

杭州湾跨海大桥十一标

预应力砼箱梁施工方案

目 录

- 一、工程概况
- 二、总体施工部署
 - 1、各联连续梁施工节段划分
 - 2、施工支架形式
 - 3、施工方向
 - 4、施工部署
- 三、施工总体计划及资源配置
 - 1、箱梁单幅单孔施工计划
 - 2、G08 ~ G54 箱梁总体施工计划
 - 3、人员及机械设备组织计划
- 四、满堂式支架
 - 1、满堂式脚手架搭设施工
 - 2、满堂门式支架搭设施工
- 五、支架法逐段现浇箱梁施工工艺及主要分项工程施工工艺
 - 1、预应力砼连续梁支架逐孔现浇施工工艺流程框图
 - 2、预拱度设置
 - 3、模板及其安装、拆除
 - 4、支座安装
 - 5、钢筋加工绑扎及预应力管道安装
 - 6、砼浇注、养护
 - 7、预应力体系及其施工工艺
 - 8、真空辅作管道灌浆
 - 9、施工测量监控
- 六、质量保证体系及措施
 - 1、钢筋及预埋件
 - 2、模板及脱模剂
 - 3、混凝土配合比设计及施工
 - 4、施工接缝处理
 - 5、预埋件、螺栓孔的修饰处理

- 6、成品保护
- 7、箱梁钢筋质量的技术措施
- 8、预应力施工质量保证措施
- 9、质量管理体系

七、安全保证体系及措施

- 1、安全管理目标和安全防范要点
- 2、安全生产保证体系
- 3、主要施工安全技术措施

杭州湾跨海大桥十一标预应力砼箱梁施工方案

一 工程概况

1、杭州湾跨海大桥低墩区引桥南引桥陆地区 XX 合同工程里程桩号: K81+815.000 ~ K84+688.500, 全长 2873.50m。工程由十六联九十五孔预应力砼连续梁的主线桥和连接服务区的四道连续梁匝道桥组成。

主线桥由北至南桥跨布置为:

- 一联 7×30m 变高变宽段连续梁, 起讫墩号: G08 ~ G15;
- 一联 3×30m 变宽段连续梁, 起讫墩号 G15 ~ G18;
- 一联 6×30m, 二联 7×30m, 一联 6×30m 等高连续梁, 起讫墩号 G18 ~ G44;
- 一联 3×30m 变宽段连续梁, 起讫墩号 G44 ~ G47;
- 一联 7×30m 变宽段连续梁, 起讫墩号 G47 ~ G54;
- 一联 7×30m, 一联 6×30m 等高连续梁, 起讫墩号 G54 ~ G67;
- 一联 30+50+30m 变高连续梁, 起讫墩号 G67 ~ G70;
- 二联 6×30m, 三联 7×30m 等高连续梁, 起讫墩号 G70 ~ G103。

匝道桥: 由上桥匝道桥 N_2 、 M_2 , 下桥匝道桥 N_1 、 M_1 等 4 道匝道桥组成, 每道匝道桥为 6×30m 连续梁, 起讫墩号: N_1 : $N_{01} \sim N_{07}$; N_2 : $N_{14} \sim N_{08}$; M_1 : $M_{01} \sim M_{07}$; M_2 : $M_{14} \sim M_{08}$ 。

2、主线桥分上游幅(右幅); 下游幅(左幅), 匝道桥为单幅。各型连续梁的结构要点:

①等高(标准段)30m 连续梁

30m 等高预应力连续梁, 单幅桥为单箱单室斜腹板箱形截面; 桥面顶宽 15.80m, 设 2%横坡; 梁高 1.80m, 梁底宽 7.30m, 腹板厚 0.60m, 箱梁翼缘悬臂长 3.90m, 悬臂根部厚 0.50m, 端部厚 0.20m, 顶板厚 0.26m, 底板厚 0.30m。

主梁采用纵横双向体内预应力体系, 纵向体内预应力采用 15 ϕ^j 15.24、9 ϕ^j 15.24、7 ϕ^j 15.24; 横向体内预应力采用 4 ϕ^j 15.24, 管道均采用塑料波纹管。

主梁端横梁厚 1.2m, 横桥向采用两个 4000KN 的球型支座; 中横梁厚 2.0m, 横桥向采用两个 7000KN 的球型支座。横梁设置 9 ϕ^j 15.24 横向预应力, 管道采用塑料波纹管。

②7×30m 变宽段连续梁

本段所述梁高均为距线路中心 16.40m 处梁高

7×30m 变宽段预应力连续梁，单幅桥为单箱双室斜腹板截面；梁高：接 4×50m 的 7×30m 变宽梁（G08～G15）为变高，在梁中的边跨，K81+815.000～K81+816.300 范围内梁高为 3.20m，在 K81+816.300～K81+827.800 范围内采用折线过渡实现变高（由 3.20m 变高至 1.80m），其余部分高为 1.80m；接 7×30m 的 7×30m 变宽段梁（G47～G54），梁高为 1.80m。

梁顶宽：接上桥匝道幅，由 15.80m 变至 21.48m，接下桥匝道幅由 15.80m 变至 20.42m，设 2%横坡。主梁保持内外侧板倾角不变、底板水平的原则下由线路内侧向外侧放坡。边、中腹板厚 0.50m，梁翼缘悬臂长 3.90m，悬臂根部厚 0.50m，端部厚 0.20m，顶板厚 0.26m，底板厚 0.30m。

主梁采用纵横双向体内预应力体系，纵向体内预应力采用 15 σ^j 15.24、7 σ^j 15.24、5 σ^j 15.24；横向体内预应力采用 4 σ^j 15.24，管道均采用塑料波纹管。

主梁端横梁厚 1.20m，横桥向采用两个 5000KN 或三个 4000KN 的球型支座；中横梁厚 1.80m，横桥向采用两个 9000KN 或 3 个 7000KN 的球型支座。横梁设置 9 σ^j 15.24 横向预应力，管道采用塑料波纹管。

③ 3×30m 变宽连续梁

本段连续梁高均为距中心线 16.40m 处梁高。

3×30m 变宽连续梁，单幅桥为单箱四室斜腹板截面，梁高 1.80m。

接上桥匝道幅，梁顶宽由 21.48m 变至 15.90m（垂直于主线桥线路中心线）+11.56m（垂直于匝道桥线路中心线）；接下桥匝道幅，梁顶宽由 20.42m 变至 15.90+11.11m；梁顶面设 2%横坡。主梁保持内外腹板倾角不变、底板水平的原则下，由线路内侧向外侧放坡，外侧腹板厚 0.50m，中间内腹板厚 0.40m，主线桥线路中心侧（内侧）梁翼缘悬臂长 3.90m，悬臂根部厚 0.50m，端部厚 0.20，顶板厚 0.26m，底板厚 0.30m。

主梁采用纵横向体内预应力体系，纵向体内预应力采用 12 σ^j 15.24、5 σ^j 15.24，横向体内预应力采用 4 σ^j 15.24，管道均采用塑料波纹管。

主梁端横梁厚 1.20m，横桥向采用三个或四个 4000KN 的球型支座，中横梁厚 2.0m，横桥向采用三个 8000KN 或三个 9000KN 的球型支座。端横梁设置 9 σ^j 15.24 横向预应力，中横梁设置 9 σ^j 15.24、5 σ^j 15.24 横向预应力，管道采用塑料波纹管。

④ 30+50+30m 变高连续梁

本段连续梁跨九塘，单幅桥为单箱单室斜腹板截面。梁的中间支点处（G68、G69 墩处）梁高 3.20m，跨中及支点梁高 1.80m，主梁采用圆曲线变高，变高范围为中间支

点附近左右各 22.00m;

梁顶宽 15.80m, 设 2%横坡; 梁底宽直线段为 7.30m, 变高范围内由 7.30m 变至 6.63m; 腹板厚 0.60m, 梁翼缘悬臂长 3.90m, 悬臂根部厚 0.52m, 端部厚 0.20m, 顶板厚 0.26m, 底板厚在直线段为 0.25m, 在变高范围内由 0.25m 变至 0.50m。

主梁采用纵横双向体内预应力体系, 纵向体内预应力采用 $15\phi^{j15.24}$ 、 $12\phi^{j15.24}$, 横桥向体内预应力采用 $4\phi^{j15.24}$, 管道均采用塑料波纹管。

主梁端横梁厚 1.20m, 横桥向采用 2 个 4000KN 的球型支座; 中横梁厚 2.0m, 横桥向采用两个 12500KN 的球型支座。横梁设置 $9\phi^{j15.24}$ 横向预应力, 管道采用塑料波纹管。

⑤ 匝道桥 6×30m 连续梁

匝道桥为等高连续梁, 主梁为单箱单室斜腹板截面, 梁高 1.60m。主梁位于曲线半径为 $R=2000m$ 和 $R=1600m$ 上。

梁顶宽 8.50m, 设 2%横坡, 底宽 3.92m, 腹板厚 0.50m, 梁翼缘悬臂长 1.90m, 悬臂根部厚 0.45m, 端部厚 0.20m, 顶板厚 0.26m, 底板宽 0.30m。

主梁采用纵向预应力体系, 纵向预应力采用 $15\phi^{j15.24}$ 、 $9\phi^{j15.24}$ 、 $7\phi^{j15.24}$, 管道采用塑料波纹管。

主梁端横梁宽 1.20m, 桥向采用 2 个 3000KN 的球型支座, 中横梁宽 2.0m, 横向采用两个 5000KN 的球型支座, 横梁不设置横向预应力。

二 总体施工部署

本合同连续梁的工程量较大, 技术含量高, 施工时要按设计的施工流向, 合拢点进行单向逐孔现浇, 施工周期长。为此, 连续梁支架逐孔现浇施工是本合同的关键控制项目。

连续梁工程是由多项分项(子项)组合的一个大的系统工程, 主要包括: 支架模板施工设计, 支架基础处理, 支架加工搭设、预压调整, 施工测量放样、监控, 施工放样模板制安及调整, 钢筋和预应力钢筋制安, 支座安装, 砼配合比设计、砼浇筑及养护, 预应力工程施工及相应试验, 真空压浆施工及相应试验, 锚具、塑料波纹管、支座等构件相关质量验证试验等。因此, 要对连续梁施工进行科学合理地组织、优化, 确保连续梁工程施工安全、施工质量、施工工期。

1、 各联连续梁施工节段划分

各联连续梁采用分节段在支架上逐孔现浇，并按设计要求进行预应力工程施工。

● 6×30m 等高连续梁，分六个节段，分别长 36、30、30、30、30、24m，从一端向另一端施工；

● 7×30m 等高连续梁，分七个节段，分别长 36、30、30、30、30、30、24m，从一端向另一端施工；

● 3×30m 变宽连续梁，分三个节段，分别长 36、30、24m，从一端（接匝道侧）向另一端施工；

● 7×30m 变宽（变宽、变高）连续梁，分八个节段，分别长 36、30、30、30、30、30、22.12、1.88m，从一端（接 3×30m）向另一端施工；（G47～G54 一联 7×30m 设计为七节段，根据施工总体计划安排，需将该联变改为八节段）

● 30+50+30m 变高连续梁，分四个节段，分别长 37、50、21.5、1.5m，从一端向另一端施工；

● 6×30m 匝道桥，分六个节段，分别长 36、30、30、30、30、24m，从一端（接主线桥侧）向桥台端施工。

2、 施工支架形式

（1）连续梁逐孔现浇施工支架形式

根据本段桥下地基地质、地貌状况，主梁结构设计要点、特点及《施工图》推荐的方法，本合同连续梁逐孔现浇采用满堂式扣件（或门架）支架、临时墩型钢纵梁支架等两种支架施工。

（2）各联箱梁施工支架：

①满堂式扣件（或门架）支架：用于 G08～G15、G15～G18、G18～G44、G44～G47、G47～G54、G67～G70、N₁、N₂、M₁、M₂ 匝道桥等各联连续梁施工。

②临时墩型钢纵梁支架：用于 G54～G67、G70～G103 等各联连续梁施工。

3、 施工方向

按设计的施工方向、合拢点设置（即 G08、G44、G54、G70 或 G67 等合拢点）组织施工，主线桥施工方向为 G18→G08、G24→G18、G24→G44、G44→G54、G54→G67、G67→G70（G70→G67）、G76→G70、G76→G103。

匝道桥由接主线桥端向桥台逐孔施工。

4、施工部署

（1）本合同拟分两个工区组织施工。即 G08～G54 和四道匝道桥，由一工区负责施工，本区段采用满堂式支架施工；G54～G103 由三工区负责施工，本区段除 G67～G70 采用满堂式支架外，其余各孔均采用临时墩型钢支架施工。

三、施工总体计划及资源配置

1、箱梁单幅单孔施工计划

根据箱梁施工工艺，制定合理的箱梁施工循环周期，对所有上部结构箱梁进行指导施工。从循环周期表上可以看出，地基基础处理、支架、底模安装、施工预压卸载及落架等过程可以提前或同时进行，并不影响施工作业周期，所以单幅单孔箱梁实际循环周期为 12～14 天（见下表）。

（左幅）箱梁单幅单孔施工周期表

序号	工序名	首孔周期 d	第二孔 d	第三孔 d	第四孔 d	第五孔 d	第六孔 d	末孔周期 d
1	地基基础处理	1	地基基础处理到预压、卸载工作可以提前进行，并不影响作业周期					
2	支架、底模安装	4						
3	预压阶段	5						
4	卸载	1						
5	底板腹板钢筋绑扎	3	3	3	2	2	2	2
6	芯模安装	2	2	2	2	2	2	2
7	顶板钢筋绑扎	2	2	2	2	2	2	2
8	混凝土浇筑	1	1	1	1	1	1	1
9	养护	4	4	4	4	4	3	3
10	预应力张拉	1	1	1	1	1	1	1
11	管道压浆	1	1	1	1	1	1	1
12	落架	2	两孔支架倒用，并不影响作业周期					
	合计	27	14	14	13	13	12	12
首联周期计算		105d（不考虑其它因素影响）						

