

文章编号: 1006-4710(2011)01-0041-05

环境水体纳污能力判别值及其应用研究

齐青青^{1,2}, 沈冰¹, 张泽中², 徐建新², 张运鑫³, 王义民¹

(1. 西安理工大学 西北水资源与环境生态教育部重点实验室, 陕西 西安 710048;

2. 华北水利水电学院, 河南 郑州 450045; 3. 河北工程大学水电学院, 河北 邯郸 056021)

摘要: 针对河流生态管理缺乏实时衡量水质指标问题的实际需求, 提出污容比。污容比指当环境水体接受污水时, 其实际容纳污染物量与环境保护目标下允许其容纳污染物量的比值。以污容比为基础完善了河流生态用水水量与水质综合评价模型。以东辽河为例, 对污容比进行检验, 结果表明: 污容比不仅能作为生态水质评价的指标, 评价结果精确性有所提高, 而且还能量化反映河流环境容量余亏程度。污容比可以作为环境水体纳污能力判别值, 便于河流生态管理应用。

关键词: 环境科学; 水环境; 污容比

中图分类号: TV 213.4

文献标志码: A

Research on the Capacity of the Environment Water Receiving the Contamination Distinguishing Value and Its Application

QI Qingqing^{1,2}, SHEN Bing¹, ZHANG Zezhong², XU Jianxin², ZHANG Yunxin³, WANG Yimin¹

(1. Key Lab of Northwest Water Resources and Environment Ecology of MOE, Xi'an University of Technology, Xi'an 710048, China;

2. North China Institute of Water Conservancy and Hydroelectric Power, Zhengzhou 450045, China;

3. College of Hydraulic and Electric Power, Hebei University of Engineering, Handan 056021, China)

Abstract: To the question of lacking relational water quality index about the actual demand for river eco-management, the paper presents the pollutant-capacity ratio, which refers to the ratio value between the actual quantity of holding pollutant and the permitted quantity of accepting pollutant under the environ protection objective when the environ water body accepts sewage waters. The comprehensive evaluation model for water quantity and quality by river eco-water requirement is perfected on the basis of the pollutant-capacity ratio. Taking the Dongliao River for example, the pollutant-capacity ratio is tested in the paper. The results indicate that the pollutant-capacity ratio can not only be used as the index for the evaluation of eco-water quality, and the accuracy of evaluation results improved, but also be adopted to quantity the surplus and deficit degrees to reflected to the river environ holding capacity. Also the pollutant-capacity ratio can be used as the distinguishing value for environ water body accepting containment capacity so as to be convenient for the river eco-management.

Key words: environmental science; water environment; pollutant-loading capacity ratio

我国现阶段河流综合管理进入到河流生态管理阶段, 此阶段的方向是“重视城市河流的多种功能, 尊重河流的自然规律, 以环境生态建设为中心, 恢复其生命活力和环境自净能力, 使之自然化、生态化、人文化^[1]”。河流生态管理已经广泛实施, 我国河流现实仍然要求把维持河流水环境状况良好

作为河流生态管理重要中心目标之一, 需要实时衡量纳污水体承污负荷量大小及污染程度。对河流水环境而言, 水环境容量、水环境承载力和污径比是常用的三个衡量指标。水是人类赖以生存的物质, 水环境是传输、储存和提供水资源的水体。水环境承载力是指在某一种时期, 某种状态或条件

收稿日期: 2010-08-15

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(40501011); 国家科技重大专项基金资助项目(2008ZX07526-004-T004, 2008ZX07209-002, 2009ZX07208-010-T004, 2009ZX07106-03-01); 华北水利水电学院高层次人才引进计划基金资助项目(200926)。

作者简介: 齐青青(1983-), 女, 汉族, 青海西宁人, 博士生, 研究方向为水文学及水资源系统工程。E-mail: xinqingcard@126.com。沈冰(1948-), 男, 浙江湖州人, 教授, 博导, 研究方向为旱区水文水资源。E-mail: shenbing@xaut.edu.cn。

