

水利水电工程枢纽布置与优化设计方案

韩振海

乌鲁木齐市水利勘测设计院有限责任公司二分院 新疆 石河子 832061

摘要: 本文聚焦水利水电工程枢纽布置与优化设计,阐述了枢纽布置原则、常见布置形式及影响因素,探讨了优化设计的策略与方法,包括三维设计技术应用、多方案比选等,并结合实际案例分析优化效果。旨在为水利水电工程枢纽的合理布置与优化设计提供理论支持与实践指导,提升工程综合效益。

关键词: 水利水电工程; 枢纽布置; 优化设计

引言

水利水电工程作为国民经济的重要基础设施,对于防洪、发电、灌溉、供水等方面发挥着不可替代的作用。枢纽布置是水利水电工程设计的关键环节,其合理性直接关系到工程的安全性、经济性和运行效率。随着科技的不断进步和工程实践经验的积累,对水利水电工程枢纽布置与优化设计提出了更高的要求。因此,深入研究水利水电工程枢纽布置与优化设计方案具有重要的现实意义。

1 水利水电工程枢纽布置概述

1.1 枢纽布置原则

水利水电工程枢纽布置应遵循安全可靠、经济合理、技术先进、运行灵活、环境友好等原则。安全可靠是首要原则,要确保枢纽在各种工况下都能正常运行,保障工程和下游人民生命财产安全;经济合理要求在满足工程功能的前提下,降低工程投资和运行成本;技术先进则要积极采用新技术、新材料、新工艺,提高工程的技术水平;运行灵活要求枢纽能够适应不同的来水来沙条件,灵活调节运行方式;环境友好强调在工程建设和运行过程中,要尽量减少对生态环境的影响,实现人与自然的和谐共生。

1.2 常见枢纽布置形式

水利水电工程枢纽常见的布置形式有坝式、河床式、引水式等。坝式枢纽通过在河道上修建拦河坝,抬高水位形成水库,利用水能发电或进行灌溉、供水等。例如三峡水利枢纽,其坝式布置形成了巨大的水库,具有防洪、发电、航运、供水等多种功能。河床式枢纽将水电站厂房直接布置在河床中,与坝体结合在一起,适用于河床较宽、流量较大、水头较低的河流。葛洲坝水利枢纽就是典型的河床式枢纽。引水式枢纽通过引水渠道将水流引到河岸或山坡上的水电站厂房发电,适用于河道坡降较陡、流量较小的山区河流^[1]。

1.3 枢纽布置影响因素

枢纽布置受到多种因素的影响,包括地形地质条件、水文气象条件、工程规模和功能要求、施工条件、生态环境要求等。地形地质条件决定了枢纽的布置形式和结构类型,如山区河流地形陡峭,可能更适合采用引水式枢纽;水文气象条件影响枢纽的水位、流量等参数,进而影响枢纽的规模和布置;工程规模和功能要求决定了枢纽需要设置哪些建筑物,以及它们的相对位置和尺寸;施工条件包括施工场地、交通、材料供应等,会影响枢纽的施工进度和成本;生态环境要求则要求枢纽布置要尽量减少对生态环境的破坏,保护水生生物的栖息地和河流的生态功能。

2 水利水电工程枢纽优化设计策略与方法

2.1 三维设计技术应用

2.1.1 三维建模与可视化展示

随着计算机技术的飞速发展,三维设计技术在水利水电工程枢纽设计中占据了愈发重要的地位。通过先进的测绘技术,如无人机航测、激光雷达扫描等,能够获取高精度的地形数据,进而构建出逼真的三维地形模型。该模型不仅精准呈现了地形的起伏、坡度等信息,还能模拟出不同季节、不同天气条件下的地形变化,为设计人员提供了全面且直观的地形认知。在构建枢纽建筑物模型方面,利用专业的三维设计软件,如CATIA、Revit等,融合骨架设计思想,将枢纽中的各个建筑物,如大坝、水电站厂房、泄洪建筑物等,按照实际尺寸和结构进行精确建模。这些模型包含了建筑物的几何形状、材料属性、连接关系等详细信息。将地形模型与建筑物模型进行整合,就能在虚拟环境中完整地展示枢纽的布置情况。设计人员可以像在现场一样,从不同角度、不同高度观察枢纽,提前发现设计中可能存在的空间冲突、结构干涉等问题,避免在施工阶段出现重大变更,从而节省时间和成本。

