

区域水资源承载能力综合评价^{*}

——主成分分析法的应用

傅 湘 纪昌明

(武汉水利电力大学水力发电学院 武汉 430072)

摘 要 针对模糊综合评判法在综合评价中存在的主观随意性问题,提出采用主成分分析法进行区域水资源承载能力综合评价。首先对各区域的灌溉率、水资源利用率、水资源开发程度、供水模数、需水模数、人均供水量和生态环境用水率这七个主要因素进行了分析;然后,根据主成分分析法的原理,运用少数几个新的综合指标对原来的七个指标所包含的信息进行最佳综合与简化,研究其在各区域水资源开发利用过程中的不同贡献及综合效应;同时,以评价参数的分级标准为基础,通过主成分关系式,得出相应的主成分评判水资源承载能力的分级标准,据此,对各分区的水资源承载力进行了评判;最后,以平坝区的水资源统计资料进行实例研究,并与模糊综合评判法的结果进行对比分析,进一步证实主成分分析法的科学性,从而为区域水资源合理利用提供决策依据。

关键词 区域水资源承载能力,主成分分析法,贡献率

1 概述

水资源是一种可恢复和可更新的再生自然资源,是社会经济持续发展的基础支持系统之一,从长远来看,中国的水资源问题主要是短缺问题,它将成为中国社会经济持续、快速、健康发展的重要制约因素。为保证水资源的可持续利用,在处理水资源的供需问题时,应以水资源的承载能力为前提,以防止处理不当导致环境质量和生态系统的恶化,甚至引发生命支持系统的破坏。

区域水资源承载能力是指在一定经济技术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。水资源承载能力分析的目的是为了揭示水资源、区域经济和人口之间的关系,合理充分地利用水资源,使经济建设与水资源保护同步进行,促进社会经济持续发展。

区域水资源承载能力综合评价就是对该区域水资源开发利用状况进行定量描述。综合评价的方法很多,常见的有专家评分法,层次分析法,模糊综合评判法,如许有鹏(1993)以新疆和田流域为例,将模糊综合评判法用于西北干旱区水资源承载能力综合评价^[1],高彦春(1997)利用模糊综合评判模型确定汉中盆地水资源开发利用所处的阶段^[2]。

模糊综合评判是一种对主观产生的“离散”过程进行综合的处理,其方法本身存在明显的

^{*} 国家自然科学基金(59579012),国家教委优秀年轻教师基金资助项目
傅 湘,女,1971年出生,在读博士生
收稿日期:1998-05-19,修回日期:1998-06-25

缺陷^[3],取小取大的运算法则,使大量有用信息遗失,模型的信息利用率低,当评价因素越多,遗失的有用信息就越多,信息利用率则越低,误判的可能性也就越大。

近年来,随着多元统计方法的普及与应用,主成分分析法也成为一种较新的评估方法,它与上述常见的方法有着不同的原理和特性^[4],它的本质目的是对高维变量系统进行最佳综合与简化,同时也客观地确定各个指标的权重,避免主观随意性,而综合评价的焦点正是如何科学、客观地将一个多目标问题综合成一个单指标形式,因此主成分分析法不失为一种较好的评价方法。

鉴于此,本文的研究目的是用主成分分析法对区域水资源承载能力进行综合评价,并与模糊综合评判法的结果进行对比分析,进一步证实主成分分析法的科学性。

2 主成分分析法

主成分分析法的工作目标,就是要在力保数据信息丢失最小的原则下,对高维变量空间进行降维处理;即在保证数据信息损失最小的前提下,经线性变换和舍弃一小部分信息,以少数的综合变量取代原始采用的多维变量。

设原变量为 x_1, x_2, \dots, x_J , 主成分分析后得到的新变量为 z_1, z_2, \dots, z_m , 均是 x_1, x_2, \dots, x_J 的线性组合 ($m < J$)。变量 z_1, z_2, \dots, z_m 构成的坐标系是在原坐标系经平移和正交旋转后得到的,称 z_1, z_2, \dots, z_m 张成的空间为 m 维主超平面。在主超平面上,第一主分量 z_1 对应于数据变异最大的方向,对于 z_2, \dots, z_m , 依次有 $V(z_1) \geq V(z_2) \geq \dots \geq V(z_m)$, 因此, z_1 是携带原数据信息最多的一维变量,而 m 维主超平面是保留原始数据信息量最大的 m 维子空间。

