

广州花都狮岭(江城)产业转移工业园水环境承载力研究

尹翠琴¹, 金腊华¹, 范利平²

(1. 暨南大学环境工程学院, 广东 广州 510632; 2. 珠江水资源保护科学研究所, 广东 广州 510611)

摘要 在实地调查广州花都狮岭(江城)产业转移工业园水环境现状的基础上, 建立了其水环境承载力定量化计算指标体系模型, 采用层次分析法确定每个指标的权重, 用数理统计方法将指标进行无量纲化处理, 计算出该产业转移园现状年和预测年的水环境承载力综合指数。计算结果表明, 在不采取任何环境保护措施的情况下, 工业园区水环境承载力指数将不断下降。

关键词 水环境承载力 指标体系 层次分析法 工业园 广州

中图分类号 X826 **文献标识码** A **文章编号** 1004-6933(2009)01-0036-04

Water environmental carrying capacity of Guangzhou Huadushiling (Jiangcheng) Industrial Transfer Park

YIN Cui-qin¹, JIN La-hua¹, FAN Li-ping²

(1. College of Science and Technology, Jinan University, Guangzhou 510632, China; 2. Pearl River Water Resources Protection Scientific Research Institute, Guangzhou 510611, China)

Abstract : An index system model was established for quantitatively calculating the water environmental carrying capacity of Guangzhou Huadushiling (Jiangcheng) Industrial Transfer Park based on investigation of the present status of its water environment. The weight of each index was determined using the hierarchy analytic process, and the dimension of each index was statistically made to be zero. The comprehensive indices of water environmental carrying capacity of the present year and a forecasted year were calculated. The results show that the comprehensive index will decline without water environmental protection measures.

Key words : water environmental carrying capacity; index system; hierarchy analytic process; industrial park; Guangzhou

目前,我国沿海地区重工业产业的发展受到了资源、环境、市场的制约,产业转移工业园区的建设成为新亮点。为了不重蹈‘先污染,后治理’的覆辙,实现区域经济发展与区域环境保护的协调发展,产业转移工业园的水环境问题亟待研究。

水环境承载力是指在一定时期、一定生产力发展水平下,某地区的水环境在生态系统保持良好状态时,所能持续供给当代和后代人活动作用的阈值。它的大小是决定人类社会发展和规模的重要因素^[1]。目前对水环境承载力的研究主要集中在国内,如 2000 年蒋晓辉等^[2]采用多目标函数界定了水环境承载力的承载对象 张文国等^[3]从水环境承载力概念的模糊性入手,运用模糊优选理论分析了华北某

地下水环境承载力的变化趋势 涂峰武^[4]以西洞庭湖为例,构建湖泊流域水环境承载力模型,预测分析其水资源承载力,为湖泊管理提供科学依据。

1 研究区概况

广州花都狮岭(江城)产业转移工业园拟建于阳江市江城区,园区选址于阳江市西部,东西两侧是漠阳江的东河和西河。漠阳江是阳江市的母亲河和主要饮用水源。工业园区位于市区建成区和市自来水取水点的附近。园区规划总用地面积 465.2 hm²,拟用 6 年时间完成,计划分 4 期进行,实行滚动开发,逐步完善。其中首期开发用地 120.7 hm²。该产业转移园首期工程与漠阳江相邻,工业园污水处理

达标后排入中洲大道排污渠,经过大约 3 km 的距离流入漠阳江西干流。根据《广东省地表水环境功能区划(试行方案)》,漠阳江西干流的纳污河段执行地表水Ⅲ类标准。工业园污水排放去向如图 1 所示。

