

基于主成分分析的南京市水资源承载力研究

童纪新, 顾希

(河海大学 商学院, 江苏 南京 211100)

摘要: 为了探求南京市水资源承载力的状况, 选取 14 个指标构建水资源承载力评价指标体系, 运用主成分分析法对南京市 2003 - 2012 年的水资源承载力水平进行比较分析和综合评价。结果表明: 人口与经济发展、水资源禀赋、资源利用效率是影响南京市水资源承载力的主要因素; 2003 - 2012 年南京市水资源承载力基本呈不断上升的趋势, 但在 2004 年出现了波动。总体上, 目前南京市的水资源承载力的发展态势是良好的, 但还是存在一定的上升空间。

关键词: 水资源承载力; 主成分分析; 水资源评价; 南京市

中图分类号: F299

文献标识码: A

文章编号: 1672-643X(2015)01-0122-04

Study on water resources carrying capacity in Nanjing based on principal component analysis

TONG Jixin, GU Xi

(Business School, Hohai University, Nanjing 211100, China,)

Abstract: In order to explore the situation of water resources carrying capacity in Nanjing, this paper selected 14 indicators to establish the evaluation index system of water resources carrying capacity, and compared and evaluated the level of water resources carrying capacity in Nanjing from 2003 to 2012 by using the principal component analysis. The results show that population and economic development, water resources endowment and utilization efficiency of resources are the main factors affecting the capacity in Nanjing; the water resources carrying capacity in Nanjing from 2003 to 2012 was on the positive tendency apart from 2004. On the whole, the development trend of carrying capacity in Nanjing is good but still exists certain rising space.

Key words: water resources carrying capacity; principal component analysis; water resources evaluation; Nanjing

1 水资源承载力概述

水是生命之源, 是在人类社会不断发展的过程中不可缺少的重要自然资源。随着人口的快速增长和经济的不断发展, 许多国家都不同程度地出现了水资源短缺和水资源污染等问题。近年来, 我国人多水少的现状持续恶化, 水资源供需矛盾不断加剧, 已经逐渐成为制约我国经济健康稳定发展的主要因素。为了实现水资源与人口、经济 and 环境的相协调发展, 国内外的许多专家学者对水资源承载力这一问题进行了研究^[1]。

国外学者通常将水资源承载力纳入到可持续发展的范畴中, 很少针对这一领域进行专门的学术研

究。1998 年美国 URS 公司首次运用数学分析模型对佛罗里达 Keys 流域的水资源承载力进行了研究^[2]。Falkenmark 等人从生态学的角度出发, 认为水资源承载力是一种长期可持续能力, 并运用系统动力学的方法, 揭示了人口数量和水资源承载力的动态关系。Harris 等人着重研究了农业水资源对农业的承载能力, 得出的结论是水资源利用量是影响农业可持续发展的重要因素。Rijiberman 在研究城市水资源评价和管理系统中将水资源承载力作为保障城市水资源安全的衡量标准。

我国对水资源承载力的研究最早在 1985 年, 新疆水资源软科学课题组针对新疆地区的水资源承载能力问题进行了研究, 并指出水资源承载能力是指

在满足维护生态环境用水要求后,所能支撑的工农业最大产值和人口数量。后来,我国学者对水资源承载力的定义提出了许多不同的看法,大致可以归纳为以下两类:一种观点侧重于从人类的需求角度进行解释,以能满足人类基本发展要求所必须的水资源数量来定义水资源承载力;另一种观点从水资源自身的角度出发,认为水资源承载力可以用水资源所能够支撑社会经济的能力来衡量^[3],但到目前为止,还没有形成一个有关水资源承载力概念的统一阐释。

结合我国当前的水资源现状,本文认为针对某一特定区域的水资源承载力是指在一定的时期内,以当前能够达到的科学技术水平为条件,以经济的可持续绿色发展为准则,以维护生态环境良性循环为目标,通过合理优化配置本地区可开发利用的水资源,为承受该地区的人口数量规模和社会经济活动所能提供的最大容纳和承载能力^[4]。根据上述定义,水资源承载力的特征主要包括以下 3 点:第一,动态性。随着人们对有关水资源承载力的认识更加全面和深入,开发和利用水资源的效率也将不断提高,所以水资源承载力水平是一个长期动态变化的过程^[5]。第二,区域性。水资源承载力受本地区的资源环境和经济结构的影响,各地区不同的区域特点和空间结构,使得不同地区的水资源承载力有所差别。第三,有限性。在特定的历史阶段,水资源承载力均存在一个可以实现的尽可能大的承载力上限,而无法超过这一界限,这主要是受当地自然环境、经济发展、人口数量等因素的约束^[6]。

