

何伟,秦宁,何玘霜,等. 2010. 节能减排绩效及其与经济效益协调性的监控和评估[J]. 环境科学学报,30(7):1499-1509

He W, Qin N, He Q S, et al. 2010. Monitoring and evaluation of energy saving and pollution reduction performance (ESPRP) and its coordination with economic benefit[J]. Acta Scientiae Circumstantiae,30(7):1499-1509

## 节能减排绩效及其与经济效益协调性的监控和评估

何伟,秦宁,何玘霜,王雁,徐福留\*

北京大学城市与环境学院,地表过程分析与模拟教育部重点实验室,北京 100871

收稿日期:2009-11-16 修回日期:2010-02-04 录用日期:2010-04-10

**摘要:**设计了节能绩效-减排绩效关系图及节能绩效、减排绩效与经济效益协调关系三角图,研究了 1997~2006 年中国石油、化工、冶金等行业(包括石油和天然气开采业(O1)、非金属矿采选业(O2)、石油加工及炼焦业(O3)、化学原料及化学制品制造业(O4)、化学纤维制造业(O5)、橡胶制品业(O6)、塑料制品业(O7)、黑色金属冶炼及压延加工业(O8)、有色金属冶炼及压延加工业(O9)和金属制品业(O10))节能减排绩效及其与经济效益的协调性状态和趋势。结果表明,塑料制品业(O7)的节能减排绩效最好,10 个被研究的行业中有 9 个行业属于节能减排绩效很差-差的行业,其中,O3、O4、O8 和 O10 等 4 个行业节能减排绩效有变差的趋势。2006 年,上述行业节能减排绩效与经济效益协调性所处状态的离散程度相对于 1997 年变大,并分布在 5 个不同的状态,其中,O1 和 O2 处于强不协调状态,O3 处于弱不协调状态,O4、O8 和 O9 处于弱协调状态,O5 和 O7 处于强协调状态,O6 和 O10 处于很强协调状态;且 O1、O2 和 O3 呈弱不协调性发展趋势,O4、O5、O6、O8、O9 和 O10 呈强协调性发展趋势,O7 先呈强协调性发展趋势,后成为弱不协调性发展趋势。本研究设计的方法具有简便、直观、灵活和易用等特点,是值得推广的节能减排绩效及其与经济效益协调性监控和评估方法。

**关键词:**节能绩效;减排绩效;经济效益;协调性;监控;评估;三角图

文章编号:0253-2468(2010)07-1499-11 中图分类号:X196 文献标识码:A

## Monitoring and evaluation of energy saving and pollution reduction performance (ESPRP) and its coordination with economic benefit

HE Wei, QIN Ning, HE Qishuang, WANG Yan, XU Fuliu\*

College of Urban & Environmental Sciences, MOE Laboratory for Earth Surface Process, Peking University, Beijing 100871

Received 16 November 2009; received in revised form 4 February 2010; accepted 10 April 2010

**Abstract:** A rectangular coordinate diagram based on the relationships between energy saving performance (ESP) and pollution reduction performance (PRP), and a triangle diagram based on the interrelationships among ESP, PRP and economic benefit, were designed to illustrate the statuses and trends of energy saving and pollution reduction performance (ESPRP) and its coordination with economic benefit, respectively. As a case study, China's petroleum, chemical and metallurgical industries, including petroleum and natural gas extraction (O1), nonmetal mineral mining and dressing (O2), petroleum refining and coking (O3), raw chemical materials and chemical products (O4), chemical fiber (O5), rubber products (O6), plastic products (O7), smelting and pressing of ferrous metals (O8), smelting and pressing of nonferrous metals (O9), and metal products (O10), were selected to evaluate the status and long-term trends of the ESPRP and its coordination with economic benefit from 1997 to 2006. The results show that 9 of 10 industry sectors belong to the very bad or bad ESPRP status. The plastic products industry has the best ESPRP performance status. Four out of ten industry sectors' ESPRP, including O3, O4, O8 and O10, have a trend to become worse in the future. In 2006, discrete level of coordination between ESPRP and economic benefit is higher than that in 1997. In 2006, 10 industry sectors distribute in 5 different statuses, O1 and O2 at very strongly uncoordinated status, O3 at strongly uncoordinated status, O4, O8, and O9 at weakly coordinated status, O5 and O7 at strongly coordinated status, and O6 and O10 at very strongly coordinated status; O1, O2, and O3 have weak coordination trends; O4, O5, O6, O8, O9 and O10 have strong coordination trends; O7 has a strong coordination trend first, then a weak coordination trend. The ESP-PRP relationship diagram and triangle method, as an intuitive platform for illustrating the status and trends of ESPRP and its coordination with economic benefit, seems to hold promise as an analytical management tool given its simplicity, ease of use, and flexibility.

