

水利工程水力学与水工结构

杨雪薇 徐震

长江水利水电开发集团（湖北）有限公司

DOI:10.12238/hwr.v8i11.5838

[摘要] 水利工程是国家基础设施建设的重要组成部分,对于保障水资源的合理利用、防洪减灾、能源供应以及生态环境保护具有至关重要的作用。在水利工程的诸多环节中,水力学与水工结构是两个核心领域,它们相互交织,共同支撑起这个庞大而复杂的系统。本文将深入探讨水利工程中的水力学基础理论及其应用,以及水工结构的基本理论和设计方法,旨在为相关领域的研究和实践提供参考。

[关键词] 水利工程; 水力学; 水工结构

中图分类号: TV **文献标识码:** A

Hydraulic Engineering Hydraulics and Hydraulic Structures

Xuewei Yang Zhen Xu

Changjiang Water Resources and Hydropower Development Group (Hubei) Co., Ltd.

[Abstract] Water conservancy engineering is an important component of national infrastructure construction, playing a crucial role in ensuring the rational utilization of water resources, flood control and disaster reduction, energy supply, and ecological environment protection. In many aspects of hydraulic engineering, hydraulics and hydraulic structures are two core fields that are intertwined and jointly support this vast and complex system. This article will delve into the fundamental theories and applications of hydraulics in hydraulic engineering, as well as the basic theories and design methods of hydraulic structures, with the aim of providing references for research and practice in related fields.

[Key words] water conservancy engineering; Hydraulics; Hydraulic structures

引言

在人类文明的演进历程中,水利工程始终扮演着至关重要的角色。它们不仅保障了人类社会的稳定发展,也促进了经济的繁荣和生态环境的保护。从古至今,无论是古罗马的引水渠系统,还是中国的都江堰、京杭大运河,水利工程的建设和管理都展示了人类对自然环境的深入理解与智慧运用。在当今时代,随着全球气候变化、资源短缺和环境保护的压力不断增大,水利工程的重要性愈发凸显,它们在水资源调配、防洪抗旱、水环境保护和能源供应等方面的作用显得尤为关键^[1]。

水力学作为研究液体运动规律的学科,是水利工程的基石。它探讨水的流动、压力分布、能量转换等问题,为设计和优化水利工程提供了理论依据。例如,通过水力学计算,工程师可以精确预测水在水库、渠道、水轮机中的流动特性,从而设计出既能有效利用水资源,又能确保结构安全的水利设施。在另一方面,水工结构则是将这些理论知识转化为实际工程的实体,包括大坝、涵洞、水闸等,它们是承载和调节水流的关键设施,直接关系到水利工程的功能实现和使用寿命。

1 水利工程的重要性

水利工程作为国民经济和社会发展的基础性、战略性工程,在我国经济社会发展中具有极其重要的地位。水利工程不仅关乎国家粮食安全、水资源合理利用,而且对生态环境保护和人民生活水平的提高都有着深远的影响。

首先,水利工程是保障国家粮食安全的基石。我国是一个人口大国,粮食安全始终是国计民生的头等大事。水利工程通过调节水资源,提高灌溉面积,提高粮食产量,为我国粮食安全提供了有力保障。据统计,我国灌溉面积已达8亿亩,占耕地面积的近一半,有效保障了国家粮食安全。

其次,水利工程是实现水资源合理利用的关键。我国水资源时空分布不均,水资源短缺问题日益突出。水利工程通过跨流域调水、水库蓄水、河道治理等措施,优化水资源配置,提高水资源利用效率,为我国经济社会发展提供了有力支撑。同时,水利工程还有助于防治水旱灾害,降低自然灾害对人民生命财产的损失。

再次,水利工程是生态环境保护和修复的重要手段。水利工程在防洪、治涝、供水、发电等方面发挥着重要作用,同时也对生态环境产生一定影响。因此,在水利工程规划、设计、建设、

运行等各个环节,都要充分考虑生态环境保护和修复,实现人与自然和谐共生。

此外,水利工程还有利于提高人民生活水平。水利工程通过改善农村基础设施,提高农村居民生活质量;通过保障城市供水,提高城市居民生活质量;通过发电、旅游等综合利用,促进地方经济发展,增加就业机会,提高人民收入水平。

总之,水利工程在我国经济社会发展中具有重要地位。在新时代背景下,我们要进一步强化水利工程的重要性,加大水利基础设施建设力度,提高水利管理水平,为全面建设社会主义现代化国家、实现中华民族伟大复兴的中国梦提供有力支撑^[2]。

2 水力学基础理论与应用

水力学,作为水利工程的基石,研究内容广泛,包括流体力学的基本原理、边界层理论、水动力学模型等。这些理论为设计和优化水利工程提供了坚实的理论基础,使得工程师能够在理论上预测和控制水在各种工程环境中的行为。

