

# 基于熵权法及灰色关联模型的水资源承载力研究

朱玲燕<sup>1</sup>, 苏维词<sup>1,2</sup>

(1. 重庆师范大学 地理科学学院, 重庆 400047; 2. 贵州科学院 山地资源研究所, 贵阳 550001)

**摘要:** 水资源承载力评价是判断一个城市水资源是否安全的重要手段。本文以衢州市为研究对象,通过应用灰色关联模型选取反映水资源承载力的主要指标,并利用熵权法计算指标权重和水资源承载力综合得分。计算结果表明:①衢州市水资源承载力主要影响指标污水处理率、万元 GDP 耗水量的权重分别是 0.1719, 0.1261。② 2004-2011 年,衢州市水资源承载力综合得分呈上升趋势,特别是 2010 年达到最高值,约为 2004 年的 1.23 倍。本文通过分析衢州市水资源利用状况,提出可持续利用水资源的建议。

**关键词:** 水资源承载力; 灰色关联模型; 熵权法; 衢州

中图分类号: TV213

文献标识码: A

文章编号: 1672-643X(2014)05-0233-04

## Research on carrying capacity of water resources based on entropy-weight and grey-correlation model

ZHU Lingyan<sup>1</sup>, SU Weici<sup>1,2</sup>

(1. Department of Geography, Chongqing Normal University, Chongqing 400047, China;

2. Institute of Mountain Resource, Guizhou Academy of Sciences, Guiyang 550001, China)

**Abstract:** The evaluation of carrying capacity of water resources is an important mean to judge whether the water resources of a city is safe. Taking Quzhou city as the research object, the paper chose the main indexes of carrying capacity evaluation of water resources by grey correlation model. It calculated the total value of water resources carrying capacity and the weight by use of entropy-weight method. Results indicate that ①the weights of sewage treatment rate and water consumption per ten thousand yuan GDP are 0.1719 and 0.1261 respectively, which are the main indexes of water resources carrying capacity evaluation. ②The total value of water resources of Quzhou had been raising gradually from 2004 to 2011. In 2010, the value reached the highest which is about that of 1.23 times in 2004. The paper analyzed the status of water resources in Quzhou and propped some suggestion for the sustainable utilization of water resources.

**Key words:** carrying capacity of water resources; grey correlation model; entropy weight method; Quzhou

水资源是城市发展的基础性资源,也是影响城市人口规模、社会经济发展的主要因素。由于水资源问题日益突出,水资源承载力评价研究也逐渐变成热点。国外一些学者将水资源承载力作为衡量城市可持续发展一个重要因素。Falkenmark 等应用系统动力学的方法,研究一些发展中国家水资源使用限度<sup>[1]</sup>。Harris 等将水资源承载力概念引入到农业可持续发展理论中,作为农作物增产的一项指标<sup>[2]</sup>。国内一些学者如吕萍<sup>[3]</sup>(2011年)、魏光辉<sup>[4]</sup>(2011年)、张美玲<sup>[5]</sup>(2007年)、李美荣<sup>[6]</sup>

(2012年)等对建三江分局、新疆、贵州、重庆等区域的水资源承载力进行研究,在评价模型和评价方法等方面进行了一些有益探索。

目前常用的评价方法包括:常规趋势法、系统动力学法、多目标分析法、模糊分析法等。但常规趋势法和模糊分析法有评价结果不客观的缺点,而多目标模型分析法有权重确定主观性强的局限性<sup>[7-8]</sup>。本文从水资源、需水、供水三个方面选择 9 个评价指标,采用灰色关联分析模型和熵权法来研究衢州市 2004-2011 年的水资源承载力状况,分析各年水资

