

基于“山水引流”理念的 山地城市水环境治理实例研究

张先炳¹,王 幸¹,杨 威¹,张阳春¹,张 浩²,蔡志伟²

(1. 国家内河航道整治工程技术研究中心,重庆市生态航道重点实验室,重庆交通大学,重庆 400074;

2. 中煤科工重庆设计研究院(集团)有限公司,重庆 400000)

摘 要:为探究山地城市小流域的水环境问题,并寻求相应的治理对策。以某山地城市DS溪为研究对象,梳理了该流域的水质与水量特征及存在的水环境问题,得出DS溪上、中、下游的综合污染指数 q_i 分别为0.78、1.9、1.65,主要污染源为流域内的生活污水,最终进入污水厂的污水量约56万 m^3/a 、地下水量约406万 m^3/a 、截留的雨污混流水量约99万 m^3/a ,还有约41万 m^3/a 雨污混流水直接排入长江。基于上述分析结论及流域现存的水环境问题构建出以“山水引流—清污分流—生态修复—智能截流”为核心理念的山地城市流域水环境综合治理工程体系。此实例研究以期能为其他山地城市水环境治理提供参考,全面改善山地城市流域的水生态环境。

关键词:山地城市;水环境问题;山水引流;清污分流

中图分类号:TV855;X522

文献标识码:A

DOI:10.12396/znsd.221115

张先炳,王 幸,杨 威,等. 基于“山水引流”理念的山地城市水环境治理实例研究[J]. 中国农村水利水电,2023(2):74-79. DOI:10.12396/znsd.221115.

ZHANG X B, WANG X, YANG W, et al. A case study of urban water management in mountain city based on the concept of “Mountain Water Diversion”[J]. China Rural Water and Hydropower,2023(2):74-79. DOI:10.12396/znsd.221115.

A Case Study of Urban Water Management in Mountain City Based on the Concept of “Mountain Water Diversion”

ZHANG Xian-bing¹, WANG Xing¹, YANG Wei¹, ZHANG Yang-chun¹, ZHANG Hao², CAI Zhi-wei²

(1. National Inland Waterway Regulation Engineering Technology Research Center, Chongqing Key Laboratory of Ecological Waterway, Chongqing Jiaotong University, Chongqing 400074, China; 2. China Coal Science and Technology Chongqing Design and Research Institute (Group) Co. Ltd., Chongqing 400000, China)

Abstract: To identify the water environment problems in small mountainous urban watersheds, this paper seeks appropriate solutions. By taking the DS Creek in a mountain city as an example, its water quality and quantity characteristics and corresponding environmental problems are studied. The results show that the comprehensive pollution index q_i of the upper, middle and lower reaches of DS Creek is 0.78, 1.9 and 1.65, respectively. And the main pollutant is the discharge of sewage along the creek. Every year, it's about 560 000 m^3 sewage water and 4.06 million groundwater that finally runs into the wastewater treatment plant, and about 990 000 m^3 mixed rainwater and sewage discharges into the Yangtze River. Based on the above analysis, a comprehensive water environment management engineering system in mountain urban watersheds is constructed with the core concept of “mountain water diversion – sewage diversion – ecological restoration – intelligent flow in-

收稿日期:2022-05-27

基金项目:重庆市《主城区“山水引流”工程论证及工程方案》项目(20C01029)。

作者简介:张先炳(1985-),男,教授,博士,主要研究方向为流域水生态、鱼类资源保护、水环境修复理论及应用。E-mail:zhangxb11@qq.com。

通讯作者:杨 威(1985-),男,副教授,博士后,主要研究方向为长江上游水生态保护、水环境修复理论及应用。E-mail:sj-yangwei@163.com。

terception.” It is also expected that this case study can provide a reference for the water environment management of other mountain cities, and improve the water ecological environment as a whole.

