

# 深圳河水体污染特征分析及整治措施

仝晓辉<sup>1</sup>, 汪银龙<sup>2</sup>, 刘晓宁<sup>2</sup>, 张永宜<sup>2</sup>

(1. 中交第一公路勘察设计研究院有限公司, 陕西 西安 710065; 2. 西安中交环境工程有限公司, 陕西 西安 710065)

**摘要:** 为提高深圳河的水环境,在水体污染特征分析及污染源解析的基础上,对污染物削减目标进行了估算,并提出了最大日负荷总量(TMDL)水质改善措施。结果表明,水体中DO浓度较低,71%的断面水体中氨氮和总氮浓度超出地表V类水质标准,且氨氮和总氮浓度均沿河流方向升高。各行政区中生活和工业废水及河道底泥是水体污染的主要来源,福田区污染贡献占比最大,生活污水排放占比为33%,工业废水排放对河道COD、氨氮的贡献率分别达到42%、44%,是溯源截污的重点区域。通过截污清淤、海绵调蓄、生态修复及景观营造等措施,可以实现2020年全面消黑及2025年水质达到V类水的目标。

**关键词:** 深圳河; 水体污染; 污染源解析; 整治措施

**中图分类号:** TU992 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-4602(2020)07-0052-08

## Pollution Characteristics Analysis and Control Measures of Shenzhen River

TONG Xiao-hui<sup>1</sup>, WANG Yin-long<sup>2</sup>, LIU Xiao-ning<sup>2</sup>, ZHANG Yong-yi<sup>2</sup>

(1. CCCC First Highway Consultants Co. Ltd., Xi'an 710065, China; 2. Xi'an Zhongjiao Environmental Engineering Co. Ltd., Xi'an 710065, China)

**Abstract:** In order to improve the water environment of Shenzhen River, pollutant reduction targets were estimated and the total maximum daily load (TMDL) water quality improvement measures were proposed based on analysis of water pollution characteristics and pollution sources. The DO concentration in the water was low, the ammonia nitrogen and total nitrogen in 71% of the cross section exceeded the surface water V class standard, and the ammonia nitrogen and total nitrogen increased along the direction of the river. Sewage, industrial wastewater and river sediment in each administrative area were the main sources of water pollution. The pollution contribution of Futian District was the largest. The proportion of sewage discharge was 33%, and the contribution of industrial wastewater discharge to COD and ammonia nitrogen in the river reached 42% and 44%, respectively, which was the key area for pollutants traceability and interception. The remediation plan can achieve the target of completely eliminating black and odor water in 2020 and water quality reaching surface water V class standard in 2025 through measures such as interception and dredging, sponge storage, ecological remediation and landscape construction.

**Key words:** Shenzhen River; water pollution; pollution source analysis; control measure

随着我国沿海城市经济的迅猛发展,城镇用地不断扩大,生态环境保护区域逐渐缩小,城市河道水环境遭到了严重破坏,一些城市的河道甚至出现了“无水断流,有水皆黑”现象。河道垃圾及污水大量排放超出了水体环境的自净能力,水体溶解氧降低,底泥在厌氧条件下产生硫化氢、氨气等刺鼻性气体以及铁、锰硫化物等黑色物质,造成了水体黑臭<sup>[1]</sup>。污染的水体不仅破坏了河道水环境的生态系统,更影响了城市居民饮用水安全和生活质量<sup>[2]</sup>。目前,国内外对黑臭水体治理的技术较多,主要包括物理法、化学法及生态修复法。物理法主要包括建管截污、底泥疏浚及生态补水等;化学法通过投加化学试剂来改善水质,虽然该方法具有治理效果明显且周期短的特点,但试剂的投放对水体环境有负面影响,容易造成二次污染,实际工程应用较少<sup>[3]</sup>;生态修复法包括建设生态护岸、生态浮岛以及海绵设施等,虽然该方法运行周期长,但遵循自然生态规律,可从污染源头恢复水系功能,利用河道自身生态功能净化水体,能够从根本上解决城市水体恶化问题<sup>[4]</sup>。

深圳河是深圳和香港的界河,多数河段处于城区中。河流沿岸存在大量雨水、污水及雨污混流排放口,加上管理体制不完善等问题,河流受到较为严重的污染,部分水体出现黑臭现象,不仅影响沿岸居民的生存环境,而且破坏了流域生态环境系统,因此对深圳河水环境的综合整治迫在眉睫。笔者以深圳河水环境现状为研究对象,在综合问题评价及关键原因解析的基础上,探究治理河道水环境的有效措施,旨在为深圳河后期治理提供参考。

