

DOI :10.3969/j.issn.1004-6933.2010.05.004

广州城市河流形态对河流自净能力的影响

蔡建楠^{1,2}, 潘伟斌², 曹英姿¹, 吴 云³, 张 亮²

(1. 中山市环境监测站, 广东 中山 528402; 2. 华南理工大学环境科学与工程学院, 广东 广州 510006; 3. 广州开发区建设和环境管理局, 广东 广州 510530)

摘要 构建了包括河道分维数、河道断面形态、河岸基质、河岸带宽度、河岸带植被盖度、河床底质状况、河床栖境复杂性共 7 项指标的城市河流形态评价体系, 并以乌涌广州市开发区段为研究对象, 通过定期水质监测研究河流形态对河流自净能力的影响。结果表明, 该评价体系能够反映研究河段的形态差异; 不同形态河段水体 BOD₅ 降解系数及多项水质指标沿程降解率均有显著性差异; 河流形态评价得分较高的河段水体自净能力也较强。河流形态与 NH₃-N、SS、DO 和浊度的降解存在相关性, 是影响河流自净能力的重要因素。

关键词 河流形态; 自净能力; 广州市

中图分类号: TV213.4 文献标识码: A 文章编号: 1004-6933(2010)05-0016-04

Impact of river morphology on urban river self-purification capacity in Guangzhou

CAI Jian-nan^{1, 2}, PAN Wei-bin², CAO Ying-zi¹, WU Yun³, ZHANG Liang²

(1. Zhongshan Environmental Monitoring Station, Zhongshan 528402, China; 2. College of Environmental Science and Engineering, South China University of Technology, Guangzhou 510006, China; 3. Guangzhou Development District Construction and Environment Management Bureau, Guangzhou 510530, China)

Abstract: A river morphology assessment system with seven indexes, channel fractal dimension, channel sectional morphology, riverbank substrate, riparian width, riparian vegetation coverage, riverbed material, and riverbed habitat complexity, was constructed and used to study the effect of river morphology on the river self-purification capacity of Wuyong Stream in Guangzhou through regular water quality monitoring. The results showed that this system can reflect the morphology differences among the reaches. The BOD₅ degradation coefficient and along-path degradation rate of several water quality indexes in different reaches showed significant differences. The reach with the higher river morphology index value had a better self-purification capacity. River morphology had a correlation with the degradation of NH₄⁺-N, SS, DO, and turbidity, which was an important factor for river self-purification.

Key words: urban river; river morphology; self-purification capacity; Guangzhou

近年来, 我国许多城市在河流整治过程中, 对河道采取裁弯取直、河岸硬质化的改造方式, 使城市河流的自然形态受到了很大程度影响^[1-2]。研究表明, 河流形态多样性是流域生物群落多样性的基础^[3]; 破坏河流形态会降低生物群落多样性及生物栖息地质量, 影响河流生态系统健康^[4]。笔者构建了一套城市河流形态评价体系, 并以乌涌广州市开发区段为研究对象, 开展河流形态评价及其对河流自净能

力的影响研究, 探索不同河流形态下河流自净能力的差异, 从河流形态保护角度为城市河流整治工作提供参考。

1 研究对象及方法

1.1 研究河段概况

乌涌为珠江一级支流, 全长 24.13 km, 其广州开发区段总长度约 12.35 km。由于不同时期下河道整

基金项目: 广东省科技计划项目(2009B030801003); 中山市科技计划项目(20092A142)

作者简介: 蔡建楠(1982—), 男, 广东潮州人, 助理工程师, 硕士, 主要从事河流生态恢复与环境质量评价工作。E-mail: cjn10@163.com

治工作指导思想的差异 2001—2006 年间 相关部门对乌涌广州开发区段(以下简称乌涌)采取了 3 种不同的河道整治方法 ,使当前乌涌存在着多种河流形态。本研究中选取的河段概况如表 1。

