

临朐县大蚕场水库放水洞除险加固措施探讨

吴海波, 尹玲

(临朐县水库运行维护中心, 山东 临朐 262605)

【摘要】临朐县小型水库众多, 拥有放水洞的小型水库大多数完成封堵工作, 但部分未经封堵的小型水库在多年运行后出现放水洞渗水问题。文中以大蚕场水库为例, 通过方案比选确定采用内衬钢管加水泥砂浆灌缝充填的加固方案更为合理可行, 建设成效显著, 可为相关小型水库的放水洞除险加固提供参考借鉴。

【关键词】大蚕场水库; 放水洞; 除险加固; 内衬钢管

【中图分类号】TV697

【文献标志码】A

【文章编号】1009-6159(2026)-02-0021-04

Discussion on Risk Elimination and Reinforcement Measures for the Outlet Tunnel of Dacanchang Reservoir in Linqu

WU Haibo, YIN Ling

(Reservoir Operation and Maintenance Center of Linqu County, Linqu, Shandong 262605, China)

Abstract: There are numerous small reservoirs in Linqu County, and most of those equipped with outlet tunnels have completed plugging construction. However, some unplugged small reservoirs have suffered seepage problems in outlet tunnels after years of operation. Taking Dacanchang Reservoir as an example, this paper determines through scheme comparison that the reinforcement scheme of lining steel pipe combined with cement mortar grouting and filling is more reasonable and feasible, with remarkable construction effects. It can provide a reference for risk elimination and reinforcement of outlet tunnels of similar small reservoirs.

Key words: Dacanchang Reservoir; Outlet tunnel; Risk elimination and reinforcement; Lined steel pipe

大蚕场水库坝址位于临朐县九山镇大蚕场村北, 水库流域属弥河支流。水库建成于1973年, 于2009年进行过除险加固, 是一座以防洪、灌溉等功能为主的小(1)型水库。水库由大坝、溢洪道、放水洞等组成, 水库大坝为黏土心墙坝, 最大坝高28.3 m, 坝顶高程435.0 m, 坝顶宽度6.0 m, 坝轴线长度316.0 m, 迎水坡坡比1:2.5, 背水坡坡比1:2.0; 溢洪道位于大坝左岸, 开敞式溢洪道, 堰顶高程430.30 m, 溢洪道宽23.0 m; 放水洞为管涵式, 穿坝输水管为DN600混凝土管, 出水口末端改用DN350钢管与DN600混凝土管衔接, 并设闸阀控制。大坝设计洪水标准为30年, 校核标准为300年。

大蚕场水库放水洞运行年限接近50年, 管涵老化严重, 存在局部渗漏点, 且受当时施工条

件影响, 各管段连接处存在一定密封问题, 经长年累月的运行, 渗水问题逐年凸显。

1 坝体质量及放水洞工程地质条件

坝体采用人工填筑, 拖拉机碾压和人工夯实。心墙顶宽2.3 m, 保护层厚0.7 m。心墙填筑材料土料主要以壤土为主, 土质均匀较差, 局部夹大量风化岩碎屑, 具弱-极微透水性, 防渗性较好。坝壳土料成分复杂, 主要来源于残积物及少量河流冲洪积物, 根据颗分资料主要分为巨粒土、砾类土和砂类土三类, 由黏性土、坡积物、岩石碎屑组成, 坝壳土在发生地震时, 不存在液化的可能性。

收稿日期: 2025-10-01

作者简介: 吴海波(1976—), 男, 工程师

放水洞位于大坝右侧基岩上,为坝后闸阀式。洞身两侧及顶部填土主要为壤土,抗渗稳定性较好;放水洞洞基为片麻岩,岩性较单一,无软弱夹层,一般不会产生沉陷变形。大部分岩石裂隙不发育为弱透水性,抗渗稳定性较好。通过地质勘察,大蚕场水库坝体质量较好,放水洞周边土质能够满足抗渗要求且地基条件较好,在原放水洞无重大质量问题的情况下,可以采取加固措施进行除险加固。

2 方案比选

放水洞除险加固方案的设计应充分结合大坝的除险情况进行确定。针对大蚕场水库放水洞运行情况,并综合考虑安全性、经济性、工期长短以及施工难易程度等因素,拟定以下3个方案进行比较。

