

基于向量模法的北京市水环境承载力评价

邢有凯 ,余 红 ,肖 杨 ,马根慧 ,毛显强

(北京师范大学水环境模拟国家重点实验室 北京 100875)

摘要 :在简要综述水环境承载力概念的基础上 ,分析其影响因素及量化评价方法并确立相应的评价指标体系。采用向量模法评价北京市 2000 ~ 2005 年水环境承载力水平 ,计算表明北京市水环境承载力水平较低 ,但呈逐年改善趋势 ,评价值由 0.385 升至 0.644。水资源紧缺是制约北京市发展的重要原因 ,在通过流域外调水等方式增加水资源供给量的同时 ,必须继续大力推进节水工作。

关键词 :水环境 ;承载力评价 ;向量模法 ;北京市

中图分类号 :X143 文献标识码 :A 文章编号 :1004-693X(2008)04-0001-03

Water environmental carrying capacity evaluation in Beijing City with vector norm method

XING You-kai , YU Hong , XIAO Yang , MA Gen-hui , MAO Xian-qiang

(State Key Laboratory of Water Environment Simulation , Beijing Normal University , Beijing 100875 , China)

Abstract :The concept of water environmental carrying capacity and its factors and quantitative evaluation methods are discussed. An evaluation index system was established and applied in the evaluation of water environmental carrying capacity in Beijing City from 2000 to 2005 with vector norm method. The results indicate that the water environmental carrying capacity of Beijing remained low , but increased year by year , from 0.385 in 2000 to 0.644 in 2005. Water resources shortage is the key factor restricting the development of Beijing. It is necessary to enhance water conservation as well as to enlarge the supply of water resources from other regions.

Key words :water environment ; carrying capacity evaluation ; vector norm method ; Beijing City

随着社会经济的发展 ,因规模过大、产业结构不合理、生产布局不适当、环境保护措施不得力等引起的水环境问题(如水资源短缺、水污染过重、水生态平衡破坏等)日益突出。以北京市为例 ,其现状可利用淡水资源人均占有量不足 300 m³ ,仅为全国人均水平的 1/8 ,世界人均水平的 1/30^[1]。此外 ,水质恶化、水资源时间和空间分布不均衡、工农业以及居民生活用水不断增长已经成为制约北京市经济、社会、环境可持续发展的重要因素。因此 ,应用环境承载力理论及量化评价方法进行水环境承载力评价 ,对于协调北京市经济、社会发展与水环境保护的关系具有重要指导意义。

1 水环境承载力的定义

不同专家学者对于水环境承载力的定义有着不同的认识。汪恕诚^[2]将其定义为在一定的水域 ,其水体能够被继续使用并仍保持良好生态系统(状态)时所能够容纳污水及污染物的最大能力 ;郭怀成等^[3]认为水环境承载力是指在某一时期、某种状态或条件下 ,某城市的水环境所能承受的人类活动作用的阈值 ;李清龙等^[4]指出水环境承载力是某一时期、某一环境质量要求、某种状态或条件下 ,某流域(区域)水环境在自我维持、自我调节的能力和水环境功能可持续正常发挥的前提下 ,所支撑的人口、经济及社会可持续发展的最大规模 ;崔凤军^[5]提出城

作者简介 :邢有凯(1981—)男 ,山东威海人 ,硕士 ,主要从事环境经济政策与管理研究。E-mail :xingyoukai@163.com
通讯作者 :毛显强(1970—)男 ,重庆人 ,教授 ,主要从事环境经济政策与管理研究。E-mail :maoxq@bnu.edu.cn

· 1 ·

市水环境承载力是指某一城市、某一时期、某种状态下的水环境条件对该城市的经济发展和生活需求的支持能力,是该城市水环境系统结构性的一种抽象表示方法,可以作为衡量该城市经济发展活动与水环境条件适配程度的指标。

由此可见,目前研究对水环境承载力虽无统一定义,但在思路上都具有一致性,都强调水环境对社会经济系统的支撑程度和给予能力。

综合近年来的研究成果,本文将水环境承载力定义为: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 水环境承载力的向量模法评价

2.1 水环境承载力的影响因素

水环境是一个复杂的系统,同时还与社会经济系统相互作用构成更为复杂的系统,因而其影响因素也十分复杂。正确认识和区分这些影响因素是研究水环境承载力的关键。

赵然杭等^[6]指出水环境承载力研究涉及水环境、宏观经济、社会、人口等众多因素,各因素之间相互促进、相互制约,构成一个复杂的动态系统。李清龙等^[4]将水环境承载力影响因素概括为以下几个方面:①水环境质量标准;②水环境容量;③水环境自净能力;④流域(区域)水资源量;⑤社会生产力水平;⑥科学技术水平;⑦人类生活水平;⑧政策、法规、规划等。

