

上海市工程建设规范

××—2019

预制拼装桥梁技术规程

Technical specification for prefabricated bridge

(征求意见稿)

2019—××—×× 发布

2019××—××—×× 实施

上海×× 发布

上海市工程建设规范

预制拼装桥墩技术规程

Technical specification for prefabricated bridge piers

×××—2019

主编单位：上海公路投资建设发展有限公司

上海市城市建设设计研究总院(集团)有限公司

批准部门：上海市城乡建设和管理委员会

施行日期：2019年×月××日

2019年·上海

前 言

根据沪建标定[2017]898号文件:上海市住房和城乡建设管理委员会关于印发《2018年上海市工程建设规范、建筑标准设计编制计划》的通知,由上海市公路投资建设发展有限公司、上海市城市建设设计研究总院(集团)有限公司负责修编 DG/TJ 08-2160-2015 《预制拼装桥墩技术规程》,形成本规程。

本规程共分 10 章。其主要内容包括:总则、术语和符号、基本规定、材料、设计、抗震设计、构造设计、工厂预制、运输吊装、现场拼装以及附录等。

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寄送上海公路投资建设发展有限公司(地址:上海市长宁区哈密路 99 号;邮编:200335)。

本规程主编单位:上海公路投资建设发展有限公司
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:同济大学
上海城建市政工程(集团)有限公司
上海市市政工程管理咨询有限公司
上海公路桥梁(集团)有限公司
上海建工四建集团有限公司
中铁上海工程局集团有限公司
中铁大桥局集团有限公司
柳州欧维姆机械股份有限公司
株洲时代新材料科技股份有限公司

主要起草人:

主要审查人:

目 次

1 总则.....	1
2 术语和符号.....	1
2.1 术语.....	1
2.2 符号.....	2
3 基本规定.....	5
4 材料.....	6
4.1 混凝土.....	6
4.2 钢筋.....	6
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 金属波纹管.....	8
4.8 预应力筋—锚具组装件.....	8
4.9 其他材料.....	9
5.1 一般规定.....	10
5.2 钢梁及钢-混凝土组合梁.....	11
5.3 混凝土节段梁.....	11
5.4 混凝土小箱梁.....	11
5.5 其它上部结构.....	12
5.6 桥墩.....	12
6 抗震设计.....	13
6.1 一般规定.....	13
6.2 抗震验算.....	13
7 构造设计.....	18
7.1 钢梁及钢-混凝土组合梁.....	18
7.2 混凝土节段梁.....	18

7.3	混凝土小箱梁.....	18
7.4	桥墩.....	18
8	工厂预制.....	20
8.1	一般规定.....	20
8.2	场地要求.....	20
8.3	混凝土节段梁.....	21
8.4	立柱预制.....	22
8.5	盖梁预制.....	23
8.6	灌浆连接套筒安装.....	24
8.7	灌浆金属波纹管安装.....	24
8.8	构件堆放.....	25
9	运输吊装.....	26
9.1	一般规定.....	26
9.2	吊装.....	26
9.3	场外运输.....	26
10	现场拼装.....	28
10.1	一般规定.....	28
10.2	立柱与承台拼装.....	28
10.3	盖梁与立柱拼装.....	29
10.4	立柱间节段拼装.....	29
10.5	盖梁间节段拼装.....	30
10.6	主梁拼装.....	30
10.7	灌浆连接工艺.....	31
	附录 A 高性能混凝土原材料性能指标要求.....	32
	附录 B 高强无收缩水泥灌浆料技术指标试验方法.....	33
	引用标准名录.....	34
	本规程用词说明.....	35
	条文说明.....	36

1 总则

1.0.1 为了适应预制拼装技术在桥梁结构建造的应用需要,明确预制拼装桥梁的设计与施工技术要求,提高施工技术水平,缩短施工周期,降低施工对交通和环境的影响,保证施工质量和安全,制定本规程。

1.0.2 本规程适用于非抗震设计及抗震设防烈度为 6 度和 7 度抗震设计的地区,采用预制混凝土节段梁、预制钢梁、预制钢-混凝土组合梁、预制小箱梁、以及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和施工。

1.0.3 预制拼装桥梁的设计与施工除应符合本规程的规定外,尚应符合国家和本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 节段 segment

指通过拼装及张拉预应力工艺形成主梁的预制梁段。

2.1.2 钢-混凝土组合梁 composite beam

由钢梁和混凝土板连成整体并且在横截面内能够共同受力的梁。

2.1.3 预制拼装桥墩 prefabricated bridge piers

通过预制拼装及连接构造形成的混凝土桥梁立柱、盖梁或系梁。

2.1.4 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,将一根钢筋中的力传递至另一根钢筋的连接构造。

2.1.5 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。

2.1.6 灌浆连接套筒 grouted coupler for rebar splicing

通过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。

2.1.7 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高强度材料作为骨料，以水泥作为结合剂，辅以高流态、微膨胀、防离析等物质配制而成，它在施工现场加入一定量的水，搅拌均匀后填充于套筒或金属波纹管 and 钢筋间隙内。

2.1.8 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。

2.1.9 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。

2.1.10 专用定位板 special locating plate

根据预制构件钢筋位置精确钻孔的钢板，用于钢筋笼加工精度检测、构件预制台座钢筋定位或预留钢筋定位。

2.1.11 调节设备 adjustment equipment

用于调整预制构件空间姿态的设备。

2.1.12 短线法 short-line method

预制台座底模长度为一个节段的长度，利用预制完的前一节段作为后一节段的一侧端模，固定的钢模板作为另一侧的端模，逐段进行预制的方法。

2.1.13 长线法 long-line method

预制台座底模长度为整跨梁长，将整跨主梁分成若干段，在按设计线形做成的台座上匹配浇筑形成节段直至完成整跨主梁的方法。

2.1.14 匹配 match

后一节段浇筑时利用已预制完成的前一节段作为一侧端模的浇筑形式。

2.1.15 临时预应力 temporary prestressing force

整跨节段拼装过程中，在结构永久预应力施工之前，为使相邻节段紧密连接而施加的预应力。

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；
 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；
 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_{kh} ——箍筋抗拉强度标准值；
 b ——墩柱的宽度；
 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；
- A_{sm} ——破坏面上的摩擦接触面积；
- 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 在预制拼装桥梁方案设计阶段，应协调和加强设计、预制、运输、拼装等单位间的关系和配合，应根据实际工程情况确定合理的桥墩尺寸和形状，并应遵循少规格的原则。

3.0.2 灌浆套筒连接可用于预制立柱与承台、立柱与盖梁和立柱墩身节段之间的连接，并可布置在同一断面；灌浆金属波纹管连接可用于预制立柱与承台和立柱与盖梁之间的连接。

3.0.3 各项工序施工前应熟悉设计文件，领会设计意图，且应由设计单位进行设计交底。

3.0.4 各项工序施工前应进行全面施工调查，根据设计要求、预制拼装精度要求、合同条件及现场情况等编制施工组织设计。

3.0.5 各项工序施工前应建立健全质量保证体系、质量管理体系、安全生产管理体系和环保管理体系。

3.0.6 预制梁、立柱、盖梁等构件应在专业预制厂内加工。

3.0.7 预制构件验收合格后方可出厂，出厂前应在表面明显位置进行标识，包括工程名称、施工单位名称、监理单位名称、构件编号、生产日期等。

3.0.8 拼装前应对施工现场进行全面调查和核对，并应根据现场实际条件编制科学可行的拼装方案。

3.0.9 预制拼装桥墩施工涉及新技术、新工艺的各类人员应经过专门培训，合格后方可上岗。

4 材料

4.1 混凝土

4.1.1 预制拼装桥墩混凝土宜采用高性能混凝土，强度等级不宜低于C40。

4.1.2 高性能混凝土除满足国家现行标准《公路桥涵施工技术规范》(JTG/T F50-2011)第6.15节规定外，原材料具体性能指标还应符合附录A的规定。

4.2 钢筋

4.2.1 预制拼装桥墩中钢筋应采用HRB400级及以上热轧钢筋。

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，尚应分批抽取试验进行力学性能检验，检验合格后方可使用。

4.2.3 钢筋的表面应洁净、无损伤，钢筋应平直、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，防止钢筋产生锈蚀。

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	初始	$\geq 300\text{mm}$
	30 min	$\geq 260\text{mm}$
抗压强度	1d	$\geq 35\text{MPa}$
	3d	$\geq 60\text{MPa}$
	28d	$\geq 100\text{MPa}$
竖向自由膨胀率	24h与3h差值	0.02%~0.10%
氯离子含量		$\leq 0.03\%$
泌水率		0.00%

注：表中技术指标试验方法应符合本规程附录B的规定。

4.3.2 产品检验分型式检验及现场检验。型式检验项目应包括灌浆料的初始流动度，30min流动度，1d、3d、28d抗压强度，竖向自由膨胀率，氯离子含量，泌水率，尚应包括灌浆套筒连接接头拉伸试验检验；现场检验应符合本规程第10.6.2

条及10.6.4条的规定。

4.3.3 高强无收缩水泥灌浆料宜采用配套灌浆掺合料，规格不宜大于每袋25kg，包装袋上应标识详尽的使用说明。

4.3.4 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得大于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 不同类型构件拼接缝间的砂浆垫层，应采用高强无收缩砂浆，28d抗压强度应不小于60MPa且高出被连接构件强度等级的一个等级(7MPa)，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，细度模数应不小于2.6，含泥量应不大于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制作。

4.5.2 灌浆连接套筒按钢筋连接方式可制作成整体灌浆连接型或一端灌浆连接一端机械连接型。

4.5.3 整体灌浆连接型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钢筋伸入长度均不应小于 $10d_s$ （ d_s 为被连接纵向钢筋直径）；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20mm；套筒制作允许偏差为 $\pm 2\text{mm}$ ；安装时套筒方向应正确放置。

4.5.4 一端灌浆连接一端机械连接型套筒，钢筋机械连接端为预制安装端，另一端为现场拼装端；现场拼装端长度不应小于 $10d_s$ （ d_s 为被连接纵向钢筋直径）；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20mm；套筒制作允许偏差为 $\pm 2\text{mm}$ 。

4.5.5 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国家现行标准《钢筋机械连接技术规程》(JGJ 107)中I级连接接头要求，且接头试件实测抗拉强度应不小于被连接钢筋的实际拉断强度。

4.5.6 灌浆连接套筒与高强无收缩水泥灌浆料组合体系性能应经过国家专门质

检部门试验检测，并出具相应型式试验的合格报告。

4.5.7 厂家应提供与灌浆连接套筒相关的合格附属配件，包括密封环、端盖、止浆塞、密封柱塞等。

4.5.8 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。

4.5.9 灌浆连接套筒工厂内安装前应进行单向拉伸强度试验，检验每批数量不大于600个，试验试件不应少于1个。

4.6 金属波纹管

4.6.1 金属波纹管应为圆形不锈钢波纹管。

4.6.2 金属波纹管应符合国家现行标准《预应力混凝土用金属波纹管》(JG 225)的相关规定，全长不应小于 $24 d_s$ (d_s 为被连接纵向钢筋直径)，且不得拼接；内径不宜小于 d_s (d_s 为被连接纵向钢筋直径) + 40mm，内径尺寸允许偏差为 $\pm 0.5\text{mm}$ ；对于内径不大于10cm的波纹管，其钢带厚度(壁厚)应不小于0.45mm，波纹管肋高应不小于3.10mm。

4.6.3 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从端部出浆；压浆口下缘与端部净距应大于20mm。