下,某地区的水环境所能承受的人类活动的阈值^[2]。水环境容量指水体在设计水文条件和规定的环境目标下所能容纳的最大污染物质^[3],它主要取决于水资源量、水环境功能区划、排污方式、污染物自身的性质、国家水环境质量标准以及水文气象等因素,是一个综合性评价指标。但是,水环境承载力和水环境容量适用于河流一段时期内接受污染物总量管理领域,按照固定的最小径流量和水质目标,仅仅能计算出河流纳污能力,而没有考虑来水过程变化情况下河流可以多纳污,因此,水环境容量不适合河流水环境实时管理。污径比为排放的污水流量与河流径流量的比值。污径比物理意义明确,数据容易获得,因而在水利和水环境领域有着广泛应用。但是,污径比存在致命缺点,文献^[4]指出污径比的缺点:第一,只考虑了纳污水体的流量,而未考虑纳污水体的本底水质,即纳污水体污染物浓度,同一污染物浓度的污水排入十分清洁的水体与已经污染的水体的后果显然不同;第二,没有考虑污水中污染物浓度高低对环境的影响。污染物浓度较高的污水与污染物浓度较低的污水排入同一水体的后果也不同;第三,没有考虑所排污水的污染物质类别不同而引起环境效应或危害的差异^[4]。河流生态管理亟需能实时衡量河流承受污染负荷量大小及其污染程度,即实时反映河流水环境容量盈亏程度的指标。因此,本文根据河流生态管理实际需求,提出污容比,并以污容比为基础完善河流生态用水水量与水质综合评价方法。

1 污容比

污容比是指当环境水体接受污水时,其实际容纳污染物质量与环境保护目标下允许其容纳污染物质的比值。本文仅研究浓度越小水质越优类污染物。污容比定义式如下:

$$d_c = \frac{Q_D C_D + Q_R C_R}{Q_D C_{III} + Q_R C_{III}} h \quad (1)$$

式中, d_c 为污容比; Q_D 为所排污水流量(m^3/s); Q_R 为河流径流量(m^3/s); C_D 为所排污水中污染物浓度; C_R 为河水中污染物浓度; C_{III} 为污水中某污染物在 III 类水中的浓度极限值; h 为污水中某污染物危害系数,非剧毒性污染通常可取 1,或污水中该类污染物在 V 类水中标准浓度极限值与 III 类水中标准浓度极限值的比^[4]。

为了达到衡量河流水体受污染程度与其水资源(水质水量)质量优劣的目的,污容比用河流所纳的污染物质与其污染物允许量相比。它考虑了污水

排放流量和纳污水体流量的大小差异,同时还考虑了纳污水体水质差异、污水污染物浓度的差异和所排污水的主要污染物质类别差异而引起环境效应的差异。由于常用于实时水环境管理,时间间隔短,水体污染物自净等衰减量很小。因此,污染物衰减系数可以视为零,这样更有利于水环境保护。

2 确定主要污染物指标方法

排放的污水中有很多种污染物,而污容比一次只能计算一种污染物指标,这个问题关系到污容比的适用范围与推广应用。鉴于各种污水所含污染物种类、各种污染物含量及其危害大小差别,污容比中主要污染物的确定方法分为以下三种:①以含量最大污染物为主要污染物指标,用其水质标准浓度作为污容比中水质目标标准浓度极限值,这种方法适用于生活污水、农田排水和含有一般非重金属低毒性污染物的污水;②以危害最大的污染物作为主要污染物指标,用其水质标准浓度作为污容比中水质目标标准浓度极限值,这种方法适用含有重金属等毒害较大的污水;③有机加权确定多种主要污染物指标,这种方法可以借鉴水质评价相关的综合方法。

3 完善河流生态用水水量与水质综合评价模型

3.1 原河流生态用水水量与水质综合评价模型

文献^[5]中提出基于二元水循环的河流生态用水水量与水质综合评价模型,模型中用污径比作为生态用水“质”的评价指标,其公式如下:

$$b = \frac{Q_r}{Q_{ae}} = \frac{ur}{1 - u(1 - r)} \quad (2)$$

式中, b 为污径比; Q_r 为河道回归水量(污水排放量, m^3); r 为回归系数; u 为水资源开发利用率; Q_{ae} 生态可用用水量(m^3)。文献^[5]中定义为二元水循环下生态用水的“质”的评价标准为 C_{ae0} 。如果要使生态用水达到保护生态系统的要求,就必须使生态用水的水质 C_{ae0} 达到一定级别的水质标准 C_0 ,即 $C_{ae0} < C_0$ 。由文献^[5]有:

$$C_{ae0} = \frac{C_0}{C_{20}} \quad (3)$$

其中, C_{20} 为国家允许污水排放浓度标准。

$$b = \frac{Q_r}{Q_{ae}} = \frac{ur}{1 - u(1 - r)} < C_{ae0} \quad (4)$$

$$\text{即} \quad b = \frac{Q_r}{Q_{ae}} = \frac{ur}{1 - u(1 - r)} < \frac{C_0}{C_{20}} \quad (5)$$