结合上述观点,本文认为影响城市水环境承载力的因素可分为负影响因子和正影响因子。负影响因子指对水环境具有破坏、污染性质的因子,包括耗水、污染排放等,而正影响因子指对水环境具有保护、改善作用的因子,包括污染治理、资源重复利用等。对两类因子所对应的指标分别进行量化处理后,用一定的算法可以对城市水环境承载力状况进行不同时空尺度的评估和比较。

2.2 指标体系确定原则

水环境不仅为人口和经济的发展提供必要的物质基础和条件,还是污水的容纳体。因此,评价水环境承载力的指标应从与人口、经济有关的水资源及水污染状况指标中选取,而且这些指标应是可以度量的^[7]。由于水环境承载力指标的选取合理与否将直接影响到评价结果,因此其筛选过程中应遵循一定的原则。

李如忠^[8]认为应遵循完整性原则、简明性原则、

层次性原则、可比性原则、动态性原则,彭静等^[9]提出指标设计原则为:政策相关性强、信息集成度高、反应灵敏性强、数据获取途径简单、实用性强。

上述原则均强调所选取的指标应能反映研究区域水环境—社会经济的实际状况,且易于获取。

2.3 模型算法

水环境承载力评价的量化研究方法主要包括向量模法、多目标决策分析方法、系统动力仿真模型法、模糊综合评价法等^[10]。其中,向量模法是一种综合评价方法,通过建立评价指标体系和一定的量化过程,得到无量纲的评价结果,能反映水环境承载力的相对优劣。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)的水环境承载能力状况综合比较。

向量模法假设有 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 个水环境承载力评价值,设此 m 个评价值为 $E_j (j = 1, 2, \dots, m)$,再设每个评价值(向量)包括 n 个具体指标确定的分量,即有:

$$E_j = (E_{1j}, E_{2j}, \dots, E_{nj}) \quad (1)$$

归一化:

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

其中:

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

这样,第 j 个水环境承载力评价值的大小可以用归一化后的向量模来表示,即:

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

这里,视每一分量的权重相同,若考虑各项指标的权重,则:

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

其中, W_{ij} 为第 j 个水环境承载力的第 i 个指标的权重。

3 北京市水环境承载力评价

3.1 建立指标体系

借鉴国内外相关研究成果,并结合北京市社会—经济—环境特征,以及可获取的统计资料,选定以下 9 个指标:①城市水资源总量/用水总量;②人均地区生产总值(GDP);③单位地区生产总值(GDP)水耗;④工业万元增加值废水排放量;⑤工业万元增加值 COD 排放量;⑥工业废水重复利用率;⑦污水处理率;⑧工业废水排放达标率;⑨人均日生活用水量。

所选指标涉及北京市水资源状况、用水情况、经

济发展、工业排放、污水处理等方面 符合完整性、可比性、动态性、反应灵敏性、实用性等原则。此外 ,各指标对水环境承载力的影响有正有负 ,其中单位地区生产总值(GDP)水耗、工业万元增加值废水排放量、工业万元增加值 COD 排放量及人均日生活用水量为负影响指标 ,其余皆为正影响指标 ,计算过程中正影响指标的归一化按具体数值计算 ,负影响指标以倒数计算。

各指标具体情况见表 1。

表 1 北京市水环境承载力指标体系

指 标	指标说明
城市水资源总量/用水总量	反映供水能力大小(+)
人均地区生产总值(GDP)/ (元·人 ⁻¹)	反映地区经济发展状况(+)
单位地区生产总值(GDP)水耗/ (m ³ ·万元 ⁻¹)	反映用水效率(-)
工业万元增加值废水排放量/ (t·万元 ⁻¹)	反映同等工业生产条件下废水排放情况(-)
工业万元增加值 COD 排放量/ (kg·万元 ⁻¹)	反映同等工业生产条件下污染物排放情况(-)
工业废水重复利用率/%	反映工业废水重复利用情况(+)
污水处理率/%	反映地区的污水处理程度(+)
工业废水排放达标率/%	反映工业废水排放达标情况(+)
人均日生活用水量/ (L·人 ⁻¹ ·d ⁻¹)	反映人均生活用水情况(-)