2 主成分分析法

水资源承载力的研究方法有很多,其中具有代表性的主要有:常规趋势法、模糊评价法、层次分析法、主成分分析法等。其中,常规趋势法操作简单,但不能很好地体现影响水资源承载力各因素之间的相关性;模糊评价法虽然克服了常规分析法的局限性,但它利用取大取小的运算方法进行评价,会使部分有用信息丢失,不能准确反映原始数据的全部信息;层次分析法是由专家根据主观经验评判给分或者给出相关指标的权重系数,然后加权计算总分的一种评价方法,人为因素的干扰性较强^[7]。主成分分析法属于客观赋值法,是在确保尽可能多地保留原有变量所包含的初始信息的前提下,运用降维技术,把多个变量转化为用少数几个主成分所表示的综合指标^[8]。鉴于此,本文采用主成分分析法

这一多元统计分析工具来研究水资源承载力。利用主成分分析法来评价水资源承载力,是用几个相互之间保持独立性的主成分替代原有影响水资源承载力的所有因素,即用一个综合性的指标来反映水资源承载力的变化趋势。主成分分析法的一般分析和计算的步骤如下:①原始数据的标准化;②求相关系数矩阵;③计算特征值和特征向量,确定主成分的个数;④计算主成分得分;⑤根据各主成分的权重,计算综合指标得分。

3 南京市水资源承载力分析

3.1 研究区域概况

南京位于江苏省西南部,总人口 818.78 万人,总面积达到 6 597 km²,是江苏省政治、经济、文化的中心。南京是亚热带季风性气候,年平均温度达到 15.4℃,近年来最高气温为 39.7℃,最低气温为 -13.1℃;全年雨量比较充沛,年平均降水量有 1 106 mm。南京本地区的水资源量比较匮乏,年均地表水资源量 19.7 亿 m³,地下水资源量 6.7 亿 m³,但过境水资源量非常丰富,年均过境水资源量达到 9114 亿 m³^[9]。

随着人口的快速增长和城市化进程的不断加快,南京市水资源的利用效率低下、水环境的不断恶化等问题,已经成为影响人民生活质量和经济发展水平的瓶颈。通过评价南京市水资源承载力水平,不仅有利于促进本地区水资源的开发和利用,缓解当前供不应求的水资源短缺现状,还可以更好地发挥水资源对促进地方经济社会可持续发展的推动作用^[10]。

3.2 建立评价指标体系

在参考全国水资源供需分析中提出的指标体系的基础上,根据可行性、科学性、代表性等原则,结合南京市水资源的现状和特点,本文共选取 14 个指标来构建南京市水资源承载力评价指标体系。这些指标分别从社会、经济、环境、生态等不同角度来反映水资源的开发利用情况、水资源的供需现状以及水资源的区域环境条件,综合反映南京市水资源承载力的动态变化。具体各项指标如下:地区生产总值 X_1 , 亿元、固定资产投资 X_2 , 亿元、政府财政一般预算支出 X_3 , 亿元、万元 GDP 用水量 X_4 , m³、万元工业增加值用水量 X_5 , m³、年降水量 X_6 , 亿 m³、水资源总量 X_7 , 亿 m³、总供水量 X_8 , 亿 m³、人均生活用水量 X_9 , L、污水处理率 X_{10} , %、农田有效灌溉面积 X_{11} , km²、人口密度 X_{12} , 人/km²、城镇居民人均消

费性支出 X_{13} , 元、农村居民人均消费性支出 X_{14} , 元。

3.3 主成分计算及评价结果

3.3.1 数据的选取 本文以南京市为研究对象,运用 SPSS19.0 软件对南京市水资源承载力进行主成分分析。根据 2004 - 2013 年的《江苏统计年鉴》和《江苏省水资源公报》,对南京市 2003 - 2012 年的水资源承载力进行动态综合评价。为了消除原有数据之间量纲与量级对计算结果的影响,要使所有变量的均值为 0,方差为 1,所以在进行主成分分析前要对数据进行标准化处理。

3.3.2 共同度分析 变量的共同度是指提取的公因子能够代表各指标所包含的原始信息的程度。由表 1 可知,初始共同度均为 1,抽取主成分后的共同度也较高,所有变量的公因子方差在 0.6 以上,其中有 10 个变量的公因子方差都超过了 0.9。这说明提取的公因子能够较好地反映原始变量所包含的信息,适宜采用主成分分析法进行评价研究,分析结果的可靠性较高。

表 1 公因子方差

| 指标 | 初始 | 提取 | 指标 | 初始 | 提取 |
|-------|-------|-------|----------|-------|-------|
| X_1 | 1.000 | 0.997 | X_8 | 1.000 | 0.743 |
| X_2 | 1.000 | 0.995 | X_9 | 1.000 | 0.768 |
| X_3 | 1.000 | 0.982 | X_{10} | 1.000 | 0.965 |
| X_4 | 1.000 | 0.969 | X_{11} | 1.000 | 0.723 |
| X_5 | 1.000 | 0.977 | X_{12} | 1.000 | 0.962 |
| X_6 | 1.000 | 0.684 | X_{13} | 1.000 | 0.996 |
| X_7 | 1.000 | 0.923 | X_{14} | 1.000 | 0.995 |

