

桥梁空心薄壁高墩翻模施工技术研究

陈锦文

中铁十一局集团第三工程有限公司, 湖北 十堰 442000

[摘要]在桥梁施工中滑膜技术相比,翻模施工具有显著的优势,在桥梁建设中的高墩施工技术含量较高,施工难度较大,在高墩翻模施工环节通常会发生各种安全事故,存在较多危险因素。翻模施工时相关的力学验算能较好地避免安全事故发生,文中就桥梁高墩施工技术作一介绍。

[关键词]模板方案;施工;研究

DOI: 10.33142/aem.v5i3.8185

中图分类号: U44

文献标识码: A

Research on the Construction Technology of Bridge Hollow Thin-walled High Pier Turnover Formwork

CHEN Jinwen

China Railway 11th Bureau Group Third Engineering Co., Ltd., Shiyan, Hubei, 442000, China

Abstract: Compared to the sliding membrane technology in bridge construction, the flip formwork construction has significant advantages. In bridge construction, the high pier construction technology content is relatively high, and the construction difficulty is relatively high. In the high pier flip formwork construction process, various safety accidents usually occur, and there are many risk factors. The relevant mechanical verification calculations during formwork turnover construction can effectively avoid safety accidents. This article introduces the construction technology of bridge high piers.

Keywords: template scheme; construction; research

1 工程背景

宜宾至毕节高速公路威信至镇雄段全长 47.2 公里,起于大湾镇,沿镇旁的山脉前行,止于镇雄县。由中铁十一局三公司实施的范围为 K45+800-K69+150、K82+000-K93+500,长 34.85 公里。实施范围内含桥梁(单幅)53 座/10070 延米,其中有薄壁空心墩 97 个,C40 砼方量 5.1 万余立方,合计墩身高度 4757 延米,平均墩身高度 49.04 米,最高墩身 78.08 米,最低墩身 35.81 米,对于桥梁空心薄壁高墩比较滑模、爬模、翻模相关施工工艺,通过技术、经济、安全比选最终采用钢管爬架翻模的工艺进行施工,工艺简单易行,且能充分利用通用的各种构件。

2 模板方案选定及施工原理

目前施工空心薄壁高墩主要采用的方案有翻模、滑模或爬模。虽然滑模和爬模施工速度较快,但存在施工机具投入大,且配套的相关设备较多,一般均需配备电梯等设备,且模板存在自身自重大和刚度低,混凝土外观质量差,在施工期间纠正偏差存在困难。一旦开始施工,在施工过程中不得中断,在雨季施工期间其质量难以保证,且需连续作业,管理起来难度很大。“提升翻模”施工虽然使用的支架量较大,但需要配套的相关设备较少,施工器具投入小,施工纠正偏差较易,模板自身重量轻,混凝土的外观质量容易得到保障,既可以连续施工也可以间断施工。

经比较,最终决定选用翻模施工空心薄壁高墩,既充分利用通用的各种构件,且工艺较简单易行。

空心薄壁高墩翻模设计由三节模板组成,一节段翻模高度为 2.25m,主要由外模板、围带、拉杆、操作平台等组成。模板采用大型钢模板,为提高模板的整体性以及方便模板安装,墩身分别用四块 2.25 高模板拼装而成,模板之间用 M12×30 螺栓连接。用[12-14 槽钢做围带,围带间距按设计确定,内外围带用Φ25 钢拉杆连成整体。墩身四角采用侧模板包正面模板连接方式,墩身模板加固为拉杆加固,拉杆为 M24 拉杆,拉杆用螺帽和垫片固定在两道槽钢中间,施工时用 PVC 管包裹,在拆卸模板时将其拔出以便再次利用。

墩柱翻模由三节模板组成,每节模板高度为 2.25 米,墩柱第一次浇筑砼高度 6.75 米,第二次浇筑 4.5 米,以后模板循环翻升,每次浇筑砼高度为 4.5 米。

施工时第一节段模板支立于承台顶上,第二节段模板支立于第一节段模板上,测量定位后一次性浇筑砼。砼达到拆模强度后拆除第一、第二节段模板同时,拆除第三节模版的最下层拉杆,此时荷载由已硬化的墩身混凝土传至墩底。待第一、第二节段模板作调整和打磨后后利用塔吊、手拉葫芦将其翻升至第四、第五层,依此循环向上形成拆模、翻升立模、模板组拼、钢筋焊接绑扎、接长泵送管道、灌注混凝土、养生和测量定位、标高测量的不间断作业,