2、G08~G54段箱梁总体施工计划

G08~G54段现浇箱梁施工，根据目前的施工进度和合同总体安排，共分为三个工作作业面，每个作业面分左右幅同时施工。由以上施工周期表分析：箱梁单幅单孔施

工周期约为 15 天，每个月可以完成 2 个施工节段。由此，制定现浇箱梁总体施工进度计划横道图见下表。

工程施工总进度计划

作业面	位置	墩号	2005						2006												2007	
			7	8	9	10	11	12	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2
标准段工作面	左幅	G25~G31	—																			
		G31~G38							—													
		G38~G44										—										
		G24~G18				—																
	右幅	G24~G31	—																			
		G31~G38							—													
		G38~G44										—										
		G24~G18				—																
	合计（孔）		3	4	4	4	4	4	4	2	4	4	4	4	4	4	1					
变宽段工作面	左幅	G44~G47				—																
		G47~G54							—													
		G18~G15								—												
		G15~G08										—										
	右幅	G44~G47				—																
		G47~G54							—													
		G18~G15								—												
		G15~G08										—										
	合计（孔）					0.5	2	2	1.5	1	4	4	4	4	4	4	3.5	2	2	1.5		
匝道	N1															—						
	M1															—						
	N2																—					
	M2																—					
	合计（孔）															1	5	5	4.5	5	3.5	
总计完成（孔）数			3	4	4	4.5	6	6	5.5	3	8	8	8	8	8	6	8.5	7	6.5	6.5	3.5	

备注：1、2005年5月已完成G24~G25左幅箱梁。

2、2007年2月份为收尾清理工程，不在主体工程施工计划之列。

3、人员及机械设备组织计划

①、质量管理主要人员及职责分工

质量管理主要人员及职责分工表

序号	姓名	职 务	主 要 职 责
1	XXX	工区负责人	质量第一责任人，全面负责工程质量，是质量负责人及承包责任人的签发者
2	XXX	技术负责人	技术责任人，负责技术及计量结算
3	XXX	副主任	现场生产管理，主要负责承台及墩身施工
4	XXX	安全部长	安全责任人，负责安全及安全方案编制
5	XXX	工程部长	负责质量、技术的收集和管理，现场质量管理等工作
6	XXX	质检部长	现场质量检查负责人，监督检查各工序的施工质量，收集整理技术质量资料，反馈现场施工质量并落实整改
7	XXX	试验负责人	试验负责人，负责箱梁工程施工中的试验工作及原材料的检测，收集整理相关资料。
8	XXX	技术员	负责上部箱梁施工技术、质检工作
9	XXX	技术员	负责上部箱梁钢筋施工的技术、质检工作
10	XXX	技术员	负责上部箱梁施工技术、质检工作
11	XXX	拌和站负责人	负责拌和站工作
12	XXX	测量组长	负责日常测量工作，对所有施工测量质量负责
13	XXX	测量员	现场测量员，对具体施工部位测量负责
14	XXX	测量员	现场测量员，对具体施工部位测量负责
15	XXX	内业资料组长	全面负责资料的收集、整理、报监、归档等
16	XXX	技术员	负责资料的收集、整理、报监等
17	XXX	技术员	负责资料的收集、整理、报监等
18	XXX	资料员	负责资料、打字等
19	XXX	机械调度	负责所有施工机械的合理调配、日常维修、保养等
20	XXX	物资主管	所有施工原材料的采购、入库。对所有原材料的质量负责
21	XXX	安全员	安全责任人，对现场安全负责
22	XXX	钢筋组班长	负责钢筋的加工和现场绑扎；预应力管道的安装、定位等。
23	XXX	混凝土工班长	负责混凝土浇筑，振捣，抹平收浆养护等工作
24	XXX	木工班长	负责支架搭设、模板安装、拆除及调校等

②、劳动力资源计划

主要现场劳动力计划表

序号	工 种	人数	备 注
1	技术负责人	1	技术管理及计量结算
2	技 术 员	6	现场技术管理及技术资料收集
3	质检工程师	1	质量督促、检查
4	试验工程师	3	混凝土配制、钢材检验等
5	安 全 员	2	安全、文明施工检查
6	起 重 工	6	模板、钢筋吊装施工
7	模 板 工	120	模板保养、安装
8	钢 筋 工	60	钢筋制作、安装
9	混凝土工	20	混凝土布料、振捣
10	电 焊 工	30	预埋加工件加工、模板加固焊接
11	电 工	6	电气操作、线路维护检查
12	普 工	20	各种杂活
13	张 拉 工	30	预应力张拉，管道压浆等
	合 计	305	

③、施工机械配置

箱梁现浇施工机械配置表

项次	名称	规格型号	单位	数量	备注
1	汽车吊	25T	台	1	支架、模板安装拆除等
2	挖掘机		台	1	基础处理
3	装载机	50	台	1	场地平整、砂石料转运等
4	拖 泵		台	2	配布料机混凝土浇筑
5	泵车		台	1	混凝土浇筑
6	载重汽车	8t	辆	1	钢筋转运等
7	混凝土运输车	8m ³	辆	4	混凝土运输
8	电焊机	交流	台	8	模板加固、钢筋焊接
9	割 具		套	6	钢结构加工等
10	钢筋截断机		台	1	钢筋加工
11	钢筋弯曲机		台	1	钢筋加工
13	全站仪	R3-322	台	1	测量放线
14	水准仪	DSZ-2	台	2	标高控制
15	千斤顶	YDC4500	台	2	预应力张拉
		YDC2800	台	2	
		YDC250	台	2	
16	灰浆机		台	1	管道压浆
17	压浆机		台	1	管道压浆
18	砼搅拌站	120m ³ /h	台	2	砼拌制
19	碾压机		台	1	地基处理
20	挤压机		台	2	挤压 P 锚
21	轧花机		台	2	横向钢绞线轧花
22	真空泵		台	1	
23	压路机		台	1	地基处理

四、满堂式支架

现浇箱梁满堂式支架施工，结合我部实际情况，分满堂脚手架支架和满堂门式支架两种形式。

1、满堂脚手架支架施工

满堂式脚手架支架体系，由支架基础（厚 60cm 宕渣、10cm 级配碎石面层）、 $\Phi 48 \times 3.5\text{mm}$ 钢管、扣件、脚手架立杆、横联杆、斜撑杆、可调节顶托、钢垫板、 $10\text{cm} \times 20\text{cm}$ 底垫木、 $10\text{cm} \times 10\text{cm}$ 木方横向分配梁、 $10\text{cm} \times 15\text{cm}$ 木方纵向分配梁；外模系统由侧模、底模组成。 $10\text{cm} \times 15\text{cm}$ 木方分配梁沿横桥向布置，直接铺设在支架顶部的可调节顶托上，箱梁底模板采用定型大块竹胶模板，后背 $10\text{cm} \times 10\text{cm}$ 木方然后直接铺装在 $10\text{cm} \times 15\text{cm}$ 木方分配梁上进行连接固定；侧模、翼缘板模板为整体定型钢模板。

根据箱梁施工技术要求、荷载重量、荷载分布状况、地基承载力情况等技术指标，通过计算确定，每孔支架立杆布置，纵桥向立杆间距均为 60cm 共计 51 排；横桥向立杆距为 $4 \times 90\text{cm} + 60\text{cm} + 2 \times 45\text{cm} + 10 \times 60\text{cm} + 2 \times 45\text{cm} + 60\text{cm} + 4 \times 90\text{cm}$ ，即腹板区为 45cm，底板区为 60cm，翼缘板区为 90cm，共 25 排；支架立杆间以步距 100cm 设置纵、横桥向连杆系，同时在桥纵向、横向每 360cm 间距设置斜撑杆系、斜撑杆与立杆相连；支架两端的纵、横杆系与桥墩牢固连系；立杆顶部安装可调节顶托，立杆底部支立在钢垫板上，底座钢垫板安置在支架基础上的 $10\text{cm} \times 20\text{cm}$ 木垫板上。

2、满堂门式支架搭设施工

满堂门式支架体系由支架基础（厚 60cm 宕渣、10cm 级配碎石面层）、门型架、调节杆、交叉拉杆、纵横联杆、可调节顶托、钢垫板、 $10\text{cm} \times 20\text{cm}$ 底垫木、 $10\text{cm} \times 10\text{cm}$ 木方作为横向分配梁、I12.6 的工字钢钢作为纵向分配梁；外模系统由侧模、底模组成。 $10\text{cm} \times 10\text{cm}$ 木方分配梁沿横桥向布置，间距按每 30cm 布置，直接铺设在纵向分配梁上，纵向分配梁铺设在支架顶托上。箱梁底模板采用定型大块竹胶模板，直接铺装在 $10\text{cm} \times 10\text{cm}$ 横向分配梁上进行连接固定；侧模、翼缘板模板为整体定型钢模板。

根据箱梁施工技术要求、荷载重量、荷载分布状况、地基承载力情况等技术指标，通过计算确定，每孔支架门架布置，纵桥向门架片距均为 100cm 共计 16 片门架；横桥向门架片距布置为 $4 \times 100\text{cm} + 4 \times 45\text{cm} + 5 \times 90\text{cm} + 4 \times 45\text{cm} + 4 \times 100\text{cm}$ ，即腹板区为 45cm，底板区为 90cm，翼缘板区为 100cm，共 22 排；门架立杆间及调节杆均设置纵、横桥向连系杆进行加固，支架两端的纵、横杆系与桥墩牢固连系；门架立杆顶部安装可调节顶托，立杆底部支立在钢垫板上，底座钢垫板安置在 $10\text{cm} \times 20\text{cm}$ 枕木上面（详见支架设计计算书及支架施工布置图）。

五、支架法逐段现浇箱梁施工工艺及主要分项工程施工工艺

1、预应力砼连续梁支架逐孔现浇施工工艺流程框图见图 5-1 所示。

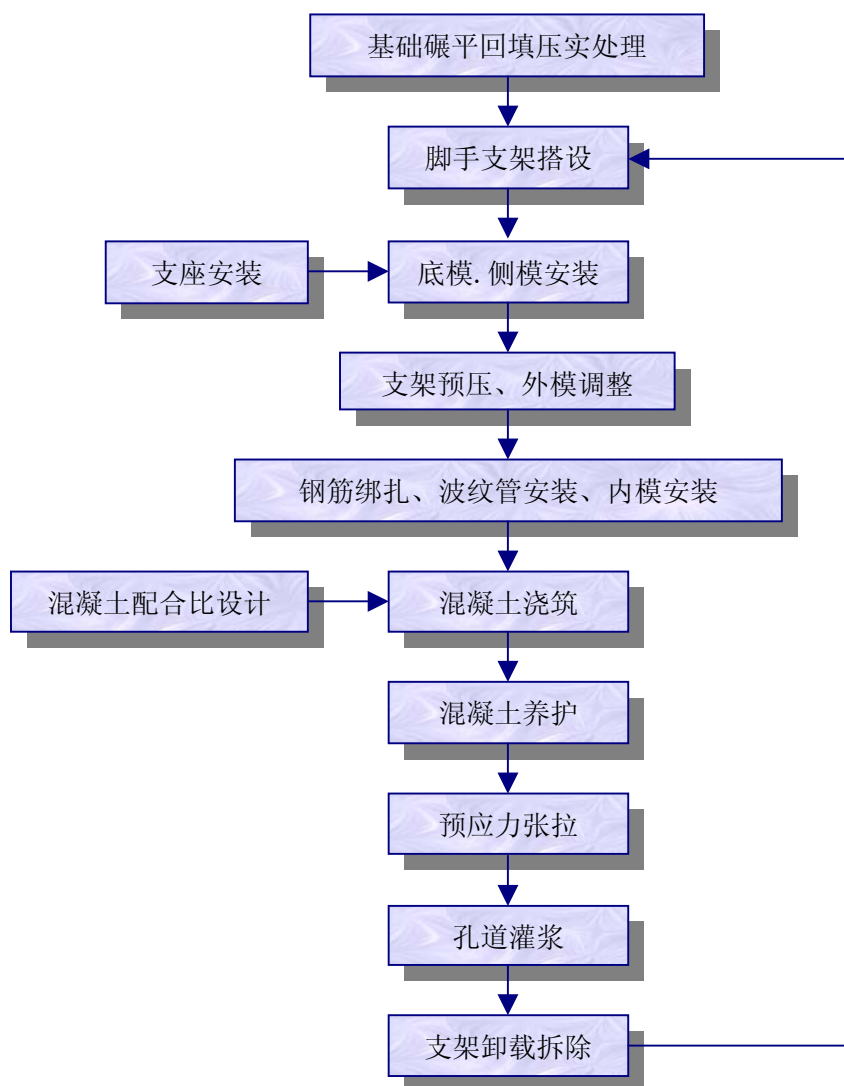


图 5-1 满堂式支架等逐孔现浇施工工艺流程框图

2、支架预压监控

支架逐段等载预压是支架现浇中十分重要工序，通过预压后，可以消除支架系统非弹性变形，减少对结构浇筑过程中危害，得出较准确的弹性变形数据，确保梁体的线形美观，保证了施工期间的结构安全。

(1)、根据箱梁自重、施工用模板荷载、施工荷载（含施工人员、各类机具等）及充分考虑施工过程中不可预见的荷载等，合理确定压载总重量。具体如下：

①、箱梁自重

通过计算，箱梁标准段混凝土方量 306 m³、取 2.63t/m³，箱梁混凝土自重为 805t。

②、模板荷载

模板荷载包含内模、外模、翼缘板模板及各类支撑架等，按计算时取值 1.2kN/m²

(实际重量约为 0.8KN/m^2) ,合计总重为 134t。

③、施工荷载

因施工时面积分布广，需要人员、机械设备不多，故按 2.5KN/m^2 取值,合计总重为 11.85t。

④、施工不可预见荷载

施工时不可遇见荷载取混凝土自重的 10%，即 81t。

通过以上计算知，支架预压施工时，预压总重量为 1031t；施工时，超压至 1095t。

(2)、预压实施方案和顺序：

根据计算断面，两侧模位置预压占总重量的 31.58%，底模位置占总重量 68.42%（其中底模腹板位置个 1.2m 宽断面占总重量 35%，底模中间位置占总重量 33.42%）。