表 1 研究河段概况

河段名称	河段长度/m	水深/m	河段形态概述
W1	485	0.6 ~ 1.3	近自然河段 :河道弯曲 ,有多处天然跌水 ;天然泥质护岸 ;岸边带植物类型多样 ;泥质河床 ,生长多种大型水生动植物
W2	512	0.6 ~ 1.0	人工修葺生态护岸河段 :河道较为顺直 ,河渗透性石笼及木桩式人工护岸 ,生长有多种人工栽植的树木 ;沙质河床
W3	497	1.3 ~ 1.5	渠化河段 :河道顺直 ;两岸为混凝土护岸 ,无岸边带植物生长 ;水中无大型水生动植物生长 ;沙质河床

1.2 河流形态评价指标体系

本研究中将城市河流形态定义为河流生态系统的河道生境特征和地质特征。以此定义为原则 ,在对广州市各主要河流形态特征进行调查的基础上 ,建立包括河道物理形态、河岸带状况、河床生物栖境等 3 项一级评价指标和河道分维数、河道断面形态、河岸基质、河岸带宽度、河岸带植被盖度、河床底质状况、河床栖境复杂性等 7 项二级评价指标的城市河流形态评价体系 ,并通过专家咨询的方法确定各指标的分级评价标准(表 2)。

1.3 评价模型及方法

城市河流形态涉及多项特征因子 ,每项因子的评价结果对河流形态总分值的贡献也有所不同。本研究中利用层次分析法确定各项二级指标在评价体

系中所占权重 ,并根据各项二级指标的评价分值计算河流形态总分值^[5-6]。建立的层次结构模型如图 1 所示。河流形态总分值的计算公式为

$$T = \sum_{i=1}^n I_i W_i$$

式中 :T 为河流形态总分值 ;I_i 为第 i 项评价指标分值 ;W_i 为第 i 项评价指标权重。

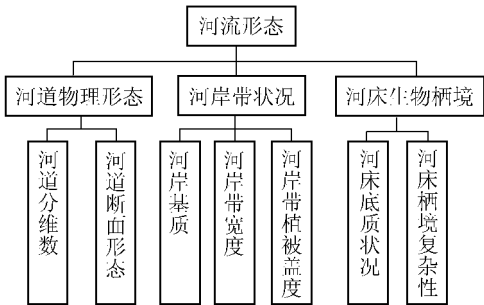


图 1 河流形态评价层次结构模型

1.4 河流自净能力研究

2007 年 3 月至 2008 年 5 月期间 ,定期对各研究河段同时开展水质监测 ,监测项目包括 SS、DO、BOD₅、TN、TP、NH₃-N、NO₃⁻-N、NO₂⁻-N、浊度及流速等。各项水质指标的监测与分析均采用标准方法测定^[7]。通过比较各研究河段的 BOD₅ 降解系数和水质指标沿程降解率 ,可定量评价不同形态下河流自净能力的差异。

1.4.1 BOD₅ 降解系数

BOD₅ 降解系数是对水体中可生物降解的有机物浓度的一个度量 ,可集中反映水体的污染特性和恢复潜力。笔者根据稳态一维 BOD₅ 降解模型对研究河段的 BOD₅ 降解系数进行反推求算 ,以定量评价该河段水体 BOD₅ 降解能力。稳态一维 BOD₅ 降

表 2 城市河流形态分级评价标准

评价指标	河道分维数	河道断面形态	河岸基质	河岸带宽度	河岸带植被盖度%	河床底质状况	河床栖境复杂性	
指标权重	0.0660	0.1340	0.2156	0.1911	0.0833	0.0775	0.2325	
分级标准及分值	25 ~ 21	> 1.1	以天然抛物线形断面为主 ,河道宽深比有较大变化	泥质河岸 ,大部分被植物覆盖	$> 2\bar{B}$	> 80	底质粒径组成范围广 ,营养盐及有机质含量低	河道栖境多样化 ,有大型水生植物生长 ,有浅滩、深潭和倒凹堤岸等各种栖境
	20 ~ 16	1.05 ~ 1.1	以天然抛物线形断面为主 ,河道宽深比变化较小	泥质河岸 ,部分河岸有植物覆盖	$1 \sim 2\bar{B}$	60 ~ 80	以大型砾石为主 ,营养盐及有机质含量低	有大型水生植物生长 ,有浅滩、深潭等栖境
	15 ~ 11	1.02 ~ 1.05	天然抛物线形、人工矩形或梯形断面均存在 ,河道宽深比有较大变化	河岸底部为浆砌护岸 ,顶部为泥质河岸	$0.5 \sim 1\bar{B}$	40 ~ 60	以砂质土为主 ,营养盐及有机质含量低	有大型水生植物生长
	10 ~ 6	1.01 ~ 1.02	以人工矩形或梯形断面为主 ,河道宽深比有较大变化	浆砌块石河岸	$< 0.5\bar{B}$	20 ~ 40	以小粒径砂质土为主 ,营养盐及有机质含量高	无大型水生植物生长 ,以 1 种或 2 种栖境为主
	5 ~ 1	≤ 1.01	河道断面为单一矩形或梯形断面 ,宽深比变化较小	混凝土硬化河岸	缺乏明显的河岸带	≤ 20	以淤泥或黏质土为主 ,营养盐及有机质含量较高	栖境单一 ,底质多以淤泥或细沙为主

