

DOI :10.3969/j.issn.1004-6933.2011.02.012

# 大沙河坪山桥段水质修复中试研究

余旭禄<sup>1,2</sup>, 付广义<sup>1,2</sup>, 陈繁忠<sup>1</sup>, 盛彦清<sup>1</sup>

(1. 中国科学院广州地球化学研究所 有机地球化学国家重点实验室 广东省环境资源利用与保护重点实验室, 广东 广州 510640 2. 中国科学院研究生院 北京 100049)

**摘要** 通过设置水力自控翻板闸蓄水, 建设岸边生态滤床和生态护岸, 辅以人工复氧和投加微生物制剂等技术措施, 修复深圳市大沙河坪山桥段水质。结果表明, 在污水间歇性流量约为  $50\text{ m}^3/\text{d}$  的情形下, COD、BOD<sub>5</sub>、NH<sub>3</sub>-N、TP 的去除率分别达到 40%、55%、25% 和 40%, 黑臭基本消除。

**关键词** 河涌; 水质修复; 蓄水; 生态滤床; 生态护岸; 大沙河

**中图分类号** :X522 **文献标识码** :B **文章编号** :1004-6933(2011)02-0054-04

## Pilot-scale study on river water quality remediation in the Pingshan Bridge section of Dasha River

YU Xu-lu<sup>1,2</sup>, FU Guang-yi<sup>1,2</sup>, CHEN Fan-zhong<sup>1</sup>, SHENG Yan-qing<sup>1</sup>

(1. State Key Laboratory of Organic Geochemistry, Guangdong Key Laboratory of Environment and Resources, Guangzhou Institute of Geochemistry, Chinese Academy of Sciences, Guangzhou 510640, China; 2. Graduate School of Chinese Academy of Science, Beijing 100049, China)

**Abstract** : In this study, the polluted water of the Pingshan Bridge section of the Dasha River in Shenzhen was restored by controlling water storage with installation of an automatic hydraulic flap gate, construction of a multifunctional ecological filter bed, and ecological revetment, supplemented with aeration of the water and dosing micro-organisms additives into the water. The results showed that when the hydraulic load of the intermittent sewage supply was about  $50\text{ m}^3/\text{day}$ , removal rates of COD, BOD<sub>5</sub>, NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N, and TP were above 40%, 55%, 25%, and 40% respectively. The black and odorous phenomenon was eliminated.

**Key words** : urban channel; water quality remediation; water storage; ecological filter bed; ecological revetment; Dasha River

大沙河是深圳市南山区的主要河流, 上游为长岭皮水库, 下游在后海处汇入深圳湾, 全长 7.7 km, 汇水面积 90.69 km<sup>2</sup>。大沙河曾是深圳市水质最好的河流之一, 但随着经济的迅速发展及人口的急剧增加, 大量的工业废水、生活污水及养殖业污水未经处理直接排入河道, 致使污染程度急剧提高<sup>[1]</sup>。深圳市政府于 1989 年完成了大沙河的综合整治工程, 规划将城市污水处理厂出水经过深度处理, 作为河

道补给水源, 通过截污工程使河道沿线基本达到无污染排放, 通过清淤工程清除河道污染底泥。但治理后仍存在许多问题, 如水源不足、水流缓慢、护坡裸露、生物多样性缺乏、生态系统脆弱、自净能力差, 再加上截污不完全, 上游补水中仍含有 N、P 污染物, 极易发生水体富营养化甚至黑臭现象。

我国在城市河涌污染修复方面已做了一些工作, 如天津市南排污河整治中, 提出上游河段采取曝

气缓流沉降方法,中游河段作为自然氧化塘,下游河段采用砂滤、兼性氧化塘和放养水葫芦等综合方案<sup>[2]</sup>。在广州芳村 A 涌翠竹苑段的治理中,提出了利用生物修复技术,配合潮汐河涌的水利调节、人工复氧、底质改良等技术手段的综合方案<sup>[3]</sup>。在广州东濠涌治理中,提出了调用珠江水进行水流大循环、利用微生物技术修复水质等综合整治对策<sup>[4]</sup>。笔者参考一些已有的治理方案,并根据大沙河河道的实际特点,利用水力自控翻板闸蓄水,建设生态滤床和生态护岸,并辅以人工复氧和投加微生物菌剂等技术手段,对大沙河坪山桥段河涌水体进行了综合治理试验研究,目的是为深圳市河涌水质改良探索一种可行的技术模式和方法。