**基金项目:** 国家水专项(No. 2008ZX07314-001); 国家杰出青年基金项目(No. 40725004)

**Supported by** the National Project for Water Pollution Control (No. 2008ZX07314-001) and the National Science Fund for Distinguished Young Scholars (No. 40725004)

**作者简介:** 何伟(1986—),男,博士研究生,E-mail:harveymylife@yahoo.com.cn; \* 通讯作者(责任作者),E-mail: xufl@urban.pku.edu.cn

**Biography:** HE Wei (1986—), male, Ph. D. candidate, E-mail:harveymylife@yahoo.com.cn; \* **Corresponding author**, E-mail: xufl@urban.pku.edu.cn

**Keywords:** energy saving performance (ESP); pollution reduction performance (PRP); economic benefit; coordination; monitoring; evaluation; triangle method

## 1 引言 (Introduction)

气候变化和资源能源锐减日益成为制约人类社会发展的关键问题. 针对环境污染日益严重和资源能源消耗日益增大的现状, 我国政府为建设资源节约型、环境友好型社会, 在《中华人民共和国国民经济和社会发展第十一个五年规划纲要》中提出, 到“十五”末, “单位国内生产总值能源消耗降低20%左右, 单位工业增加值用水量降低30%, 主要污染物排放总量减少10%”的节能减排目标(中华人民共和国中央人民政府, 2006). 节能不单只是能源上的节约, 还包括水资源在内一切资源的节约; 减排不单只是减少CO<sub>2</sub>的排放, 还包括减少SO<sub>2</sub>、COD和固体废弃物等污染物的排放. 鉴于我国各地区、各行业以及各企业发展的不平衡, 实现节能减排目标是一个长期而艰巨的任务. 因此, 建立节能减排绩效及其与经济效益协调性的监控与评估方法就显得十分必要. 目前, 已有学者进行了一些相关研究, 如王彦彭(2009)利用工业及重点领域能源消耗、能源效率与结构、用水节水、污染物排放、污染物治理与利用、环境等6类共39个指标构建了一个评估节能减排实现程度的方法; 杨华峰等(2008)为企业节能减排提出了资源消耗、污染物排放、综合利用、无害化和支撑能力等5个一级指标、15个二级指标、33个三级指标; 但这两种方法采用的都是简单的综合评估思路. 李亮等(2009)以COD、SO<sub>2</sub>和单位GDP能耗3个指标结合综合效用模型, 提出了较为复杂的综合评估节能减排的方法, 然而所涉及指标较少, 没有涉及到我国当前水资源紧缺、固体废弃物处理利用率低等方面问题. 郭英玲等(2009)利用生命周期评估方法将节能减排范围缩小到微观领域如企业、产品, 这个方法能直观反应节能减排的进展, 有一定的监控节能减排绩效的功能, 但数据收集与处理仍是其拓展应用的障碍. 上述研究推动了节能减排绩效的评估与监控, 然而, 在节能减排绩效评估与监控方法的灵活性、易用性、直观性等方面仍需要改进, 并且, 对于节能减排绩效与经济效益的协调性也需要进行评估与监控, 以实现经济与环境的协调和可持续发展. 鉴于此, 本文通过设计节能绩效-减排绩效关系图以及节能、减排绩效与经济效益协调性三角图,

提出相应指数的计算方法, 并对1997~2006年中国石油、化工和冶金等10个行业的节能减排绩效及其与经济效益协调性状态和趋势进行定量评估, 以期推动我国节能减排绩效及其与经济效益协调性监控和评估工作的发展.

