

物元模型在城市化综合评价中的应用

张丽霞,施国庆

(河海大学公共管理学院,江苏 南京 210098)

摘要 用物元模型方法,根据已经建立的城市化指标体系,对江苏省城市化水平进行综合评价.模型中各指标权重的确定采用改进的层次分析法,不需要进行一致性检验.综合评价结果与被研究地区实际情况相符.

关键词 城市化 物元模型 层次分析法 综合评价

中图分类号 F291.1 **文献标识码** A **文章编号** 1000-1980(2004)03-0349-05

城市化现已成为世界关注的问题,城市化水平的测度也成为许多学者研究的重要内容.物元模型方法是一种新的数据分析方法.我国数学家蔡文提出了物元模型理论,创立了一门新的集思维科学、系统科学与数学于一体的交叉学科.它的研究对象是现实中的矛盾,用关联函数分析决策对象各子系统间的矛盾性,用物元变换化矛盾问题为相容问题,开拓出有关的决策策略集和关联策略集,从而为管理者提供辅助决策的功能.目前比较多的运用在水资源综合评价^[1]、水质评价^[2]、环境空气质量综合评价^[3]等评价中.

1 综合评价的物元模型^[4]

给定事物的名称 N ,它关于特征 c 的量值为 v ,以有序 3 元 $R = (N \quad c \quad v)$ 组为描述待评事物的基本元,简称物元.同时把事物的名称、特征和量值称为物元三要素.如果一个事物有多个特征,以 n 个评定指标特征 $c_1, c_2, \dots, c_n$ 和相应量值 $v_1, v_2, \dots, v_n$ 来描述,则 $R = (R_1 \quad R_2 \quad \dots \quad R_n)^T$ 为 n 维物元.

1.1 确定各指标经典域

$$R_{0j} = (N_{0j} \quad c_i \quad x_{0ji}) = \begin{bmatrix} N_{0j} & c_1 & x_{0j1} \\ & c_2 & x_{0j2} \\ & & \vdots \\ & c_n & x_{0jn} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} N_{0j} & c_1 & (a_{0j1}, b_{0j1}) \\ & c_2 & (a_{0j2}, b_{0j2}) \\ & & \vdots \\ & c_n & (a_{0jn}, b_{0jn}) \end{bmatrix}$$

式中: N_{0j} —— N 事物的第 j 个评价等级; c_i ——第 i 个评价指标; x_{0ji} —— N_{0j} 关于指标 c_i 所规定的量值范围,即各评价指标关于各等级所取得的数据范围(经典域).

1.2 确定各指标节域

$$R_p = (p \quad c_i \quad x_{pi}) = \begin{bmatrix} p & c_1 & x_{p1} \\ & c_2 & x_{p2} \\ & & \vdots \\ & c_n & x_{pn} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} p & c_1 & (a_{p1}, b_{p1}) \\ & c_2 & (a_{p2}, b_{p2}) \\ & & \vdots \\ & c_n & (a_{pn}, b_{pn}) \end{bmatrix}$$

式中: p ——评价等级的全体; x_{pi} —— p 关于 c_i 所取得的量值范围(节域).

1.3 确定待评物元

与待评地区城市化水平有关的数据或分析结果用物元表示为

$$R_0 = \begin{bmatrix} p_0 & c_1 & x_1 \\ & c_2 & x_2 \\ & & \vdots \\ & c_n & x_n \end{bmatrix}$$

式中： R_0 ——事物 p_0 的待评物元； x_i —— p_0 关于指标 c_i 的量值点，即待评事物相对于各指标的具体数据。

1.4 确定待评事物各指标关于各等级的关联度

关联度是用来刻画待评事物各指标关于各评价等级 j 的归属程度。

令

$$K_j(x_i) = \begin{cases} \frac{\rho(x_i, x_{0ji})}{\rho(x_i, x_{pi}) - \rho(x_i, x_{0ji})} & \text{当 } \rho(x_i, x_{pi}) - \rho(x_i, x_{0ji}) \neq 0 \\ -\rho(x_i, x_{0ji}) - 1 & \text{当 } \rho(x_i, x_{pi}) - \rho(x_i, x_{0ji}) = 0 \end{cases} \tag{1}$$
$$\rho(x_i, x_{0ji}) = \left| x_i - \frac{1}{2}(a_{0ji} + b_{0ji}) \right| - \frac{1}{2}(b_{0ji} - a_{0ji})$$
$$\rho(x_i, x_{pi}) = \left| x_i - \frac{1}{2}(a_{pi} - b_{pi}) \right| - \frac{1}{2}(b_{0ji} - a_{0ji})$$

