

DOI:10.19853/j.zgjsps.1000-4602.2023.16.020

基于监测评估的北方丘陵城市污水提质增效研究

郭紫波, 栗玉鸿, 吕红亮, 张思家, 张可慧, 张世和
(中规院<北京>规划设计有限公司 生态市政院, 北京 100044)

摘要: 以黄河流域某丘陵城市为例,针对其污水系统收集效能不足的现状,构建了以水量核算法和水质参数对比法为技术支撑的监测评估体系,定量分析外水侵入风险。监测评估结果表明,研究区内源头生活污水BOD₅为350.0~750.0 mg/L,总体较高;雨季入渗污水系统的雨水不足旱季污水量的4%;局部沿河敷设的污水系统中河水、地下水等外水入侵率超过了60%。基于评估结果,提出了适合北方干旱区山地丘陵城市的污水提质增效主要手段,包括“修管网、治错接、改干管”等技术对策,可为其他城市污水系统提质增效提供参考。

关键词: 提质增效; 排水系统; 智慧监测

中图分类号: TU992 **文献标识码:** B **文章编号:** 1000-4602(2023)16-0116-08

Research on the Quality and Efficiency Improvement of Municipal Wastewater Treatment in Northern Hilly City Based on Monitoring and Evaluation

GUO Zi-bo, LI Yu-hong, LÜ Hong-liang, ZHANG Si-jia, ZHANG Ke-hui,
ZHANG Shi-he

(Ecological Municipal Institute, CAUPP Beijing Planning & Design Consultants Ltd., Beijing
100044, China)

Abstract: Taking the mountainous and hilly city in the Yellow River basin as an example, in view of the current situation of insufficient collection efficiency of sewage systems, a monitoring and evaluation system based on the water quantity accounting method and the water quality parameter comparison method is constructed to quantitatively analyze the intrusion risk of external water. The monitoring evaluation results show that the BOD₅ concentrations of the source domestic sewage in the study area range from 350.0 to 750.0 mg/L, which are generally high. The rainfall infiltrated into the sewage system is less than 4% of the sewage in the dry season. The intrusion rate of external water such as river water and ground water in the sewage system laid along the river exceeds 60%. Based on the analysis results, the main means including technical countermeasures such as pipeline modification, pipeline reconstruction and the main pipe system improved, are put forward for the mountainous and hilly cities in the northern arid region, which can provide references for the quality and efficiency improvement of other urban sewage systems.

Key words: improve quality and increase efficiency; drainage system; intelligent monitoring

截至2018年底,我国城镇污染负荷收集率仅为61%,污染负荷收集率偏低是导致我国城市水环境污染风险增加的重要因素^[1]。城镇排水系统污染物

减排效能低下是我国大部分城市建成区面临的实际问题,为此住房和城乡建设部、生态环境部和发展改革委2019年4月联合印发了《城镇污水处理提质增

效三年行动方案(2019—2021年)》。高效收集处理污水是解决城市水环境污染问题的重要举措,因此污水提质增效等工作目前正在很多城市积极推进^[2]。科学梳理城镇污水处理设施效能低下的“真问题”,因城施策,合理确定提质增效整治措施和技术手段已成为行业广泛研究的热点问题。

关于污水提质增效的方法相关学者已进行了大量探讨,但当前已开展的污水管网提质增效研究多聚焦于降雨频密且雨量充沛的南方地区^[3-8],针对北方干旱少雨地区污水提质增效的研究较少,且缺乏对污水BOD₅等关键水质指标从源头至末端收集过程的系统分析及对比分析。对于北方丘陵城市而言,由于地形起伏大,主要沿河谷敷设排水干管,导致其受外来水冲击的风险较高。以大兴安岭山脉中段某县级市为例,该山地丘陵城市2020年城市生活污水收集率仅8.53%,显著低于国家目标要求。因此,亟需开展此方面的研究,这对我国北方类似城市科学诊断排水系统污水收集效能不足的具体原因、厘清污水提质增效工作重点以及优化污水系统具有重要意义。

以北方山地丘陵地区典型城市O市为研究对象,基于水质水量快速监测评估,并结合排水系统智慧监测平台的监测数据,综合诊断城市排水系统运行效能低下的关键原因,提出黄河流域典型山地丘陵地区污水提质增效的具体措施,可为其他类似城市提供经验参考。

