

DOI:10.19853/j.zgjsps.1000-4602.2022.12.012

喀斯特地区(贵州六盘水市)黑臭水体治理策略

凌云飞, 雷木穗子, 周飞祥, 李昂臻
(中国城市规划设计研究院, 北京 100044)

摘要: 针对喀斯特地区复杂的地形地貌和地下管网系统导致的污水处理厂进水浓度偏低、厂前溢流、水体水质变差等问题,以贵州省六盘水市为例,通过管网诊断摸清底数,发现主要问题成因,采取引清入河、清污分流、管网修复等针对性措施,经过两年的系统治理,显著提高了污水厂进水浓度,缓解了厂前溢流问题,可为喀斯特地区其他城市的水体治理及污水处理提质增效工作提供借鉴。

关键词: 喀斯特地区; 黑臭水体; 提质增效; 清污分流

中图分类号: TU992 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-4602(2022)12-0076-07

Treatment Strategy of Black and Odorous Water in Karst Region of Liupanshui

LING Yun-fei, LEI Mu-sui-zi, ZHOU Fei-xiang, LI Ang-zhen

(China Academy of Urban Planning & Design, Beijing 100044, China)

Abstract: In view of the current situation of low influent concentration and overflow before sewage treatment plant as well as water quality problems caused by complicated terrain and underground pipe network system in Karst region, a comprehensive analysis of pipe system was carried out in Liupanshui, Guizhou Province to find out the main reason. After two years of systematic governance such as leading clean water into the river, separated sewer, and pipeline repair, the influent concentration was increased and the overflow was alleviated significantly, which could provide references for quality improvement and efficiency improvement of other urban sewage treatment system in Karst region.

Key words: Karst region; black and odorous water body; quality and efficiency improvement; clean and dirty water separation

黑臭水体治理是污染防治攻坚战的重要内容,一直以来受到党中央、国务院的高度重视。2018年以来,财政部、住房和城乡建设部、生态环境部共同组织竞争性评审,筛选出3批共60个城市开展黑臭水体治理示范城市建设工作。贵州省六盘水市于2019年6月成功入围第二批示范城市名单。

“黑臭在水里,根源在岸上,关键是排口,核心是管网”是全国各地城市黑臭水体治理工作的重要共识。为实现示范城市建设的既定目标,六盘水市确

定了以污水提质增效为核心,融合海绵城市建设、河道生态修复的治理思路。

六盘水市所在区域是我国最大的喀斯特地貌区,普遍存在地下多溶洞伏流、地下水与地表水交换强烈、大量清水进入排水系统等鲜明特点,城市排水系统与清水系统耦合,排洪沟成为清水、雨水、污水混流通道,清污混流问题突出,导致排水系统效能低下,污水厂进水 BOD_5 浓度常年低于40 mg/L,污水处理系统不能充分发挥作用。

通信作者: 凌云飞 E-mail: superai105@163.com

以问题为导向,开展详细的管网系统排查是提质增效工作的前提^[1]。基于复杂的管网特点和严峻的现状问题,六盘水市通过详细的管网排查,全面查清现有排水管网存在问题,进而通过实施重点排洪沟清污分流改造、引清入河、排水管网改造等措施,有效提高了污水处理厂进水浓度,缓解了厂前溢流问题,可为喀斯特地区其他城市的水体治理及污水提质增效工作提供借鉴。

1 六盘水市排水系统概况

1.1 地理特点

六盘水市地处滇东高原向黔中丘原、黔西北高原向广西丘陵的双重过渡地带,地势总体趋势是西高东低、北高南低,中部受北盘江的切割、侵蚀,起伏较大。主城区是典型的“两山夹一河”结构,北侧、南侧为乌蒙山脉,水城河自西向东穿城而过,是主城区唯一的地表河流。城市建设沿河带状发展、以水为脉,水城河成为重要的城市绿廊和景观轴线,也是体现中心城区人居环境质量和城市风貌的重要区域。六盘水市具有典型的喀斯特地貌特点,地下泉眼星罗棋布,随着城市的开发建设,城区内发现多处地下泉水冒溢点。由于缺少清水引出的通道,每天大量的清水就近引入污水系统,给下游污水处理厂的运行带来负担^[2]。