注 :表中 B 表示平均河宽。

解模型数学表达式为^[8]：

ρ = ρ₀e^{KX/V}

式中 ;ρ₀、ρ 分别为河段上、下断面 BOD₅ 质量浓度 ,mg/L ;X 为河段上 ,下断面距离 ,m ;V 为河段平均流速 ,m/d ;K 为 BOD₅ 降解系数 d⁻¹。

1.4.2 水质指标沿程降解率

本研究中 3 种河段长度不同 因此采用计算水质指标沿程降解率的方法 ,以比较不同河段中各水质指标的变化趋势。水质指标沿程降解率计算公式为：

R = (ρ'1 - ρ'0) / ρ'0X × 10⁴

式中 ;ρ'1、ρ'0 分别为河段上、下断面某水质指标浓度 ;R 为该水质指标沿程降解率。

2 结果与分析

2.1 各河段形态评价结果

W1 河段具备良好的河道蜿蜒性及断面多样性 ,河水流速变化快 ,并存在众多滩涂 ,构成了较复杂的河道栖息地环境 ,河段形态评价总分为 20.29。W2 河段河道较为顺直 ,河床中有类型多样的挺水植物及沉水植物 ,部分河段中植被覆盖度达 50% 以上 ,河段形态评价总分为 14.85。W3 河段中无大型水生植物存在 ,并且河水流速变化小 ,整个河段栖息地条件较为单一 ,河流形态评价总分为 4.15。

2.2 各河段自净能力研究结果

2.2.1 BOD₅ 降解系数测定结果

使用 SPSS 11.5 软件对 BOD₅ 降解系数 K 的测定结果进行独立样本 t 检验 ,结果显示 3 种河段下的 BOD₅ 降解系数均有显著性差异(表 3)。W1 河段中 BOD₅ 降解系数 K 要远高于其他 2 个河段 ,超过 8 ~ 33 倍。但 W1 河段的 BOD₅ 降解系数 K 变化幅度大 ,其标准偏差达 ± 8.091 ,显示此类河段在具有较高 BOD₅ 降解能力的同时 ,也存在着 BOD₅ 降解能力不稳定的特点。

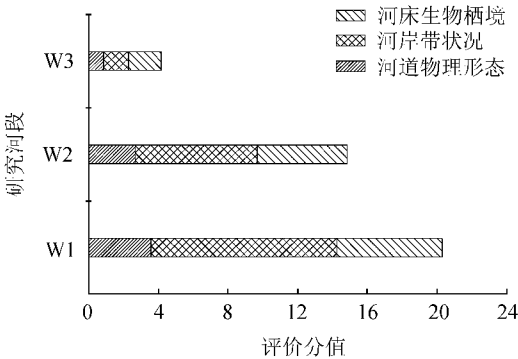


图 2 研究河段河流形态评价结果

表 3 不同河段 BOD₅ 降解系数 K 的测定结果 d⁻¹

序号	W1	W2	W3	序号	W1	W2	W3
1	12.445	1.991	1.061	6	7.305	1.494	0.243
2	31.121	1.496	0.892	7	17.767	2.984	0.262
3	23.801	3.532	0.599	8	12.445	1.991	1.061
4	19.422	1.263	0.397	9	31.121	1.496	0.892
5	7.439	1.521	0.149				

