

DOI:10.3880/j.issn.1004-6933.2022.03.007

南方城市污水处理系统效能评估与提质增效策略制定

李一平¹, 郑可¹, 周玉璇¹, 唐春燕¹, 陈霞², 伍彬¹, 李金华¹, 温慧峰³, 蒋海砖³

(1. 河海大学环境学院, 江苏 南京 210098; 2. 江苏省水土保持生态环境监测总站, 江苏 南京 210012;
3. 南宁市勘测设计院集团有限公司, 广西 南宁 530022)

摘要:以华南地区某污水处理厂为例,依据排水分区进行水量水质效能评估,结果表明污水处理厂服务范围的主要问题为管网建设不完善与污水系统外水入侵严重,晴、雨天重点片区外水入渗率分别达21%、54%。结合管网排查资料,确定各分区主次问题,提质增效的重点为清污分离。提出污水系统评价应水量和水质并举、整体和局部并重,才能有效识别污水系统提质增效的主攻方向,制定相应策略。

关键词:污水系统;提质增效;效能评估;外水入侵;清污分离

中图分类号:X52 **文献标志码:**A **文章编号:**1004-6933(2022)03-0050-08

Efficiency evaluation of a sewage system and strategy formulation of quality and efficiency improvement in city of Southern China//LI Yiping¹, ZHENG Ke¹, ZHOU Yuxuan¹, TANG Chunyan¹, CHEN Xia², WU Bin¹, LI Jinhua¹, WEN Huifeng³, JIANG Haizhuan³ (1. College of Environment, Hohai University, Nanjing 210098, China; 2. Jiangsu Province Water and Soil Conservation and Ecological Environment Monitoring Station, Nanjing 210012, China; 3. Nanning Exploration & Survey Institute, Nanning 530022, China)

Abstract: Taking a sewage treatment plant in south China as an example, the evaluation of water quality and efficiency was carried out according to the drainage zone. The results show that the main problem in the service scope is the incomplete construction and serious external water invasion of the sewage system, where the water infiltration rate accounts for 21% and 54% respectively in sunny and rainy days. Combined with the information of comprehensive drainage network investigation, the priority and severity of problems in each district are determined. The current focus of improving the quality and efficiency of urban system is to separate the clean water and the wastewater. It is suggested that we should pay attention to both water quantity and quality, both the whole and part in the evaluation of sewage system, so as to effectively identify the main direction for improving the quality and efficiency of the sewage system and formulate corresponding strategies.

Key words: sewage system; quality and efficiency improvement; efficiency evaluation; external water invasion; separation of clean water and waste water

近年来,随着我国城市化进程的不断推进,城镇污水处理设施逐渐完善,污水处理能力显著提高,城市水环境质量不断改善,但合流制溢流、雨后河道黑臭等现象仍然普遍存在,污水处理厂进水浓度低、实际收集率低、运营成本高、污水系统问题频繁出现^[1-3]。根据统计,截至2019年,全国5476座城镇污水处理厂中,37.5%的污水处理厂进水 $\rho(\text{COD}) < 150 \text{ mg/L}$,污水处理量显著提升,但进水COD浓度却下降

了15%^[4]。大量外水混入是污水处理厂进水浓度低的主要原因之一。张建文^[5]的研究表明,广东梅州城区污水处理厂常年 BOD_5 进水浓度低于 40 mg/L ,大量外水混入污水管网,生活污水未得到有效收集;岳桢铎等^[6]指出部分北方城市由于地热水排入管网,供暖期污水处理厂进水量上升,进水浓度显著下降。污水系统晴天生活污水输送至污水处理厂COD的削减率高达50%~60%^[7-8],严重超出理论削减率^[9-10]。外

基金项目:国家自然科学基金重点项目(52039003);江苏省研究生科研与实践创新计划项目(422003123);中央高校建设世界一流大学(学科)和特色发展引导专项资金项目;广东省重点研发项目(2019B110205003)

作者简介:李一平(1978—),男,教授,博士,主要从事水环境数学模型研究。E-mail:liyiping@hhu.edu.cn

水入侵已成为全国各地污水系统的普遍现象^[11-15],污水管网壅水、溢流,高水位运行等诸多系统症结频发^[16-17],污水处理厂进水浓度低、运行效率低下^[18]。

为了提高城市生活污水集中收集效能,补齐污水管网等设施短板,为解决当前城市水环境问题提出新方向,2019年中华人民共和国住房和城乡建设部(以下简称住建部)、生态环境部和国家发展改革委员会(以下简称三部委)联合发布《城镇污水处理提质增效三年行动方案(2019—2021年)》。文件以“基本消除城市黑臭水体”为目标,以污水处理厂进水 BOD₅浓度为考核指标,尽快实现污水管网全覆盖、全收集、全处理。本文以华南地区某市污水处理系统为例,对污水处理厂进水浓度偏低的问题进行诊断分析,以期明确南方城市当前污水处理系统提质增效的主攻方向,“对症下药”,提出合理的应对策略。

1 研究区概况与提质增效总体思路

1.1 研究区概况

该市地处我国西南边陲,位于广西中部邕江两岸,地形地貌以平原、丘陵为主。其水资源丰富,河流水系发达。降水较为丰富,多年平均降水量为 1441 mm,存在明显的季节分布不均、干湿季分明的现象,雨季(4—9月)降水量占全年的 70%~85%,5—8月易出现强降雨情况,其强降雨日数占全年降雨日数的 70%左右^[19]。

