

# 液压自动爬升模板在向家坝升船机施工中的应用

滕飞<sup>1</sup>, 黄小丹<sup>2</sup>, 秦武<sup>1</sup>, 张怀仁<sup>3</sup>

(1. 中国长江三峡集团公司机电工程局, 四川 成都 610042;

2. 四川省紫坪铺开发有限责任公司, 四川 成都 610091; 3. 水利部水工金属结构质量检验检测中心, 河南 郑州 450045)

**摘要:**向家坝升船机船厢室段主要承重结构为高耸薄壁筒体结构, 结构复杂, 施工高度大、精度要求高、模板用量大, 故模板型式的选择是保证筒体结构混凝土施工质量和安全的关键因素。经综合对比分析, 筒体结构施工采用了液压自动爬升式模板, 通过实践证明该模板在保证施工质量和安全的基础上, 可提高施工功效, 是大型高耸混凝土结构比较有效的施工措施和技术手段。

**关键词:**向家坝; 升船机; 设计布置; 应用效果

**中图分类号:** [TM622]; TU755.2+1; U642

**文献标识码:** B

**文章编号:** 1001-2184(2016)06-0101-03

## 1 概述

向家坝水电站通航建筑物型式采用一级全平衡齿轮齿条爬升螺母柱保安式垂直升船机, 由上游引航道、上闸首(包括挡水坝段和渡槽段)、船厢室段、下闸首和下游引航道(含辅助闸室与辅助闸首)等五部分组成, 全长约 1 530 m。升船机按 IV 级航道设计, 最大过坝船队为 2 × 500 t 级一顶二驳船队, 最大过坝单船为 1 000 t 级机动货船, 最大提升高度 114.2 m。

升船机主要金属结构及船厢设备布置于船厢室段, 船厢室段位于升船机上、下闸首之间, 船厢室段由四个高 138 m(高程 255 ~ 296 m 为筒体结构与大体积挡水结构相结合, 高程 296 ~ 393 m 为纯筒体结构)的筒体作为承重结构, 四个筒体结构对称布置在船厢室两侧, 每个筒体结构顺水流方向长 47.2 m, 垂直水流方向宽 14 m(高程 296 m 以上), 上、下游两个筒体结构间距 19.6 m。在筒体结构上安装有齿条、螺母柱、纵导向、对接锁定及平衡重等金属结构埋件及设备, 这些金属结构埋件及设备均沿筒体高程方向安装。升船机筒体结构为 1 ~ 2 m 厚薄壁型混凝土墙体结构, 钢筋密集, 结构复杂, 施工高度大、精度要求高、难度大, 模板用量大, 故模板型式的选择是保证筒体结构混凝土高质量、安全、快速施工的关键因素。

## 2 模板的选取

升船机筒体结构要达到美观、精确、快速施工

的目的, 宜采用整体大型模板施工。大型模板主要有整体滑模、大型悬臂模板和自动爬升式模板三种模板方案。

### 2.1 整体滑模

滑模施工与常规施工方法相比具有施工速度快、自动化程度高、上升不需起重设备、节省大量的模板和搭设脚手架所需材料、可不停歇地浇筑至设计高程等特点。因此, 对混凝土拌和、运输能力和入仓强度高, 强调施工过程的连续性, 避免中途停歇而造成混凝土初凝与模板粘结等事故。滑模主要适用于高度较大, 竖直方向结构形状规则及结构断面尺寸变化小的建筑物, 如竖井、墩柱等。

整体滑模施工的优点主要是上升速度快、结构表面平整光滑、外观质量好, 一次立模可浇筑至设计高程。筒体结构施工采用整体滑模施工的缺点:

(1) 船厢室筒体结构内大量的钢筋绑扎、预埋件的安装、后浇筑楼板凹槽的设置, 制约了滑模的连续上升, 混凝土无法连续上升;

(2) 筒体结构平面尺寸大, 滑模需设置较多的支承杆和顶升液压设备, 且顶升同步性要求高, 筒体结构高精度要求, 施工将难以控制;

(3) 筒体结构仓面面积大, 高度高, 混凝土入仓强度大、不间断施工时间长, 工人劳动强度大, 难以保证施工的连续性;

(4) 滑模施工过程中, 一旦发生支承杆失稳等技术故障, 将会发生混凝土初凝、模板粘结阻滑

收稿日期: 2016-11-05

现象,致使整个仓位停顿,且事故处理耗时长,处理困难;