①采用砣块预压：每块砣体积： $2.4\text{m} \times 1.2\text{m} \times 0.6\text{m} = 1.782\text{m}^3$

每块砣重量： $1.782\text{m}^3 \times 2.4\text{T/m}^3 = 4.1472\text{T}$

每跨所需砣块数： $1095\text{T} \div 4.1472 = 264$ 块

②砣块布置按断面划分：两侧模共用砣块 73 块，实际预压取 80 块(100%预压重量)；底模腹板位置共用砣块 81 块，实际预压取 80 块(100%预压重量)；底模中间位置共用砣块 77 块，实际预压取 70 块(100%预压重量)。

③预压块在支架与底模上纵向分布：侧模位置 $80 \text{ 块} \div 2 \text{ 侧} = 40 \text{ 块/侧}$ 。采用宽度 1.2m 的砣块纵向双层双排摆放，在各支墩跨中位置和支墩位置各留 40cm 间距作为沉降观测点。腹板位置 80 块，采用宽度 1.2m 的砣块在两腹板位置，纵向 4 层摆放。底模中间位置 70 块，采用 $2.4\text{m} \times 1.2\text{m}$ 砣块一纵一横双块摆放，先叠双层，共 60 块，余下 10 块作为第三层，按砣块 2.4m 长度在一纵一横双行砣块的中间位置(详见图)。

④超载预压的数量与纵向分布：根据等载预压砣块分布情况，超载预压采用均布荷载，在侧模两侧及底模位置，每断面叠加一块砣块，共用 30 块。重量为 124.4T，占等载预压重量 953T 的 13%。

⑤支架预压采用已预制好的混凝土预制块分级进行。压载顺序是根据混凝土浇注情况，由中间向两边、纵横向对称加载。加载施工顺序如下：

a、第一次加载箱梁底、腹板处，此时混凝土预制块 78 块，重量 324 t（见附图）。

b、第二次加载箱梁底、腹板处，此时混凝土预制块 156 块，重量 647 t（见附图）。

c、第三次加载箱梁腹板、翼缘板处，此时混凝土预制块 264 块，重量 1095 t（见附图）。

(3)、沉降观测方法和观测频率安排：

观测阶段分为：预压前观测、加载预压分级观测、超载预压观测、卸载前观测、完全卸载观测、完全卸载 48 小时后观测等几个阶段。施工时，由专人负责进行观测，及时整理各阶段预压观测数据、“绘制沉降变形过程图”，及时对数据进行分析。通过如实的观测、准确的分析，了解每级变形稳定的时间，为合理确定加、卸载提供理论依据，并及时的发

现各类异常情况进行处理。

2、预拱度设置

影响预拱度的主要因素有：

(1)、支架系统本身结构重量和新浇筑混凝土重力而产生挠度，其刚度又受新浇混凝土初凝影响；

(2)、支点沉降

(3)、混凝土箱梁产生的弹塑性变形，包括各支点反力的影响。

(4)、预应力产生弹塑性变形。

根据以上主要因素计算出预拱度的理论值。在实际施工中，须监测混凝土箱梁的挠度变化情况，以验证预拱度设置的准确性，取得经验数值，来校正计算值。监测的内容包括：

①、支架在装上底模板后自重作用下的挠度；

②、内模和钢筋重力作用下的挠度；

③、浇筑混凝土过程中的挠度变化；

④、箱梁在预应力作用下的挠度。

根据对首节箱梁分级预压及卸载后的观测结果，最大弹性变形量为 6.3mm，平均弹性变形量为 4.56mm，最大非弹性变形量为 10.1mm。通过对支架、地基变形量的分析，考虑到非弹性变形量在预压中已经完成，施工中箱梁实际预拱度设置为 6mm。见下表：

模板预设抬高量计算表

点位	平均回弹量 (mm)	平均非弹性变形量 (mm)	设计预拱度 (mm)
A	3.9	1.7	6
B	6.3	4.4	6
C	5.2	5.2	6
D	4.3	7.2	6
E	3.1	10.1	6

3、模板及其安装、拆除

(1)、30m 跨箱梁模板设计

现浇箱梁施工为确保混凝土质量内实、外光，并结合实际施工情况，外侧翼缘模板采用分段自制定型钢模板（3m/段），模板之间采用螺栓连接，以角钢或槽钢作模板框架，为保证足够的刚度，设计钢模面板厚度为 6mm。底模和箱梁内芯模均采用竹胶合模板进行现场拼装，为了确保其平整度及接缝顺滑，模板接缝间采用玻璃胶填缝。

箱梁内芯模设计采用 10×10cm 木方加工成骨架梁，骨架梁沿纵桥向每 0.8m 一道，经现场拼装固定牢固，面板采用竹胶合模板与骨架梁形成整体。内模骨架梁支撑在箱梁底板预埋钢板上，在骨架梁与预埋钢板之间，设置三角楔块，通过改变三角楔块的高度调节内模立模标高。

为了确保箱梁模板之间拼缝严密，不漏浆和不移位，箱梁两外侧模下口采用对拉螺杆连接，确保箱梁外观质量。

模板设计横断面见下图：

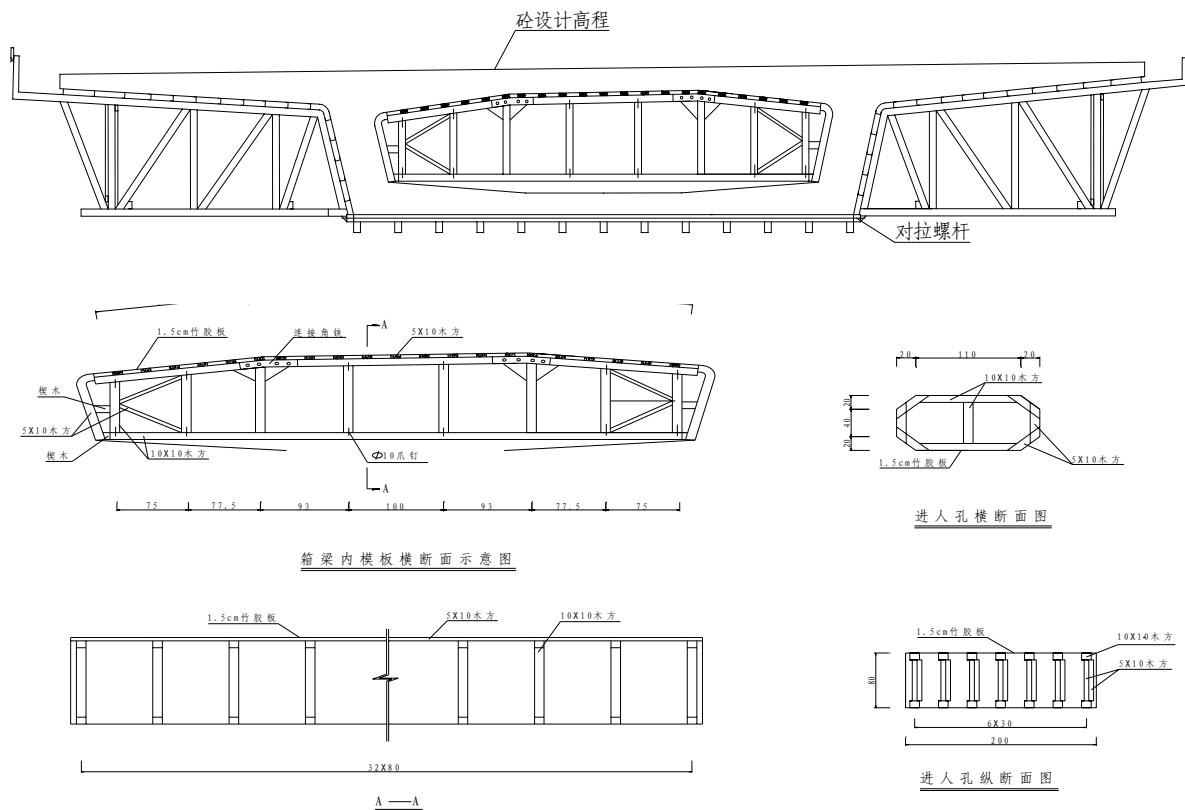


图 5-2 芯模设计横断面

(2)、底模安装

①、底模安装前，先在前后墩上放出箱梁中心轴线、边墩轴线和支座中心线。

②、支架经过预压，消除支架及地基的非弹性变形，根据其预压弹性变形，确定施工预拱度值，从而确定施工立模标高。

③、底模采用竹胶合模板，竹胶合模板在施工现场直接拼装，拼装时自边墩向中墩方向逐块安装竹胶合模板安装在底模横向分配梁上，安装过程中要注意底模的平整度，底模间的连接要牢固、严密，对于两块底模间的间隙，安装时应粘上泡沫或用玻璃胶嵌紧，以防漏浆。

④、安装完毕，确认支座预留位置准确无误，并能满足支座安装要求。

(3)、侧模安装

①、侧模采用组合定型钢模板，制作时按内外侧分别编号，内外侧每跨按纵向分为 10 节，每节 3m。

②、底模安装后，便可箱梁内外两侧侧模，内外两侧模之间的底端，采用对拉螺杆连

接、固定，各节段之间均通过法兰螺栓联接。侧模安装在支架纵向分配梁上，拆模时侧模可纵向拖移至下一跨。

③、装好侧模后，调节好标高，检查各部位尺寸满足设计及规范要求后，清除模板锈垢，涂脱模剂。

④、后续施工接缝处的侧模和底模，要通过可调顶托促使之与已浇混凝土密贴，并用海绵条堵塞防漏。

外侧和内模板拆除应在砼强度达到设计值的 75%后进行，端模应在砼强度大于 2.5Mpa 后尽快拆除，底模应在箱梁纵向预应力管道压浆后且浆体强度大于设计值的 75%后进行。

模板拆除基本顺序：先拆端模→拆内模→拆侧模→拆底模，拆模时梁体表层温度与环境温度之差不得大于 15℃。

模板拆除应向监理工程师报告并取得同意后进行。

4、支座安装

本区段桥梁支座采用球型支座共 228 个，按支座承载力可分为 4000KN、7000KN、12500KN 三种，按结构形式分为单向、双向、固定等三种。按设计要求支座类型和布设图安装支座。

支座安装前，先测量放线，精确定位支座的平面位置，用墨线标记，以保证其平面位置和高程符合设计及规范要求。

支座安装时注意事项：

(1)、根据安装时温度，按设计要求确定支座的纵向预偏值，并按预偏值调整上支座板位置；

(2)、将墩顶支座部位砼凿毛在测放支座位置上安装支座专用模具，调整好标高后，在模腔内铺筑环氧树脂砂浆或 40 号砂浆，捣固密实。表面整平，并检测其高程，平整度达到规范要求待砂浆固化后，将支座吊装就位，复检支座安装质量符合规范后，在支座四周填满砂浆，锚固螺栓孔内填满、捣固砂浆。

(3)、支座安装采用环氧树脂砂浆进行找平，利用水平尺进行检查；安装完成后，必须固定牢固，防止在箱梁砼浇注过程中，由于受力不均，支座上钢板出现翘曲或脱空现象。

(4)、按设计要求在支座上板安装支座预埋板（厚度 20 mm）。

(5)、支座上钢板要经过防锈处理，装好支座把原来钢底模和支座钢板边缘的缝隙用木质模板补平。

(6)、支座安装严格按照有关厂家规定执行，必须满足规范和设计要求：平整度 < 1 mm，四角高差 < 2 mm。

5、钢筋加工绑扎及预应力管道安装

(1) 30m 箱梁钢筋有 $\Phi 25$ 、 $\Phi 20$ 、 $\Phi 16$ 、 $\Phi 12$ 、 $\phi 10$ 、 $\phi 8$ 等几种型号。钢筋在专用加工场制作成半成品，编号后分类推存，根据现场需要，钢筋由汽车运输至现场，用龙门吊或汽车吊直接吊至作业现场，由人工安装、绑扎。钢筋的接长应顺直、绑扎应牢固；钢筋安装质量严格按照规定执行。

①、钢筋进场

钢筋来料后，必须出具出厂质量证明书和试验报告单，并及时进行钢筋抽检，钢筋力学性能合格后方可进场，进场后钢筋按类型堆放，标明钢筋的名称、型号、产地、检验情况等。钢筋下面垫枕木等，使钢筋与地面悬空。

②、钢筋去污、调直

钢筋表面油渍、漆污、浮皮、铁锈用人工除净。对于锈蚀严重损伤的钢筋，应降级使用。

钢筋用卷场机进行调直，对于粗钢筋局部弯折可用自行加工的“F”形矫正工具矫正。

③、钢筋下料成型

根据箱梁钢筋设计图，箱梁钢筋在钢筋加工场用钢筋加工机械加工成型。

加工钢筋的允许偏差

项 目	允许偏差 (mm)
受力钢筋顺长度方向加工后全长	± 10
弯起钢筋各部分尺寸	± 20
箍筋、螺旋筋各部分尺寸	± 5

④、钢筋接长

根据下料实际情况可以将短节钢筋接长使用。对于 $\Phi 22$ 及以上受力主筋采用剥肋滚压直螺纹连接（或钢筋闪光对焊连接）。其它规格钢筋采用闪光对焊或搭接焊（单面焊、双面焊）进行接长。

