

供排水企业运行及管理成果专栏

刘小东,高旭辉,肖帆,等.智慧厂站集中运营模式的探索与实践[J].净水技术,2024,43(10):185-195.

LIU X D, GAO X H, XIAO F, et al. Exploration and practice of centralized operation management mode for the smart WTP [J]. Water Purification Technology, 2024, 43(10): 185-195.

智慧厂站集中运营模式的探索与实践

刘小东*,高旭辉,肖帆,王文会,李宝伟

(深圳市深水光明水务有限公司,广东深圳 518107)

摘要 近年来智慧水厂建设如火如荼。智慧水厂建成后,如何进一步实现多个智慧水厂协同化高效运营,充分发挥各个系统的价值,进一步实现人力集中化、资源节约化、管理模块化,是水司面临新的运营痛点。以某水务公司为例,重点介绍所属智慧水厂及附属市政加压泵站“集中生产调度、集中维护维修、集中支持”的集中运营管理模式探索与实践,通过软硬件升级、新技术应用、调整组织架构、梳理岗位职责、优化关键管理流程、优化绩效考核、严控安全质量等路径,实现安全、优质、高效、节约供水,为水务公司一体化管理、实现人力物力资源共享,提升运营管理水平提供参考。

关键词 智慧水厂 协同化 高效运营 集中运营管理 一体化管理

中图分类号: TU991 **文献标识码:** B **文章编号:** 1009-0177(2024)10-0185-11

DOI: 10.15890/j.cnki.jsjs.2024.10.023

Exploration and Practice of Centralized Operation Management Mode for the Smart WTP

LIU Xiaodong*, GAO Xuhui, XIAO Fan, WANG Wenhui, LI Baowei

(ShenShui Guangming Water Group Co., Ltd., Shenzhen 518107, China)

Abstract In recent years, construction of smart water treatment plants (WTPs) is in full swing. After the completion of the WTP, how to further realize the collaborative and efficient operation of multiple WTPs, give full play to the value of each system, and further realize the centralization of human resources, resource conservation and modular management is a new operational pain point faced by the water department. Take the example of exploration and practice of one water company, focus on the WTPs and affiliated pumping station “centralized production scheduling, centralized maintenance, centralized support” mode which is called centralized operation management mode, through hardware and software upgrades, applying new technology, adjusting the organization structure comb responsibilities, transformation of working mode, optimization of performance appraisal, strictly controlling safety and quality to achieve safe, high-quality, efficient and economical water supply. This may help to provide reference for water companies to realize integrating management, human and material resources sharing, improving the level of operation management.

Keywords smart water treatment plant (WTP) collaboration efficient operation centralized operation management integrated management

近年来国家出台一系列相关政策、标准大力推动智慧城市建设。智慧水务则是落实智慧城市的重要载体,智慧水厂是智慧水务的基本组成部分^[1],是智慧城市在水务领域深化的分支,是建设生态社会、

实现环境可持续发展的重要组成部分。智慧水厂建设服务于城市民生保障,以先进信息技术为手段、创新管理模式为目标,提升供水服务的绩效表现和决策水平,为城市建设发展提供支撑。《国家新型城镇化规划(2014—2020年)》《关于促进我国智慧城市健康发展的指导意见》提出,大幅提升水务智能化水平,运行管理实现精准化、协同化和一体化,保障城市供水安全^[2]。

[收稿日期] 2023-10-26

[通信作者] 刘小东(1974—),男,研究方向为工艺技术管理、智慧水厂建设与运营管理等,E-mail:20028309@qq.com。

近年来,物联网、云计算、大数据等新技术发展迅猛,正引领各行业变革,传统水厂工艺管理粗放、生产单耗高、设备运维成本、人力资源成本高等问题,进一步推动了传统水厂向智慧水厂升级改造、新建智慧水厂等项目如火如荼,智慧水厂数量保持高速增长态势^[3-9]。单个智慧水厂通过建成自动化生产体系、设备资产管理体系、安全管控体系、集中运营管控体系、智慧应用体系,实现生产全流程自动化,设备运维数字化,资产设备全生命周期化,安全管控一体化以及运营决策智慧化,进一步实现水厂少人值守,安全、优质、高效、节约运行。

然而,各水司建成多座智慧水厂,利用信息化、智慧化工具提升水厂供水保障能力及管理水平,实现少人值守后,水司将面临新的运营痛点,例如智慧厂站系统繁多、数据孤岛现象仍然存在、水厂各自独立管理导致水司整体运营效率不高、安全风险难控等。如何进一步实现多个智慧水厂协同化高效运营,充分发挥各个系统价值,进一步实现人力集中化、资源节约化、管理模块化,对水司而言,是新的挑战。以某水务公司为例,重点介绍所属智慧水厂及附属市政加压泵站“集中生产调度、集中维护维修、集中支持”的“三集中”运营模式的实践路径与运营成效,通过实践探索一种可复制可推广的运营模式,为水务公司一体化管理、实现人力、物力资源共享,提升运营管理水平提供参考。

1 概述

某水务公司智慧水厂建设项目是某市水务企业中率先启动并落地的智慧水厂建设标杆项目,也是落实公司由传统供水企业向互联网+企业转型的一项重点工作。项目分A水厂、B水厂两个建设包,于2019年3月同步建设,2019年12月试运行,2020年8月竣工验收,主要包括传统水厂自控系统升级改造、全厂数字安防联动、数字化运营管控平台、资产管理优化整合以及生产工艺智能算法等内容,成为该市首座成功数字化改造的智慧化水厂。C水厂则基于实际情况结合远期规划,于2018年完成自控系统升级改造,实现水厂生产流程自动化控制,包括药剂投加、稀释方式,排泥、反冲洗方式、恒压供水改造等。2020年—2022年,通过对A、B、C 3座水厂及F、G附属市政加压泵站建立远程网络专线、厂站数据采集与监视控制(SCADA)系统融合以及一体化

