

小型水库除险加固新增溢洪道设计优化技术

张万余

四川隆祚工程咨询有限公司 四川 成都 610000

摘要: 在小型水库除险加固中,对新增溢洪道设计优化至关重要。本文围绕设计优化前期基础工作,涵盖选址、水文参数适配;主体结构优化,包括进水、控制等各段设计;配套设施优化,涉及防渗、抗冲等方面;阐述结构受力、水力特性等关键技术要点。通过全面优化,提升溢洪道设计合理性,保障水库安全运行,增强其防洪减灾能力,为类似工程提供有益参考。

关键词: 小型水库;除险加固;新增溢洪道;设计优化;关键技术

引言:小型水库在区域水资源调配与防洪减灾中作用关键,但部分因建设年代久远存在安全隐患,除险加固迫在眉睫。新增溢洪道作为重要加固措施,其设计合理性直接影响水库安全。当前,小型水库溢洪道设计面临地形复杂、水文条件多变等挑战,传统设计方法难以满足需求。因此,开展新增溢洪道设计优化技术研究,提升设计水平,对保障水库安全运行、发挥综合效益具有重要意义。

1 设计优化前期基础工作

1.1 溢洪道选址优化

溢洪道选址需综合考量地形地貌、地质条件及与水库主体工程的衔接关系,通过多维度分析实现空间布局的合理性。地形地貌适配性优化需重点分析库区地形特征,优先选择地势开阔、坡度平缓且无显著障碍物的区域,确保溢洪道轴线与等高线走向一致,减少土石方开挖量。同时需避开冲沟、滑坡体等不良地质区域,降低后期变形风险^[1]。针对地质条件适配性优化,需开展详细工程地质勘察,查明覆盖层厚度、岩体风化程度及断层分布特征,优先选择基岩外露或覆盖层较薄的地段作为建基面。对软弱夹层、节理裂育带等不利地质构造,需通过地质测绘与物探手段明确空间展布,为结构抗滑稳定设计提供依据。与水库主体工程衔接优化需统筹考虑溢洪道与大坝、输水洞等建筑物的空间关系,确保泄洪时水流不冲刷坝脚或影响其他建筑物安全。具体实施中需复核溢洪道控制段与坝顶高程的相对关系,避免泄洪时产生不利水力衔接现象,同时需预留足够检修空间,保障日常巡查与维护便利性。

1.2 水文水利参数适配优化

水文水利参数选取直接影响溢洪道设计规模与运行安全,需基于流域水文特性与工程任务需求进行精细化适配。设计洪水相关参数选取优化需系统收集库区及邻

近流域的降水、径流资料,通过频率分析计算不同标准的设计洪水过程线。重点校核历史洪水调查成果与实测资料的一致性,对存在差异的站点采用多种方法综合推算,确保设计洪水成果的可靠性。针对缺乏长系列资料的地区,可借鉴邻近相似流域参数或采用区域综合法进行参数移植,但需通过敏感性分析验证其适用性。泄量计算适配性优化需结合溢洪道型式与水库调蓄特性,选择合理的计算公式与参数。对宽顶堰、实用堰等常规堰型,需根据堰上水头与堰厚厚度的比值确定流量系数,并通过模型试验修正非恒定流影响。对陡坡泄槽段,需考虑流速分布不均匀性对泄流能力的影响,采用分段计算法确定各断面实际过流能力。当溢洪道与水库其他泄洪建筑物联合运行时,需通过调洪演算确定各建筑物分担的泄量,避免出现泄流能力不足或超标泄洪现象。

2 溢洪道主体结构设计优化

2.1 进水段设计优化

进水段作为溢洪道水流引入的核心区域,其设计需兼顾水力效率与结构安全。进口形式选型优化需综合分析地形条件与水流特性,优先选择流态平稳、涡旋较少的结构型式。宽顶堰进口适用于库区开阔、水流扩散条件较好的场景,而实用堰进口则更适用于狭窄山谷或需控制堰上水头的工程^[2]。进口断面尺寸优化需基于设计洪水流量与流速要求,通过水力计算确定合理宽度与高度。断面宽度应满足泄洪能力需求,同时避免因过宽导致水流分散、流速降低;高度设计需考虑库水位变幅与闸门启闭空间,确保极端工况下水流不越顶。进口衔接部位设计优化需重点关注与库岸或坝体的连接方式,采用渐变段过渡可有效减少水流冲击。衔接部位应设置防渗帷幕或截水槽,防止库水沿接触面渗透导致结构失稳,同时需对连接处进行加固处理,增强整体抗滑能力。

2.2 控制段设计优化

控制段是调节溢洪道泄流能力的关键结构,其设计需平衡泄洪效率与结构耐久性。控制结构选型优化需根据工程规模与运行要求选择闸门型式,平板闸门适用于需频繁启闭的场景,弧形闸门则更适用于大流量、高水头工程。控制段断面设计优化需结合闸门型式与水力条件,确定合理堰顶高程与孔口尺寸。堰顶高程应与水库防洪标准匹配,避免因设计偏低导致超标泄洪;孔口尺寸需通过泄流能力计算确定,同时预留足够检修空间。防渗防冲设计优化需在结构迎水面设置抗磨层,采用高强度混凝土或合金材料延长使用寿命。底部需设置排水系统,降低扬压力对结构稳定性的影响,侧墙则需配置防渗面板或喷涂防渗材料,防止库水渗透引发破坏。

