

水利工程水闸基础结构设计要点研究

陈瑞峰

山东省菏泽市巨野县董官屯镇人民政府 274932

DOI : 10. 12238/j pm. v6i 3. 7815

[摘要] 水闸基础设计是水利工程中的重要环节，其安全性、经济性及环境友好性直接影响工程的运行与可持续性。本文通过对某内河水闸的案例研究，阐述了地基加固、基础尺寸优化、防渗设计等关键设计要点，并探讨了浅基础、桩基础和浮式基础的适用条件及设计特点。同时，分析了新技术在水闸基础中的应用，包括数字化模拟、新型材料和智能监测技术，进一步提升了设计与运行管理的科学性和可靠性。

[关键词] 水闸基础设计、安全性、防渗技术、智能监测

Study on the key points of design of foundation structure in water conservancy engineering sluice

Chen Ruifeng

The People's Government of Dongguantun Town, Juye County, Heze City, Shandong Province 274932

[Abstract] Foundation design of sluice is an important link in water conservancy project, and its safety, economy and environmental friendliness directly affect the operation and sustainability of the project. Through the case study of an inland river sluice, this paper expounds the key design points such as foundation reinforcement, foundation size optimization and anti-seepage design, and discusses the applicable conditions and design characteristics of shallow foundation, pile foundation and floating foundation. At the same time, the application of the foundation of new technology in the sluice, including digital simulation, new materials and intelligent monitoring technology, which further improves the scientificity and reliability of design and operation management.

[Key words] sluice foundation design, safety, anti-seepage technology, intelligent monitoring

1 引言

随着技术的进步，数字化设计、新型材料与智能监测技术逐渐被引入水闸基础设计，为提升工程质量和运行效率提供了新的思路。本文通过具体案例分析，总结水闸基础设计的关键要点和技术应用，为同类工程提供参考。

2 水闸基础设计的基本原则

2.1 安全性原则

为确保安全性，首先需要准确评估基础承载力，通过合理的设计使地基应力分布均匀，避免局部超载导致失稳。此外，水闸基础需具备足够的抗滑移能力和抗倾覆能力，尤其在高水压条件下，必须采用合理的结构布置和加固措施以提升整体稳定性。

2.2 经济性原则

在确保安全性的前提下，经济性原则强调通过优化设计与施工方案，最大限度地降低工程成本。首先，应优先选择经济实用的基础形式，例如对于地质条件良好的浅基础工程，可避

免使用造价较高的桩基础。此外，基础设计应充分利用当地材料资源，例如选择附近的砂石料作为基础填充材料，不仅能降低运输成本，还能减少材料采购费用。

2.3 环境友好性原则

水闸基础设计应兼顾生态保护与环境可持续性发展。在施工阶段，需尽量减少对河流生态环境的扰动，例如采用环保型施工技术和低噪音设备，避免对水生生物造成不必要的破坏。同时，在基础材料的选择上，优先选用可循环利用或低碳排放的材料，如高性能混凝土或新型防渗材料。

3 水闸基础设计影响因素分析

3.1 水文条件

水文条件是影响水闸基础设计的重要外部因素，其中水流流速、水位变化及洪水流量是首要考虑的参数。高速水流可能对基础产生显著的冲刷作用，尤其在洪水期，其流速和冲刷强度会显著增加，设计中需通过设置护底设施或抗冲刷材料来保护基础结构。

3.2 地质条件

地质条件直接影响水闸基础的结构形式及设计难度。地基土质的分类与承载力分析是设计的基础环节，通过工程地质勘察确定土层分布和力学参数。例如，软弱黏土层可能导致基础沉降过大，需要通过地基加固措施提高其承载能力；而砂砾层或基岩则可直接作为基础的承载体，大幅降低施工难度。

3.3 结构荷载

水闸上部结构荷载分布直接影响基础设计。例如，闸门的重量和启闭系统的集中荷载需要通过基础均匀分布至地基，避免局部应力集中引发失稳。同时，基础需能承受水压力和结构自重的共同作用，通过合理的基础尺寸与配筋设计分散荷载，确保地基变形在可控范围内。

动荷载是水闸运行中的另一重要影响因素，尤其是闸门启闭时产生的振动可能对基础造成周期性冲击。设计中需通过动力学分析，评估基础对动荷载的适应性，并采取加固措施降低振动对基础的长期影响，例如增设减振垫层或调整基础的配筋结构。

4. 常见水闸基础类型与适用条件

4.1 浅基础

4.1.1 适用条件及设计特点

浅基础是一种直接将上部结构荷载通过地基土层传递的基础形式，常用于地基土质条件良好、承载力高且施工区域水文环境较简单的工程。例如，砂砾层或硬质黏土层地基较适合浅基础的应用。浅基础的设计通常包括基础宽度、深度以及地基处理的综合考量，通过合理的尺寸设计确保荷载均匀分布并避免地基失稳。

