

# 预应力 U 型薄壳渡槽槽身施工质量控制

王兴亮, 徐云

(中国水利水电第十工程局有限公司, 四川 成都 610072)

摘要: 以都江堰灌区毗河供水一期工程施工第六分部易家坝渡槽为例, 对预应力 U 型薄壳渡槽的内模抗浮、槽身浇筑外观质量及预应力张拉进行了分析并对易发问题提出了解决措施, 介绍了预应力 U 型薄壳渡槽施工技术要点。

关键词: 抗浮; 槽身外观; 预应力; 施工质量; 控制; 毗河供水一期工程

中图分类号: TV554; TV52; TV68; TV523

文献标识码: B

文章编号: 1001-2184(2017)05-0088-02

## 1 概述

毗河供水一期工程书永分干渠易家坝渡槽全长 399 m, 共计 25 跨梁式槽身, 其中 23# 槽身横跨 319 国道段, 槽身结构为 C40W6F100 预应力钢筋混凝土结构, 壁厚 30 cm, 槽身顺槽向、横槽向均设有预应力钢束, 预应力槽身长度为 30 m, 槽身跨径为 29.15 m。预应力钢束采用抗拉强度标准值  $f_{pk} = 1860$  MPa、公称直径  $d = 15.2$  cm 的低松弛高强度钢绞线。槽身顺向设置 12 组钢筋束, 横向设置 73 组钢筋束 (图 1)。

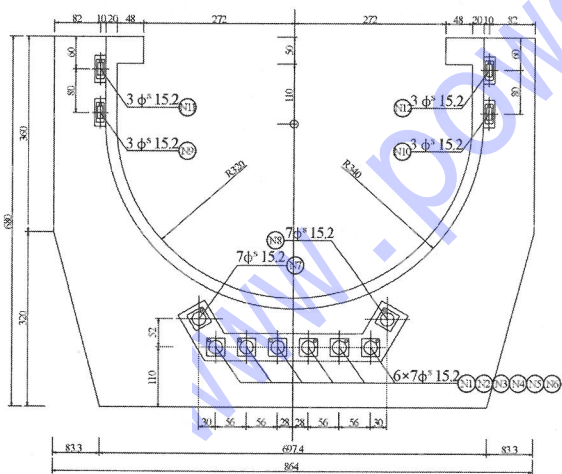


图 1 槽身钢束布置图

## 2 预应力槽身施工的难点

该工程双向预应力 U 型薄壳渡槽施工具有以下几个方面的难点:

(1) 混凝土浮力大, U 型槽身结构使得浇筑期间流态混凝土对槽身内模产生巨大浮力, 易导致内模起浮, 影响结构尺寸及过水面高程。

(2) 浇筑外观质量难控制, U 型槽身结构反弧段处振捣困难, 导致槽身内壁易出现麻面; 混凝土气泡难排出, 混凝土配筋率大于  $0.2 t/m^3$ , 因而需采用坍落度约 18 ~ 20 cm、流动性、和易性良好的混凝土。但采用高坍落度混凝土导致泌水较多、反弧段泌水难排出, 从而使槽身内壁易出现水纹。

(3) 预应力钢束施工要求高。一般预应力混凝土的作用是限制混凝土受拉区的裂缝宽度, 而渡槽混凝土因过水需要, 需保证槽身无裂缝, 因而要求波纹管准确定位并精确控制张拉力。

## 3 主要施工工艺

因该跨槽身横穿国道, 最终采用的是钢管柱 + 贝雷梁与盘扣式脚手架组合支架体系跨国道, 项目部结合现场实际情况实施的预应力槽身总体施工流程为: 公路交通防护设施施工 → 槽身模板支架搭设 → 支座安装 → 外模安装 → 外层钢筋制安、波纹管、预应力钢筋束安装 → 内模安装 → 混凝土浇筑及养护 → 油表、千斤顶配套标定 → 预应力钢筋束张拉 → 孔道压浆填充 → 钢绞线切割、C40 微膨胀混凝土封锚 → 止水、护栏等完善。

## 4 主要技术措施

(1) 为解决内模起浮问题, 技术人员首先分析了渡槽内模受到浮力的成因。混凝土浇筑时, 渡槽过水面为空腔, 因混凝土具有流动性, 相当于内模侵入流体内部, 排开了过水面部分的混凝土, 从而使得混凝土对内侧底模及反弧段模板有向上的压力。但由于混凝土不是全流态且混凝土内部黏结力能抵抗部分浮力, 同时, 随着混凝土水化反应的进行, 混凝土逐渐从半塑态转化为固态。综合

