

# 调水工程泵站运行调度及现代化管理分析

段亚旭

河南省引江济淮工程有限公司 河南 郑州 450000

**摘要:** 随着水资源时空分布不均问题日益凸显,调水工程在保障供水安全、优化水资源配置中作用关键。本文围绕调水工程泵站展开,深入分析其运行调度要点,包括水量精准分配、机组合理启停等。同时,针对传统管理方式存在的效率低、信息化程度不足等问题,探讨现代化管理路径,借助物联网、大数据等技术,实现设备智能运维、调度决策优化及管理信息化,提升泵站运行效能与可靠性。

**关键词:** 调水工程;泵站运行调度;现代化管理

引言:水资源分布不均是全球面临的普遍问题,严重影响着各地区的生态平衡与经济发展。调水工程成为破解水资源困局的重要手段,而泵站作为调水工程的“心脏”,其运行调度直接关乎调水成效。科学合理的调度能确保水资源高效输送,满足用水需求。但在实际中,传统泵站管理存在调度粗放、信息化程度低等问题。因此,深入研究调水工程泵站运行调度及现代化管理,对提升调水工程效益、实现水资源可持续利用意义重大。

## 1 调水工程泵站运行调度基础理论

### 1.1 泵站运行调度的基本概念

(1) 定义:指在调水工程中,依据工程目标、水资源状况及用户需求,对泵站机组运行状态、水流输送路径等进行科学规划与动态调整,确保水资源高效、稳定输送的管理过程。(2) 分类:按功能可分为供水调度、防洪调度、生态补水调度等;按规模可分为大型泵站调度(服务跨区域调水)、中型泵站调度(服务市域调水)、小型泵站调度(服务县域及以下调水);按技术类型可分为手动调度、半自动调度、全自动智能调度。

### 1.2 泵站运行调度的核心要素

(1) 水量需求预测:通过分析历史用水数据、气象水文条件、经济社会发展趋势等,预判不同时段、不同区域的水资源需求量,为调度提供基础依据。(2) 机组组合优化:结合机组性能参数、运行成本,合理选择开机台数与机组型号,在满足水量需求的同时,实现运行效率最大化。(3) 能耗控制:通过优化运行参数(如转速、扬程)、减少机组启停次数等方式,降低泵站运行能耗,契合低碳发展要求。(4) 应急调度:针对突发水污染、机组故障、极端天气等情况,制定应急预案,快速调整调度方案,保障供水安全<sup>[1]</sup>。

### 1.3 传统调度方法的局限性

(1) 经验依赖性强:调度方案制定多依赖工作人员

过往经验,缺乏对实时数据与复杂工况的精准分析,当用水需求或外部环境发生突发变化时,易出现决策偏差。(2) 响应滞后:传统调度多采用定期巡检、人工上报数据的方式,数据收集与方案调整周期长,难以快速响应水量波动或设备异常情况,可能导致供水短缺或能源浪费。(3) 资源利用率低:未充分结合泵站设备实际性能与实时用水需求优化运行,易出现机组低效运行、水资源输送过量或不足等问题,造成设备资源与水资源的双重浪费。

## 2 调水工程泵站运行调度优化策略

### 2.1 基于数学模型的优化调度方法

(1) 动态规划与线性规划在泵站调度中的应用:动态规划可将泵站调度的长期优化问题拆解为多阶段决策问题,通过逐阶段计算最优解实现整体调度目标。例如在跨区域调水工程中,可依据不同时段的水量需求、机组能耗特性,将调度周期划分为日、周、月等阶段,动态规划能精准计算各阶段最优开机组合与水流分配方案,避免单一时段决策对整体效率的影响。线性规划则适用于约束条件明确的调度场景,如在确定泵站最大供水能力、固定能耗成本等约束下,通过建立线性目标函数(如最小化能耗、最大化供水量),快速求解最优调度参数,为短期调度方案制定提供科学依据<sup>[2]</sup>。(2) 多目标优化模型(水量、能耗、成本协同优化):该模型突破单一目标调度的局限性,将水量保障、能耗控制、成本节约纳入统一优化框架。通过设定各目标的权重系数(可根据工程优先级动态调整),构建多目标函数。例如在城市供水调水工程中,既要满足居民日常用水需求(水量目标),又要降低泵站运行电费(能耗目标)与设备维护费用(成本目标),多目标优化模型可通过算法迭代,找到三者平衡的最优调度方案,如在用水低谷期调整机组转速降低能耗,同时储备水量满足高峰期需求。

