

基于主成分分析法的城市人水和谐度评价

孟令爽, 唐德善, 史毅超
(河海大学 水利水电学院, 江苏 南京 210098)

摘要: 为综合评价城市人水和谐度,从水资源、生态、社会、经济4个方面建立了评价指标体系,采用基于 Spass 软件的主成分分析法构建了城市人水和谐度评价模型,对北京市 2011-2016 年的城市人水和谐度做出评价,并与投影追踪法计算结果进行比较。计算结果表明:北京市城市人水和谐度呈现总体上升的趋势;通过主成分分析,表明北京市应重点从社会、经济方面提高城市人水和谐度,与北京市实际情况相符;该评价模型具有合理性和可行性。

关键词: 人水和谐; 指标体系; 主成分分析法; 综合评价

中图分类号: X24 文献标识码: A 文章编号: 1672-643X(2018)01-0093-06

Evaluation of urban human-water harmony degree based on principal components analysis

MENG Lingshuang, TANG Deshan, SHI Yichao

(College of Water Conservancy and Hydropower Engineering, Hohai University, Nanjing 210098, China)

Abstract: In order to synthetically evaluate the harmonious degree of human and water in urban areas, an evaluation index system was established from 4 aspects of water resources, ecology, society and economy. The evaluation model of urban human-water harmony degree was constructed by using principal component analysis based on Spass software, and the human-water harmony degree of Beijing in 2011-2016 was evaluated and compared with the projection pursuit method. The results show that human-water harmony degree of Beijing demonstrates an overall upward trend. By principal component analysis, this indicates that Beijing should focus on improving the urban human-water harmony from the social and economic aspects, which is consistent with the actual situation in Beijing. The evaluation model is reasonable and feasible.

Key words: human-water harmony; index system; principal components analysis; comprehensive evaluation

1 研究背景

随着社会发展与人民生活水平不断提高,人类各种活动逐渐向城市转移,促使城市快速发展与城市人口的急剧增长,水-经济-社会-生态-人之间的矛盾逐渐凸显。近年来随着生态文明理念的不断深入,人水问题逐渐被提升到城市发展的战略地位,人水和谐成为新时期治水思路的本质要求^[1]。因此,综合评价城市人水和谐度,剖析人水和谐发展中存在的问题,对于加速城市生态文明建设具有极其重要的意义。

近年来国内外学者相继从多个角度开展了一系列的人水关系研究。我国学者汪恕诚^[2]提出要破

解中国水问题,就要促进人与自然的和谐相处;左其亭等^[3]论述了人水和谐的内涵并提出城市人水和谐评价的指标体系;戴会超等^[4]从人水主观感受度、人水和谐发展度、人水和谐协调度3个方面对南京的人水和谐程度进行了研究,表明南京人水和谐度逐年提高;张金鑫等^[5]基于云模型理论,建立了新型的人水和谐评价指标体系,提出了基于云模型的人水和谐评价方法;英国学者 Tony Allan 创造性提出“虚拟水”的概念,将水渗透到了人类发展的各个方面,从而更加全面地把握城市人水和谐。

本文在现有研究的基础上,从水资源、社会、经济和生态4个角度构建城市人水和谐评价指标体系,建立基于主成分分析法^[6]的城市人水和谐等级

收稿日期:2017-04-14; 修回日期:2017-07-08

基金项目:国家重点基础研究发展计划项目(2012CB417006)

作者简介:孟令爽(1993-),男,河北衡水人,硕士研究生,研究方向为水利水电工程规划。

通讯作者:唐德善(1955-),男,江苏泰州人,博士,教授,博士生导师,研究方向为水利水电工程建设与管理。

评价模型,旨在对城市人水和谐度做出客观合理的评价。

2 城市人水和谐内涵及评价指标体系

2.1 城市人水和谐内涵

人文社会系统与水系统相互关联,相互影响共同组成复杂的人-水系统。城市人水系统可以简单地理解为城市人文系统与城市水系统之间的关系问题,它包含3方面的内容:(1)人文系统可持续发展;(2)水系统不断改善;(3)水系统是人文系统发展的基础,人文系统发展是水系统健康的保障。