焊接接头按照要求进行抽检，检验合格后才能使用。

⑤、成型钢筋堆放

钢筋加工完成后，按照设计图纸的尺寸和规格堆放钢筋，钢筋下面垫设枕木，设置标识牌，标明钢筋尺寸、用处及数量，避免出现钢筋错用。

⑥、钢筋运输

加工好的钢筋用吊车分类吊放入运输车，运输到施工现场。

(2)、绑扎底板腹板横梁钢筋，安装底板、腹板横梁预应力管道。

①、安装钢筋前，先按设计图纸在模板上用蜡笔画好纵、横向间距，钢筋绑扎严格按设计及施工规范要求，并设置好塑料保护层垫块。

②、根据技术规范规定， $\phi \geq 22$ mm以上钢筋采用机械接头， $\phi < 22$ mm钢筋采用搭接焊接，机械接头或焊接应先做工艺性试验。

③、安装腹板钢筋，腹板钢筋和底板钢筋在设计上是对应的。

④、在底板底层钢筋绑扎后，腹板钢筋绑扎接近完成时，按底板、腹板、横梁预应力筋设计的 X、Y 坐标放样，设置定位钢筋（ $\phi 12$ ），定位筋最大间距不得大于 0.8m，在弯曲段间距适当加密。按设计规格安装塑料波纹管并将其牢固地固定在定位筋上，预应力管道安装要平顺。波纹管的接长采用专用焊接机进行焊接，并在接头部位，用胶带纸裹紧，

不得漏浆。

预应力筋管道与普通钢筋相抵触时，适当挪动普通钢筋。并向监理工程师报告和得到认可。

⑤、波纹管安装后继续绑扎底板、腹板、横梁钢筋。

⑥、波纹管安装经检验合格后，按设计进行钢绞线下料，编束，穿束并预留好张拉长度（60~80 cm）。一束钢绞线全部穿好后，按顺序完成锚固头的制作；P型锚板的安装、挤压P型锚头及安装、压浆管、出浆管设置等工作。

（3）、绑扎顶板钢筋（含横梁上部钢筋）、箱梁顶板纵向、横向预应力管道。

①、在安装内模后，安装面板钢筋，严格按照设计及施工规范要求进行，绑扎过程中，同时要按上述要求安装好顶板纵向、横向预应力管道、锚垫板、压浆管、出浆管等。

②、在安装面板钢筋后，必须同时按设计图纸预埋护栏座预埋筋，预埋位置要准确，并按大桥指挥部要求对护栏座预埋筋外露部分涂刷富锌涂料。浇筑边跨时，还要预埋边墩伸缩预留筋，预埋时横桥向要拉线定位，并用通长钢筋固定。

（4）、钢筋绑扎时，合理布设钢筋保护层塑料垫块且要绑扎牢固，确保钢筋保护层达到外4cm，内3cm，误差（-0，+5）mm要求。钢筋绑扎扎丝不得伸入保护层。

塑料波纹管定位固定不宜采用钢筋焊接定位，宜采用水平钢筋和竖向钢筋定出管道位置，然后顶部采用铁丝绑扎，防止电焊固定时烧伤管道。

（5）、预埋件安装

箱梁钢筋施工时必须注意护栏、伸缩缝、支座、泄水管、通讯电缆、防雷接地等预埋件的预埋，并确保位置准确；护栏预埋钢筋应牵线调直，并用辅助钢筋进行连接加固，在砼施工中，加强预埋钢筋的保护，确保位置准确。

（6）、钢筋绑扎完成后要经过自检及现场监理工程师检查验收合格后，方可进行下道工序施工。检查项目及标准见下表：

检查项目			允许偏差（mm）
受力钢筋间距	两排以上排距		±5
	同排	梁	±10
箍筋、横向水平筋间距			0，-20
钢筋骨架尺寸		长	±5
		宽、高或直径	±5
保护层厚度		梁	±5，-0

6、砼浇筑、养护

支架浇筑箱梁按规范要求，主要检测项目见下表：

支架浇筑箱梁主要检查项目

项次	检查项目		规定值或偏差	检查方法和频率
1	混凝土强度 (Mpa)		在合格标准内	按大桥规范附录 C 检查
2	轴线偏位 (mm)		10	用全站仪或经纬仪, 每孔测量 3~5 处
3	顶面高程 (mm)		± 10	用水准仪测 5 处
4	断面尺寸 (mm)	高度	+5, -10	用尺量, 每孔检查 3~5 个断面
		顶、底板宽	± 30	
		顶、底、腹板、及翼缘板厚	+10, -0	
		翼缘长	+5, -10	
5	总长 (mm)		+0, -10	用尺量
6	平整度 (mm)		6	用 2m 直尺检查
7	支座板平面差 (mm)		2	查浇筑前记录
8	横坡 (%)		± 0.15	用水准仪, 每孔测量 3~5 处
9	预埋件位置 (mm)		5	用尺量

外观鉴定

线形平顺, 无明显折变, 色泽一致; 棱角分明; 混凝土无露筋、孔洞、蜂窝、夹杂物、局部疏松现象; 宽度在 0.1 mm 及以上的裂缝已作处理; 麻面的面积不超过该面面积的 0.5%; 箱室内的建筑垃圾清理干净。

(1)、混凝土配合比设计

箱梁混凝土为 C50 海工耐久混凝土, 采用双掺 (掺高效泵送减水剂, 掺矿粉掺合料) 以降低水胶比, 配制高性能泵送混凝土。混凝土水胶比宜控制在 0.33~0.35; 坍落度为 19~21 cm 并有很好稠度, 不离析, 便于泵送; 混凝土胶凝材料最低用量 450 kg/m^3 , 总量不宜高于 500 kg/m^3 , 一般不应超过 550 kg/m^3 ; 高效减水剂的掺加量宜为胶结材料的 0.5%~1.18%。混凝土配合比设计试配成果报监理工程师, 经批准后使用。

经配比试验后, 拟采用 C50-11 配合比, 其重量比为: 水泥: 矿粉: 粉煤灰: 砂: 碎石: 水: 外加剂=242: 170: 73: 661: 1079: 156: 4.656; 坍落度: 210 mm; 扩展度 490/500 mm。

箱梁砼用的原材料: 浙江三狮 P·II·42.5 硅酸盐水泥; 余姚明峰 III 级矿粉; 北仑电厂 II 级粉煤灰; 福建闽江中砂; 余姚新华 5~25 mm 碎石, 上海格雷斯 ADVA152 减水剂, 自来水。

(2)、砼拌制运输布料

砼在砼拌合站 (2 台) 集中拌制, 由砼运输车 (4 台 $8 \text{ m}^3/\text{台}$) 运至现场, 一台砼泵 (配

布料装置)、一台砼泵车 ($90\text{m}^3/\text{n}$) 泵送入模。

(3)、砼浇筑顺序

①、浇筑计算，以 $7 \times 30\text{m}$ A 节段为例

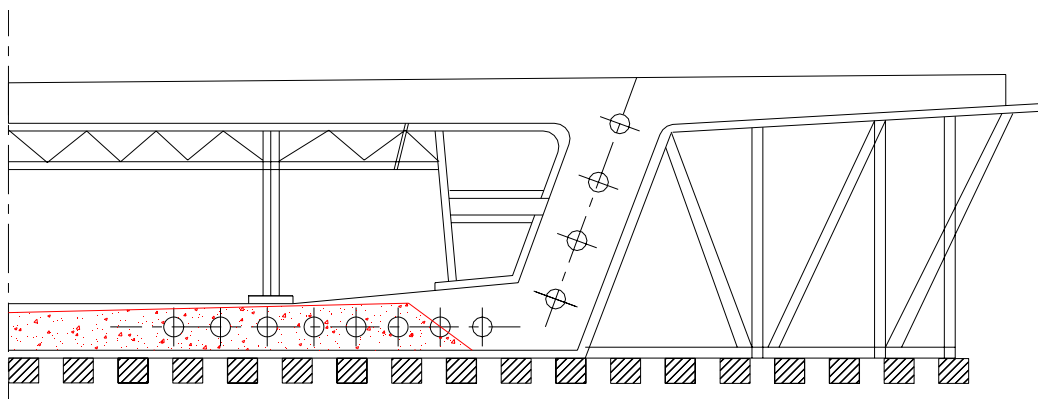
A 节段共浇筑砼 350.9m^3 ，其中底板 90m^3 ，腹板 43.2m^3 ，横梁 23.290m^3 ，顶板 124.3m^3 ，翼缘板 70.2m^3 ，浇筑时间计划共 10~12 小时，其中底板 2~3 小时，腹板、横梁 2.5 小时，顶板翼缘板 5.5~6.5 小时。

②、浇筑方法、顺序

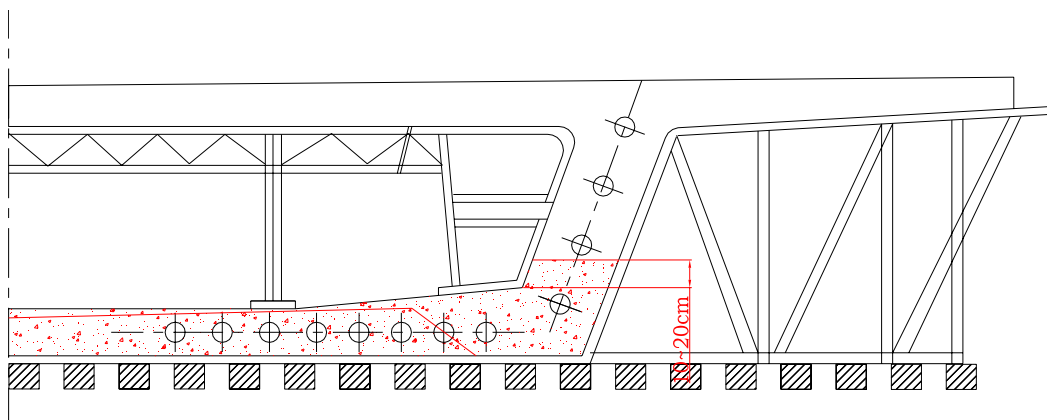
梁体砼浇筑采用“斜面分层，薄层浇筑，连续推进，一次成型”的施工方法，在最初浇筑砼初凝时间内浇筑完成。

砼浇筑顺序为：纵桥向由每跨跨中向两端浇筑；横桥向由底板→腹板、横梁→顶板(含翼板)。

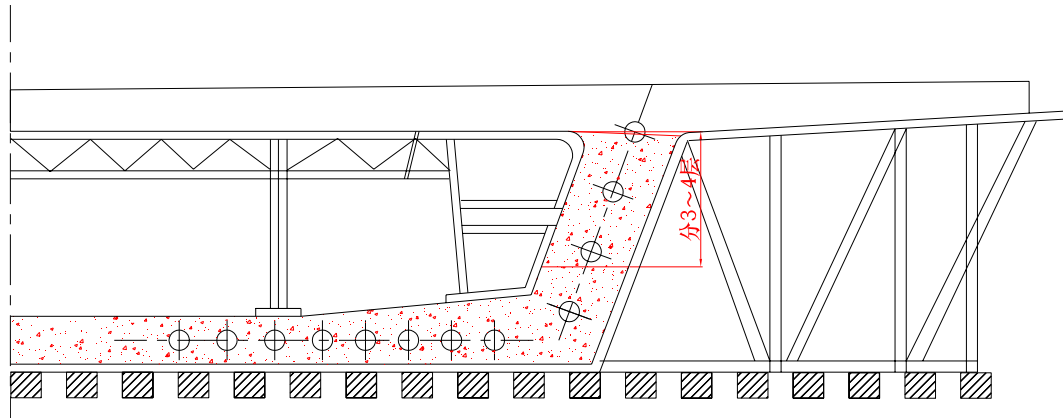
桥横向浇筑顺序示意图见图 5-3



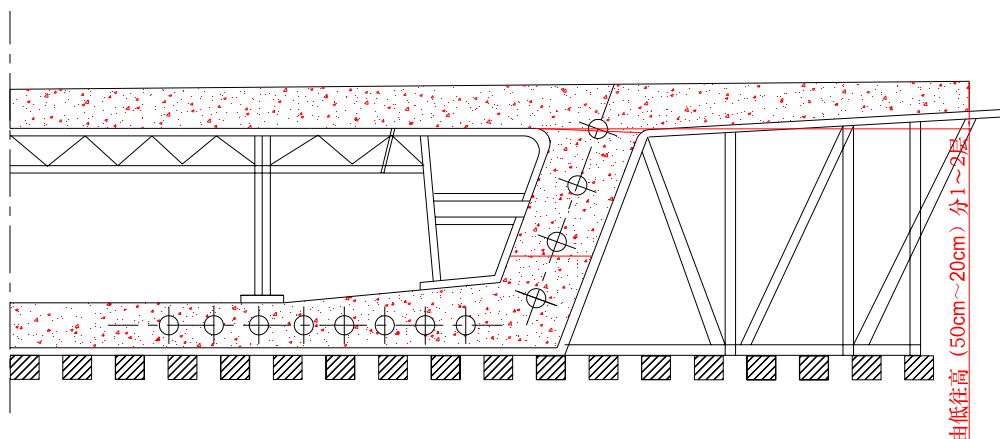
第一步：浇筑底板砼，由内模顶板上开设的窗口下料，浇筑底板砼，浇筑厚度 25~30 cm，中间略低于两侧。预留收浆抹平层 5 cm。



第二步：由腹板上口下料，浇筑倒角处混凝土至倒角上方 20~25 cm，与底板混凝土充分振捣融合，纵桥向浇筑顺序由中间到两端，再进行底板补平收浆。



第三步：分 3~4 层依次浇筑腹板及横梁位置混凝土，纵桥向浇筑顺序不变。



第四步：按照由低向高浇筑腹板上方及顶板、翼缘板混凝土，纵桥向浇筑顺序不变。

图 5-3 箱梁浇筑顺序示意图

(4)、箱梁砼浇筑工艺试验

30m 等高截面箱梁为单箱单室斜腹板截面，腹板处梁高：最低端为 187.8 cm，最高端 203.8 cm，腹板与底板连接处设有 15×200 斜坡，底板厚 30cm，腹板与底板交界处的底板厚为 45cm。在这种断面结构浇筑砼时，由于斜腹结构，使振捣棒难以插入到内腹板与底板倒角位置，容易使倒角及附近内侧面砼发生露筋、蜂窝、麻面等表面缺陷，为解决腹板内侧倒角处砼捣固密实，提高现浇箱梁外观质量，拟在箱梁砼施工前，按砼浇筑顺序进行浇筑工艺试验，重点是内腹板倒角处的浇筑工艺。

