

# 主成分分析在城市可持续发展评价中的应用

黄友均, 许建\*, 黎泽伦

(1. 安徽大学生命科学学院, 安徽合肥 230039; 2. 安徽省环境保护局, 安徽合肥 230061; 3. 合肥工业大学, 安徽合肥 230009)

**摘要** 基于可持续发展理论, 选取19项指标建立了城市可持续发展评价指标体系。提出主成分分析方法在城市可持续发展评价中的应用思路和过程, 采用社会科学统计软件包SPSS(13.0)对合肥“十五”期间可持续发展状况进行实证评价研究。最终选取3个主成分, 建立了综合评价模型并计算得到了城市可持续发展综合评价值。结合定性方法, 对合肥市可持续发展状况进行讨论得到: “十五”期间, 合肥市可持续发展总体水平逐年上升, 其中第三产业占GDP比例、人均耕地面积和工业废水排放达标率对合肥市可持续发展起着负面作用。研究结果可为合肥可持续发展的布局与规划提供理论依据, 同时验证了主成分分析方法在城市可持续发展中的可行性。

**关键词** 主成分分析; 城市可持续发展; 指标体系; 综合评价

中图分类号 F291 文献标识码 A 文章编号 0517-6611(2007)24-07597-02

## Study and Application of the Principal Component Analysis in Sustainable Development of Urban

HUANG You-jun et al (School of Life Science, Anhui University, Hefei, Anhui 230039)

**Abstract** The evaluation indices system of sustainable development is established based on the theory of sustainable development. The application of the principal component analysis was introduced in the paper, with the demonstration study of sustainable development of Hefei from the year 2001~2005 by the SPSS (statistics package for social science) (13.0) software. Three principal components were chosen at last, and then the comprehensive model was established and the comprehensive indices were obtained. Then the sustainable development state of Hefei was discussed. It was concluded that the sustainable development state of Hefei was increasing; the ratio of third industry to GDP, percentage of industrial waste water up to the standards for discharge and area per capita of cultivated land held back sustainable development of Hefei. The results can provide the theory basis for the layout of sustainable development of Hefei, at the same time, which proved the practicability of application of the principal component analysis in sustainable development.

**Key words** Principal component analysis; Sustainable development of urban; Evaluation indices system; Comprehensive index

可持续发展已经成为当代研究的热点和前沿, 而城市可持续发展是可持续发展的重要组成部分。随着城市化水平的不断提高, 城市在社会和经济发展中的主导作用更加显著<sup>[1-2]</sup>, 城市可持续发展水平的评估对于城市的发展也越来越重要。关于城市可持续发展评价的研究已有很多, 且主成分分析方法在不同城市横向的比较研究中也得到了不同的运用<sup>[3]</sup>, 说明主成分分析方法在不同城市可持续发展评价中的比较研究是有实际价值的。笔者在此基础上, 以合肥市为例, 运用主成分方法从纵向来评价研究城市可持续发展状况。

## 1 城市可持续发展评价指标体系的建立

1987年世界环境与发展委员会在《我们共同的未来》报告中第一次阐述了可持续发展的概念, 得到了国际社会的广泛共识。可持续发展指既满足现代人的需求又不损害后代人满足需求的能力<sup>[4]</sup>, 即经济、社会、资源和环境保护协调发展。可持续发展与环境保护既有联系, 又不等同, 环境保护是可持续发展的重要方面。可持续发展的核心是发展, 但要求在严格控制人口、提高人口素质和保护环境、资源持续利用的前提下进行经济和社会的发展<sup>[5-6]</sup>。建立可持续发展指标体系, 需要考虑整个城市经济、人口、社会、环境等综合因素, 另外, 考虑到数据的可获得性及科学性, 笔者选用19项指标建立了合肥市可持续发展评价指标体系(表1)。

## 2 实证研究

**2.1 对数据进行标准化处理** 指标之间由于各自单位、量级的不同而存在着不可公度性, 对其进行综合评价时, 为了尽可能地反映实际情况, 必须排除由于各项指标的单位不同以及其数值量级间的悬殊差别所带来的影响, 需要对评价指标作无量纲化处理。指标标准化的方法很多, 笔者从计算准

确方便的角度出发利用SPSS软件, 通过Analyze对话框直接对原始数据进行标准化<sup>[9]</sup>。

**2.2 建立相关系数矩阵, 选择主成分** 根据主成分分析方法, 利用社会统计软件SPSS(13.0)计算得到城市可持续发展的相关系数矩阵<sup>[10]</sup>, 由于篇幅原因, 只列出方差分解主成分提取分析结果(表2)和初始因子载荷矩阵(表1)。由数据分析知, 人均粮食产量、第三产业从业人员比例、人口自然增长率、人均拥有道路面积、人均生活用水量、工业废水排放达标率与其他指标相关性不是很大, 信息重叠性不强, 而其他大部分的数据存在信息量的重叠。

