

城市河流水生态考核指标体系的研究

荆 勇

(沈阳环境科学研究院, 辽宁 沈阳 110167)

摘要: 基于沈阳市河流特点,研究建立了包括水生态考核指标和控制值的指标体系,其中包括水资源结构、水生态质量和重点受控要素方面的控制指标和内容。通过应用试验,验证了指标体系在水生态质量解析和监控中的作用和功效,为水生态建设和管理提供了新的技术支持。

关键词: 河流; 水生态; 考核指标

中图分类号: X826

文献标志码: A

DOI:10.16803/j.cnki.issn.1004-6216.2017.02.003

Study of Aquatic Ecological Assessment Index System of Urban Rivers

Jing Yong

(Shenyang Academy of Environmental Sciences, Shenyang 110167, China)

Abstract: In this paper, on the basis of the characteristics of urban rivers in Shenyang City, an index system with water ecological assessment indicators and control values was established, including control indicators and content of water resource structure, ecological water quality and key elements for control. Functions and effects of the index system on water ecology quality analysis and monitoring was verified by application test, providing new technical support for water ecological construction and management.

Keywords: River; Water Ecology; Assessment Indicator

CLC number: X826

城市河流往往具有城乡排水输送迁移的功能、天然水量受控且无保证、河流较长但生态功能脆弱、污染因素较多且难以控制以及水生态修复具有特殊难度等特点。城市下水借助河流转移必然对河流形成污染和伤害,这种伤害程度与城乡规模有关,也与污染控制的水平有关^[1-2]。目前国内城市河流具有相似的污染因素和受控要素。

文章根据城市河流由单一污染控制管理向水生态管理过渡的需求,结合国家重大水专项任务中城市河流水生态管理的研究,在梳理“十二五”期间对沈阳市水生态质量的监测和研究解析成果基础上,探索性研究建立了水生态考核指标体系,其中控制指标即以水质考核为基础,也考

虑了可对水体产生作用和影响的诸多要素,如水流况、自净条件和水体构成等^[3-5]。包括指标和控制值的指标体系即与现行标准相衔接,也体现了水生态考核的特点和需求,同时也注重了有利于体系的推广应用。指标体系的建立有利于水生态的研究解析和考核管理,可为相关标准体系的健全和完善奠定基础^[6-9]。

1 考核指标内容

1.1 指标体系分类

可将指标体系分水资源、水质量、水生境3个类别,细化为物理、化学和生物环境3部分指标内容,各部分相关内容见表1。

收稿日期: 2017-02-15

基金项目: 国家水体污染控制与治理科技重大专项(2012ZX07505-001)基金资助

作者简介: 荆 勇(1981-)男,博士研究生、高级工程师。研究方向:水生态修复技术与环境规划。

表1 水质考核指标			
指标体系分类	内容分类	筛选目标	相关指标
水资源考核	水体物理指标	水量与构成、表观及理化指标	径流比、尾污比、水温、色度、浊度、臭度等
水质量考核	水体化学指标	常规指标(有机物、氮磷)、特征污染物指标	COD、BOD、pH、氨氮、总氮、总磷；重金属、特征有机物等
	排水指标	同上、增加	同上、增加
	底质指标	生物、理化特性	微生物、黑度、臭度、灼烧减重
水生境考核	生物环境指标	DO、生物、生物环境	DO、水生物、河道类型、两岸植被

1.2 考核指标分析

1.2.1 水体物理指标

①水体构成。径流比是天然水占总水量的比例。城市河流可分为优质和劣质径流，大多河流上游的流水较为清静，但明显受季节性气候和人工控制的影响，大多河流径流量较低且仅限于雨季和水库的泄水时段的补充。尾污比是指处理水（尾水）占总排水量的比例，是代表水体构成的重要指标，也是促进河流发生质变的关键。

②水体表观特征。水体色度和浊度可反映一次污染物和二次污染物的浓度特性。生活污水色度变化以黑和灰色为主，污染水体多属厌氧型水体。二次污染物色度多为藻类物所具有的颜色，包括绿色和黄褐色等。颜色的深度(浊度)与生成物浓度和活动特性有关，这类水体多属好氧性和兼氧性水体。此外，受污染水体会发生有别的异味，其判定是指人的嗅觉器官在距水面1 m 处可嗅辨出水的气味强度。

