

浅谈渡槽槽身施工支架结构的设计及验算

沈敏, 裴茂才

(中国水利水电第十工程局有限公司, 四川 都江堰 611830)

摘要: 在渡槽槽身施工中, 传统的做法为搭设满堂红脚手架。而渡槽沿线通常跨越水田、荷塘等, 其地基覆盖层厚且软, 若搭设满堂红脚手架地基处理工程量大, 施工成本高。以都江堰灌区毗河供水一期工程第三施工分部渡槽施工为例, 对渡槽槽身钢管贝雷梁组合施工支架结构的设计及验算进行了阐述。

关键词: 渡槽施工; 贝雷梁支架; 结构验算; 毗河供水一期工程

中图分类号: TV6; TV672; TV672.3

文献标识码: B

文章编号: 1001-2184(2016)增2-0088-05

1 工程概况

四川省都江堰灌区毗河一期供水工程总干渠第二流量段渡槽为跨径 16 m 的排架式 U 型渡

槽, 槽身半径为 250 cm, 壁厚 25 cm, 宽 660 cm, 为 C30 钢筋混凝土结构(图 1)。

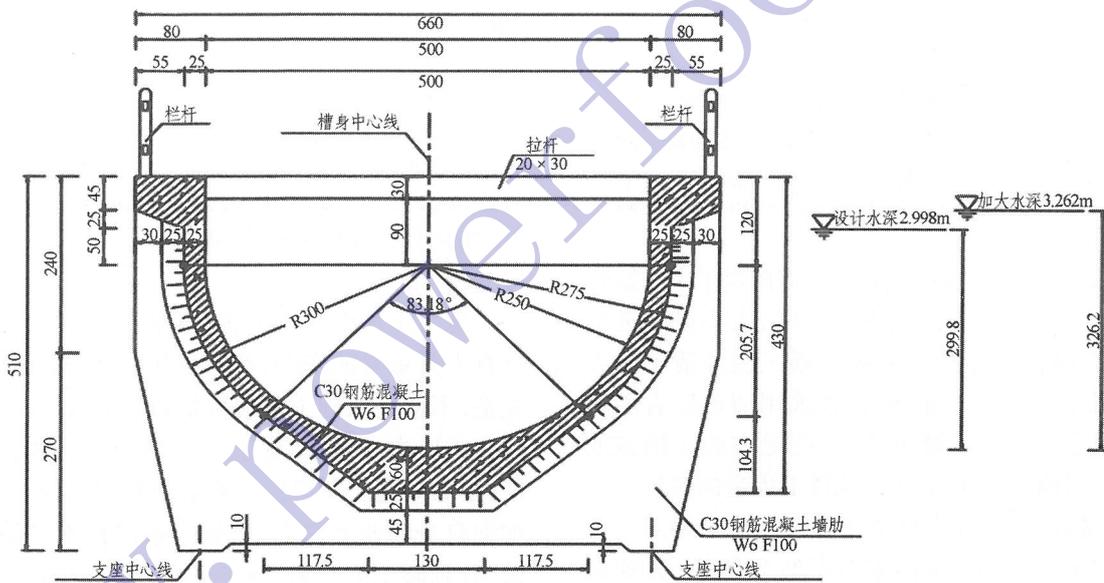


图1 狮子坝渡槽横截面示意图(单位:cm)

1.1 主要计算依据

- (1)《四川省都江堰灌区毗河一期供水工程总干渠第二流量段渡槽槽身结构图》;
- (2)《路桥施工计算手册》第二版;
- (3)《公路施工手册·桥涵》;
- (4)《钢结构设计规范》(GB 50017-2003);
- (5)《公路桥涵施工技术规范》(JTJ041-2011);
- (6)《公路桥涵钢结构及木结构设计规范》

(JTJ025-2006)。

1.2 主要结构的设计

渡槽槽身采用钢管柱贝雷梁组合支架施工。钢管柱采用 $\phi 530 \times 10$ mm 钢管, 竖向采用法兰盘连接, 水平方向与墩柱连接且设置横撑; 在钢管柱顶端安装卸荷砂桶, 在卸荷砂桶上安装双拼 50C 工字钢, 长度为 9 m, 在安装 2I50C 时必须设置险位卡, 防止 2I50C 侧移或倾覆。在 2I50C 的支点部位增加加劲肋, 以防止其局部应力过大; 在 2I50C 工字钢横梁上安装 13 片贝雷梁, 最后在贝

