

水利水电工程中的水闸设计问题及其优化措施

刘林宝

新疆水利水电勘测设计研究院有限责任公司 新疆 乌鲁木齐 830000

摘 要：水闸是水利水电工程的核心水工构筑物，其设计质量直接关乎工程防洪、灌溉、调水等功能实效与运行安全。当前部分水闸工程设计存在总体布局不合理、防渗排水体系有缺陷、消能防冲精度不足等问题，且普遍欠缺智能化与耐久性设计。本文梳理水闸核心设计内容与原则，剖析现存设计短板，针对性提出精细化布局、完善防渗体系、优化消能防冲及智能化升级等优化措施，为水闸工程提质增效提供参考。

关键词：水利水电工程；水闸设计问题；优化措施

引言：在水利水电工程建设体系中，水闸承担着调控水流、防汛排涝、水资源调配的关键作用，是保障流域水资源合理利用与水安全的重要设施。随着水利工程建设标准不断提升，传统模板化水闸设计的弊端逐步凸显，诸多工程因设计不合理出现渗漏、冲刷、结构老化等病害。为提升水闸全生命周期运行稳定性与综合效益，本文结合工程实际，系统分析水闸设计核心要点与现存问题，探究科学可行的设计优化策略。

1 水利水电工程水闸核心设计内容及设计原则

1.1 水闸工程核心设计内容

（1）总体布置设计：结合工程现场地形、水文、地质核心条件，科学确定水闸闸址与轴线布置方式，规划上下游水流衔接形式。合理划分闸室主体、消能设施、防渗设施等功能分区，统筹各结构布局，保障水闸整体布置规整、水流顺畅、工况稳定，适配工程整体建设需求。（2）闸室结构设计：针对闸底板、闸墩、闸门、启闭设备、工作桥等核心构件，开展尺寸参数核算与结构形式优化设计。严格校核结构受力状态，确保构件满足承载、抗滑、抗倾覆等核心力学要求，保障闸室主体结

构稳固，支撑水闸常态化安全运行。（3）防渗与排水设计：聚焦地基渗透隐患，搭建完善的防渗排水体系。通过设计铺盖、帷幕灌浆、排水孔等配套设施，有效阻断地基渗透通道，降低渗透压力，规避地基渗透变形、土体掏空、渗漏破坏等工程风险，稳固地基基础^[1]。（4）消能防冲设计：依据工程水流流量、流速及泄水特性，配套设计消力池、海漫、防冲槽等消能防冲设施。有效削弱高速水流的动能与势能，缓解水流冲击作用，避免上下游河床、岸坡被冲刷侵蚀，保护工程周边水工构筑物及土体稳定。

1.2 水闸设计影响因素

（1）水文条件因素：流域降雨量、径流量、洪水位、水流流速等水文参数，是确定水闸建设规模、泄流能力、防洪标准的核心依据，直接决定消能、防渗等关键系统的设计等级。（2）地质条件因素：地基土质类型、承载力、渗透系数及地质断层等条件，直接影响闸室结构选型、地基处理方式与防渗方案的设计适配性。（3）工程运行因素：灌溉、防洪、调水等核心功能定位，决定水闸的启闭调控模式、水流控制精度，同时明确配套设备的选型与设计标准。如表 1。

表 1 水闸设计主要影响因素及其作用分析

影响因素	具体参数/条件	对水闸设计的主要影响
水文条件	降雨量、径流量、洪水位、水流流速	确定建设规模、泄流能力、防洪标准；决定消能、防渗系统设计等级
地质条件	地基土质类型、承载力、渗透系数、地质断层	影响闸室结构选型、地基处理方式、防渗方案适配性
工程运行	灌溉、防洪、调水等功能定位	决定启闭调控模式、水流控制精度及配套设备选型与设计标准

2 现阶段水利水电工程水闸设计存在的主要问题

2.1 总体布置与结构设计不合理

(1) 布局适配性不足: 部分水闸前期勘测不充分, 未结合地形地貌及水文特征进行针对性布局。闸址、轴线布设偏差导致水流紊乱、泄流效率低, 闸前及局部河道泥沙淤积严重, 影响行洪与输水能力。(2) 结构参数设计保守或滞后: 多数中小型水闸套用传统标准图纸, 未优化结构参数。非核心构件尺寸偏大, 造成浪费与造价偏高; 关键承重、止水构件参数不足, 无法适应极端洪水等特殊工况, 安全隐患突出。(3) 结构整体性欠缺: 闸室、消能、防渗等设施衔接布局不合理, 构件受力协同性差。长期运行后易出现墙体裂缝、底板变形、构件错位等病害, 降低整体稳定性与使用寿命。

