

DOI:10.19853/j.zgjsps.1000-4602.2025.22.021

武汉巡司河流域水环境综合治理的探索与实践

胡明博, 孙颖, 高旭

(中国市政工程东北设计研究总院有限公司, 吉林 长春 130021)

摘要: 武汉巡司河流域内分流制与合流制排水体制共存,排水管网混错接严重,中途泵站和末端处理设施能力不足,导致雨季污水溢流入河严重,河道局部出现返黑返臭现象。基于巡司河污染现状,结合上位规划制定的水环境治理目标,梳理了流域内各子系统之间的相互联系和制约关系,分析了流域污染源形成机制及其空间分布特征,采用MIKE 11河流纳污能力一维计算模型,量化污染物削减负荷,根据排水分区的特点制定“一区一策”的差异化整治方案,形成以污染物削减目标为导向的治理策略,可为同类型城市河流的水环境治理提供借鉴。

关键词: 巡司河流域; 水环境综合整治; 合流制溢流污染

中图分类号: TU992 **文献标识码:** B **文章编号:** 1000-4602(2025)22-0128-09

Exploration and Practice of Integrated Water Environment Management of Xunsi River Basin in Wuhan

HU Ming-bo, SUN Ying, GAO Xu

(China Northeast Municipal Engineering Design and Research Institute Co. Ltd., Changchun 130021, China)

Abstract: Within the Xunsi River basin in Wuhan, the co-existence of separate and combined sewer systems, severe misconnections and cross-connections in drainage pipelines, insufficient capacity and overburden of intermediate pumping stations and end-of-pipe treatment facilities have led to severe combined sewer overflow(CSO) into the river during the rainy season, resulting in localized blackening and odor recurrence in the river channel. Based on the current pollution status of the Xunsi River and combined with the water environment governance targets set by higher-level planning, this study has sorted out the interconnections and constraints among various subsystems within the basin, analyzed the pollution source formation mechanisms and their spatial distribution characteristics in the basin, adopted the MIKE 11 1D river pollution assimilation capacity calculation model to quantify the pollutant reduction load, formulated differentiated remediation schemes (one policy per zone) according to the characteristics of drainage subzones, and developed pollution reduction target-oriented governance strategies. These efforts provide a referable solution for water environment governance of similar urban rivers.

Key words: Xunsi River basin; integrated water environment management; CSO

回顾我国流域水环境治理的历史,较为典型的案例为上海苏州河和广州车陂涌的治理,其治理难点主要体现在:①沿线污染源众多,控源截污难度大;②污水管网的正常运行受河水涨落潮影响严重,

雨污混错接问题溯源排查困难。针对以上治理难点,上海苏州河和广州车陂涌通过实施控源截污工程、雨季溢流污染调蓄工程、河口水闸建设工程等,从控源截污、清淤疏浚、清水补给、生态修复、环境整

治、长效管理等方面进行水生态环境综合整治。经过多年的不懈治理,上海苏州河和广州车陂涌黑臭现象消失,水质持续改善,滨河风貌明显改观,水清岸绿。

从上海苏州河、广州车陂涌等典型案例及国内大量流域水环境整治实践来看,“控源截污”作为阻断污染源输入的关键环节,是从根本上改善水体水质的核心措施^[1]。而完善的排水管网系统与健康的运行机制,则是保障“控源截污”效能发挥、实现污染“过程控制”的基础支撑。

武汉巡司河作为典型的城市内河,其水环境问题既与苏州河、车陂涌存在共性特征(如排水体制混乱、管网系统不完善等),又呈现出独特的复杂性:一方面,流域内雨污合流制与分流制强行衔接带来的排水体制混乱问题,导致现状厂-网-站等设施的收集、输送和处理能力与来水量严重不匹配;另一方面,流域内排水管网淤积、老化、破损、混错接问题突出导致溢流现象频发,加之城市开发导致的河道受人为闸控干扰剧烈,生态基流长期低于维持自净能力的临界值,多重问题叠加使得水体自净能力丧失、生态系统功能严重退化。通过对比分析上海苏州河、广州车陂涌等典型案例,武汉巡司河多年来的治理仍未突破“重末端、轻源头”的线性思维——过度依赖末端污水处理厂提标改造、河道清淤等工程措施,而对源头的排水户监管、初期雨水控制、排水管网梳理改造等环节重视不足,同时未能有效发挥流域内排水管网、雨水调蓄、污水处理、生态补水等多种工程措施的协同处理效应,缺乏系统治理思维,导致治理效果难以持续,这种“头痛医头、脚痛医脚”的治理模式,使得巡司河虽经多轮整治,仍难以突破“污染-治理-反弹”的恶性循环。

在此背景下,从巡司河流域治理的实际案例出发,聚焦城市内河流域水环境治理的系统性难题,通过对流域现状的综合评估和调查,分析河流污染表象背后的根源,研判流域内不同排水体制、不同工程措施间的相互联系和制约关系,提出因地制宜、切实可行的水环境污染治理策略。

