

表8 爆破试验数据参数表

参数 试验名称	梯段高度 h (cm)	孔径 D (mm)	药径 d (mm)	孔距 a (cm)	排距 b (cm)	最小抵抗线 W (cm)	超深 H (cm)	孔深 L (cm)	堵塞长度 L堵 (cm)	单孔装药 量 Q1 (kg)	炸药单耗 q (kg/m ³)
主(次)堆 第3组	1500	110	90	3.0	3.0	3.0	100	1600	2500	54.00	0.60
过渡料 第3组	1000	110	90	3.0	2.5	3.0	100	1100	2500	45.00	0.60

6 结语

本次漳浦县朝阳水库工程坝料开采生产性爆破试验取得了圆满成功。通过为期 37 天的现场试验与数据分析,试验成果表明,采用孔径 110mm、梯段高度 10~15m (主次堆石料) 及 10m (过渡料)、孔距 × 排距为 3.0m × 3.0m (主次堆石料) 及 3.0m × 2.5m (过渡料)、炸药单耗 0.60kg/m³ 的耦合装药方案,所获得的石料级配良好,各项指标符合设计与规范要求,适用于本工程地质条件。采用该爆破参数爆破出来的石料满足施工要求,且属于主(次)堆石料及过渡料的最优爆破参数,为后续大规模、高强度的大坝填筑施工奠定了坚实的技术基础。

试验总结了钻孔设备、炸药选型、起爆方式、安全警

戒等环节的施工工法,对指导后续料场开采作业具有重要的实践价值,也为同类工程的爆破设计与施工提供有益参考。

参考文献

- [1] DL/T 5016-2011, 混凝土面板堆石坝设计规范[S]. 北京: 中国电力出版社, 2011.
- [2] 刘殿中, 杨仁华, 李启光. 工程爆破实用手册[M]. 北京: 冶金工业出版社, 2003.
- [3] 汪旭光, 于亚伦. 炸药与爆破技术[M]. 北京: 冶金工业出版社, 2010.
- [4] GB 6722-2014, 爆破安全规程[S]. 北京: 中国标准出版社, 2014.
- [5] 顾毅成, 张永哲. 工程爆破施工与管理[M]. 北京: 冶金工业出版社, 2005.

Analysis of seepage field and design of seepage prevention and reinforcement scheme for concrete gravity dam

Xiaonan Song

China Hydropower Infrastructure Co., Ltd., Tianjin, 301700, China

Abstract

This study investigates seepage field analysis and anti-seepage reinforcement design for concrete gravity dams, examining seepage effects on dam structures. The research reveals that seepage pressure and buoyancy force compromise sliding stability, disrupt stress equilibrium causing localized stress concentration, and erode concrete through water-carrying media, thereby reducing durability. Based on these findings, the study emphasizes that anti-seepage reinforcement design must adhere to safety-first principles and technical feasibility. Concrete's water resistance grade is determined by seepage pressure conditions and head height, with differential reinforcement structures implemented for dam foundation and body cracks. Three core reinforcement technologies are proposed: concrete seepage walls to block deep seepage, curtain grouting to fill rock layer fractures, and optimized drainage systems to reduce seepage pressure. The research aims to provide systematic solutions for seepage control in concrete gravity dams, ensuring structural safety, extending service life, and offering practical references for seepage reinforcement in hydraulic engineering.