## 1 研究区域概况

深圳河始于梧桐山牛尾岭,由东北向西南流入深圳湾,区间河长为 37.6 km,流域面积为 312.5 km<sup>2</sup>。流域内主要有莲塘河、沙湾河、布吉河、福田河和皇岗河 5 大支流,横跨了南山、福田、罗湖 3 个城市中心区和龙岗区布吉、南湾两个街道。流域属于季风气候区,夏季长、冬季冷期短,气候温和湿润、降雨充沛,多年平均降雨量为 1 606 mm,但雨量时空分配不均,汛期(4 月—9 月)降雨量大而集中,多以暴雨形式出现,约占全年降雨总量的 80%,局部地区易形成暴雨和洪涝灾害。

## 2 材料与方法

### 2.1 样品采集

根据深圳河两岸城镇及排污等情况,沿深圳河

方向共采集 7 个河水样和 7 个底泥样,所有采样点均以 GPS 定位,分别为径肚(M1)、鹏兴天桥(M2)、采石场(M3)、罗湖桥(M4)、鹿丹村(M5)、砖码头(M6)和河口(M7)。所有水样均在河流中间水面下 0.5 m 处采集 1.5 L,并储放于塑料采样瓶中;所有泥样采用挖斗式采泥器采样,并将泥样装进离心管中带回实验室检测。同时使用便携式溶氧仪测定溶解氧(DO)、pH 值及温度。样品采集 24 h 内,取适量河水或底泥样品进行重金属、氨氮、总氮、总磷及 COD 等指标的检测。

## 2.2 分析方法

### 2.2.1 环境流体动力学模型

环境流体动力学(EFDC)模型由美国环保署资助开发,该模型的主要应用对象为湖泊、水库、河口、海湾等诸多类型的水域。该模型由水动力学模块和水质模块两部分组成,能够模拟计算各种平面和垂向空间尺度下的流速、水位、盐度、温度、泥沙、污染物等变量<sup>[5]</sup>。

### 2.2.2 最大日负荷总量

最大日负荷总量(TMDL)是指在满足水质标准的前提下,水体能接受某种污染物的最大日负荷总量,包括点源和非点源的污染负荷分配,同时要考虑预留安全值和季节性变化,从而采取适当的污染控制措施来保障水体达到水质标准<sup>[6]</sup>。

在对水质、底泥污染及污染源分析的基础上,通过 EFDC 模型模拟深圳河水质情况及流域的环境容量,进而提出 TMDL 水环境治理措施。

## 3 河流水环境特征分析

### 3.1 水体水质分析

统计深圳河 7 个主要断面水质的检测结果发现,河流 71% 的断面水质为劣 V 类,见表 1。在深圳河中下游河段的水体中,水质污染较为严重,其中氮源污染较明显。水体中 DO 沿着河流的流向明显降低,在 M4、M5、M6 及 M7 采样点的含量均小于 2 mg/L。下游 7 个取样点中有 5 个点的氨氮或总氮浓度远远超过地表 V 类水质标准,超标检测点的氨氮浓度为 7.82~14.65 mg/L,平均浓度是 V 类水质标准的 4.8 倍;总氮浓度为 9.71~16.26 mg/L,平均浓度是 V 类水质标准的 6.2 倍,其中 M5 断面的水质污染较为严重,氨氮浓度为 14.65 mg/L,水体呈现轻度黑臭现象。这是因为中上游及周边污水的大量排放致使污染物浓度远远超过了河流的纳污能

力,水环境容量达到了饱和。另外,水体中总磷含量磷浓度为 0.702 mg/L,远远超出 V 类水质标准,且沿着河流的流向整体增高,从 M3 断面开始,平均总存在富营养化风险。