4.6.4 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。

4.7 环氧粘结剂

4.7.1 同类构件之间环氧粘结剂初步固化时间不应小于1h，粘结时应在规定的两面涂刷厚度条件下，发生均匀的挤出量，并仅有滴挂而无流淌现象。

4.7.2 环氧粘结剂1d抗压强度标准值应大于40MPa，7d抗压强度标准值应大于60MPa，7d抗拉强度标准值应不小于9MPa，7d抗剪强度标准值应不小于21MPa。

4.7.3 环氧粘结剂应有防老化、防碳化、防强腐蚀性的功能。长期使用性能和耐介质浸蚀性能应符合国家现行标准《工程结构加固材料安全性鉴定技术规范》GB 50728的规定。

4.8 预应力筋—锚具组装件

4.8.1 预制拼装桥墩中采用的预应力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，还应优先采用有粘结预应力筋-锚具组装件，无粘结预应力筋耐久性应满足现行规范的要求。

4.8.3 新型预应力筋—锚具组装件应经过有资质检测单位试验检测，并出具相应的合格报告。

4.9 其他材料

4.9.1 钢材性能应符合国家现行标准《公路钢结构桥梁设计规范》JTG D64 的相关规定。

4.9.2 塑料波纹管的性能指标应符合国家现行标准《预应力混凝土桥梁用塑料波纹管》JT / T 529 的相关规定。

4.9.3 预应力孔道灌浆应按《水泥基灌浆材料应用技术规范》GB/T50448 采用专用的灌浆材料，应具有良好的流动性、和易性、泌水性和强度。

4.9.4 预埋件应按照设计文件要求进行制作，并按照不同材料、不同规格、不同型号进行分类存放。预埋件材料性能应符合其相应标准的规定。

5 设计

5.1 一般规定

5.1.1 本规程采用以概率理论为基础的极限状态设计方法，桥梁结构的设计基准期为100年。

5.1.2 桥梁结构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 根据桥梁结构在制造、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 桥梁结构在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 桥梁结构设计采用的作用、作用分类、标准值和作用效应组合应按现行《城市桥梁设计规范》（CJJ 11）、《公路桥涵设计通用规范》（JTG D60）、《城市桥梁抗震设计规范》（CJJ 166）、《公路桥梁抗震设计细则》（JTG/T B02-01）、《公路桥梁抗风设计规范》（JTG/T D60-01）规定计算。

5.1.6 桥梁主体结构的设计使用年限不应低于100年。

5.1.7 上部结构采用整体式截面的梁桥在持久状况下的结构体系不应发生改变，并应具有可靠的抗倾覆性能。上部结构整联仅采用单向受压支座时，支座在作用基本组合下应保持受压且横向抗倾覆稳定系数不小于2.5。

5.1.10 桥梁应根据结构特点、使用年限、环境条件、施工条件等进行耐久性设计。耐久性设计可按国家现行规程《混凝土结构耐久性设计规范》GB/T 50476和《公路工程混凝土结构防腐蚀技术规范》JTG/TB 07-01的规定执行。

5.1.11 桥梁应根据采用结构的特点设置检修通道，检修通道应有必要的检修、养护以及部件的更换所需的空間。

5.1.12 在施工图设计文件的设计说明中，应增加施工安全相关的设计要求，列出施工风险源及危害。

5.1.13 预制拼装桥梁应注重构造设计，应考虑装配式结构的精度要求，确保预制构件之间拼装时的精确匹配。

5.2 钢梁及钢-混凝土组合梁

5.2.1 钢梁及钢-混凝土组合梁设计宜采用标准化、通用化的结构单元和构件，构造与连接应便于制作、安装、检查和维护。

5.2.2 构件应验算承载力能力极限状态的强度和稳定性。

5.2.3 材料及设计指标、结构分析、构件设计、连接构造和计算、疲劳计算等内容，应按《公路钢结构桥梁设计规范》(JTG D64)、《钢-混凝土组合桥梁设计规范》(GB 50917)《公路钢混组合桥梁设计与施工规范》(JTG/T D64-01)规定执行。

5.3 混凝土节段梁

5.3.1 混凝土节段梁构件应验算持久状况承载力能力极限状态强度、持久状况使用阶段应力、持久状况正常使用极限状态抗裂、裂缝宽度及变形、短暂状况施工阶段应力及强度。

5.3.2 混凝土节段梁的材料、构件计算、构造设计、施工技术要求等内容，应按《公路钢筋混凝土及预应力混凝土桥涵设计规范》(JTG D3362)、《节段预制拼装混凝土桥梁技术标准(征中华人民共和国住房和城乡建设部，征求意见稿)》规定执行。

5.3.3 混凝土节段梁应根据结构特点、使用年限、环境条件、施工条件等进行耐久性设计。耐久性设计中必须包含接缝部位的耐久性技术措施。

5.4 混凝土小箱梁

5.4.1 混凝土小箱梁构件应验算持久状况承载力能力极限状态强度、持久状况使用阶段应力、持久状况正常使用极限状态抗裂、裂缝宽度及变形、短暂状况施工阶段应力及强度。

5.4.2 混凝土小箱梁的材料、构件计算、构造设计等内容，应按《公路钢筋混凝土及预应力混凝土桥涵设计规范》(JTG D3362)规定执行。

5.4.3 混凝土小箱梁可采用结构简支变结构连续形式、结构简支变桥面连续形式。

5.4.5 桥面连续构造应进行详细设计，宜使用塑料纤维增强混凝土、钢纤维混凝土或超高性能混凝土。桥面连续构造应验算持久状况承载能力极限状态和正常使用极限状态下的性能，现场施工应简单、可靠。对于未经工程应用的新型桥面连

续构造，必须进行试验验证。

5.4.7 混凝土小箱梁的适用跨径宜为20 m~40 m。

5.4.8 混凝土小箱梁的横桥向预制宽度宜不超过3m、吊重宜不超过120 t。

5.5 其它上部结构

5.5.1 除以上列出的主梁类型，还有如混凝土空心板梁、混凝土T梁等，均应按照相关的现行规范设计。

5.6 桥墩

5.6.1 满足本规程规定的灌浆套筒、金属波纹管、套筒灌浆料以及砂浆垫层等连接材料和构造要求时，预制拼装混凝土桥墩可按现浇混凝土桥墩进行设计。

5.6.2 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，预制拼装桥墩可按国家现行标准《公路桥涵设计通用规范》(JTG D60-2004)和《公路钢筋混凝土及预应力混凝土桥涵设计规范》(JTG D3362-2018)进行验算。

5.6.3 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。

5.6.4 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。

5.6.4 预制立柱和盖梁分段安装时，在节段间的环氧固化过程中，立柱和盖梁节段间压应力应不小于0.3MPa。

5.6.5 采用竖向分段预制拼装建造的盖梁，在进行正常使用极限状态计算时,宜保持盖梁正截面全截面受压；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承载能力的影响。

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

5.6.7 拼接缝处无特殊防护时的耐久性设计可根据桥梁运营和所处环境的要求，同时在作用（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可出现拉应力，但拉应力应小于预制构件材料和连接材料的允许设计拉应力。

5.6.8 接缝层埋入承台结构内部超过5cm，并能够确保接缝层外包承台混凝土强度、刚度、耐久性时，接缝层不需要单独开展耐久性设计。

6 抗震设计

6.1 一般规定

6.1.1 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《城市桥梁抗震设计规范》(CJJ 166)、《公路桥梁抗震设计细则》(JTG/T B02-01)的规定。

6.1.2 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:

$$E_c \times I_{eff} = \frac{M_y}{\phi_y} \quad (6.1.1)$$

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)。

6.1.3 E1地震作用下, 预制拼装立柱在弹性范围内工作, 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。

6.1.4 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,连接套筒位于柱身潜在塑性铰区域时取2.2,连接套筒或金属波纹管位于承台或盖梁内时,取2.0;

L_p ——等效塑性铰长度(cm),可取下两式计算结果的较小值:

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

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

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式计算:

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

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。

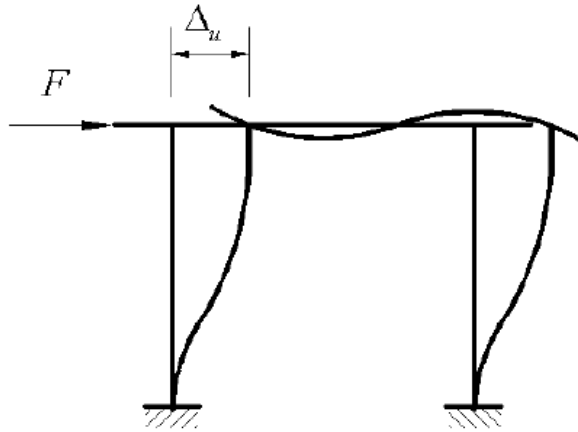


图 6.2.6 框架墩

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。

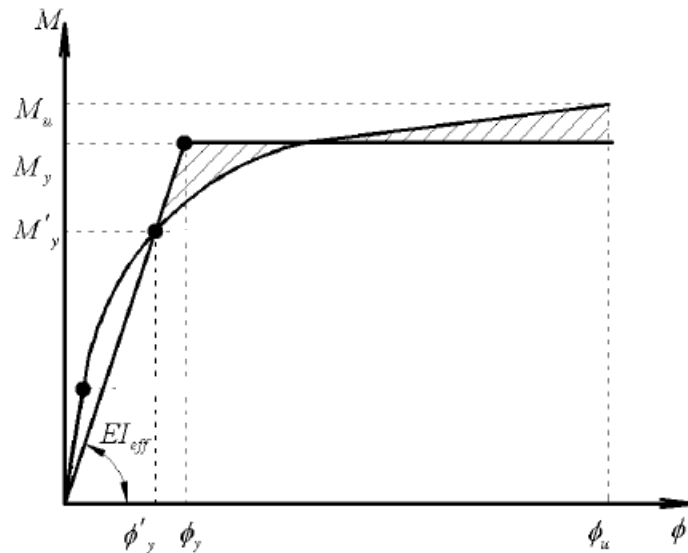


图 6.2.7 等效屈服曲率

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^{R}_{su} ，或纵向钢筋达到折减极限应变 ϵ_{tu} 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，其中计算的弯曲强度应乘以 0.85 的强度折减系数。

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：

$$V_{c0} \leq \phi(V_c + V_s) \quad (6.2.10-1)$$

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

$$\nu_c = \begin{cases} 0, & P_c \leq 0 \\ \alpha(1 + \frac{P_c}{13.8 \times A_g})\sqrt{f_{cd}} \leq \min \begin{cases} 0.355\sqrt{f_{cd}} \\ 1.47\alpha\sqrt{f_{cd}} \end{cases}, & P_c > 0 \end{cases} \quad (6.2.10-3)$$

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

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

$$V_s = \begin{cases} 0.1 \times \frac{\pi A_{sp} f_{kh} D'}{2s}, \text{圆形截面} \\ 0.1 \times \frac{A_v f_{kh} h_0}{s}, \text{矩形截面} \end{cases} \leq 0.08\sqrt{f_{cd}} A_e \quad (6.2.10-6)$$

式中： V_{c0} ——剪力设计值(kN)；

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 ——立柱截面最小轴压力，对于框架墩横向需按 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_{kh} ——箍筋抗拉强度标准值(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， $\phi=0.85$ 。

6.2.11 装配式混凝土立柱拼接缝处设置单个剪力键时沿顺桥向和横桥向的抗剪强度应按下列公式验算，设置多个剪力键时，应根据专项研究确立设计布置的剪力键协同受力的折减系数。

$$V_j = A_k \sqrt{f'_c} (0.9961 + 0.2048\sigma_n) + 0.6A_{sm} \sigma_n \quad (6.2.11)$$