## 1 试验方法

### 1.1 试验地点

试验河段选取坪山桥段,全长约 600 m,边坡比为 1:2。试验前河涌水位变化在 0.0 ~ 1.5 m 之间,日平均流量为 8 000 m<sup>3</sup>,河道两侧有两个排污口,平均每天向河道内排放大约 50 m<sup>3</sup> 的各类生活污水(间歇性排入)。试验期间河涌水质及排污口水质指标见表 1。

表 1 河涌原水及排污口水质指标 mg/L

水源	$\rho(\text{DO})$	$\rho(\text{SS})$	$\rho(\text{BOD}_5)$	$\rho(\text{COD})$	$\rho(\text{NH}_3\text{-N})$	$\rho(\text{TP})$
河涌原水	1.60~2.20	25~28	12.3~14.1	36~42	9.23~12.60	1.16~1.35
排污口	0.05~0.11	100~130	45.0~133.0	63~210	18.30~67.20	1.30~9.60

### 1.2 水体修复方法

#### 1.2.1 水力自控翻板闸

由于大沙河是雨源性河流,河道基流很小,在非雨季几乎干涸,河床外露,不仅达不到稀释沿岸排污口所排放污水的作用,而且景观效果很差<sup>[5]</sup>,因此,为使试验河段保持一定的水位,在其上游和下游分别设置了水力自控翻板闸。水力自控翻板闸是一种技术先进的新型水工建筑物,其工作原理是利用闸前水压力和闸身自重在一定水位条件下自动翻转启闭。一般当汛期来临或是上游流量急剧增大时,在水压力的作用下,闸门自动翻转打开;当水位降至相应高度时,闸门又会自动关闭达到蓄水和抬高水位的目的<sup>[6-7]</sup>。本试验河段蓄水后,河内平均水深约为 1.5 m。

#### 1.2.2 复合生态滤床

在水力自控翻板闸的后面,利用 2 m 的水位落差,构建起 150 m 长的复合生态滤床(实际容积约 600 m<sup>3</sup>),让水自然流入复合生态滤床,处理后流入河道。复合生态滤床是根据人工湿地原理来构建的,根据大沙河护坡堤岸特点,对人工湿地的基本结

构、布水集水系统、基质、湿地植物等进行改进,将其单元化、模块化,将原本占地巨大的人工湿地改变成可以随意组合的小型模块,直接安放在河道两边,每个模块为一个独立的小型处理系统,将小型模块用管道连接起来组成一个复合生态滤床。模块中填充性能优良的吸附 N、P 的填料,在填料上种植经过特别挑选的适合南方气候的湿地植物,这些植物的根系从填料层之间的空隙深入填料层,广泛分布于填料中,利用填料吸附和富集 N、P 等营养盐供植物生长繁殖,通过填料的吸附和脱附使 N、P 等营养元素从水体转移到植物体内,既美化环境,又能一定程度去除水中悬浮物和有机污染物,通过植物的收获,除去水中的 N、P 等营养盐,防止水体富营养化发生<sup>[8-9]</sup>。另外,通过生物促生技术和生物强化技术使填料上生长附着大量微生物,河水在流经填料层时,部分有机污染物被填料上微生物所吸附并降解,N、P 等营养物质则先被填料吸附后被广泛分布其中的植物根系所吸收利用<sup>[10-11]</sup>。滤床所用填料主要是由粉煤灰、铁矿石粉、氧化铝、促生材料、黏结剂及造孔剂等材料烧结而成的块状物,尺寸为 400 mm × 200 mm × 100 mm,内部设有孔道,孔道为 1 条或多条,孔隙率一般达 20% ~ 30%,孔道之间相互交错相通,供周围生物附着生长。孔道内有软性丝状物,使原生动、后生动物等附着生长,为浮游动物提供栖息场所,进一步去除水体中有机污染物和藻类,也避免或推迟了填料的堵塞<sup>[12]</sup>。

