



# 三峡库区架空斜坡道码头大跨度连续斜梁施工技术

李 杰

(中交武汉港湾工程设计研究院有限公司, 湖北 武汉 430040)

**摘要:** 在三峡库区水位调度影响下以及无大型起重船机配备的施工条件下, 针对宜昌市兴山县绿色港口服务示范区工程架空斜坡道码头大跨度连续斜梁整体现浇施工过程中底模支撑系统选择的问题, 对不同的底模支撑系统方案进行比选, 提出采取两端钢埋件与中间支撑组合的上承式正支架整体现浇方案, 并介绍该方案的确定、设计及施工工艺。结果表明, 该方案经实践证明可行, 克服了斜梁现浇过程中产生的水平推力, 保证工程质量和安全。

**关键词:** 架空斜坡道码头; 大跨度; 连续斜梁; 整体现浇; 组合支架

中图分类号: U 655

文献标志码: A

文章编号: 1002-4972(2022)05-0178-06

## Construction technology of long-span and continuous inclined beam of overhead-erection ramp wharf in Three Gorges Reservoir area

LI Jie

(CCCC Wuhan Harbor Engineering Design & Research Co., Ltd., Wuhan 430040, China)

**Abstract:** This paper aims to investigate the selection strategy of the bottom formwork support system for the integral cast-in-place construction of a long-span and continuous inclined beam of overhead-erection ramp wharf in the green port service demonstration area project in Xingshan County, Yichang City. It takes into account the influence of water level operation in the Three Gorges Reservoir area and the construction conditions without large crane ships. After comparing different schemes of the bottom formwork support system, this paper proposes a scheme, i.e., the integral cast-in-place construction of a deck-type positive support structure with the combination of steel embedded parts at both ends and intermediate support. The determination, design and construction technology are also introduced regarding this scheme. The results show that the proposed scheme is feasible in practice, which can overcome the horizontal thrust generated during integral cast-in-place construction of inclined beams and guarantee the quality and safety of the project.

**Keywords:** overhead-erection ramp wharf; long-span; continuous inclined beam; integral cast-in-place; combined support structure

### 1 工程概况

本工程位于长江支流香溪河上(三峡库区内), 码头结构形式为架空斜坡道, 前端设置趸船 1 艘。趸船后方新建一条电梯斜坡道, 斜坡道坡比 1:2.95; 斜坡道采用排架式梁板结构, 每榀排架

设置 2 根  $\phi 1\ 600\ \text{mm}$  钻孔灌注桩, 前沿采用桩基墩台形式, 下设 4 根  $\phi 1\ 600\ \text{mm}$  的嵌岩钻孔灌注桩, 桩基持力层为中风化基岩。斜坡道上布置轨距为 3.5 m 的两条电梯车道; 上部结构由现浇横梁(墩台)和轨道梁组成, 轨道梁之间设置联系梁

收稿日期: 2021-08-17

作者简介: 李杰(1984—), 男, 工程师, 从事水运工程项目管理。

(图1)。轨道梁宽1 m、高1.6 m；其中CD段净跨为10.4 m，DE段净跨为13.2 m。连系梁宽0.5 m、高1 m、长2.5 m。根据文献[1]，由于斜梁两端存