直至达到设计高度。

钢筋绑扎完毕经检查合格后可以开始立模。立模前，先清除接茬处杂物，若承台表面不平整。在承台顶面外膜的位置铺一层 2cm 左右的 1: 2 的找平砂浆，模板与找平砂浆之间安放 10cm 宽、5mm 厚的海绵条防止漏浆。模板内侧应光滑平整不变形，并涂刷好脱模剂。模板加固采用对拉拉杆，拉杆用 PVC 管套进行保护，砼拆模后将拉杆抽出，残留的孔洞用硬化后与砼颜色一致的砂浆进行填塞封闭，并及时用湿抹布擦去孔洞周围残留的砂浆。

各墩柱第一节段模板安装前，应检查结构尺寸，对已浇筑段做好竣工验收。按照测量部门测放的墩柱底口边线，先用砂浆将墩柱底口四周垫层顶面抹平，使模板底面处于同一水平线上。模板拼装前要求对表面污渍全部清理干净，并进行试拼，确保模板的几何尺寸符合图纸设计要求。钢模板投入使用前，应对其表面打磨刨光，清洁后涂刷至少两遍以上的聚氨酯涂液。模板与模板之间的接缝，贴上双面胶，防止接缝处漏浆，确保外观质量。模板安装的接缝不应漏浆；在浇筑混凝土前，木模板应浇水湿润，但模板内不应有积水。模板与模板之间的连接，采用螺栓连接。砼侧压力由对拉拉杆承受，在墩柱标准浇筑高度范围内，共设置上下 6 层，第一层距承台顶面 0.35m，第二层间距 0.8m；横向步距按 0.6 至 1.2m 考虑。对拉拉杆采用 $\Phi 25$ 圆钢，两端车丝。对拉杆外穿 $\Phi 32$ PVC 管，管长与该处墩柱壁厚一致，两端顶紧，防止漏浆。模板面板与旧有混凝土之间的接合处，采用单面胶带贴于模板上，与混凝土面顶紧防止漏浆。不宜采用双面胶，以免胶水对混凝土表面污染并形成环状痕迹。模板安装前，模板表面刷上 1mm 厚的聚氨酯涂液，便于后期拆除模板后，墩柱混凝土表面平整光滑。

3 空心薄壁墩模板设计

考虑到采用翻模施工工艺，模板的周转次数比较多，外模板的刚度和磨损都要考虑，所以我们选择外模板采用 8mm 钢板，模板后肋采用 100mm 高度 (L100*10 角钢、[10#槽钢以及 100*12 扁钢)，背肋采用双拼 [20a#槽钢。

为了保证模板的刚度需要，内外模之间采用 M20 对拉杆加固，外模背肋之间采用 M30 拉杆锁角。内模加装双拼 [6.3#槽钢背带，背带长边方向安装有用 [10#槽钢制成的支撑杆防止内模向内变形。

为了方便内模装拆，墩身顶部内模设置了两个人孔，方便最后一次内模施工完成后模板的拆除和运出墩身。

模板刚度校核

A、外模 P6400mm×2250mm 面板的校核：(矩形板弯曲计算)

建立模型：一个单元格平板 (竖肋之间最大间距 400 毫米，模板横肋间距 2250 毫米)

面板周界固定，整个板面受均布载荷 F_q (为安全起见， F_q 将最大侧压力即最底部侧压力假想当作均布载荷

来计算)，

$$F_q = H \cdot \rho \cdot g = 2.25m \times (1.8 \sim 2.45) \times 1000kg/m^3 \cdot 9.8N/kg$$

$$= 39690 \sim 54022.5N/m^2 \approx 50000N/m^2$$

H 为模板高度； ρ 为混凝土密度，为了便于简化计算，中间 ρ 取偏大值

$$\text{中心挠度: } f = C3 \cdot F_q \cdot b^2 \cdot b^2 / E \cdot h^3$$

$$a = 2.25m, b = 0.4m, h = 0.008m \text{ (钢板厚度)}, E = 200GPa$$

查矩形平板系数表， $C3 = 0.0284$ ($a/b = 5.625 > 5$)

$$\text{代入所有数据得到: } f = 0.000355m = 0.355mm$$

我们计算的侧压力是最底部的，而计算的中心挠度受力要小得多。弧形外模的受力状况要比平面外模要好，略去校核过程。

结论：面板满足刚度要求，内肋间距选择合适。

B、内肋的校核：(槽钢弯曲度计算)