#### 1.2.3 生态护岸

对河道采用生态型护岸,为微生物的富集和栖息提供基质条件,同时植物也能在其中生长,进而可营造生物多样性的生境<sup>[13]</sup>。生态护岸有多种类型,目前应用较多的主要是植物护岸、木材护岸、石材护岸和石笼护岸。其中石笼护岸具有抗冲刷能力强、整体性好、应用比较灵活、能随地基变形而变化的特点,同时又能满足生态的需要,即使是全断面护砌,也可为水生生物提供生存空间<sup>[14]</sup>。

根据大沙河岸堤的特点,在试验河段沿岸设置了 400 m 石笼,石笼内安置由多种模块组合而成的复合生态处理单元,复合生态处理单元内设置集水管,填充高效吸附 N、P 填料、生态多孔介质,介质上种植大约 15 000 株经过特别筛选的适合南方气候特征的湿地植物如风车草、水葱、美人蕉、芦苇、菖蒲、香蒲等,既达到进一步净化水质的目的,同时也增加了河道的景观效果。

#### 1.2.4 曝气增氧

在坪山桥下设置有 5 台增氧设备(3 台 1.5 kW 叶轮式增氧机,2 台 0.75 kW 喷涌式增氧机),试验河

段下游设置一台 3 kW 叶轮式增氧机,目的是迅速增加水体 DO,加快有机污染物降解,同时保持水体有较大扰动,抑制后期藻类过度繁殖。

### 1.2.5 投加微生物制剂

试验所采用的水质改善微生物制剂、底质改良微生物剂及藻类生态改善制剂均为中科院广州地球化学研究所自行研制的药剂。底质改良微生物剂主要以光合细菌、芽孢杆菌为主,以沸石粉、碳酸钙为载体,藻类生态改善制剂主要由有机酸和微量元素组成。投加水处理制剂时,先用河水稀释成悬浊液,然后沿两侧河岸均匀泼洒于试验河段水面。试验期间水处理制剂投加量及投加顺序见表 2。

表 2 主要水处理制剂及投加情况

药剂名称	投加量及投加顺序
光合细菌菌液	每隔 30 d 投加 75 kg
固定化复合菌	每隔 30 d 投加 5 kg,在投光合细菌菌液后第 3 天投加
其他	治理期间适时适量投加藻类生态改善制剂

### 1.3 水样采集、水质检测

在试验河段设置 4 个采样点,编号分别为 1 号(上游水体)、2 号(中上游水体)、3 号(中下游水体)、4 号(下游水体)。工程正常运行后每隔 5 d 取 1 水次样进行测试。采样时用 500 mL 聚乙烯瓶,在采样点水面以下约 30 cm 采集,样品立即酸化后 24 h 内进行分析。河涌水质分析方法参照文献 [15] 具体

方法为: BOD<sub>5</sub> 采用稀释接种法; COD 采用重铬酸钾法; NH<sub>3</sub>-N 采用纳氏试剂光度法; TN 采用微波消解-紫外分光光度法; TP 采用微波消解-磷钼蓝分光光度法; 硫化物采用亚甲基蓝分光光度法; SS 采用重量法; 透明度采用塞氏盘法; DO 采用 YSI550A 便携式溶解氧仪现场直接测定。具体采样位置见图 1。

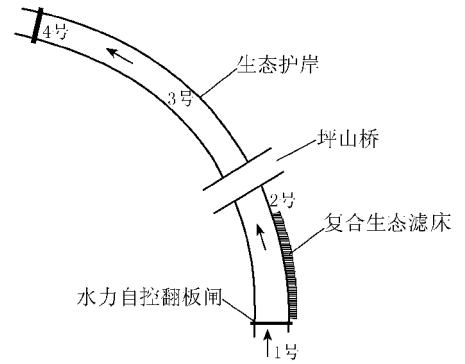


图 1 试验河段及各监测点分布

## 2 试验结果与讨论

### 2.1 水体 DO、透明度的变化

由图 2(a)可知,在试验河段的上游,即翻板闸处,DO 质量浓度仅为 1.8 mg/L(10 次监测平均值,下同)部分水体经过复合生态滤床处理后,污染物浓度降低,水体水质得到明显改善,中上游水体中 DO 质量浓度已上升至 3.8 mg/L 左右。经过曝气区后,