(5)起始滑模安装工作量大,对施工组织和施工管理有较高的要求等。

## 2.2 大型悬臂模板

悬臂模板施工的优点有:

(1)采取措施后,可适应有一期埋件和超出结构边线埋件的施工工况;

(2)筒体结构上升过程中可以逐层消除施工误差,整体上升精度相对有保证;

(3)混凝土没有连续上升的强度压力。

筒体结构采用悬臂模板施工的缺点:

(1)模板安装工作量大,每层浇筑完成后需起重设备起吊辅助安装,并占用一定直线工期,本工程布置的设备起吊能力在钢筋起吊、预埋件安装以及后期金结安装已经达到饱和,没有足够的起吊设备分配给模板;

(2)增加每层结合面处理工序,平均上升速度慢;

(3)埋件部位需采用专门加工制作的模板;

(4)层面结合处建筑物外观稍差,对外观质量有影响。

## 2.3 自动爬升式模板

自动爬升式模板是依靠自身的提升机构上升,结合了大型悬臂模板和滑模工艺及施工特点,具有悬臂模板和滑模共同的优点,尤其适用狭小场地超高层建筑物的施工。

采用自动爬升式模板施工主要优点为:

(1)采取一定措施后,可适应有一期埋件和超出结构边线埋件的施工工况;

(2)筒体结构上升过程中可以逐层消除施工误差,施工精度有保证;

(3)可群体分段或单独自行上升,完全独立于起重设备施工,减少了吊车工作压力;(4)筒体结构模板分组爬升,各层平台始终处于封闭空间,安全性能非常好。

其主要缺点为:

(1)模板初期安装工作量较大;

(2)模板造价较高。

三种模板特点比较见表1。

表1 三种模板特点比较

评价指标	整体滑模	大型悬臂模板	自动爬升式模板
混凝土质量控制	施工连续性强,入仓强度要求高,混凝土施工质量控制难度较大	分层浇筑,有利于混凝土施工质量控制	分层浇筑,有利于混凝土施工质量控制
结构精度控制	容易出现累计误差	每层可校调误差,满足结构精度要求	每层可校调误差,满足结构精度要求
外观质量	层面结合好	层面结合面稍差	层面结合面好
施工速度	浇筑上升速度快,每天可达1~2 m	立拆模工作量大,上升速度慢,每层工期约需8~10天。	模板可自动爬升,每层工期约2~3天
模板工程费用	模板费用较高	模板费用低	模板费用高
辅助设备	模板滑动,不需辅助设备	占用大量吊装设备时间	模板液压爬升,不需辅助吊装设备
施工管理	劳动强度大,对施工组织和施工管理要求较高。一旦出现阻滑等事故,处理困难	施工管理相对较容易	施工管理较容易
对筒体结构施工的适用性	钢筋绑扎、楼扳凹槽预留、预埋件安装无法适应连续上升	可适应凹槽、埋件安装,对筒体结构施工适用性强	可适应凹槽、埋件安装,对筒体结构施工适用性强

通过对这三种模板施工的优缺点进行比较,根据对现场施工机械配置、施工进度要求、施工质量安全等各因素的全面综合评估,最终确定选用世界上最大的专业模板制造商之一奥地利多卡模板有限公司生产的SKE50型液压自动爬模作为筒体结构薄壁墙体施工专用模板。该模板在施工阶段始终依附在建筑物结构面上,依靠自身的液压系统自动爬升,完全独立于垂直吊装设备施工。

## 3 模板设计与布置

### 3.1 模板的设计

SKE50型液压自动爬模系统由四大部分组成:模板系统、爬升系统、锚固系统、工作平台,如图1所示:

模板面板系统选用TOP50大面积模板系统,混凝土标准层高度 $H=3.5$  m设计,面板设计高度为3.65 m。面板宽度按模数设计,最宽可达6 m。该爬模主要参数见表2。



