

三峡工程泄洪坝段表孔溢流面拉模施工技术

赵 葳

(中国葛洲坝集团第二工程有限责任公司,湖北 宜昌 443002)

摘要 三峡工程泄洪坝段表孔溢流面主要采用一期预留台阶、二期拉模一次成型的方法施工,体型复杂,拉模施工难度大,施工质量要求高,在生产性试验以及对试验结果进行分析的基础上,对混凝土性能、拉模设计、施工措施等方面进行了改进,形成了一套成熟的拉模施工技术。施工结果表明,施工质量达到了设计要求。

关键词 溢流表孔;溢流面;拉模;三峡水利枢纽工程

中图分类号:TV544 文献标识码:B 文章编号:1006-764X(2006)01-0040-04

Slip form construction technique for spillway surface with crest outlet of flood discharge section of Three-Gorges Dam//
ZHAO Wei(The Second Engineering Limited Liability Company , China Gezhouba Construction Group , Yichang 443002 , China)
Abstract : The method of pre-setting steps in the first stage and one-time shaping with slip form in the second stage was adopted in construction of spillway surface with crest outlet. With high requirement of construction quality , the project is complicated in shape-type , and difficult in slip form construction. Based on an analysis of experimental results , some improvements were made in concrete performance , slip form design , and construction measures , and a set of mature slip form construction technique was formed. Practices show that the technique meets the design requirement of construction quality.
Key words : crest outlet of spillway ; spillway surface ; slip form ; Three-Gorges Hydro Project

三峡工程泄洪坝段共布置了 22 个溢流表孔,总长为 80 m,除喇叭形进水口处宽度为 9.6 m 外,其余均为 8 m。溢流堰堰顶高程为 158.00 m,堰底高程为 110.00 m。溢流表孔底板溢流面由 4 段曲线组合而成(见图 1,图中阴影部分为表孔过流面底板二期混凝土施工范围),其中第二段为水平长度 36.68 m 的幂函数曲线段,第三段为水平长度 5.13 m、长坡比 1:0.7 的斜坡直线段,第四段(出口段)为水平长度 29.79 m、半径 30 m 的圆曲线。此 3 段采用一期混凝土预留台阶,并预埋插筋,二期混凝土采用拉模浇筑、人工抹面,每个表孔二期混凝土方量为 480 m³,拉模施工范围见图 1。

由于表孔溢流面体型复杂,溢流面平整和光洁度要求高,在 1 m 范围内凹凸值要求控制在 5 mm 以下,施工难度大,同时二期混凝土为薄层浇筑,易产生裂缝,因此尽量选在低温季节施工^[1,2],工期紧张。为使表孔溢流面施工质量满足设计要求,拉模施工从 2002 年 11 月 2 日开始 19 号表孔的生产性试验,直到 2003 年 7 月 23 日 22 号表孔拉模施工结束,通过对混凝土性能、拉模设计、施工措施等方面的改