## 2.2 智能调度技术

(1) 大数据分析机器学习在需求预测中的应用: 大数据分析可整合历史用水数据、气象数据(降雨量、气温)、经济社会数据(人口增长、产业布局)等多源信息,挖掘用水规律与影响因素的关联关系。机器学习算法(如神经网络、随机森林)则能基于这些数据构建预测模型,实现对未来时段水量需求的精准预测。例如在农业灌溉调水工程中,模型可结合历史灌溉用水数据与未来气象预报,预测不同作物生长期的需水量,避免因预测偏差导致的水资源浪费或供水不足。(2) 人工智能算法(如遗传算法、粒子群优化)在机组组合中的应用: 遗传算法模拟生物进化过程,通过选择、交叉、变异操作,在众多机组组合方案中筛选最优解,尤其适用于多约束、非线性的机组组合问题。粒子群优化算法则模拟群体行为,通过个体间的信息共享与协作,快速收敛到最优机组运行参数。例如在大型泵站集群调度中,这两种算法可综合考虑机组性能差异、运行成本、供水需求等因素,确定最优开机台数、机组型号及运行时段,提升泵站整体运行效率。

## 2.3 实时调度与动态调整机制

(1) 基于物联网的实时监测与反馈控制: 物联网技术通过在泵站机组、输水管道、用水节点布设传感器,实时采集机组运行参数(转速、电流、扬程)、管道流量压力、用水端水量等数据,并传输至调度中心。调度系统对实时数据进行分析,若发现实际运行状态与计划偏差(如管道流量低于需求、机组能耗异常),可自动生成调整指令,反馈至泵站控制系统,实现机组运行参数的实时优化与水流输送的动态调节。例如当用水端水量突然增加时,系统可实时监测到管道流量下降,迅速指令增加机组开机台数或提高转速,保障供水稳定。(2) 突发事件的应急调度预案: 针对突发水污染、机组故障、极端天气(暴雨、干旱)等情况,需制定分级应急调度预案。明确不同突发事件的预警等级、响应流程、责任主体及资源调配方案。例如发生输水管道破裂时,预案需快速启动备用输水线路,同时调整泵站机组运行,减少受损管道的输水量,防止水资源大量流失;发生水污染时,需立即切断污染源,切换至备用水源,并调度泵站加速水体置换,降低污染影响。此外,还需定期开展应急演练,检验预案可行性,确保突发事件发生时能快速、有序响应,保障调水工程供水安全<sup>[3]</sup>。

## 3 调水工程泵站现代化管理体系构建

### 3.1 信息化管理平台建设

(1) 泵站监控系统(SCADA)的集成与升级: 传统

SCADA系统多局限于单点数据采集,升级后的系统需实现多维度数据集成,整合机组运行参数、输水管道压力流量、水质指标等数据,通过统一可视化界面呈现。同时接入气象预警、用水需求等外部数据,支持调度人员实时掌握工程整体状态。例如在跨流域调水工程中,集成后的SCADA系统可实现不同泵站间数据共享,当某一泵站出现负荷过载时,系统自动推送预警并关联周边泵站调度方案,提升协同调度效率。(2) 数字孪生技术在泵站运维中的应用: 通过构建与实体泵站1:1的数字模型,融合实时监测数据与历史运维记录,模拟泵站在不同工况下的运行状态。例如在机组检修前,可通过数字孪生系统模拟不同检修方案对泵站供水能力的影响,优化检修时间与流程;日常运维中,能实时对比数字模型与实体泵站运行差异,提前识别潜在故障风险,减少非计划停机时间<sup>[4]</sup>。

### 3.2 智能化运维技术

(1) 预测性维护(PHM)与故障诊断系统: 基于传感器采集的机组振动、温度、电流等数据,结合机器学习算法构建PHM模型,分析设备劣化趋势,实现故障提前预测。故障诊断系统则通过建立故障数据库,当设备出现异常时,快速匹配故障类型并推送维修方案。例如针对泵站水泵轴承,系统可通过振动频率变化预测磨损程度,提前安排更换,避免轴承卡死导致的机组损坏。(2) 无人机巡检与机器人作业: 无人机可对泵站大范围输水管网、堤坝等露天设施进行巡检,搭载红外热成像仪检测管道泄漏、堤坝裂缝等问题,相比人工巡检效率提升3-5倍。水下机器人则用于泵站进水池、叶轮等水下部件的检查,无需排空水体即可完成作业,减少对供水的影响。例如在大型泵站进水池清淤前,水下机器人可精准定位淤泥堆积区域,指导清淤设备高效作业。

