

Analysis and Research on Design Issues and Key Points of Modern Water Conservancy Engineering

Zhenwu Cui

Xinjiang Ili Water Resources and Electric Power Survey and Design Institute Co., Ltd., Ili, Xinjiang, 835000, China

Abstract

Based on the author's years of practical experience in water conservancy engineering design, this article systematically summarizes the basic principles and core points of modern water conservancy engineering design in response to prominent problems such as insufficient ecological coordination and poor technical connection in current engineering practice. By analyzing key aspects such as preliminary survey, structural design, and intelligent monitoring, optimization strategies such as multidisciplinary collaboration and full cycle management are proposed to provide feasible solutions for improving the quality of engineering design. The research results have practical reference value for solving the contradiction between the functional requirements of water conservancy projects and ecological protection, and promoting technological progress in the industry. This article focuses on the pain points of engineering practice, exploring design methods that can not only meet the basic functions of flood control and drainage, but also achieve harmonious coexistence between humans and water, providing theoretical support and practical guidance for water conservancy engineering construction in the new era.

Keywords

water conservancy engineering; Design optimization; Ecological coordination; Full cycle management

现代水利工程设计问题及关键点分析研究

崔振武

新疆伊犁州水利电力勘测设计研究院有限公司, 中国·新疆 伊犁 835000

摘要

本文基于笔者多年水利工程设计实践经验,针对当前工程实践中存在的生态协调不足、技术衔接不畅等突出问题,系统梳理现代水利工程设计的基本原则与核心要点。通过剖析前期勘察、结构设计、智能监测等关键环节,提出多学科协同、全周期管理等优化策略,为提升工程设计质量提供可行性方案。研究成果对解决水利工程功能需求与生态保护矛盾、推动行业技术进步具有实践参考价值。本文立足工程实践痛点,探索既能满足防洪排涝基本功能,又可实现人水和谐共生的设计方法,为新时期水利工程建设提供理论支撑与实践指导。

关键词

水利工程; 设计优化; 生态协调; 全周期管理

1 引言

随着新型城镇化进程加快与生态文明建设深化,现代水利工程已从单一防洪灌溉功能向生态服务、景观塑造等多重目标转型。当前工程设计面临生态修复技术应用不足、智能监测体系构建滞后等现实挑战,部分项目存在重建轻维护、重结构轻环境等问题。这种现状要求设计人员必须在保障工程安全的基础上,统筹考虑水文地质特征、生物栖息地保护、智能运维需求等复合因素。

【作者简介】崔振武(1983-),男,中国甘肃古浪人,本科,工程师,从事水利工程研究。

2 现代水利工程设计中的主要问题

2.1 工程设计与生态环境协调性不足

当前水利工程生态协调性不足突出表现为规划阶段对流域生态特征考量不深,部分项目在选址时忽视生物迁徙通道保护,导致建成后周边生物多样性显著下降。生态补水设计存在机械套用标准现象,干旱区与湿润区采用相同下泄流量计算方式,造成枯水期下游河道断流问题加剧。生态护岸设计过度依赖混凝土硬化技术,忽视本土植物的固坡净水功能,岸线植被覆盖率大幅降低,水体自净能力持续减弱。生态监测体系设计滞后现象普遍存在,许多项目未预留水质在线监测设备安装条件,生态效益评估缺乏动态数据支撑,工程运行数年后才通过环保督察发现水体污染问题^[1]。

2.2 施工技术与设计理念衔接不畅

先进设计理念落地过程存在技术断层,三维建模技术

应用多停留在可视化阶段,未能与施工管理系统深度融合,导致预制构件安装精度难以达标。生态材料供应体系不健全,设计要求的孔隙率标准因骨料级配控制不严谨难以实现,生态护岸工程竣工后即出现透水失效现象。

2.3 后期管理维护考虑不周全

全生命周期管理意识薄弱导致工程效能衰减加速,多数项目未设计专用检修通道,闸门启闭机维护需临时搭设作业平台,显著增加维护成本与安全风险。生态设施维护标准缺失问题突出,人工湿地滤料更换周期设计脱离实际污染负荷,运行期间频繁出现板结堵塞现象。智能监测系统供电设计存在缺陷,太阳能供电装置安装角度未按地域特征调整,冬季监测数据缺失问题严重。水土保持设施管护责任划分不清,生态毯缺乏持续养护导致植被覆盖率快速下降,加剧区域水土流失风险。应急调度系统扩展性不足,原有控制系统无法兼容新增功能模块,改造费用占据维护经费主要部分^[2]。

3 水利工程设计的基本原则与要求

3.1 安全可靠原则

水利工程设计应将安全可靠置于首位,在满足防洪排涝、供水灌溉等基本功能基础上,需综合考虑工程结构稳定性与极端工况应对能力。设计过程中应严格遵循国家防洪标准与抗震规范,针对闸坝主体结构开展多工况力学模拟分析,例如在闸门启闭机设计中需同时考虑百年一遇洪水冲击荷载与八度地震作用下的结构响应。隐蔽工程安全设计需强化地基处理与防渗体系,对于软土地基区域优先采用复合地基处理技术,通过碎石桩与土工格栅组合提升基础承载力。材料选择需兼顾耐久性与环境适应性,水下钢结构部件需采用双重防腐涂层并预留阴极保护接口,混凝土工程应依据环境水腐蚀等级调整掺合料比例。安全监测系统设计需实现关键部位应力应变实时监控,在坝体廊道布设分布式光纤传感器,实现渗流异常与结构变形的早期预警。

