

中国可持续协调发展评价模型与实证分析

门可佩¹ 魏百军¹ 蒋梁瑜¹

摘要

人口、资源、环境和经济的可持续发展是当前热点问题,关系到国家的长治久安。根据1999—2008年最新统计资料,运用主成分分析法,并将灰色关联分析法(GRA)与层次分析法(AHP)集成赋权,构建中国可持续协调发展评价模型,对1999—2008年中国人口、资源、环境和经济可持续发展进行综合评价,同时计算了中国各子系统和整个复合系统的综合发展指数,最后对中国复合总系统的协调状况进行了分析。结果表明,1999—2008年中国复合总系统整体上处于良好协调状态,协调度的平均值为0.8045。结论符合中国可持续发展的实际。

关键词

复合总系统;协调度;主成分分析;GRA-AHP集成

中图分类号 F120.4

文献标志码 A

收稿日期 2010-06-11

资助项目 国家统计局全国统计科研计划重点项目(2008LZ022)

作者简介

门可佩,男,教授,硕士生导师,主要从事应用统计分析研究。menkp@yahoo.com.cn

¹ 南京信息工程大学 数理学院,南京,210044

0 引言

Introduction

20世纪中叶以来,全球性的资源短缺、环境恶化、失业危机和贫困蔓延,使得人类社会的可持续发展面临严峻挑战。可持续发展就是妥善处理人口与能源资源、生态环境之间的矛盾,其核心是实现人口、能源资源、经济以及生态环境的持续、稳定、均衡、有序地发展。在可持续发展领域内,人口、能源资源、经济和生态环境相互作用、相互制约构成了一个动态开放的复杂系统,本文简称复合总系统^[1]。

目前,国内对协调度的研究可以归结为以下几类:如申金山等^[2]的设计思路为距离协调度,其优点在于简洁明了,而缺点是把系统的相似性看作协调发展,只适合两个系统;刘艳清^[3]采用的是变化协调度,它在方法上比距离协调度有所进步,但刻画的是相对协调度,也存在不足之处。本文采用的是综合协调度^[4],其测度方法不再更多关注系统间的联系,而是研究各个子系统经过组合以后会形成何种状态。在此基础上,运用灰色关联分析法和层次分析法相结合的集成赋权法,计算整个复合总系统的综合发展指数。

在我国,把人口、资源、环境和经济综合考虑,尝试走一条可持续发展之路,已经取得了阶段性的成果,但我国复合总系统的协调发展研究是一个长期、艰巨和复杂的过程,任重而道远,需要我们高度重视。因此,深入研究和评估复合总系统协调发展状况及其趋势,对于加速我国可持续发展乃至全面建设小康社会、构建社会主义和谐社会都有极其深远的影响。

1 研究方法

Research methods

1.1 构建评价指标体系

中国复合总系统的协调发展是一个诸多因素相互作用的过程,具有非线性、动态性等特点。本文在遵循系统性与针对性、动态性和静态性、独立性与相关性相结合等原则的基础上建立可持续发展评价指标体系(表1)。

1.2 构建综合评价模型

由于我国复合总系统涉及的指标数量较多,本文在对复合总系统各个子系统综合发展指数评价的过程中,选取了较为成熟、常用的

表1 中国人口、资源、环境和经济复合总系统指标体系

Table 1 Evaluation index system of population, resource, environment and economic composite total system

