

基于经济系统的中国协调发展指数实证研究

门可佩, 魏百军, 蒋梁瑜, 唐沙沙

(南京信息工程大学 数理学院 统计系, 南京 210044)

摘 要: 实施可持续发展战略是我国一项长期基本国策。本文根据 1999—2008 年的统计资料, 确定我国人口、能源资源、生态环境和经济各子系统的综合发展指数, 采用模糊数学隶属函数构建协调度的计算公式, 并求出基于经济系统的两个子系统、3 个子系统、4 个子系统的复合系统协调指数, 最后根据系统协调指数对 1999—2008 年中国可持续协调发展变化趋势进行动态分析。研究结果表明: 中国复合总系统的整体发展呈“U”型状态, 即“优质协调—协调—优质协调”。

关键词: 复合系统; 协调度; 主成分分析; 可持续发展

中图分类号: F120.4 **文献标识码:** A **文章编号:** 1002-980X(2010)09-0037-05

持续发展是人类社会的永恒主题。胡锦涛主席在党的十七大报告中明确指出:“科学发展观, 第一要义是发展, 核心是以人为本, 基本要求是全面协调可持续, 根本方法是统筹兼顾。”只有建立在全面协调可持续基础上的发展才是长远的发展、健康的发展。当前, 建设创新型国家, 促进我国全面协调可持续发展, 关键是把开展深入学习实践科学发展观活动和保持经济平稳较快发展有效结合起来。着力把握经济发展规律, 加快转变经济发展方式, 结构调整和产业升级, 提高经济质量和效益, 全力推进中国协调发展进入一个新台阶。鉴于此, 本文以经济系统为中心, 深入分析和全面评价中国经济系统与人口系统、能源资源系统、生态环境系统之间的协调关系, 这对于加速我国可持续发展、实现全面建设小康社会的宏伟目标具有重大的战略意义。

目前, 国内关于协调度的研究有多种方法, 大致可归结为以下几类^[1-4]: 一是距离协调度; 二是变化协调度; 三是综合协调度; 其余归为一类。距离协调度是通过测量系统间距离来判断系统是否协调, 其设计思路简洁明了, 该方法适合于两个系统之间的分析。变化协调度是测量系统间的相对变化程度, 并以各子系统动态变化的一致程度来判断系统的协调性, 在方法上比距离协调度有所进步, 但其刻画的是相对协调度。本文采用的是综合协调度。这种协调度是与可持续发展综合评价方法思路最为接近的一种测度指标, 与前两种协调度思路相比, 其测度方

法不再过多地关注系统间的联系, 而是研究各子系统经过组合后的状态, 在此基础上观察这种合理的可持续性。综合协调度的计算并没有时间参数的直接参与, 从这一点看, 它与距离协调度有共同点。但是, 静态综合协调度本身由于没有研究子系统间的关系, 所以它实际上不具有协调测度功能, 只有把静态与动态研究结合起来, 才能通过系统总体状态的变化情况间接地研究系统的协调度, 这是综合协调度与距离协调度的不同之处^[1]。

1 综合协调发展评价模型与方法

1.1 评价指标体系

我国人口、能源资源、生态环境和经济 4 个子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, 这里简称为复合总系统^[5]。为全面真实地反映我国复合系统的协调发展状况, 评价指标的选取必须具备相当的完备性和可行性。本文以复合系统协调发展指标体系为基础, 反映我国可持续发展的一般性; 针对我国自身发展的基础和环境特点, 充分反映其特殊性; 以《中国统计年鉴》(2000—2009 年) 等最新统计资料为数据来源, 充分体现可操作性。根据上述原则并借鉴有关研究成果, 笔者构建了四级综合评价指标体系: 一级目标层为复合总系统; 二级子系统层分为 4 个子系统; 三级准则层分为 9 项; 四级指标层共计 27 个指标, 如表 1 所示。

收稿日期: 2010-06-18

基金项目: 国家统计局全国统计科研计划重点项目 (2008LZ022) 研究成果之一; 南京信息工程大学科研基金资助项目

作者简介: 门可佩 (1949—), 男, 江苏南京人, 南京信息工程大学数理学院统计系教授, 硕士生导师, 研究方向: 应用统计分析; 魏百军 (1984—), 男, 安徽巢湖人, 南京信息工程大学数理学院统计系硕士研究生, 研究方向: 应用统计分析; 蒋梁瑜 (1984—), 女, 江苏无锡人, 南京信息工程大学数理学院统计系硕士研究生, 研究方向: 应用统计分析; 唐沙沙 (1985—), 女, 河北河间人, 南京信息工程大学数理学院统计系硕士研究生, 研究方向: 应用统计分析。