管控平台升级等软硬件升级改造,达到集中运营的基础条件。

2 集中运营模式的概念

单个智慧水厂智慧运营阶段:2019年12月上线A、B 2座智慧水厂,通过系统提前感知和预警,实现智慧推送、远程监控以及远程操作,系统代替人工操作、巡检,降低人员工作强度,避免人员误操作,降低极端天气人员的安全风险,提高工作效率,在原水厂人员架构基础上进一步精简现场的运维和管理人员,减少人工干预,基本或完全实现少人值守,运维人员一般8人可以满足生产要求。

多个智慧厂站集中运营阶段:2020年8月通过对各厂站人员与资源整合与再分配、组织架构调整、岗位职责梳理以及运营模式转变,形成“集中生产调度、集中维护维修、集中支持”的“三集中”运营模式,实现安全、优质、高效供水,提升设备保障水平,实现人力、物力资源共享,进一步提升运营管理水平。

水厂从常规运营模式到单厂智慧运营模式再到多厂集中运营模式对比如表1所示。

2.1 集中生产调度模式

采用“调度中心集中控制+厂站现场运维”的模式,实现集中生产调度。以B水厂中心控制室为调度中心,集中管控辖区内A、B、C水厂,F、G市政加压泵站的生产设备,实施远程控制,运用智慧水厂管控平台,通过数据采集与分析、报警管理分析与推送,实时监视各厂站水质、水量、水压以及管网最不利点压力,合理调整区域供水压力,实现水厂、泵站远程调度,保障区域供水压力平稳、水质优良。各厂站集中生产调度示例如图1所示。

A、B、C厂为混合供水模式,F、G泵站为独立供水模式,在集中生产调度模式下,以用户用水保障为基础,以能耗优化为目标,根据多厂站布局与地势标高,采取分时段恒压供水模式,适当提高高地势水厂的出水压力的策略,可以在有效降低总体电耗的同时使管网压力更加均衡,避免局部压力过高或过低,提高供水质量和服务水平。通过对厂站生产过程进行集中监控和综合调度,确保生产稳定运行,可实现生产过程协同和优化,减少资源浪费,实现各系统之间信息共享,提高生产管理透明度和决策效率。

表 1 智慧水厂各阶段运营模式对比

Tab. 1 Comparisons of Operation Modes at Each Stage of Smart WTPs

对比项	传统水厂常规运营	单个智慧水厂智慧运营	多个智慧厂站集中运营
定义	传统水厂运营	在对传统水厂进行智慧化升级改造后,单个智慧水厂系统正式投入运行后的阶段称为智慧运营阶段	智慧水厂及附属泵站“集中生产调度、集中维护维修、集中支持”的“三集中”运营模式
组织架构	每个水厂均实行厂长制,设有生产部、设备部、办公室、财务部等部室。	每个水厂均实行厂长制,设有生产部、设备部、办公室、财务部等部室。	多个厂站一套组织架构,实行经理制,设有生产部、设备部、办公室、财务部等部室
管理模式	垂直化管理	基于系统平台的业务管理	①基于系统平台的业务管理; ②多厂站协同化高效管理; ③人力集中化、资源节约化、管理模块化
管辖范围	单个水厂	单个水厂	多个厂站
人员数量	30~40	28	50~60
决策	从下向上逐级汇报并由厂内领导层决策	①通过建立关键指标评估机制,多方面对运行管理状况进行综合性评估; ②以多维度统计图表的方式展现评估结果,识别水厂运行管理薄弱环节,为运行管理优化提供丰富的数据展示和决策支持; ③管理者的决策更加综合、合理、可行	①多系统融合,全面掌握各厂站综合运行情况; ②外延至管网压力点实时监测,提高调度精准性; ③外延至二供泵站运行状态监测,实现从原水端到用户端的业务链条全覆盖和精细化闭环管理; ④管理者的决策更加综合、合理、可行
数据分析	工艺人员收集相关的水量、药量、电量数据通过 EXCEL、制作 PPT 等方式分析、汇报能耗等业务数据,工作量较大,数据出错概率较高	平台自动读取数据,对业务管理数据进行统计计算与评估分析,以多维度统计图表的方式展现分析结果,识别水厂运行管理薄弱环节	①精准掌握多厂站数据,系统统一汇总自动生成,做到不同厂站横向对比,明确优势和薄弱环节; ②从原水端到用户端的全业务链条,对业务数据深度挖掘和分析,不仅仅停留于数据的展示,根据深度分析结果指导精细化管理工作,实现物在线,数据在线; ③提炼所有岗位核心关键绩效指标(KPI),量化所有岗位的核心价值,实现人在线,数据在线
应急响应	①电话层层汇报后采取处理措施,存在滞后性; ②应急队伍局限于单个水厂应急人员,资源调配强度有限	①智慧水厂运管平台分级报警分级响应并推送,自动触发应急预案流程	①应急队伍资源集中调配,按照距离逐层设置响应圈,响应更加高效
一线人员工作方式	①人工现场巡检; ②人工操作(原水调节、加药、排泥、反冲洗、送水泵机组搭配等); ③中控室实时监控; ④生产数据人工记录和填报	①系统视频巡检; ②系统智能操作(原水调节、加药、排泥、反冲洗、送水泵机组搭配等); ③口袋中的中控室; ④生产数据系统自动生成	①集中生产调度,厂站系统视频巡检+现场驻点运维工巡查; ②调度中心远程通过系统智能操作; ③调度中心远程实时监控+口袋中控室; ④多厂站数据统一汇总自动生成,可横向对比

2.2 集中维护维修模式

全部维修力量集中管理,统一维护维修标准,利用信息化平台,实现设备维护维修数据实时采集和分析。通过标准化操作流程,确保维护维修过程高效和规范。引入设备预防性维护,提前维修,减少设备故障率,提高设备使用效率。合理利用维修资源,提高维护维修效率,降低维护成本。各厂站集中维护维修示例如图 2 所示。