总系统	子系统层指标	准则层指标	指标层(指标因子)	
复合总系统(A)	人口子系统(B1)	人口规模 C1	总人口 D1	
			人口自然增长率 D2	
		生活条件 C3	人口素质 C2	普通高等学校毕业生数量 D3
				卫生机构床位数 D4
				每万人口卫生技术人员 D5
				城镇居民家庭人均可支配收入 D6
				农村居民家庭人均纯收入 D7
				民用汽车拥有量 D8
	能源资源子系统(B2)	能源资源条件 C4	人均耕地面积 D9	
			人均日生活用水量 D10	
			能源消费量 D11	
		生态条件 C5	能源加工转换率 D12	
			造林面积 D13	
			经济总量 C6	GDP D14
				人均 GDP D15
	居民消费价格指数 D16			
	经济子系统(B3)	经济潜力 C7	全社会固定资产投资 D17	
			社会消费品零售总额 D18	
			第一产业占 GDP 比重 D19	
			第二产业占 GDP 比重 D20	
			第三产业占 GDP 比重 D21	
生态环境子系统(B4)	生态环境状况 C8	废水排放总量 D22		
		废气排放总量 D23		
		固体废物排放总量 D24		
		成灾面积占受灾面积比率 D25		
	环境治理 C9	自然保护区个数 D26		
		城市园林绿地面积 D27		

主成分分析法来对多维变量进行降维,使降维后的变量能反映原变量绝大部分的信息,并尽可能地减少重叠信息的不良影响,克服变量之间的多重相关性.而对整个复合系统综合发展指数的评价,则借助于灰色关联分析和层次分析法集成来完成.

1.2.1 原始数据的预处理

在进行主成分分析时,由于评价指标量纲以及原始数据数量级的差异会对评价结果造成影响,分析时需要先进行一致化与标准化处理.本文采用直线型 Z-Score 法,即原始数据与处理后的数据属于线性关系,其标准化处理计算公式为

$$Z_{ij} = \frac{x_{ij} - \bar{x}_j}{s_j}, \quad i = 1, 2, \dots, n, \quad j = 1, 2, \dots, p. \quad (1)$$

其中: $\bar{x}_j = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_{ij}$; $s_j = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_{ij} - \bar{x}_j)^2}$.

1.2.2 构造相关系数矩阵

根据标准化矩阵,构造我国复合总系统各个子系统的相关系数矩阵

$$R = (r_{ij})_{p \times p} = \frac{Z^T Z}{n-1}. \quad (2)$$

式中: $r_{ij} = \frac{1}{n-1} \sum_{k=1}^n z_{kj} z_{ki}$; $i, j = 1, 2, \dots, p$.

1.2.3 计算相关系数矩阵 R 的特征值和特征向量

解样本相关系数矩阵 R 的特征方程 $|R - \lambda I_p| = 0$, 得到 p 个特征值,则矩阵 R 的特征根为 $\lambda_1 \geq \lambda_2 \geq \dots \geq \lambda_p \geq 0$,其相应各分量的方差贡献率为

$$p_j = \lambda_j / \sum_{k=1}^p \lambda_k, \quad j = 1, 2, \dots, p. \quad (3)$$

然后按 $\sum_{j=1}^m \lambda_j / \sum_{j=1}^p \lambda_j \geq 0.85$ 确定 m 的值,使信息的

利用率达到 85% 以上. 由此可以得到关于复合总系统各个子系统相关系数矩阵的特征值、特征向量及其各分量的方差贡献率.

1.2.4 计算主成分

利用前 m 个因子荷载矩阵 A 通过公式

$$\beta_j = A_j / \sqrt{\lambda_j}, \quad j = 1, 2, \dots, m \quad (4)$$

求出相应的标准正交特征向量 $\beta_j = (\beta_{j1}, \beta_{j2}, \dots, \beta_{jm})$, 即可计算得到前 m 个主成分:

$$F_j = \beta_j Z = \beta_{j1} Z_1 + \beta_{j2} Z_2 + \dots + \beta_{jm} Z_m, \quad j = 1, 2, \dots, m \leq p. \quad (5)$$

1.2.5 计算我国复合总系统的各个子系统的综合发展指数

由前 m 个主成分 F_j 及其对应的方差贡献率 p_j , 根据公式

$$F = \sum_{j=1}^m F_j \times p_j \quad (6)$$

得到我国复合总系统各个子系统的综合发展指数. 其中, 人口子系统、能源资源子系统、生态环境子系统和经济子系统的综合发展指数分别表示为 F_p, F_r, F_{ev}, F_{ec} .