式中： $\rho(x_i, x_{0ji})$ —— x_i 点与区间 x_{0ji} 的距； $\rho(x_i, x_{pi})$ ——点 x_i 与区间 x_{pi} 的距。

1.5 计算待评事物 p_0 关于等级 j 的关联度

如果指标 c_i 的权系数为 λ_i ，且 $\sum_{i=1}^n \lambda_i = 1$ ，则

$$K_j(p) = \sum_{i=1}^n \lambda_i K_j(x_i) \tag{2}$$

式中 $K_j(p)$ 是待评事物各指标关于各等级的关联度，也是考虑指标重要性程度情况下的组合值，表示待评事物属于集合 p_0 的程度。

1.6 等级评定

若 $K_{j_0}(p) = \max_{j \in \{1, 2, \dots, m\}} K_j(p)$ ，则评定 p_0 属于等级 j_0 。令

$$\bar{K}_j(p) = \frac{K_j(p) - \min_j K_j(p)}{\max_j K_j(p) - \min_j K_j(p)} \tag{3}$$

$$j^* = \frac{\sum_{j=1}^m j \bar{K}_j(p)}{\sum_{j=1}^m \bar{K}_j(p)} \tag{4}$$

式中 j^* 为 p_0 的级别变量特征值，从 j^* 的大小可以判断出城市化水平等级偏向相邻等级的程度。

2 利用改进的层次分析法确定权系数^[5]

层次分析法(AHP)是系统工程中对非定量事件做定量分析的一种简便方法。改进的 AHP 法标度为 $-1, 0, 1$ ，避免了不宜选定标度的困难。同时采用自调节方式建立比较矩阵，通过最优传递矩阵，将比较矩阵转化为一致性判断矩阵，此过程不需要进行一致性检验。

设某一评价体系 A 有 $B_i (i = 1, 2, \dots, t)$ 个准则层，每一准则层有不同指标。设某一准则层 $B_i (i = 1, 2, \dots, t)$ 有 n 个指标 $G_1, G_2, \dots, G_n$ ，其相应的权重分别为 $WG_1, WG_2, \dots, WG_n$ ，且 $WG_1 + WG_2 + \dots + WG_n = 1$ 。为构造判断矩阵，对每个准则层 B_i 通过相应两两指标比较，用三标度法建立比较矩阵。在准则 B_i 下，指标 G_j 比指标 G_k 重要，则 $c_{jk}^i = 1$ 指标 G_j 与指标 G_k 同样重要，则 $c_{jk}^i = 0$ 指标 G_j 没有指标 G_k 重要，则 $c_{jk}^i = -1$ 。

$$C^i = \begin{bmatrix} \frac{G_1}{G_1} & \frac{G_1}{G_2} & \dots & \frac{G_1}{G_n} \\ \frac{G_2}{G_1} & \frac{G_2}{G_2} & \dots & \frac{G_2}{G_n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \frac{G_n}{G_1} & \frac{G_n}{G_2} & \dots & \frac{G_n}{G_n} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} c_{11} & c_{12} & \dots & c_{1n} \\ c_{21} & c_{22} & \dots & c_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ c_{n1} & c_{n2} & \dots & c_{nn} \end{bmatrix} = (c_{jk}^i)_{nn} \tag{5}$$

标度矩阵(5)除了表示各指标间的重要性关系外，还可通过数学换算求出在准则层 B_i 下各指标的权重程度。其步骤如下：

a. 求出 C^i 的最优传递矩阵 O^i

$$O^i = \begin{bmatrix} o_{11} & o_{12} & \cdots & o_{1n} \\ o_{21} & o_{22} & \cdots & o_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ o_{n1} & o_{n2} & \cdots & o_{nn} \end{bmatrix} = (o_{jk})_{nn}$$
$$o_{jk} = \frac{1}{n} \sum_{t=1}^n (C_{jt} + C_{tk})$$

b. 把矩阵 O^i 转化为一致性矩阵 D^i , 一致性矩阵 D^i 也称在准则层 B_i 下的判断矩阵.

$$D^i = \begin{bmatrix} d_{11} & d_{12} & \cdots & d_{1n} \\ d_{21} & d_{22} & \cdots & d_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ d_{n1} & d_{n2} & \cdots & d_{nn} \end{bmatrix} = (d_{jk})_{nn}$$
$$d_{jk} = \exp \{b_{jk}\}$$

c. 求 D^i 的特征向量 W^i

用方根法求得特征向量 $W^i = [w_1^i, w_2^i, \cdots, w_n^i]^T$. 所得的 W^i 即可作为在准则层 B_i 下各指标的权重. 同样的方法也可以计算出各准则层相对于评价体系的权重.