收稿日期: 2016-07-26

雷梁上横向布设 I16 工字钢分配梁,长 9 m,间距为 60 cm,I16 工字钢用 U 型卡在贝雷梁上固定

(图 2)。

该支架体系在施工过程中必须对称加载,确

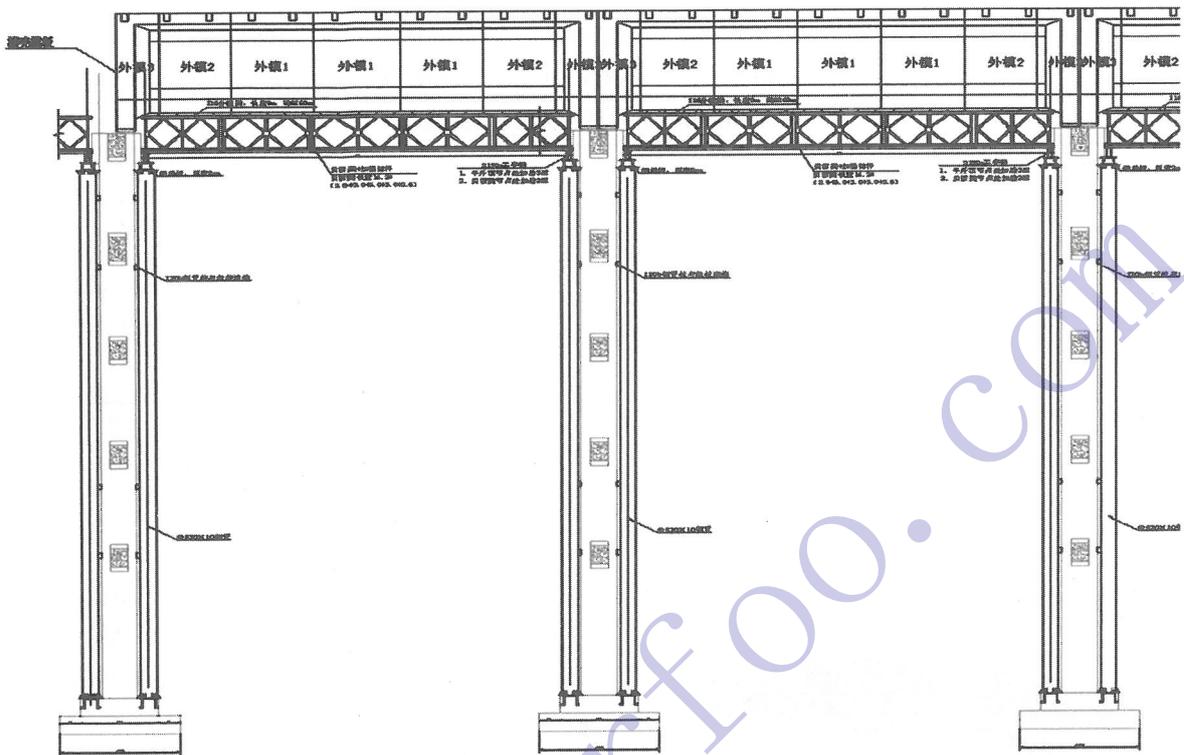


图 2 施工支架示意图(单位:cm)

保其结构稳定;在混凝土浇筑前,必须按照桥梁施工的相关规范对支架体系进行预压。

1.3 荷载及计算参数

1.3.1 现浇支架的设计荷载及组合

根据《路桥施工计算手册》及《桥梁支架安全施工手册》,支架上的荷载主要包含永久荷载和可变荷载。永久荷载包括钢筋混凝土重量、模板重量及支架自重;可变荷载包括施工荷载和风荷载。荷载取值如下:

- (1) 钢筋混凝土渡槽重量:2 000 kN;
- (2) 模板重量:600 kN(估算);
- (3) 支架体系自重:480 kN;
- (4) 施工人员及设备荷载产生的标准值:1 kN/m²;
- (5) 振捣混凝土时产生的荷载标准值:2 kN/m²;
- (6) 风荷载:风荷载标准值按规范要求计算,