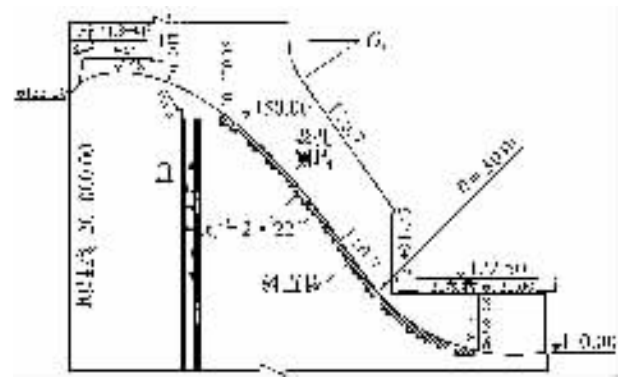


图 1 表孔溢流面拉模施工范围

进,逐步形成了一套成熟的拉模施工技术,满足了设计要求。

1 拉模系统设计

由于表孔溢流面曲线复杂,其施工体型尺寸能否满足设计要求,最关键的是拉模设计中模板结构的合理性及施工中滑轨的稳定性。

拉模系统主要由模板系统、滑轨及其支撑构件、卷扬机牵引设备和人工抹面操作平台四部分组成,如图 2 和图 3 所示。

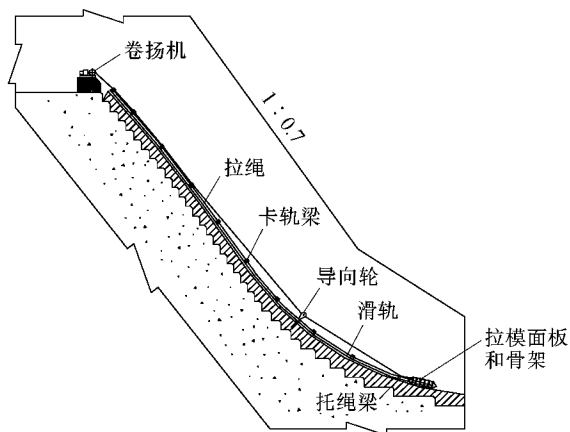


图2 表孔溢流面拉模布置

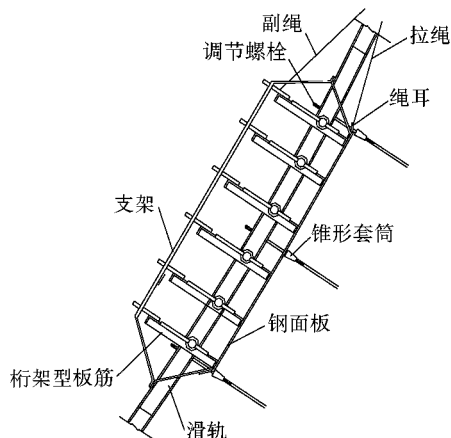


图3 拉模面板及轨道剖面

a. 模板系统(包括面板、支架和桁架型板筋等)。拉模板由3.5 mm厚的钢面板和垂直于水流方向的5个互不相连的小桁架板筋组成,面板宽2.1 m。不设顺流向板筋,这样面板可利用自身挠度随轨道曲率变化而变化,从而使过流面混凝土外轮廓线与设计曲线达到一致且平顺光滑。

b. 滑轨及其支撑构件(包括锥形套筒和卡轨梁等)。滑轨由2根14 mm的槽钢背焊而成,滑轨由锥形套筒通过支承螺栓与一期混凝土面上插筋固定。拉模通过严格按底板过流面外轮廓曲线制作的滑轨时,锥形套筒与滑轨之间设调节螺栓,可调节滑轨高程,使拉模严格满足过流面设计体形要求。滑轨设置抵墙螺栓,可调节滑轨与表孔侧墙之间的距离,从而控制两滑轨间距,防止拉模脱轨,若模板在提升时卡轨,也可调节抵墙螺栓,配合卷扬机操作解决卡轨问题。锥形套筒顶面高程应略高于底板轮廓线,以利于锥形套筒后期旋出和锥孔修补。滑轨按曲线分段制作,由专业模板加工厂家加工,出厂时对每段滑轨按顺序编号,施工时分段安装。

2 拉模施工

混凝土拉模施工程序为:一期台阶混凝土表面

杂物清除→缝面凿毛冲洗→表孔侧墙底脚直螺纹钢钢筋接头处理→一期预留台阶插筋校直→施工测量放样→拉模滑轨安装→底板二期结构钢筋架立安装→横缝止水及沥青分缝板安装→拉模牵引设备、面板及操作平台安装→测量校核→混凝土浇筑→模板滑升→人工抹面收光→混凝土养护、保温、通水冷却→横缝切缝。

2.1 拉模安装

拉模安装最关键的工序是滑轨安装。滑轨安装前必须进行测量放样,根据放样点进行样架施工,然后对滑轨进行安装固定。滑轨主要对两个方向安装调整固定:①竖向调整固定:滑轨是由轨道锁架(即锥形套筒)通过支承螺栓与一期混凝土上的插筋或底板钢筋网根部固定,滑轨安装时高程根据曲线进行调整,滑轨高程通过锥形套筒上的双头螺杆进行调节;②水平向调整固定:滑轨安装时必须严格控制左右两滑轨之间的距离,轨道上焊接长为20 cm的50 mm×50 mm的角钢,间距为1.2 m,角钢上设调节螺丝,以调节轨道与壁面之间的距离。最上游轨道的安装必须保证拉模能够全部拉到封头模板上游,以便最后收仓抹面。滑轨安装完后必须经测量队测量校核。