1 巡司河流域概况

1.1 流域基本情况

巡司河位于武汉市南城区,流经武汉市洪山、武昌两区(见图1),南起青菱河,北至长江,是南湖

和汤逊湖水系入流长江的主要通道。作为长江与武汉南部湖泊群的直接连通河道,巡司河水质状况直接影响长江入流的生态质量,是长江经济带“湖-河-江”生态链的关键节点。巡司河全长共10.8 km,由1.6 km暗涵段与9.2 km明渠段组成,河道呈现北窄南宽的形态差异,北段有效过水断面宽度为15~20 m;向南过渡为渐扩型河道,宽为30~50 m。河道平均水深约2.5 m,河道坡降为0.001%~0.004%。因武泰闸和解放闸常年关闭,巡司河北侧没有稳定补水来源。巡司河南侧有少量来自青菱河的补水,但受巡司闸控制,补给水源不稳定。巡司河水流方向受河道上下游闸控干扰较大,以通往长江的二通道为界,北侧河水由北向南流动,南侧河水由南向北流动,最终汇聚于流域中部由二通道排往长江。位于流域东部的南湖水系通过连通渠与巡司河连通,流域东南方向的汤逊湖水系通过青菱河与巡司河连通。补给水源主要来自南湖流域的龙王嘴污水处理厂尾水,排放水质执行《城镇污水处理厂污染物排放标准》(GB 18918—2002)的一级A标准,通过连通渠向巡司河中部补水,但因二通道与连通渠相距不足1.0 km,补给水大多直接从二通道排往长江。



图1 巡司河流域范围

Fig.1 Scope of the Xunsi River basin

巡司河流域规划治理范围为32 km²,以其河道承接城区雨水的汇流面积划分形成。该流域北部和中部土地开发强度较大、人口密度高,整体下垫面硬化率较高。

从流域地貌和地质方面分析,巡司河位于长江一级阶地,地下水位高,流域北部分布潜在的岩溶地面塌陷区,这些不良地质因素容易导致排水管道错口、塌陷,外水极易入流入渗,对末端污水处理系统产生显著影响。

1.2 巡司河治理历史

20世纪70年代后期,北部武昌区城市发展较快,武泰闸到解放闸段河道两岸的工厂和居民增多,水质逐渐受到污染。90年代末期,为改善居住环境和交通条件,将通往长江的1.6 km明渠改为鲇鱼套暗涵,暗涵上部修建市政道路,两侧的雨污合流管线接入暗涵,导致暗涵成为巡司河北侧最大的污染源之一。2010年—2018年,武汉市政府启动巡司河综合整治和洪灾后重建工程,拓宽河道、新建江南泵站,补齐排涝能力的短板,实施两岸景观绿化工程,新建部分截污管道和污水泵站,河道黑臭现象得到一定程度缓解。2018年以来,巡司河又面临雨季污水溢流入河问题,局部出现返黑返臭现象,河道黑臭治理压力较大。

2 巡司河流域污染成因分析

2.1 现状排水体制布局混乱

巡司河流域服务范围内排水合流制与分流制并存,其中北部合流区面积占比40%,包括武泰闸片子和晒湖片子系统,目前已形成较完善的合流制排水管网;南部分流区面积占比60%,主要包括南湖花园、湖工大、农科院等子系统,其中南湖花园已经形成较为完善的分流制排水管网体系,其余子系统由于城市开发建设强度不高,形成了部分排水主干系统(见图2)。根据测算,巡司河流域合流区产生的COD污染负荷强度为160.27 t/(km²·a),分流区产生的COD污染负荷强度为71.12~60.30 t/(km²·a)。

根据服务范围内现状人口、单位用水量和泵站运行情况调研结果,晴天时污水泵抽排能力和管网输送能力基本满足污水转输要求;雨天时巡司河北部的合流制排水管道产生的雨污混合水需要通过分流制污水管道泵送至黄家湖污水处理厂处理。

合流制污水溢流(CSO)具有污水与降雨径流的双重特性^[2],由于合流制管道与分流制污水管道的强行衔接^[3],降雨时排水管道内混入大量雨水,需要输送的污水总量短时间急剧增多,下游分流制污水管道不具备超量雨污混合水的输送能力,排水管道及检查井被大量雨污混合水灌满,难免造成地势低洼地段污水冒溢、沿河排口污水溢流现象的发生。

