

羊曲水电站导流洞塌方处理技术

郭少军,师锋民

(中国葛洲坝集团第三工程有限公司,陕西西安710065)

**摘要:**羊曲水电站导流洞埋深较浅,所处位置地质条件差,隧洞断面大,开挖易塌方。在分析导流洞施工难点的基础上,结合类似工程塌方处理经验,主要采用“双排超前管棚”、“先拱后墙跟进衬砌”等施工技术,并通过优化支护参数和施工程序,顺利完成了该工程隧洞的塌方处理,且满足了导流洞过水的节点工期要求。相关技术措施可为类似工程塌方处理提供参考和借鉴。

**关键词:**导流洞;塌方处理;阶梯开挖;羊曲水电站

中图法分类号:TV551.1      文献标志码:A      DOI:10.16232/j.cnki.1001-4179.2015.18.016

1 工程概况

羊曲水电站位于青海省海南州兴海县与贵南县交界处,是黄河干流龙羊峡水电站上游“茨哈、班多和羊曲”3个规划梯级电站的最下一级,水库正常蓄水位2 715 m,为Ⅰ等大(一)型工程。枢纽工程主要由拦河大坝、左岸泄洪消能建筑物和右岸引水发电建筑物等组成,总装机容量为1 200 MW(3×400 MW)<sup>[1-2]</sup>。

导流洞洞身段长1 202.79 m,典型断面为城门洞型,断面尺寸13 m×17 m。闸室及其渐变段长68 m,闸室竖井中心线位于导0+450处,井深约47 m,高程范围为2 667~2 619.85 m,开挖断面10.2 m×24.4 m(宽×长)。导流洞洞身施工期共布置了2条施工支洞,其中1号施工支洞布置在上游,2号施工支洞布置在下游(见图1)。

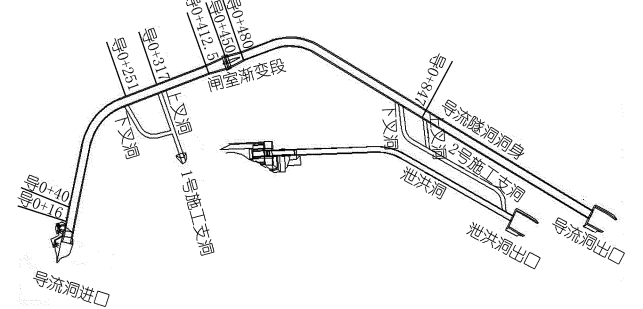


图1 导流洞施工平面布置

导流洞进口段位于微风化千枚状板岩中,岩性较软弱,层间结构面较发育,岩体完整性较差,围岩以Ⅳ类为主。洞身位于微风化砂质板岩中,岩层片理较发育,岩体完整性相对较差,围岩以Ⅳ类为主,其中,导0+380~0+460段通过根玛龙洼沟,隧洞埋深较浅,受地表风化和断层切割影响,岩体破碎。出口段为弱风化砂质板岩,隧洞上覆岩体厚20~30 m,受地表风化影响,岩体破碎,为Ⅳ类围岩。

羊曲水电站导流洞于2012年4月开工,后因泥石流地质灾害等原因停工,在2013年9月正式复工,至2015年3月开挖结束,历时36个月。

2 施工难点分析

导流洞洞身段开挖具有线路长、断面大、围岩差的特点,部分洞段埋深较浅,受地表风化和断层切割影响,围岩破碎、稳定性差、易塌方,对施工期安全极为不利,尤其是进、出口洞段和闸门井部位开挖是该工程施工的难点。为此,在施工期拟采取以下施工措施。

(1) 优化施工程序,减少独头掘进距离。导流洞洞身上段开挖时,经1号施工支洞从下游向上游独头掘进;洞身中段开挖时,分别经1号、2号施工支洞从两端向中间掘进;洞身下段开挖时,经导流洞出口从下游向上游独头掘进。

