

肥城市水资源承载力评价

梁春玲, 张祖陆

(山东师范大学人口资源与环境学院, 济南 250014)

摘要: 区域水资源承载力研究的目的是为了解决区域水资源承载力与区域水资源承载力的负荷值或期望负荷值之间的矛盾。由于水资源系统的复杂性和不确定性, 在分析区域水资源与水环境的基础上, 采用基于极大熵原理的水资源承载力模糊评价模型可有效的明确区域水资源承载力, 最终目的是研究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: P331

文献标识码: A

文章编号: 1005-3409(2006) 02-0223-03

Water Resources Carrying Capacity Assessment of Feicheng City

LIANG Chun-ling, ZHANG Zu-lu

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

Abstract: The aim of researching the water resources carrying capacity is to solve the contradiction between the present water resources carrying capacity and the load or the expected load of water resources carrying capacity. First, the authors analyze the water resource and the water environment of a region. Because the water resources system is complicated and ambiguous, a mathematics model according to the Jaynes maximum entropy in information theory on the base of fuzzy mathematics is applied to assess water resources carrying capacity. The model is optimum. Then, a conclusion is got: the water resources carrying capacity is very low and some measures which improve the water resources carrying capacity should be adopted.

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

随着社会经济的迅速发展、人口数量的持续增长、人民生活水平和城市化水平的不断提高, 水资源短缺将成为肥城市发展的制约因素。本文通过对当地水资源、水环境现状及其水资源供需平衡状况的分析, 采用基于极大熵原理的水资源承载力模糊评价模型, 明确水资源承载力的期望负荷值与现状承载力的符合程度, 为生产实践提供参考。

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 肥城市水资源供需平衡分析

需水量预测以肥城市“十五”规划及 2010 年远景目标为依据, 需水量及供水量均以 2000 年为现状年, 作 2005 年和 2010 年两个典型年分析, 对北部康汇河流域和南部漕浊河两个区域分别计算。肥城市水资源在 50% 的降水频率年供、需水量及余缺水量如表 1 所示。

由表 1 可见, 肥城市在 50% 的降水频率年, 北部康汇河区缺水严重, 2005 和 2010 年分别缺水 5 371.35 万 m³ 和 7 313.35 万 m³; 南部漕浊河区 2005 和 2010 年可达供需平衡。全市总体上两个水平年分别缺水 3 182.76 万 m³ 和 5 720.36 万 m³, 处于严重缺水局面。

由图 1a 可知, 在 50% 的降水频率年, 2005 年北部地表供水和南部基本持平, 而地下水由于肥城盆地良好的储水功能远多于南部, 但仍处于严重缺水状态, 南部尚可自给。这是因为北部经济发达、人口稠密, 用水量大所致; 北部水环境差, 污染比南部严重也是一个重要原因。供水量在两个水平

① 收稿日期: 2005-03-24

基金项目: 国家自然科学基金项目(40471122) 莱州湾南岸滨海平原咸水入侵驱动下土地覆被变化及机制研究

作者简介: 梁春玲(1982-), 女, 山东菏泽人, 在读硕士, 研究方向为水资源管理和评价; 张祖陆(1949-), 男, 上海市嘉定人, 教授, 博士生导师, 从事资源与环境调查, 环境演变方面的研究。

年不变, 比较图 1_{a、b} 可看出随经济发展, 至 2010 年南、北部需水量均增加, 且北部大于南部, 虽然南部仍可自给, 但全市缺水状况较 2005 年更加严重。

表 1 肥城市水资源供需平衡汇总表 10 ⁴ m ³						
分区	水平年	降水频率/%	需水量	地表供水	地下供水	余缺水量
北部	2005	50	20548	4092.9	11083.75	- 5371.35
	2010	50	22490	4092.9	11083.75	- 7313.35
南部	2005	50	10184	4218.7	8154.99	2189.69
	2010	50	10780	4218.7	8154.99	1593.69
全市	2005	50	30733	8311.6	15302.45	- 3182.76
	2010	50	33270	8311.6	15302.45	- 5720.36