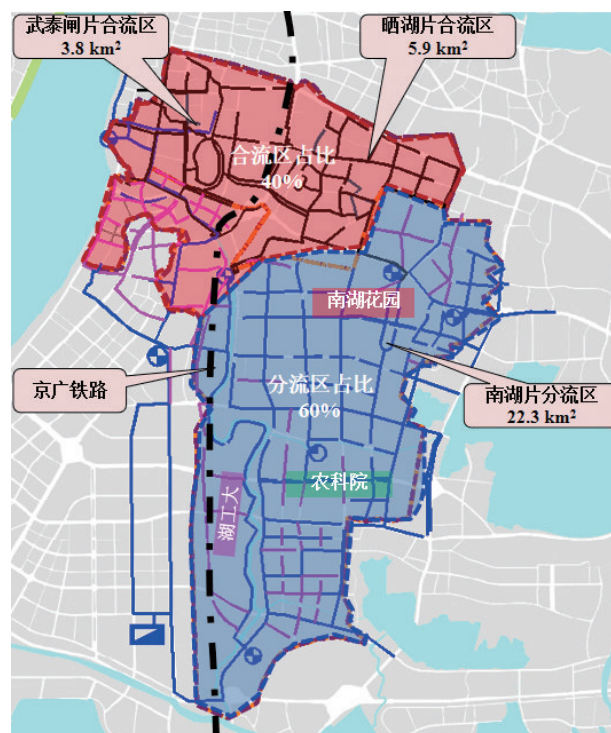


图2 巡司河流域排水体制分布

Fig.2 Drainage system distribution of the Xunsi River basin

2.2 现状排水管网混接、错接现象严重

根据武汉市勘测设计研究院对流域内市政主次排水管网的探测结果,巡司河流域共有排水管线321 km,其中雨水管线231.0 km,污水管线90.0 km(合流制管线47.2 km)。

通过闭路电视(CCTV)、潜望镜(QV)等检测手段,共查明流域内排水管线存在雨污混接点78个(见图3),其中轻度(1级)混接15处、中度(2级)混接56处、重度(3级)混接7处;排水管网一、二级结构性缺陷265处,三级严重结构性缺陷251处,四级重大结构性缺陷137处;一、二级功能性缺陷444处,三级严重功能性缺陷704处,四级重大功能性缺陷707处。巡司河流域下游分流制区域雨污水管网的混错接进一步挤占了污水管网的输送空间,加剧

了排口污水的溢流频次和溢流总量。



图3 巡司河流域排水系统混错接节点分布

Fig.3 Distribution of mixed and misconnected nodes in the Xunsi River basin drainage system

2.3 现状转输泵站与处理设施能力不足

巡司河流域厂站分布见图4,现状污水分属黄家湖污水处理厂和龙王嘴污水处理厂,配套污水泵站6座,其中合流区2座,分流入4座,产生的绝大部分污水统一抽排至黄家湖污水处理厂处理。黄家湖污水处理厂现状规模为 $20 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ (2019年),出水执行《城镇污水处理厂污染物排放标准》(GB 18918—2002)的一级A标准,处理后尾水排放至青菱河。黄家湖污水处理厂目前处于满负荷运行状态(峰值流量超过处理能力约15%)。此外,巡司河沿线建设3座分散式一体化污水处理站,总处理规模为 $8 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ 。

分流制区域内4座一级中途提升泵站规划设计之初没有考虑输送来自合流制排水管的雨水,因此泵站不具备输送超量雨污混合水的能力,大量雨污混合水积存在泵站上游管网内,而末端黄家湖污水处理厂是一座分流制污水处理厂,同样不具备处理超量雨污混合水的能力。流域北部的合流制排水管网强行衔接中部和南部的分流制排水管网,将收集的污水一同送往黄家湖污水处理厂,导致雨天

分流制排水区内厂、网、站严重超负荷运行。

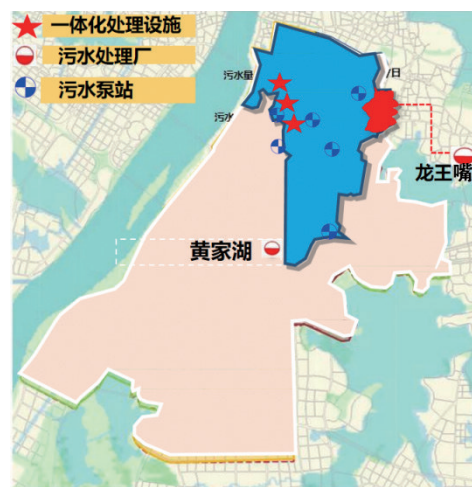


图4 巡司河流域厂站分布

Fig.4 Distribution of WWTPs and pump stations in the Xunsi River basin

综上所述,排水体制布局混乱、中途转输泵站和末端污水处理厂处理能力受限等因素共同导致巡司河流域排水不畅、雨天沿河污水排口频繁冒溢,进而造成水体严重污染。

3 巡司河流域污染物质量化分析

3.1 入河污染负荷

根据流域现状判断河道的主要入河污染源,通过现场实地调研、取样化验,结合武汉市降雨情况,对入河的污染负荷进行量化。巡司河的入河污染源主要由以下4部分组成。

① 外部来水输入(中段南湖连通渠、南侧青菱河):流域外的龙王嘴污水处理厂设计规模为 $30 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$,基本处于满负荷运行,处理后尾水执行《城镇污水处理厂污染物排放标准》(GB 18918—2002)的一级A标准,尾水排口位于南湖连通渠起端,因此约有 $30 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ 尾水通过南湖连通渠排入巡司河,是COD、氨氮和总磷的主要来源之一;南端与巡司河相连的青菱河也有少量来水,经巡司河闸进入河道。