表 1 深圳河主要断面水质指标分析

Tab.1 Water quality analysis of main section in Shenzhen River

项 目	T/℃	pH 值	DO/ (mg · L <sup>-1</sup> )	COD/ (mg · L <sup>-1</sup> )	BOD/ (mg · L <sup>-1</sup> )	氨氮/ (mg · L <sup>-1</sup> )	总磷/ (mg · L <sup>-1</sup> )	总氮/ (mg · L <sup>-1</sup> )	水质类别
M1	32.4	7.43	7.85	6.33	1.13	0.82	0.117	1.31	Ⅲ类
M2	33.5	7.49	7.92	6.58	0.89	0.35	0.129	1.28	Ⅲ类
M3	33.3	7.36	7.43	13.92	3.02	1.39	0.471	9.71	劣V类
M4	34.2	7.28	1.28	26.58	7.83	7.82	0.693	11.03	劣V类
M5	34.5	7.31	0.89	36.35	11.79	14.65	0.936	16.26	劣V类
M6	34.5	7.27	0.92	23.94	6.75	7.95	0.688	12.35	劣V类
M7	34.3	7.23	1.49	22.52	7.85	7.92	0.718	12.72	劣V类

### 3.2 污染源解析

#### 3.2.1 生活污染源解析

《深圳河湾流域综合治理方案研究报告》显示,深圳河流域各街道生活污水排放量为 23 523.05 × 10<sup>4</sup> m<sup>3</sup>/a, COD 排放量为 80 105.56 t/a, 氨氮排放量为 11 952.26 t/a, 总磷排放量为 1 246.1 t/a。依据流域行政区分析,福田区生活污染源占比最高,占流域内生活污染源的 33%,其次是罗湖区和南山区,占比分别为 27% 和 23%,龙岗区占比最少,仅为 17%。这是因为福田区人口较多,且居住密度较大,生活污水排放量明显高于其他区域,导致该区对河流污染的贡献率最高。

#### 3.2.2 工业污染源解析

《深圳湾水环境综合整治方案研究》中工业污

染源的统计资料显示,深圳河流域的重点工业约为 210 家(见表 2),工业废水排放量约为 1 528.51 × 10<sup>4</sup> m<sup>3</sup>/a, COD 排放量约为 1 655.4 t/a, 氨氮排放量约为 126.41 t/a, 总磷排放量约为 15.29 t/a。根据流域行政区划分,南山区工业污染源数量最多,占比为 38%,其次是福田区、罗湖区和龙岗区,占比分别为 29%、22% 和 11%,这是因为南山区经济发展较快,工业园区较多。

根据污染物排放占比分析,福田区 COD、氨氮的排放负荷最大,占比分别为 42% 和 44%,其次是南山区, COD、氨氮的排放负荷占比分别为 38% 和 35%,龙岗区最少。整体来看,南山区和福田区是深圳河工业污染的主要来源,对河流的污染具有较大贡献。

表 2 深圳河流域工业污染源排放情况统计

Tab.2 Statistics of industrial pollution sources in Shenzhen River basin

项 目	街道	重点工业/ 个	废水/ (10 <sup>4</sup> m <sup>3</sup> · a <sup>-1</sup> )	COD/ (t · a <sup>-1</sup> )	氨氮/ (t · a <sup>-1</sup> )	总磷/ (t · a <sup>-1</sup> )
罗湖区	东晓	7	42.42	55.07	4.47	0.42
	翠竹	17	55.39	41.76	3.02	0.55
	东湖	2	1.10	0.90	0.12	0.01
	黄贝	5	8.84	7.40	0.62	0.09
	莲塘	6	76.73	78.38	6.02	0.77
	清水河	3	46.62	65.41	6.10	0.47
	桂园	6	18.58	13.65	0.65	0.19
福田区	香蜜湖	19	164.71	365.48	36.38	1.65
	沙头	3	6.95	5.10	0.42	0.07
	梅林	14	43.07	39.42	3.11	0.43
	莲花	2	0.77	0.49	0.03	0.01
	福田	7	21.74	16.95	1.84	0.22
	华富	6	294.31	243.59	13.78	2.94
	园岭	10	27.22	20.87	0.75	0.27

续表 2 (Continued)

项 目	街道	重点工业/ 个	废水/ ( $10^4 \text{ m}^3 \cdot \text{a}^{-1}$ )	COD/ ( $\text{t} \cdot \text{a}^{-1}$ )	氨氮/ ( $\text{t} \cdot \text{a}^{-1}$ )	总磷/ ( $\text{t} \cdot \text{a}^{-1}$ )
南山区	招商	3	19.92	21.69	1.54	0.20
	蛇口	20	269.68	296.71	24.63	2.70
	粤海	19	50.40	38.15	2.56	0.50
	西丽	33	290.98	266.44	15.07	2.91
	桃源	2	2.37	1.92	0.25	0.02
	沙河	2	2.00	0.88	0.40	0.02
龙岗区	南湾	9	50.75	48.02	2.85	0.51
	布吉	14	33.96	27.12	1.83	0.34