在较大高程差，钢筋的绑扎、模板的封闭及混凝土浇筑都存在较大的施工难度，且斜梁的水平推力较难克服。

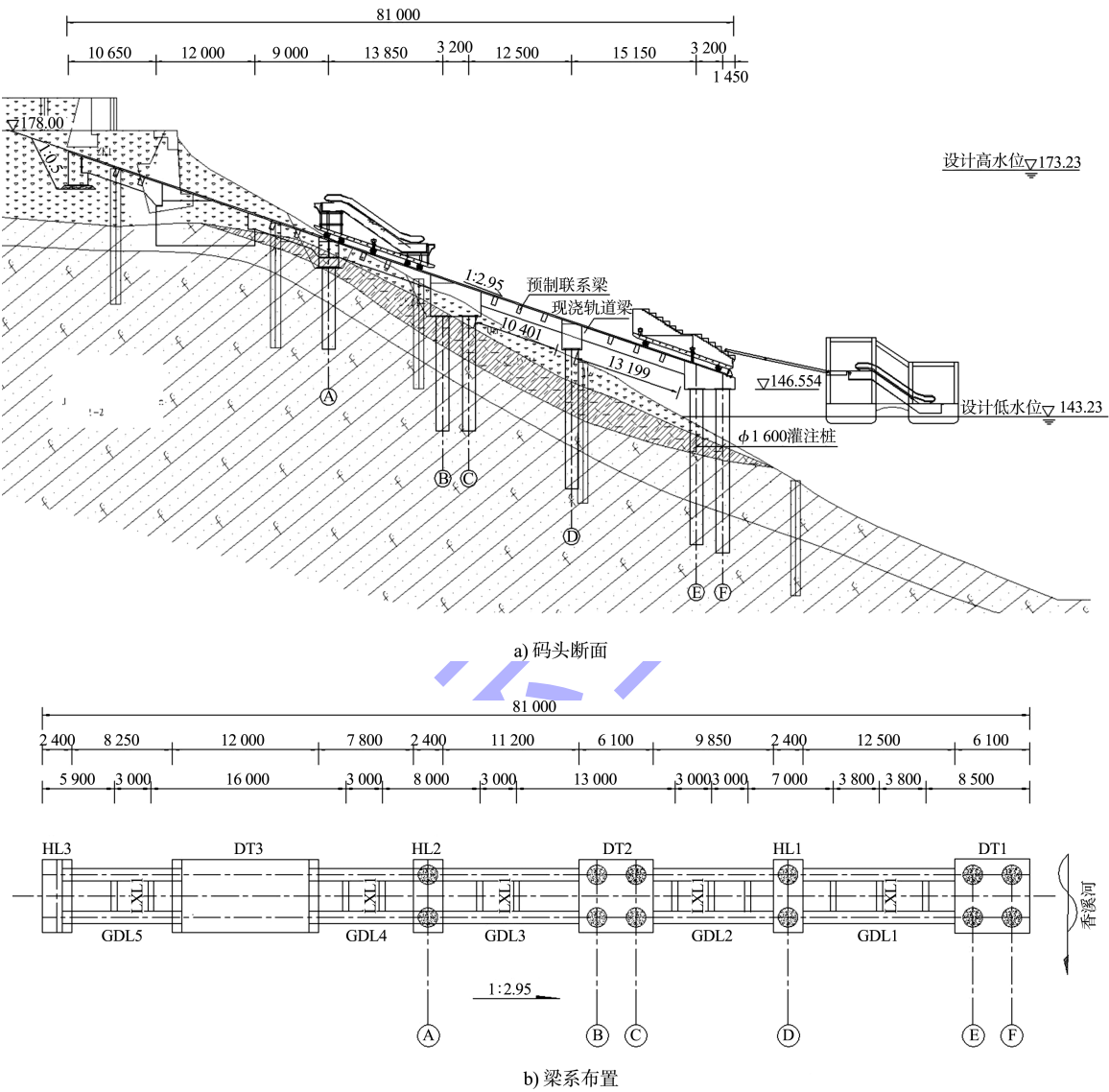


图1 架空斜坡道码头断面及梁系布置（尺寸：mm；高程：m）

2 施工方案确定

2.1 常见施工方案

2.1.1 钢抱箍底模支撑系统

钢抱箍底模支撑系统多用于基桩为预应力高强混凝土(PHC)管桩、灌注桩的水工上部结构现浇施工，其主要依靠单个或多个排架上基桩与钢抱箍之间的摩擦力承受外部荷载(通常在钢抱箍与基桩之间内壁粘贴一层橡胶垫、麻袋片等柔性材料以增加摩擦力)。当抱箍连接板上的螺栓全部拧紧

