

# 引水隧洞圆弧段混凝土衬砌施工方案的调整

谭虢隆

(中国水利水电第七工程局有限公司, 四川 成都 610081)

摘要: 俄公堡水电站引水隧洞采用改装后的钢模台车并将其运用于圆弧段的衬砌, 解决了施工中的技术难题, 节约了费用, 满足了设计要求, 达到了业主对工程的质量要求。

关键词: 引水隧洞; 圆弧段; 钢模台车; 改装; 俄公堡水电站

中图分类号: TV7; TV554; TV544; TV51; TV52

文献标识码: B

文章编号: 1001-2184(2014)06-0010-03

## 1 工程概述

俄公堡水电站位于四川省木里县境内的木里河上, 为低闸引水式电站, 其上一级为沙湾水电站, 下一级为固增水电站。取水枢纽位于沙湾水电站厂房下游约 2.5 km 处, 于左岸取水后经长度约为 14.8 km 的引水隧洞引水至小沟河附近的厂址区建厂发电。引水隧洞在引 14 + 382.42 ~ 14 + 422.21 区间为 45.59° 的圆弧段, 圆弧半径为 50 m, 圆弧段长 39.79 m (图 1)。该圆弧段岩体为 V 类围岩, 设计开挖断面半径  $R=4.6$  m, 混凝土衬砌厚度为 60 cm, 衬砌成型后为直径 8 m 的圆形过水断面。

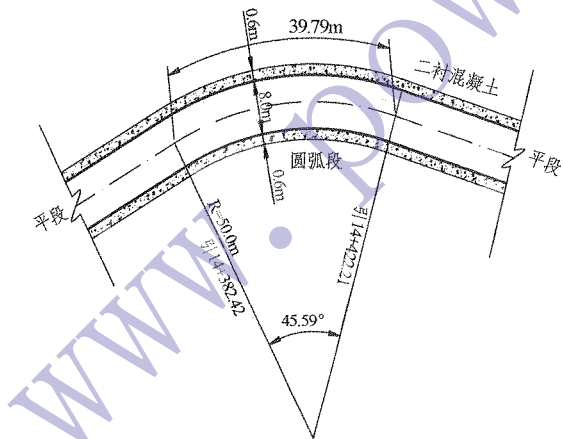


图 1 引水隧洞圆弧段平面图

## 2 引水隧洞混凝土衬砌施工方案

### 2.1 混凝土衬砌设计型式

引水隧洞共分四种围岩混凝土衬砌方式, II 类围岩段隧洞采用钢筋挂网、喷 15 cm 厚的 C20 混凝土进行永久支护, III、IV、V 类围岩洞段采用

C20 钢筋混凝土衬砌, 其中 III 类围岩衬砌厚度为 30 cm, IV 类围岩衬砌厚度为 50 cm, V 类围岩衬砌厚度为 60 cm。对 III、IV、V 类围岩洞段顶拱 120° 范围内进行回填灌浆, IV、V 类围岩洞段全断面采用固结灌浆, 全断面布置 12 个孔, 排距 3 m, 孔深深入基岩 5 m, 固结灌浆孔兼回填灌浆孔。不同围岩类别间设置永久缝, 相同围岩类别永久缝分段长度为 48 m, 缝宽 2 cm, 采用 GB651 型橡胶止水带止水, 填缝材料采用聚苯乙烯泡沫板, 橡胶止水带距离迎水面 20 cm。混凝土每隔 12 m 设置一道施工缝, 钢筋不穿过施工缝, 缝面涂刷生石灰水, 设置 GB653 橡胶止水带。