2.2 防渗与排水设计存在缺陷

(1) 防渗体系设计不完善: 地基防渗设计针对性不足, 防渗帷幕深度、布设间距不合理, 防渗铺盖长度不达标。尤其针对透水地基、软土地基等特殊地质条件, 未优化防渗方案, 地基抗渗能力不足, 运行中易出现渗漏、管涌、流土等问题, 破坏地基土体结构。(2) 排水系统布局不合理: 排水系统设计精细化程度不足, 排水孔布设间距过大、排水路径规划不畅, 且未预留防堵塞措施。长期运行下排水孔易堵塞积水, 无法及时排出地基渗水, 导致闸室基底扬压力超标, 大幅削弱闸室抗滑、抗倾覆稳定性。(3) 接缝防渗处理不到位: 闸体施工缝、伸缩缝的止水材料选型不合理, 止水结构设计、施工工艺不规范。在水流长期渗透、水压反复作用下, 接缝位置易出现渗漏问题, 且渗漏病害会持续扩大, 诱发结构侵蚀、地基淘空等次生隐患^[2]。

2.3 消能防冲设计精度不足

(1) 消能设施设计单一: 目前多数水闸仍采用常规消力池单一消能模式, 设计方案固化老旧, 未针对高流速、大流量及复杂泄水工况优化组合消能方案, 整体消能效果有限, 高速下泄水流极易冲刷下游河床与岸坡。(2) 防冲防护标准偏低: 海漫、防冲槽等防冲设施的结构尺寸、材质选型设计标准偏低, 难以适配极端洪水工况的防护需求。长期受水流冲刷、磨蚀作用, 防护设施易出现破损、坍塌, 引发河床下切、岸坡淘刷等问题。(3) 水流流态优化缺失: 设计过程中侧重整体泄流能力, 忽视侧向水流、回流、漩涡等复杂局部流态的影响, 未做针对性优化设计, 导致局部水流能量高度集中, 加剧结构局部磨损与河床冲刷破坏。

2.4 智能化与耐久性设计缺失

(1) 智能化设计滞后: 多数老旧及中小型水闸智能化配套不足, 仍沿用传统人工启闭、人工巡检监测

模式, 未搭载智能调控、实时监测、数据传输系统, 无法实现精准控水、险情自动预警, 运行管控效率低下。(2) 耐久性设计不足: 设计对区域温差变化、水流腐蚀、冻融破坏、泥沙磨蚀等环境因素考量不足, 结构材料选型、防腐防护设计不合理, 导致闸体构件老化、破损速度加快, 降低工程整体耐久性能。(3) 运维适配性设计欠缺: 设计阶段重建设、轻运维, 未统筹后期检修养护需求, 设备安装排布紧凑、检修空间不足, 结构检修通道布局不合理, 大幅增加后期运维难度与检修成本。

3 水利水电工程水闸设计优化措施

3.1 优化总体布置与结构设计方案

(1) 精细化场地勘察与布局规划: 水闸设计前期需开展全方位、精细化的场地勘察工作, 全面摸排工程区域的地形地貌、流域水文规律及地基地质条件, 摒弃传统照搬图纸的模板化设计模式。结合工程防洪、灌溉、调水等功能定位, 针对性优选闸址、确定合理的闸轴线布置形式, 优化上下游河道衔接结构与导流布局。通过科学规划规整水流流态, 改善泄水条件, 有效规避水流紊乱问题, 从源头减少闸前及河道局部泥沙淤积, 保障水闸长期稳定输水泄洪。(2) 精准优化结构参数: 依托数值模拟、力学验算等现代化技术手段, 对闸室、闸墩、闸底板等核心承重结构开展全方位受力分析与工况验算, 充分考虑常规运行及极端洪水、高水位等特殊工况的受力差异。在严格契合水利工程安全设计规范、保障结构安全的基础上, 精准优化各构件截面尺寸、结构形式等参数, 修正传统设计中参数保守、冗余过大的问题, 兼顾工程运行安全性与建设经济性, 杜绝建材资源浪费, 补齐结构设计短板^[3]。(3) 强化结构整体协同性: 立足水闸整体运行稳定性, 优化闸室、消能设施、防渗设施等各构件的衔接设计, 统一整体结构受力标准, 消除局部受力不均问题。科学调整伸缩缝、施工缝的布设位置与间距, 优化构件衔接工艺, 提升闸体各部位的受力协同性与整体刚度, 有效增强结构抗变形、抗开裂能力, 规避长期运行中出现的裂缝、错位、变形等局部结构病害。

3.2 完善防渗排水系统优化设计

(1) 针对性优化地基防渗设计: 摒弃同质化防渗设计方案, 根据工程地基土质类型、土层分布、渗透系数等实际特性, 定制差异化防渗方案。合理确定防渗帷幕的埋设深度、布设间距, 优化防渗铺盖长度与厚度, 针对软土地基、透水砂层等软弱特殊地基, 采用帷幕灌浆、铺盖防渗、地基加固相结合的复合防渗体系, 全方位提升地基整体抗渗能力, 有效杜绝管涌、流土、地基