## 2 方法设计与指数计算 (Method design and indicator calculation)

本文提出和建立的节能减排绩效与基于节能减排绩效的经济协调性评估方法, 其基本步骤包括: ①评估模型的建立; ②指标及指标权重的确定; ③节能绩效(ESP)、减排绩效(PRP)、资源能源消耗指数(RECI)、环境污染指数(EPI)、经济效益指数(EBI)等综合指数的计算; ④关系图与三角图的制作; ⑤节能减排绩效和基于节能减排绩效的经济协调性状态和趋势的分析与评估.

### 2.1 节能减排绩效研究方法

节能减排绩效包括节能绩效(Energy Savings Performance, ESP)和减排绩效(Pollutant Reductions Performance, PRP)两个分量. 在研究某地区、某行业或者某企业节能减排绩效时, 需要同时对这两个分量进行综合考虑. 为与经济发展协调性研究方法进行比较, 本文以资源能源消耗相关指标表征节能绩效, 以环境污染情况相关指标表征减排绩效. 资源能源消耗越大, 节能绩效越差; 环境污染越严重, 减排绩效越差. 将ESP和PRP的取值范围设计为0~100, 并以20为间隔划分为5个区间: 0~20、20~40、40~60、60~80和80~100, 分别对应绩效“很差”、“差”、“一般”、“好”、“很好”. 这样可以用ESP和PRP构成的二维空间描述节能减排绩效(图1). 由图1可以看出, 在ESP-PRP关系图中可以划分为25个小区域, 分别代表25种组合关系. 在对角线上的数据点, 其ESP/PRP=1, 表明节能绩效和减排绩效相同; 在对角线上方的数据点, 其ESP/PRP<1, 表明减排绩效好于节能绩效; 在对角线下方的数据点, 其ESP/PRP>1, 表明减排绩效差于节能绩效; 并且距离对角线越远, 节能绩效与减排绩效相差越大. 这样, 在对角线所在的5个区域(即A、B、C、D、E)可分别代表5种典型的节能减排绩效(即很差、差、一般、好、很好), 减排绩效和节能绩效相差不大; 在对角线上方的10个区域(即B<sub>1</sub>、C<sub>1</sub>、C<sub>2</sub>、

$D_1、D_2、D_3、E_1、E_2、E_3、E_4$ )的节能减排绩效主要来自减排绩效,在对角线下方的10个区域(即 $B_2、C_3、C_4、D_4、D_5、D_6、E_5、E_6、E_7、E_8$ )的节能减排绩效主要来自节能绩效。

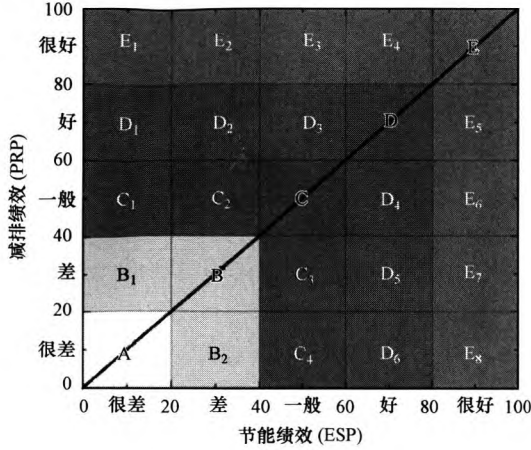


图1 节能绩效与减排绩效相互关系

Fig. 1 Interrelationships between ESP and PRP

节能绩效(ESP)和减排绩效(PRP)的计算公式如下:

$$ESP_y = \sum_{i=1}^m RECI'_{y,i} \times P_{1,i} = \sum_{i=1}^m (\min_{y=1}^r (REC_{y,i}) / REC_{y,i} \times 100 \times P_{1,i} \quad (i=1, 2, \dots, m; y=1, 2, \dots, r) \quad (1)$$

$$PRP_y = \sum_{j=1}^n EPI'_{y,j} \times P_{2,j} = \sum_{j=1}^n (\min_{y=1}^r (EP_{y,j}) / EP_{y,j} \times 100 \times P_{2,j} \quad (j=1, 2, \dots, n; y=1, 2, \dots, r) \quad (2)$$