式中： V_j ——剪力设计值(N)；

A_k ——破坏面上键根部的面积(mm²)；

f'_c ——混凝土的圆柱体抗压极限强度(MPa)；

σ_n ——接缝上的压应力(MPa)；

A_{sm} ——破坏面上的摩擦接触面积(mm²)

7 构造设计

7.1 钢梁及钢-混凝土组合梁

7.1.1 中小跨径桥梁中，钢梁及钢-混凝土组合梁的钢腹板宜不设加劲肋或仅设横向加劲肋，并保证腹板高厚比满足稳定要求。

7.1.2 采用钢结构主梁的城市桥梁，主体结构防腐宜优先选用复合涂装。

7.1.3 钢桥结构防腐年限应不小于15年。

7.2 混凝土节段梁

7.2.1 混凝土节段梁宜按照体内外混合配索的原则设计。

7.2.1 体内配索宜按直索通长设置，锚固于顶、底板齿块，不宜设置腹板弯起钢索。

7.2.2 体外预应力钢索应可更换，设计使用年限应不低于35年。体外预应力钢索更换时应不影响现状桥面交通。

7.2.3 混凝土节段梁的适用跨径宜不小于33m。

7.2.4 混凝土节段梁的顺桥向节段长度宜不超过3 m、吊重宜不超过120 t。

7.3 混凝土小箱梁

7.3.1 混凝土小箱梁应设置支点横隔梁。可根据受力需要设置若干道跨内横隔梁。

7.3.2 混凝土小箱梁上翼板横向现浇接缝标准宽度宜取30 cm，现浇混凝土强度等级宜比小箱梁主体结构高30级（如：小箱梁主体为C50、现浇接缝为C80）。现浇接缝钢筋宜由相邻小箱梁翼板横向伸出环状钢筋、并在顺桥向错位布置，然后在环状钢筋交错形成的圆孔内贯穿顺桥向钢筋。

7.4 桥墩

7.4.1 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，并在设计图中予以说明。

7.4.2 预制拼装立柱纵向钢筋宜采用大直径钢筋，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。

7.4.3 预制拼装桥墩中的连接套筒和主筋净保护层厚度不宜小于 30mm，套筒间

净距不宜小于下面三个条件中的大值：25.4mm、骨料最大粒径的 1.33 倍、被连接纵向钢筋的直径 d_s 。

7.4.4 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。

7.4.5 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，保护层厚度宜符合国家现行标准《公路钢筋混凝土及预应力混凝土桥涵设计规范》(JTG D3362)的规定。

7.4.6 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 10mm~30mm，同类型构件之间的环氧接缝厚度宜为 1mm~3mm。

7.4.7 对于设防烈度 7 度地区，连接套筒设置在墩身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 箍筋加密区的长度不应小于连接套筒的高度加 $5d$ （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。

7.4.8 墩柱的纵向钢筋应延伸至盖梁和承台的另一侧面，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 D3362)要求的基础上增加 $10d_s$ ， d_s 为纵向钢筋的直径。

7.4.9 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。

7.4.10 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。

7.4.11 预制拼装盖梁采用上下分层建造时，下层预制构件与上层现浇之间可不使用剪力键；预制拼装盖梁采用竖向分段预制拼装建造时，预制构件的拼接面宜采用剪力键方式。

7.4.12 对可能承受车辆撞击力作用的墩柱，应考虑采用剪力键拼接方式。剪力键中宜布置直径不低于 6mm 的构造钢筋。根据安装时剪力键中环氧胶的挤出能力合理布置导浆槽或其它促进环氧粘结剂挤出的措施。

8 工厂预制

8.1 一般规定

8.1.1 构件预制用钢筋笼胎架、钢筋笼定位板、预制台座、模板、吊具等设备应根据具体预制工艺和精度要求进行专项设计。

8.1.2 模具应进行专项设计。模具应与桥梁构件的特征、浇筑成型工艺相适应，应能保证构件各部位形状尺寸和相互位置的准确。模具宜采用分段组合式模具，以适应不同尺寸构件。

8.1.3 构件模具宜采用钢模具，应具有足够的强度、刚度和稳定性，应能承受预制生产过程中所产生的各种荷载。模具的表面应平整、光洁，接缝处应严密不漏浆。模具的连接螺杆宜采用高强度精轧螺纹钢。

8.1.4 构件钢筋笼加工、灌浆连接套筒或金属波纹管安装定位、预埋件埋设、台座标高等精度控制应按照本章具体规定严格执行，验收合格后方可使用。

8.1.5 所有原材料应按照本规程具体规定和相关规范进行试验检测。

8.1.6 拼接缝处的构件表面在浇筑完成后应及时凿毛至完全露出混凝土的粗骨料，并应用洁净水冲洗干净。

8.1.7 应根据混凝土性能制定具体养护方案，构件预制完成后应及时洒水养护，养护时间应不小于7d，混凝土养护用水的品质应符合现行行业标准《混凝土用水标准》（JGJ63）的规定，不得采用海水或含有害物质的水。

8.1.8 预制构件的质量评定应符合国家现行标准《公路工程质量检验评定标准》（JTG F80/1-2012）第8.6节或相关地方验收标准的规定。

8.1.9 对于特殊气候条件下的生产（冬期、雨期和热期），应符合现行行业标准《公路桥涵施工技术规范》JTG/T F50的规定。

8.2 场地要求

8.2.1 预制厂场地面积应根据工程量、工程进度等因素综合考虑。

8.2.2 预制厂场地选址应充分考虑厂内、外运输条件。

8.2.3 预制台座及存放台座应进行专项设计。

8.2.4 预制厂场地地基处理应充分考虑预制台座、存放台座、机械设备和其它生

产工具的荷载大小，应具有足够的承载能力，预制台座及存放台座应无不均匀沉降。

8.2.5 预制厂场地规划和布置应进行专项设计，应考虑预制构件的预制工艺和运输吊装工艺，应设置钢筋加工车间、混凝土拌合系统、大吨位起重设备、专用台座、混凝土浇筑养生系统、运输道路、防排水设施等。

8.3 混凝土节段梁

8.3.1 本节适用于节段梁的预制。

8.3.2 节段梁应采用匹配法预制，可采用长线法或短线法预制。采用长线法预制时，同一连续匹配浇筑的节段梁应在同一长线台座上预制；采用短线法预制时，应在安装有专用模具的台座上匹配预制。

8.3.3 预制台座应稳定、坚固，在荷载作用下其顶面的沉降应不大于 2mm。

8.3.4 节段梁预制前，应在预制场地建立精密测量的平面控制网和高程控制网，并设置测量控制点和校核点。测量控制点建立在测量塔上，校核点设置在场地的四周的稳定点位。

8.3.5 节段梁在预制时，应对其预制线形进行控制，使成桥后的线形符合设计要求。应严格依据设计单位及施工监控单位监控指令提供的梁段控制点坐标、标高等参数进行预制，准确控制梁段的几何形状。同时，在预制过程中，每榀节段预制完成后，及时进行测量复核工作，并将测量结果及时反馈给监控单位，以确定后续节段的预制参数。

8.3.6 节段梁预制宜采用专门设计的钢模板，钢模板及其支撑应具有足够的强度、刚度和稳定性，精度符合要求，反复使用不变形。

8.3.7 短线法钢模应符合下列规定：

- 1 模板系统设计应考虑模板使用的通用性、便利性和高效性。
- 2 固定端模安装要牢固，须保持竖向垂直并与预制单元中线成 90° ，端模上缘宜保持水平，匹配节段移出就位时应根据预制线形精确定位，待浇梁段侧模、底模及内模均应符合预制线形要求。
- 3 外侧模与固定端模紧密结合、无漏浆，模板应与匹配节段连接紧密、无漏浆。
- 4 底模应考虑设置为可调整标高，以适应桥面竖曲线的变化和曲线超高渐变的变化。
- 5 内模宜安装在可移动的台车支架上，并应做成可调整的模板系统，应保证

其刚度及承载能力满足节段预制作精度要求。

6 匹配节段应有可靠精确的空间调整装置。

7 钢模板安装质量应符合现行行业标准《公路桥涵施工技术规范》JTG/T F50中表 16.6.5 的规定。

8.3.8 节段梁的钢筋骨架应在专用胎架上制作成型。钢筋骨架的几何尺寸、钢筋型号、数量、规格、等级、间距、搭接长度及钢筋接头位置的布置均要满足设计及规范要求。

8.3.9 钢筋骨架成型时，应对预埋管道、预留孔及预埋件位置进行放样，以便及时调整钢筋位置避免互相冲突。预埋件等应采用定位钢筋准确固定。当有体外预应力钢束转向器时，其安装必须准确可靠。

8.3.10 钢筋骨架应整体吊装入钢模内进行安装。钢筋骨架吊点布置应合理，应采用专用吊具多点平衡起吊，防止变形。

8.3.11 预制节段梁混凝土的性能如工作性、强度、弹性模量、收缩和徐变等应符合设计要求。混凝土浇筑顺序为：底板浇筑→腹板浇筑→顶板浇筑，在混凝土浇筑过程中，严禁振捣棒直接碰撞波纹管、预埋管、预埋件，防止预留预埋管件变位，同时应严格控制下料速度，防止混凝土对预留预埋管件造成过大的冲击。

8.3.12 应根据环境温度、水泥品种、外加剂、施工进度及对混凝土性能的要求等制定养护方案，对节段梁的外立面混凝土宜采用喷湿或其他适宜的方式养护，总体养护时间不宜少于 14d。

8.3.13 节段梁的脱模时间应符合设计规定，设计未规定时，脱模时混凝土抗压强度不应低于设计强度等级值的 40%；起吊时混凝土抗压强度不应低于设计强度等级值的 80%。

8.3.14 模板拆除后应及时对节段梁进行检查验收，测量其外形尺寸，并标出梁高及纵横轴线。成品节段梁质量应符合现行行业标准《公路桥涵施工技术规范》JTG/T F50中表16.6.9的规定。

8.4 立柱预制

8.4.1 立柱预制长度应考虑拼接缝处调节垫块厚度。

8.4.2 立柱主要受力钢筋的下料长度应严格控制，允许偏差为 $\pm 2\text{mm}$ ，同时钢筋端部应打磨平整。

8.4.3 立柱钢筋笼应在专用胎架上制作加工成型，钢筋胎架应有足够的强度和刚度，定位精度高，组装方便。胎架上支撑定位体系布置应保证主要受力钢筋不变

形，钢筋笼制作允许偏差均为 $\pm 2\text{mm}$ 。

8.4.4 立柱钢筋骨架制作时，当立柱与其上的盖梁采用灌浆套筒或灌浆金属波纹管连接时，留出筋一端主筋应采用专用定位板定位固定，直至混凝土浇筑硬化后方可拆除。定位板应与主筋垂直，主筋定位允许偏差为 $\pm 2\text{mm}$ ；当立柱与其上的盖梁采用现浇混凝土连接时，留出筋一端主筋可不采用定位板定位，主筋定位允许偏差可放宽到 $\pm 5\text{mm}$ 。