2.2 城市人水和谐度评价指标体系

评价指标体系的建立遵循以下原则^[7]:系统性、科学合理性、客观性、无关性、可操作性等。在综

合考虑各种因素、原则的前提下,客观合理地选择独立并且具有代表性的指标,进而对评价对象进行系统客观科学地评价。

本文在现有研究的基础上,基于人水和谐的基本涵义,将指标体系分为3个层面^[8]:目标层即城市人水和谐;准则层为反映当代城市人水关系的4大核心要素,即水资源情况、生态发展情况、经济发展情况、社会发展情况;指标层为反映这4个核心方面的具体指标,通过DELPH法^[9]、专家咨询法^[10]等对指标进行筛选整合,构建了包含19项指标的城市人水和谐度评价指标体系^[3](见表1),其中 C_2 、 C_{10} 、 C_{11} 、 C_{12} 为定性指标,采用问卷调查的方法确定;其余为定量指标,通过国民经济和社会发展公报等大数据资料确定。

表1 城市人水和谐度评价指标体系

| 目标层 | 准则层 B | 指标层 C | 计算方法 |
|---------|--------------|---|---------------------|
| 城市人水和谐度 | 水资源情况 B_1 | 水资源总量 $C_1 / 10^8 \text{ m}^3$ | 地表水资源与地下水资源补给有效数量总和 |
| | | 河岸河床稳定性 C_2 | 定性指标问卷调查 |
| | | 人均用水量 C_3 / m^3 | 总用水量/总人数 |
| | | 人均生活用水量 C_4 / m^3 | 生活用水总量/总人数 |
| | | 人均水资源量 C_5 / m^3 | 水资源总量/总人数 |
| | | 单位面积水资源量 $C_6 / 10^4 (\text{m}^3 \cdot \text{km}^{-2})$ | 水资源总量/城市面积 |
| | 生态发展情况 B_2 | 城市绿化率 $C_7 / \%$ | 绿化面积/城市面积 |
| | | 污水处理率 $C_8 / \%$ | 污水处理量/污水总量 |
| | | 生态用水量 $C_9 / 10^8 \text{ m}^3$ | 维持生态系统完整性所需要的水资源总量 |
| | | 河岸亲水景观舒适度 C_{10} | 定性指标问卷调查 |
| | | 水文化建设情况 C_{11} | 定性指标问卷调查 |
| | 经济发展情况 B_3 | 水系统抗干扰能力 C_{12} | 定性指标问卷调查 |
| | | 人均GDP $C_{13} / 10^4$ 元 | GDP总值/总人口 |
| | | 万元GDP耗水量 C_{14} / m^3 | 总用水量/总产值 |
| | | 工业用水量 $C_{15} / 10^8 \text{ m}^3$ | 工业生产中直接和间接使用的水量 |
| | 社会发展情况 B_4 | 万元工业产值用水量 C_{16} / m^3 | 工业用水量/工业产值 |
| | | 人口密度 $C_{17} / (\text{m}^3 \cdot \text{km}^{-2})$ | 总人口/城市面积 |
| | | 人口增长率 $C_{18} / \%$ | 增加人数/总人数 |
| | | 教育投资占GDP比率 $C_{19} / \%$ | 教育投资/GDP总值 |

3 城市人水和谐度评价模型

城市人水和谐度评价是一个多指标、高维度的问题,其评价是通过数学的方法,利用已有的指标数据,建立相应的评价模型,利用该模型与样本数据,对样本的人水和谐度进行评价。

主成分分析法是一种分析处理高维度数据的方法,它在分析和处理高维度的数据时可以极大程度降低原始数据维数。主成分分析法以其处理高维数据以及避免人为主观成分、实现客观评价的特点,在

多种评价中得到广泛使用。因此本文采用基于Spss软件的主成分分析法构建城市人水和谐度评价模型,对城市人水和谐等级做出客观评价。

3.1 主成分分析法基本思想

主成分分析法的原理即根据各指标特征值以及指标方差累计贡献率确定指标主成分,利用主成分代替原来的评价指标,从而降低了数据维度,使评价更加清晰、简便。通过对低维度空间中数据的研究,充分反映出高维数据的特点,进而对各个样本进行评价对比。

3.2 主成分分析法模型构建过程

使用主成分分析法构建城市人水和谐度评价模型,应按以下步骤^[11]进行:

(1) 步骤 1:对评价指标的原始数据进行归一化处理。

设共有 m 个评价指标, k 个待评价样本,列出待评样本的指标原始值矩阵,为了避免各个指标因其单位、数量级等不同而造成数据操作以及数据对比的不便,可以采用公式(1)对评价指标的原始数据进行归一化处理。

$$x_{ij} = (x_{ij}^* - \bar{x}_j) / S_j \quad (1)$$

式中: x_{ij} 为第 i 个样本中第 j 个指标原始数值在进行归一化处理之后的数值; x_{ij}^* 为第 i 个样本中第 j 个指标原始数值; \bar{x}_j 为第 j 个指标原始数值的均值; S_j 为第 j 个指标原始数值的标准差。

(2) 步骤 2:确定主成分个数。

对归一化数据进行主成分分析,当成分特征值大于 1 且方差累计贡献率大于 85% 时,确定主成分个数 p ,方差累计贡献率采用公式(2)确定。

$$\alpha = \sum_{i=1}^p a_i / \sum_{i=1}^m a_i \quad (2)$$

式中: α 为方差累计贡献率; p 为主成分个数; m 为指标总个数; a_i 为第 i 个指标的方差贡献率。

(3) 步骤 3:确定主成分表达式。

对于第 k 个评价样本有:

$$\begin{cases} F_{k1} = b_{11}x_{1k} + b_{12}x_{2k} + \dots + b_{1m}x_{mk} \\ F_{k2} = b_{21}x_{1k} + b_{22}x_{2k} + \dots + b_{2m}x_{mk} \\ \vdots \\ F_{kp} = b_{p1}x_{1k} + b_{p2}x_{2k} + \dots + b_{pm}x_{mk} \end{cases} \quad (3)$$

式中: F_{ki} 为第 k 个样本的第 i 个主成分表达式; b_{ij} 为第 i 个主成分中,第 j 个指标的权重,可以用第 i 个主成分与第 j 个指标的相关系数除以主成分 i 的特征值开平方根求得; x_{jk} 为第 k 个样本中第 j 个指标归一化值。

(4) 步骤 4:建立主成分评价模型。

确定第 k 个样本的评价函数 F_k 。

$$F_k = a_1 F_{k1} + a_2 F_{k2} + \dots + a_p F_{kp} \quad (4)$$

通过与样本结合,得到评价值,评价值越大说明样本越优:

$$F^* = \max(F_k) \quad (5)$$

式(4)、(5)中: F_k 为第 k 个样本的评价函数; a_p 为第 p 个主成分方差贡献率,可以通过第 p 个主成分方差与主成分方差累积之商表示; F^* 为最优评价值,为所有样本评价值的最大值。

4 实例研究

北京市是我国历史文化古都,文化、政治、商业、科技发展中心,位于华北平原的西北边缘,靠近天津并且被河北环绕。全市土地面积约为 16 800 km²,辖区内有 16 个区、147 个街道、38 个乡、144 个镇。北京市内无天然湖泊,大、小水库共 85 座,有五大自然水系汇入渤海。

北京市近年来发展迅速,人口激增,致使水荒现象不断加重,城市发展对水的需求远远超过了水资源供给能力。多年来,通常以牺牲地下水环境来保证城市的发展,地下水连年超采。北京市作为严重缺水的城市之一,人均水资源量远远达不到 300 m³,仅为我国人均水资源量的 1/8,是全世界人均水资源占有量的 1/30,因此对于北京市的人水和谐度应该引起极大的重视。通过查阅北京市 2011 - 2016 年国民经济和社会发展统计公报,将北京市连续 6 年评价指标原始数据汇总如表 2 所示。