本研究选取的污水处理厂(以下简称 W 厂)位于该市中心城区的西侧,总服务面积为 198.2 km²,服务人口 164 万人。区域城市地块类型较为复杂,以居民生活用地为主,且工业企业较多。区域共建设有 1 座污水处理厂和 9 座污水提升泵站,厂区于 2019 年 8 月完成扩建,污水处理规模由原先的 48 万 m³/d 提升至 72 万 m³/d。

W 厂服务范围涵盖城市新老城区,排水体制为分流制与截流式合流制并存。随着近年来雨污分流改造工作的进行,目前分流制覆盖面积约占总服务面积的 80%。但由于管网错接混接^[20]等一系列原

因,污水处理厂进水 $\rho(\text{BOD}_5)$ 均值仅为 60 mg/L,高水位运行等现象始终未得到有效解决,系统性问题亟待协调梳理。在三部委提质增效工作意见指导下,该市开展了该污水处理厂“一厂一策”的提质增效实施方案,对其污水系统进行系统摸排、效能分析与问题诊断,力求通过一系列工程措施完成污水处理厂提质增效。

1.2 提质增效总体思路

提质增效方案制定的主要步骤包括资料收集、数据分析、片区诊断和措施实施。基于污水系统水量水质数据,把握整体污水问题,明确当前污水系统提质增效主攻方向,结合现状管网普查资料,深入剖析各排水分区紧迫性,“对症下药”,完成关键问题的整治与管理。技术路线见图 1。

a. 资料收集。基础资料主要包括 3 个部分:研究区域内各排水户水表月供水量数据、工业源普查数据(排水水量水质参数)、污水提升泵站与污水处理厂长序列进出水量水质数据和现有排水管网普查资料。

b. 数据分析。采用控制单元^[21]划分方法划分污水处理厂服务范围。结合区域内的河网水系、地块性质等实际情况,以污水处理厂、污水提升泵站和污水主管为节点,划定多级控制单元。基于人口和供排水量水质数据,计算所划分的各级控制单元的管网水量效能与负荷效能,计算公式分别如下:

$$\eta_1 = \frac{Q_w}{Q_r} \times 100\% \tag{1}$$

$$\eta_2 = \frac{P_{Lw}}{P_{Lr}} \times 100\% = \frac{Q_w C_w / 100}{P_{Er} D_{PL} + N_{工业}} \times 100\% \tag{2}$$

式中: η_1 为控制单元水量效能; Q_w 为该控制单元节点(污水处理厂、污水泵站或污水干管)收集到的污水量; Q_r 为该控制单元实际产生的污水量,包括工业废水和生活污水,生活污水用供水表数据折算得到,工业废水以工业源普查数据为准; η_2 为控制单元负荷效能; P_{Lw} 为控制单元节点收集到的污水污染负荷,以 COD 和 NH₃-N 为主要研究对象; P_{Lr} 为控制单元实际产生的污染负荷; C_w 为控制单元节点进

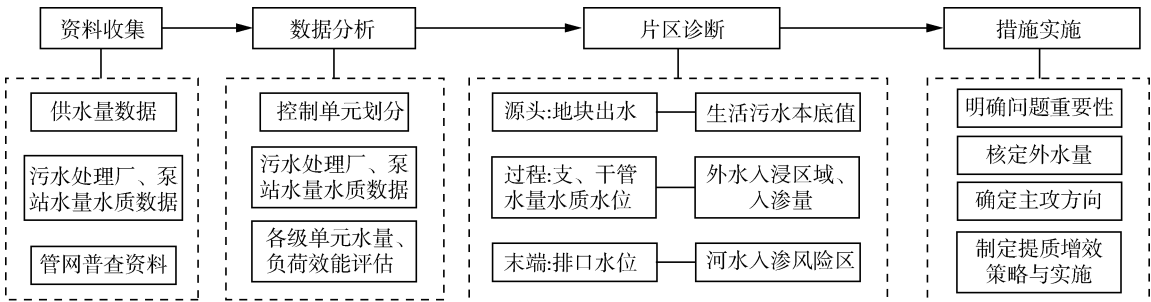


图 1 技术路线

Fig.1 Technical route

水水质浓度; P_{Er} 为用水人口; D_{PL} 为人均污染物排放量(基于第一次全国污染源普查结果^[22]), COD 和 NH_3-N 分别取 $62g/d$ 、 $8.4g/d$; $N_{工业}$ 为各工业源产生的污染负荷,利用工业源普查数据计算得到。

c. 片区诊断。根据效能评估结果对控制单元污水系统问题进行定性分析,确定收集与输送环节的整体管网情况,对各个控制单元开展“源头-过程-末端”全过程详查,通过 3 级管网水量、水质、水位连续监测,确定各管段污水水质基本情况。源头监测是对区域不同用水类型地块出水进行水质监测,确定区域生活污水水质本底值情况;过程监测包括片区 3 级管网水量水质监测与重点干管长序列加密监测,借助各种入渗入流计算方法,定位外水入侵严重片区,确定外水类型;末端监测为雨水、污水排口水位水量监测,彻查管网错混接情况下的河水倒灌与污水直排现象。

d. 措施实施。根据排查结果,从收集、输送、提升、处理各环节采取并具体的工程措施与非工程措施,并结合效能评估结果,明晰各控制单元污水系统主要矛盾,确定主要问题点位与整改优先次序。