2.2.2 研究河段水质指标沿程降解率的差异

表 4 表明 除浊度外 其他水质指标在不同研究河段中的沿程降解率均有显著性差异。NO₂⁻-N、NH₃-N 和 SS 在 W1 河段中的降解程度最高 ,并且 DO 在 W1 河段中的恢复能力最强。TP、TN 在 W2 河段中的降解程度最高。W3 河段中 ,TP、TN、NO₂⁻-N、NH₃-N 和 SS 浓度均呈现升高趋势 ,而 DO 浓度则逐渐下降 ;W3 河段中 NO₃⁻-N 虽有一定程度的降解 ,但同时 TN 浓度升高 ,其主要原因可能是 NO₃⁻-N 向 NO₂⁻-N 的转变 因此总体上 W3 河段水质呈恶化趋势。

表 4 不同河段各水质指标沿程降解率的结果及差异性分析

指标	W1	W2	W3
TP	1.953 ^a	3.405 ^b	- 10.290 ^c
TN	1.049 ^a	1.237 ^a	- 4.779 ^b
NO ₃ ⁻ -N	1.229 ^a	1.348 ^a	5.954 ^b
NO ₂ ⁻ -N	1.912 ^a	- 1.447 ^b	- 2.071 ^c
NH ₃ -N	0.603 ^a	- 0.924 ^b	- 7.662 ^c
DO	- 2.103 ^a	- 0.993 ^a	9.071 ^c
浊度	1.171 ^a	1.066 ^a	0.821 ^a
SS	5.369 ^a	0.751 ^b	- 4.433 ^c

注 :同一行中上标相同字母表示各河段无显著性差异 ,不同字母表示有显著性差异 ,显著性概率 P < 0.05。

2.3 河流形态评价结果与河流自净能力的关系

利用 SPSS 11.5 软件统计不同河段下各水质指标沿程降解率与河道物理形态、河岸带状况、河床生物栖息 3 项河流形态一级指标评价结果的相关性。结果显示 :各河段中河道物理形态以及河岸带状况与 SS 的降解呈正相关 ,河床生物栖息与浊度、NH₃-N 的降解呈正相关 ;而河道物理形态和河床生物栖息均与 DO 的降解呈负相关(表 5)。

表 5 不同河段各水质指标沿程降解率与河流形态一级指标相关性

指标	河道物理形态	河岸带状况	河床生物栖息
TP	0.857	0.823	0.923
TN	0.933	0.908	0.975
NH ₃ -N	0.986	0.974	1.000 *
DO	- 0.998 *	- 0.991	- 0.997 *
NO ₃ ⁻ -N	- 0.949	- 0.967	- 0.893
NO ₂ ⁻ -N	0.821	0.855	0.729
SS	1.000 *	0.999 *	0.986
浊度	0.996	0.989	0.998 *

注 :* 是显著性概率 P < 0.05 时的相关系数。

3 讨 论

上述研究结果表明,河流形态评价分值较高的河段,其水体也有较高的自净能力,河流形态与部分水质指标的改善存在着相关性。其原因有如下几个方面:

a. 河段的蜿蜒程度及断面多样性增加,一定程度上降低河水流速,减缓了水力冲刷作用,使得水体中悬浮颗粒物得到沉降,这可能是河流形态与SS、浊度降解相关的原因。河道物理形态多样性形成的河水流态复杂性,有利于大气向水体的氧扩散,对于水体复氧有重要的意义^[9]。

b. 河岸带对于削减、吸纳可能进入河流的面源污染起到关键作用,这实际上有助于增强污染物在河流中的降解程度。良好的河岸植物带的存在有利于稳定河流小区域的气候,降低热污染,从而也有助于水体的复氧^[10]。

c. 河床生物栖境是影响底栖动物的重要因素。良好的河床生物栖境不仅能为底栖动物提供食物与栖息、繁殖、避难场所,还能稳定底质^[11],降低大水对底栖动物的冲击^[12]。河床附生植物通过光合作用为水体提供了丰富的氧气来源,这可能是河床底质状况影响DO降解率的直接原因。同时,水体中DO的提供使得好氧性动物大量出现,将进一步提高底栖动物的多样性和数量,从而有助于水质改善,促使NH₃-N向NO₃⁻-N和NO₂⁻-N的转化,使得河床生物栖境与NH₃-N的降解相关。

