

键合,适用于室内外干燥环境;聚氨酯弹性体柔韧性佳,适用于动态裂缝或温差变化大的区域。而嵌缝密封则针对宽度0.3mm以上的裂缝,沿裂缝凿出V型或U型槽后,填充聚硫密封胶、硅酮密封胶等柔性材料,聚硫密封胶耐油性优异,适用于化工环境,硅酮密封胶耐候性强,适用于外墙或暴露结构,嵌缝前需清理裂缝并涂刷底漆,以确保材料与基材黏结牢固。

4.2 压力灌浆法

压力灌浆法是针对较深裂缝(宽度0.2mm-3mm)或内部存在疏松、孔洞缺陷的混凝土结构进行深层修复与加固的有效方法,通过高压注入浆液实现裂缝填充和结构整体性恢复。化学灌浆材料中,环氧树脂强度高、黏结力强,适用于静态裂缝或需恢复力学性能的场景;丙烯酸盐灌浆料凝胶时间可调(10秒至30分钟),渗透性强,尤其适用于高压渗水区域或动态裂缝,像在水池堤坝裂缝修复时,它能快速形成柔性防水层,有效抵抗水压冲击^[1]。在灌浆工艺与设备方面,需采用专用注浆机,从低位向高位缓慢注入浆液,待相邻注浆嘴溢出后移至下一位置,以此确保裂缝饱满,同时要根据裂缝深度和基材强度调整灌浆压力(通常0.3MPa-0.5MPa),防止压力过大造成结构二次损伤。

4.3 结构补强法

结构补强法是提升结构承载力、恢复其安全功能的有效手段,尤其针对存在深度裂缝或承载力不足、影响结构安全的构件。该方法通过外贴增强材料或增大构件截面来实现补强目的。其中,粘贴碳纤维布(CFRP)因其高强度轻质、耐腐蚀的特性,在梁、板等受弯构件加固中应用广泛。施工时,需仔细清理裂缝表面,涂刷环氧底胶后精准粘贴碳纤维布,并滚压排气确保紧密贴合,最后涂刷面胶保护^[4]。例如某桥梁加固,粘贴两层碳纤维布后,梁体抗弯承载力大幅提升40%。此外,钢板加固适用于受拉区开裂构件,外包混凝土法则能增强柱、墙等构件的刚度,施工时需确保新增部分与原结构紧密协同,避免脱空或应力集中。

4.4 填充与置换法

填充与置换法是针对局部严重损坏混凝土的有效修复手段,通过凿除劣化部分并填充高强材料或置换新混凝土,恢复结构完整性。其中,裂缝凿槽填充高强材料是沿裂缝凿出深10mm-30mm的槽,填充环氧砂浆、聚合物水泥砂浆等。环氧砂浆强度可达60MPa以上,能满足高压设备基础

等严苛场景的要求。而局部混凝土置换技术则是凿除损坏混凝土至坚实界面,涂刷界面剂后,浇筑高强无收缩混凝土或早强修补剂,置换时要分层振捣密实,防止形成冷缝。例如在某厂房柱头修复中,采用C50早强混凝土置换,仅24小时后便可恢复使用,大大缩短了维修周期,保障了结构的正常使用。

4.5 新型处理技术

随着材料科学的飞速发展,自愈混凝土与微生物修复技术为混凝土裂缝处理带来了革命性的突破,实现了裂缝的智能修复。自愈混凝土巧妙地在混凝土中融入微胶囊或纤维,一旦裂缝产生,这些微胶囊或纤维便应声而破,释放出聚合物、胶黏剂等高效修复剂,自动填补裂缝。实验表明,掺入玻璃管微胶囊的混凝土在裂缝达0.5mm时,7天内愈合率高达80%。与此同时,微生物修复技术利用巴氏芽孢杆菌等微生物的矿化特性,在裂缝中沉积碳酸钙进行修复,尤其适合微生物腐蚀引发的裂缝,兼具环保与长效优势。实验室数据显示,该技术能显著提升裂缝抗渗性50%以上,应用前景十分广阔。

5 结语

综上所述,水利水电工程中,混凝土裂缝问题普遍且危害严重,成因涵盖材料、施工、环境及结构与荷载等多方面。本文围绕成因分析,从材料优化、施工工艺改进等多方面提出预防技术,并介绍了多种裂缝处理方法,形成较系统的预防与处理体系,对保障工程安全等意义重大。展望未来,可深入研究材料性能与裂缝的关系,开发更高效的智能修复材料;同时,借助物联网、大数据等技术,实现裂缝实时精准监测与预警,构建更完善的“材料—设计—施工—监测—修复”全链条技术体系,提升工程混凝土结构耐久性与安全性。

参考文献

- [1] 肖兵.解析水利水电工程施工中混凝土裂缝处理技术[J].长江技术经济,2022,6(S1):83-85.
- [2] 邓强.水利水电工程施工中混凝土裂缝处理技术探讨[J].中国标准化,2019,(24):96-97.
- [3] 樊绍生.水利水电工程中混凝土裂缝施工处理[J].居舍,2018,(21):253.
- [4] 潘景富.水利水电工程中混凝土裂缝施工处理[J].吉林农业,2018,(14):62.

