

# 水利工程中水工结构优化设计方法与应用

李成林

天津中水新华工程规划设计有限公司 天津 300300

**摘要:** 本文系统研究了水工结构优化设计的流程与实施步骤,重点探讨了设计目标与约束条件的确定、数学模型的建立、优化算法的选择、优化设计过程的实施以及设计结果的评估与验证等关键环节。通过综合运用现代数学方法、计算机技术和优化算法,本文提出了一种科学、系统的水工结构优化设计方法,旨在提高结构性能、降低建设成本并确保工程安全。研究表明,该方法在设计效率和质量提升方面具有显著优势。未来,随着新材料、新工艺和新技术的应用,以及环保和可持续发展需求的提升,水工结构优化设计将面临更多机遇和挑战。因此,需要继续加强研究,完善设计理论和方法,以适应新时代水利工程建设需要。

**关键词:** 水工结构; 优化设计; 数学模型; 优化算法; 工程安全

## 引言

在当今社会经济快速发展的背景下,水利工程作为国家基础设施的重要组成部分,其建设规模和技术要求日益提高。水工结构作为水利工程的核心,其安全、经济、稳定性直接关系到工程的整体效益。然而,传统的水工结构设计方法往往基于经验,缺乏系统的优化理念,难以适应现代水利工程复杂多变的需求。因此,水工结构的优化设计方法应运而生,它旨在通过科学的计算和分析,寻求结构性能与经济性之间的最佳平衡。本研究旨在深入探讨水利工程中水工结构的优化设计方法,以期提高工程设计的效率和准确性,降低建设成本,同时确保工程的安全性和稳定性。这一研究不仅具有理论价值,更对水利工程的实践应用具有重要的指导意义。通过本研究,期望为相关领域的研究人员和工程师提供有益的参考和启示,共同推动水利工程技术的进步和发展。

## 1 水工结构优化设计理论基础

### 1.1 水工结构优化设计的基本概念

水工结构优化设计,是指在满足工程安全性、稳定性、功能性以及经济性等多重约束条件下,通过数学方法、计算机技术和现代优化理论等手段,对水工结构的形状、尺寸、材料、布局等进行系统分析、综合比较和优选设计,以达到结构性能最佳、经济效益最高的设计目标。其核心在于“优化”,即在众多可行的设计方案中,寻求一种或几种最优的设计方案。这种优化设计方

法不同于传统的经验设计或校核设计,它更强调设计的科学性、系统性和创新性<sup>[1]</sup>。在传统设计中,工程师往往依赖于个人经验、设计规范或类似的工程实例进行设计,而优化设计则要求工程师在设计之初就明确设计目标,充分考虑各种约束条件,运用现代优化理论和计算机技术进行设计方案的搜索、分析和比较,从而找到最优的设计方案。

### 1.2 优化设计的数学基础

优化设计是建立在数学基础之上的。在水工结构优化设计中,常用的数学方法包括线性规划、非线性规划、动态规划、整数规划等。这些方法为优化设计提供了数学模型、求解算法和最优性条件等理论基础。

线性规划是优化设计中最简单、最常用的一种方法,它主要研究在一组线性约束条件下,求解一个线性目标函数的最大值或最小值问题。非线性规划则适用于目标函数或约束条件为非线性函数的情况,其求解难度相对较大,但更具实际应用价值。动态规划是一种多阶段决策过程的优化方法,适用于求解具有时序性或空间转移性的问题。整数规划则要求变量取整数值,常用于求解离散变量的优化问题<sup>[2]</sup>。

在水工结构优化设计中,根据问题的具体性质和特点,选择合适的数学方法进行建模和求解是至关重要的。同时,还需要注意数学模型的简化与精度、求解算法的稳定性与效率等方面的问题。

### 1.3 优化设计的计算机方法

随着计算机技术的飞速发展,优化设计方法已经与计算机技术紧密相连。计算机不仅为优化设计提供了强大的数值计算和数据处理能力,还使得优化设计过程更加自动化、智能化和可视化。

**通讯作者:** 李成林, 出生年月: 1991.11, 民族: 汉, 性别: 男, 籍贯: 河北衡水, 单位: 天津中水新华工程规划设计有限公司, 职称: 中级, 学历: 硕士研究生, 邮编: 300300, 研究方向: 水工结构。

在水工结构优化设计中，常用的计算机方法包括有限元分析、仿真模拟、人工智能算法等。有限元分析是一种数值计算方法，可以对水工结构进行精确的应力、变形和稳定性分析。仿真模拟则可以模拟水工结构在实际工作环境中的行为表现，为优化设计提供更为真实、可靠的依据。人工智能算法如遗传算法、神经网络、粒子群算法等，则具有强大的全局搜索和自适应学习能力，可以在复杂的设计空间中快速找到最优的设计方案。