② 点源输入(直排口污水、一体化处理站尾水排口):流域北部的3座一体化污水应急处理设施总规模为 $8 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$,处理后尾水执行《城镇污水处理厂污染物排放标准》(GB 18918—2002)的一级B标准,与规划的地表水V类的水质目标还有较大差距。巡司河两岸沿途分布多个未完全封堵的小型排口,虽然出水流量较小,但水质总体较差。

③ 面源输入(地表径流污染、管道存量污染):主要是降雨形成的径流污染^[4],以及管道沉积^[1-2]和混错接形成的存量污染。分析巡司河流域内现状土地利用类型发现,已建用地主要为居住用地和公共管理与公共服务用地,分别占37.81%和20.49%。流域北部武昌老城区内散落着304 hm²的老旧棚户区,还有武汉市最大的白沙洲农贸交易市场,这些区域是城市卫生环境的管理难点和盲区,也是巡司河流域地表径流污染的主要来源。管道存量污染主要来自北部合流制排水管网内以“零存整取”形式形成的溢流污染,以及中部管网混错接造成的入河污染。采用与武汉常年平均降雨量和降雨时长接近的2012年作为面源污染计算依据,通过核算可得,巡司河流域年均地表径流量为1 325.17×10⁴ m³/a。

④ 内源输入:由于巡司河水体流动性较差,雨季岸上、管道内存积的污染物进入河道后沉于河底,带来河道反复淤积,夏季温度升高,河道底泥污染源释放强烈,造成水体污染。根据沿河道纵向布设的点位勘测,巡司河北部合流区、南湖连通渠段情况较为严重,整体平均淤积深度达到0.6 m。

巡司河流域污染源分布见图5,可见流域内的污染源以点源污染、上游输入污染为主,其次为面源污染,河道底泥也贡献一部分内源污染。

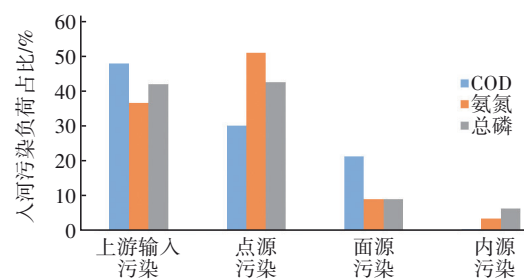


图5 巡司河流域污染源分布

Fig.5 Distribution of pollution sources in the Xunsi River basin

3.2 水环境容量计算

根据流域控制单元,将巡司河划分为4段,给出河道的坡降、断面性状、河底糙率等计算所需的边界条件,干流分为南、北两段,以合流制汇水区与分流制汇水区的边界为分界线,河段流量采用实测值,输入河道水深、坡降、截面形状、渠底糙率等边界条件,得出水环境容量计算结果。

河段流量采用实测值,河道非汛期流量以最不利条件(即最小流量)考虑。汛期降雨径流流量以2018年降雨总量换算。根据曼宁公式计算河道设计流速。巡司河属于中小型河道,污染物在横断面上能够均匀混合,水环境容量采用丹麦水资源及水环境研究所(DHI)开发的MIKE 11—维河道水质模型计算,具体参考《水域纳污能力计算规程》(GB/T 25173—2010),结果见表2。

表1 计算河段基本参数设置

Tab.1 Basic parameters of the calculated river reach

计算河段	起始断面	终止断面	河段长度/m	断面水深/m	非汛期断面流量/(m ³ ·s ⁻¹)	汛期断面流量/(m ³ ·s ⁻¹)	河道坡降/%	河道糙率 ^[5]	设计流速/(m·s ⁻¹)
巡司河南段	青菱河闸口	二通道闸口	6 420	2.6	0.024	0.456	0.001	0.022	0.272
南湖连通渠段	节制闸口	连通渠交会口	2 680	2.5	3.010	3.436	0.003	0.022	0.459
巡司河闸控段	武泰闸口	铁路桥下	530	2.0	0.232	1.330	0.004	0.022	0.456
巡司河北段	铁路桥下	二通道闸口	2 200	2.3	0.927	1.661	0.004	0.022	0.501

