

# 基于多目标优化的水利工程调度决策支持系统

李盼<sup>1</sup> 朱明<sup>1</sup> 王银来<sup>2</sup> 沈蓉<sup>3</sup>

1. 沭阳县水利局 江苏 宿迁 223600

2. 沭阳县南湖水利站 江苏 宿迁 223600

3. 淮安市洪泽区高良涧水利服务站 江苏 淮安 223100

**【摘要】**：本论文以多目标优化理论为基础，对水利工程调度决策支持系统建设及应用进行研究。水利工程调度对现代水资源管理具有重要影响，传统调度方法通常存在效率低下和响应不够及时的问题。本项研究设计了一个决策支持系统，该系统基于多目标优化，整合了水文、气象和社会需求等多个维度的数据，并运用多目标优化算法对水资源进行了合理的分配。研究首先对水利工程调度基本概念及特征进行分析、结合多目标优化理论构建出适合水利工程调度问题的优化模型，通过对不同优化算法进行验证，设计出决策支持系统框架。该系统设计包括数据采集、模型计算和决策分析模块，可为复杂水资源调度环境提供有效准确的决策支持。试验结果表明：系统应用于实际调度可明显提高决策效率及水资源利用率，有较大应用价值。

**【关键词】**：多目标优化；水利工程；调度决策；决策支持系统；优化模型

DOI:10.12417/2811-0536.26.05.069

## 引言

水利工程调度作为水资源管理的关键一环，对水资源的合理配置和高效利用有着直接的影响。随着水利工程的日益庞大，调度问题也越来越复杂，而传统调度方法往往很难处理复杂多目标需求。多目标优化理论是一种比较成熟的优化方法之一，它可以在面临多个互相矛盾的目标情况下，利用合理的算法寻找帕累托最优解进而达到资源最优分配。在进行水利工程的调度时，我们经常追求的目标有：最大化地利用水资源、降低调度的成本以及保护生态环境等，但这些目标之间往往伴随着冲突和矛盾。为了达到这些目标之间的均衡，一个决策支持系统应时而出，该系统通过整合多种数据和优化模型，协助决策者做出更为科学和精确的调度决策。该研究从多目标优化出发，根据水利工程调度实际需要设计决策支持系统的框架，并通过数据分析和模型计算对水资源进行有效调度。

## 1 理论基础与方法论

### 1.1 水利工程调度的基本概念与特点

水利工程调度是指以水资源可利用性和需求为基础，在一定时间和空间范围内对水资源进行合理分配和利用的过程。旨在保证水资源高效合理地配置，从而保证水利工程经济和社会效益。水利工程调度工作具有动态性、复杂性以及多变性的特点，由于水文条件以及社会需求都在不断地发生变化，在调度工作中需要考虑到不仅仅是水量分配问题，还有水质问题、环境保护问题以及经济效益问题等等诸多方面。另外水利工程调度还涉及到水库调度、灌溉管理、洪

水防控等多领域的协调问题，这些问题都需要系统能对多种复杂状况做出及时反应和应对，以保证调度决策准确科学。

### 1.2 多目标优化理论概述

多目标优化理论是处理涉及多个目标函数的优化问题的一种方法，它允许在多个目标之间找到最佳平衡。这一理论在实际工程尤其是水利工程调度方面得到了广泛的应用，因为它能有效应对例如水资源利用最大化，成本最小化和环境影响最小化这三个互相矛盾的目标。在求解多目标优化问题时，各种目标间常常会发生竞争或者冲突，所以优化算法要通过某种数学模型，来寻找各个目标间的妥协解，这个解称为“帕累托最优解等”。常用多目标优化方法有加权法和、约束法、 $\epsilon$ -约束法和演化算法。每种方法在水利工程调度中的应用，需要考虑目标的相对重要性和约束条件，从而确保决策的合理性与科学性。

### 1.3 决策支持系统的基本框架与发展现状

决策支持系统（DSS）作为一种工具，旨在协助决策者在复杂和充满不确定性的环境中作出明智的决策。在水利工程的调度过程中，DSS主要是通过整合各种数据、模型和算法，来帮助决策者在面对不确定性和复杂性的情况下，做出合理的调度决策。DSS基本框架一般由数据输入模块、模型计算模块、决策输出模块和用户接口模块等组成。数据输入模块承担各类实时数据与历史数据的采集与集成、模型计算模块采用数学模型进行决策计算并输出调度结果与决策建议。伴随着信息技术的进步，水利工程DSS应用也在