3.2.3 内源污染解析

深圳河 7 个断面底泥污染检测结果显示,底泥中普遍存在的污染物有氨氮、总氮、总磷、有机物及重金属等。其中氨氮和总磷的浓度较高,平均值分别为 190.29 和 3.56 mg/kg(见图 1)。

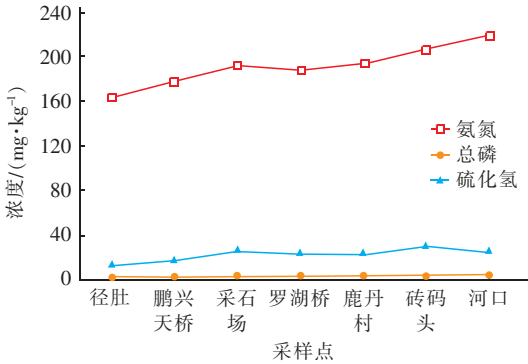


图 1 河道底泥中氨氮、TP 和硫化氢的变化

Fig.1 Change of ammonia nitrogen, TP and H<sub>2</sub>S in river sediment

氨氮和总磷在一定条件下会释放到水体中,引起水体氮、磷浓度升高。底泥中主要臭味物质是硫化氢,在砖码头和河口两个断面出现最高和次高峰,分别为 29.7 和 24.7 mg/kg,达到其他底泥中致嗅物质浓度 1 000 倍以上。由此可见,深圳河底泥具有极高的二次污染风险。

4 水环境问题成因分析

4.1 管网建设滞后,排水系统不完善

由于深圳市政排水设施建设滞后于城市发展,雨污水管误接、乱接及排水管网不配套等原因,大量未经任何处理的污水直接排入河流;部分城区河道沿岸没有设置截污管道,造成周边城镇污水随意排放,从而造成水体污染;截污干管没有有效设置截流井,导致截污效果不明显。另外,流域内没有配套市政污水管道接纳,大量已实现雨污分流的污水管道

直接接入截流干管内,造成干管水量饱和,管道存在污水渗漏现象,不仅污染了地下水,而且直接流入河中影响水体环境。

4.2 淤泥深厚,易造成二次污染

由于深圳河沿线长期排污、河道扩宽且水动力不足,造成中下游河段底泥沉积较为严重。经检测,深圳河主河道数年累计淤积厚度平均约为 0.49 m,共有  $8.7 \times 10^5 \text{ m}^3$ ;河床年均抬高 0.06 m,淤积泥沙为  $1.1 \times 10^5 \text{ m}^3$ 。

另外,淤泥污染严重,受暴雨及河段感潮的影响,淤泥中污染物因扰动而释放到水中,有可能对水体造成二次污染。

4.3 河道水体自净能力差

现场调研发现,城区河道岸线侵占严重,两岸可利用空间较小,岸带绿化宽度不足 1 m;多数河段为硬质河道,部分河道水动力严重不足,极大地限制了生物的生存环境。不合理的污水排放、垃圾堆放致使深圳河河道堆积物过多、生态破碎、生物多样性受损,生态系统极度脆弱,生态功能严重退化。下游河段受感潮影响,外部污染回溯、污染物难以扩散,且内外污染源未得到有效治理,使得河道水质恶化严重,局部河道出现了黑臭现象。

4.4 运行管理欠缺

河流水体的恶化不仅与城市市政设施完善程度有关,而且与河流管理运营维护息息相关。河流管理不到位、一河一策体系不完善,导致河流两岸非法建筑侵占蓝线、排口违规设置、养殖业随意排放粪水、城市垃圾随处堆放等现象频繁发生,致使水体污染情况复杂,治理困难重重。河道管理涉及的部门较多,各部门之间职责不明,且缺乏完善的管理机制,对河流的管理局限性较高,不能有效提高水环境治理成效。



## 5 水环境综合整治

### 5.1 水体污染物削减目标与TMDL措施

根据 EFDC 模型估算深圳河流域的污染负荷,并采用等比例分配法、按贡献率削减排放量分配法对污染物削减目标进行确定,进而计算深圳河及支流水体在不同目标下达到地表 V 类水质时 COD、氨氮和总磷的削减率,见表 3。