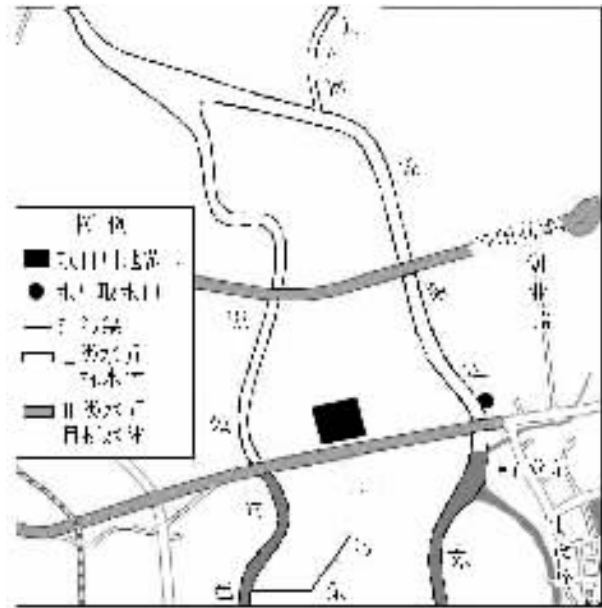


图 1 江城工业园污水排放去向

2 工业园水环境承载力的定量表述模型

2.1 指标体系的建立

定量表述水环境承载力的关键是水环境承载力指标体系的建立,其核心是用什么指标体系反映‘社会-经济-环境’系统的发展规模与质量。同时承载力指标体系并不仅仅是水环境承载力大小的评判依据,也应该是水环境承载力大小的决策工具。

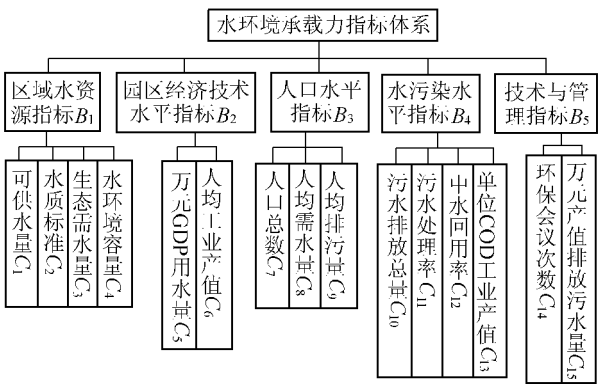
影响水环境承载力大小的因素众多,笔者通过对江城产业转移工业园区区域水环境的实地调查分析,构造了研究水环境承载力指标体系(图 2)。

2.2 层次分析法确定指标权重

层次分析法(AHP)是美国运筹学家 Saaty 于 20 世纪 70 年代提出的一种对复杂现象的决策思维进行系统化、模型化、数量化的方法,又称为多层次权重分析决策法。该方法的特点是在对复杂的决策问题的本质、影响因素及其内在关系等进行深入分析的基础上,利用较少的定量信息使决策的思维过程数学化,从而为多目标、多准则或无结构特性的复杂问题提供简便的决策方法^[5]。尤其适合对决策结果难以直接准确计量的场合,目前已广泛应用于各个领域评价的权重确定。

2.2.1 建立判断矩阵

层次结构模型图确定了上下层元素之间的隶属关系,根据准则层对目标影响的相对重要程度,通过两两比较下一层各指标对上一层次某因素的相对重



C_1 为当地市政给排水管道对该工业园的最大供水量,万 t/d ; C_2 为漠阳江西干流的纳污河段(距离园区污水输送管道大约 6km)的水质标准, mg/L ; C_3 为该工业园区内的生态绿化需水量, m^3/d ; C_4 为漠阳江西干流纳污断面上游 1 km 至纳污断面下游 5 km 范围的水环境(COD)容量, g/s ; C_5 为工业园区内所有企业的万元 GDP 消耗的平均水量, m^3 ; C_6 为工业园区内人均工业产值,万元/a ; C_7 为该工业园区区域内的人口总数,万人 ; C_8 为该工业园区区域内的人均需水量, L/d ; C_9 为该工业园区区域内的人均排放污水量, L/d ; C_{10} 为该工业园区区域内排放的生产和生活废水的总量, m^3/d ; C_{11} 为该工业园区污水处理厂的处理率,% ; C_{12} 为该工业园区内生产用水的中水回用率,% ; C_{13} 为该工业园区内排放单位 COD 的产值,万元/kg ; C_{14} 为该工业园区内每年召开环保会议的次数,次/a ; C_{15} 为该工业园区万元产值排放的污水量, L 。