### 2.2 隧洞平段混凝土衬砌施工方案

根据业主在招标阶段的要求, 引水隧洞混凝土衬砌必须采用 12 m 长的针梁式钢模台车, 以保证混凝土衬砌的质量。

钢模台车设计为圆型, 衬砌一个循环的工作长度为 12 m。

台车由模板总成、托架总成、平移机构、门架总成、主从行走机构、侧向液压油缸、侧向支承千斤、托架支承千斤、门架支承千斤、针梁等组成 (图 2)。

(1) 模板总成: 模板由一块顶模及每边两块边模构成横断面, 边模与顶模通过铰耳轴联接。边模分成一块直模、一块弧模, 两块模板之间通过铰耳轴联接。每节模板的宽度为 1.5 m, 由多节组合而成, 纵向由 8 节组合成 12 m 衬砌长度, 模板之间皆由螺栓联接。模板上开有呈品字型排列的工作窗, 顶部安装有与输送泵接口的注浆装置。模板厚度为 6 ~ 8 mm, 各加强筋采用 75 mm × 6

收稿日期: 2014-09-06

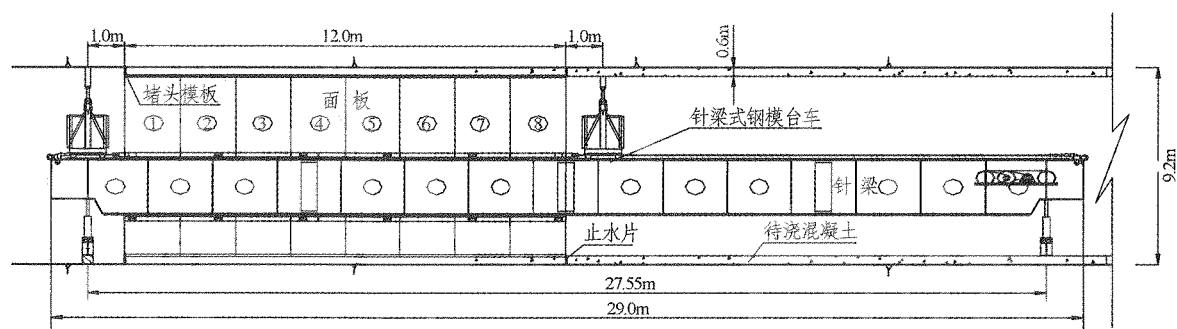


图2 针梁式钢模台车组成示意图

mm的角钢,间距250 mm。

(2)托架总成:托架主要承受浇筑时上部混凝土及模板的自重,其上承模板,下部通过液压油缸和支承千斤传力于门架。托架由四根纵梁、两根边横梁、多根中横梁及立柱组成。纵梁由钢板焊接成工字形截面(500 mm×300 mm);边横梁及多根中横梁由25b工字钢制做;立柱由18#工字钢制做。

(3)平移机构:钢模台车的平移机构前后各一套,支承在门架边横梁上。平移小车上的液压油缸(GE200/80-300,8个)与托架纵梁相连,通过油缸的收缩来调整模板的竖向定位及脱模,其调整行程为300 mm,工作油压为160 kg/cm<sup>2</sup>;水平方向上的油缸(GE100/63-400,4个)用来调整模板的衬砌中心与隧洞中心是否对中,左右可调行程为200 mm,工作油压为160 kg/cm<sup>2</sup>。

(4)门架总成:门架是整个台车的主要承重构件,由横梁、立柱及纵梁通过螺栓联接而成,各横梁及立柱间通过联接梁及斜拉杆联接。液压台车的主要结构件由钢板(厚14 mm)焊接。门架横梁由钢板焊接成工字形截面(450 mm×300 mm);立柱同样由钢板焊接成工字形截面(500 mm×300 mm);纵梁采用箱形截面(800 mm×500 mm)焊接而成。由于门架高度较高,为保证整个门架的强度、刚度和稳定性,在门架的主横梁下增加了两根辅助横梁,主横梁与辅助横梁间由20b工字钢联接成空间框架,既保证了立柱的压杆稳定性,又能在侧向压力的作用下有足够的刚度;门架及立柱间的各联接梁采用18#工字钢。

(5)主动行走机构:由于台车自重较大,因此其行走机构采用四轮驱动。驱动轮铰接在门架纵梁上。行走机构由Y型电机(电机总功率为4×15 kW)驱动一级齿轮减速后,再通过两级链条减