表2 SKE50型液压自动爬模主要技术指标

提升能力	浇筑高度	爬升速度	可倾斜度	动力	工作平台
50 kN/樘	2~5.5 m	1 m/5 min	±15度	液压驱动	4层

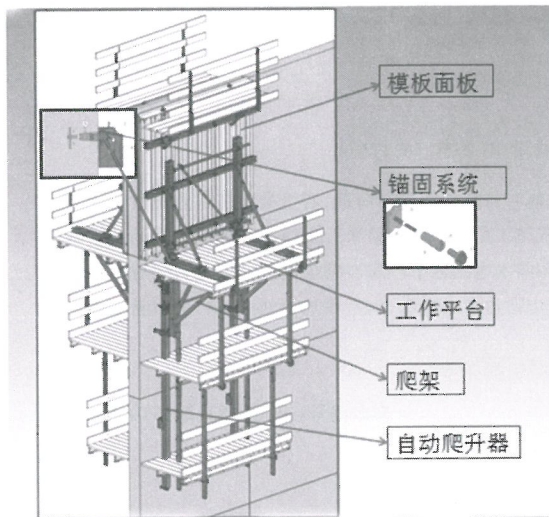


图1 SKE50型液压自动爬模示意图

3.2 模板的改进

根据以往现场施工经验和施工需要,向家坝升船机筒体结构自升模板在厂家模板设计的基础上,进一步进行了优化和改进:

(1)加大水平钢围令刚度,由原厂家设计的10#槽钢加大为12#槽钢,并在模板顶口增加一道钢围令,空设一层对拉杆,并配置轴杆装置,方便模板顶口立模精度调整,进一步提高筒体成形精度。

(2)增加胶合板开孔部位保护,配置专门的孔口保护件,延长胶合板使用周期。

(3)平台靠近混凝土面设置翻转盖板,爬升就位后盖板翻下,平台与混凝土墙面完全密封。

3.3 模板的布置

升船机筒体结构的液压自动爬模平面布置图见图2。

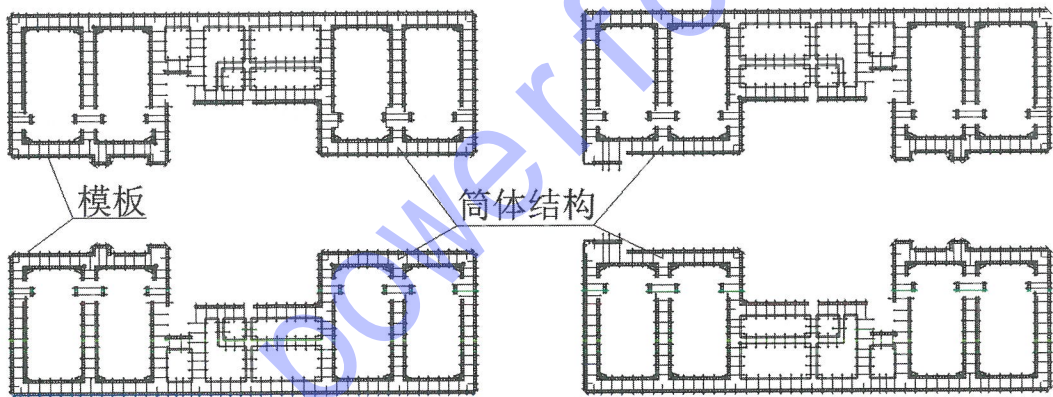


图2 液压自动爬模平面布置图

4 应用效果

向家坝升船机船厢室段高程296~393 m筒体结构混凝土总量为7.1万m<sup>3</sup>,钢筋制安量为1.3万t,混凝土每仓厚度一般为3.5 m(最高两层因布置有连系梁,故厚为3 m),每个筒体结构为28层,四个筒体结构同时施工,基本保持同步上升,单个筒体结构平均每仓循环时间为13 d,最短为8 d。使用该液压自动爬升模板,达到了以下效果:

(1)选用的TOP50型大面积模板,最大宽度6 m,各标准模板通过连接件的连接,使各面墙体模板最终形成一块完整的大模板,消除模板之间拼缝,极大改善了混凝土外观质量,浇筑出的混凝土

土外观光滑平整,颜色均匀一致,很少出现气泡、麻面,无挂帘、错台等瑕疵,达到免装修级别。同时,该模板体系组成简单,组装、拆卸快捷方便,在保证具有大钢模体系足够刚度与强度的前提下,最大化地减少了自身重量,以利于现场安装和搬运。

(2)模板和爬架始终锚固在混凝土结构上,施工各阶段具有很高的安全性。同时,宽敞的施工平台为施工人员提供了一个安全而舒适的施工环境,模板的拆除和安装均在安全的平台上进行,保证了施工全过程的安全性。

