

DOI:10.19853/j.zgjsps.1000-4602.2021.04.022

泵站区域协同调度用于苏州城区污水管网低水位运行

张俊¹, 尤岚¹, 黄继会¹, 姜建君¹, 王伟¹, 沈寅杰², 陈命强²

(1. 苏州市排水有限公司, 江苏 苏州 215000; 2. 浙江浙大中控信息技术有限公司, 浙江 杭州 310053)

摘要: 实行泵站区域协同调度,能够实时预测污水量变化,用水高峰期通过错峰输排均衡片区转输水量,用水低谷期通过预降水腾出管网调蓄空间,更好地保障污水管网低水位运行,降低污水入河风险,增加污水厂处理水量,实现污水应收尽收。在效能方面,系统通过数据的实时采集、传输、汇聚,经实时计算分析引擎,即排水系统的负荷分析、水量均衡分析、水位预调分析和溢流风险分析,提供最佳的泵站水位控制值及相应的水泵运转方式,使得转输能耗降低、响应速度提升。

关键词: 协同调度; 错峰输排; 预降水; 污水管网; 低水位

中图分类号: TU992 **文献标识码:** B **文章编号:** 1000-4602(2021)04-0106-05

Application of Regional Co-scheduling of Pumping Stations in Low Water Level Operation of Suzhou Urban Sewage Pipeline Network

ZHANG Jun¹, YOU Lan¹, HUANG Ji-hui¹, JIANG Jian-jun¹, WANG Wei¹,
SHEN Yin-jie², CHEN Ming-qiang²

(1. Suzhou Drainage Co. Ltd., Suzhou 215000, China; 2. Zhejiang Supcon Information Co. Ltd., Hangzhou 310053, China)

Abstract: Regional co-scheduling of pumping stations can predict sewage quantity changes in real time, balance transferred quantity through staggered peak transfer during peak water consumption, and spare out the storage space through pre-precipitation during low peak water consumption, so as to better guarantee the operation of sewage pipe network at low water level, reduce the risk of sewage entering the river, increase the amount of water treated in the sewage plant, and realize the whole collection of stipulated sewage. In terms of efficiency, the system provides the best pump station water level control value and the corresponding pump operation mode to reduce transfer energy consumption and increase response speed, through real-time calculation and analysis engine, namely drainage system load analysis, water balance analysis, water level pre-adjustment analysis and overflow risk analysis based on real-time data collection, transmission and aggregation.

Key words: co-scheduling; staggered output; pre-precipitation; sewage pipeline network; low water level

苏州市位于太湖流域的腹部地区,该区域主要为平原地形,且地势较为低平,湖荡多而河道密集,

苏州古城区河流总长约 34.72 km,是非常典型的平原河网地区^[1-2]。随着苏州市局部区域工业、人口

基金项目: 国家水体污染控制与治理科技重大专项(2017ZX07205001)

的激增,古城区河网存在水体流动性差、整体水质差、河道纳污和自净能力差等问题^[3]。

近年来,苏州市对水环境治理力度和保护重视程度不断地提升,通过雨污分流、城中村支管到户等工作提升污水收集率,通过干河清淤解决沿河污水直排点、管网持续查漏修复,增加有效污水量,并推出了污水管网低水位运行模式,即污水管网运行水位低于河道黄海液位,降低污水入河风险,提升污水收集能力,实现污水应收尽收。苏州市排水有限公司(以下简称排水公司)在2017年建立了厂网一体化调度模式,通过不断的摸索与实践,提出了泵站区域协同调度模式,通过智慧化的手段有效地保障了管网低水位运行。

排水公司下辖3座污水处理厂,污水处理能力 $36 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$,负责收集和处理苏州中心城区约 102 km^2 区域的生活污水,服务人口约100万人,承担着约280 km污水主管网、32座污水提升泵站、33座提升泵井、6 600多座污水窨井的管理养护任务。

1 低水位运行中存在的问题

排水公司于2013年启动污水泵站升级改造工程,建立泵站调度自控运行平台,并于2014年建立管网SCADA系统,实现了污水泵站的无人值守。然而在低水位运行工作中仍然存在以下问题:

① 污水通过泵站逐级输送至污水处理厂处理,每级由多个泵站并联组成。由于泵站建设时间较早,规模较小,集水池调蓄能力低下,需要转输的污水量大,导致低水位运行调度压力大。在居民用水高峰期,上游泵站输送水量进入高峰期,导致各并联泵站与下级泵站间的汇流管道液位瞬时升高,暴露出泵站之间缺乏联调机制;

② 在常规按液位高开低关的泵组策略控制下,由于泵站调蓄空间较小,上游泵站输水的不均匀性,尤其是低谷期,容易出现水泵频繁启停的现象,增加了设备故障率及能耗;

③ 由于水泵启停根据泵站设定的固定液位进行,在应对污水输送量较大的情况时,其响应速度不够快,导致泵站液位上升过快,转输压力大增;

④ 水泵为工频运行模式,在低谷期运行时转输水量较小,又没到关泵液位,存在“大马拉小车”的情况,造成转输能耗的上升。

基于以上的问题,公司虽然建立了泵站自动化调度系统,实现了基础自动化和基层生产管理,支撑

了公司集中指挥调度、污水管网低水位运行,然而还是缺乏智慧化管理手段,因此亟需建立一个智能调度平台,根据泵站的地理位置信息以及工艺结构信息建模,针对不同时间段污水量不同,对泵站、管网的调蓄容量进行调节,做到区域整体水量均衡。

2 泵站区域协同调度系统的建立

排水公司《泵站区域协同调度系统》项目第一阶段于2019年立项实施,选取了相门、平直、悬桥三大核心泵站作为试点,并于2020年实施第二阶段扩建项目,包含了东片区共14个泵站区域协同调度(建设中)。

2.1 系统架构

区域协同联合调度系统主要由现场的泵站PLC控制系统、污水厂PLC控制系统和位于公司的智能调度系统组成。智能调度系统还通过数据库接口获取管网SCADA系统中窨井水位的数据,实现了排水系统厂、站、网数据共享互通。智能调度系统采用B/S架构设计,无需安装特殊的客户端软件,操作员通过浏览器即可轻松访问。系统架构见图1。

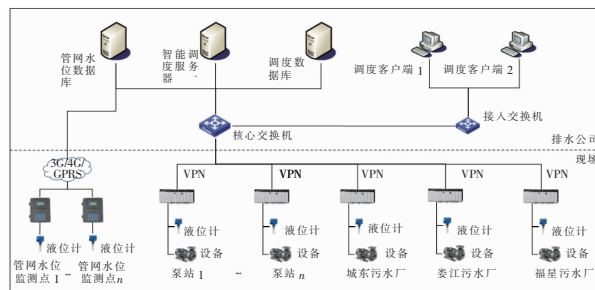


图1 系统架构

Fig.1 Framework of system

2.2 智能调度平台

智能调度系统,将多种控制策略和排水系统等数学模型相结合,利用泵站排水能力、上下游关系、结构特点以及水位变化趋势来综合判断排水系统的运行负荷并进行多层次泵站之间的水量分配,以实现整体的水量均衡,降低排水系统溢流风险。

智能调度系统的总体架构如图2所示,主要由感知层、网络层、数据层、支撑层和应用层组成。系统通过数据的实时采集、传输、汇聚,经实时计算分析引擎,即排水系统的负荷分析、水量均衡分析、水位预调分析和溢流风险分析,提供最佳的泵站水位控制值,使排水泵的开启数量和调节频率发生变化,从而使水位同步变化,避免在一个特定的区域发生

污水溢出而剩余的蓄水系统却闲置的情况,最终达到区域污水溢出污染最小化。

系统应用层,实现调度系统的各项功能,为用户提供日常调度操作、系统运行可视化以及关键数据记录等,主要包括系统总览、运行情况、水位预测、调度方案、系统评估、预警报警、系统配置和多场景切换配置等。

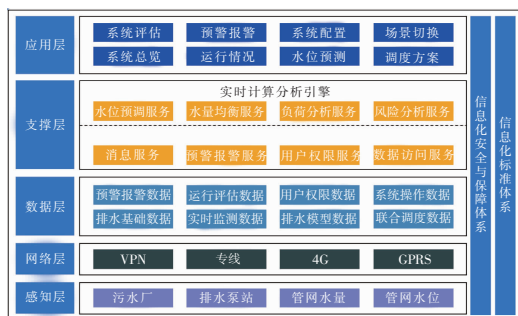


图2 智能调度平台

Fig.2 Intelligent dispatch platform

① 个性化对象配置

在平台泵站参数配置界面,可设置泵站站点名称、编号,及其所属排水线,关联其上下游泵站、GIS位置、地理信息等静态信息。同时也能对泵站的动态信息进行配置,包含水泵数量及具体设计参数、最大运行台数、最大运行频率、考核液位等。