水力学的基本原理,如牛顿粘性流体运动方程,即纳维-斯托克斯方程,是描述流体运动的核心。它涉及流体的连续性、动量守恒和能量守恒,是分析流场中速度、压力和温度变化的关键。借助于这些基本原理,工程师可以计算出水流在水库、渠道、涵洞等设施中的速度分布、压强变化以及能量损失,从而优化结构设计,确保工程的稳定运行。

计算水力学则是水力学的一个重要分支,它借助计算机技术和数值方法,如有限元法、有限体积法或离散元法,来解决实际问题中复杂的流体流动问题。例如,在设计水轮机时,计算水力学可以帮助工程师精确预测水流在转轮中的流动路径,优化叶片形状和角度,提高发电效率。同时,通过数值模拟,还可以预测大坝在洪水冲击下的动态响应,为安全评估和抗震设计提供依据。

边界层理论,是指流体在固体表面附近形成的薄层,其流动特性与主体流场有显著差异。在水利工程中,理解边界层的流动特性对降低阻力、提高水力发电效率以及维持河床稳定至关重要。例如,通过优化渠道的侧壁形状,可以减小边界层的摩擦,降低流体阻力,从而提高水流的通过速度和输水效率。

水力学模型,如水动力学模型,是描述和预测水体运动的关键工具。它们可以模拟水流的波动、潮汐、波浪以及流体与固体结构的相互作用。在河流管理、海岸工程和海洋能开发中,水动力学模型帮助我们理解复杂环境下的水流行为,为防洪、港湾设计和海洋能设备的布局提供科学依据。

环境水力学涉及水体与周围环境的相互作用,如水体与大气的交换、水体对污染物的扩散、水体对生态系统的影响等。这些研究对于水资源保护、水环境质量改善以及生态水利的实施至关重要。

通过这些理论的应用,水利水电工程系的学者和工程师们在设计和优化各种水利工程中取得了显著的成就。例如,他们在三峡大坝的设计中,充分运用了水力学理论,确保了大坝在极端洪水条件下的安全稳定,同时,通过计算水力学,他们优化了水

轮机的设计,显著提高了水电站的发电效率。

水力学基础理论的深入理解与应用,是提升水利工程效率、保障工程安全、实现水资源可持续利用的关键。这些理论不仅是水利工程的灵魂,也是推进水科学领域创新,为人类社会解决水资源挑战提供解决方案的基石^[3]。

3 水工结构基本理论与设计方法

水工结构是水利工程中的关键组成部分,它们直接承受着水流的荷载,保障着整个工程系统的安全与稳定。在水工结构的设计过程中,基本理论与现代设计方法的结合至关重要,以确保结构的经济性、可靠性及持久性。

水工结构的基本理论首先包括结构受力分析,这是设计过程中必不可少的一步。通过应用材料力学、结构力学的原理,工程师们可以计算和评估结构在不同工况下的应力、应变及变形,从而选择合适的结构形式和材料,确保结构在荷载作用下能够保持稳定。在大坝设计中,会考虑静载如自重和水压力,动载如地震动或水流冲击,以及长期的环境影响如冻融循环和风化侵蚀。通过精确的受力分析,可以确定结构的尺寸和形状,避免因设计不合理导致的结构破坏。

施工仿真技术是现代水工结构设计中的一大亮点。它利用计算机模拟技术,对结构的施工过程进行精确模拟,预测施工过程中可能出现的问题,如混凝土浇筑时的温度控制、开裂风险,以及大体积混凝土的收缩徐变。这种技术不仅有助于优化施工方案,提高施工效率,还能在施工前发现潜在问题,减少现场的不确定性,保证结构的完整性。

随着科技的快速发展,人工智能(AI)在水工结构设计中的应用逐渐崭露头角。AI能够通过学习和优化算法,辅助工程师进行结构分析和设计,特别是在复杂结构和非线性问题上的解决能力上,AI展现出巨大的潜力。例如,AI可以进行参数化设计,快速生成和筛选设计方案,通过遗传算法或深度学习来优化结构性能,提高设计的创新性和效率。此外,AI还可以用于结构健康监测,通过分析传感器数据识别潜在的结构损伤,为维护和管理工作提供实时信息。

现代设计方法也强调了绿色和可持续性。在考虑结构的经济性和安全性的同时,设计者需要考虑结构的全生命周期影响,包括材料选择的环保性、施工过程中的能源消耗,以及结构寿命周期结束后的废物处理。通过这些综合考量,设计出的水工结构能够更好地适应环境变化,对生态影响最小,实现水利工程与自然环境的和谐共生^[4]。

水工结构基本理论与设计方法是水力学与水利工程的交汇点,它们直接关系到水利工程的安全、成本和环境的影响。通过不断深化理论研究,探索新的设计方法,我们能够为未来的水利工程提供更加高效、环保和可靠的设计方案,确保水资源的有效利用与保护。