表 2 北京市 2011 - 2016 年评价指标原始数据

| 评价 指标 | 北京市 2011 - 2016 年的评价指标值 | | | | | |
|-----------------|-------------------------|--------|--------|--------|--------|--------|
| | 2011 | 2012 | 2013 | 2014 | 2015 | 2016 |
| C ₁ | 24.70 | 39.50 | 26.20 | 21.61 | 29.29 | 35.10 |
| C ₂ | 0.65 | 0.71 | 0.79 | 0.83 | 0.87 | 0.88 |
| C ₃ | 178.34 | 176.39 | 172.12 | 174.24 | 176.00 | 178.56 |
| C ₄ | 77.28 | 76.35 | 77.08 | 78.92 | 80.49 | 66.27 |
| C ₅ | 122.36 | 190.89 | 123.89 | 100.40 | 134.95 | 161.54 |
| C ₆ | 14.70 | 23.51 | 15.59 | 12.86 | 17.43 | 20.89 |
| C ₇ | 45.6 | 46.2 | 46.8 | 47.4 | 48.0 | 48.1 |
| C ₈ | 82 | 83 | 84 | 85 | 87 | 90 |
| C ₉ | 4.20 | 5.10 | 5.90 | 7.25 | 10.43 | 11.10 |
| C ₁₀ | 0.66 | 0.69 | 0.72 | 0.78 | 0.82 | 0.87 |
| C ₁₁ | 0.66 | 0.68 | 0.74 | 0.75 | 0.81 | 0.83 |
| C ₁₂ | 0.63 | 0.65 | 0.68 | 0.71 | 0.75 | 0.79 |
| C ₁₃ | 8.04 | 8.71 | 9.32 | 10.00 | 10.60 | 11.50 |
| C ₁₄ | 22.50 | 20.50 | 18.66 | 17.58 | 16.63 | 15.60 |
| C ₁₅ | 5.20 | 5.00 | 5.10 | 5.09 | 3.85 | 3.70 |
| C ₁₆ | 17.11 | 15.18 | 14.42 | 13.58 | 10.51 | 9.52 |
| C ₁₇ | 1230 | 1261 | 1289 | 1311 | 1323 | 1324 |
| C ₁₈ | 4.02 | 4.74 | 4.41 | 4.83 | 3.01 | 4.12 |
| C ₁₉ | 5.82 | 5.79 | 6.16 | 6.03 | 5.59 | 5.94 |

注:表格中数据来自 2011 - 2016 年北京市国民经济和社会发展统计公报。

4.1 城市人水和谐度评价模型应用

对原始数据进行整理,根据前述模型构建步骤,利用 Spass 软件^[12]计算得各成分初始特征值以及解释的方差贡献率,整理见表3。

表3 初始特征值及解释的方差贡献率

| 成分 | 初始特征值 | | | 提取平方和载入 | | |
|----|-------|---------|------------|---------|---------|------------|
| | 合计 | 方差贡献率/% | 方差贡献率累计率/% | 合计 | 方差贡献率/% | 方差贡献率累计率/% |
| 1 | 11.93 | 62.78 | 62.78 | 11.93 | 62.78 | 62.78 |
| 2 | 4.22 | 22.22 | 85.00 | 4.22 | 22.22 | 85.00 |
| 3 | 1.53 | 8.05 | 93.05 | 1.53 | 8.05 | 93.05 |
| 4 | 0.96 | 5.05 | 98.10 | | | |
| 5 | 0.36 | 1.90 | 100.00 | | | |
| 6 | 0 | 0 | 100.00 | | | |
| 7 | 0 | 0 | 100.00 | | | |
| 8 | 0 | 0 | 100.00 | | | |
| 9 | 0 | 0 | 100.00 | | | |
| 10 | 0 | 0 | 100.00 | | | |
| 11 | 0 | 0 | 100.00 | | | |
| 12 | 0 | 0 | 100.00 | | | |
| 13 | 0 | 0 | 100.00 | | | |
| 14 | 0 | 0 | 100.00 | | | |
| 15 | 0 | 0 | 100.00 | | | |
| 16 | 0 | 0 | 100.00 | | | |
| 17 | 0 | 0 | 100.00 | | | |
| 18 | 0 | 0 | 100.00 | | | |
| 19 | 0 | 0 | 100.00 | | | |

由表3可知,共有3个满足特征值大于1且方差贡献率累计为93.05%的成分,由前文方差贡献率大于85%的原则可知,这3个成分可以很好地反映原来19个评价指标。所以根据主成分计算过程,选择3个新的变量作为主成分,主成分矩阵整理见表4。

由表4可以看出,第1主成分在“生态发展情况”层面所包含指标上的载荷极大,分别为0.978,0.978,0.987,0.989,0.990,0.995,所以 F_1 主成分可以很好替代“生态发展情况”层面的指标。第2主成分在“水资源情况”层面所包含指标上的载荷极大,分别为0.902,0.719,0.925,0.902, F_2 可以较好替代“水资源情况”层面的指标。第3主成分在“经济、社会发展情况”层面所包含指标上的载荷较大,分别为0.277,0.027,0.152,0.768,0.398,所以 F_3 主成分可以较好替代“经济、社会发展情况”层面的指标。

