

基于极大熵原理的水资源承载力模糊评价——以肥城市为例

梁春玲, 张祖陆

(山东师范大学人口资源与环境学院, 山东 济南 250014)

摘要 在分析区域水资源与水环境的基础上, 建立肥城市水资源承载力评价指标体系及评价标准, 采用基于极大熵原理的水资源承载力模糊评价模型, 定量计算区域水资源承载力, 对模型评价结果进行分析得出, 肥城市水资源承载力期望负荷值大于现状承载力, 并提出提高水资源承载力的途径及措施。

关键词 水资源承载力; 极大熵原理; 模糊评价; 肥城市

中图分类号: TV213; X824 文献标识码: A 文章编号: 1004-693X(2006)06-0035-03

Fuzzy assessment of water resources carrying capacity based on maximum entropy theory: A case study on Feicheng City

LIANG Chun-ling, ZHANG Zu-lu

(Institute of Population Resource and Environment, Shandong Normal University, Jinan 250014, China)

Abstract Based on the water resources and water environment status of Feicheng City, an assessment index system and an assessment standard for water resources carrying capacity were established. The regional water resources carrying capacity was computed quantitatively by the fuzzy evaluation model based on the maximum entropy theory. It is concluded that the expected capacity is larger than the present one. Furthermore, some measures are put forward for improvement of the water resources carrying capacity.

Key words water resources carrying capacity; the maximum entropy theory; fuzzy assessment; Feicheng City

1 肥城市概况

肥城市为山东省泰安市辖区之一。位于东经 116°28' ~ 116°59', 北纬 35°53' ~ 36°19' 之间, 总面积为 1 263 km², 属于北温带大陆性季风气候区, 多年平均气温 12.9℃, 多年平均降雨量为 654.6 mm。春冬两季少雨多风, 夏秋两季高温炎热且降雨集中。肥城市地势自东北向西南倾斜, 南部为平原, 其余为低山丘陵与平原相间分布。中部自东向西一系列低山将全市分为两大天然流域: 南部漕浊河流域及北部康汇河流域。康汇河流域在水文地质上是一个独立完整的自流水向斜盆地, 整个盆地的地表、地下水均向盆地中心集中, 然后在西南出口排泄, 南部漕浊河流域的地表及地下水受南低北高的地形影响, 向南排泄于漕浊河。全市地下水补给主要来自大气降水。

目前, 肥城市水污染比较严重, 个别地区的水污

染已从地表水、浅层地下水发展到深层地下水。2002 年肥城市水资源保护规划中的研究表明, 全市已不存在未受污染的河段。总体上看, 全市水环境污染状况分布不均, 北部肥城盆地污染较重, 南部平原地区污染较轻。综合地表和地下水来看, 北部水质比南部差。

2 基于最大熵原理的水资源承载力模糊评价

综合文献 [1-4] 及施雅风等 [5] 的观点, 本文将水资源承载力定义为: 在一定的社会经济水平和社会生产条件下, 水资源可最大供给工农业生产、人民生活 and 生态环境保护等用水的能力, 即现有条件下水资源的最大开发容量, 在此容量下水资源可自然循环和更新, 不会造成环境恶化。

水资源系统由于水文、水文地质条件的多样性、变异性和复杂性, 存在着大量的不确定性、不精确

性。这些性质具有模糊特征,模糊集理论可以较客观反映水资源承载力^[6],但没有考虑随机性带来的不确定性影响。“熵”以整体的观念去度量水文变量所含有的不确定性,而不是拘泥于每一个孤立的点,是对不确定性的更深层次的刻画^[7-8]。利用最大熵原理可以最大限度地消除水资源承载力评价中的不确定性,因此模糊集理论与最大熵原理的结合是评价水资源承载力的有效方法。