表 1 中国复合总系统(人口、能源资源、生态环境和经济) 综合协调发展评价指标体系

总系统	子系统	准则层	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)
		人口素质(C2)	普通高等学校毕业生数量(D3)
		生活条件 (C3)	卫生机构床位数(D4) 每千人口卫生技术人员(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)
	经济子系统 (B3)	经济总量 (C6)	GDP(D14) 人均 GDP(D15) 居民消费价格指数(D16) 全社会固定资产投资(D17) 社会消费品零售总额(D18)
		经济潜力 (C7)	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)

1.2 评价模型与综合发展指数计算

由于评价复合系统涉及的指标数量较多,因此,在综合评价复合系统的各系统的综合发展指数时,本文采用主成分分析法来对多维变量进行降维,并使降维后的变量能反映原变量绝大部分的信息,且尽可能地减少重叠信息的不良影响,克服变量间的多重相关性。

1.2.1 标准化原始数据

进行主成分分析^[6-8]时,由于各指标原始数据存在的量纲差异会对评价结果造成外在影响,因此分析时需要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见式(1)。

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

(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,构造复合总系统的各子系统的相关系数矩阵 R。

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

(2)

式(2)中, $r_{ij} = \frac{1}{n - 1} \sum_{k=1}^n z_{ik} z_{jk} (i, j = 1, 2, \dots, p)$ 。

1.2.3 计算相关系数矩阵的特征值和特征向量

解样本相关矩阵 R 的特征方程 $|R - \lambda I_p| = 0$,求得 p 个特征值,则矩阵 R 相应的特征根为 $\lambda_j (j = 1, 2, \dots, p; \lambda_1 \geq \lambda_2 \geq \dots \geq \lambda_p \geq 0)$,相应各分量的方差贡献率为:

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

(3)

然后,按 $\sum_{j=1}^m \lambda_j / \sum_{j=1}^p \lambda_j \geq 0.85$,确定 m 值,使信息的利用率达到 85% 以上,由此可得到关于复合总系统的各子系统的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,通过式(4)求出相应的标准正交特征向量 β_j :

$$\beta_j = (\beta_{j1}, \beta_{j2}, \dots, \beta_{jm}) = A_j / \sqrt{\lambda_j} (j = 1, 2, \dots, m).$$

(4)

然后即可计算得到前 m 个主成分:

$$F_j = \beta_j Z = \beta_{1j} Z_1 + \beta_{2j} Z_2 + \dots + \beta_{pj} Z_p (j = 1, 2, \dots, m \leq p)。$$
 (5)

1.2.5 计算复合系统各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 , 根据式 (6) 可求得复合系统各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} 。

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

表 2 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

年份	F_p	F_r	F_{ev}	F_{ec}
1999	- 2 3325	1 4119	- 2 2961	- 1 8437
2000	- 2 2234	1 4086	- 2 1536	- 1 4206
2001	- 1 5576	1 1968	- 1 5086	- 1 4545
2002	- 1 1872	1 6059	- 1 1578	- 1 3904
2003	- 0 4761	1 4888	- 0 4536	- 0 6637
2004	0 4037	0 0942	0 3494	0 1911
2005	0 3634	- 0 9233	0 3344	0 3522
2006	1 5079	- 1 6930	1 4987	0 8483
2007	2 6912	- 2 3166	2 6261	2 1116
2008	2 8094	- 2 1860	2 7602	3 2697

本文利用 SAS 软件^[7], 根据式 (3)~ 式 (6), 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值, 见表 2。该评价值可代表各子系统的综合发展水平。

2 以经济系统为中心的协调指数量化与计算

由于复合系统包含人口、能源资源、生态环境和经济 4 个子系统, 因此, 这里涉及的可持续发展状态协调函数既包括描述一个子系统对某一个子系统的状态协调函数, 也包括各个子系统之间的状态协调函数。根据模糊数学建模方法, 借用隶属度函数中的分布密度函数对协调度进行描述^[9-10]:

表 3 协调发展水平的度量标准

协调发展水平	0.95~ 1.00	0.85~ 0.94	0.75~ 0.84	0.50~ 0.74	0.00~ 0.49
协调等级	优质协调	协调	基本协调	基本不协调	不协调

3 基于中国经济系统的协调发展指数研究

利用表 2 中的各系统的综合发展指数建立协调发展模型, 再利用式 (7)、式 (8)、式 (9) 计算基于经济系统为中心的两个子系统、3 个子系统、4 个子系统 (整个复合系统) 的协调发展指数, 见表 4、表 5、表 6 和图 1、图 2、图 3。

1) 描述两个子系统之间相互协调发展状况的状态协调函数 $U(i, j)$ 的表达式如下:

$$U(i, j) = \frac{\min\{u(i/j), u(j/i)\}}{\max\{u(i/j), u(j/i)\}}。$$
 (7)

$$u(i/j) = \exp\{-\frac{(x - x')^2}{s^2}\}。$$
 (8)

式 (7) 中: $U(i, j)$ 表示 i 系统与 j 系统的协调发展指数; $u(i/j)$ 表示 i 系统对 j 系统的协调发展指数; $u(j/i)$ 表示 j 系统对 i 系统的协调发展指数; x 表示 i 系统的综合发展指数; x' 表示 j 系统对 i 系统的综合发展协调值; s^2 表示 i 系统的综合发展指数的均方差。

式 (7) 表明, $u(i/j)$ 和 $u(j/i)$ 的值越接近, i 系统与 j 系统的协调发展指数 $U(i, j)$ 就越大, 说明两系统之间的协调发展程度越高; 反之, $u(i/j)$ 和 $u(j/i)$ 相差越大, 说明两系统之间的协调发展程度越低。特别地, 当 $u(i/j)$ 和 $u(j/i)$ 相等时, $U(i, j) = 1$, 说明两系统完全协调。

2) 描述 3 个子系统之间相互协调发展状况的状态协调函数 $U(i, j, k)$ 的公式如下:

$$U(i, j, k) = \frac{\sum u(i/j, k) \times u(j, k)}{\sum u(j, k)}。$$
 (9)

式 (9) 中: $U(i, j, k)$ 表示 i 系统、 j 系统和 k 系统之间的协调发展指数; $u(i/j, k)$ 表示 i 系统对 j 系统和 k 系统的协调发展指数。

3) 描述 4 个子系统即整个复合系统之间相互协调发展状况的状态协调函数 $U(i, j, m, n)$ 的公式如下:

$$U(i, j, m, n) = \frac{\sum u(i/j, m, n) \times u(j, m, n)}{\sum u(j, m, n)}。$$
 (10)

式 (10) 中: $U(i, j, m, n)$ 表示 i 系统、 j 系统、 m 系统和 n 系统之间的协调发展指数。

协调度等级划分如表 3 所示。

从表 4 和图 1 可看出: 1999—2008 年, “经济—人口” 系统均呈现平稳发展的态势, 因此两者间的协调发展指数较高; 1999—2003 年间, “经济—资源” 系统的协调发展出现一次波动向下的趋势, 在 2004—2008 年系统的协调发展又出现一次波动下降, 其值降至 0.6517, 为 10 年来最低, 这也直接导致了“经济—资源” 系统整体的平均值下降; 1999—2008 年间, 经济—资源系统的综合发展指数曲线呈平稳发

展态势, 两者的协调发展指数也还是较高的。

表 4 基于经济发展的两系统间的复合协调发展指数

年份	$U(Ec, P)$	$U(Ec, R)$	$U(Ec, Ev)$
1999	0.9615	0.9093	0.9606
2000	0.9127	0.9915	0.9217
2001	0.9947	0.9577	0.9936
2002	0.9789	0.9414	0.9779
2003	0.9945	0.8804	0.9938
2004	0.9946	0.9963	0.9968
2005	0.9994	0.9273	0.9990
2006	0.9456	0.8545	0.9466
2007	0.9462	0.9094	0.9494
2008	0.8902	0.6517	0.8871

