

水闸结构设计中的水力计算与稳定性分析研究

马彪

新疆塔里木河水利勘测设计院, 新疆 喀什 844700

[摘要]水闸属于水利工程里极为重要的控制枢纽, 它的结构设计和防洪、灌溉、航运以及水资源调配的安全与效率紧密相关。水力计算还有稳定性分析是水闸设计的关键环节, 它决定了工程在不同工况下能否顺利运行, 还对结构的长期耐久性以及维护成本有影响。着重于水闸结构设计的基本原则与总体要求, 全面阐述了防渗与排水、过流能力、消能与防冲等关键水力计算方法。在稳定性分析这块, 重点剖析了抗滑、抗倾覆、基础承载力、沉降控制以及在特殊气候与地质条件下安全性能评估的方法。结果说明, 借合理的水力计算模型与结构优化设计, 能够大幅提升水闸的安全裕度与运行稳定性, 给同类水利工程提供了可供参考的技术路径。

[关键词]水闸结构设计; 水力计算; 稳定性分析

DOI: 10.33142/hst.v8i8.17332

中图分类号: TV66

文献标识码: A

Research on Hydraulic Calculation and Stability Analysis in the Design of Sluice Structures

MA Biao

Xinjiang Tarim River Water Resources Survey and Design Institute, Kashgar, Xinjiang, 844700, China

Abstract: Water gates are extremely important control hubs in hydraulic engineering, and their structural design is closely related to the safety and efficiency of flood control, irrigation, navigation, and water resource allocation. Hydraulic calculation and stability analysis are key aspects of water gate design, which determine whether the project can operate smoothly under different working conditions, and also have an impact on the long-term durability and maintenance costs of the structure. Focusing on the basic principles and overall requirements of water gate structure design, this paper comprehensively elaborates on key hydraulic calculation methods such as anti-seepage and drainage, flow capacity, energy dissipation, and anti-collision. In terms of stability analysis, the focus is on the methods of anti sliding, anti overturning, foundation bearing capacity, settlement control, and safety performance evaluation under special climatic and geological conditions. The results indicate that with the help of reasonable hydraulic calculation models and structural optimization designs, the safety margin and operational stability of water gates can be significantly improved, providing a reference technical path for similar water conservancy projects.

Keywords: sluice structure design; hydraulic calculation; stability analysis

引言

水闸属于重要的水工建筑物, 它在调节河道水位、控制流量以及改善航运条件等方面发挥着关键作用。其设计质量的好坏, 直接关系到流域防洪安全以及水资源能否得到高效的利用。近些年来, 随着流域水文情势出现变化, 并且运行年限也在不断增加, 部分水闸在结构稳定性、运行可靠性以及防护性能这些方面, 不同程度地暴露出了一些问题, 这也使得工程运行管理面临更高的要求。水力计算是水闸设计当中的基础环节, 它涉及到流量控制、消能防冲以及防渗排水等诸多方面, 而稳定性分析对于确保水闸在长时间服役期间能够抵抗多种荷载以及自然环境的影响而言, 是极为关键的。近些年, 随着计算理论以及工程材料不断发展, 水闸设计呈现出精细化、智能化以及耐久化的趋向。不过在不同地质与水文条件之下, 怎样去优化计算模型以及提高稳定性, 依旧是工程界关注的一个重点所在。本文在对水闸设计原则予以系统梳理的基础之上, 结合具体的计算方法以及实例展开分析, 针对水闸结构设

计里面的水力计算以及稳定性分析展开较为细致的探讨, 希望能够给类似的工程提供一定的参考与借鉴内容。

1 水闸结构设计的基本原则与总体要求

1.1 安全性与稳定性原则

安全性乃是水闸设计所遵循的根本准则, 无论哪一种结构, 在实际运行过程当中都务必要保证自身能够在承受各类荷载的作用之时, 绝不会出现任何破坏或者失稳的情况。稳定性方面的分析应当涵盖抗滑、抗倾覆、抗浮还有整体结构变形控制等诸多方面, 要确保当处于高水位状态、遭遇洪峰流量以及面临不均匀地基承载条件时, 像闸室、闸墩、底板这些关键部位都能够维持足够的安全裕度。在设计工作的开展进程里, 需要全面且综合地考量静荷载、动荷载、水压力、渗透压力、冰压力以及地震作用等一系列因素, 并且要结合现场实际测量所获取的数据以及经验系数来加以修正, 以此提升相关计算结果所具有的可靠性。安全性这一原则, 不但要求在极为恶劣的极端条件之下结构不能出现失稳状况, 而且还要求在长时间的运行期间具