表1 城市可持续发展评价指标体系及初始因子载荷矩阵

项目	指标	主成分		
		1	2	3
X <sub>1</sub>	人均生产总值 元	0.979	-0.179	-0.097
X <sub>2</sub>	城镇居民人均年可支配收入 元	0.998	-0.054	0.013
X <sub>3</sub>	农民人均年纯收入 元	0.996	0.063	-0.049
X <sub>4</sub>	人均财政收入 元	0.997	0.049	-0.056
X <sub>5</sub>	第三产业占GDP比例 %	0.804	-0.582	-0.116
X <sub>6</sub>	全社会人均固定资产投资 %	0.999	-0.028	0.009
X <sub>7</sub>	人均粮食产量 kg	0.311	0.509	-0.793
X <sub>8</sub>	城镇化水平 %	0.971	-0.051	-0.152
X <sub>9</sub>	第三产业从业人员比例 %	0.886	0.431	0.068
X <sub>10</sub>	医院床位数 张 万人	0.876	-0.462	-0.136
X <sub>11</sub>	人口自然增长率 %	-0.399	0.689	0.603
X <sub>12</sub>	高等学校在校学生 人 万人	0.988	0.097	0.049
X <sub>13</sub>	城镇居民人均居住面积 m <sup>2</sup>	0.958	-0.176	0.088
X <sub>14</sub>	城镇居民恩格尔系数 %	0.973	-0.157	0.166
X <sub>15</sub>	人均拥有道路面积 m <sup>2</sup>	0.831	0.126	0.513
X <sub>16</sub>	人均公共绿地面积 m <sup>2</sup>	0.903	0.133	0.399
X <sub>17</sub>	人均耕地面积 hm <sup>2</sup>	-0.989	-0.098	0.019
X <sub>18</sub>	人均生活用水量 L/d	0.279	0.912	-0.252
X <sub>19</sub>	工业废水排放达标率 %	-0.566	-0.797	0.048

注: 数据主要来源于《合肥市统计年鉴》<sup>[7]</sup>和《安徽省统计年鉴》<sup>[8]</sup>。

主成分个数提取原则为: 主成分对应的特征值大于1的

作者简介 黄友均(1979-), 女, 重庆人, 硕士研究生, 研究方向: 环境管理与规划。\* 通讯作者, 硕士生导师, 高级工程师。

收稿日期 2007-04-29

前  $m$  个主成分,且主成分累积贡献率大于 85%。特征值在某种程度上可以被看成是表示主成分影响力度大小的指标。从表 2 可知,提取 3 个主成分,即  $m=3$ ,从表 1 可知  $X_{11}$ 、 $X_{18}$ 、 $X_{19}$  在第 2 主成分上有较高载荷, $X_7$  在第 3 主成分上有较高载荷,其余指数在第一主成分上均有较高载荷;根据表 2,前 3 个主成分累积贡献率为 98.67%,从这也可以判断出选取 3 个主成分可以基本反映所有指标的信息。

用表 1(主成分载荷矩阵)中的数据除以主成分对应的特征值开平方根便可得到 3 个主成分中每个指标对应的系数。

表 1 主成分载荷实际就是各指标因子与相应主成分间的相关系数。由表 1 主成分  $F_1$  知,人均生产总值、城镇居民人均年可支配收入、农民人均年纯收入等与第 1 主成分上有较大的正相关性;人口自然增长率、人均耕地面积、工业废水排放达标率与主成分  $F_1$  有较大的负相关性。表明合肥市经济系统与人口、环境相互影响、相互制约,经济增长对城市可持续发展起着非常重要的促进作用,同时受到人口和环境因素的影响。所以在发展经济的同时,一定要注意人口及环境与经济社会的和谐。人口自然增长率、人均生活用水量与主成分  $F_2$  有较大的正相关性,第三产业占 GDP 比例、工业废水排放达标率与主成分  $F_2$  有较大的负相关性。进一步表明了人口、环境与经济相互促进、相互制约的辩证关系。主成分  $F_2$  主要包含了人口自然增长率、人均生活用水量、工业废水排放达标率的信息。人口自然增长率与主成分  $F_3$  有较大的正相关性,人均粮食产量与主成分  $F_3$  有较大的负相关性,表明经济与人口的制约关系。第 3 主成分主要包含了人均粮食产量的负相关信息。