生态用水综合评价步骤:①确定主要污染物(i

类);② 计算污径比 b ;③ 确定生态用水所要达到的水质标准 (C_{0i}),如 II 类或 III 类;④ 计算 i 类污染物地表水水质标准与排放标准的比值 (C_0/C_{20}),确定生态水水质标准 (C_{ae0});⑤ 综合评价,比较 C_{ae0} 与 b ,若 $C_{ae0} > b$,表明生态用水的“质”能达到规定的水质标准,若 $C_{ae0} < b$,表明生态用水的“质”不能满足规定的水质要求。

3.2 完善河流生态用水水量与水质综合评价模型

依据污径比定义可表示为:

$$b = \frac{Q_D}{Q_R} \quad (6)$$

式中, b 为污径比。

引入公式(6),公式(1) 表示为:

$$d_c = \frac{Q_D C_D + Q_R C_R}{Q_D C_{III} + Q_R C_{III}} h = \frac{Q_D}{Q_R} \left(\frac{C_D + \frac{C_R}{b}}{(b+1)C_{III}} \right) h \quad (7)$$

原河流生态用水水量与水质综合评价模型没有考虑回归水和承接水体中污染物的浓度及污染物危害性的大小差别,用污容比替换污径比,得

$$d_c = \frac{ur}{1-u(1-r)} \times \frac{C_D + \frac{C_R}{b}}{(b+1)C_{III}} h < \frac{C_0}{C_{20}} \left(\frac{C_{20} + \frac{C_0}{b}}{(b+1)C_{III}} \right) h \quad (8)$$

令(8) 右边为生态用水水质评价指数 q_{ce} ,则

$$d_c = \frac{ur}{1-u(1-r)} \frac{C_D + \frac{C_R}{b}}{(b+1)C_{III}} h < q_{ce} \quad (9)$$

完善后生态用水综合评价步骤:① 确定主要污

染物(i 类);② 计算污容比 d_c ;③ 确定生态用水所要达到的水质标准 (C_{0i}),如 II 类或 III 类;④ 计算 i 类污染物地表水水质标准与排放标准的比值 (C_0/C_{20}),确定生态水水质标准 (q_{ce});⑤ 综合评价,比较 d_c 与 q_{ce} ,若 $d_c < q_{ce}$,表明生态用水的“质”能达到规定的水质标准;若 $d_c > q_{ce}$,表明生态用水的“质”不能满足规定的水质要求。

4 实例应用

文献[5] 对辽河流域各河流评价时,以 COD 作为水质评价指标,且设污水达到一级排放标准 (C_{20} 为 100 mg/L),目标水质为 III 类 (C_0 为 20 mg/L)。评价结果中仅有东辽河 ($b = 0.13 < C_{ae0} = 0.20$) 水量水质综合评价合格。

本文为了方便比较分析,检验污容比的合理性与可行性,在确定主要污染物指标时采用第一种方法,取 COD 作为主要污染物指标。表 1 中前 6 方案、第 8 方案和第 10 ~ 13 方案 b 与文献[5] 相同。便于比较不同 b 值对生态环境水质的影响,污径比 b 取不同值:0.130、0.20、0.05,见表 1 第 7 ~ 9 方案。为研究纳污水体本底污染物浓度不同和所排污水污染物浓度不同对生态用水水质影响,显示污容比优越性,假设东辽河水体 COD 分别为 16 mg/L、20 mg/L 和 40 mg/L 三组数据,回归水中 COD 分别为 80 mg/L、100 mg/L、150 mg/L、200 mg/L 和 237 mg/L 五组数据,构成不同情况,其中 $h = 40/20 = 2$ ^[6],相关参数及东辽河生态用水综合评价结果, q_{ce} 生态用水水质评价指数,见表 1。

表 1 计算参数及结果

Tab.1 Computing parameters and results

方案	$C_R/(mg \cdot L^{-1})$	$C_D/(mg \cdot L^{-1})$	h	b	d_c	$C_0/(mg \cdot L^{-1})$	$C_{20}/(mg \cdot L^{-1})$	q_{ce}	评价结果
1	16	80	2	0.130	2.336	20	100	4.50	合格
2	20	80	2	0.130	2.690	20	100	4.50	合格
3	40	80	2	0.130	4.460	20	100	4.50	合格
4	16	150	2	0.130	3.140	20	100	4.50	合格
5	20	150	2	0.130	3.494	20	100	4.50	合格
6	40	150	2	0.130	5.264	20	100	4.50	不合格
7	20	200	2	0.200	5.000	20	100	3.33	不合格
8	20	200	2	0.130	4.069	20	100	4.50	合格
9	20	200	2	0.050	2.857	20	100	9.52	合格
10	40	200	2	0.130	5.839	20	100	4.50	不合格
11	40	100	2	0.130	4.690	20	100	4.50	不合格
12	20	100	2	0.130	2.920	20	100	4.50	合格
13	20	237	2	0.130	4.494	20	100	4.50	合格