Key words: mountain city; water environment problems; mountain water diversion; separation of clean water and sewage

1 研究背景

我国是一个多山国家,山地面积占国土面积的 2/3 以上。而山地城市大多依山而建,其气候类型、地形特征与生态环境均较为特殊^[1]。近年来,城市化进程的不断加快给人类生态环境带来了巨大的影响,城市大面积的不透水地面取代了透水良好的林地、农田、湿地和森林等,土地的调蓄能力明显降低;城市内河水系被人工加盖,大量不达标雨污水因为管道混错接排入河流中,使得生态环境较为脆弱的山地城市在水环境治理与雨洪灾害防治方面的形势日益严峻;此外,热岛效应、大气污染、环境净化能力和修复能力减弱等现象也越来越严重^[2-4]。对此,习近平总书记提出,要保护和修复被破坏的生态环境,就要坚持山水林田湖草沙冰一体化保护系统治理,加强重要江河流域生态环境保护 and 修复,发展人与自然是生命共同体的理念^[5]。故本文以尊重自然、顺应自然、保护自然为核心原则,以地形结构复杂、受物种多样性影响较大的某山地城市一个典型山水流域 DS 溪作为研究对象进行研究。针对其目前存在的水环境问题,提出具有针对性、工程可行性的水环境治理方案,期望能够恢复山清水秀、湖净草绿的生态环境。

2 山地城市存在的水环境问题

2.1 山水对城市排水系统造成的危害

山水一般是山地城镇范围内的溪沟或荒溪中随降雨而波动的地表和地下径流。当降雨量较大时,山水极易演变为流速快、冲刷力和破坏力更强的山洪或滑坡等地质灾害。而山地城市与平原城市的最大区别在于其地形地貌、河网密度、地表坡度均大于平原城市,所以导致其相较于平原城市而言,雨洪灾害的暴发频率及其对城市的破坏力远大于平原城市。特别是近年来由于快速城镇化使得都市区人口高速聚集,侵占了山体与河流等水系生态空间,阻断了山区自然的降雨径流过程,导致降雨时一部分山水流向河流,另一部分则沿山区坡面、沟、渠以地表水的形式汇流至城市管网内,严重加剧了城市排水系统的运行负荷,更容易发生管道爆裂、城市内涝、山洪灾害等。

2.2 雨污混流对城市水环境的影响

雨污混流中的污染物主要来自生活污水、初期径流雨水和管道沉积物等多个途径,来源的多样性决定了水环境污染的复杂性^[6]。山地城市排水管网的布局相对分散,不易集中,且城镇和居民点多沿河分布在低海拔地势平坦区^[7],沿岸的污水直排口、合流排口或溢流点较多。雨季时,大量雨污合流水排入水体中,不仅造成水体质量恶化,这些区域还会受到洪水的威胁,严重影响了城市水环境及城市行洪安全。如有研究通过检测入江沿岸溢流口晴天与雨天的溢流污水发现,雨天溢流污染物中的 COD 和 SS 浓度相比于晴天污水更高,且随着降雨量的增加,SS、NH₃-N、TP 浓度明显增加^[8]。

3 研究流域概况

DS 溪位于某山地城市主城区内,是一个流域面积为 7.68 km² 的小流域,其中林地、建设用地和耕地的占比 42.11%、37.02% 和 18.85%。河道整体呈南北流向,全长 6.88 km。DS 溪上游位于山区的天然河道,有 4 条小支流,河水主要来源于降雨时的山区地表径流即山水和地下水补给量,山水汇流面积达 2.42 km²;中游由于城市化建设,从立交桥位置开始,对河道进行了加盖硬化等工程化处理,建成了 3.6 m×3.8 m、长约 2.2 km 的暗涵;下游为长约 1.1 km 的天然河道,且在河道沿江的排口处设有截流堰与提升泵站,目的是将河水截入沿江截流干管中,最后输送至污水处理厂(如图 1 所示)。

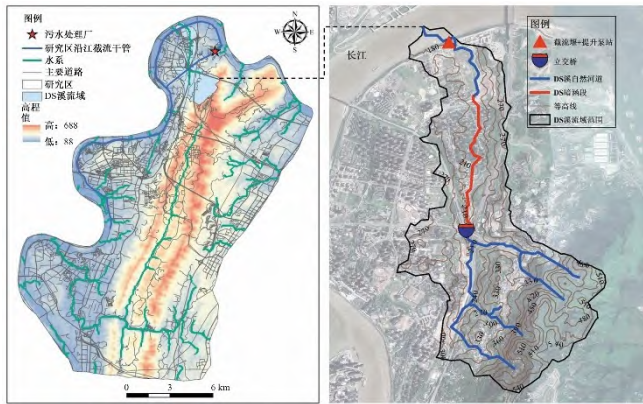


图 1 DS 溪区域位置图

Fig.1 Regional map of DS Creek

4 DS 溪水环境现状及问题分析

4.1 河道水质概况

通过现场勘察,选取立交桥、暗涵出口及截流堰等 3 个点进行 DS 溪河道的水质采样检测,水质检测指标为 COD、TN、TP、NH₃-N,其结果见图 2。运用单因子污染指数法和综合污染指数法对 DS 溪的水质进行定性评价,方法如下。