式(1)和(2)中,  $ESP_y$ 表示第  $y$  个研究对象的节能绩效,  $PRP_y$ 表示第  $y$  个研究对象的减排绩效,  $RECI'_{y,i}$ 表示第  $y$  个研究对象第  $i$  个资源能源消耗指标的指数值,  $P_{1,i}$ 为第  $i$  个资源能源消耗指标的权重;  $EPI'_{y,j}$ 表示第  $y$  个研究对象第  $j$  个环境污染指标的指数值,  $P_{2,j}$ 为第  $j$  个环境污染指标的权重.  $REC_{y,i}$ 和  $EP_{y,j}$ 分别表示第  $y$  个研究对象第  $i$  个资源能源消耗指标和第  $j$  个环境污染指标的实际值,  $\min (REC_{y,i})$  ( $y=1, 2, \dots, r$ ) 和  $\min (EP_{y,j})$  ( $y=1, 2, \dots, r$ ) 分别为第  $i$  个资源能源消耗指标中  $r$  个研究对象的最小值和第  $j$  个环境污染指标中  $r$  个研究对象的最小值. 指标权重可利用经验法、专家咨询法(DELPHI)、层次分析法(AHP)及其相互结合等方法确定. 本文涉及到的研究对象  $y$  包括不同年份、不同地区以及不同行业.

2.2 节能减排绩效与经济效益协调性研究方法

在节能减排绩效的基础上考虑经济效益,可以衡量节能减排绩效对经济的影响,同时,也可以反映经济效益对节能减排绩效的作用. 由于加入了经济因素,在资源能源消耗量和污染物排放量指标均要加入万元GDP条件下资源能源消耗量和污染物排放量等指标. 本文设计了三角图研究资源能源消耗指数(Resource and Energy Consumption Index, RECI)、环境污染指数(Environmental Pollution Index, EPI)和经济效益指数(Economic Benefit, EBI)三者之间的关系. 资源能源消耗指数(RECI)表征研究对象对资源和能源消耗程度,数值越大对资源和能源的消耗越多;环境污染指数(EPI)表征研究对象排放污染物对环境造成的破坏程度,数值越大对环境的破坏越严重;经济效益指数(EBI)表征研究对象产生的经济贡献值,数值越大对经济的贡献越大. 如图2所示,该三角图为等边三角形,  $X$ 轴、 $Y$ 轴和  $Z$ 轴分别表示EPI、EBI和RECI. 为了描述方便,进一步将每个轴由小到大等分为5段:0~20%、20%~40%、40%~60%、60%~80%、80%~100%,分别对应5个范围,即“很低”,“低”,“中等”,“高”和“很高”. 这样,该三角图表明了EBI、RECI和EPI的相对百分比. 另外,可将三角图划分为5个区域:A、B、C、D和E,分别表示5种不同的经济协调性状态以及相应的节能减排绩效水平(图2和表1). 在三角图中,根据3个综合指数相对百分比的变化,可辨别出7个( $T_1、T_2、T_3、T_4、T_5、T_6、T_7$ )不同的演化方向,分别代表7种不同的协调性变化趋势(图2和表2). 这样,根据不同数据点在该

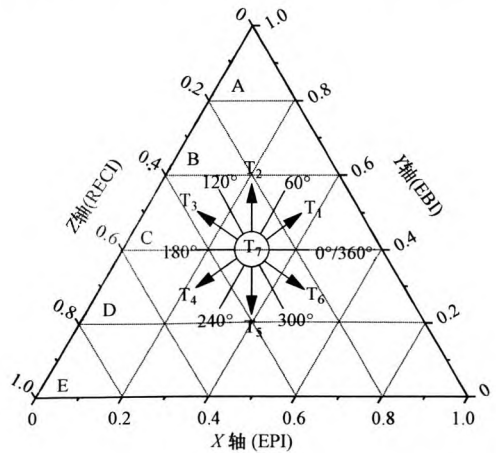


图2 节能减排绩效与经济效益协调性状态和趋势

Fig. 2 The coordination status and trends of economic benefit based on ESP and PRP

三角图中的相对位置和演化方向,可以定量评估经济收益协调性状态和趋势。

表 1 节能减排绩效与经济收益协调性的相对状态

Table 1 Relative coordination status of ESPRP and economic benefit

区域	指数的值域			相对状态			节能减排绩效	协调性状态
	EBI	RECI	EPI	EBI	RECI	EPI		
A	0.8~1.0	0~0.2	0~0.2	很高	很低	很低	很好	很强协调性
B	0.6~0.8	0~0.4	0~0.4	高	很低-低	很低-低	好	强协调性
C	0.4~0.6	0~0.6	0~0.6	中	很低-中	很低-中	一般	弱协调性
D	0.2~0.4	0~0.8	0~0.8	低	很低-高	很低-高	差	弱不协调性
E	0~0.2	0~1.0	0~1.0	很低	很低-很高	很低-很高	很差	强不协调性