轨道锁架(即锥形套筒)间距不超过50 cm,以牢固固定轨道,同时由于拉模在提升过程中轨道受力方向(即轨道法线方向)与锁架(为垂直地面方向)方向不一致,需在轨道法线方向上设置一道拉筋,以抵消轨道上的浮力。

仓位最上游台阶(高程150 m)上布设2台5.0 t同型号卷扬机完成对拉模的滑升工作。由于表孔底板曲率变化大,牵引的钢丝绳上设两个导向滑梁和两根卡轨梁,以保证牵引力与面板大致平行。

2.2 混凝土浇筑

溢流面二期混凝土浇筑采用120栈桥上的高架门机转卧罐及人工溜槽入仓。

拉模内混凝土采用分层浇筑,每层混凝土厚度0.5 m(曲线长度),混凝土振捣完成后,再浇上一层。表孔溢流面混凝土采用C40抗冲耐磨混凝土(三级配),外加剂X404掺量为0.6%,其混凝土初凝时间约5~6 h。在拉模首次浇满后,3 h左右方可连续缓慢地进行模板的匀速滑升工作,混凝土浇筑速度应与模板滑升速度一致。模板提升的最佳时机为混凝土有一定强度,同时能保证在混凝土初凝前完成其表面的抹面收光工作(提升模板时,手按混凝土表面有轻微指印且混凝土表面砂浆不粘手为宜)。面板后设抹面平台与模板一起滑升,采用1.0 t的手拉葫芦调节抹面平台与模板之间的距离,可以更好地控

制抹面时机。

3 拉模混凝土施工质量控制

表孔溢流面平整和光洁度要求高,在 1 m 范围内凹凸值要求控制在 5 mm 以下,因此混凝土拉模施工过程中的质量控制技术是保证混凝土施工质量好坏的关键,也是表孔拉模施工技术的核心部分。

在拉模开始全面施工前,先在泄洪坝段 19 号表孔溢流面进行了生产性试验,总结改进后在 7 号表孔溢流面进行了第一次正式浇筑施工,在进一步总结改进后开始溢流面抗冲磨二期混凝土的全面施工。

混凝土拉模施工生产性试验从 2002 年 11 月 2 日凌晨 6 时开仓浇筑,11 月 9 日完成试验孔的溢流面二期混凝土的第一阶段浇筑,起止高程为 109.54 ~ 135.00 m,混凝土方量为 360 m³。

泄洪坝段 7 号表孔底板抗冲磨二期混凝土拉模施工从 2002 年 12 月初开始备仓,12 月 16 日 10 时开仓,12 月 25 日 10 时浇筑完毕,历时 9 d,起止高程为 109.54 ~ 146.00 m,混凝土方量为 480 m³,平均每天拉模上升 3 ~ 4 m,浇筑混凝土 55 m³ 左右。

3.1 19 号和 7 号表孔拉模施工后底板实测结果

两个表孔溢流面从外观上看混凝土振捣密实,表面光洁平整,满足表面平整度要求。从浇筑后的形体测量结果看,总体情况良好,但局部存在不足,测量结果及原因分析如下。

3.1.1 轨道复测结果

轨道误差大部分在允许的 5 mm 以内,局部超出 5 mm,但在 10 mm 以内。在混凝土浇筑过程中,由于混凝土的浮托力作用,拉模的轨道有一定程度的向上变形,但加固较牢,变形不大。

3.1.2 底板混凝土表面测量结果

a. 两个拉模仓位的现场跟踪监控及浇筑后的形体测量数据表明,由于溢流面结构线曲率不同,各曲线段的误差也与结构线曲率相关,规律分布如下:①在反弧段曲线偏差较大,最大误差 - 18 mm。该段在现场浇筑时发现,钢模滚轴紧贴轨道槽钢下口滑行,而原轨道安装曲线是按照钢模滚轴贴轨道槽钢上口运行而设置的。由于该段曲线平缓,模板自身重力大于混凝土浮托力,模板未沿轨道上口行走,故负向偏差较大。在桩号 20 + 060.4 处,模板滚轴开始紧贴轨道上口行走,该段附近混凝土形体误差最小,说明模板自身重力与混凝土浮托力大致平衡。②在 1:0.7 的斜直段误差最大 ± 6 mm。由于该段是整个表孔单线图中坡度最大的一段,考虑到该段混凝土浮托力最大,轨道在测量验收时已预降了 10 mm,从