$$q_i = \frac{c_i}{c_{i0}} \tag{1}$$

$$q = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n q_i \tag{2}$$

式中: q_i 为第 i 项污染物的污染指数; c_i 为第 i 项污染物的年际平均值; c_{i0} 为第 i 项污染物的环境质量标准(本文参照 GB18918-2002 一级 A 出水标准); q 为均值污染指数; n 为参与评价指数项数。综合污染指数 q 将水质划分为 4 个污染等级, $q < 0.4$ 为良好, $0.4 \leq q < 0.7$ 轻微污染, $0.7 \leq q < 1.0$ 中度污染, $1.0 \leq q < 2.0$ 重污染, $q > 2.0$ 严重污染^[9]。

DS 溪各河段污染指数与污染程度划分如表 1 所示,分析数据可知,影响 DS 溪水质的主要因子是 TP 与 NH₃-N。DS 溪上游水体污染较轻,下游自然河段与暗涵段污染较重,主要因为

暗涵穿过了河道中游城区,有未达标水体排入,并且是DS流域污水排入的主要河段。而下游为天然河段,有一定地下水汇入河道,稀释了约0.3倍河水,与暗涵段相比,其污染物浓度有所降低。总体而言,DS溪各断面污染程度从重到轻为暗涵口>截流堰>立交桥。

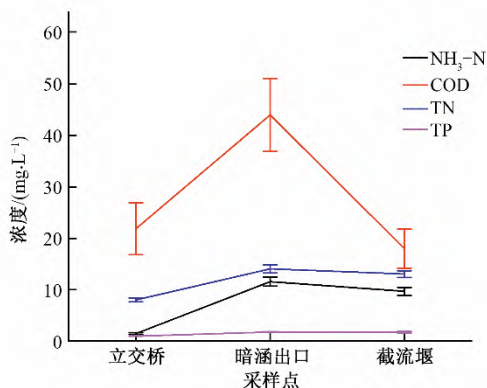


图2 水质检测结果

Fig.2 Results of water quality

表1 水质评价结果

Tab.1 Water quality evaluation results

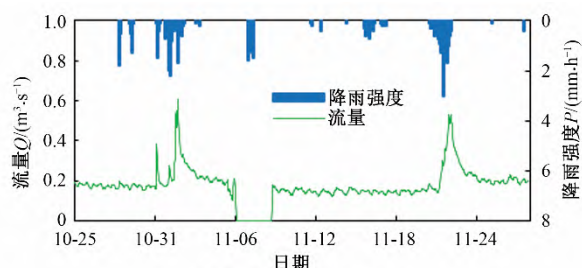
采样点	单因子污染指数 q_i				综合污染指数 q	污染等级
	COD	TN	TP	NH ₃ -N		
盘龙立交	0.44	0.53	1.88	0.29	0.78	轻度污染
暗涵口	0.88	0.94	3.46	2.31	1.9	重污染
截流堰	0.36	0.87	3.44	1.93	1.65	重污染

4.2 河流水量特性

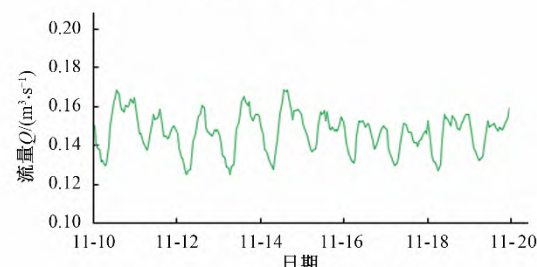
为分析DS溪水量特性,在截流堰处进行了为时34 d的实时流量监测,监测数据如图3(a)。该段时间内,DS溪日均流量1.65万 m^3 (除监测异常时间),累计降雨量62.4 mm,最大日降雨量23.2 mm,对应的日流量达3.16万 m^3 。由此可估算DS溪年累计流量约为602万 m^3 。进一步分析水质、水量数据与现场勘察结果发现,DS溪存在增大下游截流干管与污水处理厂运行负荷以及河水溢流污染江水的问题。

在早期时,DS溪河流流量基本来自地下水补给与污水排放。选取11月10~19日的流量数据进行分析[图3(b)],发现该时段内的日流量变化规律大致相同,每日的23:00到6:00,流量逐渐下降至日最低流量。根据最小流量法,旱季夜间最低流量可认为是地下水的补给量^[10]。通过计算此段时间内DS溪每日夜间最小流量的平均值,得出DS溪地下水补给量约为0.128 8 m^3/s ,即11 130 m^3/d 。

