

# 水利工程水闸设计问题分析

杨智谦 张展鹏

浙江中水工程技术有限公司 浙江 杭州 310020

**摘要:** 水利工程水闸设计对工程整体效能起着关键作用。本文深入剖析水闸设计的基础理论,包括水力学、结构力学等相关原理,并解读现行设计规范标准。详细分析了水闸设计常见问题,如选址与总体布局考虑不周、闸孔尺寸流量计算偏差、闸室结构设计漏洞以及地基处理不完善等。进而提出相应解决对策,涵盖引入前沿设计理念技术、提升地质勘察质量、精确水力学分析、合理投资控制与设计人员能力强化等多方面内容,旨在为水利工程水闸设计的优化完善提供全面且具深度的理论依据与实践指导,保障水闸工程安全高效运行。

**关键词:** 水利工程; 水闸设计; 问题分析

引言: 水利工程在水资源调配、防洪灌溉等多领域意义非凡,水闸作为其重要组成部分,其设计优劣直接关联工程成败。随着水利事业发展,水闸设计面临更高要求与更多挑战。一方面,需深刻理解水闸设计所依托的水力学、结构力学等理论基础,严格遵循现行设计规范标准;另一方面,实际设计过程中常出现各类问题,如选址布局若未结合地形地质与上下游设施,易引发稳定性与衔接性问题。闸孔计算失误、闸室结构缺陷及地基处理不当等也会带来安全隐患与运行故障。因此,深入探究水闸设计问题并寻求有效解决之道至关重要,这有助于提升水利工程整体建设水平与效益。

## 1 水闸设计的基础理论与规范要求

### 1.1 水闸设计相关理论

水闸设计基于多学科理论体系。水力学原理是核心,通过伯努利方程等理论计算闸孔出流流量、流速等关键参数,确定合理闸孔尺寸以满足不同工况下的流量调节需求,同时为消能防冲设施设计提供依据,如依据水跃理论设计消力池尺寸,防止下游河床冲刷。结构力学理论保障闸室、闸门等结构的稳定性与强度,对闸墩、底板等进行受力分析,计算在水压力、土压力、自重等荷载组合作用下的内力分布,从而合理配置钢筋与确定结构尺寸。土力学知识用于评估地基承载能力与稳定性,分析地基在不同荷载与地质条件下的沉降、固结等特性,以便选择合适地基处理方法。

### 1.2 现行设计规范与标准解读

现行水闸设计规范与标准是确保工程质量与安全的准则。国内主要规范如《水闸设计规范》(SL 265 - 2016)对水闸分类、选址、总体布置、水力设计、结构设计、地基处理等方面作出详细规定。在选址上,要求综合考虑地形、地质、水流条件等因素,避免不良地质

区域。对于不同类型水闸,如节制闸、进水闸等,在闸孔净宽、上下游水位差等参数确定上有明确计算方法与取值范围。结构设计方面,规定了不同结构构件的安全系数,如混凝土闸墩抗压安全系数不低于特定值,以保障结构强度。国际上相关标准如美国陆军工程兵团的水闸设计手册,在水闸抗震设计、生态友好型设计等方面提供了先进理念与方法<sup>[1]</sup>。

## 2 水闸设计中的常见问题

### 2.1 选址与总体布局问题

部分水闸选址时未充分考量地形地貌,在山区选址若忽视地势高差与坡度,可能导致水闸施工难度剧增,运行中水流流态紊乱,影响泄洪与引水效率。地质条件的疏忽更为严重,在软土地基区域未深入评估,后期可能出现不均匀沉降,致使水闸结构变形、开裂,威胁安全。与上下游水利设施衔接不畅是常见弊病,水位衔接不合理,易引发雍水或跌水现象,造成水流能量集中,对周边河床与河岸产生强烈冲刷。流量匹配不佳则会限制整体水利系统的运行效能,比如在灌溉渠道中,水闸与泵站流量不匹配,无法精准调控水量,导致灌溉不足或水资源浪费,严重影响区域农业生产与水资源综合利用的效益。

### 2.2 闸孔尺寸与流量计算不准确

(1) 对过闸水流特性认识不足是关键因素之一,水流形态复杂多变,若未充分考虑其非恒定流特性、侧向收缩以及淹没出流等情况,会使计算结果产生较大偏差。(2) 计算公式选用不当较为常见,不同的水流条件和水闸类型需要适配相应的公式,若盲目套用,例如在宽顶堰流与薄壁堰流混淆时,得出的闸孔尺寸将无法满足实际流量需求。(3) 参数取值有误也会导致计算不准,像糙率系数、流量系数等参数的确定若偏离实际,

会使计算的流量与真实值相差甚远。这不仅可能造成闸孔尺寸过大,导致工程建设成本不必要地增加,还可能出现闸孔尺寸过小的情况,在洪水期无法及时有效宣泄洪水,从而危及水闸自身安全以及上下游地区的防洪安全,对水利工程的整体功能发挥产生极大阻碍。