2.3 集中支持模式

基于组织构架调整、人员精简、资源整合后,由办公室统一对各厂站安全管理、行政办公、后勤保障

等方面工作实施统筹集中支持,统一各项工作标准,提升管理质量。各厂站集中支持示例如图 3 所示。

3 集中运营模式的实践路径

3.1 软硬件升级

(1)SCADA 融合与网络专线建立:对各水厂、泵站 SCADA 系统进行升级改造,通过智能终端采集工艺、设备等相关实时数据,统一制作画面,实现水厂生产全流程远程控制;建立各厂站与调度中心机房独立网络专线,保障各厂站独立安全的自控网络,由调度中心 SCADA 服务器对所有厂站进行数据监控及远程操控,实现厂站全过程场景呈现,全要素数



图1 各厂站集中生产调度示例

Fig. 1 Example of Centralized Production Scheduling



图2 各厂站集中维护维修示例

Fig. 2 Example of Centralized Maintenance

据接入及应用,达到集中管理和远程监控的目标。

(2)智慧厂站一体化管控平台优化整合:结合各水厂、泵站软硬件实际情况,整合A、B厂级智慧运营管控平台,同步接入C水厂及F、G市政加压泵站测点数据、生产、设备运行等各项数据,优化设计

形成智慧厂站一体化管控平台,直观展示各厂站生产运行情况、分析指导生产运行调度、及时准确生成统计分析报表,全面提升生产管理效率和运营管理水平,实现一个中心平台管控多个水厂泵站生产运营的需求,实现“一屏多管”。

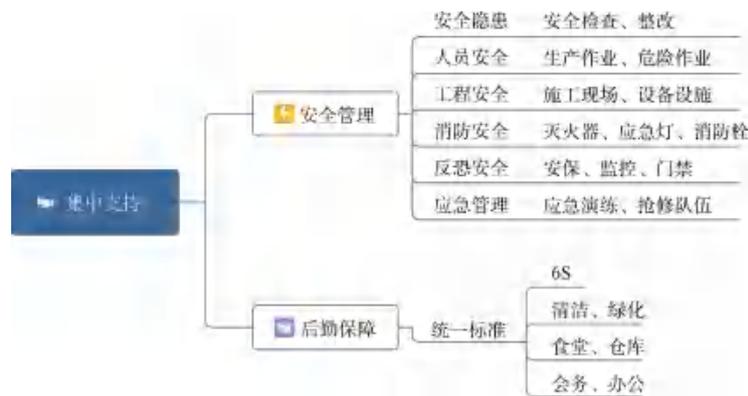


图3 各厂站集中支持示例

Fig. 3 Example of Centralized Support

(3)设备资产管理体系优化整合:整合各厂站设备维修与养护管理业务,统一调度维修作业力量;基于各厂站设备资产台账,将设备资产台账、巡检维修保养工单流程、库存管理、资产数据分析打通,实现数据实时记录相互关联,促使设备资产管理精细化;统一各厂站设备资产编码规则,对设备资产分类型、分区域精准定位,准确记录设备资产属性,对设备资产全生命周期的新增、调拨、封存、维护保养、技术改造、报废过程实现全过程智能化动态实时跟踪。通过对各厂站设备资产管理优化整合,融入资产设备全生命周期管理,进一步提升设备保障水平,实现人力、物力资源共享,使运行更可靠、高效。

3.2 新技术应用

(1)矾花识别算法应用:通过图像采集装置采集水下矾花实时图像后传输到矾花识别装置,对图像进行去噪、增强和 ROI 区域提取等步骤预处理后,通过卷积神经网络进行多次、多尺度、多特征提取矾花特征,经过模糊神经网络的模糊层和规则层获得矾花值,并通过通信装置传送到监控预警装置,实时监测并自动分析矾花值,根据矾花值对混凝剂加投量是否合适,进行判断并给出调整方向指导,对超过警戒值的矾花值进行预警提醒。此技术采取机器视觉代替人工巡检,能更早地预判沉后浑浊度,克服人工巡检不及时、判断滞后的问题。

(2)混凝剂投加优化系统应用:综合考虑进水水量、浑浊度、混凝剂投加种类及浓度、混凝剂投加点搅拌强度、温度、pH 等影响因素,采用“前馈+模型+反馈”的多参数控制模式,基于模型驱动和数据驱动的协调驱动模型建立方法,建立药剂投加量

数学模型,根据药剂浓度及稀释比例,实时计算出某一特性浓度混凝剂投加量,并将需药量信号发送至加药泵主控柜模型预测控制系统(model predictive control, MPC),调控药剂投加泵(组)运行负荷,调节总加药量,实现按需供药,解决混凝剂投加量依靠实验获取、工作量大、手动运行等难题,降低混凝剂的非线性、大时滞对混凝剂投加控制系统控制性能的影响,实现混凝剂投加的精细化控制。

(3)AR 巡检应用:AR 增强现实技术,实时地计算摄影机影像的位置及角度并加上相应图像的技术,将真实世界信息和虚拟世界信息“无缝”集成,在屏幕上把虚拟世界套在现实世界并进行互动。通过 AR 增强显示技术,依托 AR 巡检运维平台,运维人员对现场设备信息实时掌握,清晰直观的可视化数据,让巡检效率得以大幅提升,解决了传统巡检时无法实时掌握设备运行数据导致巡检不到位的问题。

(4)刮泥机精确定位与纠偏应用:利用绝对式光电旋转编码器作为位置测量器件,在编码器轴安装周长为 25 cm 的橡胶检测轮,通过计算刮泥机运动时橡胶检测轮带动编码器同步旋转产生的电脉冲数,实现刮泥机左右两侧相对于沉淀池左右原点的精确定位。同时,通过可编程逻辑控制器(programmable logic controller, PLC)程序计算刮泥机左右两侧定位偏差,由 PLC 输出矫正信号,控制左或右纠偏接触器动作,实现刮泥机纠偏。此技术有利于刮泥机工作模式的优化,例如将多泥区设定为点 A 至点 B, PLC 程序根据这两点位置值,实现 AB 区定制化周期刮泥,既可做到优化排泥保障水质,又能达到节水目的。

