

# 荆门市竹皮河流域水环境综合治理之生态修复工程设计

汪 丽, 黄 伟, 王阿华, 许宇兴

(南京市市政设计研究院有限责任公司, 江苏 南京 210008)

**摘 要:** 竹皮河为季节性雨源型城市河流,存在污水直排、底泥淤积、季节性干涸等诸多水环境问题,导致其水质恶化严重,水生态系统受损,自净能力较弱。为恢复竹皮河生态系统多样性,提升水体自净能力,实现水质长效保持,在控源截污的基础上,采用人工湿地、原位微生物修复、生态砾石河床、水生植物恢复等多种生态治理技术集成,实施河道生态补水、生态净化、生态修复三大工程,重建生态系统多样性,实现水质自然净化。通过流域综合治理,竹皮河城区段下游水体水质逐步达到地表Ⅳ类水标准。工程设计为雨源型城市河流的生态治理提供了参考。

**关键词:** 水环境综合治理; 城市河道; 生态净化; 生态修复

**中图分类号:** TU992 **文献标识码:** B **文章编号:** 1000-4602(2020)06-0069-05

## Ecological Restoration Project Design of Comprehensive Treatment of Water Environment in Zhupi River Basin, Jingmen City

WANG Li, HUANG Wei, WANG A-hua, XU Yu-xing

(Nanjing Municipal Design and Research Institute Co. Ltd., Nanjing 210008, China)

**Abstract:** Zhupi River was a seasonal rain-source urban river, which had many water environmental problems, such as direct discharge of sewage, sedimentation of sediment and seasonal drying up. These problems resulted in serious deterioration of water quality, damaged to water ecosystem and weak self-purification ability. In order to restore the diversity of Zhupi River ecosystem, improve the self-purification ability of water body, and achieve long-term water quality maintenance, various ecological treatment technologies were integrated, such as constructed wetland, in-situ microbial restoration, ecological gravel bed, aquatic plant recovery on the basis of controlling source and intercepting pollution. Three major projects for river ecological water supply, ecological purification and ecological restoration in river channels were carried out, to restore the diversity of ecosystems to achieve natural purification of water quality. Through comprehensive treatment of the watershed, the lower reaches of Zhupi River section reached the standard of Ⅳ class of surface water. The engineering design provides a reference for the ecological control of urban rivers of rain-derived cities.

**Key words:** comprehensive treatment of water environment; urban river; ecological purification; ecological restoration

### 1 项目概况

竹皮河是荆门城区唯一的一条自然河流,属汉江一级支流,发源于荆门城区西北山地<sup>[1]</sup>,上游有海慧沟和浏河两条支流,干流全长为 78.9 km,集水

总面积为 639.58 km<sup>2</sup>,其中城区段长为 11.2 km,河宽为 5~42 m,水深为 0.5~3 m。竹皮河属季节性雨源型河流,自然径流量极小,多年沿岸工业废水和生活污水直排入河,导致竹皮河底泥淤积、水质污染

严重,逐步退化为集污水、洪水和季节性干涸三大问题于一身的城市排污沟,水质恶化为劣V类<sup>[2]</sup>。长期以来,竹皮河污染问题受到各级政府和广大人民群众的极大关注。1997年湖北省人民政府将竹皮河治理列为全省“三河三湖”重点治理项目之一。20世纪80年代以来,荆门市先后对竹皮河进行了三次治理<sup>[3]</sup>,在一定程度上改善了城市生态环境,但是,由于截污不彻底、生态补水不足等原因,竹皮河仍存在污水溢流、底泥淤积、生态水位低、水质恶化等问题,河道水安全、水生态、水景观等功能均无法满足城市发展的需要。为了改善竹皮河水环境质量,确保竹皮河进入汉江断面的水质要求,2016年荆门市对竹皮河启动了以“水清、水美、水活、水生态”为总体目标的新一轮综合整治工程,整治范围为竹皮河城区段(见图1),含浏河、海慧沟两条支流,总长度为22.8 km。



图1 竹皮河城区段整治范围

Fig.1 Restoration scope of Zhupi River urban section

本轮整治以“流域综合治理”为理念,提出了控源截污、驳岸整治、生态修复、景观提升和智慧水务“五位一体”综合整治工程。通过水环境综合治理工程,提升城市防洪排涝能力,改善河道水体水质,恢复河道生态功能,融入当地特色文化,打造休闲城市绿廊,提升城市生活品质。工程设计目标为:2020年河道水质达到地表Ⅳ类标准,考核断面为竹皮河江山水库下游50 m处。

