

面源型污染入库河流水环境综合治理工程设计

彭俊¹, 徐彦飞²

(1. 湖南省建筑设计院有限公司, 湖南 长沙 410012; 2. 中国市政工程中南设计研究总院有限公司
深圳分院, 广东 深圳 518000)

摘要: 某河道为饮用水源地水库入库河流, 由于面源污染较为严重, 入库水质达不到地表水Ⅲ类水质标准的要求。为有效控制和治理河道面源污染, 启动了河流水环境综合治理工程, 根据流域面源污染源分布特点, 进行分类、分区的综合整治: 清水产流区设置截洪沟将山体干净的初雨直接导入水库; 污控净化区内上游居住区、工业区设置初雨径流的调蓄和处理设施, 下游农田区设置生态沟渠和滞留塘控制种植业面源污染; 出流缓冲区, 采用低影响开发(LID)技术建设生态型护岸, 削减入河面源污染负荷; 入库段设置入库库湾林和水库前置库, 最终确保入库水质达标。工程完工后的水质监测数据显示, 河流入库水质已基本达到地表水Ⅲ类水质标准的要求。

关键词: 面源污染; 入库河流; 水环境治理; 水质达标

中图分类号: TU992.3 **文献标识码:** C **文章编号:** 1000-4602(2018)24-0056-05

Design of Treatment of Non-point Source Polluted River as Inflow of Reservoir in Water Environment Governance

PENG Jun¹, XU Yan-fei²

(1. Hunan Architectural Design Institute Limited Company, Changsha 410012, China; 2. Shenzhen Branch, Central and Southern China Municipal Engineering Design & Research Institute Co. Ltd., Shenzhen 518000, China)

Abstract: As one of the inflow source of drinking water source reservoir, due to the serious non-point source pollution, the river water quality didn't reach the requirement of the Ⅲ level of surface water quality standard. For controlling and governing river non-point source pollution, the water environment governance project was conducted. Based on the characteristics of non-point source pollutant distribution in watershed, the comprehensive control and remediation were conducted according to districts and classification of polluted water bodies. Some measures were taken as follows: cut-off ditch was set in district of fresh water to guide the initial clean rainwater into reservoir; storage and treatment facility was built in upstream residential area and industrial area in pollution controlling zone, ecological ditch and detention pond were constructed downstream to control farming non-point source pollution; the ecological barricade with LID technology was adopted in area of outflow buffer to cut down non-point source pollution; inflow wood and pre-dam were applied in reservoir inflow section to ensure the influent water quality. Results showed that the water quality could achieve the requirement of the Ⅲ level of surface water quality standard.

Key words: non-point source pollution; river inflow of reservoir; water environment governance; reach the standard for water quality

某水库为当地重要的饮用水源地,其入库水质标准要求为地表水Ⅲ类水质,即 $\text{COD} \leq 20 \text{ mg/L}$, 氨氮 $\leq 1.0 \text{ mg/L}$, $\text{BOD}_5 \leq 4.0 \text{ mg/L}$, $\text{TP} \leq 0.05 \text{ mg/L}$ 。近年来,由于水库流域内大规模的土地资源开发及人口数量的剧增,造成水库水质持续污染。尽管水库流域范围已实施截污干管及雨污分流等多项水污染治理工程,点源、内源污染得到了较好的控制,但由于面源污染未得到有效治理,入库河流水质仍不能满足水库水质标准要求。为进一步消除污染源,改善水源地水质,对面源型污染入库河流进行综合治理具有极为重要的意义^[1]。

1 流域概况

入库河流发源于上游某山塘,河道走向大致为南北向,沿线流经居住区、工业区及基本农田和一级水源保护区,最终流入某大型供水水库。河流全长约 3 km,全线以近南北向条形山体为分水岭,流域面积约 7 km²。水系及用地分布见图 1。

