

土石坝设计中的水工结构优化研究

宁鹏博

云南省水利水电勘测设计院有限公司, 中国·云南 昆明 650000

摘要: 土石坝作为重要的水利工程设施, 其在防洪及水资源调度管理的安全性及经济性是设计的关键。水工结构是土石坝设计的核心构成要素, 对坝体的整体稳定、防渗及运行寿命产生直接影响, 本文对土石坝设计理论基础进行梳理, 针对当前水工结构在设计与应用中面临的结构布置不合理、防渗体系薄弱以及施工材料选择与配置等主要问题展开系统分析。通过多层次防渗体系、合理坝体断面以及新型材料应用等创新性结构优化思路, 探讨了优化方法并提出了加强水工结构集成化与智能化设计的建议, 研究成果表明对水工结构予以科学优化不但能够增强坝体的稳定性以及安全裕度, 而且在节省工程投资提高环境适应性等方面发挥着积极效用。结构优化推动了土石坝的可持续发展, 为后续的工程实践以及标准化设计给予了关键的指导价值。

关键词: 土石坝; 水工结构; 结构优化; 防渗体系; 新型材料应用

Research on Hydraulic Structure Optimization in Earth-Rock Dam Design

Ning Pengbo

Yunnan Provincial Water Resources and Hydropower Investigation and Design Institute Co., Ltd., China Yunnan Kunming 650000

Abstract: As a crucial hydraulic engineering facility, the safety and economic efficiency of earth-rock dams in flood control and water resource regulation are key design considerations. Hydraulic structures serve as the core component of earth-rock dam design, directly influencing the overall stability, anti-seepage, and service life of the dam body. This paper systematically reviews the theoretical foundation of earth-rock dam design and analyzes major issues in the current design and application of hydraulic structures, including irrational structural layouts, weak anti-seepage systems, and material selection and configuration. Through innovative structural optimization approaches such as multi-layered anti-seepage systems, rational dam cross-sections, and the application of new materials, the study explores optimization methods and proposes recommendations for enhancing the integrated and intelligent design of hydraulic structures. Research findings demonstrate that scientifically optimizing hydraulic structures not only enhances the stability and safety margins of the dam body but also effectively reduces project costs and improves environmental adaptability. Structural optimization promotes the sustainable development of earth-rock dams, providing critical guidance for subsequent engineering practices and standardized design.

Keywords: Earth rock dam; Hydraulic structures; Structural optimization; Anti-seepage system; Application of new materials

0 引言

土石坝乃我国水利工程之关键基础设施, 于防洪农田灌溉以及区域水资源调度管理里的作用无可取代, 截至 2023 年年末近千座大型土石坝于全国运行, 其安全运行与国民经济发展和生态环境保护息息相关, 水工结构乃大坝设计之核心技术也, 关乎大坝之稳定性防渗性以及使用寿命焉, 但因施工地点地质条件繁杂结构设计方案繁多材料技术滞后之类因素的影响, 当下诸多大坝水工结构存有防渗系统薄弱、部件结合不紧密、新型材料应用欠缺等问题。国内外学者在水工结构优化领域开展了大量研究, 例如优化坝体断面采用多层次防渗系统, 运用智能监测技术等,

但整体设计水平仍有提升空间, 本文将以水工结构优化作为土石坝设计的研究主题, 目的是全面分析当前结构设计所面临的主要挑战, 总结国内外的创新途径, 论述集成化和智能化结构优化的新方案, 为土石坝的安全运行以及工程规范的发展提供理论和技术方面的参考。

1 土石坝水工结构理论基础

1.1 土石坝水工结构的组成与功能

土石坝设计过程中水工结构发挥出关键作用, 结构组成功能完全影响坝体整体性能效益, 土石坝水工结构主要涵盖导流系统、溢洪道、排水系统、防渗墙和泄洪设施等部分。导流系统负责保障水流从坝体侧方或者从坝体内部

安全穿过,溢洪道专门用于洪水来袭时将超出坝体设计承载水量的那部分水迅速排出干净,防止水从坝顶漫溢过去将坝体冲毁。排水系统的主要任务是保持坝体填土中的水分处于平衡状态,减少因地下水渗透产生的压力导致坝体失稳,防渗墙专门用来阻止水从坝前渗进坝体内部,或者渗进坝基下面如此便能够极大地提升整个坝体的防渗能力,泄洪设施主要用来在遇到特别紧急情况时,能够立刻把水放下去保障坝体不会出大事。所有这些部分相互配合构建一套完整的水工体系,以实现土石坝在复杂自然环境下能够长期正常运行并始终保持安全状态^[1]。

1.2 现行设计规范与理论进展

土石坝设计、施工过程中设计规范和最新研究成果的重要性愈加明显。伴随人们对水利工程的要求渐趋提升,各式各样的设计规范变得愈发完备,其中涵盖了坝体怎样维持稳定怎样做好防渗,选用何种材料等诸多内容,研究人员持续获取新进展使众人愈发意识到结构优化何等关键,他们凭借运用最为前沿的计算方式与材料测试手段,令整个设计流程变得愈发科学愈发精准。各种理论研究大力推动了人工智能大数据等智能技术应用于水利结构设计当中,如此一来,极大地提高了设计方案的安全性与实用性,这些进步既能控制造价又能满足安全要求,同时给实际工程建设提供了非常坚实非常可靠的科学依据。