收稿日期: 2017-06-10

以上三个原因分析得知:混凝土的浮力小于通过阿基米德原理计算得到的浮力。通过分析得知,渡槽内模中的最大浮力约为按混凝土为纯液态下计算的 1/3。

针对内模起浮,通常采用两种方案予以处理:一种是在内模顶部安装横向工字钢后施加配重以平衡浮力;另一种方案是在内模上安装立杆并在槽顶安装双拼 I20 工字钢作为抗浮压杠,然后将压杠与外模立柱通过螺栓连接,混凝土浮力通过立杆传递至压杠,再从压杠传递至外模立柱。笔者对两种方案进行了比较后得知:两种方案均能有效控制内模起浮。但由于第一种方案下的配重块需求重量较大,造成施工不便,而且大大增加了支架体系的负荷,不利于支架安全;第二种方案则相对方便、经济、安全。通过分析比较,最终决定采用第二种方案作为抗浮措施(图 2)。

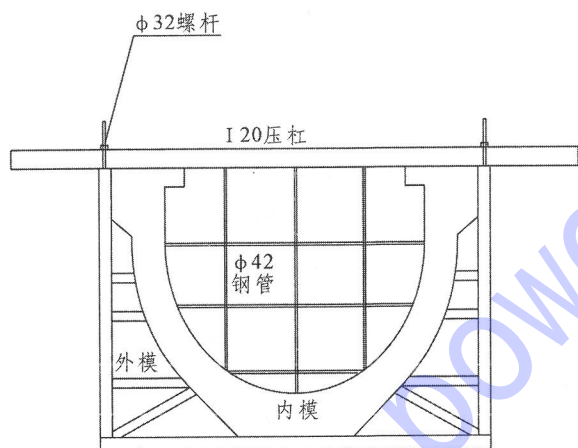


图 2 模板抗浮体系示意图

(2) 为提高渡槽内壁的外观质量,减少槽身内壁麻面、气泡、水纹的发生,根据类似工程经验,采用以下措施能有效提高槽身内壁的外观质量:

①改善混凝土的配合比。采用一级配混凝土,石子粒径不大于 20 mm;采用 0.03% 的 AH-1 型引气剂掺量以确保抗冻耐久性并改善混凝土流动性,引气剂掺量偏高将导致混凝土气泡更多,不利于混凝土外观质量;引气剂掺量偏小将导致抗冻性能不达标,因此,可根据设计抗冻要求通过试验得到最佳引气剂掺量;采用高性能减水剂以确保混凝土坍落度及保坍时间,在保证混凝土强度、抗渗、抗冻等条件下适当减小水胶比,以增加混凝土在高配筋率槽身中的流动性并减少混凝土

泌水。

②改善振捣方式。采用插入式振动棒 + 附着式振动器相配合,附着式振动器功率选择为 2 kW,外模反弧段间距 2 m 布置附着式振动器,外模左右两侧交错布置。附着式振动器开启时间对振捣效果影响显著,振捣器开启时间过长将因过振翻砂,并因振捣期间混凝土流动性显著增强而导致混凝土对内模浮力急剧增加造成抗浮体系负荷增加,严重时危及抗浮体系的安全;振捣器开启时间过短将导致漏振、振捣不密实。根据理论分析与实践经验得到 U 型渡槽槽身浇筑附着式振动器开启方式为:边下料边振捣,短时间(一次开启时间约 20 s)、多频次开启振动器,避免多个振动器同时开启,应逐个开启振动器。

③改善浇筑方式。采用起重机吊装料斗的方式进行浇筑,以方便控制浇筑速度。浇筑时,采用平仓法,从中间向两侧均匀卸料,同时振捣,确保混凝土不在一个位置堆积过多。

④改善模板排气及泌水情况。在内模上开启排气孔,排气孔直径为 3 ~ 5 mm,间距 30 cm,振捣时产生的气泡能够从排气孔排出并排出混凝土泌水。

(3) 为确保预应力施工质量,需准确控制张拉力,并采用张拉力与伸长值双控指标验证张拉结果是否合格,即当张拉力达到设计值时需验证实际伸长值与理论伸长值偏差应在  $\pm 6\%$  以内,否则应停止张拉并分析产生的原因。

根据千斤顶油压表读数与标准荷载关系得到分级张拉时油压表读数从而控制每一级张拉下的钢束应力。按照设计要求,  $N_1 \sim N_8$  钢束控制张拉力为 1 093.7 kN,  $N_9 \sim N_{12}$ 、 $N_{横}$  钢束控制张拉力为 546.8 kN,张拉时采用千斤顶 1、千斤顶 2 对  $N_1 \sim N_8$  进行整体两端张拉,采用千斤顶 3、千斤顶 4 对  $N_9 \sim N_{12}$ 、 $N_{横}$  进行单根两端张拉,将系数代入荷载-读数关系曲线,得到分级张拉时每一级荷载下油压表读数,通过准确控制油压表压力控制张拉力。张拉时按同步、对称、同时双向张拉的原则进行,钢绞线理论伸长值复核计算公式为:

$$\Delta L = \int_0^L \frac{P e^{-(kx+\mu\theta)}}{A_y E_y} dx = \frac{PL}{A_y E_y} \left[ \frac{1 - e^{-(kL+\mu\theta)}}{kL+\mu\theta} \right]$$

