

聊城市水环境承载力研究

翁明华¹, 聂秋月¹, 蔡 峰¹, 聂庆林²

(1. 上海市南汇区水利规划设计所 , 上海 201300 2. 山东省聊城水文水资源勘测局 , 山东 聊城 252000)

摘要 采用模糊综合评判法、加权平均法、向量模法等 3 种方法 , 分析聊城市 2005 年、2010 年、2020 年、2030 年生态城市标准下的水环境承载力。结果表明 3 种方法得出的结论一致 2010 年该市与生态城市标准差距较大 2020 年水环境承载力显著提升 2030 年可以达到生态城市的标准。建议提高农业综合灌溉水利利用系数、加大环保投资力度 提高回用水和雨洪水的供水比重 , 以保证水环境承载力的稳定性。

关键词 水环境 ; 承载力 ; 模糊综合评判法 ; 加权平均法 ; 向量模法 ; 评价指标 ; 聊城市

中图分类号 :TV213.4 **文献标识码** :A **文章编号** :1004-693X(2009)03-0041-04

Study on carrying capacity of water environment in Liaocheng City

WENG Ming-hua¹ , NIE Qiu-yue¹ , CAI Feng¹ , NIE Qing-lin²

(1. Nanhui Water Conservancy Planning and Designing Office of Shanghai , Shanghai 201300 , China ; 2. Liaocheng Hydrology and Water Resources Survey Bureau of Shandong Province , Liaocheng 252000 , China)

Abstract :Using the fuzzy comprehensive evaluation method , weighted average method and vector modulus method , the carrying capacity of the water environment in Liaocheng City in the years of 2005 , 2010 , 2020 and 2030 was analyzed. The results show that the conclusions from the three methods are consistent. There is a large gap in 2010 according to the ecological city standards , and a significant promotion will appear in 2020. The standards can finally be met in 2030. It is suggested that the stability of the carrying capacity of the water environment in this city can be assured by enhancing the comprehensive agriculture irrigation efficiency , investing more in environmental protection , and increasing the proportion of recycling water and rainfall in the water supply.

Key words :water environment ; carrying capacity ; fuzzy comprehensive evaluation method ; weighted average method ; vector modulus method ; evaluation index ; Liaocheng City

1 水环境概况

聊城市位于山东省西部冀鲁豫交界处 , 总人口为 569.50 万 , 农业人口为 459.27 万 , 人均 GDP 为 12 100 元 , 人均水资源量为 214 m³ , 占全国人均的 1/10 , 徒骇、马颊河及其支流为该市市域主要排水河道。该市水资源年际年内变化较大 , 最大年降水量约为最小年降水量的 3 倍 , 年天然径流约有 4/5 集中在汛期 6 ~ 9 月 , 跨流域引黄河水是重要供水水源。该市水资源开发利用程度较高 , 农业用水占总用水量的 80% 以上 , 灌溉水利利用系数在 0.50 左右。

聊城市一方面属资源型缺水 , 另一方面因水污染严重而造成水质型缺水。2005 年全市年污水排放量约 1 亿 t , 大部分未经处理直接排入干支流河道。徒骇、马颊河及其支流水质均为 V 类或劣 V 类 , 属重污染和严重污染河段 ; 东昌府区和莘县、阳谷、茌平、高唐沿徒骇河及支流浅层地下水因地表污水侧渗形成二次污染 , 已经危及城乡居民生活及身体健康。市区西部地下水超采严重 2005 年 6 月 1 日全市地下水埋深大于 6 m 的漏斗面积已达 4 430 km² , 占全市总面积一半以上。漏斗中心最大埋深达 22.47 m , 水生态环境日趋恶化。

作者简介 翁明华(1962—) 男 , 上海人 , 高级工程师 , 主要从事水利规划设计工作。E-mail :nanhuishuili@126.com

2 水环境承载力评价

2.1 水环境承载力量化

水环境承载力与当地水环境属性、承载对象相关 ,受到经济、社会、技术、生态、社会发展模式的综合影响 ,可以表现为在可持续发展的前提下 ,满足一定的水环境质量标准、接纳污染物的容量及可支撑的人口、社会经济发展规模。崔凤军^[1]利用水环境承载指数 ,选取 7 个发展因子和限制因子 ,描述城市水环境承载力 ;贾振邦等^[2]引入发展变量集和支撑变量集 ,采用单位投资可治理废水量等 7 项指标计算本溪市水环境承载力综合指数 ;彭静等^[3]建立了 1 个指数、6 项分类指标、36 个表征变量的 3 级体系 ,描述白洋淀水环境承载力 ,并对定性指标进行量化。

