

DOI:10.19853/j.zgjsps.1000-4602.2022.04.022

# 基于排水系统提质增效的集约治滇探索与实践

张旭东<sup>1</sup>, 马振华<sup>2</sup>, 王海玲<sup>2</sup>, 赵冬泉<sup>1</sup>, 刘旦宇<sup>3</sup>

(1. 北京清环智慧水务科技有限公司, 北京 100086; 2. 昆明滇池投资有限责任公司, 云南 昆明 650034; 3. 广州市市政工程设计研究总院有限公司, 广东 广州 510060)

**摘要:** 随着滇池治理工作的推进,排水设施的建设对负荷削减与水质提升的边际效益逐步下降,因此有必要探讨排水系统建设及管理的未来方向。通过大量工程项目和研究项目的经验总结,形成一套基于排水系统提质增效的集约治滇发展路径。依托GIS数据、在线监测、模型模拟三大技术核心,昆明市初步建成了排水系统数据体系、监测体系和模型体系。案例应用表明,三大技术能为排水系统现状诊断和新建设施论证等决策过程提供关键支撑。三大体系的深入建设,将逐步推动昆明市排水系统的提质增效、智慧化运行和集约化管理。

**关键词:** 排水系统; 提质增效; 数据体系; 监测体系; 模型体系; 集约治滇

**中图分类号:** TU992 **文献标识码:** B **文章编号:** 1000-4602(2022)04-0125-08

## Exploration and Practice of Integrative Management of Dianchi Lake Based on the Quality and Efficiency Improvement of Drainage System

ZHANG Xu-dong<sup>1</sup>, MA Zhen-hua<sup>2</sup>, WANG Hai-ling<sup>2</sup>, ZHAO Dong-quan<sup>1</sup>,  
LIU Dan-yu<sup>3</sup>

(1. Beijing Tsinghuan Smart Water Tech Co. Ltd., Beijing 100086, China; 2. Kunming Dianchi Investment Co. Ltd., Kunming 650034, China; 3. Guangzhou Municipal Engineering Design & Research Institute Co. Ltd., Guangzhou 510060, China)

**Abstract:** In the process of Dianchi Lake management, the marginal benefits of the construction of drainage facilities for load reduction and water quality improvement are gradually decreasing. It is necessary to explore the future direction of drainage system construction and management. With the experience of a large number of engineering and research projects, the technical route of integrative management of Dianchi Lake based on the quality and efficiency improvement of drainage system has been formed. With GIS data, online monitoring and model simulation, Kunming has initially established the drainage data, monitoring and model system. The case application shows that these technologies can provide key support to the decision-making process such as system status diagnosis and scheme comparison of new facility. The further construction of the three systems will gradually promote the quality and efficiency improvement, smart operation and integrative management of the drainage system in Kunming.

**Key words:** drainage system; quality and efficiency improvement; data system; monitoring system; model system; integrative management of Dianchi Lake

通信作者: 张旭东 E-mail: zxd0703@126.com

在滇池治理过程中,昆明市主城区511.7 km<sup>2</sup>范围内目前已经建成大量的排水设施,包括污水处理厂14座、雨污管网4 769 km、排水泵站128座、市政调蓄设施17座,基本建设完成了以“厂-池-站-网”为基础的控源截污工程体系,实现了入湖污染负荷的有效削减,滇池水质也得到明显改善<sup>[1]</sup>。

随着各类工程的实施,大型削污减排工程项目将明显减少,滇池治理中的再投入与污染负荷削减的边际效益势必有所下降。为进一步促进滇池水质的持续改善,必须进一步加强和提高集约治滇理念和思路。具体而言,如何突破重点依靠点状工程进行减排的瓶颈、提高已有设施的系统匹配关系,如何在日常运行中实现日益复杂的排水系统内多设施之间的联动增效,如何在发挥已有工程治理设施效能的基础上进一步科学决策需要新增的改建、新建项目,如何实现滇池治理的工程措施和非工程措施的协同优化和系统统筹,已经成为滇池治理的新问题,也是集约治滇的发展方向之一。

近年来,国家对城镇排水系统的提质增效逐步重视<sup>[2-3]</sup>。从滇池治理的角度,岸上排水系统的提质增效,也是集约治滇的一个重要部分。以排水系统提质增效为切入点,探讨集约治滇的探索与实践。以昆明主城区排水系统为例,分别介绍提质增效的技术路线、技术体系、应用实例和未来展望,分析实现提质增效乃至“智慧排水”的必要条件、关键步骤和前进方向。