1 项目概况

1.1 区域概况

研究区域中心城区建成区面积共计172 km²,地势海拔为1 220~1 552 m,地形以丘陵为主,起伏变化大,大量冲沟发育期间,大都属季节性河流,汛期7月—9月径流量占全年径流量的50%~70%。该地为典型的干旱半干旱大陆性气候,年降雨量不足400 mm,降雨多集中在夏季,可达全年总降水量的65%以上。中心城区地下水埋深为0.3~30 m,河谷底部埋深较浅,山梁高地埋深较深。

1.2 排水系统

该市中心城区污水处理设施分布情况见表1。中心城区共有4座污水处理厂,污水处理能力合计18.1×10⁴ m³/d,服务人口达83.72万人。受山地丘陵地形地势影响,目前中心城区范围内共有污水泵

站32座,设计规模为(0.1~3.3)×10⁴ m³/d。

表1 O市中心城区污水处理设施统计

Tab.1 Statistics of sewage treatment facilities in central urban area of O City

区域	污水厂名称	设计规模/ (10 ⁴ m ³ · d ⁻¹)	服务人口/万人	建成区 面积/ km ²	污水提 升泵站/ 座
东胜区	北郊污水厂	10.0	57.42	78	26
	南郊污水厂	2.5			
康巴什区	康巴什污水厂	3.0	11.88	40	2
阿镇片区	阿镇污水厂	2.6	14.42	54	4

中心城区现状排水体制分布见图1。东胜区包西铁路以东片区为老旧城区(以下简称铁东片区),铁东片区早期建设的污水管网受经济技术条件限制,主要为合流制排水管渠,存在不同程度破损、断接等问题。近年来铁东片区通过开展棚户区提升改造、旧城区污水管网改造、污水泵站及压力管线提升改造等举措,市政道路已基本实现了雨污分流,但源头排水户仍存在较多合流片区,排水体制总体为合流制。东胜区包西铁路以西片区(以下简称铁西片区)及东胜铜川片区、中心城区南侧康巴什区和伊金霍洛旗阿镇片区建设年代相对较新,排水体制为分流制。

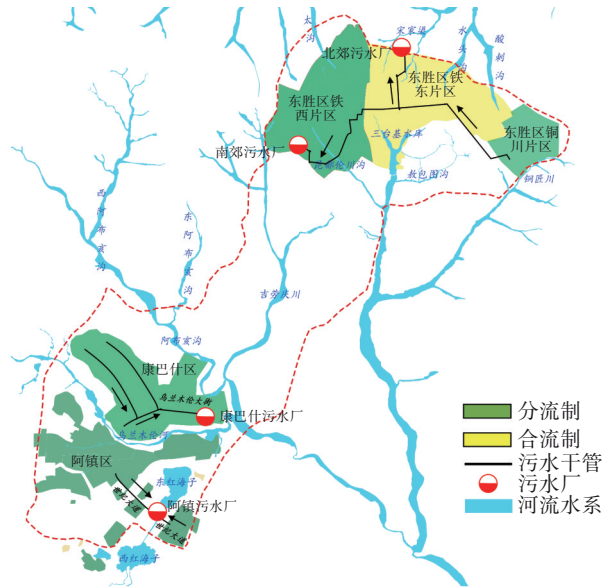


图1 中心城区现状排水体制分区

Fig.1 Division of current drainage system in central area

东胜区铁东片区及铜川片区的污水,经泵站提升后由宋家渠上游东侧支流沿河敷设的两根

DN1 200污水干管重力流输送至北郊污水厂,东胜区铁西片区污水主要输送至南郊污水厂。乌兰木伦河以北的康巴什区污水经局部提升后,由乌兰木伦大街 DN600~DN800污水主干管由西向东重力流输送至康巴什污水厂。乌兰木伦河以南的阿镇区污水经污水泵站提升后,由世纪大道 DN800~DN1 200污水主干管重力流输送至阿镇污水厂。

1.3 排水系统运行效能

根据《内蒙古自治区污水提质增效三年行动工作目标》要求,该市2021年底前污水处理厂的进水BOD₅要达到200 mg/L,生活污水集中收集率要达到70%。2018年—2020年中心城区4座污水厂的进水水质见表2。

表2 中心城区污水厂2018年—2020年进水水质
Tab.2 Influent quality of WWTPs from the central area in 2018–2020 $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$

污水厂名称	BOD ₅			COD		
	2018年	2019年	2020年	2018年	2019年	2020年
北郊污水厂		161.07	169.57	374.96	371.02	328.79
南郊污水厂	158.27	159.22	160.96	293.17	214.39	281.64
康巴什污水厂	259.98	308.69	271.97	518.17	569.04	561.58
阿镇污水厂		289.94	411.59	626.94	576.67	703.35

