

生态文明建设与能源、经济、环境和生态协调发展研究

呼和涛力¹, 袁浩然¹, 赵黛青¹, 陈勇¹, 杜祥琬²

(1. 中国科学院广州能源研究所, 广州 510640; 2. 中国工程物理研究院, 四川绵阳 621900)

摘要: 能源、经济、环境、生态 (4E) 复合系统存在相互影响、相互制约的发展关系, 4E 的协调发展是生态文明建设与社会可持续发展最终目的。本研究在 4E 四元发展的博弈性、协同性分析的基础上, 本着以人为本的原则, 利用层次分析法, 构建了 4E 发展评价指标体系, 并采用协调系数法计算出 4E 系统之间的综合耦合协调度。通过实证研究量化的表达 4E 系统协调发展状况, 为生态文明建设与 4E 协调发展决策的制定和选择提供参考依据。

关键词: 生态文明; 4E; 复合系统; 协调发展; 评价指标

中图分类号: TK01 **文献标识码:** A

Research on the Coordination Development between Ecological Civilization Construction and Energy, Economy, Environment, Ecology

Huhetaoli¹, Yuan Haoran¹, Zhao Daiqing¹, Chen Yong¹, Du Xiangwan²

(1. Guangzhou Institute of Energy Conversion, Chinese Academy of Sciences, Guangzhou 510640, China;
2. China Academy of Engineering Physics, Mianyang, Sichuan 621900, China)

Abstract: There are complicatedly interdependent and interactional relationships in Energy-Economy- Environment-Ecology (4E) compounded system, and the coordinated development of 4E system is the final goal of sustainable social development. In this paper, on the basis of game theory and collaborative analysis of the development of 4E system, and according to the people-oriented principle, we construct a distinct evaluation index system of 4E development by Analytic Hierarchy Process (AHP), and work out the coupling coordination degree of 4E system by coordination coefficient method. Through empirical study, the coordinating evaluation model and the corresponding calculating method can quantitatively express the status of coordination development of 4E system, which provides the decision-making basis to coordinated 4E development.

Key words: ecological civilization; 4E; compounded system; coordination development; evaluation index system

收稿日期: 2015-08-26; **修回日期:** 2015-09-05

作者简介: 呼和涛力, 中国科学院广州能源研究所, 副研究员, 主要从事能源战略及“城乡矿山”能源化与资源化清洁利用研究;

E-mail: taoli@ms.giec.ac.cn

基金项目: 中国工程院重大咨询项目“生态文明建设若干战略问题研究”(2013-ZD-11)

本刊网址: www.enginsci.cn

一、前言

可持续发展的概念提出以来,世界各国把可持续发展作为全新的发展模式,从各自不同的角度出发对这一概念做了深入和广泛的研究。1980年国际自然保护同盟的《世界自然资源保护大纲》(*The World Conservation Strategy*)^[1]一书中提出了研究自然的、社会的、生态的、经济的以及利用自然资源过程中的基本关系,以确保全球的可持续发展。1981年,美国的Lester R. Brown出版了《建设一个可持续发展的社会》(*Building a Sustainable Society*)^[2],提出以控制人口增长、保护资源基础和开发再生能源来实现可持续发展。随后,中国政府批准发布了《中国21世纪议程——中国21世纪人口,环境与发展白皮书》^[3],首次把可持续发展战略纳入我国经济和社会发展的长远规划中。1997年,中国共产党第十五次全国代表大会把可持续发展战略确定为我国“现代化建设中必须实施”的战略,集中体现了中国实施可持续发展战略的基本观点和主要内容。可持续发展的实质是自然与社会系统的协调发展,以人与人类社会经济活动为一方,以人类赖以生存的资源 and 环境为另一方,组成了自然与社会相互作用、相互制约的动态开放复杂系统。从“以人为本”的理念出发,可持续发展其核心内容可以归纳为人均的能源、经济、环境和生态等因素,简称为4E系统。对于中国,经济保持健康的发展的同时,能源、环境和生态也需要持久、有序、稳定和协调地发展。因此,能源、经济、环境和生态的复合系统的协调发展,建立4E协调发展系统评价体系对我国生态文明的建设和发展具有非常积极的现实意义。