表2 巡司河流域水环境容量计算

Tab.2 Calculation of water environmental capacity in the Xunsi River basin

计算河段	起始断面	终止断面	降解系数 K/d ⁻¹	非汛期水环境容量/(t·a ⁻¹)			汛期水环境容量/(t·a ⁻¹)		
				COD	氨氮	总磷	COD	氨氮	总磷
巡司河南段	青菱河闸口	二通道闸口	0.03	17.06	0.13	0.22	319.82	2.53	4.19
南湖连通渠段	节制闸口	连通渠交会口	0.03	-940.43	-284.05	-9.43	-1 073.75	-324.32	-10.77
巡司河闸控段	武泰闸口	铁路桥下		-145.85	-43.79	-4.38	-837.71	-251.48	-25.15
巡司河北段	铁路桥下	二通道闸口	0.02	-582.14	-175.09	-17.51	-1 043.58	-313.87	-31.39
合计				-1 651.36	-502.80	-31.10	-2 635.22	-887.14	-63.12

各计算河段起始断面水质取尾水设计水质或河道实测数据,终止断面水质目标设为地表水Ⅴ类

标准(即COD≤40 mg/L,氨氮≤2.0 mg/L,总磷≤0.4 mg/L)。考虑巡司河水动力条件较差,污染物降解

系数选取文献资料中较低的数值进行输入。

由表2可知,对比地表水V类水质,巡司河干流已基本没有水环境容量,现状河道水质污染超出其污染物负荷量,仅南段尚有一定自净能力。

将计算结果与实际采样分析数据相互比对可知,模拟计算结论与实际调研结果基本相符。巡司河流域污染物的空间分布见图6,河道整体由南向北污染逐渐加重,分析主要原因如下:

① 非汛期北段、武泰闸及解放闸的闸控段存在多座一体化应急处理设施,排放标准较低。

② 汛期北部合流区1.6 km暗涵晴天积存的污染物难以通过现状管网输送至下游黄家湖污水处理厂,造成大量污染物入河。

③ 汛期流域中部的分流制区域存在严重的雨污混错接,降雨时雨水口“吐出”大量污水入河,形成的污染强度较高。

④ 夏季高温时,平时积存在河道底部、受到污染的底泥污染物向水体中的迁移释放速率急剧增加,造成内源污染。

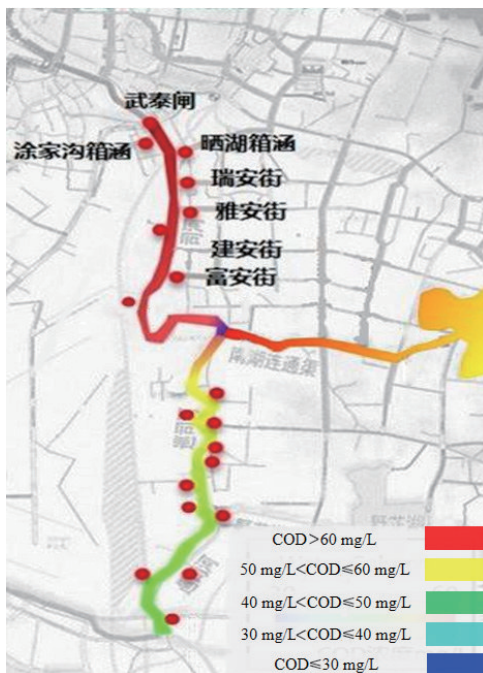


图6 巡司河流域污染物空间分布

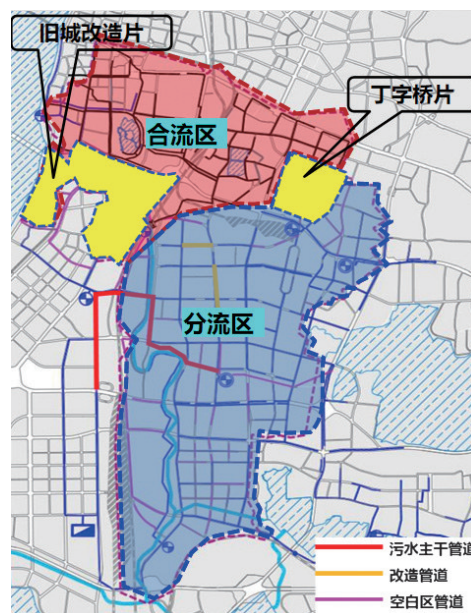
Fig.6 Spatial distribution of pollutants in the Xunsi River basin

4 水环境治理措施

4.1 优化流域排水系统布局

巡司河流域排水体制和厂站布局优化见图7。首先,优化流域内现有排水体制[见图7(a)],

有条件的地区实施雨污分流,尽可能缩减合流区面积,减少由雨水混入带来的污水量激增问题。主要措施有:原丁字桥片、旧城改造片合流制区域调整为分流制排水管网;武昌旧城片维持合流排水体制,优化后合流区面积占比由40%缩减至28%。



a. 排水体制布局优化



b. 厂站布局优化

图7 巡司河流域排水体制和厂站布局优化

Fig.7 Layout optimization of drainage system, WWTPs and pump stations in the Xunsi River basin