备抵御环境不断劣化的相应能力,进而切实保障整个工程在整个寿命周期当中能够实现稳定的运行状态。

1.2 适应性与耐久性原则

水闸在不同流域运行时,常面临水文变化幅度大、气候差异明显、地质条件复杂等挑战,设计需有高度适应性,适应性体现在结构形式、尺寸和材料选用上,要能应对未来可能出现的水位变化、流量增加或泥沙条件改变等情况。耐久性要求水闸结构在长期受水流、气温变化、冰凌冲击及腐蚀介质作用下,仍保持良好结构性能,设计中应优先选用抗渗性高、抗冻融性能好的混凝土,关键部位可采用钢筋防护、涂层防腐或复合材料加固等措施,延长使用寿命并减少维修频率。

1.3 经济性与可维护性原则

经济性方面,其考量范围涵盖了工程建设初始阶段的投资情况,同时也包含在整个寿命周期之内的运行以及维护所产生的各项成本。若能制定出较为合理的结构布置方案以及施工方案,那么便能够在很大程度上节约材料的使用量,并且缩减施工所花费的时间,进而促使初期投资得以降低。可维护性的要求需要在设计阶段便充分予以考虑,要充分顾及到后续开展检测工作、进行保养操作以及实施局部修复时的便利程度,比如在像闸门、闸墩还有底板这类关键部位预先留出检修通道以及安装的位置,如此一来便能够方便机械设备后续的更换以及维修作业。借助综合优化设计的方式,让水闸在能够满足安全以及功能相关要求的基础之上,达成经济、高效并且易于维护的目的,以此提升工程的整体效益以及可持续发展的能力。

2 水闸水力计算方法与模型建立

2.1 防渗与排水计算方法

2.1.1 地基有效深度计算

在计算过程中需要采取以下方法,首先确定地下轮廓垂直投影长度 S_0 和地下轮廓水平投影长度的数值 L_0 的数值,当确定 L_0/S_0 结果在 5 以上时,则证明地基有效深度 T_e 为地下轮廓水平投影长度的一半。倘若地基存在高于自身实际深度的有效深度,在计算渗流时则需要使用地基实际深度:

$$T_e = \begin{cases} \frac{L_0}{2}, & \text{若 } \frac{L_0}{S_0} > 5 \\ T_{\text{实际}}, & \text{若 } \frac{L_0}{S_0} \leq 5 \text{ 或 } T_e > T_{\text{实际}} \end{cases} \quad (1)$$

此公式能够科学地确定渗流计算里的有效深度,从而给后续的防渗设计以及水力计算给予准确的依据。

2.1.2 分段阻力系数计算

在水闸防渗设计过程中,分段阻力系数可用来体现地基或者结构各个不同段落对于渗流所具有的阻力方面的特性,这无疑是一个用来计算渗流压力分布以及水头损失的关键参数。一般而言,会把渗流路径划分成若干个不同的段落,而每个段落的阻力系数是依照土体的渗透特性、

截面积还有路径长度等具体情况来加以确定的,其目的就在于能够更为精准地对实际的渗流状态予以模拟。假设某一段的长度为特定值为 L_i ,有效渗流截面积为 A_i ,土体渗透系数为 k_i ,那么该段的分段阻力系数就 R_i 可以借助达西定律来表示为相应的形式:

$$R_i = \frac{L_i}{k_i A_i} \quad (2)$$

把各段阻力系数加起来,就能得出整体渗流路径的总阻力,这能给之后的水头损失以及渗漏坡降计算提供基础的数据。恰当划分分段的长度并且挑选合适的阻力系数,能够切实提升渗流计算的精度,进而为水闸防渗结构的设计以及安全方面的分析给予科学的依据。