③水温。北方地区河流水温变化较大。低温（冰封期）、中温和高温时段的污染物迁移转化和自净效率有很大差异，水温是对水生态变化和平衡具有重要影响的指标。

1.2.2 水体化学指标

①COD和BOD。COD（铬法）是以化学耗氧量作为考核水体有机污染的代表性指标，也是目前规定和通用的考核指标。COD测定一是将样品混合后测定，二是将样品静置30 min后取上清液分析，后者主要代表溶解性COD，但不能全面反映水体的污染水平。实验结果表明，滞水区二者差异较小，但距污水排放源较近流水河道的测定值差异较大。BOD是以生物耗氧量作为考核水体有机污染的代表性指标，其测定方法不如COD的测

定方便易行。

②pH。水体中pH变化主要还是基于有机物分解及生物活动导致的变化，这种变化值往往很小，较难体现水体污染的变化和趋势。

③特征污染物。目前大多河流受纳污水以生活污水和农副产品加工废水为主，特征污染物的排放和影响因素较小，故该项研究不对特征污染物进行筛选。

④氮和磷。氮和磷是国家地表水标准中规定的主要污染物种类。这两项指标是水体富营养化的主要考核指标，也是目前需重点控制的指标。

1.2.3 水体底质指标 底质生物指标以往已有规定，但就应用的方便性和检测手段看，尚有待于快速检测方法的完善和创新。底质可分厌氧、兼氧和好氧3种类型，根据底质色度可初步判定其好氧类型。通过在实验室对底质样品进行烘干和灼烧处理，可求得底质的有机质含量，说明底质有机污染的水平，是可方便应用的考核指标。

1.2.4 生物环境指标 生物环境指标包括水域和陆域环境指标。水体中溶解氧含量（DO）即是考核水体质量的重要指标，也是水体生物特性与污染物迁移转化的重要考核指标。通常好氧性和厌氧性水体的判别主要以DO值来确定，但水生生物的作用往往导致其异常的变化，故DO应是水生态研究与考核的重要指标。水体中二氧化碳的含量可直接影响水生生物的生存及物质的化学变化和生化过程，但该指标的相关研究报道较少。

陆域生物环境指标包括河道形状、护坡类型和两岸植被建设3方面内容。河道水体深度和形状对水生物生存有重要影响，两岸的绿化率以及构建方式的多样性是生态廊道建设的重要内容，也是水体保护和生物多样性栖息地建设的重要考

核指标。

2 考核指标筛选

水生态考核指标筛选要注重与现行标准相衔接,补充相关的指标和内容,筛选指标应具有影响性、代表性和可操作性。要兼顾指标应用的有利条件和受控条件,其中包括分析方法易行和适用于大量数据的采集。

2.1 水体物理指标

有关水体物理指标筛选结果见表2。

表2 水体物理指标的筛选结果

指标	说明
径流比/%	天然水与总水量比例
尾污比/%	尾水与排水比例
色度	表观颜色
浊度/Ntu	能见度(透明度)
臭度	臭气强度(级别)

由表2可见,指标分水体构成和表观特性两类。水温不作为考核指标,但作为标准中对应的参考条件。

2.2 水体化学指标

将总COD、溶解COD、氨氮、总氮、总磷作为蒲河水质量考核指标见表3。

表3 水生态修复考核指标

指标	指标内含
总COD	解析有机污染总量和去向
溶解COD	解析水质有机污染
总氮	解析水质和富营养化趋势
总磷	解析水质和富营养化趋势
氨氮	解析氮化合物的形态与受控条件

COD分总量和沉降30 min测定值,即可反映溶解物和非溶解物的比例,又可了解其分离沉降

和转移去向等特性。氨氮指标可反映水体的自净能力和氧化还原条件,也是掌握氮化合物在水体中迁移转化趋势的重要指标。

2.3 水体底质指标

设定底质色度和灼烧减量指标用以衡量底质的有机污染及底质环境的优劣。色度也是衡量底质生物好氧类型及污染水平的重要指标。基于应用方面的限制,暂缓将生物指标列入底质质量的考核指标。

2.4 生物环境指标

代表性生物指标的研究尚不能满足近期应用的需求,故将生物多样性所需的生存环境指标纳入考核控制范围(包括河道深度、护坡和两岸绿化率),也是促进生物多样性变化的重要保障条件。DO与水体生物关系密切,将其作为水生态综合性考核指标具有广泛的应用前景。