速,其行走速度为8 m/min,行走轮直径为300 mm。

(6)侧向液压油缸:侧向液压油缸的主要作用是模板脱模,同时起支承模板的作用,侧向脱模油缸在左右两侧对称布置,每侧上、下两层各布置了3组油缸(GE80/70-400),油缸工作油压为160 kg/cm<sup>2</sup>,共选用12个侧向脱模油缸,其调整行程为400 mm。

(7)侧向螺旋千斤:安装在门架上的螺旋千斤的作用是支承、调节模板位置,承受浇筑混凝土时产生的压力。螺杆直径为60 mm,其调整行程为400 mm。

(8)托架支承千斤:其主要作用为改善浇筑混凝土时托架纵梁的受力条件,保证托架的可靠和稳定。螺杆直径为100 mm,其调整行程为400 mm。

(9)门架支承千斤:其联接在门架纵梁下面,台车工作时,它顶在轨道面上,承受台车和混凝土的重量,改善门架纵梁的受力条件,保证台车工作时门架的稳定。螺杆直径为100 mm,其调整行程为200 mm。

### 2.3 隧洞圆弧段混凝土衬砌施工方案

引水隧洞圆弧段全长39.79 m,针梁式钢模台车针梁全长为29 m,台车无法自行通过圆弧段,在衬砌完隧洞直段后,将钢模台车拆除至圆弧段下游,隧洞圆弧段则采用普通钢模板进行衬砌。

先采用3015和1015模板拼装,浇筑隧洞底部120°范围内的仰拱。当仰拱混凝土达到7 d强度后,搭设80 cm×100 cm×100 cm的满堂脚手架,脚手架采用φ48钢管,钢管采用扣件进行连接。剩余240°范围隧洞的衬砌采用φ28钢筋加工成圆弧形,利用3015、1015模板以及3 cm厚木模板组合拼装成隧洞设计断面。在仰拱和顶拱混凝土接合面施工缝上安装GB653橡胶止水带

(图3)。

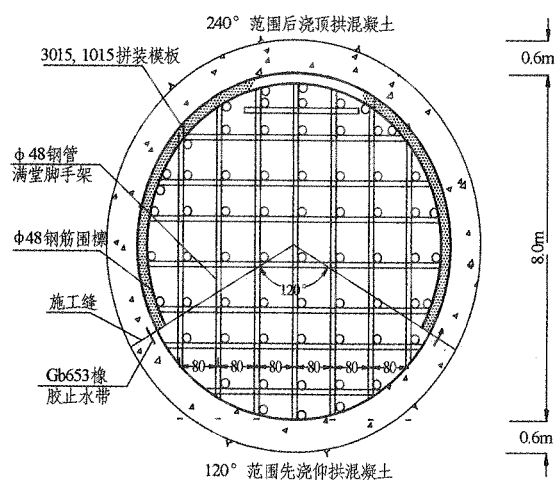


图3 隧洞圆弧段混凝土衬砌方案

### 3 引水隧洞圆弧段混凝土衬砌施工方案的调整

#### 3.1 方案调整的原因

(1) 引水隧洞进口底板高程为 2 297.6 m, 出口底板高程为 2 273.1 m, 全长 14.8 km, 为圆形有压隧洞, 比降约为 1.65‰, 引用流量为 191.1 m<sup>3</sup>/s。因隧洞内水流流量与流速偏大, 在引水隧洞混凝土衬砌施工前, 设计发出技术要求文件, 要求施工中严格控制, 不允许出现顺水流方向的施工缝。

(2) 鉴于俄公堡水电站为木里河流域较早立项的水电站, 是木里河流域一库六级电站的排头兵, 业主对其给予了极大的关注, 在混凝土外观质量上提出了很高的要求, 以四川省“天府杯”质量标准作为俄公堡水电站施工的质量标准。因此, 减少引水隧洞混凝土蜂窝、麻面、错台、挂帘以及施工中可以避免的施工缝是不得不考虑的因素。