Keywords

concrete gravity dam; water seepage control; reinforcement strategy

混凝土重力坝渗流场分析及防渗加固方案设计

宋笑南

中国水电基础局有限公司, 中国·天津 301700

摘要

本文围绕混凝土重力坝渗流场分析及防渗加固方案设计展开研究, 剖析渗流对坝体的影响: 通过渗透压力与浮托力削弱抗滑稳定性, 打破应力平衡引发局部应力集中, 携带介质侵蚀混凝土降低耐久性。在此基础上, 明确防渗加固设计需遵循安全优先、技术可行等原则, 结合渗压环境与水头高度选择混凝土抗渗等级, 并针对坝基、坝体裂缝差异化设计防渗结构。最后提出三大核心加固技术, 混凝土防渗墙阻断深层渗流、帷幕灌浆填充岩层裂隙、优化排水系统降低渗透压力。研究旨在为混凝土重力坝渗流控制提供系统方案, 保障大坝结构安全, 延长其使用寿命, 为水利工程防渗加固实践提供参考。

关键词

混凝土重力坝; 防渗; 加固策略

1 引言

水库在人类社会发展中发挥了重大作用, 但因水库大坝自身安全性导致的溃坝和洪水风险, 严重威胁人类生命财产安全。对于混凝土重力坝, 大坝自身与其基础都是透水性材料, 特别是坝基岩石断层、节理发育时, 运行过程中会形成渗流。渗流通过基础节理、裂缝而产生向上的渗透压力, 减小自重效应, 降低抗力, 最终影响混凝土重力坝的抗滑稳定性。

2 渗流对混凝土重力坝结构的影响

2.1 对坝体稳定性的影响

渗流现象会在坝体以及坝基的内部产生渗透压力和浮

托力, 这会直接对坝体抗滑稳定能力起到削弱作用, 当坝基岩体或坝体混凝土存在孔隙、裂隙的时候, 水流会顺着这些通道进行渗透, 使坝体底部承受向上的浮托力, 这等同于减小了坝体的有效重量, 降低了坝体与坝基接触面的抗滑摩擦力。渗透压力会使坝基应力状态发生改变, 如果渗流通道发育或者防渗体系失效, 就有可能引发管涌、流土等渗透变形, 对坝基土体结构造成破坏^[1]。当渗透力超过坝基土体抗剪强度时, 会导致坝基失稳, 严重情况下会引发坝体整体滑动, 给大坝安全带来致命的威胁, 而这也是混凝土重力坝渗流控制需要优先去解决的核心问题。

2.2 对坝体应力分布的影响

渗流可打破坝体原本的应力平衡状态, 致使内部应力再次分布。在渗流发挥作用时, 水流会带着水分进入坝体的孔隙以及微裂缝当中, 使混凝土的湿度分布不均衡, 引发干湿变形的差异, 产生额外的应力。对于坝体的不同区域而言,

【作者简介】宋笑南(1991-), 男, 中国河南漯河人, 本科, 工程师, 从事水利水电研究。

迎水面受到渗流压力的作用,会产生朝着坝体内部方向的压应力,而背水面由于水流渗出,有可能出现拉应力集中的状况^[2]。如果坝体存在施工方面的缺陷或者老化裂缝,渗流会让裂缝尖端的应力集中效应变得更加严重,导致裂缝不断扩展延伸,长时间的应力分布异常会让坝体局部的结构强度下降,有可能引发新的裂缝或者让原有的损伤扩大,对坝体整体结构的完整性造成影响,增加安全方面的隐患。

2.3 对耐久性的影响

渗流所携带的水分、溶解盐类和化学介质,会对混凝土产生持续不断的侵蚀作用。降低坝体的耐久性,一方面,水流会致使混凝土中水泥水化产物流失,破坏水泥石结构,使混凝土孔隙率增大且强度下降。另一方面,渗流中的氯离子、硫酸盐等离子会渗透到钢筋表面,破坏钢筋钝化膜,引发钢筋锈蚀,锈蚀产物体积膨胀会造成混凝土开裂,加速渗流通道的形成。在寒冷地区,渗流进入坝体孔隙后,冬季结冰体积膨胀,会产生冻胀应力,反复冻融循环会让混凝土表层剥落、内部结构变得疏松,缩短大坝的使用寿命。从长期来看,耐久性下降会逐渐削弱坝体承载能力,增加维护成本以及安全风险^[3]。