3 应用实例

江苏是经济发达地区,2002 年人均 GDP 达到 14 397 元人民币,在 1998 年以来的 5 年中,年均增速达 9%,比全国的 5.6% 高出 3.4 个百分点,比全国平均水平 7 997 元高出 80%. 现用物元模型的方法对江苏省的城市化水平进行综合评价.

3.1 城市化水平综合评价指标体系

城市化水平是一个国家或地区经济、社会、科技等方面发展的综合反映. 根据选取指标简单可行的原则,借鉴文献[6]中的指标体系,并作一定调整,考虑准则层从人口、经济结构、社会发展和科技能力 4 个方面来构建反映城市化水平高低的指标体系,见表 1.

表 1 城市化水平综合评价指标及相关量值

Table 1 Urbanization comprehensive evaluation indexes and their value

准则层	第一层次权重 WB_i	指标	量值	第二层次权重 WG_i	综合权重 λ_i
人口	0.27	城镇人口占总人口比重/%	44.70	1.00	0.27
		人均 GDP/美元	1 738.80	0.42	0.11
经济结构	0.27	第三产业从业人员比重/%	26.30	0.16	0.04
		第三产业占 GDP 比重/%	37.30	0.42	0.11
		用水普及率/%	99.10	0.45	0.12
社会发展	0.27	人均拥有道路面积/ m^2	10.24	0.17	0.05
		百人电话普及率/%	42.60	0.28	0.08
		人均居住面积/ m^2	10.44	0.10	0.03
		R&D 经费支出占 GDP 比重/%	1.00	0.73	0.14
科技能力	0.19	千人拥有中级以上科技人员数/人	20.00	0.27	0.05

3.2 确定经典域和节域

普遍认为,城市化发展经过 3 个阶段:初期阶段、加速发展阶段、后期阶段^[7]. 把城市化水平的各评价指标由低到高分 1 级、2 级、3 级. 对人口指标来说,人口城市化水平在 30% 以下为初期阶段,30% ~ 70% 为加速发展阶段,70% 以上为后期阶段. 对人均 GDP 指标来说,加速发展阶段以人均国民生产总值达到 300 美元为界,后期阶段以人均国民生产总值达到 1 000 美元为界^[8]. 根据《世界发展报告》中发达国家与发展中国家城市化情况以及被研究地区城市长远发展目标为依据,以确定其余各指标的经典域.

在人口指标下各等级的经典域为

$$R_{01} = [\{ 1 \text{ 级} \} \quad c_1 \quad (0,30)] \qquad R_{02} = [\{ 2 \text{ 级} \} \quad c_1 \quad (30,70)]$$

$R_{03} = [\text{Ⅲ级} \quad c_1 \quad (70,100)]$

节域为 $R_{p1} = [\text{人口指标} \quad c_1 \quad (0,100)]$

式中 c_1 为城镇人口占总人口比重.

在经济结构指标下各等级的经典域为

$$R_{01} = \begin{bmatrix} \text{Ⅰ级} & c_1 & (0,300) \\ & c_2 & (0,30) \\ & c_3 & (0,30) \end{bmatrix} \quad R_{02} = \begin{bmatrix} \text{Ⅱ级} & c_1 & (300,1000) \\ & c_2 & (30,60) \\ & c_3 & (30,60) \end{bmatrix} \quad R_{03} = \begin{bmatrix} \text{Ⅲ级} & c_1 & (1000,3000) \\ & c_2 & (60,100) \\ & c_3 & (60,100) \end{bmatrix}$$

节域 $R_{p2} = \begin{bmatrix} \text{经济指标} & c_1 & (0,3\,000) \\ & c_2 & (0,100) \\ & c_3 & (0,100) \end{bmatrix}$

式中: c_1 ——人均 GDP; c_2 ——第三产业从业人员比重; c_3 ——第三产业占 GDP 比重. 同样还可以得到社会发展指标和科技能力指标下各等级的经典域和节域.

3.3 确定待评物元

江苏省城市化水平为待评物元,根据《江苏省统计局关于 2002 年国民经济和社会发展的统计公报》及《江苏省城市设施水平(全社会)》,由城市化指标体系得到 2002 年江苏省城市化发展指标量值,见表 1.

3.4 确定待评事物各指标关于各等级的关联度

根据式(1)可以得到城市化各指标关于各类别等级的关联度见表 2. 从表中看出,各评价指标关于各评价等级的关联度总有一个非负值,即每一指标总会属于一个评价等级. 以经济结构指标中第三产业占 GDP 比重为例, $K_1(x_3) = -0.164, K_3(x_3) = -0.378$,说明待评事物的指标不属于等级 1 和等级 3,而是属于等级 2. 关联度值同时还表征了评价指标属于某一等级的程度.