## 2 水环境问题分析

### 2.1 水质污染

竹皮河属季节性雨源型河流,自然径流量极小,生态流量不足,其城区段汇水范围内为雨污合流制,

汛期时大量污水随雨水排入河道,形成了严重的溢流污染,加之城区大型工业企业废水直排入河、污水处理厂尾水排放、河道底泥污染释放,导致整个城区段水质均处于劣V类状态,2016年10月主要断面水质指标见表1。其中江山水库位于城区段下游,所处地段地势开阔,水流速变缓,致使竹皮河污水中大量的石油类、硫化物、重金属等在水库中富集,大大超过了水库的自净能力,同时其上游夏家湾污水厂 $4 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ 尾水直排入库,水体氮、磷污染物超标,水质无法达到地表Ⅳ类水标准的考核要求。

表1 竹皮河主要断面水质指标

Tab.1 Water quality of main sections of Zhupi River

$\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$

监测点位	溶解氧	TP	COD	氨氮	评价结果
北门桥	5.02	0.63	36	7.74	劣V类
葡萄园路	7.68	0.68	42	4.82	劣V类
五一路桥	1.63	0.88	40	4.32	劣V类
江山水库	7.23	0.33	26	3.34	劣V类

### 2.2 生态系统受损,自净能力差

污染累积导致竹皮河水体淤积严重,厚度达0.5~1.9 m,河道内水生植被群落多样性低,仅局部河段存在篦齿眼子菜、穗花狐尾藻两种沉水植物,且生物量较低。调查未发现鱼类、螺、蚌等底栖动物,水体生态系统受损;水体几乎无自净能力,对外来污染缓冲能力差。以考核断面达到Ⅳ类水标准为目标,计算竹皮河水环境容量,结果见表2。从表2可见,竹皮河COD水环境容量为-1 904.81 t/a,氨氮为-296.49 t/a,总磷为1.54 t/a,均远低于污染物排放量,水体已无纳污能力。

表2 竹皮河城区段污染物排放量及水环境容量

Tab.2 The discharge amount of pollutant and the capacity of environment of Zhupi River urban section  $\text{t} \cdot \text{a}^{-1}$

项 目	COD	氨氮	TP
污染物排放量	7 891.7	777.2	81.49
水环境容量	-1 904.81	-296.49	1.54
目标削减量	9 796.51	1 073.69	79.95

### 2.3 控源截污工程实施后水质无法达标

竹皮河水流符合河网的运动规律,采用MIKE11模型进行水动力与水质耦合模拟,预测控源截污工程实施后水质达标情况。竹皮河流域模型概化见图2。由于下游江山水库缺乏设计流量数据及水位数据,水位边界选择江山水库入口处,水质模型模拟结果为该断面水质。由于江山水库现状水质

为劣Ⅴ类,因此通过江山水库的入口水质也可判断其出水是否能达到Ⅳ类水质。

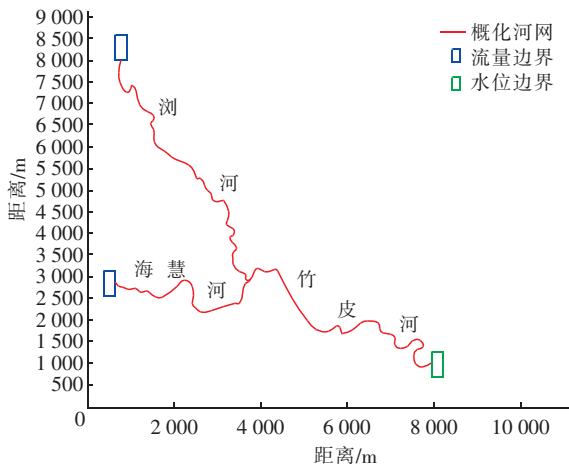


图2 竹皮河河网概化

Fig. 2 Drainage system conception model of Zhupi River

模拟结果如下:旱季(9月—次年4月),在竹皮河沿岸工业截污率为100%、生活截污率达到90%,内源污染控制、尾水补给的工况下,江山水库入口COD、氨氮、TP指标为Ⅴ类水质;雨季(5月—8月),沿岸工业截污率为100%、生活截污率为70%(考虑部分溢流污染)的工况下,江山水库入口为劣Ⅴ类,由此可以看出,两种工况下江山水库入口水质均无法达到Ⅳ类水标准。

### 3 生态工程设计

根据竹皮河治理水质目标要求,针对其水环境问题及水系特点,提出生态补水、生态净化和生态恢复三大生态工程,进一步降解水体污染物,促进考核断面水质达标,最大限度提升河道自净能力,修复河道生态功能,实现水质改善与生态修复双重目标。