主成分中各指标得分结果整理见表5。

表4 主成分矩阵

| 评价指标 | 主成分 | | |
|----------|--------|--------|--------|
| | 1 | 2 | 3 |
| C_1 | 0.196 | 0.902 | 0.289 |
| C_2 | 0.955 | -0.250 | 0.118 |
| C_3 | 0.097 | 0.719 | -0.549 |
| C_4 | -0.454 | -0.533 | -0.255 |
| C_5 | 0.072 | 0.925 | 0.279 |
| C_6 | 0.195 | 0.902 | 0.289 |
| C_7 | 0.978 | -0.165 | 0.029 |
| C_8 | 0.978 | 0.120 | -0.009 |
| C_9 | 0.987 | 0.043 | -0.152 |
| C_{10} | 0.989 | -0.030 | -0.024 |
| C_{11} | 0.990 | -0.121 | -0.021 |
| C_{12} | 0.995 | -0.009 | -0.026 |
| C_{13} | 0.993 | -0.031 | 0.058 |
| C_{14} | -0.970 | 0.163 | -0.164 |
| C_{15} | -0.901 | -0.308 | 0.277 |
| C_{16} | -0.995 | -0.071 | 0.027 |
| C_{17} | 0.937 | -0.262 | 0.152 |
| C_{18} | -0.416 | -0.018 | 0.768 |
| C_{19} | 0.323 | -0.786 | 0.398 |

表5 主成分得分系数

| 评价指标 | 主成分 | | |
|----------|--------|--------|--------|
| | 1 | 2 | 3 |
| C_1 | 0.016 | 0.214 | 0.189 |
| C_2 | 0.080 | -0.059 | 0.077 |
| C_3 | 0.008 | 0.170 | -0.359 |
| C_4 | -0.038 | -0.126 | -0.167 |
| C_5 | 0.006 | 0.219 | 0.182 |
| C_6 | 0.016 | 0.214 | 0.189 |
| C_7 | 0.082 | -0.039 | 0.019 |
| C_8 | 0.082 | 0.028 | -0.006 |
| C_9 | 0.083 | 0.010 | -0.099 |
| C_{10} | 0.083 | -0.007 | -0.016 |
| C_{11} | 0.083 | -0.029 | -0.013 |
| C_{12} | 0.083 | -0.002 | -0.017 |
| C_{13} | 0.083 | -0.007 | 0.038 |
| C_{14} | -0.081 | 0.039 | -0.107 |
| C_{15} | -0.075 | -0.073 | 0.181 |
| C_{16} | -0.083 | -0.017 | 0.018 |
| C_{17} | 0.079 | -0.062 | 0.100 |
| C_{18} | -0.035 | -0.004 | 0.052 |
| C_{19} | 0.027 | -0.186 | 0.260 |

由前述计算过程与表 3、表 5 可得北京市人水和谐度评价模型:

$$F_1 = 0.016X_1 + 0.080X_2 + 0.008X_3 - 0.038X_4 + 0.006X_5 + 0.016X_6 + 0.082X_7 + 0.082X_8 + 0.083X_9 + 0.083X_{10} + 0.083X_{11} + 0.083X_{12} + 0.083X_{13} - 0.081X_{14} - 0.075X_{15} - 0.083X_{16} + 0.079X_{17} - 0.035X_{18} + 0.027X_{19}$$

$$F_2 = 0.214X_1 - 0.059X_2 + 0.170X_3 - 0.126X_4 + 0.219X_5 + 0.214X_6 - 0.039X_7 + 0.028X_8 + 0.010X_9 - 0.007X_{10} - 0.029X_{11} - 0.002X_{12} - 0.007X_{13} + 0.039X_{14} - 0.073X_{15} - 0.017X_{16} - 0.062X_{17} - 0.004X_{18} + 0.186X_{19}$$

$$F_3 = 0.189X_1 + 0.077X_2 - 0.359X_3 - 0.167X_4 + 0.182X_5 + 0.189X_6 + 0.019X_7 - 0.006X_8 - 0.099X_9 - 0.016X_{10} - 0.013X_{11} - 0.017X_{12} + 0.038X_{13} - 0.107X_{14} + 0.181X_{15} + 0.018X_{16} + 0.100X_{17} + 0.052X_{18} + 0.260X_{19}$$

$$F = 0.6747F_1 + 0.2388F_2 + 0.0865F_3$$

将北京市 2011 - 2016 年的指标归一化数值代入该模型,得 2011 - 2016 年的综合得分依次为: -0.9466, -0.1141, -0.3251, -0.2154, 0.4491, 1.1521。2011 - 2016 年北京市人水和谐度结果汇总见表 6。