2 结果与分析

2.1 效能评估结果与问题诊断

本文对片区内 2019 年 1 月至 2020 年 4 月各用水户水表数据以及同时期的污水提升泵站、污水处理厂进水水量水质数据进行分析,选取 COD、 NH_3-N 作为主要水质分析指标。以污水提升泵站和污水主管服务区为节点,将污水处理厂服务范围分成 11 个排水分区,详见图 2。

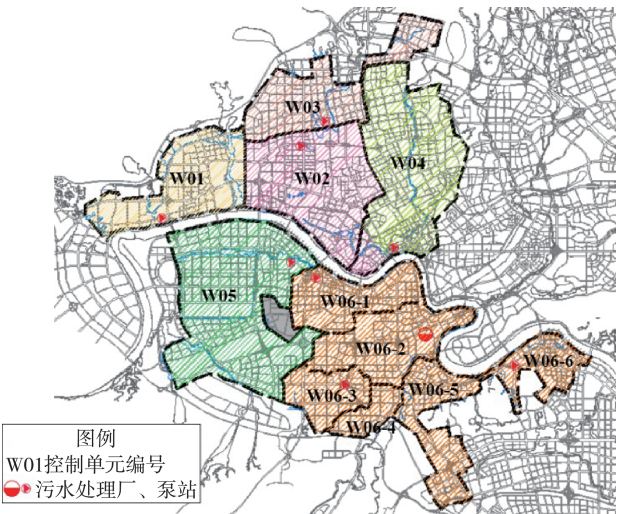


图 2 污水处理厂服务范围与控制单元划分
Fig. 2 Layout of a sewage collection area and control unit division

以污水处理厂实际进水量水质数据为依据,2019 年 1 月至 2020 年 4 月研究区内污水处理厂水

量效能均大于 100%,月平均值达 160.3%。由此可知,污水处理厂实际进水量远大于污水产生量,污水处理厂收集了大量的外水,外水混入现象严重。对于负荷效能, COD 平均负荷效能为 83.8%, NH_3-N 平均负荷效能为 94.9%,污水处理厂基本完成了对收水范围内污染物的收集。

对污水处理厂服务区域内各级控制单元水量水质效能分别进行计算(表 1),相较于污水处理厂整体水量水质效能,各控制单元水量、负荷效能差异巨大。以负荷效能与水量效能之比是否大于 1 为基准,可将所有控制单元分为高负荷(比值大于 1)和低负荷(比值小于 1)两种,则高负荷片区仅有 W06-2 和 W06-4,其余皆为低负荷片区。

表 1 各级控制单元收集效能均值 单位: %
Table 1 Average efficiency of each control unit unit: %

控制单元	水量效能	COD 效能	NH_3-N 效能
W01	50.86	27.41	31.65
W02	191.60	83.57	101.10
W03	174.95	37.53	42.65
W04	160.40	159.90	142.00
W05	105.80	59.77	68.89
W06-1	222.10	156.30	177.10
W06-2	74.77	99.19	104.70
W06-3	56.44	33.16	36.26
W06-4	163.50	169.00	195.90

高负荷片区 W06-2、W06-4 负荷效能达水量效能的 1.1 ~ 1.4 倍,两个片区应有大量高浓度工业废水未计入统计,致使污染负荷产生量计算值过小,负荷效能远大于 100%; W06-2 水量效能尚未达 100%,该片区还存在收水不完全的问题。

对于低负荷片区可再细分为低水量低负荷片区和高水量低负荷片区,前者是单纯的管网建设不完善,未收到实际产生的污水,导致污水直排,污水处理厂无法有效发挥收集处理功能;而后者低负荷反映的却是排水管网汇入了大量低浓度外水,管网输水能力降低,产生了高水位运行、污水外溢和污染物沿程沉降加快等现象。从当前效能数据来看, W 厂范围内高水量低负荷片区分布最广, W03 分区水量与水质效能差距可达 5 倍,管网问题极为突出。

2.2 片区排查

外水入侵是造成研究区污水处理厂进水浓度低、运行负荷高的问题根源。为进一步明确各片区污水管网主要问题,对整个污水处理厂服务范围内开展“源头-过程-末端”的水量、水质、水位监测,同时配合管网排查和监测,确定主要问题与外水入侵主要来源与水量。以 W 厂高水量低负荷的典型分区 W02 为例,进行片区排查诊断。

a. 源头。为核定研究区域地块出水水质特征,于2020年3—9月开展研究区域内典型排水户地块出水水质加密监测,主要包括重点工业企业、行政事业单位、居民生活、商服营业4种类型,按照收水范围实际用水量占比选择各类型地块数量,总计地块112处,采样在旱天进行,水质监测指标为COD和 $\text{NH}_3\text{-N}$ (表1)。在居民生活地块中,考虑城中村地块人口构成、内部环境和排水设施的差别^[23],选取了8个城中村作为特别关注监测类型。监测结果表明,工业企业、城中村、居民小区、商服营业、行政事业单位出水中 $\rho(\text{COD})$ 均值分别为381.4 mg/L、325.6 mg/L、255.6 mg/L、242.4 mg/L和219.9 mg/L。除工业用水和城中村外,其余类型排水COD质量浓度均低于江苏省提质增效目标值260 mg/L,污水水质在源头处已呈现过低的趋势,地块内部存在外水入侵的可能性。

