

文章编号: 1000-5013(2008)01-0094-03

厦门城市水环境承载力综合指标体系评价

刘启明, 张晨岚, 林锦美, 李 欣

(集美大学 生物工程学院, 福建 厦门 361021)

摘要: 以厦门市为研究区域, 结合厦门的区域环境与社会经济现状及发展规划, 通过建立综合指标体系, 应用系统动力学模型方法对厦门城市现状水平年(2005 年)、规划水平年(2010, 2015, 2020, 2025, 2030, 2050 年)的水环境承载力作出初步分析. 通过对 6 个与水资源和水环境密切相关的综合性指标的模拟计算并归一化处理, 结果表明, 厦门市水环境承载力是一个波动的趋势, 主要是由于供需比的变化, 以及工业废水达标率、城市污水处理率和人均供水量的变化的影响.

关键词: 城市水环境; 承载力; 系统动力学模型; 区域环境; 发展规划; 厦门

中图分类号: X 143

文献标识码: A

城市水环境承载力是指城市在一定时期和状态下, 水环境条件对该城市的经济发展和生活需求的支持能力. 它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^[1-4]. 城市水环境某时期的承载力分析, 需通过水质调查分析、水质规划、供水工程与污水处理回收等措施的优化组合才能进行. 其目标是保护现实的或拟定的水环境结构不发生明显的, 不利于人类生存的方向性改变, 以保障水环境系统功能的可持续正常发挥. 国内外对水环境承载力的研究尚无统一和成熟的方法. 系统动力学模型方法以反馈控制理论为基础, 将地区人口、环境、社会与发展统一纳入发展计划, 采用环境计量系统进行分析, 通过环境与发展之间的相互关系, 对地区环境承载能力作出综合评价^[5]. 福建省厦门市地处我国东南沿海, 河流多为山溪性河流, 地表径流的年际变化大、年内分配不均, 境内水利工程可供水量不足总地表径流量的 30%, 是个淡水资源十分匮乏的海滨城市^[6]. 2005 年, 从厦门市 16 个监测点监测结果显示, 除两座中型水库和九龙江北溪江东取水口作为供水水源地的水质达标外, 其余监测点的水质均受到不同程度的污染, 其中氮、磷的超标较为普遍; 厦门海域水质污染严重, 呈现富营养化, 主要超标污染物是无机氮与活性磷酸盐. 本文从水资源的开发利用现状、水环境状况和水环境功能区划等多个角度, 通过系统动力学模型, 计算出厦门市现状水平年和规划水平年的水环境承载力大小, 进而提出提高厦门市水环境承载能力的对策与建议.

1 综合指标体系构建

基于系统动力学模型的参数设置, 结合厦门市的具体情况, 本研究选用 6 个与水资源和水环境密切相关的综合性指标. 它们分别是单位工业废水排放量的生产总值、单位耗水量的生产总值、水资源供需比、工业废水排放达标率、城市污水处理率、人均供水量.

由于水体承载力的各个分量具有不同的量纲, 而且其绝对数值的数量级也相差很大. 因此, 为了比较其大小, 首先必须对其各分量进行归一化处理.

假设一个地区在指定经济发展规划时, 有 m 个政策, 在一定的规划期内, 就有 m 个水环境承载力. 又假设此 m 个水体承载力为 $E_j (j = 1, 2, 3, \dots, m)$, 每个水体承载力由 n 个具体指标确定的分量组成, 每个指标的权重为 $w_i (i = 1, 2, \dots, n)$, 即有 $E_j = (E_{1j}, E_{2j}, \dots, E_{nj})$. 进行归一化处理后, 有 $E_j = (E_{1j},$

收稿日期: 2007-10-26

作者简介: 刘启明(1973-), 男, 副教授, 博士, 主要从事水环境科学的研究. E-mail: lqm163@163.com.