### 2.3 闸室结构设计缺陷

在强度计算方面,对各种荷载组合考虑不周全是一大问题,例如仅关注常规水压力与自重,而忽视地震力、温度应力等特殊荷载,或在荷载取值上出现偏差,会使闸墩、底板等结构部件的强度设计不足,在极端情况或长期运行中容易出现裂缝甚至断裂。刚度计算失误也不容忽视,若未能准确预估结构变形量,可能导致闸门与闸室配合不良,影响水闸的正常启闭操作,严重时会使止水失效,引发渗漏。配筋设计不合理同样常见,钢筋数量、规格及布置方式若不符合结构受力要求,会造成局部应力集中,削弱结构整体承载能力,加速结构老化与损坏,降低水闸的耐久性与安全性,增加后期维修成本与工程运行风险,甚至可能引发水闸整体结构的失稳垮塌事故<sup>[2]</sup>。

### 2.4 地基处理措施不完善

一方面,地基承载力评估失误较为突出,地质勘察不够精细时,容易高估或低估地基承载力。高估可能导致设计的基础尺寸偏小、结构配筋不足,在水闸运行后,因实际承载力无法满足要求,地基产生过量沉降,使闸室倾斜、墙体开裂;低估则会造成不必要的工程浪费,如过度加固地基。另一方面,地基处理方法选择不当是常见问题,不同的地基类型,如软土地基、砂性土地基等,需要针对性的处理措施。若在软土地基中未采用有效的加固方式,如未合理设置排水固结系统或桩基础,地基可能发生剪切破坏或过大的沉降变形,影响水闸的正常使用和寿命,甚至在极端情况下,可能导致水闸基础失稳,引发灾难性后果,对周边区域的安全和经济造成巨大损失。

## 3 水闸设计问题的解决对策与优化建议

### 3.1 引入先进设计理念与技术

第一,在设计理念方面,基于性能化设计理念可依据水闸的特定功能需求与性能目标开展设计。例如,针对防洪要求,精确设定水闸在不同洪水频率下的泄洪能力与结构稳定性指标,确保在极端洪水时能有效保障周边区域安全;对于航运需求,优化闸室尺寸与水流条件,使船舶能平稳、高效地通过。全生命周期设计理念则从水闸的规划、设计、施工、运营直至报废拆除的整个过程统筹考虑。在设计初期就预估后期维护成本、老

化更换需求等,如选用耐久性好的建筑材料与设备,减少运营期频繁维修与更换带来的不便与成本增加。第二,在技术层面,数字化设计技术可利用建筑信息模型(BIM)创建水闸的三维模型,集成各种设计信息,如结构参数、水力数据等。各专业设计人员能在同一平台协同工作,提前发现设计冲突与不合理之处,提高设计效率与质量。虚拟现实(VR)技术能让设计人员身临其境地感受水闸建成后的运行场景,从视觉、听觉等多方面体验水流形态、结构状态等,进一步优化设计细节。参数化设计通过设定关键参数与约束条件,快速生成多种设计方案并进行对比分析,例如改变闸孔尺寸参数,自动生成相应的结构模型与水力计算结果,方便筛选出最优方案,推动水闸设计向智能化、精细化方向大步迈进,提升水利工程水闸的整体设计水平与综合效益。

### 3.2 提高地质勘察精度与可靠性

(1)需采用多元化且精细化的勘察手段。除传统钻探获取岩芯样本以直观了解地层结构与岩土性质外,应广泛应用地球物理勘探方法,如地震波勘探可探测地层的弹性波速,进而推断地层的密实度与地质构造;电阻率法能够依据岩土体导电性差异,查明地下水位、岩溶等情况。多种方法相互补充印证,全面勾勒出选址区域的地质蓝图。(2)在勘察过程中,要严格把控细节与质量。加密勘探点的布置,尤其是在地质条件复杂多变区域,如断层带、软土地层与硬岩交替区域等,确保不遗漏任何关键地质信息。对于钻探获取的岩芯样本,严格按照规范进行采样、保存、试验分析,准确测定岩土的物理力学参数,包括抗压强度、抗剪强度、压缩模量等。(3)建立长期的地质监测机制。在水闸建设前期与运营期间,持续监测地下水位变化、地层沉降与位移情况,及时反馈数据用于验证和修正勘察结果,以便提前发现潜在地质风险并调整设计方案。例如,通过在闸址周边设置地下水位观测井与沉降观测点,定期采集数据并分析其变化趋势,若发现地下水位异常上升或沉降速率加快,及时采取相应工程措施,如增设排水设施或加固地基,保障水闸的长期稳定性与安全性,为水闸设计提供坚实、精准的地质依据<sup>[3]</sup>。