渗漏等安全隐患。(2)科学布设排水系统:结合地基渗水规律与闸室结构受力特点,优化排水孔的孔径、间距及整体布局,增设辅助排水通道,构建全方位、高效率的排水体系。同时在设计阶段预留专属检修空间与清理通道,方便后期运维疏通,保障地基渗水能够及时、顺畅排出,有效降低闸室基底扬压力,减轻地基承载负荷,大幅提升闸室结构的抗滑、抗倾覆稳定性。(3)优化接缝防渗处理:针对闸体施工缝、伸缩缝渗漏高发问题,优选高弹性、耐腐蚀、抗老化的优质止水材料,适配长期水流浸泡、水压交变的运行环境。规范接缝止水结构设计与施工工艺,重点强化结构边角、构件衔接处、止水搭接部位的防渗处理,细化密封防护措施,从源头解决接缝渗漏问题,避免渗漏病害持续扩大引发的次生结构损伤^[4]。

3.3 提升消能防冲设计精准度

(1)多元化消能方案优化:摒弃单一固化的消能模式,结合工程实际流量、流速、水位变幅等水流工况特征,采用消力池搭配消力墩、辅助消能工的组合式多元消能方案。针对高速泄流、大流量洪水等复杂工况,精准核算水流能量,优化消能设施的尺寸、结构形式与布设位置,分级削弱水流动能与势能,大幅提升整体消能效果,改善下游水流条件。(2)强化防冲防护体系:适度提升海漫、防冲槽等防护设施的设计标准,选用高强度、抗冲刷、耐磨损的优质建材。结合河道冲刷规律优化防护结构厚度、布设范围,针对下游河床、岸坡等冲刷重点区域,增设加固护砌、防冲桩等防护措施,构建全方位防冲体系,有效抵御极端洪水的高速水流冲刷,避免河床下切、岸坡淘刷破坏^[5]。(3)优化水流流态调控:利用流体数值模拟技术,提前预判泄水过程中漩涡、回流、偏流等复杂不良水流形态。通过优化闸孔启闭组合方式、增设导流墩、调整导流结构角度等手段,精准调控水流走向,规整整体流态,分散局部集中水流能量,有效减少局部冲刷、结构磨蚀问题,保障下游河道及水工结构完整稳定。

3.4 推进智能化与耐久性优化设计

(1)融入智能化设计体系:摒弃传统人工操作、人工监测的落后模式,搭建完善的智能化设计体系,配

套增设水位、流量、结构应力、沉降变形等实时监测模块,联动智能启闭、自动调控、数据预警系统。实现水闸运行状态实时感知、水流参数精准调控、安全风险提前预警,全面提升水闸运行管控精细化、智能化水平,保障工程高效、安全运行。(2)强化结构耐久性设计:充分结合工程区域的气候条件、水文环境,综合考量水流腐蚀、冻融循环、泥沙磨蚀、温差变形等不利因素。优选高强度、抗冻融、耐腐蚀的工程建材,针对性增设结构防腐、防渗、防冻、耐磨防护层,优化结构防护工艺,延缓构件老化、破损速率,有效延长水闸工程整体使用寿命。(3)优化运维适配设计:秉持“建设与运维统筹兼顾”的理念,在设计阶段充分考虑后期检修、养护、设备更换等运维需求。合理规划设备安装区域、预留标准检修通道与操作空间,简化设备拆装、结构检修流程,规避运维空间不足、操作困难等问题,有效降低后期运维难度与养护成本,提升工程全生命周期运行效益。

结束语

水闸设计是一项兼具系统性、专业性的水利工程工作,设计质量直接决定工程安全、经济与生态效益。本文总结了水闸基础设计内容与原则,明确了布局结构、防渗排水、消能防冲及智能耐久设计等方面的突出问题。通过落实精细化设计、体系化优化、智能化升级等措施,可有效弥补设计短板,提升水闸结构稳定性与运行效能,助力水利水电工程高质量、可持续发展。

参考文献

- [1] 李迪, 鲍远武. 水利水电工程中的水闸设计问题及其优化措施[J]. 水电水利, 2023, 7(10): 56-58.
- [2] 徐波, 鲍思曼, 江飞龙, 等. 基于数值模拟的水闸消能防冲控制条件确定方法研究[J]. 中国农村水利水电, 2024, 26(11): 210-217.
- [3] 庄文贤, 王亮, 陈宇. 传统挡潮闸结构功能优化路径探析[J]. 人民长江, 2024, 55(7): 112-117.
- [4] 曹连山, 贺婧. 水利施工技术在水闸工程中的优化与应用[J]. 工程建设与发展, 2025, 4(10): 195-198.
- [5] 王浩宇. 水利水电工程水闸设计常见问题及优化对策研究[J]. 水利科技与经济, 2022, 28(6): 98-101.