第一种情况(方案1~3): b 与文献[5]相同,所排污水体污染物浓度相同,纳污水体本底污染物浓度不同,其污容比变化及其合格与否见图1所示。

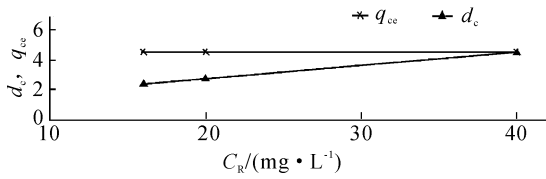


图1 污容比随纳污水体污染物浓度变化而变化趋势
Fig. 1 The load-capacity ratio variation tendency with river contaminant concentration variation

由图1可知,纳污水体污染物浓度上升,方案1~3由16 mg/L升到20 mg/L,40 mg/L,污容比越来越大,但方案1~3污容比在合格限制以内,水质评价合格。

第二种情况(方案2、12和5): b 与文献[5]相同,纳污水体本底污染物浓度相同,所排污水体污染物浓度不同,其污容比变化及其合格与否见图2所示。

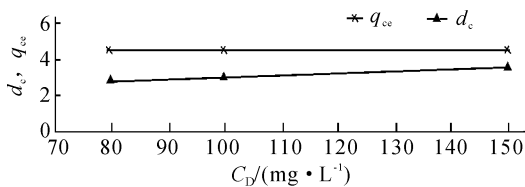


图2 污容比随排放污水污染物浓度变化而变化趋势
Fig. 2 The load-capacity ratio variation tendency with the drainage contaminant concentration variation

由图2可知,所排污水体污染物浓度上升,方案2、12、5由80 mg/L升到100 mg/L、150 mg/L,污容比越来越大,同样,方案2、12、5污容比在合格限制以内,水质评价合格。

第三种情况(方案9、8和7):纳污水体本底污染物浓度相同,所排污水体污染物浓度相同, b 取值不同,随 b 值的增大,污容比变化及其合格与否见图3所示。

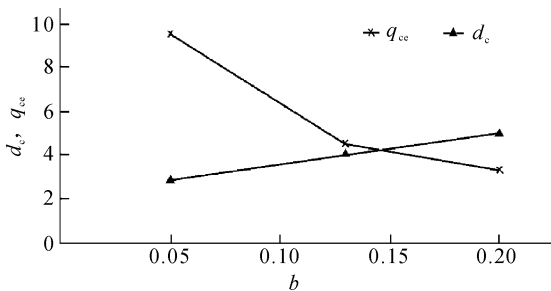


图3 污容比随污径比变化而变化趋势
Fig. 3 The load-capacity ratio variation tendency with the dilution ratio variation

由图3可知,污径比 b 分别取0.05,0.13,0.20

逐步变大,污容比也越来越大, b 取0.20时,污容比超出合格限制,水质评价不合格。

第四种情况(方案3、11、6和10): b 取值与文献[5]相同,纳污水体本底污染物浓度已经超过目标水质40 mg/L,所排污水体污染物浓度分别为80 mg/L、100 mg/L、150 mg/L、200 mg/L,其污容比变化及其是否合格见图4所示。

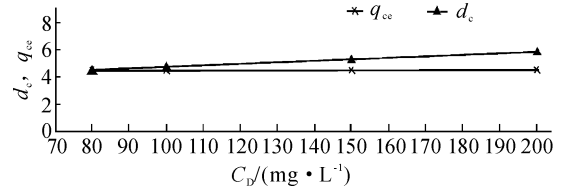


图4 纳污水体超标情况下污容比随排污水体浓度增大而变化趋势图

Fig. 4 The load-capacity ratio variation tendency with the drainage contaminant concentration variation under river contaminant exceed standard circumstance

由图4可知,在纳污水体40 mg/L超标情况下,污容比随排污水体浓度增大有显著增大趋势,排污水体浓度大于83.5 mg/L时,污容比将超出合格限制,水质评价将不合格,如排污水体浓度100 mg/L、150 mg/L、200 mg/L时,生态用水水质评价为不合格。