建立模型：单根 10#槽钢 (槽钢间距最大 400mm)

槽钢长度方向被三道外加支护 (双拼 [20a#槽钢背肋) 简支。适用下列挠度计算公式：

$$f_{\max} = 5 \cdot F_q \cdot l^2 \cdot l^2 / (384 \cdot E \cdot I)$$

$$F_q = H \cdot \rho \cdot b \approx 50000N/m^2 \times 0.4m = 20000N/m^2$$

$$b = 0.4m \text{ ([10#槽钢最大间距)}$$

$$l = 0.75m \text{ [l 为简支长度 (背肋间距)]}$$

$$E = 200GPa \text{ (材料的弹性模量)}$$

$$I = 198 (cm^2)^2 = 0.0000198 (m^2)^2 \text{ (10#槽钢的惯性矩)}$$

代入计算得到 $f_{\max} = 0.000208m = 0.208mm$ (我们计算的侧压力是最底部的，而计算的中心挠度受力要小得多。)

结论：内肋满足刚度要求，内肋间距选择合适，背肋间距满足要求。

C、背肋的校核：(双拼 [20a#槽钢弯曲度计算)

建立模型：双拼 [20a#槽钢 (背肋间距 750 毫米)，最下面一道背肋受力最大。适用下列挠度计算公式：

$$f_{\max} = 5 \cdot F_q \cdot l^2 \cdot l^2 / (384 \cdot E \cdot I)$$

$$F_q = H \cdot \rho \cdot b \approx 50000N/m^2 \times 0.75m = 37500N/m$$

$$b = 0.75m \text{ (背肋间距)}$$

$$l = 6.4m \text{ [l 为简支长度，取面板宽度]}$$

$$E = 200GPa \text{ (材料的弹性模量)}$$

$$I = 2 \cdot 1780 (cm^2)^2 = 0.000356 (m^2)^2 \text{ (双拼背肋的惯性矩)}$$

代入计算得到 $f_{\max} = 0.0115m = 11.5mm$ (我们计算的侧压力是最底部的，而计算的中心挠度受力要小得多。)

结论：最大挠度过大，背肋刚度不能满足要求，需要采取其他措施加固。

因此，在内外模之间装对拉杆是非常有必要的

D、对拉杆的强度校核：

查阅国家标准 GB/T3098.1-2000 得到单根 M20 (4.8 级) 粗牙螺纹的保证载荷 76000N。

每道背肋所承受的载荷 $F=F_q \cdot L=37500 \times 6.4=240000N$

每道背肋上装有 6 根对拉杆，可以承受载荷：

$$FL = 6 \times 76000 \text{ N} = 456000 \text{ N} > F = 240000 \text{ N}$$

结论:对拉杆强度可以满足施工要求。加装对拉杆后,背肋也可以满足施工要求。

4 空心薄壁墩翻模施工受力计算

空心薄壁墩模板所用之拉杆全部为 $\Phi 25\text{mm}$ 精轧螺纹钢，拉杆配置见下图：

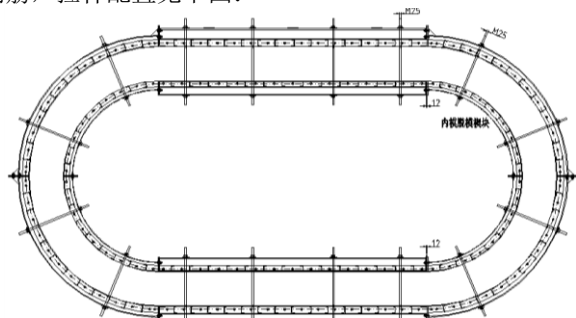


图 1 墩身拼装截面图 (1)