3.3 调整组织架构

公司管辖的3家主力水厂原均为厂长制管理下的垂直架构模式,各厂根据管理的自身需求,设有生

产部、设备部、办公室和财务部,人员数量分别为A厂31人、B厂37人、C厂34人,组织架构如图4所示。

2019年12月上线A、B智慧水厂后,单个智慧

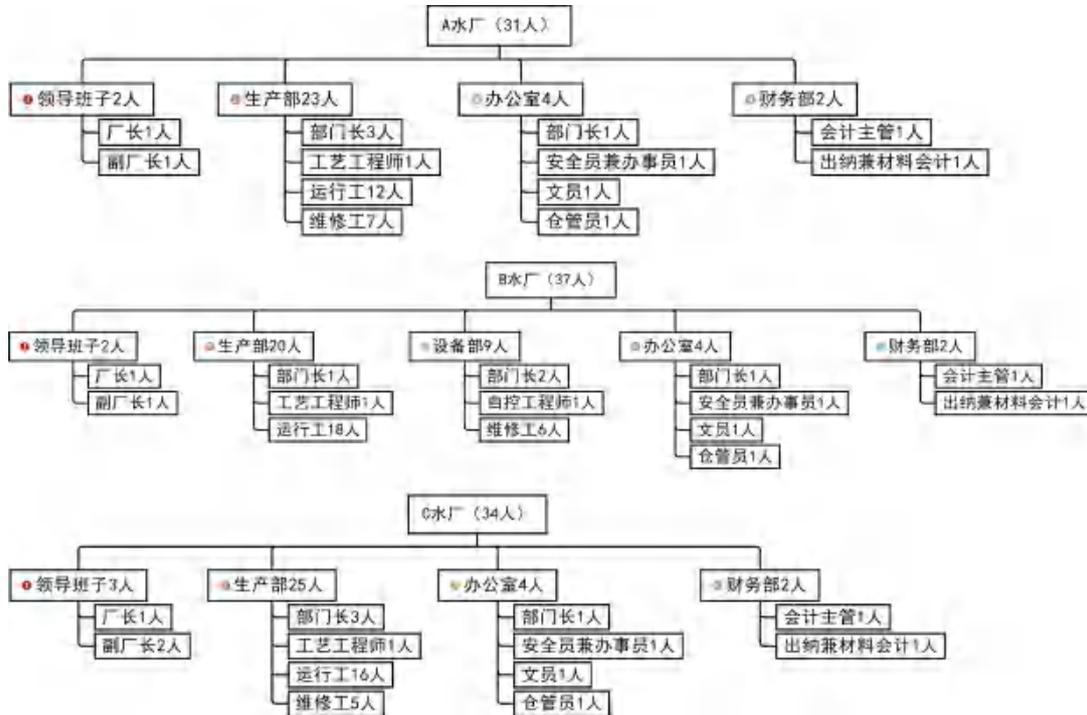


图4 各水厂原组织架构

Fig. 4 Original Organization Structure of Each WTP

水厂实现智慧运营,在原水厂人员架构基础上进一步精简现场运维和管理人员,减少人工干预,基本或

完全实现少人值守,以B厂为例,组织架构图调整为图5所示,总人数28人。

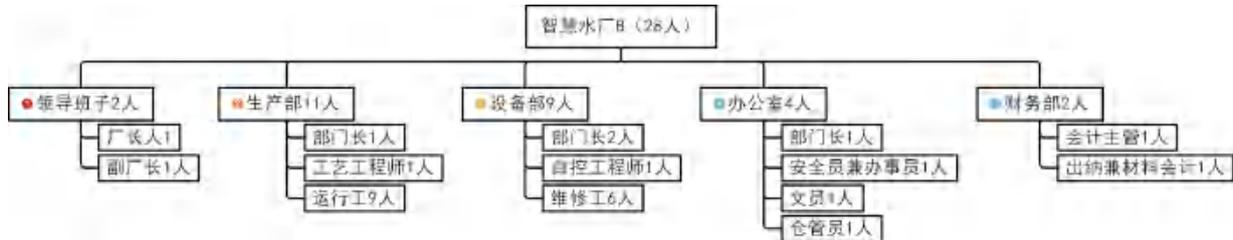


图5 单个智慧水厂组织架构

Fig. 5 Organization Structure of Single WTP

2020年8月,公司根据发展需要,将3家主力水厂及附属厂站进行全面整合,重新规划组织架构,调整人员分配,取消原有厂长制,成立分公司,建立经理管理制,设有生产、设备、办公室、财务部4个职能部室,人员数量58人,组织架构如图6所示。此外,为进一步提高水质监管的客观公正性,水质化验人员由公司水质监测站统一集中管理,不在分公司厂站集中运营组织架构范畴,水质监测站在每个水厂化验室设置3名水质化验人员驻点,配备一名班组长负责各化验室日常检测管理工作。

通过调整组织架构和人力资源整合,人数由3家水厂原有的总人数102人精减至分公司58人,人员精简约43%。

3.4 梳理岗位职责

在新的组织架构下,重新梳理各岗位职责,评估并提炼岗位核心价值。为满足集中生产调度的需求,新设立调度员岗位;打通原有运行工与维修工技术壁垒,新增设运维工岗位。传统运行工岗位与调度员岗位以及运维工岗位核心职责区别如图7~图8所示。