图 2 江城产业转移工业园区区域水环境承载力指标体系模型

要性,根据 Saaty 标度法^[6],赋予一定分值 C_k ,形成判断矩阵。比较影响园区水环境承载力大小的各项指标,建立判断矩阵：

$$U_0 = \begin{bmatrix} B_1 & B_2 & B_3 & B_4 & B_5 \\ 1 & 1/5 & 1/3 & 1/5 & 5 \\ 5 & 1 & 3 & 1 & 7 \\ 3 & 1/3 & 1 & 1/3 & 5 \\ 5 & 1 & 3 & 1 & 5 \\ 1/5 & 1/7 & 1/5 & 1/5 & 1 \end{bmatrix} \begin{matrix} B_1 \\ B_2 \\ B_3 \\ B_4 \\ B_5 \end{matrix}$$

$$U_1 = \begin{bmatrix} C_1 & C_2 & C_3 & C_4 \\ 1 & 3 & 5 & 3 \\ 1/3 & 1 & 3 & 1/3 \\ 1/5 & 1/3 & 1 & 1/5 \\ 1/3 & 3 & 5 & 1 \end{bmatrix} \begin{matrix} C_1 \\ C_2 \\ C_3 \\ C_4 \end{matrix}$$

$$U_2 = \begin{bmatrix} C_5 & C_6 \\ 1 & 3 \\ 1/3 & 1 \end{bmatrix} \begin{matrix} C_5 \\ C_6 \end{matrix} \quad U_3 = \begin{bmatrix} C_7 & C_8 & C_9 \\ 1 & 1/3 & 1/5 \\ 3 & 1 & 1/3 \\ 5 & 3 & 1 \end{bmatrix} \begin{matrix} C_7 \\ C_8 \\ C_9 \end{matrix}$$

$$U_4 = \begin{bmatrix} C_{10} & C_{11} & C_{12} & C_{13} \\ 1 & 1/3 & 3 & 3 \\ 3 & 1 & 5 & 5 \\ 1/3 & 1/5 & 1 & 1/3 \\ 1/3 & 1/3 & 3 & 1 \end{bmatrix} \begin{matrix} C_{10} \\ C_{11} \\ C_{12} \\ C_{13} \end{matrix} \quad U_5 = \begin{bmatrix} C_{14} & C_{15} \\ 1 & 1/5 \\ 5 & 1 \end{bmatrix} \begin{matrix} C_{14} \\ C_{15} \end{matrix}$$

2.2.2 确定准则层各因素的权重系数

特征向量代表了各指标对上一层次因素影响大

小的权重,本文采用方根法计算判断矩阵的最大特征值及相对应的特征向量。

- a. 计算判断矩阵每一行元素的乘积 M_i ；
- b. 计算 M_i 的 n 次方根 $:V_i = \sqrt[n]{M_i}$ ；
- c. 对向量 $V = (V_1, V_2, \cdots, V_i)$ 进行归一化处理

理, $w_i = V_i / \sum_{j=1}^n V_j$, 则向量 $W = (w_1, w_2, \cdots, w_n)^T$ 就是所求 的特征向量, 即各指标的权重。

2.2.3 层次单排序及一致性检验

分别将各指标下的每个子指标的重要程度加以区分, 得出局部的单排序结果, 并检验单排序的一致性。

一致性指标

$$CI = (\lambda_{\max} - n) / (n - 1)$$

其中 $\lambda_{\max}$ 为最大特征值。

一致性比率

$$CR = CI / RI$$

其中 RI 为平均随机一致性指标。

若 $CR < 0.1$, 则认为判断矩阵的一致性是可以接受的 ; 若 $CR \geq 0.1$, 则需要对判断矩阵进行修正^[7]。

针对江城产业转移园的实际情况, 按照层次分析法的步骤, 最终确定指标体系中各指标的权重值 W 见表 1。

3 工业园水环境承载力研究

该工业园首期工程于 2008 年完工, 笔者计算水环境承载力时预测年份到 2014 年, 主要研究的是园

区在现状水质标准的要求下, 生态需水量、人口总数、污水排放总量不断增加, 而万元 GDP 用水量、人均需水量、人均排放污水量、污水处理率、中水回用率、单位 COD 工业产值、环保会议次数都不变的情况下的水环境承载力, 其中各项指标数据的预测依据是广州花都狮岭(江城)产业转移工业园首期环境影响评价报告书, 见表 2。

3.1 评价指标的无量纲化

由于每个指标的衡量单位不同, 级差有大有小, 趋向也不一定一致, 在多指标问题研究中一般都要对指标作无量纲化处理, 这里采用数理统计学方法对上述 15 项指标进行无量纲化处理^[8], 即 :

$$x_{it} = (x_{it}^0 - \bar{x}_i) / s_i$$

$$\bar{x}_i = \frac{1}{m} \sum_{t=1}^m x_{it}^0 \quad s_i = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{t=1}^m (x_{it}^0 - \bar{x}_i)^2}$$