为使试验真实、可比，应选择 3m 长的中间箱梁实体段作试验，试验段按现浇模底立模（底、侧、内、端模）绑扎钢筋，波纹管。砼为经监理工程师批准的 C50 箱梁砼。砼浇筑用砼泵配布料管泵送下料，按设计浇筑顺序，先通过内模顶窗口浇捣底板砼，浇筑厚度 25~30cm，暂停 1~2 小时后，再从腹板上口分层浇捣腹板与底板倒角砼。

在砼振捣时，借用辅助工具，将振捣棒插入腹板内角。待砼浇筑高度超过内倒角上口 20~25cm，且内模底倒角模口均匀流出浆液时，又停止浇筑，并对辅助倒角模板压挤底板砼，过 1~2 小时，再浇砼，以测看倒角处是否还有浆液溢出。（要求此时应无浆液溢出）。

通过工艺试验，拆模后根据砼外观质量，完善浇筑工艺，解决腹板位置砼露筋，蜂窝等缺陷。

(5)、箱梁砼浇筑施工要点：

①、必须按砼浇筑工艺试验后，经完善的砼浇筑顺序、工艺组织施工，每节段按 2 台泵送设备组织相应施工人员，施工机具，进行两个施工面施工。明确岗位职责，加强现场指挥、协调。

②、加强底板与腹板内侧处砼浇筑，必须按顺序施工，即先从内模顶窗口浇一层底板砼，才能从腹板上口浇筑倒角砼，且在浇筑砼前，对腹板位置下的底板砼有序地进行二次振捣，解决该部位漏振，造成不密实状况。

③、按斜面分层薄层浇筑，连续推进一次成型的顺序施工。有序分层下料，下料时每次宜量少、层薄，堆集料不得高于 50 cm，不准利用振捣棒使砼长距离流动或运送砼。

④、加强砼振捣，底板、腹板、顶板采用每分钟不少于 4500 脉冲频率的 $\phi 50$ 插入式振捣器进行捣固。振捣棒操作做到“快插慢拔”，在振捣过程中宜将振动棒，上下略有抽动。分层浇筑时振捣棒插入下层 50~100mm，每点振捣时间宜 20~30s，砼停止下沉，不冒气泡、汽浆，表面平坦为宜。振捣棒可按直线行列移位或交错行列移位，移位距离宜为振动作用半径 1~1.5 倍。砼振捣时，应避免振捣棒碰撞波纹管、模板、钢筋及其它预埋件。砼应捣固密实，不漏振、欠振或过振。

⑤、浇箱梁顶板（含翼缘板）砼时，砼浇筑时，由底处向高处，由两侧向中心进行。砼振捣先用插入式振动器振捣，再用专用振动梁振捣平整，辅以人工压实抹平，意在其初凝前作拉毛处理。必须确保顶板砼层厚度，且箱梁顶面标高满足规范要求。

⑥、做好箱室内底板面的抹平工作要确保底板层厚度。

⑦、在底板、腹板砼浇筑时，移动布料管时，应用编织袋把管口暂时封堵，避免砼料散落在内模或侧模模板上，及时清除残留在下料处模板面上的砼，避免因残留的砼夹杂在顶板原砼内，造成外观质量缺陷。

⑧、按规范要求，控制砼浇筑前温度，应维持在 5℃至 28℃，入模温度不宜超过 28℃并不应大于 30℃，新浇砼与已硬化砼之间的温差不大于 15℃~20℃，砼入模后 30min，最大温升应小于 30℃，内部最高温度不能高于 75℃。

要特别重视夏秋高温季节、雨季，冬春严寒季节时的砼浇筑施工，尽量选择适宜时间（高温季节选择下午 7 点~第二天上午 7 点，温度较低的时候；低温季节选择上午 9 点~下午 8 点温度较高的时候，雨季时应避免大雨、雷雨时间）浇筑砼，并按暑期或冬期施工措施组织施工。

⑨、砼浇筑期间应设专人检查支架、模板、钢筋、预埋件、预应力管道等稳固及安全情况，当发现有松动变形或移位时，务必及时处理。

(6) 砼养护：

①、砼浇筑完成表面收浆后，及时覆盖养生。当砼终凝后，洒水养生，保持湿度，专人负责养护。

②、要特别重视夏秋高温季节和冬春严寒季节内的砼养护，在高温季节要避免已浇砼外露面受日晒，要加强洒水养护，在严寒季节要对砼采取保温养护，在雨季内要加强支架基础的排水。

③、加强养护时砼温度控制；

预应力混凝土连续箱梁结构严格讲不属于大体积混凝土结构，但由于其几何构造及施工方面的一些特点，如连续箱形梁在支座截面、横隔板及锚固块处局部尺寸较大，可达1m左右，箱形梁混凝土的水化热温度发展规律与大体及混凝土结构相似，且水化热温度更高。箱形梁局部尺寸虽然较大但从施工角度和从保证梁体质量考虑不宜设冷却管等常用的降温措施，从而使箱梁混凝土水化热温度的峰值可达70℃。另外箱梁内部空间空气流通不畅等也是混凝土温度较高的原因。

根据我们以往箱梁施工中的温度测试，箱梁水化热形成的温度/变化规律是：混凝土入模5小时以后，水化热温度开始迅速增长，到达温度峰值约为15小时左右，达到最高温度后，进入较缓慢的降温阶段，完全降至和环境温度相同约需5~5天。水化热温度的发展与大体积混凝土水化热温度规律相似。

混凝土最高温度为53~70℃。比较跨中截面和支座截面的顶、底板测点可以发现，支座截面测点温度值高于跨中截面测点，说明局部尺寸大小对水化热温度具有明显影响。并可知箱梁腹板中部温度高于顶、底板测点温度，由此推测支座截面腹板中间部位最高温度值应高于70℃。

a：控制混凝土的入模温度。入模温度是影响混凝土最高温度的一个重要因素，在炎热的夏季浇筑时间应选在晚上至凌晨之间，可降低水化热温度峰值。

b：选用水化热较低的水泥，尽量降低水泥用量。

c：适当添加缓凝剂。水化热温度的快速增长在混凝土初凝后，掺加适当的缓凝剂既能增加混凝土的和易性，又使水泥的水化速度减慢，峰值到来时间推迟，还可使峰值温度降低。

d：采取有效地养护措施。冬季环境温度低，最好采用蒸汽养护，条件不具备时要采取保暖措施，避免混凝土外表面降温过快而引起较大的温度梯度。钢模板导热快，木模板导热慢应结合具体情况选择模板。注意灌注后要洒水保湿养护。在浇筑完成2小时，即进行覆盖保温和浇水养生。保温覆盖层采用一层塑料薄膜两层麻袋，同时还要封闭与外界连通的孔道，通过保温层内蓄热使混凝土表面温度达到30~35℃。以减小混凝土表面热扩散后的温度梯度，延长散热时间，为混凝土上产生的温度应力创造充分的松弛条件。

控制箱梁拆模时间也是非常重要的，应既要考虑施工上拆模需要，又要考虑混凝土的温差不能太大，混凝土拆模应等到混凝土构件的中心温度降到与混凝土表面和环境气温每个梯温度差不大于20℃，才能拆除保温层及模板。

即：

$<20^{\circ}\text{C}$ $<20^{\circ}\text{C}$ $<20^{\circ}\text{C}$
 (砼中心温度) T3 \longrightarrow T4 \longrightarrow T5 \longrightarrow T6 (外界环境温度)

(7)、施工缝处理

①、施工缝设置

支架施工时，箱梁沿桥向每次全断面浇筑一个节段。按设计每个节段在距后方桥墩支座中心线 6m 处（每联连续梁最后一个孔除外）设一道竖向工作缝（50m 跨在 7m 处）。

②、施工缝处理

施工接缝处理：在进行浇筑混凝土前，将混凝土接缝处表面的水泥薄膜、松动石子或松散混凝土层清除，并将表面凿毛。凿毛时可根据接缝处混凝土硬化的情况采用下列方法：

混凝土强度达到 0.5Mpa 时，可用钢丝刷打毛或用压力水冲洗。强度达到 2.5Mpa，可用钢钎凿毛。强度到达 10Mpa，可用风镐凿毛。经凿毛处理的混凝土面，用压力水冲洗干净，使表面保持湿润；进行浇筑混凝土前，在竖向接缝处应刷一层水泥净浆。

7、预应力体系及其施工工艺

(1)、连续梁预应力体系（G08～G54）

连续梁预应力体系详见下表

《各型连续梁预应力体系设计汇总表》

梁型	预 应 力 体 系					
	纵 向 体 内 预 应 力			横向体内 预应力	横 梁 预 应 力	
	腹 板	顶 板	底 板		端横梁	中间横梁
等高 30m	两侧腹板： 每侧 4 束 15φj15.24; a、b、c 节段	8 束 9φj15.24; a、b、c 节段	8 束 9φj15.24; 8 束 7φj15.24; a、b、c 节段	间距 60cm 4φj15.24	每根 3 束 9φj15.24	每根 4 束 9φj15.24
3× 30m 变宽	两侧腹板： 每侧 4 束 12φj15.24 三条中腹板： 每条 4 束 12φj15.24 a、b、c 节段。	14 束 5φj15.24 a、b、c 节段。 2 束 5φj15.24 a、b 节段。 6 束 5φj15.24 a 节段。	20 束 5φj15.24 a、b、c 节段。 4 束 5φj15.24 a、b 节段。 4 束 5φj15.24 a 节段。		每根 6 束 9φj15.24	每根 10 束 5φj15.24 5 束 9φj15.24
7× 30m 变宽	两侧腹板： 每侧 4 束 15φj15.24 一条中腹板： 4 束 15φj15.24 a、b、c 节段。	16 束 5φj15.24 a、b、c 节段。 8 束 7φj15.24 (变宽变高段 G08 号墩处合拢段)。	20 束 5φj15.24 a、b、c 节段。 8 束 7φj15.24 (变宽变高段 G08 墩处合拢段)。		变宽变高段 G08 处： 3 束 9φj15.24; G15 处： 6 束 9φj15.24; 变宽段每根 6 束 9φj15.24;	每根 10 束 9φj15.24
匝道 30m	两侧腹板 每侧 3 束 15φj15.24; a、b、c 节段。	4 束 9φj15.24; a、b、c 节段。	6 束 9φj15.24; 4 束 7φj15.24; a、b、c 节段。	/	/	/

(2)、材料及其验检、保管

①、预应力筋

本工程设计为预应力钢绞线,采用 $\phi j15.24\text{mm}$ (单根截面积 1.4cm^2) 高强度低松弛钢绞线 (GB/T5224-1995)。其主要力学性能指标: 弹性模量 $E=1.95\times 10^5\text{Mpa}$; 标准强度 $R_y=1860\text{Mpa}$; 线膨胀系数 $\alpha=0.000012(1/^\circ\text{C})$; 70%钢筋松弛率 ≤ 0.025 。

钢绞线进场应分批验收,验收时应对质量证明书、包装、标志和规格等进行检查,同时,应分批检验(每批重量不大于 60t),在每批钢绞线中任取 3 盘(如每批少于 3 盘则每盘取)中取样,按“规范”要求进行表面质量、直径偏差和力学性能试验。合格后方可使用。

②、锚具、连接器

本区段工程的锚具、连接器采用 YM 群锚体系,其类型规格:

a、固端锚具:采用挤压式(P 型)锚具、轧花式(H 型)锚具(用于横向体内 $4\phi j15.24$)等固端锚具。

其规格有 YMP15-15、YMP15-12、YMP15-9、YMP15-7;扁锚: YMH15-4。

b、张拉端锚具,采用 YM 群锚锚具、扁锚(BM)锚具等张拉锚具。

其规格有: 15-15、15-12、15-9、15-7;扁锚 YMB15-4

c、连接器:采用 L 群锚连接器

其规格有: YL15-15、YL15-12、YL15-9、YL15-7。

锚具、连接器等进场时应按出厂合格证和质量证明书核查其锚固性能、类别、型号、规格及数量,同时还应分批(锚具以不超过 1000 套组,连接器以不超过 500 套组为一个验收批)抽样按“桥规”要求进行外观检查、硬度检验、静载锚固性能试验。若经检验其锚固性能不可靠或承载能力不够,则不得用于施工。

d、固定端 P 型锚具,必须采用成都市新筑路桥机械厂生产的 YDL560 型挤压机挤压,扎花锚须用专用扎花机挤压。

e、张拉时,千斤顶所用的工具锚和限位板,除与千斤顶配套外,还必须同锚具产品相配套。尤其是限位板的止口深度、孔间距,须符合锚具产品厂提出的要求,防止对张拉产生致命影响。

f、盖帽:由于本工程采用真空辅助压浆工艺。为此,预应力锚具应满足锚具组装件自身密封的要求,配置密封盖帽,盖帽与锚座可靠密封联结后,使预应力系统能达到 -0.07Mpa 真空度,盖帽除能承载一定的压力,并有相应的排浆、观察孔,以满足施工工艺的要求。盖帽可重复使用,使用次数至少 8 次/件。

③、预应力孔道

预应力孔道设计为塑料波纹管,塑料波纹管规格按钢束而定: $15\phi j15.24$ 为内径 90mm, $12\phi j15.24$ 为内径 90mm; $9\phi j15.24$ 为内径 80mm; $7\phi j15.24$ 为内径 70mm;扁锚 $4\phi j15.24$ 为 $70\times 19\text{mm}$ 。