3.2 经济合理性原则

经济合理性要求设计在保障功能前提下优化资源配置,通过全生命周期成本分析实现投资效益最大化。规划阶段需开展多方案比选,采用价值工程理论评估不同结构形式的经济性,例如在跨河桥梁设计中对比箱梁结构与拱式结构的全周期维护成本差异。施工方案设计应注重工序优化与资源整合,对混凝土浇筑顺序进行 BIM 模拟减少模板周转次数,利用无人机测绘技术降低土方测量成本。材料选用推行本地化采购原则,优先选择运输半径内的合格骨料与钢材,在生态护岸工程中采用河道疏浚产生的废弃石料进行二次利用。设备选型需平衡初期投资与运维费用,泵站主机组配置应结合负荷曲线选择高效变频机组,通过能耗模拟确定最佳运行组合模式。造价控制需建立动态调整机制,在初步设计阶段预留 5%~10% 的不可预见费应对地质条件变化风险。

3.3 环境友好性原则

环境友好性原则强调工程建设与生态系统的协同发展,

设计需最大限度保留原有自然生态基底。在河道整治工程中优先采用生态护坡技术,使用三维植被网与根系发达的本土植物构建柔性护岸,既满足防洪需求又为两栖生物营造栖息空间。水资源调度方案设计需保障生态基流,通过水文模型模拟不同季节下游生态需水量,在取水枢纽设置生态放流专用通道。景观设计遵循最小干预原则,利用现状地形高差构建多级跌水景观,保留古树名木并以其为核心规划休憩节点。污染防治系统需实现雨污分流与再生利用,在亲水平台区域设置透水铺装与生态植草沟,地表径流经生物滞留池净化后回补河道。生物通道设计需满足多种生物通行需求,在拦河建筑物中同步建设仿自然鱼道与陆生动物迁徙廊道,采用声光引导技术提升生物通道使用效率^[3]。

4 现代水利工程设计关键点分析

4.1 前期勘察与数据收集的精准性

前期勘察需采用多源数据融合技术提升数据精度①地质雷达探测选用 100MHz 天线,纵向分辨率达 5cm,可精准识别覆盖层下基岩裂隙发育特征②多波束测深系统配置 220kHz 声呐阵列,实现水下地形厘米级精度建模,特别适用于河道蜿蜒段淤积量测算③无人机倾斜摄影生成实景三维模型,配合 LiDAR 点云数据解译滑坡体位移速率,精度误差控制在 3mm/年以内④水文监测采用雷达流速仪与 ADCP 同步组网,断面流量计算误差率低于 2.5%。数据处理阶段应构建 BIM 协同平台,将地质钻孔数据转换为三维地层模型时,需校验岩芯取样率与标贯击数的空间相关性,对软弱夹层分布进行概率插值分析。动态勘察机制要求根据初步设计反馈调整钻孔密度,在断层带周边加密至 50m×50m 网格,基岩完整区可放宽至 200m×200m。数据校核需建立多专业会审制度,地质水文数据与结构荷载计算模型需实现参数联动,例如渗透系数取值需同步考虑防渗墙设计厚度与扬压力分布^[4]。

4.2 结构设计与材料选择的科学性

结构设计应采用全寿命周期性能导向方法①闸室底板厚度确定需综合浮托力、扬压力与地基反力耦合分析,有限元模型网格尺寸控制在 0.5m×0.5m 以保证应力集中区计算精度②抗震设计执行两阶段法,弹性阶段层间位移角限值 1/500,弹塑性阶段最大残余位移比不超过 2%③消能工体型优化通过水工模型试验验证,挑流鼻坎反弧半径与流速平方呈正相关,设计公式修正系数 α 取 0.85-1.15。材料选择遵循环境适配原则④水下混凝土采用 C40 抗渗等级,胶凝材料用量不低于 380kg/m³,粉煤灰掺量 20%~30%⑤钢结构防腐执行 ISO 12944 C5-M 标准,环氧富锌底漆干膜厚度 80 μ m,聚氨酯面漆耐盐雾性能 ≥ 3000 h⑥生态材料优先选用孔隙率 35%~40% 的植生型混凝土,骨料粒径级配 4.75~9.5mm 占比 60% 以上。施工工艺控制要点包括 GPS 定位模板安装误差 ≤ 3 mm,大体积混凝土入模温度控制在 28℃ $\pm$ 2℃,通水冷却系统流量保持 0.6m³/h·m³。