b. 过程。选取污水干管A线作为重点监测对象。A线长约1.5 km,沿线布置共6个水质监测点,监测历时2个月。每天采集3次水样,分别于中午(12:00—14:00、用水高峰)、傍晚(16:00—18:00、用水低峰)和夜间(20:00—22:00、用水高峰)3个时段进行。A线污水水质与液位变化情况见图3,图3(a)是水质沿程变化情况,而图3(b)是液位随时间变化情况。通过上下游节点流量的监测,各水质特征因子^[24]比选, $\text{NH}_3\text{-N}$ 作为测算结果数据最为稳定,旱天该管段的入渗量在120~180 m³/h,外水(地下水)入渗占比为15%~21%。由图3(b)可以看出,雨后两天(7月29—30日)管网液位未下降,持续贮存大量雨水,由此可以判断该片区管网存在明显的雨污混接现象,计算得到入渗率(地下水、雨水)为32%~54%,单位长度管道最大入渗量可达为7600 t/km,雨水对当前分流系统影响显著,分流改造未产生效果。

c. 末端。由于研究区排水体制为合流制、分流制交错,河岸沿线存在众多不同类型的排水口,而沿河截污系统又与河道排口相连,存在河水倒灌风险。根据排口水位的排查与监测,共有244个排水口底标高低于河道常水位(总计排口1282个),而高水量低负荷片区W01、W02和W03河水淹没排口占比均在25%以上,河水倒灌风险较大,因此河水是这3个片区外水的主要来源之一。

2.3 污水系统整治方案

综合考虑各控制单元具体情况,现阶段研究区的关键问题是管网系统外水入渗整治,亟待对污水系统进行完善、修复与改造,现阶段整治工程可分为源头、过程与末端3部分,主要治理措施如下:

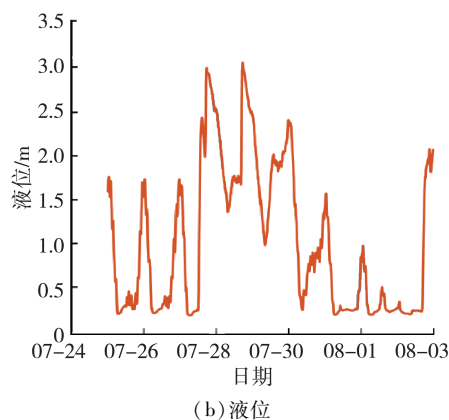
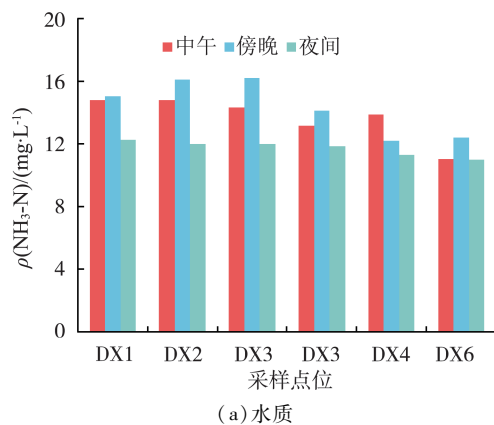


图3 污水干管A线水质、液位变化情况

Fig. 3 Variation of water quality and water level in sewage pipeline A

a. 源头。进一步开展源头内部的管网排查,地块内部的管网错混接也是外水入侵的重要原因,尤其是居民小区^[25-26],源头内部应明确排水户出水水质和化粪池设置对出水水质的削减作用,逐步采取整改措施,考虑到地块外部的管网体制,宜从新城区外部已分流的小区与行政单位开始。

b. 过程。由于规划与改造工程脱节,城市排水管网可能会出现排水体制“分-合”交错的情况,实际上污水系统仍表现为合流制,因此雨污分流改造未发挥功效^[27]。W02、W04分区分流管网中存在一段合流暗渠,大量河水通过暗渠汇入污水系统,清污不分,稀释污水浓度。开展暗渠清污分离工程是提升分区管网效能的关键,建议在暗渠上游沿岸铺设污水截污干管,禁止污水直排入渠,并在后期打开暗渠,还原生态渠道。同时,根据已统计的排水管网错接混接状况,建议优先对W02、W03、W04、W05和W06-1分区的现状错混接点进行整治。

c. 末端。选定W02、W03和W05分区作为排口河水倒灌问题调查对象。完善排口档案,对于有高风险河水倒灌排口,加建单向拍门。研究区域内沿河居民排水口较多,总计518个,主要分布于

W01、W02、W04 和 W06-1 分区。建议对这 4 个分区优先实施污水接管工程,重点整治城中村污水未接管现象,封堵沿河居民排口,将两岸老旧小区、城中村居民生活污水接管至周边市政污水管。

3 讨论与建议

3.1 污水系统评价指标的合理选择

污水设施覆盖率、污水收集率、污水处理率一直作为我国污水处理系统评价的重要指标^[25-26],评价市政基础设施的覆盖与普及情况,评估污水是否有效得到收集。2010 年,住建部颁布了《城镇污水处理工作考核暂行办法》,其中主要考核的指标包括设施覆盖率与城镇污水处理率,2017 年新办法更新了污染物收集效能的评估。可见关注重点逐渐由“水量比”转变为“水质比”。实质上,这反映出过去利用污水处理率评价城市污水收集效率存在明显的问题。污水处理率只能体现当前污水处理厂收集处理水量与污水排放量的关系,由于污水系统入渗入流现象普遍存在,计算得出的数值往往会偏大,一定程度上掩盖了污水管道建设、运营与维护中存在的问题^[22]。在当前国内污水管网问题繁多的背景下,单用“水量比”无法衡量污水系统收集效率。