塑料波纹管以及配件组成的预应力成孔系统,应满足后张预应力真空辅助压浆施工的需要,管和管之间的连接,除热焊接连接外还应可采用密封连接装置,此装置应带有孔道压浆过程的排气、排水、排浆和观察功效的排浆管。

塑料波纹管应满足《杭州湾跨海大桥预应力孔道用塑料波纹管技术规范》和其它相关文件要求，材料进场后，按技术规范要求进行验收检验。

④、预应力材料的贮放、保管：

进场后的预应力材料设专人保管，在存放、搬运、操作过程中要进行妥善、有效保护，避免机械损伤和有害的锈蚀。材料不得露天贮存，不得直接堆放在地面上。塑料波纹管的堆放高度小于 2m，且距热源不得少于 1m。

(3)、预应力筋制作

①预应力筋下料长度：《施工图》中标出的钢束下料长度为钢束径向投影至线路中心线的平均长度，不能作为实际下料依据。为此，需根据箱梁预应力筋设计平弯程度，锚具类型、千斤顶型号等因素，经过计算确定，各型连续梁的各束预应力筋下料长度以后另报。

②、预应力筋下料注意事项：

- a、切割场地应平整、硬化，有防雨、防潮措施；
- b、下料要有专人负责，量尺准确、材料顺直；
- c、钢绞线切断：宜采用砂轮切割机，以保证切口平整、线头不散，不得采用电弧切割。要严防设备漏电、砂轮切割机伤人。
- d、下料后要及时编号，编号用胶带贴于材料两端，当每束下料好，需用细铁丝分段绑扎，并用防雨材料盖好，以免锈蚀。

③、预应力钢束穿束

预应力钢束采用先穿法，即在波纹管埋设好后先穿束，后浇砼。钢束接长在各节段施工缝用连接器接长。

钢束可单根穿入。采用单根穿入时，应按一定顺序进行，以免钢绞线在孔道内人为打叉现象，采用整束穿入时，钢绞线应排列理顺，沿长度方向每隔 2m~3m 用铁丝捆扎一道，对长度较长的整束穿入时，应套上穿束器，由引线牵引设备从另一端拉出。

(4)、预应力工程主要施工设备

①、张拉设备：各型张拉千斤顶及与其相配套的电动高压油泵、压力表、高压油管等。

张拉千斤顶主要型号有：YCL-420、YCL-250、YCL-150 千斤顶，分别用于张拉 15-15~15-7 型号锚具；YCL-22 型千斤顶，用于单根钢绞线张拉（15-4 型锚具或其它型号锚具中的单根钢绞线张拉）；YCL-40 型千斤顶用于 P 型（挤压）锚具（固定端）；YCL3，用于 H 型（轧花）锚具（固定）端等。电动高压油泵为 ZB4-500 型。

②、孔道真空辅助压浆主要专用设备：C263 型压浆机，浆液搅拌机；MBV80 型真空泵，用于预应力锚固系统的管道抽真空、辅助压浆；VHJ 型塑料波纹管热焊机等。

(5)、预应力张拉程序及工艺

①、预应力张拉前准备工作

- a、对《施工图》提供的预应力筋伸长值进行复核计算，并报监理工程师认可。对预应力张拉顺序、张拉程序及现场施工操作说明等应报监理工程师认可。
- b、待箱梁混凝土达到设计强度的 85%以上，才能进行施加预应力。

c、张拉设备检查、标定

预应力张拉装备由张拉千斤顶、油泵及其附件等组成，每节段预应力施工时 YCL-420、YCL-250、YCL-150 千斤顶各配置 2 套，YCL22 千斤顶配置 2 套，YCL3、YDJ560 千斤顶各 1 套。所有设备及仪表设专人使用和管理，并定期维护和校验。

千斤顶与压力表必须配套标定，当千斤顶使用超过 6 个月或 200 次或使用过程中出现不正常现象或检修以后均应重新标定，标定后应报监理工程师认可。

张拉装置技术性能应良好，油量净洁、充足，使用优质矿物油（一般冬天用 10 号机油，夏天用 20 号机油，也可用 2 号或 3 号锭子油）。张拉装置各部件接头应密封，不得有漏油现象。

d、预应力孔道内应畅通，锚具、垫板接触处板面上的焊渣、砼残渣等要清除干净。

核对锚夹具质量检验记录，并再次进行外观检查，看有无裂缝、变形或损伤情况。检查合格后，用汽油（或煤油）擦除油污、脏物。锚夹具正确地安装在预应力钢束上。

e、模板与支架的检查：由于施加预应力，砼必将产生弹性变形，同时引起轴向缩短，上、下方向的挠曲，水平方向的挠曲等，使砼产生预想不到的裂缝。为此，对轴向弹性收缩有约束作用的侧模板，内模板要拆除；模板与支架有约束支座在顺桥方向移动和旋转部位的地方要拆除；一般情况，施加预应力引起的梁轴向缩短量，每米梁长约为 0.2mm，在进行首片梁施工时应进行观察，以便调整。

f、张拉千斤顶应具有简单、牢固、便于操作的支撑，施工现场机具应严防触电和机械伤人事故发生，制定相应安全技术措施，严禁预应力筋正前方站人。

②、预应力张拉顺序

连续梁的预应力有纵向体内预应力（包括腹板、顶板、底板钢束），横向体内预应力、横梁（包括端横梁、中横梁钢束）等。

连续梁预应力张拉顺序：按设计要求为先纵向后横向再横梁；同阶段张拉先腹板束后底板束再顶板束。

在上述要求顺序情况下，再遵循张拉时均匀对称、产生偏心荷载小的原则进行安排各束钢束张拉。

a、腹板束：一端张拉，从梁端由上而下进行；单箱单室箱梁，两侧腹板对称张拉（双台千斤顶）或左右交替（一台千斤顶）；单箱双室箱梁，先中腹板（一台千斤顶）再两侧腹板（同单室腹板）；单箱四室箱梁，先正中间腹板（一台千斤顶）再两边中腹板（同单室腹板）最后两侧腹板（同单室腹板）。

b、顶板束、底板束：一端张拉或二端张拉（设有齿块箱梁），由箱梁中间向两侧对称顺序进行，由梁端顺序即先近而远进行，单台千斤顶左右交替进行，双台千斤顶时左右对称进行。

c、横向体内钢束：一端张拉左右交替顺序进行，可用二台或数台单束钢绞线张拉千斤顶进行。

d、横梁钢束：按设计要求一端张拉或二端张拉，钢束按其排列先中后两侧。

③ 张拉程序

a、预应力钢束张拉程序

0→初应力（10% σ_y^k ）→ σ_y^k （持荷 2min 锚固）

σ_y^k 为钢绞线锚下控制应力

b、钢绞线锚下控制应力 σ_y^k

$$\sigma_y^k = 0.75 R_y^b = 0.75 \times 1860 = 1395 \text{ Mpa}$$

设计中锚下控制应力 σ_y^k 包括预应力的预应力损失，但不包括锚头摩阻损失，因此，进行预应力钢束张拉时，预应力筋的实际张拉控制应力必须加上锚头摩阻引起的应力损失，但最大不能超过规范的规定，即为 $0.8 R_y^b = 1488 \text{ Mpa}$ 。

c、张拉钢束张拉控制力

●、《施工图》中提供锚下控制应力时各类钢束的张拉控制力如下：单根钢绞线 $\phi_j 15.24$ 为 19.53t；4 $\phi_j 15.24$ 为 78.12t；5 $\phi_j 15.24$ 为 97.7t；7 $\phi_j 15.24$ 为 136.7t；9 $\phi_j 15.24$ 为 175.8t；12 $\phi_j 15.24$ 为 234.4t；15 $\phi_j 15.24$ 为 293.0t。

●、实际施工时总张拉吨位，根据锚具供货厂家提供的锚圈口损失系数（或现场测试结果）进行计算，总张拉吨位为 $\sigma_y^k A_y + F_y$ （圈口损失），并应满足不得超过 $0.8 R_y^b A_y$ 。

d、连续梁预应力钢束的预应力采用张拉力与延伸量双控，以张拉力控制为主。以伸长值进行校核，实际伸长值与计算的理论伸长值允许 -6% ~ +6% 的误差，如果超出此误差，应暂停张拉，待查明原因并采取措施予以调整后，方可继续张拉。

e、预应力筋伸长值的计算与校核

●、预应力筋的理论伸长值 ΔL （mm）

$$\Delta L = P_p L / A_y E_p \text{ 计算}$$

式中： P_p — 预应力筋平均张拉力（N）；

L — 预应力筋的长度（mm）；

A_y — 预应力筋的截面积（mm²）；

E_p — 预应力筋的弹性模量（N/mm²），一般 $E_p = 2.05 \times 10^5$ ；

预应力筋平均张拉力 P_p （N）， $P_p = \{P[1 - e^{-(kx + \mu\theta)}]\} / (kx + \mu\theta)$ 。预应力筋为直线时 $P_p = P$ 。

式中： P — 预应力筋张拉端张拉力（N）；

x — 从张拉端至计算截面的孔道长度（m）；

θ — 从张拉端至计算截面曲线孔道部分切线的夹角之和（rad）；

k — 孔道每束局部偏差对摩擦的影响系数；

μ — 预应力筋与孔道壁的摩擦（阻）系数，塑料波纹管的摩擦（阻）系数 $\mu = 0.12 \sim 0.15$ 。

在《施工图》中，已标出各钢束从初应力至锚固应力的理论伸长量。在施工前应进行

复核计算，并将计算结果报监理工程师认可。各钢束理论伸长率复核计算另见专项报告。

●、实际伸长值的量测

张拉采用分级张拉，总共分四级张拉。先张拉到初应力（ $10\% \sigma_k$ ），然后到 $20\% \sigma_k$ ，再到 $60\% \sigma_k$ ，然后控制应力为 σ_k ，最后到张拉到总张拉吨位，持荷 2min，然后锚固。在张拉过程中做好张拉记录，量测每级张拉情况下预应力筋的伸长值。在张拉纵向预应力筋时，整个张拉过程中派专人严密监测桥梁侧向的变化，严防侧崩的发生。

预应力筋采用两端张拉时，两端千斤顶升降速度应大致相等，两端都达到分级张拉控制力后，两端同时进行量测伸长值，量测后再依次继续进行张拉，一直到锚固。每一级的张拉伸长值，为同一级两端量测值之和。

实际伸长值 $\Delta L_{\text{实}} = \Delta L_1 + \Delta L_2$ 。

式中： $\Delta L_{\text{实}}$ —预应力筋张拉的实际伸长值（mm）；

ΔL_1 —从初应力至控制应力 σ_k 间的实测伸长值（mm）；

ΔL_2 —初应力以下推算伸长值（mm），可采用 $10\% \sigma_k \sim 20\% \sigma_k$ 的伸长值。

f、摩阻试验(详见专项方案)

g、锚固、封锚

预应力钢束张拉至总张拉吨位（锚下控制力时的张拉吨位+圈口损失吨位），稳压 2min 后，缓慢旋松截止阀，千斤顶慢慢降压，并把钢绞线整齐地锚固在锚具内。确定锚固正常后，千斤顶回油缸进油，回复直至千斤顶外露 30~40mm，停机施工后，按大桥专用规范，向监理工程师递交张拉施工相关记录。

张拉作业施工时，必须有监理工程师旁站。同时应按规范要求作好记录。

预应力钢束张拉完毕，并符合规范要求后，在距锚具 80mm 处用砂轮切割器切割端头多余的钢绞线，不能采用氧、乙炔或电弧切割，以防止夹片、钢绞线受热退火而滑丝。随后及时用掺加 107 胶的砂浆将锚具封锚，并在 48 小时内进行管道压浆。

h、预应力筋断丝、滑丝限制及滑丝事故处理

连续梁张拉施工时，每束钢绞线单根钢绞线内的断丝不得超过 1 丝，每个断面断丝之和不超过该断面钢丝总数的 1%。

在张拉过程中出现个别钢绞线滑丝时，可用 YDQ250 型千斤顶处理，先将该根钢绞线进行脱锚，换去旧夹片，装上新夹片，并按张拉程序重新张拉钢绞线至锚固。

若有严重滑丝，应将该束钢绞线全部卸荷，找出原因并解决后重新张拉。

8、真空辅助管道灌浆

预应力钢束张拉完毕结束后并经监理工程师同意灌浆工序，则尽快进行。灌浆采用真空辅助灌浆工艺。

真空辅助灌浆是在预应力筋孔道的一端采用真空泵抽吸孔道中的空气，使孔道内形成

负压 0.1Mpa 的真空度，然后在孔道的另一端采用灌浆泵进行压浆，真空辅助压浆是一项新技术，它有利于对超长孔道、大曲率孔道、扁管孔道、腐蚀环境等孔道的压浆。

(1)、压浆施工设备

①、水泥浆拌合机，能制备胶稠状的水泥浆。

②、压浆泵，采用活塞式的或排液式的压浆泵，泵及其吸入循环应完全密封，以免气泡进入水泥浆，压浆泵应可连续操作，对于纵向预应力管道能进行 0.7Mpa 的恒压作业，且安装有一个喷嘴，该喷嘴关闭时，使导管中无压力损失。

③、真空泵（MVB80 型预应力水循环真空泵）

④、压力表

⑤、储浆罐 其体积必须大于所要压注的一条预应力孔道的浆量。

(2)、压浆液性能要求

真空辅助压浆采用的水泥浆应符合以下要求

①、水泥浆的标号不得低于 40 号。水泥浆采用强度等级不低于 42.5 级硅酸盐水泥，所用水泥龄期不超过一个月。

②、水泥浆的性能：水泥浆体的水灰比采用 0.30 ~ 0.35；水泥浆 3h 泌水率应控制在 2%，泌水应在 24h 内被浆体吸收；流动度宜为 14 ~ 18S；浆体膨胀率 < 5%；初凝时间应 > 3h，终凝时间应 < 24h；压浆时浆体温度不得超过 32℃；

