

论水利水电工程水工设计的分析

郭严伟

和裕（宁夏）工程设计咨询有限公司 宁夏 银川 750000

摘要：在水利水电工程建设中，水工设计是确保工程安全、高效运行的核心环节。本文从设计原则、结构选型、水力学特性、施工技术、环境影响及数字化设计六个方面展开深入探讨，分析其在现代水利水电工程中的应用与重要性。通过系统梳理各要素，为水工设计提供科学指导，推动水利水电工程可持续发展，为行业实践提供有益参考。

关键词：水利水电工程；水工设计；结构选型；施工技术；环境影响；数字化设计

引言

水利水电工程是国家基础设施建设的重要组成部分，对保障防洪安全、提供清洁能源、促进区域经济发展具有重要意义。水工设计作为工程的核心环节，直接关系到工程的安全性、经济性和可持续性。随着科技进步和社会发展，水工设计面临新的挑战与机遇。本文将从多个维度对水利水电工程水工设计进行系统分析，以期对相关研究和实践提供参考。

1 设计原则

1.1 安全性优先

水利水电工程的水工设计必须将安全性置于首位。工程涉及复杂的自然条件和巨大的水能资源，一旦出现设计失误，可能导致严重的安全事故。因此，设计过程中需充分考虑地质条件、水文特征、地震烈度等因素，采用先进的计算方法和可靠的设计标准，确保工程在各种工况下均能安全运行。同时，结合现代风险管理理念，对潜在风险进行识别、评估和控制，为工程的长期稳定运行提供坚实保障。

1.2 经济性与实用性兼顾

在确保安全的前提下，水工设计还需兼顾经济性和实用性。水利水电工程投资巨大，设计阶段应通过优化方案、合理选型，降低工程造价。同时，注重设计的实用性，充分考虑工程的运行管理、维护检修以及与周边环境的协调性。例如，合理规划泄洪通道和输水系统，既能满足工程功能需求，又能减少对周边生态的影响，实现经济效益与社会效益的统一。

1.3 可持续发展理念贯穿始终

可持续发展是现代水利水电工程的重要目标。水工设计应将可持续发展理念贯穿始终，从工程规划到施工运营，充分考虑对生态环境的影响。例如，在设计过程中采用生态友好型材料和技术，减少对自然资源的消

耗；优化工程布局，降低对生物多样性的破坏；同时，结合当地社会经济需求，实现水资源的合理利用和区域协调发展，推动工程与自然环境的和谐共生。

2 结构选型

2.1 坝体结构的优化选择

坝体结构是水利水电工程的核心，其选型需综合考虑地形、地质条件、水文特征以及工程功能需求。常见的坝型包括重力坝、拱坝和土石坝等，每种坝型都有其独特的优势和适用条件。重力坝依靠自身重量维持稳定，结构简单、安全可靠，但工程量较大，适用于地质条件较好、地形较宽的场地；拱坝利用拱的作用将水压力传递到两岸，可节省工程量，但对地质条件要求较高，适用于狭窄的峡谷地带；土石坝适应性强、施工方便，但防渗处理要求严格，适用于材料丰富的地区。在设计过程中，需通过详细的地质勘察和水文分析，结合工程的防洪、发电、灌溉等功能需求，对坝型进行优化选择。

2.2 泄洪建筑物的合理布局

泄洪建筑物是水利水电工程的重要组成部分，其布局直接影响工程的防洪能力和运行安全。合理设计泄洪道、溢洪道和泄洪洞等设施，需充分考虑洪水流量、泄洪方式以及下游消能防护等因素。例如，采用宽顶堰或驼峰堰溢洪道，可有效调节泄洪流量，同时减少对下游的冲击；泄洪洞的设计需考虑洞身结构、进出口水流条件以及消能设施的布置，确保在高水位运行时的安全性和高效性。在布局上，还需考虑泄洪建筑物与坝体的协调性，避免相互干扰。

2.3 输水系统的设计要点

输水系统是连接水库与发电机组、灌溉渠道等的重要环节，其设计需满足输水效率、水质保障和运行安全等要求。设计时需考虑输水线路的长度、坡度、管径以

及输水方式等因素。例如,采用有压输水或无压输水,需根据地形条件和工程需求进行选择;在输水管道设计中,需考虑水锤效应、管道材质和防腐措施等。同时,结合智能化监控系统,实时监测输水系统的运行状态,确保其长期稳定运行。在长距离输水工程中,还需考虑沿线的地形起伏和地质条件,优化管道的敷设方式,减少施工难度和工程造价。

