

# 塔贝拉水电站四号竖井滑模衬砌施工

陈 聪, 陈 云

(中国水利水电第七工程局有限公司 国际工程公司, 四川 成都 610081)

**摘 要:**巴基斯坦塔贝拉水电站四号引水竖井成井直径为 13.72 m, 井身总衬砌高度为 37 m。考虑到施工质量、进度要求, 结合施工现场实际情况, 采用自升式滑模衬砌施工工艺, 取得了较好的效果, 可供类似工程参考。

**关键词:**塔贝拉水电站; 竖井; 滑模; 施工技术

**中图分类号:** TV7; TV52; TV554

**文献标识码:** B

**文章编号:** 1001-2184(2018)03-0118-03

## 1 工程概况

塔贝拉水电站四期扩建工程位于巴基斯坦首都伊斯兰堡西北方, 是将现有的 4 号灌溉隧洞改为引水发电洞, 扩容 3 台单机容量为 470 MW 的混流式水轮发电机组, 使现有电站装机容量从 3 478 MW 增大到 4 888 MW。

4 号隧洞改建工程主要由上游侧取水口、引水竖井开挖、浇筑以及下游侧的压力钢管安装组成。竖井开挖总高度为 37 m, 开挖直径为 15.72 m, 顶部为进水塔。井身采用混凝土衬砌, 衬砌直径为 13.72 m, 衬砌厚度为 1 m, 为圆筒形薄壁结构。混凝土衬砌采用滑模施工, 施工高程为 372 ~ 409 m。

## 2 滑模结构

滑模根据竖井结构型式和布置特点采用液压调平自升式滑升模板。整个滑模主要由模板、桁架梁、提升系统、布料系统、工作平台等组成。

(1) 模板。模板由 24 块高 1.2 m, 弧长 1.8 m 的 P3015 定型钢模板组成, 使用 50 mm × 50 mm × 5 mm 的角钢作为加强肋。每块模板按照标准正锥度 0.5% 组装而成, 使得模板整体上口大, 下口小, 以便于滑升。模板斜度须经厂家专业人员调整, 如果斜度过小会将混凝土拉裂, 斜度过大会导致混凝土漏浆。

(2) 桁架梁。圆弧形桁架梁是滑模的主要受力骨架, 用来支撑和承受整个滑模工作平台的设备、人员、物资的重量。

(3) 提升系统。提升系统主要由多组按桁架梁周边均匀分布的爬升设备组成, 每组爬升设备

分为爬升杆和穿心千斤顶。考虑到滑模制作、组装、使用的便利性和经济性, 每两块模板之间配套设有一组爬升设备, 总共 24 组。爬升杆选用  $\varphi 48 \times 6$  mm 的钢管, 其下端埋在预浇的井壁混凝土之中, 上段穿过穿心千斤顶的通孔, 承受整个滑模的重量, 将其传递给井壁并作为井壁竖筋的一部分存留在混凝土井壁内。爬升杆件的加长采用与爬升杆外径相同的螺纹接头对接, 以防止液压穿心千斤顶卡死。接头错开布置, 在同一水平内的接头不超过 1/4。千斤顶选用 GYD-60 型滚珠式液压穿心千斤顶, 该设备为单回路液压系统, 组装前必须检查液压管路是否畅通、耐压是否符合要求、有无漏油等现象, 若有异常, 应及时采取相应措施予以排除。

(4) 布料系统。在确保施工质量和施工安全的前提下, 为尽可能降低滑模系统整体结构的重量, 减少输料管的拆装次数, 增加滑模上平台的施工空间, 该滑模系统采用旋转式布料系统。滑模上平台表面正中的鼓圈上通过高强螺栓连接有高 5 m 的立柱, 以此为中心旋转轴选用  $\varphi 48 \times 6$  mm 钢管铺设了两条圆形导轨, 布料架和绑筋平台均通过滚轮以立柱为中心, 沿着圆形导轨进行旋转施工。其中圆形导轨的布置不能与滑模主桁架的拼装相互干涉, 且布置的直径大小应满足布料施工和绑筋操作要求, 支撑点间的悬空长度不应大于 0.5 m (防止受力变形过大而导致断裂); 布料系统通过安装在布料架上的伸缩节的伸缩操作可以改变布料直径以实现混凝土沿井壁四周的灵