4 结 论

a. 构建了包括河道物理形态、河岸带状况、河床生物栖境等3项一级评价指标和河道分维数等7项二级评价指标的城市河流形态评价体系,并确定各指标的评价方法及评价标准。对乌涌的形态评价结果表明,该评价体系能够反映研究河段的形态差异。

b. 水质监测结果表明,河流形态评价分值较高的河段,其水体也有较高的自净能力,河流形态评价结果与NH₃-N、SS、DO和浊度的降解存在相关性,表明河流形态是影响河流自净能力的一个重要因素。

参考文献:

[1] 国家环境保护局. 中国生态问题报告[M]. 北京: 中国环境科学出版社, 1999: 34-35.

[2] 董哲仁. 河流形态多样性与生物群落多样性[J]. 水利学报, 2003(11): 1-6.

[3] 王沛芳, 王超, 侯俊. 城市河流生态系统建设模式研究及应用[J]. 河海大学学报: 自然科学版, 2005, 33(1): 68-71.

[4] 郑丙辉, 张远, 李英博. 辽河流域河流栖息地评价指标与评价方法研究[J]. 环境科学学报, 2007, 27(6): 928-936.

[5] 赵焕臣, 许树柏, 和金生. 层次分析法: 一种简易的新决

策方法[M]. 北京: 科学出版社, 1985: 1-57.

[6] 文科军, 马劲, 吴丽萍, 等. 城市河流生态健康评价体系构建研究[J]. 水资源保护, 2008, 24(2): 50-52.

[7] 《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.

[8] 魏永霞. 工程水文学[M]. 北京: 中国水利水电出版社, 2005: 1-130.

[9] 王锦旗, 宋玉芝, 王国祥. 溢流堰基质及生物膜对水体复氧及水质的影响[J]. 水利水电技术, 2009(1): 34-36.

[10] 夏继红. 生态河岸带综合评价理论与应用研究[D]. 河海大学, 2005: 27-40.

[11] DOWNES B J, LAKE P S, SCHREIBER E S, et al. Habitat structure, resources and diversity: the separate effects of surface roughness and macroalgae on stream invertebrates[J]. Oecologia, 2000, 123(4): 569-581.

[12] BEISEL J N, USSEGLIO-POLATERA P, THOMAS S, et al. Stream community structure in relation to spatial variation: the influence of mesohabitat characteristics[J]. Hydrobiologia, 1998, 389(1): 73-88.

(收稿日期: 2009-11-29 编辑: 徐娟)

(上接第15页)

参考文献:

[1] 宋庆辉, 杨志峰. 对我国城市河流综合管理的思考[J]. 水科学进展, 2002, 13(3): 377-381.

[2] LIVETT E A. Geochemical monitoring of atmospheric heavy metal pollution: theory and application[J]. Advances in Ecological Research, 1988, 18: 65-77.

[3] FÖRSTNER U, WITTMANN G T W. Metal Pollution in the Aquatic Environment[M]. Berlin: Springer Verlag, 1979: 110-192.

[4] DAMIAN S. Development sediment quality criteria[J]. Environmental Sciences & Technology, 1988, 22(11): 1256-1261.

[5] 汤莉莉, 牛生杰, 徐建强, 等. 外秦淮河疏浚后底泥重金属污染与潜在生态风险评价[J]. 长江流域资源与环境, 2008, 17(3): 424-430.

[6] 陈静生, 周佳义. 中国水环境重金属研究[M]. 北京: 中国环境科学出版社, 1992: 168-170.

[7] HAKANSON L. An ecological risk index for aquatic pollution control: a sedimentological approach[J]. Water Research, 1980, 14: 975-1001.

[8] 张建岳. 南通市主城区河道存在问题及整治对策[J]. 江苏水利, 2001(8): 32-33.

[9] 陆建军. 南通市城市水环境治理思路[J]. 江苏水利, 2005(4): 42-43.

[10] 喻福涛, 张东华. 南通市城市水环境整治的实践[J]. 江苏水利, 2006(10): 29-30.

[11] 安强华, 沃珍娣, 童占明, 等. 南通市农业土壤和粮食中金属元素背景值的调查[J]. 环境科学技术, 1989, 2(2): 27-31.

(收稿日期: 2009-09-02 编辑: 徐娟)