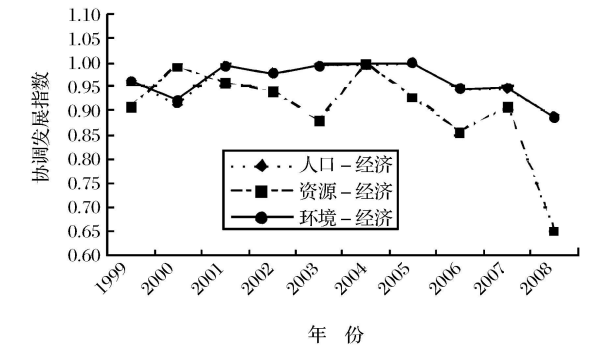


图 1 基于经济子系统的两个子系统复合协调发展曲线

表 5 和图 2 显示: 1999—2008 年间, “经济- 人口- 资源”系统的协调性是偏下的, 平均协调发展指数为 0.8382, 属于协调状态; “经济- 人口- 环境”系统协调发展曲线呈平稳态势, 平均协调发展指数为 0.9825, 属于优质协调, 主要原因是, 在资源合理和高效利用下, “经济- 人口- 环境”系统呈高效正向发展; “经济- 资源- 环境”系统的协调发展曲线呈波动态势, 平均协调发展指数为 0.9251, 属于优质协调, 但 2007 年和 2008 年有下降趋势, 这也导致了它们的平均协调发展指数下降, 究其原因主要是受国际金融危机的冲击, 经济下滑, 能源资源利用率低下, 生态环境治理投入减少等原因所致。

表 5 基于经济发展的三系统间的复合协调发展指数

年份	$U(Ec, P, R)$	$U(Ec, P, Ev)$	$U(Ec, R, Ev)$
1999	0.8274	0.9977	0.9481
2000	0.7875	0.9737	0.9024
2001	0.8384	0.9971	0.9689
2002	0.7969	0.9807	0.9164
2003	0.819	0.9918	0.9700
2004	0.9424	0.9969	0.9928
2005	0.8936	0.9995	0.9995
2006	0.9261	0.9767	0.8717
2007	0.8186	0.9967	0.8563
2008	0.7324	0.9142	0.8248

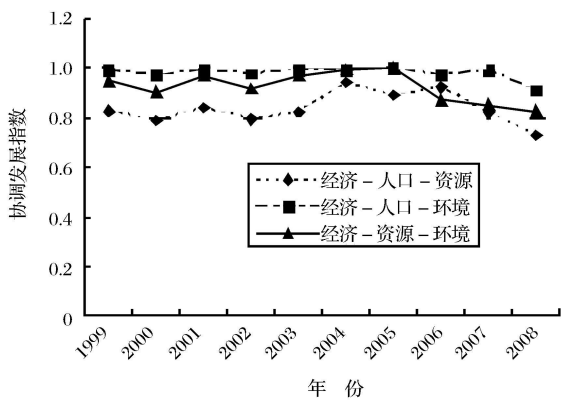


图 2 基于经济子系统的三个子系统复合协调发展曲线

表 6 和图 3 显示: 1999—2008 年间, 中国人口、能源资源、生态环境和经济总系统的平均协调发展指数为 0.9619, 属于优质协调状态。其中, 2003 年协调发展指数相对较低, 这是受“经济-人口-环境”和“经济-资源-环境”的协调性的直接影响。

表 6 基于经济发展的四系统(即整个复合系统)的协调发展指数

年份	1999	2000	2001	2002	2003
$U(Ec, P, R, Ev)$	0.9657	0.9526	0.9994	0.9547	0.8963
协调等级	优质协调	优质协调	优质协调	优质协调	协调
年份	2004	2005	2006	2007	2008
$U(Ec, P, R, Ev)$	0.9809	0.9613	0.9519	0.9842	0.9724
协调等级	优质协调	优质协调	优质协调	优质协调	优质协调

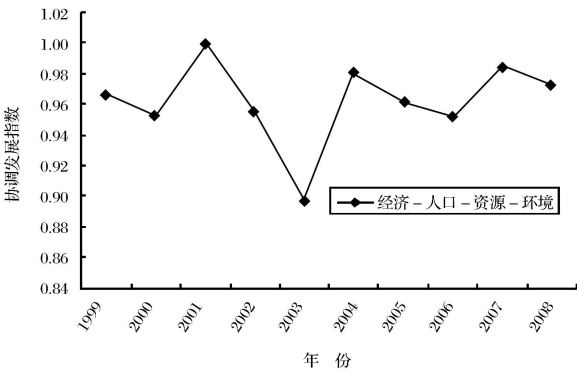


图 3 1999—2008 年中国复合总系统协调发展态势图

1999—2008 年中国复合总系统的协调发展状况总体呈“U”型特征, 即“优质协调-协调-优质协调”。在整个复合系统的协调发展过程中, 人口、经济和生态环境子系统相对稳定, 出现波动向下的趋势型特征, 这主要是受能源资源子系统的影响。协调性较差的年份均与能源资源子系统密切相关, 这与能源资源子系统的综合发展指数对应较差的事实