3.3.3 主成分抽取 用 SPSS19.0 软件对标准化后的数据进行分析,得到主成分的特征值和方差贡献率,如表 2 所示。根据累积贡献率要大于 85%,并且特征值要大于 1 的原则,本文选取前 3 个因子为主成分,累积贡献率为 90.574%,即用主成分 F_1 、 F_2 、 F_3 代替原来 14 项指标来评价南京市水资源承载力水平,保留了原始变量 90.574% 的信息。

表 2 总方差解释

| 主成分 | 特征值 | 方差贡献率 | 累积方差贡献率 |
|-------|-------|--------|---------|
| F_1 | 8.443 | 60.305 | 60.305 |
| F_2 | 2.808 | 20.055 | 80.359 |
| F_3 | 1.430 | 10.214 | 90.574 |

3.3.4 主成分命名 因子载荷矩阵是用来反映各主成分与变量之间相关系数的矩阵,相关系数的数值越大,该变量对主成分的贡献度就越大。对因子

载荷矩阵作方差最大化正交旋转,使所有相关系数的规律更加明显,旋转后的因子载荷矩阵如表 3 所示。第一主成分与地区生产总值 (X_1)、固定资产投资 (X_2)、政府财政一般预算支出 (X_3)、人口密度 (X_{12})、城镇居民人均消费性支出 (X_{13}) 和农村居民人均消费性支出 (X_{14}) 存在较强的正相关关系,与万元 GDP 用水量 (X_4) 和万元工业增加值用水量 (X_5) 存在较强的负相关关系,故将 F_1 定义为人口与经济发展因子。第二主成分与年降水量 (X_6)、水资源总量 (X_7)、总供水量 (X_8) 和人均生活用水量 (X_9) 有正相关关系,故将 F_2 定义为水资源禀赋因子。第三主成分与污水处理率 (X_{10}) 和农田有效灌溉面积 (X_{11}) 呈较强的正相关关系,故将 F_3 定义为资源利用效率因子。

表 3 旋转主成分载荷矩阵

| 指标 | 第一主成分 | 第二主成分 | 第三主成分 |
|----------|--------|--------|--------|
| X_1 | 0.998 | -0.020 | 0.011 |
| X_2 | 0.996 | 0.051 | -0.009 |
| X_3 | 0.989 | 0.035 | -0.050 |
| X_4 | -0.919 | 0.314 | 0.164 |
| X_5 | -0.941 | 0.286 | 0.099 |
| X_6 | -0.172 | 0.689 | -0.424 |
| X_7 | 0.023 | 0.813 | -0.511 |
| X_8 | 0.106 | 0.798 | 0.308 |
| X_9 | -0.156 | 0.862 | -0.016 |
| X_{10} | -0.103 | -0.222 | 0.951 |
| X_{11} | -0.129 | -0.090 | 0.836 |
| X_{12} | 0.834 | 0.060 | 0.513 |
| X_{13} | 0.989 | 0.035 | -0.050 |
| X_{14} | 0.990 | 0.060 | 0.105 |

3.3.5 主成分得分及综合得分 利用 SPSS19.0 软件计算得到各主成分的得分,再将 3 个主成分得分按其方差贡献率加权平均得到综合得分,即水资源承载力 F ,计算公式如下:

$$F = 0.666F_1 + 0.221F_2 + 0.113F_3 \quad (1)$$

根据这一综合评价函数,计算 2003 - 2012 年南京市水资源承载力的综合得分,具体结果见表 4。计算得到的综合得分 F 越大,则说明水资源承载力水平越高;反之,就越低。由表 4 可知,2003 - 2012 年南京市水资源承载力总体呈上升的态势,但在 2004 年出现波动,其主要原因是降水量相对偏小。其中,2012 年的水资源承载力综合得分最高,达到 3.853;而 2004 年的水资源承载力综合得分最低,为 -2.092。第一主成分作为主控因子,其得分是逐年增长的,与综合得分趋势基本一致,反映了人口数量

和经济发展水平的不断提高。第二主成分的得分波动较大,说明南京市水资源供给不稳定,受到自然环境的影响和制约。第三主成分的得分没有明显的规律,水资源开发利用效率有待提高。

