

济南小清河水环境承载力研究

余 红¹, 安玉坤², 沈珍瑶¹, 李政先²

(1. 北京师范大学环境学院, 北京 100875; 2. 济南市水利局小清河管理处, 山东 济南 250013)

摘要 以济南小清河为例, 计算小清河现状水平年(2005 年)、规划水平年(2010 年)的水环境承载力。经计算, 小清河 2005 年的水环境承载力为 1.184, 2010 年为 1.579, 而生态城市的水环境承载力为 1.594。分析认为, 2005 年和 2010 年济南小清河水环境承载力不能满足生态城市的要求。并根据影响水环境承载力大小的因素分析, 给出提高济南小清河水环境承载力的对策建议, 其中包括提高污水处理能力、增加外调水量等。

关键词 水环境 承载力 济南小清河

中图分类号 :TV211 **文献标识码** :A **文章编号** :1004-6933(2008)02-0034-04

Water environmental carrying capacity in Xiaoqing River in Jinan

YU Hong¹, AN Yu-kun², SHEN Zhen-yao¹, LI Zheng-xian²

(1. *Environmental School, Beijing Normal University, Beijing 100875, China*; 2. *Xiaoqing River Management Office, Bureau of Water Conservancy of Jinan, Jinan 250013, China*)

Abstract The computation method for determining water environmental carrying capacity was described, using Xiaoqing River as an example. The values of water environmental carrying capacity in Xiaoqing River in 2005 and 2010 were calculated, yielding results of 1.184 and 1.579, respectively. The water environmental carrying capacity for a river in an ecological city is 1.594, which means that, in 2005 and 2010, Xiaoqing River does not satisfy the requirement for an ecological city. Based on analysis of the contributing factors, control measures to improve water environmental carrying capacity in Xiaoqing River in Jinan, such as increasing the sewage treatment capacity or increasing the volume of external water resources from other regions, were presented.

Key words water environment; carrying capacity; Xiaoqing River in Jinan

1 济南小清河概况及水环境问题

小清河是一条人工渠化河道, 是济南三大水系中唯一发源于当地的河流。小清河流域济南段位于济南市中部, 自西向东与黄河平行, 横贯槐荫区、天桥区、历城区、章丘市, 是一条具有排污、灌溉、防洪等综合功能的河道。小清河沿岸主要汇水区域工业发达, 人口密集, 各类废水产生量大。同时, 受地形地势影响, 小清河也是济南市区和章丘市工业废水、生活污水及地面径流的唯一排放去向。

小清河济南段长 70.5 km, 大小 20 余条支流分属 15 个小流域, 流域内共有河流、水库、湖泊 19 个

单元水域, 汇水总面积 2 803 km²。2005 年小清河流域济南段总人口 377.6 万, 其中 211.5 万为非农业人口, 国内生产总值(GDP)为 1 185.9 亿元。

随着城市发展, 水资源问题日益严重。2005 年在保证率为 50% 时, 可供水量为 11.4 亿 m³, 需水量为 11.44 亿 m³, 缺水率为 3.3%, 供水量不能满足需水要求。另外, 济南市水环境质量状况令人担忧, 小清河流域济南段 2005 年污水排放量达 3.06 亿 t/a, 处理率为 54.5%。大量污水未经处理直接排入小清河干流或支流, 严重污染河流。小清河干流除源头睦里庄断面水质基本符合国家地表水Ⅳ类水质标准外, 其余各断面均为劣Ⅴ类水质, 主要超标项目有

COD、BOD₅、氨氮、挥发酚、石油类和溶解氧,污染类型为有机污染。各流水体全部为污水构成,历年丰水期、枯水期和平水期水质变化不大,均属劣Ⅴ类的重度污染。

2 水环境承载力

2.1 水环境承载力的内涵

水环境承载力属于一种环境要素承载力,目前我国对水环境承载力的定义有多种表述,其内涵至少包括 4 个方面:①人们在一定生活水平和生活质量要求下的承载力,反映在环境方面就是要求满足一定的环境质量标准;②水体纳污能力,反映在环境方面为相应的污染物容量;③在满足前两个条件的前提下,可支撑社会可持续发展规模,而这又与人们的生产生活方式有关;④水体自我维持、自我调节能力和纳污能力是水环境承载力的支撑部分,社会可持续发展规模是水环境承载力的压力部分^[1-3]。