相吻合。虽然总体来说, 中国复合总系统整体处于优良的协调状况, 但是, 为了促进我国复合总系统更加协调地发展, 我们必须强化能源资源子系统对整个国民经济的支撑作用, 更加注重能源资源的高效利用, 增强低碳意识, 加快低碳经济发展, 促进生态环境的保护和改善。

4 对策和建议

综上分析可知, 1999—2008 年我国人口、能源资源、生态环境和经济的发展总体处于协调状态, 呈“U”型协调。而这种协调容易受到资源、环境等因素的影响。我国复合系统的协调发展是一项复杂的系统工程, 需要一套行之有效的政策措施加以调节和控制。

1) 坚持能源节约优先和多元发展, 大力推进能源结构战略调整, 统筹经济社会与能源协调发展, 增强能源科技自主创新能力, 加快新能源和可再生能源的开发利用, 加速推进能源生产和利用方式变革, 努力建设中国特色的现代化能源产业体系, 为经济社会全面协调可持续发展提供稳定、经济、清洁的安全能源保障。

2) 加快经济结构战略性调整和产业升级, 着力提高质量和效益, 大力发展低碳经济。促进产品的低碳生产和开发, 提倡低碳消费, 促进现代经济发展向以低碳与无碳能源经济为基础的可持续发展经济转变。保障经济的可协调持续发展, 推进生态文明建设进程。

3) 建立人口综合管理与优生优育体系, 稳定低生育水平, 控制人口总量, 提高人口素质, 转变人口结构失衡现象。要使国民经济真正能够实现持续快

速发展, 必须尊重和有效驾驭人口发展的规律, 实现“以人为本”, 建设“和谐社会”。

4) 处理好“发展是硬道理、环保是硬约束”的关系, 实现加快经济发展与加强环境保护“双赢”。抢抓机遇, 突破长期制约环保发展的瓶颈, 全力以赴推进污染减排, 大力加强环保能力建设。坚持从决策源头上控制污染, 从项目建设全过程控制污染新增量, 开辟环评审批的“绿色通道”, 积极推进环境保护与经济社会的协调发展。

参考文献

- [1] 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.
- [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.
- [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.
- [4] 张陶新. 我国中部地区可持续发展测度与分析[J]. 技术经济, 2010, 29(2): 115-119.
- [5] 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.
- [6] 雷钦礼. 经济管理多元统计分析[M]. 北京: 中国统计出版社, 2002.
- [7] 朱道元, 吴诚鸥, 秦伟良. 多元统计分析 with 软件 SAS[M]. 南京: 东南大学出版社, 2003.
- [8] 肖智, 李文娟. 基于主成分分析和支持向量机的个人信用评估[J]. 技术经济, 2010, 29(3): 69-72.
- [9] 王浣尘. 可持续发展与系统集成方法论[J]. 科学管理研究, 1997, 15(1): 25-27.
- [10] 李艳, 曾珍香, 武优西, 等. 经济环境系统协调发展评价方法研究及应用[J]. 系统工程理论与实践, 2003(5): 54-58.

Empirical Research on China's Coordinated Development Index Based on Economy System

Men Kepei, Wei Baijun, Jiang Liangyu, Tang Shasha

(College of Mathematics & Physics, Nanjing University of Information Science & Technology, Nanjing 210044, China)

Abstract: For China, implementing the sustainable development strategy is a long term basic national policy. Using the statistical data from 1999 to 2008, this paper calculates the integrated development index of each subsystem. Then it establishes a coordination degree formula by the distribution density function of fuzzy membership function, and gets the coordination indexes of composite system which are based on the economic system with two subsystems and three subsystems and four subsystems. Finally, it analyzes dynamically the trend of sustainable coordinated development of China during 1999—2008 according to the coordination degree index of composite system. The results show that the development of composite system takes on U type, namely “high quality coordination, and coordination, then high quality coordination”.

Key words: composite system; coordination degree; principal component analysis; sustainable development