(2) 分层分块开挖,减少爆破扰动。导流洞洞身

采用钻爆法开挖,分 3 层施工,分层高度分别为:上层高度 7~8 m,中层高度 9 m,下层高度 3~4 m。上层主要采用全断面开挖,在不良地质段采用中导洞先行扩挖跟进的方法施工。中层采用中间抽槽,两侧预留 2 m 左右保护层,在不良地质段按层高 4.5 m 进行施工,保护层根据实际情况穿插作业。在钢拱架分布区,开挖后及时将钢拱架加固稳定。为了保证上层开挖施工道路不受影响,中层和底层采取半幅开挖,左右交替布置道路。上、中、下层开挖时保持 60~100 m 的安全距离同时开挖。

(3) 不良地质洞段严格按照“管超前、严注浆、短开挖、强支护、勤量测、快封闭”的原则组织施工。

### 3 塌方处理施工技术

#### 3.1 出口洞段塌方处理

导流洞出口洞段上层开挖支护到桩号 0+847 时,由于围岩条件较差,爆破后先是右拱肩发生小范围坍塌、掉块,之后该部位多次发生坍塌,范围扩大。此塌方体拟采用双排超前管棚法进行处理,具体措施如下。

(1) 在导流洞出口 0+845~0+857 范围塌方段边缘下游 10 m,按照 50 cm 排距架设 22b 钢拱架。

(2) 对塌方体石渣进行全封闭喷护处理,喷护采用 C20 混凝土,厚度为 15 cm。

(3) 塌方渣体喷护封闭以后,在顶拱塌方体边缘下游 2 m 处拱肩以上部位沿弧向进行双排超前管棚施工。第一排超前管棚仰角为  $25^{\circ} \sim 30^{\circ}$ ,弧向间距 35 cm;第二排超前管棚向下游平移 50 cm,管棚仰角为  $40^{\circ} \sim 45^{\circ}$ ,弧向间距 35 cm。超前管棚采用  $\varnothing 50$  mm 加厚无缝钢管,长 5~6 m,管壁设注浆孔,孔径  $\varnothing 10$  mm,间距为 60 cm,呈梅花型布置,尾部 1 m 不钻孔。超前管棚安装到位后进行注浆,注浆浆体为水泥净浆(掺速凝剂),配合比为水泥:水 = 0.5:1,注浆压力控制在 0.3~0.5 MPa。

(4) 超前管棚第一循环工作完成后,对塌方渣体用装载机或反铲配合自卸汽车进行出渣,出渣进尺为 50 cm(即相邻钢拱架的间距),出渣完成后用 22 b 钢拱架和系统锚杆及时支护,并用 C20 钢纤维混凝土满喷覆盖。

(5) 钢拱架支护每 4 榀(即 2 m)进行一次双排超前管棚施工,施工方法同上。注浆后进行下一循环的施工,直至塌方体处理完毕,塌方体处理过程中预埋  $\varnothing 60$  mm 的回填灌浆管。

(6) 塌方段顶拱利用钢筋混凝土衬砌。

(7) 待整个塌方区出渣支护完成后,对塌方区顶部空隙进行水泥净浆回填。

(8) 塌方处理期间,增加观测频次,在该塌方段顶拱部位开挖支护及衬砌处理完成后,根据观测成果进行评估,满足要求后再进行后续开挖。

(9) 中下层施工采用小台阶开挖,台阶高度不超过 4.5 m。施工程序均为:中槽先行贯通,边墙保护层分块间隔施工,中槽开挖宽度为 8 m,每个区块开挖支护完成后,立即进行钢拱架接腿满喷,及时完成相应支护和衬砌施工。导流洞出口塌方体管棚支护见图 2。