2.5 排水指标筛选

对于污染源排水和污水厂尾水除与地表水相同的指标外,可根据具体排水特性和标准要求,增加必要相关的考核指标,如pH和特征污染物指标等。

3 指标控制值

3.1 水生态考核指标控制值

文章针对城市河流的污染治理现状和黑臭河流向富营养化过度的主要趋势,基于现行对Ⅴ类水体质量的规定标准,在水生态指标扩展研究基础上,提出了相关指标的控制值,部分指标的控制值是对Ⅴ类水体标准值的补充和强化,即着眼于水生态质量的进一步改善,又考虑了与实现目标要素的相符性。

有关研究确定的水生态评估指标的控制值见表4。

表4 水生态考核指标控制标准

分类	Ⅱ类	Ⅲ类	Ⅳ类	Ⅴ类
径流比/%	100	80	60	40
尾污比/%	-	100	95	95
物理				
色度(稀释倍数)	无色	无色	无色(10)	微色(20)
水深能见度(m)≥	2.5	2.0	1.5	1.0
臭度(强度)	0	0	1	2

续表4					
	分类	II 类	III 类	IV 类	V 类
化学/mg · L ⁻¹	COD (30) ≤	10	20	25	30
	COD (总) ≤	15	25	30	40
	总磷 (以 P 计) ≤	0.1	0.2	0.3	0.4
	总氮 ≤	0.5	1.0	1.5	2.0
	氨氮 ≤	0.5	1.0	1.5	2.0
生境	溶解氧 (DO/mg · L ⁻¹)	7~8	7~8	6.5~8.5	6~9
	护坡/最大水深 m	≥3	≥3	≥3	土质/≥3
	两岸植被 (绿化率/%)	100	≥95	≥90	≥85
底质	底质色度	无黑色	无黑色	无黑色	表层微黑
	底质臭度 (强度) ≤	1	1	2	3
	底质烧失量/% ≤	1	2	3	5

表4是形成标准并实施的基础和依据，控制值是根据相关监测和实验结果，对原相关标准作了修正补充，使其与实际情况和需求更相符。基于大多城市河流的现状，研究中注重了V类水体控制值的确定。

3.2 指标控制值说明

3.2.1 物理指标 物理指标中径流比是指优良径流比例不应低于40%，基于各地自然条件的差异，可根据情况按年度总量核定。尾污比实为对污水收集处理率的要求，其处理率必须达95%以上。色度和臭度的控制值基本与V类水体标准要求相符。

3.2.2 化学指标 COD的全量值与现标准值一致，溶解COD控制值为30 mg/L。氮磷控制值与现V类水体标准值一致。

3.2.3 水生境指标 水生境指标中规定了DO的控制范围，这与氮磷等指标的控制值及影响因素相适应。其他指标根据现有调查研究成果初步确定。

3.2.4 底质指标 底质三项指标控制值是依据现有监测和实验数据而定，如此规定主要便于指标的监测应用。

3.3 城镇污水处理厂污染物排放标准

城镇污水厂排水必须达到现行污染物排放标

准中的一级（A）标准。应酌情对色度和pH予以更严格规定，对COD浓度实施全量控制（含溶解和非溶解物）。

4 指标体系在监控中的应用

4.1 指标应用分类

基于水生态质量的考核、监控和系统评价的需求，现将指标分成四种应用类型，以便于指标的应用。

4.1.1 初步判定指标 采用DO指标对不同水体进行连续或随机性监测，获取DO值和变化范围的信息，初步判定水体的污染类型。

4.1.2 初步验证指标 依据COD和能见度的测定值，在确定重污染或清洁型水体基础上，对中等污染水平水体进行初步验证，依据二项指标的测定结果，对水质类型和污染特征作进一步分析。

4.1.3 确认指标 依据确认指标的分析结果，对水体质量作全面的评价分析，重点包括尾污比、底质色度和氮磷等指标的测试分析。

4.1.4 综合评价指标 通过综合评价指标的调查和测试，对水生态质量作系统性评价，这些指标包括全部其他项目。

指标应用分类的汇总结果见表5。

表5 水生态指标应用分类

分类	初步判定指标	初步验证指标	确认指标	综合评价指标
物理	—	水深能见度	尾污比	径流比
			色度	臭度
化学	—	COD（总）	总磷	COD（30 min）
			总氮	
			氨氮	
生境	DO	—	—	护坡/最大水深/m 两岸绿化率/%
底质	—	—	底质色度	底质臭度 底质烧失量
排水	—	—	—	略

