

水利工程水闸设计要点分析

徐成林

洛阳水利勘测设计有限责任公司 河南 洛阳 471000

摘要：本文围绕水利工程水闸设计展开分析。阐述了水闸功能与分类、设计基本原则，深入剖析总体布置、结构、水力、地基处理等设计核心要点，探讨自然环境与工程功能需求对设计的影响，提出结构、水力性能、生态适应性优化策略，为水闸设计提供全面参考，助力提升设计质量与工程效益。

关键词：水利工程；水闸设计；设计要点；优化策略

引言：水闸作为水利工程的重要组成部分，在防洪、灌溉、供水和航运等方面发挥着不可替代的作用。随着水资源利用需求的不断提升，水闸设计面临更高的技术要求与环境挑战。科学合理的设计不仅关系到工程的安全稳定运行，也直接影响水资源的高效配置与生态环境的协调发展。深入分析水闸设计的核心要点与关键技术，对于提升水利工程建设质量具有重要意义。

1 水利工程水闸设计的基础认知

1.1 水闸的功能与分类

水闸的功能体现在水资源调控的多个维度。调节水位可保障灌溉区水源供应，通过闸门升降改变河道水位，满足农作物生长对水量的需求。控制流量能平衡上下游水量分配，在枯水期保留足够水源，洪水期快速泄流避免淤积。挡水泄洪是防洪体系的重要环节，汛期关闭闸门阻挡洪水入侵，超过警戒水位时开启闸门宣泄超额水量^[1]。根据功能，水闸可分为防洪闸、灌溉闸、排水闸等。防洪闸设计侧重结构抗冲击能力，需强化闸室与基础的连接强度；灌溉闸更关注流量调节精度，闸门启闭需灵活可控。按结构形式，有开敞式、涵洞式等类型。开敞式水闸适合大流量泄洪，设计时注重过流断面的流畅性；涵洞式水闸常用于渠道穿越堤坝处，需优化洞身衬砌的防渗性能。依所处位置，分为河道水闸、渠系水闸等。河道水闸需适应复杂水流状态，设计考虑泥沙淤积对闸门运行的影响；渠系水闸则侧重与渠道坡度的匹配，确保水流平顺过渡。不同类型水闸因应用场景差异，设计时需针对性调整参数与结构细节。

1.2 水闸设计的基本原则

安全可靠原则是水闸设计的核心。结构需抵御水力荷载冲击，闸墩、底板等关键部位的强度需抵御水流推力与冲击力。地基处理需适应地质条件，软土地基需采取加固措施减少沉降，岩基则需处理裂隙防止渗漏。整体结构需在地震、冲刷等不利因素作用下保持稳定，避

免变形或坍塌。经济合理原则要求平衡功能与成本。材料选择需兼顾性能与价格，优先选用耐久性强且成本适中的建材。施工方案需简化流程，减少不必要的工序，如采用预制构件缩短现场浇筑时间。设计时预留合理安全系数，避免过度强化结构造成浪费，通过优化断面尺寸降低建材消耗。适应环境原则需减少对生态的干扰。闸门布置需预留鱼类洄游通道，避免阻断水生生物迁徙路线。泄流设计需控制流速，防止冲刷河岸导致植被破坏。施工过程中需保护周边植被，完工后及时恢复地形地貌，维持原有生态平衡。便于运维原则需考虑后期管理需求。闸室两侧需设置检修通道，宽度与坡度需适合设备搬运与人员通行。闸门启闭机需安装在便于操作的位置，配备必要的监测仪器，实时反馈运行状态。设计时预留检查孔与排水设施，方便定期排查渗漏点与清理淤积物，确保运维工作高效开展。

2 水利工程水闸设计的核心要点

2.1 总体布置设计

水闸在水利枢纽中的位置选择需统筹多重因素。流域规划决定水闸的功能定位，需与防洪体系、水资源调配格局相契合，避免因位置偏差影响整体工程效益。地形地质条件直接约束布置形式，平缓地形便于闸室与引航道直线衔接，复杂地质区域需避开断层或软弱夹层，减少后期地基处理难度。上下游衔接需保证水流顺畅，上游引航道应顺直且长度适配，使水流平稳进入闸室；下游出口需与河道主流方向一致，避免产生横向环流。周边工程协调涉及与桥梁、泵站等设施的距离控制，防止相互干扰，如与桥梁保持足够间距以避免通航净空冲突。闸室布置需匹配过流需求，宽度与长度根据设计流量确定，为闸门启闭设备预留操作空间。上下游引航道的断面尺寸需渐变过渡，减少水流收缩产生的水头损失^[2]。消能防冲设施需与闸室出口紧密衔接，消力池长度应覆盖水跃范围，海漫延伸至冲刷影响区外，各部分尺寸需相