由此可见,目前对水环境承载力研究虽无统一定义,但它们在思路上一致,都强调了水环境对社会经济、环境等的支撑程度和给予能力。

综合近年来的研究成果,水环境承载力可以定义为:在一定的时期和水域内,在一定生活水平和环境质量要求下,以可持续发展为前提,在维护生态环境良性循环的基础上,水环境子系统所能容纳的各种污染物,以及可支撑的人口与相应社会经济发展规模的阈值。

2.2 水环境承载力的特征

水环境承载力的基本特征:水环境承载力不是固定不变的,水环境承载力具有时限性,是相对于一定时期、一定生活水平和环境质量标准而言的,水环境承载力的大小有一定的限度,可以通过选取某些评价指标按照一定的函数关系来表征,水环境承载力的大小受水体自然因素、人类活动方式及环境质量要求等方面影响,还受水量、水质、生态用水、环境用水等方面的影响,水环境承载力研究涉及多学科交叉。

2.3 水环境承载力的影响因素

水环境承载力的影响因素有:水环境质量标准、水环境容量、水环境自净能力、流域(区域)水资源量、社会生产力水平、科学技术水平、人类生活水平、政策、法规、规划等。

2.4 水环境承载力研究

准确评价水环境承载力是科学、合理制定水资源保护规划以实现水资源有效保护的前提和基础。目前,已经报道了很多关于水环境承载力的研究。

汪彦博等^[4]采用系统动力学模型研究石家庄水环境承载力,针对石家庄的水环境问题,提出了水环

境持续发展的方案。韩娜娜^[5]在研究山西桑干河流域水环境承载力中采用了系统动力学模型,综合考虑了经济发展、人口增长、污染物环境容量、生态环境需水量、水污染控制措施、水环境保护规划等多方面的因素,对水环境承载力指标体系中的指标进行模拟。结果表明水环境承载力系统动力学的建立与模型模拟能够对水环境控制措施进行量化,对改善桑干河流域的生态环境具有实际的指导意义。蒋晓辉等^[6]建立了研究区域水环境承载力的大系统分解协调模型,并将模型应用于陕西关中地区,得到了不同方案下关中地区水环境承载力及提高关中地区水环境承载力的最优策略。崔凤军等^[1,7-8]采用向量模法研究山东省临淄等市不同条件下的水环境承载力。刘艳玲^[9]使用向量模法定量长春市的水环境承载力。

3 水环境承载力的评价

3.1 指标体系

选择适当的水环境承载力指标是定量表达水环境承载力的关键环节。水环境承载力的指标应以与人口、经济有关的水资源和水污染状况、污水处理投资和供水费用等方面来表征。

人们根据不同的研究目的,可以建立各种各样的指标体系。环境承载力评价的指标很多,若都考虑将很难得出有实际意义、并能操作的数据,所以具体分析时应针对研究对象筛选重要指标进行分析。对小清河水环境的关键影响因子进行分析,建立水环境承载力评价指标体系,包括水资源量、社会经济、水环境容量 3 个子体系。具体指标及其说明见表 1。

3.2 研究方法

目前用于水环境承载力评价的方法主要有向量模法、多目标决策分析法、模糊综合评判方法、系统动力学方法,以及采用水环境状态指数法、环境承载力间接表征环境承载力的方法等。

向量模法是一种综合评价方法,是水环境承载力研究中的一种常用方法。该法通过一定的量化过程对评价指标体系进行分析,最终得到反映承载力相对大小的综合结果。向量模法应用极为广泛,其评价结果是一个无量纲数值,反映各评价对象的相对大小。此法常用于横向(不同地区同一时间)和纵向(同一地区不同时间)的承载力综合比较,可以反映不同地区发展水平的相对大小或者同一地区在不同时间上的发展变化趋势。所以在本研究中采用向量模法来研究小清河流域的水环境承载力。

