

水利工程设计要点探索

刘洪娜

河北省水利水电勘测设计研究院集团有限公司 河北 石家庄 050000

摘要: 水利工程关乎国计民生,设计需综合考量多方面因素。本文阐述水利工程设计的核心原则,包括安全稳定、功能适配、生态协同、经济合理、技术可行。分析主体结构、生态化、运维保障设计要点,涵盖挡水、泄水、输水建筑物设计,生态护岸、水体修复、生态廊道设计,以及运维管理体系、病害防治设计等。通过遵循这些要点,可提升水利工程综合效益,保障长期稳定运行。

关键词: 水利工程;设计原则;主体结构;生态化设计;运维保障

引言:水利工程作为国家基础设施建设的重要组成部分,在防洪、灌溉、供水、发电等诸多领域发挥着不可替代的作用。其设计质量直接关系到工程的安全性、功能性、生态性以及经济性等多个方面。随着社会经济的快速发展和对生态环境保护意识的不断提高,传统水利工程设计方案已难以满足当下需求。因此,深入探索水利工程设计要点,构建科学合理的设计体系,成为当前水利工程领域亟待解决的关键问题。

1 水利工程设计的核心原则

1.1 安全稳定原则

安全稳定原则是水利工程设计的首要前提。水利工程需长期承受水压力、泥沙冲刷、地震等自然力作用,任何结构失效都可能引发灾难性后果^[1]。设计过程中需通过精确的地质勘察与水文计算,确定工程等级与抗震设防标准。结构选型需兼顾强度与韧性,例如重力坝依靠自重抵抗水压力,拱坝通过拱结构分散荷载,土石坝则依赖填筑材料的密实度与坡度稳定性。材料选择需满足耐久性要求,混凝土需具备抗渗、抗冻、抗侵蚀性能,金属结构需通过防腐处理延长使用寿命。施工阶段需严格把控质量,对基础处理、混凝土浇筑、金属结构安装等关键工序实施全程监测,确保工程建成后具备抵御极端工况的能力。

1.2 功能适配原则

功能适配原则要求工程设计紧密围绕核心目标展开。不同类型水利工程的功能侧重点存在差异,防洪工程需重点计算泄洪能力与调蓄容积,其泄洪洞孔尺寸需根据百年一遇洪水流量设计,单孔宽度通常为5至10米;灌溉工程需优化渠系布局与水量分配,干渠流量需满足10至50立方米每秒的灌溉需求;供水工程需保障水质安全与供水可靠性,其净水厂处理规模需根据日供水需求设计,中型水厂处理能力通常为5至10万吨每日。设计过

程中需通过多方案比选,平衡各项功能指标。例如,水库枢纽设计需统筹防洪、发电、灌溉、航运等需求,合理确定正常蓄水位与死水位,正常蓄水位与死水位高差需控制在10至30米,避免因功能冲突导致工程效益衰减。功能适配还体现在对未来需求的预见性上,设计需预留适度扩展空间,以适应区域经济社会发展带来的用水结构变化,例如供水管道管径设计需考虑未来20至30年的用水增长需求。

1.3 生态协同原则

生态协同原则体现现代水利工程对环境保护的重视。传统工程设计往往忽视对生态系统的干扰,导致河流断流、水生生物栖息地破坏等问题。当前设计需将生态流量保障作为重要约束条件,通过生态放水洞、鱼道等设施维持下游河道生态功能。工程布局应尽量减少对原始地貌的改变,采用生态护坡、植被缓冲带等柔性防护措施。施工期需制定水土保持方案,控制扬尘与废水排放,减少对周边环境的临时性破坏。运营期需建立生态监测体系,动态评估工程对生物多样性的影响,及时调整调度方案。

1.4 经济合理原则

经济合理原则贯穿工程设计全过程。初期投资需通过优化设计方案加以控制,例如采用本地材料降低运输成本,选择成熟工艺减少技术风险。运营成本需考虑能耗、维护、人员配置等因素,通过自动化监测系统降低人工巡检频率。全生命周期成本分析需纳入设计考量,避免因追求低初始造价导致后期维护费用激增。经济合理性还体现在资源利用效率上,设计需充分挖掘工程综合效益,例如通过水力发电实现能源自给,利用库区水面发展水产养殖,将沉沙池改造成湿地公园等,实现经济效益与生态效益的统一。

1.5 技术可行原则

设计方案需与现有技术水平相匹配。设计需基于成熟的工程经验与可靠的试验数据,避免过度依赖尚未验证的新技术^[2]。对关键技术难题需提前开展专题研究,通过模型试验或现场试验验证技术可行性,例如对新型防水材料进行耐久性测试,对复杂地质条件下的基础处理方案进行模拟分析。技术选择还需考虑施工条件与运维能力,确保设计方案在现有技术条件下能够顺利实施并长期稳定运行,避免因技术缺陷导致工程停工或功能失效。