后即可传递荷载。在钢抱箍的两侧牛腿上依次安装主、次梁型钢、木方、竹胶板等组成底模支撑系统。

2.1.2 钢牛腿底模支撑系统

钢牛腿底模支撑系统多用于基桩为钢管桩的水工上部结构现浇施工，其主要依靠单个或多个排架上钢管桩与钢牛腿(π形居多)的焊接连接承受外部荷载。焊接的焊缝长度及焊脚尺寸决定了其受压、受弯、受剪等承载力的大小。在钢牛腿

上依次安装主、次梁型钢、木方、竹胶板等组成底模支撑系统。

### 2.1.3 主梁反吊(下承式)底模支撑系统

主梁反吊(下承式)底模支撑系统多用于受水位、地形、地貌等限制,跨中无法实施其他支撑方式的水工上部结构现浇施工。有 2 种方法可用于反吊施工:1)采取在基桩顶上设置反吊圆钢(其与基桩焊接连接),然后与下部双拼槽钢采用螺栓进行连接;在双拼槽钢上依次安装型钢、木方、竹胶板等组成底模支撑系统;2)当两端承(墩)台已形成时,可采取在其上利用贝雷架反吊的施工工艺进行施工<sup>[2]</sup>。

### 2.1.4 满堂支撑(上承式)底模支撑系统

满堂支撑(上承式)底模支撑系统多用于不受水位影响的上部结构施工,其采取按一定间距布置的起支撑作用的扣件或碗口脚手架,主要传力单元为可调托撑、立杆、剪刀撑等;在可调托撑上依次安装钢管、木方、竹胶板等组成底模支撑系统。

### 2.1.5 其他方法

其他方法还有膺架法等。

## 2.2 重难点分析

### 2.2.1 施工窗口期短

根据水利部 2015 年 9 月批复的《三峡(正常运行期)—葛洲坝水利枢纽梯级调度规程》<sup>[3]</sup>,三峡水库每年 5 月 25 日—6 月 10 日,水库水位从 153.25 m 降至防洪限制水位 143.23 m(85 高程,下同);6 月 10 日—9 月 10 日水位一般不超过 148.25 m。另外根据近 5 年实际调度数据,个别年份 6 月底、7 月初的水位也会快速上涨到 148.25 m。因此,最下面的现浇墩台 DT1(EF 轴)、轨道梁 GDL1(DE 轴)、连系梁 LXL1 施工受其影响很大,施工窗口期短。

### 2.2.2 施工方法受限

常规施工方法为现浇墩台及横梁施工完成后,轨道梁 GDL1(DE 轴)采用预制的方式,通过水路出运再进行安装,连系梁 LXL1 现浇施工。由于轨道梁 GDL1(DE 轴)质量约 52.8 t,须选择至少 120 t 起重浮吊船进行安装。而三峡库区小吨位浮吊船居多,从外地调遣大型浮吊船须通过三峡大

坝,施工费用较高。

### 2.2.3 轨道梁具有跨度大、坡度陡等特点

本工程轨道梁系非预应力钢筋混凝土结构,坡度与斜坡道坡度一致,为典型的大跨度连续斜梁,现浇梁挠度控制难度大。

## 2.3 施工方案的确定

由于轨道梁 GDL1(DE 轴)搁置在横梁及墩台上,无法直接利用支撑横梁及墩台的底模支撑系统,故钢抱箍、钢牛腿、主梁反吊(支撑在基桩上)底模支撑系统均不适用。另横梁及墩台顶面均为斜面,利用贝雷架反吊的施工工艺也不完全适用。又因本工程轨道梁施工期间,水位未能完全降至满足干作业水位以下,且还在变化过程中,故满堂支撑(上承式)底模支撑系统也不适用。经反复比选,最后决定采用两端预埋钢埋件与中间支撑组合的上承式正支架底模支撑系统。主要流程为:首先在现浇墩台及横梁施工时,在轨道梁两侧相应位置先设置预埋件,在其上直接焊接型钢作为主梁,再焊接次梁型钢,后在其上安装木方、竹胶板等;根据轨道梁跨度设置一或几个中间支撑组成底模支撑系统。