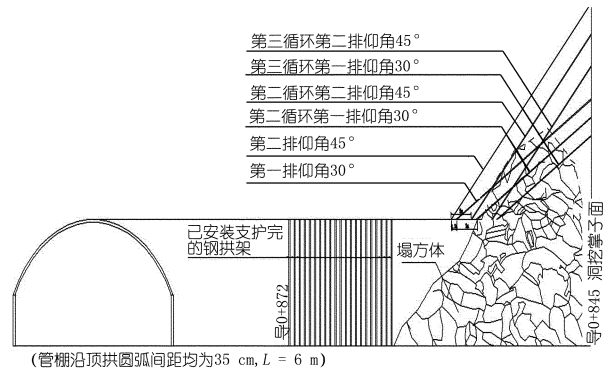


图 2 导流洞出口塌方体管棚支护示意

#### 3.2 进口洞段塌方处理

导流洞洞身进口上层扩挖支护期间,0+016 处顶拱先后 3 次出现塌方,形成高约 8 m 的空腔;同时,进口边坡导 0-28.7~0-8 段,高程 2 633.5 m~2 618.7 m 之间发生垮塌,形成一个水平长约 20 m,沿坡面高约 15 m、塌陷深约 2 m 的塌方面,测量资料显示洞脸边坡存在深层裂缝和变形。

塌方前的洞身进口段工程形象为:上层导洞已开挖完成,上层自洞内向洞外扩挖至导 0+018,中层开挖至导 0+30,底层开挖至导 0+40。

为保证导流洞进口边坡及进口洞段洞身稳定,导流洞进口岩塞段及边坡部位采取了以下施工措施。

(1) 完成洞脸边坡新增锚筋桩、预应力锚索支护和进口贴坡混凝土施工,导 0+0~0+8 段施工导洞两端设封堵钢模板,采用 C20 泵送混凝土回填密实,并在洞顶预留回填灌浆管,在回填混凝土 7 d 后进行回填灌浆。灌浆浆液为水泥净浆,配合比为水泥:水 = 1:1,注浆压力控制在 0.2~0.3 MPa。

(2) 完成导 0+30~0+18 段已开挖边顶拱部位衬砌。导 0+8~0+18 段采用双排超前管棚法处理,具体方法可参见 3.1 的步骤(3)~(5)。

(3) 完成上述两项且混凝土达到设计强度后,采用“短进尺,弱爆破,支护跟进”的方式,由洞内向洞外分左右 2 个区进行导 0+18~0+0 段的扩挖支护,每循环进尺 0.8 m,跟进支护。

(4) 完成导 0+0~0+18 段上层混凝土衬砌。

(5) 对塌方空腔用 C20 泵送混凝土回填。回填自下而上分层浇筑,每层 2 m,待下部达到 70% 强度后,再浇筑上层,至全部充填密实。为方便塌方空腔后期回填混凝土施工,在顶拱衬砌施工时,分别在导 0+009、导 0+010、导 0+011 顶拱处预埋 3.5 m 和 7 m 长的泵管。

(6) 塌方空腔混凝土回填完成后,开始中下层的施工,分为中一层(高 4.5 m)、中二层(高 4.5 m)和底层。施工程序均为:中槽先行贯通,边墙分段间隔施工,中槽开挖宽度为 8 m,每段开挖支护完成后,立即进行钢拱架接腿满喷,及时完成相应支护和衬砌施工。

### 3.3 闸室竖井开挖施工

闸室竖井的地质条件差、施工难度大、风险程度高、不安全因素多,拟采用先洞后井的方法开挖。考虑到竖井深度较小,竖井上部 10 m 通过降坡手段将井挖改为明挖,井身其它段采用先反导井,再分两级正井阶梯扩挖至设计轮廓线的开挖方式。爆破石渣通过导井溜至导流洞,由导流洞装车出渣。