而保证了结构线法线方向偏差基本在 + 5 mm 以内。

③在上游幂函数段,测量数据显示,在 20 + 030 桩号偏差为 + 10 mm,20 + 028 桩号偏差为 0 mm,20 + 027 桩号偏差为 - 12 mm。在 20 + 026 桩号点发现,模板轴承悬空,开始脱离轨道上口,说明模板自重已大于混凝土浮托力,越向上游曲线越缓,偏差最大达 - 15 ~ - 20 mm。

b. 整个溢流面混凝土中间部位超高比轨道边缘大 0 ~ 10 mm 左右。由于混凝土的浮托力作用和模板自身刚度问题,模板在不同部位浇筑过程中均有不同程度的弯曲变形,特别是模板中间变形最大,致使混凝土中间部位超高比轨道边缘大。

c. 底板混凝土变形产生的其他原因:①浇筑的混凝土初凝时间较长(约 10 h),拉模提升的时机把握不很准,模板提升后混凝土存在一定程度的下坠和弹性回弹;②轨道和拉模在制作和安装时有一定的误差;③人工抹面收光时有一定的误差。

以上测量变形量数据均为垂直误差,过流面实际变形换算成该测点的法向变形最大约为 15 mm。

3.2 拉模混凝土体形控制

针对 19 号表孔拉模生产性试验和 7 号表孔拉模施工暴露出来的问题,根据上面分析,为解决拉模混凝土体形误差偏大的问题,对拉模施工采取了具体的改进措施。

3.2.1 混凝土性能方面的改进

针对混凝土初凝时间长(约 10 h),完成一次拖模时间偏长的问题,拟采取如下措施:①将坍落度严格按照设计要求 3 ~ 5 cm 的下限控制;②在混凝土中适当掺加速凝剂,减少 X404 掺量。具体掺量由试验室根据试验情况确定。控制混凝土初凝时间为 5 h。

原一次拉模浇筑混凝土 480 m³ 需 9 d 左右,通过以上措施改进混凝土性能后,一次拉模只需 5 ~ 7 d。

3.2.2 拉模结构设计方面的改进

a. 加强滑轨的加固,防止混凝土浇筑时滑轨变形。轨道锁架(即锥形套筒)间距由原设计的 60 cm 改为不超过 50 cm,同时在轨道法线方向上设置一道拉筋,以抵消轨道上浮力。

b. 轨道上加焊长为 20 cm 的 50 mm × 50 mm 的角钢,间距为 1.2 m,角钢上设调节螺丝,以调节轨道与壁面之间的距离,防止拉模脱轨或卡轨。

c. 模板加宽 50 cm,桁架数量不变,6 榀桁架之间间距在原基础上加大 10 cm,这样模板宽度由 19 号表孔施工时的 1.6 m 变为 2.1 m。

d. 采用 1.0 t 的手拉葫芦调节抹面平台与拉模间距,使抹面平台与拉模之间距离具有可调性,以更好控制抹面时机。同时原抹面平台与拉模之间的拖

绳保留,作为安全绳。

e. 拉模面板加工时,预拱 8 mm,以抵消模板面板受力后的跨中变形。

3.2.3 加工工艺方面的改进

拉模加工制作由专业厂家完成,并严格按设计图纸加工,确保加工质量,并加强加工过程中的质量控制。拉模轨道在出厂前要求预拼装一次。

3.2.4 施工措施方面的改进

a. 表孔溢流面反弧段坡度小于 1:4 的部位,由于其曲线平缓,且受 120 栈桥影响,使用拉模施工不便且成形后误差较大,改用布设抹面样架,配备同曲线加工的刮尺,人工分段抹面。混凝土采用搭设滑槽直接入仓,采用 5~7 cm 的坍落度,以利于入仓。同时,为防止滑槽经过的缝面污染,滑槽下铺垫遮挡物。