国际污水收集、处理评价指标相对清晰,联合国统计司采用“污水收集系统服务人口比例”(population served by municipal waste collection)来评价污水收集与处理水平,即污水处理设置覆盖人口占城市总人口的比例,该指标利用人口统计数据,从实际需求出发评判城市污水处理设置与运行情况,含义简洁清楚,易于推广。近年来,我国提质增效的相关文件也提出了类似指标,许多城市已采用向污水处理厂排水的城区人口与城区用水总人口的比值计算污水收集率。因为统计污水收集系统服务人口是较为困难的,向污水处理厂排水的城区人口由污水处理厂收集的生活污染物总量和人均日生活污染物排放量之比计算得出。采用这种指标,在一定程度上可以规避入渗入流现象对计算污水系统收集指标的影响。

本研究在整体污水系统效能评价过程中,通过水量和水质的综合评判,可以更为有效地反映污水系统的整体运行问题。对收集范围广、管网与泵站建成年代跨度大的污水系统,不同片区很可能会呈现完全不同的问题,而制定的提质增效策略也会有不同侧重,因此对排水分区的合理划分与分别评价是综合评判过程中的必要环节。

虽然各项单一的污水系统指标在规划和监管中发挥了重要作用,但当前对污水系统的诊断需

要更充分且全面的比较,污水处理量的提升空间已相对有限,但污水系统高效运行仍是整个水行业需要不断追求的目标。因此,进一步规范城市基础数据统计体系和寻求新的监管指标成为重要研究方向^[28]。

3.2 提质增效的核心思路与策略要点

污水处理系统提质增效旨在通过工程与非工程性措施解决排水系统收集效能低下的问题,实现污水的全收集与高效能削减,这些均需要一个健康且完善的排水管网,即“核心在管网”^[29-30]。只有摸清排水管网自源头至末端各环节的主要问题和严重程度,分清主次,重点突破,对症下药,才能发挥最大效益。经过 3 年的持续关注,当前提质增效工作已积累了大量经验^[31-32],参考当前国内的污水系统现状,提出以下几点提质增效的核心思路与策略要点。

a. 对污水系统各环节的水量水质监测是提质增效方案的优先环节。只有形成污水分区收集从源头至末端的系统评价,才能确定污水提质增效的主攻方向与主要环节。借助现有监测数据,优先对重要节点进行效能评估,初步确定问题最严重的区域,优先开展该范围的加密三级管网监测,核定污水收集与水质削减的主要原因。在现有的一些提质增效工程案例中,排查和监测仅局限于支干管,而缺少全面的、源头至末端的污水系统监测。只有找准重点问题段,才能在有限的投入下产生最大效益。如果水质削减主要发生在污水干管,可能通过监测数据对外水混入点定量定位^[33];如果水质削减主要发生在排水户至市政管网的源头地块内,那么在输送环节的细致工作对整体效能提升并无显著作用,此时应重点考虑对地块内部管网的排查、修复与改造。值得注意的是,当前城市居民用水习惯的变化造成人均产污量与源头排水水质的降低^[34],因此地方化的污水提质考核指标才更具实际意义和可操作性^[35],同时,居民节水意识的培养与节水器具设施的普及也应作为提质增效可考虑的措施。

b. 合理区分并推行清污分离与雨污分流是提质增效方案的重要环节。不论南北地区,外水入侵都是国内污水系统普遍存在的问题,而分流与合流的排水体制并非外水入侵严重程度的评价标准之一。雨水只是众多外水中的一种,尤其在降水量相对较小且更为集中的北方,供暖水、浴室水等低浓度废水可能才是外水的主要类型。因此,不论何种水文气象条件与排水体制,管网的缺陷、错接、混接与上下游管理的脱节才是外水入侵的主要原因,整治的关键在于对现状管网的排查与管护,让清水、污水

各行其道。其次,在黑臭水体整治工作中许多城市对出流排口采取了设置溢流堰与末端截污的措施^[1, 36],但也造成了雨水污水前部分流、后部合流,污水系统实质上表现为截流式合流制。上游的雨污分流工程如火如荼地开展,而下游截流工程让一切功亏一篑。因此,雨污分流工作不应局限于新建雨水、污水管,而应全面认清当前管网系统的现状,因地制宜开展片区式的雨污分流改造^[37],明确合流制与分流制系统的边界。最新的 GB 50014—2021《室外排水设计规范》,已不再对分流改造作强制要求,态度由“一刀切”转变为视情况而定,可以预见的是,清污分离将逐渐取代雨污分流成为污水系统更为关键的整治工程。

c. “厂(站)-网-河”一体化管理体制建立与健全是提质增效的必由之路。在水环境治理持续发力、治水要求不断提高的过程中,统筹规划和全要素管理是流域水环境综合治理至关重要的一点^[38-39],只有打破以往各环节割裂、“头疼医头、脚痛医脚”的思想桎梏,建立“厂(站)-网-河”一体化管理体系,才能解决当前国内污水系统“多而不精、广而不深”的现状^[40]。在现行河长制制度不断深化的背景下,利用现有工作基础一体化的管理不单是要求对工程项目统一规划、建设、运行和维护管理,而应打通污水系统收集、输送、提升、处理各环节,加强日常的运行调度,对设备的运行维护数据进行统计分析;形成以分区监测和全过程水量水质水位监测为基础的城市水环境信息化管理平台,实现对排水管网的动态监控;明确建管并重的原则,落实排水监管组织机构建设与日常维护制度,推行即查即改^[41]的管网排查机制,确保污水系统的良性运行。