2.2 评价指标体系

研究区域不同 ,水资源状况、经济社会发展水平、科技文化水平不同 ,量化的具体指标也不相同。建立指标体系基本上从水环境的支撑能力和受到的压力两个方面着手 ,按照一定的层次级别逐步细化 ,再结合区域具体状况 ,赋予指标权重。本文基于聊城市具体情况 ,水环境承载力研究选取水资源开发利用程度、可承载的人口经济社会发展规模、环境容量与纳污水平、生态系统建设水平、环境治理与保护水平、环境监管建设水平等 6 项分类指标、31 个变量 ,综合反映水环境的特性、经济社会发展的需求以及环

保科技的影响 ,并对 2005 年、2010 年、2020 年、2030 年 4 个水平年的各项指标量化值与生态城市标准值进行对比分析。各项评价指标及相应量化值如表 1。

2.3 评价方法

目前采用的方法主要有模糊综合评判法^[5]、加权平均法、向量模法^[6]、多目标决策分析法、系统动力学方法^[7]等。前三者都可用于纵向(同一地区不同时间)承载力综合比较 ,评价结果是一个与承载力正相关的无量纲数值 ,反映同一地区在不同时间上的发展变化趋势 ,为能全面反映聊城市水环境承载力状况 ,本文采用这 3 种方法进行评价。

各指标含义不同 ,量纲各异 ,必须作标准化处理 ,常用的方法有阈值法、比重法、Z-Score 法等 ,本文采用 Z-Score 法^[8]。

2.3.1 模糊综合评判法

a. 隶属度矩阵

选取 j 个变量 ,按照越大越优原则、越小越优原则、岭形原则 ,分别计算变量对可持续承载力的相对隶属度 r_{ij} 。

越大越优变量的相对隶属度公式 :

$$r_{ij} = \frac{x_{ij} - x_{ij}^{\min}}{x_{ij}^{\max} - x_{ij}^{\min}}$$

$(i = 1, 2, \dots, 6; j = 3, 4, 5, 7, 8, 9, 15, 17, 18, 19, 20, 21, 22, 23, 25, 26, 27, 28, 29, 30)$

(1)

式中 : i 为指标序号 ; j 为变量序号 ; x_{ij} 为各年份(包

表 1 聊城市水环境承载力评价指标及不同水平年量化数值

年份	水资源开发利用程度(B_1)						可承载的人口、经济、社会发展规模(B_2)												
	C_1	C_2	C_3	C_4	C_5	C_6	C_7	C_8	C_9	C_{10}	C_{11}	C_{12}							C_{13}
	当地地表水开发利用程度/%	地下水开发利用程度/%	供水量/需水量/%	跨流域供水比例/%	其他水源供水率(污水、雨洪)/%	单位 GDP 用水量/($\text{m}^3 \cdot \text{万元}^{-1}$)	人口/万人	人均国内生产总值/元	第三产业比例/%	人均生活用水量/($\text{L} \cdot \text{d}^{-1}$)	水浇地灌溉定额/($\text{m}^3 \cdot \text{hm}^{-2}$)	工业万元增加值用水/($\text{m}^3 \cdot \text{万元}^{-1}$)	农业用水占总需水比例/%						
2005	36.40	83.90	86.64	46.71	0.19	952	569.50	12 100	25.80	59.30	3 192	241.5	84.8						
2010	45.50	77.90	90.75	48.52	4.81	210	591.48	18 069	35.50	78.00	2 949	50.9	79.1						
2020	56.00	74.40	91.42	46.72	9.11	80	636.39	39 037	39.60	95.38	2 624	20.7	73.0						
2030	66.50	66.00	97.27	50.11	12.66	42	635.59	76 446	43.80	108.79	2 330	12.9	67.7						
生态城市标准			100.00	95.50	18.89	160	641.35	12 000	40.00		1 858	20.0	54.0						
年份	环境容量与纳污水平(B_3)			生态系统建设水平(B_4)				环境治理与保护水平(B_5)						环境监管建设水平(B_6)					
	C_{14}	C_{15}	C_{16}	C_{17}	C_{18}	C_{19}	C_{20}	C_{21}	C_{22}	C_{23}	C_{24}	C_{25}	C_{26}	C_{27}	C_{28}	C_{29}	C_{30}	C_{31}	
	人均废水排放量/($\text{L} \cdot \text{d}^{-1}$)	单位 GDP 产值/万元	COD 单位排放/($\text{kg} \cdot \text{万元}^{-1}$)	生态环境需水定额/($\text{m}^3 \cdot \text{hm}^{-2}$)	生态环境需水占总需水比例/%	生态环境建设面积/国土面积/%	水体面积/土地面积/%	污水处理率/%	污水回用量/污水处理量/%	工业水重复利用率/%	入河废水量/废水总量/%	COD 削减量/COD 控制量/%	节水灌溉率/%	环境治理投资占 GDP 比例/%	农业综合灌溉水利利用系数	地表水质监测站数/个	浅层地下水监测站数/个	入河污水口保留数/个	
2005	44.47	494	1.65	14 500	0.67	0.83	0.09	46	15	48	70	0.50	28	3.21	0.49	20	20	40	
2010	110.93	1 584	0.73	14 550	1.22	2.75	0.18	79	42	70	63	1.33	51	3.89	0.59	32	28	34	
2020	136.14	2 915	0.41	14 600	1.81	3.84	0.27	88	60	80	58	5.11	72	2.38	0.63	41	46	28	
2030	161.30	6 172	0.22	14 650	2.39	4.34	0.36	92	74	88	52	7.71	92	1.04	0.68	41	68	15	
生态城市标准	273.97	1 851	0.37	15 320	2.50 ^[4]	4.54	0.38	85	68	80	39	29.62	100	3.50	0.55	41	68	15	