基本风压为 0.35 kN/m²,模板风荷载体型系数为 1。

在计算结构的强度、稳定性时,永久荷载分项系数取 1.2,可变荷载分项系数取 1.4。

1.3.2 贝雷梁参数

该支架采用国产 321 型贝雷梁,材料为 16Mn 钢,材料的容许应力按基本应力提高 30%,设计时采用的容许应力为:

16Mn 钢拉应力、压应力为 $1.3 \times 210 = 273$ (MPa);

16Mn 钢剪应力为 $1.3 \times 160 = 208$ (MPa)。

321 型贝雷梁材料屈服强度及允许应力见表 1;321 型贝雷梁的相关技术指标见表 2。

1.3.3 型钢参数

该支架型钢所用的钢材为 A3,其容许应力见表 3。

表 1 材料屈服强度及允许应力表

部件	材料	$[\sigma_s]$	$[\sigma]$	$[\tau]$
构件	16Mn 钢	350	273	208
销子	30CrMnTi	1 300	1 105	585

表 2 国产 321 贝雷梁相关技术参数表

类型	容许弯矩 /kN·m	容许剪力 /kN	高×长 /cm	抗弯刚度 /N·m ⁻¹	抗弯惯性矩 /cm ⁴	备注
单片单层	788.2	245.2	150×300	3 578.5	250 497.2	16Mn 钢
单片双层	1 576.4	490.5	300×300	7408.95	1 074 294.4	16Mn 钢

表 3 A3 钢材的容许应力及相关参数表

材 种	属 性	符 号	规 范 规 定
A3 钢材	轴向容许应力	[σ]	140 MPa
	容许弯曲应力	[σ _w]	145 MPa
	容许剪应力	[τ]	85 MPa
	弹性模量	E	2.1×10 ⁵ MPa
	剪切模量	G	0.81×10 ⁵ MPa
	泊松比	μ	0.3
	密度	ρ	ρ = 7 800 kg/m ³

2 贝雷梁支架结构受力计算

2.1 有限元模型

2.1.1 有限元模型

该支架采用有限元软件 Midas civil 进行计算,整个支架约 3 043 个单元,有限元模型见图 3。

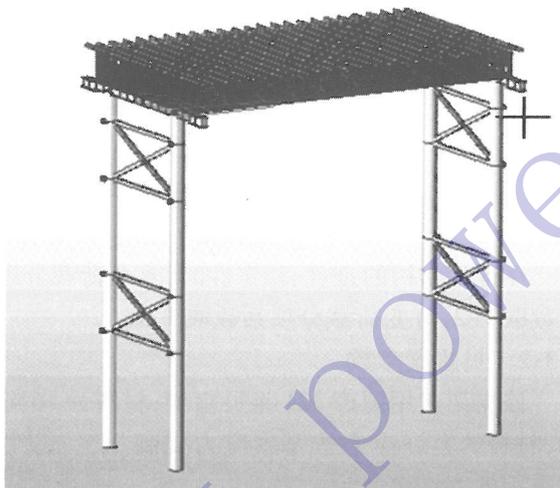


图 3 支架有限元模型图

2.1.2 荷载计算

按规范规定,验算支架强度、稳定性时采用 (①+②+③)×1.2+(④+⑤+⑥)×1.4 荷载组合。其中:

- ①钢筋混凝土渡槽重量:2 000 kN;
- ②模板重量:600 kN(估算);
- ③支架自重:480 kN;
- ④施工人员及设备荷载产生的标准值:1 kN/m²;
- ⑤振捣混凝土时产生的荷载标准值:2 kN/m²;