4 结 论

a. 典型南方城市地下水位较高,降雨充沛,管网高水位运行情况普遍。污水处理厂进水 BOD_5 质量浓度均值仅 60 mg/L,水量效能均值为 160.3%, COD 负荷效能为 83.83%,污水处理厂收集率虚高,部分区域收集率低于 50%,污水未得到有效收集。3 级管网建设不完善与外水入侵严重是污水系统的主要问题,重点片区旱天外水入渗占比约 20%,雨天可高达 50%。清污分离不到位是造成污水处理厂进水浓度低、运行负荷高的根本原因。

b. 提质增效策略的制定有赖于全面的污水系统评价体系与监测过程,单从污水处理厂运行数据分析很可能会以偏概全,难以对问题进行精确定位。当前对污水系统的诊断需要更多自源头至末端、全

面且精细的比较与分析。

c. 优化和完善研究区的管网系统、开展系统性外水排查是当前提质增效策略的主攻方向。污水系统运作模式的改变是现代管理体制的必然要求,秉持建管并重的原则,强化工程措施和机制建设同步推进;逐步建立“厂(站)-网-河”一体化管理机制,才能确保系统健康高效运行。

参考文献:

- [1] 徐祖信,徐晋,金伟,等. 我国城市黑臭水体治理面临的挑战与机遇[J]. 给水排水, 2019, 55(3): 1-5. (XU Zuxin XU Jin, JIN Wei, et al. Challenges and opportunities of black and odorous water body in the cities of China[J]. Water & Wastewater Engineering, 2019, 55(3): 1-5. (in Chinese))
- [2] 李俊奇,周金成,杨正,等. 合流制溢流控制指标与标准制定研究[J]. 水资源保护, 2021, 37(1): 124-131. (LI Junqi, ZHOU Jincheng, YANG Zheng, et al. Study on control indicators and standard formulation of combined sewer overflow [J]. Water Resources Protection, 2021, 37(1): 124-131. (in Chinese))
- [3] 季永兴,刘水芹. 苏州河水环境治理 20 年回顾与展望[J]. 水资源保护, 2020, 36(1): 25-30. (JI Yongxing, LIU Shuiqin. Review and prospect of Suzhou Creek water environment treatment in 20 years[J]. Water Resources Protection, 2020, 36(1): 25-30. (in Chinese))
- [4] 李兰娟,钱言,陈天放,等. 我国南方地区城镇污水处理厂进水低浓度原因分析及对策建议[C]//中国环境科学学会 2021 年科学技术年会论文集. 天津:中国环境科学学会, 2021.
- [5] 张建文. 梅州城区污水处理提质增效工作实践与思考[J]. 城市住宅, 2021, 28(7): 135-136. (ZHANG Jianwen. Practice and thinking of improving quality and efficiency of sewage treatment in Meizhou urban area[J]. Urban Dwelling, 2021, 28(7): 135-136. (in Chinese))
- [6] 岳桢镭,李一平,唐春燕,等. 北方城市冬季供暖水排入对污水处理厂的水质水量影响分析[J]. 给水排水, 2021, 57(3): 44-48. (YUE Zhenwu, LI Yiping, TANG Chunyan, et al. Analysis on the influence of heating water discharged into the wastewater treatment plant in Northern cities' winter[J]. Water & Wastewater Engineering, 2021, 47(3): 44-48. (in Chinese))
- [7] 郑凯凯,周振,周圆,等. 城镇污水处理厂进水中地下水、河水及雨水混入比例研究[J]. 环境工程, 2020, 38(7): 75-80. (ZHENG Kaikai, ZHOU Zhen, ZHOU Yuan, et al. A quantitative study on proportion of groundwater, river water and rainwater in influent of urban wastewater treatment plants [J]. Environmental Engineering, 2020, 38(7): 75-80. (in Chinese))
- [8] 孙丽萍,李玲玲,王爱华,等. 某市城区污水管网水

