42.5 的硅酸盐水泥或普通硅酸盐水泥，并应符合现行国家标准《通用硅酸盐水泥》GB 175 的规定。

A.0.2 高性能混凝土所用的粉煤灰、磨细矿渣粉和硅灰等矿物掺合料应符合《公路桥涵施工技术规范》JTG/T 3650-2020 中第 6.7 节和第 6.15.8 条的规定。

A.0.3 高性能混凝土粗骨料应满足以下条件：粒径不应大于 20mm，针片状含量不应大于 7%，含泥量不应大于 1%，泥块含量不应大于 0.25%。

A.0.4 高性能混凝土细骨料宜采用级配 II 区的中砂，含泥量不应大于 3%，泥块含量不应大于 0.25%。

A.0.5 高性能混凝土减水剂应采用高性能聚羧酸减水剂，减水率不应小于 25%。

本规程用词说明

1 为便于在执行本规程条文时区别对待，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：

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，采用“可”。

2 条文中指明应按其他有关标准执行的写法为：“应符合……的规定”或“应按……执行”。

引用标准名录

- | | |
|----------------------------|------------|
| 1. 《优质碳素结构钢》 | GB/T 699 |
| 2. 《球墨铸铁件》 | GB/T 1348 |
| 3. 《低合金高强结构钢》 | GB/T 1591 |
| 4. 《合金结构钢》 | GB/T 3077 |
| 5. 《预应力混凝土用钢丝》 | GB/T 5223 |
| 6. 《预应力混凝土用钢绞线》 | GB/T 5224 |
| 7. 《结构用无缝钢管》 | GB/T 8162 |
| 8. 《预应力筋用锚具、夹具和连接器》 | GB/T 14370 |
| 9. 《预应力混凝土用螺纹钢筋》 | GB/T 20065 |
| 10. 《混凝土结构耐久性设计规范》 | GB/T 50476 |
| 11. 《水泥基灌浆材料应用技术规范》 | GB/T50448 |
| 12. 《城市桥梁设计规范》 | CJJ 11 |
| 13. 《城市桥梁抗震设计规范》 | CJJ 166 |
| 14. 《预应力混凝土用金属波纹管》 | JG 225 |
| 15. 《建筑钢结构焊接技术规程》 | JGJ 81 |
| 16. 《预应力筋用锚具、夹具和连接器应用技术规程》 | JGJ 85 |
| 17. 《钢筋套筒灌浆连接应用技术规程》 | JGJ 355 |
| 18. 《自密实混凝土应用技术规程》 | JGJ/T 283 |
| 19. 《钢筋连接用灌浆套筒》 | JG/T 398 |
| 20. 《公路工程抗震规范》 | JTG B02 |
| 21. 《公路桥涵设计通用规范》 | JTG D60 |
| 22. 《公路桥涵地基与基础设计规范》 | JTG 3363 |
| 23. 《公路钢筋混凝土及预应力混凝土桥涵设计规范》 | JTG 3362 |

- | | |
|------------------------|---------------|
| 24. 《公路工程质量检验评定标准》 | JTG F80/1 |
| 25. 《公路工程混凝土结构耐久性设计规范》 | JTG/T 3310 |
| 26. 《公路桥梁抗震设计规范》 | JTG/T 2231-01 |
| 27. 《公路桥梁抗风设计规范》 | JTG/T 3360 |
| 28. 《公路桥涵施工技术规范》 | JTG/T 3650 |
| 29. 《预应力混凝土桥梁用塑料波纹管》 | JT/T 529 |
| 30. 《天津市城市桥梁工程施工及验收标准》 | DB/T 29-75 |
| 31. 《天津市市政公路桥梁减隔震设计规程》 | DB 29-233 |

天津市工程建设标准

天津市预制拼装桥墩设计规程

DB/T29-302-2022

J16380-2022

条文说明

2022 天 津

制 订 说 明

本规程制订过程中，编制组进行了广泛而深入的调查研究，总结了天津市及外省市预制拼装混凝土桥墩设计、施工等方面的实际工程经验，同时参考了行业和外省市先进技术法规、技术标准制订了本规程。

为便于广大设计单位有关人员在使用本规程时能正确理解和执行条文规定，《天津市预制拼装桥墩设计规程》编制组按章、节、条顺序编制了本规程的条文说明，对条文规定的目的、依据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规程正文同等的法律效力，仅供使用者作为理解和把握规程规定的参考。

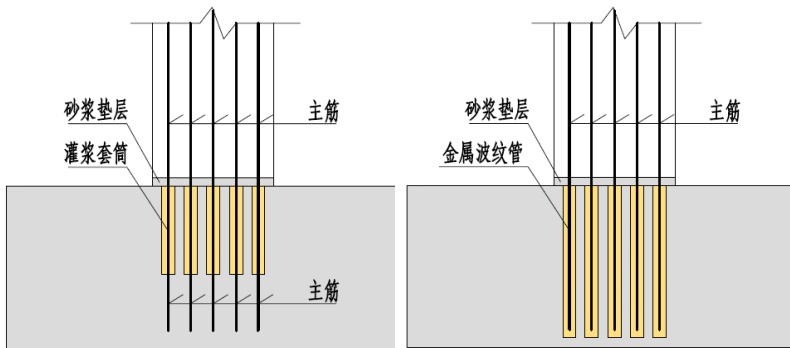
目 次

1	总则	41
3	基本规定	43
4	材料	44
4.1	混凝土	44
4.2	钢筋	44
4.3	高强无收缩水泥灌浆料	45
4.4	砂浆垫层	45
4.5	灌浆连接套筒	46
4.6	灌浆连接金属波纹管	50
4.7	环氧树脂胶	52
4.8	预应力筋—锚具组装件	52
5	预制拼装桥墩结构设计	54
5.1	桥墩	54
5.2	吊点	56
6	预制拼装桥墩抗震设计	60
6.1	一般规定	60
6.2	抗震验算	61
7	构造设计	70

1 总则

1.0.1 预制拼装技术在上部结构中已广泛应用，但在立柱、盖梁等下部结构中尚未大规模应用，为了促进和指导预制拼装技术在桥梁下部结构的应用，响应国家节能减排和绿色建筑的战略要求，科学合理缩短施工周期，最大限度降低桥梁施工对交通和社会环境的干扰影响，进一步保证安全质量，有效控制工程造价，实现人本化管理，大力推行工厂化、机械化等现代化施工手段，全面促进桥梁行业的进步，并明确预制拼装桥墩的设计及施工技术要求，因此制定本规程。

1.0.3 预制拼装技术混凝土桥墩的连接方式有多种类型，但综合国内外有关各种类型连接方式的研究成果以及技术的成熟度，本标准仅针对研究成果和实际应用技术相对成熟的套筒灌浆连接和灌浆金属波纹管连接两类连接方式予以规定，其它连接方式需通过专项研究论证，确认可行后方可采用。套筒灌浆连接是通过高强无收缩灌浆料填充在钢筋与连接套筒间隙，硬化后形成接头，将一根钢筋中的力传递至另一根钢筋的连接构造（见图 1.0.3-a）；灌浆金属波纹管连接是通过高强无收缩水泥灌浆料填充在钢筋与金属波纹管间隙，硬化后形成对钢筋的锚固作用（见图 1.0.3-b）。