1.2 建成区污水处理设施

六盘水市中心城区建成区面积约54.2 km²,城区内有4座污水处理厂,合计处理规模为17.5×10⁴ m³/d,其中九洞桥和小屯为主要污水处理厂,德坞、水钢两个片区由于地势较高,相对独立,分别建设了小型污水处理厂。建成区污水处理厂分布和服务范围如图1所示。



图1 六盘水市建成区污水处理厂分布及服务范围

Fig.1 Distribution and service area of sewage treatment plants in Liupanshui

2015年,对照城市黑臭水体污染程度分级标准进行判断,六盘水市排查出2条黑臭水体,分别为水城河城区段及其支流双水小河,总长度22.5 km。为改善河道水环境,2018年实施了水城河综合治理工程,通过沿河修建截污箱涵,将沿线污水全部收集后输送至中、下游的九洞桥、小屯污水处理厂处理,在一定程度上改善了水城河的河道水质。图2为截污箱涵建设前、后水城河典型断面的透明度监测数据,可以看出,随着截污箱涵投入使用,河道水体的透明度明显改善。

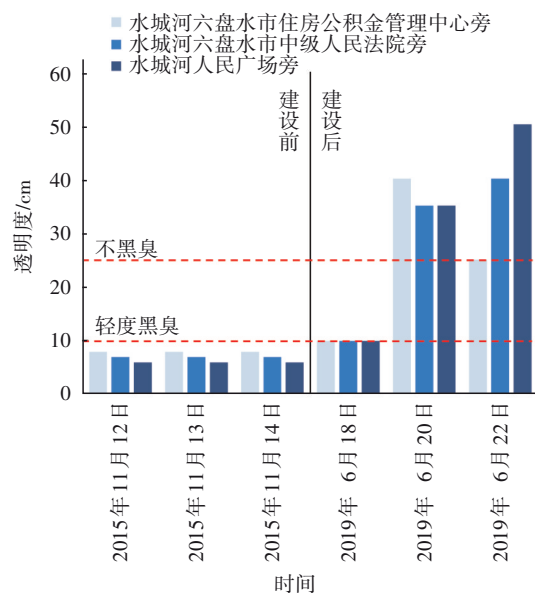


图2 截污箱涵建设前、后典型断面透明度监测结果

Fig.2 Transparency variation of typical monitoring section before and after the construction of box culvert

1.3 排水管网结构特点

喀斯特山地城市的地形地貌特点,决定了六盘水市的排水管网系统成为由末梢管网、截污箱涵、排洪沟构成的“三级管网”。其中一级管网(末梢)为市政道路管网,二级管网(分支)为沿河排洪沟,三级管网(主干)为沿河截污箱涵。

1.4 存在的问题

粗犷的“大截排”模式虽然基本消除了沿河污水直排口,但同时也将沿线雨水排口、排洪沟出口全部纳入截污箱涵,加上复杂的喀斯特地貌特点,导致晴天山泉水、雨天雨水和山洪水都从截污箱涵进入污水处理厂,污水处理厂进水浓度常年偏低。2018年的监测数据显示,德坞、九洞桥和小屯三座污水处理厂全年进水BOD₅平均浓度分别仅为

41.7、51.9和34.2 mg/L。2019年,由于九洞桥污水处理厂实施提标改造工程无法投产,更加剧了下游小屯污水厂的运行压力,厂前溢流问题日益严重。监测数据显示,小屯污水厂厂前溢流量晴天约 $4.6 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$,雨天高达 $14.9 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ 。此外,大量清水挤占污水系统内的空间,还导致雨天排水管网能力不足,“两山夹一河”的地形特点使得截污箱涵在雨后3 d仍有明显的合流制溢流现象。示范城市建设之初,河道水质仍存在季节性黑臭现象,黑臭水体仍未全面消除,距离实现“水清岸绿、鱼翔浅底”的愿景仍有较大差距。