1)方案一。对原有放水洞进行拆除重建,改为C30钢筋混凝土方涵,断面尺寸1 m×1 m,长度83 m,坝前设置竖井闸门。优点是能够彻底解决放水洞渗水隐患,经久耐用,管理方便,泄水能力强;缺点是需要对坝体进行开槽,大体量土方开挖、回填,施工工期长且一次性投资大。

2)方案二。充分利用现有放水洞,洞内衬设1根长83 m防腐钢管,两管间隙灌水泥砂浆,坝前管道前端设置1套斜拉拍门。优点是能够充分利用现有放水洞,工程投资小,工程施工较为方便,通过成熟的灌浆技术能够有效处理放水洞周边的渗水问题;缺点是斜拉拍门启闭力较大,若存在坝前淤积问题,将在一定程度上影响日常管理维护。

3)方案三。充分利用现有放水洞,洞内衬设1根长83 m防腐管材,两管间隙灌水泥砂浆,末端续接防腐钢管,并设置工作闸阀及检修闸阀。优点是能够充分利用现有放水洞,工程投资小,工程施工较为方便,通过成熟的灌浆技术能够有效处理放水洞周边的渗水问题;缺点是为预防淤积堵管问题,需定期放水冲淤。

经综合比较,方案三具有经济性好、工期短、施工简单、日后管理及维修简单,并且安全性较高的优点,本着经济合理、技术可行、施工简单、运行可靠、管理方便的原则,确定选用方案三的除险加固方案。

3 放水洞除险加固处理方法

此方案是将原混凝土管内衬1根长度83 m DN350 TPEP防腐钢管(壁厚8 mm,压力等级0.6 MPa),进出口两管间隙3 m范围内采用细石混凝土封堵,其余管段两管间隙灌水泥砂浆;管道末端设DN350工作闸阀及检修闸阀各1个。施工前原管涵处理。施工前先对管道内存水进行排放,再对管路进行冲洗,往复冲洗不少于2次,以确保内衬管材与原管涵间没有影响结合性的不利因素。

3.1 内衬管材技术参数的确定

1)内衬管材类型的确定。主要取决于管段间连接的密实性、整体防腐性以及抗压性能。根据内衬管材的常用类型,拟对以下4种管材进行比较。

TPEP防腐钢管内壁光滑,糙率底,输水性能优异;无不良化学物质渗出,对水质无影响;外防腐采用三层聚乙烯防腐技术,内防腐采用热熔环氧树脂粉末涂层,耐腐蚀性强;通过成熟的管材连接技术,整体密封性好;抗外压及地基适应性强;使用年限长。缺点是管材每延米造价较高;管道连接一般采用焊接技术,对安装工人技术要求较高。

PCCP预应力钢筒混凝土管管道抗水锤能力较强;管材连接一般采用承插口双胶圈连接,安装简单,整体耐腐蚀性强,接口密封性好;抗外压及地基适应性强;管材造价低;使用年限长。缺点是内部光滑度一般,输水性能一般;安装时对场地及起吊设备要求较高。

玻璃钢管内壁光滑,糙率底,输水性能优异;耐腐蚀性强;安装简单;使用年限长。缺点是对施工沟槽回填的要求高,抗水锤能力差,抗外压及地基适应性差,管材造价偏高。

球墨铸铁管具有管道抗水锤能力较强、耐腐蚀性强、抗压性能较强、使用年限长等优点。缺点是管道内壁光滑度一般,输水能力一般;地基适应性较差;安装较为麻烦,安装质量受人为因素影响较大。

经综合比较,TPEP防腐钢管具有连接密实性好、内部光滑度好,防腐效果好、承压性能强且投资较低的优点,因此选用TPEP防腐钢管。

2)内衬管材直径确定。主要取决于原管涵的断面尺寸,并充分考虑管道过流、施工方便等问题,原管涵与内衬管材间预留最小 50 mm,最大 150 mm 的空隙。管材壁厚经计算后确定,并充分预留一定抵抗锈蚀与磨损的安全厚度。

内衬管材上游端为库区水域,下游端为自由出流的灌溉渠道(高程 415.50 m),管径计算公式如下:

$$d = \sqrt{\frac{4Q}{\pi v}} \quad (1)$$

式中: d 为管道直径,m; Q 为计算管段的设计流量, m^3/s ; v 为管道内水的流速, m/s 。

管径 d 与流速 v 的大小密切相关,流速 v 的确定需考虑其技术与经济条件,避免流速问题产生的水击作用对管道产生破坏。根据管道性质与工作状态,确定其经济流速为 2.5~3.5 m/s ,管径 d 与流速 v 的关系见表 1。