收稿日期:2014-05-25; 修回日期:2014-06-17

作者简介:朱玲燕(1990-),女,浙江衢州人,硕士研究生,研究方向:水资源保护与管理。

通讯作者:苏维词(1965-),男,湖南绥宁人,硕士,研究员,主要从事生态环境与可持续发展的研究与教学。

源承载力变化规律,探寻水资源利用中存在的问题和相应的改善措施。

## 1 研究区域概况

衢州市位于浙江省西部,金衢盆地西段,属中亚热带气候,年均降水量 1 620.7 mm,总面积为 8 845 km<sup>2</sup>,其中丘陵山地占 82.9%,平原占 12.9%,水域占 4.2%。衢州市河流绝大部分属于钱塘江南源水系,市境属钱塘江水系的流域面积 8 332.6 km<sup>2</sup>,占市域面积 94.2%,属于长江水系的流域面积 515.8 km<sup>2</sup>,占市域面积 5.8%。

衢州是浙江省商品粮基地、商品猪基地、用材林基地和重点柑橘产区,发展农产品加工业具有较好的前景。作为历史文化名城,衢州有着丰富的旅游资源。全市水资源总量虽然相对丰沛,但农业灌溉、林渔业用水和农村居民生活用水也存在局部性、阶段性缺水。由于水利设施投入有限,水利工程配套不够完善,再加上管理观念上的一些问题,导致水的重复利用率不高,水资源缺乏和浪费状况共存。

## 2 数据来源与研究方法

### 2.1 数据来源

本文选用的水资源、需水、供水数据主要来自 2004 - 2011 年浙江省水资源公报、浙江省水情年报、衢州市统计年鉴以及衢州市环保局、水利网站。

### 2.2 研究方法

2.2.1 水资源承载力评价指标体系 影响水资源承载力的因素包括社会、经济、自然等多方面的指标因子,根据已有研究<sup>[9-14]</sup>,并结合衢州市水资源实际状况,初步选择:人均水资源量、水资源利用率、人均供水量、供水模数、污水处理率、用水模数、耕地灌溉率、万元 GDP 耗水量、人均日生活用水量、环保投入与 GDP 比、城镇化率、工业废水达标率、用水普及率、年平均湿度、森林覆盖率等 15 个水资源承载力指标因子。

基于 2004 - 2011 年数据资料,对 15 个指标进行分析、删选,选取了 9 个清晰反映衢州水资源特点的评价指标。最终以水资源利用率为参考指标,通过计算各指标与水资源利用率的灰色关联度(表 1)。由表 1 知,各评价指标与参考指标的关联度数值不同,说明不同指标与水资源利用率的相关程度不同。其中人均日生活用水量、人均水资源量与参考指标的关联度分别是 0.8403、0.5851,表明前者与参考指标的相关程度比后者与参考指标更密切。

表 1 水资源承载力评价指标与关联度  
m<sup>3</sup>, %, 万 m<sup>3</sup>/km<sup>2</sup>, %, 万 m<sup>3</sup>/万元, L

分类	指标名称	正/负	关联度
水资源	人均水资源量(1)	正	0.5851
	水资源利用率(2)	正	参考指标
供水	人均供水量(3)	正	0.7638
	供水模数(4)	正	0.7573
	污水处理率(5)	正	0.6225
	用水模数(6)	负	0.7573
需水	耕地灌溉率(7)	负	0.7354
	万元 GDP 耗水量(8)	负	0.7501
	人均日生活用水量(9)	负	0.8403

利用灰色关联模型计算不同年份各评价指标与水资源利用率的关联系数(表 2),数据表明不同年份关联系数不同,因此关联系数不能很好表示各指标与参考指标的相关性,而关联度能更好表示两者的相关性。

表 2 2004 - 2011 年评价指标与水资源利用率的关联系数  
(其中 R<sub>2i</sub> 表示评价指标与参考指标的关联系数)

