

南水北调泵站群优化调度决策支持系统开发与应用

岳玉民¹ 杜军民¹ 王海峰¹ 雷文平² 李得保³

1.河南省南水北调运行保障中心; 2.郑州大学; 3.郑州恩普特科技股份有限公司

DOI: 10.12238/jpm.v6i8.8288

[摘要] 在南水北调泵站群建设中, 泵站的运行调度能力对于促进水资源合理利用、提高水利工程运行效率具有作用。本文在研究中结合南水北调泵站群的实际情况, 进行了南水北调泵站群优化调度决策支持系统开发。本文基于对优化调度决策支持系统的了解, 在系统设计中指明系统开发思路与功能架构, 主要借助到人工智能技术、Java 技术进行系统功能设计, 以动态规划法为算法支持, 重点设计了数据管理、调度管理、运行统计以及数据管理等功能模块, 为落实科学的优化调度决策支持带来保障。最后, 将本次南水北调泵站群优化调度决策支持系统进行实践应用, 发现优化调度决策支持系统的应用能够显著改善装置效率, 装置效率提高约 7.7%, 系统运行性能稳定, 具有较强的实用性。

[关键词] 南水北调泵站群; 优化调度决策支持系统; 开发应用

Development and Application of Decision Support System for Optimization and Dispatch of South to North Water Diversion Pumping Station Group

Yue Yumin¹ Du Junmin¹ Wang Haifeng¹ Lei Wenping² Li Debao³

1. Henan South-to-North Water Diversion Operation and Support Center;

2. Zhengzhou University; 3. Zhengzhou Enput Technology Co., Ltd

[Abstract] In the construction of the South to North Water Diversion pumping station group, the operational scheduling capability of the pumping stations plays a role in promoting the rational utilization of water resources and improving the operational efficiency of water conservancy projects. This article combines the actual situation of the South to North Water Diversion pump station group in the research and develops an optimization scheduling decision support system for the South to North Water Diversion pump station group. Based on the understanding of the optimization scheduling decision support system, this article points out the system development ideas and functional architecture in the system design, mainly using artificial intelligence technology and Java technology for system functional design, with dynamic programming as algorithm support, focusing on the design of functional modules such as data management, scheduling management, operation statistics, and data management, providing guarantees for the implementation of scientific optimization scheduling decision support. Finally, the optimized scheduling decision support system for the South to North Water Diversion pumping station group was applied in practice, and it was found that the application of the optimized scheduling decision support system can significantly improve the efficiency of the equipment, with an increase of about 7.7% in equipment efficiency, stable system operation performance, and strong practicality.

[Key words] South to North Water Diversion Pump Station Group; Optimize scheduling decision support system; development

一、引言

水利工程是国家社会基础设施建设的重要项目, 在数字化时代背景下, 对于水利工程数字化建设也提出了更高的要求。为了强化数字技术在水利工程建设中的应用, 国家出台了《智

慧水利总体方案》^[1]。在《方案》中明确指出将大数据、人工智能等技术应用到水利工程建设中, 提高水利工程的智能化水平^[2]。因此, 在水利工程建设项目中, 通过应用物联网等数字化技术, 构建泵站群优化调度决策支持系统, 有助于更好地提

升水利智慧管理水平。在中线工程河南配套工程泵站中，担负着承上启下的输水任务，是南水北调工程的重要组成部分，为实现南水北调水资源的合理运输带来了保障。中线工程河南配套工程泵站数量达到了 23 座，管理难度较大，水资源的合理调度不够科学。而优化调度决策支持系统就能够根据泵站群的实际调度能力，根据南水北调工程建设要求，合理安排调度水资源情况，更好地提升水资源的利用效率^[3]。因此，为了更好地提升中线工程河南配套工程泵站群的管理质量，在互联网时代背景下，优化调度决策支持系统也要积极强化对数字化技术的应用，科学构建系统架构，才能够满足泵站优化调度的需求，提高水利工程的管理水平。因此，本文在研究中将结合南水北调工程的实际情况，落实优化调度决策支持系统的开发，设计数据管理、调度管理等系统功能，并且将该系统运用到南水北调工程实践中，检验系统的应用效果，更好地提升泵站群优化调度决策支持系统的建设质量。