表 1 管径 d 与流速 v 关系表

管道流速/ $(\text{m}\cdot\text{s}^{-1})$	管道流量/ $(\text{m}^3\cdot\text{s}^{-1})$	管径尺寸/mm
2.5	0.25	0.36
3.0	0.25	0.33
3.5	0.25	0.31

经技术经济与可行性比较,选定内衬管材内径尺寸为 350 mm。

3)内衬管材壁厚确定。为确保内衬管材运行安全,按水库设计水位时相应管内水头进行计算;TPEP 钢管采用 Q355 钢。

$$P = (2B \cdot T) / (D \cdot S) \quad (2)$$

式中: P 为管道工作压力,MPa; B 为管道壁厚 m; T 为管道材料抗拉强度 MPa,取值 470; D 为管道外径,m; S 为管道调节系数,当工作压力 < 7 MPa 时候,取 $S=8$ 。

经计算, $B=5.35$ mm,考虑预留一定抵抗锈蚀与磨损的安全厚度,取管道壁厚为 8 mm。

4)内衬管材连接方式确定。TPEP 防腐钢管内衬长度为 83 m,单节管材长度一般为 12 m,需要多节管材进行现场连接。根据管材连接方式,拟对以下 4 种连接方式进行比较。

方式一是在工厂订购常规 TPEP 防腐钢管,进行现场焊接处理。优点是能够形成连续的管道系统,具有密封性好,结构强度高,适应性强,适用范围广等优点;缺点是需要专业的焊接工人进

行现场操作,且控制要点较多,施工速度慢。

方式二是在工厂订购带法兰盘的 TPEP 防腐钢管,利用螺栓将各管材连接。优点是便于安装、拆卸和维修,具有安装方便,适用范围广等优点;缺点是法兰盘增加了衬管与原混凝土管之间灌浆的不均匀性,影响后续灌浆的密实性,且施工过程中法兰盘易对原管涵结构产生不利影响。

方式三是在工厂订购带螺纹的 TPEP 防腐钢管,利用螺纹的旋合将各管材连接。优点是能够实现快速安装、拆卸;缺点是仅适用于低压、小管径管道连接,高压或腐蚀性介质中不适用,其次是密封性相对较差。

方式四是在工厂订购带沟槽的 TPEP 防腐钢管,利用沟槽+密封圈+卡箍的方式实现管材间的连接。优点是能够实现快速安装,施工简便,对施工环境要求低;缺点是适用范围窄,一般适用于中低压小管径管道。

放水洞汛期承压水头 > 10 m,且放水洞原管涵各管段连接处密封性较差,渗水较重;因此对内衬钢管承压能力及密实性要求严格,经综合研判,管道连接采用常规焊接方式。

5)TPEP 防腐钢管焊接工艺。施工流程是焊前准备→安装对口→定位焊接→底部焊接→填充层焊接→盖面层焊接→焊缝检查→接口内外防腐。

焊前准备分为分别为钢管检查、设备检查、防腐层保护以及管口处理。首先应检查管材是否符合设计要求,其次应检查表面是否有明显缺陷,钢管内外防腐层是否完好,如有破损应进行修补;根据管材选择合适的焊接材料,焊接材料做好防潮措施。然后检查焊接设备与辅助设备是否能够正常工作,供电的电流、电压等参数是否达标且稳定。在焊接区域附近对钢管防腐层进行保护,防止焊接过程中高温及飞溅物对防腐层的损坏。保护区域一般可设置为 100~150 mm。对钢管管口进行加工、清理,管口应做成 V 型坡口,角度 30°~35°,对管端内外 20~30 mm 范围内进行彻底清理,显露出金属本色,去除铁锈、油污等杂质。

