

# 水电站调压井混凝土浇筑施工技术研究与应用

周先伟 何拥军

中国葛洲坝集团国际工程有限公司 北京 100025

**【摘要】**：厄瓜多尔索普拉多拉水电站调压井体混凝土采用滑模施工，井筒下部与引水隧洞连接段混凝土采用木模施工，本文介绍了滑模及木模相互结合的施工技术以及施工的结论和建议。

**【关键词】**：调压井；混凝土施工技术；滑模施工；研究与应用

## 1 工程概况

厄瓜多尔索普拉多拉水电站调压井为圆形结构，井深46.88m，设计直径9.6m，衬砌混凝土厚0.3m，衬砌成型直径9.0m，衬砌混凝土量410.9m<sup>3</sup>；调压井底水平连接圆形引水隧洞，连接段长度7.13m，设计直径7.4m，衬砌混凝土厚0.35m，衬砌成型直径6.7m，衬砌混凝土量109m<sup>3</sup>，钢筋用量9.8t，混凝土强度等级为C25。

## 2 施工布置

### 2.1 施工通道

调压井混凝土浇筑施工通道共有两条，分别为：

（1）混凝土拌和站→门德斯道路→开关站道路→调压井上平段→调压井混凝土施工部位

（2）混凝土拌和站→门德斯道路→开关站道路→引水隧洞2#施工支洞→引水隧洞→引水隧洞与调压井底板连接段→调压井混凝土施工部位

### 2.2 供水

利用调压井前期开挖、支护施工已有供水系统供水。通过DN100钢管，接Φ50软管至施工作业面，满足冲洗仓面、养护混凝土、泵管清理等施工临时用水。

### 2.3 供电

利用调压井前期开挖、支护施工已有的供电系统供电。

## 2.4 施工机械设备

### 2.4.1 拌和设备

混凝土拌和站型号为HZS90型，生产能力90m<sup>3</sup>/h。最大仓位混凝土浇筑量为109m<sup>3</sup>，计划5个小时完成，可满足供料要求。

### 2.4.2 运输设备

采用6m<sup>3</sup>混凝土搅拌运输车进行混凝土水平运输，采用

泵机垂直运输将混凝土泵送入仓。根据现场实际情况将混凝土泵机布置在调压井底连接引水隧洞水平段处。

### 2.4.3 振捣设备

主振捣设备为Φ50或Φ70插入式振捣器，以附着式振捣器辅助振捣。

## 3 施工工序

调压井混凝土浇筑施工顺序为：井筒下部（第9段，采用自制木模板）→井体（第1段至第8段，采用滑模）→井筒下部与引水隧洞连接段（第10段，采用自制木模板）。

## 4 混凝土施工分仓

第9段采用自制木模板，混凝土浇筑一次完成；第10段采用自制木模板分4次完成；井体第1段至第8段采用滑模，混凝土浇筑一次完成。

## 5 调压井混凝土施工技术

调压井采用两种方法进行混凝土衬砌：高程1273.14m以上采用滑模浇筑混凝土；高程1273.14m以下采用木模板分仓浇筑混凝土。

### 5.1 滑模混凝土衬砌

调压井滑模的安装施工方案在组织施工前报咨询工程师审核，经咨询工程师审核后组织现场施工。滑模施工详见图1。

#### 5.1.1 启滑

在模板安装前进行首段钢筋绑扎，后续钢筋的绑扎根据模板提升的进度相应跟进，以使得钢筋绑扎和混凝土浇筑互不干扰。

竖向钢筋绑扎应超前混凝土浇筑工作段一定距离，同时千斤顶卡头部位的水平钢筋应绑扎完毕，水平钢筋和支撑杆应焊接牢固，千斤顶卡头与各焊接点的距离应小于50cm。提升到位的模板应清理干净并涂好脱模剂，在质检合格后进

