

DOI:10. 3880/j. issn. 1004 - 6933. 2016. 02. 005

基于“五水共治”规划的水资源承载力评估

王 丽¹,毕佳成²,向 龙¹,陈 星¹

(1. 河海大学水文水资源学院,江苏 南京 210098; 2. 西安电子科技大学计算机学院,陕西 西安 710071)

摘要:为了评价“五水共治”综合规划实施后水资源承载力变化情况,以临海市为研究对象,选取了 17 项评价指标构建水资源承载力评价指标体系,采用主成分分析法对评价指标进行降维处理,建立水资源承载力变化驱动因子的多元线性回归模型,提取水资源自然支持力、社会生活水平和经济发展水平 3 个子系统的主成分,并用熵值法对子系统赋权,计算水资源承载力综合得分,并进行分析评价。结果表明:“五水共治”综合规划实施后,临海市水资源承载力有明显提高,治污、开源、节流是提升水资源承载力的主要因素。

关键词:五水共治;水资源承载力;主成分分析;熵值法;临海市

中图分类号:TV213. 4 文献标志码:A 文章编号:1004 - 6933(2016)02 - 0021 - 05

Evaluation of water resources carrying capacity based on plan of co-governance on five water categories

WANG Li¹, BI Jiacheng², XIANG Long¹, CHEN Xing¹

(1. College of Hydrology and Water Resources, Hohai University, Nanjing 210098, China;
2. College of Computer, Xidian University, Xi'an 710071, China)

Abstract: In order to evaluate the changes of water resources carrying capacity after co-governance on five water categories was put into effect, taking Linhai City as an example, 17 evaluation indices were selected to construct the evaluation index system of water resources carrying capacity, the method of principal component analysis was used to reduce the dimension of the evaluation index, and a multivariate linear regression model for corresponding driving factors of water resources carrying capacity was set up. Three principal components of water resources natural support capacity, level of social life, and economic development level were extracted, and the entropy value method was used to determine the weight of subsystem, calculate and analyze the composite scores of water resources carrying capacity. The results show that the water resources carrying capacity in Linhai City has an obviously increasing trend after the plan of co-governance on five water categories was carried out, and anti-polluting, seeking for new water supply, saving water consumption are the main factors of improving the water resources carrying capacity.

Key words: co-governance on five water categories; water resources carrying capacity; principal component analysis; entropy value method; Linhai City

水资源承载力研究起源于 20 世纪 80 年代末,迄今为止学术界对于水资源承载力的概念尚未做出统一明确的界定。施雅风等^[1-2]认为水资源承载力是某一地区的水资源在一定社会和科学技术发展阶段在不破坏社会和生态系统时最大可承载的工业、农业、城市规模和人口水平。国内外常用的水资源

基金项目:国家自然科学基金青年项目(51209071);江苏省科技支撑项目(BE211697)
作者简介:王丽(1990—),女,硕士研究生,研究方向为水资源规划与管理。E-mail:1063686702@qq.com
通信作者:陈星,讲师。E-mail:chenxing@ hhu. edu. cn

承载力评价方法主要有主成分分析法、模糊综合评价法、常规趋势法、系统动力学方法、多目标决策分析法。李林等^[3]运用最小二乘建模,借助主成分分析法与其他数据统计分析法,提取变量主成分,避免了变量之间的多重相关性;赵楠等^[4]使用主成分综合分析法对北京市的水资源承载力进行指数化分析,得到水资源承载压力度;邵磊等^[5]基于主成分分析法建立了太原市水资源承载力模型,计算出太原市水资源承载力的演变趋势;季好等^[6]继续对该问题进行讨论,在得到评价结果后,应用聚类分析法对结果进行评价。这些方法各具特点,应用过程中难免存在缺陷。模糊综合评判法的取大取小计算方法将会丢失部分有用信息,因为评价因素越多,失误的可能性越大,使模型利用率偏低。笔者针对参数变量之间信息交叉的问题,采用主成分分析法,通过降维对高维变量进行简化综合,并采用熵值法确定权重,以避免主观随意性。