安装对口利用起重设备将管道就位对口,采用对口器组队,内壁错边量不宜超过壁厚的 10%,且不大于 2 mm。

定位焊接采用免充氩不锈钢焊丝氩弧焊进

行定位焊接,定位焊接长度 80~100 mm,点焊间距不大于 150 mm。

底部焊接采用手工氩弧焊,焊前将点焊两端部位打磨平整,清理焊渣后进行连续焊接。

填充层焊接底部焊接层温度降低至 100 ℃ 以下,打磨清理完焊渣后进行填充层焊接。焊条选用与管体相应的碳素钢碱性焊条,采用手工电弧焊焊接方法依次连续焊接。

盖面层焊接在填充焊接层温度 100 ℃ 以下后进行,焊接采用手工电弧焊焊接方法依次连续焊接,盖面焊缝必须 1~2 mm,不得出现凹坑。

焊缝检查分为外观质量检查和无损检测。对焊缝外观质量进行检查,检查外形均匀度、焊缝宽度、焊缝表面余高、咬边深度及长度等观感质量是否达标。利用超声波检测、X 射线检测等手段对焊缝进行检测,检测标准参照《焊缝无损检测 超声检测技术、检测等级和评定》(GB/T 11345—2013) 和《金属熔化焊焊接接头射线照相》(GB/T 3323—2005) 等规范执行,焊缝不合格处进行返修处理。

焊缝检查合格后,对焊接区域附近的防腐层进行修复。接口内防腐主要涂刷防腐涂料,严格按照产品说明书比例进行防腐涂料配置,等涂料熟化 10 min 后进行涂刷,间隔 1.5 h 后进行第二次涂刷,涂刷层数>2 层。

接口外防腐主要为焊缝接口处打磨、清理、涂刷底漆、缠绕热收缩带以及黏贴固定片等,具体标准可参照《给水排水用承插柔性及搭接焊接口防腐钢管》(T/CSCS 042—2023) 等规范执行。

3.2 内衬管材安装

根据管材设计参数,材料采购须订购正规工厂 TPEP 防腐钢管,并提前规划好工程现场的管材存放场地。TPEP 防腐钢管经打包运输至场地后,首先进行质量检查,合格后组织专业管道连接技术人员进行 TPEP 防腐钢管的安装工作。因管材质量较重,拟采用小型吊车或滑轮车进行管材倒放,自坝前坡至坝后坡分节连接并导入原放水洞(管涵)中。

3.3 空隙充填灌浆

将放水洞原钢筋混凝土管与衬管之间灌浆封堵,在进口端原管顶预置一根 $\Phi 32$ 钢管作为排气管,在出口端原管底预置 $\Phi 100$ 钢管作为灌

浆管,将两管固定好;用后段开孔的钢管高压灌浆,灌浆压力为 0.3 MPa;第一次灌浆完成后,须在灌浆管中注满黏土浆,并要求不能堵塞灌浆管;每孔复灌 3 次,根据锤击敲管方式判断灌浆的密实度,如存在较大空隙部位应重新开孔进行补灌,确保内衬钢管与原管涵之间结合的整体性。

3.4 施工注意事项

1) 小水库除险加固工程通常安排在非汛期施工,一般工期较短,应选择技术力量雄厚且具有多年小水库除险加固工程经验的施工企业;另外,受山区地形崎岖、施工作业面较小的影响,需提前做好施工前准备工作。

2) 施工前务必进行原放水洞的冲洗工作,冲洗次数 ≥ 2 次,确保放水洞内壁的污垢青苔等冲洗干净,确保后续内衬钢管与之连接紧密。

3) TPEP 防腐钢管最关键的工序为焊接和防腐,需做到:焊接时必须采取挡风措施,严格控制焊接作业处风速,避免产生气孔;雨雪天或相对湿度大于 90% 时,必须停止焊接施工;严格控制焊接速度,确保焊缝饱满,宽窄一致。

4) 完工后需进行水库蓄水试验,派驻专人每日进场观察,填写观测记录表,以检验放水洞除险加固后的实际效果,出现不良问题及时上报。

5) 小水库管理单位应委托水利设计院编制或协助编制小水库放水洞险情应急处理方案或大坝综合应急预案,以最大程度保障小水库的日常安全运行。

4 结语

采用“内衬钢管+空隙充填灌浆”技术的实际应用成功解决了大蚕场水库放水洞的渗水问题,并取得了小水库放水洞除险加固的成功经验。该项技术投资省、施工方便且安全性较高,可以满足临朐县大多数小水库放水洞的渗水除险工程,使小水库能够有效发挥其应有的防洪、灌溉等综合效益。

参考文献

- [1] 刘桂林,蔡明霞,顾召亭.浅谈兰山区小型水库放水洞除险加固措施[J].山东水利,2008(7):27-28.
- [2] 孟宪岭.东阿鲁西供水管道 TPEP 防腐钢管特点及施工技术浅析[J].水利建设与管理,2018(8):14-17.

(责任编辑 张玉燕)