以上四种主要情况各要素变化对污容比影响分析为东辽河改善生态用水采取合理可行措施提供了科学参考和技术依据。

由表1还可以得知:①方案1至方案6排污流量与纳污水体流量不变情况下,只有方案6生态用水水质不合格,其原因在于所排污水COD浓度和纳污水体COD浓度都很高;②方案3和方案4相比可知, b 相同,在河流水体和回归水中污染物浓度不同时,得到的污容比也不同;方案2和方案5,方案5和方案6相比污容比不同更为明显,证明了污容比表达式能反映河流水体污染物浓度差异和回归水中污染物浓度差异;③方案13污容比等于4.494接近4.50,水质合格,表明东辽河在当前 b 值下,河水水体中COD为20 mg/L时,回归水中COD可以放松到237 mg/L,证明污容比能反映接纳污水后环境水体的环境容量盈亏程度,体现了污容比优越性;④方案7至方案9相比表明,在河流水体和回归水中污染物质量浓度一定时, b 值不同将影响河流生态用水水质;⑤方案12污容比等于 $2.920 < q_{cc} = 4.5$ 表明东辽河生态用水水质合格,与文献[5]评价结果一致,且精确度有所提高,证明了污容比的有效性和实用性。

5 结 论

1) 从河流生态管理实际需求出发, 提出污容比指标, 污容比是指环境水体接受污水后, 其实际容纳污染物量与环境保护目标下允许其容纳污染物量的比值, 污容比可以作为环境水体容纳污染物的判别值;

2) 以污容比为基础, 完善了河流生态用水水量与水质综合评价模型;

3) 实例应用结果表明: 污容比不仅能作为生态水质评价指标, 而且能量化河流环境容量盈余程度。这一优点使得污容比可以更广泛地应用到相关领域, 增加其研究成果科学性和实用性。

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): 377-382.
Song Qinghui, Yang Zhifeng. Thinking of integrated management of urban rivers in China[J]. Advances in Water Science, 2002, 13(3): 377-382.
- [2] 莫淑红, 孙新新, 沈冰. 基于系统动力学的区域水环境动态承载力研究[J]. 西安理工大学学报, 2007, 23(3): 521-527.
Mo Shuhong, Sun Xinxin, Shen Bing. Dynamic carrying

- capacity of regional water environment based on system dynamics[J]. Journal of Xi'an University of Technology, 2007, 23(3): 521-527.
- [3] 杨杰军, 王琳, 王成见, 等. 中国北方河流环境容量核算方法研究[J]. 水利学报, 2009, 40(2): 194-200.
Yang Jiejun, Wang Lin, Wang Chengjian, et al. Environmental capacity of rivers in North China[J]. Journal of Hydraulic Engineering, 2009, 40(2): 194-200.
- [4] 黄强, 张泽中, 王宽, 等. 改进污径比计算方法及应用[J]. 安全与环境学报, 2008, 8(1): 37-39.
Huang Qiang, Zhang Zezhong, Wang Kuan, et al. Improvement to the dilution calculation method and its application [J]. Journal of Safety and Environment, 2008, 8(1): 37-39.
- [5] 王西琴, 刘昌明, 张远. 基于二元水循环的河流生态需水水量与水质综合评价方法——以辽河流域为例[J]. 地理学报, 2006, 61(11): 1132-1140.
Wang Xiqin, Liu Changming, Zhang Yuan. Water quantity/quality combined evaluation method for rivers' water requirements of the instream environment in dualistic water cycle: a case study of Liaohe River Basin [J]. Journal of Geographical Sciences, 2006, 61(11): 1132-1140.
- [6] 国家环境保护总局. GB3838-2002 地表水环境质量标准[S]. 北京: 中国环境科学出版社, 2003.

(责任编辑 杨小丽)

简 讯

西安理工大学合作完成的一水利项目工程通过陕西省科技成果鉴定

由西安理工大学、中国科学院水利部水土保持研究所、黄河上中游管理局合作完成的“‘自然-人工’耦合作用下流域水土流失演变与调控”项目于3月19日通过了陕西省科技成果鉴定。以清华大学王光谦院士为组长的鉴定专家组审查了相关技术资料, 听取了课题组的研究、工作报告, 经过认真质疑、评议, 一致认为: 研究成果已在我国西北地区的水土保持生态修复规划、煤矿开发、高速公路等建设项目的生态修复中得到了应用, 取得了明显的社会和生态效益, 整体达到国际先进水平。

该项目由我校李占斌教授主持, 主要针对黄土高原退耕还林(草)工程、自然修复淤地坝工程以及开发建设项目等对水土流失环境影响的关键问题, 深入系统地研究了“自然-人工”耦合作用对黄土高原水土流失环境演变的影响机制, 揭示了主要水土保持与生态修复措施的调控机理及其在流域尺度上的调控效应, 完善了坡面、坡沟和沟道侵蚀链的水土流失防治技术体系, 并在西气东输等多个重大工程中得到了应用。

(摘自西安理工大学新闻网 2011-03-28)