2.1 评价模型

设有 m 项评价指标的 n 个样本及 k 级 m 项评价指标的评价标准,于是有 k 级水资源承载力评价标准矩阵 S 和 n 个区域样本矩阵 C :

$$S = \begin{bmatrix} s_{11} & s_{12} & \cdots & s_{1k} \\ s_{21} & s_{22} & \cdots & s_{2k} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ s_{m1} & s_{m2} & \cdots & s_{mk} \end{bmatrix} = [s_{ih}]_{m \times k} \quad (1)$$

$$C = \begin{bmatrix} c_{11} & c_{12} & \cdots & c_{1n} \\ c_{21} & c_{22} & \cdots & c_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ c_{m1} & c_{m2} & \cdots & c_{mn} \end{bmatrix} = [c_{ij}]_{m \times n} \quad (2)$$

这是进行水资源承载力评价的基本资料,为进行模糊评价,需将矩阵(1)(2)规格化

$$e_{ih} = \frac{s_{ik} - s_{ih}}{s_{ik} - s_{i1}}$$

其中 s_{i1} 、 s_{ih} 、 s_{ik} 分别为 1、 h 、 k 级水资源承载力的标准值。这样可以将矩阵(1)转换为水资源承载力标准模糊矩阵:

$$E = \begin{bmatrix} e_{11} & e_{12} & \cdots & e_{1k} \\ e_{21} & e_{22} & \cdots & e_{2k} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ e_{m1} & e_{m2} & \cdots & e_{mk} \end{bmatrix} = [e_{ih}]_{m \times k}$$

区域样本值按式(3)或(4)转换

$$f_{ij} = \begin{cases} 1 & c_{ij} < s_{i1} \\ \frac{s_{ik} - c_{ij}}{s_{ik} - s_{i1}} & s_{i1} < c_{ij} < s_{ik} \\ 0 & c_{ij} > s_{ik} \end{cases} \quad (3)$$

$$f_{ij} = \begin{cases} 1 & c_{ij} > s_{i1} \\ \frac{c_{ij} - s_{ik}}{s_{i1} - s_{ik}} & s_{ik} < c_{ij} < s_{i1} \\ 0 & c_{ij} < s_{ik} \end{cases} \quad (4)$$

这样可以将区域样本值矩阵(2)转换为模糊矩阵:

$$F = \begin{bmatrix} f_{11} & f_{12} & \cdots & f_{1n} \\ f_{21} & f_{22} & \cdots & f_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ f_{m1} & f_{m2} & \cdots & f_{mn} \end{bmatrix} = [f_{ij}]_{m \times n}$$

设 n 个样本对 k 级承载力标准的隶属度模糊矩阵为

$$U = \begin{bmatrix} u_{11} & u_{12} & \cdots & u_{1n} \\ u_{21} & u_{22} & \cdots & u_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ u_{k1} & u_{k2} & \cdots & u_{kn} \end{bmatrix} = [u_{hj}]_{k \times n} \quad (5)$$

模糊矩阵(5)的约束条件

$$\sum_{h=1}^k u_{hj} = 1 \quad u_{hj} \geq 0$$

为消除随机性和模糊性,根据极大熵原理,应用拉格朗日函数得到基于最大熵原理的水资源承载力模糊评价模型^[9]:

$$u_{hj} = \frac{\exp\left[-B \sum_{i=1}^m (w_i |e_{ih} - f_{ij}|)\right]}{\sum_{h=1}^k \exp\left[-B \sum_{i=1}^m (w_i |e_{ih} - f_{ij}|)\right]} \quad (6)$$

式中: B 为正参数,一般取 10; w_i 为各项指标的权重,且满足

$$\sum_{i=1}^m w_i = 1 \quad w_i \geq 0$$

2.2 评价指标体系及评价标准的建立

水资源承载力评价指标的选择遵循可测性、可靠性及充分性原则。参照其他区域水资源承载力的指标体系^[1-5],在充分考虑肥城市水资源自然赋存量、开发利用方式和资料的获取性的基础上,选取 8 项评价指标,建立了肥城市水资源承载力评价指标体系。各指标的含义如下:

年人均供水量 = 总供水量 / 总人口

年供水模数 = 50% 降水频率年供水量 / 土地面积

灌溉率 = 灌溉面积 / 耕地面积

日人均城市生活用水量 =

日城市生活用水量 / 城市人口

日人均农村生活用水量 =

日农村生活用水量 / 农村人口

年需水模数 = 50% 降水频率年需水量 / 总人口

人口密度 = 总人口 / 土地面积

年人均工业产值 = 工业产值 / 总人口

根据研究区的具体条件,参照自然和社会经济条件与研究区相似的其他区域的水资源承载力评价标准^[1-2]并作出相应调整后,确定表 1 中水资源承载力的三级标准 V_1 、 V_2 、 V_3 ,且 V_1 级优于 V_2 级, V_2 级优于 V_3 级。表中部分指标及标准源于参考文献^[1-3]。研究区 2005、2010 年的各项评价指标的期望值见表 2。

2.3 评价结果

根据专家及当地水管理部门的意见,构造评价指标重要性的比较判断矩阵,应用层次分析法(AHP)确定出 8 个评价指标的权重向量为 (0.145, 0.125, 0.125, 0.124, 0.115, 0.125, 0.126, 0.115), $B = 10$ 。评价标准中 V_2 级的指标值取 V_1 、 V_3 的中间值。

表 1 肥城市水资源承载力评价标准

指标	年人均供水量/ ($\text{m}^3 \cdot \text{人}^{-1}$)	年供水模数/ ($\text{万 m}^3 \cdot \text{km}^{-2}$)	灌溉 率/%	日人均城市生活 用水($\text{m}^3 \cdot \text{人}^{-1}$)	日人均农村生活 用水($\text{m}^3 \cdot \text{人}^{-1}$)	年需水模数/ ($\text{万 m}^3 \cdot \text{人}^{-1}$)	人口密度/ ($\text{人} \cdot \text{km}^{-2}$)	年人均工业 产值/元
V_1	> 400	> 15	< 20	< 0.10	< 0.05	< 1	< 150	< 3000
V_2	400 ~ 200	15 ~ 1	20 ~ 60	0.10 ~ 0.30	0.05 ~ 0.10	15 ~ 1	150 ~ 300	3000 ~ 6000
V_3	< 200	< 1	> 60	> 0.30	> 0.10	> 15	> 300	> 6000

表 2 肥城市水资源承载力评价指标期望值

年份	年人均供水量/ ($\text{m}^3 \cdot \text{人}^{-1}$)	年供水模数/ ($\text{万 m}^3 \cdot \text{km}^{-2}$)	灌溉 率/%	日人均城市生活 用水($\text{m}^3 \cdot \text{人}^{-1}$)	日人均农村生活 用水($\text{m}^3 \cdot \text{人}^{-1}$)	年需水模数/ ($\text{万 m}^3 \cdot \text{人}^{-1}$)	人口密度/ ($\text{人} \cdot \text{km}^{-2}$)	年人均工业 产值/元
2005	236.19	18.70	80	0.20	0.08	24.33	792	4607
2010	229.23	18.70	80	0.25	0.10	26.34	816	6205