由表5可见，初步判定指标一项，初步验证指标二项，确认指标6项，综合评价指标7项。排水指标未列入表内。

4.2 指标应用程序

有关指标的应用程序和办法见图1。

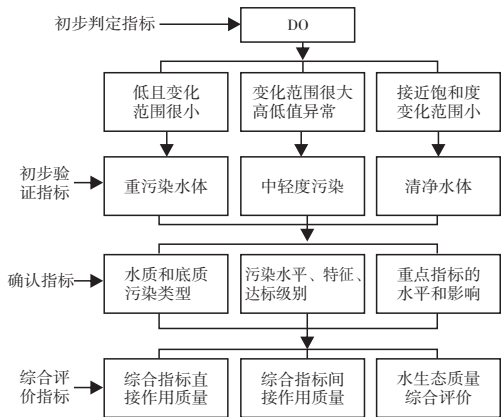


图1 指标的应用程序

由图1可见，经DO测定可根据测定值和变化范围将水体分成3种类型，即重污染水体通常在2~3 mg/L水平，清洁水体在7~9 mg/L水平且变化范围在2 mg/L以内。这两种水体可通过第二步的初步验证加以确定。通过第二步认定的中等污染水体往往受多因子多要素的影响，往往需要通过第三步加以识别和验证。综合评价指标主要用于

水生态质量的综合评价，一些指标会对水生态产生直接或间接的影响，评价范围也包括了水陆域环境，功能和水资源利用等方面的内容。

4.3 应用实例

4.3.1 清洁型水体 沈阳市蒲河达莲段处于棋盘山水库下游，是全河段的源头段，水质较好且基本未纳入各类排水，水质情况见表6。表6的测试结果表明，DO值变化小且在7 mg/L左右。表中列出水质测试结果表明,该段水质良好。

表6 达莲段水质测试结果 $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$					
采样位置	DO	COD	氨氮	总氮	总磷
达莲上坝 500 处	7.3	15	0.21	0.97	0.03
达莲上坝 300 处	7.4	17	0.23	0.98	0.03
达莲上坝 100 处	7.4	19	1.20	1.30	0.05

4.3.2 中等污染水体

①蒲河人工湖。沈阳市蒲河某人工湖8月份DO测试值变化幅度大，具有中等污染水体代表性特征。初步验证分析结果为COD较高，能见度较低。确认指标分析结果为底质显黑色、水体色度显黄绿色（稀释倍数达25倍），氮磷浓度较高。综合分析结果为尾污比过大但径流比很低。水体类型可相当污染类型中的过富营养化水体。相关测试结果见表7。

表7 人工湖DO测定结果						mg · L ⁻¹
位置	DO	COD	氨氮	总氮	总磷	底质
湖东侧	12.2	75	0.94	2.71	0.76	黑
湖中部	10.1	68	1.10	3.31	0.68	黑
湖西侧	11.0	69	1.31	3.42	0.75	黑

（下转第90页）

(R)为0.61;土壤水分与气温之间存在负相关关系,相关系数(R)为-0.48。这些事实说明土壤水分除了与降雨具有明显的关系外,土壤水分还受到气候变化的影响。

(4)统计了不同季节的年平均土壤水分的平均值、时间变化量和相对变化量,四个季节的土壤水分时间序列变化十分剧烈,春夏两季土壤水分呈现出增加趋势,秋冬两季的土壤水分呈现出降低趋势,冬季土壤水分的变化速率最大,其次是夏季,之后是秋季和春季。

参考文献

[1]邓辉.土壤水分遥感监测方法进展[J].中国农业资源与区划,2004,25(3):46-49.
[2]张红梅,沙晋明.遥感监测土壤湿度的方法综述[J].中国农学通报,2005,21(2):307-311.
[3]冯志敏,邢文渊,肖继东,等.遥感监测土壤湿度综述及其在新疆的应