2.1.2 水力学仿真实验

三维设计技术强大的功能还体现在水力学仿真实验上。借助专业的流体动力学软件,如ANSYS Fluent、FLOW-3D等,将构建好的枢纽三维模型导入其中,设置相应的边界条件和初始条件,模拟枢纽在不同工况下的水流情况。例如,可以模拟不同洪水频率下的水流流速、水位变化、压力分布等参数。通过水力学仿真实验,能够准确评估枢纽的泄流能力。在洪水来临时,枢纽需要能够及时、有效地排泄洪水,保障下游地区的安全。仿真实验可以直观地展示水流在枢纽中的流动路径和速度分布,帮助设计人员判断泄洪建筑物是否满足泄流要求,是否存在局部冲刷、涡流等不利现象。如果发现问题,可以及时对枢纽布置进行优化调整,如增加泄洪孔的尺寸、改变泄洪建筑物的形状等^[2]。同时,水力学仿真实验还能评估枢纽的通航条件。对于具有通航功能的水利水电工程枢纽,水流条件对船舶的航行安全至关重要。通过模拟不同船舶在枢纽中的航行过程,分析水流对船舶的阻力、升力等作用,评估枢纽是否满足通航标准。如果通航条件不理想,可以采取相应的措施进行改进,如优化船闸的布置、调整导流建筑物的位置等。

2.1.3 数据交互与协同设计

三维设计技术还支持数据的交互和协同设计。不同专业的设计人员,如水利专业、结构专业、电气专业等,可以在同一个三维模型平台上进行工作。他们可以实时共享模型数据,及时了解其他专业的设计进展和修改情况,避免因信息沟通不畅而导致的设计冲突。例如,水利专业设计人员在进行枢纽布置时,需要考虑到结构专业的建筑物结构要求和电气专业的设备布置需求。通过三维模型,他们可以直观地看到其他专业的设计内容,及时调整自己的设计方案,确保各专业之间的协调一致。这种协同设计方式提高了设计效率,减少了设计错误,保证了枢纽设计的整体质量。

2.2 多方案比选

2.2.1 技术可行性评估

在枢纽布置设计中,制定多个布置方案是进行优化设计的重要步骤。技术可行性评估是方案比选的首要内容。要确保枢纽能够满足工程的功能要求,如防洪、发电、灌溉、供水等。对于防洪功能,需要评估枢纽在不同洪水标准下的防洪能力,包括拦洪、蓄洪、泄洪等环节的设计是否合理。例如,大坝的高度、坝型选择以及泄洪建筑物的布置和尺寸,都会影响到枢纽的防洪效果。安全可靠的运行性能也是技术可行性评估的关键。要考虑枢纽在各种工况下的稳定性,如地震、洪水、泥

石流等自然灾害以及施工、运行过程中的各种荷载作用。通过结构分析和稳定性计算,评估枢纽建筑物的强度、刚度和稳定性是否满足要求。同时,还要考虑枢纽的运行管理是否方便,如设备的维护检修、人员的操作管理等。

2.2.2 经济合理性分析

经济合理性分析是方案比选的重要依据。要比较不同方案的投资成本,包括建筑工程费、设备购置费、安装工程费、其他费用等。投资成本的高低直接影响到工程的资金筹措和建设进度。运行成本也是经济合理性分析的重要内容。包括水电站的发电成本、灌溉工程的供水成本、防洪工程的维护成本等。运行成本的高低决定了工程在运行期间的经济效益。例如,水电站的发电成本受到水头、流量、机组效率等因素的影响,通过优化枢纽布置,提高水头和流量,可以提高机组的发电效率,降低发电成本。此外,还要考虑工程的经济效益,如发电收入、灌溉收益、防洪效益等。通过对不同方案的投资成本、运行成本和经济效益进行综合比较,选择经济上最优的布置方案。

2.2.3 环境影响评价

环境影响评价是方案比选不可忽视的方面。要评估枢纽对生态环境的影响,包括对水生生物、陆生生物、生态系统等的影响。例如,枢纽的建设可能会改变河流的水文条件,影响鱼类的洄游和繁殖;可能会淹没陆地生态系统,导致生物栖息地的丧失。同时,还要考虑枢纽对社会环境的影响,如对居民生活、文化遗址、旅游景观等的影响。枢纽的建设可能会涉及到移民搬迁问题,要评估移民安置的可行性和合理性;可能会对周边的文化遗址和旅游景观造成破坏,要采取相应的保护措施。通过对不同方案的环境影响进行综合评价,选择对环境影响最小的布置方案,实现工程建设与环境保护的协调发展。

2.2.4 案例分析

以某大型水利水电工程枢纽为例,在初步设计阶段,制定了三个不同的布置方案。方案一采用传统的坝式布置,具有结构简单、施工经验丰富等优点,但投资成本较高,对生态环境的影响较大;方案二采用引水式布置,投资成本相对较低,但需要修建较长的引水渠道,对土地资源的占用较多,并且对河流的生态环境影响也较大;方案三采用混合式布置,结合了坝式和引水式的优点,在满足工程功能要求的前提下,尽量减少了生态环境的影响,但技术难度较大。通过对这三个方案进行技术可行性、经济合理性和环境影响的综合比