图6 新组织架构

Fig. 6 New Organization Structure

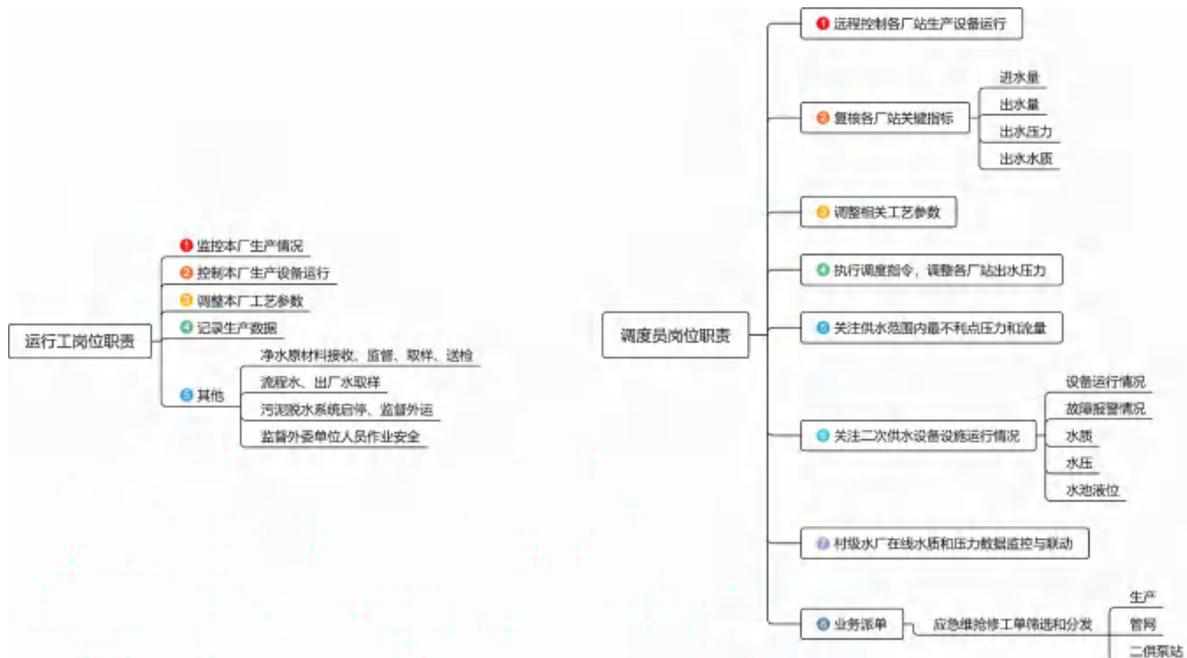


图7 运行工与调度员岗位职责比较

Fig. 7 Comparison of Working Responsibilities of Operators and Controllers

相较于运行工,运维工其岗位核心价值为保障所驻水厂生产以及设备运行安全,水质平稳,其核心职责为针对水厂生产工艺、设备运行状况,落实现场巡检、设备维护、应急处置,确保生产运行正常。其基本岗位职责除现场巡查生产状况正常与否、水质异/臭和味排查外,具备现场小维修、小保养以及设备清洁、润滑、紧固等的的能力,对设备故障实施应急就地维修,特殊情况下设备就地运行操作切换、故障维修,确保水厂安全运行。市政加压泵站仅设置少量保安,水泵启停通过调度中心远程操控,保安人员负责现场巡检包括清水池液位、出水颜色、异/臭和味等,仅负责应急情况的上报,暂未参与设备应急切换工作,当泵站发生断电时,由维修中心集中维修人员根据应急响应圈实施应急处置,远期考虑在保安

人员配备条件上,增加低压电工证等资质证书,通过培训上岗令其具备应急开停泵的能力和启停应急发电机能力。

3.5 优化关键管理流程

(1)单厂智慧运营阶段,结合智慧化升级改造系列功能的落地,通过针对水厂生产工艺管理、生产巡检管理、水质异常管理、设备运维管理、安防管理等关键业务流程建立标准化规范制度,并结合厂级运营管控平台功能模块应用,实现降低人员日常工作劳动负荷的同时对数据进行综合运用,为设备故障诊断、生产工艺优化、运营管理提供科学化辅助决策支持,实现水厂智慧化运营。

(2)集中运营阶段,通过整合多个厂级智慧运营管控平台,统一数据资源,实现厂站集中运营的关

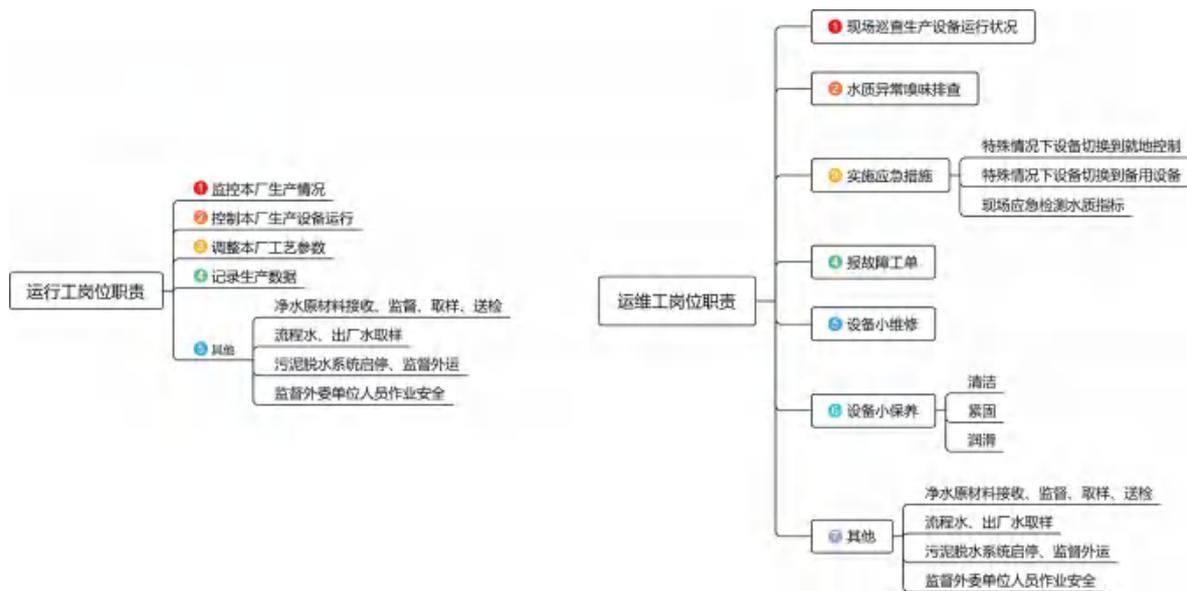


图8 运行工与运维工岗位职责比较

Fig. 8 Comparison of Working Responsibilities of Operators and Maintenance Workers