(a) 灌浆套筒连接

(b) 金属波纹管连接

图 1.0.3 预制拼装桥墩连接

国内外关于采用套筒灌浆连接或灌浆金属波纹管连接的预制拼装桥墩的抗震性能研究的成果表明，灌浆套筒或金属波纹管设置在承台或盖梁内时，其抗震性能等同现浇混凝土桥墩；但灌浆套筒设置在墩身塑性铰区时，其破坏模式与现浇混凝土桥墩略有不同，塑性损伤集中在拼接缝和套筒顶部，套筒高度范围内，损伤轻微，存在纵筋塑性变形集中的现象，导致其延性能力略低于现浇混凝土桥墩，因此，采用灌浆套筒或波纹管连接方式的预制桥墩可用于地震危险区，但对于 8 度区，宜采用灌浆套筒或波纹管设置在承台或盖梁内的连接方案。

1.0.4 本标准不能代替所有技术标准，故预制拼装桥墩设计除应符合本规程外，尚应符合现行《公路桥涵设计通用规范》JTG D60、《公路钢筋混凝土及预应力混凝土桥涵设计规范》JTG 3362、《城市桥梁抗震设计规范》CJJ 166、《公路桥梁抗震设计规范》JTG/T 2231-01、《公路桥涵施工技术规范》JTG/T 3650 等现行国家、行业和本市相关技术标准的规定。

3 基本规定

3.0.1~3.0.3 桥梁桥墩预制拼装方案与预制能力、运输能力、拼装场地条件、吊装能力等因素关系密切，因此在工程可行性研究、初步设计及施工图阶段必须加强和相关单位的沟通协作，因地制宜地制定桥墩预制尺寸和形状，并尽量统一，使得预制拼装技术真正实现标准化、集约化生产。

此外，构件的预制方案受运输条件的限制较多，因此宜结合本地实际情况，在充分调研运输路线上道路、桥涵限载及空间限制条件的基础上，确定预制构件的控制重量。

3.0.5~3.0.6 根据套筒灌浆连接及灌浆金属波纹管连接不同的锚固力学机理及施工可行性，本条提出了套筒灌浆连接及灌浆金属波纹管连接的使用范围。由于高立柱受限于运输吊装条件，可采用分段预制、节段间连接采用套筒灌浆连接的方案，分段数量建议尽量少，以减少现场工作量。

4 材料

4.1 混凝土

4.1.1 推荐在预制构件中使用高标号混凝土和高性能混凝土，提升预制构件质量，节约预制构件材料。

4.1.2 由于预制桥墩振捣难度较大，考虑到采取工厂化生产模式，高性能混凝土质量比较容易受控，因此为保证质量和推动混凝土行业进步，推荐使用具有自密实能力的高性能混凝土。自密实能力的高性能混凝土的拌合对原材料要求比较高，在总结国内其他地区成功经验的基础上，附录 A 中提出了具体的原材料性能指标要求。

4.2 钢筋

4.2.1 由于目前工程中常用的钢筋主要为 HRB400 级，大量的研究数据也都是基于 HRB400 级钢筋进行的实验研究得到的，因此本工程中的相关规定主要针对 HRB400 级钢筋提出，对于 HRB500 及以上热轧钢筋，应进行连接方式和锚固长度的专项研究。

4.2.3 预制拼装技术对精度提出了较高的要求，对钢筋加工精度也提出了要求，因此钢筋在下料时应确保钢筋平直、无弯折、端部磨平。

4.3 高强无收缩水泥灌浆料

4.3.1~4.3.2 高强无收缩水泥灌浆料是两种连接模式均需使用的填充料，其物理力学指标是保证结构安全、可靠、耐久和可施工性的重要因素，其组分构成是以水泥作为结合剂，辅以高强骨料及高性能外加剂，在参考国外和国内房屋建筑预制装配相应灌浆料技术指标的基础上，本规程编写单位还进行了大量的基础试验，得出了适用于预制桥墩的具体技术指标，并在 4.3.2 中提出了相应的试验方法。

4.3.3 为确保高强无收缩水泥灌浆料质量可靠，应采购正规厂家生产的产品。同时为方便运输和投料，每袋重量不宜大于 25 公斤，包装袋上应标识详尽的使用说明。

由于高强无收缩水泥灌浆料受潮后物理力学指标会发生较大改变，因此出厂后和开封后均应尽快使用，特别是开封后如有剩余应立即废弃。

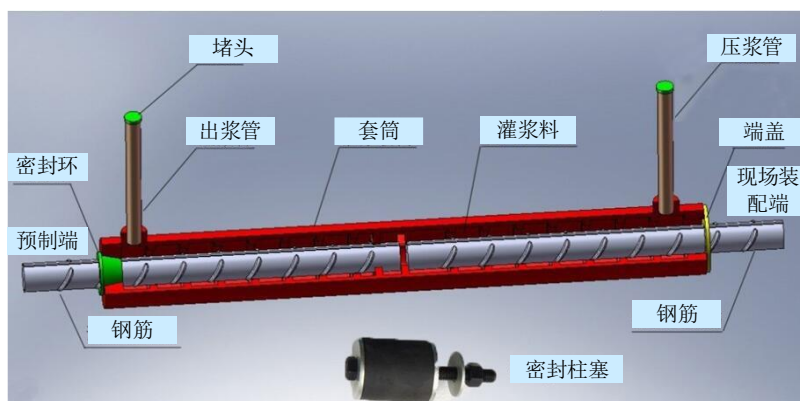
4.4 砂浆垫层

4.4.1 不同类型预制构件之间拼接，拼接缝垫层宜采用高强砂浆无收缩水泥基材料，以避免砂浆垫层先于构件损伤；考虑到高强无收缩水泥砂浆强度测试，抗压强度试验按《水泥基灌浆材料应用技术规范》GB/T50448-2015 附录 A 中 A.0.5 进行，试块尺寸为 40mm×40mm×160mm，而桥墩等构件混凝土强度测试，试块尺寸为 150mm×150mm×150mm，因此，常规两者强度测试采用的试块尺寸不同，会因尺寸不同，导致测试强度数值存在差异；为了方便强度比较，砂浆垫层材料测试试块尺寸宜与混凝土试块采用同一尺寸。

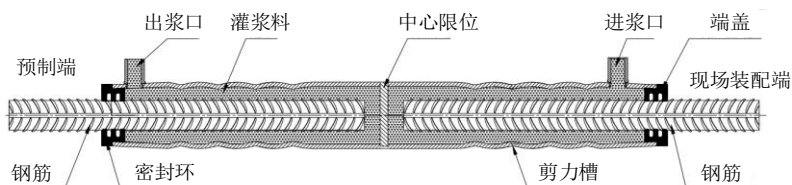
4.4.3 对于不同类型构件，如立柱与承台、立柱与盖梁，考虑到拼接缝的有效施工时间和强度等级，应选择有效施工时间较长的高强砂浆。

4.5 灌浆连接套筒

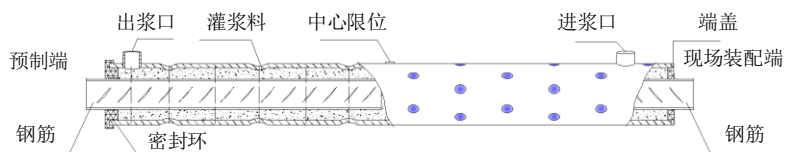
4.5.2 灌浆套筒的作用是将一根钢筋的力传递至另一根钢筋，因此在工厂预制安装部分可采用现场灌浆连接或者直接采用机械连接。全灌浆套筒指一端为预制安装端，另一端为现场拼装端，套筒中间应设置钢筋限位挡板，套筒下端应设置压浆口，套筒上端应设置出浆口，见图 4.5.2-1。