1.3 我国复合系统综合发展指数与评价分析

在确定了我国复合总系统的各个子系统的综合发展指数之后, 本文采用灰色关联分析和层次分析法集成赋权的方法, 对各个子系统的综合发展水平值进一步加权处理, 进而获得我国复合总系统的综合发展指数.

1.3.1 构建各子系统关联性判断矩阵

我国复合总系统内各个子系统的关联性判断矩阵是通过灰色关联分析得到的. 设 X_1, X_2, \dots, X_n 为 n 个因素, 反映各因素变化特征的时间序列分别为: $\{X_1(t)\}, \{X_2(t)\}, \dots, \{X_n(t)\}, t = 1, 2, \dots, m$. 因素 X_j 对 X_i 在 t 时刻的关联度计算步骤如下^[5]:

1) 将各时间序列作初值化变换, 按下式进行无量纲化处理:

$$X'_j = \frac{X_j}{X_j(1)} = \{x'_j(t)\}, t = 1, 2, \dots, m. \quad (7)$$

2) 求绝对差序列, 记为

$$\Delta_{ij}(t) = |x'_i(t) - x'_j(t)|, i, j = 1, 2, \dots, n. \quad (8)$$

3) 求关联系数

$$\gamma_{ij}(t) = \frac{\min_j \min_i \Delta_{ij}(t) + \xi \max_j \max_i \Delta_{ij}(t)}{\Delta_{ij}(t) + \xi \max_j \max_i \Delta_{ij}(t)}. \quad (9)$$

式中: ξ 为分辨系数, 取值范围在 $[0, 1]$ 之间, 一般取 $\xi = 0.5$.

4) 求关联度

$$\gamma_{ij} = \frac{1}{m} \sum_{t=1}^m \gamma_{ij}(t). \quad (10)$$

于是可得我国复合总系统各个子系统灰关联性判断矩阵 $P = \{\gamma_{ij}\}$.

1.3.2 计算各个子系统权重系数

根据层次分析法的原理及我国复合总系统各个子系统的相关性判断矩阵, 可以求出复合总系统各个子系统的权重系数. 其中, 人口子系统、能源资源子系统、生态环境子系统和经济子系统的权重分别表示为: w_p, w_r, w_{ev}, w_{ec} . 同时, 根据表 2 中 1 ~ 10 阶矩阵平均随机一致性指标 I_R 之值, 按式 (11)、(12) 求出 I_C 和 R_C :

$$I_C = \frac{\lambda_{\max} - n}{n - 1}; \quad (11)$$

$$R_C = I_C / I_R. \quad (12)$$

其中: I_C 表示判断矩阵一致性指数; R_C 表示随机一致性比率 (Consistency Ratio); λ_{\max} 表示最大特征值; n 表示子系统个数.

表 2 判断矩阵的随机一致性指标 I_R
Table 2 Average random targets consistency I_R

阶数	I_R	阶数	I_R
1	0	6	1.24
2	0	7	1.32
3	0.58	8	1.41
4	0.90	9	1.45
5	1.12	10	1.49

如果 $R_C < 0.1$, 则说明关于复合总系统内各个子系统权重系数的确定具有较好的一致性, 是可以接受的. 如果 $R_C \geq 0.1$, 则认为判断矩阵未能通过检验, 需要对判断矩阵进行修正, 直到能满足一致性要求为止.