式中 : x_{it} 为指标 i 在第 t 年的评价标准值 ; x_{it}^0 为与 x_{it} 相对应的原始值 ; $\bar{x}_i$ 为指标 i 的 m 年平均值 ; s_i 为指标 i 的样本标准差 ; m 为评价年数。

这里, 将预测的年份均看作一个样本。各评价指标标准值见表 3。

3.2 水环境承载力指数 R 计算

a. 分别计算指标层 5 项指标对水环境承载力的支持强度

$$R_{jt} = \sum_{i=1}^n \pm x_{it} w_{ji}$$

式中 : R_{jt} 为指标层中第 j 个指标在第 t 年对区域水环境承载力的支持强度 ; x_{it} 为子指标 i 在第 t 年的评价标准值 ; w_{ji} 为第 j 个指标下第 i 个子指标的权重 ;

表 1 各指标权重

B_i	B_1				B_2				B_3				B_4				B_5
W	0.096 0				0.358 8				0.161 6				0.341 4				0.042 0
C_i	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}	C_{14}	C_{15}		
W_i	0.490 9	0.150 7	0.067 1	0.291 3	0.75	0.25	0.104 7	0.258 3	0.637 0	0.241 0	0.532 7	0.074 4	0.151 8	0.166 7	0.833 3		

表 2 江城产业转移工业园水环境承载力指标值

年份	可供水量 $C_1 /$ (万 t·d ⁻¹)	水质标准 $C_2 /$ (mg·L ⁻¹)	生态需水量 $C_3 /$ (m ³ ·d ⁻¹)	水环境容量 $C_4 /$ (g·s ⁻¹)	万元 GDP 用水量 $C_5 /$ (m ³ /m ³)	人均工业产值 $C_6 /$ (万元·a ⁻¹)	人口总数 $C_7 /$ 万人	人均需水量 $C_8 /$ (L·d ⁻¹)	人均排污量 $C_9 /$ (L·d ⁻¹)	污水排放总量 $C_{10} /$ (m ³ ·d ⁻¹)	污水处理率 C_{11} /%	中水回用率 C_{12} /%	单位 COD 工业产值 $C_{13} /$ (万元·kg ⁻¹)	环保会议次数 $C_{14} /$ (次·a ⁻¹)	万元产值排污量 $C_{15} /$ L
2008	4.0	20	204.00	107.31	13.7	6.19	0.78	210	189	1 270.20	86.7	54.6	2.64	2	105.63
2010	4.8	20	492.78	106.90	13.7	6.21	1.31	210	189	2 136.10	86.7	54.6	2.64	2	105.63
2012	5.4	20	918.80	106.00	13.7	6.24	2.50	210	189	4 004.00	86.7	54.6	2.64	2	105.63
2014	6.0	20	1 116.40	105.60	13.7	6.26	3.20	210	189	4 894.85	86.7	54.6	2.64	2	105.63

表 3 各评价指标标准值

年份	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}	C_{14}	C_{15}
2008	- 1.419 05	1	- 1.342 33	1.255 114	1	- 1.299 87	- 1.223 29	1	1	- 1.252 77	1	1	1	1	1
2010	- 0.337 87	1	- 0.533 77	0.655 001	1	- 0.557 09	- 0.667 96	1	1	- 0.652 15	1	1	1	1	1
2012	0.473 02	1	0.661 13	- 0.662 320	1	0.557 09	0.578 90	1	1	0.643 49	1	1	1	1	1
2014	1.283 90	1	1.214 97	- 1.247 800	1	1.299 87	1.312 35	1	1	1.261 42	1	1	1	1	1

n 为第 j 个指标包含的子指标数目。

需要注意的是,在图 2 的评价指标体系中,如果指标数值越大水环境承载力越大时,上式应取正号,相反则取负号^[9]。

b. 计算水环境承载力综合指数

$$R = \sum_{j=1}^k R_{jt}w_j$$

式中： R_{jt} 为指标层中第 j 个指标在第 t 年对区域水环境承载力的支持强度； w_j 为指标层中第 j 个指标的权重； k 为指标层中的指标的数目。

江城产业转移工业园水环境承载力的相对指数大小计算结果见表 4。

表 4 江城产业转移工业园水环境承载力水平年和预测年的相对指数

年份	R_1	R_2	R_3	R_4	R_5	R
2008	-0.571 68	-0.425 03	-0.767 16	1.060 82	-0.666 60	0.002 81
2010	-0.161 53	-0.610 73	-0.825 32	0.916 07	-0.666 60	-0.083 26
2012	-0.067 12	-0.889 27	-0.955 91	0.603 82	-0.666 60	-0.301 84
2014	0.197 52	-1.074 97	-1.032 72	0.454 90	-0.666 60	-0.406 32