浙江省委省政府响应党的十八大提出的把水生态文明建设放在突出位置的号召,首次提出积极推广“治污水、防洪水、排涝水、保供水、抓节水”的“五水共治”工作,以实现社会经济的可持续发展。笔者以《临海市“五水共治”综合规划》为基础,划分水资源自然支持力、社会生活水平、经济发展水平3个子系统,采用主成分分析法提取各个方面的主成分,运用熵值法优化各子系统的权重,评估临海市水资源承载综合能力,判断“五水共治”的实施能否提高临海市水资源承载力。

1 “五水共治”与水资源承载力

1.1 “五水共治”的含义

“五水共治”是指治污水、防洪水、排涝水、保供水、抓节水,以实现人水和谐的生态文明建设为目标,把保护水资源的可持续利用与区域经济社会的可持续发展的新需求有机结合起来,采取工程和非工程措施,以治水为突破口倒逼经济转型,保障社会稳定发展,促进节能减排工作。

1.2 “五水共治”与水资源承载力之间的关系

水资源承载力反映了区域资源、生态、经济、社会之间的动态变化,以未来人类可持续发展为着眼点,强调资源生态与经济社会的相互制约、相互依存的关系。“五水共治”核心是通过“五水”工程实现生态文明建设,即,治污,严格控制河道排污量,改善水质;保供,提高水资源开发利用,促进开源;抓节,实行用水总量用水效率控制,杜绝浪费;防洪排涝,严格保障城市水安全达标建设。

实施“五水共治”工程,通过限制用水总量和提

升用水效率,并且提高城镇污水处理率,减少河道排污量,改善河道水质,通过改善水系统循环功能,提高水资源自然支持力子系统。

实施“五水共治”工程,促进产业优化升级和经济转型,有助于经济社会的可持续发展。通过用水总量和用水效率控制,限制和关闭高耗水高污染型企业,鼓励建设高科技、节能型、环保型企业,对提升经济子系统起到关键作用。

因此,“五水共治”是基于水资源承载力来实施的,后者是前者要达到的目的,前者是后者的实现途径。

2 评价方法的选择

2.1 主成分分析法

主成分分析法体是在保证原始数据信息损失最小的前提下,把原来多个指标转化为几个综合指标的一种统计分析方法^[7-8]。综合指标不仅保留了主要信息,而且彼此之间相互独立,相对于原始变量更具有优越性,使得进行评价工作时更易抓住主要矛盾。主成分分析步骤如下:

a. 设有 n 个评价对象, m 个评价指标形成 $m \times n$ 矩阵,将原始数据标准化。

$$y_{ij} = (x_{ij} - x_j) / s_j \quad (i = 1, 2, \cdots, n; j = 1, 2, \cdots, m) \quad (1)$$

b. 计算相关系数矩阵 $R = (r_{ij})_{m \times n}$, r_{ij} 为指标 i 与指标 j 之间的相关系数。

$$R = (r_{ij})_{m \times n} = \frac{\sum_{k=1}^n (x_{ki} - \bar{x}_i)(x_{kj} - \bar{x}_j)}{\sqrt{\sum_{k=1}^n (x_{ki} - \bar{x}_i)^2 (x_{kj} - \bar{x}_j)^2}} \quad (2)$$

c. 计算相关矩阵 R 的特征值和特征向量,得到 p 个主成分,特征值采用 $|R - \lambda E| = 0$ 计算得到,将特征向量按照从大到小排序。一般取特征值大于 1 所对应的主成分,计算主成分贡献率和累计贡献率。

$$Z_k = \frac{\sum_{i=1}^k \lambda_i}{\sum_{i=1}^P \lambda_i} \quad (i = 1, 2, \cdots, P) \quad (3)$$