截至2020年底,东胜区老城区北郊污水厂、南郊污水厂进水BOD₅均低于200 mg/L。结合生活污水厂运行台账,对中心城区生活污水的集中收集率进行测算,结果表明中心城区生活污水集中收集率不足60%,距离2021年的目标值仍存在较大差距。

为诊断识别排水系统运行效能不足的问题,CCTV、QV隐患排查及水质水量监测等技术手段被广泛使用,然而O市中心城区现状排水管网总长度合计超过1 800 km,开展全面排查及监测的成本较高。按照兼顾经济性和代表性的原则,结合智慧排水系统有效的在线监测数据开展水量平衡分析,并制定以BOD₅等水质参数对比法为核心的“源头-过程-末端”快速监测方案,精准识别问题片区,以便快速识别诊断提质增效核心问题。

2 数据采集及研究方法

2.1 水量数据

主要是通过测算理论排水量,结合排水系统智慧监测平台的污水提升泵站、污水厂等主要设施旱季和雨季实际运行数据及降雨监测数据进行综合

诊断分析。

2.2 水质监测点

根据研究区域内污水处理厂、泵站和排水管网的拓扑连接关系,依据系统性、代表性、覆盖性、经济性和可行性的基本原则,按照“源头-过程-末端”的布点思路,在源头排水户、市政污水主干管网及泵站转输管线的关键节点、污水厂等布置水质监测点位。

① 源头排水户。为准确获取研究范围内排水户源头的污水污染物浓度,在东胜区、康巴什区和阿镇片区分别选取典型居民小区、公共建筑等源头排水户,原则上选取入住率为90%以上的排水户在化粪池后开展连续监测。

② 主要污水泵站。为筛选具有代表性的污水泵站节点,除了在流量较大的污水提升泵站布置监测点外,基于排水系统智慧监测平台的污水泵站水量在线监测数据及污水泵站日常运行台账的分析结果,补充选择外水入侵风险较高的污水泵站作为重点监测对象。

③ 关键管道节点。选择污水主干管道交汇处、支管接入流量较大或沿河敷设主干管网的检查井作为重点监测对象。

④ 污水厂。监测点主要布置在厂前的污水检查井内。

2.3 监测方法

采样时间:所有管网、泵站及污水处理厂节点的采样均为同步采样,采样时间段为2021年8月14日—15日,该采样时间段为旱季,48 h前无降雨。

采样频率:由于管网水质在一天不同时刻变化较为显著,因此针对管网、泵站类水质监测点连续采样1 d,每天早、中、晚各采一次,每个点位共3个样品;排水户采用的水质监测频率为每2 h采样1个,每处各采样8个。

检测指标:《城镇排水管网在线监测技术规程》中提出,提质增效重点关注城镇污水处理厂的进水BOD₅浓度,聚焦污水提质增效目标,本研究区域的水质指标主要采用BOD₅,部分关键点位开展COD、NH₃-N、TP等指标检测。

水样采集原则上采用流动性污水,每批次采样结束后,将水样及时送回实验室在4℃以下冷藏避光保存并及时进行分析,确保运输过程符合中国计量认证(CMA)检测的样品保存要求,采用国标法进

行COD、BOD₅、NH₃-N和TP等水质指标的测试。

3 监测结果及问题诊断

3.1 排水户污水排放规律分析

因为排水户排出污水的BOD₅是决定污水厂进水BOD₅的关键,因此对研究区内旱天排水户的污水排放规律进行分析。

基于智慧排水系统在线监测平台中排水户连续6个月在线监测的分钟级数据,分析典型小区排水户旱天连续7 d的流量变化曲线,如图2所示。可见,排水户旱天流量特征曲线变化规律较为一致,每日均有2次流量高峰,分别出现在07:00—12:00与17:00—21:00附近,污水排放特征符合居民生活用水习惯。

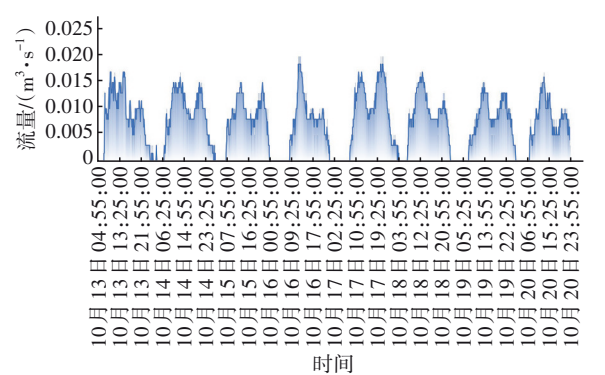


图2 生活污水水量排放规律
Fig.2 Regular pattern of the sewage discharging

被检测的胜达、博源柳河湾、阳光新城及秀水蓝天等小区的生活污水BOD₅加权浓度分别为399.0、654.0、419.0和493.0 mg/L,其日变化规律如图3所示。居民生活污水BOD₅总体在350.0~750.0 mg/L范围内波动,其中中午和晚间出现了两个高峰时段,变化规律与排水规律较吻合,这与居民就餐、排