#### 3.1 生态补水工程

##### 3.1.1 生态补水量计算

生态补水是指为了维持地表水体特定的生态环境功能而向水体补给一定量的清水,以改善水环境质量的重要措施<sup>[4]</sup>。对于山区城市河道,河道生态补水量需考虑河道生态环境需水量、河道自净需水量及河道天然来水量三个方面,其计算如下<sup>[5-6]</sup>:

$$Q = Q_0 + Q_J - Q_T \quad (1)$$

$$Q_0 = Q_V + Q_Z + Q_L + Q_W \quad (2)$$

式中  $Q$ ——河道年生态补水量,  $m^3$

$Q_0$ ——河道年生态环境需水量,  $m^3$

$Q_J$ ——河道年自净需水量,  $m^3$

$Q_T$ ——年天然来水量,  $m^3$

$Q_V$ ——年基础生态需水量,  $m^3$

$Q_Z$ ——年蒸发需水量,  $m^3$

$Q_L$ ——年渗漏需水量,  $m^3$

$Q_W$ ——河道年外取水量,  $m^3$

根据对竹皮河多年平均径流量、降雨量、蒸发量、下渗量、取水量实测数据的综合分析,并通过水质模型分析确定水体自净需水量<sup>[6]</sup>,得出竹皮河河道月平均生态补水量(见表3),结果表明,7月—8月(汛期)河道天然流量较大,无需补水,1月—6月及9月—12月均需进行补水,补水量为0.97~3.84  $m^3/s$ ,其中12月补水量最大,为3.84  $m^3/s$ 。

表3 竹皮河生态补水量计算结果

Tab. 3 Calculation results of ecological water supplement of

Zhupi River

$m^3 \cdot s^{-1}$

月份	$Q_0$	$Q_J$	$Q_T$	$Q$
1	0.04	4	0.24	3.80
2	0.05	3	0.38	2.67
3	0.11	3	0.67	2.44
4	0.42	2	0.88	1.54
5	0.52	2	1.55	0.97
6	0.44	3	1.59	1.85
7	0.70	0.5	2.25	0
8	0.65	1	1.80	0
9	0.43	2.5	0.98	1.95
10	0.15	2.5	0.88	1.77
11	0.09	2.5	0.54	2.05
12	0.05	4	0.21	3.84

##### 3.1.2 竹皮河生态补水方案

为实现竹皮河常态补水机制,采用以下四种补水措施相结合,可保证冬季补水量达到4.2  $m^3/s$ ,满足补水量要求。

① 引汉济荆补水。通过汉西水系连通工程,引汉江水源至王林港,通过管道对竹皮河补水1  $m^3/s$ ,保证旱季竹皮河生态补水。

② 漳水库补水。为实现竹皮河流域生态补水,恢复竹皮河水体功能,荆门市环保局与漳水库管理处签订了《竹皮河流域生态补水协议》,每年9月—次年3月底期间,通过海慧沟、浏河上游龙泉渡槽、苏畈渡槽水电站对竹皮河实施生态补水,补水总量为2  $m^3/s$ 。

③ 污水处理厂尾水补水。夏家湾污水厂尾水排放量为 $10 \times 10^4 m^3/d$ ,其中 $6 \times 10^4 m^3/d$ 处理达标



后经管道提升至竹皮河上游月牙岛处进行补水,  $4 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$  经处理达标后排入竹皮河下游补水, 补水量为  $1.2 \text{ m}^3/\text{s}$ 。

④ 在满足防洪要求的基础上, 改造硬质河床, 采用卵石、砾石铺设, 便于地下水渗透回补。

### 3.2 生态净化工程

#### 3.2.1 生态湿地工程

夏家湾污水处理厂位于竹皮河江山水库入口, 现状尾水排放量为  $4 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ , 尾水出水水质执行一级 A 标准, 如直接进入水库会影响考核断面水质达标。采用垂直潜流湿地 + 表面流湿地组合工艺深度处理尾水, 使尾水中 COD、氨氮和 TP 含量达到地表 IV 类水标准后再排入竹皮河下游。垂直流人工湿地主要设计参数如下:

设计水量:  $4 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ ;

设计面积: 有效面积为  $5.6 \times 10^4 \text{ m}^2$ , 占地面积为  $6.6 \times 10^4 \text{ m}^2$ ;

设计水力负荷:  $0.71 \text{ m}^3/(\text{m}^2 \cdot \text{d})$ ;

水力停留时间: 1 d;