注: 数据来源于 2002 年肥城市水资源保护规划。

3 基于最大熵原理的水资源承载力模糊评价

综合各文献^[1~3]及施雅风^[4]等的观点, 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

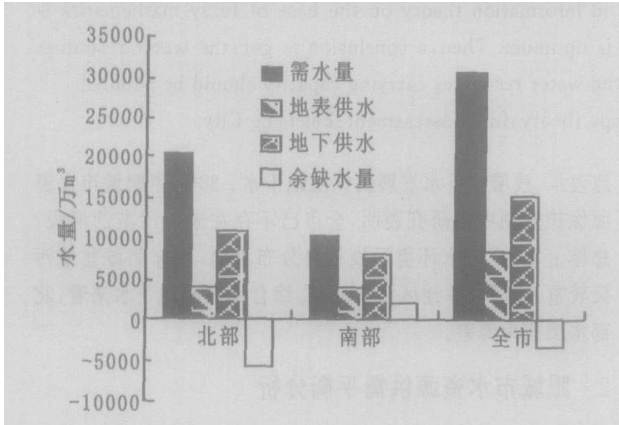


图 a 2005 年水资源供需状况

3.1 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和 n 个区域样本矩阵:

$$S = \begin{bmatrix} s_{11} & s_{12} & \dots & s_{1k} \\ s_{21} & s_{22} & \dots & s_{2k} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ s_{m1} & s_{m2} & \dots & s_{mk} \end{bmatrix} = [S_{ih}]_{m \times k} \quad (i = 1, 2, 3 \dots m \quad h = 1, 2, 3 \dots k) \quad (1)$$

$$C = \begin{bmatrix} c_{11} & c_{12} & \dots & c_{1n} \\ c_{21} & c_{22} & \dots & c_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ c_{m1} & c_{m2} & \dots & c_{mn} \end{bmatrix} = [C_{ij}]_{m \times n} \quad (i = 1, 2, 3 \dots m \quad j = 1, 2, 3 \dots n) \quad (2)$$

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, 转化为模糊矩阵, 按线性公式 (3) 确定 e_{ih} :

$$e_{ih} = \frac{S_{ik} - S_{ih}}{S_{ik} - S_{il}} \quad (3)$$

其中 S_{il} 、 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 (1) 转换为水资源承载力标准模糊矩阵:

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^[5]可以较客观反映水资源承载力, 但没有考虑随机性带来的不确定性影响。“熵”即一个随机事件的不确定性或信息量的量度。“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^[6]。Jaynes 的最大熵原理^[7]为: “当根据部分信息推理时, 必须选择这样一组概率分配, 它应具有最大的熵, 服从一切已知的信息。这是我们能够作出的惟一的无偏分配。”即在所有可行的解中, 在满足一定约束条件时, 应该选择其熵最大的一个, 从熵作为不确定程度的度量来看, 此时的解包含的主观成分最少, 因而是最客观的。利用最大熵原理可以最大程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。本文应用基于最大熵原理的水资源承载力模糊评价模型试图说明肥城市水资源承载力的期望负荷值与现状承载力的符合程度。

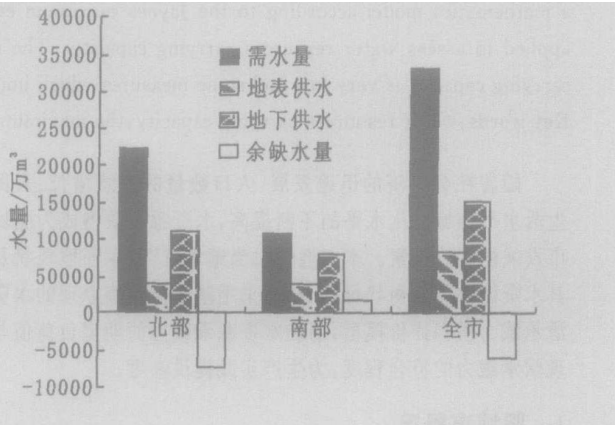


图 b 2010 年水资源供需状况

$$E = \begin{bmatrix} e_{11} & e_{12} & \dots & e_{1k} \\ e_{21} & e_{22} & \dots & e_{2k} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ e_{m1} & e_{m2} & \dots & e_{mk} \end{bmatrix} = [e_{ih}]_{m \times k} \quad (4)$$

区域样本值按公式 (5a) 或 (5b) 转换, 样本值越大承载力越强的指标按 (5b) 转换。

$$f_{ij} = \begin{cases} 1 & c_{ij} < s_{il} \\ \frac{s_{ik} - c_{ij}}{s_{ik} - s_{il}} & s_{il} < c_{ij} < s_{ik} \\ 0 & c_{ij} > s_{ik} \end{cases} \quad (5a)$$

$$f_{ij} = \begin{cases} 1 & c_{ij} > s_{il} \\ \frac{c_{ij} - s_{ik}}{s_{ik} - s_{il}} & s_{il} < c_{ij} < s_{ik} \\ 0 & c_{ij} < s_{il} \end{cases} \quad (5b)$$