2 问题成因分析

截污箱涵均为近期建设工程,结合前期物探结果,箱涵施工缝处均不存在渗滤问题。因此,一级管网的渗滤、混错接以及二级管网的水清汇入等是导致下游污水处理厂溢流、进水浓度偏低的主要原因^[3]。

2.1 一级管网缺陷严重,地下泉眼清水汇入较多

前期管网普查和现场踏勘发现,城区内排水管网存在严重淤堵现象,多数检查井水位较高,同时存在大量地下泉眼就近接入污水管网的情形。根据现场调查,建成区范围内已探明的地下泉眼共有8个,合计清水量约 $3.1 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$,这些清水通过山洪沟或排水管网进入截污箱涵。

2.2 二级管网清水汇入

水城河是山区雨源型河道,南北两侧山体的雨水汇入是水城河的重要水源补充。为保障城市安全,免受山洪水威胁,沿河修建了多条排洪沟汇入水城河。随着城市发展建设,这些排洪沟周边的建筑越来越密集,由于管网系统不完善,加之山地喀斯特地貌复杂特点,导致排洪沟除了原有的清水流通功能外,还承担了周边污水排放的功能。通过现场排查,水城河沿线共有13条排洪沟,全部接入截污箱涵,晴天和雨天均有大量清水汇入。

截污箱涵沿线污水COD变化情况如图3所示,可见,截污箱涵沿线污水COD均较低,且在排洪沟接入后有明显的下降,到最下游检测点位的COD仅约为65 mg/L。因此,为提高污水处理厂进水浓度,降低处理负荷,开展排洪沟的清污分流改造也是十分必要的。

为摸清沿线13条排洪沟晴雨天的流量情况,查

找导致末端溢流和进场浓度偏低的最主要原因,在全部13个排洪沟接入截污箱涵的节点开展晴雨天的流量、水质监测。调查结果表明,13条排洪沟中有9条主要排洪沟(水钢排洪沟、麒麟路南侧排洪沟、龙井路南侧排洪沟、水西路排洪沟、麒麟路北侧排洪沟、马鞍截污沟、龙井路北排洪沟、机场大沟、公园路桥排洪沟)流量较大,晴天流量合计分别为 $7.6 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ 和 $21.5 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ 。

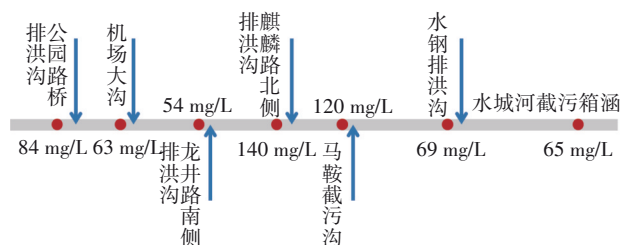


图3 水城河截污箱涵沿线污水COD变化

Fig.3 COD variation in box culvert along Shuicheng River

季节性返黑返臭是水城河亟待解决的问题。为摸清雨季排洪沟内的清水、污水量,判断清污分流改造的重点难点、改造优先级和最终的改造效果,通过现场调研和卫星图分析,判断排洪沟周边的污水产生量。以流量最大的水钢排洪沟为例,经核算其汇水范围内收纳的污水量约 $1 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$,雨天山洪水约 $4.8 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ 。

水城河沿线9条重点排洪沟雨天清水、污水流量情况如图4所示。结合前述调查结果,9条重点排洪沟雨天总流量 $21.5 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$,其中清水量高达约 $18.8 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ 。