收稿日期: 2018-06-18

活、均匀布料。

(5)工作平台分为上下两层。上层平台由木板拼装而成:将木板水平铺设在桁架上并通过焊接限位钢筋、绑扎等方式进行固定,防止发生木板移位、脱落等安全事故。上层平台是主要的工作场所,用于施工材料的堆放以及钢筋绑扎、混凝土浇筑等施工活动。下层平台位于桁架下方 2.5 m 处:在桁架下方悬挂一环形工作平台,平台宽 0.6 m,沿滑模边缘环形布置,平台通过两侧的圆钢悬吊于桁架上,用于施工人员及时对浇筑后脱模的混凝土进行检查和养护以保证混凝土的质量。平台内侧和外侧均设有高 1.2 m 的安全护栏,防止跌落事故的发生。

### 3 滑模安装与调试

(1)滑模在正式使用前,首先在机械厂按照设计图纸并在厂家技术人员指导下进行预拼装及液压千斤顶调试,并按有关质量标准检查调整。

(2)滑模部件在厂内组装并经检验合格后,分块编号后用载重汽车运至竖井基坑,在龙门吊起吊作业平台组装完成,利用 40 t 龙门吊将其吊放到位至竖井底部起衬高程的脚手架平台上。

(3)平台主桁架按测量仪器指定的位置与副桁架连接,完成主平台的安装,然后将围梁、提升架、围圈、模板等装配完毕,每块模板应与理论位置重合,误差不大于 2~3 mm。模板就位后,必须保证每块模板有 5‰ 的正锥度,即上部较下部大 6 mm,绝对不允许有反锥。

(4)液压穿心千斤顶系统安装完成后进行调试试验:对千斤顶逐一进行排气并做到排气彻底,然后在试验油压下持压 5 min,不得渗漏。整体试验的指标(如空载、持压、往复次数、排气等)应调整适宜,记录准确。

(5)插装爬升杆。爬升杆的直径、规格应与所使用的千斤顶相适应,第一批插入千斤顶的爬升杆其长度不得少于 3 种,以保证滑升施工中爬升杆在同一水平内的接头不超过总量的 1/3。因此,第一批爬杆要有 3 种以上的长度:2 m、2.5 m 和 3 m,错开布置。爬升杆插装完成后,将主平台向上提升至预留出的试滑高程进行调试:试滑升 3~5 个行程(9~15 cm),通过测量仪器以及厂家

技术人员的检测对提升系统、液压控制系统、盘面及模板变形情况进行全面检查,发现问题及时解决,确保施工的顺利进行。调试合格后,方可完善平台铺板、通道等设施,绑扎出初滑高程的钢筋。滑模底部的抹面吊架需在滑模滑升浇筑到一定高程后再安装就位。

## 4 滑模施工

### 4.1 混凝土浇筑与振捣

#### (1)混凝土浇筑。

滑模施工按以下顺序进行:下料→平仓振捣→滑升→钢筋绑扎→下料。滑模滑升要求对称均匀下料,每一浇筑层的混凝土表面应在一个水平面上,并应有计划、均匀地变换浇筑方向。笔者建议:以爬升杆为标志,4 个爬升杆之间为一个浇筑区(每区 1/8 圆)。分层浇筑的厚度不应大于 30 cm,各层混凝土的浇筑间隔时间(包括混凝土运输、浇筑及停歇的全部时间)不得大于混凝土的凝结时间(相当于混凝土达 0.35 kN/cm<sup>2</sup> (3.5 MPa) 贯入阻力值的时间),当间隔时间超过规定,应按施工缝的要求进行处理。

#### (2)混凝土振捣。

采用插入式振捣器振捣,经常变换振捣方向;振捣不得直接接触及爬升杆、钢筋或模板;振捣器插入深度不得超过下层混凝土内 5 cm,模板滑升时停止振捣。

### 4.2 模板的滑升

滑升过程是滑模施工的主导程序,其他各工序作业均应安排在限定时间内完成,不宜停滑或减缓滑升速度迁就其他作业。模板的滑升分为初滑、正常滑升和完成滑升三个阶段。

#### (1)模板的初滑阶段。

初滑前,先浇第一层 30 cm 高的混凝土,第一层全部入仓后,继续浇第二层 30 cm 高的混凝土,第二层全部入仓后,估计底层混凝土已初凝,强度达到 0.3~0.5 MPa 后进行试升 3~5 cm,观察脱模混凝土的凝固情况,如果无流淌和拉裂现象、手按有硬的感觉并留有 1 mm 左右的指印则可以脱模。然后再浇第三层 30 cm 高的混凝土,进行试升 10~15 cm 后再浇筑第四层 30 cm 高的混凝土,再次进行试升 15 cm,如试升无异常,表明滑