二、南水北调泵站群优化调度决策支持系统开发

(一) 系统开发思路

本次南水北调泵站群优化调度决策支持系统的开发目标是实现泵站之间的优化调度，科学落实水资源管理，提升泵站运行效率^[4]。本次系统开发借助到人工智能、AI 技术等工作，通过全面监测南水北调泵站群的机组装置运行情况，制定科学的优化调度决策支持系统，为实现泵站的智能化与精细化管理带来支持。在优化调度决策支持系统设计中，围绕南水北调的重大战略要求，根据泵站群的实际建设数量，开发能够快速实现泵站群优化调度决策支持系统，形成科学的水资源管理体系，为实现南水北调的泵站优化调度工作带来技术保障，更好地提升南水北调泵站群的管理效果。

(二) 系统功能架构

在本次优化调度决策支持系统设计中，为了满足泵站群的优化调度决策支持需求，在设计中借助到 Java 技术、人工智能技术等实现系统的开发与构建，如下图 1 所示为优化调度决策支持系统的功能架构。优化调度决策支持系统主要包括数据管理、模型管理、调度管理以及运行统计等模块，更好地为提高泵站群的管理效率带来技术保障^[5]。该系统以动态规划法为算法支持，结合泵站群的业务需求，以提升水资源利用率为设计目标，科学落实优化调度决策方案设计，更好地提升泵站智能化管理水平。

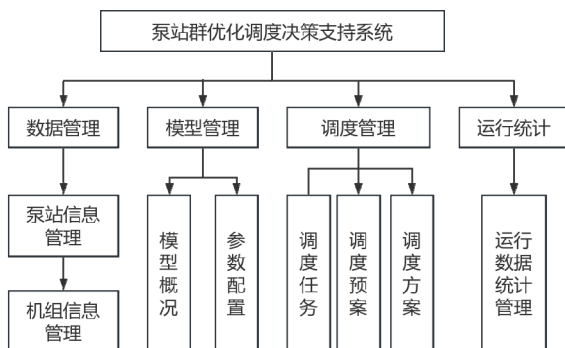


图 1 优化调度决策支持系统架构

1. 数据管理

数据管理模块的功能是实现了对泵站信息数据的优化管理，了解泵站机组的信息数据情况^[6]。比如实时展示泵站的装机情况、监测数据结果等，更好地落实对泵站数据的可视化管理，为实现泵站群的优化调度带来数据支持。在数据管理模块的支持下，重点研究泵站群的河道径流、水库运行调度等相关信息，借助大数据分析技术，识别挖掘数据要素，分析南水北调泵站群的机组特性取向等情况，对泵站机组的安全运行范围数据进行管理。数据管理模块将根据泵站机组的实际情况，具备数据的编辑、删除以及录入等功能，能够对各项数据进行一体化展示，并且具备数据查询的功能，确保管理者能够及时了解南水北调泵站群的基本信息情况，为实现科学的优化调度决策支持带来数据保障。

2. 模型管理

在本次系统功能设计中，借助人工智能技术构建了优化调度决策支持模型，通过对泵站优化调度模型的设计，在系统内介绍模型的算法与相关流程，确保能够为实现南水北调工程的泵站群优化调度带来支持。泵站优化调度模型以机组特性为参考，根据泵站群最大排水流量等相关数据，实现优化调度，达到节能的目标^[7]。在模型算法中，借助动态规划算法的方法建立动态规划模型，实现对泵站装置效率等参数的仿真模拟，更好地提升泵站运行优化调度水平。系统内部根据设计的模型来计算实际的泵站运行情况，也能够技术查询相关的数据信息，更好地实现模型计算的优化调整。在模型管理功能模块中，系统不仅构建了能够支持南水北调优化调度决策的调度模型，综合应用调度集成等技术，同时也建立了快读的优化算法，更好地提升数据计算效率。通过模型管理系统的设计，为泵站群优化调度决策支持带来了算法结果支持，便于实现对泵站群的科学管理。