表 2 准则层各指标关于各类别等级的关联度

Table 2 Correlative degree of indexes in criterion level to different grades and classes										
$K_j(x_i)$	人口指标		经济结构		社会发展				科技能力	
	$i = 1$	$i = 1$	$i = 2$	$i = 3$	$i = 1$	$i = 2$	$i = 3$	$i = 4$	$i = 1$	$i = 2$
$j = 1$	-0.247	-0.533	0.164	-0.164	-0.987	-0.023	-0.228	0.776	0.000	19.000
$j = 2$	0.490	-0.369	-0.123	0.243	-0.974	0.024	0.420	-0.304	0.000	-0.800
$j = 3$	-0.361	1.414	-0.558	-0.378	0.100	-0.488	-0.290	-0.652	-0.500	-0.900

3.5 确定待评事物关于各等级的关联度

准则层的人口、经济结构、社会发展和科技能力各指标关于等级 $j(j = 1,2,3)$ 的关联度评价模型为

$$K_j(p) = \sum_{i=1}^n WG_i K_j(x_i)$$

对城市化综合状况等级评定的模型为

$$K_j(p) = \sum_{i=1}^n \lambda_i K_j(x_i)$$

评价结果见表 3,其中 j^* 的结果由式(3)(4)得到. 江苏省城市化水平综合评价为 1 级(1.701),即城市化发展处于初期阶段,接近加速发展阶段. 从人口指标看($j_0 = 2$),城市化发展处于加速发展时期,但从经济指标和社会发展指标看,江苏省的城市化已经达到发达国家水平,科技能力则反映出江苏省城市化发展的弱势($j_0 = 1$). 经济结构指标、社会发展指标虽然同属于第 3 级,但从表中 j^* 可以看出,它们向相邻级别 2 偏离的程度非常大(2.402,2.075),即这两个指标客观上更接近于第 2 等级,这进一步说明了江苏省的经济社会发展尚处于加速发展阶段而非后期阶段. 从各指标综合的结果看,江苏省城市化发展很不协调,发展形势不容乐观.

表 3 江苏省城市化水平评价结果

Table 3 Results of urbanization evaluation of Jiangsu Province

$K_j(p)$	1 级	2 级	3 级	max	j_0	j^*
人口	- 0.247	0.490	- 0.361	0.490	2	1.943
经济结构	- 0.267	- 0.726	0.346	0.346	3	2.402
社会发展	- 0.434	- 0.347	- 0.184	- 0.184	3	2.075
科技能力	5.130	- 0.216	- 0.608	5.130	1	1.115
综合状况	0.719	0.264	- 0.169	0.719	1	1.701

注 :max 为 1,2,3 级的最大值.

参考文献：

[1] 门宝辉,王志良.物元模型在区域地下水资源承载力综合评价中的应用[J].四川大学学报,2003,35(1) 34—37.

[2] 朱继业.动态系统物元模型在综合水质预报中的研究和应用[J].城市环境与城市生态,1999,12(1) 31—54.

[3] 樊文艳.物元分析与灰色聚类法相结合的环境空气质量综合评价模型[J].资源节约和综合利用,1999,(4) 23—26.

[4] 韩宇平.物元模型及其在区域水资源综合评价中的应用[J].中国农业大学学报,2003,8(1) 31—36.

[5] 张丽霞,侍克斌.施工网络进度计划的多目标优化[J].系统工程理论与实践,2003,23(1) 36—61.

[6] 张耕田.关于建立城市化水平指标体系的探讨[J].城市问题,1998,(1) 3—9.

[7] 沈建国.世界城市化的基本规律[J].城市发展研究,2000,(1) 3—14.

[8] 马慧.适度集中,提高质量——论我国目前城市化发展的方向[J].西安联合大学学报,2001,4(3) 25—27.

Application of matter element model to comprehensive evaluation of urbanization

ZHANG Li-xia, SHI Guo-qing

(School of Public Administration , Hohai Univ. , Nanjing 210098, China)

Abstract : With Jiangsu Province as an example, the comprehensive evaluation of urbanization is performed based on the matter element model and the urbanization index system. In the model, the weights of different evaluation indexes are determined by use of the improved analytic hierarchy process (AHP) without consistency tests. The evaluated results accord with the reality of the studied areas.

Key words : urbanization ; matter element model ; analytic hierarchy process ; comprehensive evaluation