

# 辽中地区矿业城市水环境承载力研究

顾康康<sup>a,b</sup>, 刘景双<sup>a</sup>

(中国科学院 a. 东北地理与农业生态研究所, 长春 130012; b. 研究生院, 北京 100039)

**摘要:** 基于水环境系统的多种不确定性共存的特征, 利用盲数理论评价辽中地区矿业城市水环境承载力, 促进该地区水环境与人类活动的协调发展。建立了水环境承载力评价指标体系, 运用盲数理论将指标参数设置为盲数, 对辽中地区矿业城市水环境承载力进行了计算。结果表明: 1997—2005 年, 鞍山、抚顺水环境承载力属于临界安全, 本溪水环境承载力属于较安全。通过与确定性参数情形下进行对比分析, 水环境承载力盲数模型的计算结果是合理的, 具有较好的适用性, 具有推广应用价值。

**关键词:** 不确定性; 盲信息; 水环境承载力; 矿业城市

**中图分类号:** X523      **文献标志码:**      **文章编号:** 1674-4764(2009)01-0125-05

## Water Environment Carrying Capacity Assessment about Mining Cities in Central Liaoning Province

GU Kang-kang<sup>a,b</sup>, LIU Jing-shuang<sup>a</sup>

(a. Northeast Institute of Geography and Agricultural Ecology, CAS, Changchun 130012, P. R. China; b. Graduate University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100039, P. R. China)

**Abstract:** Blind number theory was used to evaluate water environmental carrying capacity (WECC) in mining cities of central Liaoning Province, P. R. China to prompt the balanced development of water environment with human activity. The research was based on the characteristics of water environment systems with numerous uncertainties such as random, fuzzy, and grey ones which may occur simultaneously or partially in a system. An indicator system for WECCs was established. The indicators were set as blind number and the WECC in mining cities of central Liaoning Province subsequently were calculated. Study results show that from 1997 to 2005, the WECCs in the mining cities Anshan and Fushun of central Liaoning Province were below the safe level, but the WECC in Benxi city was rather safe. By the comparative analysis of a system under uncertainty with that under a condition of certainty, the results of the blind number model regarding WECC was reasonable. This model is well adapted for WECC assessment.

**Key words:** uncertainty; blind information; water environmental carrying capacity; mining cities

随着水环境污染问题的日益严重, 人们逐渐认识到水环境质量的改善不仅需要把水污染防治与

联系, 也就是要保证区域水环境与社会经济的协调发展。水环境承载力正是表征水环境与人类活动协调程度的指标<sup>[1]</sup>。因此, 水环境承载力问题越来越

收稿日期: 2008-09-15

基金项目: 国家重点基础研究发展计划资助项目(2004CB418507)

作者简介: 顾康康(1982-), 男, 中国科学院博士研究生, 主要从事生态经济与区域可持续发展研究, (E-mail) gukangkang@neigae. ac. cn。

引起人们的关注。目前,应用于水环境承载力评价的方法主要有指数评价法、系统动力学方法、最优化方法和承载力分析法等<sup>[2-7]</sup>,但这些方法对水环境系统的不确定性、复杂性均考虑得不够。具有随机性、模糊性、灰性、未确知性两种或两种以上不确定性的信息称为盲信息,盲数是处理和表达盲信息的数学工具。笔者基于水环境承载力评价系统的多种不确定性共存的特征,尝试以盲数理论评价辽中地区矿业城市水环境承载力,从而为该类问题的研究提供一定的借鉴。