键管理流程包括多厂站生产实时监控、协同调度管理、运营风险报警预警、数据分析挖掘、设备管理、安全管理、人员绩效管理等业务全面线上化集中管控,敏捷响应,风险控制快速适应,实现人在线、数据在线,全流程业务在线管控,进一步提高运营管理效率和安全保障能力。

3.6 优化绩效管理

(1)人员绩效管理:在新的组织架构下,统一并优化原有各厂站绩效管理标准,形成“以贡献为导向,以积分为激励”的绩效管理新模式。以基准值+贡献值作为绩效考核两大主体模块,进行绩效考核表的内容设计,每个岗位对应基准值和贡献值进行评分,并按规则分别转换成对应的积分,积分作为升职、加薪、职称聘用、调岗的重要指标,实现持续激励的作用,切实做到个人与企业的共同发展。

(2)阿米巴经营核算:分层级组织员工进行经营理念及管理思维导入,人人都有经营意识;划分核算部门及非核算部门,确定阿米巴组织架构和阿米巴层级;推进阿米巴一二三级经营核算落地,通过核算衡量各部门贡献和各岗位价值,实现可视化经营。

3.7 严控安全质量

(1)品质管理:全面推进危害分析及关键控制点(hazard analysis and critical control point, HACCP)体系与智慧水厂运营的深度融合应用,有效预防并降低水质风险,出厂水水质持续优化。

(2)安全管理:强化日常安全生产管理工作,严格落实“一岗双责”,履行主体责任,落实隐患整改,实现岗位安全职责全覆盖,多方式开展安全宣传和培训教育,提升全员安全意识。

(3)应急响应:智慧水厂运营平台分级报警分级响应并实时推送,自动触发应急预案流程,应急队伍资源集中调配,按照距离逐层设置响应圈,响应更高效。

4 集中运营模式的成效

4.1 减员增效

集中运营后通过组织架构调整,人力资源整合,实施集中生产运营后,组织架构与人员分布如图4~图6所示,厂站人员从102人精简到58人,人员精简约43%,切实降低了人力成本,达到减员增效目标。

4.2 设备故障得到有效预防

集中运营后设备管理模式从应急抢修向预防性维护转变,设备类工单分类以及设备故障次数统计趋势图如图9所示,设备维护保养工单占比从90.2%提高到97.1%,设备故障次数逐年稳步下降,设备故障得到有效预防。

4.3 数据挖掘应用促进电耗成本节约

集中运营后,改变了传统数据分析方式,利用数据分析工具,在业务数据可视化的基础上对业务数据深度挖掘和分析,制定更加科学合理的运营策略,

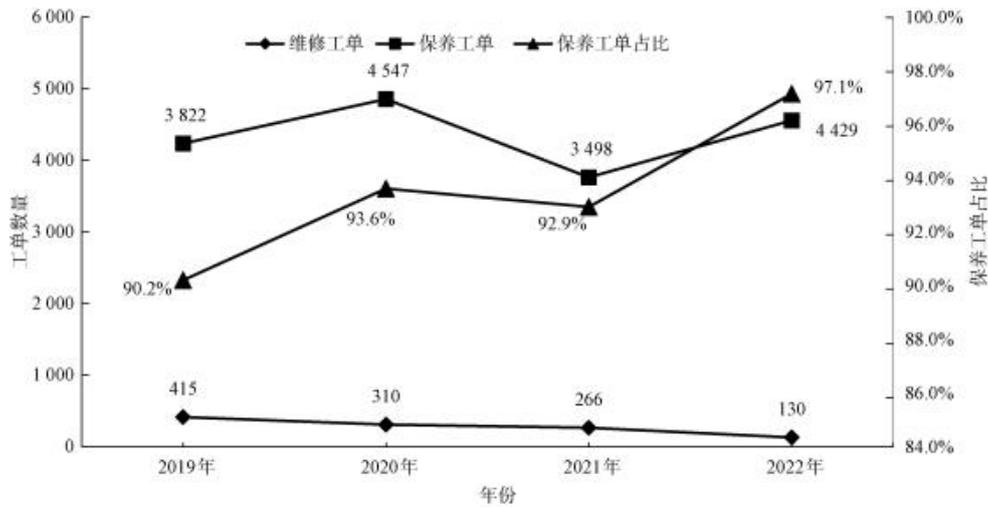


图9 设备类工单分类与设备故障次数统计趋势

Fig. 9 Statistical Trend of Equipment Working Order Classification and Equipment Failures

水厂运营能效显著提高,节能效果显著。例如,供水模式分为单厂供水模式与多水厂混合供水模式,通过能量转换公式推导,对于单水厂供水模式,送水泵电单耗与水泵运行效率、水厂供水压力相关,如式(1)。多厂混合供水模式下,混合送水泵电单耗除了与水泵运行效率、水厂供水扬程相关外,还与各厂供水量占比相关,计算如式(2)。

$$P_{\text{单耗}} \approx \frac{mg\bar{H}}{\eta_{\text{总}}Q} = \frac{2.73\bar{H}}{\eta_{\text{总}}} \quad (1)$$

$$P_{\text{单耗}} \approx \frac{m_1g\bar{H}_1 + m_2g\bar{H}_2 + m_3g\bar{H}_3}{Q_1 + Q_2 + Q_3} = 2.73 \times \left(A_1 \frac{\bar{H}_1}{\eta_1} + A_2 \frac{\bar{H}_2}{\eta_2} + A_3 \frac{\bar{H}_3}{\eta_3} \right) \quad (2)$$

其中: m ——供水质量,kg;
 \bar{H} ——送水泵的平均供水扬程,m;
 $\eta_{\text{总}}$ ——送水泵总体效率;
 g ——重力加速度, m/s^2 ;
 $P_{\text{单耗}}$ ——混合送水泵单耗, $\text{kW} \cdot \text{h}/\text{m}^3$;
 m_1, m_2, m_3 ——各水厂供水质量,kg;
 Q_1, Q_2, Q_3 ——各水厂供水流量, m^3/h ;
 Q ——供水流量, m^3/h ;
 A_1, A_2, A_3 ——各个水厂占总供水量的百分比;
 $\bar{H}_1, \bar{H}_2, \bar{H}_3$ ——各个水厂的供水扬程,m;
 η_1, η_2, η_3 ——各个水厂的送水泵总体效率。