### 1 基于提质增效的集约治滇技术路线

基于排水系统提质增效的集约治滇技术路线可分为3个阶段,如图1所示。第一阶段是排水系统有效发挥功能的基础条件。在这一阶段,首先应进行大量排水基础设施的建设工作,核心任务是提高系统对雨污水的收集和处理能力<sup>[4]</sup>,保障基本需求;其次需要通过建设额外的调蓄、调度设施,为突发排水事件的应对提供富余能力;最后要配套建设信息化、智慧化设施,为智慧排水的实现提供硬件支撑。第二阶段利用数据、监测和模型三大技术手段,对排水系统现状进行效益评估,量化诊断现有系统的瓶颈和潜力所在,以支撑运行管理建议及新建/扩建工程决策<sup>[5]</sup>。第三阶段在排水系统的能力建设基本匹配城市需求后,应将工作重点从系统建设转至系统运行管理,加强动态数据信息挖掘及

实时控制算法设计,研究智慧排水策略<sup>[6]</sup>,并同步进行智慧排水平台的开发建设<sup>[7-8]</sup>,最终实现排水系统的智慧化感知、智慧化运维、智慧化控制。

不同阶段的工作并不是简单的线性关系,而是需要相互配合、相互融合,如第二阶段通过系统化诊断决策,可为第一阶段的建设提供更加谨慎科学的建议,第三阶段的算法和平台设计,也会对设施的自控能力提出更明确的要求。通过三个阶段的持续迭代建设,使管理决策更加精准化、精细化、集约化。

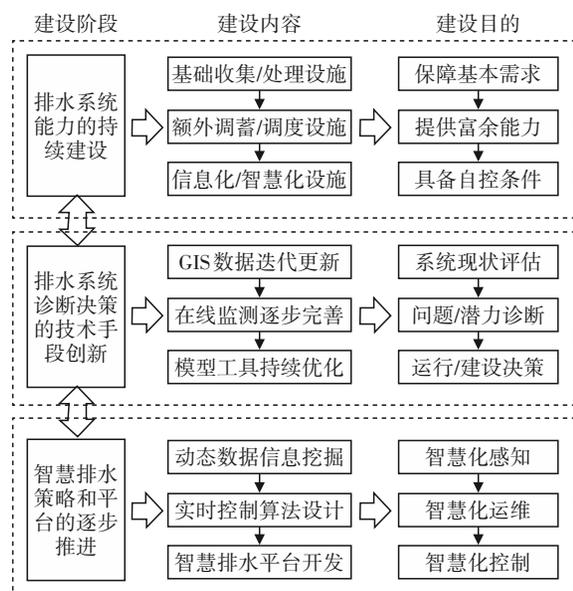


图1 基于排水系统提质增效的集约治滇技术路线

Fig.1 Technical route of integrative management of Dianchi Lake based on the quality and efficiency improvement of drainage system

### 2 排水系统诊断决策的技术体系建设成果

目前,昆明市主城区已经建成大量的排水设施,基本完成第一阶段的基础建设任务,并已初步形成以设施数据、在线监测、模型模拟为三大技术核心的决策诊断体系,在新建/扩建工程决策中逐步发挥其优越性,体现集约治滇的理念。

#### 2.1 排水系统数据体系建设成果

排水系统设施数据的收集和整理,是排水系统建设、管理和运维的基础性工作,也是昆明主城区排水系统重点关注的工作之一<sup>[9]</sup>。经过几十年的探索与努力,昆明市主城区已经建立了以排水设施数据标准、排水设施数据库管理平台、排水数据管理办法为三大核心的排水系统数据体系,其框架如图

2所示。



图2 排水系统数据体系框架

Fig.2 Data system framework of drainage system

秉承数据建设、标准先行的原则,昆明市先后编制完成《云南省城镇排水设施数据管理技术标准》(DBJ 53/T—93—2018)、《云南省城镇排水设施在线数据采集技术标准》(DBJ 53/T—94—2018)两部地方标准,补充完善了国家《城市排水防涝设施数据采集与维护技术规范》(GB/T 51187—2016)的具体技术内容,提高了数据标准在云南省内的适用性和可操作性,约定了调蓄池、泵站、管网等排水设施关键信息数据清单和技术标准,保障了排水设施动态数据的时效性和真实性。配合标准,同步编制实施了排水数据管理办法,对数据的收集与整理、现场数据探测、数据内业检查与入库、数据应用与反馈等工作进行了规定,建立了反馈迭代更新的机制,形成了系列化数据处理技术文档支撑,保障了相关数据的长效更新。标准的建立与反馈迭代更