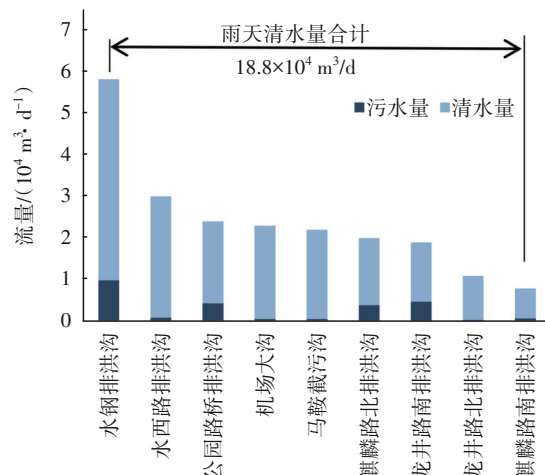


图4 主要排洪沟雨天清水、污水流量

Fig.4 Flow rate of clean water and wastewater in major trenches in rainy days

根据各排洪沟污水量测算和晴雨天总流量监测结果,可以分析得出通过排洪沟清污分流改造可实现的污水处理厂进水BOD₅提升效果,如图5所示。通过排洪沟清污分流改造后,末端小屯污水处理厂的进水BOD₅浓度预计可由现状约44 mg/L(晴天)和24 mg/L(雨天),提升至约65 mg/L和60 mg/L,实现较建设前提升10%的预期目标。

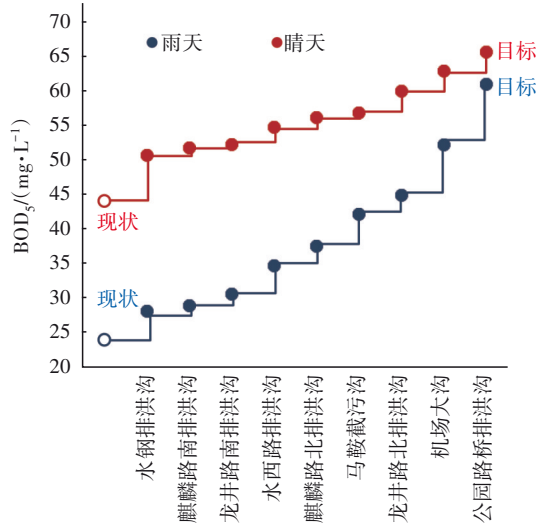


图5 排洪沟改造预期成效

Fig.5 Expected performance of reconstruction of flood discharge trenches

3 改造措施

3.1 先摸清问题,后解决问题

针对管网系统不完善的现状,首先对中心城区范围内约51 km²重点区域的797.7 km雨水、污水管网进行系统排查,确定排水管网(含排洪沟)的基本信息、分布情况、排水体制及拓扑关系,识别管网空白区和污水管网直排口,查明管网淤积、管网渗漏、清水排入、管网混错接情况及分布,研究和判断其对排水系统的影响程度^[4]。通过管网诊断,摸清中心城区排水管网系统存在问题,为制定系统治理方案、有效解决问题奠定基础。

排水管网勘察诊断共检测雨水管网414.2 km、污水管网383.5 km,累计排查出结构和功能缺陷1.68万个,混错接562个,平均1 km管网存在结构或功能缺陷21个,混错接0.7个。根据《城镇排水管道检测与评估技术规程》(CJJ 181—2012)中对于管道结构、功能缺陷的分类标准,城区内主要管道缺陷情况如图6所示。可见,沉积、淤堵和管网破裂是最主要的缺陷类型。在562个混错接中,388处混