2.3 泄槽段设计优化

泄槽段承担水流加速与能量传递功能,其设计需确保水流平稳且结构抗冲性能可靠。泄槽走向与坡度优化需结合地形条件与水流特性,优先选择直线布置以减少水头损失,当受地形限制时采用折线或曲线过渡,但需通过水力计算验证流态稳定性。坡度设计需平衡泄洪效率与抗冲需求,陡坡可加速水流但会增加冲刷风险,缓坡则相反,需通过试验确定最优坡比。泄槽断面尺寸与形状优化需根据设计流量与流速要求,选择矩形或梯形断面。矩形断面施工简便但抗冲性能较弱,梯形断面则通过边坡调整增强稳定性。泄槽内壁抗冲耐磨设计优化需采用高强度混凝土或铺设抗冲磨材料,对高速水流区域可增设锚筋或钢筋网提升结构整体性,同时需定期检测内壁磨损情况并及时修复。

2.4 消能段设计优化

消能段是降低水流能量的核心区域,其设计需兼顾消能效率与下游河道保护。消能形式选型优化需根据水头差与单宽流量选择底流、挑流或面流消能。底流消能适用于中低水头工程,通过水跃消散能量;挑流消能适用于高水头场景,利用反弧段将水流抛射至空中;面流消能则适用于下游水位变幅较大的工程。消能结构尺寸优化需通过模型试验确定鼻坎高度、反弧半径等关键参数,确保消能效果满足设计要求。消能后水流衔接优化需分析下游河道水流特性,设置消力池或护坦防止冲刷,同时需控制尾水深度避免回流对结构造成破坏。

2.5 出水段设计优化

出水段是溢洪道与下游河道的连接区域,其设计需确保水流平稳过渡且不破坏河道生态。出水段走向优化需与下游河道主流方向一致,减少水流对河岸的冲刷。当受地形限制时,可采用导流墙调整水流方向,但需验

证导流效果。出水断面设计优化需根据下游水位与流速要求确定合理宽度,避免因断面突变导致水流紊乱。与下游河道衔接优化需设置护坡或护底结构,采用石笼、雷诺护垫等柔性材料适应河道变形,同时需在衔接部位设置监测点,定期评估冲刷情况并采取防护措施。

3 溢洪道配套设施设计优化

3.1 防渗设施设计优化

防渗设施是保障溢洪道结构安全与运行稳定的关键,需针对地基与岸坡不同特性采取差异化设计。地基防渗设计优化需结合地质勘察成果,对透水性较强的砂砾石层或断层破碎带进行重点处理^[1]。可采用垂直防渗措施,如混凝土防渗墙或高压喷射灌浆,形成连续防渗屏障;对浅层透水路,则通过铺设黏土铺盖或土工膜增强阻水效果。防渗墙深度需穿透相对不透水层,顶部与溢洪道底板紧密连接,底部嵌入基岩一定深度,防止绕渗破坏。岸坡防渗设计优化需分析库水对岸坡的渗透压力分布,对潜在渗漏通道进行封堵。可在岸坡设置截水沟或排水盲沟,截断地表水入渗路径;对岩质岸坡,通过喷涂防渗涂料或设置防渗面板减少渗流;对土质岸坡,则采用植被护坡与防渗土工布结合的方式,既增强稳定性又降低渗透风险。

3.2 抗冲防冲设施设计优化

抗冲防冲设施需根据水流特性与地质条件,针对性提升结构耐久性。地基抗冲设计优化需评估水流对建基面的冲刷强度,对软弱地基进行加固处理。可采用换填法,将冲刷敏感层替换为抗冲性能较好的碎石或混凝土;对基岩面,通过凿毛或设置抗冲槽增强与上部结构的连接强度。局部冲刷严重区域,可埋设抗冲锚杆或设置钢筋网,提升整体抗冲能力。岸坡防护设计优化需结合岸坡坡度与水流流速,选择适宜防护型式。对缓坡岸坡,可采用干砌石或预制混凝土块护坡,通过块石间相互嵌锁分散水流冲击力;对陡坡岸坡,则需设置柔性防护网或格宾石笼,适应岸坡变形的同时防止块石滚落。防护结构底部需设置基础,确保与岸坡紧密结合,避免水流掏空导致失稳。

3.3 排水设施设计优化

排水设施是降低结构内部水压力、防止渗透破坏的重要手段,需科学布置并优化参数。渗排水系统布置优化需根据渗流场分布特征,在结构关键部位设置排水孔或排水管。对溢洪道底板,可在防渗墙后设置纵向排水盲沟,将渗水引至集水井;对岸坡,则沿等高线布置横向排水沟,截断坡面径流。排水系统需形成完整网络,确保渗水能及时排出,避免积水导致结构上浮或软化。