#### 1.4 优化设计在水利工程中的重要性

优化设计在水利工程中具有非常重要的意义。首先，优化设计可以提高水工结构的安全性和稳定性。通过系统的分析和综合比较，可以找到结构性能最佳的设计方案，从而确保工程在极端工况下的安全性和稳定性。其次，优化设计可以显著提高水利工程的经济效益。通过优选设计方案和合理配置资源，可以降低工程的建设成本和维护费用，提高工程的投资效益和社会效益。最后，优化设计还可以促进水利工程技术的进步和创新。通过不断探索新的设计方法和应用新的技术手段，可以推动水利工程技术的发展和进步，为水利事业的可持续发展提供有力支撑。

### 2 水工结构优化设计方法

#### 2.1 传统优化设计方法

传统优化设计方法在水工结构设计中具有悠久的历史 and 广泛的应用。这些方法主要基于工程师的经验和判断，以及一些经典的力学原理和准则。虽然这些方法在现代优化理论的视角下可能显得过于简单或粗糙，但在实践中，它们仍然具有一定的价值和意义。

经验设计法是一种典型的传统优化设计方法。它主要依赖于工程师的个人经验和直觉，以及对类似工程实例的参考和借鉴。工程师根据自己的经验和判断，对水工结构的形状、尺寸、材料等进行初步设计，然后根据设计规范和工程要求进行校核和修改。这种方法简单易行，适用于一些规模较小、结构形式简单的水利工程。但缺点是设计结果往往受到工程师个人经验和主观因素的影响，难以保证设计的最优性和创新性。

准则设计法则是基于一些经典的力学原理和准则进行优化设计的方法。例如，在重力坝设计中，可以根据坝体的抗滑稳定准则和应力准则进行优化设计；在拱坝设计中，可以根据拱坝的应力分布和变形规律进行优化设计等<sup>[3]</sup>。这种方法具有一定的科学依据和可靠性，适用于一些结构形式复杂、工程规模较大的水利工程。但缺点是对于一些新型结构或复杂问题，经典的力学原理和准则可能难以适用或需要进行修正和改进。

总的来说，传统优化设计方法虽然具有一定的局限性和不足，但在实践中仍然具有一定的应用价值。对于一些规模较小、结构形式简单的水利工程或初步设计阶段，可以采用传统优化设计方法进行快速、简便的设计和优化。

#### 2.2 现代优化设计方法

随着计算机技术的飞速发展和优化理论的不完善，现代优化设计方法在水工结构设计中得到了广泛的应用和推广。这些方法主要基于数学规划、仿真模拟和智能优化算法等现代科技手段，对水工结构进行更为科学、系统和创新的设计和优化。

数学规划法是现代优化设计方法中的一种重要方法。它通过建立数学模型和求解优化问题，对水工结构的形状、尺寸、材料等进行优化设计。常用的数学规划方法包括线性规划、非线性规划、整数规划等。这些方法可以根据工程实际问题和设计要求，建立相应的数学模型和约束条件，然后通过求解算法找到最优的设计方案。数学规划法具有严谨的数学基础和可靠的求解算法，适用于一些结构形式复杂、工程规模较大的水利工程或详细设计阶段<sup>[4]</sup>。

仿真模拟法则是通过计算机仿真技术对水工结构进行优化设计的方法。它可以模拟水工结构在实际工作环境中的行为表现，对设计方案进行验证和评估。常用的仿真模拟方法包括有限元分析、计算流体动力学等。这些方法可以对水工结构的应力、变形、稳定性等进行精确的数值分析和模拟，为优化设计提供更为真实、可靠的依据。仿真模拟法具有强大的数值计算和数据处理能力，适用于一些新型结构或复杂问题的优化设计。

智能优化算法则是近年来发展起来的一种新型优化设计方法。它通过模拟自然界的生物进化、神经网络等智能现象，对水工结构进行优化设计<sup>[5]</sup>。常用的智能优化算法包括遗传算法、蚁群算法、粒子群算法等。这些方法具有强大的全局搜索和自适应学习能力，可以在复杂的设计空间中快速找到最优的设计方案。智能优化算法适用于一些多目标、多约束、大规模的优化问题，具有广阔的应用前景和发展空间。