深圳河流域 TMDL 措施是对排污口进行清理,

并对支流漏排进行截流,在雨季还考虑了对雨水进行雨污分流,各水质提升措施的具体内容见表 4。

EFDC 的模拟结果如图 2 所示。可知,2018 年旱季时,氨氮和 COD 的平均浓度都能达到不黑不臭标准,但 DO 浓度不达标,不能保证水体完全不黑不臭;雨季时,氨氮不达标,COD 能达到不黑不臭标准,这是因为在暴雨情况下仍存在着大量的溢流和漏排,污水直接引起了河流污染物的短期急剧增加。

表 3 深圳河流域水体污染物达标削减目标

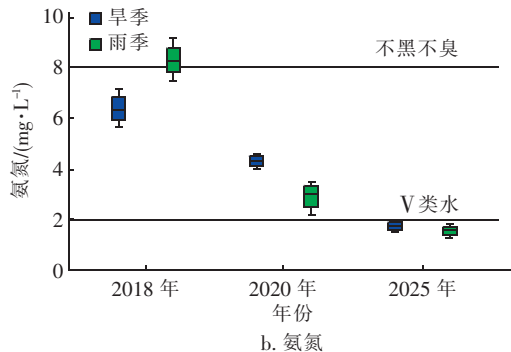
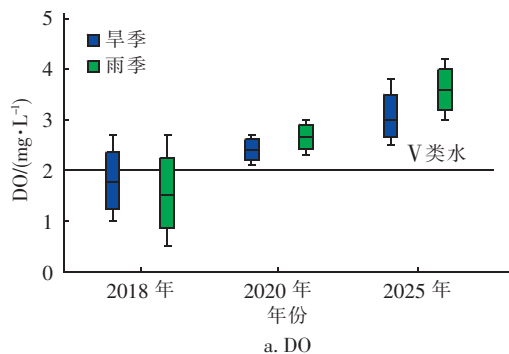
Tab. 3 Pollutants reduction target in water body of Shenzhen River basin

项 目	水质目标	COD			氨氮			TP		
		负荷/ (t·d <sup>-1</sup> )	容量/ (t·d <sup>-1</sup> )	削减 率/%	负荷/ (t·d <sup>-1</sup> )	容量/ (t·d <sup>-1</sup> )	削减 率/%	负荷/ (t·d <sup>-1</sup> )	容量/ (t·d <sup>-1</sup> )	削减 率/%
深圳河	不黑不臭	59.79	22.88	61.73	12.42	3.93	68.36	1.09	0.79	27.52
	V类	59.79	22.88	61.73	12.42	1.89	84.78	1.09	0.29	73.39
莲塘河	不黑不臭	3.57	3.12	12.61	0.60	0.24	60.32	0.06	0.04	33.33
	V类	3.57	2.54	28.73	0.60	0.12	80.58	0.06	0.02	72.29
沙湾河	不黑不臭	6.65	2.23	66.47	1.20	0.14	88.21	0.12	0.02	83.33
	V类	6.65	0.72	89.13	1.20	0.04	96.99	0.12	0.01	94.14
布吉河	不黑不臭	14.34	8.56	40.31	2.49	0.52	78.98	0.28	0.04	85.71
	V类	14.34	6.89	51.95	2.49	0.36	85.60	0.28	0.02	92.88
福田河	不黑不臭	1.65	1.32	20.00	0.29	0.05	83.01	0.03	0.02	33.33
	V类	1.65	1.10	33.12	0.29	0.02	94.80	0.03	0.01	65.77
皇岗河	不黑不臭	1.28	1.08	15.63	0.18	0.08	57.65	0.02	0.01	50.00
	V类	1.28	0.95	26.21	0.18	0.02	88.45	0.02	0.01	50.00