⑥风荷载:风荷载标准值按规范要求计算,基本风压为 0.25 kN/m²,模板风荷载体型系数为 1。

2.2 分配梁 I16 的计算

2.2.1 分配梁 I16 计算模型

在贝雷片上横向布设 I16,纵向间距为 60 cm,I16 用 U 型卡在贝雷梁上固定。横断面上的贝雷片为 13 片,上部荷载为定型钢模传递下来的均布荷载。

2.2.2 分配梁 I16 组合应力计算

用 Midas 软件对 I16 组合应力进行模拟计算,横向分配梁 I16 最大组合应力值:92.3 MPa < [σ] = 140 MPa,满足要求。

2.2.3 剪应力

用 Midas 软件对 I16 剪应力进行模拟计算,横向分配梁 I16 最大剪应力值:19.7 MPa < [τ] = 85 MPa,满足要求。

2.2.4 最大位移

用 Midas 软件对 I16 最大位移进行模拟计算,横向分配梁 I16 最大位移为 2.03 mm < 最大允许挠度 [v] = 9 000/400 = 22.5 (mm),满足要求。

2.3 贝雷梁计算

全桥横向布设 13 片贝雷梁,上部荷载为 I16 传递下来的均布荷载。为计算方便,贝雷梁的最大计算跨度为 14.2 m。按照简支梁计算,采用 Midas 模型对该跨贝雷梁进行整体和局部受力分析。

2.3.1 整体模型

用 Midas 软件对贝雷梁受力进行模拟计算,贝雷梁荷载分布情况见图 4。

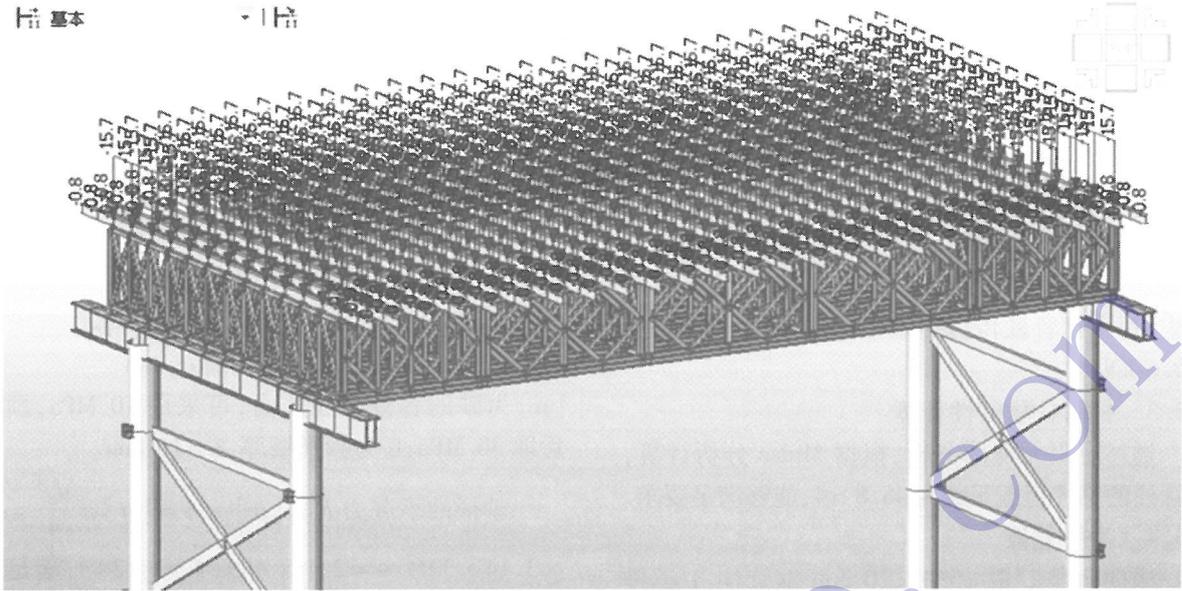


图 4 贝雷梁荷载分布图(单位:kN/m)

2.3.2 贝雷梁弦杆应力计算

通过 Midas 整体建模分析,根据有限元计算,贝雷梁上下弦杆的最大组合应力为 135.8 MPa < $[\sigma] = 273$ MPa,满足要求。贝雷片弦杆的剪应力为 43.3 MPa < $[\tau] = 208$ MPa,满足要求。

2.3.3 贝雷梁腹杆(斜撑)应力计算

通过 Midas 整体建模分析,根据有限元计算,贝雷梁腹杆的最大组合应力为 201.48 MPa < $[\sigma] = 273$ MPa,满足要求。根据有限元计算,贝雷片腹杆的最大剪应力为 8.04 MPa < $[\sigma] = 273$ MPa,满足要求。