8.4.5 立柱钢筋笼应安装立柱成品吊装所需的吊点预埋件、现场调节设备用的预埋件、支座预埋件等各类预埋件。

8.4.6 立柱钢筋笼中灌浆连接套筒安装相关施工技术应符合本规程第8.6节的规定。

8.4.7 立柱钢筋笼中的灌浆连接套筒应采取加固措施保证吊装及混凝土浇筑时不发生变形或移位。

8.4.8 立柱模板应进行专项设计，宜采用采用面板较厚的钢模版。钢模板应满足刚度、承载能力、稳定性要求，对拉螺杆宜采用高强度精轧螺纹钢。

8.4.9 混凝土浇筑前应再次对立柱钢筋笼及灌浆连接套筒定位进行检查，允许偏差均为 $\pm 2\text{mm}$ ；同时应对台座表面标高及水平度进行复测，标高允许偏差为 $\pm 1\text{mm}$ ，水平度允许偏差为 $\pm 1\text{mm/m}$ 。

8.4.10 预制立柱节段宜竖向预制，混凝土宜一次性浇筑完成。

8.4.11 立柱预制完成后应对立柱尺寸、灌浆连接套筒定位或钢筋定位进行复测，各向允许偏差均为 $\pm 2\text{mm}$ 。

8.5 盖梁预制

8.5.1 盖梁钢筋笼应在专用胎架上制作加工成型，钢筋胎架应有足够的强度和刚度，定位精度高，组装方便。胎架上支撑定位体系布置应保证主要受力钢筋定位准确。

8.5.2 灌浆连接套筒或金属波纹管应与箍筋、锚固钢筋制作成整体模块后置于盖梁钢筋笼内，必要时模块应进行加固以确保混凝土浇筑时模块不变形。

8.5.3 灌浆连接套筒或金属波纹管安装定位允许偏差为 $\pm 2\text{mm}$ 。

8.5.4 盖梁钢筋笼吊装吊点处应局部加强，同时应安装盖梁成品所需的吊点预埋件、现场调节设备用的预埋件、支座预埋件等各类预埋件。

8.5.5 盖梁钢筋笼中灌浆连接套筒安装相关施工技术应符合本规程第9.6节的规定，灌浆金属波纹管安装相关施工技术应符合本规程第9.7节的规定。

8.5.6 盖梁模板要求参照本规范8.4.8要求。

8.5.7 混凝土浇筑前应再次对灌浆连接套筒或灌浆金属波纹管定位进行检查，允许偏差均为 $\pm 2\text{mm}$ ；同时应对台座表面标高及水平度进行复测，标高允许偏差为 $\pm 1\text{mm}$ ，水平度允许偏差为 $\pm 1\text{mm/m}$ 。

8.5.8 盖梁混凝土应一次性浇筑完成，浇筑时宜先行浇筑灌浆连接套筒或灌浆金属波纹管范围内混凝土。

8.5.9 盖梁预制完成后应对盖梁空间尺寸、灌浆连接套筒定位或灌浆金属波纹管定位进行复测，各向允许偏差均为 $\pm 2\text{mm}$ 。

8.6 灌浆连接套筒安装

8.6.1 灌浆连接套筒工厂内安装前应按厂家提供的有效的型式检验报告及产品说明书检查套筒外观质量、尺寸和配件等。

8.6.2 一端灌浆连接一端机械连接型套筒中钢筋机械连接应符合《公路桥涵施工技术规范》(JTG/T F50-2011)中第4.3.4节的规定。

9.6.3 灌浆连接套筒现场拼装端应安装在装有定位销的定位板上，定位板固定在底模上，连同底模一道固定在钢筋胎架的一端（立柱）或下部（盖梁），以此为基准安装骨架的主筋和其他钢筋。灌浆连接套筒应垂直于底模，安装位置允许偏差为 $\pm 2\text{mm}$ 。

8.6.4 整体灌浆连接型套筒预制安装端应放入止浆塞，并确保密封牢固。

8.6.5 灌浆连接套筒压浆口和出浆口的方向应安装正确，压浆管、出浆管和对应的压浆口、出浆口连接应密封牢固，压浆管、出浆管长度应根据承台、立柱或盖梁尺寸预留准确，并用止浆塞塞紧。

8.6.6 灌浆连接套筒与箍筋连接应采用绑扎，不得采用焊接连接。灌浆连接套筒压浆口和出浆口应通过添加定位钢筋，和钢筋骨架整体进行位置固定。

8.6.7 构件拆模完成后，应及时检查灌浆连接套筒内腔是否干净通畅，确保无水泥浆等杂物，如有漏浆或杂物，应及时清理套筒内腔。

8.7 灌浆金属波纹管安装

8.7.1 金属波纹管安装前应符合国家现行标准《预应力混凝土用金属波纹管》(JG

225)的相关规定进行质量检验。

8.7.2 金属波纹管应采用内衬钢管等措施保证预制过程中不变形。

8.7.3 压浆管、出浆管和对应的金属波纹管压浆口、出浆口连接应密封牢固，压浆管、出浆管长度应根据承台或盖梁尺寸预留准确，并用止浆塞塞紧；如直接由上端出浆，端部应采取密封保护措施。

8.7.4 金属波纹管与箍筋连接应采用绑扎，不得采用焊接连接。

8.7.5 构件拆模完成后，灌浆金属波纹管内腔应干净通畅。如有漏浆或杂物，应及时清理管道。

8.8 构件堆放

8.8.1 构件堆放场地应坚实平整，堆放场地和堆放台座的承载力应能承受堆放构件的核载，不发生不均匀沉降、断裂等，应保证构件不因堆放支点沉陷而受到损坏。

8.8.2 堆放场地不应有积水，应有相应的排水设施。

9.8.3 构件应按照其刚度及受力情况制定相应的堆放方案；立柱竖直堆放时，应验算其在最不利荷载下的稳定性，如不满足要求，应考虑必要的支护措施；梁类构件堆放时，其支点位置应符合设计的规定，支点处应采用垫木或其他适宜的材料进行支撑。

9.8.4 节段梁应堆放在专用堆放台座上，叠放层数不宜超过2层。节段梁支点的位置应符合设计规定，且宜采用垫木或其他柔性材料进行支撑。

9.8.5 构件应按其生产的先后顺序编号堆放，构件的留出筋应采取有效的防止锈蚀的保护措施。

9 运输吊装

9.1 一般规定

9.1.1 施工单位应根据预制构件大小、重量选择合理的吊装设备及运输车辆，运输前应对路线实地勘察并优选运输路线。

9.1.2 施工单位编制上报的吊装运输方案并应符合国家现行标准《建筑机械使用安全技术规程》(JGJ33)的要求，方案经相关单位批复后方可实施作业。

9.2 吊装

9.2.1 龙门吊、吊车等大型吊装设备应进行专项检测并出具有效安全检验合格证。

9.2.2 各类钢筋笼、各类构件（吊具、吊架、吊点等）的吊装方案应进行专项设计。

9.2.3 吊具、吊架应定期进行探伤检查和维护。

9.2.4 构件的吊点应符合设计规定；设计未规定时，应根据计算确定。吊绳与起吊构件的交角小于 60° 时，应设置吊架或起吊扁担，使吊环垂直受力。

9.2.5 构件吊点应根据起吊重量设计，并通过试吊装检验；构件起吊应选用符合设计要求的钢丝绳，起吊前应检查起吊钢丝绳、卸扣等的外观质量，确认无误后方可用于构件起吊。

9.2.6 构件起吊时，应先进行试吊，满足要求时方可吊装。

9.2.7 行车起吊、降落时应缓慢、均匀，运行时应平稳，禁止紧急制动。

9.3 场外运输

9.3.1 运输路线应平坦，地基应有足够的承载能力，纵向坡度应不大于3%，横向坡度（人字坡）应不大于4%，最小曲率半径应不小于运输车的允许转弯半径，同时在运输车通过的界限内，不得有任何障碍物。

9.3.2 运输车装载构件时，支承保护方案包括构件运输方向、支承点设置、外露钢筋的保护等应专项设计并报送相关单位，方案批复后方可运输；运输前应按支承方案检查，确保构件运输方向准确及支承措施牢固可靠。

9.3.3 立柱运输时应按长度方向水平放置，支点处垫以不污染混凝土表面的柔性

衬垫；盖梁运输时应按高度方向竖直放置，并应有防止倾倒的固定措施；装卸构件时，必须在支撑稳妥后，方可卸除吊钩。

9.3.4 采用平板拖车或超长拖车运输大型构件时，车长应能满足支点间的距离要求，支点处应设活动转盘，防止搓伤构件混凝土表面。

9.3.5 检查运输车车轮的防泥罩是否完好，防止车轮在运转过程中将污染物甩到构件表面。

10 现场拼装

10.1 一般规定

10.1.1 拼装前应由勘测设计单位对控制性桩点进行现场交桩，并应在复测原控制网的基础上，根据施工需要适当加密、优化，并建立满足拼装精度要求的施工测量控制网。

10.1.2 拼装前施工、监理单位应对拼装方案中的材料及设备到场情况、吊装区域地基处理情况进行严格复查。

10.1.3 拼装前应按管理规定对各级人员进行施工工艺和安全风险源交底。

10.1.4 登高作业宜采用专用高空作业车，作业人员应配备全身式安全带。

10.1.5 构件拼装前应进行匹配拼装。

10.1.6 套筒或金属波纹管内灌浆料强度应大于35MPa后方可进行下一工序施工。

10.1.7 当拼装时气温低于5℃时，应对高强无收缩水泥灌浆料进行保温，温度应不小于10℃且不大于40℃；同时应对拌合所需的水进行加热，温度应不小于30℃且不大于65℃；拌合灌浆料成品工作温度应不小于10℃。

11.1.8 预制拼装通过控制各拼接面浆液厚度以确保桥面标高满足设计要求。立柱预制时，高度应考虑各拼接面浆液总厚度。

11.1.9 在有管线及地下构筑物范围，必须与权属单位协商制定保护方案和加固措施，必要时采取监测控制。

10.2 立柱与承台拼装

10.2.1 承台混凝土浇筑前、后应对预留钢筋、灌浆连接套筒或灌浆金属波纹管定位进行检查，允许偏差为±2mm，水平度允许偏差为±1mm/m，拼装前应对拼接面的坐标、标高和水平度进行复测。

11.2.2 承台混凝土浇筑前后应对预留钢筋、灌浆连接套筒或灌浆金属波纹管定位进行检查，允许偏差为±2mm。

10.2.3 立柱与承台拼装前应进行匹配拼装，同时应对外露钢筋进行除锈处理。

10.2.4 在拼接缝位置，承台上应布置调节垫块，调节垫块总高度控制在2-3cm，材质和强度应符合设计要求。

10.2.5 立柱拼装应遵循以下工艺流程：

拼接面凿毛、清理→拼接缝测量→铺设挡浆模板→调节垫块找平→充分湿润拼接缝表面→铺设砂浆垫层→立柱吊装就位→调节设备安放→垂直度、标高测量→调节立柱垂直度→灌浆套筒连接、灌浆金属波纹管连接。