注 :数据来源于《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)、《聊城市水资源综合规划》、《山东省辖海河流域水污染防治“十五”实施计划》等。

括生态城市标准)量化数值标准化后第*i*个指标下第*j*个变量值; $x_{ij}^{\min}$ 为 x_{ij} 在不同年份(包括生态城市标准)中的最小值; $x_{ij}^{\max}$ 为 x_{ij} 在不同年份(包括生态城市标准)中的最大值。

越小越优变量的相对隶属度公式：

$$r_{ij} = \frac{x_{ij}^{\max} - x_{ij}}{x_{ij}^{\max} - x_{ij}^{\min}}$$

(*i* = 1 2 ... 6 *j* = 6 ,10 ,11 ,12 ,13 ,16 24 31) (2)

岭形变量为地表水开发利用程度、地下水开发利用程度、日人均生活用水量 3 项,隶属度分别表示如下：

$$r_{ij} = \begin{cases} \left(\frac{x_{ij}}{10}\right)^4 & 0 < x_{ij} \leq 10 \\ 1 & 10 < x_{ij} \leq 40 \quad (i = 1 \quad j = 1) \\ \left(\frac{100 - x_{ij}}{100 - 40}\right)^4 & 40 < x_{ij} \leq 100 \end{cases} \quad (3)$$

$$r_{ij} = \begin{cases} \left(\frac{x_{ij}}{10}\right)^4 & x_{ij} \leq 10 \\ 1 & 10 < x_{ij} \leq 90 \quad (i = 1 \quad j = 2) \\ (e)^{-8\left(\frac{x_{ij}-90}{90}\right)} & x_{ij} > 90 \end{cases} \quad (4)$$

$$r_{ij} = \begin{cases} \left(\frac{x_{ij}}{100}\right)^4 & x_{ij} \leq 100 \\ 1 & 100 < x_{ij} \leq 200 \quad (i = 3 \quad j = 14) \\ (e)^{-6\left(\frac{x_{ij}-200}{200}\right)} & x_{ij} > 200 \end{cases} \quad (5)$$

b. 层次分析法确定权重

建立每个 B_i 对可持续承载性的判断矩阵 E 构造 Boolean 矩阵^[9],判断矩阵 E 的相容性,由 E 得出 B 对可持续承载性的隶属度后进行归一化处理,记作 F 。同理,得到变量层 C_j 对 B_i 的隶属度矩阵 H_{ij} ,则 C_j 对可承载权重 $w_{ij} = F \cdot H_{ij}$ ($i = 1 \ 2 \ \dots \ 6 \ j = 1 \ , \ 2 \ \dots \ 31$)。

c. 可持续承载度 S

$$S = 1 - \sum_{i=1}^6 D_i \tag{6}$$

其中: $D_i = Fd_i$ 表示每个指标 B_i 与可持续承载度的距离; $d_i = \sqrt{\sum_{j=1}^m [H_{ij}(1 - r_{ij})]^2}$ 表示各个指标的广义权距离; m 为每个指标 B_i 对应的变量个数。