同时,采用曲线积分法计算DS溪的日污水排放量,用11月1~19日时间段内的小时流量曲线与x轴围成的积分面积减去日地下水补给量与x轴围成的积分面积,结果即为该段时间内累计排入DS溪的污水量,然后除以计算时间(10 d)可得出日污水排放量。经过计算,DS溪日污水排放量约为1 530 m^3 (图4)。综上所述,并结合实测时段内的 Q - P 曲线与年降雨量数据,分析出DS溪每年至少有约406万 m^3 地下水补给量、56万 m^3 污水与99万 m^3 山水和雨水被截入截流干管与污水处理厂中,同时以日降雨量超过8 mm时产生溢流计算,每年约有41万 m^3 河水



(a) 34 d流量监测数据



(b) 少雨或非雨时流量数据

图3 DS溪流量监测数据(2021年)

Fig.3 Measured flow discharge of the DS Creek

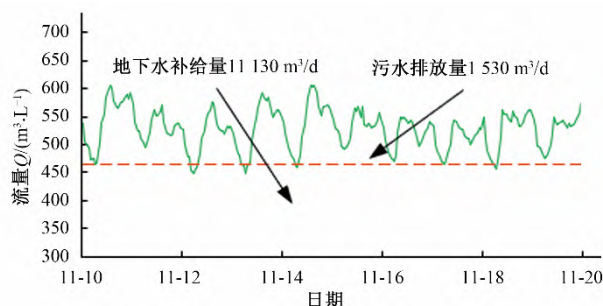


图4 DS溪早期水量分配(2021年)

Fig.4 Water allocation in DS Creek during drought period

溢流入长江。由此可见,DS溪对截流干管和污水处理厂的运行负荷以及长江水生态环境产生了一定影响。

4.3 主要污染源分析

结合现场调研结果与水质水量检测数据分析,DS溪存在的污染源主要包括以下几个方面:

(1)沿河污水排放的点源污染。DS溪沿岸特别是暗涵段,由于污水收集系统不完善与雨污混流问题,导致大量污水排入或渗入暗涵内。根据水量数据估算流域内年污水排放量56万 m^3 。按照该山地城市生活污水的平均浓度计算,DS溪点源污染负荷为COD178.56 t/a、TN22.32 t/a、TP1.95 t/a、NH₃-N16.74 t/a。

(2)沿河农业面源污染。上、下游自然河段的沿岸山坡上种满了菜地,农业施肥与降雨过程的耦合作用导致大量的氮、磷通过渗透、地表径流、扩散等过程流失进入河道,导致河流水体中氮、磷污染物浓度增加。

(3)下游河流内源污染。DS溪沿岸生活污水的排入和农业生产过程,使大量污染物经过吸附和沉降作用后蓄积于底泥中,又因为其自身的可转移性,在环境中产生迁移、转化过程,沉积在下游坡度较小、水流较缓的自然河道中。故底泥污染也是DS溪氨氮污染物浓度超标的原因之一。

5 DS溪水环境治理工程方案

5.1 技术路线

针对DS溪流域存在的水环境问题,本文以水环境保护、水安全保障和水生态修复为基本导向,以尊重自然,顺应自然,保留原有自然生态河道为原则,提出“山水引流—清污分流—生态修复—智能截流”一体化的山地城市水环境治理工程体系,使满足排放标准的河水全部引入长江。这不仅可以阻断山水排入城区,提升城区的防涝排洪能力,也可减轻截流干管及污水处理厂的运行负荷,逐步恢复山水流域原生态水环境,为开展其他流域水环境治理工作提供纲领性指导方案。

5.2 构建山水引流通道,提升排涝防洪能力

山水具有冲击力强、分散性强的特点,而规划山水引流通道,可减轻山水对DS溪河道行洪能力、河流水环境以及城市排水压力的影响。规划原则是依据地形图与山体等高线在流域上游的山城交接处规划截洪沟,将山水引至就近河道。但山上不设其他截洪沟,一方面是考虑让山水顺应山体坡面环境,沿山脊线自然流下;另一方面由于山地城市山地环境复杂,植被覆盖率高,在山上规划截洪沟,既不容易敷设又不易维护,安全系数较低。