式中  $\Delta L$  为钢绞线理论伸长量;  $P$  为预应力钢绞线 (下转第 103 页)



水问题,解决了1200头大牲畜的饮水问题,解决了1074亩缺水土地的灌溉问题。

### 3.2 环境效益

本项目运行环境影响评价显示:光伏系统在运行中没有废气排放,不会对当地环境空气质量产生影响。没有明显的噪声源,基本不会对周围环境敏感目标产生影响;本项目固废产生量小,且固废成分简单,基本为生活垃圾,依照环评措施处理后,对环境的影响较小;项目服务寿命达到之后,拆除的废光伏组件均由生产厂家回收,不会对环境产生二次污染影响。

### 4 结语

采用太阳能光伏提灌站,无污染、稳定、总成本较低廉,可以利用农村有限的资源获得较大的效益,该系统的供水满足《四川省农业灌溉用水定额》,已成为其他农村地区示范性工程。太阳能光伏提灌站仍有很大的提升空间,且具有广阔的应用前景。

#### 参考文献:

- [1] 刘瑞兰. 对太阳能光伏发电系统的研究分析[J]. 硅谷,2013,124(4):46-47.

- [2] 刘惠萍,刘惠雯. 太阳能光伏发电路灯照明工程设计方法探析[J]. 建筑节能,2009,37(12):45-48.  
 [3] 钱伯章. 太阳能光伏发电成本及展望[J]. 中国环保产业,2009,130(4):24-28.  
 [4] 韩斐,潘玉良,苏忠贤. 固定式太阳能光伏板最佳倾角设计方法研究[J]. 工程设计学报,2009,16(5):348-353.  
 [5] 吴永忠,邹立珺. 光伏电站太阳能电池阵列间距的计算[J]. 能源工程,2011,141(1):39-40.  
 [6] 董密,罗安. 光伏并网发电系统中逆变器的设计与控制方法[J]. 电力系统自动化,2006,30(20):97-102.  
 [7] 刘厚林,袁寿其,施卫东,袁建平. 光伏水泵系统及其应用前景[J]. 水泵技术,2002,122(2):43-45.

#### 作者简介:

- 邹渝(1979-),男,四川荣县人,讲师,学士,从事环境工程、新能源应用方面的研究;  
 刘旭(1981-),男,四川西昌人,工程师,从事太阳能光伏发电应用研究;  
 崔海保(1981-),男,安徽蚌埠人,工程师,硕士,从事环保、新能源应用研究.

(责任编辑:李燕辉)

(上接第89页)

线张拉力, $P = 182.29 \text{ kN}$ ;  $L$  为预应力钢绞线计算长度,纵向钢束  $L = 29.15 \text{ m}$ ,横向钢束  $L = 8.28 \text{ m}$ ;  $A_y$  为钢绞线截面面积,单根  $A_y = 140 \text{ mm}^2$ ;  $E_y$  为钢绞线截面模量,  $E_y = 1.95 \times 10^5 \text{ MPa}$ ;  $x$  为张拉端至计算截面的长度,两端张拉取  $x = \frac{L}{2}$ ;  $\theta$  为从张拉端至计算截面孔道曲线部分切线的夹角之和;  $k$  为预应力孔道局部偏摆系数,取  $k = 0.0015$ ;  $\mu$  为预应力钢绞线与孔道壁的摩擦系数,取  $\mu = 0.23$ ;  $e$  为 2.718,无理数。

代入相关数值进行计算得到:

纵向钢束两端伸长值之和为 198 mm;

横向钢束两端伸长值之和为 42 mm。

实际伸长值:

$$\Delta L = \Delta L_1 + \Delta L_2$$

式中  $\Delta L$  为钢绞线两端实际伸长值之和;  $\Delta L_1$  为从初始应力至最终应力之间的两端实测伸长值之和;  $\Delta L_2$  为初应力下的推算伸长值,预张拉 10%,纵向钢束  $\Delta L_2 = 20 \text{ mm}$ ,横向钢束  $\Delta L_2 = 4 \text{ mm}$ 。

根据以上计算结果,每一组钢束张拉至控制张拉力后,将实际伸长值与理论伸长值进行比较,当误差在规定范围内时张拉合格,当误差大于规定范围时应停止张拉并分析其产生的原因。

### 5 结语

预应力渡槽施工是引水工程中管控的重点和难点。笔者通过对先进经验进行总结、对易发问题进行定性分析、对钢束张拉控制进行定量计算,提出了改善工程质量的措施,为今后遇到类似工程时提高管控能力、确保工程质量提供了一定的保障。该工程中的成功经验表明:采用文中方案进行预应力渡槽施工,能够取得较好的效果,可为同类型工程施工提供参考。

#### 作者简介:

- 王兴亮(1986-),男,四川仪陇人,工程师,从事水利水电工程施工技术与管理工作;  
 徐云(1993-),男,湖北黄冈人,助理工程师,从事水利水电工程施工技术与管理工作。

(责任编辑:李燕辉)