## 1 研究区域与研究方法

### 1.1 研究区域

辽中地区矿业城市包括鞍山、抚顺和本溪,面积 28 955 km<sup>2</sup>,占辽宁省总面积的 19.63%。其中,抚顺、本溪全部,鞍山东部地区属于辽东山地丘陵地带,鞍山其它地区属于辽河平原地带。该区域为暖温带大陆性季风气候,年均温 7~10℃,年均降雨量 650~900 mm,无霜期 130~170 d。地表径流比较丰富,共有大中小河流 200 余条,大型河流包括外辽河、浑河、太子河、富尔江、辉发河、清河等,分别属于辽河水系和鸭绿江水系,各河流均为汇入干流后注入渤海和黄海的外流河。矿产资源丰富,矿产种类齐全,是国内外少有的矿产资源富集区之一。森林覆盖率较高,鞍山达到 48%,抚顺为 64.5%,本溪为 69.1%(图 1)。2005 年,该地区人口达到 728.39×10<sup>4</sup>,占辽宁省 17.26%,GDP 为 1751.53×10<sup>8</sup> 元,占辽宁省 21.88%。第一、二、三产业产值比为 5.5:55.7:38.8,主导产业为石油加工、钢铁冶炼、建材生产和机械制造。

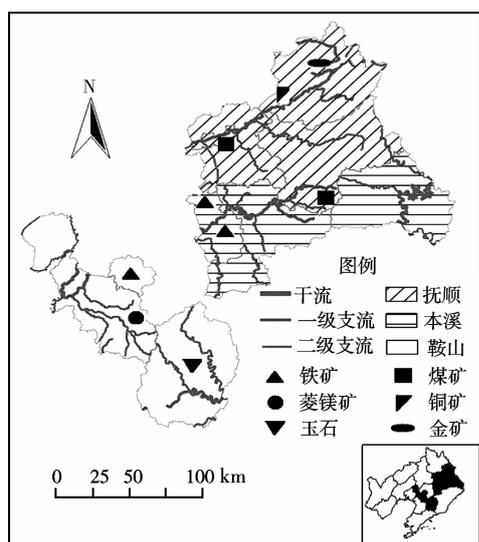


图 1 辽中地区矿业城市区位图

### 1.2 研究方法

1.2.1 水环境承载力评价的指标体系构建 水环境承载力大小的判断依据是各项具体的水环境承载力指标。依据水环境承载力评价指标体系相关研究成果<sup>[8-10]</sup>,并考虑资料的连续性和可获得性,从水资源、水环境污染和人类社会经济活动 3 方面,选取了 5 项指标,构建了辽中地区矿业城市水环境承载力评价指标体系。

1) 人均水资源量( $C_1$ )。根据“国际人口行动”人口和环境计划规定,人均水资源量少于 500 m<sup>3</sup> 将发生极度缺水,而人均水资源量为 2 000 m<sup>3</sup>,开发利用率为 15%左右的地区就是丰水区。所以取 2 000 m<sup>3</sup> 为最优值,500 m<sup>3</sup> 为最差值。

2) 水资源利用率( $C_2$ )。表示地区水资源开发潜力的指标。国际公认的水资源利用率不能超过 40%,这里取 15%为最优值,65%为最差值。

3) 水体净化需水率( $C_3$ )。反映了区域水体质量,20%为最优值,60%为最差值。

4) 单位 GDP 水耗( $C_4$ )。反映了用水效益,参考国家生态省建设指标以及相关论文数据<sup>[10]</sup>,取世界平均值 60 m<sup>3</sup>/万元为最优值,取研究区 1997—2005 年最差值 2 000 m<sup>3</sup>/万元为最差值。

5) 人均 GDP( $C_5$ )。反映一个国家或地区人均拥有的经济产出量,是反映经济发展水平的基本指标。按照国家生态省建设指标,东中部地区人均 GDP 为 4.5 万元,取 4.5 万元为最优值;根据 2000 年东中部地区人均 GDP 排名,安徽省人均 GDP 最低,达到 7 417 元,取 7 500 元为最差值。

1.2.2 资料来源与指标的量化 统计数据主要来自《辽宁省水资源公报 1997—2005》、《辽宁省统计年鉴 1997—2005》。因为各指标之间的量纲不统一,没有可比性,必须对各指标进行规范化处理。本文采用极差标准化方法。