根据DS溪流域的矢量高程数据,利用ArcGIS软件将DS溪上游山水汇流面积划分为4个子汇水区,汇流面积总计2.42 km²,再依据各节点的高程值与坡向分析,分析山水的汇流方向。然后再综合考虑上游山水汇流方向及地形环境,提出在DS溪上游山脚下的道路旁敷设截洪沟,该方法相较于在山坡下敷设截洪沟,具有施工难度较低、敷设长度短、易维护、可降低地块开发的工程投资等优点^[11]。拟计划敷设截洪沟2 885 m,字母A~G为截洪沟的设计节点,如图5所示。节点B、D、F的地势较低,山水可由此3个节点汇入DS溪主河道。同时,需在B、D、F节点排向主河道的出口设置格栅,截留山水中夹杂的枝叶与漂浮物,并做到定期维护截洪沟。

截洪沟设计采用20年一遇洪水设计、50年一遇洪水校核。截洪沟流量计算采用公路科学院研究所的小流域面积经验公式(当汇流面积小于10 km²可以采用)计算^[11],如下式:

$$Q = K F^n \tag{3}$$

式中:Q为洪沟设计流量,m³/s;K为流量模数,西南山地型地区径流模数20年重现期取16,50年重现期取19.2;n为流域面积

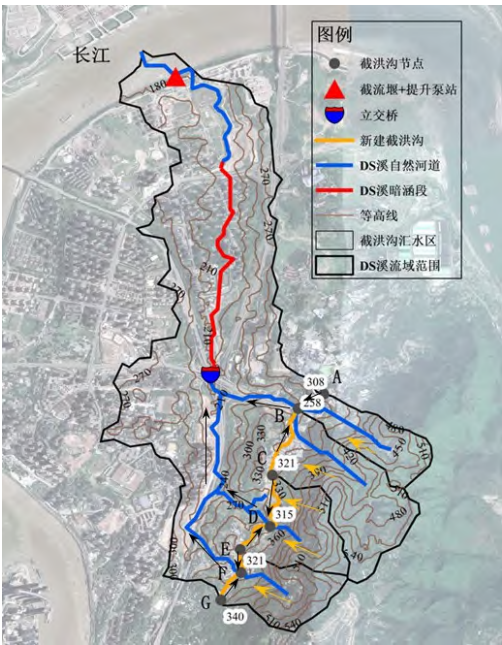


图5 山水引流通道示意图

Fig.5 Schematic diagram of mountain water diversion channel

参数,西南山地型地区 $F < 1 \text{ km}^2$ 时, $n=1$;当 $1 \text{ km}^2 < F < 10 \text{ km}^2$, $n=0.85$;F为截洪沟所涉及的流域面积,km²。

截洪沟的断面通常选择梯形或矩形断面,两种断面形式对比如表2所示。截洪沟设计与敷设的前期准备工作中,要对研究区域进行详尽的现场调查,充分结合研究区域的地形地势,山水流域范围,选择合适的截洪沟断面形式。根据式(3)计算得出的设计洪峰流量,采用谢才公式[式(4)]分别计算两种断面形式下的截洪沟断面尺寸(结果见表3)。

$$Q = AC \sqrt{Ri} \tag{4}$$

式中:Q为截洪沟设计流量,m³/s;A为过水断面面积,m²;C为谢才系数,m^{0.5}/s, $C = \frac{1}{n} R^{1/6}$ (曼宁公式),n为截洪沟的粗糙系数,参照《室外排水设计规范》,n取0.014;i为渠底纵坡;本文取0.003。根据梯形断面或矩形断面对上式进行推导,得到下式:

$$Q = \frac{[(b + mh)h]^{\frac{5}{3}}}{n(b + 2h\sqrt{1 + m^2})^{\frac{2}{3}}} \sqrt{i} \tag{5}$$

式中:b为截洪沟过水断面底宽,m;h为截洪沟过水断面水深,m;m为截洪沟过水断面边坡系数(矩形断面m=0),本文取1.2。

表2 截洪沟断面形式比较^[12]

Tab.2 Comparison of cross-section forms of flood control ditch

断面形式	矩形断面(盖板沟)	梯形断面
优点	沟顶可设盖板,临路敷设较安全	收水能力较强
缺点	收水能力较弱,需根据山洪路径准确确定开口	占地较大,若断面尺寸过大,需加设护栏,安全性较差
适用性	适用于截洪沟两侧高差较大且坡度较大时	适用于截洪沟两侧高差不大,且坡度较小时