#### 3.3.1 导井开挖

在导流洞渐变段闸室竖井中心位置用 YSP45 凿岩机向上钻孔,开挖直径为 2 m 的导井作为后续正井扩挖的溜渣通道。反导井开挖的循环进尺为 2 m,爆破后石渣自然掉落至导流洞闸室渐变段中上层开挖面的底板上,采用 1.2 m<sup>3</sup> 反铲配 20 t 自卸汽车(或 3 m<sup>3</sup> 装载机配 20 t 自卸汽车)出渣,反导井首次开挖使用钻爆台车爆破作业,每循环开挖后,需在掌子面附近的垂直壁面上沿同一高程圆周钻孔(孔深 0.8 m),呈径向布置,钻孔上安装可移动式挂钩锚杆,作为下一循环操作平台的支撑点,并在洞壁加设挂钩式爬梯。

#### 3.3.2 正井阶梯型扩挖

导井开挖完成后,在闸室竖井边缘设置防护栏杆,然后从闸室顶部开始采用正井阶梯爆破方式向下扩挖。一级阶梯扩挖断面为 4 m×8 m(宽×长),每循环扩挖深度为 2.5~3 m,采用 TY-28 手风钻造孔;二级阶梯扩挖断面为设计开挖断面,同样采用 TY-28 手风钻造孔,结构面采用预裂爆破。一级阶梯扩挖和二级阶梯扩挖交替进行,一级阶梯扩挖后需在二级阶梯扩挖面内缘和导井边缘布设临时防护栏杆,每循环支护作业跟进,在设计结构面上开挖一层支护一层,闸室竖井扩挖石渣利用导井溜至导流洞闸室渐变段,采用 1.2 m<sup>3</sup> 反铲配 20 t 自卸汽车或 3 m<sup>3</sup> 装载机配 20 t 自卸汽车进行出渣。人员上下采用固定钢爬梯,每开挖一循环,钢爬梯向下增加一循环的长度。

#### 3.3.3 闸室竖井塌方处理

闸门井扩挖完成 35 m(距离贯通剩 12 m)时,上游侧 2 648~2 655 m 高程的已支护段井壁发生局部塌方,形成较大空腔,并在井壁出现多条裂隙,闸门井上游侧自井口向下约 7 m 范围井壁出现局部变形,井壁与井口挡墙间形成长约 7 m,宽约 3 cm 的拉裂缝,在对井壁进行卸荷处理后,支护期间再次发生塌方,形成约 20 m×12 m×4 m 的空腔。

考虑闸门竖井 2 632~2 619.85 m 高程段未贯通,同时考虑到“导流洞具备分流条件”的节点工期,采取了以下塌方处理措施。

(1) 暂缓闸门井内施工。

(2) 闸室导 0+460~0+470 段和导 0+470~0+480 段的衬砌混凝土、边墩混凝土依次施工。

(3) 将导 0+442.5~0+460 段顶拱先浇筑成台阶状,高程至 2 619.25 m(边墩部位浇至开挖线高程),两边墩竖向钢筋安装至开挖高程。中墩竖向钢筋安装至防护平台高程。钢筋上端 1 m 部分采用木盒保护,后期浇筑时,将木盒拆除,钢筋按照规范要求连接。

(4) 制作防护平台。竖井恢复开挖后,为避免石渣对已经浇筑成型混凝土和金结埋件的破坏,同时考虑到竖井混凝土和金结安装施工时的安全防护,步骤(3)施工完成后,在上部采用 14 mm 厚钢板制作防护平台,平台尺寸 20.4 m×7.2 m(长×宽),用 I22b 工字钢支撑,工字钢横向间距 50 cm,两端在闸墩混凝土的锚固长度不小于 1 m。