2.2 熵值法

熵值法作为一种客观综合评价方法,主要是根据各指标的信息量大小来确定其权重。如果指标的信息量越小,该指标提供的信息量则越大,在综合评价中所起作用也就越大,权重就越高^[9]。本文采用熵值法确定影响水资源承载力的水资源自然支持力、社会生活水平、经济发展水平3个子系统的权重,能够最大限度地消除水资源承载力评价中的不确定性。熵值法计算步骤如下:

a. 建立 7 年 17 个评价指标的判断矩阵 $R = (x_{ij})_{7 \times 17}$, 进行归一化处理, 对于正指标, 按式 (4) 进行处理, 对于逆指标, 按式 (5) 进行处理。

$$x_{ij}^* = (x_{ij} - x_{jmin}) / (x_{jmax} - x_{jmin}) \tag{4}$$

$$x_{ij}^* = (x_{jmax} - x_{ij}) / (x_{jmax} - x_{jmin}) \tag{5}$$

b. 计算第 j 项指标的熵值, 其中, 若 $y_{ij} = 0$, 则 $e_j = 0$, 且 $0 \leq e_j \leq 1$ 。

$$e_j = -1 / (\ln 8 \sum_{i=1}^7 y_{ij} \ln y_{ij}) \tag{6}$$

c. 计算各项指标权重 w_j 。

$$w_j = g_j / \sum_{j=1}^m g_j \quad j = 1, 2, \cdots, m \tag{7}$$

2.3 主成分分析法和熵值法联合

采用主成分分析法和熵值法联合求解, 能够较客观地反映研究区的水资源承载力变化情况, 避免变量之间的信息量重复和权重选择的主观随意性, 比较准确地反映层次分析中的最后综合得分 F 。

$$F_i = w_1 F_{i1} + w_2 F_{i2} + \cdots + w_p F_{ip} \tag{8}$$

3 典型区水资源承载力评价

3.1 研究区概况

临海市按照“全面建设三大示范, 实现千年古城新崛起”的战略, 主攻东部海洋经济发展示范区, 全力建设中心城市, 这就要求临海市在追求经济发展的同时注重水资源的保障。根据《台州市水资源公报》(2013 年), 临海市水资源较为丰富, 多年平均降雨量 1 685 mm, 但水资源时空分布不均匀, 加上地形地势原因, 临海市局部水资源问题突出: 降雨多时, 要迅速排除雨水以保证防洪安全; 降雨少时, 则局部地区干旱缺水。2013 年临海市污水排放量达到 3 530 万 t, COD、NH₃-N 入河量分别为 18 845.8 t 和 2 007.7 t, 城区和东部平原地区污染物超标严重, 尤其东部沿海地处平原区, 水体流动性差, 水质超标率 100%, 百里大河、桃渚港水质均为劣 V 类。近几年临海市水资源承载力逐渐下降。临海市规划年的人口、人均 GDP、用水量预测见图 1~2, 根据《临海市“五水共治”综合规划》要求, 拟解决临海市“治污

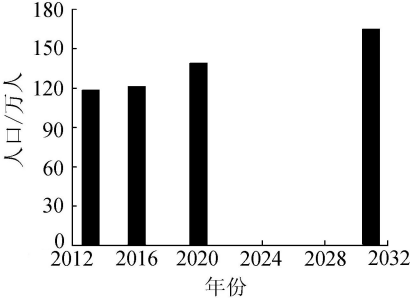


图1 临海市规划年人口预测趋势

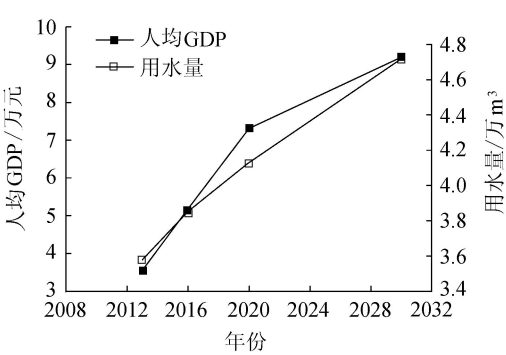


图2 临海市不同年份人均 GDP 和用水量趋势

水、防洪水、排涝水、保供水、抓节水”问题, 提高水资源承载力, 开展临海市生态文明建设。笔者通过评价规划前后水资源与社会人口、经济发展、生态环境、水资源开发利用状况之间的协调程度, 评价规划年临海市水资源是否能够保证区域可持续发展。

3.2 指标体系的构建

笔者对临海市水资源承载力指标的选择, 充分考虑区域特点、社会经济发展的不平衡和水资源开发利用程度, 具体遵循以下几个方面原则: 科学性, 整体性, 动态性, 定性分析与定量分析相结合, 简明、实用、可行^[10]。构建的临海市水资源承载力综合评价指标体系见表 1。