便等生活行为密切相关。值得注意的是,0市居民生活污水的BOD₅污染负荷总体偏高。这与相关文献研究报道一致,朱信成等^[9]对包头市居民生活污水研究发现,生活污水COD高达600~1 500 mg/L,而其特有的餐饮文化和生活习惯是造成该区域生活污水污染物浓度偏高的重要原因。

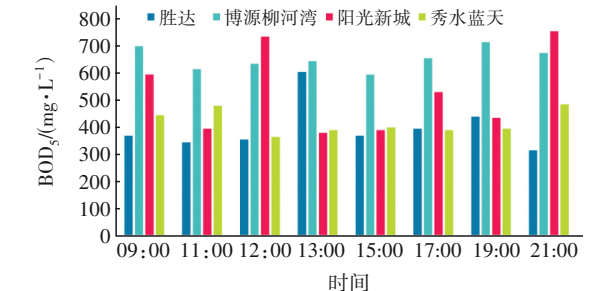


图3 小区生活污水水质变化规律
Fig.3 Regular pattern of the domestic sewage quality obtained from the studied communities

3.2 基于监测评估的关键问题诊断分析

针对区域流域的水文地质、水资源、供排水设施运行现状等基础情况,首先识别侵入污水系统的外水主要为地下水或河水径流,一方面在外水地下水水位较高、排水设施建设年代久远的区域,旱季外水通过排水管网缺陷点进入污水系统;另一方面在合流管网或混错接严重区域,旱季外水通过雨水系统进入污水系统。其次,汛期雨水在合流制片区或分流制混错接区域对污水系统造成一定冲击。经核实,其他外水如河水倒灌、政策外水、再生水管网或供水管网爆漏等对污水处理厂进水浓度的影响较小。

3.2.1 外水侵入风险区识别(水量核算法)

统计各片区外水侵入情况如表3所示。

表3 基于水量的污水系统外水核算结果

Tab.3 Estimation results of external water based on wastewater quantity of sewage treatment system

区域	污水收集处理设施	实测日均污水量/ (m ³ ·d ⁻¹)	入侵率/%	入渗量/ (L·hm ⁻² ·s ⁻¹)	备注
东胜区	科教园区泵站	2 907	≤15	0	铁西新城区
	1号泵站	22 061	15~40	0.03	铁东老旧城区
	规划6号泵站	13 336	15~40	0.02	铁西新城区昆都伦沟沿河截污泵站
	2号泵站	4 342	15~40	0.02	铁东老旧城区
	4号泵站	8 499	>60	0.25	铁东老旧城区三台基水库沿河截污泵站
	5号泵站	6 754	>60	0.15	铁东老旧城区三台基水库沿河截污泵站
	12号泵站	1 924	≤15	0	铁东新建片区
	东胜区污水厂	63 340	15~40	0.01	
阿镇区	阿镇污水厂	20 863	15~40	0.01	
康巴什区	康巴什污水厂	14 079	≤15	0	

由表3可知,入渗量较大的区域主要为东胜区4号和5号泵站。这两处泵站均为东胜区三台基水库周围沿河截污泵站,受附近水系及地下水水位影响较大。外水入侵率的核算,主要依据研究区内2020年日均售水量数据,依据本地污水专项规划,按照产污系数为0.8测算理论污水量,再对比2020年智慧排水系统在线监测平台中污水收集处理设施连续6个月的旱季分钟级在线监测流量数据进行核算。

核算结果表明,东胜区和阿镇区的整体外水入侵率均超过了15%,分别为19%、23%,而康巴什区不足15%,且东胜区4号和5号泵站的入渗量均超过了 $0.15 \text{ L}/(\text{hm}^2 \cdot \text{s})$ 。我国地下水入渗水量可按平均日综合生活污水和工业废水总量的10%~15%计^[10],因此研究范围内入渗率超过15%区域应优先开展管网排查及修复,主要包括东胜区老旧小区4处截污泵站、东胜区铁西新城1处沿河截污泵站及阿镇区范围。此外,德国水协DWA标准规定入渗水量 $>0.15 \text{ L}/(\text{hm}^2 \cdot \text{s})$ 的应采取措施减少入渗,为此研究区内客水入渗较为严重的东胜区4号和5号泵站服务范围应作为优先排查修复区域的重点。