## 3 底模支撑体系搭设

斜坡道横梁和现浇墩台施工完成并达到强度后,立即组织斜坡道轨道梁施工平台底模支撑系统的施工。底模系统搭设施工主要考虑 5 t 浮吊船配合施工。

斜坡道轨道梁施工平台采用在横梁和墩台现浇时在轨道梁对应位置下面预埋钢埋件,在钢埋件上对接焊接 40a 工字钢作为主梁(间距 0.86 m),在主梁内侧每隔 1.5 m 用 22a 工字钢焊接作为连系梁,保证整体刚度;上面再横向铺设边长 10 cm 方木作为分配梁(每隔 2~3 m 采用 10#工字钢代替边长 10 cm 方木),间距 25 cm,整体构成底模施工平台(图 2);施工平台布置完毕后,人工采用切割机切割,铺设 15 mm 厚的竹胶板底模,用泡沫胶对竹胶板与结构之间的缝隙进行封堵,模板与模板之间粘贴止浆海绵。

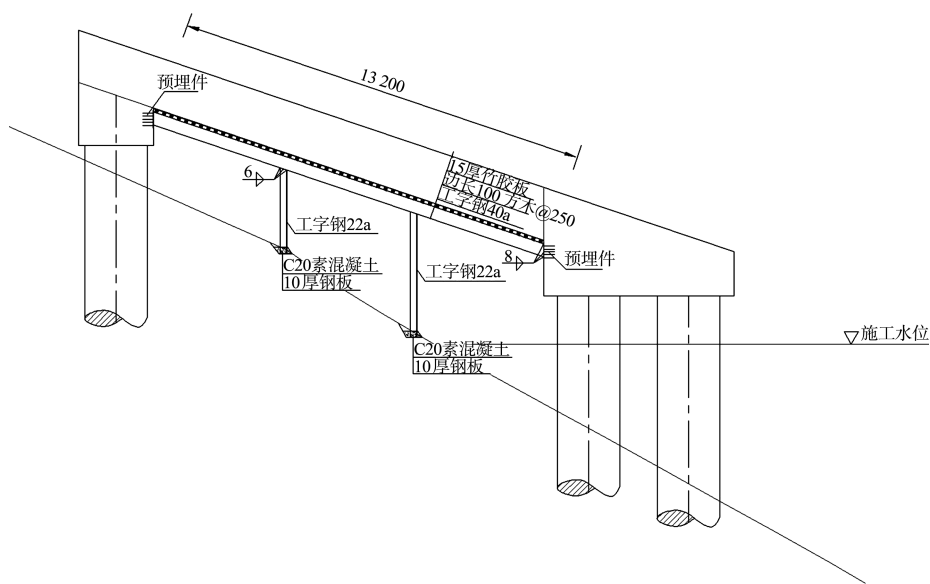


图 2 斜坡道轨道梁底模支撑体系 (单位: mm)

采用 10#工字钢制作成 h 形板凳，焊接在主梁型钢上；将已预制完成且达到设计强度后的连系梁安装在板凳上。由于 CD 段轨道梁净尺寸为 10.4 m，拟在主梁下 1/2 位置设置一个竖向支撑 (22a 工字钢)；DE 段轨道梁净长为 13.2 m，跨度较大，故拟在主梁下 1/3、2/3 位置各设置一个竖向支撑 (22a 工字钢)；上述竖向支撑均搁置在岩面上，并浇筑 C20 混凝土进行约束。

