

受水流冲蚀破坏的泄水洞修复技术

张荣贵¹, 程 颢²

(1.中国电建集团成都勘测设计研究院有限公司,四川 成都 610072;

2.黄河上中游管理局,陕西 西安 710021)

摘要:泄水洞修复工程要求合理地处理原结构残留、增强隧洞抗冲磨能力、提高耐久性且方便施工。针对官地水电站泄水洞各部位不同的破坏情况,使用抗冲耐磨混凝土和环氧砂浆两种修复材料组合并采用进口浅坑段增高原底板、中部深坑段分层回填至原底板、贴脚浇筑台阶、出口阶梯段改曲线陡槽、水垫消能的修复方案。以上方案的实施使修复工程质量合格、施工方便且经济合理,其研究成果可供类似工程借鉴和参考。

关键词:泄水洞;修复材料;修复方案;官地水电站

中图分类号:TV131.3;U449.86;G264.3

文献标识码: B

文章编号:1001-2184(2019)06-0118-04

Repair Technology of Outlet Tunnel Damaged by Water Erosion

ZHANG Ronggui¹, CHEN Kun²

((1.Chengdu Engineering Co., LTD, Chengdu, Sichuan, 610072;

2. Upper and Middle Reaches Administration of the Yellow River, Xi'an, Shanxi, 710021)

Abstract: The repairing work of the outlet tunnel requires reasonable treatment of the original structure residues, enhancement of the anti scour and wear capacity of the tunnel, and improvement of the durability and convenience for construction. Aiming at the different damage situations of each part of the outlet tunnel in Guandi Hydropower Station, two repairing materials, impact resistant and wear-resistant concrete and epoxy mortar, are combined used to raise the original bottom slab by applying shallow pit section, as well as to back-fill the middle deep pit section layer by layer to the original bottom slab, cast steps at the bottom, change the exit ladder section into curve chute, and apply water cushion for energy dissipation. The implementation of the above scheme makes the repairing work quality qualified, construction convenient, economic and reasonable, and the research results can be used for reference for similar projects.

Key words: outlet tunnel; repairing material; repairing scheme; Guandi Hydropower Station

0 引言

沟水处理工程是水电站沟口弃渣场防护的重要辅助工程,通常在弃渣场上游设置拦水坝,并通过溢洪道、泄水洞等设施将沟水引流到下游水库^[1]。泄水洞为永久工程,在长期运行中,隧洞底板和两侧边墙下部混凝土易受水流冲蚀破坏,底板出现较深冲坑、边墙冲蚀严重部位出现局部倒悬,各冲蚀部位钢筋裸露,破坏泄水洞的结构整体性,可能危及泄水洞本身及整体工程的运行安全。因此,采取合理的技术方案对泄水洞进行系统修复,保证泄水洞的长期安全运行至关重要。近年来,一些学者对水电站泄水道、消力池底板、输水

隧洞、泄水洞等受水流冲蚀修复进行了研究^[2-5],更多地考虑了修复材料和施工工艺,而对于如何合理处理原结构残留的研究较少。笔者结合泄水洞修复工程合理处理原结构残留、增强隧洞抗冲磨能力、提高耐久性且方便施工的要求,针对洞内和洞外泄水槽底板及左右侧边墙下部等部位不同的破坏情况进行分析并选取了合适的修复材料。同时,研究了相应的修复方案。

1 工程概况

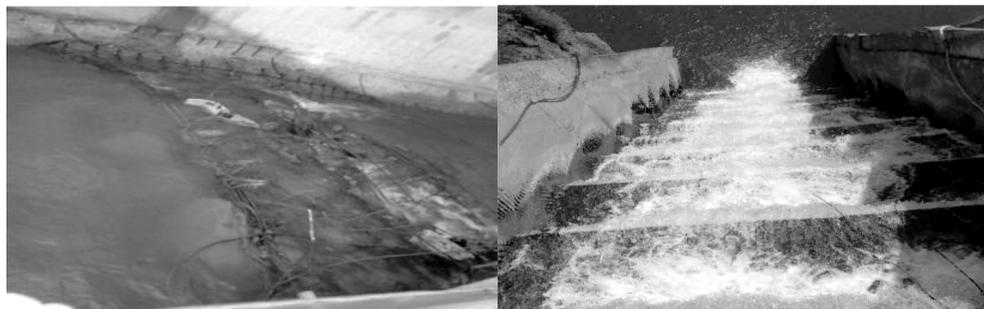
官地水电站的黑水沟内沟水处理工程采用拦水坝和泄水洞将沟水跨流域引至官地大坝上游库区。其中泄水洞工程由进口拦砂坎、隧洞洞身和出口泄水槽(消能跌坎)组成。泄水洞洞身全长