1.3.3 计算复合总系统综合发展指数

由上面计算所得的各个子系统的综合发展指数及其权重系数, 再按下式计算我国复合总系统综合发展指数 D :

$$D = F_p \times w_p + F_r \times w_r + F_{ev} \times w_{ev} + F_{ec} \times w_{ec}. \quad (13)$$

2 实证分析

Empirical analysis

2.1 基于复合总系统的协调指数的计算

在复合总系统中,以效益理论与平衡理论为中心,在综合效益最大的基础上,求得最大复合效益,构造如下形式的协调度公式^[6]

$$C = \frac{X \times Y \times Z \times V}{(X + Y + Z + V)^4} \quad (14)$$

用平均效益指数代替综合效益指数,对 C 进行标准化处理,如下表示:

$$C = \left[\frac{X \times Y \times Z \times V}{((X + Y + Z + V)/4)^4} \right]^k \quad (15)$$

其中: X 表示极值化后的人口综合发展指数; Y 表示极值化后的资源综合发展指数; Z 表示极值化后的经济综合发展指数; V 表示极值化后的环境综合发展指数; k 为调整系数,一般 $k = 8$. 协调度等级划分如表 3 所示.

表 3 协调度等级划分表

Table 3 The standards for coordination degree

协调度	协调等级	协调度	协调等级
[0.90,1.00]	优质协调	[0.50,0.60)	勉强协调
[0.80,0.90)	良好协调	[0.40,0.50)	濒临协调
[0.70,0.80)	中级协调	[0,0.40)	失调
[0.60,0.70)	初级协调		

协调发展度是在协调度的基础上构建的,它能够更加真实地反映出人口、能源资源、生态环境和经济的综合水平. 其公式如下:

$$H = \sqrt{|C \times D|} \quad (16)$$

其中, C 是系统协调度, D 是复合总系统的综合发展指数,各子系统的权重本文通过灰关联和层次分析的集成法求得.

本文利用 SAS 软件^[8],运用主成分分析方法,根据上述公式分别计算中国人口、能源资源、生态环境与经济子系统的综合评价,结果列于表 4,该评价价值可以代表各子系统的综合发展水平. 根据表 4 中的数据,进而可得中国复合总系统以及各个子系统综合发展水平发展态势如图 1 所示.

从表 4 和图 1 可以看出,中国人口、生态环境和经济各子系统综合发展水平按时间顺序基本呈稳步上升态势,而能源资源子系统则呈现一路下滑的趋势. 其中,人口、生态环境子系统个别年份综合发展

表 4 1999—2008 年中国人口、能源资源、生态环境和经济子系统的综合发展指数

Table 4 Comprehensive development index of subsystems in China in 1999—2008

年份	F_p	F_r	F_{ev}	F_{ec}
1999	-2.332 5	1.411 9	-2.296 1	-1.843 7
2000	-2.223 4	1.408 6	-2.153 6	-1.420 6
2001	-1.557 6	1.196 8	-1.508 6	-1.454 5
2002	-1.187 2	1.605 9	-1.157 8	-1.390 4
2003	-0.476 1	1.488 8	-0.453 6	-0.663 7
2004	0.403 7	0.094 2	0.349 4	0.191 1
2005	0.363 4	-0.923 3	0.334 4	0.352 2
2006	1.507 9	-1.693 0	1.498 7	0.848 3
2007	2.691 2	-2.316 6	2.626 1	2.111 6
2008	2.809 4	-2.186 0	2.760 2	3.269 7

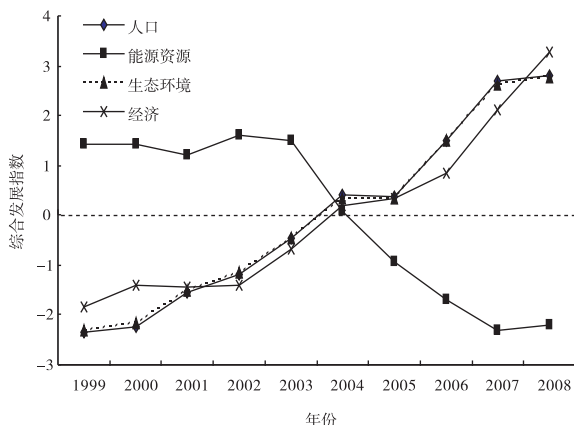


图 1 1999—2008 年中国复合系统综合发展态势

Fig. 1 Comprehensive development situation of composite total system of China in 1999—2008