二、生态文明建设与能源、经济、环境、生态的4E发展系统

(一) 4E是生态文明建设的重要组成部分

1. 清洁能源是生态文明的动力

能源作为动力原料一直是推动人类文明发展不可或缺的基本要素。但随着人口迅速增长、经济快速发展以及工业化程度的提高,人类社会所需自然资源能源不但没有增长,特别是传统的化石能源正在急剧的减少,资源能源的承载力面临越来越大的压力。生态文明必然要取代工业文明,能源发展也必须从“黑色、高碳”的传统化石能源转型

为“绿色、低碳”的清洁能源。清洁能源狭义上指可再生能源,如水能、生物能、太阳能、风能、地热能 and 海洋能,但广义的清洁能源则包括生产及其消费过程对生态环境低污染或无污染的能源,如天然气、清洁煤和核能等。大力发展清洁能源,不仅可以逐步改善能源结构,推动绿色、低碳清洁能源技术,增强能源的供应安全和环境安全保障,在未来必将成为推进生态文明的新动力。

2. 健康经济是生态文明的基础

经济以其物质再生功能为生态文明建设提供物质和资金的基础。生态文明是要人们在把握自然规律的基础上积极地、能动地利用自然、改造自然,积极调整产业结构,大力改变经济增长方式,建立新型的生态经济和循环经济的发展模式,走可持续发展之路。生态文明建设过程中遇到的一些问题要靠经济发展来解决。从生态环境的保护方面来讲,如污水治理、空气污染治理,都需要巨额资金的投入;从资源能源消耗方面,如要提高能源利用效率需要科学与技术的支撑,而这些也需要经济发展的支撑。经济发展的效益最终要使人民得到福利,这是生态文明“以人为本”理念的重要体现。注重并提倡发展无泡沫、净效益的健康经济。如果产生的效益的大多数又要拿去治理环境,那就是不健康的经济。如果没有可持续发展的实体经济、较高的人民收入水平、不断增加的社会财富、优良的生态环境,经济则不能称为健康的经济。

3. 优质环境是生态文明的保障

生态环境的优劣直接制约着生态文明建设的方向和程度,关系到国家整体经济发展的潜力。中国由于实行粗放式发展,污染物排放总量大,主要污染物排放量超过环境容量。中国从低排放国家走向高排放国家,从环境低恶化走向环境高恶化国家,从局部型、单一型污染走向全局型、复合型污染,在经济增长的背后付出了惨重的环境代价。近30年来,中国没有抑制住环境污染加剧的趋势,环境质量在局部有所改善的同时,总体仍在恶化。我国各类污染物排放量均居世界首位,并远远超过了自身的环境容量。在未来十年,中国经济可能从高速增长期进入中速增长期,人均资源消费量如人均钢材、人均水泥消费量陆续与经济增长脱钩,重化工业扩张势头有所遏制,调整产业结构和淘汰落后产能的步伐加快。加之环境标准更加严格,环境执法力度加大,企业治理污染投入会进一步加大,同时

公众对环境质量要求越来越高，促使各级政府进一步强化环保公共职能。

4. 自然生态是生态文明的标志

我国地域辽阔、气候多样，为多种生物及生态系统的形成与发展提供了生长环境。拥有地球陆生生态系统的各种类型，包括森林、草地、湿地、海洋、农田和城市等生态系统，为中华民族繁衍、华夏文明昌盛与传承提供了支撑。但长期的资源开发与巨大的人口压力，使我国的生态环境受到严重的干扰和破坏，生态系统结构与功能退化，生态灾难加剧，已成为我国经济社会发展的巨大威胁。因此，必须树立尊重自然、顺应自然、保护自然的理念，进一步创新生态保护理论，加强生态恢复与生态建设，保障生态系统服务功能的持续供给。需从生态的概念标准出发，以自然、社会和人的和谐统一为主题，发展循环经济，集中解决水资源污染、森林覆盖率低、固体废弃物污染和环境脏乱差问题，对生态功能区和重点生态资源实施强制性保护。开发新水源、发展清洁能源，大规模植树造林，提高人均占有绿地面积，完善环境与发展综合决策机制，加强环保能力建设。