表 2 节能减排绩效与经济效益协调性变化趋势

Table 2 Relative coordination trends between ESPRP and EB

趋势	变化方向	指数相对百分比变化			节能减排绩效	协调性趋势
		EBI	RECI	EPI		
T <sub>1</sub>	0~60°	↑	↓	↑	一般	弱协调趋势
T <sub>2</sub>	60°~120°	↑	↓	↓	很好	强协调趋势
T <sub>3</sub>	120°~180°	↑	↑	↓	一般	弱协调趋势
T <sub>4</sub>	180°~240°	↓	↑	↓	差	弱不协调趋势
T <sub>5</sub>	240°~300°	↓	↑	↑	很差	强不协调趋势
T <sub>6</sub>	300°~360°	↓	↓	↑	差	弱不协调趋势
T <sub>7</sub> **	不动	↑	↑	↑	差	弱不协调趋势
		↓	↓	↓	差	弱不协调趋势
		-	-	-	维持原绩效	维持原状态

注:“↑”表示增加;“↓”表示减少;“-”表示不变; \*\* 如果 EBI 增加或减少, RECI 和 EPI 也同时增加或减少, 并使其相对百分比保持不变, 则环境绩效差, 表现为弱不协调; 如果, EBI, RECI 和 EPI 3 个指数均保持不变, 则协调性没有变化, 仍保持以前协调性状态。

资源能源消耗指数 (RECI)、环境污染指数 (EPI) 和经济效益指数 (EBI) 的计算公式如下:

$$RECI_y = \sum_{i=1}^m RECI_{y,i} \times W_{1,i} = \sum_{i=1}^m (RECI_{y,i} / \max_{y=1}^r (RECI_{y,i}) \times W_{1,i} \quad (i=1, 2, \dots, m; y=1, 2, \dots, r) \quad (3)$$

$$EPI_y = \sum_{j=1}^n EPI_{y,j} \times W_{2,j} = \sum_{j=1}^n (EPI_{y,j} / \max_{y=1}^r (EPI_{y,j}) \times W_{2,j} \quad (j=1, 2, \dots, n; y=1, 2, \dots, r) \quad (4)$$

$$EBI_y = \sum_{k=1}^p EBI_{y,k} \times W_{3,k} = \sum_{k=1}^p (EBI_{y,k} / \max_{y=1}^r (EBI_{y,k}) \times W_{3,k} \quad (k=1, 2, \dots, p; y=1, 2, \dots, r) \quad (5)$$

式(3)~(5)中, RECI<sub>y</sub>表示第 y 个研究对象的资源能源消耗情况, EPI<sub>y</sub>表示第 y 个研究对象的环境污染情况, EBI<sub>y</sub>表示第 y 个研究对象的经济效益情况, RECI<sub>y,i</sub>表示第 y 个研究对象第 i 个资源能源消耗指标的指数值, W<sub>1,i</sub>为第 i 个资源能源消耗指标的权重; EPI<sub>y,j</sub>表示第 y 个研究对象第 j 个环境污染指标的指数值, W<sub>2,j</sub>为第 j 个环境污染指标的权重; EBI<sub>y,k</sub>表示第 y 个研究对象第 k 个经济效益指标的指数值, W<sub>3,k</sub>为第 k 个经济效益指标的权重. REC<sub>y,i</sub>、EP<sub>y,j</sub>和 EB<sub>y,k</sub>分别表示第 y 个研究对象第 i 个资源能源消耗指标、第 j 个环境污染指标值和第 k

个经济效益指标的实际, max(REC<sub>y,i</sub>) (y=1, 2, ..., r)、max(EP<sub>y,j</sub>) (y=1, 2, ..., r) 和 max(EB<sub>y,k</sub>) (y=1, 2, ..., r) 分别为第 i 个资源能源消耗指标中 r 个研究对象的最大值、第 j 个环境污染指标中 r 个研究对象的最大值和第 k 个经济效益指标中 r 个研究对象的最大值. 指标权重可利用经验法、专家咨询法 (DELPHI)、层次分析法 (AHP) 及其相互结合等方法确定。