对于越大越优(人均水资源量、人均 GDP)的指标采用公式:

$$R_i = (X_i - X_i^{\min}) / (X_i^{\max} - X_i^{\min}) \quad (1)$$

对于越小越优(水资源利用率、水体净化需水率、单位 GDP 水耗)的指标采用公式:

$$R_i = (X_i^{\max} - X_i) / (X_i^{\max} - X_i^{\min}) \quad (2)$$

其中, $R_i$  为指标量化值, $X_i$  为各指标实际值, $X_i^{\max}$  为评价标准中的最优值, $X_i^{\min}$  为评价标准中的最差值。对于越大越优型指标若其实际值大于最优值,指标量化值为 1,若其实际值小于最差值,指标值为 0;越小越优型指标反之。

1.2.3 评价模型的建立 目前,水环境承载力评价

方法仍不是很完善。鉴于水环境承载力评价涉及的学科领域较广,且评价指标也较为综合、全面,因此本文采用生态领域较为常用的综合评判方法来评价辽中地区矿业城市水环境承载力。公式如下:

$$V = \sum_{i=1}^n C_i \times W_i \quad (3)$$

式中,  $V$  是水环境承载力隶属度,  $W$  是各指标的权重,本文假定各指标作用大小一致,权重均为 0.2,  $C$  是水环境承载力各指标标准化的值,  $i$  为各个指标。

同时,依据国内外指标分级标准研究成果<sup>[11-13]</sup>和矿业城市具体情况,设计了 5 级水环境承载力水平等级划分标准(表 1)。

表 1 水环境承载力水平等级标准

水环境承载力隶属度	[0,0.2]	(0.2,0.4)	[0.4,0.6]	(0.6,0.8)	[0.8,1]
等级	不安全	较不安全	临界安全	较安全	安全

1.2.4 水环境承载力盲数模型的构建 盲数的定义和运算法则可参见文献<sup>[14-15]</sup>,这里不再赘述。由盲数的定义可以看出,如果将变量的已知数据序列值划分成若干小区间,并以区间内数据量占总数据量的百分比作为相应区间的可信度,可以将变量表示为盲数的形式。将上述各参数都定义为盲参数,公式(3)可以表述为:

$$V = 0.2 \sum_{i=1}^n \{ [C_{i1}, C_{im}], \varphi C_i(x) \} \quad (4)$$

公式(4)为水环境承载力盲数模型。由盲数的运算性质,可知式(4)的计算结果为盲数。根据给定的水环境承载力水平等级划分标准,由式(4)可以计算出水环境承载力属于各等级的主观可能性。

## 2 结果与讨论

### 2.1 水环境承载力盲数模型参数的确定

依据公式(1)、(2)可以计算出各指标的标准化值,根据数据信息的分布特征,按照水环境承载力水平等级划分标准分别将其划分为若干区间,以区间内数据与总数据之比作为相应区间的可信度,则可构造水环境承载力盲数,即

$$\varphi_{11}(C_1) = \begin{cases} 1; C_1 = [0,0.2] \\ 0; \text{其他} \end{cases}$$

$$\varphi_{12}(C_2) = \begin{cases} 0.78; C_2 = [0,0.2] \\ 0.11; C_2 = [0.2,0.4] \\ 0.11; C_2 = [0.4,0.6] \\ 0; \text{其他} \end{cases}$$

$$\varphi_{13}(C_3) = \begin{cases} 0.33; C_3 = [0.4,0.6] \\ 0.67; C_3 = [0.6,0.8] \\ 0; \text{其他} \end{cases}$$

$$\varphi_{14}(C_4) = \begin{cases} 0.22; C_4 = [0.6,0.8] \\ 0.78; C_4 = [0.8,1] \\ 0; \text{其他} \end{cases}$$

$$\varphi_{15}(C_5) = \begin{cases} 0.56; C_5 = [0.2,0.4] \\ 0.33; C_5 = [0.4,0.6] \\ 0.11; C_5 = [0.6,0.8] \\ 0; \text{其他} \end{cases}$$

$$\varphi_{21}(C_1) = \begin{cases} 0.33; C_1 = [0,0.2] \\ 0.67; C_1 = [0.2,0.4] \\ 0; \text{其他} \end{cases}$$