(a) 球墨铸铁全灌浆套筒示意图



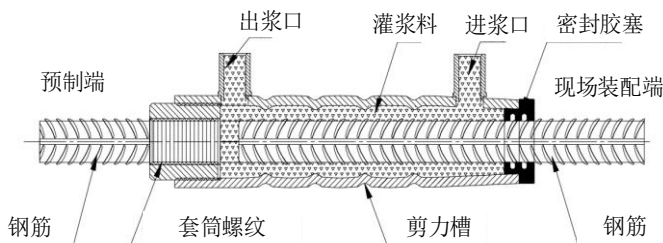
(b) 机械加工全灌浆套筒示意图 (剪力槽型)



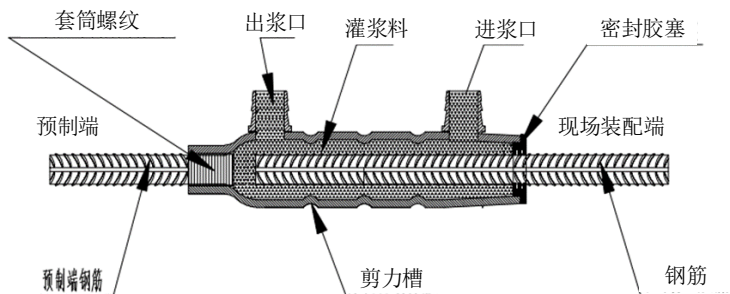
(c) 机械加工全灌浆套筒示意图 (凹点型)

图 4.5.2-1 全灌浆套筒

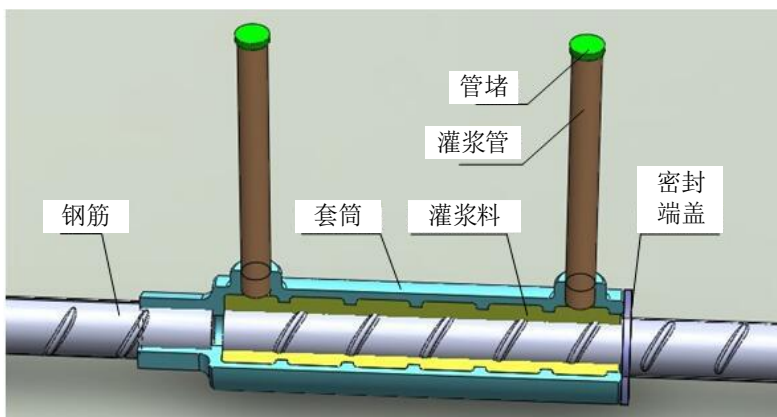
半灌浆套筒指钢筋机械连接端为预制安装端，另一端为现场拼装端，现场拼装端下端应设置压浆口，上端应设置出浆口，见图 4.5.2-2。半灌浆套筒螺纹机械连接段在反复荷载作用下易发生脆性破坏，灌浆套筒产品应采取措施避免脆性破坏发生。



(a) 钢筋连接用机械加工半灌浆套筒示意图 (嵌入式，以剪力槽型为例)



(b) 钢筋连接用机械加工半灌浆套筒 (挤压式, 以嵌入式为例)



(c) 球墨铸铁半灌浆套筒

图 4.5.2-2 半灌浆套筒

4.5.3 根据目前已有数据的预制桥墩拟静力试验, 被测试构件中使用的球墨铸铁灌浆套筒采用的是 QT600-5 材料, 工程中的球墨

铸铁灌浆套筒材料性能不应低于该材料的性能。

4.5.4 根据目前已有数据的预制桥墩拟静力试验,被测试构件中使用的机械加工灌浆套筒采用的是现行《优质碳素结构钢》GB/T 699 中规定的 45 号钢,工程中的机械加工灌浆套筒材料性能不应低于这种钢材的性能。

4.5.5 退火处理不到位会使机械加工灌浆套筒中存在残余应力,削弱机械加工灌浆套筒的实际性能。

4.5.6 根据 HRB400 钢筋接头试验研究,对于全灌浆套筒,为保证钢筋、灌浆料及套筒体系可靠,套筒一端钢筋锚固长度不应小于 $10d_s$ (d_s 为被连接纵向钢筋直径);为保证压浆质量,压浆顺序应由下至上,并保证在压浆口下缘布置一道箍筋,因此,压浆口下缘与端部净距应大于 30mm,不宜大于 50mm;由于全灌浆套筒分现场拼装端和预制安装端,安装时应特别注意。对于 HRB500 及以上热轧钢筋,应进行连接方式和锚固长度的专项研究。

4.5.7 根据 HRB400 钢筋接头试验和理论研究,对于半灌浆套筒,为保证钢筋、灌浆料及套筒体系可靠,现场灌浆拼接端钢筋锚固长度不应小于 $10d_s$ (d_s 为被连接纵向钢筋直径)。对于 HRB500 及以上热轧钢筋,应进行连接方式和锚固长度的专项研究。

4.5.8 用于预制拼装桥墩的连接套筒,需满足现行国家行业标准《钢筋套筒灌浆连接应用技术规程》JGJ 355 中对连接套筒性能的要求,同时考虑到桥梁构件中灌浆套筒常设置在塑性铰区,连接重要性非常高,因此相比现行国家行业标准《钢筋连接用灌浆套筒》JG/T 398 对试件实测抗拉强度有提高。

4.5.9 要求灌浆连接套筒与高强无收缩水泥灌浆料组合体系采用同一供货商产品,是为了便于质量与责任的追溯。组合体系的单向拉伸强度试验方法和判定标准按照本规程 4.5.12 条。