新机制的执行,促进了排水系统数据的持续迭代完善,提高了数据管理和使用的规范化水平。

通过排水系统数据的持续测绘,目前昆明主城区511.7 km<sup>2</sup>范围内排水设施基础数据库已包含排水管网4 769 km、检查井140 543座、各类排放口3 478个、排水泵站128座、市政调蓄设施17座、闸门90座及其他排水附属设施,基本摸清了昆明市排水系统的家底。同时,依托各类信息化建设项目,陆续建成昆明主城调蓄池信息系统、昆明环湖东岸信息系统、西片区调度系统等,形成了“一个中心、两个子站、若干个前端控制点”的网络拓扑结构。基础数据库和信息系统的建设和持续完善,为监测体系和模型体系打下了坚实的基础,也为智慧排水平台的建设提供了宝贵的经验。

### 2.2 排水系统监测体系建设成果

排水监测是排水系统的“眼睛”,是掌握排水系统运行现状和规律的重要工作<sup>[10]</sup>。为此,昆明市创新性地提出了包含“源-网-池-站-厂-河-湖”的精细化监测网络体系,对监测目的、监测需求、监测层级、监测方式和监测原则进行了细致的分解和整理,如图3所示。从实用性和经济性的角度出发,创新性地提出了数据监测服务的形式,包含固定监测、临时监测、轮换监测三种模式,结合监测需求进行优化选择。多种监测模式的组合,提高了监测体系的灵活性,用更经济的投入实现效益最大化,体现了集约化的原则。

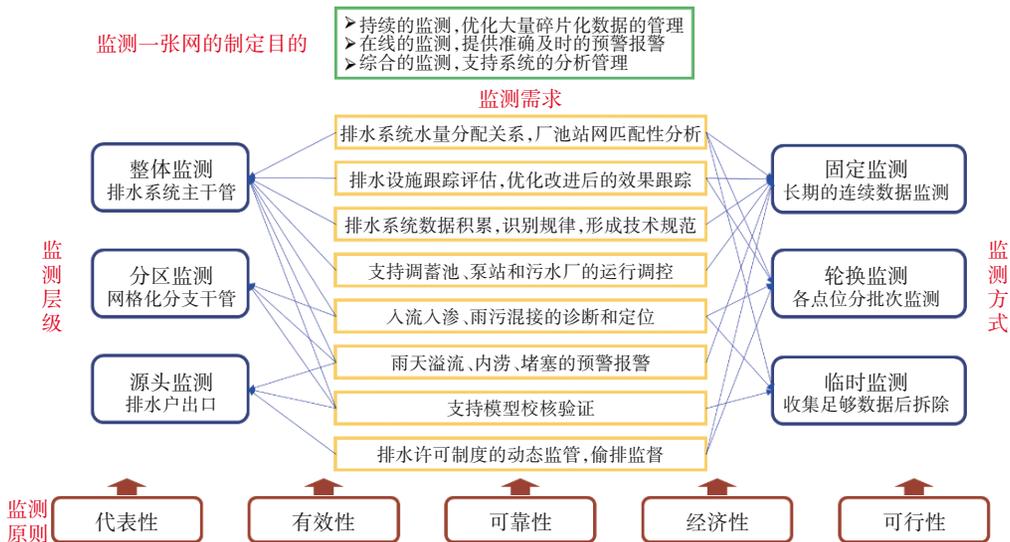


图3 排水系统监测体系框架

Fig.3 Monitoring system framework of drainage system

昆明主城区在线监测网络建设成果见图 4。

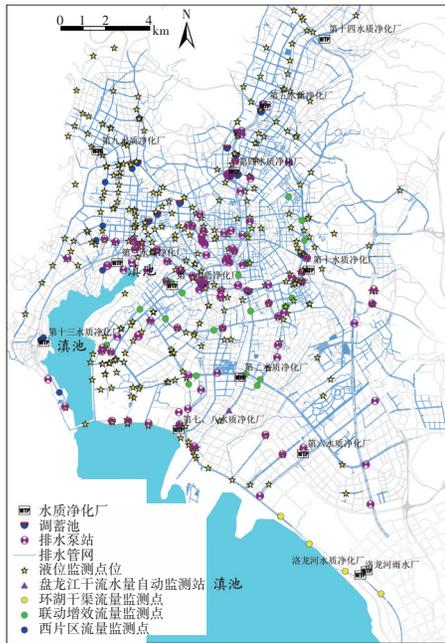


图 4 昆明主城区在线监测网络建设成果

Fig.4 Online monitoring network in the main urban area of Kunming

现阶段,昆明市主城区从滇池治理的实际需求出发,基于现状调查、系统评估、绩效评价、设计依据、信息共享等需求,通过多个项目的持续补充建设,已初步形成了一套覆盖管网关键节点、泵站、调蓄池等多类设施的排水系统在线监测网络。当然,监测体系的建设不能一蹴而就,需要根据管理理念、政策要求和监测需求的变化而不断优化,是昆明排水系统提质增效工作需要持续推进的重要任务之一。