(3)模板的上升是依靠自身的液压驱动系统  
(下转第110页)

表 3 本工程与大朝山地下厂房 1 000 kN 粘结式  
预应力锚索结构设计对比表

对比项目	大朝山采用(计算)结果	本工程采用(计算)结果	对比结论
张拉控制应力	1 122 MPa	1 116 MPa	基本一致
预应力损失	16.8%	16.5% ~ 19.5%	有一定差异
锚索孔径	125 mm	130 mm	锚固段地质条件不同
锚索张拉控制变量	100% 张拉荷载时,最大 69.1 mm,最小 46.9 mm	100% 张拉荷载时,最大 110.07 mm,最小 79.05 mm	锚索长度不同引起
内锚固段长度	4 m	6 m	基岩条件不同,凝聚力差异导致

项,但本工程是在土坡上进行锚固,所以地层徐变的损失较大,考虑了 6% ;

(2) 锚索张拉控制变形量的计算没有本质区别,采用相同的公式,差异的原因主要是锚索长度有差异;

(3) 内锚固段的长度差异主要是内锚头处的基岩条件不同,大朝山是基岩为微风化玄武岩,与水泥浆结石体的粘结力较大,而本工程为弱风化板岩,其间粘结力较小。

7 结 语

吉沙厂房后边坡预应力锚索加固结构设计参数的计算和采用合理,均符合相关规范要求,经与大朝山地下厂房预应力锚索结构设计类比验证,成果可靠,能够保证锚索锚固力的正常发挥。

经过实际施工验证,自 2010 年 9 月对吉沙水电站厂房后边坡进行加固以来,所有厂房后边坡

监测仪器监测数据正常,变形很小,未出现任何边坡稳定问题,故对该边坡采取锚索加固措施效果明显,值得类似厂房后边坡加固借鉴。

参考文献:

- [1] 汪海滨,预应力锚索荷载分布机理原位试验研究,岩石力学与工程学报,2005.06;
- [2] 刘跃辉,预应力锚索框架在边坡锚固工程中的应用,山西建筑,2007.10;
- [3] 李英勇,锚索预应力变化影响因素及模型研究,岩石力学与工程学报,2008.06。

作者简介:

李利宁(1975-),男,河北邯郸人,华北水利水电大学水利水电工程专业,设总,高级工程师,从事水利水电工程设计;  
张红梅(1966-),女,湖北武汉人,天津大学水工结构专业,专业总工程师,教授级高工,从事水利水电工程设计;  
孙海权(1980-),男,江苏丰县人,西安理工大学毕业,副设总,高级工程师,从事水利水电工程设计。

(责任编辑:卓政昌)

(上接第 103 页)

自动爬升,控制简单、安全可靠,操作方便,爬升速度快,缩短施工周期,大大提高了施工效率。立模、钢筋绑扎等不同的工作在不同的工作平台上同时展开,更大程度地节省了工作时间。

(4) 混凝土分层浇筑,模板逐层爬升,误差逐层调整,故其垂直度和平整度易于调整和控制,可避免施工误差的积累,施工精度较高。

(5) 自动液压爬升装置免受天气及气候的干扰,风速不超过 70 km/h,可安全进行爬升。

5 结 语

通过在向家坝升船机筒体结构应用液压自动爬升模板的实践表明,该模板施工工艺符合高耸建筑施工中先竖向结构、后水平结构的常规做法,并使立面结构施工简单化、标准化和程序化,减少了按常规施工所需的大量反复装拆、吊运和更换

模板工序,能使塔吊有更多的时间来进行钢筋和其它周转材料的运输,有效的解决了常规施工工艺造成的时间消耗和成本损失问题,大大提高了施工功效,同时可以有效保证混凝土浇筑质量以及施工安全,是大型高耸混凝土结构比较有效的施工措施和技术手段。

作者简介:

滕 飞(1982-),男,天津人,高级工程师,硕士研究生,从事水利水电工程建设项目管理工作;  
黄小丹(1982-),女,四川成都人,工程师,硕士研究生,从事水库调度研究和管理管理工作;  
秦 武(1984-),男,湖北十堰人,工程师,硕士研究生,从事水利水电工程建设项目管理工作;  
张怀仁(1984-),男,河南许昌人,高级工程师,硕士研究生,从事工程测量工作。

(责任编辑:卓政昌)