升时间合适,则对所有提升设备和模板系统进行检查、调整,转入正常滑升。

模板初次滑升要缓慢进行,并在此过程中对提升系统、液压系统、控制盘柜及模板变形情况进行全面检查,发现问题及时处理,待一切正常后方可进行正常的浇筑和滑升。

### (2)模板的正常滑升阶段。

正常滑升程序为:绑扎钢筋→浇筑混凝土→提升→下一层绑扎钢筋。

施工进入正常浇筑和滑升时,应尽量保持连续施工,并设专人观察和分析混凝土的表面情况,根据现场条件确定合理的滑升速度和分层浇筑高度。根据下列情况进行鉴别:①滑升过程中能听到“沙沙”的声音;②出模的混凝土无流动和拉裂现象,手按有硬的感觉,并留有1 mm左右的指印;③能用抹子抹平;若不满足上述描述,则说明提升过早;相反,若其表面出现裂纹,则说明提升稍晚。提升过程中,安排专人检查千斤顶的情况,使所有的千斤顶充分进油、排油,观察爬杆上的压痕和受力状态是否正常,检查滑模中心线及操作盘的水平度并应及时纠偏和纠扭。

### (3)模板的完成滑升阶段。

模板的完成滑升阶段又称末滑升阶段。当滑模滑升至距竖井顶部标高1 m时,滑模即进入完成滑升阶段。此时应放慢滑升速度并进行准确的抄平和找正工作,以使最后一层混凝土能够均匀地摊铺,保证其顶部的标高及位置的正确,同时便于下一次浇筑时调整滑模的起滑高程和位置。

### 4.3 表面修整及养护

混凝土的表面修整是关系到结构外表和保护层质量的工序,当混凝土脱模后,必须立即进行此项工作。一般使用抹子在混凝土表面作原浆压平或修补,如表面平整亦可不做修整。为使已浇筑

=====  
(上接第61页)

[5] 王同建,著. 液压传动与控制[M]. 北京:机械工业出版社,2014.

[6] 杨嗣信,著. 模板工程现场施工实用手册[M]. 北京:人民交通出版社,2005.

作者简介:

邓 斌(1980-),男,四川威远人,工程师,从事水利水电工程施工

的混凝土具有适宜的硬化条件,减少裂缝,在模板下端使用喷雾器喷水或在混凝土表面涂刷养护剂进行混凝土养护。考虑到浇筑过程中竖井下方隧洞中还有其他的施工活动,喷水养护会对其造成影响,故不使用喷雾剂,而是安排人员在滑模下层平台对混凝土表面进行修整并涂刷养护剂。由于滑模不断向上提升,无法对较长时间前脱模的混凝土表面进行处理,故需安排足够的人员在下层平台及时、迅速地对待脱模的混凝土表面进行处理,以保证每次滑升后脱模的混凝土达到质量要求。

### 4.4 滑模的拆除

滑模滑升至井口409 m高程时,将滑模滑空后利用40 t龙门吊进行拆除。滑模装置的拆除在专人统一指挥下进行并预先编制安全措施。拆除顺序为:电路及电器设备、液压系统,最后拆除模板及上下操作平台。

### 5 结 语

巴基斯坦塔贝拉水电站四期扩建工程四号竖井混凝土衬砌采用自升式滑模施工,减少了传统施工方法中采用散装模板的施工工序,大大降低了劳动成本,提高了施工质量,加快了施工进度,保证了施工人员的安全,是一种经济、有效、安全、高效的竖井衬砌技术,值得同类工程参考借鉴。

### 参考文献:

- [1] 杜宜斌,张成益,伍新涛. 宝兴水电站调压室竖井自升式滑模混凝土施工技术[J]. 四川水力发电,2009,28(1): 66-70.
- [2] GB 113—87, 液压滑动模板施工技术规范[S].
- [3] SL 32—92, 水工建筑物滑动模板施工技术规范[S].

### 作者简介:

陈 聪(1993-),男,江苏南京人,助理工程师,从事水利水电工程施工技术和管理工作;

陈 云(1986-),男,四川成都人,工程师,从事水利水电工程项目管理工作. (责任编辑:李燕辉)

技术与管理工作;

吴 勇(1987-),男,四川资中人,助理工程师,从事水利水电工程施工技术与管理工

熊 潇(1988-),男,湖北咸宁人,助理工程师,从事水利水电工程施工技术与管理工

(责任编辑:李燕辉)