

水利水电设计不合理对工程的影响分析

吕斯伟

河北省水利水电勘测设计研究院集团有限公司 天津 300221

摘要: 水利水电设计不合理可能引发工程安全性、效能及环境生态等多方面问题。设计缺陷如结构稳定性不足、防洪标准偏低、泄洪设施容量不足等,威胁工程安全运行;流道设计缺陷、灌溉系统配水不均等影响工程效能;生态流量不足、水温分层效应等则对环境生态造成长期影响。本文需通过科学设计优化与动态评估,提升工程综合效益与可持续性,为工程长期稳定运行提供保障。

关键词: 水利水电设计; 工程安全; 生态影响

引言: 水利水电工程作为基础设施核心,其设计合理性直接影响工程安全、效能发挥及环境生态平衡。若设计阶段对地质条件、水文特性、生态需求等认知不足,易引发结构失稳、洪水漫顶、水资源浪费、生态系统退化等问题。全面剖析设计不合理的影响路径与机制,是保障工程长期稳定运行、维护区域生态安全及推动可持续发展的基础前提。

1 水利水电设计不合理对工程安全性的影响分析

1.1 结构稳定性缺陷导致的坝体失稳风险

坝体结构稳定性缺陷易引发失稳风险,根源多在于设计阶段对地质条件认知不足及岩土体抗渗性能研判不足。若未精准评估岩土体承载力与变形特性,可能造成坝基处理方式不当,如防渗墙深度不足或固结灌浆不充分,导致坝体与地基间出现不均匀沉降或渗透破坏。材料强度匹配失误同样关键影响结构安全,如混凝土标号选用偏低或钢筋配置过疏,在长期水压与自重作用下易产生裂缝,削弱整体稳定性。结构布局缺陷则体现在体型设计不合理,如坝体断面尺寸偏小或坡度过陡,无法有效分散荷载,增加滑移风险。此外,忽视动态荷载影响,如水流冲击力、地震波传导等,可能使坝体在极端工况下超出承载极限。这些设计疏漏会逐步累积安全隐患,最终威胁工程安全运行,需在设计初期通过详细地质勘察与结构仿真验证予以规避。

1.2 防洪标准设计不足引发的洪水漫顶隐患

防洪标准设计不足会直接放大洪水漫顶风险,威胁工程安全;若设计阶段对流域洪水特性认知模糊,如洪峰流量估算偏低或洪水频率分析失误,可能导致泄洪设施容量与洪水规模不匹配;例如,溢洪道尺寸设计过小,无法及时排泄设计洪水,洪水水位持续上升直至超过坝顶,引发漫顶事故。此外,忽视地形地貌对洪水路径的影响,如狭窄河谷导致洪水汇流加速,或低洼地带有回水效应增强,

也会加剧漫顶风险。防洪设施布局不合理,如泄洪道出口位置不当引发冲刷破坏,或防洪堤高度不足导致越浪,同样会提升事故概率^[1]。这些设计缺陷不仅威胁坝体结构安全,还可能对下游居民区、农田及基础设施造成严重威胁,需通过科学洪水模拟与风险评估优化防洪标准,确保工程在极端水文条件下仍能稳定运行。

1.3 地质条件误判造成的地基处理失效问题

地质条件误判是地基处理失效的关键诱因,需强化前期地质调查精度;设计阶段若对岩土体物理特性认知偏差,如承载力、压缩模量或渗透系数估算不准,易导致地基处理方案与实际需求脱节;例如,低估岩体裂隙发育程度,固结灌浆深度不足,可能引发地基不均匀沉降;忽视软土层蠕变特性,未采取有效加固,易造成基础持续变形。地质构造误判同样危险,如未识别隐伏断层或溶洞,可能遗漏关键处理区域,形成结构薄弱点。地下水动态预测失误,如未考虑季节性波动对土体强度的影响,可能使地基在运营期出现湿陷或液化风险。这些误判会逐步削弱地基稳定性,加速工程结构老化,需通过详细地质勘探、参数校准及动态监测,确保地基处理方案与实际地质条件精准匹配,从源头保障工程长期安全运行。

1.4 泄洪设施容量设计不足引发的过流能力缺陷

泄洪设施容量设计不足会直接削弱工程过流能力,威胁安全运行;设计阶段若对流域洪水特性认知模糊、洪水过程演进规律研判不足,如洪峰流量估算偏低或洪水频率分析失误,易导致泄洪道、溢洪道尺寸偏小、容量不足。例如溢洪道宽度或深度未达设计洪水排泄需求时,洪水期水流无法及时排出,水位持续上升直至超过坝顶,引发漫顶风险。地形地貌影响也不容忽视,狭窄河谷加速水流汇流,低洼地带增强回水效应,会进一步加剧过流能力不足。此外,布局不合理如出口位置不当引发冲刷