表 2 方差分解主成分提取分析结果

主成分	特征值	初始特征值		旋转后的特征值		
		方差贡献率 %	累积方差贡献率 %	特征值	方差贡献率 %	累积方差贡献率 %
1	14.063	74.015	74.015	14.063	74.015	74.015
2	3.090	16.265	90.281	3.090	16.265	90.281
3	1.594	8.389	98.670	1.594	8.389	98.670
4	0.253	1.330	100			
5	7.16E016	3.77E015	100			
6	4.12E016	2.17E015	100			
7	2.80E016	1.48E015	100			
8	2.22E016	1.17E015	100			
9	1.74E016	9.13E016	100			
10	1.50E016	7.88E016	100			
11	5.37E017	2.83E016	100			
12	-4.18E017	-2.20E016	100			
13	-7.95E017	-4.18E016	100			
14	-1.48E016	-7.78E016	100			
15	-1.92E016	-1.01E015	100			
16	-3.74E016	-1.97E015	100			
17	-5.13E016	-2.70E015	100			
18	-5.78E016	-3.04E015	100			
19	-1.05E015	-5.53E015	100			

2.3 计算综合模型 用表 1 中的数据除以主成分相对应的特征值开平方根便得到 3 个主成分中每个指标的系数,利用

SPSS 软件可直接得到各系数。各主成分表达式如下:

$$F_1 = 0.26 ZX_1 + 0.27 ZX_2 + 0.27 ZX_3 + 0.27 ZX_4 + 0.21 ZX_5 + 0.27 ZX_6 + 0.08 ZX_7 + 0.26 ZX_8 + 0.24 ZX_9 + 0.23 ZX_{10} - 0.11 ZX_{11} + 0.26 ZX_{12} + 0.26 ZX_{13} + 0.26 ZX_{14} + 0.22 ZX_{15} + 0.24 ZX_{16} - 0.26 ZX_{17} + 0.07 ZX_{18} - 0.15 ZX_{19}$$

$$F_2 = -0.10 ZX_1 - 0.03 ZX_2 + 0.04 ZX_3 + 0.03 ZX_4 - 0.33 ZX_5 - 0.02 ZX_6 + 0.29 ZX_7 - 0.03 ZX_8 + 0.25 ZX_9 - 0.26 ZX_{10} + 0.39 ZX_{11} + 0.06 ZX_{12} - 0.10 ZX_{13} - 0.09 ZX_{14} + 0.07 ZX_{15} + 0.08 ZX_{16} - 0.06 ZX_{17} + 0.52 ZX_{18} - 0.45 ZX_{19}$$

$$F_3 = -0.08 ZX_1 + 0.01 ZX_2 - 0.04 ZX_3 - 0.04 ZX_4 - 0.09 ZX_5 + 0.01 ZX_6 - 0.63 ZX_7 - 0.12 ZX_8 + 0.05 ZX_9 - 0.11 ZX_{10} + 0.48 ZX_{11} + 0.04 ZX_{12} + 0.07 ZX_{13} + 0.13 ZX_{14} + 0.41 ZX_{15} + 0.32 ZX_{16} + 0.02 ZX_{17} - 0.20 ZX_{18} + 0.04 ZX_{19}$$

主成分综合模型如下:

$$F = F_1 \cdot 0.75 + F_2 \cdot 0.165 + F_3 \cdot 0.085$$

将各主成分的表达式代入上式即可得到最终综合评价模型如下:

$$F = 0.1717 ZX_1 + 0.20605 ZX_2 + 0.2057 ZX_3 + 0.20405 ZX_4 - 0.0954 ZX_5 + 0.2077 ZX_6 + 0.0543 ZX_7 + 0.1851 ZX_8 + 0.2255 ZX_9 + 0.12025 ZX_{10} + 0.06105 ZX_{11} + 0.2115 ZX_{12} + 0.19005 ZX_{13} + 0.39465 ZX_{14} + 0.2442 ZX_{15} + 0.246 ZX_{16} - 0.2016 ZX_{17} + 0.072 ZX_{18} - 0.6234 ZX_{19}$$

2.4 结果与分析 将标准化数据代入综合评价模型,即可得到合肥“十五”期间的可持续发展综合值(图 1)。图 1 显示,“十五”期间,合肥市可持续发展水平逐年上升,到 2005 年已经达到较高水平,这在合肥市的各个方面得到了综合的实例验证。经济发展呈上升趋势。人均生产总值、城镇居民人均年可支配收入、农民人均年纯收入、人均财政收入、全社会人均固定资产投资等衡量经济发展水平的重要指标均单调递增。这与可持续发展水平变化一致,说明经济因素对于合肥市整个可持续发展水平的提高起着非常重要的作用。