4.5.10 为满足预制和拼装施工,灌浆连接套筒应包含一整套配件,包括压浆管、出浆管、密封环、端盖、止浆塞、密封柱塞等,其中

压浆管、出浆管宜为非金属材料。实际工程中,由于端盖性能不佳,出现过坐浆料倒灌的情况,应特别注意端盖的密封性能。

4.5.12 鉴于灌浆连接套筒的实际制作工艺有别于常规的机械连接接头,产品可靠度相对较高,因此根据实际工程的应用总结,提出了灌浆连接套筒的检验要求。

4.6 灌浆连接金属波纹管

4.6.1 为保证钢筋、波纹管与混凝土三者锚固可靠和耐久性,波纹管材质应为防腐性能较好的金属材质,形状应为圆形,因此规定为圆形不锈钢波纹管,见图 4.6.1。

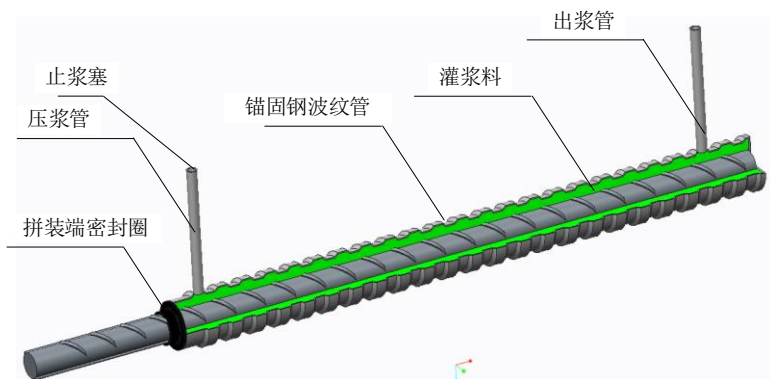


图 4.6.1 灌浆连接金属波纹管

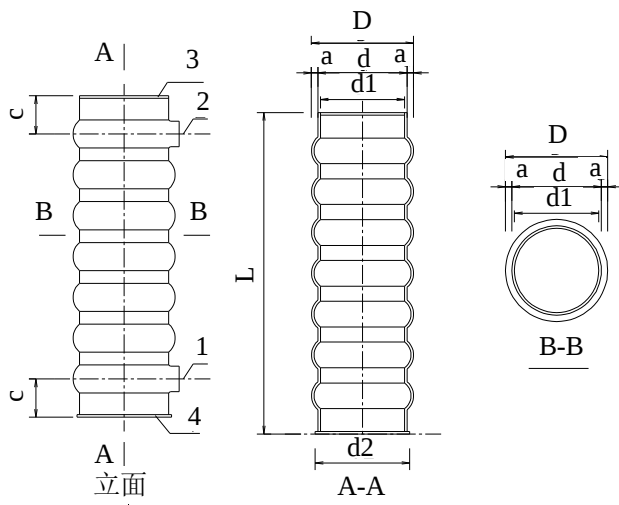
4.6.2 根据试验研究,为确保灌浆金属波纹管连接可靠,本条文对波纹管的长度、直径、肋高等做出了一系列的规定。行业现行标准《公路钢筋混凝土及预应力混凝土桥涵设计规范》JTG 3362 及《公路桥梁抗震设计规范》JTG/T 2231-01 对受拉直筋锚固于强度大于

C40 混凝土，建议锚固长度大于 $30d_s$ ，考虑抗震影响，建议增加 $10d_s$ 。美国 AASHTO 建议的锚固长度计算见下式：

$$\text{Max} \left(\frac{0.02A_b f_y}{\sqrt{f'_c}} \times 0.8 \times 0.75, 0.06d_b f_y \right) \approx 24d_b \quad (4.6.2)$$

式中： A_b —钢筋面积， f_y —钢筋设计屈服强度， f'_c —混凝土圆柱体设计抗压强度， d_b —钢筋直径。考虑到预制立柱中金属波纹管灌浆料强度可达 100MPa 。因此，波纹管中钢筋的锚固长度可适当缩短，参考国内外已有的试验成果，可缩短至 $24d_s$ 。考虑到抗震构造要求，波纹管预埋在盖梁或承台中时，应在 $24d_s$ 的基础上增加 $10d_s$ 。当纵筋钢筋等级为 HRB500 以上或者盖梁、承台混凝土强度低于 C40，应通过试验研究确定锚固长度。

4.6.4 目前工程中，采用轧制钢管制作的金属波纹管（图 4.6.4）取得较好效果，试验表明，采用该金属波纹管可减小波纹管内径。



注：1—灌浆孔（或排浆孔）；2—排浆孔（或灌浆孔）；3—钢筋伸入端临时封盖；4—封口板；a—波高；c—压浆口与端部距离，出浆口与顶部距离；d—波谷处外径；d1—波谷处内径；L—最小锚固长度；p—波距；r—波峰半径。

图 4.6.4 金属波纹管

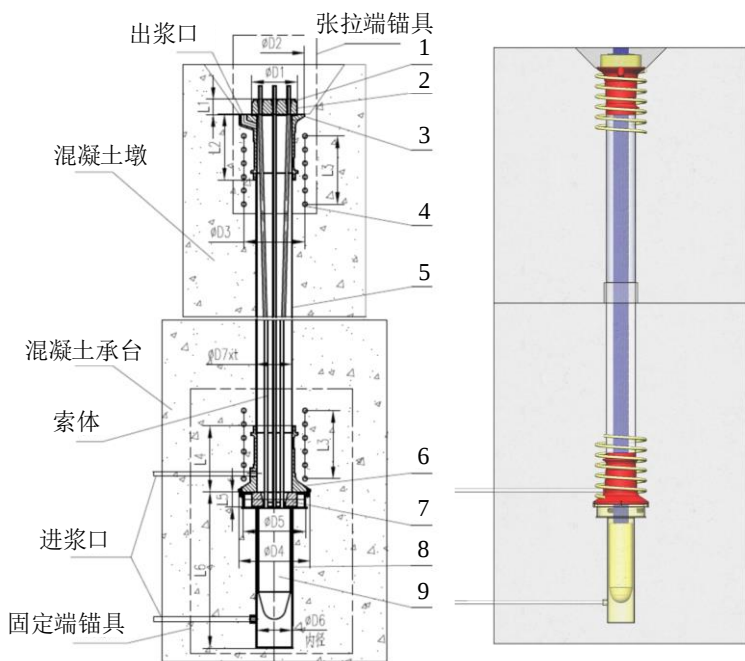
4.6.5 为保证压浆质量，压浆顺序应由下至上，不可采用顶部倒浆的注浆方式，并保证在压浆口下缘布置一道箍筋，因此，压浆口下缘与端部净距应大于 30mm，不宜大于 50mm。

4.7 环氧树脂胶

4.7.2 同类构件之间如立柱节段、盖梁及系梁节段，由于工厂预制精度较高，节段间界面粘结剂应采用环氧树脂胶。环氧类粘结剂胶体性能及粘结能力应具有良好的物理性能、力学性能、长期使用性能和耐介质浸蚀性能。由环氧基材料和固化剂组成的双组分环氧胶，其强度上升速度可通过材料组分的比例进行控制。合理控制环氧胶的固化时间是拼装施工的重要环节，既要确保有足够的涂抹、拼接可操作时间，也要保证拼装后的强度快速上升。

4.8 预应力筋—锚具组装件

4.8.2 工程中针对预制立柱的竖向预应力通常需要采用特殊的预应力组合体系如自锁式预应力锚固体体系参见图 4.8.2，对于这些预应力筋—锚具组装件应经检测单位试验检测合格后方可使用。



(a) 方案说明图

(b) 效果图

注：1.夹片；2.工作锚板；3.张拉端锚垫板；4.螺旋筋；5.预埋管；6.固定端锚垫板；7.自锁装置；8.保护罩；9.索体锚头。

图 4.8.2 立柱自锁式预应力锚固体体系示意图

5 预制拼装桥墩结构设计

5.1 桥墩

5.1.1~5.1.4 采用灌浆连接套筒或灌浆金属波纹管连接建造的预制拼装混凝土桥墩,已有的试验研究表明,正常使用状态下,预制拼装桥墩性能要求与传统现浇混凝土桥墩基本相同,因此可按现浇混凝土桥墩进行设计。

5.1.5 单个砂浆拼接缝厚度一般为 20mm~30mm,对结构的标高有影响,在确定立柱的预制高度时应考虑该部分厚度的影响。

5.1.6 依据在塑性铰区域设置半灌浆套筒的预制混凝土桥墩拟静力试验结果,螺纹处易发生脆断,因此限制在塑性铰区域使用半灌浆套筒。

5.1.7 已有试验研究表明,灌浆连接套筒布置在立柱中时,将使得布置金属套筒范围的截面强度增大,同时也将使得该局部区域刚度增大,因此在立柱静力计算时,应考虑金属套筒对该立柱强度和刚度的影响。可通过试验或精细化分析来予以考虑,也可简化按照等代截面替换的方法考虑立柱中套筒刚度影响。如偏安全考虑,在验算立柱强度和变形时,也可忽略该金属套筒导致的强度和刚度增强。