2.1.3 出水头损失计算

在水闸防渗以及排水相关设计方面,出水头损失具体指的是渗流于地基或者结构当中流动之际,因为存在摩擦情况、出现局部收缩状况以及流动呈现出紊乱态势等缘故,进而导致的水头出现衰减的现象。而这一损失情况是会对渗流压力的分布状况以及结构的安全性产生直接影响的。一般而言,会把渗流路径划分成若干个不同的段落来进行相应的计算操作。每一阶段的水头损失跟渗流的实际长度、流速还有土体的渗透特性之间存在着极为密切的关联,其可以借助达西定律来予以表述,即:

$$h_f = \frac{Q \cdot L}{k \cdot A} \quad (3)$$

在这里,所指的 h_f 是渗流段水头损失,而 Q 则代表渗流量, L 是渗流路径长度, k 为土体渗透系数, A 则是有效渗流截面积。把各段水头损失加以累加之后,便能够得出总出水头损失,这给防渗设计以及排水系统的优化给予了极为重要的依据,并且也为后续开展的稳定性分析提供了必不可少的数据方面的支撑。

2.1.4 渗漏坡降计算

渗漏坡降指的是在地基或者水闸结构当中,渗流沿着其渗流路径所产生的每单位长度上的水头下降情况。这一参数对于评估渗流给土体稳定性所带来的影响而言,是极为重要的一项指标。要是坡降过大的话,那么很可能会致使土体的抗剪强度出现降低的状况,进而诱发滑动或者是冲刷破坏等问题。所以说,在开展水闸防渗设计相关工作的時候,务必要精准地去计算渗漏坡降,并且要依据土体的具体特性以及渗流路径的实际长度来对其进行相应的控制操作。假设渗流路径的长度为 L ,而水头损失为 H_{loss} ,那么渗漏坡降 i 表示为:

$$i = \frac{H_{\text{loss}}}{L} \quad (4)$$

控制坡降于土体可承受范围之内,如此便能切实有效地减小渗流引发的冲刷以及潜在出现的破坏风险,并且还能给防渗体系的设计工作以及排水设施的布置安排给予相应的依据,进而保障水闸结构在长时间运行过程当中能够实现安全与稳定的状态。

2.2 过流能力计算与优化

水闸的过流能力这一指标,在衡量闸门调节水量以及确保下游防洪安全方面有着重要意义。在对过流能力加以计算的时候,务必要全面综合地考量诸多因素,像闸门开度、水头差、闸室宽度以及流态特性等等,通过这样的考量来明确闸门处于不同水位情况下的泄流量。就平底闸或者矩形闸室而言,其流量 Q 往往能够借助标准堰流公式来予以估算:

$$Q = C_d \cdot b \cdot H^{1.5} \quad (5)$$

在这里, C_d 代表的是流量系数, 闸宽用 b 来表示, 而闸上水头的高度则用 H 来指代。通过对处在不同水位以及不同开度情况下的流量加以分析, 便能够对闸门的结构以及其布置状况予以优化, 进而提升过流的效率, 并且能够在一定程度上减少局部出现的能量损失。除此之外, 还得把极端洪水以及变化着的水文条件给流量所带来的影响都考虑进去, 以此来保证水闸能够在各类不同的工况情形之下, 都能够达成充足的调节能力以及具备相应的安全裕度。

2.3 消能与防冲计算模型

消能以及防冲设计属于水闸结构安全的关键构成部分, 其主要针对闸门泄水之时下游河床还有边坡有可能会遭受的冲刷这一问题加以解决。借助科学手段来构建消能模型, 便能够对水流经过闸门之后的能量变化情况以及流速分布状况展开分析, 以此来为消力池、抛石护坡或者导流结构的设计给予相应的指导。合理的消能举措一方面能够减轻下游水流给河床以及护岸所带来的破坏程度, 另一方面也能够有效地降低泥沙冲刷的风险以及结构损伤的风险。计算模型务必要综合考量水闸设计流量、落差高度以及地基条件等诸多因素, 以此确保在各种不同的工况之下都能够达成预期的消能效果, 进而切实保障水闸能够长期安全且稳定地运行。