这样可以将区域样本值矩阵 (2) 转换为模糊矩阵:

$$F = \begin{bmatrix} f_{11} & f_{12} & \dots & f_{1n} \\ f_{21} & f_{22} & \dots & f_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ f_{m1} & f_{m2} & \dots & f_{mn} \end{bmatrix} = [f_{ij}]_{m \times n} \quad (6)$$

设 n 个样本对 k 级承载力标准的隶属度模糊矩阵为:

$$U=\begin{bmatrix}u_{11}&u_{12}&\cdots&u_{1n}\\u_{21}&u_{22}&\cdots&u_{2n}\\\vdots&\vdots&\vdots&\vdots\\u_{k1}&u_{k2}&\cdots&u_{kn}\end{bmatrix}=[u_{ij}]_{k\times n}\quad(7)$$

其中模糊矩阵(7) 的约束条件为:

$$\sum_{h=1}^ku_{hj}=1,u_{hj}=0,j=1,2,\dots,n$$

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^[8]:

$$u_{ij}=\exp[-B\sum_{i=1}^m(w_i|e_{ih}-f_{ij}|)]/\sum_{h=1}^k\exp[-B\sum_{i=1}^m(w_i|e_{ih}-f_{ij}|)]\quad(8)$$

式中: w_i ——各项指标的权重, 且满足 $\sum_{i=1}^mw_i=1$, $w_i>0$, B ——正参数, 一般取 10。

3.2 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^[1~4]水资源承载力的指标体系, 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可获取性的基础上, 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, 如图 3 所示。各指标的含义如下:

- 年人均供水量= 总供水量/ 总人口($\text{m}^3/\text{人}$)
- 年供水模数= 50% 降水频率年供水量/ 土地面积($10^4\text{ m}^3/\text{km}^2$)
- 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($10^4\text{ m}^3/\text{人}$)
- 人口密度= 总人口/ 土地面积($\text{人}/\text{km}^2$)
- 年人均工业产值= 工业产值/ 总人口(元)

根据研究区的具体条件, 并借鉴了其他区域^[1~2]水资源承载力的一些评价标准, 确定表 2 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。

研究区 2005 年、2010 年的各项评价指标的期望值见表 3。

3.3 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 级的指标值取其中间值, 其中 $\frac{1+k}{2}$, k 分别为 V_1 、 V_3 级的临界值。按照 3. 1 所述方法步骤处理数据, 将处理后的数据代入到公式(8) 中, 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] 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.
[5] 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.
[6] 张继国, 等. 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.
[7] 曲英杰, 等. 最大熵原理及应用[J]. 青岛建筑工程学院学报, 1996, 17(2): 95.
[8] 张成科. 基于熵的水质模糊评价模型及应用[J]. 系统工程论与实践, 1998, (6): 80– 83.

即可得到最优分级计算结果, 见表 4。

表 2 肥城市水资源承载力评价标准

序号	指标	V_1	V_2	V_3
1	年人均供水量/($\text{m}^3\cdot\text{人}^{-1}$)	> 400	400~200	< 200
2	年供水模数/($10^4\text{ m}^3\cdot\text{km}^{-2}$)	> 15	15~1	< 1
3	灌溉率/ %	< 20	20~60	> 60
4	日人均城市生活用水/ L	< 100	100~300	> 300
5	日人均农村生活用水/ L	< 50	50~100	> 100
6	年需水模数/($10^4\text{ m}^3\cdot\text{人}^{-1}$)	< 1	15~1	> 15
7	人口密度/($\text{人}\cdot\text{km}^{-2}$)	< 150	150~300	> 300
8	年人均工业产值/ 元	< 3 000	3000~6000	> 6000

注: 部分指标及标准源于参考文献[1~3]。

表 3 肥城市水资源承载力评价指标期望值

指标	1	2	3	4	5	6	7	8
2005	236.19	18.70	80	200	80	24.33	792	4607
2010	229.23	18.70	80	250	100	26.34	816	6205

注: 原始数据源于 2002 年肥城市水资源保护规划。各指标单位同表 2。

由表 4 可知, 2005 年和 2010 年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 0. 011 与 V_3 0. 500 差距悬殊, V_2 0. 489 与 V_3 差别不大, 且隶属于 V_3 的程度不是特别突出; 2010 年水资源承载力的级别隶属度 V_1 0. 015 与 V_3 0. 924 相差更为悬殊, 与 2005 年不同的是 V_2 隶属的度为 0. 061, 与 V_3 差距加大; 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 年缺水更为严峻。以上分析说明从 2005~2010 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。

表 4 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

可见, 水资源承载力分析所得结论, 同表 1 及图 1 的分析所得的水资源严重短缺的结论是一致的。为保证国民经济持续健康发展及 2010 年远景目标的实现, 必须进行提高水资源承载力途径及措施的研究。