(二) 4E 共赢的辩证统一

生态文明建设是由政治、经济、文化等多种因

素合力促成，但其中，经济建设、能源供给、环境以及生态的保障和支撑等四元发展对生态文明尤为重要。离开生态文明单纯地去抓 4E 四元发展，反而会使各自的发展远离既定的目标。同样，如果 4E 不能和谐发展，取得共赢，则难以实现生态文明。可是在社会经济发展中，人们往往偏重经济的发展，忽视了生态环境的保护，以致造成了环境污染和生态退化。不仅使经济发展受到资源瓶颈的限制，而且影响了政治稳定与和谐社会的建设。4E 复合体系是由属性不同的能源、经济、环境、生态子系统相互关联、相互作用、相互渗透而形成的具有结构与功能统一、开放的动态复杂系统（见图 1）。4E 之间存在辩证统一的关系，存在博弈性和协同性关系，只有它们之间的这些相互作用产生协调效应，才能推动 4E 系统向协调有序的方向发展。

协调作为一种管理职能，是围绕组织发展目标对组织整体中各种活动的相互联系加以调节，使这些活动有机地结合在一起，减少矛盾，相互协调，促使组织目标的实现。4E 复合系统协调发展的实质是充分利用并促进四个系统之间的积极作用关系，实现四者之间的良性循环，以合理的经济发展为基础，实现能源高效利用、同时最大限度地保护环境，并保持生态的平衡。

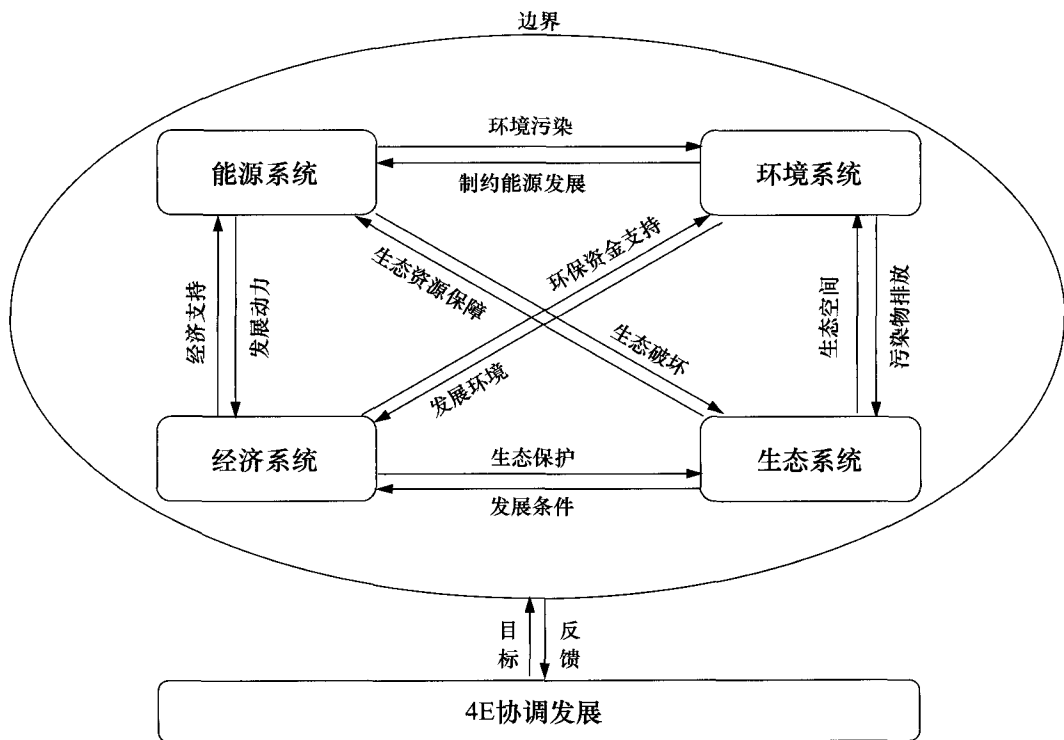


图 1 4E 协调发展的基本结构

三、4E 协调发展评价指标体系

(一) 4E 协调发展评价指标的选择

4E 复合体系是一个开放的非线性的动态复杂大系统, 涉及的目标多而且易受外界因素的影响, 选取的因素不同, 也直接影响着实证分析的结果。根据上述经济与环境发展的博弈性和协同性分析, 可以通过数学模型或量化方法反映系统协调的状态或程度。在此, 建立经济与环境复合系统的综合评价指标体系的方法实现这一过程。本着全面性、代表性、量化性、可操作性和科学性等的原则, 选取合适指标, 构建 4E 复合系统评价指标体系。