5.1.8 横向分段预制盖梁(系梁),为确保盖梁(系梁)耐久性,盖梁(系梁)不宜发生开裂,因此在进行正常使用极限状态计算时,规定盖梁(系梁)的拼接面应保持受压状态;而进行承载力极限状态计算时,从经济角度考虑,允许拼接缝开裂,故计算盖梁(系梁)承载力时,需要考虑拼接缝开裂的影响。目前现行《公路钢筋混凝土及预应力混凝土桥涵设计规范》JTG 3362 针对拼接缝对受弯构

件各项承载能力影响有明确规定，可依据此规范进行设计。在节段间的环氧树脂胶固化过程中，匹配面的混凝土应处于受压状态，主要是提供全截面上相当均匀的压力缩小各个节段之间的拼缝，并使环氧树脂胶压缩均匀，促进各个节段之间临时联结。预制节段盖梁和系梁拼装工艺与节段梁类似，不宜低于 0.3MPa。

5.1.9 在节段间的环氧树脂胶粘结剂固化过程中，匹配面的混凝土应处于受压状态，主要是提供全截面上相当均匀的压力缩小各个节段之间的拼缝，并使环氧树脂胶压缩均匀，促进各个节段之间临时联结。预制立柱拼装工况受力状态简单，不易在施工过程中出现应力扰动，相比预制节段盖梁和系梁，可将压应力值降低为 0.15MPa。

设计过程中应考虑到立柱很高时，较强的风荷载作用对界面应力的影响。

5.1.10 大部分设计方案中，进入下一工序并不会使连接接头产生拉应力，为了充分发挥装配式结构的速度优势，应选择大于 35MPa 即可进入下一工序施工。对于特殊的会在下一工序使连接接头受拉的结构，为保障连接接头可靠，应选择大于 60MPa 再进入下一工序施工。

5.1.12 为确保预制桥墩满足当前我国规范对桥梁的耐久性要求，条文对预制立柱从材料、施工质量及受力状态等做出了相关的规定。采用灌浆连接套筒或灌浆金属波纹管连接的预制混凝土桥墩，其耐久性主要考虑预制立柱节段自身以及拼接缝垫层的耐久性，预制立柱节段自身的耐久性与传统现浇混凝土桥墩类似，故可以采用相同的规定。

对于拼接缝垫层耐久性，条文中根据不同的情况进行了规定，主要目的是在接缝层暴露在外时，确保拼接缝不开裂；接缝层埋入承台中时，接缝裂缝宽度不超标。

当桥墩力学性能满足款 1 或款 2 时，接接缝不开裂，耐久性可

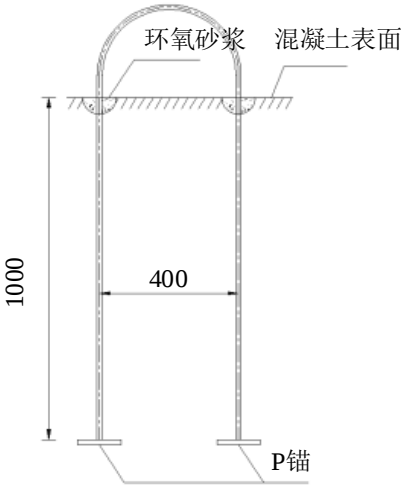
以得到保证。

当桥墩力学性能不满足满足款 1 和款 2、此时桥墩可能开裂但是裂缝宽度在规范容许范围内，将接缝处采用外包混凝土包裹，可以有效改善其耐久性。

当设计的桥墩力学性能不满足款 1、2、3 要求时，可采取增加配筋、配置压重、布置竖向预应力、改变桥墩尺寸等方式使结构满足要求。

5.2 吊点

5.2.1 吊点的类型较多，实际工程中可以根据需要进行选择。对于重量特别重的构件，通常采用预埋钢绞线吊环，减少吊环尺寸。本节重点对预埋钢筋吊环、预埋钢绞线吊环两种使用较多的吊点进行相关规定，其他类型吊点根据相关规范及设计手册进行设计。





(a) 吊环示意图

(b) 吊环运用照片

图 5.2.1 钢绞线吊环

5.2.2 吊件在吊装过程中受力比较复杂，尤其对于存在翻转工况的预制墩柱，是在拉力和剪力耦合作用下的受力状态，因此需要对吊件在受拉、受剪和拉剪耦合作用下的自身强度进行验算。此外还需保证吊件的锚固，不能出现锚固破坏。锚固的破坏形态包括：混凝土锥体受拉破坏、混凝土边缘受剪破坏、混凝土劈裂破坏以及混合破坏等破坏形态，对于刚性的吊件还可能发生混凝土剪撬破坏，因此需要对每种锚固破坏形态进行验算，避免锚固失效。

吊点的验算属于承载能力极限状态验算，作用组合采用基本组合，考虑到验算时采用了适当的安全系数，分项系数取为 1。吊环自身的强度设计值（应力允许值）应采用屈服强度，并考虑吊装时的动力系数和安全系数进行折减，折减系数取为： $1/(1.5 \times 3) = 0.22$ 。

5.2.4 作用于吊环的荷载应根据实际情况确定，一般为构件自重、

悬挂设备自重及活荷载。吊环截面应力验算时，荷载取标准值。在吊装时，若钢绞线埋入混凝土的轴线与起吊方向之间的夹角大于 30 度，应视同翻身工况进行应力验算。

对于预埋钢绞线吊环件，文献（王庆国，《钢绞线吊环的研究与应用》）和文献（金乃，《装配式桥梁预制立柱吊装吊点的比选》，中国市政工程，2018 年 6 月，第 3 期），对钢绞线的承载能力进行了实测研究。文献（王庆国，《钢绞线吊环的研究与应用》）试验了预制构件的起吊工况和预制立柱的翻转工况。研究中采用的钢绞线为直径 15.2mm 的高强度低松弛钢绞线，钢绞线埋深为 1.2m、1.0m 和 0.8m。三种埋深下，混凝土只在表面发生破碎现象，范围小，深度浅，且钢绞线均断裂于混凝土以上吊点范围内，未断于混凝土内。埋深 0.8m 时，40t 拉力断裂；埋深 1.0m 时，46t 拉力断裂；埋深 1.2m 时，36t 拉力断裂。参考欧洲规范对于试验值的规定，对于少次试验，可根据变异系数对试验的平均值进行折减作为特征值。根据文献，平均值为 40t 进行计算，乘以 0.7 的折减系数。即 $40 \times 0.7 = 28t$ ，考虑安全系数为 3，每根钢绞线为两个截面受力，即应力控制值为 $28 \times 10 / 2 / 3 / 140 = 333 \text{Mpa}$ ，与本指南给出的算法一致，即屈服强度 $\times$ 折减系数 $= 0.85 \times 1860 \times 0.22 = 347 \text{Mpa}$ ，取为 350MPa。

根据文献（王庆国，《钢绞线吊环的研究与应用》），对于预制墩柱的翻转工况，试验结果表明：翻转工况时混凝土的破碎仅发生在钢绞线与混凝土的接触部位。相比于起吊工况下的钢绞线最大承载力来说，经过翻转后钢绞线的最大承载力会受到削弱。对于翻转不大于 3 次时，可取折减系数为 0.8。