Design of Phased Cofferdams for Construction Diversion of the Lower Reservoir in a Pumped Storage Power Station

Hongna Yu

PowerChina Beijing Engineering Corporation Limited, Beijing, 100024, China

Abstract

This study takes a pumped storage power station under construction in Liaoning Province as the research object. During the bidding design stage of the power station, by integrating the project's terrain, geology, hydrology, and hub layout, it is determined that the phased diversion method is adopted for the construction diversion of the lower reservoir. The diversion structures include the narrowed riverbed, the first-phase longitudinal earth-rock cofferdam, the second-phase upstream and downstream earth-rock cofferdams, and the longitudinal concrete guide walls. This diversion method is safe, reliable, and economically reasonable, and provides a reference for similar projects.

Keywords

pumped storage; lower reservoir; construction diversion; phased cofferdam

某抽水蓄能电站下水库施工导流分期围堰设计

禹红娜

中国电建集团北京勘测设计研究院有限公司, 中国·北京 100024

摘要

本文以辽宁省某在建抽水蓄能电站为依托,在电站招标设计阶段,结合项目地形、地质、水文及枢纽布置,确定下水库施工导流采用分期导流的方式,导流建筑物包括束窄河床、一期纵向土石围堰、二期上、下游土石围堰和纵向混凝土导墙。该方式安全可靠、经济合理,对同类工程具借鉴参考意义。

关键词

抽水蓄能; 下水库; 施工导流; 分期围堰

1 工程概况

辽宁省某在建抽水蓄能电站位于辽宁省庄河市境内,距庄河市公路里程约 62km。本工程为大(2)型 II 等工程,规划总装机容量 1000MW。枢纽工程主要建筑物由上水库、输水系统、地下厂房及开关站、下水库等部分组成。下水库位于碧流河左岸支流蛤蜊河上,为碾压混凝土重力坝,最大坝高 38m,坝顶高程 154m,坝顶长 320m,坝顶宽 7m。拦河坝在河床中部布置 2 个表孔和 2 个底孔。下水库正常蓄水位 151m,死水位 139m,死库容 233 万 m³。

2 工程条件

2.1 水文、气象条件

庄河坝址以上流域地处北温带湿润气候区,降水多集中在夏季,冬季以降雪为主。据气象资料统计,多年平均

气温 9.1℃,极端最高气温 37.7℃,极端最低气温 -28.1℃;多年平均风速 2.8m/s,最大风速 23.7 m/s;多年平均降水量 763.7mm,本流域最大日降水量主要集中在 7~8 月,流域降水历时一般为 1~2 日,个别降水历时达 3 日,且流域暴雨时间大多集中在 18h 以内。碧流河流域的洪水均由暴雨形成,一次洪水过程一般 3~5 天,洪峰出现在集中降水后的 12~15h 之间。

表 1 下水库坝址天然设计洪峰流量成果 单位: m³/s

位置	各频率设计值				
	0.5%	1%	2%	5%	10%
下水库坝址处	1940	1690	1420	1060	787

2.2 地质条件

下水库库区沟谷断面形态呈不对称的宽缓“U”字型,河流呈“几”字型。两岸山脊高程 222m~495m,河谷底高程 125m~150m,谷底宽 105m~445m,纵坡约 7‰。沟谷左岸坡度 25°~40°,局部 60°~80°;右岸坡度 20°~30°,局部 50°~70°。

【作者简介】禹红娜(1996-),女,中国吉林榆树人,本科,工程师,从事水利工程研究。

2.2.1 一期纵向土石围堰地质条件

一期纵向土石围堰整体位于蛤蜊河河床，相应河床高程124m~130m，河水面宽不小于40m。沿线地形平缓开阔，总体坡度小于3°。

场地覆盖层以冲洪积砂卵石为主，埋深5.6m~8m，平均约6m，渗透系数 5×10^{-2} cm/s；基岩岩性为震旦系下统永宁组变质长石砂岩，为坚硬岩；不发育软弱岩；全风化层不发育；强风化层厚小于3m；弱风化层厚4.6m~12m，埋深10m~20m；深部为微风化~新鲜岩体。

围堰沿线基岩为弱风化变质长石砂岩，覆盖层结构较松散，对覆盖层进行适当整平、碾压可满足地基承载力要求。

2.2.2 二期上、下游土石围堰

上、下游土石围堰沿蛤蜊河主河道布置，场地地形平缓开阔，坡度小于5°；围堰左端与山体坡脚相连，地形缓慢抬升，坡度20°~40°。

上、下游土石围堰地质条件相当，覆盖层以冲洪积砂卵石为主，厚3.6m~6.5m，平均约5m；基岩为变质长石砂岩，不发育软弱岩体；全风化层不发育；强风化层仅见于临近岸坡处，厚1m~4m；弱风化层厚10m~30m；深部为微风化~新鲜岩体。