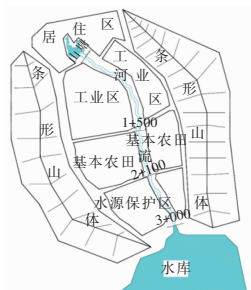


图1 水系及用地分布示意

Fig. 1 Sketch of distribution of river system and land use

2 河道水环境现状及问题分析

2.1 河道水质概况

目前河道现状已建有总口截污措施,对水库水质有一定的保障作用,但仍存在混流水及高浓度面源污染入库问题。旱季时,河道的污水通过截污干管和污水泵站输送至污水处理厂。

现状探勘、取样检测后,发现河流水质达到《地表水环境质量标准》(GB 3838—2002)Ⅳ类标准。

2.2 主要污染源解析

① 上游山塘点源污染

上游山塘周边有污水排入,导致河道上游水体污染严重。目前,山塘周边正进行雨污分流改造,建成后可有效解决河流源头的点源污染问题。

② 沿河点源污染

河道上游有少量工厂和居民,每天产生生产、生

活污水,而流域内污水管网收集系统并不完善,尚有 3 处污水直排口未截流,造成污水直接入库。目前,流域内已建成截污干管系统,只需新建少量接驳管道即可完成污水直排口的截流。

③ 沿河面源污染

上游居民区和工业区内生活、工业、建筑垃圾随意倾倒,下雨天携带路面污染物的初期雨水排入河道,是造成河道水质变坏的重要污染源。河道下游周围又布满果树、鱼塘、养殖场及菜地,也带来大量的农业面源污染。

可见,河道点源污染程度较轻,截污完善后可得到解决;而面源污染是导致河道入库水质不能达标的主要原因,属于典型的面源污染型河道^[2]。

3 河道面源污染整治总体思路

面源污染伴随降雨而发生,其污染特征为量大面广、冲击性强、来源复杂。面源污染型河流的综合治理工作应针对区域特点的不同进行全流域通盘考虑,同时根据面源污染物的来源差异,对不同类型的面源污染物质进行分类、分区的综合整治^[3]。技术路线见图 2。

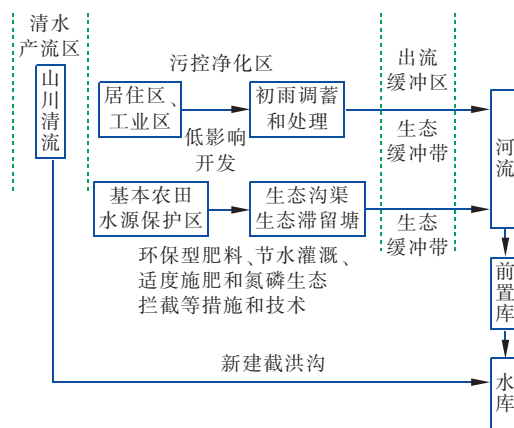


图2 面源污染型入库河流综合治理技术路线

Fig. 2 Technology roadmap of non-point source polluted river inflow of reservoir comprehensive governance

从分类的角度来看,河道上游居民区和工业区面源污染主要为雨水径流污染类型,下游基本农田和一级水源保护区面源污染主要为农业农村种植业污染类型。针对雨水径流的面源污染控制,主要措施包括初雨调蓄和处理、低影响开发设计(LID)和生态缓冲带等;针对农业农村种植业的面源污染控制可利用环保型肥料、节水灌溉、适度施肥和氮磷生态拦截等措施和技术,从源头、流失过程及末端环节

全方位控制面源污染物的无序排放,最后,可在农田退水区域视水量大小建设生态沟渠或生态滞留塘进行氮磷的末端截留。

从分区的角度来看,雨水依次经过清水产流区、污控净化区和出流缓冲区,而后汇入河道中。其中,清水产流区位于流域的上游山体,污染程度较轻,自净能力强,生态系统完整健康。污控净化区内人类活动频繁,受生活污水、养殖业、种植业和初雨等面源污染严重,其污染负荷在严重时将远远超出河流的自身净化能力,因此该区域应该视为面源污染型河流的污染控制和治理重点区域。此外,出流缓冲区位于流域下游,是流域治理的最后屏障,因此仍需要加强沿河两岸面源污染物质的流失控制,以及利用生态工程等多种措施对上游来水携带的面源污染物进行消纳阻截^[4]。