假设有 m 个不同的水平年,或者对于同一水平年而言,假设有 m 个不同的分区,这两种情况都会有 m 个水环境承载力,不妨设此 m 个水环境承载

表 1 水环境承载力指标体系

	指 标	指标说明
水资源量	人均可用水量/ m^3	反映水资源的自然供给能力
	供水量/需水量/ $\%$	反映供水能力大小
	地下水占供水量比例/ $\%$	反映地下水的开采情况
	泉水占供水量比例/ $\%$	反映泉水的开发利用程度
	流域外调水量比例/ $\%$	反映流域外调水程度
社会经济	灌溉用水有效利用系数/ $\%$	反映农业发展水平的高低和水资源的利用效率
	人均 GDP/元	反映开发水资源和治理污染的能力
	单位 GDP 水耗/ $(\text{m}^3 \cdot \text{万元}^{-1})$	反映用水效率
	城市化水平/ $\%$	反映地区的经济发达程度
	第三产业占 GDP 比例/ $\%$	反映地区经济结构状况
	环保投入占 GDP 的比例/ $\%$	反映治理污染的能力
水环境容量	单位 GDP 的 COD 排放量/ $(\text{kg} \cdot \text{万元}^{-1})$	反映同等污染物产生条件下的工业生产效率
	COD 容量/COD 排放量/ $\%$	反映水体的污染程度和水环境容量的利用程度
	化肥使用强度/ $(\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2})$	反映面源污染源强的大小
	工业用水重复率/ $\%$	反映工业对水资源的重复利用效率
	污水处理率/ $\%$	反映地区的污水处理程度
	污水回用率/ $\%$	反映中水利用程度

力为 $E_j(j = 1, 2, \cdots, m)$, 再设每个水环境承载力由 n 个具体指标确定的分量组成, 即有:

$$E_j = (E_{1j}, E_{2j}, \cdots, E_{nj}) \tag{1}$$

归一化:

$$\tilde{E}_j = (\tilde{E}_{1j}, \tilde{E}_{2j}, \cdots, \tilde{E}_{nj}) \tag{2}$$

其中:

$$\tilde{E}_{ij} = E_{ij} / \sum_{j=1}^m E_{ij} (i = 1, 2, \cdots, n) \tag{3}$$

这样, 第 j 个水环境承载力的大小为:

$$|\tilde{E}_j| = \left[\sum_{i=1}^n (\tilde{E}_{ij})^2 \right]^{1/2} \tag{4}$$

这里, 视每一分量的权重是一样的, 若考虑各项指标的权重, 则:

$$|\tilde{E}_j| = \left[\sum_{i=1}^n (\tilde{E}_{ij} W_{ij})^2 \right]^{1/2} \tag{5}$$

式中: W_{ij} 为第 j 个水环境承载力的第 i 个指标的权重。

该方法的评价结果是一个无量纲数值, 常用于对不同地区或同一地区不同时间的发展状况进行综合比较, 可以反映出不同地区发展水平的相对大小或者同一地区在不同时间上的发展变化趋势。

4 小清河水环境承载力研究

根据 3.1 节建立的指标体系, 选取了 17 个指标作为衡量标准对小清河水环境承载力进行向量模法分析。小清河流域的水环境承载力评价标准主要是参考生态城市建设考核指标、环保模范城市考核指