年份	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011
R <sub>21</sub>	1	0.5080	0.4749	0.8912	0.5022	0.5340	0.2250	0.5458
R <sub>23</sub>	1	0.6886	0.6817	0.9326	0.7154	0.7864	0.5301	0.7755
R <sub>24</sub>	1	0.6887	0.6783	0.9454	0.7044	0.7709	0.5205	0.7499
R <sub>25</sub>	1	0.6987	0.6500	0.8876	0.5276	0.4712	0.3333	0.4116
R <sub>26</sub>	1	0.6887	0.6783	0.9454	0.7044	0.7709	0.5205	0.7499
R <sub>27</sub>	1	0.7387	0.6921	0.9647	0.6850	0.6657	0.4780	0.6586
R <sub>28</sub>	1	0.8106	0.8478	0.5722	0.6641	0.6252	0.9164	0.5649
R <sub>29</sub>	1	0.9790	0.8563	0.7173	0.9085	0.7953	0.5615	0.9046

2.2.2 熵权法 确定指标权重是影响评价结果的关键。为克服层次分析法、专家打分等主观因素的影响,本文采用熵权法确定权重,这是一种客观确定权重的方法。信息论中的熵用于度量系统无序程度,其值越小,系统无序度越小,即尽量消除人为干扰,由评价指标构成的判断矩阵来确定指标权重,使评价结果更符合实际,提高可信度<sup>[15-16]</sup>。其步骤如下:

(1) 收集原始指标数据。

(2) 数据标准化处理。指标值越大对水资源承载力越有利时,以正向指标计算,反之以负向指标计算。

$$\begin{aligned} \text{正向指标: } x'_{ij} &= \frac{x_j - x_{\min}}{x_{\max} - x_{\min}} \\ \text{负向指标: } x'_{ij} &= \frac{x_{\min} - x_j}{x_{\max} - x_{\min}} \end{aligned} \quad (1)$$

式中:  $x'_{ij}$  为衢州市第  $i$  年第  $j$  项水资源承载力评价指标标准化值;  $x_j$  为评价指标初始值;  $x_{\max}$  和  $x_{\min}$  分别

为衢州市第  $j$  项评价指标的最大值和最小值。

(3) 计算第  $i$  年第  $j$  评价指标的比重  $y_{ij}$ 。

$$y_{ij} = \frac{x'_{ij}}{\sum_{i=1}^m x'_{ij}} \quad (0 \leq y_{ij} \leq 1) \quad (2)$$

(4) 计算第  $j$  项评价指标的熵值  $e_j$ 。

$$e_j = -K \sum_{i=1}^m y_{ij} \ln y_{ij} \quad (3)$$

式中:  $K > 0$ ;  $K = \frac{1}{\ln m}$ ;  $m$  为评价单元数;  $e_j \geq 0$

为使  $\ln y_{ij}$  有意义,当  $y_{ij} = 0$  时,根据水资源评价的实际意义,可以理解  $\ln y_{ij}$  为一较大的数值,与  $y_{ij}$  相乘趋于 0,故可认为  $y_{ij} \ln y_{ij} = 0$ 。但当  $y_{ij} = 1, y_{ij} \ln y_{ij} = 0$ ,这显然与熵所反映的信息无序化程度相悖,不切合实际,故需对  $y_{ij}$  加以修正,将其定义为:

$$y_{ij} = \frac{1 + x'_{ij}}{\sum_{i=1}^m (1 + x'_{ij})} \quad (i = 1, 2, \dots, m; j = 1, 2, \dots, n) \quad (4)$$