表 6 2011 - 2016 年各项得分及排名

| 年份 | F_1 | 排名 | F_2 | 排名 | F_3 | 排名 | 综合得分 | 排名 |
|------|---------|----|---------|----|---------|----|---------|----|
| 2011 | -1.2853 | 6 | 0.1373 | 3 | -1.2972 | 6 | -0.9466 | 6 |
| 2012 | -0.7578 | 5 | 1.3528 | 1 | 0.8572 | 2 | -0.1141 | 3 |
| 2013 | -0.2787 | 4 | -0.9364 | 5 | 1.0001 | 1 | -0.3251 | 5 |
| 2014 | 0.0566 | 3 | -1.2075 | 6 | 0.4020 | 3 | -0.2154 | 4 |
| 2015 | 0.8940 | 2 | -0.2207 | 4 | -1.1721 | 5 | 0.4491 | 2 |
| 2016 | 1.3712 | 1 | 0.8745 | 2 | 0.2092 | 4 | 1.1521 | 1 |

4.2 评价结果分析

4.2.1 计算结果分析 根据表 6 中各项分数以及排名绘制“各项得分 - 年份”折线图(图 1),从图 1 中可以直观看出:

(1)2011 - 2016 年北京市人水和谐度总体呈现上升趋势,其中 2012 年水资源总量为近几年最大,达到 $39.5 \times 10^8 \text{ m}^3$,所以 2012 年排在第 3 名,其余年份排名呈现持续上升趋势,表明由于最严格水资源管理措施的实施以及 2014 年南水北调南水正式入京,北京市人水和谐程度逐渐得到改善。

(2)由 F_1 主成分排名可以看出北京市生态建设情况逐年上升,表明北京市政府采取的一系列生态治理措施如减少污染排放、促进低碳发展、改善生态环境质量、提升城市生态环境质量和承载能力等收到了极大的成效,但在城市绿化率、水文化建设等方面仍有较大的提升空间。

(3)由 F_2 主成分排名可以看出,2012 年降水较多,水资源量丰富,人均水资源量最高为 190.89 m^3 ,因此其水资源情况最优,排名第 1;2013 年北京市水资源总量较 2012 年下降较大,但其人口增长率较高,因此使其水资源情况出现大幅度下降;2014 年人均水资源量最低,为 100.4 m^3 ,由于北京市加

强了水资源管理、实施水务统管、开展污水回用、雨洪利用、鼓励市民节约用水以及南水北调南水入京,北京市水资源情况从 2014 年开始有了大幅度改善。

(4)由 F_3 主成分排名看出,北京市社会经济发展情况发展不够理想,人口增长较快,人口密度大,2016 年人口密度为 1324 人/km^2 ,对人水和谐造成极大威胁。北京市应严格控制城市人口增长,加速产业结构转型,形成以第三产业为主导的现代化节水型城市。综合 4 项排名来看,2016 年的 4 项得分中, F_3 主成分排名较低,所以今后北京市应重点从社会经济层面改善其人水和谐状况,促进“人 - 水 - 经济 - 社会 - 生态”五位一体化发展。