错接为雨水管线接入污水管线,占比接近70%。通过详细分析,混错接大致可以分为6种类型(具体见图7)。

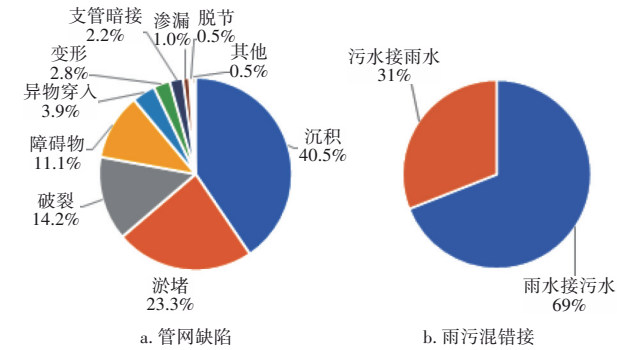


图6 六盘水市城区管网勘察诊断结果

Fig.6 Results of pipe detection in Liupanshui

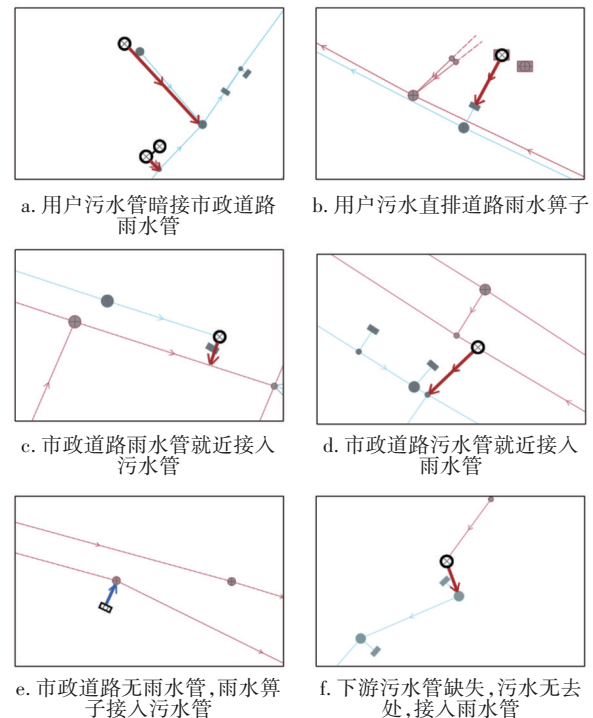


图7 混错接类型

Fig.7 Types of pipe misconnection

在实际混错接改造过程中,重点通过开挖修复工程改造c、d两类混错接点位。对于a、b两类混错接,应通过加强城市管理要求,规范商户排水行为予以解决;e、f两类混错接,应结合道路建设计划,新建雨污水管网,补齐短板。

3.2 先重点问题,后次要问题

为缓解污水处理厂的厂前溢流问题,提高进水BOD₅浓度,首先开展了水城河沿线排洪沟的清污分流改造工程。通过现场调查,较多排洪沟穿越了城

中村、棚户区等建设密集区域,综合考虑改造难度和预期成效,在9条流量较大的排洪沟中,优先选择5条具备改造条件的排洪沟实施改造(见表1),其中流量最大的水钢排洪沟是改造重点。以水钢排洪沟为例,改造工程包括暗渠改造和明沟改造两部分。暗渠段全长960 m,通过清淤疏通并在两侧修建混凝土沟墙,使污水与清水分开;明渠段全长1.58 km,采用河道改造和两侧新建截污箱涵的方式提升景观效果、收纳周边污水。通过这5条排洪沟的改造工程,末端小屯污水处理厂晴天进水流量减少约 $3.4 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$,雨天流量减少约 $11.1 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$,极大缓解了溢流压力。此外,通过实施11处引清入河工程,累计引出清水量约 $4.8 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ 。随着九洞桥污水厂提标改造完成,总体处理能力增加 $5 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$,小屯污水厂的厂前溢流问题基本得到解决。

表1 实施改造的排洪沟

Tab.1 Flood discharge trenches conducted reconstruction $10^4 \text{ m}^3 \cdot \text{d}^{-1}$

项 目	晴天流量	雨天流量	测算污水量
水钢排洪沟	3.0	5.8	1.0
公园路桥排洪沟	0.9	2.4	0.4
机场大沟	0.6	2.3	0.1
龙井路南排洪沟	0.6	1.9	0.5
麒麟路南排洪沟	0.4	0.8	0.1
合计	5.5	13.2	2.1