3.2.2 外水侵入风险识别(水质参数对比法)

东胜区污水系统水质监测结果如图4所示。监测结果表明,研究区内外水侵入风险较高的主要为昆都伦沟东侧截污干管7号监测点和8~15号监测点之间的准格尔路沿河截污干管管段。7号采样点 BOD_5 为 $37.0 \sim 40.0 \text{ mg/L}$,显著低于南郊污水厂 BOD_5 ($370.0 \sim 385.0 \text{ mg/L}$),经核实该管段倒灌风险较小,但旱季河水、地下水从破损管道、检查井渗漏进入污水管网的风险较高。东胜区8号监测点 BOD_5 平均为 458 mg/L ,经准格尔路沿河2.7 km截污干管后汇入15号监测点北郊污水厂, BOD_5 平均下降至 373.0 mg/L 。Kmma等^[11]研究表明,在 15°C 时管道内污水COD的衰减速率为 $20 \text{ mg}/(\text{L} \cdot \text{h})$,可折算为 BOD_5 衰减速率为 $10 \text{ mg}/(\text{L} \cdot \text{h})$,按北郊污水厂进水流量及管道管径测算厂前管道内平均流速为 $0.3 \sim 0.6 \text{ m/s}$,据此计算8~15号监测点运输过程中 BOD_5 衰减量为 $12.5 \sim 25.0 \text{ mg/L}$,显著低于8号与15号点的 BOD_5 浓度差(85.0 mg/L),表明准格尔路段存在一定的外水侵入风险。此外,4号泵站与5号泵站受外水入侵,对9号与8号采样点之间的 BOD_5 带来一定下降风险。

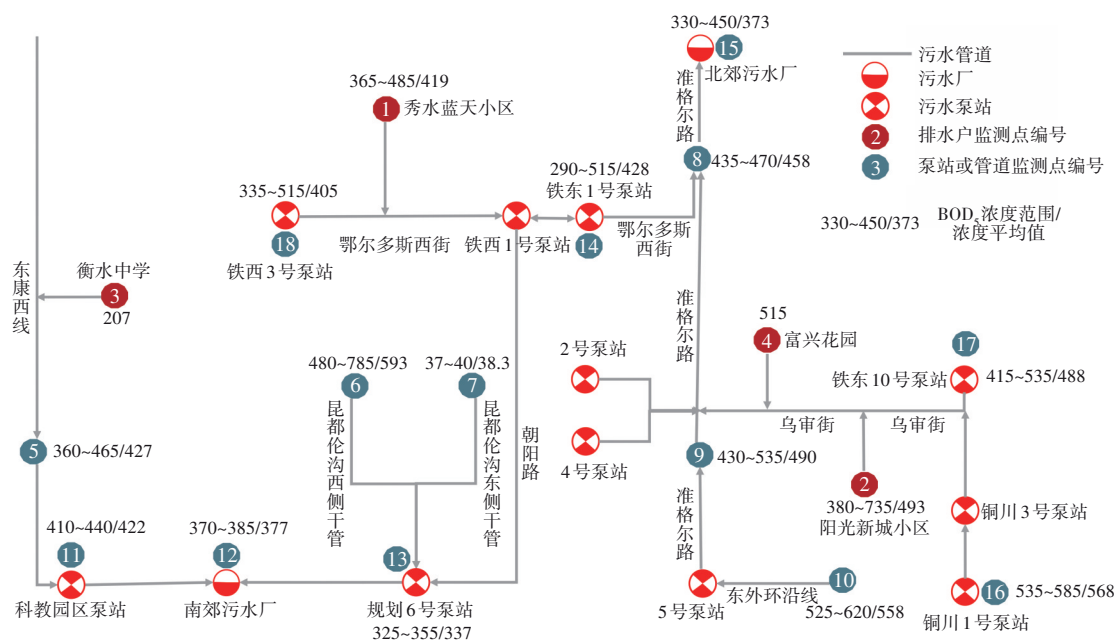


图4 东胜区污水系统 BOD_5 沿程变化

Fig.4 Change of BOD_5 of sewage treatment system at Dongsheng district

康巴什区污水系统水质监测结果如图5所示。监测结果表明,监测点4与6之间的乌兰木伦大街(萨拉乌苏路—乌仁都西路)段存在外水侵入风险。

根据监测结果,康巴什区现状污水管网中的 BOD_5 水平基本维持在 400.0 mg/L 以上,但乌兰木伦大街6号监测点的 BOD_5 波动范围为 $265.0 \sim 310.0 \text{ mg/L}$,平