行浇筑。

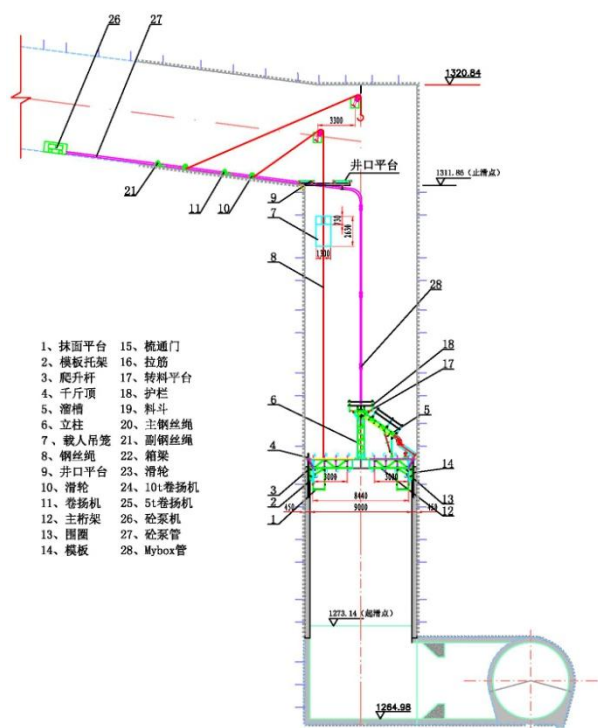


图1 滑模施工图

水泥砂浆结合层厚 2cm，先于混凝土浇筑前施作，其后开始分层浇筑，浇筑层厚控制在每层 20~30cm，振捣采用插入式振捣器。第一层至第三层，浇筑厚度分别为 20cm，浇筑时间控制在 60 分钟内。第四层浇筑厚度 30cm，浇筑应在 90 分钟内完成。四层混凝土浇筑总高度为 90cm，浇筑时间最快不应低于 240 分钟，最慢不能晚于 270 分钟，初凝时间应小于 120 分钟，随后启动模板提升装置，开始模板滑升。

### 5.1.2 滑升

(1) 滑模提升次数依混凝土强度和现场气温等情况综合确定，提升间隔时间不得超过 90 分钟，若提升过程中需增加提升次数，则其提升高度确定在 1~2 个千斤顶行程。

(2) 滑模提升过程中应保持操作平台处于水平状态，两个相邻提升架的千斤顶升差小于 1cm，其余千斤顶的相对高差小于 2cm。

(3) 滑模提升过程中，严格做好测量监测工作。垂直观测采用 2 台经纬仪进行 24 小时不间断监测，按照每提升 0.5m 观测记录 1 次，每作业班至少观测 2~3 次的间隔循环进行观测，同时做好监测数据的记录，并随时将记录情况反馈给作业班组。水平观测采用每提升 1m 测量调整一次的方式进行监测并做好相应记录。

(4) 滑模提升全过程中，液压控制台设备操作人员应详细记录模板滑升高度、时间间隔和次数等情况。

(5) 滑模提升过程中，应将模板上粘连的砂浆等杂物清理干净，同时应确保已绑扎就位的钢筋整洁干净。

(6) 滑模提升停止前，应对操作平台进行水平监测，按照规范要求允许值调整到位。混凝土浇筑应按规范要求达到同一水平面。按照每提升 1~2 个千斤顶行程的时间控制在 30~60 分钟的要求，持续进行至上层混凝土凝固。模板底部提升至操作平台顶部高程以上 5cm，支撑杆提升高度最大为 1.5m，并采用格构柱的方式在规范要求值内对支撑杆进行加固。

(7) 滑模提升停止前，应对操作平台进行水平监测，按照规范要求允许值调整到位。滑模提升过程中，应保持常态化测量各千斤顶升差值，若有误差及时纠偏，以严格确保模板与操作平台同步平行上升。监测可采用“限位器”的方式调整，即给千斤顶设置“限位器”，支撑杆安装机械制动档，即便升差出现，也可在制动档位置全部消除。亦可通过压载或调整油路负载的方式对升差进行控制调整。规范允许的垂直度偏差为高度的 1‰，偏差值观测采用经纬仪和模板观标相结合的方式。同时利用设置在浇筑仓位四角的垂标点，通过在提升架上悬挂绕轮进行吊线坠观测，至少每班进行两次检查，核查吊线坠是否与垂标点保持对准。一旦发现偏差，可采用下列方法及时进行纠偏：临时加荷、调整千斤顶垂直度、外加机械、改变浇筑方向、倾斜平台等。为保证混凝土整体浇筑质量，滑模施工应 24 小时不间断施作，直至滑升完毕为止。由于不可避免的机械故障、电力供应等原因造成的中断，应及时清理浇筑面层和操作平台，同时保持模板按照 30~40 分钟的间隔提升，以确保模板不粘连。

### 5.1.3 模板拆除

施工完毕整个工作面混凝土后，应将施工平台上的材料、机具和工具撤离。清理完毕具备拆模条件时，启动操作控制台，将滑模框架提升脱离混凝土平台。整理困扎钢丝绳，利用卷扬设备起吊，在钢丝绳均匀受力时停止，保护好千斤顶（油路不拆），采用气割方式解除爬行杆，最后将整体钢结构框架吊放置于地面。

## 5.2 木模板混凝土衬砌

### 5.2.1 混凝土浇筑前准备

#### (1) 基面清理

混凝土浇筑前，采用人工手持风镐清除松动及欠挖部位的石块，清理后使用高压风枪或水枪清理基岩面，使其保持

整洁干净。因技术操作及其他原因产生的施工缝或已浇筑面,使用机械凿毛、压力水冲毛以及人工凿毛等方式处理,以满足规范要求直至合格验收。

### (2) 测量放样

测量放样设备采用全站仪进行,首先施放结构边线,并用红漆准确标示已放样位置。根据测量放样施工进度,进行钢筋及模板安装,以确保按照规范要求精度施工。复测安装好的模板,以确保其误差满足设计规范要求。