(5) 计算评价指标  $j$  的冗余度。

$$d_j = 1 - e_j \quad (5)$$

(6) 计算评价指标  $j$  的权重。

$$w_j = \frac{d_j}{\sum_{j=1}^n d_j} \quad (6)$$

(7) 计算第  $i$  年的水资源承载力综合得分。

$$U = \sum_{j=1}^n y_{ij} w_j \times 100 \quad (7)$$

式中:  $n$  为指标数。

### 3 水资源承载力计算与分析

#### 3.1 水资源承载力评价指标权重

利用熵权重公式计算水资源承载力评价指标的权重(表 3、图 1)<sup>[17]</sup>。由图 1 中得出,本文 9 个水资源承载力评价指标对水资源承载力的影响程度不同,污水处理率对水资源承载力的影响最大,权重达到 0.1719;其次是万元 GDP 耗水量,权重有 0.1261。人均水资源量、人均供水量、用水模数权重值接近,说明三者对衢州市水资源承载力产生的影响相当。评价指标权重排序大小与指标灰色关联度排序大小不具有一致性,如人均日生活用水量与参考指标间的关联度是最大的,而人均日生活用水量的权重却是最小的。反映出人均日生活用水量与水资源利用率密切相关,而人均日生活用水量对水资源承载力的影响重要性较低。因为权重反映的是某一评价指

标在整体评价中的相对重要程度,而关联度反映的是某一评价指标与参考指标间的相关密切程度,两者没有直接关系。

表 3 水资源承载力评价指标权重

指标名称	权重	排序	指标名称	权重	排序
人均水资源量	0.1150	5	用水模数	0.1160	4
水资源利用率	0.0834	7	耕地灌溉率	0.0793	8
人均供水量	0.1211	3	万元 GDP 耗水量	0.1261	2
供水模数	0.1089	6	人均日生活用水量	0.0783	9
污水处理率	0.1719	1			

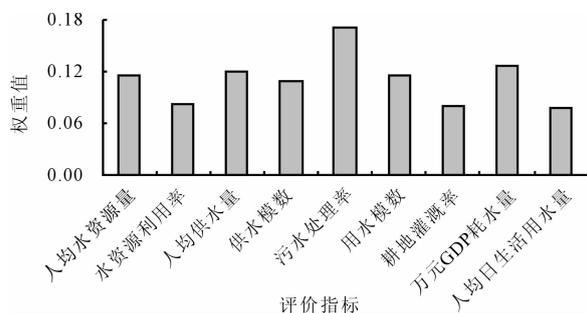


图 1 水资源承载力评价指标权重

#### 3.2 水资源承载力综合得分计算

根据公式(7)计算出 2004 - 2011 年衢州市水资源承载力综合得分(图 2)。

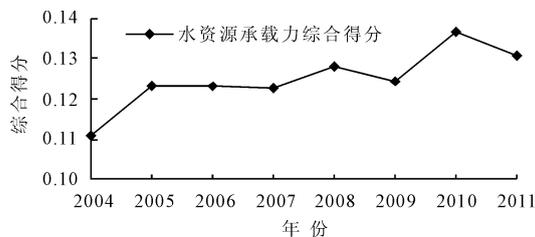


图 2 2004 - 2011 年水资源承载力综合得分

#### 3.3 结果分析

衢州市 2004 - 2011 年水资源承载力综合得分曲线基本呈上升趋势(图 2),说明衢州市水资源状况不断转好。在研究时段内,2004 年综合得分最低,2010 年综合得分最高,2010 年得分约为 2004 年 1.23 倍。近年来水资源承载力上升趋势明显,说明衢州市水资源开发尚未达到饱和,水资源开发前景广阔。研究时段内水资源承载力综合得分上升幅度不同,表明水资源承载力不仅呈上升趋势,还反映出不同上升速度。将研究时间段分为 2004 - 2007、2008 - 2011 年两个时段,经计算前一时段综合得分增长率是 10.5%,而后一时段综合得分增长率是 2.1%,前一时段是后一时段的 5 倍。

## 4 结 语

(1)虽然衢州市水资源承载力较大,但衢州水资源仍存在如水资源利用率低、水污染严重等问题。所以仍需采取措施提高水资源利用率,形成节水产业链,改善水环境,从而保证衢州水资源持续利用。衢州是钱塘江源头,衢州水质的好坏影响浙江省其他一些城市饮用水的质量,因此保护衢州流域生态环境有重要意义。