③、为使水泥浆达到所需的浆液特性，本合同参加 CG-W-20 无收缩防腐蚀高性能预应力管道灌浆剂。

④、浆体材料混合物配合比试验及浆体性能试验应符合规范要求，通过原材料试验，浆液配比试验、斜管试验、孔道压浆模拟试验，浆液配合比为灌浆剂：三狮水泥=20：80，水灰比为 0.35。试验成果报送监理工程师，获得批准后方可使用。

(3)、真空压浆工艺及质量要求

- 预应力钢束张拉完成后，进行封锚，封锚采用无收缩水泥砂浆封锚。

- 在待灌的预应力管道两端分别安装两个球阀，管道的其余部分密封，然后在压浆端球阀连接、压浆泵（带压力表），在出浆端球阀连接真空泵等设备，拌制水泥浆。在压浆前作泌水试验、稠度试验。

- 先将灌浆端封闭，开动真空泵，对管道试抽真空，检查及确保管道无漏气现象后，将道内空气抽出至一定的负压值（-0.06 ~ 0.1Mpa），并维持一分钟，若压力值不变即可进行灌浆

- 开灌浆阀，开启压浆泵，将测试的合格的浆液灌入管道内，灌浆过程中，真空泵保持连续工作。

- 待浆体在真空端溢注入空气滤清器时，关闭空气滤清器前的阀门和真空泵，稍后打开排浆阀。

- 继续灌浆，当水泥浆从排浆阀顺畅流出，且稠度与灌入的浆体相应时，关闭排浆阀。

- 灌浆泵继续工作，一直到灌浆压力达到 0.5Mpa 时，持压不少于 2 分钟后，关闭灌

浆泵及灌浆阀，完成灌浆作业。

- 压浆时，每一工作班组应留取不少于 3 组试样（每组为 $70.7\text{mm} \times 70.7\text{mm} \times 70\text{mm}$ 立方体的试件 3 个），标准养生 28d，检验其抗压强度，且应符合设计要求。拆除底模时，水泥浆试块强度，不应低于 15Mpa。

- 当气温或箱体温度低于 5°C 时，不得进行压浆，水泥浆温度不得超过 32°C ，当气温高于 35°C ，压浆宜在夜间进行，压满浆的管道应进行保护，使在一天内不受震动，管道内水泥浆在注入后 48h 内，结构混凝土温度不得低于 5°C ，否则应采取保温措施。在压浆后两天应检查注入端及出气孔的水泥浆密实情况，必要时进行处理。

- 灌浆后的孔道泌水孔、灌浆孔、排气孔等均应切平，并用砂浆填实补平。

- 锚点封闭后与周边混凝土之间不得有裂纹。

- 孔道压浆时认真填写压浆施工记录，施工记录的抄件应在压浆后 3d 内送交监理工程师。

9、施工测量监控

关于箱梁施工测量监控详见我部“箱梁施工测量控制方案”。

六、质量保证体系及措施

为了使箱梁质量内实外光，施工过程中，在确保砼内在质量的前提下，采取各种措施提高砼外观质量。

影响箱梁外观质量的主要环节包括以下几个方面：

- (1)、原材料选用及砼配合比设计；
- (2)、钢筋保护层厚度、预埋件的埋设定位；
- (3)、模板的设计、加工、清洁、安装及拆除，脱模剂的选用；
- (4)、砼的拌制、输送、浇注和养护；
- (5)、施工缝的处理；
- (6)、预埋件处理、螺栓孔及缺陷修补；
- (7)、成品保护。

1、钢筋及预埋件

(1)、钢筋下料及绑扎

箱梁施工中，钢筋工作量大，严格控制钢筋的下料及绑扎，确保混凝土的保护层厚度，避免砼表面出现露筋、锈斑及钢筋纹路。

(2)、预埋件的埋设定位

箱梁设计中有通气孔、防雷接地预埋钢板及泄水管等预埋件，这些预埋件埋设的好坏将影响箱梁的整体外观质量。

工程用的预埋件应严格按设计要求进行加工、埋设。施工用的预埋件，应将其表面嵌

入砼内，并注意防锈，使用完成后进行修饰。

2、模板及脱模剂

(1)、模板选择

为了提高混凝土外观质量，保证面平，线条顺直流畅，轮廓分明，采用钢模板。

(2)、模板的设计及加工制作

模板设计时，应充分考虑到模板的重复使用次数，适宜增大模板的刚度，确保模板在使用期间的变形不影响混凝土外形尺寸及平整度。

模板的加工制作应严格按照设计图进行，加工的模板板面应平整，板间的接缝严密、不漏浆，保证结构物外露面光洁，线条流畅。

(3)、模板安装

①、模板安装前，应仔细检查其表面是否干净，涂抹的脱模剂是否均匀。

②、模板的安装严格按设计要求的顺序进行，对安装到位的模板固定应牢靠，避免混凝土浇注过程中模板移位。

③、尽可能避免在模板附近进行焊接作业，若必须焊接时，在模板方向用薄铁皮作保护，确保焊渣不溅落到模板上。

④、模板安装完成后，对其平面位置、顶部标高、接缝严密、节点联接及纵横向稳定性进行检查验收。

(4)、模板拆除保养

①、模板在混凝土强度能保证其表面及棱角不致因拆模而受损坏时进行拆除(拆除前先对试件作抗压试验)。

②、对拆下的模板及时检查、修复，清理模板表面，并刷脱模剂，以备下一次使用。

③、模板表面避免重物碰撞和敲击，严禁用尖利的硬物刮刻模面表面。

④、脱模剂的选用

根据施工经验，拟采用 IM-90 建筑模板长效脱模剂，以保证箱梁脱模和混凝土外观质量。

3、混凝土配合比设计及施工

(1)、箱梁外观质量的提高，必须选择符合规范规定和满足设计要求的水泥、细骨料、粗骨料、外加剂、拌和用水、粉煤灰、矿粉等原材料。

(2)、混凝土的配合比设计

箱梁混凝土为泵送混凝土，混凝土配和比的优化设计及在实际施工中的均匀一致性是确保其外观质量的关键，尤其是能从根本上控制混凝土表面的色差。在保证混凝土内在质量的同时，为提高混凝土的外观质量，混凝土配合比设计时采取以下几项主要措施，使配制的混凝土具有良好的和易性，不泌水、不离析。

①、混凝土的配合比通过设计和试配选定，试配时使用施工实际采用的材料，在具体施工中还根据实际情况进行调整，确保箱梁在施工中混凝土配合比的一致性。

②、砼在满足泵送混凝土要求的前提下尽量减少粉煤灰的用量，以减轻粉煤灰对混凝土

土外观质量的影响。

(3)、混凝土施工质量检测与控制

混凝土的拌制、输送、浇筑及养护是箱梁混凝土施工中的重要工序，直接影响着混凝土的内在质量和外观质量，如外表颜色、外型轮廓尺寸、表面平整度、蜂窝麻面和表面裂纹等缺陷程度。

①、混凝土拌制配料时，应对骨料的含水率进行适时检测，并据以调整骨料和水的用量，以确保混凝土配和比的一致性。外加剂由专人负责计量，精度控制在 $\pm 1\%$ 以内。

②、混凝土搅拌时间经试验确定，操作时严格按设备出厂说明书的规定和规范要求进行。

③、砼拌制必须逐盘计量，其计量结果偏差应符合相关规定。每次砼生产前，应对计量设备进行零点校核。

④、混凝土拌和时，试验人员全过程跟踪并按现行国家标准《混凝土搅拌机技术条件》(GB9142)的规定进行检测，保证混凝土拌和均匀性。

⑤、应随时检测砼拌和物的坍落度，以判别拌和物的配合比是否与要求有较大差异。检测坍落度时，还应观察砼拌和物的粘聚性和保水性。如有较大差异时，应立即查明原因，并处理解决后方可投入使用。

⑥、混凝土 30cm 厚度分层以设计的顺序和方向浇筑。缩短上、下层混凝土浇筑间隔时间，在振捣上层混凝土时振捣棒插入下层混凝土 50~100mm，使上下层混凝土融为一体。

⑦、混凝土振捣使用插入式振捣器，移动间距不超过振捣器作用半径的 1.5 倍，与侧模保持 50~100mm 的距离，振捣时间一般控制在 30s 左右，振捣棒快插慢拔，保证混凝土振捣密实，不出现漏振、欠振或过振。

⑧、振捣模板和预应力钢束附近的混凝土时，既要保证振捣到位，又不得碰撞模板、钢束和预埋件、绑扎好的钢筋。

(4)、特殊天气情况下的混凝土施工

箱梁混凝土的施工经过冬期及雨期，为确保混凝土的内外质量，在施工时，根据各个时期的特殊天气情况采取相应的控制措施。

①、冬期施工期间，混凝土拌制时，严格控制混凝土的配和比、坍落度及拌制混凝土用的各种材料的温度。混凝土拌和投料前，先用热水冲洗搅拌机，然后加入骨料、水进行搅拌，最后加入水泥搅拌，根据实际情况延长搅拌时间。当材料原有温度不能满足需要时，对拌和用水进行加热。浇筑完成后，在混凝土的抗压强度达到设计强度的 40%前，继续保温养护，直到满足抗冻要求。

②、雨期混凝土施工时，避开大风大雨天气。经常测定砂石料的含水量，及时调整砂石和水的用量；在泵送及浇筑现场搭设临时防雨设施。

(5)、混凝土养护

①、一般气候条件情况下，混凝土采用洒水养护。为防止污染混凝土面，养护用水采用自来水。为防止因海边风力较大，砼表面水分流失太快，产生干裂，须通过专人及时、

不间断洒水，保持混凝土表面一直处于湿润状态，时间不能少于 7 天，同时也可避免了混凝土表面出现干湿循环。

②、冬期施工时，对混凝土外露面进行覆盖保温，当模板未拆除而大气温度过低、单靠模板不能正常养护混凝土时，模板外周用彩条布包裹蓄热；当模板拆除混凝土须继续养护时，混凝土外露面用土工布覆盖，并在土工布外部包裹一层彩条布，必要时在迎风面搭设防风设施。

4、施工接缝处理

为使拆模后混凝土表面接缝美观，两节段混凝土间的外露接缝线一定要平整顺直，在施工中，采取了以下措施进行控制：

(1)、每次安装模板前，端模必须拉线控制，保证接缝面平直。当混凝土浇筑完成后进行施工缝凿毛（露出粗骨料 80% 以上），认真保护好接缝线，使得前后节段混凝土的接缝顺直。

(2)、混凝土浇筑前，对接缝表面进行检查清理，并刷一层水泥净浆。

(3)、混凝土浇筑时，充分振捣接缝两侧的混凝土，使得接缝线饱满密实。

5、预埋件、螺栓孔的修饰处理

(1)、修补修饰材料选用

为了保证修补的部位与周围混凝土表面颜色一致，所有使用的修补修饰材料统一经试验室严格试配，试配结合实际施工条件展开，并根据同龄期混凝土试块色泽的具体情况进行。

(2)、修补处理

模板拆除后，及时检查工程用预埋件的外露表面与周围混凝土面的平顺情况，遇到错台，用打磨机仔细打磨混凝土毛边，使埋件表面与周围混凝土面衔接顺畅。

对于即将投入使用的外露预埋铁件，先清理其表面，当在其面上焊接构件完成后，与构件一起进行防锈处理；对于以后使用的外露预埋铁件，在清除其表面的浮渣后，立即对预埋前未进行防锈处理的铁件进行防锈处理。