以A、B、C 3个水厂混合供水模式为例,其中A水厂地势标高为16 m,B水厂地势标高为46 m,C水厂地势标高为6.5 m,3座水厂之间通过管网互联互通,形成混合供水模式。据式(2)可知,在集中生产调度模式下,根优化各水厂水量分配,提高高地势B水厂的供水量占比,能有效达到节能效果。集中调度模式下,通过将B水厂供水量占比从34%提高至42%,混合送水泵电单耗从 $111.4 \text{ kW} \cdot \text{h}/\text{km}^3$ 下降至 $102.7 \text{ kW} \cdot \text{h}/\text{km}^3$,降幅约为7.81%,如图10所示。以B厂单厂送水泵配水单耗指标为例,2022年通过对B厂送水泵搭配策略进行优化,当需要同时开启两台送水泵时,保持两台送水泵频率相近,年平均配水单耗同比2021年(集中运营前)下降9.8%,截至2023年9月送水泵配水单耗持续稳定下降,同比2022年下降1.8%,如表1所示。经统计,集中运营后,综合电单耗从 $142.9 \text{ kW} \cdot \text{h}/\text{km}^3$ 降低到 $135.5 \text{ kW} \cdot \text{h}/\text{km}^3$,降幅5.19%。

4.4 精细化管理促进药剂成本节约

集中运营后,各水厂工艺运行实行统一精细化管理,动态优化工艺调整措施并形成闭环。其中,A、B两个智慧水厂通过应用智能加药系统,实现混凝剂精准加药,C水厂则在集中运营后,通过优化常规混凝剂投加系统,辅助二次投矾系统,优化调整投加量,三厂混凝剂单耗下降明显。另外,三厂结合生产实际,季节性调整流程水以及出厂水余氯控制上下限,优化消毒剂投加量,消毒剂单耗小幅度下降。经统计,混凝剂单耗下降16.76%,消毒剂单耗下降3.80%。

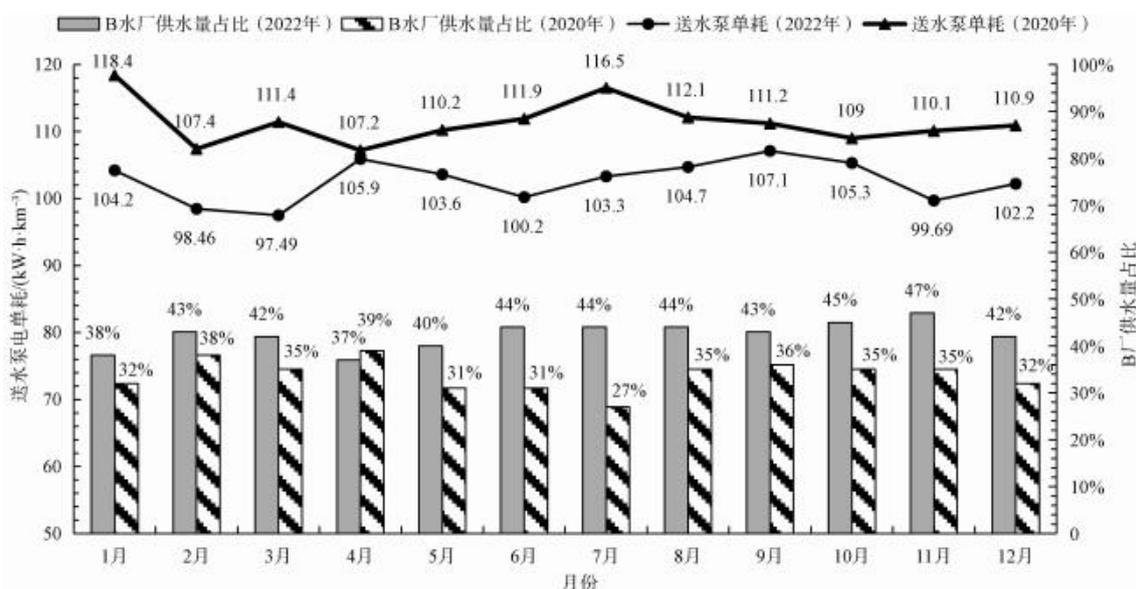


图 10 多厂混合供水模式送水泵电单耗对比分析趋势

Fig. 10 Comparison and Analysis Trend of Power Consumption of Multi-Plant Mixed Water Supply Mode

表 1 2021 年—2023 年送水泵平均配水单耗

Tab. 1 Average Water Distribution and Single Pumping Consumption of Water Supply from 2021 to 2023

时间	平均配水单耗/[kW·h·(km ³ ·MPa) ⁻¹]
2021 年	427.21
2022 年	385.36
2023 年(截至 9 月)	378.41

4.5 综合运营成本节约

综上,经统计,集中运营模式下,综合运营成本(人力、核心药剂、电)节省 958 万/年,如表 2 所示。

集中运营实现基于系统平台的业务管理,有利于各厂站管理的统一与平衡,协同效应凸显;通过多系统融合,全面掌握各厂站综合运行情况,可外延至管网压力点实时监测,有利于提高调度精准性,进一

表 2 2022 年与 2020 年运营成本对比

Tab. 2 Comparison of Operation Cost in 2022 and 2020

运营指标	传统运营(2020 年) (3 个水厂)	集中运营(2022 年) (3 个水厂)	单价	集中运营实际节省成本 (3 个水厂)
人员	102 人	58 人	17.8 万元/年	783.2 万元
PAC 投加单耗	20.35 mg/L	-16.76%	1 093 元/t	62.57 万元
次氯酸钠投加单耗	24.73 mg/L	-3.80%	893 元/t	14.09 万元
综合电单耗	142.92 kW·h/km ³	-5.19%	0.79 元/(kW·h)	98.42 万元