- 质变化规律[J]. 净水技术, 2019,38(3):15-20. (SUN Liping, LI Lingling, WANG Aihua, et al. Variation regularity of water quality in an urban sewer network[J]. Water Purification Technology, 2019,38(3):15-20. (in Chinese))
- [9] 金鹏康, 王斌. 城市污水管网对水质的生化改善特性[J]. 环境工程学报, 2016,10(7):3401-3408. (JIN Pengkang, WANG Bin. Improvement in biodegradability of wastewater quality in urban sewer system[J]. Chinese Journal of Environmental Engineering, 2016, 10 (7): 3401-3408. (in Chinese))
- [10] 金鹏康, 郝晓宇, 王宝宝, 等. 城市污水管网中水质变化特性[J]. 环境工程学报, 2015,9(3):1009-1014. (JIN Pengkang, HAO Xiaoyu, Wang Baobao, et al. Characteristics of water quality variation in sewer networks [J]. Chinese Journal of Environmental Engineering, 2015,9(3):1009-1014. (in Chinese))
- [11] 翁晟琳, 李一平, 卢绪川, 等. 台州市生活污水处理厂设计水量中雨水混入比例研究[J]. 水资源保护, 2017,33(4):75-79. (WENG Shenglin, LI Yiping, LU Xuchuan, et al. Study of rainwater mixing rate of design water quantity at domestic sewage treatment plants in Taizhou City[J]. Water Resources Protection, 2017,33(4):75-79. (in Chinese))
- [12] 王凯, 李一平, 赖秋英, 等. 沿海地区污水处理厂雨水混入率对设计规模的影响[J]. 水资源保护, 2020, 36(3):76-82. (WANG Kai, LI Yiping, LAI Qiuying, et al. Influence of rainwater mixing rate on design scale of sewage treatment plant in coastal area [J]. Water Resources Protection, 2020, 36 (3): 76-82. (in Chinese))
- [13] 沈盼. 南昌市污水处理厂进水浓度偏低原因分析及对策[J]. 中国市政工程, 2012(1):24-25. (SHEN Pan. A cause analysis on lower inflow concentration of Nanchang sewage treatment plant & countermeasures[J]. China Municipal Engineering, 2012 (1): 24-25. (in Chinese))
- [14] 李田, 张善发, 时珍宝. 上海市排水管道的地下水渗入量测评[J]. 中国给水排水, 2003(7):12-15. (LI Tian, ZHANG Shanfa, SHI Zhenbao. Evaluation on ground water infiltration capacity into Shanghai sewerage system [J]. China Water & Wastewater, 2003(7):12-15. (in Chinese))
- [15] 刘旭辉, 张金松, INIAL Goulven. 深圳市排水系统地下水渗入量初步研究[J]. 中国给水排水, 2013,29(3):77-79. (LIU Xuhui, ZHANG Jinsong, INIAL Goulven. Groundwater infiltration in Shenzhen drainage system[J]. China Water & Wastewater, 2013,29(3):77-79. (in Chinese))
- [16] 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))
- [17] 胡和平, 陈德业, 闫超, 等. 污水管网高水位运行工况下的截污方案探讨[J]. 给水排水, 2019,55(4):50-55. (HU Heping, CHEN Deye, YAN Chao, et al. Discussion on sewage interception under high water level operating condition of sewage system [J]. Water & Wastewater Engineering, 2019, 55 (4): 50-55. (in Chinese))
- [18] 樊玲凤, 胡家忠, 欧亮. 城市污水处理厂进水浓度偏低原因分析及对策研究[J]. 环境科学与管理, 2016, 41(3):132-135. (FAN Lingfeng, HU Jiazhong, OU Liang. Research on low inlet concentration of urban sewage treatment plant and countermeasures [J]. Environmental Science and management, 2016,41(3):132-135. (in Chinese))
- [19] 秦雅琪. 南宁市城区雨水径流污染特征研究[D]. 南宁:广西大学, 2018.
- [20] 王海英, 李顺安, 韩乐, 等. 南宁市排水管道健康状况评估分析[J]. 给水排水, 2020,56(5):132-137. (WANG Haiying, LI Shunan, HAN Le, et al. Evaluation and analysis of health status of drainage pipelines in Nanning[J]. Water & Wastewater Engineering, 2020,56(5):132-137. (in Chinese))
- [21] 陈世勇. 基于控制单元划分的茅洲河流域水环境现状分析与水质预测研究[D]. 深圳:深圳大学, 2016.
- [22] 白桦, 刘广奇, 张志果, 等. 基于污染物当量的城市污水处理效率评价方法研究[J]. 给水排水, 2018,54(11):20-25. (BAI Hua, LIU Guangqi, ZHANG Zhiguo, et al. Evaluation method research of municipal wastewater treatment system efficiency based on pollutant load [J]. Water & Wastewater Engineering, 2018,54(11):20-25. (in Chinese))
- [23] 段庄, 陈诗浩, 姚娟娟, 等. 珠海浅丘地区城中村合流制排水的水量和水质特征[J]. 中国给水排水, 2020,36(13):101-105. (DUAN Zhuang, CHEN Shihao, YAO Juanjuan, et al. Wastewater quantity and quality characteristics of combined sewer system in urban village in shallow hilly region of Zhuhai City[J]. China Water & Wastewater, 2020,36(13):101-105. (in Chinese))
- [24] 郭帅, 张土乔, ZHU D Z. 地下水渗入排污管道的定量方法[J]. 中国给水排水, 2013,29(4):21-25. (GUO Shuai, ZHANG Shiqiao, ZHU D Z. Quantitative methods for groundwater infiltration into sewer system[J]. China Water & Wastewater, 2013, 29 (4): 21-25. (in Chinese))
- [25] 刘丽靓. 2025 年全国城市生活污水集中收集率力争达 70% 以上[EB/OL]. [2021-06-21] <https://www.sohu.com>.