(1) 能源指标的选择: 能源消费需考虑资源禀赋和环境承受力, 严格控制能源消费总量的问题。从能源生产、消费、利用以及能源建设四个方面,

考虑合理利用资源, 降低单位国内生产总值 (GDP) 能耗, 对传统能源利用结构进行调整, 并要扩大非化石能源利用规模等, 共建立了八项指标。

(2) 经济指标的选择: 经济发展考虑到实现 2020 年中国的发展目标, 仍需保持经济的快速增长的需求, 从经济规模、结构、增长和效益等方面, 共考虑了七项指标。

(3) 环境指标的选择: 环境指标的选择主要在于发展与环境承载力相适应, 分别从环境污染、控制治理和环境投资等三个方面, 共考虑了六项指标。

(4) 生态指标的选择: 生态是人类、社会与自然文明的标志, 因此在指标的选择时考虑了生态规模、质量和保护方面, 共建立了六项指标。

综上所述, 为评价生态文明与 4E 共赢的复合体系, 基本架构以系统层、准则层及指标层等三个层次组成, 共选取了 27 个代表性指标 (见表 1)。

表 1 4E 发展评价指标体系

子系统	准则层	指标层
E1: 能源子系统	能源生产	e ₁₁ : 人均能源生产量 /toe e ₁₂ : 人均原煤产生量 /t e ₁₃ : 人均发电量 /(kW·h)
	能源消费	e ₁₄ : 人均能源消费量 /toe e ₁₅ : 人均能源消费弹性系数
	能源利用	e ₁₆ : 万元国内生产总值能耗 /toe e ₁₇ : 能源加工转化效率 /%
	能源建设	e ₁₈ : 非化石能源比重 /%
E2: 经济子系统	经济规模	e ₂₁ : 人均国内生产总值 /元
	经济结构	e ₂₂ : 第三产业对国内生产总值的贡献率 /%
	经济增长	e ₂₃ : 国内生产总值增长率 /% e ₂₄ : 第三产业增长率 /%
	经济效益	e ₂₅ : 城镇居民人均收入 /元 e ₂₆ : 农村人均收入 /元 e ₂₇ : 人均教育经费 /元
E3: 环境子系统	环境污染	e ₃₁ : 人均 CO ₂ 排放量 /t e ₃₂ : 人均 SO ₂ 排放量 /t e ₃₃ : 人均生活垃圾清运量 /t
	环境治理	e ₃₄ : 工业固体废弃物综合利用率 /% e ₃₅ : 生活垃圾无害化处理率 /%
	环境投资	e ₃₆ : 环境投资比重 /%
E4: 生态子系统	生态规模	e ₄₁ : 人均水资源量 /m ³ e ₄₂ : 人均森林面积 /hm ² e ₄₃ : 人均耕地面积 /亩
	生态质量	e ₄₄ : 森林覆盖率 /% e ₄₅ : 城市绿化覆盖率 /%
	生态保护	e ₄₆ : 保护区占国土面积比重 /%

注: 1 hm²=10 000 m²; 1 亩≈666.67 m²。

(二) 4E 共赢的评价模型构建

1. 数据收集和指标数据的标准化处理

数据来源为 2001—2012 年《中国统计年鉴》^[4]和《中国能源统计年鉴》^[5]等相关资料。日本的数据来源于能源^[6]，经济^[7]，环境^[8]以及国土交通^[9]等相关网站。被选指标的量纲、数量和变化幅度可能存在差异，需要先对指标的原始数据进行标准化处理。因为评价指标较多，很难对每一个评价指标确定一个最优标准，故采用极差法^[10]对指标进行一致化处理无量纲化处理。指标中的最大值分别采用中国 2020 年的规划值和日本 2012 年实际值的两种情形作为参考，最小值则采用了中国 1980 年的实际值。

$$\text{正向指标 } e'_{ij} = \frac{e_{ij} - e_{\min}}{e_{\max} - e_{\min}} \quad (1)$$

$$\text{逆向指标 } e'_{ij} = \frac{e_{\max} - e_{ij}}{e_{\max} - e_{\min}} \quad (2)$$