按照上述方法步骤处理数据,将处理后的数据代入式(6),即可得到最优分级计算结果,见表3。

表 3 肥城市水资源承载力评价结果

级别	2005 年	2010 年
V_1	0.011	0.015
V_2	0.489	0.061
V_3	0.500	0.924

由表3可知,2005和2010两个水平年肥城市水资源承载力的级别均为 V_3 级,且2010年的 V_3 隶属度为0.924,即该区缺水十分严重。2005年肥城市水资源承载力的级别隶属度 V_1 为0.011与 V_3 为0.500差距悬殊, V_2 为0.489与 V_3 差别不大,且隶属于 V_3 的程度不是特别突出,说明2005年肥城市水资源承载力虽然为 V_3 级,但接近 V_2 级;2010年水资源承载力的级别隶属度 V_1 为0.015与 V_3 为0.924相差更为悬殊,与2005年不同的是 V_2 级的隶属度为0.061,与 V_3 差距加大,即2010年肥城市水资源承载力隶属于 V_3 级的程度特别突出;2010年的 V_3 级隶属度0.924明显大于2005年的 V_3 级隶属度0.500,说明2010年与2005年相比,2010年缺水更为严峻。

以上分析说明,从2005至2010年随着经济的发展,工农业及生活用水量激增,水资源承载力的负荷越来越大,水资源短缺更趋严重。现状水资源承载力不能满足社会经济系统的需求,承载力期望负荷值过高。

3 结论及措施

通过分析表明,2005年及2010年肥城市水资源承载力的期望负荷值超出现状承载力。为保证国民经济持续健康发展及2010年远景目标的实现,一方面必须以水资源承载力能力考虑区域开发强度,另一方面必须采取措施提高水资源承载力。

a. 工程措施。实施小流域综合治理与生态建设工程以保护水源涵养区和改善城市环境;实施入河排污口优化控制与河道整治防渗处理工程;实施污水资源化处理和矿坑水综合利用工程以提高水资源

源利用率;实施地下水回灌防止地下漏斗扩大。

b. 管理措施。完善水资源保护管理体制和运行机制;加强水质动态监测,并进行水价动态管理;加强水资源监测,实施水资源优化调度,建立解决水资源时空分布与经济布局不匹配及水量型和水质型缺水问题的机制;建立谁耗费水量谁补偿,谁污染水质谁补偿,谁破坏水生态环境谁补偿的机制^[10]。

c. 法律法规措施。包括法律法规的建设和完善、依法行政。要认真宣传、坚决执行《中华人民共和国水法》、《中华人民共和国防洪法》、《中华人民共和国水土保持法》、《水资源管理条例》等法律法规,加大执法力度^[11]。

d. 宣传教育。利用广播、电视、网络等进行宣传,提高全社会的惜水、节水、保水意识。

参考文献:

- [1] 孙才志. 基于极大熵原理的黄河流域水资源承载力研究[J]. 资源科学, 2004, 26(2): 17-21.
- [2] 许有鹏. 城市水资源与水环境[M]. 贵阳: 贵州人民出版社, 2003: 186-201.
- [3] 田文苓. 区域水资源承载力与评价指标体系研究[J]. 海河水利, 2003(2): 42-43.
- [4] 郇建强, 陆桂华. 区域水资源承载能力综合评价的 GPMM[J]. 河海大学学报: 自然科学版, 2004, 32(1): 1-4.
- [5] 施雅风, 曲耀光. 乌鲁木齐河流域水资源承载力及其合理利用[M]. 北京: 科学出版社, 1992: 210-220.
- [6] 杨纶标, 高英仪. 模糊数学原理及应用[M]. 广州: 华南理工大学出版社, 2002: 122-126.
- [7] 张继国. 水文水资源中不确定性的信息熵分析方法综述[J]. 河海大学学报, 2000, 28(6): 33-35.
- [8] 曲英杰. 最大熵原理及应用[J]. 青岛建筑工程学院学报, 1996, 17(2): 95-99.
- [9] 张成科. 基于熵的水质模糊评价模型及应用[J]. 系统工程理论与实践, 1998(6): 80-83.
- [10] 刘健勇, 柳杨科. 龙口市水资源开发利用对策探讨[J]. 水资源保护, 2004(1): 66-68.
- [11] 王继新, 尹卫东. 黄河河口地区水资源开发利用中的问题与对策探讨[J]. 水资源保护, 2001(3): 47-48.

(收稿日期: 2005-04-04 编辑: 舒建)