$$\varphi_{22}(C_2) = \begin{cases} 0.22; C_2 = [0.2,0.4] \\ 0.22; C_2 = [0.4,0.6] \\ 0.22; C_2 = [0.6,0.8] \\ 0.34; C_2 = [0.8,1] \\ 0; \text{其他} \end{cases}$$

$$\varphi_{23}(C_3) = \begin{cases} 0.22; C_3 = [0,0.2] \\ 0.34; C_3 = [0.2,0.4] \\ 0.22; C_3 = [0.4,0.6] \\ 0.22; C_3 = [0.8,1] \\ 0; \text{其他} \end{cases}$$

$$\varphi_{24}(C_4) = \begin{cases} 0.22; C_4 = [0.4,0.6] \\ 0.67; C_4 = [0.6,0.8] \\ 0.11; C_4 = [0.8,1] \\ 0; \text{其他} \end{cases}$$

$$\varphi_{25}(C_5) = \begin{cases} 0.44; C_5 = [0,0.2] \\ 0.56; C_5 = [0.2,0.4] \\ 0; \text{其他} \end{cases}$$

$$\varphi_{31}(C_1) = \begin{cases} 0.11; C_1 = [0,0.2] \\ 0.22; C_1 = [0.2,0.4] \\ 0.11; C_1 = [0.4,0.6] \\ 0.34; C_1 = [0.6,0.8] \\ 0.22; C_1 = [0.8,1] \\ 0; \text{其他} \end{cases}$$

$$\varphi_{32}(C_2) = \begin{cases} 0.11; C_2 = [0.2,0.4] \\ 0.11; C_2 = [0.4,0.6] \\ 0.22; C_2 = [0.6,0.8] \\ 0.56; C_2 = [0.8,1] \\ 0; \text{其他} \end{cases}$$

$$\varphi_{33}(C_3) = \begin{cases} 1; C_3 = [0.8,1] \\ 0; \text{其他} \end{cases}$$

$$\varphi_{34}(C_4) = \begin{cases} 0.11; C_4 = [0.2, 0.4] \\ 0.56; C_4 = [0.4, 0.6] \\ 0.33; C_4 = [0.6, 0.8] \\ 0; \text{其他} \end{cases}$$

$$\varphi_{35}(C_5) = \begin{cases} 0.44; C_5 = [0, 0.2] \\ 0.44; C_5 = [0.2, 0.4] \\ 0.12; C_5 = [0.4, 0.6] \\ 0; \text{其他} \end{cases}$$

其中  $\varphi_{11}$  至  $\varphi_{15}$  表示鞍山市 5 个指标的在各区间的可信度,  $\varphi_{21}$  至  $\varphi_{25}$  表示抚顺市 5 个指标的在各区间的可信度,  $\varphi_{31}$  至  $\varphi_{35}$  表示本溪市 5 个指标的在各区间的可信度。

## 2.2 水环境承载力盲数模型的计算

将上述盲数模型参数带入公式(4),通过盲数的

运算,可以得到辽中地区矿业城市水环境承载力的各种可能取值区间及其相应的可信度分布。由于水环境承载力区间存在重叠情况,不妨将每个灰区间取“心”,得到以实数形式表示的水环境承载力及其相应的可信度分布(表 2)。可以看出,鞍山市水环境承载力分布范围为 0.24~0.68,属于较不安全的可信度达到 13.17%,属于临界安全的可信度达到 86.83%,表明鞍山市 1997—2005 年水环境承载力总体上属于临界安全,水环境承载力比较稳定,但承载力水平相对较低;抚顺市水环境承载力分布范围为 0.12~0.76,属于较不安全的可信度达到 33.21%,属于临界安全的可信度达到 64.01%,属于较安全的可信度为 2.78%,表明抚顺市 1997—2005 年水环境承载力波动较大,