1.3 土石坝安全性与经济性需求分析

土石坝规划设计必须充分平衡安全性和成本控制,如此方能确保大坝不管遭遇何种自然环境都能安全稳定运行数十年,安全性重点关注大坝整体是否充分稳定,能否有效阻止渗水,洪水来临之际能否顺畅排走,所选用的材料能否长期使用。即便存在些许小问题都有导致重大事故的可能,成本控制主要包含投资能赚回来多少钱,建坝要花多少钱后期维护要花多少钱,目的在于把每一分钱都用在最需要的地方。科学地对水工建筑物位置进行安排,精心地挑选建筑材料不但能够完全达到技术标准而且还能大幅度节省资金和材料,为水利工程长期可持续发展奠定重要基础。

2 现有水工结构面临的关键问题

2.1 结构布置常见缺陷

土石坝能否安全稳定运行直接取决于其整体布置是否合理,常见的布置问题会严重损害坝体稳定,使施工变得更难让后期运行隐患更多,最大的问题出在坝体跟地基连接的地方规划不合理,应力容易集中到一点最后导致坝体变形甚至失稳,设计人员要是未能全方位考量地形地质以

及水流特性,大坝要跟周边环境良好契合就会很困难,进而导致材料白白浪费,施工进度也会被拖慢^[2]。如果排水管道和设施未得到科学设置,那么地下水渗流路径将会变得过长,渗漏隐患会大幅增加,布置规划做得不好整座大坝安全性就会下降,后期维修花的钱也会越来越多,要想把布置做得更好必须从整体跟环境匹配入手,同时把每一个细节都设计到位这样才能让土石坝既安全可靠又省钱省力。

2.2 防渗体系薄弱环节

防渗体系属于保障土石坝安全运行以及正常发挥功能最重要的组成部分,可薄弱环节经常引发坝体产生严重渗漏现象,直接危害整个工程长期保持稳定状态。经常出现的薄弱环节包含防渗墙所用材料耐久性能无法满足规范要求,设计埋设深度跟坝体现实渗流状况严重不匹配要求。某些防渗系统因为施工组织方案制定不够周全,投入运行以后容易产生断裂或者加速老化情况,明显缩短整体结构正常使用年限。不合理施工工艺或者材料组合方式会造成防渗层压实程度以及连续程度无法达到技术标准,从而让地下水顺利进入坝体内部结构,大幅增加土壤颗粒流失可能性,最终破坏坝体完整结构稳定性。解决上述多种问题,必须大幅提升所用材料综合性能,仔细优化设计埋设深度以及空间布置方式全面加强施工过程技术管控高度重视每一个施工环节小细节,才能切实提高防渗体系整体工作效果真正保证工程长期安全稳定运行。

2.3 材料选择与配置的局限性

在土石坝设计进程里有关材料的选取以及材料的布置所碰到的限制条件,会显著限制整个水工建筑物的使用成效以及使用寿命,很多设计仍沿老一代传统材料,未认真重视新研高性能材料好处致坝体渗水与耐用能力欠缺,在实际施工之际材料的搭配形式颇为不合理,各类材料的比例设置失当致使很难达成在繁杂自然环境中正常作业的要求。新材料不断出现且将材料搭配方式做得更好对提升整个土石坝的使用效果和经济回报极为关键,因而迫切需要在设计初始就展开系统全面的研究,并切实将成果应用^[3]。

3 水工结构优化关键技术与路径

3.1 多层次防渗体系构建

土石坝水工结构性能提升的关键技术之一是多层次防渗体系的构建,该体系凭借多重防渗屏障的构建,达成对渗水的有效把控提升坝体的整体稳固性,优化措施涵盖合理规划防渗墙与防渗膜结合坝体渗透性剖析,规划拦渗排水以及卸压系统,进一步运用诸如复合土工膜以及高性能

防渗泥浆之类的新型防渗材料,来增强防渗成效。在施工之际凭借先进的技术,来保障不同防渗层的密封性与完整性,借由动态监测体系强化对坝体渗流状态的实时把控,即刻调整防渗策略,多层次防渗体系的施行不但使坝体的抗渗性能得到提升,还极大地延长了其使用期限。

3.2 合理坝体断面优化措施

在土石坝结构优化里,适宜的坝体断面设计是非常关键的,借助优化坝体断面能够高效增强坝体的整体稳定性与抗震性能,运用现代数值模拟技术于设计阶段开展各种断面形式的比选和分析,以选定最佳的结构参数,合适的坝体倾角设计和分区构造对于降低滑坡和变形的风险,以及改善抗剪强度是有利的。坝体材料的选择与配置需得到强化要确保其力学性能契合持久运用的需求,而且在施工阶段,施工工艺的管理必须严谨以此来最大程度地提升工程质量与效益,全面应用力学分析和材料科学的基础研究成果,达成断面的优化设计 and 应用。