3 水力学特性分析

3.1 水流流态的模拟与优化

水流流态是影响水利水电工程运行效率和安全性的关键因素。通过先进的水力学模拟技术,如计算流体力学(CFD)和物理模型试验,可以精确分析水流在坝体、泄洪道、输水管道等部位的流态特征。例如,在坝前区域,水流的绕流现象可能导致局部冲刷和能量损失,通过优化坝体形状和溢流堰的曲线设计,可以有效减少这些问题。同时,利用物理模型试验验证数值模拟结果,确保设计方案的科学性和可靠性。在输水系统中,通过模拟水流的湍流特性,优化管道的弯头设计和局部结构,减少水头损失,提高输水效率。这种模拟与优化的结合,不仅提升了工程的运行性能,还为复杂水力学问题的解决提供了有力支持。

3.2 泄洪消能方式的选择

泄洪消能是确保下游安全的关键环节,其设计需综合考虑工程的水头、流量以及下游地形条件。常见的消能方式包括底流消能、挑流消能和戽流消能等。底流消能通过消能池内的水跃现象耗散能量,适用于中低水头工程;挑流消能则通过水流挑射形成水舌,利用空气阻力和水舌与下游水垫的碰撞消能,适用于高水头工程;戽流消能结合了挑流和底流的特点,适用于复杂地形条件。在设计过程中,需根据具体工程条件选择合适的消能方式,并优化消能设施的结构参数,如消能池的尺寸、挑流鼻坎的角度等,以确保消能效果和下游防护安全。同时,还需考虑消能设施的耐久性和维护成本,以实现工程的长期稳定运行。

3.3 水力过渡段的设计

水力过渡段是水流从一种流态向另一种流态转换的关键部位,如泄洪道与消能池、输水管道与发电机组之间的连接段。设计时需确保水流的平稳过渡,避免产生剧烈的水力波动和局部冲刷。例如,在泄洪道与消能池之间设置渐变段,通过调整坡度和断面形状,使水流能量平稳释放;在输水管道与发电机组之间设置调压室,减少水锤效应的影响。此外,还需考虑过渡段的结构强度和耐久性,确保其在长期运行中能够承受复杂的水力

学荷载。通过精细化设计,提高工程的运行稳定性和安全性,同时优化过渡段的几何参数和材料选择,以降低工程造价并提升工程的整体性能。

4 施工技术与设计协同

4.1 施工方案对设计的反馈

施工方案是水利设计实施的关键环节,其合理性直接影响设计目标的实现。在施工过程中,可能会遇到地质条件变化、施工设备限制等问题,这些问题需要设计人员与施工团队密切配合,及时调整设计方案。例如,当发现地质条件与设计勘察不符时,需重新评估坝基承载能力和防渗处理措施;在施工设备无法满足设计要求时,需优化施工工艺或调整结构尺寸。通过施工方案与设计的动态反馈机制,确保工程顺利实施。这种反馈机制不仅能够解决施工中出现的实际问题,还能优化设计细节,提升工程的整体性能和安全性。

4.2 新型施工技术在设计中的应用

随着施工技术的不断进步,新型施工技术为水利设计提供了更多可能性。例如,采用深孔爆破技术进行坝基开挖,可提高施工效率并减少对周边岩体的损伤;利用预制装配式技术施工输水管道,可缩短工期并提高施工质量。设计阶段需充分考虑新型施工技术的特点和适用条件,将其合理融入设计方案中,提升工程的整体性能和施工效率。例如,在高边坡支护中应用锚索与喷射混凝土组合技术,可有效提高边坡稳定性;在混凝土浇筑中采用智能温控技术,可防止大体积混凝土因温差产生裂缝。通过将新型施工技术与设计有机结合,不仅能够解决传统施工方法难以克服的问题,还能推动水利设计向更加高效、环保和智能化的方向发展。

4.3 施工过程中的设计优化

施工过程中,设计优化是确保工程质量的重要手段。设计人员需根据施工进度和现场反馈,及时对设计方案进行优化调整。例如,在混凝土浇筑过程中,根据实际温度和湿度条件,调整混凝土配合比和养护措施;在坝体填筑过程中,根据压实效果调整填筑参数。通过施工过程中的动态设计优化,确保工程在施工阶段的质量和安全性,为后续运行奠定基础。此外,设计优化还体现在对施工细节的关注上,如优化模板设计以提高混凝土外观质量,调整施工顺序以减少施工干扰等。这种动态优化过程不仅能够及时解决施工中出现的各种问题,还能提升设计的适应性和灵活性,确保工程在复杂多变的施工环境中顺利推进。