表 2 辽中地区矿业城市水环境承载力可能取值区间及其相应的可信度分布

鞍山			抚顺			本溪		
水环境承载力			水环境承载力			水环境承载力		
区间	心	可信度	区间	心	可信度	区间	心	可信度
[0.24, 0.44]	0.34	0.0187	[0.12, 0.32]	0.22	0.0015	[0.24, 0.44]	0.34	0.0006
[0.28, 0.48]	0.38	0.1130	[0.16, 0.36]	0.26	0.0138	[0.28, 0.48]	0.38	0.0053
[0.32, 0.52]	0.42	0.3707	[0.20, 0.40]	0.30	0.0508	[0.32, 0.52]	0.42	0.0185
[0.36, 0.56]	0.46	0.2446	[0.24, 0.44]	0.34	0.1076	[0.36, 0.56]	0.46	0.0428
[0.40, 0.60]	0.50	0.1165	[0.28, 0.48]	0.38	0.1585	[0.40, 0.60]	0.50	0.0898
[0.44, 0.64]	0.54	0.0302	[0.32, 0.52]	0.42	0.1874	[0.44, 0.64]	0.54	0.1482
[0.48, 0.68]	0.58	0.0063	[0.36, 0.56]	0.46	0.1830	[0.48, 0.68]	0.58	0.1798
其他	—	0	[0.40, 0.60]	0.50	0.1367	[0.52, 0.72]	0.62	0.1921
—	—	—	[0.44, 0.64]	0.54	0.0817	[0.56, 0.76]	0.66	0.1754
—	—	—	[0.48, 0.68]	0.58	0.0512	[0.60, 0.80]	0.70	0.1070
—	—	—	[0.52, 0.72]	0.62	0.0247	[0.64, 0.84]	0.74	0.0356
—	—	—	[0.56, 0.76]	0.66	0.0031	[0.68, 0.88]	0.78	0.0049
—	—	—	其他	—	0	其他	—	0

总体上属于临界安全,水环境承载力在 3 个城市中属于最低的;本溪市水环境承载力分布范围为 0.24~0.88,属于较不安全的可信度达到 0.59%,属于临界安全的可信度达到 47.92%,属于较安全的可信度为 51.49%,表明本溪市 1997—2005 年水环境承载力较高,总体上属于较安全状态,在 3 个城市中属于最高的。

## 2.3 水环境承载力盲数模型的验证

为了验证运用盲数理论计算辽中地区矿业城市水环境承载力的合理性,可将所得结果与常规的确定性方法计算结果比较。运用公式(3)可以得到确定性方法计算的辽中地区矿业城市水环境承载力(表 3),鞍山市 1997—2005 年水环境承载力属于较

不安全的年份有 3 年,占 33.33%,属于临界安全的占 66.67%;抚顺市 1997—2005 年水环境承载力属于较不安全的年份占 44.44%,属于临界安全的占 44.44%;属于较安全的占 11.12%;本溪市 1997—2005 年水环境承载力属于临界安全的占 44.44%;属于较安全的占 55.56%。可以看出,运用常规的确定性方法计算的水环境承载力与盲数理论计算的具有较强的一致性,表明盲数理论的计算结果是合理的。另外,相对于常规的确定性模型而言,运用盲数理论建立的水环境承载力计算模式是以一些灰区间数的形式反映各参数的动态性、不确定性以及不完整性特征,这较常规的确定性模型更为接近实际情况。

表3 确定性方法计算的辽中地区矿业城市水环境承载力

	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005
鞍山	0.31	0.47	0.35	0.42	0.48	0.37	0.41	0.44	0.47
抚顺	0.32	0.40	0.32	0.28	0.49	0.37	0.53	0.60	0.65
本溪	0.52	0.63	0.51	0.46	0.66	0.60	0.70	0.77	0.75

### 3 结 论

从水环境系统多种不确定性共存或交叉存在的角度,构建水环境承载力盲数模型。根据该模型,不仅可以得到水环境承载力的各种可能区间值,也可以得到各区间相应的可信度,从而为城市水环境污染治理和水资源管理提供丰富、有用的数据信息。通过辽中地区矿业城市的实例研究表明,将盲数理论运用于水环境承载力评价,理论上可行、计算结果可信。