2 水利工程主体结构设计要点

2.1 挡水建筑物设计要点

结构选型需结合工程地质条件、水文特征及建设需求,优先选用适配场地环境且受力合理的结构形式,像重力坝适用于地质条件良好、河谷宽阔的场地。受力分析需覆盖静水压力、扬压力、浪压力等各类荷载,精准核算结构内部应力分布,确保承载能力满足设计标准,避免局部应力集中引发结构损坏。此外,还要考虑温度变化对结构应力的影响。防渗体系构建需兼顾材料性能与施工可行性,选用抗渗等级达标且耐久性强的材料,形成连续完整的防渗屏障,阻断水流渗透路径,减少渗透变形对结构稳定性的影响。抗滑稳定设计需立足场地岩土力学参数,通过优化结构自重分布、增设抗滑构件等方式,提升结构抗滑承载力,保障在各类工况下不会发生滑动失稳。

2.2 泄水建筑物设计要点

泄水建筑物设计需精准匹配泄流能力与洪水标准。孔口尺寸与数量通过水工模型试验优化,确保在百年一遇洪水下仍能安全下泄;闸门型式选择需兼顾启闭力与密封性,弧形闸门适用于高水头场景,平面闸门则便于维护。消能防冲结构需根据地形与流态设计,底流消能通过水跃消减能量,需控制尾水深度与跃后水深;挑流消能利用鼻坎将水流抛射至空中,需校核冲刷坑深度与岸坡稳定性;面流消能则通过水流表面旋滚消能,适用于软基河道。水流流态优化需通过导流墙、整流栅等设施实现。进口段设置平滑过渡曲线,避免水流分离产生负压;闸室段保持水流对称,防止偏流导致闸门振动;出口段通过扩散段降低流速,减少对下游河道的冲刷。流速分布监测需嵌入数值模拟与物理模型验证,确保各部位流速控制在材料抗冲流速范围内。

2.3 输水建筑物设计要点

输水建筑物设计需优先保障过流能力。渠道断面通过明渠均匀流公式计算,结合地形调整底坡与边坡系数;管道直径根据流量与流速确定,需预留水头损失余量。沿线防渗设计需分层实施,渠道采用混凝土衬砌或土工

膜防渗,管道则通过焊接质量与防腐涂层控制渗漏;地基处理需对软弱土层进行换填或压实,防止不均匀沉降导致结构开裂。结构变形控制需建立三维监测网络^[3]。渠道衬砌板设置伸缩缝,缝内填充柔性材料适应温度变形;管道通过设置补偿器或柔性接头吸收热胀冷缩位移;穿跨越构筑物需预留沉降量,采用铰接支座或滑动支座释放约束。长期运行中需定期监测沉降位移与裂缝发展,及时采取灌浆加固或结构补强措施,确保输水系统安全稳定运行。

3 水利工程生态化设计要点

3.1 生态护岸设计要点

生态护岸设计需兼顾工程安全与生态功能,通过结构创新实现自然过程与人工设施的协同。护岸结构应采用柔性材料与自然形态结合,如采用植生袋、雷诺护垫等透水性强材料,既满足抗冲刷需求,又为水生植物生长提供空间。结构层与生态层应形成梯度过渡,底层采用碎石或砾石增强透水性,中层铺设营养土促进植物根系发育,表层覆盖本土草种或灌木,形成立体防护体系。岸坡植被配置需遵循适地适树原则,选择根系发达、耐水湿的物种,通过深根植物固土、浅根植物覆盖的组合方式提升边坡稳定性。植被带宽度应根据水流条件动态调整,急流段适当加密灌木种植密度,缓流段增加草本植物覆盖面积,形成错落有致的生态群落。水生生物栖息空间设计需模拟自然河岸形态,通过设置凹岸、凸岸、浅滩等微地形,为鱼类产卵、底栖动物觅食提供多样化生境。护岸表面应保留一定粗糙度,避免过度硬化,为藻类附着、微生物繁殖创造条件,形成完整的食物链基础。