主成分分析的步骤如下:

(1) 数据的标准化处理

$$y_{ij} = \frac{x_{ij} - x_j}{S_j} \quad i = 1, 2, \dots, I, j = 1, 2, \dots, J$$

x_{ij} 为第 i 个分区第 j 个指标的值, x_j, S_j 为第 j 个指标的样本均值和样本标准差。

(2) 计算数据表 $(y_{ij})_{I \times J}$ 的相关矩阵 R 。

(3) 求 R 的 J 个特征值: $\lambda_1 \geq \lambda_2 \geq \dots \geq \lambda_J$, 以及对应的特征向量 u_1, u_2, \dots, u_J , 它们标准正交, u_1, u_2, \dots, u_J 称为主轴。

(4) 求主成分: $z_k = \sum_{j=1}^J u_{kj} x_j \quad j = 1, 2, \dots, J, \quad k = 1, 2, \dots, J$

(5) 精度分析

一个 m 维主超平面究竟以多大的精度来近似替代原变量系统以确保尽可能多的数据信

息? 我们可以通过求累计贡献率 E 来判断 $E = \frac{\sum_{k=1}^m \lambda_k}{\sum_{j=1}^J \lambda_j}$, 如取 $E > 80\%$ 的最小 m , 则可得主超平

面的维数 m , 从而可对 m 个主成分进行综合分析。

3 区域水资源承载能力综合评价的实例研究

3.1 主成分的推求计算

影响区域水资源承载能力的因素众多,既有供水、需水方面的因素,又有直接、间接因素,区域水资源承载能力是在一定区域、人口及生态环境质量下,结合一定的经济技术水平和社会生产条件,水资源天然产出量的允许开发水量维持人口、社会经济发展的支持能力。可用图 1 的层次框图表示。

水资源承载能力通过若干特征变量表示出来,我们把这些变量界定为评价指标,因此,这些评价指标就成为测定水资源承载力的指示器,选择这些评价指标应遵循可测性原则、可靠性原则及充分性原则。为简化计算,本文参照水资源开发利用分析中的指标体系^[5],选取灌溉率 x_1 ,水资源

利用率 x_2 ,水资源开发程度 x_3 ,供水模数 x_4 ,需水模数 x_5 ,人均供水量 x_6 ,生态环境用水率 x_7 这七个主要因素作为评价因素,各因素的含义如下:灌溉率(x_1):灌溉面积与耕地面积之比(%);水资源利用率(x_2):现状 $P = 75\%$ 的供水量与总水资源量之比(%);水资源开发程度(x_3):采用 75% 代表年的水资源开发程度(%);供水模数(x_4):现状 $P = 75\%$ 的供水量与土地面积之比($10^4 \text{ m}^3/\text{km}^2$);需水模数(x_5):现状 $P = 75\%$ 的需水量与土地面积之比($10^4 \text{ m}^3/\text{km}^2$);人均供水量(x_6):现状 $P = 75\%$ 的供水量与总人口之比($\text{m}^3/\text{人}$);生态环境用水率(x_7):生态环境用水与总水量之比(%)。

根据这七项指标,我们以平坝区水资源统计资料^[2] 进行分析,对六个分区的七项指标 x_{ij} ($i = 1, 2, \cdots, 6; j = 1, 2, \cdots, 7$) 标准化,见表 1。

表 1 六个分区的七项标准化指标

编号	分区名	y_1	y_2	y_3	y_4	y_5	y_6	y_7
1	勉 县	0.84	-1.63	-1.73	0.13	0.16	-0.38	1.32
2	汉 中	0.42	0.40	0.45	0.42	0.85	-1.46	0.27
3	南 郑	1.18	-0.13	0.19	1.27	1.31	1.57	0.48
4	城 固	-1.34	-0.03	-0.16	-1.78	-1.19	0.48	-0.57
5	洋 县	-0.95	1.46	1.31	0.10	-1.05	-0.15	-1.62
6	平 坝	-0.08	-0.08	-0.06	-0.15	-0.04	-0.07	0.06