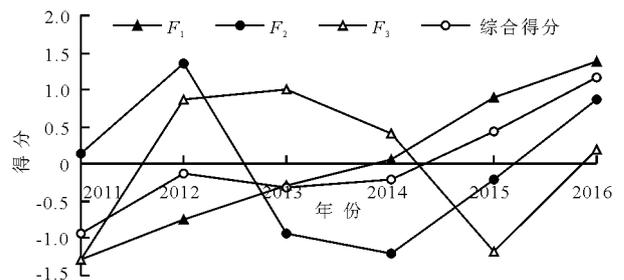


图 1 各项得分 - 年份折线图

4.2.2 与投影寻踪法评价结果对比分析 投影寻

踪法^[13-14]也是高维度问题的一种有效处理方法,其基本原理就是通过最大化投影指标函数来确定最优的投影方向,从而将高维度数据投影到低维度子空间上,通过对低维度空间中数据的分析,使研究结果更加清晰,从而达到对高维原始数据进行研究的目的。通过投影寻踪法计算,最佳投影方向为(0.2644, 0.2579, 0.1361, 0.2601, 0.2785, 0.2466, 0.2077, 0.2941, 0.2468, 0.1524, 0.2682, 0.1377, 0.2534, 0.2135, 0.3117, 0.2321, 0.0928, 0.2467, 0.0634),2011年-2016年投影值依次为:0.4477,1.4770,1.4766,1.4777,2.7881,3.5444。北京市2011-2016年人水和谐度从高到低依次为:2016、2015、2014、2012、2013、2011年。主成分分析法评价结果与投影寻踪法评价结果基本一致,结果见表7,评价结果与北京市基本情况相符,基于主成分分析法的人水和谐度评价切实可行。

表7 2011-2016年两种方法评价结果排名对比

| 方法 | 2011 | 2012 | 2013 | 2014 | 2015 | 2016 |
|--------|------|------|------|------|------|------|
| 主成分分析法 | 6 | 3 | 5 | 4 | 2 | 1 |
| 投影寻踪法 | 6 | 4 | 5 | 3 | 2 | 1 |

5 结论

通过对城市的人水和谐度进行评价,可以反映出城市人水问题,本文利用主成分分析法对城市人水和谐度问题做出了客观评价,取得以下两点结论:

(1)本文立足于北京市的人水关系现状,从城市水资源情况、生态发展情况、经济发展情况、社会发展情况4个方面提出了包含19项评价指标的城市人水和谐度评价指标体系。

(2)利用主成分分析法提出了城市人水和谐度评价模型的构建方法,可避免人为主观因素对评价结果的影响,并利用该模型对北京市2011-2016年的人水和谐度做出评价,结果与投影寻踪法所得结果基本一致,说明了将主成分分析法与城市人水和

谐评价问题结合的可行性,并根据评价结果,为北京市人水和谐建设提出了改进措施。

参考文献:

- [1] 左其亭,张云.人水和谐量化研究方法及应用[M].北京:中国水利水电出版社,2009.
- [2] 汪恕诚.人与自然和谐相处-破解中国水问题的核心理念[J].今日国土,2004(Z2):6-9.
- [3] 左其亭,张云,林平.人水和谐评价指标及量化方法研究[J].水利学报,2008,39(4):440-447.
- [4] 戴会超,唐德善,张范平,等.城市人水和谐度研究[J].水利学报,2013,44(8):973-978+986.
- [5] 张金鑫,唐德善,丁亿凡,等.基于云模型的流域人水和谐评价方法[J].水电能源科学,2015,33(9):155-158+127.
- [6] 贾喜午,周坚,吕庆云,等.基于主成分分析法的复合营养米评价模型的建立[J].中国粮油学报,2015,30(7):123-127.
- [7] 郭潇,方国华,章哲恺.跨流域调水生态环境影响评价指标体系研究[J].水利学报,2008,39(9):1125-1130+1135.
- [8] 赵洪杰,唐德善.黑河中游灌区水资源综合效益评价研究[J].节水灌溉,2006(6):58-60+62.
- [9] 冯彩云,许新桥,孙振元.北京近自然园林绿地植物群落综合评价指标体系研究[J].安徽农业大学学报,2014,41(6):950-955.
- [10] 孔越,陈娟.社区卫生服务满意度指标体系中专家咨询法的可靠性分析[J].解放军预防医学杂志,2007,25(4):259-261.
- [11] 王林鹏.基于主成分分析法的深基坑支护方案优选模型[J].河南科学,2011,29(6):699-702.
- [12] 杨竞,童祯恭,刘玉哲.SPSS软件对饮用水水质进行主成分分析评价的运用[J].环境科学与技术,2011,34(7):171-174.
- [13] 黄显峰,贾永乐,方国华.基于投影寻踪法的城市水生态文明建设的综合评价[J].水资源保护,2016,32(6):117-122.
- [14] 方国华.多目标决策理论、方法及其应用[M].北京:科学出版社,2011.