2.3.2 加权算术平均法

在变量标准化、权重矩阵确定的基础上,权重值与变量隶属度值相乘即得每个变量的承载度,总和即为总体的可承载度 S' 。

$$S' = \sum_{j=1}^{31} w_{ij}r_{ij} \quad (i = 1 \ 2 \ \dots \ 6) \tag{7}$$

式中: w_{ij} 为上述层次分析法中确定的各变量权重。

2.3.3 向量模法

选取与承载度成正比的变量 x_{ij} (即符合“越大越优”原则的变量),构造承载向量 $P = [x_{ij}]$ 结合每个变量的不同权重 w_{ij} ,计算出无量纲数值 $|P| = \sqrt{\sum (x_{ij}w_{ij})^2}$ 用以反映该市不同水平年承载度。

2.4 聊城市水环境承载力评价

分别采用模糊综合评判方法、加权平均法、向量模法,对聊城市水环境承载能力进行分析评价,同时将 31 个变量划分为承载变量和压力变量,在加权平均的基础上,计算不同年份的比值,3 种不同方法评价结果如表 2。

表 2 3 种不同方法的水环境承载力表征结果

年份	模糊综合评价法	加权平均法	向量模法	承载指数/压力指数
2005	0.528	0.084	0.009	2.758
2010	0.584	0.454	0.050	1.349
2020	0.622	0.659	0.073	1.440
2030	0.673	0.872	0.097	1.472
生态城市标准	0.655	0.849	0.094	1.231

3 水环境承载力分析

聊城市不同水平年水环境承载力表征结果显示,规划期内聊城市水环境承载力不断提高,2005 年到 2010 年增长幅度最大,2020 年到 2030 年次之,到 2030 年水环境承载力可以达到生态城市标准,20 年间经济社会发展规划是合理的,同时承载指数/压力指数满足生态城市标准要求。2005 年资源等还有较大的开发潜力,比值最大,2010 年此比值最小,为 2005 年的 48.9%,因此,“十一五”期间该市承受较大的发展压力,是保持水环境可承载力的关键期。

3.1 加大环境保护投入,与经济社会发展相协调

从影响承载力的主要变量值与生态城市标准值的对比看,人均 GDP、单位 COD 排放量的 GDP 增长较快,在 2020 年分别为生态城市的 3.253 倍、1.574 倍,经济发展迅速;节水灌溉率、其他水源供水率逐年提高,到 2030 年分别为生态城市的 0.92 倍、0.67 倍,还存在较大的提升空间;环境保护投资的比值呈下降趋势,到 2030 年不足生态城市标准的 0.3 倍,占 GDP 的比例由 2010 年的 3.84% 降至 2030 年的 1.04%,因此政府应加大环境保护投资力度。

3.2 重点加强节水与污染治理

从 2005 年到 2030 年影响承载力的主要变量的变化看,人均 GDP 增长了 5 倍、单位 GDP 用水减少了 95%、单位农业需水占总需水的比例降低 17%、入河污水口保留个数减少了 60%,可见在增加人均收入的同时,加大污染治理力度、扩大节水灌溉面

积、提高灌溉水利用系数、加大河流的监管保护力度是今后工作的重点。

3.3 充分利用当地水源 ,提高承载力的稳定性

水资源供需比的增加有利于水环境承载力的提高 ,规划中该市跨区域调水的比例提高了 3.4% ,增加了水环境承载力的不稳定性 ,因而需要增加污水处理厂回用水、雨洪水等当地水源供水比重 ,保证承载力的稳定性。

4 结 语

聊城市水环境承载能力评价结果显示 ,规划期内聊城市水环境承载力不断提高 ,GDP 增长较快 ,到 2030 年水环境承载力可以达到生态城市标准 ;“十一五”期间承受的发展压力较大。根据水环境承载能力特点 ,建议加大环保投资力度 ,提高农业灌溉水综合利用率 ,提高污水处理厂回用水、雨洪水资源的供水比例 ,以实现水资源的可持续利用、经济社会又好又快发展的目标。