破坏,或消能设施缺失导致下游冲刷加剧,也会放大缺陷。这些疏漏在极端水文条件下易引发连锁反应,威胁坝体稳定及下游安全,需通过科学洪水模拟、精准流量计算及动态风险评估优化容量设计,确保工程在极端工况下稳定运行。

2 水利水电设计不合理对工程效能的影响评估

2.1 水力发电效率降低的流道设计缺陷分析

水利水电设计中,流道设计缺陷是影响水力发电效率的关键因素;流道形状若不符合水流特性,如转弯处曲率过大或角度过急,会引发水流紊乱,增加局部阻力,导致水头损失加剧,最终降低发电效率。流道尺寸设计不合理同样影响显著:过窄的流道会限制水流速度,减少通过发电机的有效流量;过宽则可能造成水流分散,降低能量集中度。此外,流道表面粗糙度过高会增加摩擦损失,进一步削弱水流动能转换效率。流道与发电机组的衔接设计也需精准匹配,若衔接不畅,水流无法平稳进入机组,会导致能量转换效率低下;这些设计缺陷不仅直接降低发电效率,还可能加速设备磨损,增加长期维护成本^[2]。因此,优化流道设计需综合考虑水流特性、尺寸匹配及表面处理工艺,确保水流顺畅、能量高效转换,从根本上提升水利水电工程的效能表现。

2.2 灌溉系统配水不均导致的区域水资源浪费

灌溉系统设计缺陷常引发配水不均,造成区域水资源浪费;管道布局不合理时,近水源区域易获过量供水,导致地表径流增加、土壤板结,而远端区域则因水压不足出现灌溉缺口,作物生长受抑制。阀门控制精度不足会加剧这一问题,手动调节易产生误差,自动控制系统若未根据土壤湿度、作物需水量动态调整,配水量与实际需求脱节,进一步扩大浪费范围。配水不均还可能引发次生环境问题,如局部积水导致蚊虫滋生,或干旱区域因缺水引发植被退化、水土流失。长期来看,这种设计缺陷不仅降低水资源利用效率,还可能破坏区域生态平衡,增加后期治理成本。优化灌溉系统需从管道布局优化、智能控制算法开发、土壤墒情实时监测等方面入手,实现精准配水,减少无效损耗,提升水资源综合利用效能。

2.3 航运通道尺度设计偏差对通航能力的制约

航运通道尺度设计偏差会直接制约通航能力,航道宽度不足时,船只航行空间受限,易发生碰撞或搁浅事故,尤其在船流量大时,拥堵风险显著增加。深度设计不合理则限制船只吃水,大型货运船舶可能因吃水不足无法满载航行,降低运输效率。弯曲半径过小会影响船只转向灵活性,增加航行难度,尤其在急弯处,船只需

减速慢行,延长航行时间;尺度偏差还可能引发次生问题,如航道淤积加速、水流紊乱导致船体振动加剧,加速设备损耗。长期来看,这些缺陷不仅降低通航效率,还可能因事故频发增加救援与维护成本,影响航运网络整体可靠性。优化设计需综合考量船型特性、流量预测及航行安全标准,通过动态模拟验证尺度参数合理性,确保航道尺度与实际通航需求精准匹配,提升通航能力与安全性,保障工程效能稳定发挥。

2.4 多目标调度冲突导致的综合效能折减

水利水电工程中,多目标调度常面临防洪、发电、灌溉、生态保护等需求间的冲突,导致综合效能折减;例如,雨季为降低洪灾风险,需提前泄洪降低库容,但此举会减少后续发电可用水量,影响电力供应稳定性。干旱季节,灌溉需水与生态补水需求叠加,若优先保障农田灌溉,可能造成河道生态流量不足,影响水生生物栖息环境;反之,维持生态流量则可能加剧灌溉用水短缺,影响农作物产量。这种目标间的权衡取舍,使工程难以同时满足所有需求,导致部分功能受限。长期来看,冲突若未妥善协调,不仅降低工程整体运行效率,还可能引发区域水资源分配失衡、生态退化等连锁问题^[3]。优化调度需建立动态平衡机制,通过实时监测与模型预测,在多目标间寻找最优解,提升工程综合效能与可持续性。