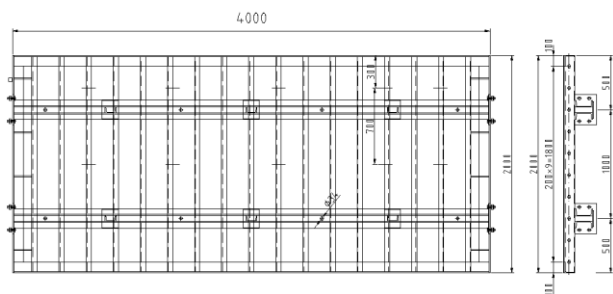


图2 墩身拼装截面图(2)

采用翻模施工，留一翻二。即前一次浇筑完毕留下最上面的一节模板不动，拆除下面的两节模板，放置到这不动的一节模板上面重新拼装、浇筑，依此循环上翻直到浇筑到需要的高度为止。

施工过程中新浇筑的混凝土及模板重力都由已经浇筑好的混凝土承担,最下面一节模板仅仅承受上面两节模板的重力,浇筑上面二节混凝土之前,三节模板重力都通过最下面一节模板的拉杆以及最下面一节模板和已浇筑混凝土之间的摩擦力卸荷已浇筑混凝土。

从模板设计图纸可以看出，每节模板（含附件）的重量不大于 11.25 吨，三节模板重量合计 33.75 吨，考虑到施工荷载（加上操作人员的重量以及其他因素），我们将拉杆承受的重力按照 35 吨计算。

由此得出翻模施工验算的重点是拉杆的受力情形,讨论拉杆所受的剪切力是否在它的承受范围之内。

剪切力 $F_q = 35 \times 1000 \times 9.8 = 343000 \text{ N}$

单根拉杆的最小横截面积 $A = (.025 \div 2)^2 \times \pi$
 $= 0.00049 \text{ m}^2$

单节模板配置的拉杆总数为 $n=(6+2) \times 2 \times 3=48$ 根
 拉杆所受的剪切应力 $\tau_q=F_q \div (n \times A)=1459000 N / M$
 $^2=14.59 MPa$

$$[\delta_s] = 980 \text{ MPa} / 2 = 490 \text{ MPa}$$

$$[\tau_q] = (0.6 \sim 0.8) \times [\delta_s] = 294 \text{ MPa} \text{ (取较小值)}$$

$$[\tau_q] = 294 \text{ MPa} > \tau_q = 14.59 \text{ MPa}$$

拉杆受力状况可以满足施工要求,本标段翻模施工方案是稳妥可行的。

5 操作平台施工验算

支架平台按 120cm 宽设计, 主杆采用 L63×63×6 角钢, 长 1200mm, 斜撑采用 L63×63×6 角钢, 长 1650mm。支架通过 M14 螺栓与外模水平背肋槽钢上的连接板相连。沿长向等间距布置 7 个支架, 间距为 1m; 沿短向等间距布置 4 个支架, 间距为 0.6m。并在支架上满铺脚手板采用松木, 厚 5cm, 宽 35~45cm。根据规范要求脚手板下用安全网双层兜底, 竖向栏杆四周采用兜底网封闭。

5.1 荷载与计算简图（取长向两个支架作为计算单元）

(1) 操作人员荷载 q_1 每人按 750N 计, 则:

$$q_1 = \frac{4 \times 750}{1.2 \times 1.0} = 2500 \text{ N/m}^2 \quad (1)$$

(2)工具荷载 q_2 , 每一操作人员机具重按 500N 计, 则:

$$q_2 = \frac{4 \times 500}{1.2 \times 1.0} = 1667 \text{ N/m}^2 \quad (2)$$

(3) 支架自重为: $34.8 \times 2 \times 10 = 696N$, 脚手板自重: $0.35KN/m^2 \times 1.2 \times 1 = 420N$, 则:

$$q_3 = \frac{696 + 420}{1.2 \times 1.0} = 930 \text{ N/m}^2 \quad (3)$$

(4) 总荷载为:

$$Q = q_1 + q_2 + q_3 = 2500 \text{ N/m}^2 + 1667 \text{ N/m}^2 + 930 \text{ N/m}^2 = 5097 \text{ N/m}^2$$