表 4 深圳河水质达标的 TMDL 措施

Tab. 4 TMDL measures for water quality up to standard in Shenzhen River

水质目标			污染负荷削减	工程措施
2018 年基本 不黑不臭	旱季	氨氮达标,相比现状下降 40%;DO 超标率 <50%	COD:50%;氨氮:40%	干流截排率为 100%、支流 截排率为 70%、雨污分流为 20%
	雨季	氨氮达标,相比现状下降 40%;DO 超标率 <75%	溢流负荷削减 20%	
2020 年不 黑不臭	旱季	氨氮达标,相比现状下降 50%;DO 超标率 <50%	COD:62%;氨氮:67%	支流截排率为 100%、底泥 污染控制为 50%、雨污分流 为 50%
	雨季	氨氮达标,相比现状下降 60%;DO 超标率 <50%	溢流负荷削减 50%	
2025 年 达到 V 类水	旱季	氨氮相比现状下降 60%;COD、DO 达标	COD:62%;氨氮:67%	雨污分流为 100%、底泥污 染控制为 50%、3 mm 初期 雨水处置
	雨季	氨氮相比现状下降 65%;COD 达标;DO 超标率 <25%	溢流负荷削减 100%; 面源负荷削减 35%	



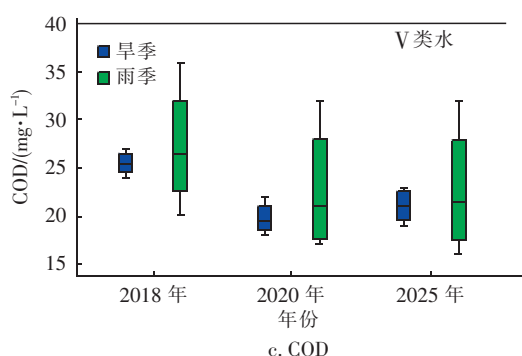


图2 TMDL措施下深圳河的水质

Fig.2 Water quality of Shenzhen River under TMDL measures

2020年,氨氮和COD浓度均能达到不黑不臭标准,但氨氮平均值不能达到地表V类水质标准。到2025年,深圳河水体能达到地表V类水质标准。

## 5.2 整治措施

本研究以深圳河流域水体污染削减率为目标,贯彻实施水质达标TMDL措施。根据对水质现状特征及污染源的深入分析,以“溯源截污、水质改善、生态修复、海绵调蓄及景观营造”为技术路线,通过水陆统筹,实现“水清岸绿、鱼翔鸟飞、居民亲水”的多功能目标。

### 5.2.1 污染源削减

从源头控制污染物总量是黑臭水体整治的根本,也是其他技术实施的关键基础<sup>[6]</sup>。根据现场调研发现,深圳河水体污染源主要来自两岸污水的排放,黑臭水体的治理首先要控制污染源。因此在分析了污染源的基础上,提出雨污分流、建管纳污、污水处理厂提标改造及清淤疏浚等技术措施。

#### ① 雨污分流

根据现状建筑分布及用地情况,雨污分流改造工作分为4类:水源保护区、城中村、待完善小区、重点旧城改造区。根据不同对象制定雨污分流分期方案,对水源保护区进行全面雨污分流,污水排入市政管网,雨水经海绵设施、滨河植被缓冲带等处理后排入河流中。大力推进罗湖区、福田区、南山区内各小区雨污分流管网改造,并结合小区管网改造配套建设市政雨污水支管、干管,旱季污水100%排往污水处理厂进行集中处理,雨季雨水进入调蓄池,处理达标后排放至河流中。

#### ② 建管截污

为了城市可持续发展,河道两岸采用截污管道进行全面截污。根据实际情况将深圳河及支流分成不同河段,分别沿岸线新建截污干管,并将污水引到附近污水厂进行处理,全部封堵沿岸污水排水口,防止偷排、漏排。在雨水管道末端设置截流、溢流、调蓄控制装置,对溢流雨水进行生态净化,最后排入河中进行补水。在下游感潮河段设置自动闸坝,当海水水位达到设计标高时自动关闸,防止海水倒灌。同时,将雨水管网和海绵措施相结合,有效控制径流污染入河。

#### ③ 污水厂改造

为实现深圳河水质达到V类水的目标,在雨污分流基础上实现旱季污水全部处理,并兼顾初期雨水处理。污水处理厂提标改造工程包括:调整埔地吓、布吉、滨河和西丽4个污水处理厂出水水质为地表水IV类标准;改造福田污水处理厂规模为 $40 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ ,出水水质满足地表水IV类标准;扩建蛇口污水处理厂、南山污水处理厂分别至 $5 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ 和 $24.6 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ ,出水水质均满足一级A标准,扩建福田污水处理厂规模为 $10 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ ,出水水质满足地表水IV类标准。同时,应根据当地降雨量在污水厂前设置调蓄池,根据初期雨水水质改善处理工艺。