(2)衢州市水资源承载力变化与人口、经济及工业技术有关,特别是污水处理率、万元 GDP 耗水量对水资源承载力的影响权重分别占 0.1719 和 0.1261。2004 - 2011 年衢州市水资源承载力综合得分不断上升,2010 年达到最高值,是 2004 年的 1.23 倍,反映衢州水资源开发潜力较大。同时,水资源承载力综合得分的前期增长速度是后期的 5 倍,表明衢州水资源利用是有限的。因为技术瓶颈,节水产业链未形成,所以衢州水资源承载力受到限制。

(3)本文采用的基于灰色关联模型的熵权法能从数据本身所反映的信息无序化程度确定水资源承载力各指标的权重,但是灰色关联分析缺乏满足无量纲化处理的保序效应,而且熵权法确定的指标权重大小与被评价对象有直接关系,所以对研究方法有待改进。

### 参考文献:

- [1] Falkenmark M, Lundqvist J. Towards water security: Political determination and human adaptation crucial[J]. *Natural Resources Forum*, 1998, 22(1): 37 - 51.
- [2] Jonathan M Harris, Scott Kennedy. Carrying capacity in agriculture: Global and regional issue[J]. *Ecological Economics*, 1999, 129(3): 443 - 461.
- [3] 吕萍, 刘东, 赵菲菲. 基于熵权的建三江分局水资源承

- 载力模糊物元评价模型[J]. *水土保持研究*, 2011, 18(2): 246 - 250.
- [4] 魏光辉. 基于熵权的灰色关联模型在水资源承载力评价中的应用[J]. *云南水力发电*, 2011, 27(2): 4 - 7.
- [5] 张美玲, 梁虹, 祝安, 等. 贵州水资源承载力基于熵权的模糊物元评价[J]. *人民长江*, 2007, 38(2): 54 - 57.
- [6] 李美荣, 郑钦玉, 刘娟, 等. 基于 AHP 法的重庆市水环境承载力研究[J]. *水利科技与经济*, 2012, 18(5): 1 - 6.
- [7] 邱苑华. 管理决策与应用熵学[M]. 北京: 机械工业出版社, 2002.
- [8] 吕锋, 崔晓辉. 多目标决策灰色关联投影法及其应用[J]. *系统工程理论与实践*, 2002, 22(1): 103 - 107.
- [9] 周前祥, 张达贤. 工程系统设计多目标灰色关联度决策模型及其应用的研究[J]. *系统工程与电子技术*, 1999, 21(1): 1 - 7.
- [10] 熊黑钢, 付金花, 王凯龙. 基于熵权法的新疆奇台绿洲水资源承载力评价研究[J]. *中国生态农业学报*, 2012, 20(10): 1382 - 1387.
- [11] 张培, 田富姣. 基于 GIS 的区域水环境压力分区研究[J]. *水土保持研究*, 2011, 18(5): 14 - 19.
- [12] 周亮, 徐建刚, 蒋金亮, 等. 淮河流域水环境污染防治能力空间差异[J]. *地理科学进展*, 2013, 32(4): 560 - 569.
- [13] 叶龙浩, 周丰, 郭怀成, 等. 基于水环境承载压力的沁河流域系统优化调控[J]. *地理研究*, 2013, 32(6): 1007 - 1016.
- [14] 何仁伟, 刘邵权, 刘运伟. 基于系统动力学的中国西南岩溶区的水资源承载力 - 以贵州省毕节地区为例[J]. *地理科学*, 2011, 31(11): 1376 - 1382.
- [15] 闫文周, 顾连胜. 熵权决策法在工程评标中的应用[J]. *西安建筑科技大学学报(自然科学版)*, 2004, 36(1): 98 - 100.
- [16] 韩桂兰, 孙建光. 新疆区域水资源承载能力综合评价[J]. *人民黄河*, 2009, 31(12): 58 - 59.
- [17] 徐建华. 现代地理学中的数学方法[M]. 北京: 高等教育出版社, 2002.