不断地进步，由传统静态数据处理逐渐走向智能化与动态化，人工智能与大数据技术已经广泛运用到决策支持系统当中，以提升决策效率与精度。

#### 1.4 水利工程调度决策中的关键问题与挑战

水利工程调度决策面临的关键问题与挑战很多。一是如何精确地预见到水资源在时间与空间上的变化，其中涉及到气候变化与水文周期的复杂性；二是如何统筹水资源中的灌溉、供水和电力生产等多种需求，特别是当资源受限时，多种需求会产生矛盾，需统筹考虑；三是水利工程调度过程中一般都会伴随有较高度数的不确定性，因此在不确定性环境中如何制定出科学、合理的调度策略就成了当前的重要研究领域；四是随着人们对环境保护的要求越来越高，在保证水资源合理开发利用的前提下又要考虑生态保护是一个巨大的难题。所以水利工程调度决策既要综合考虑经济、技术等各方面因素，又要加强对环境、社会效益等综合评价。

### 2 多目标优化模型的构建

#### 2.1 目标函数的选择与设定

建立多目标优化模型时，目标函数选取非常关键，决定着模型优化方向及最终决策结果。水利工程调度常用目标函数有水资源最大利用效率，水利工程最低运行成本和生态环境影响最小化。建立目标函数，需结合具体问题特点与需要，合理选择。以洪水调度为例，其目标可以是使洪水出现的损失最小；在进行灌溉调度时，我们的主要目标或许是最大化地利用水资源。不同的目标间也会发生冲突，如经济效益最大化就有可能使环境保护目标以牺牲为代价，所以如何均衡各目标间的关系是优化模型设计的一个重要课题。

#### 2.2 约束条件的分析与建模

对约束条件进行分析和建模是建立优化模型的又一个重要步骤。在水利工程调度中，约束条件通常包括水资源的物理约束（例如，水库蓄水量，流量的限制）、政策法规约束（例如，环境保护政策，灌溉水量的限制）和社会需求约束（例如用水需求，各行各业对水的需求）。这些约束条件约束目标函数优化空间并确定可行解范围。建模过程中要充分考虑到各种约束条件对其的影响，以保证模型求解时能满足实际运行的可行性与合理性。如水库最大蓄水量约束和最低流量保证要求优化模型时精准建模和结合目标函数。

#### 2.3 多目标优化算法的选择与应用

在解决多目标问题中，多目标优化算法处于核心

地位。水利工程调度中常采用的多目标优化算法有遗传算法、粒子群算法和模拟退火算法。这些算法能有效处理多目标冲突问题，通过解帕累托前沿集给出最优解集合。在算法选择方面，各种算法都有其各自的优势和劣势。例如，在处理大规模多目标优化问题时，遗传算法能够通过进化过程找到全局最优解，而粒子群算法则具有更好的局部搜索能力，特别适合处理非线性和多峰的优化问题。实际工作中选择合适的优化算法需结合水利工程调度问题规模大小，复杂性和实时性等要求综合取舍。

#### 2.4 模型验证与性能评估

对多目标优化模型进行验证及性能评估，是保证其有效性及实用性的一个重要环节。常用模型验证方法有敏感性分析、仿真测试、历史数据对比。利用上述方法可对模型在各种场景中的鲁棒性与准确性进行验证并考察该模型适应变化条件的能力。对于水利工程调度多目标优化模型而言，由于决策结果对水资源合理利用和环境保护可能会产生直接影响，所以验证工作就显得格外重要。性能评估是通过对模型收敛性、计算效率以及解的质量等多个指标的评估，以进一步优化模型的设计。综合验证及评估结果可对该模型进行调整及优化，从而达到更精确、更有效地制定水利工程调度决策的目的。

### 3 决策支持系统的设计与实现

#### 3.1 系统架构与功能模块设计

水利工程调度的决策支持系统（DSS）必须拥有高效的数据处理和优化计算的能力，因此，系统的架构设计显得尤为重要。典型决策支持系统架构主要由数据输入层、数据处理层、模型计算层、决策输出层组成。数据输入层承担着从各种传感器、遥感设备、气象预测系统中获取并集成水文、气象、用水需求多维度实时数据的任务。数据处理层负责对收集到的数据进行前期处理和数据清洗，以消除数据中的噪声，补充丢失的数据，并确保数据的准确性和完整性得到维护。在模型计算层运行多目标优化算法对水资源调度计算以获得最佳调度方案。决策输出层的主要职责是呈现调度的成果，这涵盖了水库的蓄水量、流量管理、用水分配等方面，并会根据各种用户的具体需求给予决策建议。该系统各功能模块设计需结合实际调度需求加以细化，主要包括数据查询、模拟分析、方案对比和报表生成，使用户能在各种场景中作出合理的决策。模块化设计可增强系统的灵活性与可扩展性，保证系统能应对将来可能发生的新要求与新变化。