5.2.5 值得注意的是现行行业标准《混凝土结构后锚固技术规程》JGJ 145 给出的是锚栓和植筋的验算，并不完全适用于柔性吊件的锚固验算，因此本规程根据相关试验结果，在 5.2.9 条补充给出预埋钢绞线吊环的一些构造要求，以降低发生锚固破坏的风险。

5.2.7 试验测试得到的钢绞线吊环承载能力数值，应排除各种材

料强度超强系数影响后，方可作为钢绞线吊环承载能力标准值。

5.2.9 本条款中规定 P 锚锚固端埋深应大于 1m，主要是为了保证 P 锚锚固的有效性。当构件的尺寸较小，无法满足锚固深度时，构件的重量一般比较小，可以采用预埋钢筋吊环、预留吊装孔等其他类型的吊点。

6 预制拼装桥墩抗震设计

6.1 一般规定

6.1.1 对于墩高超过 40m，墩身在计算方向第一阶振型质量参与系数小于 60%，且结构进入塑性的高墩桥梁，其地震响应和墩柱塑性铰形成机制较为复杂，为确保其在实际地震作用下的性能满足要求，应对其地震响应特性和塑性铰形成机制等开展专项研究。

6.1.2 大量桥梁震害表明，地震作用下桥梁桥墩是地震易损部位，因此，预制拼装桥墩也应是桥梁抗震设计的重点部位。预制桥墩抗震设计、分析计算、验算和延性构造需要根据其为城市桥梁或公路桥梁类别，分别满足《城市桥梁抗震设计规范》CJJ 166 或《公路桥梁抗震设计规范》JTG/T 2231-01 的要求。

6.1.3 对于设防烈度 8 度地区，采用套筒连接的预制拼装混凝土桥墩的抗震性能研究成果偏少，基于结构安全考虑，推荐采用减隔震设计。若采用延性设计，连接套筒或者金属波纹管建议设置在承台及盖梁内，此时构件的抗震性能与抗震设计方法与常规现浇桥墩相似。

6.1.4 E1 地震作用下结构在弹性范围工作，关注的是结构的强度，在此情况下可近似偏于安全的取桥墩的毛截面进行抗震分析，取毛截面计算出的结构周期相对较短、计算出的地震力偏大，考虑到连接套筒布置在墩身，密集布置的套筒对套筒设置区域刚度有增大影响，偏保守，因此 E1 下宜考虑套筒布置的影响；而 E2 地震作用下，容许结构进入弹塑性工作状态，关注的是结构的变形，对于延

性构件取毛截面计算出的变形偏小，偏于不安全，因此取开裂后等效截面刚度是合理的，E2 下偏保守考虑，忽略套筒对墩身刚度的影响。

6.1.5 依据《城市桥梁抗震设计规范》CJJ 166 或《公路桥梁抗震设计规范》JTG/T 2231-01 的规定，预制桥墩也应满足上述规范规定的抗震性能要求，即：E1 地震作用下预制桥墩一般不受损伤或不需修复即可继续使用，意味着 E1 地震作用下要求预制桥墩保持弹性，基本无损伤，应校核其强度；在 E2 地震作用下，预制立柱通常为延性构件，可以进入塑性工作，因此主要应验算其极限变形能力是否满足要求。

6.1.6 依据《城市桥梁抗震设计规范》CJJ 166 及《公路桥梁抗震设计规范》JTG/T 2231-01 的规定，预制双柱墩和多柱墩桥梁，横桥向地震作用下，立柱作为延性构件产生弹塑性变形耗散地震能量，而预制盖梁、基础等应作为能力保护构件，保持弹性或基本不发生损伤。因此，应采用能力保护设计原则进行盖梁和基础的设计。

6.2 抗震验算

6.2.1~6.2.3 E2 地震作用下，由于预制立柱为延性构件，设计容许其进入塑性工作，因此主要验算其极限变形能力是否满足要求，对于采用非线性时程分析方法进行地震反应分析的预制立柱，可以直接得到塑性铰区域的塑性转动需求，因此可直接验算塑性铰区域的转动能力；对于规则桥梁，其定义可参考《城市桥梁抗震设计规范》CJJ 166 或《公路桥梁抗震设计规范》JTG/T 2231-01 中的规定。

6.2.4 本规范引用了《城市桥梁抗震设计规范》CJJ 166 和《公路桥梁抗震设计规范》JTG/T 2231-01 中桥梁抗震设计规范的相关公式，同时结合对国内外学者开展预制拼装立柱抗震性能试验研究数

据对延性安全系数 K 进行了修正。

表 6.2.4 是对国内外学者开展预制拼装立柱抗震性能试验研究数据的汇总，主要是灌浆套筒连接和灌浆波纹管连接的数据，少量承插式或插槽式连接的数据，见下表。

6.2.4 试验数据统计汇总表

试件编号	类型	墩高	剪跨比	轴压比	实测极限位移	试件来源
现浇 1-1	现浇	340	6.42	7.89%	16.04	预制拼装立柱抗震性能研究报告（同济大学、上海市城市建设设计研究总院和上海公路投资建设发展有限公司）2013-2015
现浇 1-2	现浇	340	6.42	7.89%	19.06	
套筒 1-1	承台套筒	340	6.42	7.89%	13.38	
套筒 1-2	柱内套筒	340	6.42	7.89%	15.08	
套筒 1-3	柱内套筒	340	6.42	7.89%	17.18	
套筒 1-4	柱内套筒	340	6.42	15.77%	11.73	
波纹管 1	承台波纹管	340	6.42	7.89%	16.30	
现浇 2	现浇	295	5.57	6.02%	17.53	
套筒 2-1	承台套筒	295	5.57	6.02%	20.37	
套筒 2-2	柱内套筒	295	5.57	6.02%	13.43	
套筒 2-3	承台套筒	330	4.13	6.00%	20.90	

续表 6.2.4 试验数据统计汇总表

试件编号	类型	墩高	剪跨比	轴压比	实测极限位移	试件来源
现浇 3-1	现浇	200	4.00	4.66%	12.89	黄宜, 装配式钢筋混凝土桥墩抗震性能研究, 大连理工大学硕士论文, 2016
现浇 3-2	现浇	200	4.00	4.66%	11.96	
现浇 3-3	现浇	200	4.00	4.66%	12.00	
套筒 3-1	承台套筒	200	4.00	4.66%	10.59	
套筒 3-2	承台套筒	200	4.00	4.66%	10.59	
套筒 3-3	承台套筒	200	4.00	4.66%	11.70	
波纹管 4-1	承台波纹管	200	4.00	4.66%	10.45	
波纹管 4-2	承台波纹管	200	4.00	4.66%	10.39	
波纹管 4-3	承台波纹管	200	4.00	4.66%	11.53	
现浇 4	现浇	265	5.30	6.00%	7.15	刘志杭等, 西曲阜大桥预制与现浇墩柱抗震性能对比试验研究, 山东交通学院学报, 2018
套筒 4	柱内套筒	265	5.30	6.00%	8.19	