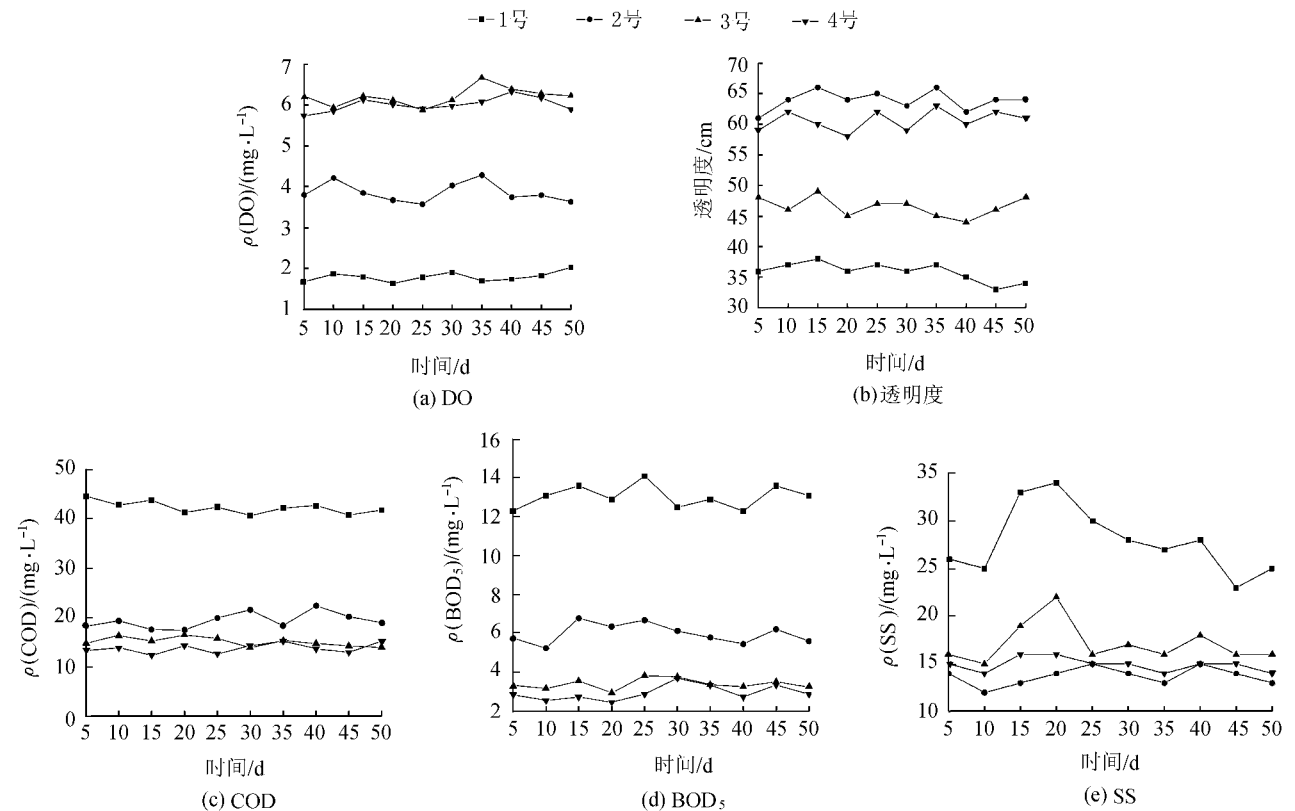


图 2 不同采样点水体 DO、透明度、COD、BOD<sub>5</sub>、SS 随时间变化

水体中 DO 质量浓度大幅度上升,在试验河段的中下游,已达 6 mg/L 以上,下游水体中 DO 质量浓度维持在 6 mg/L 左右。整个试验河段,DO 均处于较高水平,避免了因为污染物的冲击而使水体恶化,提高了大沙河水体的抗冲击负荷能力。