#### ④ 清淤疏浚

根据深圳河所处的地理位置、清淤规模以及清淤期间生态环境等要求,确定河道采取排干清淤和水下清淤相结合的方式疏浚。明渠段周边交通方便、易于操作,采用机械清淤;桥梁段和箱涵段采用人工清淤;在高度建成区内,河道两岸建筑及城市设施密集,用地紧张,可利用的空间较小,主要采用疏浚淤泥机械快速脱水法,淤泥敷布直接外运至污泥处理厂。根据工程实施程度,规划2~3年清淤1次,清淤最佳时期为10月一次年3月,这一时期降雨量小、河水水位低,便于围堰施工和清淤工作。最终,底泥经过污泥处理厂后进行填埋处置,部分底泥回用到农田及林地,形成资源可持续循环利用。

### 5.2.2 水质改善

加强河道的生态补水调控,结合植物净化技术(人工湿地、生态护岸、人工浮岛)、微生物强化技术等作为水质改善的保障,同时加强河道日常运营管理,做好河岸、河道清洁工作。深圳河流域的黑臭水体主要集中在流动条件较差的下游区域,河道

可利用空间小,不利于大型生态水质净化工程的施工,因此可采用小型生态浮岛、水下森林、增氧及细分子化超饱和溶氧/超强磁化技术措施治理黑臭水体,并结合水功能特征营造景观,改变水流形态,提升水体动力,加强水体“生态呼吸”,促进水体生态能力恢复。

### 5.2.3 生态修复

生态修复引入低碳景观、人水和谐理念指导河岸设计,从绿色慢行网络构建、湿地河床建设、“花墙绿瀑”特色种植、文化走廊等4个方面重塑滨水空间格局,加强河海联系。将硬直河道恢复成生态砌石、植物等自然驳岸,建设自然河底,并种植水生植物,改善水体生物生存环境,构建微生物、水生动植物等水环境生态系统,逐渐恢复自然生态系统功能。在河道及岸线空间内布局植草沟、透水铺装和透水式雨水口等,达到对雨水峰值流量削减和净化作用,构建水岸融合、浑然一体的自然生态水系。

### 5.2.4 海绵调蓄

#### ① 海绵城市

海绵城市措施主要有绿色屋顶建设、雨水花园建设、渗透铺装建设和植草沟建设。分析海绵措施建设的适用性,具有较好海绵建设基础的区域为南山区和福田区,主要包含福田河流域和皇岗河流域。在可实施的流域范围内,以雨水管道排水分区为控制单元,按照“源头控制、过程治理”的原则,结合流域雨污分流等措施,对道路、小区、工厂、广场、公园等区域构建具有“渗透、滞流、调蓄、净化”的海绵设施,有效减小、净化汇流雨水,削减因初期雨水冲刷引起的面源污染,极大地控制了河流水体污染源<sup>[7]</sup>。

#### ② 灰色基础设施

在海绵城市优化模拟过程中加入典型灰色基础设施。其中,灰色基础设施的预设根据《深圳市排水管网规划——深圳河流域》中编制的初期雨水调蓄设施进行。根据资料分析,深圳河流域共计建设14处初期雨水调蓄设施,总汇水面积为13.13 km<sup>2</sup>,总蓄水容积为91 910 m<sup>3</sup>,这将对流域水量调蓄起到至关重要的作用<sup>[8]</sup>。

### 5.2.5 景观营造

以市民、交通和活动类型之间的本质联系为基础,营造丰富多样、舒适共享的活力氛围。在城市腹地与水岸间形成多种功能共存的活力空间。建设

20 km 北岸贯通的滨水带,依托现状巡逻道增加沿河自行车交通系统,远期采用电瓶车系统联系地铁站和河岸,将公园交通系统延伸至城市腹地。多样交织的通道、自然贯通的滨水带及不同类型的功能性河段将形成新的活力空间和穿越体验。

## 6 结语

① 深圳河水体污染严重,氨氮和总氮均有沿河流方向升高的趋势,71%的断面水体中氨氮和总氮超出地表V类水质标准,分别超标4.8和6.2倍。鹿丹村断面水体氨氮浓度为14.65 mg/L,呈现轻度黑臭现象,水体失去自净功能,亟需整治修复。