均值为289.0 mg/L。经摸排调查,该研究区域内地下水水位为0.3~30 m,乌兰木伦大街污水干管的管道埋深为3~5 m,考虑到乌兰木伦大街(萨拉乌苏路—乌仁都西路)段污水主干管靠近乌兰木伦河敷设,地下水埋深相对较浅,外水侵入风险相对较高。

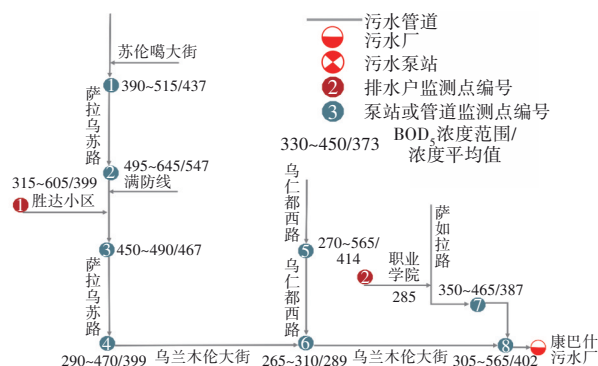


图5 康巴什区污水系统BOD₅沿程变化

Fig.5 Change of BOD₅ of sewage treatment system at Kangbashi district

阿镇区污水系统水质监测结果如图6所示。监测结果表明,监测点6~7以及监测点7~8之间的世纪大道污水主干管存在外水侵入风险。该研究区污水管道内BOD₅为425.0~630.0 mg/L,但阿镇污水厂的BOD₅平均浓度仅377.0 mg/L,经核实,世纪大道安达路—阿镇污水厂段以及世纪大道滨海东路—阿镇污水厂段污水主干管均穿过了西红海子排洪渠,河水、地下水径流等可能是造成该区域BOD₅平均浓度下降的主因。

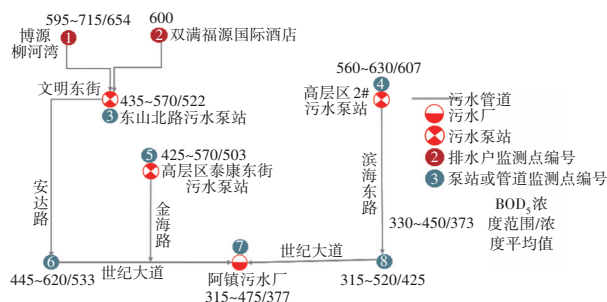


图6 阿镇区污水系统BOD₅沿程变化

Fig.6 Change of BOD₅ of sewage treatment system at Aleteng town

3.2.3 雨水侵入风险评估

Bennet^[12]研究表明,降雨流量回归法是预测降雨入流入渗量(RDII)的最准确方法,即通过比较雨天和旱天的流量监测数据计算场次降雨的入流入

渗量,再将研究区内单位面积入流入渗量和降雨量进行回归分析,评估区域内降雨入流入渗的严重程度。选取2019年—2020年研究区内有效场次降雨,结合污水厂监测数据得到拟合结果(见图7),相关系数均在0.9以上。