### 3.3 精准水力学分析与参数确定

(1)在水力学分析方面,应充分考虑水流的多种复杂特性。对于非恒定流现象,采用数值模拟软件如计算流体力学(CFD)模型,模拟洪水涨落、潮汐变化等过程中水流的流速、水位波动情况,准确分析水闸在不同工况下的过流能力与流态变化。深入研究侧向收缩效应,考虑闸墩、边墙等对水流的约束作用,通过物理模

型试验与数值计算相结合的方式,确定其对流量系数的修正值,提高流量计算的精度,细致分析淹没出流条件,依据上下游水位关系,运用水跃理论与能量守恒原理,精确计算消能防冲设施所需的参数,确保水闸下游水流平稳过渡,避免河床冲刷与河岸侵蚀。(3)在参数确定上,通过大量的现场实测数据进行率定。在相似水闸或拟建水闸所在河道进行流速、流量、水位等参数的长期观测,利用统计分析方法确定糙率系数、流量系数等关键参数的取值范围。例如,在不同季节、不同流量条件下测量河道糙率,综合分析得出符合实际情况的糙率值。此外,参考国内外众多已建成水闸的运行数据与相关研究成果,结合本工程的特点进行参数优化。

### 3.4 强化设计阶段投资控制与优化

(1)要树立全生命周期成本理念。设计时不仅考虑建设初期的投资,更要综合评估水闸在运营、维护、检修及最终报废处置等各阶段的成本。例如,选用高品质、耐久性好的建筑材料与设备,虽初期投入可能稍高,但能大幅减少后期频繁维修与更换的费用,降低长期运营成本。(2)积极推行限额设计方法。依据项目批准的投资估算,将投资限额分解到各个专业与设计环节,要求设计人员在限定额度内进行方案创作与设计细化。从水闸的总体布局、结构选型到细部构造设计,都要进行多方案比选与技术经济分析。比如在闸室结构设计中,对比不同结构形式(如混凝土结构与钢结构)在材料成本、施工难度、维护要求等方面的差异,选择性价比最高的方案。(3)加强设计变更管理。建立严格的设计变更审批流程,任何变更都要进行成本效益评估。对于因设计失误或不合理导致的变更,应追究相关人员责任。鼓励设计人员采用价值工程方法,通过功能分析与成本分析,剔除不必要的功能,优化设计方案以降低成本。

### 3.5 加强设计人员培训与继续教育

第一,在专业知识培训方面,应定期组织涵盖水闸设计相关多学科知识的课程,如水力学、结构力学、岩土力学等基础理论的深入学习与更新。邀请业内知名专家学者进行专题讲座,结合实际工程案例,详细讲解理论知识在水闸设计中的应用要点与难点,帮助设计人员加深理解,提升其理论素养。例如,针对新型水闸结构

的力学分析方法开展专项培训,使设计人员掌握先进的计算模型与分析技巧。注重实践技能培训,安排设计人员到施工现场进行实地观摩学习,亲身体验水闸施工过程中的工艺流程、技术要点以及可能遇到的实际问题,增强其对设计方案可施工性的把握能力。同时,开展设计软件操作培训,随着数字化设计技术的广泛应用,熟练掌握如 BIM 建模软件、水力学计算软件等工具,能够显著提高设计效率与精度。第二,继续教育方面,鼓励设计人员参加行业内的学术研讨会、技术交流会以及专业论坛等活动,使其及时了解国内外水闸设计领域的最新动态、前沿技术与创新理念。例如,关于生态友好型水闸设计理念与实践经验的交流活动,能启发设计人员在设计中更多地考虑生态因素。建立设计人员继续教育考核机制,将培训与考核结果与个人职称评定、绩效奖励等挂钩,激励设计人员积极主动地参与培训与继续教育,不断更新知识结构,提高自身综合素质,为水利工程水闸设计打造一支高素质、专业化的人才队伍<sup>[4]</sup>。

### 结束语

在水利工程领域,水闸设计的优化完善是一项持续且意义深远的任务。通过对水闸设计基础理论、规范要求的深入剖析,以及对常见问题的全面梳理与针对性解决对策的探讨,我们为水闸设计的科学性与合理性提供了多维度的思考。未来,随着科技的不断进步与工程实践经验的持续积累,水闸设计必将朝着更加智能、环保、高效的方向迈进。设计人员需秉持严谨态度,积极应用先进理念与技术,不断提升专业素养,以保障水利工程水闸在水资源综合利用、防洪减灾等多方面发挥更为卓越的作用,推动水利事业稳步发展。

### 参考文献

- [1]毕小俊.水利工程中的水库水闸设计分析[J].装饰装修天地, 2020, (19): 298-234
- [2]何梅芳.水利工程设计施工中水闸设计方法分析[J].写真地理, 2020, (17): 48-50.
- [3]尤波.水利工程水闸设计问题分析[J].百科论坛电子杂志, 2020, (10): 150-167
- [4]刘永娥.浅谈农田水利工程中水闸设计的策略[J].中国水运(下半月), 2020, 20(11): 109-110.