互匹配,形成完整的防冲体系,确保水流经过闸室后能量充分消散,降低对河床的冲刷风险。

2.2 结构设计

闸室结构设计需兼顾强度与整体性。闸底板作为基础构件,需根据地基承载能力选择整体式或分离式结构,整体式底板适用于软土地基,可增强抗滑稳定性;分离式底板在岩基上更经济,需通过止水设施保证防渗性能。闸墩需承受闸门传来的水压力,截面尺寸需满足强度要求,同时为闸门启闭提供足够空间,侧面应设计成流线型以减少水流阻力。启闭机室需根据设备重量与操作方式确定结构形式,梁柱布置需平衡设备荷载,确保运行时无明显振动。闸门与启闭设备的选型需协同适配,平面闸门适用于中低水头场景,弧形闸门在高水头下更具优势,需根据过闸流量计算闸门面积,确保开启时不阻碍水流。启闭设备的动力输出需与闸门重量匹配,运行精度需满足水位调节要求,避免因启闭滞后影响调控效果。消能防冲结构设计需针对性施策,消力池深度与长度需通过水力计算确定,保证水跃在池内完整形成;海漫采用柔性材料铺设,如干砌石或混凝土块体,允许一定变形以适应河床沉降;防冲槽设置在海漫末端,通过抛石形成抗冲刷屏障,减轻水流对河床的淘刷。

2.3 水力设计

过流能力计算需综合多参数取值。闸孔尺寸需根据设计流量与允许流速确定,孔数与单孔宽度组合应使水流均匀分布,避免个别闸孔过流集中。上下游水位差直接影响过流能力,计算时需考虑正常蓄水位、设计洪水位等不同工况,确保各工况下均能满足过流要求。过流能力验算需涵盖壅水、降水等不利条件,防止实际过流时出现超设计情况。流态控制需贯穿闸室上下游,闸室进口设置导流墩可引导水流均匀进入,减少横向流速;出口布置导流墙使水流平顺扩散,避免产生回流。闸门开启方式需合理规划,多孔闸门应同步操作或对称开启,防止水流偏折形成漩涡,对闸室结构造成局部冲刷。防渗排水设计需形成完整体系,闸基防渗可采用水平铺盖与垂直防渗墙结合的方式,铺盖长度需覆盖渗透影响范围,防渗墙深度应穿透透水层。两岸防渗需与闸基防渗衔接,采用刺墙或灌浆帷幕阻断侧向渗透路径。排水系统布置在防渗设施下游,通过反滤层与排水孔将渗透水导出,降低渗透压力,防止发生管涌或流土等渗透变形。

2.4 地基处理设计

地基处理需根据地质条件差异化施策。软土地基需采用加固措施,换填法适用于浅层软弱土层,置换材料

选用砂石或灰土,通过分层碾压提高地基承载力;深层软基可采用排水固结法,设置塑料排水板加速孔隙水排出,减少后期沉降。砂土地基需重点控制渗透变形,采用振冲加密法增强土体密实度,或设置防渗帷幕阻断渗透路径,防止水头作用下出现管涌。岩基处理聚焦完整性改善,对裂隙发育区域进行灌浆填充,提高岩体整体性;对表面风化层进行开挖清除,使闸室直接置于新鲜岩面上。地基防渗措施需与闸基防渗系统衔接,地基浅层可铺设土工膜防渗,深层采用帷幕灌浆,灌浆范围需覆盖闸室及上下游一定区域^[3]。排水措施需分层设置,浅层排水通过盲沟收集地表渗水,深层排水采用排水孔穿透透水层,将地下水引至集水井排出。处理后的地基需满足承载力与变形要求,沉降量控制在允许范围内,不均匀沉降不得影响结构整体性,确保水闸在长期运行中结构稳定。

3 影响水利工程水闸设计的主要因素

3.1 自然环境因素

地形地貌直接限制水闸布置形式。峡谷河段两岸陡峭,水闸需紧凑布置以减少开挖量,闸室与翼墙需贴合山体走势,避免因开挖形成高边坡引发坍塌;平原河道地势开阔,可采用开敞式布置,预留足够的上下游缓冲空间,便于水流自然扩散。地质条件决定结构安全基础,软土地层需加强地基处理,通过垫层置换或深层搅拌增强承载能力,避免闸室沉降不均;断层发育区域需优化基础形式,通过加深防渗墙阻断裂隙渗水,增加闸墩配筋提高抗剪性能。水文条件主导水力设计方向,水位变幅大的区域需提高闸门高度,增设止水装置防止渗漏;流速快的河段需强化消能防冲设施,延长消力池长度并加密海漫护砌;泥沙含量高的河道需在闸前设置沉沙池,搭配冲沙闸定期清理,防止闸孔淤积影响启闭。气象因素影响结构耐久性,多雨地区需优化排水系统,闸顶设置纵横坡引导积水排出,避免渗入结构内部;严寒区域需采用抗冻材料,闸门接缝处填充弹性保温材料,闸墩表面涂刷防冻涂层,避免低温导致构件开裂。