(5) 该段顶拱首次浇筑完成后,开始门槽金结和二期混凝土施工。

(6) 闸室竖井采用正向开挖,从上部出渣。

(7) 竖井贯通后,将闸孔范围以外的钢板割除,木盒去除,钢筋修复延伸,导 0+442.5~0+460 段浇至设计体型。

(8) 闸室竖井内混凝土施工完成后,将闸孔处的钢板和工字钢割除并用吊车运出井,接着做好混凝土的表面缺陷处理。

## 4 结 语

在不良地质条件下的隧洞施工中,塌方比较常见。施工过程中,应探索适合不同地质条件的开挖支护参数和施工程序,加强安全监测,及时分析量测数据,反馈信息用以指导施工,适时加强支护,把塌方发生的可能性降至最低。羊曲水电站导流洞埋深较浅,隧洞断面大,地质条件差,开挖易塌方,本文介绍的相关塌方处理施工技术和工程实践,对类似工程施工具有

参考和借鉴意义。

参考文献:

[1] 李友华.溪洛渡水电站右岸导流洞大型洞室群开挖施工关键技术[J].水力发电,2005,(10).

[2] 冯兴龙,王焕明,陈恩瑜.巴基斯坦 N-J 水电工程引水隧洞开挖关键技术[J].人民长江,2014,45(1).

(编辑:胡旭东)

Research on collapse treatment of diversion tunnel of Yangqu Hydropower Station

GUO Shaojun, Shi Fengmin

(No. 3 Engineering Co., Ltd., China Gezhouba Group, Xi'an 710065, China)

**Abstract:** The buried depth of the diversion tunnel of Yangqu Hydropower Station is shallow, where the geological conditions are poor. The tunnel section is large, an prone to collapse in excavation. On the basis of analyzing the construction difficulties, the construction technology of double – row leading pipe – shed and first lining arch then wall were used and the supporting parameters and construction procedures were optimized by combining with the similar engineering collapse treatment experience, so that the treatment of tunnel collapse in Yangqu Hydropower Station is completed smoothly and the flow – passing of the diversion tunnel is on schedule. The technical measures can provide reference for collapse treatment of similar projects.

**Key words:** diversion tunnel; collapse treatment; step excavation; Yangqu Hydropower Station

(上接第 61 页)

[4] 张慧,杨仁树. 项目施工阶段成本管理浅析[J]. 施工技术,2008,37(S):425 – 428.

[5] 褚洪臣,李兰银,巩法慧,等. 建设项目施工阶段的工程造价管理[J]. 水力发电,2012,38(5):13 – 20.

[6] 顾基发,唐锡晋,朱正祥. 物理 – 事理 – 人理系统方法论综述[J]. 交通运输系统工程与信息,2007,7(6):51 – 60.

[7] 张彩虹,孙东川. WSR 方法论的一些概念和认识[J]. 系统工程,2001,19(6):1 – 8.

[8] 舒欢,李露凡. 基于 WSR 重大工程项目社会风险评价指标体系研究[J]. 项目管理技术,2013,11(4):26 – 30.

[9] 余立中. 大型工程项目管理的 WSR 系统模式实证分析[J]. 土木工程学报,2006,39(6):111 – 114.

[10] 缪莉莉. 基于 WSR 的设施管理关键因素分析和 服务效果评价[D]. 上海:同济大学,2008:17 – 43.

(编辑:邓 玲)

Project cost control in construction phase based on WSR

CHEN Zhiding, ZHANG Xiaoyun, GUO Qi

(Water Resources and Environment College, Three Gorges University, Yichang 443002, China)

**Abstract:** In the construction phase of a project, the interplay of uncertain factors including long construction duration, the maximum cost of resources like labor and material, fluctuation of market prices, change of natural conditions will affect the realization of the general target of the project. To effectively control the cost in construction phase, based on WSR (Wuli which means Technical perspective in Chinese, Shili which means organizational perspective, Renli which means personal perspective) System Methodology, a WSR model of the project cost in construction phase is established to analyze the related elements in project cost control and management, draw up cost control aims and measures, which in turn will reduce the complexity of construction management and provide effective methods for cost control in construction phase of different construction projects.

**Key words:** construction stage; project cost; WSA; cost control