2.3.4 贝雷梁支撑架应力计算

通过 Midas 整体建模分析,根据有限元计算,贝雷梁支撑架杆的最大组合应力为 186.7 MPa < $[\sigma] = 273$ MPa,满足要求。贝雷片支撑架的最大剪应力为 3 MPa < $[\sigma] = 273$ MPa,满足要求。

2.3.5 贝雷梁最大位移

通过 Midas 整体建模分析,根据有限元计算,贝雷梁的最大位移为 20.9 mm < 最大允许挠度 $[v] = 14\ 200/400 = 35.5$ (mm),满足要求。

2.3.6 采用手工计算进行复核

取单层单片贝雷梁的允许弯矩 $[M] = 788.2$ kN·m,允许剪力 $[Q] = 245.2$ kN,则 13 片贝雷片的允许弯矩 $[M] = 10\ 246.6$ kN·m,允许剪力 $[Q] = 3\ 187.6$ kN, q 为贝雷梁上的均布荷载,为 240 kN·m。

$$M = \frac{ql^2}{8} = \frac{240 \times 14.2^2}{8} = 6\ 049.5 \text{ kN} \cdot \text{m} <$$

$$[M] = 10\ 246.6 (\text{kN} \cdot \text{m});$$

$$Q = \frac{ql}{2} = \frac{240 \times 14.2}{2} = 1\ 704 (\text{kN}) < [Q]$$

$$= 3\ 187.6 (\text{kN});$$

$$f_{\max} = \frac{5ql^4}{384EI} = \frac{5 \times 240 \times 14\ 200^4}{384 \times 2.1 \times 10^5 \times 250\ 497 \times 13} = 18.6 (\text{mm}) < [f] = L/400 = 35.5 (\text{mm})。$$

2.4 横梁 2I50C 受力计算

2.4.1 横梁 2I50C 计算模型

在 $\varphi 530 \times 10$ mm 钢管柱上横向布设 2I50C, 2I50C 上部布设 13 片贝雷片。

2.4.2 分配梁 2I50C 组合应力计算

通过 Midas 整体建模分析,分配梁 2I50C 组合应力最大值:73.4 MPa < $[\sigma] = 140$ MPa,满足要求。

2.4.3 剪应力

通过 Midas 整体建模分析,分配梁 2I50C 剪应力最大值:38.7 MPa < $[\tau] = 85$ MPa,满足要求。

2.4.4 最大位移

通过 Midas 整体建模分析,横梁 2I50C 最大位移为:2.82 mm < 最大允许挠度 $[v] = 5\ 100/400 = 12.7$ mm,满足要求。

2.5 $\varphi 530 \times 10$ mm 钢管受力计算

钢管柱采用 $\phi 530 \times 10$ mm 钢管, 竖向采用法兰盘连接, 在浇筑混凝土过程中, 单根钢管竖向轴力最大为 435.8 kN。

2.5.1 组合应力

通过 Midas 整体建模分析, 最大应力值: $90.1 \text{ MPa} < [\sigma] = 170 \text{ MPa}$, 满足要求。

2.5.2 支点反力计算

通过 Midas 整体建模分析, 在浇筑混凝土过程中, 每个钢管柱传递给基础的最大支座反力为 830.6 kN。

2.5.3 钢管柱稳定性计算

通过有限元弯曲分析, 根据 Midas 分析计算, 钢管柱的临界荷载系数为 $48.8 > 4$, 能够满足要求。

2.5.4 手算复核

横向每排 2 根 $\phi 530 \times 10$ mm 钢管柱, 1 类排架最长的钢管柱为 18 m, 计算支座反力为 1 000 kN。

$$(1) \text{ 强度计算: } \sigma = \frac{N}{A} = \frac{1\,000\,000}{16\,642} = 60.09$$

(MPa) $< [\sigma] = 140$ (MPa);

(2) 刚度计算:

$$\begin{aligned} \text{细长比 } \lambda &= \frac{l_0}{r} = \frac{18.5}{0.35 \times \frac{(D+d)}{2}} \\ &= \frac{18.5}{0.35 \times \frac{(0.53+0.51)}{2}} \\ &= 101.65 < [\lambda] = 150; \end{aligned}$$

(3) 立柱临界力验算:

此类钢管为 B 类轴心受压构件, A3 钢, 查表知: $\varphi = 0.542$, $A = 16\,642 \text{ mm}^2$, $[\sigma] = 140 \text{ MPa}$ 。

$$\sigma = \frac{[N]}{A\varphi} = \frac{[1\,000\,000]}{16\,642 \times 0.542} = 110.87 \text{ MPa} <$$

$[\sigma] = 140$ (MPa), 钢管柱的稳定承载力满足稳定要求。

2.6 卸荷砂桶计算

该支架采用砂桶卸荷, 每个砂桶承担的荷载为 120 t, 砂桶参数见图 5。

2.6.1 砂筒承载力计算

d_0 为砂桶的顶心直径, $d_0 = 325 \text{ mm}$; d_1 为砂桶的直径, $d_1 = 347 \text{ mm}$; d_2 为放砂孔径, $d_2 = 30 \text{ mm}$; h_0 为顶心放入砂桶深度, $h_0 = 75 \text{ mm}$ (一般取值为 70 ~ 100 mm); H 为降落高度, $H = 80 \text{ mm}$;

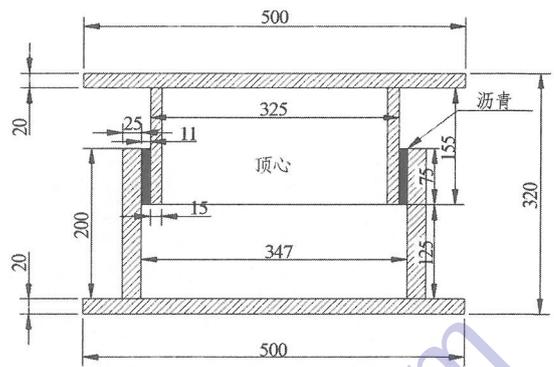


图 5 砂桶立面图(单位:mm)

$[\sigma]$ 为砂的容许承压应力, 可采用 10 MPa, 预压后取 30 MPa; δ 为砂桶壁厚, $\delta = 15 \text{ mm}$ 。

砂桶的承载力 $P = [\sigma] \times A = [\sigma] \pi \frac{d_0^2}{4} = 30 \times 3.14 \times 325^2 / 4 = 2\,487\,469 \text{ (N)} > 120 \text{ t}$, 满足施工要求。

2.6.2 桶壁应力计算

桶壁应力:

$$\begin{aligned} \sigma &= \frac{T}{(H+h_0-d_2)\delta} = \frac{4P}{\pi d_0^2 d_1 H_1} \\ &= \frac{4 \times 1\,200\,000}{\pi \times 325^2} \times 347 \times 125 \\ &= \frac{150\,000}{(125+75-30) \times 25} \\ &= 147\,140 \times 1.3 = 182 \text{ (MPa)}, \end{aligned}$$

满足规范要求。

式中 P 为砂桶承担的荷载, 为 $120 \times 10 \times 1\,000 = 1\,200\,000 \text{ (kN)}$; H_1 为砂桶中砂的高度, 为 125 mm; δ 为砂桶壁厚, 为 25 mm。

2.7 预拱度计算

根据有限元计算结果, 综合考虑施工荷载预拱度(支架的弹性变形及非弹性变形)、运行荷载预拱度(脱架后渡槽产生的弹性挠度)及后期混凝土的收缩徐变, 为了获得理想的成桥线形, 建议将跨中预拱度设置为 30 mm, 采用二次抛物线分配。

3 结论与建议

根据有限元模型分析计算可知, 采用该支架体系(I16、贝雷梁、2I50C、 $\phi 530 \times 10 \text{ mm}$), 钢管柱受力均能满足施工要求。但在施工过程中必须注意以下几点:

(1) 在 $\phi 530 \times 10 \text{ mm}$ 钢管柱安装过程中, 一定要控制好钢管柱的垂直度, 确保钢管柱轴心受

(下转第 95 页)

同。若支座安装错误,将对渡槽的伸缩构成严重影响。一般采用现场目测的方法观察支座是否安装错误。

(2)整改和预防:若槽体未施工时发现支座安装错误,则需要拆除支座重新进行安装。若在槽体混凝土施工完成后才发现支座安装错误,则需要研究支座是否可更换。若支座为可更换支座,则需要将支座更换;若不能更换,目前尚未有其他办法进行整改。为避免该问题的发生,在支座安装过程中,需要严格监督验收,确保支座安装方向正确。