3.2 工程功能需求因素

防洪标准决定水闸挡泄能力,高防洪等级要求闸室结构加厚,采用钢筋混凝土整体浇筑增强抗冲性能,闸门启闭速度加快,配备双驱动系统确保紧急情况下快速开启,以应对短时强洪水。水资源利用目标影响水位调节精度,灌溉工程需控制水位波动在较小范围,闸门需配备伺服控制系统实现微调,闸前设置水位监测装置实时反馈;供水工程则需保证下游水位稳定,闸孔尺寸需匹配持续供水流量,采用多孔联合调节方式平衡水流^[4]。

航运需求约束闸室设计,通航河道需保证闸室净空高度与宽度,满足不同吨位船只通行要求,闸室上下游设置导航墙引导航线,调控上下游流速,通过增设导流墩分散水流能量,避免水流过急影响航行安全。不同功能优先级平衡左右设计方案,防洪为主的水闸需优先保证泄洪通道畅通,缩减非必要附属设施;水资源利用为主的则需优化闸门调节性能,增加监测点位;多目标兼顾时需通过方案比选找到功能平衡点,在结构强度、调节精度与通行需求间合理分配设计资源,确保核心需求得到满足的同时兼顾其他功能。

4 水利工程水闸设计的优化策略

4.1 结构优化设计

结构优化可从新型结构形式与材料应用入手。采用空腹式闸墩替代实体闸墩,利用内部空腔减轻自重同时保留结构强度,减少建材消耗的同时降低地基荷载。在闸门制造中引入复合材料,如碳纤维增强聚合物,其重量仅为传统钢材的三分之一,抗腐蚀性性能更优,适合在多泥沙或水质复杂的环境中使用。通过力学分析软件对结构构件进行仿真计算,调整闸底板厚度与闸墩间距,使应力分布更均匀。优化配筋方式,将单向配筋改为双向交叉配筋,提升结构抗裂性能。对启闭机支架等次要构件,采用薄壁型钢替代厚重钢板,在满足受力要求的前提下缩减尺寸。在闸室与翼墙连接部位设置柔性节点,通过弹性材料填充减少温度应力导致的裂缝,整体提升结构的经济性与可靠性。

4.2 水力性能优化

数值模拟技术可精准呈现水流状态。通过三维流场仿真,分析不同闸孔开度下的流速分布,调整闸孔宽度与间距,避免出现局部高速水流。优化消能设施形式,将传统消力池与尾槛结合,在池底增设消力墩,形成多道消能屏障,使水流能量逐步衰减。对闸室进口段进行流线型设计,将翼墙迎水面做成圆弧曲线,减少水流分离现象。在闸门底部设置折线型止水装置,降低过闸水流的紊动强度。依据水动力学原理调整防渗设施布置,延长防渗路径的同时优化排水孔位置,使渗透水流平稳排出,减少对地基的冲刷。针对多闸孔联合运行场景,

通过模拟计算确定最优开启组合,避免闸间水流相互干扰,提升过流效率,降低水头损失,增强水闸运行的稳定性。

4.3 生态适应性优化

生态理念需融入设计各环节。在闸室侧面设置鱼道,采用阶梯式结构模拟自然河道形态,底部铺设鹅卵石形成隐蔽空间,为不同体型的鱼类提供适宜的迁徙通道,鱼道入口处设置水流引导装置,吸引鱼类进入^[5]。闸上下游采用生态护岸,用格宾石笼替代混凝土衬砌,石笼内填充当地石块并植入乡土植物,既增强岸坡稳定性又为小型生物提供栖息场所。调整闸门启闭方式,避免长时间断流,保持河道基本生态流量,满足水生生物对水流的需求。在消力池末端种植水生植物,利用植物根系减缓水流速度,促进泥沙沉积形成小型湿地,改善局部水质。同时在闸址周边预留生态修复区,通过恢复植被构建完整的生态缓冲带,减少水闸对河流生态系统的干扰,实现工程功能与自然环境的协调共生。

结束语

水利工程水闸设计涉及多学科知识,需统筹兼顾安全、经济、生态等多方面要求。通过深入分析设计要点,把握影响因素,并采取针对性的优化策略,可有效提升水闸设计的科学性与合理性。未来,随着技术的不断进步,水闸设计将朝着更加智能化、绿色化方向发展,为水利事业的可持续发展提供坚实支撑。

参考文献

- [1]何立慧.水利工程水闸基础结构设计要点研究[J].价值工程,2024,43(36):57-59.
- [2]冯永昭.水利工程中水闸施工的技术要点[J].电脑校园,2024(16):165-167.
- [3]张国祥,杜晓喻.水闸工程设计中的重难点分析[J].大众科学,2025,46(3):127-130.
- [4]邓玉洁,曹思.水利水电工程中水库水闸施工与设计的实践研究[J].水电水利,2025,9(4):100-102.
- [5]白雪萍.浅谈水利水电工程中的水闸设计问题及其优化措施[J].越野世界,2023,18(8):220-222.