### (3) 钢筋制作

钢筋制作加工严格按照设计图纸的规格、形状和数量进行,以确保满足规范质量要求,制作完成后,经验收合格后方可交付。

### (4) 钢筋安装

经验收合格交付的钢筋,采用8t平板汽车运输至现场,根据钢筋规格、形状和重量,采用人工或机械的方式运送至相应施工部位进行安装。钢筋全部采用搭接方式进行连接,搭接长度按照相关技术规范和设计图纸的具体要求施工。安装完成后的钢筋,由项目质检员自检,经现场咨询工程师验收合格后进入下道工序施工。

### (5) 模板配置

第9、10段采用木模板,模板板面采用2.7cm厚的木板,表面贴3mm厚的三夹板,模板支撑架采用截面不小于10×8cm的方木,支撑架最小间距为45cm,最大间距60cm。模板加工制造统一在木材加工厂内进行。确保加工好的木模板表面光滑平整,其每块重量控制在800kg以内,以便于6~8人进行现场安装。

### (6) 模板架立与加固

模板架立采用Φ20钢筋,按间排距2.0m进行布置,固定模板采用Φ12钢筋,按间排距1.5m进行布置,每根拉条穿过混凝土表面时采用定位锥进行连接。

### (7) 施工平台搭设

浇筑第9段时施工平台一次搭设到位,脚手架立杆纵横间距为1.2m,步距1.5m。为确保施工人员、材料及小型机具(混凝土振捣设备等)施工安全和方便,在浇筑第10段第1仓混凝土时不搭设施工平台,浇筑2~3仓时的施工平台采用扣件式钢管搭设。施工平台脚手架使用Φ48×3.5钢管搭设,脚手架立杆纵横间距为0.7m,步距1.2m,排架高度根据仓位高度相应增加。浇筑第4仓混凝土时,模板支撑体系

结合采用扣件式钢管脚手架,脚手架要求纵横整齐排列,竖向钢管垂直,通过钢管一字撑和剪刀撑固定连接。脚手架顶部用钢管纵横向连接,平台顶部铺设木条或竹条板以形成稳固的施工平台。

## 5.2.2 混凝土浇筑

### (1) 入仓、铺料、平仓

混凝土入仓采用BT60混凝土泵机,铺料采用平铺法。层铺厚度为30~50cm。为防止下料不均匀造成模板变形,应对称下料铺料,保持混凝土浇筑均衡上升。铺料后应立即进行平仓,平仓采用振捣器辅以人工的方式进行施工。

### (2) 混凝土振捣

混凝土铺料平仓后,振捣使用Φ50或Φ70插入式振捣器,钢筋密集处振捣使用Φ50振捣器。灌浆埋件附近无法使用振捣器的位置,使用人工管软振捣密实。严格按照规范要求控制振捣的速度和时间,避免漏振、过振等现象发生。侧墙和底板使用固定在模板上的附着式振捣器进行振捣。顶拱混凝土振捣以固定在模板上的附着式振捣器为主。

## 5.2.3 拆模、养护及缝面处理

### (1) 拆模

在混凝土强度达设计规范值,且结构表面不因拆模而损坏时,即可拆除侧墙和底板模板,拆除控制在混凝土浇筑24h后;在混凝土浇筑48h后,方可拆除顶拱模板。

### (2) 养护

混凝土浇筑完毕8h后,开始涂刷(喷洒)养护剂进行养护。

## 5.2.4 混凝土修复

拆除模板后,对混凝土表面出现的局部缺陷按相关规程规范进行处理。

## 6 结论与建议

(1) 为杜绝混凝土浇筑过程中模板变形移位情况发生,应加强现场施工人员的技术交底,现场值班木工应本着高度认真负责的态度,对模板及相应支撑附件等的牢固程度进行经常性检查,及时发现移位变形情况,一旦出现应立即报告现场技术人员,并按相关技术要求处理,杜绝模板变形移位现象的发生。

(2) 为保证洞室连接段即异型部位的混凝土浇筑及外观质量,应派经验丰富的浇筑技术人员进行现场管理,从而

保证混凝土浇筑满足规范要求。

(3) 在混凝土施工技术研究阶段,应结合项目自身的特点,选取匹配现场施工条件的混凝土浇筑方式,充分发挥木模和滑模各自施工的特点,加快施工进度。

(4) 南美地区国家对环保要求严格,通过对现场实际情况的调研,制定相应的环保措施,满足规范要求及符合当地环保习惯等。

#### 参考文献:

- [1] 周伟,王忠祥,赵斌.漫湾水电站尾水调压井井身混凝土滑模施工[J].水力发电,2007.
- [2] 丁伟,方志勇,张方安.调压井混凝土衬砌滑模施工[J].水电与新能源,2010.
- [3] 廖永江.缅甸太平江一级水电站调压井滑模施工技术探讨[J].科技与生活,2011.
- [4] 康建荣,朱发银.液压滑模施工技术在瓦屋山水电站调压井混凝土施工中的应用[J].四川水力发电,2011.
- [5] 李奇,李影,张晓龙.滑模技术在调压井混凝土施工中的应用[J].水利规划与设计,2013.