4 底模支撑体系计算

4.1 模板面板计算

面板为受弯结构，需要验算其抗弯强度和刚度。按单向板考虑，取 1 m 宽板带，模板面板按照简支梁计算。

4.1.1 抗弯强度计算

抗弯强度公式为：

$$f_1 = \frac{M}{W} = \frac{0.125ql^2}{W} < f \tag{1}$$

式中： $f_1$ 为面板的抗弯强度计算值(N/mm<sup>2</sup>)； $l$ 为跨度(m)； $M$ 为面板的最大弯矩(N·mm)； $W$ 为面板的净截面抵抗矩(cm<sup>3</sup>)； $f$ 为面板的抗弯强度设计值(N/mm<sup>2</sup>)，取 15 N/mm<sup>2</sup>； $q$ 为荷载设计值(kN/m)。经计算， $f_1=4.5\text{ N/mm}^2<f$ ，满足要求。

4.1.2 挠度计算

挠度公式为：

$$y = \frac{5ql^4}{384EI} < [y] = \frac{1}{400} \tag{2}$$

式中： $y$ 、 $[y]$ 分别为挠度及其限值； $l$ 为跨度(m)，取分配梁净距 0.15 m； $E$ 为面板弹性模量(MPa)； $I$ 为面板截面惯性矩(cm<sup>4</sup>)。经计算， $y=0.16\text{ mm}<[y]$ ，满足要求。

4.2 支撑方木计算

4.2.1 抗弯强度计算

方木按照简支梁计算，最大弯矩和最大剪力考虑活荷载在梁上最不利的布置。按式(1)计算， $f_1=6.8\text{ N/mm}^2\leq 13.0\text{ N/mm}^2$ ，满足要求。

4.2.2 抗剪计算

截面抗剪强度必须满足：

$$T_1 = \frac{3Q}{2bh} < T \tag{3}$$

式中： $T_1$ 为截面抗剪强度计算值(N/mm<sup>2</sup>)； $T$ 为截面抗剪强度设计值(N/mm<sup>2</sup>)，取 1.5 N/mm<sup>2</sup>； $Q$ 为方木的最大剪力(N)； $b$ 为方木宽度(mm)； $h$ 为方木高度(mm)。经计算， $T_1=0.68\text{ N/mm}^2\leq T$ ，满足要求。

4.2.3 方木挠度计算

按式(2)计算得  $y=0.95\text{ mm}<[y](=4\text{ mm})$ ，满足要求。

4.3 底模支撑系统计算

底模支撑系统采用 MIDAS CIVIL 软件建立整

体有限元模型；主梁、联系梁、中间支撑均使用梁单元模拟，模型见图 3。

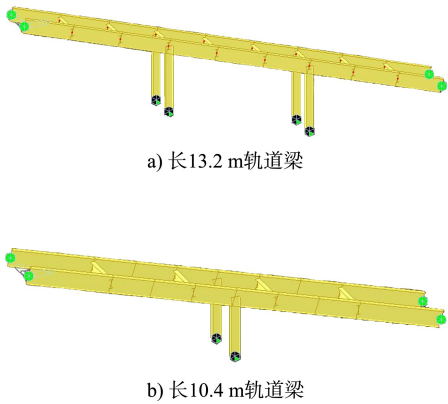


图 3 底模支撑系统模型

4.3.1 计算边界及荷载加载方式

1) 主梁在墩台及横梁钢埋件处固接；2) 主梁与联系梁、中间支撑按固接考虑，中间支撑与地基按铰接考虑；3) 混凝土自身重力、施工荷载均系集中荷载施加于主梁上，大小为荷载标准值乘以分配梁间距；4) 结构自身重力由软件自动计算；5) 荷载组合分项系数：自身重力 1.35，活载 1.40。6) 结构重要性系数为 0.9<sup>[4]</sup>。

4.3.2 计算结果

长 13.2 和 10.4 m 轨道梁底模支撑系统主要结构受力计算结果见表 1，长 13.2 m 轨道梁底模支撑系统综合应力和竖向变形见图 4，长 10.4 m 轨道梁底模支撑系统轴力见图 5。