水体透明度同样得到了明显改善,大沙河上游水体透明度不高,在 35 cm 左右,经过复合生态滤床处理后,大部分悬浮污染物得到去除,水体透明度显著升高到约 65 cm,经过强曝气增氧和生态护岸等系统处理后,可能由于底质受到扰动及微生物的生长等原因,在试验河段的中下游水体透明度降为 45 cm 左右,在试验河段的下游,水体透明度进一步上升至 60 cm,与上游相比增加了近 30 cm,在感官上可以明显看出上下游水体水质的变化,下游明显比上游清澈(图 2(b))。

### 2.2 水体有机污染物的变化

试验河道有机污染较为严重,COD、BOD<sub>5</sub> 及 SS 的质量浓度分别维持在 40 mg/L、10 mg/L 和 20 mg/L 以上。部分水体经过复合生态滤床处理后,COD 质量浓度明显降低,中上游水体中已低于 20 mg/L,去除率达 50%。可见复合生态滤床对水体中的 COD 具有明显的去除效果。在试验河段的中下游,由于强曝气增氧,水体中 DO 质量浓度迅速上升,氧化能力增强,水体中的 COD 质量浓度继续下降,达到 15 mg/L

左右。经过生态护岸系统和下游曝气区后,水体的 COD 质量浓度进一步降低,在河段下游出水处 COD 质量浓度已下降至 13 mg/L 左右。BOD<sub>5</sub> 质量浓度也有明显降低,出水基本维持在 3 mg/L 左右,变化趋势与 COD 基本相同。SS 的变化较不稳定,这主要是因为雨水冲刷所致,另外试验过程中藻类的大量繁殖也会影响 SS 的浓度变化,但总体上去除率也达到 50%(图 2(c))(d)(e))。

### 2.3 水体氮、磷、硫的变化

从深圳市环境监测站的水质监测数据来看,大沙河超标最严重的是 NH<sub>3</sub>-N 和 TP,超过地表水 V 类标准 6~8 倍。本试验河段水体中的 NH<sub>3</sub>-N、TP 污染也相当严重,两者的质量浓度分别达到了 11 mg/L 和 1.2 mg/L 左右。经过治理后,NH<sub>3</sub>-N 和 TP 的浓度均有大幅度的降低,出水 NH<sub>3</sub>-N 值已低于国家地表水 V 类标准;TP 质量浓度基本维持在 0.2 mg/L 左右,去除效果非常明显。

大沙河水体的 TN 污染也很严重,试验期间平均达 15 mg/L,超过国家地表水 V 类标准 7 倍多,且主要以 NH<sub>3</sub>-N 为主。经过处理后,水体 TN 质量浓度基本控制在 2 mg/L 左右,已达到国家地表水 V 类标准。大沙河硫化物污染程度较轻,质量浓度低于 1 mg/L,但水体经过处理后,硫化物的含量仍有一定的降低,出水中的硫化物质量浓度均维持在 0.1 mg/L 以下(图 3)。