填料厚度: 1.5 m, 从下至上分别为 50 ~ 80 mm 卵石, 15 ~ 30 mm 石灰石, 8 ~ 10 mm 火山岩, 5 mm 粗砂;

湿地植物: 再力花、水生美人蕉、风车草、芦苇等耐污能力强、净化效率高的湿地植物。

表面流湿地为  $1.9 \times 10^4 \text{ m}^2$ , 分为廊道区和深水区, 利用场地高程设置多级叠石跌水曝气, 栽植水生美人蕉、千屈菜、花叶芦竹、水葱、芦苇、香蒲、睡莲等水生植物, 整个处理系统与周围环境融为一体, 和谐统一, 在净化水质的基础上, 为市民提供观景、科普和环保教育场所。

#### 3.2.2 原位微生物修复工程

江山水库位于竹皮河城区段末端, 水面面积约为  $16 \times 10^4 \text{ m}^2$ , 总库容为  $388.7 \times 10^4 \text{ m}^3$ 。水库水面开阔, 水流缓慢, 竹皮河接纳的城区各类污水中大量有机物、淤泥沉积于水库中, 内源污染严重, 水质常年为劣 V 类。为改善水库水质, 提出了水库生态清淤和原位微生物修复工程。

在水库清淤的基础上, 采用漂浮式生态反应器 + 微生物在线工厂 + 生态基 + 浮动湿地 + 太阳能水循环复氧系统组合技术, 利用生态反应器内的内置生态修复剂对库区土著微生物进行激活, 使微生物迅速繁殖, 释放至水体中降解氮、磷等营养物质;

同时安装微生物在线工厂连续在线培养强化型脱氮和除碳微生物, 降解不断淤积的底泥污染物, 生态基和浮动湿地则作为微生物附着载体, 形成生物量较高的强化净化区, 在净化区内布置太阳能水循环复氧系统, 为生态净化提供充足的溶解氧, 强化有机物分解。综合整治措施实施后, 在常温和冬季低温条件下 COD 去除率分别达到 20% 和 15%, 氨氮去除率分别达到 25% 和 20%, TP 去除率分别达到 20%、15%, 使江山水库出水水质达到 IV 类水标准。

### 3.3 生态恢复

#### 3.3.1 生态砾石床

竹皮河城区段底泥淤积较为严重, 厚度达 0.5 ~ 1.9 m, 生态恢复首先实施生态清淤, 清除内源污染, 考虑河道行洪能力要求和水体生态系统安全, 清淤平均深度为 0.5 ~ 1.2 m。

竹皮河纵坡较大, 河道蓄水困难, 在城区段设计多级生态溢流堰、钢板坝等蓄水构筑物, 形成浅水 - 深水交替出现的河床生境, 浅水区水深约 0 ~ 0.5 m, 坝前水深约 0.8 ~ 1.2 m。在生态恢复设计中充分考虑山区河道生态多样性特点, 在溢流堰后浅水河段构建生态砾石河床, 粒径为 30 ~ 50 cm, 砾石是微生物附着的良好介质, 填料表面形成生物膜后产生明显的吸附能力, 可以截留来水中的悬浮物, 对水体中 TP 也有一定的去除效率, 多孔介质创造了多样性的河床生境, 也有利于水生动物的自然恢复。

#### 3.3.2 水生及湿生植物恢复

为提升水体自净能力, 在生态溢流堰堰前深水区内种植穗花狐尾藻、篦齿眼子菜、苦草、黑藻、大茨藻等多种沉水植物, 形成稳定的沉水植物群落, 为河道生态多样性的构建提供良好的基础条件。

在浅水区河岸两侧种植再力花、梭鱼草、花叶芦竹、水葱、伞草、常绿鸢尾等耐污性强、根系发达、植株高大的景观性挺水植物; 在河滩上则栽植耐涝耐旱的蒲苇、细叶芒、狼尾草、矮蒲苇等湿生植物, 撒播狗牙根、耐湿草花, 并在浅滩处散置河滩石, 营造多样化的生物栖息生境, 促进河道生态系统恢复。

### 4 实施效果

通过实施生态补水、生态净化和生态恢复等工程, 竹皮河城区段水质稳步达标, 2019 年 1 月葡萄园路桥断面、江山水库考核断面水质稳定达到地表 IV 类水标准, 主要断面水质指标见表 4。河道生态环境有效改善, 城区浅水段形成“砾石河滩、潺潺溪