表 1 长 13.2 和 10.4 m 轨道梁底模支撑系统主要结构受力计算结果

轨道梁长/m	构件名称	工字钢类型	综合应力/MPa	轴力/kN		剪力/kN	弯矩/(kN·m)		竖向变形/mm
				正向	负向		正向	负向	
13.2	主梁	40a	53.5	23.3	-23.3	69.2	27	-55.3	0.93
	竖向支撑	22a	31.4	145.9	-	-	-	-	-
10.4	主梁	40a	69.9	24.5	-24.5	76.4	39.2	-72.8	1.50
	竖向支撑	22a	42.8	180.1	-	-	-	-	-

注：主梁、竖向支撑的综合应力上限值均为 215 MPa；长 13.2、10.4 m 轨道梁主梁竖向变形的上限值分别为 13.2、10.4 mm。

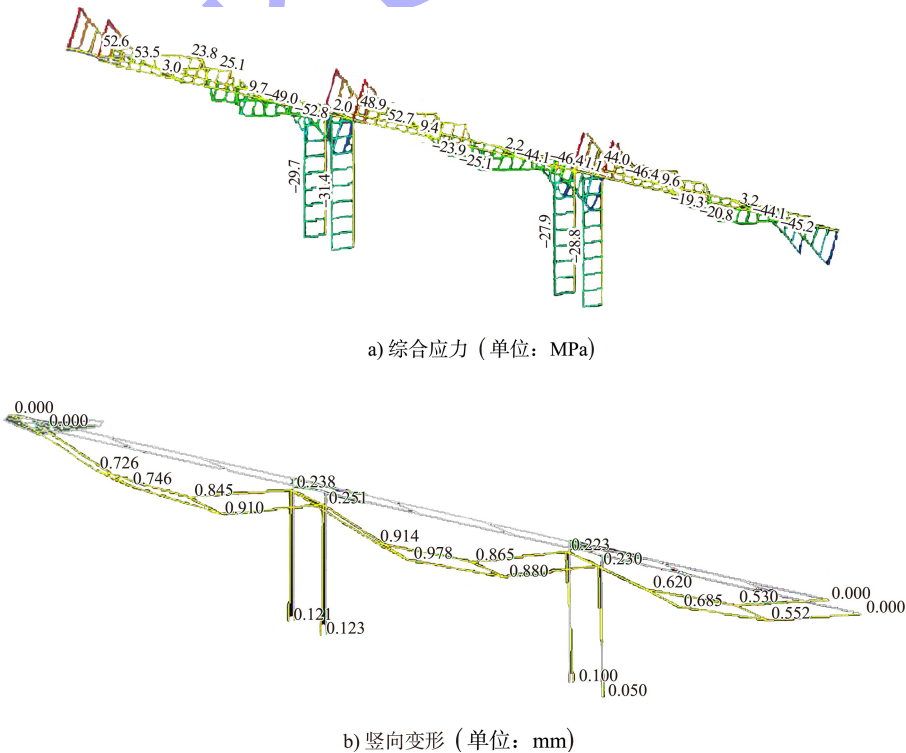


图 4 长 13.2 m 轨道梁底模支撑系统综合应力和竖向变形



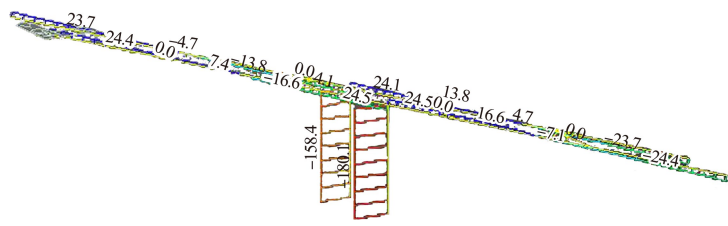


图 5 长 10.4 m 轨道梁底模支撑系统轴力 (单位: kN)