其次,优化流域内末端污水处理格局,优化原有单一、集中、长距离输送的厂站格局。结合武昌旧城更新工作,拆除合流区武泰闸东侧的 6.5×10^4 m²棚户区,新建一座全地下式污水处理厂及配套调

蓄设施,实现土地复合式利用。主要包括:新建武泰闸污水处理厂及配套调蓄设施,其中武泰闸污水处理厂设计规模为 $15\times 10^4\text{ m}^3/\text{d}$,配套调蓄能力为 $20\times 10^4\text{ m}^3$,合流区晴天产生的污水直接送入污水处理厂处理,雨天产生的雨污混合水优先进入调蓄设施,再转输至污水处理厂处理;污水处理后尾水执行高排放标准,其中主要污染物指标如COD、氨氮、TP达到《地表水环境质量标准》(GB 3838—2002)的Ⅳ类水标准,尾水作为生态补给水源排入巡司河,改善水体环境质量,增强水体动力。

通过优化流域内末端污水处理设施布局[见图7(b)],在合流区末端新建武泰闸污水处理厂,将北部合流区产生的污水收集和高标准处理后作为优质中水资源补给入河(武泰闸闸口处),提高巡司河的水环境容量,以近期实现地表水Ⅴ类标准为参照,将流域北部现存点源污染(2座一体化污水处理设施,出水指标按实测全年平均值计算)收集并处理后,削减COD、氨氮、总磷量分别为876.55、259.32、20.45 t/a。

4.2 修补管网缺陷、混错接及转输瓶颈

根据巡司河流域内管道分级、分区探测基础数据,依托排水管网的不同层级和拓扑关系,以排水分区为系统,以排水地块为单元,按排水单元制定实施方案。以单个拓扑的末端排口为抓手,以整治现状问题和污水全收集为目标,制定“一口一策”“一井一策”“一点一策”“一混一策”及“一户一图”,分片推进,强化改造前后排口水质、水量变化的监督管理,做到“改一片,成一片”。项目实施过程中总计探明并修复1799处市政管网隐患点,改造298个市政管网混错接节点,清淤7.8 km淤堵管道,梳理4处关键性管道转输瓶颈,优化现有4座中途转输泵站规模,尽最大可能减少地下水、雨水对排水系统的影响。

通过梳理并整治排水管网渗漏、破裂、变形等结构性缺陷,以及淤积、障碍物、浮渣等功能性缺陷,封堵少量污水直排口等措施,将巡司河南部及连通渠附近污水直排口污水(日均水量约 $1.1\times 10^4\text{ m}^3/\text{d}$,平均COD为45~85 mg/L,氨氮为7~16 mg/L,总磷约1.0 mg/L)应收尽收,可实现COD削减183.52 t/a、氨氮削减55 t/a、总磷削减2.44 t/a。

4.3 管控末端排口溢流污染

我国的合流制排水系统与发达国家的最大差

距是降雨溢流污染控制问题^[6]。污染物负荷的量化分析表明,巡司河北部合流区存在严重降雨溢流污染,因此在雨水管控方面,实施从源头到末端的全过程控制。①源头削减方面:配合居住小区雨污混流改造,同步实施海绵化改造,总改造面积约523.77 hm^2 ,新建地块按海绵城市要求设计,总面积约574.56 hm^2 ,同时加强商业区、农贸市场、点状商铺的环境卫生管理;②过程控制方面:实施雨污水管网混错接整治、管道缺陷修复及智能截流控制措施;③末端调蓄方面:合流制排水区配合污水处理厂新建合流制溢流(CSO)调蓄池,调蓄池规模以控制末端排口溢流次数 ≤ 10 次/a为目标,利用数学模型分析和率定历史典型降雨年(2016年)流域内的产汇流情况。因2012年典型日及2012年全年降雨与武汉市常年平均降雨量和降雨时长接近,故采用2012年历史降雨作为截流系统溢流情况判断标准,并用2013年历史降雨作为校核降雨事件。其中,典型年(2012年):历史降雨97场,2 mm以上降雨共计83场,最大小时降雨量为68.5 mm,降雨总时长479 h,全年累计降雨量为1153 mm;校核年(2013年):历史降雨103场,最大小时降雨量为50 mm,降雨总时长713 h,全年累计降雨量为1405 mm;典型日:2012年实际某日降雨量34 mm,降雨持续时间16 h,最大小时降雨量6 mm/h。

采用InfoWorks ICM软件的Horton产流模型和SWMM软件的汇流模型,结合流域内下垫面的高程、坡度、宽度、综合径流系数等参数,确定调蓄规模。经过数学模型计算,合流制排水区调蓄规模为 $20\times 10^4\text{ m}^3$;分流制排水区在雨水排口末端新建截流智能流量控制井、收集管网及SSO调蓄池,经过数学模型计算后调蓄规模为 $12\times 10^4\text{ m}^3$ 。