由于河流最终汇入供水型水库,仅控制和削减面源污染物入河尚不能满足入库水质标准要求,还需进行末端入库水质达标工程建设,进一步削减入库污染物负荷以及应对水库水质突发事件,确保入库水质达标,保证供水安全。常用的技术有入库库湾林和水库前置库技术^[5]。

入库库湾林是指在河流入水库段营造多群落、多结构的水陆两栖水源林。树种选择以两栖植物+配园林植物为原则;树种搭配以生态与景观结合为原则;将对水库及其周边区域生态的稳定(避免消涨带产生)、景观的优美(形成亮点性园林绿地)、面源污染的过滤等发挥明显的功能价值。

前置库技术^[6]是利用水库的蓄水功能,将因表层土地中的污染物(营养物质)淋溶而产生的径流污水截留在水库中,经物理、生物作用强化净化后,排入所要保护水体。其功能主要包括蓄浑放清、净化水质:首先,通过减缓入库水流速度,使径流污水中的泥沙沉淀,同时,颗粒态的污染物(营养物质)也随之沉淀;其次,利用前置库内生态系统,吸收去除水体和底泥中的污染物(营养物质)。

4 河流面源污染整治工程设计

根据河流面源污染的分布情况以及产汇流特征,分类、分区开展河流面源污染整治工程设计。参考当地相关规划和工程经验,取初雨截流规模为7 mm/场,对应降雨历时为1 h。

① 清水产流区截洪沟设计

为避免流域范围内山体干净初雨流经建成区或

农田而被污染,沿山脚线新建截洪沟,将山体初雨直接导入水库,山体截洪沟总长为8 644 m,采用C25混凝土仰斜式挡墙,梯形断面,断面尺寸 $b \times h = (0.5 \sim 2.5) \text{ m} \times (0.5 \sim 2.0) \text{ m}$ 不等(见图3)。

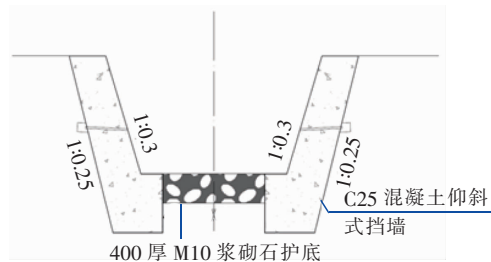


图3 截洪沟断面形式

Fig. 3 Section of cut-off ditch

② 上游居住区、工业区初雨调蓄和处理

在河道上游段新建初雨收集系统,沿河收集居住区、工业区初雨,采用马蹄型隧洞结构形式(见图4),断面尺寸为洞宽1.8 m,高1.8 m,全长3 km,按无压流设计。

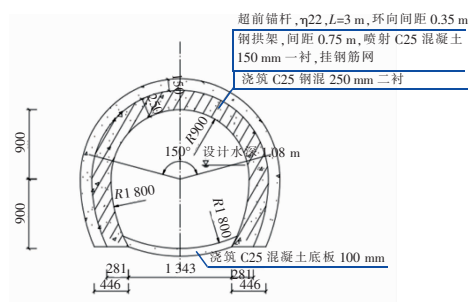


图4 初雨隧洞断面形式

Fig. 4 Section of initial rainwater tunnel

利用桩号1+500处左岸现状3处水塘改建为生态滞留塘,在旁边空地上新建人工湿地,采用两者组合工艺对初雨进行处理,削减上游居民区、工业区初雨面源污染。进水水质按地表V类水考虑,出水要求优于地表IV类水。

上游居住区、工业区汇水面积为1.1 km²,初雨调蓄和处理量为7 700 m³。初雨经水泵提升后进入滞留塘,滞留塘占地为16 000 m²,平均有效水深为0.5 m,分为三格,串联布置,出水自流进入人工湿地进行处理。工程平面布置见图5。湿地采用人工快渗池+自然湿地为主体工艺(见图6),滞留塘出水自流进入水解池,将大分子难降解有机物分解为小分子有机物后进入沉淀池,进行泥水分离,沉淀池出水重力流入人工快渗池,去除河水中污染物后进入自然湿地进一步净化后达标排入河道。沉淀池的污