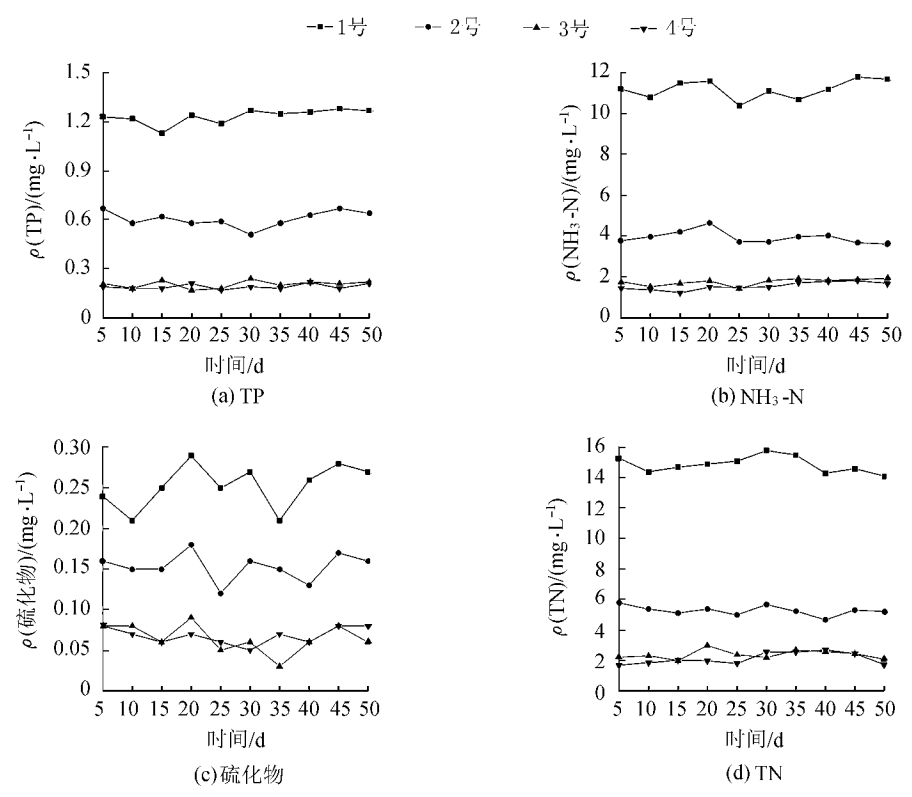


图 3 不同采样点水体 TP、NH<sub>3</sub>-N、硫化物、TN 随时间变化

(下转第 66 页)

d. 实验结果表明, 单一的直接投加微生物修复技术在治理相对滞留的城市污染河道中可以初步消除河道的黑臭现象, 修复水质, 无需彻底截污和清除内源, 且操作简单、见效时间短, 对氮、磷均有较高的去除率, 适应当下城市治理河道资金不足, 不能立刻实现彻底截污、收集城市生活污水、修建污水处理厂的现状。但是单一的微生物修复还不能完全修复河流生态, 表现在 DO 不充足, 从而导致  $\text{NH}_3\text{-N}$  的实验后的去除率虽然较高, 但其浓度依然处于劣 V 类的状态, 应在实验初期采用曝气来增加 DO 浓度, 提高氮的去除率。另外, 磷是典型的沉积型循环物质, 不存在任何气体形式的化合物, 所以磷不能像氮一样, 可以借助微生物转化成气态从河道中去除, 所以必须辅以水生植物对河道水体中的磷进行彻底根除。

#### 参考文献:

- [1] 徐祖信. 河流污染治理技术与实践 [M]. 北京: 中国水利水电出版社, 2003: 401-405.
- [2] 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.
- [3] 罗刚, 刘军, 胡和平. 生物修复技术在白海面黑臭河涌治

- 理中的应用 [J]. 环境科学与管理, 2009, 34(2): 115-118.
- [4] 雷恒毅, 余光伟, 刘广立, 等. 珠江流域重污染感潮河道黑臭治理新技术 [J]. 中山大学学报: 自然科学版, 2007, 46(3): 134-136.
- [5] 金承翔, 孙建军, 黄民生, 等. 组合生物技术对黑臭水体净化修复研究 [J]. 净水技术, 2005, 24(4): 1-4.
- [6] 熊万永, 李玉林. 人工曝气生态净化系统治理黑臭河流的原理及应用 [J]. 四川环境, 2004, 23(2): 34-36.
- [7] 杨秀敏, 胡桂娟, 杨秀红, 等. 生物修复技术的应用及发展 [J]. 中国矿业, 2007, 16(12): 58-60.
- [8] 刘志刚, 岳峥, 马东兵. 中国资源综合利用 [J]. 水体生物修复技术研究进展, 2008, 26(12): 25-28.
- [9] 孙建军, 徐亚同. 受污染水体的微生物修复 [J]. 上海化工, 2003(4): 7-11.
- [10] 朱遐. 生物修复的研究和应用现状及发展前景 [J]. 生物技术通报, 2006(5): 30-32.
- [11] 李坤陶. 生物修复技术及其应用 [J]. 生物学教学, 2007, 32(1): 4-6.
- [12] 刘贵云, 姜佩华. 河道底泥资源化的意义及其途径研究 [J]. 东华大学学报: 自然科学版, 2002, 28(1): 33-36, 60.
- [13] 张智, 刘亚丽, 段秀举. 湖泊底泥磷释放影响因素显著性试验分析 [J]. 植物资源与环境学报, 2006, 15(2): 16-19.