#### 3.2 方案论证

引水隧洞圆弧段全长 39.79 m, 设计定义为 V 类围岩, 开挖成形洞径为 9.5 m, 一次喷锚支护后成洞洞径为 9.2 m, 29 m 长针梁式钢模台车若直接行走针梁将伸入隧洞外弧岩石内方能通过, 钢模台车直接通过圆弧段不可行。

最终决定对圆弧段进行扩挖, 将圆弧段扩挖成椭圆, 即外弧向外扩挖 3 m, 内弧向圆心方向扩挖 3 m, 隧洞顶部与底部直径保持不变, 扩挖后钢模台车可直接通过圆弧段, 圆弧段也可浇筑成 12 m 长的分仓单元。但对圆弧段实施扩挖有以下问题不能解决:

(1) 该引水隧洞圆弧段有一渗水点, 前期开挖阶段隧洞顶部曾发生过塌方, 后经混凝土回填并增加型钢支撑才完成塌方段封闭。若对圆弧段内外弧进行扩挖, 必须拆除现有型钢支撑, 同时增加隧洞顶板跨度, 存在顶板岩石失稳而发生再次塌方的危险。

(2) 圆弧段设计外弧半径为 54 m, 内弧半径为 46 m。扩挖后钢模台车虽能直接行走, 但混凝土分仓长度为 12 m, 将圆弧段变成为连续 12 m 长的折线, 弦高达 32 cm, 即外弧弦中心脱离外弧 32 cm, 内弧侵占设计结构线 32 cm, 从而形成了很大的视觉差异, 不能满足外观质量要求。

综合考虑以上因素, 最终认为只有对现有钢模台车进行改装为切实可行的办法。

#### 3.3 方案的实施

钢模台车改装场地: 引水隧洞圆弧段起始桩号为引 14+382.42, 在进入圆弧段前 23.94 m 平段停止混凝土衬砌, 将该平段作为钢模台车的改装场地。在改装洞段, 为了给模板拆卸吊装提供施工空间, 对 S=12 m 长的洞段底部进行了扩挖, 扩挖深度为 1 m。

钢模台车的改装: 钢模台车模板全长为 12 m, 由 8 节 1.5 m 长的面板组合而成, 模板之间皆由螺栓联接。为满足圆弧段施工需要, 拆除了 4 节面板, 使模板全长变为 6 m。台车针梁原长度为 29 m, 在拆除了可伸缩部分后, 改装后的针梁长度减少为 15 m。经过改装, 钢模台车全长为 15 m, 面板长度为 6 m, 可完全自行通过隧洞圆弧段。

方案的实施: 将钢模台车改装的平段一同纳入隧洞圆弧段进行混凝土衬砌施工, 调整后的隧洞圆弧段共分为 12 个浇筑单元。该引水隧洞为双层结构钢筋, 为尽可能的为钢模台车提供活动空间, 将结构的内层钢筋半径扩大了 20 cm。台车行走按照隧洞中心轴线行走, 然后以台车针梁为轴向圆心方向旋转 6°, 使钢模台车模板面板能够充分就位。浇筑单元的分仓线为发散型, 从圆心指向外弧。由于钢模台车面板长度为 6 m, 每次移动就位时在外弧搭接 15 cm, 以保证每次外弧衬砌长度为 5.85 m。台车面板在内弧面搭接 57.3 cm, 内弧衬砌长度在 4.98~5.85 m 之间。

#### 4 方案调整后的混凝土衬砌效果

(下转第 20 页)



从缆机月高峰浇筑强度和浇筑混凝土利用效率方面看:5个计算方案中3台缆机平均高峰浇筑强度在 $3.3 \sim 3.7 \times 10^4 \text{ m}^3$ 之间,最高的是比较方案2,即缩短层覆盖时间方案。该方案在有效时间内浇筑混凝土的时间利用率也最高,为71%,其他均为60%左右。