### 3.2 数据采集与处理方法

数据采集与处理作为决策支持系统中最核心的一环，它涉及对海量实时数据与历史数据进行处理。水利工程调度过程中数据采集一般依靠传感器网络，遥感技术和气象监测站获取实时数据，涉及水位、水流量、降雨量和蒸发量。同时也要通过历史数据积累对未来水文变化及需求变化进行预报。数据处理又包括数据清洗、数据融合、数据归约、异常检测。数据清洗就是将原始数据加以整理以消除噪声及冗余信息并保证数据准确。数据融合的核心思想是整合来自各种不同渠道的数据，并通过创建一个统一的数据格式来减少信息之间的不一致性。数据归约的方法是利用降维技巧对大数据进行简化，同时保留其核心特性，从而增强处理的效率。异常检测的目的是为了检测并纠正数据中的异常数值，以减少其对调度决策的不利影响。决策支持系统的准确性和实时性受到数据采集和处理方法高效性的直接影响，因此，采用先进的技术手段，例如大数据处理，是非常必要的、云计算与人工智能技术可以进一步增强系统数据处理能力与响应速度。

### 3.3 系统实现与优化

实现决策支持系统需要效率高、稳定性好、容易维护。系统实现时硬件平台与软件平台选择是关键。硬件平台应能对大规模数据存储和高速计算提供支持，从而满足实时调度要求。对于软件平台，它必须拥有出色的扩展能力和兼容性，这样才能适应各种调度挑战和未来的需求变动。就系统优化而言，必须首先提高计算效率与响应速度，特别是对于大规模，多目标水利调度问题，优化算法计算复杂度会对系统实时性造成影响。系统稳定性与可靠性同样至关重要，尤其是对于突发事件与极端气象条件的处理，要求其有很强的适应能力。为了增强决策支持系统的实用性，我们还需要增强系统与外部数据源之间的交互功能，并通过与气象、交通、环境等其他系统的整合，达到

跨多个领域的数据共享和合作。系统用户界面设计要简洁明了，便于使用，使决策者能迅速了解调度结果，作出合理的决策。

### 3.4 系统应用实例与案例分析

通过应用实例与案例分析，可以验证决策支持系统在实际调度中的有效性和优势。在某水库的调度案例中，系统通过实时获取水位、流量、气象数据以及各类需求数据，利用多目标优化算法进行了优化调度，最终提供了一个平衡各类需求且具有高效水资源利用的调度方案。与传统调度方法相比，该系统不仅提高了调度效率，还有效降低了调度成本，并实现了对环境影响的最小化。系统在应对突发水文事件（如暴雨、干旱）时表现出了较好的灵活性和适应能力，能够在较短时间内重新调整调度方案，确保水资源的合理分配。案例分析表明，决策支持系统能够为水利工程调度提供科学、实时的决策支持，有效提升水利资源的利用效率，并为其他水利工程项目的决策提供借鉴和参考。

## 4 结论

本论文所设计的多目标优化水利工程调度决策支持系统通过整合多维度数据和优化算法有效地促进水资源调度科学高效。对不同多目标优化方法进行了比较，结果表明：利用遗传算法与粒子群算法相结合可以在优化决策上取得更好的结果，并能应对不同目标间的矛盾。系统设计中，以数据采集、模型计算及决策分析为核心的模块化结构使系统能灵活处理各种调度场景，提高了决策实时性和精确度。试验结果证明了所提系统在实际中的优越性，尤其适用于处理复杂水文条件及多重社会需求的情况下，能提供有效的决策支持，显著提高水资源的利用率，有效地减少调度成本。展望未来，随着人工智能和大数据技术的持续进步，决策支持系统的表现有望得到进一步的增强，这将使得水利工程调度的智能化程度得到更为广泛的采纳和拓展。

### 参考文献：

[1] 蒋琳.气候变化背景下流域水资源优化配置与水利工程调度策略研究[J].数码设计(电子版),2023(5):0662-0664.  
 [2] 艾学山,郭佳俊,穆振宇,等.梯级水库群多目标优化调度模型及 CPF-DPSA 算法研究[J].水利学报,2023,54(1):68-78.  
 [3] 宋志红,刘渊,江生金,等.引江济淮工程(河南段)多目标水量优化调度[J].南水北调与水利科技(中英文),2024,22(1):39-47.  
 [4] 黎维业,吴震宇.基于 PSO-BPNN 和多目标优化的混凝土坝参数反演[J].中国农村水利水电,2023(3):229-234.  
 [5] 王祥镔,孙栋元,周敏,等.基于多目标粒子群的景电二期梯级泵站优化调度研究[J].水利规划与设计,2024(11):124-127.