表 4 南京市水资源承载力的综合评价结果

| 年份 | F_1 | F_2 | F_3 | F | 排序 |
|------|--------|--------|--------|--------|----|
| 2003 | -4.212 | 3.084 | 0.312 | -2.088 | 9 |
| 2004 | -3.044 | -0.669 | 0.738 | -2.092 | 10 |
| 2005 | -2.212 | 0.036 | 0.608 | -1.397 | 8 |
| 2006 | -1.377 | -0.944 | 0.448 | -1.075 | 7 |
| 2007 | -0.588 | -2.307 | -0.490 | -0.957 | 6 |
| 2008 | 0.386 | -2.339 | -0.456 | -0.311 | 5 |
| 2009 | 0.838 | 0.147 | -1.394 | 0.433 | 4 |
| 2010 | 1.677 | 0.984 | -0.648 | 1.261 | 3 |
| 2011 | 3.317 | 1.566 | -1.615 | 2.373 | 2 |
| 2012 | 5.215 | 0.443 | 2.498 | 3.853 | 1 |

4 结论与对策

通过以上对南京市水资源承载力的实证研究分析,可以得到以下结论:

(1)总体来说南京市水资源承载力呈逐年上升的趋势。根据计算得到的水资源承载力得分可知,南京市的水资源承载力得分在 2009 年由负值变为正值,且近几年的数值上升速度较快,这说明南京市水资源承载力水平保持着一个良好的发展势头。

(2)提高南京市水资源承载力的主要驱动因素是人口与经济发展。在水资源承载力的表达式中,人口与经济发展因子的系数是 0.666,与其他两个因子相比,其对最终结果的影响力更大。

(3)南京市在提高水资源的利用效率方面还存在很大的发展空间。作为表示水资源利用效率的第三主因子的得分,近 10 年来基本上保持在 0 分左右,在 2012 年才达到 2 分以上,这说明水资源的利用效率问题在过去几年一直未得到重视,还有很大的提升空间。水资源的总量受自然条件的影响,在一定时间内较难得到很大的改变,所以如果能够有效提高水资源的利用效率,将进一步提高水资源的承载力水平。对此,本文对提升南京市整体水资源综合承载力提出如下建议:

加强水利设施建设,完善水利工程体系。由于人口规模的扩大和居民消费水平的增长,对水资源的需求会进一步增长。所以必须要提高水资源的供应量,以解决水资源供需不平衡的问题。政府应该针对水利建设工程,设立专项资金,提高对兴修水利

基础设施、扶持水利工程建设财政支出,确保从源头上破解水资源供不应求的局面。

调整产业结构,发展循环经济。南京市的用水结构是以农业、工业和生活用水为主。其中工农业用水占总用水量的比例较大,当务之急是要改变农业和工业粗放型的用水方式。在农业方面,要以生态农业为理念,大力发展节水型经济作物;在工业方面,应转变传统的高耗水、高污染的经济发展模式,全面推行清洁生产,优先发展低耗水、无污染的产业^[11]。

提高资源利用效率,建立“节水型”城市。一是通过技术手段,大力发展农业节水灌溉技术、加强工业污水处理技术、推广生活节水器具和设备,提高水资源的利用效率。二是要利用经济手段,建立以水市场理论为基础的水资源管理机制,明确水资源产权,合理制定水价,促进水资源的优化配置和合理利用^[12]。三是要采用法律手段,建立一系列的规章制度,用法律来约束企业高效用水,督促居民节约用水。

参考文献:

- [1] 刘佳骏,董锁成,李泽红. 中国水资源承载力综合评价研究[J]. 自然资源学报,2011,26(2):258-269.
- [2] Committee to review the Florida Keys Carrying Capacity Study, National Research Council. Interim review of the florida keys carrying capacity study [M]. Washington D. C. : National Academy,2001.
- [3] 王维维,孟江涛,张毅. 基于主成分分析的湖北省水资源承载力研究[J]. 湖北农业科学,2010,49(11):2764-2767.
- [4] 全海娟,许佳君,陈昌仁. 我国水资源承载能力评价研究进展初探[J]. 水利经济,2006,24(6):56-58.
- [5] 温雅欣. 山西省水资源承载力评价研究[D]. 太原:山西财经大学,2010.
- [6] 卢炎秋,程胜高,程迪雨. 基于主成分分析的恩施州水资源承载力研究[J]. 安全与环境工程,2013,20(5):94-99.
- [7] 白若男,欧洋铭,梁川. 基于主成分分析的成都市水资源承载力研究[J]. 中国水运,2012,12(12):200-202.
- [8] 周琳,金辉. 主成分分析法在江门市水资源承载力研究中的运用[J]. 人民珠江,2007,28(5):39-42.
- [9] 陈慧,冯利华,孙丽娜. 南京市水资源承载力的主成分分析[J]. 人民长江,2010,41(12):95-98.
- [10] 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.
- [11] 周文斌. 中部地区水资源开发与利用研究[M]. 北京:经济科学出版社,2006.
- [12] 白生成. 玉门市提高水资源承载力的途径[J]. 中国水利,2009(21):37-38.