3 水利水电设计不合理对环境生态的长期影响

3.1 生态流量不足引发的下游生态系统退化

生态流量不足会直接导致下游生态系统退化,需引起高度重视;河道长期低水位运行时,水生生物栖息地缩减,鱼类洄游通道受阻,产卵场、育幼场等关键生境消失,生物多样性显著降低,如某些特有鱼类种群数量锐减。水流减缓还会削弱水体自净能力,污染物滞留时间延长,加剧水质恶化,威胁底栖生物及浮游生物生存。湿地作为“地球之肾”,其萎缩会进一步破坏区域生态平衡,影响区域碳汇能力与气候调节功能,水生植被退化、鸟类栖息地丧失,甚至引发土壤盐渍化、岸线崩塌等次生问题。长期来看,这种退化具有不可逆性:物种灭绝风险增加,生态系统服务功能持续削弱,最终影响区域生态安全与人类可持续发展。因此,水利水电设计需科学核定生态流量阈值,通过动态调度保障下游生态需水,从源头遏制生态系统退化趋势。

3.2 水库蓄水诱发地质活动的潜在风险评估

水库蓄水可能诱发地质活动,其潜在风险需科学评估,需结合区域地质构造特性与长期监测数据;库水渗透会改变岩土体应力状态,在断层或裂隙发育区,水压增加可能降低断层面摩擦阻力,引发水库诱发地震。此类地

震震级通常较小,但频繁活动会加速岩体损伤累积;库岸边坡在蓄水后易因浸水软化、水位波动引发滑坡或崩塌,尤其当库岸存在软弱夹层或节理密集带时,稳定性风险显著上升。地面沉降则多与地下水位下降、土体压密相关,长期沉降可能影响坝体及周边建筑安全。风险评估需结合地质构造、岩土特性、水文条件等多因素,通过数值模拟与现场监测手段量化风险等级。设计阶段应优化库容、坝体结构及排水系统,设置监测预警网络,动态调整蓄水节奏,从源头降低地质活动诱发风险,保障工程与生态安全。

3.3 水文条件改变对区域气候的间接影响机制

水文条件改变通过影响地表水循环间接作用于区域气候,水库蓄水扩大水域面积,增加局部蒸发量,提升空气湿度,可能改变云量分布与降水模式,如夏季增湿可能加剧局地强降水,冬季则因温度调节作用影响霜冻频率。河流改道或断流会改变地表径流路径,影响土壤湿度与地表温度平衡,进而改变局地热力环流;例如,河道干涸后,地表反照率升高,吸收更多太阳辐射,导致近地面温度上升,可能加剧区域干旱化趋势。水文条件变化还会影响风场分布,湿润空气流动路径改变,可能引发风向偏移或风速变化,进一步影响气候要素空间分布^[4]。这些间接影响具有累积性与滞后性,长期可能改变区域气候特征,如降水季节分配、温度波动范围等,需在设计阶段通过水文-气候耦合模型预测潜在影响,优化工程布局与调度策略,降低对气候系统的扰动。

3.4 水温分层效应对水生生物栖息地的改变

水温分层效应是水库运行中普遍存在的物理现象,其形成源于表层水受太阳辐射加热后温度升高,而深层水因热量交换受限维持低温状态,形成垂直温差梯度。这种分层会显著改变水生生物栖息环境:表层暖水区虽利

于浮游生物繁殖,但过度分层可能阻断上下水体交换,导致深层缺氧,威胁底栖生物生存;温跃层的波动还会破坏鱼类洄游路径,例如冷水性鱼类因无法穿越温跃层完成产卵迁移,导致种群数量锐减。此外,分层影响营养物质分布,表层浮游生物死亡后沉降至深层,若缺氧环境无法分解有机质,反而加剧水质恶化,形成“富营养化-缺氧”恶性循环。长期来看,不合理的水温分层会打破原有生态平衡,引发生物多样性降低、局部生态链断裂等连锁反应。因此,设计时需通过控制库容、优化泄水方式等手段科学调节水温分层,维护水生生物栖息地稳定,保障生态健康,避免因设计缺陷导致不可逆的生态损害。

结束语:未来,需进一步强化前期勘察精度,深入分析地质构造、岩土特性及水文条件,为设计提供科学依据;通过动态监测网络实时追踪工程运行状态,及时发现并预警潜在风险;借助模型预测技术模拟极端工况与长期影响,优化设计方案。同时推动设计理念向生态友好型转变,结合技术创新提升工程效能,最终实现工程效益与生态效益的协同提升,构建可持续发展的水利基础设施体系。

参考文献:

- [1]杨振宇.水利水电设计不合理对工程的影响分析[J].中文科技期刊数据库(引文版)工程技术,2022(9):60-63.
- [2]尹佳文.设计变更对水利水电工程造价的影响与对策分析[J].中文科技期刊数据库(文摘版)工程技术,2025(2):162-165.
- [3]易子良.探析水利水电工程规划设计对生态环境的影响与应对策略[J].工程建设与设计,2025(8):35-37.
- [4]石友智.水利水电工程建设对生态环境所产生的影响分析[J].区域治理,2025(14):0092-0094.