### 2.3 指标的选择和权重的确定

本研究以中国常规经济和环境统计体系为基础选择指标. 以 1998~2007 年中国环境统计年鉴为基础, 选择具体指标详见表 3, 可以看出, 在计算经济效益指数 (EBI)、资源能源消耗指数 (RECI) 和环境污染指数 (EPI) 的具体指标中, 既有总量指标, 如工业总产值、总耗水量、总耗煤量、废水排放量、COD 排放量等; 也有单位量指标, 如人均工业总产值、万元产值耗水量、万元产值耗煤量、万元产值废水排放量、万元产值 COD 排放量等. 这样较为公平和合理。

各指标在协调发展中的重要程度往往不同, 在进行评估时, 必须赋予不同的权重. 权重问题及定权方法是最复杂、最易引起争论的问题 (徐福留等, 2001). 目前, 常用的指标权重确定方法主要有: 经

验法、专家咨询(Delphi)法(徐福留等,1993)、层次分析法(Analytic Hierarchy Process)(赵焕臣,1986)等。这些方法各有优缺点:经验法最为简单,省时省力,容易进行,但定权结果受人为因素影响较大,并要求定权者要具有丰富的有关知识和经验;传统的专家咨询法虽然原理简单,但较为费时费力;层次分析法有严格的数学推理,定权精度较高,但往往要求指标体系具有层次结构(如目标层、指数层、指标层等),计算也较为复杂,对定权者的有关数学知识要求较高。为了克服单一方法的不足,提高确定

权重的精度,最好采用两种或两种以上方法的结合。

本研究采用经验法和改进的专家咨询法确定指标权重。首先,利用经验法,在研究小组充分讨论后确定各指标的初始权重;然后,召开专家咨询会议,确定各指标的最终权重。在专家咨询会上,先介绍各指标初始权重的确定原则和确定结果;然后,各专家就初始权重的确定原则和确定结果进行评述、修正和补充;最后,根据专家意见,得到最终权重(表3)。

表3 两种评估方法的指标及权重

Table 3 The indicators and weighting factors in the two methods

	指标含义	单位	权重	
			方法 I	方法 II
EB <sub>1</sub>	工业总产值	10 <sup>9</sup> 元	-	0.500
EB <sub>2</sub>	人均工业总产值	10 <sup>4</sup> 元	-	0.500
RC <sub>1</sub>	总耗水量	10 <sup>9</sup> t	0.150	0.075
RC <sub>2</sub>	万元产值耗水量	t	-	0.075
RC <sub>3</sub>	新鲜水消耗量	10 <sup>9</sup> t	0.350	0.175
RC <sub>4</sub>	万元产值新鲜水消耗量	t	-	0.175
EC <sub>1</sub>	燃料煤量	10 <sup>4</sup> t	0.175	0.125
EC <sub>2</sub>	万元产值耗燃料煤量	t	-	0.125
EC <sub>3</sub>	原料煤量	10 <sup>4</sup> t	0.175	0.075
EC <sub>4</sub>	万元产值耗原料煤量	t	-	0.075
EC <sub>5</sub>	燃料油消耗量	10 <sup>4</sup> t	0.175	0.050
EC <sub>6</sub>	万元产值耗燃料油量	t	-	0.050
EP <sub>1</sub>	废水排放量	10 <sup>4</sup> t	0.200	0.100
EP <sub>2</sub>	万元产值废水排放量	t	-	0.100
EP <sub>3</sub>	COD 排放量	t	0.200	0.100
EP <sub>4</sub>	万元产值 COD 排放量	kg	-	0.100
EP <sub>5</sub>	废气排放量	10 <sup>8</sup> m <sup>3</sup>	0.200	0.100
EP <sub>6</sub>	万元产值废气排放量	10 <sup>4</sup> m <sup>3</sup>	-	0.100
EP <sub>7</sub>	SO <sub>2</sub> 排放量	t	0.200	0.100
EP <sub>8</sub>	万元产值 SO <sub>2</sub> 排放量	kg	-	0.100
EP <sub>9</sub>	固体废物排放量	10 <sup>4</sup> t	0.200	0.100
EP <sub>10</sub>	万元产值固体废物排放量	t	-	0.100