② 导致城市水体恶化的因素较多,不同河流的污染源也不同。深圳河水体污染源主要为生活污水及工业废水,且生活污水的排放比例最大。根据污染物排放占比分析,福田区的废水排放量最大,南山区次之,龙岗区最少。其中福田区生活污水排放占比为33%,工业废水排放对河道CDO、氨氮的贡献率分别达到42%、44%,是深圳河岸线截污的重点区域。

③ 深圳河水质恶化的主要原因为流域内管网建设不完善和河道运营管理欠缺,导致了污染物排放超出河道纳污能力,水环境遭到严重破坏。通过截污清淤、海绵调蓄、生态修复及景观营造等措施,可实现2020年全面消除黑臭及2025年水质达到V类水的目标。

## 参考文献:

- [1] 钱嫦萍,王东启,陈振楼,等. 生物修复技术在黑臭河道治理中的应用[J]. 水处理技术,2009,35(4):13-17.  
Qian Changping, Wang Dongqi, Chen Zhenlou, et al. Progress of bioremediation for controlling blackening and stink of rivers[J]. Technology of Water Treatment, 2009, 35(4):13-17(in Chinese).
- [2] 李骏飞,杨磊三,周炜峙. 海绵城市与黑臭水体治理共同建设途径探讨[J]. 中国给水排水,2016,32(24):35-38.  
Li Junfei, Yang Leisan, Zhou Weizhi. Discussion on common construction of sponge city and malodorous black river treatment project[J]. China Water & Wastewater, 2016,32(24):35-38(in Chinese).
- [3] 张列宇,王浩,李国文,等. 城市黑臭水体治理技术及其发展趋势[J]. 环境保护,2017,45(5):62-65.

- Zhang Lieyu, Wang Hao, Li Guowen, *et al.* Management technology and development trend for urban black and odorous water body[J]. *Environmental Protection*, 2017, 45(5): 62 – 65 (in Chinese).
- [4] 严由生, 缪翠. 深圳新洲河水环境综合整治中的关键技术[J]. *人民珠江*, 2008(1): 55 – 58.  
Yan Yousheng, Miao Hui. Key technology in water environmental overall regulation in Xinzhou River in Shenzhen[J]. *Pearl River*, 2008(1): 55 – 58 (in Chinese).
- [5] 唐天均, 杨晟, 尹魁浩, 等. 基于 EFDC 模型的深圳水库富营养化模拟[J]. *湖泊科学*, 2014, 26(3): 393 – 400.  
Tang Tianjun, Yang Sheng, Yin Kuihao, *et al.* Simulation of eutrophication in Shenzhen Reservoir based on EFDC model[J]. *Journal of Lake Sciences*, 2014, 26(3): 393 – 400 (in Chinese).
- [6] 孟岑, 李裕元, 吴金水, 等. 亚热带典型小流域总氮最大日负荷(TMDL)及影响因子研究——以金井河流域为例[J]. *环境科学学报*, 2016, 36(2): 700 – 709.  
Meng Cen, Li Yuyuan, Wu Jinshui, *et al.* Study on total nitrogen TMDL and its contributing factors in typical subtropical watersheds: A case study of Jinjinghe watershed[J]. *Acta Scientiae Circumstantiae*, 2016, 36(2): 700 – 709 (in Chinese).
- [7] 李家科, 周君君, 李怀恩, 等. 考虑非点源污染影响的河流污染物总量控制研究[J]. *西安理工大学学报*, 2012, 28(3): 269 – 277.  
Li Jiake, Zhou Junjun, Li Huaien, *et al.* A study of total pollutant amount control of river in considering the influence of non-point source pollution[J]. *Journal of Xi'an University of Technology*, 2012, 28(3): 269 – 277 (in Chinese).
- [8] 李娜, 孟雨婷, 王静, 等. 低影响开发措施的内涝削减效果研究——以济南市海绵试点区为例[J]. *水利学报*, 2018, 49(12): 1489 – 1502.  
Li Na, Meng Yuting, Wang Jing, *et al.* Effect of low impact development measures on inundation reduction—Taking Jinan pilot area as example[J]. *Journal of Hydraulic Engineering*, 2018, 49(12): 1489 – 1502 (in Chinese).



作者简介: 全晓辉(1982 – ), 男, 河南洛阳人, 本科, 高级工程师, 主要研究方向为城市水环境治理、公路环保景观和交旅融合等。

E-mail: 18859222@qq.com

收稿日期: 2019 – 10 – 08

节约每一滴水,

回收每一滴水,

让每一滴水多循环一次