总的来说，现代优化设计方法在水工结构设计中具有广泛的应用价值和推广前景。它们可以克服传统优化设计方法的局限性和不足，提高设计的科学性、系统性和创新性，为水利工程的可持续发展提供有力支撑。

#### 3 水工结构优化设计流程与实施步骤

水工结构的优化设计是一个复杂而系统的过程，涉及多个步骤和环节。为确保设计的科学性、合理性和可

行性, 必须遵循一定的流程和实施步骤。

### 3.1 明确设计目标与约束

水工结构优化设计的首要任务是确立清晰的设计目标, 这些目标应围绕结构的安全性、稳定性、经济性和功能性等核心要素。同时, 必须充分考虑工程所在地的地质、水文、环境等实际情况, 以及相关的法规和标准要求, 作为设计的约束条件。这些目标和约束为后续的优化设计提供了明确的方向和边界。

### 3.2 构建数学模型

在明确了设计目标和约束后, 需要构建一个能够准确反映水工结构性能的数学模型。该模型应包含目标函数、设计变量和约束条件三个基本要素, 以数学语言描述结构性能与设计参数之间的关系。通过合适的数学方法和工具, 如线性规划、非线性规划等, 可以对模型进行求解, 寻找满足所有约束条件的最优设计方案。

### 3.3 选择优化算法

针对所建立的数学模型, 需要选择合适的优化算法进行求解。这些算法可以根据问题的性质、规模和复杂度进行选择, 如梯度法、遗传算法、模拟退火算法等。每种算法都有其独特的优点和适用范围, 因此需要根据实际情况进行灵活选择。在选择算法时, 还需要考虑计算资源的限制, 以确保优化过程的可行性和效率。

### 3.4 实施优化设计

在确定了数学模型和优化算法后, 就可以开始实施优化设计过程。这一过程包括对数学模型的求解、优化结果的合理性分析和判断以及优化结果的稳定性验证等步骤。通过迭代计算和调整设计参数, 可以逐步逼近最优设计方案。同时, 需要对优化结果进行敏感性分析和鲁棒性分析, 以评估其在不确定因素干扰下的稳定性和可靠性。

### 3.5 评估与验证设计结果

得到最优设计方案后, 需要对其进行全面的评估与验证。这包括与类似工程案例的对比分析、专家评审、

实验测试和数值模拟等手段。通过这些方法, 可以检验最优设计方案的可行性、有效性和优越性。如果发现设计方案存在不足或缺陷, 需要及时进行调整和改进。最终, 经过评估与验证的最优设计方案将作为实际工程建设的依据和指导。

### 结语

经过对水工结构优化设计的深入研究, 我们得出了以下结论: 优化设计是提高水工结构性能、降低建设成本、确保工程安全的重要手段。通过综合运用现代数学方法、计算机技术和优化算法, 我们可以更加科学、系统地进行水工结构的设计和优化。同时, 实践证明, 这些方法和技术在提高设计效率、提升设计质量方面具有显著优势。未来随着科技的不断进步和创新, 水工结构优化设计将面临更多新的机遇和挑战。一方面, 新材料、新工艺、新技术的应用将为优化设计提供更多可能性; 另一方面, 环境保护、可持续发展等社会需求的提升, 将对优化设计提出更高要求。因此, 我们需要继续加强研究, 不断完善和优化设计理论和方法, 以适应新时代水利工程建设需要。同时, 我们也期待与广大同行和专家进行更深入的交流与合作, 共同推动水工结构优化设计的发展与进步。

### 参考文献

- [1]李翔飞. 谢寨排灌站水工结构设计研究 [J]. 中国水运(下半月), 2022, 22 (08): 96-98.
- [2]沈志平. 基于ABAQUS的闪溜电排站水工挡土墙结构设计优化 [J]. 甘肃水利水电技术, 2021, 57 (05): 49-53.
- [3]郭晨. 下寨泵站改造方案论证与水工结构设计优化 [D]. 西北农林科技大学, 2020.
- [4]吴代勇. 水工混凝土结构的优化设计 [J]. 现代物业(中旬刊), 2019, (10): 84.
- [5]戈莉琼, 艾京. 大型水电站水工结构耐久性的设计与研究 [J]. 山东工业技术, 2017, (22): 95.