② 调度方案配置

调度方案配置是协同调度系统的核心,需要明确调度系统计算的策略,在各泵站间的层级关系,以及不同情况下平级泵站间的调度顺序。当检测到某个泵站处于最大运行负荷且水位仍有上升的趋势,搜索所有可调蓄的上游泵站,并根据可用调蓄量进行排序,优先调节可用调蓄量多的泵站,上游开始蓄水,实现高峰时段的错峰输排。

③ 系统评估

主要由两方面组成:一是综合统计,可实现站点指标的数据分析,如站点污水处理量、能耗等;二是管网负荷统计,实时获取所有管网窰井液位计及泵站液位数据,全面评估污水管网低水位运行工况。

3 建设过程中面临的问题

排水泵站系统建立初期并未考虑到流量计量或者部分泵站没有安装条件,其次在泵站转输过程中存在一些就近自流片区,使得前后泵站间流量计量存在问题,因此在系统构建过程中无法以前后泵站间的流量作为调控依据。最终确定选用泵站容积法

作为调控模型的构建方式,见下式:

$$V_{\text{req}} = (H_t - H_{t-1}) \cdot S \quad (1)$$

$$V_{\text{has}} = (H_{\text{MAX}} - H_t) \cdot S \quad (2)$$

式中: V_{req} 为需要的调蓄量; V_{has} 为可用的调蓄量; H_{t-1} 、 H_t 分别为 $t-1$ 、 t 时刻的水位; H_{MAX} 为可调节水位的上限; S 为泵室面积。

4 运行效果及解决的实际问题

2019年4月排水公司为了实现相门、悬桥、平直三个泵站间的入流及出流量的精确匹配,首先对其水泵进行变频改造,5月系统建立并进入离线模拟调试,7月投入生产运行,通过大数据的分析、系统配置的优化,科学、高效地进行管网调度,更好地实现了污水管网低水位运行。

① 错峰输排及预降水模式

当相门泵站处于排水高峰期,系统会根据来水量大小定时对其上游悬桥及平直泵站进行判断,谁更有调蓄空间,优先上调其恒液位运行值,减缓上游管网进入下游泵站的流量,充分利用上游泵站及管网的调蓄空间,来实现用水高峰期的错峰输排,从而实现用水高峰期的管网低水位运行;当相门泵站处于排水低谷期,系统同样会根据来水量大小定时对其上游两泵站进行判断,谁更没有调蓄空间,优先下调其恒液位运行值,增大上游管网进入下游泵站的流量,尽量将相门、悬桥、平直泵站及相关管网水位调节至低位,以腾挪出足够的调蓄空间应对排水高峰期对泵站群系统的冲击。协同调度系统自2019年7月投入运行后的半年,先后经历了汛期及早季的变化过程,与上一年同期相比,运行液位达到低水位警戒值次数由42次下降为3次,时长由49.5 h下降为19.7 h,很好地解决了以往高峰期汇流管网液位瞬时大幅升高的问题。具体如图3所示。

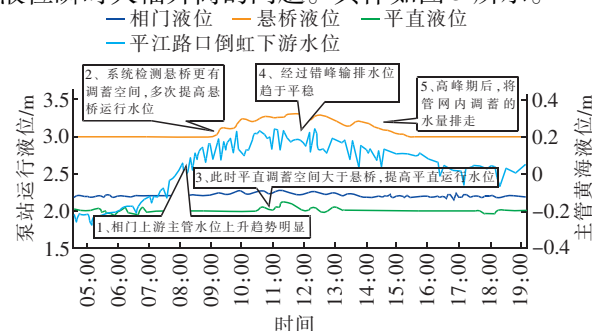


图3 错峰输排及预降水实例

Fig.3 Examples of staggered peak discharge and pre-precipitation

② 启停频繁现象改善,能耗降低

协同调度系统能够根据泵站实际的流量大小和水泵的运行频率正确地辨识泵站、管网目前的运行状态,并能准确完成高峰、平峰和低谷状态的判断,及时进行泵站的单级和多级联合调度。系统上线运行后,相门、平直、悬桥 3 座泵站的频繁启停(以水泵 5 min 内完成 1 次启停动作计算)现象得到明显改善,对水泵的寿命延长和泵站能耗降低具有积极的作用。