### 3.3 标准化与规范化管理

(1) 泵站运行规程与安全标准: 需制定涵盖机组启停、日常巡检、应急处置等全流程的运行规程,明确操作步骤、参数阈值与安全要求。例如机组启动前需检查的电压、油压等参数标准,故障停机后的应急响应流程等。同时建立安全管理标准,规范设备防护、人员操作防护等要求,如高压设备区域的安全距离划定、作业人员持证上岗标准等。(2) 人员培训与考核机制: 构建“理论+实操+应急”三位一体培训体系,理论培训涵盖泵站原理、信息化系统操作等内容,实操培训依托模拟设备开展机组调度、故障处理演练,应急培训聚焦突发事件处置流程。考核采用定期笔试与实操考核相结合的方式,将考核结果与岗位晋升、绩效挂钩,确保运维人员具备专

业能力。

### 3.4 绿色低碳管理

(1) 节能技术改造(如变频调速、余热回收):对泵站电机采用变频调速技术,根据实际水量需求动态调整转速,相比定速运行可降低能耗15%~30%。同时利用机组运行产生的余热,通过余热回收装置加热泵站生活用水或供暖,减少外购能源消耗。例如在北方地区泵站,冬季可通过余热回收满足站内供暖需求,降低燃煤或燃气消耗<sup>[5]</sup>。(2) 碳排放监测与减排策略:安装碳排放监测设备,实时采集泵站能源消耗、燃料使用等数据,计算碳排放总量。制定分阶段减排目标,除技术改造外,还可通过优化调度方案减少高能耗时段运行、采用新能源(如光伏发电)替代传统能源等方式,实现碳减排。例如在用电低谷期增加泵站运行储备水量,高峰期限缩高能耗机组运行,降低电网火电消耗带来的间接碳排放。

## 4 调水工程泵站运行调度的挑战与对策

### 4.1 当前面临的主要挑战

(1) 技术瓶颈:在调水工程中,泵站数据来源涵盖物联网传感器、SCADA系统、气象平台等,不同数据格式、采集频率差异大,多源数据融合时易出现数据冲突、冗余问题,导致调度系统难以快速提取有效信息。同时,复杂工况(如极端暴雨导致的水量突增、冬季低温引发的设备故障)对调度技术提出更高要求,现有模型多基于常规工况构建,面对突发、复杂场景时,易出现预测偏差或调度方案失效,影响工程稳定性。(2) 管理体制障碍:调水工程常跨区域、跨部门管理,涉及水利、市政、环保等多个部门,各部门数据共享机制不完善,易形成“信息孤岛”,导致调度决策缺乏全局视角。此外,部分工程存在权责划分模糊问题,如泵站运维与调度分属不同主体,出现问题时易推诿扯皮,延误故障处理与调度调整时机,降低管理效率。

### 4.2 未来发展方向

(1) 智慧泵站技术融合:5G技术可实现泵站海量数据的高速、低延迟传输,为实时调度提供网络支撑;AI技术能深化数据挖掘,提升需求预测精度与机组优化效

率,如通过深度学习识别设备异常运行模式;区块链技术则可保障数据安全与共享可信,实现跨部门数据溯源与权责清晰划分,构建更智能、安全的泵站运行体系。(2) 区域泵站群协同调度与资源共享:打破单个泵站独立调度的局限,建立区域泵站群协同调度平台,整合各泵站水资源、设备资源信息,根据区域整体用水需求与泵站运行状态,动态分配供水任务与资源。例如,当某区域用水需求激增时,可调度周边闲置泵站增加供水量,实现资源高效利用,提升区域供水保障能力。(3) 政策支持与标准化体系建设:需出台专项政策,明确跨部门协同管理机制与数据共享要求,为工程推进提供制度保障。同时,完善智慧泵站技术标准、调度规范与安全准则,统一数据接口、设备选型与运维流程,避免技术碎片化与管理不规范问题,推动调水工程泵站管理标准化、规模化发展。

## 结束语

调水工程泵站运行调度及现代化管理研究意义深远且重大。通过对泵站运行调度策略的优化,以及现代化管理手段的引入,我们有效提升了泵站运行效率与稳定性,保障了调水工程的安全与高效运行。然而,水资源管理形势不断变化,未来仍需持续创新,融合更多先进技术,如人工智能、数字孪生等,进一步完善泵站运行调度体系与现代化管理模式,以更好地应对挑战,实现水资源的科学、合理、可持续调配与利用。

## 参考文献

- [1]李肃华.中小型水利工程泵站运行调度及现代化管理分析[J].市政工程,2022,(03):42-43.
- [2]龚克宇.大中型水利工程泵站运行调度及现代化管理分析[J].2022,(06):70-71.
- [3]桂卫萍.中小型水利工程泵站运行调度及现代化管理分析[J].文化科学,2022,(07):55-57.
- [4]蒲伟,解方.中小型水利工程泵站运行调度及现代化管理分析[J].建筑技术科学,2025,(04):90-91.
- [5]乙安鹏.调水工程泵站运行管理探讨[J].工程地质学,2023,(09):104-105.