

水利设计中的闸门与水泵站设计要点

周培豪 黎 莉

广西珠委南宁勘测设计院有限公司 广西 南宁 530000

摘要：本文旨在深入探讨水利设计中闸门与水泵站的设计原理、关键技术、优化策略及其对环境与工程安全的影响。通过分析闸门与水泵站的功能需求、设计标准、结构特性，本文力图构建一个系统性的设计框架，为水利工程师提供理论指导与实践参考。

关键词：水利设计；闸门；水泵站；结构优化；设计原理

引言

水利工程作为国家基础设施建设的重要组成部分，对于防洪、灌溉、供水、发电等方面发挥着不可替代的作用。闸门与水泵站作为水利系统的关键组成部分，其设计直接影响到整个工程的效能与安全性。本文将从设计原则、关键技术、结构优化等方面进行详细阐述。

1 闸门设计研究

1.1 闸门类型与功能分析

闸门作为水利工程中的重要组成部分，根据用途和结构特点，可分为节制闸、进水闸、排水闸等多种类型。每种类型的闸门都承担着不同的控制任务，共同维护着水利工程的正常运行。节制闸主要用于调节水流，控制上下游水位，保证水利工程的稳定运行；进水闸则负责引导水流进入渠道或水库，为灌溉或发电提供必要的水源；而排水闸则在防洪排涝方面发挥着关键作用，能够有效排除多余水量，保护周边地区免受洪水灾害。

1.2 设计原则与标准

1.2.1 安全稳定

在闸门的设计过程中，安全稳定是首要原则。这要求闸门在各种工况下，包括正常运行、极端天气、地震等情况下，都能保持结构的稳定与安全。为实现这一目标，设计时需要充分考虑闸门的材料选择、结构布局以及制造工艺。材料应具有良好的力学性能和耐久性，结构布局应合理，能够有效抵抗各种外力的影响^[1]。同时，制造工艺也需要严格控制，确保闸门的质量达到设计要求。此外，还需要特别注意防止渗漏和变形等问题的发生，这些问题可能会对闸门的正常运行和安全性造成严重影响。

1.2.2 经济高效

经济高效是闸门设计的另一个重要原则。在满足功能需求的前提下，应尽可能追求材料使用的经济性和维护成本的最小化。为了实现这一目标，设计时需要充分

考虑闸门的材料成本、制造成本以及运行维护成本。在选择材料时，应优先考虑那些性能优良、价格合理的材料，以降低闸门的整体成本。在制造过程中，应采用先进的制造工艺和技术，提高生产效率，降低制造成本。同时，还需要考虑闸门的运行维护成本，应尽可能选择那些维护成本低、使用寿命长的材料和结构。

1.2.3 环境友好

随着人们对生态环境保护的日益重视，环境友好也成为了闸门设计的重要原则之一。在设计过程中，需要充分考虑闸门对生态环境的影响，尽可能减少对水生生态的干扰。例如，可以在闸门设计中考虑增加鱼类通道，以确保鱼类的正常迁徙和繁殖不受影响。同时，还需要关注闸门运行过程中对水质的影响，避免对水生生物造成不利影响。

1.3 闸门设计要点

1.3.1 耐腐蚀材料应用

在闸门设计中，耐腐蚀材料的应用是一个关键技术挑战。由于水利工程中的水质环境复杂多变，包含各种腐蚀性物质，如酸碱盐、微生物等，这对闸门的材料提出了极高的要求。为了确保闸门在各种水质环境下都能长期稳定运行，必须选用合适的耐腐蚀材料。针对这一问题，可以选择不锈钢、钛合金等具有优异耐腐蚀性能的材料。不锈钢具有良好的抗腐蚀性和机械性能，适用于大多数水质环境。而钛合金则具有更高的耐腐蚀性和强度，特别适用于极端恶劣的水质条件。在实际应用中，还需要根据具体的水质分析结果，选择最合适的材料，并进行必要的表面处理，如涂层保护，以进一步提高闸门的耐腐蚀性能。除了材料选择外，还可以通过优化闸门结构设计来提高其耐腐蚀性能。例如，可以采用增加壁厚、设置防腐层等措施，减少闸门与水质的直接接触，从而降低腐蚀风险。同时，在闸门的设计和制造过程中，还需要严格控制材料质量和加工工艺，确保闸

门的整体耐腐蚀性能达到设计要求。综上所述,针对耐腐蚀材料的应用这一关键技术挑战,可以通过选择合适的耐腐蚀材料、优化闸门结构设计以及严格控制材料质量和加工工艺等解决方案,来确保闸门在各种水质环境下都能长期稳定运行。