3. 调度管理

调度管理也是本次系统设计的重要功能模块，在调度管理中结合数据管理与模型管理的相关参数信息，科学落实调度任务、调度预案以及调度方案的工作，更好地确保优化调度决策支持的有效性。其中调度任务模块是根据工程泵站群的实际情况，明确调度决策支持的任务内容，以科学落实泵站群的优化调度^[8]。调度预案模块是根据工程建设的实际情况，将初步制定的调度预案上传到系统当中，为优化调度决策带来参考。系统在完成一次预案工作之后，会根据系统调度指令的执行情况在系统内进行录入，便于实现调度预案的查询。调度方案模块能够实现对调度方案的整合，通过将调度方案的相关信息展示在系统内部，并且在系统上实现方案创建、算法结果输出等功能，完成不同调度方案的效果对比，为科学选择调度方案带来科学支持。系统将根据泵站群机组条件的具体情况，科学落实调度方案的优化选择，确保能够提升优化调度决策的科学性。

4. 运行统计

运行统计模块旨在实现对泵站群运行情况的统计分析，重点记录泵站的开关系过程、各项性能指标以及整体的运行情况等，是实现优化调度决策支持的重要保障。在运行统计系统模

块中，能够观察到泵站的抽排水量、装置平均效率、功率能耗等相关的指标参数，并且通过可视化图形的形式进行展现，更好地提升泵站群的精细化管理水平。

三、南水北调泵站群优化调度决策支持系统应用

(一) 工程概况

南水北调中线工程从丹江口水库引水，总干渠全长 1432 公里，其中河南段 731 公里，占比 51%；干线工程共设置分水口门 97 座，其中河南段 42 座，占比 43%；一期工程多年平均调水量 95 亿 m³，其中河南 37.69 亿 m³，占比 40%。南水北调总计 23 座泵站，形成南水北调东线泵站群，为南水北调的水资源管理带来支持。在南水北调工程中，由于泵站数量较多，管理难度较大，也无法实现水资源的合理优化配置。因此，需要借助信息化技术的支持，建设科学的优化调度决策支持系统，进而更好地促进泵站群的科学管理。

(二) 系统功能实现

在南水北调的泵站群管理中，借助本文设计的优化调度决策支持系统来实现科学管理。根据南水北调的管理要求，将系统接入到泵站群中，实现对泵站相关数据信息的实时监测，获取泵站水位、降雨量、机组性能等数据，为实现优化调度带来支持。系统将根据南水北调泵站群的水位条件等情况，借助优化算法来计算机组的装置效率等，生成科学的调度方案，更好地为实现水资源的优化调度带来支持^[9]。

1. 数据管理模块的实现

在数据管理模块中，系统能够通过曲线图、统计图等形式，将水位监测数据、降雨量数据以及泵站机组数据等信息得到展示，更好地为模型管理的优化算法带来数据支持，确保能够计算得到最优的调度决策方案。该系统的数据采集功能，在应用中准确获取了泵站机组功率、性能取向等相关参数，借助运行数据来计算获取最优调度方案信息。如下图 2 所示为南水北调某泵站的系统数据信息展示情况，对水位、运行机组台数、降雨等信息进行了展示，为实现优化调度算法结果计算带来数据支持。

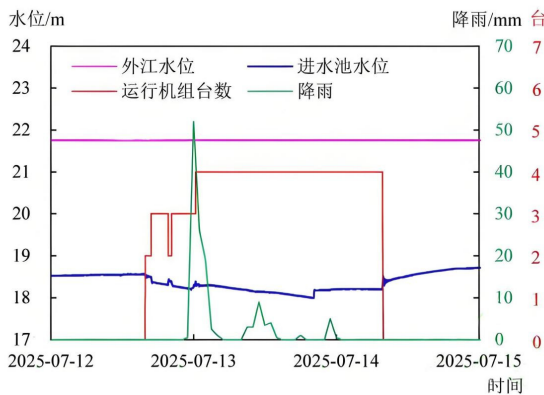


图 2 数据管理实现图

2. 模型管理模块的实现

在模型管理模块中，系统借助动态规划算法实现对调度信息数据的计算。优化调度决策支持系统能够实现针对不同调度场景的仿真模拟，采用算法构建调度模型，输送出最优的优化调

度方案，如下图 3 所示为模型管理实现的流程图^[10]。在模型管理中运用到粒子群算法等技术，科学评估不同调度方案的执行效果，进而生成最优调度方案，实现了对南水北调泵站群的优化管理，更好地提升了优化调度决策支持的智能化水平。