3.3 修复管网缺陷,解决混错接问题

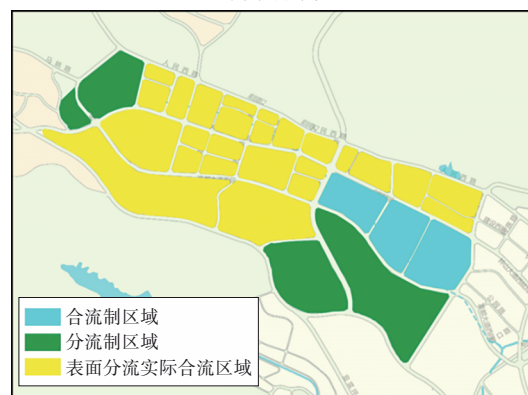
针对管网勘察诊断发现的结构、功能缺陷以及混错接问题,实施了中心城区雨污管网改造工程,通过非开挖方式修复管网三级及以上渗漏、破损等缺陷,重点解决管网淤积问题,建立常态化管理机制,保障排水管网的畅通,削减合流排口的溢流污染^[5];对于雨污管网混错接问题,采用开挖改造的方式予以解决。根据诊断结果将城区划分为7个片区,确定改造顺序。工程完成后,修复问题严重雨污管道135.5 km,其中雨水管道77.2 km、污水管道58.3 km,彻底消除污水直排现象,改善了城区水环境,提高了城市排水系统效能。

德坞片区位于中心城区西部的5号片区,总面积约6.8 km²。该片区排水体制为雨污分流制,污水排放至德坞污水厂处理,雨水排放至水城河,排水管网系统较为独立。然而,通过分析管网诊断结果可知,由于混错接问题较多,片区内仅有约20%的

区域实现了雨污分流,约70%的区域实际上仍为合流制(见图8)。2021年实施该片区的排水管网改造工程,改造混错接点位58处,修复管网破裂点位454处,同时对管网进行疏通清淤。至2021年底改造完成后,德坞污水厂进水BOD₅由2018年的41.7 mg/L提升至84.0 mg/L,改造成效显著。



a. 南水排水分区



b. 各地块排水体制

图8 德坞片区排水体制示意

Fig.8 Diagram of sewage systems of Dewu area

3.4 岸线治理

为提升水城河沿线景观效果,实施了水城河样板段生态修复工程,在公园路—水西路、麒麟路—体育路段开展河道、岸线和两侧绿化带生态改造,全长5.37 km。主要改造措施包括截污箱涵顶部覆绿、左岸框架立面绿化、桥梁立面覆绿、排水口景观改造、节点公园建设等。目前,样板段生态修复工程已全部完工,实现了“清水绿岸,鱼翔浅底”的示范目标。

4 治理成效

4.1 城市黑臭水体基本消除

示范城市创建前,水城河中下游段(人民广场—范家寨)、双水小河(滕庆桥—市八中)呈现季节性

黑臭现象。示范城市创建以来,通过实施融合“污水提质增效、海绵城市建设、河道生态修复”的系统工程,有效地控制了排入河道的污染负荷,提高了河道自身的生态净化功能,水城河黑臭段的水质得到明显改善。

双水小河为水城河右岸一级支流,其上游接双龙小河,从水城县人民医院处向北沿水城大道延伸至钟山大道,之后向西延伸,过市一中后沿西北方向延伸,在金竹林处汇入水城河。结合双水小河沿线排水系统存在的短板和问题,通过新建沿河截污箱涵、疏通上游污水干管、双水片区管网修复及改造、空白区新建管网等措施,实现了污水的有效收集,河道水质明显改善。