作用在一个支架上的线荷载为：

$$Q = 5097 \text{ N/m}^2 \times 1\text{m} = 5.1 \text{ KN/m}$$

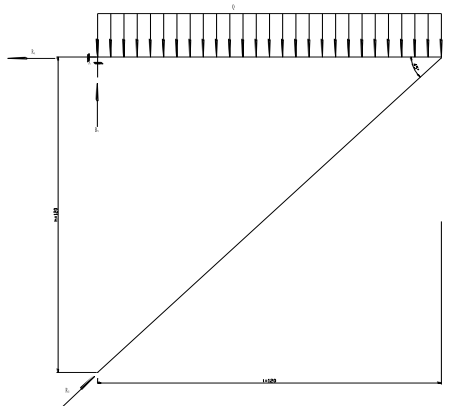


图 3 受力计算简图

AC 杆受拉弯作用, CB 杆受压。

$$R_{AV} = \frac{1}{2} \cdot Ql = \frac{1}{2} \times 5.1 \times 1.2 = 3.06 \text{ KN} \quad (4)$$

$$R_B = \frac{\sqrt{l^2 + h^2}}{2 \times h} \times Ql = \frac{\sqrt{1.2^2 + 1.2^2}}{2 \times 1.2} \times 5.1 \times 1.2 = 4.33 \text{KN} \quad (5)$$

$$R_{AH} = \frac{1}{2} \cdot Ql \cdot \cot \theta = \frac{1}{2h} \cdot Ql = \frac{1}{2 \times 1.2} \times 5.1 \times 1.2 = 2.55 \text{KN} \quad (6)$$

AC 杆跨中最大弯矩:

$$M_{\max} = \frac{1}{8} Ql^2 = \frac{1}{8} \times 5.1 \times 1.2^2 = 0.918 \text{KN} \cdot \text{m} \quad (7)$$

5.2 截面强度验算

(1) 水平杆强度验算

$$\sigma = \frac{R_{AH}}{A} + \frac{M}{\gamma_s W} = \frac{8650}{729} + \frac{918000}{1.05 \times 6000} = 157.6 \text{N/mm}^2 < f = 205 \text{N/mm}^2$$

水平杆强度满足要求。

(2) 斜杆强度验算

$$l_0 = 1.65m, \quad \lambda = \frac{l}{i_{\min}} = \frac{1650}{19.3} = 85.5$$

查表得 $\varphi = 0.747$ (线性内插),

$$\sigma = \frac{R_B}{\varphi A} = \frac{4330}{0.747 \times 729} = 7.95 \text{N/mm}^2 < f = 205 \text{N/mm}^2 \text{ 斜杆强度满足要求。}$$

5.3 螺栓抗剪强度验算

单个螺栓抗剪承载力设计值:

$$N_t^b = \frac{\pi d_s^2}{4} f_c^b = \frac{3.14 \times 14^2}{4} \times 400 = 61.54 \text{KN} \text{ 每个支架有 4 个螺栓:}$$

$$N = 4N_t^b = 4 \times 61.56 = 246.24 \text{KN} > 5.01 \text{KN} \times 1.2 = 6.01 \text{KN} \text{ 螺栓抗剪强度满足要求。}$$

6 结束语

刘冲特大桥桥梁空心薄壁高墩翻模设计,在施工运行中稳定、牢固而安全的事实说明,该方案确实可行,刘冲特大桥桥梁空心薄壁高墩工程能如期完成,桥梁空心薄壁高墩翻模的施工方案的起到关键作用。其技术难度并不复杂,在施工设计时满足翻模的对拉杆强度计算、弯矩的计算、水平杆计算、斜杆强度计算、螺栓抗剪计算,操作平台荷载,且作业人员具有专业技术知识和模板搭拆的操作技能即可施工,该桥梁空心薄壁高墩翻模方案在类似工程中具有借鉴作用。

[参考文献]

- [1] 查晓雄. 钢结构设计规范:GB 50017-2003[M]. 北京:中国工业出版社,2003.
 - [2] 中华人民共和国行业标准. 建筑工程大模板技术规程:JGJ 74—2003[S]. 北京:中华人民共和国建设部,2003:1-2.
 - [3] 中华人民共和国行业标准. 组合钢模板技术规范(GB50214-2001[S]. 北京:中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局,2001:2-3.
 - [4] 液压爬升模板. 工程技术规程:JGJ 195-2010[S]. 北京:中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局,2010:2-3.
- 作者简介:陈锦文(1985.8-),毕业院校:长江大学,所学专业:工程管理,当前就职单位:中铁十一局集团第三工程有限公司,职务:经济管理部部长,职称级别:工程师。