b. 根据 19 号表孔拉模生产性试验和 7 号表孔拉模施工时各曲线段的误差与结构线曲率的关系,拉模轨道安装时分段控制。在桩号 20+064.00 (20+064.50)~20+049.45 段,混凝土浮托力与拉模自重基本平衡,轨道可按设计值布置;在桩号 20+049.45~20+040 段,混凝土浮托力大于拉模自重,轨道实际布设高程应比设计值平均降低 10 mm;在桩号 20+040~20+030 段,混凝土浮托力大于拉模自重,轨道实际布设高程应比设计值平均降低 5 mm 左右;在桩号 20+030~20+027 段,混凝土浮托力与拉模自重基本平衡,可按设计值布置;在桩号 20+027~20+020.35 段,混凝土浮托力小于拉模自重,轨道实际布设高程应比设计高程平均升高 5 mm 左右。各段轨道虽升降值不同,但必须保证相邻轨道平顺连接。

c. 拉模时间间隔和每次拉模距离的控制。拉模在提升时速度过快,则混凝土易下坠,在混凝土表面形成微小的波状起伏。提模过晚,混凝土表面初凝,则拉模时易造成表面混凝土破坏,还不利于混凝土表面收光。因此必须安排专人根据混凝土实际特性负责指挥控制拉模时间,保证混凝土表面平顺光滑。从现场效果统计,每小时拉一次、每次拉 30 cm 左右效果较好。统计结果还表明,在拉模平均速度(每班拉模提升的距离控制在 2~3 m)不变时,通过增加拉模提升频率,减小每次拉模距离,效果更好。

d. 浇筑过程中安排专人对轨道和体型尺寸及时监测,发现异常及时采取措施进行调整,同时尽量防止出现卡轨现象。卡轨主要是模板两边上升不平衡造成的,所以拉模滑升需配备专门的操作人员进行卷扬机操作,保证两台卷扬机的同步,并保持卷扬

机和操作平台处的通讯畅通。卡轨时,可通过调节两轨道间的距离(调节轨道上的抵墙螺杆实现)和平衡左右侧卷扬机的提升调节模板的办法来解决。

3.3 拉模混凝土裂缝控制

由于表孔溢流面薄层连续浇筑,易产生裂缝,为防止表孔出现裂缝,采取了以下措施:

a. 采用三级配 C40 抗冲耐磨混凝土,外加剂 X404 掺量为 0.6%。采用三级配混凝土比采用二级配混凝土虽然增加了浇筑难度,但提高了混凝土防裂性能;外加剂选用 X404,虽然有缓凝效果,不利于混凝土浇筑,但 X404 能提高混凝土防裂性能。

b. 加密加大顺流向结构钢筋。表孔底板顺流向结构钢筋由原设计 25@20 改为 28@16.7。

c. 布置冷却水管。冷却水管采用 $\varnothing 25 \text{ mm} \times 3.25 \text{ mm}$ (1 英寸)黑铁管顺流向布置,左右向间距 1 m。

d. 混凝土水化热在 2~3 d 时达到峰值,而混凝土浇筑后 2~3 d 已具有一定强度,立即进行横缝处的切缝,以释放温度应力。

e. 及时保温养护,因底板二期混凝土在低温季节浇筑,所以浇筑完后要及时用聚乙烯卷材(厚度不小于 2.0 cm)封闭,并进行流水养护。

4 结 语

三峡泄洪坝段溢流表孔底板过流面二期混凝土拉模施工从 2002 年 11 月份开始施工,2003 年 7 月结束,完成混凝土 10560 m³,经过精心施工取得了令人满意的效果,采用拉模施工的 22 个表孔底板过流面混凝土表面平顺光滑,没有出现施工冷缝,体形误差基本控制在 5 mm 以内,满足了设计要求。

在拉模施工中仍存在一些有待改进的问题,如拉模脱轨和卡轨问题。拉模脱轨和卡轨主要是由于提升拉模的两台卷扬机提升和停止不同步所致,尽管通过操作人员的控制可尽量避免这种现象的出现,但仍无法完全避免,因此在两台卷扬机的开关控制上最好采用一个控制开关。另外,可考虑在拉模轨道上增设拉模滚轴限位挡板等装置,限制拉模滚轴脱轨。

参考文献:

- [1] TGP S09—1998,中国长江三峡工程标准:混凝土单元工程质量检测及评定标准(试行)S.]
- [2] TGP S10—1998,中国长江三峡工程标准:混凝土温控技术及质量规定(试行)S.]

(收稿日期 2004-10-18 编辑:熊水斌)