2021年3月投入运行的六盘水市水环境监测预警及监管平台的监测数据显示,水城河、双水小河监测断面的溶解氧、氨氮、氧化还原电位监测指标全部达标(见图9);两条河道的公众满意度均超过95%,城市黑臭水体基本消除。

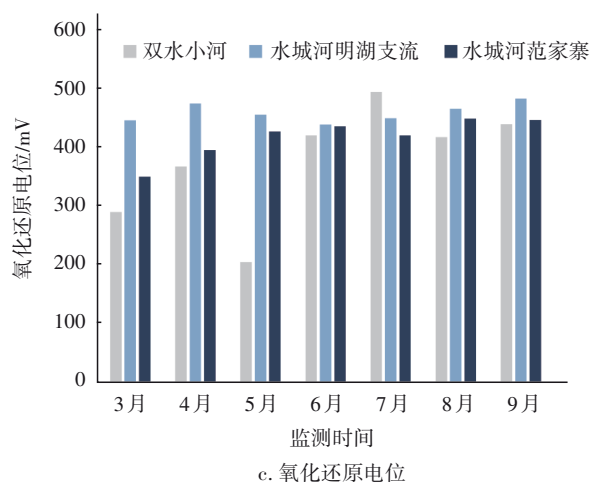
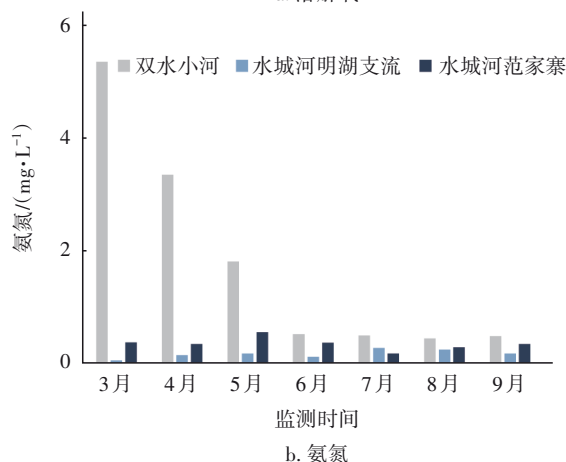
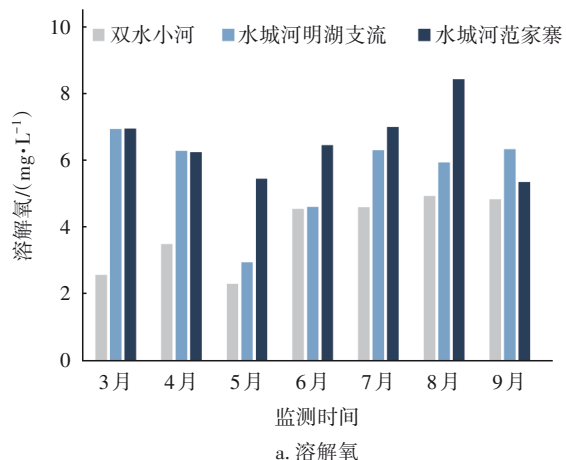


图9 2021年水城河、双水小河水质监测数据

Fig.9 Water quality data of Shuicheng River and Shuangshuixiao River in 2021

4.2 污水处理厂进水浓度显著提升

通过实施重点排洪沟改造、引清入河、城区排水管网改造等重点工程,六盘水市3座污水处理厂进水BOD₅浓度显著提升。2018年、2021年污水厂进水BOD₅如图10所示,德坞、小屯污水厂2021年平均进水BOD₅浓度较2018年分别提升了101%和105%。