较,最终选择了方案三作为推荐方案。在后续的设计过程中,设计团队还对方案三进行了进一步的优化,如调整建筑物的布局和尺寸,优化引水系统等,提高了枢纽的综合效益。

2.3 生态设计理念融入

2.3.1 水文特征与生态系统关系考虑

在设计阶段,充分考虑水文特征与生态系统的关系是生态设计理念的核心。要深入研究河流的水文过程,包括径流、洪水、泥沙运动等,了解这些水文特征对生态系统的影响。例如,洪水的周期性泛滥可以为河流两岸的湿地生态系统提供水源和养分,维持生态系统的平衡。在设计枢纽时,要尽量保持河流的自然水文过程。例如,合理设置水库的调度运行方式,在保证工程功能的前提下,尽量减少对下游河流生态流量的影响;采用分层取水的方式,避免抽取底层水温较低的水,影响下游水生生物的生长和繁殖。

2.3.2 生态保护设施设置

为了减少枢纽对自然环境的干扰,需要设置一系列生态保护设施。在水库的设计上,可以设置生态调节区,通过水体的自然循环来维护生态平衡。生态调节区可以种植水生植物,为水生生物提供栖息地和食物来源;可以设置人工湿地,净化水质,改善水生态环境。在枢纽布置中,要避免对鱼类洄游通道的阻断。可以设置鱼道、升鱼机等生态保护设施,帮助鱼类顺利通过枢纽。鱼道的设计要考虑到鱼类的游泳能力和习性,设置合适的坡度、流速和休息池等,为鱼类提供良好的洄游条件。

2.3.3 景观设计与生态修复

除了生态保护设施的设置,景观设计和生态修复也是生态设计理念的重要体现。在枢纽周边进行景观设计,可以种植树木、花草等植物,营造优美的自然环境,提高工程的美观度和生态价值。对于枢纽建设过程中受到破坏的生态环境,要进行生态修复。例如,对淹没的陆地生态系统进行植被恢复,种植适合当地生长的植物;对受损的水生生态系统进行修复,投放鱼苗、虾苗等水生生物,促进生态系统的恢复和发展^[3]。

2.3.4 社会认可度与可持续性提升

生态设计理念的融入不仅可以保护生态环境,还可以提高工程的社会认可度和可持续性。随着人们环保意识的不断提高,对水利水电工程枢纽的生态环境影响越来越关注。采用生态设计理念设计的枢纽,能够更好地满足社会公众对生态环境保护的需求,提高工程的社会

形象。同时,生态设计理念有助于实现工程的可持续发展。通过保护生态环境,维护生态系统的平衡,可以为工程的长远运行提供保障。例如,健康的生态系统可以提供清洁的水源、良好的气候条件等,有利于工程的正常运行和维护。三维设计技术应用、多方案比选和生态设计理念融入是水利水电工程枢纽优化设计的重要策略与方法。通过综合运用这些策略与方法,可以提高枢纽设计的科学性和合理性,实现工程建设与环境保护、社会发展的协调统一。

4 实际案例分析

以某水电站枢纽布置与优化设计为例,该水电站位于山区河流,地形复杂,河床狭窄。在初步设计阶段,提出了两种枢纽布置方案。方案一采用坝式布置,将拦河坝、水电站厂房等建筑物布置在河床中,这种方案施工难度较大,但对生态环境的干扰相对较小;方案二采用引水式布置,将引水渠道和水电站厂房布置在河岸上,这种方案施工相对容易,但会占用较多的土地资源,并且对河流的生态环境影响较大。为了选择最优的布置方案,设计团队采用了三维设计技术,构建了两方案的三维模型,并进行了水力学仿真实验。实验结果表明,方案一虽然施工难度大,但能够更好地保持河流的生态连续性,对下游生态环境的影响较小;方案二虽然施工容易,但会导致河流的部分河段断流,对生态环境造成较大的破坏。综合考虑技术可行性、经济合理性、生态环境影响等因素,最终选择了方案一作为推荐方案。在后续的设计过程中,设计团队还对方案一进行了进一步的优化,如调整建筑物的布局和尺寸,优化引水系统等,以提高枢纽的综合效益。

结束语

未来,随着科技的不断进步和可持续发展理念的深入推广,水利水电工程枢纽布置与优化设计将面临更多的机遇和挑战。需要进一步加强对新技术、新材料、新工艺的研究和应用,不断提高枢纽设计的水平和质量,为实现水利水电工程的可持续发展做出更大的贡献。

参考文献

- [1]李晓东.水利水电枢纽工程泄洪消能设计研究[J].科技创新导报,2018,15(24):11+13.
- [2]喻尚伟.分析水利水电工程枢纽布置设计[J].低碳世界,2017(21):30-31.
- [3]吕常亮.分析水利水电枢纽工程泄洪消能设计[J].低碳世界,2017(20):35-36.