标、济南市‘十一五规划’等制定的。各指标值见表 2。

表 2 小清河水环境承载力研究指标值

	名 称	生态城市标准	其他标准	小清河流域指标	
				2005	2010
水资源量	人均可用水量/ m^3			339	318
	供水量/需水量/ $\%$			0.90	1.08
	地下水占供水量比例/ $\%$			52.1	44.7
	泉水占供水量比例/ $\%$			0	1.68
	流域外调水比例/ $\%$			33.9	32.7
社会经济	灌溉用水有效利用系数/ $\%$		0.55	0.45	0.55
	人均 GDP/元	≥ 33000		31604	54700
	单位 GDP 水耗/ $(\text{m}^3 \cdot \text{万元}^{-1})$	≤ 150		76	65
	城市化水平/ $\%$	≥ 55		56	65
	第三产业占 GDP 比例/ $\%$	≥ 45		46.9	50
	环保投入占 GDP 的比例/ $\%$	≥ 1.5		2.4	2.5
水环境	单位 GDP 的 COD 排放量/ $(\text{kg} \cdot \text{万元}^{-1})$	< 5.0		6.4	4.2
	COD 容量/COD 排放量/ $\%$		≥ 1	0.043	0.208
	化肥使用强度/ $(\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2})$			550	400
	工业用水重复率/ $\%$	≥ 50		71	74
	污水处理率/ $\%$		75	54.5	75
	污水回用率/ $\%$		≥ 20	0.33	≥ 20

注 以上数据来源于《济南市国民经济和社会发展第十个五年计划纲要》、《济南统计年鉴(2003)》、《济南生态城市建设技术报告》、《生态县、生态市、生态省建设指标(试行)》(国家环保总局环发[2003] 91 号文件)、《济南市小清河干流综合治理可行性研究报告》、《济南市环境质量简报》等。

通过以上对小清河济南段规划前后水环境承载力的计算, 可以得出小清河济南段 2005 年和 2010 年水环境承载力分别为 1.184 和 1.579, 而生态城市的水环境承载力为 1.594, 表明规划前小清河济南段达不到生态城市的标准。通过增加流域外调水、提高污水回用率及小清河治理及截污等措施, 再加上济南市的经济发展、产业结构调整、推行清洁生产等, 规划后的小清河水环境承载力将接近生态城市的标准。由此可见, 水环境承载力治理后比治理前增加较大, 这种增大趋势符合小清河济南段河道的综合治理规划。今后还需要采取措施来增大小清河的水环境承载力, 使其达到生态城市的标准。

5 对策建议

从水环境承载力的概念、影响因素、定量计算方法以及在小清河流域济南段的实际应用可以看出, 提高水环境承载力的对策可以概括如下几方面。

- a. 增加污水处理厂, 提高污水处理能力, 改善水环境质量, 以提高水环境承载力。小清河目前的污水处理率为 54.5%, 大量的污水未经处理直接排入河流或干渠, 严重污染河流。为减少入河排污量, 实现小清河水质的根本好转, 必须增加污水处理量。
- b. 在缺水条件下, 增加外调水量, 经过稀释、降解等作用降低污染物浓度, 是提高水环境承载力的

一个重要方面。主要考虑采用 3 种方式进行外调水 ①利用卧虎山水库放水,通过玉符河向小清河补水 ②利用平阴县田山一级泵站提取黄河水,经沉沙池澄清后沿南水北调济平干渠送入小清河 ③当黄河水位高于玉符河入黄口处河底高程时,引黄河水入玉符河,通过睦里闸直接引水入小清河。

c. 水环境承载力大小还与污水回用量有关。目前小清河的污水回用率为 0.33%,还有很大的发展潜力。提高污水回用量,在某种程度上缓解了用水紧张矛盾,增加了水资源可利用量,间接提高了水环境承载力。

d. 可以通过调整产业结构,采用先进科技手段,提高用水效率,增加厂内污水处理能力,改善河道排水条件等措施,以减小污水排放量,从而减轻对水环境的压力。

e. 城市发展规模是否能满足水环境承载力的要求还与水资源利用效率有关。水资源利用效率包括工农业用水、生活用水等效率,其相应的指标有单位 GDP 水耗、农业灌溉用水定额、生活用水定额等。可以通过节约用水,改善用水条件,提高水资源利用效率,以确保环境用水,间接提高水环境承载力。

(上接第 21 页)