5.3 河流沿岸清污分流,恢复自然生态河道

DS溪河道沿岸有多处雨污水排入河道问题,严重影响着下游河道水质。因此,对沿岸所有旱季污水进行截流,并坚持源头处理,坚定不移地推行雨污分流,实施全覆盖的正本清源工程,是改善下游河道水质,恢复河道水生态环境的重要方法

之一。

根据DS溪流域的排水管网图纸及管勘资料,并结合现场调查发现,DS溪上游存在沿线污水管破损、污水直排口及疑似混错接排口各一处(图6);中游暗涵段存在5个污水直排口,均在居民区附近。其中4号最为严重,该处有一管径800的污水

表3 截洪沟断面尺寸比较

Tab.3 Comparison of cross-section dimensions of flood control ditch

截洪沟	汇水面 积 <i>F</i> /km ²	截洪沟 长度/ <i>m</i>	洪峰流量/(m ³ ·s ⁻¹)		矩形断面			梯形断面		
			<i>P</i> =20年	<i>P</i> =50年	断面尺寸/ <i>m</i>	设计流量/ (m ³ ·s ⁻¹)	校核流量/ (m ³ ·s ⁻¹)	断面尺寸/ <i>m</i>	设计流量/ (m ³ ·s ⁻¹)	校核流量/ (m ³ ·s ⁻¹)
A-B	0.461	474	7.4	8.9	<i>b</i> × <i>h</i> =2×2.4	10.49(<i>h</i> =1.8)	14.9	<i>b</i> × <i>h</i> =1×1.8	10.56(<i>h</i> =1.4)	18.2
B-C	0.940	778	15	18.1	<i>b</i> × <i>h</i> =2.5×2.8	17.46(<i>h</i> =2.1)	24.8	<i>b</i> × <i>h</i> =1.5×2	16.69(<i>h</i> =1.5)	30.6
C-E	0.530	1 033	8.5	10.2	<i>b</i> × <i>h</i> =2×2.4	10.49(<i>h</i> =1.8)	14.9	<i>b</i> × <i>h</i> =1×1.8	10.56(<i>h</i> =1.4)	18.2
E-G	0.488	600	7.8	9.4						

注:设计流量为非满流,按照排水设计规范,明渠超高不得小于0.2 m,故设计充满度取0.75;表中()内*h*为设计流量下的水流深度;校核流量为满流流量。



图6 DS流域沿线直排口实景照片

Fig.6 Actual photograph of the wastewater outfall along the DS creek basin

管直排入箱涵,污水平均COD浓度达292.5 mg/L;5号、6号、7号、8号是4个连续污水直排口接入暗涵内部。针对以上情况,根据不同排口类型分类提出分流改造方案,如表4。其中4号污水直排口,因在市政道路上进行工程改造难度较大,故考虑在暗涵段沿岸架空敷设一全长3.1 km的污水截流管,出暗涵后沿河道敷设,终点接入下游提升泵站,输送至污水处理厂,以备后期河岸新建区域污水接入。此外,针对沿线没有污水流出的雨水排口,建议保留现状排口。

表4 DS流域外水排入情况

Tab.4 Discharge of external water in DS Creek basin

地点	编号	管道管径/ mm	问题描述	污染情况	解决方案
上游	1	—	沿线污水管线破损	少量污水流入河道	修复管线,并排查有无其他冒溢点
	2	—	污水直排口		新建污水截流管
	3	—	疑似混流排口		污水源溯源,并开展雨污分流整治工程
中游暗涵段	4	800	污水直排口	污水排放量较大	暗涵内架空敷设截污干管
	5	300			
	6	300		少量污水流入箱涵	排口末端封堵,并在岸上新建污水管道,将4个直排口串联接入市政管中
	7	400			
	8	400			

5.4 河流下游生态修复,提高水体自净能力

DS溪下游有约1.1 km的天然河道,上游及暗涵段排入河的污水量约1 530 m³/d,主要的污染物是有机物和氮磷污染物。为保证出水水质达到《城镇污水处理厂污染物排放标准》GB18918-2002中的一级A排放标准,首先应清退河流沿岸的农田,并对自然河段进行清淤疏浚,消除内源污染,但需控制清淤深度,否则会破坏底泥中微生物群落构造,降低水体自净能力^[13]。其次在DS溪下游的天然河段建设人工湿地、自然生境观赏区及空中木栈道,通过栽植密林或绿植鲜花,营造鸟类栖息环境,修复湿地的生态环境以及丰富湿地生态的多样性,从而加速河道自然生态修复。