以武汉市2012年降雨量作为计算依据,得出巡司河年径流量南段为 $212.61\times 10^4\text{ m}^3/\text{a}$ 、南湖连通渠段为 $210.12\times 10^4\text{ m}^3/\text{a}$ 、北段为 $361.68\times 10^4\text{ m}^3/\text{a}$ 、闸控段为 $540.76\times 10^4\text{ m}^3/\text{a}$,平均COD为40~95 mg/L、氨氮为0.4~15.5 mg/L、总磷为0.1~1.5 mg/L,通过源头海绵化改造、中途输送管网的修复完善和末端调蓄控制等措施削减地表径流及管内存量污染^[7],可实现COD削减1074.66 t/a、氨氮削减400.35 t/a、总磷削减16.16 t/a。

4.4 异位修复河道受污染底泥

根据巡司河河道底泥的检测结果显示,氨氮、

活性磷的释放量较高,因此针对河道沉积物污染问题,采用异位修复(清淤)技术,清除河道受污染底泥,实现淤泥资源化利用,改善底泥的环境要素,重新建立并恢复底泥中的有益微生物系统,稳定底泥环境,减少内源污染物的释放,促进底栖生物系统的自我恢复。

结合区域防洪要求,通过环保型绞吸式挖泥船,清除淤泥河道长度约4.42 km,保障行洪安全,确保河道水安全。主要施工流程:挖泥船挖泥→排泥管道输送→淤泥脱水→后续处置→余水处理→余水排放。

河道底泥采用一体化板框脱水机脱水至60%后外运处置,外运处置前对该批次底泥浸出液进行检测分析,确认各项重金属指标符合后续填埋要求。

采集河道内受污染底泥(纵向每50 m一个点位),模拟春秋、夏季和冬季的水温并检测污染物释放量,得出底泥COD释放量为210~660 mg/(m²·d),氨氮释放量为100~330 mg/(m²·d),总磷释放量为40~100 mg/(m²·d)。通过环保清淤和生态修复,可实现内源污染COD削减18.37 t/a、氨氮削减9.27 t/a、总磷削减2.90 t/a。

4.5 恢复河流完整自然空间形态

巡司河北部鲇鱼套暗涵是流域内最大的污染源之一,也是实现连通长江的“最后一公里”。以实现巡司河长治久清为出发点,必须恢复巡司河完整的河道空间形态。鲇鱼套暗涵改造平面见图8。

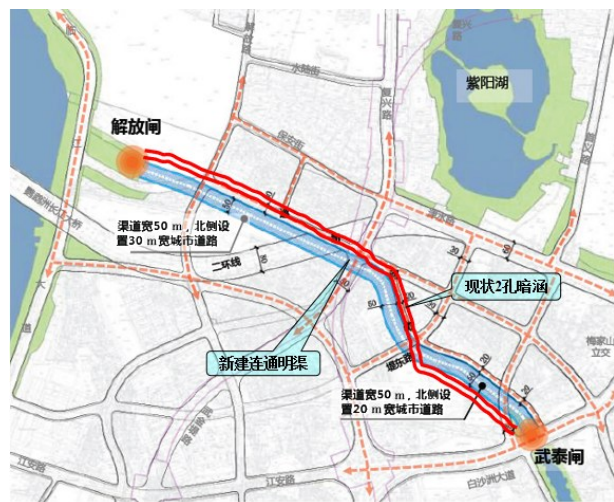


图8 巡司河流域鲇鱼套暗涵改造平面

Fig.8 Renovation of the Nianyutao underground culvert in the Xunsi River basin

由于原有鲇鱼套暗涵上方市政道路是连接其他交通主干道的纽带,难以实现暗涵原位拆除重建,因此伴随武昌区旧城更新,新建1.6 km连通明渠,恢复巡司河自然空间形态,打通与长江的生态联系,保留鲇鱼套暗涵作为截污/溢流通道的。

4.6 河道生态补水与活水循环

巡司河流域北部武泰闸污水处理厂建成后,尾水主要指标如COD、氨氮、总磷执行《地表水环境质量标准》(GB 3838—2002)的Ⅳ类标准,平均每日可向上游补充(10~15)×10⁴ m³/d高品质尾水,有效缓解河道生态基流(0.45 m³/s)长期匮乏的问题。

未来随着武昌旧城片的开发,巡司河北端连接长江的解放闸开启,拟进一步引入南部汤逊湖水系作为巡司河补水。

5 工程实施效果及分析

采取消除入河点源污染排放、新建污水处理厂与上游来水提质增效的措施后,巡司河非汛期水质明显好转。汛期通过新建CSO污水处理厂及末端调蓄池、初雨调蓄池,结合管道淤积清理,完善雨污分流与海绵城市建设等措施,缓冲削减入河污染负荷。通过污水处理厂高标准尾水回补,改善巡司河水动力条件,可有效缓解汛期短时超标现象,基本能够保障巡司河水质达到地表水Ⅴ类标准。