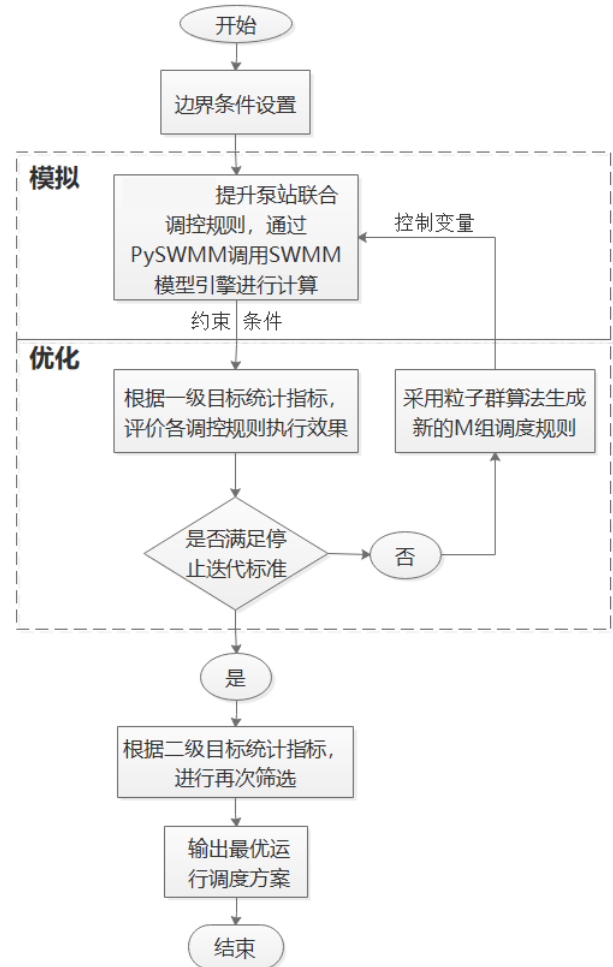


图 3 模型管理实现流程图

3. 调度管理模块的实现

调度管理模块根据模型管理生成的最优调度方案执行调度方案，并且详细记录调度方案执行的数据结果。如下图 4 所示为系统显示的调度优化方案实现情况，系统能够将不同机组的最优工作点参数进行展示，为制定优化调度方案带来详细的参考，更好地提升系统的执行落实效果。

4. 运行统计模块的实现

通过将本次设计的优化决策系统应用到南水北调泵站群管理中，发现运行统计模块能够对泵站群的相关指标参数进行展示，以提高泵站群优化调度决策的效能。如上图 4 所示，系统根据对不同机组优化调度情况的计算，实现对泵站群机组运行情况的统计，及时了解机组的运行参数信息，为科学落实泵站群的优化调度带来支持。

(三) 应用效果分析

本次系统通过对泵站群运行信息数据的实时监测，了解实时流量以及机组运行装置效率等情况，借助优化调度模型制定调度方案，通过在南水北调工程的实践应用，全面提升了机组

的装置效率。从实践应用情况来看，系统的实践应用能够实现泵站群机组运行参数的合理优化与调整，显著提升机组的装置效率，同时也达到了节能的目标，降低了泵站群机组运行的能耗。在提升机组装置效率方面，优化调度决策支持系统发挥着十分重要的作用，结合本次系统实践应用的结果分析得到，从图4的系统优化调度决策方案的运行结果来看，相对于以最高效率的 -6° 叶片角度运行，4台机组总增加流量约