10.2.6 拼装精度宜采用千斤顶调节标高和垂直度。

10.2.7 立柱调节完成时，应保证承台与立柱拼接面浆液饱满。

10.2.8 灌浆连接工艺应符合本规程第10.7节的规定

10.2.9 立柱拼装就位后应设置临时支承措施。

10.2.10 砂浆垫层在拌浆时应制取试件，对应每个拼接部位应制取不少于3组。

10.2.11 砂浆垫层应及时进行养护。

10.3 盖梁与立柱拼装

10.3.1 在拼接缝位置，立柱上应布置调节垫块，调节垫块总高度控制在2-3cm，材质和强度应符合设计要求。

10.3.2 盖梁应按以下工艺流程拼装：

拼接面凿毛、清理→拼接缝测量→铺设挡浆模板→调节垫块找平→拼接缝表面充分湿润→铺设砂浆垫层→盖梁吊装就位→调节盖梁空间坐标→灌浆套筒连接或灌浆金属波纹管连接。

10.3.3 灌浆连接工艺应符合本规程第10.7节的规定。

10.3.4 调节设备、防倾覆措施及砂浆垫层相关要求符合本规程第10.2.6、10.2.9、10.2.10、10.2.11条的规定。

10.4 立柱间节段拼装

10.4.1 拼装前应对立柱节段拼接缝进行表面处理，确保表面无油、无水及无可见灰粉。

10.4.2 立柱应按以下工艺流程拼装：

表面处理并充分干燥→拼接缝测量→涂刷环氧粘结剂→立柱节段拼装→安放调节设备→垂直度、标高测量→调节立柱垂直度→施加竖向临时预应力→灌浆套筒连接。

10.4.3 拼装前应对立柱节段拼接缝表面进行复测，标高允许偏差为±2mm，水平度允许偏差为1mm/m。

10.4.4 环氧粘结剂应均匀涂刷，涂刷时间宜控制在30min内，涂刷前、后均应采取防雨、雪、尘措施。

10.4.5 上节立柱应设置调节设备，用于调节的预埋件应在立柱预制时安装。

10.4.6 灌浆套筒连接工艺应符合本规程第10.7节的规定。

10.4.7 立柱拼装就位后应设置临时支承措施防止倾覆。

11.4.8 应用竖向预应力时，锚具安装和张拉应满足下列要求：

1 在张拉端安装工作锚板和工作夹片，再安装张拉工具和设备。

2 张拉时先张拉到控制张拉应力的10%，观察张拉无异常，再张拉至20%，分别记录油压和伸长值；最后张拉至100%控制张拉力，持荷5分钟放张锚固。

10.5 盖梁间节段拼装

10.5.1 盖梁间节段拼装前应进行拼接面预处理，清除尘土、油脂等污染物及松散混凝土与浮浆后，应进行冲洗，然后进行干燥处理。

10.5.2 盖梁间节段拼装前应进行匹配拼装。

10.5.3 拼接段节段盖梁拼装应根据设计要求和施工工艺确定工艺流程。

10.5.4 环氧粘结剂应均匀涂刷，覆盖整个匹配面，涂抹厚度以3mm为宜，涂刷时间宜控制在30min内，施加临时预应力时，环氧粘结剂应在全断面均匀挤出，同时应对孔道口做好防护，严禁环氧粘结剂进入预应力筋孔道，冬季施工时应应对环氧粘结剂采取保温措施。

10.5.5 临时预应力筋和永久预应力筋的布置、预应力筋类型、张拉顺序、张拉力应严格按照设计方案执行。

10.5.6 临时预应力钢筋的张拉力应符合设计要求，并应满足反复多次张拉的作业要求。节段拼接面的混凝土受压应力不得小于0.3Mpa。

10.5.7 临时预应力应在盖梁永久预应力张拉完成且波纹管内灌浆料达到设计要求强度之后，才能拆除。

10.6 主梁拼装

10.6.1 主梁悬臂拼装时，关于线性控制、接缝规定、吊具要求详见《公路桥涵施工技术规范》16.6规定。

10.6.2 悬臂拼装施工1号块一般采用湿接缝连接，施工工艺流程为：

吊机就位→提升、起吊1号梁段→安设铁皮管→中线测量→丈量湿接缝的宽

度→调整铁皮管→高程测量→检查中线→固定1号梁段→安装湿接缝的模板→浇筑湿接缝混凝土→湿接缝养护、拆模→张拉预应力筋→下一梁段拼装。

其他梁段拼装采用胶接缝连接，施工工艺流程为：

吊机就位→起吊梁段→初步定为试拼→检查并处理管道接头→移开两端→穿临时预应力筋入孔→接缝上涂胶接材料→正式定位、贴紧梁段→张拉临时预应力筋→放松起吊索→穿永久预应力筋→张拉预应力筋后移挂篮→下一梁段拼装。

10.7 灌浆连接工艺

10.6.1 灌浆前应再次检查套筒或金属波纹管，确保内腔通畅无杂质。套筒或金属波纹管下端应设置压浆口，压浆口下缘与端部净距应大于20mm；套筒或金属波纹管上端应设置出浆口，出浆口端部应不小于套筒或金属波纹管顶部10mm。

10.6.2 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，应符合设计规定。高强无收缩水泥灌浆料应在拼装前一天进行流动度测试及1d龄期抗压强度测试，符合设计规定后方可用于现场拼装连接。

10.6.3 灌浆工艺应满足下列要求：

- 1 应依据设计要求和试验测试结果，精确控制配合比；
- 2 应采用专用设备进行搅拌和灌浆，并严格控制搅拌、灌浆工艺参数；
- 3 宜采用先进工艺保证灌浆套筒内浆体的密实度。

10.6.4 高强无收缩水泥灌浆料在拌浆时应制取试件，对应每个拼接部位应制取不少于3组，分别测试1d、3d和28d龄期抗压强度。

10.6.5 灌浆施工应保持连续，如在压浆过程中遇停电等突发状况时，现场应配备应急发电设备或高压水枪等清理措施。

10.6.6 灌浆完成后应及时清理残留在构件上的多余浆体。

10.6.7 拼装定位固定后灌浆时间、灌浆压力要求、临时支撑措施拆除时间等应符合设计规定。

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 F50-2011)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：粒径不大于20mm，针片状含量不大于8%，含泥量不大于1%，泥块含量不大于0.5%。

A.0.4 高性能混凝土细骨料宜采用级配Ⅱ区的中砂，含泥量应不大于3%，泥块含量应不大于1%。

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

附录 B 高强无收缩水泥灌浆料技术指标试验方法

B.0.1 高强无收缩水泥灌浆料试件制作及标准养护条件应符合《水泥胶砂强度检验方法（ISO法）》(GB/T 17671)的规定。

B.0.2 高强无收缩水泥灌浆料拌合用水应符合《混凝土用水标准》(JGJ 63)的有关规定，宜采用生活饮用水。

B.0.3 试验室的温度和湿度应符合《水泥基灌浆材料应用技术规范》(GB/T 50448)附录A.0.1的规定。

B.0.4 流动度试验应符合《水泥基灌浆材料应用技术规范》(GB/T 50448)附录A.0.2的规定。

B.0.5 抗压强度试验应符合《水泥基灌浆材料应用技术规范》(GB/T 50448)附录A.0.4的规定。

B.0.6 竖向膨胀率试验应符合《水泥基灌浆材料应用技术规范》(GB/T 50448)附录A.0.5的规定。

B.0.7 氯离子含量试验应符合《混凝土外加剂匀质性试验方法》(GB/T 8077)的规定。

B.0.8 泌水率试验应符合《普通混凝土拌合物性能试验方法标准》(GB/T 50080)中第5.1条的规定。

引用标准名录

- | | |
|---|--------------|
| 1 《通用硅酸盐水泥》 | GB 175 |
| 2 《公路桥涵施工技术规范》 | JTG/T F50 |
| 3 《预应力混凝土用金属波纹管》 | JG 225 |
| 4 《公路桥涵设计通用规范》 | JTG D60 |
| 5 《公路钢筋混凝土及预应力混凝土桥涵设计规范》 | JTG D3362 |
| 6 《公路钢结构桥梁设计规范》 | JTG D64 |
| 7 《钢-混凝土组合桥梁设计规范》 | GB 50917 |
| 8 《公路钢混组合桥梁设计与施工规范》 | JTG/T D64-01 |
| 9 《公路工程质量检验评定标准》 | JTG F80/1 |
| 10 《预应力混凝土用金属波纹管》 | JG 225 |
| 11 《建筑机械使用安全技术规程》 | JGJ33 |
| 12 《城市桥梁抗震设计规范》 | CJJ166 |
| 13 《钢筋机械连接技术规程》 | JGJ 107 |
| 14 《公路桥梁抗震设计细则》 | JTG/T B02-01 |
| 15 《预应力混凝土桥梁预制节段逐跨拼装施工技术规程》 | CJJT 111 |
| 16 《节段预制拼装混凝土桥梁技术标准（征中华人民共和国住房和城乡建设部，求意见稿）》 | |

本规程用词说明

执行本规程条文时，对于要求严格程度的用词说明如下，以便在执行中区别对待。

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”。

表示有选择，在一定条件下可以这样做的用词，采用“可”。

上海市工程建设规范

预制拼装桥墩技术规程

编号

条文说明

1 总则

1.0.1 近几年，上海地区预制拼装技术在上部结构与立柱、盖梁等下部结构均取得大规模应用，为了促进和指导预制拼装技术在桥梁结构的应用，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，实现人本化施工管理，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。

1.0.2 目前大规模运用的预制拼装桥梁上部结构有预制混凝土节段梁、预制钢梁、预制钢-混凝土组合梁、预制小箱梁等。预制拼装钢筋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，本规程仅针对研究成果和实际应用技术相对成熟的灌浆套筒连接和灌浆金属波纹管连接两类连接方式予以规定。其中，灌浆套筒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1-1；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1-2所示。

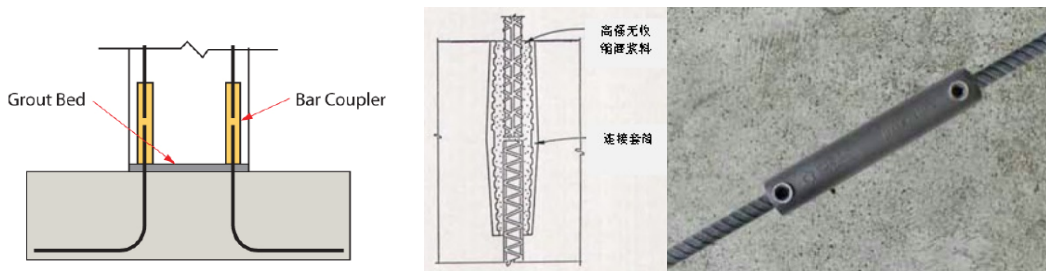


图1-1 灌浆套筒连接示意图

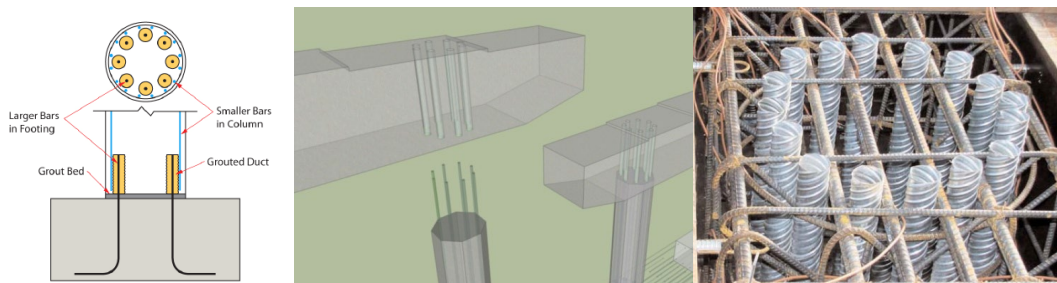


图1-2 灌浆波纹管连接示意图

国内外关于采用灌浆套筒连接或灌浆金属波纹管连接的预制拼装桥墩抗震性能研究成果表明，灌浆套筒设置在墩身塑性铰区域，其抗震性能的总体表现

与传统现浇混凝土相近，但因塑性铰区套筒的存在，对塑性铰区域的损伤、破坏机理有影响，与传统现浇混凝土桥墩的破坏行为不同。考虑到高地震危险性地区桥梁延性抗震对塑性铰区延性变形能力有更高的要求，而现有有限的试验数据尚不足以支持其在高地震危险地区的推广应用，故本条文对预制桥墩的应用范围进行了适当的规定。