泥通过污泥管道系统排往污泥储池,经浓缩脱水后的干污泥外运到垃圾填埋场进行卫生填埋处理或者用于非娱乐场所的绿化和沙荒地的土质改良。

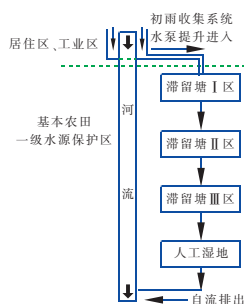


图5 初雨调蓄、处理工程平面布置

Fig.5 Plan of initial rainwater storage and treatment engineering

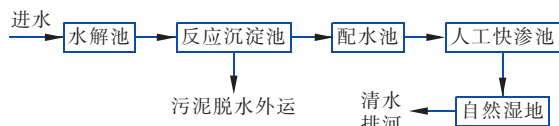


图6 人工湿地工艺流程

Fig.6 Flow chart of constructed wetlands

③ 下游农田区面源污染控制

沿农田退水区域设置生态沟渠,每隔150 m布置一处小型生态滞留塘,收集初雨,晴天用于农田灌溉。生态沟渠总长为3 km,断面尺寸为500 mm × 500 mm,一处滞留塘占地为30 m²,水深为0.6 m,共计20处。

④ 河道生态型护岸

为加强沿河两岸面源污染物的流失控制,采用低影响开发(LID)技术建设生态型护岸。

河道防洪断面形式上采用林荫带、生态植草沟、透水铺装路面、坡地缓冲带及生态砾石床等生态措施(见图7),利用生态拦截的原理,削减入河面源污染负荷,尽量改善受纳水体的水质。

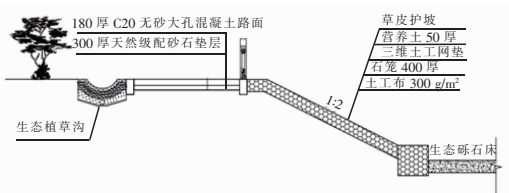


图7 河道典型断面形式

Fig.7 Typical section of river

⑤ 末端入库水质达标工程

包含入库库湾林和水库前置库两大部分。

a. 入库库湾林

分2个地块。上游地块现状为自然河道,下游地块现状为库湾滩涂湿地。

上游地块库湾林总体布局:在实际运行常水位和设计常水位范围,营造6种6类不同群落结构的库湾林,实施面积为5367 m²。造林模式采用两栖植物过滤系统+喜湿灌木隔离系统;树种搭配以生态与景观结合为原则;树种选择:落羽杉、水松、澳洲白千层、水杉、池杉、水榕、水翁、马甲子、梔子等。外围营造灌木隔离带,树种选择带刺的马甲子、勒杜鹃。

下游地块库湾林总体布局:本地块库湾林的主要功能为营造水库后期入库段库湾良好的植物群落,避免形成裸露消涨带,营造层次分明、群落结构多样的库岸防护林带。

入库植物过滤带布置:在入库进口区域营造亲水+水生植物过滤带,对上游面源污染进行过滤,形成湿地地类,实施面积约为1362 m²。其中,水库设计常水位以上高程范围,营造亲水乔木过滤带,树种选择水松、落羽杉、澳洲白千层、竹节树,造林密度为3 m × 3 m,株高选用2.5 m高实生苗。水库设计常水位以下高程范围,营造水生草本过滤带,品种选用水葱、菖蒲、花叶芦竹,扦插种植。出口位置,利用仿木桩修筑挡水坎,高1.5 m,入土深度为0.5 m,采用Ø150 mm预制混凝土桩。桩间用钢丝捆绑。

库岸生态型水源涵养林布置:在靠水库侧,营造两栖植物库岸水源涵养林,营造2个群落斑块,占地面积为6359 m²。树种选择水榕、水松、竹节树、澳洲白千层、落羽杉、细叶白千层。造林密度为3 m × 3 m,株高选用2.5 m高实生苗。沿等高线造林。实际运行常水位以下高程范围,靠近水域区域营造草带,草种选用铺地黍、芦苇,扦插种植。

b. 水库前置库工程

前置库处理规模按5 × 10⁴ m³/d计,采用河道截流闸收集河道初雨,通过前置库处理后进入水库,随着降雨的继续,当进水量达到设计规模时,截流闸开闸泄洪。

前置库分为漫流区、稳定区、缓冲区,水力停留时间分别为0.4、1.0、2.6 d,总水力停留时间为4 d,总库容为20 × 10⁴ m³。

5 运行效果

目前,该工程已完工,2017年1月—2018年2

月水库前置库的水质监测数据(见表1)显示,各指标达标率高达97.4%以上,其中TP达标率为100%,只有个别天数COD、BOD₅、NH₃-N及TN指标不达标,因此可以认为工程实施后河流入库水质已基本达到地表水Ⅲ类水质标准的要求。