注 (+)表示为正影响指标 (-)表示为负影响指标。

3.2 水环境承载力评价价值计算

根据确定的指标体系 ,2000 ~ 2005 年北京市水环境承载力各评价指标值见表 2。

采用向量模法对各指标进行归一化处理 ,处理结果见表 3。

表 2 2000 ~ 2005 年北京市水环境承载力评价指标值

年份	城市水资源 总量/ 用水总量	人均地区 生产总值(GDP)/ (元·人 ⁻¹)	单位地区生产 总值(GDP)水耗/ (m ³ ·万元 ⁻¹)	工业万元增加 值废水排放量/ (t·万元 ⁻¹)	工业万元增加 值 COD 排放量/ (kg·万元 ⁻¹)	工业废水重复 利用率/%	污水处 理率/%	工业废水排放 达标率/%	人均日生活 用水量/ (L·人 ⁻¹ ·d ⁻¹)
2000	0.42	24 122	127.81	27.49	2.55	88.2	40.6	92.6	248.8
2001	0.49	26 186	104.92	22.58	1.93	89.2	42.2	97.2	260.0
2002	0.47	31 405	78.51	17.31	1.37	91.1	45.0	98.3	237.0
2003	0.51	34 822	71.40	10.72	0.85	92.9	50.1	99.3	248.0
2004	0.62	40 612	57.69	8.20	0.74	93.0	53.9	98.6	226.8
2005	0.52	44 772	50.85	7.61	0.65	93.0	62.4	99.4	225.0

注 ①以上数据来源于《中国统计年鉴 2001 ~ 2006》、《北京市统计年鉴 2001 ~ 2006》、《北京市环境状况公报 2000 ~ 2005》等 ;②2005 年工业废水重复利用率取 2004 年值 ;③地区生产总值(GDP)和工业增加值均以 2000 年可比价格计算。

表 3 2000 ~ 2005 年北京市水环境承载力评价指标归一化值

年份	城市水资源 总量/用水总量	人均地区生产 总值(GDP)	单位地区生产 总值(GDP)水耗	工业万元增加 值废水排放量	工业万元增加 值 COD 排放量	工业废水 重复利用率	污水 处理率	工业废水排放 达标率	人均日生活 用水量
2000	0.138	0.119	0.097	0.075	0.068	0.161	0.138	0.158	0.161
2001	0.163	0.129	0.118	0.091	0.090	0.163	0.143	0.166	0.154
2002	0.154	0.154	0.157	0.118	0.128	0.166	0.153	0.168	0.169
2003	0.170	0.171	0.173	0.191	0.205	0.170	0.170	0.170	0.161
2004	0.204	0.200	0.214	0.250	0.237	0.170	0.183	0.168	0.176
2005	0.171	0.220	0.243	0.269	0.267	0.170	0.212	0.170	0.178

经计算 ,2000 ~ 2005 年北京市水环境承载力评价价值变化情况见表 4。

表 4 2000 ~ 2005 年北京市水环境承载力评价价值计算结果

年份	水环境承载力评价价值	年份	水环境承载力评价价值
2000	0.385	2003	0.528
2001	0.415	2004	0.606
2002	0.459	2005	0.644

4 结 论

a. 由表 4 可以看出北京市的水环境承载力尽管处于较低水平 ,但总体而言 ,2000 ~ 2005 年间水环境承载力状况呈逐年改善的趋势 ,水环境承载力评价价值由 0.385 升至 0.644。

b. 北京市水环境承载力处于较低水平的一个重要原因是水资源紧缺 ,表现为 2000 ~ 2005 年北京市城市水资源总量与用水总量比值较低(仅 2004 年略高于 0.2)。

c. 水环境承载力状况逐年改善的原因是 :人均地区生产总值(GDP)、污水处理率等正影响因子不断增长 ,而单位地区生产总值(GDP)水耗、工业万元增加值废水排放量、工业万元增加值 COD 排放量等负影响因子逐年下降。上述指标的变化对于北京市水环境承载力评价价值的提高起着重要作用。

d. 由于水资源紧缺是制约北京市发展的重要原因。因此 ,在通过流域外调水等方式增加水资源供给量的同时 ,必须继续大力推进节水工作。

并结合引水调控措施进行比较 结果表明 采用生态调水时 ,如不能大幅度降低磷的浓度 ,难以根本遏制夏季藻类水华的暴发。因此 ,在湖泊管理中 ,生态调水的时机、水量等应该以降低营养盐浓度为目标进行细化管理 ,而不是简单地将其作为应急性的、临时性的冲污措施。

本文探索了利用三维水质模型模拟城市人工湖不同设计方案和水调控管理措施对水质变化趋势的影响 ,该方法可应用于国内类似的人工湖设计中 ,通过选取不同的设计条件进行计算模拟 ,预测未来的富营养化发生趋势。这一技术的应用将对我国城市水生态规划设计具有重要的理论参考价值和现实意义。

参考文献：

[1] JIN Kang-ren , DANIEL P L , TODD S T. Assessing lake Okeechobee eutrophication with water-quality models[J]. Journal of water resources planning and management , 1998 ,1 : 22-29.