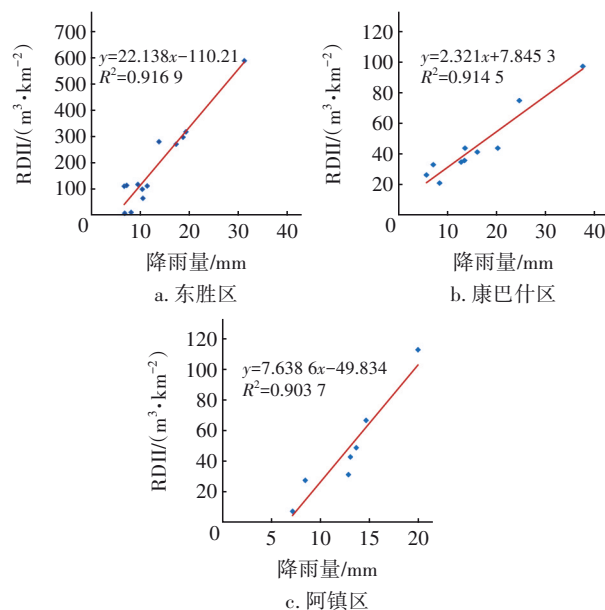


图7 雨水入流入渗分析

Fig.7 Analysis of rain inflow and infiltration

图7(a)拟合结果表明,东胜区内1 km²汇水面积内的管网,每增加1 mm降雨会导致管网中入流入渗量约增加22.14 m³,主要是因为东胜区现状多为合流制排水体制。图7(b)和图7(c)拟合结果表明,康巴什区和阿镇区内1 mm/km²降雨量对应的入流入渗量分别约为2.32 m³和7.64 m³,这表明康巴什区和阿镇区存在一定的混接和雨污分流不彻底的问题。O市干旱少雨,年平均降雨量仅为368 mm,据此测算中心城区范围内每年入渗污水系统的雨水不足旱季污水量的4%,可见雨水不是O市外水侵入的主要类型。但值得注意的是,旱天地下水或河水经合流制片区或分流制混错接片区,由雨水系统进入污水系统是研究区域面临的主要问题,排水体制的优化及混错接改造工作对于黄河流域干旱少雨的类似城市仍然具有重要作用。

4 污水提质增效关键技术措施

基于监测评估的问题诊断结果,围绕“修管网、治错接、改干管”三个方面提出具体的提质增效技术措施与方法。

4.1 管网摸排修复挤渗水

结合水质水量监测评估结果,划定近期管网隐患排查重点区域,包括东胜区昆都伦沟周围11.2 km²、三台基水库周围11.6 km²及污水厂前污水干管1.8 km²范围,康巴什区乌兰木伦大街周围3 km²和阿镇区世纪大道周围5 km²范围。研究区域内管网排查工作以污水提质增效为目标导向,重点聚焦外水渗漏及接入点、管道破损渗漏等缺陷点、雨污混接调查等内容。先通过水质水量风险评估识别重点区域再实施综合排查,能够有效降低监测范围,成本仅为全面排查的1/6。规划在近期排查的基础上,远期再逐步实施全域管网排查。

在此基础上,基于水质参数对比分析结果,实施重点管段修复,包括东胜区D600~1 200 mm重点管段12.4 km、康巴什区D600~800 mm重点管段6.0 km,阿镇区D1 000~1 200 mm重点管段3.4 km。

4.2 错接分流改造控外水

基于外水侵入风险评估分析结果,为降低合流区或分流制混错接区域地下水、河水等外水侵入污水系统,提出符合当地实际、成效显著的分流改造模式,主要包括源头和市政道路改造。

源头分流改造主要结合城市更新、老旧小区改造等工作同步开展,以水质水量评估的外水侵入高风险区为优先改造区域,按照“干一片、成一片”的原则分批次实施。东胜区老城区合流制片区现状分布有31处平房区、56处混接小区,结合干旱少雨的气候条件以及老城区地下空间不足的特征,源头改造推荐采用不完全分流排水体制,单设污水收集管道,结合竖向调整优化,落实海绵城市要求,采用路面、线性边沟等地面空间排除雨水。康巴什区、阿镇区等分流制片区重点针对现状14处混接小区实施源头改造,并以建筑小区和市政管道接驳口为改造重点,实现彻底分流。

市政道路的混错接改造工作主要结合管网排查修复工作同步实施。荷兰经验^[13]表明,连接分流制排水管网中,5%的错接是难以避免的,这一经验也符合O市的实际情况。本案例以污水提质增效为目标导向实施管道错接改造时,首先依据排水管道混错接管径、混接流量、混接水质科学评估混接程度等级,再按照以下原则开展错接改造:优先开展重度混接点的改造,优先开展雨水管网接入污水系统的管网改造,优先实施外水侵入风险较高区域的

错接改造,据此测算近期可优先实施水岸街等14 km排水管网的错接改造。

4.3 河谷截污干管改造提效能

沿河谷敷设的截污干管地下水水位埋深较浅,外水侵入风险较高,加上山地坡度大,汛期降雨径流冲刷严重,垃圾杂质等进入截污系统,导致旱季污水管道高水位、低流速运行,由此产生的颗粒物沉降是污水厂进水污染物浓度低的重要原因。为提升截污效能,河谷截污干管改造类型主要分为三类:第一类主要采取管网修复减少地下水或河水补给地下水进入污水系统;第二类为因地制宜减少连接沿河截污主干管的过河支管,降低外水侵入风险;第三类为在支管道接入点合理布置沉砂、格栅等附属设施,降低管网淤积风险。近期重点针对昆都伦川沟截污干管、宋家渠上游东侧支流等外水侵入高风险区管道实施系统改造。

5 结语

① 研究案例表明,受山地丘陵地形条件约束,污水干管系统沿河敷设,地下水水位相对较高,导致河水、地下水等外水侵入污水系统风险增加,局部截污系统的外水入侵率超过了60%。此外,降雨对污水厂进水浓度影响相对较小,每年入渗污水系统的雨水不足旱季污水量的4%。