收稿日期:2019-11-06

811 m,底坡 2.3%,桩号为 K0+024.000 m~K0+787.000 m;出口泄水槽由平坡段、跌水段和斜坡明渠段组成,水平投影总长 227.5 m,跌坎总高差 142.5 m;死水位 1 328 m 以上第一段(K0+787.000 m~K0+799.198 m)为平坡明渠段,明渠宽度由 7 m 渐变到 11 m,明渠边墙高 5.8 m;第二段(K0+799.198 m~K0+855.098 m)为消能跌坎段,主要消能台阶高 3.6 m,宽 4.4 m,边墙高 7.8 m。

黑水沟泄水洞于 2007 年投入使用,由于施工条件差、工期紧张等原因,只在 2010 年通过隧洞

K0+647.698 m 的原施工支洞进行了 K0+647.698 m 之后的泄水洞底板部位和泄水槽底板的修复工程,泄水洞全洞段一直未进行系统修复。2017 年,对黑水沟泄水洞现场检查后发现,洞内和洞外泄水槽底板及左右侧边墙下部混凝土冲蚀破坏较严重,泄水洞 K0+647.698 m 之前的洞段局部钢筋完全裸露,贴脚和边墙底部被淘空,部分底板形成深坑达 2~3 m 深,K0+647.698 m 之后的洞内底板混凝土存在局部冲坑,仅有少量钢筋裸露,泄水槽段依旧冲蚀严重,局部钢筋完全裸露,典型冲蚀情况(图 1)。



(a) 洞内现状图

(b) 泄水槽现状图

图 1 官地水电站泄水洞和泄水槽冲蚀情况典型图

2 修复材料

2.1 抗冲磨材料

泄水洞受水流冲蚀破坏严重,修复工程所采用的材料要求抗冲磨能力强、耐久性高、施工方便且工程投资合理。目前国内常用的抗冲磨材料主要有高强度抗冲磨混凝土和抗冲磨涂层两大类^[6-7]。

2.1.1 抗冲磨混凝土选择

(1)根据规范要求,抗冲磨混凝土标号不得低于 C35。同时,考虑下部冲坑回填需要混凝土工程量大,为了控制成本,回填混凝土标号不宜太高,且上下部回填混凝土标号差别不宜过大。

(2)冲坑深度最深达 2~3 m 且不均匀分布,考虑修复工程施工的交通问题,冲坑需要先回填,下部回填混凝土宜采用泵送入仓方式;为达到更好的抗冲磨效果,上部回填抗冲磨混凝土厚度应尽可能大,且不宜泵送入仓,待下部混凝土浇筑完满足通车条件后再施工上部。结合以上要求,上部抗冲磨混凝土选用 HFC35,下部回填混凝土选用 C35 泵送混凝土。

2.1.2 抗冲磨涂层的推荐材料——环氧砂浆

抗冲磨混凝土和环氧砂浆都是应用广泛的抗冲磨材料。前者虽整体抗冲磨能力稍差,但施工简单,投资少;环氧砂浆虽各项技术指标最优,但投资高,且施工工艺复杂。因此,选择单一的修复材料在技术和经济上难以达到较好的平衡。结合隧洞及泄槽冲蚀情况、施工便利性、经济性等多种因素综合考虑,该次修复工程选择抗冲磨混凝土和环氧砂浆两种材料组合的修复方案。

(1)隧洞 K0+655 m(原施工支洞交叉口下游约 7.3 m)之前底板及贴脚部位修复,以及泄水槽段体型改建采用抗冲磨混凝土。

(2)隧洞边墙下部冲刷较严重部位、隧洞 K0+655 m 之后的底板及贴脚采用环氧砂浆修复。泄水槽平坡段底板及贴脚和边墙下部因冲刷不严重,采用环氧砂浆修复。

2.2 提高结构整体性的材料

原设计隧洞顶拱和底板为封闭结构,因底板混凝土几乎被全部冲毁,结构整体性被破坏。该次修复将原贴脚和边墙下部暴露在外的钢筋全部割除,清除所有杂物并冲洗干净。然后在不同部位铺设钢筋和锚杆以提高修复后混凝土结构的整

体性,钢筋的具体设置方案如下:

(1)在隧洞和泄水槽底板抗冲磨结构层配单层防裂钢筋网 $\Phi 12@20$,3 级钢筋,保护层厚度 10 cm,底板钢筋不与边墙现有钢筋连接。新浇筑的混凝土均不设结构缝,而应架立钢筋通长设置;

(2)底板结构层混凝土与下部回填混凝土(深坑)或基岩(浅坑)之间设插筋,3 级钢筋,长度 1.8 m,直径 $\Phi 22$,间排距 2 m,插筋顶部距底板顶面 10 cm;

(3)在边墙下部出现脱空的部位,设两排水平锚杆,距离底板顶面分别为 0.9 m 和 2 m。锚杆采用 3 级钢筋,长 3 m,直径 $\Phi 22$,间距 1.5 m,呈梅花形布置。