式(1)、式(2)中， e'_{ij} 为标准化后的结果值， e_{ij} 为原始数据值， e_{\max} 、 e_{\min} 分别表示指标的最大值和最小值。

2. 标准化数据的主成分分析

将原始数据进行无量纲化处理后，按照因子分析的步骤，运用 SPSS 21.0^[11]软件进行主成分分析。根据特征值大于 1，累积贡献率大于 95% 的原则得到主成分特征值、贡献率和累计贡献率。将得到的特征向量与标准化后的数据相乘，就可以得到主成分综合模型。式(3)至式(6)分别表示中国在 2020 年规划值情况下的经济、能源、环境、生态各系统的主成分综合模型表达式。以同样的方法也可给出日本 2012 年实际值作为参考时的另一组计算式，本文不予表示。

$$F_{E1} = 0.320X_{e11} + 0.320X_{e12} + 0.330X_{e13} + 0.324X_{e14} + 0.231X_{e15} + 0.339X_{e16} + 0.296X_{e17} + 0.294X_{e18} \quad (3)$$

$$F_{E2} = 0.404X_{e21} + 0.110X_{e22} + 0.053X_{e23} + 0.106X_{e24} + 0.404X_{e25} + 0.404X_{e26} + 0.404X_{e27} \quad (4)$$

$$F_{E3} = 0.362X_{e31} + 0.109X_{e32} + 0.280X_{e33} + 0.323X_{e34} + 0.426X_{e35} + 0.372X_{e36} \quad (5)$$

$$F_{E4} = 0.047X_{e41} + 0.432X_{e42} - 0.152X_{e43} + 0.434X_{e44} + 0.390X_{e45} + 0.177X_{e46} \quad (6)$$

式(3)至式(6)中， F 代表各系统在 2000 年至 2012 年中国的发展指数， X_{ij} 代表各指标的标准化值，前面的系数是由主成分分析得出的权重。表 2 显示中国在 2000 年至 2012 年间经济、能源、环境和生态四个子系统综合发展指数(F)的计算结果，并以雷达图(见图 2)的方式比较分析了两种情形下中国在 2000 年、2005 年、2010 年和 2012 年发展指数。

从图 2 可以看出，2000 年至 2012 年间总体上 4E 的发展值均得到了提高，雷达图上的红线包围区面积不断地在增大。通过比较，环境的发展值比能源、生态发展值略显高，经济的发展值最小。在过去的十二年中，环境的发展除了治理和投资取得成绩以外， CO_2 、 SO_2 等污染物的排放也是环境发展值增加的原因。因此，为实现 2020 年污染物排放总量控制的预期目标，必须加强对环境污染的治理。另外，能源的发展值略高于经济的发展值也说明了高能耗的经济发展模式依然是当前的现状。要改变这种传统的高投入、高消耗、低效率的增长方式，使经济发展摆脱能源、环境、资源的制约。以日本 2012 年实际值作为参考时，中国的发展指数显示，经济和生态指标偏小，说明人均收入等经济效益水平以及生态质量等方面与日本相比存在较大的差距，未来中国还有很大的发展空间。

3. 4E 复合系统协调度分析

上述内容，通过主成分分析获得了 4E 系统内各项指标的权重，从而计算出子系统的发展值，并

表 2 4E 四个子系统综合发展指标

发展指标	2000 年	2001 年	2002 年	2003 年	2004 年	2005 年	2006 年	2007 年	2008 年	2009 年	2010 年	2011 年	2012 年
F_{E1}	0.33	0.37	0.35	0.33	0.40	0.49	0.52	0.55	0.61	0.63	0.69	0.71	0.77
F_{E2}	0.20	0.24	0.25	0.24	0.27	0.28	0.30	0.33	0.42	0.46	0.50	0.58	0.66
F_{E3}	0.40	0.44	0.44	0.47	0.49	0.52	0.53	0.60	0.63	0.65	0.71	0.70	0.77
F_{E4}	0.11	0.14	0.16	0.19	0.42	0.42	0.47	0.47	0.49	0.76	0.75	0.77	0.69