3.2 水体生态修复设计要点

水动力条件优化需通过工程措施调节水流速度与方向,恢复河道自然冲刷能力。在枯水期通过闸坝调度增加基流,维持水体连通性;在丰水期通过导流堤分散水流能量,避免局部冲刷过度。生物群落构建应遵循本地化原则,优先引入本土鱼类、贝类及水生植物,通过食物链传递实现生态平衡。分层投放浮游植物、沉水植物及挺水植物,形成立体水生植被带,为不同营养级生物提供栖息场所。水质净化功能设计需整合物理、化学与生物过程,通过设置人工湿地、生态浮岛等设施增强自净能力。人工湿地应采用多级串联布局,利用基质吸附、植物吸收及微生物降解协同作用去除氮磷等污染物。生态浮岛可选择根系发达的水生植物,通过根系分泌物促进微生物聚集,形成移动式水质净化单元。

3.3 生态廊道设计要点

廊道空间连通性设计需打破人工设施阻隔,通过建设生态桥、涵洞等结构实现陆域与水域生境的纵向连接。廊道走向应顺应自然地形,避免直线化切割生态系统,保留原有河流蜿蜒特性。生态缓冲带宽度设计需结合流域特征确定,上游山区可适当收窄,中下游平原区应扩大至50米以上,为生物提供足够的迁徙与觅食空间^[4]。缓冲带内应种植多层次植被,形成乔木-灌木-草本复合结构,既可过滤面源污染,又能为鸟类提供栖息场所。动植物迁徙通道设计需考虑物种行为习性,鱼类洄游通道应设置适宜的坡降与休息池,哺乳动物迁徙通道应保持足够的净空高度与地面平整度。通道两侧应种植本土植物,减少人工痕迹,降低动物穿越时的应激反应。

4 水利工程运维保障设计要点

4.1 运维管理体系设计要点

日常巡检路径设计需结合工程结构特征与运行环境,针对大坝、溢洪道、输水洞等关键部位,规划覆盖全区域的闭合巡检路线,确保隐患排查无死角。路径设计应兼顾效率与安全性,避开高风险区域,设置清晰标识引导巡检人员按规范流程操作。维护周期规划需依据设备特性与历史运行数据,对混凝土结构、金属部件、机电设备等制定差异化维护方案。例如,混凝土裂缝检查周期可设定为3个月,金属闸门防腐处理周期可设定为1年,机电设备润滑保养周期可设定为1个月,通过动态调整周期参数适应工程实际状态变化。运维人员配置设计需根据工程规模与复杂程度确定岗位数量,明确巡检、维修、监测等岗位的职责边界与技术要求。关键岗位应配备具备3-5年专业资质的人员,定期组织2-3次/年技能培训与应急演练,确保运维团队具备处理突发问题的能力。同时建立人员轮岗机制,避免因长期固定岗位导致技能单一化,提升整体运维水平。

4.2 病害防治设计要点

结构老化防治设计需从材料与构造层面入手,对混凝土结构采用表面涂层保护、碳化深度控制等措施延缓碳

化进程,对金属结构实施阴极保护、防腐涂层更新等技术防止锈蚀扩展。针对土石坝,通过增设2-3层反滤层、控制1-3米浸润线等手段预防管涌、流土等渗透破坏。侵蚀破坏防护设计需结合工程所在区域的水文地质条件,对水流冲刷严重的部位采用0.5-1米抛石护脚、0.2-0.3米混凝土护坡等刚性防护,对生态敏感区域采用植生袋、雷诺护垫等柔性防护,平衡防护效果与生态兼容性^[5]。应急抢修预案设计需涵盖风险识别、物资储备、抢修流程等环节,针对渗漏、裂缝、设备故障等常见病害制定3-5级分级响应机制。预案中应明确抢修队伍组织方式、关键设备调用路径、临时支护措施等技术细节,确保在突发情况下能快速启动抢修程序,最大限度减少工程停运时间与次生灾害风险。

结束语

水利工程设计的要点探索涵盖了从核心原则到主体结构、生态化以及运维保障等多个层面。遵循安全稳定、功能适配等核心原则,精准把握主体结构设计要点,积极推进生态化设计,完善运维保障体系,是提升水利工程综合性能的关键路径。通过这些设计要点的有效落实,能够确保水利工程在满足人类需求的同时,最大程度减少对生态环境的负面影响,实现水利工程与自然环境的和谐共生,为社会经济的可持续发展提供坚实支撑。

参考文献

- [1]卢聪,陈芬.水利工程中水闸设计的要点及注意事项研究[J].建材与装饰,2025,21(8):157-159.
- [2]刘小康.水利工程土石坝枢纽设计中的要点分析[J].中国科技纵横,2024(13):95-97.
- [3]江式栋,孔祥龙.水利工程规划设计工作工程测绘要点分析[J].水上安全,2024(3):34-36.
- [4]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.
- [5]陈瑞峰.水利工程水闸基础结构设计要点研究[J].工程管理,2025,6(3):162-164.