### 2.3 排水系统模型体系建设成果

随着城市排水系统的日益庞大和复杂,传统的分析方法难以满足系统性的要求,不能为系统评估和运行管理提供良好的技术支撑。因此,在排水系统数据体系和监测体系的基础上,昆明主城区也逐步建立了排水系统模型体系以及基于模型的排水系统分析诊断方法。

目前,昆明主城区排水系统已经形成了模型搭建和应用的标准化流程,具体如图 5 所示,主要包括模型搭建、模型校核、情景模拟、决策应用等 4 个步骤。

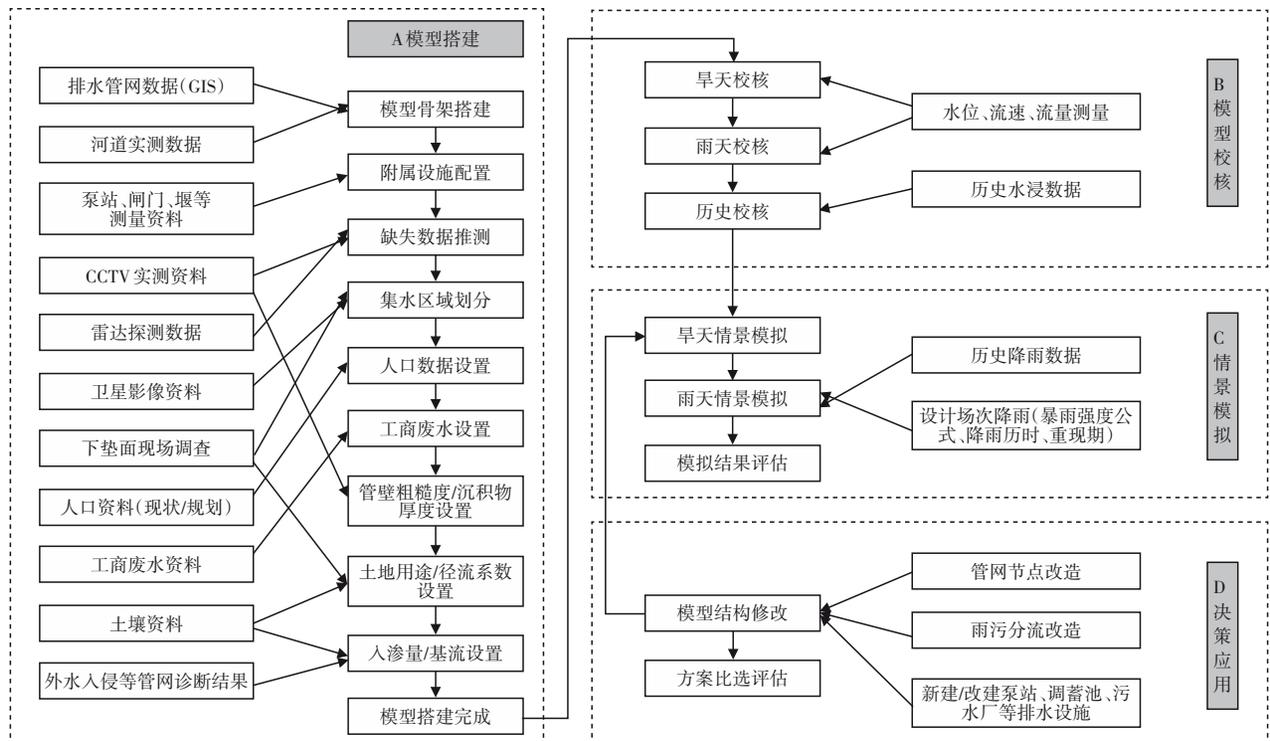


图 5 排水系统模型搭建及应用的标准化流程

Fig.5 Standard process of construction and application of drainage system model

依托多个研究项目,昆明已基本建立了整个主城区的 InfoWorks ICM 排水系统水力模型,并将其应

用于系统分析诊断和重大工程方案决策中,如对主城区合流制溢流口的溢流频次、溢流总量、溢流发

生最小降雨量等进行评估,并在此基础上提出各溢流口片区整治方案;针对调蓄池不同建设位置和规模进行多方案模拟,提出投资效益最高的方案建议等。通过模型分析,提高了决策的科学性、有效性和集约性。