(收稿日期 2010-03-08 编辑 徐娟)

(上接第 57 页)

### 3 结论

大沙河坪山桥段的水质修复中试研究表明, 通过设置水力自控翻板闸蓄水、复合生态滤床和生态护岸, 并辅以人工复氧和微生物改良等技术措施的综合运用, 对被污染的城市河涌进行水体修复, 可以取得较好的处理效果。在污水间歇性流量约为  $50\text{m}^3/\text{d}$  的情形下, COD、 $\text{BOD}_5$ 、 $\text{NH}_3\text{-N}$ 、TP 的去除率分别可以达到 40%、55%、25% 和 40% 以上, 黑臭基本消除。此外, 植物对环境的美化作用也比较明显。对于已基本截污、水源不足、生态系统脆弱、不具备景观效应的城市河涌, 其整体改善的效果尤其明显。该中试研究为珠三角河涌治理以及生态修复提供了一个成功案例, 也为我国各类城市河涌在截污后进一步改善水质, 恢复其生态系统提供了一种新的方法和思路。

#### 参考文献:

- [1] 杨小梦, 张涛, 邱潭生. 深圳市大沙河底泥毒物污染特征及对策探讨 [J]. 华中师范大学学报: 自然科学版, 2003, 37(4): 572-575.
- [2] 张永良, 洪继华, 夏青, 等. 我国水环境容量研究与展望 [C]. 中国环境科学研究院学术委员会. 环境科学论文集. 北京: 中国环境科学出版社, 1990: 165-175.
- [3] 盛彦清, 陈繁忠, 叶恒朋, 等. 城市黑臭河涌水质改良中

- 试研究 [J]. 环境工程, 2005(5): 63-65.
- [4] 周莉娟. 城区河涌污染的综合整治对策研究: 以广州东濠涌治理为例 [J]. 科技管理研究, 2006(4): 201-202.
- [5] 汪朗峰. 大沙河河口水闸工程方案设计 [J]. 中国农村水利水电, 2007(2): 110-114.
- [6] 周经渊. 水力自控翻板闸门的研究与应用 [J]. 水电学报, 2007, 26(6): 73-76.
- [7] 刘守杰. 水力自控翻板闸技术应用研究 [J]. 森林工程, 2002, 18(1): 33-36.
- [8] 徐祖信. 河流污染治理技术与实践 [M]. 北京: 中国水利水电出版社, 2003.
- [9] 北京市水利局. 日本韩国的河道治理 [J]. 北京水利, 2003(4): 30.
- [10] 崔树彬, 刘俊勇, 陈军, 等. 论河流生物-生态修复技术的内涵、外延及其应用 [J]. 中国水利, 2005(21): 16-19.
- [11] 徐亚同, 史家祿, 袁磊. 上澳塘水体生物修复试验 [J]. 上海环境科学, 2000, 19(3): 480-484.
- [12] 刘军, 徐亚同, 陈洽群, 等. 城市半封闭河道水体生态恢复试验 [J]. 环境污染治理技术与设备, 2006, 7(9): 27-30.
- [13] 吴义锋, 吕锡武, 陈杨辉, 等. 生态护砌改善河道水质的中试研究 [J]. 中国给水排水, 2007, 23(11): 32-36.
- [14] 刘娜娜, 杨德全, 张书宽. 生态河道中护岸形式的探索及应用 [J]. 中国农村水利水电, 2006(10): 97-99.
- [15] 国家环境保护总局《水和废水监测分析方法》编委会. 水和废水监测分析方法 [M]. 4 版. 北京: 中国环境科学出版社, 2002.

(收稿日期 2010-06-01 编辑 徐娟)