$19.7\text{m}^3/\text{s}$ ；相对于以最大流量的 4° 叶片角度运行，装置效率提高约7.7%。除此之外，该系统能够根据南水北调工程实际需求，结合人工智能管理系统，落实对泵站群的远程管理，开展数据分析、数据挖掘、数据驱动决策等作业，更好地实现对南水北调泵站群的精细化管理。总的来看，本文设计的优化调度决策支持系统应用效果显著，能够为促进南水北调泵站群的优化管理、提高泵站群智能化管理水平带来科学支持。

调度管理/调度方案/方案详情			
○ 方案结果		● 方案详情	
1号机组最优工作点参数		2号机组最优工作点参数	
变频转速	200 rpm	变频转速	200 rpm
叶片角度	0.0 °	叶片角度	0.1 °
流量	19.120 m^3/s	流量	19.150 m^3/s
扬程	5.948 m	扬程	5.945 m
轴功率	1338.4 kW	轴功率	1340.7 kW
水泵效率	83.36 %	水泵效率	83.30 %
装置效率	44.329 %	装置效率	44.29 %
3号机组最优工作点参数		4号机组最优工作点参数	
变频转速	200 rpm	变频转速	200 rpm
叶片角度	0.1 °	叶片角度	0.0 °
流量	19.18 m^3/s	流量	19.128 m^3/s
扬程	5.941 m	扬程	5.947 m
轴功率	1343.6 kW	轴功率	1339.0 kW
水泵效率	83.2 %	水泵效率	83.34 %
装置效率	44.28 %	装置效率	44.321 %

图4 调度管理模块实现图

四、结论

综上所述，为了更好地满足南水北调泵站群的数字化管理需求，提高传统优化调度决策的效率，本文在研究中结合动态规划模型、优化算法等技术，设计了优化调度决策支持系统，涵盖了数据管理、模型管理、调度管理、运行统计等功能模块，旨在为南水北调的泵站群运行管理带来技术支持，提高水利工程的管理效率。通过本次实践应用发现，系统的各项功能能够得到及时实现，并且通过优化调度决策支持系统的运用，更好地实现对南水北调泵站群的科学管理，提高泵站群优化调度的决策管理水平，为南水北调水利工程项目带来更大化的综合效益。

[参考文献]

- [1]傅明亮.基于遗传变邻域搜索算法的平原圩区排涝泵站调度优化研究[J].水利技术监督, 2025, (08): 233-236.
- [2]黄济琛, 杨怡青, 马群, 等.宁波市沿江排涝泵站优化调度研究[J].水利技术监督, 2025, (06): 83-85+99.
- [3]李家叶, 贾昆, 李铁键, 等.多尺度多模型的梯级水库优化调度决策支持系统[J].应用基础与工程科学学报, 2018, 26(06): 1164-1176.
- [4]赵广川, 孙博, 曹倩.长距离调水工程梯级泵站优化调度研究[J].水利水电技术(中英文), 2024, 55(S2): 82-93.

[5]周龙才.基于Java的排涝泵站站内优化调度软件开发[J].灌溉排水学报, 2024, 43(08): 98-102+112.

[6]李德龙, 许小华, 温天福, 等.大型水库发电运行优化调度决策支持系统研究[J].中国农村水利水电, 2021, (12): 162-166+170.

[7]张海荣, 鲍正风, 汤正阳, 等.流域梯级水资源管理决策支持系统关键技术研究——以金沙江下游—三峡梯级水电站为例[J].中国水利, 2020, (11): 47-50.

[8]徐杨, 汪永怡, 杜康华, 等.金沙江下游—三峡梯级水库群联合优化调度决策支持系统研究[J].长江技术经济, 2020, 4(01): 29-34.

[9]俞登洋, 马大卫, 凌默依, 等.新一代节能发电调度技术支持系统建设与应用[J].电工技术, 2019, (24): 137-140+167.

[10]代金汕, 葛恒军, 阙永康, 等.泵站单机组优化调度组合改进粒子群算法[J].南水北调与水利科技(中英文), 2024, 22(5): 978-986+1040.

作者简介: 岳玉民, 1968年, 男, 正高级工程师, 河南省南水北调运行保障中心, 研究方向: 主要从事水利工程建设与运行管理工作。