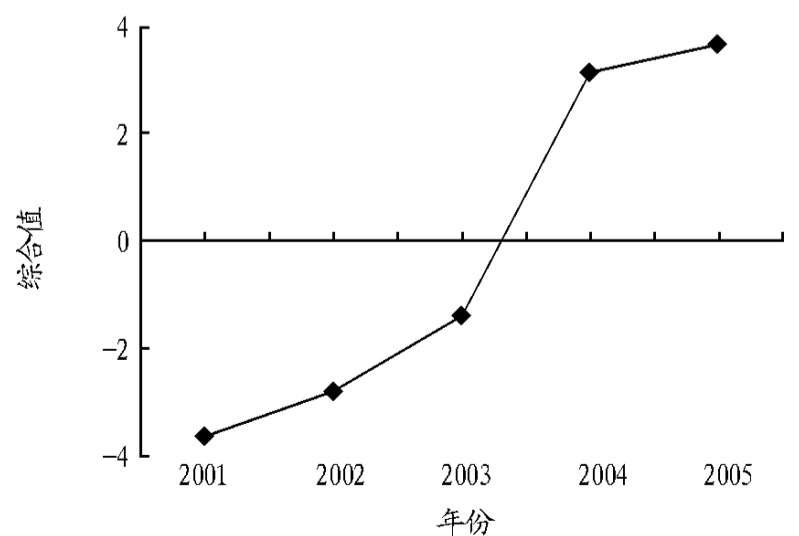


图 1 合肥“十五”期间可持续发展水平综合值

“十五”期间,合肥市城镇化水平不断提高,2005 年城镇化率达 35.5%。人口自然增长率变化较复杂,2004 年达到最高,2005 年下降至最低,说明 2005 年合肥市人口控制较好,对

(下转第 7600 页)

(上接第7598页)

可持续发展无消极影响。社会福利越来越完善,医院床位数、高等学校在校学生、人均公共绿地面积等均逐年增加。

第三产业占GDP比例、人均耕地面积、工业废水排放达标率对“十五”期间合肥市可持续发展有负面作用。第三产业占GDP比例和工业废水排放达标率非单调变化,第三产业占GDP比例在2005年达最高值。为了提高合肥市可持续发展水平,必须采取相应的措施,将其负面影响转为正面促进作用。

### 3 结论

前人大多针对多个城市可持续发展水平进行横向比较,而笔者则对一个城市进行纵向分析比较,定量考察城市的综合实力水平的变化情况。分析结果基本符合城市发展的实际情况,证明利用主成分分析城市可持续发展状况是可行的。

城市的不断发展必然导致综合实力的不断增强,城市之间综合实力的强弱只是特定时间和空间上的相对差别,是动态与静态的结合<sup>[11]</sup>。城市的可持续发展水平涉及到多方面,只有各个领域均处于领先地位,城市可持续发展实力才会强大,不能只强调一方面而忽视了其他方面。笔者只是作了初步分析。因此,除了纵向的评价研究,同样需要针对其

他多个城市的历史进行横向比较,这样才能更全面地反映城市的可持续发展水平;而且通过横向比较,可以学习和借鉴其他城市的经验,树立城市之间优势互补和良性竞争的氛围,促进每个城市的全面协调可持续发展。

### 参考文献

- [1] 中国科学院可持续发展研究组.2005 中国可持续发展战略报告 M . 北京:科学出版社,2005 :122- 135 .
- [2] CUI WEIHONG.Theories and methods about decision support system of regional sustainable development [J] .Proceedings of IEAS&IWGIS,1997(2) :675- 688 .
- [3] 房镜.主成分分析在城市综合实力评价中的应用 J . 西安工程科技学院学报,2006,20(2) :243 - 246 .
- [4] 曾珍香,顾培亮.可持续发展的系统分析与评价 M . 北京:科学出版社,2000:114- 120 .
- [5] 邱茂慧,陈忠暖,蔡霞.可持续发展指标体系及综合评价研究评述 J . 热带地理,2002,22(3) :222 - 226 .
- [6] GORDON MITCHELL.Problems and sustainable development indicator [ M// Sustainable Development .[s .l.] :[s .n.] ,1996 :11- 20 .
- [7] 合肥市统计局.合肥市统计年鉴 M . 北京:中国统计出版社,2006 .
- [8] 安徽省统计局.安徽省统计年鉴 M . 北京:中国统计出版社,2006 .
- [9] 张文霖.主成分分析在SPSS 中的操作应用 J . 理论与方法,2005(12) :31- 34 .
- [10] 丁国盛,李涛.SPSS 统计教程——从研究设计到数据分析 M . 北京:机械工业出版社,2006:95 - 225 .
- [11] 杨宙慧,陈飞香,朱银如.城市生态可持续发展水平评价及预测 J . 广东土地科学,2005,4(4) :38 - 41 .