表1 水质监测数据

Tab.1 Water quality monitoring data

项 目	COD	BOD ₅	TP	NH ₃ -N	TN
平均值/ (mg·L ⁻¹)	8.6	1.2	0.03	0.65	0.95
最大值/ (mg·L ⁻¹)	41.1	4.1	0.04	1.30	3.65
水质标准/ (mg·L ⁻¹)	20	4.0	0.05	1.0	1.0
达标率/%	98.1	99.2	100	97.4	97.8

6 结语

由于目前河流面源污染治理技术尚未形成标准,面源污染型河流治理呈现出多元化、集成化和系统化的发展趋势,但仍处于不断实践、验证与创新的阶段,而针对高标准水质要求的面源型污染入库河流的水环境治理更是鲜有研究。国家应加大河流面源污染控制研究的力度,给予足够的重视和投入。一方面依靠科研部门,研究和探索更加生态环保、可操作性强的河流面源污染控制和治理的工程措施;另一方面重视法规、政策、管理和教育等非工程措施的建设,达到工程措施和非工程措施的协调与互补,使河流面源污染逐步得到控制。

参考文献:

- [1] 郑丙辉,王丽婧,龚斌. 三峡水库上游河流入库面源污染负荷研究[J]. 环境科学研究,2009,22(2):125-131.
Zheng Binghui, Wang Lijing, Gong Bin. Load of non-point source pollutants from upstream rivers into Three Gorges Reservoir[J]. Research of Environmental Sciences, 2009, 22(2):125-131 (in Chinese).
- [2] 孟祥巍,许学工. 平原城市河流面源污染研究范围及方法的选择与效果比较[J]. 生态环境学报,2014,23(1):145-150.
Meng Xiangwei, Xu Xuegong. The studied area selection and result comparison of river non-point source pollution in plain urban area [J]. Ecology and Environmental Sci-

ences, 2014, 23(1):145-150 (in Chinese).

- [3] 许志兰,廖日红,楼春华,等. 城市河流面源污染控制技术[J]. 北京水务,2005,(4):26-28.
Xu Zhilan, Liao Rihong, Lou Chunhua, et al. Control measures of non-point source pollution in urban river areas[J]. Beijing Water, 2005, (4):26-28 (in Chinese).
- [4] 梁雄伟. 阿什河流域滨岸缓冲带结构设计及功能强化技术[D]. 哈尔滨:哈尔滨工业大学,2017.
Liang Xiongwei. Pattern Optimization and Function Enhancement Technique of Riparian Buffer Zone in Ashi River Basin[D]. Harbin: Harbin Institute of Technology, 2017 (in Chinese).
- [5] 李彬,吕锡武,宁平,等. 河口前置库技术在面源污染控制中的研究进展[J]. 水处理技术,2008,34(9):1-6,10.
Li Bin, Lu Xiwu, Ning Ping, et al. Advances of pre-reservoirs technology for non-point sources pollution control [J]. Technology of Water Treatment, 2008, 34(9):1-6, 10 (in Chinese).
- [6] 徐祖信,叶建锋. 前置库技术在水库水源地面源污染控制中的应用[J]. 长江流域资源与环境,2005,14(6):792-795.
Xu Zuxin, Ye Jianfeng. Application of pretank technology in the nonpoint pollution control of headwater area of reservoir[J]. Resources and Environment in the Yangtze Basin, 2005, 14(6):792-795 (in Chinese).



作者简介:彭俊(1987-),男,湖南湘潭人,硕士,工程师,从事市政给排水工程设计工作。

E-mail:363071857@qq.com

收稿日期:2018-06-13