流”的山区自然河道景观,深水段则形成“水清岸绿、鱼翔浅底”的城市河道生态景观(工程实景见图3),多样性的生境促进了河道生态系统恢复和良性循环;随着水环境质量改善,竹皮河两岸景观环境和文化品质明显提升,初步实现“水清、水美、水活、水生态”的综合治理目标。

表4 竹皮河主要断面水质指标

Tab.4 Water quality of main sections of Zhupi River

mg · L <sup>-1</sup>					
监测点位	溶解氧	TP	COD	氨氮	评价结果
葡萄园路	5.63	0.273	29	1.47	Ⅳ类
江山水库	8.89	0.255	26	1.05	Ⅳ类



图3 竹皮河城区段整治后实景

Fig.3 Scenery of Zhupi River urban section after restoration

## 5 结论与建议

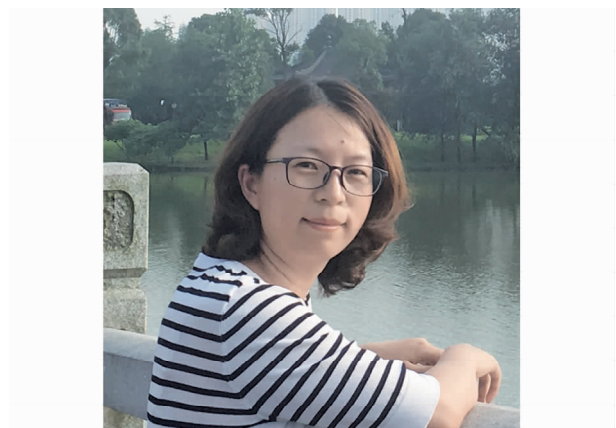
① 在控源截污工程的基础上采用生态补水、生态净化、生态修复等多种生态工程措施,最大程度地提升竹皮河水体自净能力,削减河道污染负荷,实现河道水质稳定达标。生态工程的实施有效改善了竹皮河生态环境,促进了河道生态功能恢复。

② 竹皮河具有山丘区雨源型河道特征,汛期流速大,人工构建水生态系统的稳定演替面临较大的挑战,在生态系统恢复调整期内(一般为施工后3年)应进行科学、合理、精细的养护管理,加强对生态净化设备、设施及水生植物的维护管理,使系统正常运行,保证河道生态系统健康良性发展。

## 参考文献:

- [1] 刘春,郑兰萍. 竹皮河水环境现状分析及治理保护措施[J]. 资源节约与环保,2015(3):215-216.  
Liu Chun, Zheng Lanping. Current situation of water environment of Zhupi River and its treatment and protection measures [J]. Resources Economization & Environment Protection, 2015 (3): 215 - 216 (in Chinese).

- [2] 杜华立,黄桂平. 荆门市竹皮河水污染现状分析与评价[J]. 荆楚理工学院学报,2016,31(6):22-28.  
Du Huali, Huang Guiping. Analysis and evaluation of water pollution of Zhupi River in Jingmen City [J]. Journal of Jingchu University of Technology, 2016, 31 (6):22-28 (in Chinese).
- [3] 许云波. 荆门市竹皮河综合治理回顾[J]. 才智,2008(19):141-142.  
Xu Yunbo. Review of comprehensive management of Zhupi River in Jingmen City [J]. Intelligence, 2008 (19):141-142 (in Chinese).
- [4] 杨玥,陈洁. 补水活水在城市黑臭水体治理中的应用[J]. 中国水运,2018,18(3):137-138.  
Yang Yue, Chen Jie. Application of water supplement in urban black and odorous water treatment [J]. China Water Transport, 2018, 18(3):137-138 (in Chinese).
- [5] 谷晓林. 松花江流域重点支流—伊通河生态环境需水及生态补水研究[D]. 吉林:吉林大学,2011.  
Gu Xiaolin. Study on Eco-environment Water Requirement and Water Compensation in Yitong River—the Major Tributary of Songhua River Basin [D]. Jilin: Jilin University, 2011 (in Chinese).
- [6] 卿晓霞,郭庆辉,周健,等. 小型季节性河流生态补水需水量及调度方案研究[J]. 长江流域资源与环境, 2015,24(5):876-880.  
Qing Xiaoxia, Guo Qinghui, Zhou Jian, et al. Research of ecological water compensation demand and automatic scheduling solutions for small seasonal stream [J]. Resources and Environment in the Yangtze Basin, 2015, 24(5):876-880 (in Chinese).



作者简介:汪丽(1985-),女,江苏淮安人,硕士,工程师,主要从事水环境综合治理和水生态修复设计工作。

E-mail:wangli-nj@bewg.net.cn

收稿日期:2019-06-15