用展望[J].测绘科学,2008,33(5):94-102.
[4]邹慧,高光耀,傅伯杰.干旱半干旱草地生态系统与土壤水分关系研究进展[J].生态学报,2016,27(11):3127-3136.
[5]张锐,李兆富,辛强,等.原状水稻土土壤湿度高光谱特征及反演模型[J].土壤通报,2017,48(1):32-38.
[6]孙淑芬.陆面过程的物理、生化机理和参数化模型[M].北京:气象出版社,2005.
[7]刘惠民.陆面过程模型研究进展简介[J].气象研究与应用2009,30(4):35-37.
[8]马柱国,魏和林,符澡斌.中国东部区域土壤湿度的变化及其与气候变率的关系[J].气象学报,2000,58(3):278-287.
[9]王静,祁莉,何金海,等.青藏高原春季土壤湿度与我国长江流域夏季降水的联系及其可能机理[J].地球物理学报,2016,59(11):3985-3995.
[10]张悦,沈润平,彭露露,等.基于重建MODIS无云数据反演京津冀地区土壤湿度[J].江苏农业科学,2016,44(12):375-378.
[11]郑兴明,赵凯,李晓峰,等.利用微波遥感土壤水分产品监测东北地区春涝范围和程度[J].地理科学,2015,35(3):334-339.
[12]陈敏玲,张兵伟.内蒙古半干旱草原土壤水分对降水格局变化的响应[J].植物生态学报,2016,40(7):658-668.
[13]刘宇峰,孙虎,原志华.基于小波分析的汾河河津站径流与输沙的多时间尺度特征[J].地理科学,2010,32(6):764-770.

(上接第18页)

②蒲河北污河道。沈阳市蒲河北部污水厂排

水河道时而受事故排污影响,属中等污染型河道见表8。

表8 北污河道水质

采样位置	mg · L ⁻¹					底质
	DO	COD	氨氮	总氮	总磷	
上段	4.8~9.9	75	0.50	8.21	1.68	黑
中段	5.0~8.5	67	0.52	8.20	1.45	黑
下段	4.5~9.7	80	0.72	8.30	0.99	黑

表8的测试结果表明,该河道DO较高且变化较大,但未达到黑臭河道的水平。初步验证分析结果表明,水体COD与人工湖相似,其它指标验证分析结果也基本与人工湖相同。

4.3.3 重污染水体

①白塔堡河污染河道。沈阳市白塔堡河是以污水为主体的水体,表9为该水系按程序的测试结果。该河道水体DO值在3 mg/L左右且变化范围小,具有重污染水体特征。COD等指标的验证结果证明DO值判定的可信性。

表9 水体DO等指标测试结果					mg · L ⁻¹
采样位置	DO	COD	氨氮	总磷	
白塔堡河上游	2.2	247	14.21	2.34	
白塔堡河中游	3.0	109	27.11	3.15	
白塔堡河下游	4.2	98	11.9	1.32	

②蒲河纳污河道。沈阳市蒲河纳入制药废水的河道水质波动大且污染较重。DO测试值小于3 mg/L。初步验证为COD较高但能见度较好。相关测试结果见表10。

表10 企业排水水质

采样位置	mg · L ⁻¹			
	DO	COD	氨氮	总磷
排水处	1.0	195	18.9	1.31
中段河道		170	18.0	1.10
入蒲河口	2.0~3.0	112	12.8	1.04

5 结论

针对城市河流特点,在水体构成、生物多样性环境建设、水体质量等方面筛选了代表性考核指标,建立了包括指标和控制值的水生态考核指标体系,研究制定了指标体系的应用办法,通过实践验证了指标体系应用的可行性。研究成果为城市河流的水生态管理提供了支撑,对其它类型河流的水生态修复与建设亦具有重要的参考价值。

参考文献

[1]宋梦林.城市水生态系统健康评价及水生态文明建设应用研究[D].郑州:郑州大学,2016.
[2]荆勇.蒲河流域污染状况与生态修复技术对策的研究[J].环境保护科学,2011,37(06):29-32.
[3]陈璞.水生态文明城市建设的评价指标体系研究——以安徽省六安市为例[D].济南:济南大学,2014.
[4]刘星光.生态城乡系统研究——以敦煌地区为例[D].兰州:兰州大学,2016.
[5]荆勇.蒲河流域水生态特点与规律的研究[J].环境保护科学,2013,39(02):27-32.
[6]单保庆,王超,李叙勇,等.基于水质目标管理的河流治理方案制定方法及其案例研究[J].环境科学学报,2015,35(08):21-30.
[7]左其亭.水生态文明建设几个关键问题探讨[J].中国水利,2013(04):9-11+14.
[8]王文珂.水生态文明城市建设实践思考[J].中国水利,2012(23):49-52.
[9]荆勇.蒲河水资源调控与水质环境质量改善对策的研究[J].环境保护科学,2013,39(01):26-30+48.