### 3 排水系统诊断决策的技术体系应用实例

#### 3.1 污水处理缺口论证

为解决昆明主城东片、南片排水系统存在的旱天污水量分配不均匀、系统高水位运行、超量污水外排等问题,针对这两个片区开展了流量在线监测工作。通过对管网数据进行拓扑结构分析,梳理出该区域内4座水质净化厂及其主干转输管道,并在主干管道上布设了25个监测点位,对其旱天的污水量数据进行分钟级监测。结合监测结果和泵站、水质净化厂的运行数据,得到该区域排水系统旱天污水的转输和处理关系。据此可知,第一、第二、第十水质净化厂均不能完全处理本厂服务范围内收集的污水,超量污水向下游第七八水质净化厂服务范围转输,使得该范围内管网高水位运行情况严重。最终,第七八水质净化厂无法消纳的污水通过泵站向系统外转输。

结合定量化监测结果,对4座污水厂污水收集和处理情况进行统计,结果见表1。

表1 东片、南片排水系统污水厂污水收集和处理情况  
Tab.1 Sewage collection and treatment of WWTPs in east and south drainage system

项目	服务面积/km <sup>2</sup>	收集污水量/(10 <sup>4</sup> m <sup>3</sup> ·d <sup>-1</sup> )	日均处理量/(10 <sup>4</sup> m <sup>3</sup> ·d <sup>-1</sup> )	现状规模/(10 <sup>4</sup> m <sup>3</sup> ·d <sup>-1</sup> )	转输水量/(10 <sup>4</sup> m <sup>3</sup> ·d <sup>-1</sup> )
第一水质净化厂	17.81	13.37	13.37	12	0
第十水质净化厂	20.78	11.49	10.60	15	0.89
第二水质净化厂	27.19	25.86	12.63	10	14.12
第七八水质净化厂	37.92	30.95	32.36	30	12.71
合计	103.70	81.67	68.96	67	12.71

4座水质净化厂均已满负荷或超负荷运行(第十水质净化厂受膜通量影响,已达到最大进水负荷),第十水质净化厂向第二水质净化厂转输污水0.89×10<sup>4</sup> m<sup>3</sup>/d,第二水质净化厂向第七八水质净化厂转输污水14.12×10<sup>4</sup> m<sup>3</sup>/d,整个区域向系统外转输

污水12.71×10<sup>4</sup> m<sup>3</sup>/d。从表1数据可判断,系统超量污水主要来自第二水质净化厂服务范围。

本案例结合数据和监测技术,定量化分析了昆明主城东片、南片排水系统的污水处理缺口及其来源,为降低污水厂旱天运行负荷,减少污水外排,同时考虑区域未来发展,提出了区域内新建20×10<sup>4</sup> m<sup>3</sup>/d规模的污水处理厂这一项目建议,体现了项目决策的集约性和科学性。

#### 3.2 入流入渗分区诊断

针对昆明主城东片、南片流量实测数据与人口数据对比,以及污水厂进水水质浓度较低这一现状,初步判断该片区内存在一定的入流入渗。为进一步识别入流入渗严重区域并量化其影响,在流量在线监测点位中同步开展水质采样和化验工作,在工作日和周末各选择一天,采集早、中、晚三个时间段的混合样,化验指标为COD。化验结果表明,源头小区出口污水的COD均值为247 mg/L,而各排水主干管内污水的COD值为82~124 mg/L,污水沿管网输送过程中水质指标下降明显,可定性判断片区内存在入流入渗。

当某片区存在外水入流入渗时,将表现出片区间下游节点的流量显著大于上游节点,同时下游节点的水质浓度低于上游节点这一特征。根据质量守恒定律,对该片区的污水量和污染负荷而言,存在以下两个等式:①本片区产生污水量+本片区外来水量+上游来水量=下游水量;②本片区产生污水量×源头污水浓度+本片区外来水量×外来水浓度+上游来水量×上游污水浓度=下游水量×下游污水浓度。通过网格化在线监测布点,可摸清片区上游各路来水以及片区下游的水量和水质浓度,并通过小区出口污水及地下水水质检测获得典型源头污水浓度和外来水浓度,由此可推算本片区产生的污水量与外来水量。

根据以上思路对昆明主城东片、南片的入流入渗情况进行分区诊断,并以入流入渗率(片区外来水量与片区总水量的比值)为指标绘制入流入渗分区诊断色块图,如图6所示。根据诊断结果,该片区内东北区域存在较为严重的入流入渗,约69.26 km<sup>2</sup>的区域入流入渗率超过50%。通过常规水质检测和在线监测结合的手段,识别出片区整治入流入渗需重点关注的区域,缩小了下一步精细化排查及修复改造的范围,体现了集约的特点。