6、成品保护

箱梁施工工序繁杂、经历时间长，因而导致已浇混凝土外观受损的机会大、破坏的因素多，为了确保混凝土的外观完好如初，在施工期间，特别加强对混凝土外观的保护。

(1)、禁止用重物随便撞击及敲打混凝土面，尤其刚拆模的混凝土面。禁止在混凝土表面乱写乱画，禁止用尖利的硬物刮刻混凝土面，严禁用脏手或其他污物擦摸混凝土面。

(2)、拆模后的混凝土表面若粘有浮灰及留有模板痕迹，立即用细砂纸打磨，直到浮灰及模板痕迹清除干净、混凝土表面色泽一致为止。

(3)、拆模时，应注意方法，不要蛮干，防止模板支架对箱梁轮廓边缘造成破坏。

(4)、预应力管道压浆中，余浆采用管道外接或利用桶接住，不能乱流在箱梁顶面，然后用水冲洗，造成对箱梁腹板等的污染；灰浆机及压浆机处必须采取措施，防止水泥浆污染。

(5)、已经施工好的箱梁边缘处用砂浆等材料进行拦边，雨水集中外排，防止下雨时，铁锈水和其它脏水污染箱梁。

7、箱梁钢筋质量的技术措施

(1)、制作前检查原材料的外观及有关质量证明书，按规定抽检原材料，合格后方可使用。

(2)、钢筋加工、制作的数量、尺寸应满足设计要求。

(3)、钢筋安装、绑扎按规范进行，误差应满足规范和设计要求。

(4)、钢筋主筋采用剥肋滚压直螺纹接头进行连接，确保每一个接头符合规范要求。

8、预应力施工质量保证措施

(1)、预应力钢绞线的材质应符合国家标准，现场按规定进行抽样检验。

(2)、锚具、夹具、连接器应符合国家标准和施工规范中的规定，现场按规定进行抽样检验。

(3)、施工中使用的张拉机具必须经过计量认证单位的检定，合格后方可使用。

(4)、波纹管应做外力作用下的变形试验和防渗试验。波纹管铺设应牢固，位置符合设计要求。

(5)、锚具安装应牢固，位置符合设计要求，确保锚具面与预应筋垂直。

(6)、张拉预应力时，混凝土的强度必须符合设计和规范的要求，施加的张拉力必须满足设计和规范的要求。

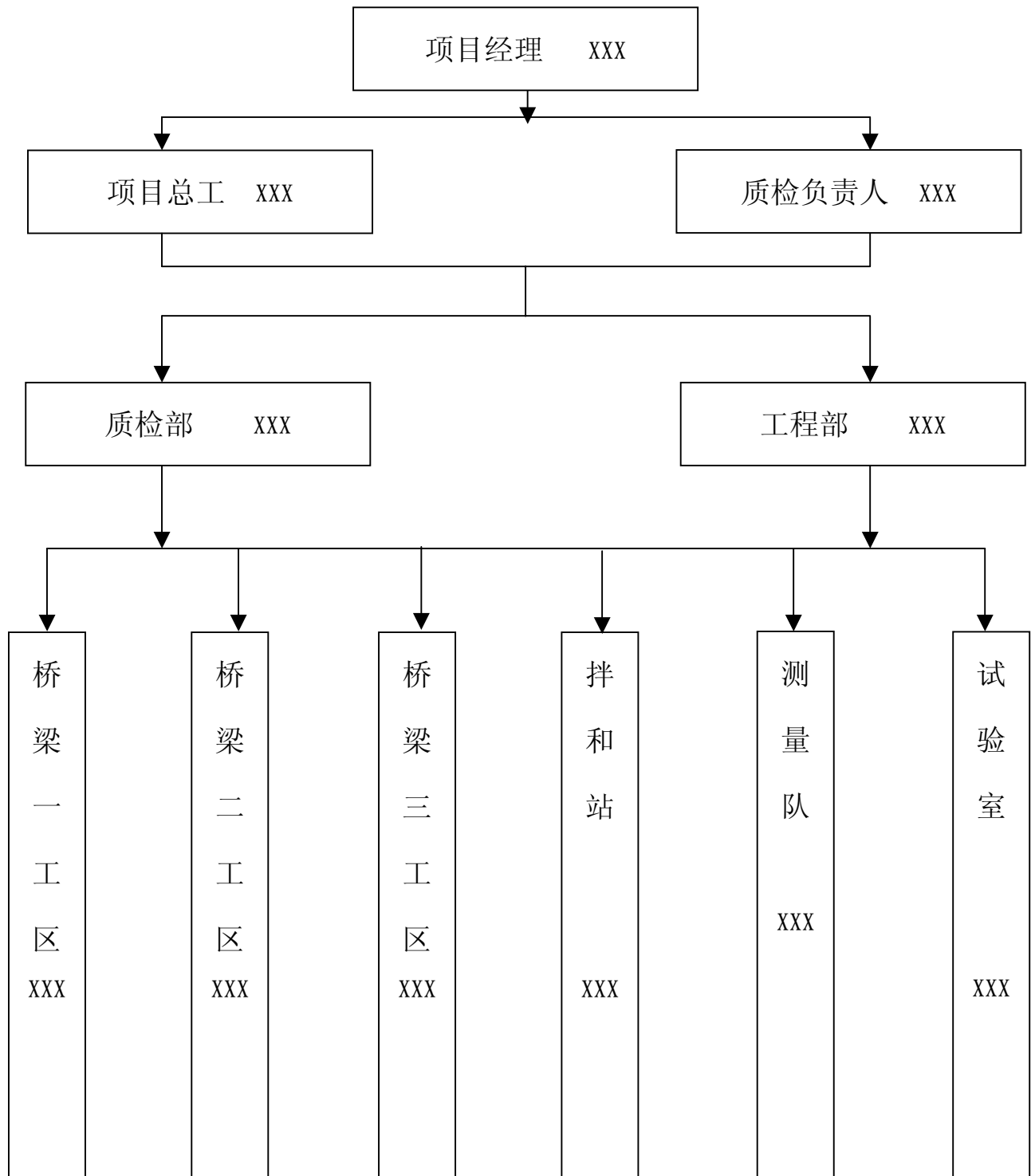
(7)、张拉工作由专业队进行施工，操作人员先培训合格后方可上岗工作。

(8)、张拉采用专人记录，专人测量伸长值，专人开油泵。严格按张拉工艺施工。

(9)、灌浆作业时，灰浆应严格按配合比进行配制，灰浆灌注时应连续作业，不得中断，灌浆后确保养护到位。

9、质量管理体系

质 检 体 系 机 构 框 图



七、安全保证体系及措施

1、安全管理目标和安全防范要点

本项目安全目标确定为“三无一杜绝”、“一创建”，“三无”即：无工伤死亡事故、无交通死亡事故、无火灾、洪灾事故；“一杜绝”即：杜绝重伤事故；“一创建”即：创建安全文明达标工地。根据杭州湾大桥XI合同段工程特点，安全防范重点有以下六个方面：

- (1)、防高处坠落事故；
- (2)、防起重伤害事故；
- (3)、防触电电击事故；
- (4)、防机械伤害事故；
- (5)、防行车交通事故；
- (6)、防火灾、洪灾事故。

2、安全生产保证体系（见附图）

3、主要施工安全技术措施

结合工程实际，制定施工现场、施工机械、钢结构加工、连续箱梁施工支架架设预应力工程施工等安全技术措施。

(1)、施工现场安全技术措施

①、施工现场的布置符合防火、防爆、防洪、防雷电等安全规定的要求，施工现场的生产、生活办公用房、仓库、材料堆放场、加工场等按施组中的总平面布置图布置。

②、现场道路平整、坚实、保持畅通，危险地点悬挂按照《安全色》和《安全标志》规定的标牌，夜间行人经过的坑、洞设红灯示警，施工现场设置大幅安全宣传标语。

③、现场的生产、生活区设足够的消防水源和消防设施网点，消防器材有专人管理，不得乱拿乱支。组成一个由 15～20 人的义务消防队，所有施工人员熟悉并掌握消防设备的性能和使用方法。

④、各类房屋、库棚、料场等消防安全距离符合公安部门的规定，室内不得堆放易燃品，严禁在木工加工场、料库等吸烟；现场的易燃杂物，随时清理，严禁在有火种的场所或其近旁堆放易燃杂物。

⑤、氧气瓶不得沾染油脂，乙炔发生器有防止回火的安全装置，氧气瓶与乙炔发生器隔离存放。

⑥、施工现场的临时用电，严格按照《施工现场临时用电安全技术规范》JGJ6-88 的规定执行。

a、临时用电工程的安装、维修和拆除，均由经过培训并取得上岗证的电工完成，非专业电工不准进行电工作业。

b、电缆线路采用“三相五线”接线方式，电气设备和电气线路绝缘良好，场内架设的电力线路其悬挂高度及线距符合安全规定，并架在专用电杆上。

c、变压器设接地保护装置，其接地电阻不得大于 4 欧，变压器设护栏，设门加锁，

专人负责，近旁悬挂“高压危险、请勿靠近”的警示牌。

室内配电盘安装漏电保护装置，各类电气开关和设备的金属外壳，均要设接地或接零保护。

d、各类电气开关和设备的金属外壳，均设接地或接零保护。

e、配电箱能防火、防雨，箱内不得存入杂物并设门加锁，专人管理。

f、移动的电气设备的供电线，使用橡套电缆，穿过行车道时，套管埋地敷设，破损电缆不得使用。

g、检修电气设备的须停电作业，电源箱式开关的握柄挂“有人操作，严禁合闸”的警示牌或设专人看管，带电作业时经有关部门批准。

h、现场架设的电力线路，不使用裸导线，临时敷设的电线，不得挂在钢筋模板和脚手架上，并安设绝缘支承物。

i、施工现场用的手持照明灯采用 36V 的安全电压，未经领导同意，严禁个人乱拉、乱接照明灯或其他电器。

j、严禁用其他金属丝代替熔断丝。

⑦、施工前，了解周围环境的情况，熟悉施工范围内的电力、电信、通讯、给排水和架空高压电线走向及其架设高度，并采取防护措施，做到不明情况，不施工，以免造成重大事故。施工中如发现危及到地下管线、地面建筑物或有危险品、文物时，立即停止施工，待处理完毕后方可施工。

⑧、加强现场治安工作，禁止无关人员进入施工现场。进入施工现场的人员必须按要求穿戴防护用具，水上作业必须穿救生衣，起重作业必须带安全帽与安全带。

(2)、施工机械安全技术措施

①、各种机械操作人员和车辆驾驶员，必须取得操作合格证，不准操作与证不相符的机械，不准将机械设备交给无本机操作证的人员操作，对机械操作人员建立档案，专人管理。

②、操作人员按照本机说明规定，严格执行工作前的检查制度和工作中注意观察及工作后的检查保养制度。

③、驾驶室或操作室保持整洁，严禁存放易燃、易爆物品，严禁酒后操作机械，严禁机械带病运转或超负荷运转。

④、机械设备在施工现场停放时，选择安全的停放地点，夜间有专人看管。

⑤、用手柄起动的机械注意手柄倒转伤人。向机械加油时严禁烟火。

⑥、严禁对运转中的机械设备进行维修、保养、调整等作业。

⑦、指挥施工机械作业人员，站在可让人了望的安全地点，并明确规定指挥联络信号。

⑧、使用钢丝绳的机械，在运转中严禁用手套或其他物件接触钢丝绳，用钢丝绳拖、拉机械或重物时，人员远离钢丝绳。

⑨、起重作业严格按照《建筑机械使用安全技术规程》(JGJ-86)和《建筑安装工人安全技术操作规程》规定的要求执行。

⑩、定期组织机电设备、车辆安全大检查，对检查中查出的安全问题，按照“三不放过”的原则进行调查处理，制定防范措施，防止机械事故的发生。

(3)、高处施工安全技术措施

①、高处施工必须设有安全防护措施，上下需设置人行斜道、爬梯，并一律加设护身栏（护身栏应为双杆，高度不得底于 1.2 米）。

②、从事高处施工人员要定期进行体检，发现有不适宜者，要立即调换工作岗位，不得从事高处施工。

③、严禁酒后从事高处施工，严禁在大风、雨雪等恶劣天气下从事高处施工。

④、大风及大雨后，及时对支架进行认真检查，若发现有基础沉陷、架子歪斜等，立即采取加固、补救或其他处理措施。高处施工人员要穿防滑鞋。上下人行斜道、爬梯应有防滑措施。

⑤、除架子工外任何人不得任意拆卸或移动支架。

⑥、进入施工现场，人人戴安全帽，严禁重叠施工。

⑦、混凝土施工，如遇 5 级以上大风或雷阵雨，立即停止作业。

(4)、支架现浇箱梁安全技术措施

①、所用支架应详细检查，不得使用锈蚀及严重变形的。支架施工时，应设专人统一指挥。

②、地基承载力应符合设计要求，否则，应采取加固处理措施，使其达到设计要求。地基处理时，应避免施工机械对已施工墩身等成品造成损坏，并应在地基处理时采取防冲刷和防冻胀。

③、支架架设、安装按设计要求施工，应有足够的承载能力和稳定性，并要联结牢固，防止不均匀沉降、失稳和变形。设置人行斜道、爬梯的脚手架不得与支架相联，以免支架失稳。

④、支架安装后必须按设计要求进行预压。

⑤、预应力砼浇筑前应对支架全面检查，对机具设备及防护设备及防护设施等进行检查，确认合格后方可施工。施工时随时检查支架和模板，发现异常状况应及时采取措施。

⑥、必须按设计要求进行落架，并在完全落架后，才能进行支架拆除。

⑦、在支架上施工遵守高空作业安全技术规程。

(5)、模板施工安全技术措施

①、模板制作时应细致选料，制作钢模不得使用扭曲严重等材料，木模不得使用扭裂、大横节疤等木料。

②、支立和拆除模板要按工序进行，应有专人指挥，起吊设备应有足够的安全性和可靠性。起吊后下面不得站人和通行。模板下放距地面 1 米时，作业人员方可靠近操作。

③、拆除模板时，应按顺序分节段进行，不得留有松动或悬挂的模板，严禁硬砸或用机械大面积拉倒。拆下带钉木料，应随即将钉子拔掉。

(6)、预应力施工安全技术措施

- ①、张拉现场应有明显标志，与该工作无关的人员严禁入内。
 - ②、张拉或退出楔块时，千斤顶后面不得站人，以防预应力筋拉断或锚具楔块弹出伤人。
 - ③、油泵运转有不正常情况时，应立即停车检查。在有压情况下，不得随意拧动油泵或千斤顶各部位的螺丝。
 - ④、作业应有专人负责现场指挥。操作时严禁摸踩或及碰撞力筋，在测量伸长及拧螺母时，应停止开动千斤顶或卷扬机。
 - ⑤、张拉时，夹具应有足够的加紧能力，防止锚具夹具不牢而滑出。
 - ⑥、千斤顶支架必须与梁端垫板接触良好，位置正直对称，严禁多加垫块，以防支架不稳或受力不均倾倒伤人。
 - ⑦、在高压油管的接头应加防护套，以防喷油伤人。
 - ⑧、已张拉完而尚未压浆的梁，严禁剧烈震动，以防预应力筋裂断而酿成重大事故。
 - ⑨、管道压浆时，应严格按照规定压力进行。施压前应调整好安全阀，进行检验，确认无误后，方可作业。管道压浆时，操作人员必须戴防护眼镜和其它防护用品。关闭阀门时，作业人员应站在侧面，以确保安全。。
- (7)、泵车安全技术措施
- ①、砼泵车安装应稳定、牢固，安设未稳前，不得移动布料杆，作业前，应检查输送泵、电气设备是否正常、灵敏、可靠。
 - ②、泵送前，应检查管路、管节、管卡及密封圈的完好程度，不得使用有破损、裂缝、变形和密封不合格的管件。
 - ③、砼泵车在运转时发生故障，应立即停机，断电检查，不得带病作业。
 - ④、砼泵车操作人员，应熟悉和遵守砼泵车的操作规程和安全技术规定。
 - ⑤、拆卸管路节头前，应把管内剩余压力排除干净，防止管内有压力而引起事故。
 - ⑥、在五级以上大风时，泵车不得使用布料杆作业。