3.3 结果分析

由江城产业转移工业园水环境承载力的定量化计算结果(表 4 和图 3)可以看出：区域水资源指标 B_1 对水环境承载力的支持强度是不断上升的,因为水质标准不变,可供水量和生态需水量都是不断增加的； B_2 的支持强度是不断下降的,因为随着工程的投入运营,促进了当地的经济的发展,但是在预测状态下,污水处理率和中水回用率等有利于环境保护的措施都没有变化； B_3 和 B_4 对区域水环境承载能力的支持强度呈一直下降趋势,究其原因,主要是随着产业转移园二期、三期、末期工程的投产施工以及营运,区域人口数量快速增长,区域水资源需求量和排污量也会不断增大； B_5 在 2008~2014 年是一条直线,没有任何变动。因为在预测状态下, B_5 的 2 项指标(C_{14}, C_{15})的值在 2008~2014 年都没有任何改

- ◆ 区域水资源指标 B_1

▲ 水污染水平指标 B_4

✕ 园区经济技术水平指标 B_2

○ 技术与管理指标 B_5

▲ 人口水平指标 B_3

■ 园区水环境承载力指数 R

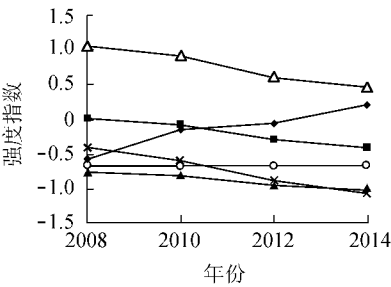


图 3 江城产业转移园水环境承载力及各子系统承载状况变化曲线

变,导致技术与管理指标 B_5 对园区水环境承载能力的支持强度一直不变。

江城产业转移工业园水环境承载力的预测结果是不断下降的,尤其在 2010 年以后。因预测的是在现状水质标准的要求下,在经济发展的同时没有采取更进一步的环保措施,导致随着经济的发展水环境污染越来越严重,水环境承载力下降。

因此,在以后的二期、三期以及末期工程的建设中,应该采取水环境保护措施,例如：减少万元 GDP 用水量和人均排放污水量 提高污水处理率、中水回用率、单位 COD 工业产值、环保会议次数等,以增大其水环境承载力,确保经济和环境保护协调发展。

4 结 语

本文建立了水环境承载力的指标体系结构模型,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、水环境保护会议等众多因素。

采用层次分析法计算每个指标的权重,尽量减少人为因素的干扰；为消除由评价指标量纲给承载力大小定量化带来影响,采用数理统计方法对每个指标数据进行无量纲化处理。从指标支持强度的变化趋势可以找出水环境承载力变化的原因,为该工业园未来的发展规划提供理论依据和决策支持。

参考文献：

[1] 赵卫,刘景双,孔凡娥.水环境承载力研究述评[J].水土保持研究,2007,14(1):47-50.

[2] 蒋晓辉,惠泱河.陕西关中地区水环境承载力研究[J].环境科学学报,2001,21(3):312-317.

[3] 张文国,杨志峰.基于指标体系的地下水环境承载力评价[J].环境科学学报,2002,22(4):541-544.

[4] 涂峰武.西洞庭湖流域水环境承载力分析与建模[J].湖南水利水电,2006(3):77-78.

[5] 王金山,谢家平.系统工程基础与应用[M].北京:地质出版社,1996:115-118.

[6] 戴佑斌,张尚根,周早生.模糊一致矩阵理论在地铁深基坑支护方案优选中的应用[J].岩土工程学报,2005,27(10):1162-1165.

[7] 李昱宇.基于层次分析法的质量安全风险评估[J].研究探索,2007(7):54-56.

[8] 田瑾,项静恬.经济、环境等非线性系统的预测和调控[M].北京:中国统计出版社,2001:152-154.

[9] 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.

(收稿日期:2008-01-15 编辑:傅伟群)