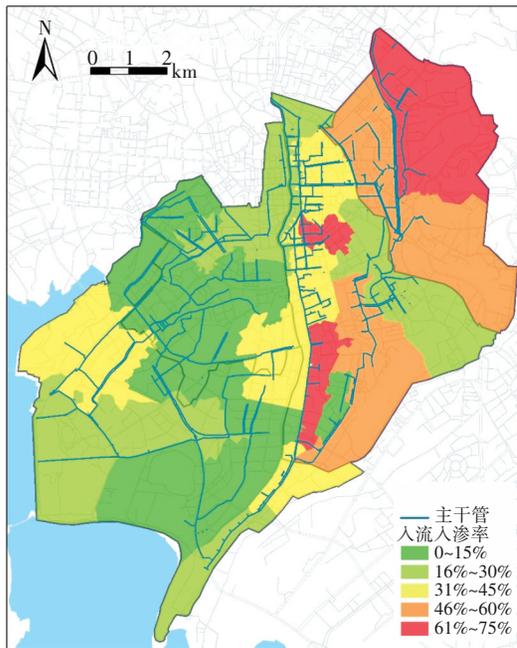


图 6 入流入渗分区诊断色块

Fig.6 Color block diagram of inflow and infiltration diagnosis result

### 3.3 新建污水厂效益评估

污水厂作为排水系统核心的末端处理设施,其对片区的污染负荷削减及对下游受纳水体的水质

提升都发挥着重要的作用。而传统的污水厂效益评估,受限于技术手段,往往只停留在污水厂自身对污染负荷的削减估算层面,缺乏系统性考虑。在昆明主城区北片区新建第十四水质净化厂的效益评估工作中,以管网数据和河道数据为基础,构建完整的陆域排水系统模型和水域河道模型,并以排口作为接口进行集成,建立了包含“厂-网-河”的全系统模型。基于“监测+模型”的技术手段,通过重点管段、排口、河道的在线监测对模型进行校核,并设计污水厂建设前后及不同建设规模等多个情景,最后利用模型模拟对污水厂效益进行系统性评估。

图 7 为第十四水质净化厂效益评估核心成果,对十四厂建成前、近期规模运行、远期规模运行 3 个情景进行了模拟。结果表明,该厂近期运行将削减 60% 的排口污染负荷,尾水排放负荷因处理水量增加而有所增加,但片区整体将削减 38% 的污染负荷排放。对应至下游受纳水体,盘龙江的水质指标将改善 12%。至远期运行阶段,可进一步削减 54% 的污染负荷排放,水体水质提升 22%。通过“监测+模型”的技术手段对新建工程进行效益评估,将工程建设后的影响进行量化,可减少工程决策的盲目性和风险性,提高评估结果的客观性和系统性。

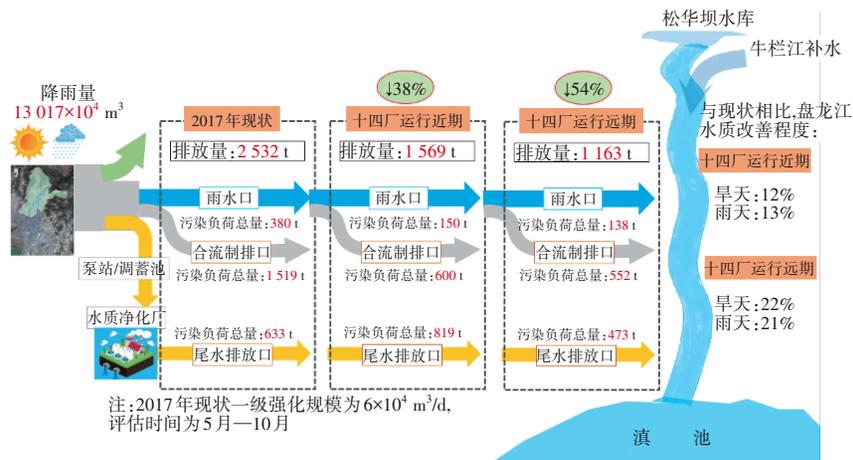


图 7 基于监测+模型的新建污水厂效益评估

Fig.7 Benefit evaluation of newly-built WWTP based on monitoring & model

## 4 基于提质增效的集约治滇未来方向

### 4.1 推进监测网络建设

基于以上分析,昆明主城区已经形成了监测网络建设的系统化体系,并从实际需求出发,在关键设施和点位逐步布设监测点位,但从整个排水系统的层面,目前的监测密度和监测指标还远不够支持