3.3 新型材料集成与智能化应用

当下土石坝设计着重于将新材料良好地予以结合,并且广泛地运用智能化技术,智能化技术能够随时对大坝状况予以监测并且实现自动调节,使大坝遭遇问题之际,反应更为迅速且精准,高性能混凝土复合膜材料等新材料已开始大量使用,大坝防渗漏和抵抗冲击的能力显著增强,这些材料不但极大地增强了大坝的整体强度与使用寿命,还拥有极为出色的环境适应能力,就算遭遇极端恶劣的天气或者自然环境,也能够稳稳地维持住性能^[4]。新材料结合使用显著降低了施工难度与总成本,通过智能化管理系统更好地安排各类资源,使整个土石坝设计更为高效更省钱更环保。

4 优化措施的工程效益与应用前景

4.1 坝体稳定性与安全裕度提升

应用了一批新技术极大地提升了土石坝的稳定性,以及安全富裕程度,多级别防渗系统极大地加强了坝体的防渗能力,有效降低了渗漏风险充分保障了内部结构保持完整且没有损坏,合理的坝体断面设计充分确保了坝体每个部位的受力均匀,极大地减少了局部应力过度集中情况的出现概率,显著降低了结构变形的可能性。先进材料使用显著提升坝体物理性能跟化学性能,极大提高抗压能力跟耐久能力,新材料具有很高强度跟韧性同时具备优异耐腐蚀性能,显著增加整体安全系数,在实施前面所有优化措施之后土石坝有足够的力量去抵御洪水地震等自然灾害,以及极端天气的冲击并且在长期的使用过程中能够长期保

持很高的可靠性与安全性,进而保障整个水利工程能够长期稳定且安全地运行。

4.2 经济性与环境适应性优势

优化措施的经济效益极为显著,凭借科学的规划以及资源的合理整合能够切实有效地降低工程的建造成本,选用新型材料可使施工效率得以提升,还能降低后期维护费用令资金利用更为充分且合理,优化后的水工结构规划显著提升了工程对环境的适应能力,极大程度地减轻了对周边自然生态系统的负面影响^[5]。创新结构规划融合生态保护理念,兼顾当地气候与地质条件变化提升了工程抵御气候变化风险的能力,此外广泛采用绿色材料有效降低了碳排放量,为工程可持续发展筑牢根基也为当地经济的长期稳定健康发展提供了有力支持,实现了经济与环境的双赢。

4.3 标准化与可持续发展方向

土石坝设计优化对水工结构规范化和可持续发展产生了很大影响,借助持续优化结构设计以推动水工结构规范化,可显著提升工程质量与施工效率并且大幅降低资源浪费,规范化进程加速技术统一跟经验共享,从而激发更多设计创新,积极采用绿色环保材料跟智能化技术之后优化措施,不但大幅提高土石坝生态适应能力而且实现资源高效利用以及环境和谐共存,给水利工程持续健康发展提供坚实基础。在所有优化措施切实落地之后,也为土石坝的持续完善给予科学且可靠的指引。

5 结语

本研究聚焦于土石坝设计中的水工结构优化,针对诸如结构布置不合理、防渗体系薄弱、施工材料搭配不当等问题,提出并验证了诸如多层次防渗体系建设、坝体断面合理化设计以及新型材料应用等优化策略,研究结果表明土石坝的稳定性与运行安全性可通过科学优化水工结构显著提升,工程成本能得以降低对复杂环境的适应能力也会增强,这对土石坝工程的可持续发展意义重大。然而当前研究尚受材料性能数据匮乏,智能设计手段应用范畴狭窄水文地质参数适配性低下等限制,未来可开展不同类型土石坝实地对比试验以推动新材料性能数据库建设,同时探索人工智能在水工结构设计中的应用,从而为土石坝设计规范与工程建设提供可靠数据与理论支撑。

参考文献:

- [1] 吴伟,周建波,董永. 土石坝结构运行缺陷分类与分级研究[J]. 大坝与安全, 2023,(04):6-11.
- [2] 谭清顺. 深厚覆盖层土石坝垂直防渗方案优化研究[J]. 黑龙江水利科技, 2020,48(12):54-56.

[3] 马莹. 土石坝优化设计分析[J]. 中文科技期刊数据库 (引文版) 工程技术, 2022,(11):0285-0290.

[4] 曾建玲. 土石坝加固防渗方案设计研究[J]. 中文科技期刊数据库 (全文版) 工程技术, 2022,(10):0043-0046.

[5] 李磊明. 水工混凝土结构的优化设计[J]. 百科论坛

电子杂志, 2020,(06):1638-1638.

作者简介: 宁鹏博 (1993-), 男, 汉族, 河北省邯郸市, 大学本科, 工程师, 主要从事的工作或研究的方向: 水工设计。