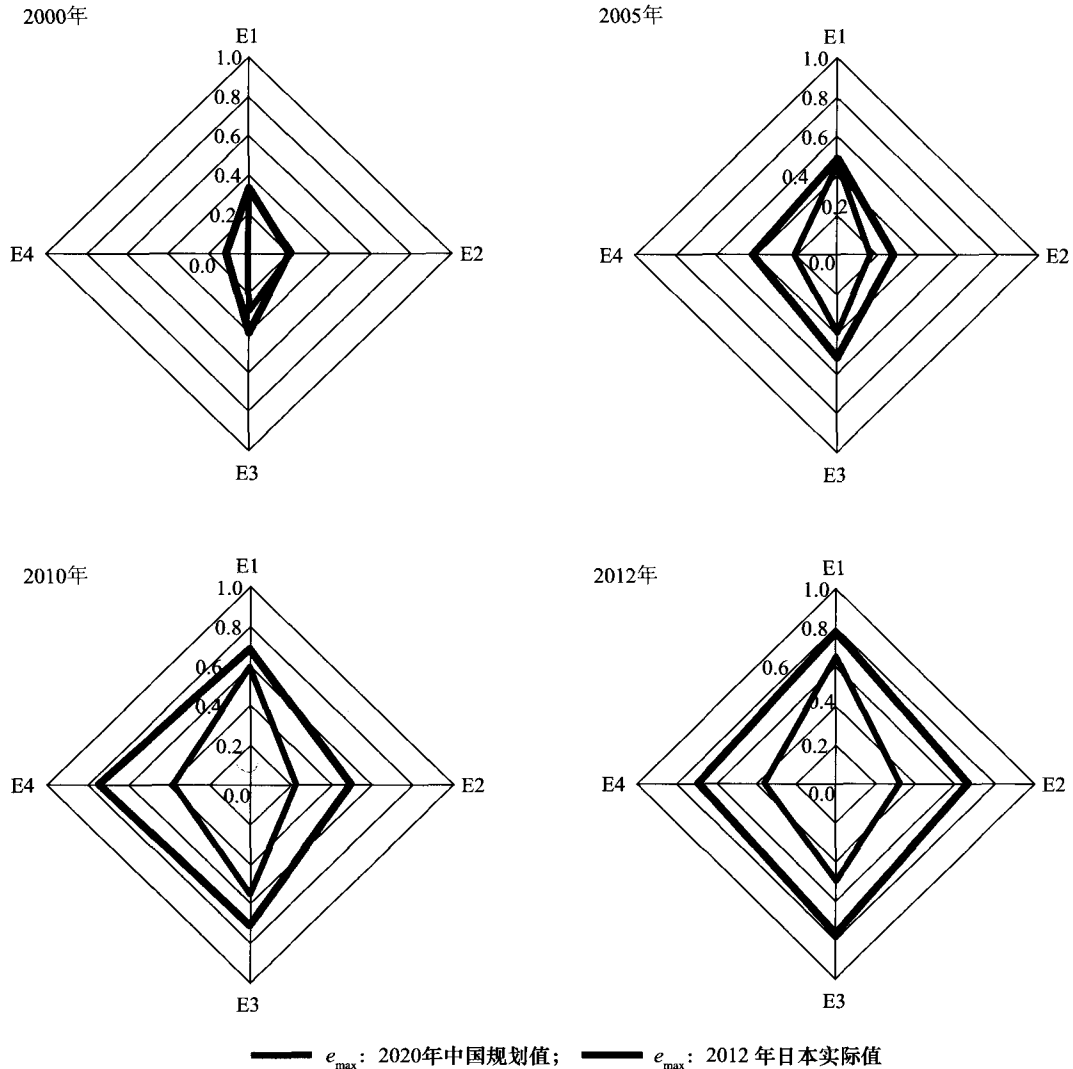


图2 两种情形下中国在2000年至2012年4E的发展指数比较

采用雷达图进行比较，得到直观的判断。但是，真正说明各系统间的内在协调关系，需要采用协调度计算多元系统间的协调度，从而评价协调发展状况。

协调度是度量系统或系统内部要素之间在发展过程中彼此和谐一致的程度，体现系统由无序走向有序的趋势，是能源、经济、环境、生态系统的协调状况好坏程度的定量指标。本研究借鉴物理学中容量耦合的系数模型，构建计算4E系统之间耦合协调度模型。则能源系统与经济系统的耦合度计算公式如下：