排水系统的智慧化管理,排水监测网络的建设应是未来持续推进的重要任务之一。具体而言,监测网络的建立需逐步对排放源、管网分支节点、管网主干节点、泵站及调蓄设施、污水厂等要素进行分级全过程监测。通过监测网络的持续建设和完善,将逐步实现以下功能和目标:

① 支持排水系统的现状评估和问题诊断。利用在线监测获得排水系统重要节点的实时监测数据,有助于时刻掌握系统运行状态,动态评估系统各方面性能指标,及时发现和定位系统存在的或新产生的问题。

② 支持排水系统的动态管控和长效管理。监测网络的建设完善实施,有助于积累研究区域内广覆盖、长时间、高精度的排水系统运行数据。这些数据可以在长时间尺度上有效评估排水系统的建设完善所产生的实际效果,形成直接的数据反馈,提高管理水平。

③ 提高排水系统运行的智慧化和决策的科学化水平。通过建立排水系统在线监测系统,能够支持系统在线的预报预警、大型排水系统模型的校验验证、排水系统的大数据研究与应用实践等工作,使得在排水系统管理工作中做到“用数据说话、用数据决策、用数据管理、用数据创新”成为可能,实现城市水环境管理的科学化与智能化。

#### 4.2 扩展模型应用场景

从排水系统模型的构建精度和应用深度考虑,模型的应用场景主要体现在以下3个方面:

① 实现排水系统的系统性评价。基于模型分层次建立综合评估指标体系及标准化计算流程,可动态评估排水设施的运行效能、瓶颈所在及提升潜力。

② 实现工程建设的科学决策。基于模型工具开展多情景模拟,对方案进行环境、经济效益比选,优化决策方案,降低决策风险。

③ 研究建立可靠的排水系统离线控制策略。通过模型模拟计算,建立离线策略分析对比模式,推荐优化调度方案并可在部分区域进行验证和优化,厘清在线控制潜力和真正可以操作的逻辑,为智能控制算法和流程在本地化的适应提供基础。

目前,昆明主城区已经基本构建了覆盖整个排水系统的模型,并在第①和第②方面进行了模型模拟分析的应用,取得了显著的成效。下一阶段,昆明市应持续推进模型的建设工作,丰富模型系统层次,提升模型计算能力,扩展模型应用场景,尤其针对提质增效工作,应重点开展调度策略的优化研究,利用模型工具从系统层面分析调度潜力和调度策略,考虑分解每个设施的具体调度变量和方法,并与整体策略制定和评估建立联动关系,得到能够

真正落地的优化调度策略。

#### 4.3 实现系统智慧运行

在关键排水设施完成自控改造、信息化系统建设基本完善的前提下,在设施数据准确可靠、监测网络基本建立、离线策略得到有效验证的基础上,可进一步开展排水系统实时控制策略研究和智慧平台建设。在具备条件的片区优先开展试点示范研究,建立具有实时预测和反馈优化能力的在线调度模型,并在智慧排水平台上建立调度策略和设施远程控制的联动关系,平台自动完成调度策略的应用,并通过监测网络对调度效果进行实时监控和评价,对调度策略形成反馈优化。进而,逐步将实时控制系统和智慧排水平台从试点片区推广至昆明整个排水系统,真正实现排水设施效能的充分发挥和排水系统的智慧化、集约化运行。

#### 5 结语

面对日益复杂的排水系统和日益提高的环境治理要求,传统的管理方式难以提供科学、准确、及时的规划或管理决策建议,基于集约治滇的理念,采取信息化手段支持排水系统的提质增效工作将越来越迫切。从这个目的出发,昆明主城区已初步形成以设施数据、在线监测、模型模拟为三大技术核心的信息化决策诊断体系,在新建/扩建工程决策中逐步发挥其优越性,体现出集约治滇的理念。

排水系统的提质增效和智慧化管理是一个高度复杂的系统工程,智慧排水是“上层建筑”,如果排水设施没有调度空间、设施装备不能健康自动地运行、排水系统数据不客观准确、排水系统的“眼睛”看不清、分析诊断没落地,那么花钱建立智慧控制系统就只是展示系统而已,实现不了智慧应用。因此,必须首先认识到现状和目标之间的差距,建立从现状到目标之间的科学路径,抓住主要矛盾,逐步推进和实现设施能力补充建设、运行水位有效控制、数据真实性保障、监测网络建设、模型应用扩展、设备自控改造、实时控制策略优化、智慧平台建设等各个环节,并不断进行迭代优化,最终才能真正实现排水系统的提质增效和智慧化管理。