4 案例研究:水工结构与水利水电工程实践

4.1 案例一:三峡水利枢纽工程

三峡水利枢纽工程是我国规模最大、技术最复杂的水利工

程之一,位于长江中上游的湖北省宜昌市。该工程主要由大坝、船闸、水电站等组成,具有防洪、发电、航运、水产养殖、供水、灌溉等综合效益。

大坝结构:三峡大坝为混凝土重力坝,最大坝高为181米,全长2335米。大坝采用分区设防、分区施工的方案,确保了大坝的安全稳定。

船闸结构:三峡船闸是世界上规模最大的船闸,由上游、下游和中间三个部分组成。上游船闸最大通航能力为10万吨级,下游船闸最大通航能力为5万吨级。

水电站结构:三峡水电站装机容量为2250万千瓦,是我国最大的水电站。水电站采用全封闭式地下厂房,提高了发电效率和安全性。

4.2 案例二:南水北调中线工程

南水北调中线工程是我国跨流域水资源调配的重大工程,旨在将长江水资源调配至我国北方地区,解决北方水资源短缺问题。

渠道结构:中线工程主要采用明渠输水,全长1432公里。渠道结构设计充分考虑了地质条件、地形地貌等因素,确保了渠道的稳定和安全。

泵站结构:中线工程共设有13座大型泵站,总装机容量为125万千瓦。泵站结构设计采用了先进的变频调速技术,提高了泵站的运行效率和节能效果。

节制闸结构:节制闸是中线工程的重要组成部分,主要用于调节水位、控制流量。节制闸结构设计采用了全封闭式结构,提高了节制闸的运行稳定性和安全性。

4.3 案例三:小浪底水利枢纽工程

小浪底水利枢纽工程位于河南省洛阳市,是黄河流域治理的关键工程。该工程主要由拦河大坝、溢洪道、电站等组成,具有防洪、发电、灌溉、供水等综合效益。

大坝结构:小浪底大坝为重力坝,最大坝高为154米,全长1667米。大坝采用分区设防、分区施工的方案,确保了大坝的安全稳定。

溢洪道结构:小浪底溢洪道为开敞式溢洪道,最大泄量达22000立方米/秒。溢洪道结构设计充分考虑了水流动力学原理,确保了溢洪道的泄洪能力和安全性。

电站结构:小浪底电站装机容量为180万千瓦,是我国黄河流域最大的水电站。电站采用全封闭式地下厂房,提高了发电效率和安全性。

4.4 案例四:白鹤滩水利枢纽工程

白鹤滩水利枢纽工程位于四川省凉山州,是金沙江下游梯级开发的最后一个梯级。该工程主要由大坝、溢洪道、船闸、

电站等组成,具有防洪、发电、航运、水产养殖等综合效益。

大坝结构:白鹤滩大坝为混凝土重力坝,最大坝高为289米,全长777米。大坝采用分区设防、分区施工的方案,确保了大坝的安全稳定。

溢洪道结构:白鹤滩溢洪道为开敞式溢洪道,最大泄量达50000立方米/秒。溢洪道结构设计充分考虑了水流动力学原理,确保了溢洪道的泄洪能力和安全性。

电站结构:白鹤滩电站装机容量为1600万千瓦,是我国金沙江流域最大的水电站。电站采用全封闭式地下厂房,提高了发电效率和安全性^[5]。

通过以上案例研究,可以看出,水工结构与水利水电工程实践密切相关,涉及到大坝、船闸、电站、渠道等众多结构。在工程设计中,需要充分考虑地质条件、地形地貌、水流动力学、材料力学等因素,确保工程的安全、稳定和高效运行。

5 结束语

总之,水利工程的水力学与水工结构是保障国家水资源安全、推动社会经济可持续发展的重要基石。深入研究和应用这些领域的理论与技术,对于提升我国水利水电工程的整体水平,实现人与自然和谐共生的愿景具有深远意义。随着科技的不断进步和可持续发展理念的深入人心,水利工程的水力学与水工结构将面临更多挑战,如气候变化、水资源短缺、生态环保等。因此,未来的研究需要进一步融合多学科知识,发展更高效、环保、智能的设计和施工方法,以实现水利工程的绿色化、智能化和可持续发展。

[参考文献]

- [1]王春昌.孔结构对水工混凝土抗冻性的试验研究[J].水利科学与寒区工程,2024,7(10):1-4.
- [2]蓝鸿鹏.水工结构工程裂缝机理及防治探讨[J].科学技术创新,2024,(21):191-194.
- [3]杨志斌,戴毓帝,周小凡,等.水工结构磨损防护的修补砂浆耐磨性能评价[J].水利科技与经济,2024,30(09):130-135.
- [4]张贵金,喻和平,李梦成,等.力学在水利工程中的应用[M].中国水利水电出版社,2018,(04):466.
- [5]高柱.水利工程类学生水力学计算能力培养研究[J].科教导刊(下旬),2017,(06):21-22.

作者简介:

杨雪薇(1993--),女,汉族,湖北武汉人,本科,工程师,研究方向:水利水电工程。

徐震(1990--),男,汉族,黑龙江省牡丹江市人,本科,工程师,研究方向:水利水电工程。