水平略有下降. 如:人口子系统的综合发展指数由 2004 年的 0.403 7 降至 2005 年的 0.363 4;生态环境子系统的综合发展指数由 2004 年的 0.349 4 降至 2005 年的 0.334 4. 而能源资源子系统在 2001—2004 年期间发展基本平稳稍有波动,但在 2004 年后则发展指数一直下降. 这表明:近年来中国的经济发展呈现出又好又快的发展态势,同时人民的生活水平和生活质量也有了明显的提高,然而能源与资源子系统的发展却与之不够协调,将成为整个社会经济总系统可持续发展的瓶颈,需要我们倍加关注,加大投入,采取积极措施优先应对,努力提高能源与资源的利用率. 在此期间,我国环境质量得到了持续改善,从而环境子系统逐步成为其他子系统持续发展

的有效支撑,但就近年来各个子系统的发展速度而言,环境子系统也明显滞后.因此,在发展经济、提高资源利用率的同时要切实注重环境的保护,这也是实现可持续协调发展的关键.

2.2 我国复合总系统整体发展水平的确定

目前关于权系数的确定方法有很多种,根据计算权系数时原始数据的来源不同,这些方法大致可以分为3类:主观赋权法、客观赋权法和主客观赋权法^[7].本文采用的是灰色关联法和层次分析法相结合的集成赋权法.

本文在确定中国复合总系统各个子系统综合发展指数的基础上,结合灰色关联分析法来计算系统的判断矩阵,再利用层次分析法进一步确定各个子系统的权重,最后利用公式(13)计算出我国复合总系统的整体发展水平的综合发展指数.

2.2.1 灰色关联法确定各子系统关联性矩阵

利用 Matlab 编程^[8],根据公式(7)~(10)计算系统灰色关联度,其值越大,关联度越高;反之,其值越小,关联度也越小.二者灰关联度越高,说明越相似,比较值就越接近于1.以下就是各个系统的关联性矩阵:

$$\begin{pmatrix} 1 & 0.6955 & 0.7866 & 0.6611 \\ & 1 & 0.6202 & 0.6783 \\ & & 1 & 0.6680 \\ & & & 1 \end{pmatrix}$$

在各个系统的关联性矩阵的基础上,确立系统的判断矩阵,其结果如下:

$$\begin{pmatrix} 1 & 0.6955 & 0.7866 & 0.6611 \\ 1.4378 & 1 & 0.6202 & 0.6783 \\ 1.2713 & 1.6124 & 1 & 0.6680 \\ 1.5126 & 1.4743 & 1.4970 & 1 \end{pmatrix}$$

2.2.2 层次分析法确定各子系统权重

根据层次分析法的原理,利用乘积方根法(几何平均值法)求出其特征向量(即权重)为

$$W = (0.1896 \quad 0.2156 \quad 0.2644 \quad 0.3304)^T$$

判断矩阵的最大特征值 $\lambda_{\max} = 4.0483$, 相对一致性

指标 $I_C = \frac{\lambda_{\max} - 4}{4 - 1} = 0.01609$, 由表2可知 $I_R = 0.9$, 则 $R_C = I_C / I_R = 0.017877 < 0.1$, 即判断矩阵的一致性检验通过.故 $w_p = 0.1896, w_r = 0.2156, w_{ec} = 0.2644, w_{ev} = 0.3304$ 可以作为相应评价指标的权重系数.

2.2.3 计算中国复合总系统综合发展指数

根据公式(13)可知,中国复合总系统综合发展指数如表5所示,其综合发展态势逐年攀升趋好,如图2所示.