将集约治滇的思路贯彻到排水系统建设管理工作并不是一蹴而就的,需要一个长期迭代改进的工作周期,需要领导决策者、分析管理者、研究设计人员与业务人员长期不懈的共同努力,才能逐渐补

齐短板,从系统结构、分析决策、运行管理等层面不断提高水平,最终实现排水系统提质增效,推动智慧治滇的集约化目标。

#### 参考文献:

- [1] 姚云辉,马巍,崔松云,等.滇池草海水污染治理工程措施及其防治效果评估[J].中国水利水电科学研究院学报,2019,17(3):161-168.  
YAO Yunhui, MA Wei, CUI Songyun, *et al.* Study on the engineering measures and prevention effect of Caohai water pollution in Dianchi Lake [J]. Journal of China Institute of Water Resources and Hydropower Research, 2019, 17(3): 161-168 (in Chinese).
- [2] 孙永利.城镇污水处理提质增效的内涵与思路[J].中国给水排水,2020,36(2):1-6.  
SUN Yongli. Connotation and way of quality and efficiency improvement of municipal wastewater treatment [J]. China Water & Wastewater, 2020, 36(2): 1-6 (in Chinese).
- [3] 唐建国,张悦,梅晓洁.城镇排水系统提质增效的方法与措施[J].给水排水,2019,45(4):30-38.  
TANG Jianguo, ZHANG Yue, MEI Xiaojie. Strategies and methods for improving the quality and efficiency of the urban drainage system [J]. Water & Wastewater Engineering, 2019, 45(4): 30-38 (in Chinese).
- [4] 刘双柳,徐顺青,陈鹏,等.城镇污水治理设施补短板现状及对策[J].中国给水排水,2020,36(22):54-60.  
LIU Shuangliu, XU Shunqing, CHEN Peng, *et al.* Current situation and countermeasures of municipal wastewater treatment facilities to strengthen the weak points [J]. China Water & Wastewater, 2020, 36(22): 54-60 (in Chinese).
- [5] 刘旦宇,蔡芸,王海玲.数据分析辅助河道水环境治理工程决策[J].城乡建设,2018(8):53-54.  
LIU Danyu, CAI Yun, WANG Hailing. Data analysis assists the decision-making of river water environment treatment projects [J]. Urban and Rural Development, 2018(8): 53-54 (in Chinese).
- [6] 罗贤伟.基于水力模型智慧排水工程设计与应用[J].净水技术,2020,39(10):43-48.  
LUO Xianwei. Smart drainage engineering design and application based on hydraulic model [J]. Water Purification Technology, 2020, 39(10): 43-48 (in Chinese).
- [7] 白喆,朱玉明,王鹏,等.基于厂网一体化运行模式的智慧排水一张图应用[J].城乡建设,2020(17):49-52.  
BAI Zhe, ZHU Yuming, WANG Peng, *et al.* One map application of smart drainage based on the integrated operation mode of factory and network [J]. Urban and Rural Development, 2020(17): 49-52 (in Chinese).
- [8] 鄢琳,荣宏伟,谭锦欣,等.“源-网-厂-河”一体化智慧排水系统的构建设计[J].给水排水,2021,47(3):150-154.  
YAN Lin, RONG Hongwei, TAN Jinxin, *et al.* Construction and design of pollution source-drainage pipe network-sewage treatment plant-urban river integrated intelligent drainage system [J]. Water & Wastewater Engineering, 2021, 47(3): 150-154 (in Chinese).
- [9] 徐晓梅,李跃勋,何佳,等.基于GIS的昆明主城区排水系统诊断研究[J].中国给水排水,2011,27(13):33-37.  
XU Xiaomei, LI Yuexun, HE Jia, *et al.* Research on diagnosis of drainage system in main urban area of Kunming based on GIS technology [J]. China Water & Wastewater, 2011, 27(13): 33-37 (in Chinese).
- [10] 赵冬泉,王浩正,陈吉宁,等.监测技术在排水管网运行管理中的应用及分析[J].中国给水排水,2012,28(8):11-14.  
ZHAO Dongquan, WANG Haozheng, CHEN Jining, *et al.* Application and analysis of monitoring technology in the operation and management of the drainage network [J]. China Water & Wastewater, 2012, 28(8): 11-14 (in Chinese).

作者简介:张旭东(1993-),男,浙江慈溪人,硕士,工程师,主要从事城市排水系统监测与模型诊断工作。

E-mail: zxd0703@126.com

收稿日期:2021-08-06

修回日期:2021-09-10

(编辑:衣春敏)