表1 临海市水资源承载力综合评价指标体系

目标层	准则层	指标层	单位
水资源承载力 C	水资源自然支持力 C ₁	水资源总量 X ₁₁	亿 m ³
		总供水量 X ₁₂	亿 m ³
		降雨量 X ₁₃	mm
		城镇污水处理率 X ₁₄	%
		地表水水域功能达标率 X ₁₅	%
	社会生活水平 C ₂	总人口 X ₂₁	万人
		城镇人口 X ₂₂	万人
		城镇人均用水定额 X ₂₃	L/d
		农村人均用水定额 X ₂₄	L/d
		人均综合用水量 X ₂₅	L/d
	经济发展水平 C ₃	GDP X ₃₁	亿元
		人均 GDP X ₃₂	万元
		工业总产值 X ₃₃	亿元
		工业增加值用水量 X ₃₄	m ³ /万元
		农林渔牧总产值 X ₃₅	亿元
		年均农田单位面积灌溉用水量 X ₃₆	m ³ /hm ²

3.3 基于熵值的主成分分析

笔者构造了水资源自然支持力、社会生活水平、经济发展水平 3 个子系统, 以水资源自然支持力子系统为例, 利用 SPSS 19.0 对子系统指标的原始数据进行标准化处理, 然后计算相关系数矩阵, 求得相关矩阵的特征值与贡献率, 结果见表 2。从表 2 可以看出, 前 2 个主成分的特征值大于 1, 且累计贡献率已经达到 90.35%, 因此选取主成分 F_1 、 F_2 进行分析, 这两个主成分可以反映水资源指标的大部分

信息,对应的两个特征值分别为 2.468、2.050。

表 2 水资源子系统主成分特征值、贡献率

主成分	特征值	贡献率/%	累计贡献率/%
F_1	2.468	49.350	49.350
F_2	2.050	41.004	90.355
F_3	0.366	7.371	97.671
F_4	0.086	1.723	99.395
F_5	0.030	0.605	100

通过 SPSS 19.0 进一步计算旋转主成分载荷矩阵。主成分载荷反映了主成分与变量之间的相关关系,特征值 λ_1 和 λ_2 的特征根向量即主成分因子得分,两个主成分与各指标的关系式为

$$F_{11} = -0.027X_{11} + 0.585X_{12} - 0.089X_{13} + 0.601X_{14} + 0.537X_{15} \quad (9)$$

$$F_{12} = 0.677X_{11} + 0.234X_{12} - 0.68X_{13} + 0.042X_{14} - 0.155X_{15} \quad (10)$$

将主成分 F_{11} 和 F_{12} 与客观权重相乘,得到水资源自然支持力的综合评价价值。采用同样的方法和步骤对其他 2 个子系统进行主成分分析,得到社会生活水平子系统、经济发展水平子系统的主成分均为 2 个。根据最大熵值法确定 3 个子系统在研究区水资源承载力中的权重值 W_A :水资源自然支持力子系统权重 W_1 为 0.281,社会生活水平子系统 W_2 为 0.206,经济发展水平子系统 W_3 为 0.513,则水资源承载力综合评价指数计算公式为

$$F_z = 0.281F_1 + 0.206F_2 + 0.513F_3 \quad (11)$$

水资源承载力综合评价价值数 F_z 与水资源自然支持力评价指数 F_1 、社会生活水平评价价值数 F_2 和经济发展水平评价价值数 F_3 有关。根据上述计算方法得到临海市水资源承载力综合评价结果,见表 3 和图 3。

表 3 临海市水资源承载力综合评价结果

年份	各子系统得分			综合得分 F_z
	水资源支持力 F_1	社会生活水平 F_2	经济发展水平 F_3	
2007	3.208	-2.010	-1.130	0.446
2008	2.910	-1.890	-0.975	0.413
2009	1.330	-1.516	-0.907	-0.123
2010	0.702	-0.803	-0.822	-0.207
2011	-0.901	-0.554	-0.783	-0.788
2012	-1.507	-0.607	-0.710	-1.010
2013	-0.740	0.438	-0.446	-0.399
2016	-0.581	0.862	0.532	0.147
2020	1.093	1.479	1.998	1.539
2030	1.923	2.581	5.213	3.404