项目上线运行前后半年,通过协同调度系统运行,3 座泵站总能耗得到一定下降,比改造前下降 7.7%。

悬桥泵站水泵日启停次数变化见图 4。

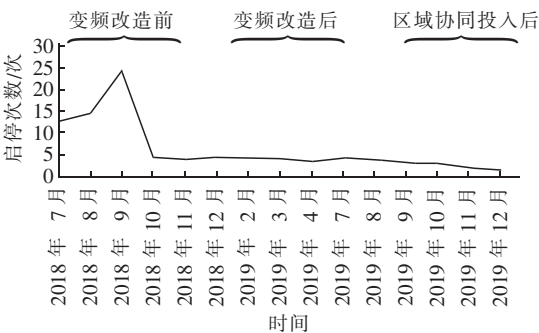


图 4 悬桥泵站水泵日启停次数

Fig. 4 Daily pump start and stop times of Xuanqiao pump station

③ 响应速度提升

程序优化前,泵站对水泵完全基于液位的分级控制,即开 1 台水泵、开 2 台水泵、停 1 台水泵、停 2 台水泵的液位分别需要人工设置,这种控制模式比较固化,不灵活,无法通过判断液位的变化趋势智能地判断水泵的开停数量和调节频率,而且也无法做到泵站低水位全负荷运行的需求。协同调度系统上线运行后,将液位变化趋势嵌入控制策略中,同时对原有的恒水位 PID 参数进行调整优化。悬桥泵站和平直泵站液位控制的及时性结果见表 1,可见新的控制方式比原控制方式对于大水量的响应时间分别提升了 56.85% 和 21.29%。

④ 社会效益提升

苏州老城区部分区域地势较低,一些背街小巷排水条件不利,高峰期排水总是或多或少有一些影响,并且随着城市的发展,原有中心城区建设的泵站调蓄空间愈发显小。而泵站区域协同调度系统充分利用了管网的调蓄能力,在不需要改变泵站及管网基础建设的情况下,实现高峰期的错峰输排进一步提升低水位运行的保障能力。柳家浜、齐门下塘 74 号、龙兴桥等地势低洼地区排水不畅问题得到彻底的解决,群众满意度上升。低水位工作实施以来,城区污水管道运行液位常年低于河道液位,大大减少了污水入河的风险。

表 1 水泵调节响应速度

Tab. 1 Water pump regulation response speed

悬桥泵站	控制方式	达到 1.7 m 时刻	到达 2.1 m 时刻	自动开启第 2 台泵的液位/m	自动开启第 2 台泵的时刻	历时
	原	14:14:24	14:16:50			2 min 26 s
	新	14:22:06		1.91	14:23:09	1 min 3 s
平直泵站	控制方式	达到 2.1 m 时刻	到达 2.35 m 时刻	自动开启第 2 台泵的液位/m	自动开启第 2 台泵的时刻	历时
	原	13:01:25	13:04:00			2 min 35 s
	新	13:14:00	13:16:02	2.27	13:16:02	2 min 2 s

5 结语

泵站区域协同调度系统投入运行后,使管理人员清晰地了解了污水厂、泵站、排水管网等运行情况,并具备一定的智慧化管理手段,大大提高了集成管理水平,不仅降低了排水管网调度的工作量,且通过对上游泵站等运行数据进行液位、污水量预测,实现动态液位控制,使污水厂的进水量更加稳定,泵站更加节能,管网运行更加安全,很好地推动了厂网一

体化调度,今后还可根据不同工况(晴天、雨天、节日、假日、不同季节等)生成调度预案库,在处理突发事件时有章可循,强化污水管网低水位运行工作。

参考文献:

[1] 林芷欣,许有鹏,代晓颖,等. 城市化对平原河网水系结构及功能的影响——以苏州市为例[J]. 湖泊科学, 2018,30(6):1722-1731.

(下转第 116 页)