计算各指标的协方差 $\text{cov}(y_i, y_j)$, $i = 1, 2, \cdots, 7; j = 1, 2, \cdots, 7$ 及相关矩阵 R 。计算结果见表 2。

求出表 2 中相关矩阵的特征根 λ 、特征向量 u 及累计方差贡献 E ,取 $E > 80\%$ 的最小 k 。经计算得出 $\lambda_1 = 3.266, \lambda_2 = 2.514, E = e_1 + e_2 = (3.266 + 2.514)/7 = 82.5\% > 80\%$,故取 $k = 2$,可得对应的特征向量 u_1, u_2 ,见表 3

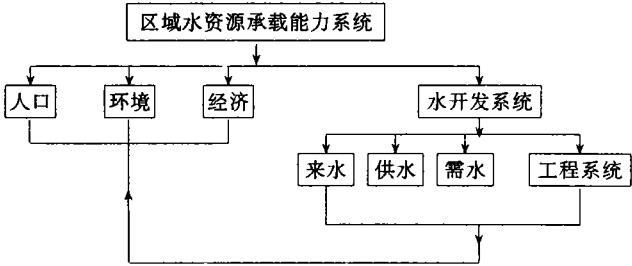


图 1 区域水资源承载能力框图

表 2 六个分区七项指标的相关矩阵

y_i	y_1	y_2	y_3	y_4	y_5	y_6	y_7
y_1	1	-0.54	-0.41	0.82	0.93	0.28	0.88
y_2	-0.54	1	0.98	0	-0.32	-0.08	-0.89
y_3	-0.41	0.98	1	0.13	-0.17	0.01	-0.82
y_4	0.82	0	0.13	1	0.81	0.09	0.35
y_5	0.93	-0.32	-0.17	0.81	1	0.07	0.69
y_6	0.28	-0.08	0.01	0.09	0.07	1	-0.04
y_7	0.88	-0.89	-0.82	0.35	0.69	-0.04	1

表 3 相关矩阵的特征向量

特征向量	x_1	x_2	x_3	x_4	x_5	x_6	x_7
u_1	0.233	0.246	0.311	0.547	0.548	0.097	-0.423
u_2	0.538	-0.500	-0.443	0.217	0.289	0.090	0.360

通过计算,各指标与前两个主成分的关系为:

$$\begin{aligned} z_1 &= 0.233x_1 + 0.246x_2 + 0.311x_3 + 0.547x_4 + 0.548x_5 + 0.097x_6 - 0.423x_7 \\ z_2 &= 0.538x_1 - 0.5x_2 - 0.443x_3 + 0.217x_4 + 0.289x_5 + 0.09x_6 + 0.36x_7 \end{aligned}$$

由主成分 z_1, z_2 与客观权重 e_1, e_2 之积,即 $z^* = \sum_{j=1}^2 e_j z_j$ 得各分区水资源承载能力的综合评判结果,见表 4。

表 4 各分区水资源承载能力的综合评判结果

分 区	z_1	z_2	z^*	排序
勉 县	201.900	116.279	126.76	5
汉 中	197.303	101.241	118.09	1
南 郑	237.823	137.036	149.34	6
城 固	196.628	109.767	121.83	2
洋 县	203.356	104.808	121.93	3
平 坝	204.824	112.504	126.05	4

3.2 区域水资源承载能力的分类

为了建立各指标与分区水资源承载能力的关系,本文参考了评价参数的分级标准^[1,2],一般将上述因素对水资源承载能力影响程度划分为三个等级,承载能力大、中、小三种情况,用 v_1, v_2, v_3 表示,将各分级标准代入主成分关系式,得出相应的主成分评判水资源承载能力的分级标准(见表 5),用此标准对各分区的水资源承载能力状况进行评判。

由表 4 可知各分区的水资源承载能力的综合评分状况,通过表 5 可知平坝区水资源进一步开发仍有一定的潜力,相对而言,汉中的水资源开发潜力最大,其次是城固、洋县、平坝、勉