人工湿地的设计出水水质可参考暗涵口的水质检测结果(表5)。由于复合型人工湿地在河道水质净化方面有较大优势,对污水水质改善远高于单一的湿地系统^[14]。结合DS溪流现状、水质污染情况及所处地形环境,可采用水平潜流+表面流的组合人工湿地技术。将所有河水通过自流式分水口或泵站输送至湿地前设置的预处理系统,处理悬浮物和TP超标的情况,而后进入人工湿地,净化水质,工艺流程见图7。

表5 设计出水水质设计指标

Tab.5 Designed effluent water quality standards

指标	NH ₃ -N	TP
进水/(mg·L ⁻¹)	11.55	1.73
出水/(mg·L ⁻¹)	5.00	0.50
去除效率/%	56.71	71.10

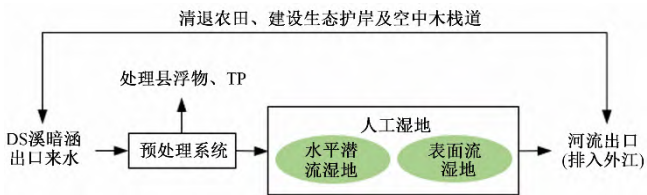


图7 生态修复工艺流程

Fig.7 Ecological restoration process

5.5 河流排口智能截流,实现河道排水自由

经过“山水引流、清污分流以及生态修复”等一系列水环境修复过程,DS溪河道的水质定会有所改善,达到直排外江的水质标准,但不排除存在截污不彻底或出现新增的管道破损、破裂导致污水外溢的情况,再次破坏河道水环境。故可在河道下

游排口,即截流堰处安装智能截流井。智能截流井是在传统截流井的基础上加入了传感器与自动控制设施,相较于传统截流井,具有防止污水回流、防止自然水体倒灌等优点,可采用水质法、雨量法、时间法和水位法等多种方法进行截流控制^[15,16]。根据DS溪下游排口环境,可安装下开堰式智能截流井,根据设定污染物浓度值来调节下开式堰门,从而保证污染物浓度较高的河水被截入截流干管,最后输送至污水处理厂。如此可进一步保证排入长江的水体达标和水质安全。

6 结 论

本文以某山地城市DS溪流域为水环境治理实例研究对象,结合排水管网资料、现场调查结果、水质与水量监测数据等,分析出DS溪的主要污染物为 $\text{NH}_3\text{-N}$ 和TP。并梳理出该流域存在的主要水环境问题:①山水排入城区管网系统增大了城市内涝的风险;②DS流域每年约有41万 m^3 雨污混流河水溢流入长江,对长江水生态环境造成一定污染;③每年约有561万 m^3 河水被截入污水处理厂,增大了其运行负荷。接着,针对性提出以“山水引流—清污分流—生态修复—智能截流”为核心理念的一体化水环境综合治理体系,使满足排放标准的河水全部引入长江,可有效强化雨污分流的效果,改善河流水质及提升水生态环境质量。同时期望本文研究的水环境治理工程实例能为其他山地城市的流域水环境治理提供纲领性的指导意见,从而恢复城市山水秀美的生态环境。

参考文献:

- [1] 段秀举. 基于生态理念的山地城市水资源规划研究[D]. 重庆:重庆大学, 2015.
DUAN X J. Study on water resources planning of mountain cities based on ecological concept [D]. Chongqing: Chongqing University, 2015.
- [2] 刘新荣, 刘丰铭, 李 鹏. 山地城市地下空间排水与防洪功能的思考[J]. 地下空间与工程学报, 2012, 8(5): 896-903.
LIU X R, LIU F M, LI P. Thoughts on drainage and flood control function of underground space in mountainous areas [J]. Chinese Journal of Underground Space and Engineering, 2012, 8(5): 896-903.
- [3] 靳俊伟, 吕 波, 章卫军, 等. 重庆主城区排水(防涝)总体规划总体技术路线[J]. 中国给水排水, 2015, 31(8): 24-29.
JIN J W, LV B, ZHANG W J, et al. Overall technical route of comprehensive drainage (flood prevention) planning in Chongqing [J]. China Water & Wastewater, 2015, 31(8): 24-29.
- [4] 潘璐璐, 廖柏寒. 论城市化进程对生态环境的影响及其对策[J]. 中南林业科技大学学报(社会科学版), 2011, 5(2): 49-51.
PAN L L, LIAO B H. On the impact of urbanization on ecological environment and its countermeasures [J]. Journal of Central South University of Forestry & Technology (Social Sciences), 2011, 5(2): 49-51.
- [5] 青海省人民政府. 全力打造山水林田湖草沙冰保护和系统治理新天地. [EB/OL]. www.people.com.cn, 2021.10.27/2022.4.20.
People's Government of Qinghai Province. Make every effort to create a new world of grass, sand and ice protection and systematic management in landscape, forest and lake. [EB/OL]. www.people.com.cn, 2021.10.27/2022.4.20
- [6] 李思远. 合流制管网污水溢流污染特征及其控制技术研究[D]. 北京:清华大学, 2015.
LI S Y. Study on sewage overflow pollution characteristics and control technology of combined pipe network [D]. Beijing: Tsinghua University, 2015.
- [7] 张乾柱, 卢 阳, 秦 维, 等. 重庆市山洪灾害空间分布规律及影响因素研究[J]. 人民长江, 2018, 49(1): 13-18+22.
ZHANG Q Z, LU Y, QIN W, et al. Study on spatial distribution law and influencing factors of mountain torrents in Chongqing [J]. Yangtze River, 2018, 49(1): 13-18+22.
- [8] 杨 潇. 溢流口污染及其治理对航道水环境的影响研究[D]. 重庆:重庆交通大学, 2021.
YANG X. Study on the influence of overflow pollution and its treatment on waterway water environment [D]. Chongqing: Chongqing Jiaotong University, 2021.
- [9] 牟春友, 徐 坤. 在评价微污染水体中均值污染指数评价方法和活性污染指数评价方法的比较[J]. 中国环境监测, 2009, 25(3): 104-106.
MOU C Y, XU K. Comparison between average pollution index evaluation method and active pollution index evaluation method in micro-polluted water [J]. Environmental Monitoring in China, 2009, 25(3): 104-106.
- [10] 杨浩铭, 唐颖栋, 魏 俊, 等. 基于长历时监测的外水入侵诊断分析研究[J]. 给水排水, 2021, 57(增刊1): 218-221.
YANG H M, TANG Y D, WEI J, et al. Diagnosis and analysis of external water intrusion based on long-term monitoring [J]. Water & Wastewater Engineering, 2021, 57(S1): 218-221.
- [11] 邹许鑫, 吕 燕, 尹 滔. 西南地区山谷型小型垃圾填埋场截洪沟设计[J]. 中国给水排水, 2012, 28(12): 79-82+86.
ZOU X X, LV Y, YIN T. Design of flood intercepting ditch of valley-type small landfill in southwest China [J]. China Water & Wastewater, 2012, 28(12): 79-82+86.
- [12] 辛 璐, 陈 旭, 赵云皓, 等. 北京某区域截洪及调蓄设施设计探讨[J]. 给水排水, 2019, 55(10): 69-74.
XIN L, CHEN X, ZHAO Y H, et al. Discussion on design of flood interception and storage facilities in a certain area of Beijing [J]. Water & Wastewater Engineering, 2019, 55(10): 69-74.
- [13] 余义瑞, 史贵君, 武 星, 等. 深圳市宝安区水环境综合治理模式及其成效[J]. 人民长江, 2021, 52(3): 21-27.
YU Y R, SHI G J, WU X, et al. Comprehensive management mode of water environment in Baoan District of Shenzhen and its effect [J]. Yangtze River, 2021, 52(3): 21-27.
- [14] 葛 媛, 郑于聪, 王怡雯, 等. 复合人工湿地在水处理中的应用进展[J]. 环境科学与技术, 2018, 41(1): 99-108.
GE Y, ZHENG Y C, WANG Y W. Application progress of constructed wetlands in water treatment [J]. Environmental Science & Technology, 2018, 41(1): 99-108.
- [15] 朱一松. 基于SWMM的城市初期雨水污染截流模拟[J]. 人民长江, 2019, 50(增刊2): 15-18.
ZHU Y S. SWMM-based simulation of urban rainwater pollution interception in the early stage [J]. Yangtze River, 2019, 50(S2): 15-18.
- [16] 王 彬, 高 磊, 李 虹, 等. 智能截流井在某大型湖泊沿湖排口截污改造工程中的应用[J]. 净水技术, 2021, 40(9): 139-145.
WANG B, GAO L, LI H, et al. Application of intelligent intercepting well in the sewage interception reconstruction project of a large lake outfall [J]. Water Purification Technology, 2021, 40(9): 139-145.