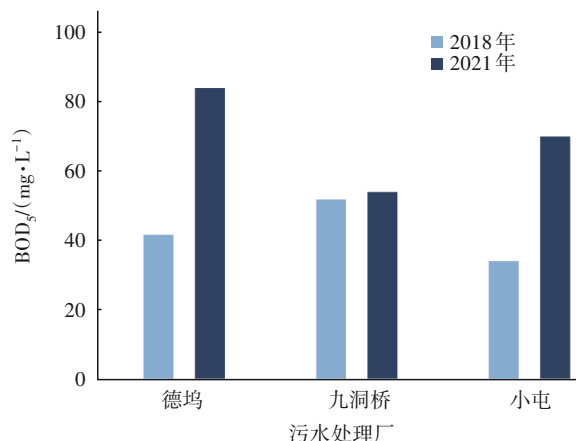


图10 2018年、2021年污水处理厂进水BOD₅浓度变化

Fig.10 Variation of influent BOD₅ of sewage treatment plants in 2018 and 2021

5 结论及建议

在示范城市目标要求下,污水处理提质增效是六盘水市黑臭水体治理的关键。在喀斯特地区独特的地貌条件下,如何解决问题,同时实现示范引领的目标是整个工作过程中的难点。因此,需要通过系统排查,找准并解决最核心的问题,实现效益

的最大化。同时,应注重长效机制的建立,推动“厂-网”一体化建设,健全常态化监管机制,才能实现“长制久清”的总体目标。

① 详细的管网勘察诊断是提质增效工作的前提。摸清管网底数是开展管网改造工作的先决条件,而喀斯特地貌特点决定了管网系统的复杂性。在由排洪沟、市政干管、截污箱涵构成的三级管网系统中,从截污箱涵开始溯源排查,摸清管网系统的拓扑关系,划分重点改造片区,优先解决关键问题。

② 重点排洪沟的清污分流改造往往事半功倍。对于喀斯特地区,山区雨源型河道较多,排洪沟是重要的河道清水来源。随着城市的建设,多数排洪沟上方建筑密度较高,应通过实际踏勘、流量监测,明确具备改造条件的主要排洪沟实施清污分流改造,可以显著提升下游污水厂进水浓度,缓解厂前溢流。

③ 科学实施地下泉眼的引清入河工程。喀斯特地区地下溶洞较多,地下水源丰富,城市的开发建设往往会影响原有的地下水循环系统。通过管网排查,探明地下泉眼的点位和水量,科学研判引清可能产生的影响,在保障周边安全的前提下,实施引清入河工程,减少进入污水系统中的清水量。

④ 注重长效机制建设。完善的制度体系是城市排水系统长效运行的保障。六盘水市在构建整体联动的组织工作体系基础上,各责任单位结合工作需求制定政策文件,完善长效工作机制。一是通过制定“厂-网”一体化运维方案,统筹管理排水系统运维工作;二是建立落实河长制及其考核办法的工作细则,通过将河湖管理纳入考核体系,巩固水体治理和提质增效工作成果;三是建立排水设施运维保障机制,发布养护管理办法,明确责任单位,同时按标准在财政预算中预留养护费用,确保城市排水设施长期有效运行。

参考文献:

- [1] 唐建国,王家卓,马洪涛.完善城市排水系统,巩固和提升黑臭水体整治成效[J].给水排水,2018,44

(1):1-7.

TANG Jianguo, WANG Jiazhao, MA Hongtao. Complete the urban drainage system, consolidate and improve the effect of black smelly water [J]. Water & Wastewater Engineering, 2018, 44 (1): 1-7 (in Chinese).

- [2] 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).

- [3] 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).

- [4] 毛艳荣,卜俊玲,卢宝光,等.广州市西朗污水处理系统提质增效案例分析[J].给水排水,2020,46(10):45-51.

MAO Yanrong, BU Junling, LU Baoguang, et al. Research on quality improvement and efficiency improvement of Xilang sewage treatment system in Guangzhou City [J]. Water & Wastewater Engineering, 2020, 46(10): 45-51(in Chinese).

- [5] 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).

作者简介:凌云飞(1989—),男,内蒙古赤峰人,博士,工程师,主要研究方向为城市规划、水环境治理、海绵城市。

E-mail:superai105@163.com

收稿日期:2022-04-29

修回日期:2022-05-07

(编辑:衣春敏)