注:“-”表示该指标不在方法考虑之列;方法 I 为节能减排绩效研究方法;方法 II 为节能减排绩效与经济效益协调性研究方法。

## 2.4 关系图及三角图的构建

本研究利用图形软件 Origin 7.5 软件完成三角图的构建。首先,将分指数数据导入到 Origin 7.5 中;然后,让软件自动作图;最后,增加标注,改变图形标识,增加趋势线等。得到关系图和三角图,就可进行分析和评估。

## 3 中国石油、化工和冶金行业节能减排绩效及其与经济效益协调性状态与趋势评估(The statuses and long-term trends of ESPRP and its coordination with economic benefit in China's petroleum, chemical and metallurgical industries)

### 3.1 中国石油、化工和冶金行业节能减排绩效状态与趋势

在被研究的 10 个行业中,石油天然气行业包括石油和天然气开采业(O1)和石油加工及炼焦业(O3)2 个子行业,化工行业包括非金属矿采选业(O2)、化学原料及化学制品制造业(O4)、化学纤维制造业(O5)、橡胶制品业(O6)和塑料制品业(O7)5 个子行业,冶金行业包括黑色金属冶炼及压延加工业(O8)、有色金属冶炼及压延加工业(O9)和金属制品业(O10)3 个子行业。对中国石油、化工和冶金行业节能及绩效和减排绩效分别计算后做出节能绩效-减排绩效关系图(图3)。由图 3a 可知,10