基金项目: 福建省自然科学基金计划资助项目(D0710021)

E_{2j}, \dots, E_{nj}). 其中, $E_{ij} = E_{ij} / \sum_{i=1}^m E_{ij}$. 这样, 第 j 个水体承载力的大小可用归一化后的矢量的模表示, 即

$$|E_j| = \left[\sum_{i=1}^n (w_i E_{ij})^2 \right]^{1/2}.$$

(1)

上述各个指标权重的确定选用层次分析法^[7]. 按照选取的指标体系, 单位工业废水排放量的生产总值(y_1), 单位耗水量的生产总值(y_2), 水资源供需比(y_3), 工业废水排放达标率(y_4), 城市污水处理率(y_5), 人均供水量(y_6)用成对比较法, 得到正负反阵(标度 a_{ij} 的取值方法依据如表 1 所示)为

	y_1	y_2	y_3	y_4	y_5	y_6
y_1	1	1	1/5	1/3	1/2	1/3
y_2	1	1	1/5	1/3	1/2	1/3
y_3	5	5	1	2	3	2
y_4	3	3	1/2	1	2	2
y_5	2	2	1/3	1/2	1	2
y_6	3	3	1/2	1/2	1/2	1

表 1 标度 a_{ij} 的取值方法依据及定义

Tab. 1 The meaning of the index a_{ij}

a_{ij}	定义
1	y_i 和 y_j 同样重要
3	y_i 比 y_j 稍微重要
5	y_i 比 y_j 明显重要
7	y_i 比 y_j 强烈重要
9	y_i 比 y_j 极端重要

按下列方法求向量迭代序列: $e_0 = (1/n, 1/n, \dots, 1/n)^T$, $e'_k = Ae_{k-1}$, $\|e'_k\|$ 为 Ae_{k-1} 的 n 个分量之和, $e_k = e'_k / \|e'_k\|$, $k = 1, 2, \dots$. 数列 e_k 是收敛的, 记其极限为 e , 且记 $e = (a^1, a^2, \dots, a^n)$. 于是, 取权重系数 $w = a$. 经计算, 得出矩阵的权向量 $w = (0.018, 0.018, 0.529, 0.216, 0.101, 0.118)$.

2 水环境承载力计算与分析

根据《2002– 2005 年厦门市水资源公报》、《2000– 2005 年厦门市环境质量公报》及《2003 年厦门市城市总体规划编修》等现有资料, 结合厦门市的中长期发展规划, 可以得到 2005, 2010, 2015, 2020, 2025, 2030, 2050 年各个指标的数据, 如表 2 所示.

表 2 厦门市水环境承载力各指标数据

Tab. 2 The values of the index of the bearing capacity of water environment of Xiamen in different years

指标	2005 年	2010 年	2015 年	2020 年	2025 年	2030 年	2050 年
y_1 /亿元·万 m ⁻³	0.26	0.31	0.28	0.19	0.16	0.18	0.13
y_2 /元·m ³	166.9	259.7	314.5	256.4	245.1	300.3	259.1
y_3	1.0	0.6	0.6	1.0	0.9	0.8	1.0
y_4 /%	95.30	91	85	80	78	75	95
y_5 /%	75.80	85	86	88	90	92	95
y_6 /m ³	274	225	242	367	390	361	468

将上述各值利用系统动力学模型计算^[5], 可得出厦门市水环境的各个指标在不同年份的模拟数据, 再将各指标在不同年份的输出结果进行归一化. 即将权向量代入式(1)中, 可计算出现有条件下不同年份的水环境承载力, 如表 3 所示. 由表 3 可见, 如果按现状发展, 厦门城市水承载力是一个波动趋势. 引

表 3 厦门市水环境承载力各指标归一化量值

Tab. 3 The values of the index and the bearing capacity of water environment of Xiamen in different years

指标	y_1	y_2	y_3	y_4	y_5	y_6	E
权重	0.018	0.018	0.529	0.216	0.101	0.118	1.000
2005 年	0.171	0.092	0.169	0.159	0.124	0.118	0.098
2010 年	0.205	0.143	0.102	0.153	0.139	0.097	0.066
2015 年	0.188	0.175	0.102	0.140	0.139	0.104	0.065
2020 年	0.128	0.143	0.169	0.134	0.146	0.158	0.097
2025 年	0.103	0.142	0.153	0.131	0.146	0.167	0.089
2030 年	0.120	0.166	0.136	0.124	0.150	0.156	0.080
2050 年	0.085	0.143	0.169	0.159	0.157	0.200	0.100