2.10 槽身混凝土渗水

(1)检查:对渡槽进行充水试验检查,以判断混凝土渗水类型是裂缝渗水、还是施工缝渗水、还是混凝土不密实渗水。

(2)整改和预防:在充水期间,留存影像资料并做好标记。待水排净后进行整改。对于渗水,采用灌浆+表面密封的方法进行处理。为避免裂缝渗水,在槽身底板施工时设置冷却水管,并加强槽身成型后的养护工作。为避免施工缝渗水,在边墙施工缝中设置一道白铁皮止水并加强施工缝的凿毛处理以及混凝土浇筑结合面的处理。为避

免混凝土不密实渗水,则需加强混凝土振捣,采用以人工振捣为主,辅以附着式振捣。同时,在混凝土成型后,对槽体进行全面检查,当发现有裂缝及混凝土不密实现象时,则需严格按照混凝土缺陷处理的规定进行处理。

3 结 语

三向预应力矩形渡槽施工在水利工程中一般较少,因此不会采用工厂化预制,而直接采用现场浇筑。在现场施工过程中,其存在工序繁多、交叉频繁、空间受限等问题,从而使施工人员产生麻痹大意、思想松懈等现象。而一旦出现质量问题,有的十分难以整改,有的甚至不能整改而只能返工,这将直接影响工程进度,造成巨大的经济损失,并造成较为严重的不良影响。笔者提出的大型三向预应力矩形渡槽槽身施工质量问题的预防、检查和整改方法对类似工程具有较好的参考意义。

作者简介:

- 唐进东(1975-),男,四川广元人,工程师,从事建设工程施工技术与管理工
- 刘 礼(1977-),女,四川仁寿人,工程师,从事建设工程施工技术与管理工
- 郑 平(1984-),男,四川广元人,工程师,学士,从事建设工程施工技术与管理工

(责任编辑:李燕辉)

(上接第 77 页)

- [4] JTG D50 2006,公路沥青路面设计规范[S].
- [5] JTG E20 2011,公路工程沥青及沥青混合料试验规程[S].
- [6] JTG F40 2004,公路沥青路面施工技术规范[S].
- [7] JTG E60 2008,公路路基路面现场检测规程[S].
- [8] 赵立松.SMA 沥青混凝土路面施工过程的质量控制[D].西安:长安大学,2008.
- [9] 张成全.SMA 在浙江高等级公路中的应用研究[D].西安:长安大学,2009.
- [10] 秦莉娅.SMA 沥青混合料在河南高等级公路中的应用研究[D].南京:东南大学,2007.

(上接第 92 页)

- 压,且必须按照设计图纸安装横斜撑;
- (2)横梁 2I50C 在支点部位必须设置加劲板,防止局部应力过大;
- (3)贝雷片安装过程中,必须在 2I50C 上安装限位装置,防止贝雷片侧滑;
- (4)分配梁 I16 在安装过程中必须与贝雷片采用 U 形卡固定,确保贝雷片整体受力;

- [11] 杨 程.SMA 混合料的性能、试验及施工工艺研究[D].天津:河北工业大学,2007.
- [12] 严任苗.高速公路 SMA 沥青混凝土技术的研究与应用[D].合肥:合肥工业大学,2007.

作者简介:

- 杨瑞英(1979-),女,四川南充人,工程师,从事建设工程施工技术与管理工
- 李 杰(1986-),男,湖北仙桃人,助理工程师,从事水电工程及路桥工程施工技术与管理工

(责任编辑:李燕辉)

(5)该支架体系若采用砂桶卸荷,砂桶必须预压且应在砂桶底部设置 20 mm 厚的垫板,防止钢管柱封顶钢板变形过大,确保结构安全。

作者简介:

- 沈 敏(1984-),女,江苏扬州人,工程师,从事建设工程施工技术与管理工
- 裴茂才(1983-),男,河南商丘人,项目总工程师,工程师,从事建设工程施工技术与管理工

(责任编辑:李燕辉)