4.4 预埋件的设计

因已现浇的墩台(横梁)承受斜梁的水平推力,故只考虑主梁埋件受拉的情况。根据主梁 40a 工字钢高度和宽度,确定锚板边长为 500 mm,厚度取 20 mm。根据《水运工程混凝土结构设计规范》<sup>[5]</sup>,锚筋的总截面面积取式(4)(5)的较大值。

$$A_s = \frac{1.1V}{\alpha_r \alpha_b f_y} + \frac{N}{0.8 \alpha_b f_y} + \frac{M}{1.3 \alpha_r \alpha_b f_y z} \tag{4}$$

$$A_s = \frac{N}{0.8 \alpha_b f_y} + \frac{M}{0.4 \alpha_r \alpha_b f_y z} \tag{5}$$

式中:  $A_s$  为锚筋的总截面面积( $\text{mm}^2$ );  $V$  为剪力设计值(N);  $\alpha_r$  为锚筋层数的影响系数;  $\alpha_b$  为锚筋的受剪承载力系数;  $f_y$  为锚筋的抗拉强度设计值( $\text{N}/\text{mm}^2$ );  $N$  为法向拉力设计值(N);  $\alpha_b$  为锚板弯曲变形的折减系数;  $M$  为弯矩设计值( $\text{N} \cdot \text{mm}$ );  $z$  为沿剪力作用方向最外层锚筋中心线之间的距离(mm)。

根据表 1 的计算结果,端部单个预埋件  $\nu = 69.2 \text{ kN}$ 、 $N = 69.9 \text{ kN}$ 、 $M = 55.3 \text{ kN} \cdot \text{m}$ ,按照式(4)(5)计算,采用锚筋三级钢  $\phi 20 \text{ mm}$ ,锚筋层数为 4,每层 4 根,取锚筋长度  $l_a$  为 700 mm。

5 现浇方案的关键施工措施

1) 底模支撑体系搭设。铺设分配梁时,每隔 2~3 m 采取 10# 工字钢代替边长 10 cm 方木能较好解决底模支撑系统横向刚度的问题。

2) 钢筋绑扎。现浇墩台(横梁)时,先在相应位置预埋轨道梁钢筋;纵向受力钢筋的基本锚固长度应不小于  $35d$  ( $d$  为钢筋直径),伸出长度应确保相互错开;连续梁纵向受力钢筋与上述预埋钢筋采取焊接接头;位于同一连接区段内纵向受拉钢筋的焊接接头面积百分率不应大于 50%。

3) 混凝土浇筑及模板安装。由于受库区水位上涨压力,且轨道梁分层浇筑施工缝外观质量难以控制,最终采用一次性浇筑混凝土的方式。混凝土浇筑过程中采取斜向分段,自下而上推进式连续浇筑的原则<sup>[6]</sup>,即先浇筑斜梁较高处的上横梁,然后浇筑较低处,保证两端都被混凝土压载,然后再从低向高顺序浇筑;此时应放缓混凝土浇筑速度,同时利用轨道梁的预埋 M22 螺栓作为顶模板的固定措施,即采取随浇随盖的方式保证混凝土不会滑落。采用商品混凝土,罐车运输,采用地泵泵送浇筑;严格控制混凝土坍落度在 11~13 cm,不得过大;混凝土浇筑过程中应充分振捣密实,不可漏振或过振。

4) 养护。混凝土初凝后覆盖土工布养护,采用洒水养护,养护时间不少于 14 d。

5) 底模支撑体系拆除。底模支撑系统在混凝土强度达到设计强度的 100% (试块在同等条件下养护的强度为准) 后方可进行拆除;利用 10 t 手拉葫芦反吊主梁后进行气割拆除。

6 结语

1) 采取预制连系梁后再安装在轨道梁底模支撑系统上一起浇筑的方案(约 8 d) 对比采取先预制安装轨道梁(安装时间 0.5 d) 再浇筑连系梁(现浇时间 4 d) 的方案,工期上略有变长,整体现浇施工难度略有变大,但在缺乏大型船机配备的情况下,前者也不失为一个合理可行的方案。

2) 从拆模后外观质量来看,现浇大跨度连续斜梁挠度得到较好的控制;长 13.2、10.4 m 轨道梁挠度实测值分别约 1、2 mm,均与理论值较吻合。