1.0.3 本规程不能代替所有技术标准，故预制拼装桥梁设计及施工除应符合本规程外，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 D3362)、《城市桥梁抗震设计规范》(CJJ166)、《公路桥梁抗震设计细则》(JTG/T B02-01)、《公路桥涵施工技术规范》(JTG/T F50)等国家和本市相关技术标准的规定。

3 基本规定

3.0.1 桥梁桥墩预制拼装方案和预制能力、运输能力、拼装场地条件、吊装能力等因素关系密切，因此在设计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。根据上海地区的实际情况，构件的预制方案主要受限于运输条件，因此建议预制构件的运输重量控制在200t以内。

3.0.2 根据灌浆套筒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，本条提出了灌浆套筒连接及灌浆金属波纹管连接的使用范围，其中这两种连接模式由于制作工艺及压浆工艺的可靠度高于常规的连接模式，因此可布置在同一断面。由于高立柱受限于运输吊装条件，可采用分段预制、节段间连接采用灌浆套筒连接的方案，分段数量建议尽量少，以减少现场工作量。

3.0.6 为进一步保证成品质量，预制混凝土梁、立柱、盖梁应在专业的预制工厂内生产，厂内应配备如钢筋数控加工、胎架、台座、模板、混凝土搅拌、混凝土浇筑、混凝土养生、预应力张拉、大型吊装、运输等一整套设备和相应的生产工具。

4 材料

4.1 混凝土

4.1.1~4.1.2 国外已大量应用高性能混凝土，而国内由于种种原因较少采用高性能混凝土，由于预制采取工厂化生产模式，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，推荐使用高性能混凝土。高性能混凝土的拌合对原材料要求比较高，因此在总结上海地区高性能混凝土成功经验的基础上，提出了具体的原材料性能指标要求。

4.2 钢筋

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 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，如石英粉、微硅粉、纳米硅、聚羧酸减水剂等。在参考国外和国内房屋建筑预制拼装相应灌浆料技术指标的基础上，本规程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，并在附录B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，应采购具有专业资质的厂家生产的产品，同时为方便运输和投料，每袋重量不宜大于25公斤。

4.3.4 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。

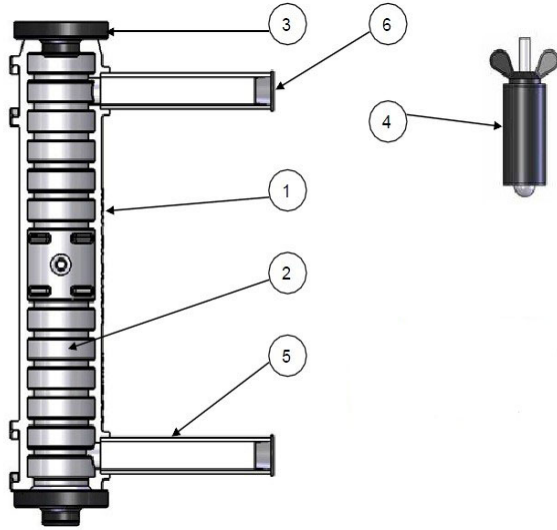
4.4 砂浆垫层

4.4.3 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

4.5.1 由于球墨铸铁具备良好的物理、力学、机械加工性能，同时强度-成本比优势非常明显，因此建议采用球墨铸铁。

4.5.2 灌浆连接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。本规程称工厂预制安装采用现场灌浆连接的套筒为整体灌浆连接型套筒，见图4-1。工厂预制安装采用机械连接的套筒为一端灌浆连接一端机械连接型套筒，见图4-2。



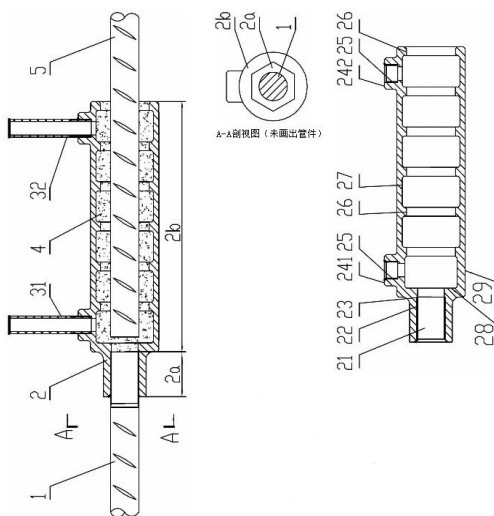
1-套筒筒体, 2-高强灌浆料, 3-止浆塞,
4-定位销, 5-进浆口, 6-出浆口

(a) 整体灌浆连接型套筒示意图



(b) 整体灌浆连接型套筒实例图

图4-1 整体灌浆连接型套筒



1、5-带肋钢筋, 2-套筒, 2a-多边形柱体, 2b-圆柱体,



21-通孔, 22-内螺纹, 23-台肩, 241-凸台I, 242-凸台II,

25-内螺纹通孔, 26-圆柱状凸肋, 26-凹槽,

28-多边形柱体底面, 31、32-管件, 4-灌浆料

(a) 一端灌浆连接一端机械连接型套筒示意图

(b) 一端灌浆连接一端机械连接型套筒实例图

图4-2 一端灌浆连接一端机械连接型套筒

4.5.3 根据试验研究,对于整体灌浆连接型套筒,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能小于 $10d_s$ (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20mm;由于整体灌浆连接型套筒分现场拼装端和预制安装端,安装时应特别注意。

4.5.4 根据试验和理论研究,对于一端灌浆连接一端机械连接型套筒,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能小于 $10d_s$ (d_s 为被连接纵向钢筋直径)。

4.5.5 用于预制拼装桥墩的连接套筒,需满足现行国家行业标准《钢筋机械连接技术规程》(JGJ 107)中对连接套筒性能的要求,同时考虑到塑性铰区反复地震荷载下套筒内钢筋存在拔出的风险,这会导致立柱承载力和延性能力降低,因此提出断于母材,即灌浆套筒的抗拉强度大于等于被连接钢筋的实际拉断强度。

4.5.7 为满足预制和拼装施工,灌浆连接套筒生产厂家应提供一整套配件,包括压浆管、出浆管、压浆后的止浆塞、厂内预制用的定位销等,其中压浆管、出浆管宜为非金属材料。

4.5.9 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 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。

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。我国《公路钢筋混凝土及预应力混凝土桥涵设计规范》(JTG D62-2004)及《公路桥梁抗震设计细则》(JTJ/T B02-01-2008)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:

$$\text{Max} \left(\frac{0.02A_b f_y}{\sqrt{f_c}} \times 0.8 \times 0.75, 0.06d_b f_y \right) \approx 24d_b \quad (4-1)$$

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 $24d_s$ 。

4.6.3 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20mm。

4.7 环氧粘结剂

4.7.1 同类构件之间如主梁节段、立柱节段、盖梁节段，由于工厂预制精度较高，节段间界面粘结剂应采用环氧类粘结剂。

4.8 预应力筋—锚具组装件

4.8.1~4.8.3 对于7度地震区，不同构件之间的拼装需采用特殊的预应力组合体系以提高桥梁整体抗震性能及耐久性，对于这些预应力筋—锚具组装件应经过有资质检测单位试验检测合格后方可使用。

5 设计

5.2 钢梁及钢-混凝土组合梁

5.2.1~5.2.3 在符合现有规范的同时，预制拼装桥梁为了提高建设效率，降低建设成本，应该采用标准化、通用化的结构单元。

5.3 混凝土节段梁

5.3.2 目前国内没有已经颁布的混凝土节段梁设计标准，以往实际工程中，节段梁设计多采用欧洲标准，但考虑到新颁布的交通部标准《公路钢筋混凝土及预应力混凝土桥涵设计规范》（JTG D3362）涉及部分节段梁构造要求、建设部在编标准《节段预制拼装混凝土桥梁技术标准》系统的指导了节段梁设计方法，在本规程中不做重复规定。

5.4 混凝土小箱梁

5.4.3 在国内现有技术条件下，采用结构简支变结构连续形式的混凝土小箱梁是一种可靠的方案。

在活载等级小、设计充分、施工质量能保证的情况下，可采用结构简支变桥面连续方案。

5.4.5 桥面连续构造十分重要，设计必须重点关注。桥面连续构造一旦破损会影响桥梁正常使用、造成不良社会影响。

桥面连续构造使用的塑料纤维增强混凝土或钢纤维混凝土，应明确塑料纤维或钢纤维的掺量，对于超高性能混凝土应明确相关等级。

桥面连续构造应验算持久状况承载能力极限状态下的抗弯承载力或抗弯拉承载力、持久状况正常使用极限状态下的裂缝宽度。

桥面连续构造的试验内容应包含静荷载下的承载力、活荷载频遇值对应的抗疲劳性能等。

5.4.7 根据工程经验，提出条文中的适用跨径。当跨径小于 20m 时，主梁采用混凝土小箱梁的工程经济性不佳，主梁宜采用为带翼缘现浇接缝的预制空心板梁

方案。当跨径超过 40m 时，混凝土小箱梁的构件尺寸及重量均较大，不适宜在道路运输及现场快速安装，主梁宜采用其它梁型。

5.4.8 条文给出的量值综合考虑了桥梁构件运输对交通、路面结构、地下浅埋管线、既有地面桥梁的影响。针对不同地域的建设条件，还应根据实际情况确定条文中的各限定值。

5.6 桥墩

5.6.1 采用灌浆连接套筒或灌浆金属波纹管连接建造的预制混凝土桥墩，已有的试验研究表明，正常使用状态下，预制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。

5.6.3 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，但由于截面与配筋形式多样，统一的影响系数难以给出，具体立柱形式可通过试验或精细化分析来予以考虑，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。

5.6.5 竖向分段预制盖梁，确保盖梁耐久性，盖梁不宜发生开裂，因此在进行正常使用极限状态计算时，规定盖梁的正截面宜保持受压状态；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，故计算盖梁承载力时，需要考虑拼接缝开裂的影响。

5.6.6~5.6.8 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；对于墩身内布置灌浆连接套筒的预制立柱，根据国外的应用实践和研究成果，通过提供一定的保护层厚度即可满足要求。对于拼接缝垫层耐久性，主要是确保拼接缝不开裂，以及垫层材料自身的耐久性要求，因此，参考国内外相关研究成果，高强砂浆垫层通过材料成分及施工质量两方面控制，即可满足要求；对于采用环氧粘结剂为垫层的，从环氧粘结剂材料和施工质量等方面对其提出耐久性要求规定，这些要求均已体现在本规程的相关条文中。

6 预制拼装桥墩抗震设计

6.1 一般规定

6.1.1 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 166-2011)或《公路桥梁抗震设计细则》(JTG/T B02-01-2008)的要求。

6.1.2 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。

6.1.3 依据《城市桥梁抗震设计规范》(CJJ 166-2011)或《公路桥梁抗震设计细则》(JTG/T B02-01-2008)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。

6.1.4 依据《城市桥梁抗震设计规范》(CJJ 166-2011)或《公路桥梁抗震设计细则》(JTG/T B02-01-2008)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 166-2011)或《公路桥梁抗震设计细则》(JTG/T B02-01-2008)中的规定。

6.2.4 采用连接套筒的预制立柱，其塑性铰区域的最大容许转角可根据极限破坏状态的曲率能力计算，其中延性安全系数取2.2，这是考虑到墩身塑性铰区连接套筒存在导致该处钢筋存在塑性变形集中的可能，其延性变形能力略有降低。