4.1.2 优势与局限性分析

浅基础的主要优势在于施工简单、成本低和周期短，适合小型或中型水闸工程。特别是在地质条件适宜的情况下，浅基础无需复杂的地基处理措施，可显著降低工程造价。此外，浅基础的结构形式较为灵活，能够适应多种工程需求。

然而，浅基础的局限性也十分明显。首先，其适用范围较为局限，难以满足软土或深水环境中的使用需求；其次，在高压水条件下，浅基础的抗滑移和抗倾覆性能可能不足，需增加加固措施；最后，浅基础对地基沉降敏感，长时间运行可能因不均匀沉降引发结构性问题。

4.2 桩基础

4.2.1 桩型选择（预制桩、灌注桩）

桩基础是一种通过桩将荷载传递至深部地基的基础形式，广泛应用于软土、深水或高荷载的复杂工程中。桩型的选择是桩基础设计中的关键环节，通常包括预制桩和灌注桩两种形式。预制桩因其施工便捷、质量可控而适用于施工条件较好的区域，而灌注桩具有更强的适应性，能够满足复杂地质条件的需求。

4.2.2 桩长、桩径与间距的优化设计

桩基础的设计需结合荷载大小、地基承载力以及工程需

求，合理确定桩长、桩径和桩间距。桩长需确保桩尖进入承载力较高的地层，例如硬土层或基岩；桩径需根据荷载大小进行设计，以提供足够的承载能力；桩间距则需满足桩间土的受力均匀性，避免群桩效应导致桩基失效。

4.3 浮式基础

4.3.1 浮式设计原理与应用场景

浮式基础是一种依靠浮力抵消部分结构荷载的基础形式，主要应用于软弱土层、沉降敏感区域或水流冲刷严重的环境。其设计原理是通过在基础结构内部设置密闭空间，利用密封腔体的浮力减轻结构对地基的压力，进而提升地基稳定性。

4.3.2 稳定性与抗渗性能分析

浮式基础的稳定性设计需重点考虑水压、浮力与结构自重的平衡关系。通过合理的密封腔体布置与内部加固措施，确保浮式基础在运行过程中不发生倾覆或滑移。此外，抗渗性能是浮式基础设计的核心要求之一，可通过设置高性能防渗材料或多层防渗结构来实现。

5 水闸基础结构的关键设计要点

5.1 基础尺寸与形状设计

基础尺寸和形状是水闸基础设计的核心要素，直接影响结构的稳定性和经济性。尺寸设计需根据上部结构荷载、地基承载力以及水文条件综合确定，通常包括基础宽度、长度和深度的优化。在满足荷载传递和沉降控制的前提下，合理的尺寸设计能够降低施工成本并提高结构效率。

形状设计方面，应考虑水流对基础的冲刷影响以及基础与地基的相互作用。例如，基础表面可设计为流线型以减少水流阻力，底部形状需确保与地基紧密接触以分散荷载。同时，对于复杂的水文环境，可在基础侧面设置挡墙或防冲设施，增强结构的抗冲刷性能。

5.2 防渗设计

防渗设计是水闸基础的关键环节，旨在防止水体通过基础渗漏影响结构稳定性和周边环境。常见防渗措施包括设置防渗墙、铺设防渗垫层以及采用高密度混凝土。防渗墙通常布置于基础外围，通过与地基结合形成连续屏障，有效阻止水体渗透。防渗垫层可由砂砾、黏土或土工合成材料构成，用于增强基础底部的抗渗性能。

5.3 地基加固技术应用

地基加固技术在软弱地基或复杂地质条件下具有重要作用，旨在提高地基的承载力和抗变形能力。常见的加固方法包括换填、注浆、夯实以及土工合成材料加筋等。换填法通过替换软土层为高强度材料改善地基性能；注浆法则通过注入水泥浆液填充土层空隙，增强地基的整体刚度和抗渗性能。

在设计中，需根据地基的土质特性和水文条件选择适宜的加固技术，同时结合施工环境优化技术参数，例如注浆压力、换填深度等，以实现最佳的加固效果。

5.4 抗震设计要点

水闸基础的抗震设计需结合地震烈度、地基条件及上部结

构特点进行综合考虑。抗震设计的关键在于提高基础的抗剪能力和减震性能,例如通过增设剪力墙、减震垫层或采用抗震材料,提升基础的动力响应能力。

6 水闸基础设计中的新技术应用

6.1 数字化设计与模拟技术

数字化设计和模拟技术为水闸基础设计提供了高效、精准的解决方案。借助 BIM (建筑信息模型) 技术,可实现基础结构的三维可视化设计与施工方案模拟,提高设计与施工的协同性。有限元分析工具则可用于模拟基础的受力状态与渗流特性,优化结构设计参数。