续表 6.2.4 试验数据统计汇总表

试件编号	类型	墩高	剪跨比	轴压比	实测极限位移	试件来源
现浇 5	现浇	244	5.13	6.00%	19.95	M. J. Ameli 等, Seismic Analysis of Precast Concrete Bridge Columns Connected with Grouted Splice Sleeve Connectors, Journal of Structural Engineering, 2017
套筒 5-1	柱内套筒	244	5.13	6.00%	19.43	
套筒 5-2	承台套筒	244	5.13	6.00%	15.70	
套筒 5-3	柱内套筒	244	5.13	6.00%	19.40	
现浇 6	现浇	274	4.50	11.18%	27.63	Z. B. Haber 等, Seismic Performance of Precast Columns with Mechanically Spliced Column-Footing Connections, ACI Structural Journal, V. 111, No. 1-6, 2014
套筒 6	柱内套筒	274	4.50	11.24%	18.68	
试件编号	类型	墩高	剪跨比	轴压比	实测极限位移	试件来源
现浇 7	现浇	290	5.80	7.03%	11.71	
波纹管 2	承台波纹管	290	5.80	7.03%	11.14	

续表 6.2.4 试验数据统计汇总表

试件编号	类型	墩高	剪跨比	轴压比	实测极限位移	试件来源
现浇 8	现浇	240	4.80	7.11%	9.94	预制拼装立柱抗震性能研究报告（同济大学、上海市城市建设设计研究总院和上海公路投资建设发展有限公司，上海应用技术大学）2013~2018
波纹管 3	承台波纹管	240	4.80	7.11%	9.63	
现浇 9	现浇	340	6.42	7.89%	11.06	
套筒 7-1	柱内套筒	278	3.97	7.54%	16.35	
套筒 7-2	柱内套筒	278	3.97	7.54%	13.05	
套筒 7-3	柱内套筒	278	3.97	7.54%	14.23	
其他 1-1	承台套筒	45	0.85	7.89%	4.45	
其他 1-2	承台套筒	45	0.85	7.89%	2.98	
其他 2-1	现浇	90	1.70	7.89%	4.76	
其他 2-2	承插式	90	1.70	7.48%	6.63	

其他 3-1	现浇	125	2.27	7.92%	6.85
其他 3-2	插槽式	125	2.27	8.17%	7.75

依据表 6.2.4 统计的数据，将试验结果绘制如图 6.2.4（图中是相同条件下预制桥墩与现浇混凝土桥墩的位移延性按公式

$$K = \frac{\Delta_p}{\Delta_{u, \text{实测}} - \Delta_y}$$

计算的安全系数比值， Δ_p 为塑性转动位移，定义安

全系数比= $K_{\text{预测}}/K_{\text{现浇}}$ ），可以发现，延性安全系数比值的统计均值介于 1.1~1.25 之间，将其数值乘以当前规范给出的安全系数 $K=2.0$ ，即得到条文中规定的安全系数数值。同时表明套筒设置于承台内相比设置在墩身塑性铰区内的抗震性能要更好一些。采用灌浆套筒或灌浆金属波纹管连接的预制拼装混凝土桥墩，其抗震性能与现浇混凝土桥墩的抗震性能相比，基本相近或略弱。

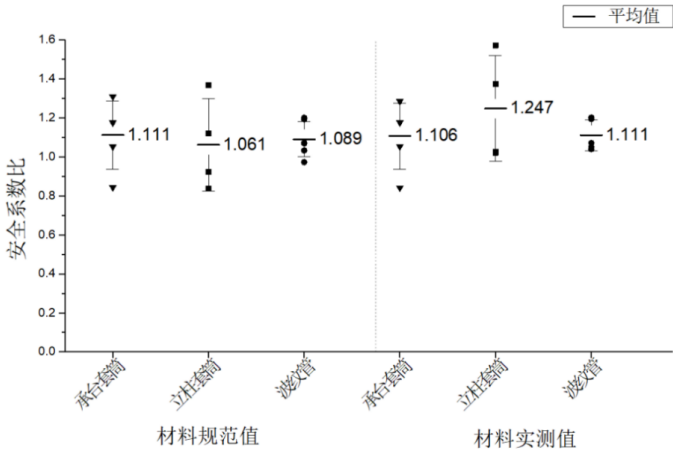


图 6.2.4 试件安全系数比汇总图

6.2.5~6.2.8 国内外已有试验研究表明，采用灌浆套筒连接或金属波纹管连接预制立柱作为延性构件，其弯曲延性容许变形能力计算与传统现浇混凝土桥墩基本相近，故其顺桥向、横桥向延性变形能力可按照传统现浇混凝土桥墩延性计算的相关公式计算。

6.2.9 震害调查表明，矮墩的地震损伤主要破坏模式为剪切破坏，为脆性破坏，没有延性，因此要求，E2 地震作用下对于高度较矮的预制立柱，即高宽比小于 2.5，一般不作为延性构件设计，需要验算其抗弯和抗剪强度，不需要验算其变形能力。

6.2.10 试验研究表明，预制拼装立柱抗剪校核应包含预制立柱节段自身和拼接缝的校核，其中预制立柱节段自身的抗剪强度计算与普通现浇混凝土立柱相同(套筒布置区域的抗剪强度由于受到套筒的影响，其抗剪能力通常高于非套筒设置区)，故采用相同的计算公式。对于拼接缝处的抗剪强度，现有小剪跨比试验显示，接缝位置不易发生直剪破坏，因此可不进行验算。

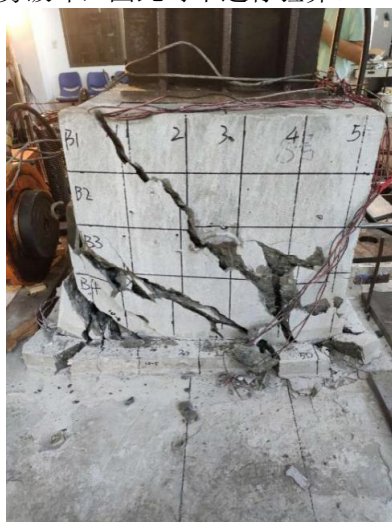


图 6.2.10 小剪跨比试件剪切破坏

7 构造设计

7.0.1 采用灌浆连接套筒和金属波纹管连接建造的预制桥墩，一些构造细节和指标要求与传统现浇混凝土桥墩存在差异，这些差异包括灌浆套筒、金属波纹管的布置、进浆口、出浆口、管道、定位装置、吊点及构造设置等，均需在设计中予以考虑，并在设计图纸中给出说明。

7.0.2 试验研究表明，沿截面布置若干适当分布的纵向钢筋，纵向钢筋和箍筋形成一整体骨架，当混凝土纵向受压，横向膨胀时，纵向钢筋也会受到混凝土的压力，这时箍筋给予纵向钢筋约束作用。因此，为了确保对核心混凝土的约束作用，墩柱的纵向配筋宜对称布置，纵向钢筋之间的距离不宜超过 200mm，至少每隔一根宜用箍筋或拉筋固定。同时，为了减少套筒的数量以避免套筒间距过小，建议采用大直径(28mm、32mm、36mm、40mm)钢筋。

7.0.3 连接套筒通常比纵向钢筋尺寸大，易导致截面拥挤，为确保混凝土浇筑密实，给出了套筒间净距的构造要求。

7.0.4 为确保灌浆套筒在箍筋约束下对核芯混凝土形成一个可靠的约束，同时便于施工中对套筒进行整体的安装，应在灌浆连接套筒压浆口下缘处设一道箍筋。

7.0.6 考虑到预制桥墩的耐久性要求，立柱中的金属波纹管和主筋净保护层厚度不宜小于 50mm；金属波纹管直径通常比纵向钢筋尺寸大，易导致截面拥挤，为确保混凝土浇筑密实，给出了金属波纹管间净距的构造要求。