② 为精准定位问题区域,采用水量核算法和水质参数对比法可有效地定量化识别外水侵入风险区域,缩小排查范围,作者提出的技术方法对污水提质增效的问题快速诊断识别有一定的普适性,可为其他城市提供经验参考。

③ 旱天地下水或河水经合流制片区或分流制混错接片区,由雨水系统进入污水系统是研究区面临的主要问题,排水体制的优化及混错接改造工作对于北方干旱少雨的城市仍然具有重要作用。

④ 基于水质水量评估结果,结合山地丘陵的地形特征及干旱少雨的气候特点,提出了“修管网、治错接、改干管”等污水提质增效关键技术措施,可为黄河流域类似城市提供借鉴。

参考文献:

[1] 周杨军,解铭,薛江儒,等. 关于合流制排水系统提质增效方法与措施的思考[J]. 中国给水排水,2021,37(16):1-7.

ZHOU Yangjun, XIE Ming, XUE Jiangru, et al.

- Thinking on methods and measures for the quality and efficiency improvement of combined drainage system [J]. *China Water & Wastewater*, 2021, 37(16): 1-7 (in Chinese).
- [2] 王召森,莫耀,徐丽丽,等. 标本兼治、重点突破——中小城市污水处理提质增效的建设实践[J]. *给水排水*, 2021, 47(S1): 99-103, 109.
- WANG Zhaosen, MO Li, XU Lili, *et al.* Address both symptom and root causes, and make breakthroughs in key areas: urban sewage treatment improvement practice of medium and small cities [J]. *Water & Wastewater Engineering*, 2021, 47(S1): 99-103, 109 (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] 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).
- [5] 马兰,林林,段军波. 广州市增城区石滩污水处理系统提质增效案例分析[J]. *给水排水*, 2021, 47(9): 37-43.
- MA Lan, LIN Lin, DUAN Junbo. Research on quality improvement and efficiency improvement of Shitan sewage treatment system in Zengcheng district, Guangzhou City [J]. *Water & Wastewater Engineering*, 2021, 47(9): 37-43 (in Chinese).
- [6] 黄志心. 福州市排水系统提质增效对策与思考[J]. *给水排水*, 2021, 47(10): 45-51.
- HUANG Zhixin. Strategies and thinking for improving the quality and efficiency of the urban drainage system in Fuzhou [J]. *Water & Wastewater Engineering*, 2021, 47(10): 45-51 (in Chinese).
- [7] 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, 119.
- 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, 119 (in Chinese).
- [8] 戴永康,罗锋,温巧贤. 东莞市城镇污水处理提质增效潜力分析[J]. *中国给水排水*, 2020, 36(4): 1-5, 12.
- DAI Yongkang, LUO Feng, WEN Qiaoxian. Potential analysis of quality and efficiency improvement of municipal wastewater treatment in Dongguan [J]. *China Water & Wastewater*, 2020, 36(4): 1-5, 12 (in Chinese).
- [9] 朱信成,肖作义,肖明慧,等. 包头市污水厂进水COD浓度偏高的影响因素分析[J]. *环境工程*, 2016, 34(S1): 180-182, 219.
- ZHU Xincheng, XIAO Zuoyi, XIAO Minghui, *et al.* Analysis on influential factors for high COD concentration of influent in sewage plants in Baotou City [J]. *Environmental Engineering*, 2016, 34(S1): 180-182, 219 (in Chinese).
- [10] 住房和城乡建设部. 室外排水设计标准: GB 50014—2021[S]. 北京: 中国计划出版社, 2021.
- Ministry of Housing and Urban-Rural Development. Standard for Design of Outdoor Wastewater Engineering: GB 50014—2021 [S]. Beijing: China Planning Press, 2021 (in Chinese).
- [11] KMMA R, THORKILD H, PER H N. Transformation of organic matter in a gravity water [J]. *Water Environment Research*, 1995, 67(2): 181-188.
- [12] BENNET D. Using Flow Prediction Technologies to Control Sanitary Sewer Overflow [M]. USA: Water Environment Research Foundation, 1999.
- [13] 曹业始, ABEGGLEN C, 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, 47(8): 125-137.
- CAO Yesi, 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).

作者简介:郭紫波(1992—),女,湖南常德人,硕士,工程师,从事水环境、生态市政规划设计工作。

E-mail: 941286812@qq.com

收稿日期: 2022-03-09

修回日期: 2022-03-28

(编辑:衣春敏)