表5 中国复合总系统综合发展指数
Table 5 Comprehensive development index of composite total system of China

年份	D	年份	D
1999	-1.38	2004	0.26
2000	-1.21	2005	0.07
2001	-0.92	2006	0.64
2002	-0.62	2007	1.44
2003	-0.09	2008	1.83

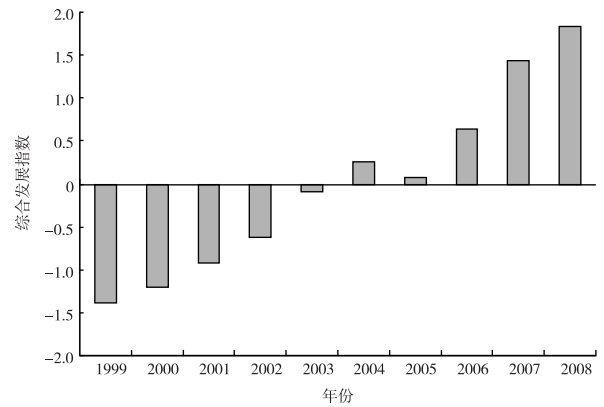


图2 整个复合总系统发展态势

Fig.2 Development situation of composite total system of China in 1999—2008

2.3 中国复合总系统综合协调度的计算

因为前面主成分分析求出的各个系统的综合发展水平有正有负,不便于计算总系统的协调度.为此,本文采用线性比例变换的方法对人口、能源资源、生态环境和经济子系统的综合发展指标进行改造.又由于线性比例变换后的数据必有一数值为0,不适合用来计算协调发展系数,故借用功效系数的思想^[7],使得各个系统的综合发展指数控制在0.6和1之间.具体做法如下:

设 x_{ij} 为原来各系统的综合发展指数, x_{ij}^* 是变化后的系统综合发展指数,因为系统的综合发展水平为正指标,所以

$$x_{ij}^* = \frac{x_{ij} - \min_i(x_{ij})}{\max_i(x_{ij}) - \min_i(x_{ij})} \times 0.4 + 0.6$$

变换后的数据由公式(15)可计算出系统的综合

协调度(表6).再根据公式(16)计算出我国复合总系统的综合协调发展度(表7).

表6 中国复合总系统综合协调度

Table 6 Comprehensive coordination degree of composite total system of China

年份	协调度	协调等级	年份	协调度	协调等级
1999	0.678	初级协调	2004	0.989	优质协调
2000	0.700	中级协调	2005	0.985	优质协调
2001	0.783	中级协调	2006	0.873	良好协调
2002	0.773	中级协调	2007	0.712	中级协调
2003	0.853	良好协调	2008	0.699	初级协调

表7 中国复合总系统综合协调发展度

Table 7 Comprehensive coordinated development degree of composite total system of China

年份	协调发展趋势指数	年份	协调发展趋势指数
1999	0.638	2004	0.878
2000	0.680	2005	0.871
2001	0.735	2006	0.861
2002	0.767	2007	0.822
2003	0.826	2008	0.836

从表6结果可以看出,1999—2008年中国复合总系统协调度总体上处于良好协调的状况,协调度平均值为0.8045.从表7和图2可以看出,除了个别年份之外,中国复合总系统协调发展水平随着时间逐年稳步增长,这表明中国人口、资源、环境和经济各子系统整体上朝着协调发展的方向顺利前进.评价结果符合我国可持续协调发展的实际.

3 结束语

Concluding remarks

全面、协调、可持续发展是科学发展观的一项基本内容.本文基于系统协调分析和多指标综合评价的有关理论,运用多元统计的主成分分析法,并将灰色关联分析与层次分析法集成赋权,构建中国可持续协调发展评价模型,对1999—2008年中国人口、资源、环境和经济可持续协调发展进行综合评价和实证分析.结果表明:1)1999—2008年中国复合总系统协调度平均值为0.8045,总体上处于良好协调的状态;2)除个别年份外,中国复合总系统综合协调

发展水平随着时间逐年稳步增长;3)评价结果符合我国可持续协调发展的实际.