截至目前,巡司河流域已完成污水直排口封堵,源头小区雨污混错接改造、市政道路下排水管网修复等工程。根据武汉市武昌区水务和湖泊局的断面监测数据,巡司河非汛期水质已明显好转,COD、氨氮和总磷指标能够稳定达到地表水Ⅴ类要求。但受巡司河北部合流区汛期溢流污染影响,河道水质波动较大,全年仍有部分时段处于劣Ⅴ类。武汉市政府正紧锣密鼓推进合流区武泰闸污水处理厂及调蓄工程,分流区初雨调蓄工程以及配套截流管道工程的建设,预计2025年12月底通水运行。

6 结语

2010年—2018年巡司河历经几次水环境综合整治,河道水质虽短期内得到一定程度的改善,但很快又再次反弹,出现返黑返臭现象。仔细梳理和分析原因,主要是没有建立系统化治理思维,未能从根本上分析流域污染成因,对流域内排水系统存在的结构化问题认识和理解不清晰、不全面所致。本次巡司河流域水环境综合治理是武汉市落实国

家水污染防治战略的一次积极探索和实践。在流域治理过程中遵循“源头减排、过程控制、系统治理”的思路,在量化流域污染负荷的前提下,抓住流域水环境治理的重点和难点,针对武汉地区多雨且降雨集中的特点,在确保旱季达标的前提下,根据流域不同排水体制采取差异化雨季溢流污染控制方案,制定切实可行的“一区一策”整治方案,实现“源头收集-管网输送-厂站处理”设施的技术和能力匹配,为长江中下游城市类似的合流制流域治理提供可参考、可复制的经验。

由于巡司河流域北部为武昌旧城区,城市建设密度大,工程措施落地实施的资金需求量大。在后续治理过程中,还应加快资金统筹,推进流域北部鲇鱼套暗涵周边棚户区的征拆工作,实现暗涵遮盖,恢复河道的自然形态,促进与长江的生态连通;加强源头管控,持续推进流域内的雨污混错接改造工作并形成管网巡检养护机制;整合多部门资源,建立“日常巡查+智能监测”体系,通过“流域共治”平台引导居民、企业参与监督,以实现“河畅、水清、岸绿、景美”的最终目标。

参考文献:

- [1] 赵磊,杨逢乐,王俊松,等.合流制排水系统降雨径流污染物的特性及来源[J].环境科学学报,2008,28(8):1561-1570.
ZHAO Lei, YANG Fengle, WANG Junsong, *et al.* Characterization of storm-water pollutant sources in a combined sewer network [J]. *Acta Scientiae Circumstantiae*, 2008, 28(8):1561-1570(in Chinese).
- [2] 贾楠,王文亮,车伍,等.美国合流制溢流控制标准分析及对我国的启示[J].中国给水排水,2019,35(7):121-127.
JIA Nan, WANG Wenliang, CHE Wu, *et al.* Analysis of combined sewer overflow control standards of the United States and its enlightenment to China [J]. *China Water & Wastewater*, 2019, 35 (7) : 121-127 (in Chinese).
- [3] 闫攀,赵杨,车伍,等.中国城市合流制溢流控制的系统衔接关系剖析[J].中国给水排水,2020,36(14):37-45.
YAN Pan, ZHAO Yang, CHE Wu, *et al.* Analysis of the conjunctive relationship of urban combined sewer overflow control system in China [J]. *China Water & Wastewater*, 2020, 36(14):37-45(in Chinese).
- [4] 李立青,尹澄清,何庆慈,等.武汉市城区降雨径流污染负荷对受纳水体的贡献[J].中国环境科学,2007,27(3):312-316.
LI Liqing, YIN Chengqing, HE Qingci, *et al.* Contribution of pollution load of storm runoff in urban areas of Hanyang, Wuhan City on the receiving water [J]. *China Environmental Science*, 2007, 27(3):312-316 (in Chinese).
- [5] 刘志明,王德信,汪德耀.水工设计手册[M].2版.北京:中国水利电力出版社,2011:413-415.
LIU Zhiming, WANG Dexin, WANG Deguan. *Hydraulic Design Manual*[M]. 2nd ed. Beijing: China Water & Power Press, 2011:413-415(in Chinese).
- [6] 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).
- [7] 高原,王红武,张善发,等.合流制排水管道沉积物及其模型研究进展[J].中国给水排水,2010,26(2):15-18,27.
GAO Yuan, WANG Hongwu, ZHANG Shanfa, *et al.* Current research progress in combined sewer sediments and their models[J]. *China Water & Wastewater*, 2010, 26(2):15-18,27(in Chinese).

作者简介:胡明博(1985-),男,吉林长春人,硕士,高级工程师,注册公用设备工程师(给水排水),主要从事污水处理、流域水环境治理领域的工程设计工作。

E-mail:492503722@qq.com

收稿日期:2025-06-04

修回日期:2025-07-21

(编辑:衣春敏)