3.4 评价结果分析

主成分得分的正负代表自然支持能力、社会生活水平、经济发展的相对水平,正值表示处在平均水平之上,负值表示处在平均水平之下,综合得分值越大,水资源承载力越大,说明社会经济发展、水资源

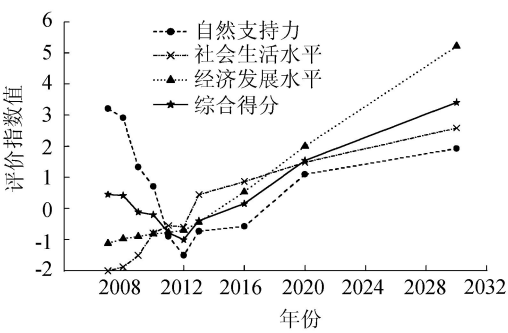


图 3 临海市水资源承载力评价指数值

开发利用状况、生态环境之间的协调程度越好。

根据上述计算结果,得出以下结论:

a. “五水共治”综合规划提升了水资源承载力。2007—2013 年,随着人口增长和经济社会发展,临海市用水量日益激增,水资源承载力逐渐降低。2013—2030 年,“五水共治”实施之后,通过提高城镇污水处理率,消除黑臭河道,改善生态环境,水域功能达标率从 73% 提到高 100%,同时提升水资源开发利用程度,增加可供水量 1.15 亿 m^3 ,水资源自然支持力增大,从而能够更好地为社会经济发展提供保障。到 2030 年,临海市 GDP 达到 1525 亿元,总人口达到 165 万人,相对于 2013 年,分别增加了 673 亿元、46.55 万人。

b. “治污水”、“保供水”和“抓节水”是提升水资源自然支持力的关键。随着社会生活水平的提升、经济的快速发展,用水量大幅提升,环境污染日益严重,导致水资源自然支持力快速下降,评价指数从 2007 年的 3.208 降到 2012 年的 -1.507。面对严峻形势,浙江省临海市实施“五水共治,治污先行”,城镇污水处理率从 2012 年的 56% 提高到 2030 年的 98%,可供水量增加到 4.72 亿 m^3 ,用水总量控制在 4.72 亿 m^3 ,因此水资源自然支持力回升到 1.923,为实现生态文明建设、经济社会可持续发展提供了坚实的水资源基础。

c. 经济发展是影响资源、生态的关键因素。经济发展子系统的权重为 0.513,社会生活子系统的权重为 0.206,水资源承载力是集资源生态、经济、社会为一体的系统,三者相互制约、相互关联,资源生态是经济社会发展的基础,经济社会发展水平反映资源生态状况,因此要保障水资源承载力,就必须提高资源生态与经济社会发展之间的协调程度。

4 结 语

采用利用主成分分析法和熵值法对规划条件下的水资源承载力进行综合评价,分析水资源承载力的变化趋势,并对其变化原因进行解释,得出用水量激增、水质恶化是导致水资源自然承载力降低的主

要原因。通过实施“五水共治”,用水总量得到控制,环境功能区达标率提升,水资源开发利用增加,从“开源”、“节流”、“纳污”3个方面解决水资源“超载”问题。可见,“五水共治”综合规划能够提高水资源承载力,实现资源生态、经济社会发展的协调统一。

参考文献:

[1] 施雅风,曲耀光. 乌鲁木齐河流域水资源承载及其合理利用[M]. 北京:科学出版社,1992.