[2] HAVENS K E ,FUKUSHIMA T ,XIE P. Nutrient dynamics and the eutrophication of shallow lakes Kasumigaura (Japan) , Donghu (PR China) , and Okeechobee (USA) [J]. Environmental Pollution 2001 ,111 :263-272.

[3] GEORGE B A. Eutrophication model for lake Washington (USA) Part I-model description and sensitivity analysis[J].

Ecological Modelling , 2005 ,187 :140-178.

[4] GEORGE B A. Eutrophication model for Lake Washington (USA) Part II-model calibration and system dynamics analysis [J]. Ecological Modelling , 2005 ,187 :179-200.

[5] ROBSON B J , HAMILTON D P. Three-dimensional modelling of a microcystis bloom event in the Swan River estuary , Western Australia[J]. Ecological Modelling , 2004 ,174 :203-222.

[6] BONNET M P , WESSEN K. ELMO , a 3 - D water quality model for nutrients and chlorophyll : first application on a lacustrine ecosystem[J]. Ecological Modelling , 2001 ,141 :19-33.

[7] ZEREN Gur-kan , ZHANG Jing-jie , JØRGENSEN S E. Development of a structurally dynamic model for forecasting the effects of restoration of Lake Fure ,Denmark[J]. Ecological modelling , 2006 ,197 :89-102.

[8] 松梨史郎.湾奥水域における水质の時空間変化の解析 [J].土木学会论文集 ,1997 :573-93-110.

[9] QIAN X , ISHIKAWA T. Wind-induced current and water exchange in Lake kasumigaura[C]/LI Gui-fen. Proceedings of XXIX IAHR Corgress. Beijing :Tsinghua University Press , 2001 :559-564.

[10] ISHIKAWA T , SUZUKI T , QIAN X. Hydraulic study of the onset of Hypoxia in the Tone River Estuary[J]. Journal of Environmental Engineering , 2004 ,130(5) :551-561.

(收稿日期 :2007-03-16 编辑 :傅伟群)

(上接第 3 页)

参考文献：

[1] 张寿全.21 世纪首都水问题的对策与建议[J].中国软科学 ,2000(8) :14-19.

[2] 汪恕诚.水环境承载能力分析与调控[J].水利发展研究 ,2002(1) :2-6.

[3] 郭怀成 ,唐剑武.城市水环境与社会经济可持续发展对策研究[J].环境科学学报 ,1995 ,15(3) :363-369.

[4] 李清龙 ,张焕桢 ,王路光 ,等.水环境承载力及其影响因素[J].河北工业科技 ,2004 ,21(6) :30-32.

[5] 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.

[6] 赵然杭 ,曹升乐 ,高辉国.城市水环境承载力与可持续发展策略研究[J].山东大学学报 :工学版 ,2005 ,35(2) :91-94.

[7] 唐剑武 ,郭怀成 ,叶文虎.环境承载力及其在环境规划中的初步应用[J].中国环境科学 ,1997 ,17(1) :6-9.

[8] 李如忠.基于指标体系的区域水环境动态承载力评价研究[J].中国农村水利水电 ,2006(9) :42-46.

[9] 彭静 ,李翀 ,廖文根 ,等.水环境可持续承载评价方法及实证研究[J].中国人口·资源与环境 ,2006 ,16(4) :55-59.

[10] 李清龙 ,闫新兴.水环境承载力量化方法研究进展与展望[J].地学前缘 ,2005 ,12(特刊) :43-48.

(收稿日期 :2007-03-21 编辑 :傅伟群)

· 简讯 ·

东亚地区环境社会学会议将于 2008 年 10 月在日本举行

东亚地区环境社会学会议将于 2008 年 10 月 4 - 6 号在日本东京 Hosei University 举行。本次会议由日本环境社会学学会主办 ,主题为“环境社会学——问题、运动和政策”。本次会议由日本、韩国、中国(大陆和台湾)三国学者 2007 年 7 月在北京倡议成立的东亚环境社会学网络组织的一次学术会议。该网络由河海大学施国庆教授、陈阿江教授与中国人民大学洪大用教授等与日本、韩国多位学者发起成立 ,意在推动东亚地区环境社会学的学术交流与合作。

(本刊编辑部供稿)