3 混凝土重力坝渗流场防渗加固方案设计原则与要点

3.1 设计原则

防渗加固方案设计要遵循安全优先、技术可行、经济合理、长效适配这些核心原则。安全优先意味着方案要可以有效地控制渗流风险,保障坝体结构稳定,符合现行水利工程安全标准,并且还要考虑极端工况下的防渗可靠性,技术可行是指方案需要和大坝地质条件、坝体现状相匹配,所选用的技术成熟而且施工难度可控制,防止因为技术复杂致使实施延误或者效果不好^[4]。经济合理要求在契合防渗要求的基础上,对比不同方案的造价与运维成本,优先挑选性价比高的方案,避免过度投入资金,长效适配则要求方案兼顾短期防渗效果和长期耐久性,考虑坝体老化、环境变化等因素,保证加固效果可持续支撑大坝设计使用寿命,同时为后续维护或者改造预留空间。

3.2 混凝土抗渗等级选择

混凝土抗渗等级的选择要把大坝渗压环境、水头高度以及混凝土工作条件当作核心依据,严格依照《水工混凝土结构设计规范》等标准来进行。首先依据坝体不同部位的渗压差异来确定等级,如迎水面、防渗墙等直接接触水流的部位,由于承受着较高的水头以及持续的渗压,需要选择 P8 及以上的抗渗等级,而坝体内部非直接接触水流的区域,则可依据渗压大小适度降低至 P6 等级^[5]。其次要考虑水头高度带来的影响,水头每增加 10m,抗渗等级最好提高一个等级,避免因为水头过高而致使混凝土出现渗透破坏,还需要结合混凝土所处的环境加以调整,如果水流含有腐蚀性介

质,就要在基础抗渗等级的基础上提高 1-2 级,并且搭配抗腐蚀添加剂,提高混凝土抗渗与抗侵蚀的协同能力。最后,抗渗等级的选择还需要和混凝土强度等级相匹配,保证在提升抗渗性的同时不会影响混凝土的力学性能,保障坝体结构的承载能力。

3.3 防渗结构设计要点

防渗结构设计要依据坝体不同的渗漏通道和部位,采用差异化的设计策略,保证构建出完整的防渗体系。针对坝基渗漏,帷幕灌浆设计要着重把控灌浆深度与孔距,灌浆深度需穿透坝基的强透水层直至弱透水层,孔距依据岩层透水性来确定,一般是 1.5 至 3 米,同时借助压水试验来验证灌浆效果,保证坝基渗透系数降低到 10^{-5}cm/s 以下。坝体裂缝防渗设计要先对裂缝展开检测,宽度大于 0.2mm 的裂缝运用化学灌浆处理,选用像环氧树脂这类高强度的灌浆材料,灌浆压力控制在 0.3 至 0.5MPa,防止裂缝扩展,宽度较小的裂缝可采用表面封闭法,涂抹抗渗涂料^[6]。排水系统设计要与防渗结构相互配合,在防渗帷幕后面设置排水孔,孔距为 3 至 5 米,孔径是 50 至 100mm,保证可及时排出渗流水,降低渗透压力。此外,防渗结构设计还得考虑施工便利性,例如帷幕灌浆孔的布置要避开坝体关键受力部位,排水孔的倾斜角度要便于钻孔施工,同时预留监测孔,用于后期的渗流监测以及效果评估。



图 1

4 混凝土重力坝渗流场常见防渗加固技术

4.1 混凝土防渗墙技术

混凝土防渗墙技术是借助在坝基或者坝体渗漏的区域浇筑连续的混凝土墙体,以此来形成竖向防渗屏障,阻断渗流通道,这种技术适用于坝基强透水层比较厚、渗漏量相对较大的场景。在施工的时候,首先借助冲击钻或者抓斗机来开挖槽孔,槽孔的深度需要穿透透水层到达隔水层,槽宽会