6.2 新型基础材料应用

新型材料的应用是提升水闸基础性能的关键手段。例如,高性能混凝土 (HPC) 因其高强度、低渗透性和优良的耐久性,广泛应用于水闸基础;土工合成材料则在防渗和加筋中发挥了重要作用。此外,环保型材料如低碳水泥或再生骨料,能在满足设计要求的同时减少环境负担。

6.3 智能监测技术

智能监测技术在水闸基础的运行管理中日益重要。通过部署应力、位移和渗流传感器,可实现对基础长期性能的实时监测,及时发现潜在隐患。例如,光纤传感技术能高精度采集基础的应力变化,预警因荷载或地震引起的异常。

此外,智能监测系统可结合大数据分析 with 人工智能技术,动态评估基础的安全状态,并为维护决策提供科学依据。

7 案例分析

7.1 工程概况

本工程为内河水闸,无挡潮要求,采用开敞式双孔设计,每孔净宽为 5 米,总宽度为 10 米,设计底板高程为-1.8 米。水闸的最大过流量为 76.65m³/s,属小型 (1) 级水闸。闸室下游设置消力池,上游与进水渠相连。基础部分需承担全部竖向和水平荷载,同时抵抗水流冲刷和渗透压力。

7.2 设计要点

7.2.1 地基加固设计

该工程区域的淤泥层承载力仅为 40kPa,无法直接作为基础承载层。设计如下:

(1) 承重桩设计

使用预应力混凝土管桩 (PHC600),桩径 600 毫米,桩长 30 米,穿透淤泥层直达含砾中粗砂层。桩间距为纵向 2.8 米、横向 3 米,单桩承载力计算值为 593.46kPa。

(2) 改善桩设计

为避免桩间土体掏空,设计插入直径 500 毫米、桩长 8 米的水泥粉喷桩,桩距 1.5 米,水泥掺入量为 20%。通过这一措施,提升了桩间土的抗渗性能和承载力。

(3) 防渗桩设计

在底板上下游分别设置直径 500 毫米、桩长 5 米的防渗桩,

桩距 0.4 米,形成连续防渗墙,有效降低渗流对基础的冲击。

7.2.2 主体结构设计

(1) 闸室设计

闸室采用开敞式结构,底板设计为平底板宽顶堰,顶高程为-1.8 米。按照《水闸设计规范》(SL265-2016),闸顶高程设为 3.5 米,满足挡水和泄水的安全要求。检修桥采用梁板式结构,两端与闸墩固结以增强刚度,桥面高程为 2.8 米。

(2) 防渗设计

通过计算闸基防渗长度为 14.22 米,设计实际长度为 18 米。渗透坡降计算结果显示,水平段和出口段均满足稳定性要求。

7.2.3 消力池与铺盖设计

下游设置外消力池,内消力池与铺盖相连,采用 U 型槽结构增强整体稳定性。外消力池长度为 8.5 米,深度为 0.5 米;铺盖底板采用 C30 钢筋混凝土,厚度 500 毫米,长度 5 米,确保防冲性能。

7.2.4 进水渠与交通桥设计

进水渠采用预制 U 型板桩护岸,避免占用基本农田。交通桥设计为梁板式结构,基础为直径 1000 毫米的灌注桩,上部连接承台和桥板,桥面宽 6 米,满足公路-II 级荷载标准。

7.2.5 金属结构设计

闸门采用露顶式平板滑动钢闸门,门顶高程为 2.8 米。启闭机选用卷扬式 QPQ2×80kN,综合考虑运行费用和维护便利性。防腐涂层采用环氧铝铁防锈漆和氯化橡胶漆,增强耐久性。

7.2.6 防渗与稳定性验证

通过改进阻力系数法计算,闸室各工况下的渗透压力和坡降均满足安全标准。防渗桩与底板一体化设计,有效阻断水流对基础的侵蚀和冲刷。复合地基的承载力达到 307.38kPa,显著高于闸室最大应力需求 (70.96kPa),确保地基稳定性。

8. 结束语

水闸基础设计的科学性和精确性是水利工程顺利运行的关键。通过本案例的分析,展示了复合地基加固、桩基础优化及防渗措施在复杂条件下的实际应用效果。基于数字化模拟和智能监测的新技术在提升设计效率、确保安全性及优化运行维护中表现出显著的优势。未来,随着新技术的不断发展,水闸基础设计将更加高效、精准并符合可持续发展的需求,为水利工程提供更高水平的技术支持和保障。

[参考文献]

- [1]罗希鹏.鱼珠湾城市景观水闸设计方案分析[J].陕西水利, 2024 (07): 153-155, 159.
- [2]闫磊.某新建水闸结构与施工导截流方法[J].云南水力发电, 2024, 40 (05): 73-76.
- [3]周洁,樊佳男,薛静,等.水闸整体结构优化设计——以软土地基为例[J].水上安全, 2024 (05): 25-27.