#### 参考文献:

- [1] 王俭,孙铁珩,李培军,等. 基于人工神经网络的区域水环境承载力评价模型及其应用[J]. 生态学杂志, 2007,26(1):139-144.  
WANG JIAN, SUN TIE-HENG, LI PEI-JUN, et, al. Evaluation model of regional water environment carrying capacity based on artificial neural network and its application in Liaoning Province[J]. Chinese Journal of Ecology, 2007,26(1):139-144.
- [2] PETER H, GLEICK. Water in crisis: paths to sustainable water use[J]. Ecological Applications, 1998, 8(3):571-579.
- [3] MICHEL A R, FRANS H M, VAN D V. Different approaches to assessment of design and management of sustainable urban water systems [J]. Environmental Impact Assessment Review, 2000,20:333-345.
- [4] 袁伟,楼章华,田娟. 富阳市水资源承载能力综合评价[J]. 水利学报, 2008,39(1):103-108.  
YUAN WEI, LOU ZHANG-HUA, TIAN JUAN. Comprehensive evaluation of water resources carrying capacity in Fuyang City [J]. Journal of Hydraulic Engineering, 2008,39(1):103-108.
- [5] 左其亭. 城市水资源承载能力——理论,方法,应用[M]. 北京:化学工业出版社, 2005:115-122.
- [6] LAWSON S R, MANNING R E, VALLIERE W A, et al. Proactive monitoring and adaptive management of social carrying capacity in Arches National Park: an application of computer simulation modeling [J]. Journal of Environment Management, 2003,68(3):305-313.
- [7] MARIA B, ARJEN Y H, KATRIN R, et al. The economic impact of restricted water supply: a computable general equilibrium analysis [J]. Water Research, 2007,41:1799-1813.
- [8] 董东林,武强,钱增江,等. 榆神府矿区水环境评价模型[J]. 煤炭学报, 2006,31(6):776-780.  
DONG D L, WU Q, QIAN Z J, et, al. Water environment assessment model in Yushenfu mining area [J]. Journal of China Coal Society, 2006,31(6):776-780.
- [9] EMMANUEL M, ROSE M. An analysis of water consumption and prospects for implementing water demand management at household level in the city of Harare, Zimbabwe [J]. Physics and Chemistry of the Earth, 2005,30:925-934.
- [10] 刘树峰,陈俊合. 基于神经网络理论的水资源承载力研究[J]. 资源科学, 2007,29(1):99-105.  
LIU SHU-FENG, CHEN JUN-HE. Water resources carrying capacity based on the theory of ANN [J]. Resources Science, 2007,29(1):99-105.
- [11] ADNAN A H, STEPHEN R D. Sustainability indicators, policy and governance: issues for ecological economics [J]. Ecological Economics, 2006,60:86-99.
- [12] 黄和平,毕军. 基于物质流分析的区域循环经济评价——以常州市武进区为例[J]. 资源科学, 2006,28(6):20-27.  
HUANG HE-PING, BI JUN. Evaluating regional circular economy based on MFA: a case study in Wujin district of Changzhou city [J]. Resources Science, 2006, 28(6):20-27.
- [13] 顾康康,刘景双,窦晶鑫. 资源型城市生态承载力对土地利用变化的响应[J]. 生态与农村环境学报, 2007,23(2):7-11.  
GU KANG-KANG, LIU JING-SHUANG, DOU JING-XIN. Response of Ecological Carrying Capacity to the Change of Land Use in Mining cities [J]. Journal of Ecology and Rural Environment, 2007,23(2):7-11.
- [14] 刘开第,吴和琴,庞彦军. 不确定信数学处理方法及应用[M]. 北京:科学出版社, 1999.  
LIU KAI-DI, WU HE-QIN, PANG YAN-JUN. Mathematical process of uncertainty information and its application [M]. Beijing: Science Press, 1999.
- [15] 李如忠. 盲信息下城市水源水环境健康风险评价[J]. 武汉理工大学学报, 2007,29(12):75-79,87.  
LI RU-ZHONG. Environmental health risk assessment for water supply source under blind information [J]. Journal of Wuhan University of Technology, 2007,29(12):75-79,87.

(编辑 王秀玲)