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做为延性构件，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。

6.2.11 目前尚缺乏关于本规程预制拼装构造下桥墩拼接缝在抗震条件下抗剪强度的理论研究和计算公式。依据国内开展的少量预制桥墩抗剪反复加载拟静力试验结果表明，在剪跨比大于2.5条件下，反复加载预制桥墩接缝处没有发生相对滑动，接缝处不是抗震薄弱部位，与整体现浇桥墩破坏模式相似；对于剪跨比小于2.5的预制立柱，规范规定其应为强度控制，不发生延性损伤。故此处参考美国AASHTO规范针对预制拼装主梁干接缝截面抗剪公式。结合大量国内外试验数据与理论研究，影响拼接缝剪切强度的主要因素有：拼接缝的类型、接缝面的正应力水平、混凝土的强度等级、剪力键的面积及环氧接缝胶层的厚度等。美国AASHTO规范公式是以Buyukozturk 和Bakhoun 等人的干接缝试验为主要依据，将接缝破坏面上的剪切强度分成两部分考虑，一部分为混凝土剪力键齿上的

剪切应力，一部分为接缝破坏面上的摩擦力，试验发现接缝剪切强度还随混凝土的强度等级和侧压力的提高而提高。对于不设置剪力键齿的预制立柱，其拼接缝的抗剪能力仍可按公式(6-1)计算，此时 A_k （破坏面上剪力键根部的面积）可取零。

$$V_{nj} = A_k \sqrt{6.792 \times 10^{-3} f'_c (12 + 2.466 f'_{pc})} + 0.6 A_{sm} f_{pc} \quad (6-1)$$

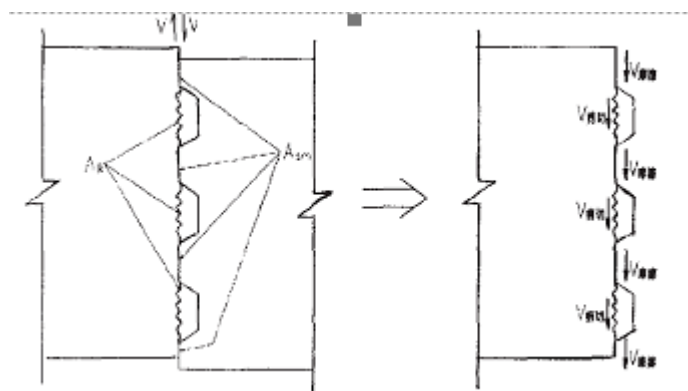


图 6-1 AASHTO 接缝剪切破坏示意图

表 6-1 AASHTO 规范中对摩擦系数的建议值

类型	μ 值	备注
整体浇筑的混凝土	1.4	普通混凝土 $\mu=1$ 砂-轻质混凝土 $\mu=0.85$ 全轻质混凝土 $\mu=0.75$
在经粗糙处理面的硬化混凝土上浇筑的混凝土	1	
在未经粗糙处理的硬化混凝土上浇筑的混凝土	0.6	
混凝土和轧制型钢用带墩头的销钉或钢筋锚固	0.7	

7 构造设计

7.1 钢梁及钢-混凝土组合梁

7.1.1 钢腹板采用较薄板厚并设大量纵横向加劲肋是国内设计行业多年的习惯，这能够节省工程材料用量，但这却带来加劲肋数量多、焊缝条数多、涂装面积大的问题，存在的缺陷易引起结构耐久性不足。

随着近年来钢桥制造人工费日益上涨的趋势、深入分析钢桥养护中发现的问题，如设计师在标准结构中减少加劲肋数量、涂装面积及焊缝条数能够有效地降低构件制造成本及后期养护的工作量，这对工程经济性是有利的。本规程建议通过适当增加腹板厚度来简化整体构造。

7.1.2 钢桥构件通常体量较大、表面数量多且形状复杂，宜采用易于施工及修复的防腐体系。

目前国内桥梁较难接受耐候钢，主体结构常用的防腐体系有复合涂装、热喷锌（或锌铝合金）等。

复合涂装的喷涂操作及配套设备简单、施工容错性好、维修复涂方便，而热喷锌（或锌铝合金）的操作及配套设备较为复杂、施工过程控制及维修的要求极为严格。相对而言，复合涂装更适用于钢结构主体防腐。

镀锌、渗锌通常用于小体积构件或断面较小的长条形构件，不适用于常规钢桥构件。小跨径桥梁中采用断面较小的轧制构件或焊接组合构件时，可采用热喷锌（或锌铝合金）、镀锌或渗锌等方法防腐。

7.1.3 这里规定的钢桥结构防腐年限应不小于15年，主要是针对涂装防腐方法并参考长效型涂料防腐年限提出的。热喷锌（或锌铝合金）、镀锌、渗锌的防腐方法，其有效年限应长于15年。

7.2 混凝土节段梁

7.2.1 根据工程经验，当混凝土节段梁采用全体内预应力体系时，节段非标准构件极多，节段预制及安装会面临较大困难，不利于快速化、标准生产。

当采用全体外预应力体系时，高强预应力钢材的用量将显著增加，导致工程建安费提高，经济性不佳。

以现阶段国内情况，采用体内外混合配索、并根据建设条件及要求设置体内与体

外钢索的用量比例是一种较合理的设计原则。

7.2.1 体内配索采用直索通长设置时，仅有体内索的通过节段和弯起锚固节段，管道形状相对简单、可实现标准化，对节段预制的的影响不大。

如采用腹板弯起钢索设置，会有多种类型的弯曲节段，管道形状复杂、定位易出错，为节段预制及安装带来很大困难。

7.2.2 在现有技术条件下，体外预应力钢索的外裹层无法达到与主体结构同等使用年限，因此必须将体外预应力钢索设计为可更换形式，并应在混凝土节段梁内部预留充足的运索、换索及张拉空间。

城市桥梁尤其是高架桥梁通常承担较大的交通流量，桥面完全封闭交通或半封闭交通均会对城市运营带来不良影响，设计中应保证在更换单根体外预应力钢索时主梁能满足承载力及正常使用极限状态的要求，受力控制指标可略降低要求。

体外预应力钢索宜设计为可接单股钢绞线更换、张拉的形式，主梁转向构造的永久受力状态更好、钢绞线更换施工对主梁的短暂影响会更小。

7.2.3 当桥梁跨径较小时，梁高也按比例降低，由于顶底板厚度及体外钢索中心至梁边缘距离在构造设计上存在最小控制值，使得体外钢索中心至截面形心轴的距离（偏心距）不能按截面高度等比例调整。随着梁高降低，体外钢索偏心距相对梁高的比值会变小、效率降低，为保证混凝土顶底缘在正常使用极限状态的具有足够的压应力储备，则需提高钢索材料用量。在较小跨径桥梁中应用混凝土节段梁方案，会出现“梁高正常、钢索用量偏高”，或“梁高偏高、钢索用量正常”的不合理情况。因此，混凝土节段梁不宜应用于较小跨径桥梁中。

混凝土节段梁需预留内腔通行空间便于人工检修，主梁内部净高宜不低于1.8m（按工人平均身高1.7m，安全帽高0.1m），否则后期养护不便。取主梁顶底板厚各0.2m、按常规主梁高跨比（不大于1/15）推算跨径合理值宜不小于33m，实际应用时还应适当增大跨径。

7.2.4 条文给出的量值综合考虑了桥梁构件运输对交通、路面结构、地下浅埋管线、既有地面桥梁的影响。针对不同地域的建设条件，还应根据实际情况确定条文中的各限定值。

7.3 混凝土小箱梁

7.3.1 条文中列出的两种结构形式小箱梁均应设置具有足够刚度和强度的支点

横隔梁，保证结构整体性。

跨内横隔梁的数量，可根据结构计算结果确定。在主梁顺桥向受力、支点横隔梁横桥向受力、桥面板横桥向受力等均能满足设计要求的情况下，宜取消跨内横隔板，减少现场施工量。

7.3.2 混凝土小箱梁上翼缘横向现浇缝宽度在以前的设计中通常取50cm，小箱梁翼板横向伸出环形钢筋，现场再安装带两个圆端头的环形钢筋及若干顺桥向贯通钢筋。上述构造的现场工作量较大、施工速度较慢，为简化施工程序，主编单位提出了条文中的设计方案、完成了相关模型试验，并已在上海多个工程中应用，效果良好。

7.4 桥墩

7.4.1 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。

7.4.2 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(36mm、40mm)钢筋。

7.4.3 考虑到预制立柱的耐久性要求，预制拼装桥墩中的连接套筒和主筋净保护层厚度宜不小于30mm。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。

7.4.4 为确保灌浆套筒在箍筋约束下对核心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。

7.4.5 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宜不小于30mm；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。

7.4.6 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；立柱节段之间的拼装应采用环氧粘结剂，其厚度需考虑受力和施工的要求。

7.4.7 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。

7.4.9 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 166-2011)及《公路桥梁抗震设计细则》(JTG/T B02-01-2008)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应小于连接套筒或波纹管的高度。

7.4.11 预制盖梁采用竖向分段拼装建造时，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。

8 工厂预制

8.1 一般规定

8.1.4 拼接缝处的构件表面在浇筑完成后应及时凿毛至完全露出新鲜密实混凝土的粗集料，并应用洁净水冲洗干净。砂浆拼接缝处的构件表面在浇筑完成后应及时进行粗糙处理，完全露出密实混凝土的粗集料，并应用洁净水冲洗干净；环氧拼接缝处的构件表面在浇筑完成后应清除脱模剂，保证接缝面干燥、干净，并使混凝土表面尽量平整。

8.1.6 预制构件的质量评定应符合《公路工程质量检验评定标准》JTG F80/1第8.6节或相关地方验收标准的规定。预制构件的质量评定应符合国家现行标准《城市桥梁施工与质量验收规范》CJJ 2及相关地方验收标准的规定。

8.1.8 预制构件生产完成后，应进行出厂检验，检验合格后出具出厂合格证，合格证内容应包含混凝土强度等级、保护层厚度、隐蔽检查记录等。

8.3 主梁预制（混凝土节段拼装梁）

8.3.2 节段梁应采用匹配法预制，可采用长线法或短线法预制。采用长线法预制时，同一连续匹配浇筑的节段梁应在同一长线台座上预制；采用短线法预制时，应在安装有专用模具的台座上匹配预制。

8.3.5 节段梁在预制时，应对其预制线形进行控制，使成桥后的线形符合设计要求。应严格依据设计单位及施工监控单位监控指令提供的梁段控制点坐标、标高等参数进行预制，准确控制梁段的几何形状。同时在预制过程中，每榀节段预制完成后，及时进行测量复核工作，并将测量结果及时反馈给监控单位，以确定后续节段的预制参数。

8.3.7 短线法钢模应符合下列规定：

- 1 模板系统设计应考虑模板使用的通用性、便利性和高效性。
- 2 固定端模安装要牢固，须保持竖向垂直并与预制单元中线成 90° ，端模上缘宜保持水平，匹配节段移出就位时应根据预制线形精确定位，待浇梁段侧模、底模及内模均应符合预制线形要求。
- 3 外侧模与固定端模紧密结合、无漏浆，模板应与匹配节段连接紧密、无漏浆。
- 4 底模应考虑设置为可调整标高，以适应桥面竖曲线的变化和曲线超高渐变的变