3 抗冲磨材料修复施工方案

该次修复工程在泄水洞下游侧平行布置一条永久性的检修隧洞,作为泄水洞修复施工期间的导流洞。由于黑水沟沟水洪枯比大,考虑施工期水流控制成本和施工安全风险,修复工程需在枯期内(11 月~次年 5 月)完成。修复工作内容多、施工条件差、工期较紧张。同时,因泄水洞断面较小,进、出口工作面交通布置不便,混凝土水平运输及入仓方式受限制。因此,如何在工期较短的条件下保质保量地完成修复工程,修复施工方案的选择较为重要。

修复范围包括隧洞底板、贴脚、边墙下部及泄水槽底板。由于泄水洞不同部位的冲蚀情况差别较大,因此,需要针对不同部位,拟定技术可行、经济合理的修复方案。

3.1 底板修复方案

隧洞 K0+655 m 之前底板及贴脚部位采用抗冲磨混凝土修复;K0+655 m 之后的隧洞底板及贴脚部位因经过 2010 年修复后破坏不严重而采用环氧砂浆修复。

3.1.1 HFC35 混凝土修复洞段

结合现场检查确定了抗冲磨混凝土厚度在 30~80 cm 之间。为保证 HFC35 混凝土和泵送 C35 混凝土层浇筑厚度均不小于 30 cm,根据冲坑深度分三段采取不同修复方案:

(1)由于隧洞进口 K0-024 m~K0+140 m 之间的隧洞底板冲坑深度较小,平均深度约 10 cm,将现底板顶面增高到原高程以上 20 cm 处,并将深度小于 10 cm 的局部冲坑凿深至 10 cm

后,用 30 cm 厚的 HFC35 混凝土修复。

(2)对于 K0+140 m~K0+150 m 之间为底板高程调整过渡段,隧洞底板高出原设计高程 0~20 cm,并全部采用 HFC35 混凝土修复。

(3)由于 K0+150 m~K0+655 m 之间的隧洞底板混凝土被冲刷殆尽,甚至形成了深度 2 m 以上的冲坑。因此,当冲坑深度 >80 cm 时,冲坑 50 cm 之下的部分先用 C35 泵送混凝土回填(表面凿毛),上部 50 cm 处采用 HFC35 混凝土;当冲坑深度 ≤ 80 cm 时,全部采用 HFC35 混凝土,且冲坑深度小于 30 cm 时需要先凿深至 30 cm。

底板施工缝除按规范要求进行处理外,还需设置 651 橡胶止水带。

3.1.2 环氧砂浆涂层修复洞段

混凝土表面凿毛后,再按要求施工环氧砂浆。环氧砂浆与周边的结构混凝土保持表面平整。深度小于 5 cm 的冲坑,直接采用环氧砂浆处理;深度在 5~30 cm 的冲坑,凿至 30 cm 深,先用 HFC35 抗冲磨混凝土浇筑,再施工表面环氧砂浆;深度 ≥ 30 cm 的冲坑,直接先浇筑 HFC35 抗冲磨混凝土,再施工表面 2 cm 厚环氧砂浆。