排水断面与材质优化需根据排水量与流速要求,选择合理断面形式与材料。排水管可采用HDPE管或钢管,管径需通过水力计算确定,确保排水能力满足设计要求;排水盲沟则采用碎石或陶粒填充,既保证透水性又防止堵塞。对高速水流区域,排水设施表面需进行抗磨处理,如涂抹环氧砂浆或铺设抗冲磨板,延长使用寿命。同时需定期清理排水系统,防止杂物堆积影响排水效果,保障溢洪道长期安全运行。

4 设计优化关键技术要点

4.1 结构受力优化

结构受力优化需以力学分析为支撑,通过精细化建模与参数调整提升结构安全性。针对溢洪道不同部位受力特征,需采用有限元法开展三维应力计算,重点关注闸门支铰、反弧段、鼻坎等关键区域应力分布^[4]。对高应力集中部位,可通过增设加劲肋或调整结构断面形式分散应力,避免局部破坏。地基承载力优化需结合地质勘察数据,对软弱地基采用桩基础或扩大基础增强承载力,基岩地基则需对表面进行平整处理,防止因接触面不平导致应力集中。结构整体稳定性优化需考虑地震、水流冲击等动态荷载,通过增设抗滑桩或调整结构重心位置提升抗倾覆能力,同时需对连接部位进行加固处理,确保结构在极端工况下保持稳定。

4.2 水力特性适配优化

水力特性适配优化需以水流模拟为核心,通过调整结构参数实现流态平稳与消能高效。泄流能力优化需结合设计洪水标准,通过水力计算确定合理堰顶高程与孔口尺寸,确保极端工况下泄流能力满足要求。流态控制优化需分析水流在进水段、控制段、泄槽段等区域的流态变化,对可能产生涡旋或回流区域进行局部调整,如优化断面形状或增设导流墙,减少水流对结构的冲击。消能效率优化需根据水头差与单宽流量选择适宜消能型式,底流消能需控制水跃位置避免冲刷,挑流消能需调整鼻坎角度与反弧半径确保水流抛射距离合理,面流消能则需控制尾水深度防止回流影响结构安全。

4.3 施工适配性优化

施工适配性优化需以可操作性为导向,通过简化施工流程与提升材料可获取性降低建设成本。结构分块设计需结合施工设备能力与运输条件,将大型结构拆分为适宜尺寸的模块,减少现场拼接难度。对复杂曲面结构,可采用预制装配式施工,提前在工厂完成构件制

作,现场仅需进行快速组装,提升施工效率。施工顺序优化需分析各工序间逻辑关系,优先安排对后续施工影响较小的工序,如先完成地基处理再进行上部结构施工,避免交叉作业导致效率降低。材料选择优化需兼顾性能与成本,对隐蔽工程或受力较小区域,可采用普通混凝土替代高强度混凝土,对易磨损区域则需选用抗冲耐磨性能更好的材料,如硅粉混凝土或合金铸铁。

4.4 运维便捷性优化

运维便捷性优化需以全生命周期管理为目标,通过合理布局与智能化设计降低后期维护难度。设备布置优化需将检修门、启闭机等关键设备设置在便于操作的位置,同时预留足够检修空间,避免因空间狭窄导致维护效率低下。监测系统优化需在结构关键部位布置传感器,实时采集应力、位移、渗流等数据,通过数据分析平台提前预警潜在风险,实现预防性维护。检修通道优化需设置专用爬梯或检修平台,确保维护人员能安全到达各部位,对高空或水下区域,可采用遥控机器人或无人机辅助检查,减少人工操作风险^[5]。材料耐久性优化需选用抗老化、耐腐蚀材料,延长结构使用寿命,降低频繁维修带来的成本与安全风险。

结束语

小型水库除险加固新增溢洪道设计优化是一项系统工程,涉及多方面内容。通过前期基础工作的精准开展、主体结构与配套设施的细致优化以及关键技术要点的有效把控,可显著提升溢洪道设计的科学性与合理性。这不仅有助于保障水库在极端工况下的安全稳定运行,还能降低后期运维成本,提高工程综合效益,为区域水资源管理与防洪安全提供坚实支撑。

参考文献

- [1]王立彬,迟兴,刘红喜,等.某病险水库溢洪道除险加固设计方案研究[J].大坝与安全,2023(2):44-47.
- [2]李天斌.福岭水库溢洪道除险加固工程设计研究[J].云南水力发电,2022,38(11):119-123.
- [3]吴小平.乌议高虎脑水库除险加固工程溢洪道设计[J].水利科学与寒区工程,2022,5(9):169-173.
- [4]肖志坚.中坊水库溢洪道除险加固设计分析[J].水利科学与寒区工程,2023,6(4):126-128.
- [5]樊永波,祁怀明.浅谈岐山县丁童水库除险加固工程溢洪道设计[J].陕西水利,2025(10):130-132.