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] 贾振邦 ,赵智杰 ,李继超 ,等.本溪市水环境承载力及指标体系[J].环境保护科学 ,1995 21(3) :8-11.
[3] 彭静 ,廖文根 ,赵奎霞 ,等.水环境承载的可持续性评价指标体系研究[J].水资源保护 ,2006 22(6) :14-24.
[4] 宋永昌.城市生态学[M].上海 :华东师范大学出版社 ,2000.
[5] 许有鹏.干旱区水资源承载能力综合评价研究[J].自然资源学报 ,1993 8(3) :230-232.
[6] 余红 ,安玉坤 ,沈珍瑶 ,等.济南小清河水环境承载力研究[J].水资源保护 ,2008 24(3) :34-36.
[7] 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[D].长春 :东北师范大学 ,2002.
[8] 彭静 ,李翀.广义水环境承载理论与评价方法[M].北京 :中国水利水电出版社 ,2006.
[9] 陈水利.模糊集理论及其应用[M].北京 :科学出版社 ,2005.

(收稿日期 :2008-09-19 编辑 :徐娟)

(上接第 32 页)

[12] OLAV S A ,DERWORT N ,CAMEOS G J L ,et al. Completely autotrophic nitrogen removal over nitrite in one single reactor[J]. Wat Res ,2002 36 :2475-2482.
[13] HELMER C ,KUNST S. Nitrogen loss in a nitrifying biofilm system[J]. Wat Sci Tech ,1999 39(7) :13-21.
[14] MICHAEL N ,ANISETTE B ,OLAV S ,et al. Kinetics , diffusional limitation and microscale distribution of chemistry and organisms in a CANON reactor[J]. FEMS Microbiol Ecol ,2005 51(2) :247-256.
[15] 石利军 ,杨凤林 ,张兴文. 有氧条件下 ANAMMOX 反应及其在 HABR 反应器中实现[J]. 大连理工大学学报 ,2007 47(3) :338-343.
[16] 王亚宜 ,彭永臻 ,王淑莹 ,等. 碳源和硝态氮浓度对反硝化聚磷的影响及 ORP 的变化规律[J]. 环境科学 ,2004 ,25(4) :54-58.
[17] GUVEN D ,DAPENA A ,KARTAL B ,et al. Propionate oxidation by and methanol inhibition of anaerobic ammonium-oxidizing bacteri[J]. Appl Environ Microbiol ,2005 71(2) :1066-1071.
[18] KERRN-JESPERSEN J P ,HENZE M ,STRUBE R. Biological phosphorus release and uptake under alternating anaerobic and anoxic conditions in a fixed-film reactor[J]. Wat Res ,1994 ,28 :1253-1255.

[19] JIANG Y F ,WANG L ,WANG B Z ,et al. Biological nitrogen removal with enhanced phosphate removal in(AO)SBR using single sludge system[J]. Journal of Environ Sci ,2004 ,16(6) :1037-1040.
[20] STROUS M ,KUENEN J G ,JETTEN M S M. Key physiology of anaerobic ammonium oxidation[J]. Appl Environ Microbiol ,1999 65(7) :3248-3250.
[21] EGLI K ,FANGER U ,ALVATEZ P J J ,et al. Enrichment and characterization of an anammox bacterium from a rotating biological contactor treating ammonium-rich leachate[J]. Arch Microbiol ,2001 ,175 :198-207.
[22] 吉芳英 ,高茜 ,袁春华. 温度和 COD 对 SBR 反硝化同时除磷系统除磷能力的影响[J]. 安全与环境学报 ,2005 ,5(6) :30-33.
[23] 阮文权 ,邹华 ,陈坚. 厌氧氨氧化混培菌的获得及其运行条件[J]. 重庆环境科学 ,2002 24(6) :30-33.
[24] 杨洋 ,左剑恶 ,沈平等. 温度、pH 值和有机物对厌氧氨氧化污泥活性的影响[J]. 环境科学 ,2006 27(4) :691-695.
[25] 蒋轶锋. 短程反硝化除磷工艺特征及运行效能研究[D]. 哈尔滨 :哈尔滨工业大学 ,2006.
[26] STROUS M ,FUERST J A ,KRAMER E H M ,et al. Missing lithotroph identified as new planctomycete[J]. Nature ,1999 ,400 :446-469.

(收稿日期 :2008-05-29 编辑 :高渭文)