泄水洞修复典型剖面见图 2。

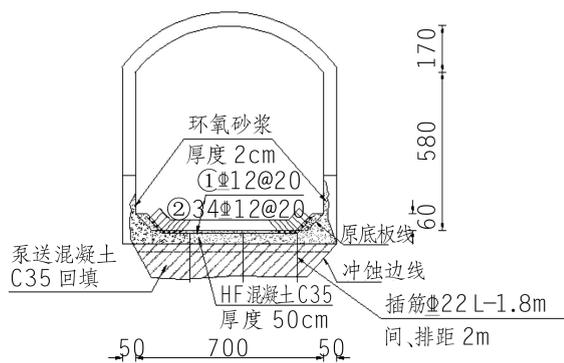


图 2 泄水洞修复工程典型剖面

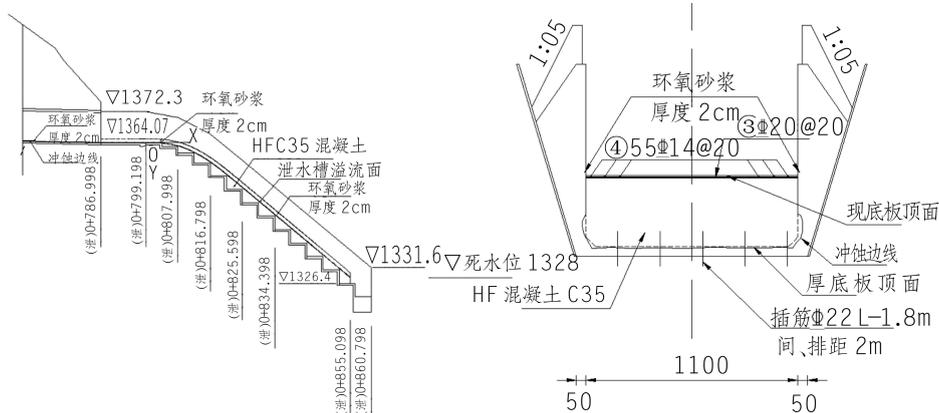
3.2 贴脚及边墙修复方案

泄水洞进口的贴脚基本完好,可以用环氧砂浆处理。K0+655 m 上游其余洞段的贴脚混凝土有的完全被冲毁、钢筋被冲断,有的部分被冲毁、钢筋暴露。由于贴脚混凝土较厚,不易剔除,为保证水流平顺,贴脚一律在原设计结构线之外补浇 30 cm 厚、60 cm 高的 HFC35 混凝土。残留的贴脚顶部用 2 cm 厚的环氧砂浆处理。边墙混凝土冲刷严重部位采用 2 cm 厚的环氧砂浆处理。

3.3 泄水槽修复方案

隧洞出口 K0+786.998 m 之后的阶梯泄槽转角部位虽经过 2010 年的修复,仍磨蚀较严重。因泄水洞出洞口至官地水库的落差已经降至 36 m 左右,且库水位消落深度在 2 m 左右,泄水洞

出口消能可以直接利用官地水库,将阶梯式泄水槽改为曲线陡槽,消能方式由阶梯消能改为水垫消能,可以大幅度减小高速水流和推移质对泄水槽的磨损。陡槽溢流面曲线见图 3。



(a) 泄水槽修复纵剖面图

(b) 泄水槽修复横剖面图

图3 泄水洞出口陡槽修复示意图

改建的陡槽段紧接泄水洞出口(高程 1 364.07 m)至死水位 1 328 m 结束,共改建 13 个台阶,水平投影长度 55.9 m,高差 36.07 m。从充分利用现有泄槽的角度考虑,上游 6 个台阶顶面采用近似抛物线的曲线,下部 7 个台阶顶面采用直线。

陡槽起始段(8.8 m 长)底板顶部部分凿除后涂 2 cm 厚环氧砂浆,之后的陡槽直接浇筑 HFC35 混凝土至溢流面曲线。为保证转角部位新浇混凝土的最小厚度大于 30 cm,亦为避免台阶前沿应力集中,原台阶转角部位水平和垂直方向各凿除 10 cm,形成 45°斜面。陡槽左右边墙下部 1 m 处和其他冲刷严重部位用 2 cm 厚的环氧砂浆处理。该环氧砂浆处理方式与环氧砂浆涂层修复洞段的处理方式一致。

4 结 语

官地泄水洞修复工程采用抗冲耐磨混凝土和环氧砂浆两种材料组合的修复方案,并配以钢筋和锚杆来提高其结构的整体性。在各部位针对不同破坏情况采取了相应的修复方案,在保障工程质量的前提下综合考虑了施工条件和工程造价。

在泄水洞长期运行过程中,由于受水流冲刷破坏的风险越来越大,为确保工程的安全运行,应对泄水洞进行检查和维修。官地泄水洞修复为高

流速状态下泄水洞的修复提供了一种可靠的、经济的、施工快捷的设计方案,为类似工程的泄水洞修复技术提供了参考。

参考文献:

- [1] 赵 芹,郑创新. 沟道型弃渣场分类及工程防护措施分析[J]. 中国水土保持, 2010(4): 38—40.
- [2] 刘俊柏,杜生宗. 龙羊峡水电站底孔泄水道冲刷破坏及其修复处理[J]. 西北水电, 1990(3): 31—36.
- [3] 巴金福,张昱峰,於洪钟,等. 黄河苏只水电站泄洪闸消力池底板冲刷破坏修复[J]. 大坝与安全, 2014(5): 55—58.
- [4] 方朝阳. 输水隧洞水毁破坏及修复[J]. 水电与新能源, 2000(1): 56—58.
- [5] 宁占金,唐儒敏. 抗冲耐磨混凝土在盘石头水库泄洪洞工程的应用[J]. 水科学与工程, 2004(5): 27—29.
- [6] 李春洪. 水工抗冲耐磨混凝土的特性与工程应用[J]. 建材发展导向, 2012, 10(5): 65—69.
- [7] 冯 啸. 抗冲耐磨砼和环氧砂浆在金沙峡电站枢纽消力池维修中的应用[J]. 甘肃水利水电技术, 2013, 49(8): 58—60.

作者简介:

张荣贵(1980-),男,四川自贡人,高级工程师,从事水利水电工程及水环境工程设计与管理工作;

程 鲲(1978-),女,陕西西安人,高级工程师,从事水土保持规划设计及水利水电工程设计工作。

(责任编辑:吴永红)