[2] 刘晓,陈隽,范琳琳,等. 水资源承载力研究进展与新方法[J]. 北京师范大学学报(自然科学版),2014,50(3): 312-318. (LIU Xiao, CHEN Juan, FAN Linlin, et al. Progress and review of new methods in water resources capacity research[J]. Journal of Beijing Normal University(Natural Science),2014,50(3): 312-318. (in Chinese))

[3] 李林,付强. 偏最小二乘回归模型的城市水资源承载力研究[J]. 水科学进展,2006,16(6):822-825. (LI Lin, FU Qiang. Study on the city water resources capacity model with partial least-squares regression [J]. Advances in Water Science,2006,16(6):822-825. (in Chinese))

[4] 赵楠. 北京市水资源承载力与承压状态实证研究[J]. 城市发展研究,2009,16(8):10-14. (ZHAO Nan. The empirical research of Beijing water resources carrying capacity and pressure state [J]. Urban Studies,2009,16(8): 10-14. (in Chinese))

[5] 邵磊,周孝德,杨方廷,等. 基于主成分分析法和熵权法的水资源承载力及其演变趋势评价方法[J]. 西安理工大学学报,2010,26(2):170-176. (SHAO Lei, ZHOU Xiaode, YANG Fangting, et al. Research on water resources carrying capacity and evaluation method of evolution tendency based on principal components analysis and entropy weight method [J]. Journal of Xi ' an University of Technology, 2010, 26 (2): 170-176. (in

Chinese))

[6] 季妤,陆宝宏. 南京市水资源可持续利用评价[J]. 水资源保护,2014,30(1):79-83. (JI Yu, LU Baohong. Assessment of sustainable utilization of urban water resources in Nanjing [J]. Water Resources Protection, 2014,30(1):79-83. (in Chinese))

[7] 李蔚,林耿耿,赵丹丹,等. 基于主成分分析的杭州市水资源承载力评价[J]. 河海大学学报(自然科学版),2010,38(增刊2):320-323. (LI Wei, LIN Genggen, ZHAO Dandan, et al. Hangzhou city water resources capacity evaluation based on principal component analysis [J]. Journal of Hohai University (Natural Sciences), 2012,38(sup2): 320-323. (in Chinese))

[8] 陈雯,黄长生,王宁涛. 广州市水资源承载力的主成分分析[J]. 华南地质与矿产,2013,29(4):322-326. (CHEN Wen, HUANG Changsheng, WANG Ningtao. Evaluation on water resources carrying capacity in Guangzhou City using principal components analysis [J]. Geology and Mineral Resources of South China,2013,29(4):322-326. (in Chinese))

[9] 邵磊,周孝德,杨方廷. 基于熵权和主成分分析水资源承载力评价分析[J]. 山东农业大学学报(自然科学版),2011,42(1):129-134. (SHAO Lei, ZHOU Xiaode, YANG Fangting. Entropy and principal components analysis-based study on water resources carrying capacity [J]. Journal of Shandong Agricultural University (Natural Sciences),2011,42(1):129-134. (in Chinese))

[10] 袁伟,楼章华,田娟. 富阳市水资源承载力综合评价[J]. 水利学报,2008,39(1):103-108. (YUAN Wei, LOU Zhanghua, TIAN Juan. Comprehensive evaluation of water resources carrying capacity in Fuyang City [J]. Journal of Hydraulic Engineering,2008,39(1):103-108. (in Chinese))

(收稿日期:2015-08-05 编辑:彭桃英)

+++++

(上接第 13 页)

[12] 马素英,李月霞,白振江. 节水潜力计算方法分析与比较[J]. 河北水利,2008(8):41-43. (MA Suying, LI Yuexia, BAI Zhenjiang. Analysis and comparison of the calculation method of water-saving potential power [J]. Hebei Hydraulic Calculation of Water Saving Potential, 2008(8):41-43. (in Chinese))

[13] 郭大本. 节水型社会建设的目标任务和实施[J]. 水利科技与经济,2014(3):1-4. (GUO Daben. The goals and tasks of water-saving society construction and

implementation [J]. Water Conservancy Science and Technology and Economy, 2014(3):1-4. (in Chinese))

[14] 吴炜,施六林,王艳,等. 国内外农业设施节水现状及展望[J]. 安徽农业科学,2015(1):104-105. (WU Wei, SHI Liulin, WANG Yan, et al. The present water-saving situation of the domestic and foreign agricultural facilities and its prospect [J]. Anhui Agricultural Science, 2015(1):104-105. (in Chinese))

(收稿日期:2015-12-28 编辑:彭桃英)