步可外延至二供泵站运行状态监测,实现从原水端到用户端的业务链条全覆盖和精细化闭环管理,决策更综合、合理、可行;实现应急队伍资源集中调配,按照距离逐层设置响应圈,响应更加高效。

5 展望

(1) 智慧水厂建成后,水司通过试行“集中生产调度、集中维护维修、集中支持”的集中运营管理模式,探索与实践多个厂站协同化高效运营管理路径,充分发挥各个系统的价值,实现水司运营成本节约,进一步实现人力集中化、资源节约化、管理模块

化,提升运营管理水平,此运营新模式可行且可复制可推广到其他同行水司。

(2) 水司在推行集中运营模式的过程中,必然会经历人员各自为政、系统繁杂交互的过渡阶段,因此需要进一步实现人员的思维和能力的整合以及系统业务的融合。运营需要人才队伍作为支撑,人才是未来水务行业可持续发展的动力源泉。于水司而言,需持续建立一套人才培养体系,通过人才规划、招聘培训、场景锻炼、专家指导、内部轮岗等措施,打通不同专业之间的技术壁垒,培养和积累一专多能

的复合型人才,打造综合型技能管理团队,服务于智慧水务建设与运营。

(3) 水司在推行集中运营模式的过程中,需要进一步深入挖掘数据价值,挖掘数据隐藏的规律和价值,分析成果应用于业务中,实现数据业务化,从凭经验感觉决策向凭数据决策转变,推进水务数字化转型。

(4) 水司在实现智慧厂站集中运营管理后,需进一步突破传统水务行业业务边界,探索构建源头到龙头的运营管理新模式,如进一步将市政管网在线设施运维业务、二供泵站运维业务等纳入集中运营管理范畴,实现从原水端到用户端的业务链条全覆盖和精细化闭环管理,实现更高效、精准的水务管理和服务。

参考文献

[1] 牡丹, 赵建明. 水厂智慧水务建设规划[J]. 供水技术, 2017, 11(6): 62-64.
DU D, ZHAO J M. Smart water supply construction planning of water plant[J]. Water Technology, 2017, 11(6): 62-64.

[2] 谢善斌, 刘辛悦, 王杨, 等. 智慧水务信息化建设规划与实践[J]. 净水技术, 2020, 39(5): 7-13.
XIE S B, XIE X Y, WANG Y, et al. Planning and practice of smart water informatization systems construction for water utilities [J]. Water Purification Technology, 2020, 39(5): 7-13.

[3] 吴勇, 任昭重, 王业飞, 等. 智慧水厂的建设与思考[J]. 城镇供水, 2022(6): 73-79.
WU Y, REN Z Z, WANG Y F, et al. The construction and thinking of intelligent water plant [J]. City and Town Water

Supply, 2022(6): 73-79.

[4] 吴勇, 王业飞, 肖塞, 等. 智慧水厂的应用与实现[J]. 城镇供水, 2023(4): 90-95.
WU Y, WANG Y F, XIAO Q, et al. Application and implementation of smart water plant [J]. City and Town Water Supply, 2023(4): 90-95.

[5] 李亚东, 张小强, 胡田力, 等. 基于全流程工艺的智慧水厂设计与实践[J]. 自动化与仪表, 2022, 37(9): 83-88.
LI Y D, ZHANG X Q, HU T L, et al. Design and practice of intelligent water plant based on the whole water treatment process [J]. Automation & Instrumentation, 2022, 37(9): 83-88.

[6] 郑宇祺. 智慧水厂数字孪生技术的应用[J]. 智能建筑与智慧城市, 2022(9): 136-138.
ZHENG Y Q. Application of digital twin technology in intelligent water plant [J]. Intelligent Building & Smart City, 2022(9): 136-138.

[7] 孙凝, 赵顺萍, 解鹏, 等. 智慧水厂管理平台的研究与实践[J]. 给水排水, 2022, 48(1): 151-155.
SUN N, ZHAO S P, XIE P, et al. Research and practice of smart water plant management platform [J]. Water & Wastewater Engineering, 2022, 48(1): 151-155.

[8] 陆继诚. 从“自动化”到“智能化”——智慧水厂建设的新思路[J]. 给水排水, 2017, 43(11): 1-3.
LU J C. From ‘automation’ to ‘intelligent’, the new idea of smart water plant construction [J]. Water & Wastewater Engineering, 2017, 43(11): 1-3.

[9] 徐伟忠, 于红涛, 宋鑫峰, 等. 水厂生产管理智慧化建设实践[J]. 净水技术, 2019, 38(s2): 126-129.
XU W Z, YU H T, SONG X F, et al. Practice of intelligent construction and management in water works [J]. Water Purification Technology, 2019, 38(s2): 126-129.

(上接第 153 页)

[26] 罗春泳, 陈云敏, 唐晓武, 等. 渗滤液回灌设计中一些参数的理论研究[J]. 环境工程, 2003, 21(4): 13-15.
LUO C Y, CHEN Y M, TANG X W, et al. Theoretical study on some parameters of leachate recharge design [J]. Environmental Engineering, 2003, 21(4): 13-15.

[27] 曹丽娜. 城市生活垃圾填埋场渗滤液回灌处理研究[D]. 西安: 长安大学, 2006.
CAO L N. Study on leachate recharging treatment of municipal solid waste landfill [D]. Xi'an: Chang'an University, 2006.

[28] 田宝虎. 渗滤液膜滤浓缩液回灌对填埋场稳定化的影响研究

[D]. 杭州: 浙江大学, 2015.
TIAN B H. Study on the influence of leachate membrane concentration recharging on landfill stabilization [D]. Hangzhou: Zhejiang University, 2006.

[29] 周雅萱, 尹洧. 废水中电导率和溶解性固体的相关关系[J]. 化工环保, 1987(2): 104-107.
ZHOU Y X, YIN W. The correlation between electrical conductivity and dissolved solids in wastewater [J]. Chemical Environmental Protection, 1987(2): 104-107.