金属波纹管在混凝土中的锚固能力与金属波纹管保护层厚度是相关的，目前的试验案例中，金属波纹管距离混凝土边缘的保护

层厚度均大于 100mm，尚不确定在保护层厚度更薄时，按目前规范中规定的金属波纹管锚固长度是否足够。

7.0.7 在国内典型的预制拼装桥梁工程中，如上海的 S6 新建工程、嘉闵高架北二段新建工程等，桥墩钢筋混凝土保护层厚度超过了 50mm，且在保护层中未设置钢筋网片，实际运营显示，桥墩混凝土表面状态良好。

7.0.8 实际施工中需通过垫层厚度调整立柱高度和平整度等的要求，同时考虑到预制立柱受力要求，砂浆垫层厚度不宜过大，考虑到接缝层浇筑密实，砂浆垫层厚度不宜过小；构件节段之间的拼装采用环氧树脂胶时，其厚度需考虑受力和施工的要求。

7.0.9 考虑到套筒设置在立柱中对立柱自身局部刚度的影响，为确保预制立柱具有足够的延性变形能力和抗剪能力，避免塑性铰区域套筒处箍筋配筋率的突变，箍筋减少宜缓慢变化。

7.0.12 考虑到当连接套筒或波纹管位于盖梁或承台内时，为确保预制拼装桥墩柱身塑性铰区域具有可靠的延性能力及纵向钢筋与套筒或波纹管可靠的锚固，参考《城市桥梁震设计规范》CJJ 166 及《公路桥梁抗震设计规范》JTG/T 2231-01 的要求，规定加密区域配置的箍筋应延续到盖梁和承台内，延伸长度不宜小于墩柱长边尺寸的 1/2，并不应小于 50cm，建议在满足现有抗震设计规范构造要求的情况下，延伸到盖梁和承台的距离还不宜小于连接套筒或波纹管的高度。

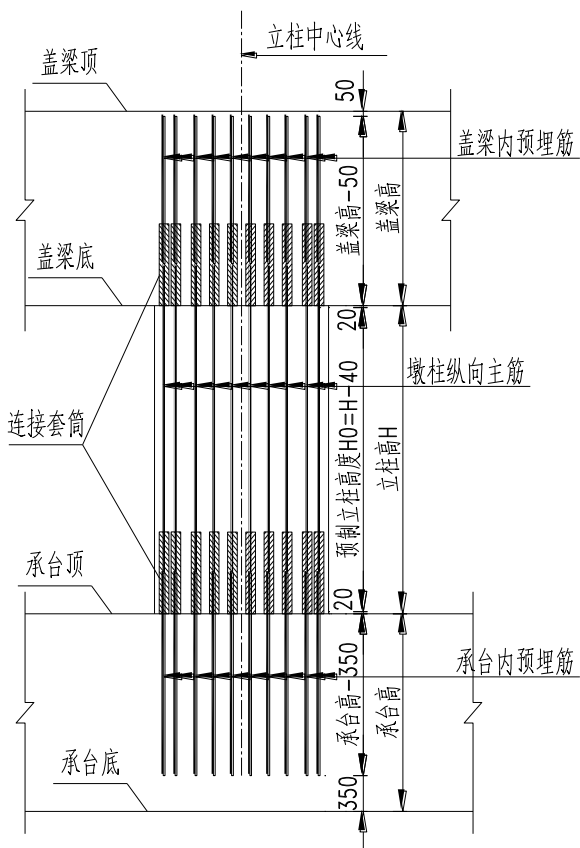


图 7.0.12-1 套筒连接模式下墩柱纵向主筋长度

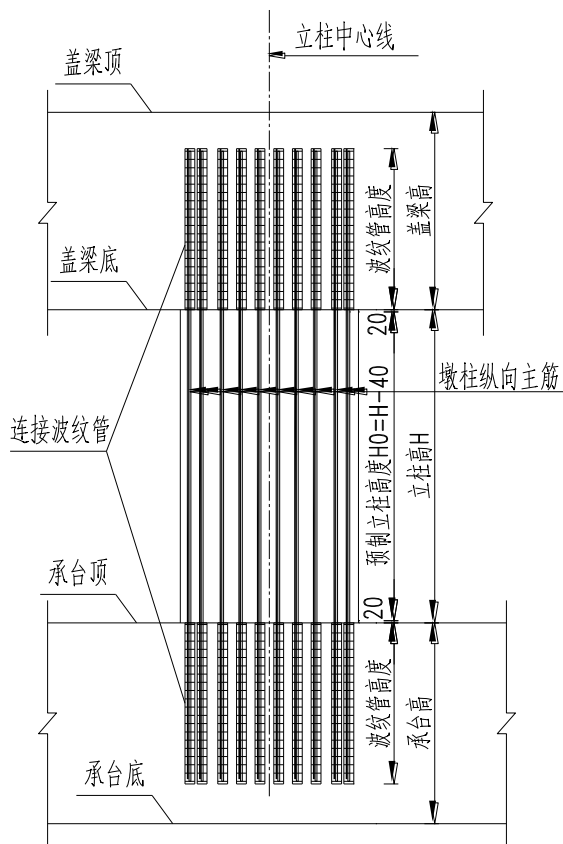


图 7.0.12-2 金属波纹管连接模式下墩柱纵向主筋长度

7.0.14 对于倒 T 盖梁，为减少吊装重量，预制拼装盖梁采用上下分层浇筑，此时下层预制构件与上层现浇结构之间可不使用剪力键。盖梁采用横向分段拼装建造时，参考预制节段箱梁的构造，从施工和受力角度出发，盖梁节段截面上宜采用剪力键方式，剪力键方式可参考预制节段箱梁剪力键的构造要求，同时推荐采用配筋剪力键

形式，这样可以提高施工过程中剪力键抗剪能力。

7.0.15 当立柱与承台的拼接缝处于冻融范围或水位变动区时，从提高耐久性角度出发，可考虑在承台处设置一定深度的凹槽从而避免拼接缝外露；或考虑在拼接缝区域表面喷涂憎水剂、防水、防腐蚀涂料等提高耐水性、耐氯离子腐蚀性以及耐冻融性能等措施，并通过拼接缝处承台表面设置斜坡，避免拼接缝处积水等措施。

7.0.16 桩柱式桥墩的立柱、系梁采用同时预制拼装时，拼接缝设置为斜面时，斜交角 α 应尽可能大，不宜小于 60 度。

7.0.17~7.0.18 设置剪力键齿的预制墩柱，虽然构件预制生产的难度有所增加，但其拼接缝界面的抗剪强度通常高于不设置剪力键齿的情况，因此，对存在车辆撞击风险、地震烈度 8 度地区等抗剪要求高的预制桥墩，拼接缝界面处宜设置剪力键齿。

7.0.19~7.0.20 剪力键的种类较多，各有优缺点。本条给出剪力键的设计基本原则，剪力键的设计应保证受力可靠，施工方便。条文中给出一种常用的剪力键构造，设计者可以参考选用。设计者亦可根据需要选择其他类型的剪力键，但应进行充分的研究论证后方可使用。