1.3.2 地基处理与防渗设计

闸门的地基处理与防渗设计是确保水利工程安全稳定运行的关键环节。地基处理旨在提高地基的承载力和稳定性,以满足闸门运行的要求。常用的地基处理方法包括灌浆法、开挖法和防渗墙法。灌浆法通过压力将具有胶凝性质的浆液注入地基的裂缝或孔隙中,形成强度较高的结石体,从而提高地基的承载力和稳定性。开挖法则是通过挖掘的方式清除地基中的软弱土层或不良地质体,并回填强度较高、稳定性较好的材料。防渗墙法是在地基中构建一道连续的垂直防渗墙体,以切断地下水的渗流通道,降低渗透压力,防止闸基渗透破坏。在防渗设计方面,主要目的是减少上下游水位差产生的渗透压力,防止闸基渗透破坏。常用的防渗设施包括防渗铺盖和板桩。防渗铺盖是在闸基上游铺设的一层不透水或弱透水的材料,如粘土、壤土或人工合成的土工膜等。它可以延长渗径、降低渗透坡降和渗透流速,从而减小渗透压力对闸基的影响。板桩则是一种常用的垂直防渗设施,由一系列相互连接的钢板桩或混凝土板桩组成,可以在闸基上下游形成一道连续的垂直防渗屏障^[2]。除了防渗铺盖和板桩外,还可以根据实际需要设置其他防渗设施,如排水减压井、减压沟等。这些设施可以与防渗铺盖、板桩等配合使用,形成综合防渗体系,提高闸基的防渗性能。

1.3.3 消能防冲设计

消能防冲设计是水利工程设计中的重要环节,旨在保护河床和岸坡不受水流冲刷破坏。消力池作为关键组成部分,可以设置在闸门下游。消力池的主要功能是消耗水流的能量,降低水流速度,从而有效减轻水流对河床和岸坡的冲刷力。为了确保消力池的有效性和稳定性,设计过程中需要全面考虑多个因素,包括水流速度、水深以及泥沙含量。水流速度是消力池设计的关键参数,通过精细设计消力池的尺寸和形状,可以使高速水流在消力池内得到充分的扩散和消耗,进而降低水流速度,减少对河床和岸坡的冲刷。同时,水深的变化也会影响水流的动能和势能,进而影响消力池的消能效果。因此,在设计消力池时,必须充分考虑水深的变化,并合理确定消力池的深度和宽度。此外,泥沙含量也是一个不可忽视的因素,泥沙的沉积和冲刷会对消力

池的形状和尺寸产生影响,进而影响其消能效果。因此,在设计消力池时,还需要充分考虑泥沙的运动规律,并采取相应的措施来防止泥沙对消力池的破坏。除了设置消力池外,还需要在闸门下游采取必要的防冲措施。这些措施主要包括设置海漫和实施护坡工程。海漫是一种由块石或碎石等松散材料组成的防护层,被巧妙地设置在消力池下游或河床表面。它的主要作用是进一步消耗水流能量,防止水流对河床和岸坡的冲刷。同时,海漫还可以起到保护河床和岸坡的作用,防止其被水流冲刷破坏。在岸坡区域,则可以采取护坡工程来保护岸坡不受水流冲刷。护坡工程可以采用多种材料和技术,如混凝土护坡、植被护坡等。

2 水泵站设计研究

2.1 水泵站类型与选址原则

在水泵站的设计研究中,首先需要明确其类型与选址原则。根据抽水目的和使用场景的不同,水泵站可以划分为灌溉泵站、排水泵站、供水泵站等多种类型。灌溉泵站主要用于农田灌溉,为农业生产提供必要的水源;排水泵站则负责排除城市或农田中的多余水分,防止洪涝灾害的发生;而供水泵站则是城市供水系统的重要组成部分,确保居民和企业的日常用水需求。在选址方面,水泵站的设立需要综合考虑多个因素。地形条件是一个重要的考量因素,需要选择地势平坦、稳定且有利于水泵运行和维护的地点。同时,水源条件也是选址的关键,必须确保泵站附近有充足的水源,以满足抽水需求。此外,能源供应也是不可忽视的因素,泵站需要稳定的能源供应来保证其正常运行。最后,环境影响也是选址时需要考虑的重要因素,需要评估泵站建设对周边环境的影响,并采取相应的环保措施,确保泵站的运行不会对环境造成负面影响。

2.2 水泵站设计要点

2.2.1 水力设计

在水泵站的设计过程中,水力设计是至关重要的一环,它不仅关乎泵站的抽水效率,还直接影响到运行成本和长期稳定性。为了合理确定泵站的扬程和流量参数,设计师需要进行深入的调研和分析,充分了解抽水需求,包括抽水高度、流量变化范围以及抽水时间等,以确保所选的泵型和电机能够满足实际需求,并在高效区内稳定运行。在优化进出水管道布局方面,设计师需要精心设计管道的路径和连接方式,尽量减少弯头、阀门、变径等局部阻力元件的使用,以降低水头损失。同时,采用流线型管道设计,确保水流顺畅,进一步减少能量损失。此外,进出水池的尺寸和形状也需要合理设