县,南郑的水资源开发潜力最小。

表 5 主成分分析法的分级标准

主成分	v_1	v_2	v_3
z_1	< 158.86	$158.86 \sim 448.89$	> 448.89
z_2	< 98.43	$98.43 \sim 293.67$	> 293.67
z^*	< 109.47	$109.47 \sim 314.91$	> 314.91

4 结论

本文用主成分分析法探讨了某区域水资源承载能力的综合评价。其评价结果与文献 2 中采用模糊综合评判法得出的结果不尽相同,这是因为后者对主观产生的离散过程进行综合处理,丢失了大量的有关信息,可靠性低;而主成分分析法用少数几个新的综合指标代替原来指标所包含的信息,同时客观地确定权重,避免了主观随意性。本文的研究是探索性的,可为区域水资源承载能力综合评价提供参考依据。

参 考 文 献

1 许有鹏.干旱区水资源承载能力综合评价研究.自然资源学报,1993,8(3):229~237
2 高彦春,刘昌明.区域水资源开发利用的阈限分析.水利学报,1997,(8):73~79
3 林 衍等.模糊综合评判误判原因的探讨.系统工程理论方法应用,1997,6(2)
4 任若恩,王惠文.多元统计数据分析.北京:国防工业出版社,1997.92~119
5 水利电力部水利水电规划设计院.中国水资源利用.北京:水利电力出版社,1989.114~134

A COMPREHENSIVE EVALUATION OF THE REGIONAL
WATER RESOURCE CARRYING CAPACITY
——Application of Main Component Analysis Method

Fu Xiang Ji Changming

(Department of Hydraulic Power Engineering,
Wuhan University of Hydraulic and Electric Engineering, Wuhan, 430072)

Abstract

Aiming at the subjective random problem of the Fuzzy Comprehensive Evaluation Method in the comprehensive evaluation, the paper adopts the Main Component Analysis Method to undertake comprehensive evaluation of the regional water resource carrying capacity. Firstly, each of the seven main factors, i. e., regional irrigation rate, utilization rate of water resource, exploitation degree of water resource, water supply module, water requirement module, per capita water requirement quantity and environment water use rate was analyzed. Then, according to the prin-

principle of the main component analysis method, we used new integrated minority indexes to integrate and simplify the seven primary indexes. The different contribution and integrated response of minority indexes in the process of water resource development were explored. Meanwhile, on the basis of evaluation parameter classifying standard, we could obtain correspondent classifying standard of the main component to judge water resource carrying capacity by the use of the main component equation. In view of the above, the water resource carrying capacity of every area was judged by the Main Component Analysis Method. Lastly, we took water resource statistics data of the Pingba area as example, of which the results were compared with those of the Fuzzy Comprehensive Evaluation Method. We prove further the science characteristic of the Main Component Analysis Method. Therefore, it provides a decision-making basis for regional water resource development.

Key words regional water resource carrying capacity, main component analysis, contribution rate

欢迎订阅《农业环境与发展》

《农业环境与发展》是由全国农业环境保护科技情报网和农业部环境保护科研监测所联合主办的综合指导类科技期刊。

《农业环境与发展》以反映国内外农业环境管理、监测、法制建设、农业可持续发展以及合理利用、开发和保护农业自然资源等方面研究的最新进展、动态和技术为己任,为保护和改善农业生态环境、为农业持续发展服务。

本刊主要栏目有:农业环境管理、农业环境监测与评价、农业环境污染与治理、生态农业、法制建设、资源保护和开发、国外农业环保等栏目。

本刊对从事环境与资源研究,以及广大农业环境保护、管理、监测、科研的科技人员,环境管理决策人员,农业高等院校师生,社会发展工作者等都有参考价值。

本刊为季刊,每季第二个月的25日出版,国内外公开发行,刊号为ISSN1005-4944/CN12-1233/S,16开本,48页,每期定价4.00元,全年定价16元(含邮费)。本刊由邮局统一发行,国内邮发代号6-40,全国各地邮局均可订阅,如漏订,也可直接向本刊编辑部汇款订阅。编辑部地址:天津市南开区复康路31号 邮政编码:300191 电话:(022)23361247-2501