化。

5 内模宜安装在可移动的台车支架上，并应做成可调整的模板系统，应保证其刚度及承载能力满足节段预制作精度要求。

6 匹配节段应有可靠精确的空间调整装置。

7 钢模板安装质量应符合现行行业标准《公路桥涵施工技术规范》JTG/T F50 中表16.6.5的规定。

8.4 立柱预制

8.4.1 立柱实际预制长度应考虑与承台和盖梁拼接缝间的调节垫块厚度。

8.4.2~8.4.3 由于采用预制拼装技术，对立柱、盖梁等预制构件精度要求相比传统模式有了大幅度的提升，参照国外预制拼装精度控制标准，制定了立柱、盖梁预制构件的加工允许偏差为 $\pm 2\text{mm}$ ，包含了钢筋、套筒、金属波纹管和构件成品。

8.4.4 由于立柱需运输吊装，同时在现场拼装时需调整空间姿态，因此在预制时需埋设相应的吊点预埋件和调节设备预埋件。

8.4.8 立柱模具的组装可参考下列规定：

1 立柱采用水平组装，竖直成型工艺。因此立柱模具的组装应在专用的组装翻身架上进行。组装翻身架应经过专业设计、加工，应具有足够的强度、刚度和适用性。

2 在组装翻身架上先水平组装模具的3个侧模，然后将钢筋骨架整体吊运到模具内，将安装有套筒的定位底模一端与组装翻身架用定位销轴固定。初步检查所有埋件和保护层垫块安装是否正确，最后组装模具的上部侧模。

3 模具的合缝螺栓应对称逐步拧紧，采用扭力扳手校核拧紧力矩，使其符合模具设计要求。

4 采用专用吊具吊住模具上端，缓慢提升，翻转成竖直状态，松开定位销轴，吊运至成型工位就位，与底座通过螺栓连接牢固。

5 模具组装时，所有的合缝口均应粘贴止浆密封条。

8.4.9 预制台座是控制立柱成品精度的重要措施之一，因此对台座的标高和水平度做出了严格的规定。

8.4.10 立柱如采用水平预制，上表面不容易收光和导致套筒部位混凝土存在不

密实现象，因此建议采用竖向预制。

8.5 盖梁预制

8.5.4 盖梁钢筋笼制作应考虑后续施工如吊装、空间姿态调节、预应力张拉、制作安装等施工工序所需的预埋件。

8.5.6 盖梁模具组装可参考下列规定：

- 1 盖梁钢模由底座、侧模、端模和其他辅助配件组成。底座固定于成型工位，每次均组装和拆卸侧模和端模。
- 2 将钢筋骨架整体吊运到底模上就位，将安装灌浆套筒的定位底模与盖梁底模固定。检查预应力筋孔道波纹管线形位置是否正确、顺畅。预应力筋孔道波纹管应采用“井”字形架立钢筋固定，在直线段按800mm间距设置，曲线段按500mm的间距设置。安装好的锚垫板尾部与波纹管套接，波纹管套入锚垫板的深度不小于100mm，其接缝填塞严密，采用防水胶布缠裹。定位后的管道应平顺，其端部的中心线应与锚垫板相垂直。
- 3 安装侧模和端模。所有的合缝口均应粘贴止浆密封条。合缝螺栓应对称逐步拧紧，采用扭力扳手校核拧紧力矩，使其符合模具设计要求。
- 4 检查灌浆套筒引流管、吊点、支座、支座PVC管预埋件和外引接地钢板等的相对位置是否符合设计要求，并可靠固定。

8.5.8 由于灌浆连接套筒或灌浆金属波纹管定位精度为现场拼装的精度控制主要因素之一，因此在混凝土浇筑时宜先行浇筑连接部位范围内的混凝土以减少扰动。

8.6 灌浆连接套筒安装

8.6.6 盖梁灌浆套筒压浆口和出浆口可采用“井”字型钢筋支架固定，立柱灌浆套筒压浆口和出浆口采用“U”型钢筋卡扣固定，防止套筒在混凝土浇筑的过程中发生位置偏移。当采用点焊固定压浆管和出浆管时，需复查压浆管和出浆管是否完整，确保未在焊接过程中损坏。

8.6.8 为确保连接安全可靠，灌浆连接套筒上不得焊接。

8.7 灌浆金属波纹管安装

8.7.2 金属波纹管刚度比较小，在安装和混凝土浇筑过程中如果不采取增大刚度的措施则容易变形，因此必须采取一定的措施如内衬钢管保证其不变形。

8.7.3 压浆管、出浆管和对应的金属波纹管压浆口、出浆口连接应密封牢固，压浆管、出浆管长度应根据承台或盖梁尺寸预留准确，并用止浆塞塞紧；如直接由上端出浆，端部应采取密封保护措施。

8.7.4 为确保连接安全可靠，金属波纹管上不得焊接。

8.7.5 金属波纹管应符合国家现行标准《预应力混凝土用金属波纹管》JG 225的相关规定，全长不应小于 $24d$ （被连接纵筋直径），且不得拼接；内径不宜小于 d （被连接纵筋直径）+40mm，内径尺寸允许偏差为 $\pm 0.5\text{mm}$ ；对于内径不大于10cm的波纹管，其钢带厚度（壁厚）应不小于0.45mm，波纹管肋高应不小于3.10mm。

8.7.6 构件拆模完成后，灌浆金属波纹管内腔应干净通畅，如有漏浆或杂物，应及时清理管道。

8.8 构件堆放

8.8.1 预制构件堆放的场地应平整压实，不得有积水的现象，构件与地面之间应留有一定空隙，堆放构件时应用木方或垫块垫实，不宜直接堆放于地面上。

8.8.2 预制构件转场的设备应满足构件尺寸和载重要求。

8.8.3 预制构件用运输车辆进行转场时，宜按结构构件受力状态和形状选择不同放置方式，应进行受力验算，并正确选择支垫位置。

8.8.4 预制构件应按吊运及安装次序进行堆放，且要有一定的通道。

8.8.5 预制构件应按照其刚度及受力情况制定对应的堆放方案，竖放时应考虑必要的支护措施。

9 运输吊装

9.2 吊装

9.2.3 吊具、吊架及吊点在多次使用后容易出现损伤，因此应对吊具和吊架进行检查和及时调换。

9.2.6 构件起吊时应垂直，先缓慢吊离底座不超过 150mm 时停顿，注意观察有无异常情况。脱去灌浆套筒定位底模，再缓慢升高至构件下端面超过障碍物最高点 300mm 以上时，方可水平吊运至堆放场地。

9.3 场外运输

9.3.2 由于立柱、盖梁等下部结构构件对运输方向、支撑点设置要求不同于预制小箱梁、T梁等上部结构，因此须专项设计场外运输方案，同时在运输过程中应对外露钢筋进行保护，防止其变形而影响现场拼装。

10 现场拼装

10.1 一般规定

10.1.3 拼装前施工单位应设计专项施工方案，明确预制拼装桥梁各部位施工工艺、安全风险源及应急措施，并按管理规定对各级人员进行交底。

10.1.4 由于操作工人需进行空中作业，因此需选择全身式安全带。同时，如人员上下采取支架模式，则对交通产生较大影响，参考国外发达国家和船厂施工作业工具，人员高空作业宜采用专用高空作业车。为了安全，还应配备其他必备的安全措施，如安全帽、防滑鞋等。

10.1.5 拼装前应利用吊车将预制构件进行现场拼装以测试预制构件间的匹配精度。

10.1.6 套筒或金属波纹管内灌浆料强度应大于35MPa后方可进行下一工序施工。

10.1.7 当气温较低时，如不采取保温措施，高强无收缩水泥灌浆料早期强度增加非常缓慢，因此在冬季施工时，对应高强无收缩水泥灌浆料和拌合用水进行保温。UHPC材料对温度更加敏感，施工气温低于5℃时，应立即停止施工。

10.2 立柱与承台拼装

10.2.1 承台的精度是立柱与承台拼装是否成功的重要因素之一，因此在承台浇筑时必须控制其标高和水平度精度。

10.2.4 调节垫块是控制立柱标高、垂直度和砂浆垫层厚度的重要部件，考虑其调节功能和拼接缝的强度，垫块高度不宜过大，材质可以是不锈钢、四氟板、橡胶支座材料等。

10.2.6 对于立柱与承台拼接而言，立柱上应设置调节设备，宜采用常见的千斤顶。

10.2.7 立柱调节时，尽量使砂浆垫层连接处一次座浆完成拼装，不宜多次调整，应保证承台与立柱拼接面浆液饱满。

10.4 立柱间节段拼装

10.4.1 环氧类粘结剂对截面的要求比较严格，因此拼装前应对拼接缝处进行处理。

10.4.4 参照国家现行标准《预应力混凝土桥梁预制节段逐跨拼装施工技术规范》CJJT 111，对立柱节段间环氧粘结剂做出了具体的施工要求。

10.4.5 立柱节段间拼装应设置调节设备对上节立柱进行空间姿态调整。

10.4.8 竖向预应力张拉前应对张拉千斤顶及压力表进行配套标定，施工时压力表与千斤顶应配套使用。安装工作锚板时，锥孔与钢绞线编号要对应。张拉时需采用专用的工具锚和限位板。应用竖向预应力时，锚具安装和张拉：在张拉端安装工作锚板和工作夹片，再安装张拉工具和设备。张拉时先张拉到控制张拉应力的10%，观察张拉无异常，再张拉至20%，分别记录油压和伸长值；最后张拉至100%控制张拉力，持荷5分钟放张锚固。

10.5 盖梁间节段拼装

10.5.3 盖梁分三段预制时，按拼装部位分固定段节段盖梁和拼装段节段盖梁，固定段节段盖梁应遵循以下工艺流程：

拼接面清理→拼接缝测量→铺设挡浆模板→调节垫块找平→拼接缝表面充分湿润→铺设砂浆垫层→固定段节段盖梁吊装就位→调节固定段节段盖梁空间坐标→灌浆套筒连接或灌浆金属波纹管连接。

拼接段节段盖梁应遵循以下工艺流程：

表面处理并充分干燥→拼接段节段盖梁现场试拼装→涂刷环氧粘结剂→拼接段节段盖梁拼装→安装临时固定措施装置→盖梁轴线、标高测量→节段盖梁调整→永久预应力钢筋施工→拆除临时固定措施装置。

10.5.4 参照国家现行标准《预应力混凝土桥梁预制节段逐跨拼装施工技术规范》CJJT 111，对盖梁节段间环氧粘结剂做出了具体的施工要求。

10.5.5 临时预应力钢筋和永久预应力钢筋的布置、预应力钢筋类型、张拉顺序、张拉力应严格按照设计方案执行。

10.5.6 控制盖梁节段间连接牢固，应保证节段拼接面的混凝土受压应力不得小于一定值。

10.6 主梁拼装

10.6.1 参照国家现行标准《公路桥涵施工技术规范》JTG/T F50—2011，对主梁悬臂拼装时线性控制、接缝规定、吊具做出了具体的施工要求。

10.6.2 主梁悬臂拼装施工分0号块，1号块及其他节段，其中0号块是现浇段，在此不做相关说明；1号块及其他节段拼装时工艺不同。

11.7 灌浆连接工艺

10.7.1 灌浆套筒或金属波纹管下端应设置压浆口、上端应设置出浆口，为保证压浆密实度，对压浆口与出浆口进行了规定。

10.7.2 为保证每个连接部位高强无收缩水泥灌浆料强度达到设计要求，应在拼装前一天对每批次灌浆料进行流动度测试及1d龄期抗压强度测试，符合本规范第4.3.1条的规定后方可用于现场拼装连接。

10.7.5 灌浆工艺中某一个套筒压浆如不保证连续，则该套筒失效，因此，为了

保证每个套筒的可靠度，必须考虑应急预案。