$$O = \sqrt{\frac{F_{E1} F_{E2}}{(F_{E1} + F_{E2})^2}} \quad (7)$$

为了避免伪协调评价结果的同时，能反映两个

系统各自的实际发展水平和对系统有序度贡献大小的耦合协调度模型，在参考耦合度的基础上定义了耦合协调度系数，如下式：

$$X = (O \times T)^{1/2}, T = \alpha F_{E1} + \beta F_{E2} \quad (8)$$

式(8)中， X 为耦合协调度系数； O 为耦合度； T 为综合评价指数； α 、 β 为待定系数（本研究令 $\alpha = \beta = 0.5$ ）。

计算三个或四个系统的综合耦合协调度的公式如下式：

$$X_{\text{总}} = \sqrt[n]{\prod_{i=1}^n X_i} \quad (9)$$

式(9)中， X_i 为两个或三个系统的耦合协调度系数； n 为组合个数。

协调系数的大小表示系统间的协调程度，协调

系数的不同区间可以作为不同协调度的衡量标准。越接近 1, 表示 4E 系统越协调, 当等于 1 时, 表明 4E 系统处于完全协调状态 (或完全和谐状态)。反之, 协调系数越接近于 0, 表明 4E 系统越不协调, 当等于 0 时, 4E 系统为完全不协调状态。表 3 为协调度取值与所代表协调状况的对应关系。

图 3 为两种情形下中国在 2000 年至 2012 年 4E 协调度的比较。通过表 3 的系统协调度等级划分进行对比, 确定中国经济、能源、环境、生态 4E 综合耦合协调度水平。评价结果显示, 以中国 2020 年规划值作为参考的情形下, 中国在 2000 年至 2012 年间 4E 协调度还处在较低水平。2000 年至 2003 年间系统综合耦合协调度在 0.3~0.4, 属于“极不协调”状态。2003 年至 2008 年间系统综合耦合协调度为 0.4~0.5, 属于“严重不协调”状态, 2008 年以后的几年协调等级接近 0.6, 接近“轻度不协调”状态。于此相比, 以日本 2012 年实际值作为参考值时的情形下, 中国在 2000 年至 2012 年间 4E 协调度则更低, 只处于 0.2~0.5, 与中国 2020 年规划值情形下相比平均低了 20% 左右。如果中国在未来的 2020 年如期完成规划目标, 红线将趋于 1, 但按照日本的 2012 年实际值来衡量, 到 2020 年可能还是“弱协调”或“良好协调”的状态。总体来说, 4E 系统的综合耦合协调度随着时间的推移都取得了较好的进步。这也在于国家一直倡导可持续发展

观, 积极推进经济发展方式的转变, 加大产业结构调整 and 环保力度等宏观措施的实施。但同时也要认识到中国的综合协调发展达到 4E 共赢还任重道远, 需要进一步加强经济发展与能源、环境、生态的和谐发展, 加快构建有利于节约能源资源和保护生态环境的国民经济体系, 必须根据自然环境承载力规划经济社会发展, 把节约环保的要求全面体现到经济发展的各个领域和每个指标环节, 大力发展绿色经济和推动清洁能源发展。要确立生态红线, 如能源消耗总量控制、污染排放控制、生态功能区脆弱红线等, 在此前提下保持经济的快速发展。

四、结语

生态文明建设过程中能源、经济、环境、生态的四元协调发展尤为重要。可以认为清洁能源是生态文明的动力、健康经济是生态文明的基础、优质环境是生态文明的保障、自然生态是生态文明的标志。如果 4E 不能和谐发展, 取得共赢, 则难以实现生态文明。4E 之间存在辩证统一的关系, 并且在生态文明建设目标下的 4E 之间存在博弈性和协同性关系。要探索“发展中保护、在保护中发展”的发展道路, 充分认识 4E 之间的博弈性和协同性关系, 解读 4E 之间辩证统一的共赢理论, 正确地处理生态文明建设事业发展和保护的关系, 在多维