## 6 仿真结论

《乌东德水电站大坝浇筑进度仿真》系统具有通用性强、控制灵活、操作方便,可以与“乌东德水电站数字大坝”系统进行互访问,便于在工程实施期进度计划调整和实时控制。通过对乌东德水电站拱坝枢纽布置、施工特点分析,紧密结合施工组织设计方案,建立了乌东德水电站大坝仿真模拟模型,并进行了5个方案的仿真计算分析,计算分析的主要结论如下:

乌东德水电站大坝位于典型的窄“U”型河谷,河谷陡峭;同时,泄洪中孔坝段多,在15个坝段中布置了6个泄洪中孔;方案采取的河床坝段领先浇筑、到中孔附近岸坡坝段再逐步跳仓的坝体上升方案是适宜的。采用低高程调仓虽然可以均衡坝体浇筑强度,但一定程度上会影响领先块的上升,对于提早进行中孔钢衬安装有不利影响,其原因与乌东德大坝结构布置、河谷地形特征有关。

按照大坝施工组织设计方案,坝体从开浇到所有坝段浇筑至坝顶历时38个月左右;坝体高峰月浇筑强度接近 $10 \times 10^4 \text{ m}^3$ ,与P3进度计划分析的强度略有不同,出现在2016年12月或2017年1月,坝体浇筑部位为830 m高程附近,可浇坝段数为9~10个,整个坝面面积在 $10\,000 \text{ m}^2$ 左右。

(上接第12页)

由于采用钢模台车衬砌引水隧洞圆弧段,混凝土外观质量达到了与平段相同的效果。因钢模台车面板从12 m长改装为6 m长,增加了混凝土衬砌分仓单元,但施工完成后圆弧成形效果较好,外弧中心仅脱离设计结构线8 cm,内弧也仅侵占设计结构线8 cm,圆弧段整体折线从视觉上不明显。如此实施,减少了采用组合钢模板二次浇筑成型形成的顺水流方向的两条水平施工缝,满足

坝体浇筑强度出现的两个明显的高峰时段为2016年9月~2017年3月和2017年10月~2018年3月。

乌东德水电站大坝上升受泄洪中孔影响比较大,从2017年3月开始,泄洪中孔牛腿部位混凝土浇筑到2018年2月坝体浇筑过中孔闸门大梁,历时近一年,该段施工是乌东德大坝施工的关键阶段。

3台缆机的坝体混凝土入仓浇筑设备方案可以满足坝体混凝土浇筑强度和层覆盖时间要求。从缆机月浇筑混凝土强度看,中间一台缆机负担的混凝土浇筑强度大,达到 $4.5 \times 10^4 \text{ m}^3$ ,其他两台缆机高峰时段月浇筑混凝土强度为 $3 \times 10^4 \text{ m}^3$ 左右。高峰时段3台缆机平均利用效率(混凝土浇筑时间/月有效工作时间)为60%左右,说明缆机尚有一定时间辅助吊装。

当河床基础开挖至718 m高程时,施工组织设计方案采取了一些常规措施后也可以满足工期和控制性进度要求。另外,本工程坝体自下而上单个坝段浇筑仓面面积随高程变化不大,中孔906 m高程附近部位坝面面积基本上是坝体最大面积高程部位,整个大坝坝面面积达到 $13\,000 \text{ m}^2$ 左右,可浇坝段多,缆机吊深小,有利于充分发挥缆机浇筑混凝土的效率,而且二道坝在这个期间基本到顶,方案在这段安排的混凝土强度不高,有一定的提高坝体浇筑速度和加快进度的余地。

作者简介:

龚翼(1980-),男,重庆市人,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)

了设计要求。

## 5 结语

俄公堡水电站引水隧洞采用改装后的钢模台车运用于圆弧段的实例,解决了施工中的技术难题,节约了费用,满足了设计要求,达到了业主对工程的质量要求,取得了较好的效果!

作者简介:

谭城隆(1981-),男,重庆开县人,工程师,学士,从事水利水电工程施工技术与管理工作。

(责任编辑:李燕辉)