4.3 智能化监测系统的应用策略

智能化监测系统架构需实现感知-传输-决策闭环①传感器布设采用振弦式渗压计(量程 0-1MPa, 精度 0.1%F.S.)与光纤光栅应变计(分辨率 1 $\mu\epsilon$)组合,在坝体关键断面形成 5m $\times$ 5m 监测网格②数据传输采用 LoRa 无线组网技术,节点功耗控制在 10mW 以下,中继站部署间距不超过 800m ③数据处理平台集成 LSTM 神经网络算法,渗流异常识别响应时间缩短至 15 秒。系统功能模块应包含④三维可视化界面支持 BIM 模型与监测数据叠加显示,渗流等值线生成间隔 $\leq$ 0.5m ⑤预警阈值设置采用动态调整机制,混凝土温度应力报警值随龄期变化按双曲线函数衰减⑥维护决策模块内置专家知识库,裂缝处置方案匹配度评估包含裂缝宽度(0.2mm/0.5mm 分界)、走向(与主应力夹角 $>30^\circ$)等 12 项特征参数。边缘计算设备配置 4 核 ARM 处理器,内置数据压缩算法可将原始数据量缩减 70%,北斗短报文模块确保极端条件下关键数据回传。运维体系需建立传感器校准周期台账,振弦式仪器每 12 个月进行零点漂移校正,光纤设备连接损耗每季度检测不超过 0.2dB。

5 水利工程设计优化策略与实施路径

5.1 多学科协同设计方法

水利工程优化设计需打破专业壁垒,建立水文、生态、土木等多学科协同机制。规划阶段组建跨领域专家团队,通过 BIM 协同平台整合地质勘探数据与生态评估报告,实现三维地质模型与生物栖息地分析的动态耦合。结构设计引入流体力学仿真与鱼类洄游行为模拟联合分析,在泄洪消能工体型优化中兼顾水力学效率与生态通道需求。景观设计结合环境心理学理论,利用虚拟现实技术模拟不同亲水设施的空间体验,优化观景平台视角与步道曲率设计。协同设计流程需设置冲突检测模块,自动识别结构计算模型与生态流量模型参数矛盾,例如当消力池尺寸压缩影响生态补水通道时触发预警,驱动多专业会商调整方案^[5]。

5.2 新技术新材料的合理应用

新型技术应用需聚焦工程痛点,聚合物注浆技术可针对渗漏通道实施精准修复,其凝结时间可控性优于传统水泥浆液。生态护岸工程推广使用三维植被网垫,结合紫穗槐等深根系植物构建抗冲刷柔性结构。智能监测领域采用分布式光纤传感技术,在坝体内部布设测温光缆,实现混凝土温升梯度的厘米级监测。材料创新重点发展再生骨料混凝土,将建筑废弃物破碎筛分后替代天然骨料,配合纳米二氧化硅掺

合料提升耐久性。施工环节应用无人机集群建模技术,通过倾斜摄影生成高精度地形模型,指导土方平衡计算与生态修复区边界划定。

5.3 全生命周期设计理念的落实

全周期设计需贯穿工程各阶段,规划期建立动态风险评估模型,结合气候变化预测调整防洪标准预留弹性空间。设计阶段预留设备升级接口,泵房电气柜尺寸考虑未来变频器扩容需求,管道廊道高度满足机器人巡检设备通行。施工阶段实施数字孪生技术,将 BIM 模型与现场进度数据实时映射,提前识别预制构件吊装路径冲突。运维期构建智能诊断系统,融合渗压监测数据与机器学习算法,自动生成防渗体系健康状态报告。报废阶段设计模块化拆卸方案,闸门启闭机采用螺栓连接替代焊接工艺,钢结构部件标注材质信息便于回收利用。生态维护纳入长期管理条款,制定湿地植被更替计划与鱼类增殖放流方案,确保工程效益持续发挥。

6 结语

现代水利工程设计需实现生态修复与工程功能的有机统一,在保障防洪灌溉等基础效能的同时,重塑水域生态系统的自然韧性。通过多学科协同优化设计策略,将鱼类洄游通道、植被缓冲带等生态要素融入工程结构,使闸坝、堤防等构筑物成为生态网络的关键节点。新技术的合理应用为工程注入智慧化基因,从智能监测预警到清洁材料创新,推动水利设施向环境友好型转型。全生命周期管理理念的落实,要求设计者统筹施工建设与长效运维,在材料耐久性、设备可维护性等方面预留技术弹性。面对气候变化与生态保护的复合挑战,唯有坚持科技创新与自然规律协同驱动,方能使水利工程真正成为维系人水和谐的永续纽带,为区域高质量发展提供坚实支撑。

参考文献

- [1] 董宇,任婷婷,景璐,等.农田水利工程灌溉规划设计存在问题及对策[J].水利技术监督,2025,(03):73-75.
- [2] 胡文琦.水利工程项目规划设计环节工程测绘要点分析[J].水上安全,2024,(22):43-45.
- [3] 傅千文.水利工程建设征占地类认定问题探讨[J].广东水利水电,2024,(11):122-126.
- [4] 袁礼伟.新时代信息化技术与水利工程施工管理的融合研究[J].水上安全,2024,(21):70-72.
- [5] 张超,王化翠.地下水库工程设计导则关键技术问题分析[J].水利技术监督,2024,(11):10-15+38.