3 结 论

a. 运用测定 Cl^- 的试验方法得到污水在 W-SFCW 和 SFCW 中停留时间分布 RTD,在水力负荷为 $100 L/(m^2 \cdot d)$ 时,根据 RTD 计算出 W-SFCW 的实际平均停留时间为 105.9 h,而 SFCW 则为 450.7 h,这说明两种湿地均避免了湿地易出现的污水“短路”现象,同时也证实实测停留时间与湿地设计中采用的停留时间理论计算值的偏差。

b. 运用示踪剂试验所得的污水停留时间分布函数对潜流人工湿地内部水流流态进行了流态分析,W-SFCW 的分散程度比 SFCW 的小,证明 W-SFCW 流态接近于推流,也更有利于污染物的有效去除。

c. W-SFCW 流态上接近 3 个串联的 CSTR。相对于 $N = 3$ 串联的 CSTR 停留时间分布来看,W-SFCW 的拖尾也较长,反映出实际潜流湿地中滞留区的存在。SFCW 停留时间分布和 $N = 1$ 的 CSTR 形状相似,比较可知,由于 SFCW 滞留区较大,RTD 图的拖尾较长。

d. 从沿程 3 个测点的停留时间分布来看,水流在 SFCW 内流动时,中间的水流没有来得及扩散到两侧就直接流至出水口,因此 SFCW 的有效截面积

参考文献：

[1] 崔凤军. 城市水环境承载力及其实证研究[J]. 自然资源学报,1998,13(1) 58-62.
[2] 马文敏,李淑霞,康金虎. 西北干旱区域城市水环境承载力分析方法研究进展[J]. 宁夏农学院学报,2002,23(4) : 68-70.
[3] 廖文根. 水环境承载力及其评价体系探讨[J]. 中国水利水电科学研究院学报,2002,6(1) 1-8.
[4] 汪彦博,王嵩峰,周培疆. 石家庄市水环境承载力的系统动力学研究[J]. 环境科学与技术,2006,29(3) 26-28.
[5] 韩娜娜. 山西桑干河流域水环境承载力研究[D]. 西安: 西安理工大学,2005.
[6] 蒋晓辉,黄强,惠决河,等. 陕西关中地区水环境承载力研究[J]. 环境科学,2000,21(2) 20-23.
[7] 郭怀成,唐剑武. 城市水环境与社会经济持续发展对策研究[J]. 环境科学学报,1995,15(3) 363-369.
[8] 郭怀成,徐云麟,洪志明,等. 我国新经济开发区水环境规划研究[J]. 环境科学进展,1994,2(4) 14-22.
[9] 刘艳玲. 区域水环境承载力的可持续发展研究:以长春市为例子[D]. 长春: 东北师范大学,2002.

(收稿日期 2006-10-13 编辑 徐 娟)

相对缩小,两侧的部分犹如死区,内部水流速度较小,这影响了湿地去除污染物的效率,而 W-SFCW 有效改善了这一状况,这是由于 W-SFCW 中水流反复呈波浪式流动,有利于湿地底部和两侧滞留区中的水不断被向前推动,在湿地土壤利用率上,明显较 SFCW 优越。

参考文献：

[1] 戚以政,汪叔雄. 生化反应动力学与反应器[M]. 北京: 化学工业出版社,1999 345-379.
[2] 高拯民,李宪法. 城市污水土地处理利用设计手册[M]. 北京: 中国标准出版社,1991 242.
[3] 国家环保总局. 水和废水分析方法[M]. 3 版. 北京: 中国环境科学出版社,1989.
[4] 付贵萍. 垂直流人工湿地系统中水流规律的研究[J]. 环境科学学报,2001,21(6) 720-725.
[5] 肖艳,叶旌,杨敦. Monod 模型在潜流式人工湿地中的应用探讨[J]. 环境技术,2003(2) 21-25.
[6] SAPKOTA D P. Gravel media filtration as a constructed wetland component for the reduction of suspended solids from maturation pond effluent[J]. Water Science Technology,1994,29(4) 55-57.
[7] PETER F B. A mass balance method for assessing the potential of artificial wetlands for wastewater treatment [J]. Water Resources,1990,24(6) 689-697.

(收稿日期 2007-01-05 编辑 高渭文)