3 稳定性分析与安全性能评估

3.1 抗滑与抗倾覆稳定性分析

抗滑以及抗倾覆这两方面, 在水闸稳定性分析里算是极为关键的环节了, 它跟结构于洪水、涨落水位以及其他极端工况之下的安全性有着直接关联。对地基摩擦力、水压力分布状况、土体支撑力还有结构自重这些因素所起到的综合作用展开系统分析, 能够针对水闸处在不同水位、荷载以及运行条件之时可能出现的滑动或者倾覆风险做出较为精确的评估^[1]。在开展设计工作的进程当中, 要对底板、闸墩以及支撑结构予以合理的布置安排, 并且要把边坡稳定性分析、土体加固举措以及排水措施加以优化, 如此便能够大幅度提升水闸整体所具备的抗滑抗倾覆的能力。还得考虑到在长期运营期间土体强度会发生的变化、沉降所产生的效应以及水流冲击给结构安全性带来的影响, 进而保证闸门以及闸室能够在各类工况之下都能够维持稳定并且可靠的状态, 以此来确保下游防洪以及灌溉调节功能可以正常地运行。

3.2 基础承载力与沉降控制

基础承载力以及沉降控制对于水闸能够实现长期安

全运行而言, 无疑是极为重要的保障要素^[2]。在开展设计工作的过程当中, 务必要对地基土体所具备的承载能力还有其压缩特性给予充分且细致的评估考量, 与此还需合理地去选定基础的具体类型以及相应的尺寸大小, 并且采取诸如加固或者排水等一系列必要的措施, 以此来切实有效地防止出现因过度沉降而致使结构发生变形或者产生裂缝等情况。借助于科学的方法对沉降量以及沉降速率加以精准预测, 并且在设计环节当中预留出可供调节的相关措施, 如此便能够确保水闸可长期维持在安全运行的良好状态之下, 进而也能相应地减少后续的维护成本支出。

3.3 地震与冻融循环条件下的稳定性评估

水闸于地震或者冻融循环状况之下的稳定性, 实乃在特殊工况当中安全性能极为关键的一项考量内容^[3]。地震作用一经发生, 便极有可能引发地基出现液化的情况, 还会致使结构产生振动, 并且让水压力呈现出波动的状态。而冻融循环这种情形, 则很有可能会造成混凝土出现开裂的现象, 又或者使得边坡遭受破坏。所以说, 在开展相关设计工作的过程中, 务必要综合考量区域地震烈度的具体情况、土体所具备的抗震特性以及材料所具有的耐冻性能等方面内容展开分析, 进而采取诸如结构加固、设置抗震支撑以及实施防冻等相应措施, 以此来保证水闸即便是在极端的条件之下, 仍然能够维持住其整体的稳定性。

4 结语

本文针对水闸结构设计里的水力计算以及稳定性分析展开了较为系统的探究, 这其中包含了像防冲排水、过流能力、消能防冲还有稳定性评估等诸多关键环节。借助科学且合理的计算方法以及结构优化设计方式, 是能够在不同水文状况、地质情况以及极端工况下有效提升水闸的安全性以及运行稳定性的。相关研究说明, 要是全面综合地去考量水力特性、地基条件以及环境因素, 进而对水闸展开精细化设计的话, 那么既能确保防洪安全, 又能提升水资源调控的效率, 同时还能够让结构的使用寿命得以延长, 维护成本得以降低, 进而为同类的水利工程给出可供参照的技术路径以及实践经验。

【参考文献】

- [1]黄琳丹.基于水力计算和闸室结构分析的水闸除险加固研究[J].水利科技与经济,2023,29(6):107-111.
- [2]周威,傅政,王岩.二河枢纽入海水道二期加固工程水力计算与闸室稳定性分析[J].江苏水利,2025(6):37-41.
- [3]曹征强,孟剑伟.水利工程水闸施工的水力计算方法研究[J].陕西水利,2023(11):155-156.

作者简介: 马彪 (1986.8—), 毕业院校: 新疆塔里木大学, 所学专业: 农业水利, 当前就职单位名称: 新疆塔里木河水利勘测设计院, 就职单位职务: 新疆塔里木河水利勘测设计院/规划室副主任, 职称级别: 现职称中级, 拟聘副高。