起水环境承载力变化最主要的原因是水资源供需比的变化, 其次是工业废水达标率、城市污水处理率和

人均供水量的变化. 厦门市这些指标变化的原因主要是, 随着城市人口和用水量的不断增加, 厦门市单一水源、单一管线的供水模式使得 2010, 2015 年的水资源供需比和人均供水量明显下降. 到 2020 年, 由于莲花水库、长泰龙津溪引水和石兜水库配套工程(提供约 12 亿 m^3 的水量)的建成, 水资源供需比和人均供水量会有所反弹. 但随着人口增长, 经济发展对水的需求不断增长, 2020 年以后, 已有的水利工程已不能满足厦门的需水要求, 所以又造成上述两个指标值的下降; 到了 2050 年厦门市的各项城市功能协调, 达到理想状态, 使得上述两个指标的值逐渐增大.

3 结 论

本文利用系统动力学模型方法, 对厦门市的水环境承载力进行量化. 根据计算结果, 2015, 2020, 2025, 2030, 2050 年, 厦门市的水环境承载力波动的趋势主要原因是由于供需比的变化, 以及工业废水达标率、城市污水处理率和人均供水量的变化的影响.

针对上述问题分析, 结合厦门市社会经济长远发展规划, 从可持续发展角度提出对水资源开发利用与水环境保护, 具体有如下 3 点应对措施. (1) 挖掘水利工程供水能力. 改变目前单一供水的安全隐患, 通过水利工程项目建设, 大力挖掘水资源利用潜力, 增加供水来源. (2) 提高污水处理回用率及配套基础设施建设. 厦门市污水处理能力较强, 污水处理率为 75.8%, 但目前污水的回用量很少, 不到污水处理总量的 1%. 因此, 急需加快市政配套基础设施建设, 采用“小型分散、滚动发展、就地回用”的方式, 逐步提高污水处理回用率. (3) 加大海水综合利用力度. 厦门市目前的海水利用是未经淡化等处理, 形式单一, 应多渠道综合开发利用海水资源, 实施海水有效补充淡水工程, 建设海水利用重点项目, 培育海水利用新兴产业, 加快推进海水作为第二水源进程.

参考文献:

- [1] 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.
- [2] 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.
- [3] 汪恕诚. 水环境承载能力分析与调控[J]. 水环境论坛, 2001, 33(S1): 1-7.
- [4] 左其亭, 马军霞, 高传昌. 城市水环境承载能力研究[J]. 水科学进展, 2005, 16(1): 103-108.
- [5] DURGA R K H V. Multi-criteria spatial decision analysis for forecasting urban water requirements: A case study of Dehradun city, India [J]. Landscape and Urban Planning, 2005, (71): 163-174.
- [6] 刘启明, 曹英兰, 林锦美. 厦门市水资源利用与可持续发展研究[J]. 水资源保护, 2006, 22(S2), 95-96.
- [7] XEVI E, KHAN S. A multi-objective optimisation approach to water management [J]. Journal of Environmental Management, 2005, (77): 269-277.

The Study of Bearing Capacity of Water Environment in Xiamen

LIU Qi-ming, ZHANG Chen-lan, LIN Jin-mei, LI Xin

(School of Biotechnology Engineering, Jimei University, Xiamen 361021, China)

Abstract: In this paper, we study the bearing capacity of water environment in Xiamen city by sysdynamic method. The obtained values of the bearing capacity of water environment in 2005, 2010, 2015, 2020, 2025, 2030 and 2050, respectively, were 0.098, 0.066, 0.065, 0.097, 0.089, 0.080 and 0.100. This tendency is mainly attributed to the changes of the index values, especially the ratio of water supply to demand, the status of water pollution control and average water supply amount.

Keywords: city water environment; the bearing capacity; sysdynamic method; region; develop program; Xiamen

(责任编辑: 黄仲一)