- [26] 乔岩石. 关于污水处理提质增效指标选取和主要措施的思考[J]. 安徽建筑, 2021, 28(7):99-100. (QIAO Yanshi. Reflections on the selection of indicators and main measures for improving quality and efficiency of sewage treatment[J]. Anhui Architecture, 2021, 28(7): 99-100. (in Chinese))
- [27] 姚澄宇. 我国城市水污染现状剖析与对策初探[J]. 给水排水, 2010, 46(增刊1):138-143. (YAO Chengyu. Analysis of current situation and countermeasures of urban water pollution in Chinese cities[J]. Water & Wastewater Engineering, 2010, 46(Sup 1):138-143. (in Chinese))
- [28] 高晨晨, 孙永利, 刘钰, 等. 国际常用污水处理指标及其适用性分析[J]. 给水排水, 2019, 55(11):38-41. (GAO Chenchen, SUN Yongli, LIU Yu, et al. Analysis of international commonly used indicators of wastewater treatment and its applicability in China[J]. Water & Wastewater Engineering, 2019, 55(11): 38-41. (in Chinese))
- [29] 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, 55(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, 55(4):30-38. (in Chinese))
- [30] 唐建国. 工欲解黑臭必先治管道:《城市黑臭水体整治——排水口、管道及检查井治理技术指南》解读[J]. 给水排水, 2016, 52(12):1-3. (TANG Jianguo. In order to solve the black odor, the workers must first treat the pipeline; interpretation of *Urban Black Odor Water Body Regulation; Drainage Outlet, Pipeline and Inspection Well Treatment Technical Guide*[J]. Water & Wastewater Engineering, 2016, 52(12):1-3. (in Chinese))
- [31] 张甫娜. 南方沿海某市污水收集系统提质增效对策研究[D]. 哈尔滨:哈尔滨工业大学, 2019.
- [32] 邢玉坤, 曹秀芹, 柳婷, 等. 我国城市排水系统现状、问题与发展建议[J]. 中国给水排水, 2020, 36(10): 19-23. (XING Yukun, CAO Xiuqin, LIU Ting, et al. Current status, problems and development suggestions of urban drainage system in China [J]. China Water & Wastewater, 2020, 36(10):19-23. (in Chinese))
- [33] 徐祖信, 王诗婧, 尹海龙, 等. 污水管网中雨水混接来源的高效诊断方法[J]. 同济大学学报(自然科学版), 2017, 45(3): 384-390. (XU Zuxin, WANG Shijing, YIN Hailong, et al. Cost-effective locating inappropriate rainfall inflow into urban sewer network[J]. Journal of Tongji University(Natural Science), 2017, 45(3):384-390. (in Chinese))
- [34] 曹业始, ABEGGLEN Christian, 刘智晓, 等. 改造当前国内污水管网需要综合考虑的四个因素[J]. 给水排水, 2021, 57(8):125-137. (CAO Yeshi, ABEGGLEN C, LIU Zhixiao, et al. Integrated considerations of the four factors to improve and upgrade current sewer systems in China[J]. Water & Wastewater Engineering, 2021, 47(8):125-137. (in Chinese))
- [35] 夏青. 城镇污水处理厂污染物排放标准修改完善的思考[J]. 水资源保护, 2020, 36(5):22-23. (XIA Qing. Thoughts on revision and perfection of pollutant discharge standards for urban sewage treatment plants [J]. Water Resources Protection, 2020, 36(5):22-23. (in Chinese))
- [36] 刘云帆, 栗玉鸿, 孔烨, 等. 基于清污分流的丘陵地区城镇污水提质增效方法与实践[J]. 中国给水排水, 2021, 37(8):107-113. (LIU Yunfan, LI Yuhong, KONG Ye, et al. Methods and practices of quality and efficiency improvement of municipal wastewater treatment in hilly areas based on water sewage diversion[J]. China Water & Wastewater, 2021, 37(8):107-113. (in Chinese))
- [37] 张莉萍. 城镇污水处理提质增效主要措施分析与建议[J]. 资源节约与环保, 2021(6):88-89. (ZHANG Liping. Analysis and suggestions on main measures to improve quality and efficiency of urban sewage treatment [J]. Resources Economization & Environmental Protection, 2021(6):88-89. (in Chinese))
- [38] 罗小林, 尹长文, 张国新, 等. 北京市水环境现状及流域综合治理措施[J]. 水资源保护, 2021, 37(5): 140-146. (LUO Xiaolin, YIN Changwen, ZHANG Guoxin, et al. Water environment status and comprehensive management measures of watershed in Beijing[J]. Water Resources Protection, 2021, 37(5):140-146. (in Chinese))
- [39] 贾先文, 李周. 流域治理研究进展与我国流域治理体系框架构建[J]. 水资源保护, 2021, 37(4):7-14. (JIA Xianwen, LI Zhou. Research progress of watershed governance and construction of Chinese watershed governance system framework [J]. Water Resources Protection, 2021, 37(4):7-14. (in Chinese))
- [40] 史玉成. 流域水环境治理“河长制”模式的规范建构:基于法律和政治系统的双重视角[J]. 现代法学, 2018, 40(6):95-109. (SHI Yucheng. The normative construction of the “river-director” system for watershed environment governance: from the two-fold perspectives based on legal and political systems [J]. Modern Law Science, 2018, 40(6):95-109. (in Chinese))
- [41] 沈小华, 齐国辅, 耿宏, 等. 管网异常(水质浓度低)排查技术路线和案例分析[J]. 中国给水排水, 2021, 37(4):97-100. (SHEN Xiaohua, QI Guofu, GENG Hong, et al. Technical route and case analysis of drainage network abnormality investigation for low water quality concentration[J]. China Water & Wastewater, 2021, 37(4):97-100. (in Chinese))