围堰较高部位均在导流河段内，覆盖层结构较松散，对覆盖层进行适当整平、碾压可满足承载力要求。

2.2.3 纵向混凝土导墙

纵向混凝土导墙沿下水库坝址河床顺河向布置，沿线地形平缓开阔，总体坡度小于3°。

纵导墙部位发育的覆盖层以冲洪积砂卵石为主，厚5.6m~8m，平均约6m；基岩为变质长石砂岩，不发育软弱岩体；全、强风化岩体不发育；弱风化层厚4.6m~12m，埋深10m~20m；深部为微风化~新鲜岩体。

纵导墙沿线河床覆盖层结构较松散，挖除覆盖层后，充分利用基岩建基，无不均匀沉降问题。

3 施工导流设计

3.1 施工导流方式

下水库拦河坝施工导流采用两期导流方式。一期围封右侧坝段，河水经左岸拓宽后的原河床下泄，右侧底孔坝段、表孔坝段、非溢流坝段及纵向混凝土导墙，在一期纵向土石围堰保护下施工；待右侧坝段具备挡水条件且底孔坝段满足泄流要求后，实施河道截流。二期围封左侧坝段，河水由右侧已建坝体底孔下泄，左侧坝段在二期上、下游围堰及纵向混凝土导墙保护下施工。

3.2 施工导流标准

下水库拦河坝为混凝土重力坝，2级建筑物，根据《水电工程施工组织设计规范》（NB/T 10491-2021）规定^[6]，相应导流建筑物为4级建筑物。一、二期导流标准均采用全年10年一遇洪水^[5]，洪峰流量为787m³/s。

3.3 施工导流程序

一期导流自第2年10月至第3年9月底，共12个月。本期由一期纵向土石围堰挡水，束窄河床过流，相应洪水标准采用全年10年一遇，洪峰流量787m³/s，围堰上游侧水位130.89m，围堰下游侧水位128.68m^[2]（根据下水库拦河坝坝址处水位~流量关系成果得）。

二期导流自第3年10月截流至第5年4月底，共19个月。本期由二期上、下游土石围堰及纵向混凝土导墙挡水，已建坝体底孔泄水，相应洪水标准采用全年10年一遇，洪峰流量787m³/s，围堰上游侧水位138m^[2]（根据下水库拦河坝泄水建筑物泄流能力成果得），围堰下游侧水位128.68m。

4 导流建筑物设计

下水库拦河坝施工导流建筑物包括：束窄河床、一期纵向土石围堰、二期上、下游土石围堰和纵向混凝土导墙。

4.1 束窄河床

一期导流束窄河床长240m，底宽40m，上游底高程126m，下游底高程125m，纵坡降0.42%，设计洪水流量787m³/s。坝址附近河床局部进行土石开挖，左岸坡度1:1.75，右岸坡度1:1.65。根据宽顶堰计算公式^[1]，正常水深3.69m，临界水深3.24m，过水断面面积171.33m²，壅高水深4.89m，上游水位130.89m。

4.2 一期纵向土石围堰

根据水力学计算，围堰上游横向段顶高程132m^[4]，挡水水位130.89m；下游横向段顶高程130m，挡水水位128.68m，纵向段顶高程132~130m。围堰全长约517.86m，分上游段（含上游转弯段）、纵向段、下游段（含下游转弯段），轴线长度分别为143.94m、182.33m和191.59m，上下游段转角分别为101°、90°、34°，转弯半径分别为27m、30m、40m。上游段最大堰高约3.5m，下游段最大堰高约3.5m，纵向段最大堰高约6m。考虑交通要求，堰顶宽度8m。围堰堰体填筑料来自下水库库内砂砾石料，围堰迎、背水侧坡比均为1:1.65，围堰堰体及堰基覆盖层采用高压旋喷灌浆进行防渗处理，高喷墙底部入岩1m，最大深度约12m，单排布置，孔距1m。

围堰纵向段在设计流量787m³/s下，表面最大流速5.03m/s，为避免围堰堰体被冲刷破坏，在围堰上游转弯段、纵向段、下游转弯段迎水面采用抛石护坡，厚1m。

4.3 二期上、下游土石围堰

二期上游土石围堰，挡水水位138m，考虑安全超高等因素，确定上游土石围堰堰顶高程139.5m，最大堰高约13.5m，堰顶宽8m，围堰迎水侧边坡坡比1:1.75、背水侧边坡坡比1:1.65，全长约104.63m。围堰防渗平台高程130m，防渗平台以上围堰堰体采用复合土工膜心墙防渗，防渗平台以下围堰堰体和基础采用高压旋喷灌浆进行防渗处理，高喷墙底部入岩1m，最大深度约10m，单排布置，