表 3 协调度等级划分

协调度	0~0.39	0.4~0.49	0.5~0.59	0.6~0.69	0.7~0.79	0.8~0.89	0.9~1.0
等级	极不协调	严重不协调	中度不协调	轻度不协调	弱协调	良好协调	优质协调

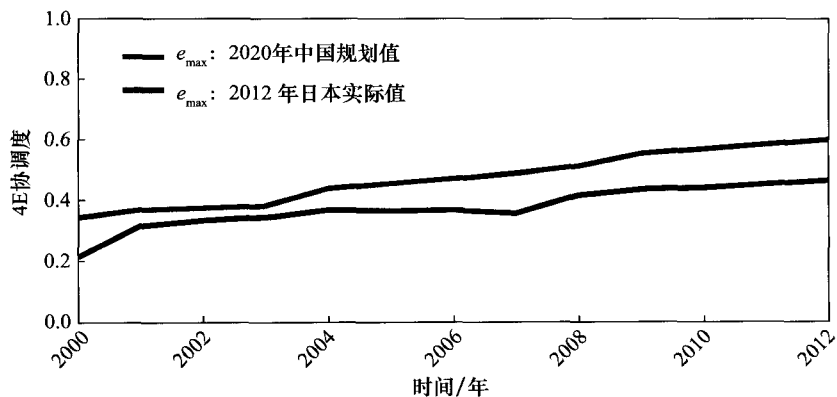


图 3 两种情形下中国在 2000 年至 2012 年 4E 协调度比较

影响因素之间找出平衡点。

4E 系统之间的综合协调度评价结果对于中国今后制定更加科学、有效的经济、能源、环境和生态政策具有重要的参考价值。应利用 4E 共赢指标考核发展,以取代用单纯国内生产总值指标的考核。通过科学制定 4E 共赢考核指标体系并建立多元发展协调性评价模型,着力解决影响清洁能源发展和损害群众健康的突出环境问题,如事关大气、水、土壤污染等问题,不能放松对生态环境的保护要求,以取代以往单纯国内生产总值指标考核。

4E 共赢评价结果显示,我国 4E 系统的综合耦合协调度随着时间的推移和社会的进步,表现出较好的增长趋势。但同时存在 4E 发展不协调、整体水平处在较低水平的问题,更以日本 2012 年数据为参考值进行计算比较 4E 协调度平均低于 20%。因此,达到全面协调发展还任重道远,需要更大的努力。今后需在保持经济稳定、健康增长的同时,在经济效益、生态质量等指标上缩小差距,这样才能达到 4E 的共赢。

参考文献

- [1] IUCN. The World Conservation Strategy: Living Resource Conservation for Sustainable Development[M]. Gland, Switzerland: IUCN/UNEP/WWF, 1980.
- [2] Lester R. Brown. Building a Sustainable Society[M]. New York: W. W. Norton & Co Inc., 1982.
- [3] 国家纪委, 国家环保局. 中国 21 世纪议程——中国 21 世纪人口, 环境与发展白皮书[M]. 北京: 中国环境科学出版社, 1994.
- [4] 中国国家统计局编. 中国统计年鉴[M]. 北京: 中国统计出版社, 2001-2013.
- [5] 中国国家统计局编. 中国能源统计年鉴[M]. 北京: 中国统计出版社, 2001-2013.
- [6] Agency for natural Resources and Energy. Statistics, total energy[EB/OL]. [2015-07-27]. <http://www.enecho.meti.go.jp/>.
- [7] Cabinet Office Government of Japan. Annual Report on National Accounts of 2015[EB/OL]. [2018-08-04]. <http://www.esri.cao.go.jp/>.
- [8] Ministry of the Environment Government of Japan. Environment Synthesis Database[EB/OL]. [2015-08-04]. <http://www.env.go.jp/>.
- [9] Ministry of land, Infrastructure. Transport and Tourism. Statistics[EB/OL]. [2015-08-05]. <http://www.mlit.go.jp/en/index.html>.
- [10] 张宏民, 葛家理. 我国能源经济复杂系统仿真研究[J]. 系统仿真学报, 2002, 14(11):1443-1446.
- [11] Statistical Product and Service Solutions. IBM SPSS Statistics Client22 [CP].