由于人口、能源资源、生态环境和经济子系统组成一个非常复杂的巨系统,加之各学科领域不同学者在理论认识以及各国国情与实践的不一致,目前国内关于可持续协调发展评价研究还存在不少差异,仍处于探索阶段,尚未形成一套完整的各国认同的理论体系.本文提出的可持续协调发展的定量刻画仅仅是我们的初步尝试,有关协调发展的测度还有许多问题有待进一步深入研究探讨.

参考文献

References

- [1] 魏一鸣,傅小锋,陈长杰.中国可持续发展管理理论与实践[M].北京:科学出版社,2005
WEI Yiming, FU Xiaofeng, CHEN Changjie. China's sustainable development management theory and practice [M]. Beijing: Science Press, 2005
- [2] 申金山,宋建民,关柯.城市基础设施与社会经济协调发展的定量评价方法与应用[J].城市环境与城市生态,2000,13(5):10-12
SHEN Jinshan, SONG Jianmin, GUAN Ke. Quantitative evaluation method and its application for infrastructure and social economy coordinated development [J]. Urban Environment & Urban Ecology, 2000, 13(5): 10-12
- [3] 刘艳清.区域经济可持续发展系统的协调度研究[J].社会科学辑刊,2000(5):79-83
LIU Yanqing. Research and analysis of coordination on the sustainable development of regional economy system [J]. Social Science Journal, 2000(5): 79-83
- [4] 宋旭光.可持续发展测度方法的系统分析[M].大连:东北财经大学出版社,2003
SONG Xuguang. Research on the measurement of sustainable development [M]. Dalian: Dongbei University of Finance & Economics Press, 2003
- [5] 刘思峰,党耀国,方志耕,等.灰色系统理论及其应用[M].北京:科学出版社,2004
LIU Sifeng, DANG Yaoguo, FANG Zhigeng, et al. The grey system theory and its application [M]. Beijing: Science Press, 2004
- [6] 陈静.社会、经济、资源、环境协调发展的建模与评价[D].天津:河北工业大学管理学院,2002
CHEN Jing. Modeling and evaluation for coordination development of society, economy, resource and environment [D]. Tianjin: School of Management, Hebei University of Technology, 2002
- [7] 郭亚军.综合评价理论、方法及应用[M].北京:科学出版社,2007
GUO Yajun. Comprehensive evaluation theory, methods and application [M]. Beijing: Science Press, 2007
- [8] 阮沈勇. MATLAB 程序设计[M].北京:电子工业出版社,2005
RUAN Shenyong. MATLAB programming [M]. Beijing: Publishing House of Electronic Industry, 2005
- [9] 国家统计局.中国统计年鉴(2001—2009)[M].北京:中国统计出版社,2001—2009.
National Bureau of Statistics of China. China statistical year book (2001—2009) [M]. Beijing: China Statistics Press, 2001—2009

Evaluation model and empirical analysis of sustainable coordinated development in China

MEN Kepei¹ WEI Baijun¹ JIANG Liangyu¹

1 College of Mathematics & Physics, Nanjing University of Information Science & Technology, Nanjing 210044

Abstract Sustainable coordinated development about population, resources, environment and economy is the current hot issues, which is related to the country's long-term future. According to statistical data from 1999 to 2008, we determined integrated development index of each subsystem in China. Meanwhile, we adopted the innovative method, which was combined grey relational analysis (GRA) and analytic hierarchy process (AHP), to calculate the whole system's integrated development index and analyze the coordinated development situation of China. The results showed that the level of sustainable coordinated development of China come forth instability in the terms of 1999 to 2008, the average value of coordination degree is 0.8045. The result is coincident with China's actual condition of sustainable development.

Key words composite total system; coordination degree; principal component analysis (PCA); integration of GRA-AHP