置,以避免水流产生过大的漩涡和回流,从而减少水泵的气蚀和振动现象,延长水泵的使用寿命。除了考虑抽水效率和运行成本,水力设计还需要关注泵站运行的稳定性和安全性^[3]。对于大型泵站,多台水泵并联运行时的水力干扰问题是一个重要的考虑因素。设计师需要制定合理的调度和控制策略,确保各台水泵能够协同工作,避免相互干扰,提高泵站的整体抽水能力。同时,还需要设置必要的安全保护措施,如防倒流装置、超压保护装置等,以确保泵站在异常情况下能够安全运行。

2.2.2 结构设计

在水泵站的设计中,结构设计是确保泵站安全稳定运行的关键环节。为了应对可能的地震等自然灾害,泵站的结构设计需要充分考虑抗震性能。这包括采用合适的结构形式和材料,确保泵房、基础及附属设施在地震发生时能够承受住震动,不发生倒塌或严重损坏。设计师需要进行详细的地震动分析,合理设置抗震支撑和连接构造,以提高泵站的整体抗震能力。同时,防腐设计也是结构设计中不可忽视的一部分。由于泵站通常处于潮湿或水下环境中,容易受到腐蚀的影响。因此,在结构设计中需要选择耐腐蚀的材料,如不锈钢、玻璃钢等,并对泵站的关键部位进行特殊的防腐处理,如涂层保护、阴极保护等。这样可以有效延长泵站的使用寿命,减少因腐蚀而导致的维修和更换成本。除了抗震和防腐设计,结构设计还需要确保泵房、基础及附属设施的安全性。这包括合理确定泵房的尺寸和布局,以满足设备安装、运行和维护的需求;对基础进行稳定的设计,确保泵站能够承受住设备的重量和运行时产生的动态荷载;同时,还需要考虑附属设施如进出水管道、阀门井等的布置和连接方式,以确保其安全性和稳定性。

2.2.3 能效提升

在水泵站的设计中,能效提升是一个至关重要的方面,它不仅有助于降低运行成本,还能减少对环境的影响。为了实现这一目标,能效提升设计需要从多个方面入手,其中选用高效节能的水泵机组和结合变频调速技术是两大核心策略。高效节能的水泵机组是提高泵站整体能效的关键。这类机组通常具有高效能转换、合理匹配和先进设计等特点。高效能转换意味着机组在能量转

换过程中损失较小,能够将更多的输入能量转化为有效输出。合理匹配则要求根据泵站的实际需求进行机组选型,包括流量、扬程等参数的精确计算,以确保机组在设计工况下能够高效运行。先进设计则采用优化的水力设计和制造技术,如优化叶轮和导叶的形状和尺寸,改善流道形态,减少水力损失,从而提高机组效率^[4]。除了选用高效节能的水泵机组,结合变频调速技术也是提升泵站能效的重要手段。变频调速技术可以实现水泵电机的转速调节,根据实际需求精确控制水泵的流量和扬程,避免传统恒速运行中的能量浪费。特别是在流量需求变化较大的情况下,变频调速技术的节能效果更为显著。同时,变频器还可以实现水泵电机的软启动,减少启动电流对电网的冲击,保证水泵在调速过程中的平稳运行,延长设备使用寿命。在实施能效提升设计时,需要精确计算泵站的实际需求,包括流量、扬程等参数,并据此选用合适的高效节能水泵机组。同时,需要合理配置变频器、PLC控制器等变频调速系统组件,确保系统的稳定性和可靠性。通过PLC控制系统实现水泵机组的全面监控和保护,及时发现并处理故障,同时定期进行维护保养,保持机组的高效稳定运行。

结语

水利设计中的闸门与水泵站设计是一个复杂而系统的工程,涉及多学科交叉。本文通过对闸门与水泵站的设计原则、关键点、结构优化等方面的深入研究,为提升水利工程设计质量与安全性能提供了理论依据与实践指导。未来,随着新材料、新技术的不断应用,水利设计领域将迎来更多创新与突破。

参考文献

- [1] 襄林瑞,李凯旋,耿晔晗.BIM技术在水利工程钢闸门设计中的应用研究[J].水科学与工程技术,2022,(02):74-77.
- [2] 刘振兴.大型水利钢闸门结构设计理论与方法探讨[J].模具制造,2024,24(06):196-198.
- [3] 赵阳.水利工程泵站优化设计研究[J].中国高新技术,2023,(23):129-130+151.
- [4] 吴启琅.水利工程泵站优化设计与运行控制研究[J].四川水利,2023,44(02):30-32+65.