5 环境影响与设计融合

5.1 工程对生态环境的影响评估

水利水电工程的建设不可避免地会对生态环境产生影响,包括对水生生物栖息地的破坏、河流水文情势的改变以及对周边植被的干扰等。在水工设计阶段,需进行全面的生态环境影响评估,采用生态学、水文学和环境科学等多学科方法,分析工程对生态系统的潜在影响。例如,通过水生生物栖息地模型评估大坝建设对鱼类洄游的影响,为后续生态修复措施提供依据。

5.2 生态友好型设计措施

为了减少水利水电工程对生态环境的影响,设计阶段需采取生态友好型措施。例如,在坝体设计中预留生态鱼道,为鱼类洄游提供通道;在泄洪道设计中考虑生态流量的释放,维持下游生态系统的水文需求;在工程建设过程中采用生态护坡技术,减少对周边植被的破坏。通过生态友好型设计,实现工程与自然环境的和谐共生。

5.3 水土保持与景观设计

水利水电工程的建设涉及大量的土石方开挖和填筑,易引发水土流失问题。设计阶段需结合水土保持措施,如设置拦沙坝、护坡和植被恢复等,减少工程建设对周边土壤的侵蚀。同时,注重景观设计,将工程与周边自然环境和人文景观相融合。例如,在坝体表面设计绿化植被,提升工程的景观效果;在库区周边规划生态旅游设施,促进区域经济发展与生态保护的协调。

6 数字化设计技术的应用

6.1 BIM技术在水工设计中的应用

建筑信息模型(BIM)技术为水利水电工程水工设计带来了革命性的变化。通过创建三维数字化模型,BIM技术可以实现工程设计、施工和运维的全生命周期管理。在设计阶段,BIM模型能够直观展示工程结构和设备布局,便于设计人员进行方案比选和优化;同时,通过模型的碰撞检测功能,提前发现设计中的潜在问题,减少施工阶段的变更。BIM技术的应用不仅提高了设计效率,还提升了工程的整体质量。

6.2 数字化仿真与虚拟现实技术

数字化仿真和虚拟现实技术为水工设计提供了强大

的辅助工具。通过建立工程的数字化仿真模型,可以模拟水流流态、结构应力分布以及施工过程等复杂场景。例如,利用虚拟现实技术创建工程的虚拟施工现场,让设计人员和施工人员提前熟悉施工环境,优化施工方案;通过数字化仿真分析坝体在不同工况下的应力变形情况,为结构优化设计提供依据。这些技术的应用使水工设计更加科学、精准和高效。

6.3 智能化设计与运维一体化

随着人工智能和物联网技术的发展,智能化设计与运维一体化成为水利水电工程的重要发展方向。通过在工程中安装传感器网络,实时监测工程的运行状态,如水位、流量、结构应力等数据。利用大数据分析和人工智能算法,对监测数据进行实时处理和分析,实现工程的智能化运行管理。例如,通过智能控制系统自动调节泄洪流量,确保工程安全运行;利用机器学习算法对监测数据进行趋势分析,提前预警潜在的安全隐患。智能化设计与运维一体化不仅提高了工程的运行效率,还降低了运维成本。

7 结语

水利水电工程水工设计是确保工程安全、高效运行的核心环节。本文从设计原则、结构选型、水力学特性、施工技术、环境影响及数字化设计六个方面展开深入探讨,分析其在现代水利水电工程中的应用与重要性。通过系统梳理各要素,为水工设计提供科学指导,推动水利水电工程可持续发展。未来,随着技术的不断进步和理念的更新,水工设计将为水利水电工程的高质量发展提供更有力的支持,为国家基础设施建设和经济社会发展做出更大贡献。

参考文献

- [1]杨晓东,赵明华.2023水利水电地基与基础工程技术创新与发展[M].中国水利水电出版社:202310.742.
- [2]李劲飞.水利水电工程水工设计方案的分析与研究[J].工程建设与设计,2020,(12):118-119.
- [3]柴启辉.水利水电工程建筑物[M].中国水利水电出版社:202408.249.