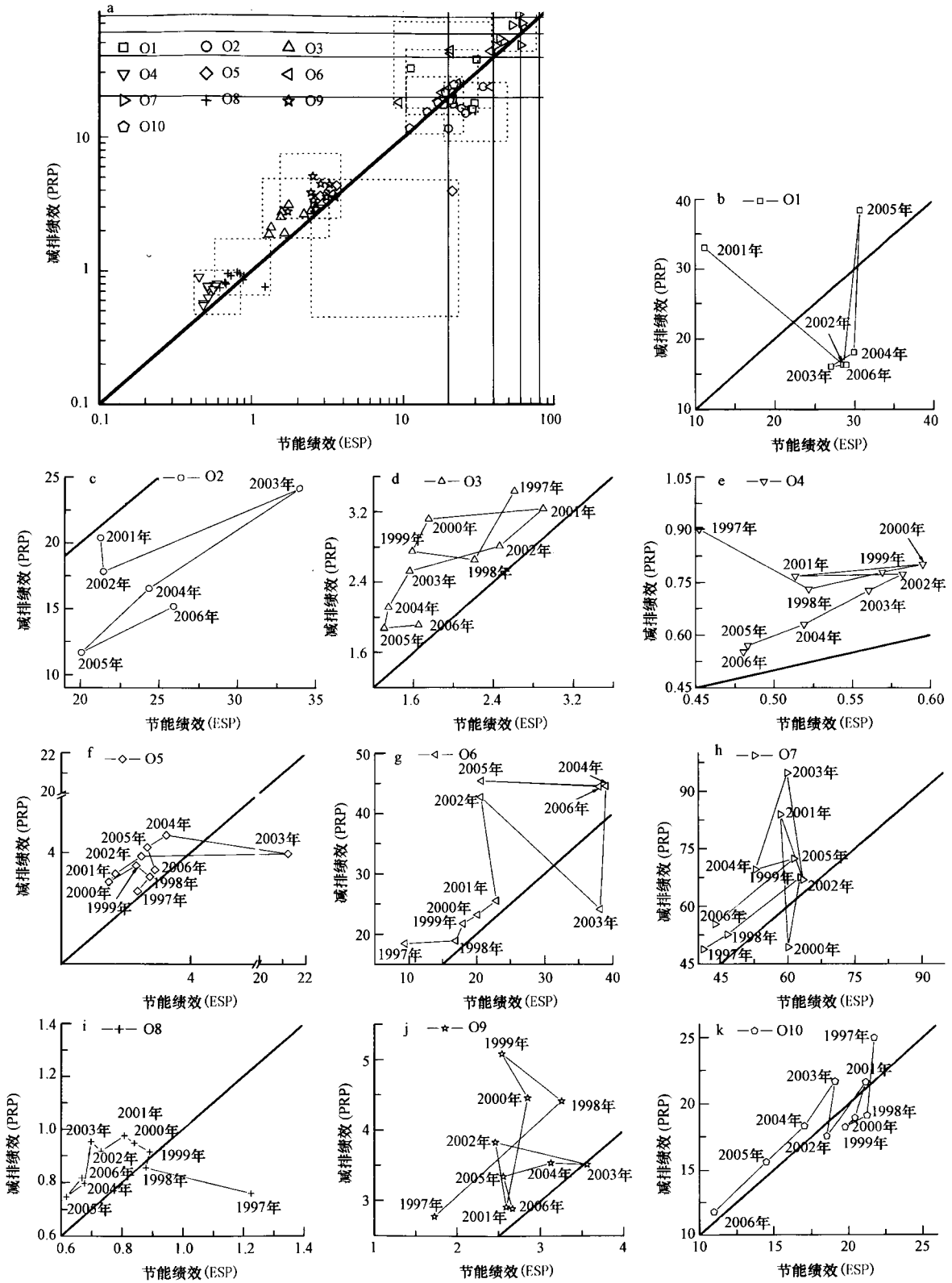


图3 1997~2006年中国石油、化工及冶金等行业节能减排绩效状态和趋势(O1.石油和天然气开采业;O2.非金属矿采选业;O3.石油加工及炼焦业;O4.化学原料及化学制品制造业;O5.化学纤维制造业;O6.橡胶制品业;O7.塑料制品业;O8.黑色金属冶炼及压延加工业;O9.有色金属冶炼及压延加工业;O10.金属制品业;下同)

Fig. 3 The status and trends of energy saving and pollutant reduction performance in petroleum, chemical and metallurgical industries in China from 1997 to 2006 (O1. Petroleum and Natural Gas Extraction; O2. Nonmetal Minerals Mining and Dressing; O3. Petroleum Refining and Coking; O4. Raw Chemical Materials and Chemical Products; O5. Chemical Fiber; O6. Rubber Products; O7. Plastic Products; O8. Smelting and Pressing of Ferrous Metals; O9. Smelting and Pressing of Nonferrous Metals; O10. Metal Products; the same below)

年来中国石油、化工和冶金行业的节能绩效和减排绩效基本处于对角线附近,节能绩效和减排绩效基本持衡。其中,石油加工及炼焦业(O3)、化学原料及化学制品制造业(O4)、化学纤维制造业(O5)、黑色金属冶炼及压延加工业(O8)、有色金属冶炼及压延加工业(O9)在A区域,是节能减排绩效很差的行业;这些行业均分布在对角线的左边,减排绩效好于节能绩效;其中,化学原料及化学制品制造业(O4)的节能减排绩效最差,这与其排放大量污染物同时消耗资源量也很大有关;黑色金属冶炼及压延加工业(O8)的节能减排绩效略好于化学原料及化学制品制造业(O4);塑料制品业(O7)距离中心点最远,分布在C、D、D<sub>3</sub>、E<sub>3</sub>等4个区域,是节能减排绩效最好的行业,分析原始数据发现,该行业工业用水量(包括新鲜用水量)、能源用量和污染物排放量较其他行业要小;橡胶制品业(O6)和金属制品业(O10)在关系图中的分布较为接近,但橡胶行业节能减排绩效好于金属行业。石油和天然气开采业(O1)及非金属矿采选业(O2)分布在轴线的右侧,分布于B、B<sub>2</sub>区域,节能绩效好于减排绩效。

通过各年份数据可以分析行业节能减排绩效的趋势(图3b~3k)。石油和天然气开采业(O1)节能减排绩效点在对角线附近波动,但仍沿着对角线向上移动,节能减排绩效有变好的趋势(图3b);非金属矿采选业(O2)节能减排绩效点远离对角线向右下侧方向移动,节能减排绩效有变差的趋势,同时,节能绩效要好于减排绩效(图3c);石油加工及炼焦业(O3)节能减排绩效点沿着对角线方向向下移动,节能减排绩效有变差的趋势(图3d);化学原料及化学制品制造业(O4)绩效点有接近对角线的趋势,呈现先沿着对角线方向增加,后沿着对角线方向减少的趋势,其节能减排绩效没有明显的改变,只是减排绩效变差了(图3e);化学纤维制造业(O5)节能减排绩效点沿着对角线往复移动,呈现沿对角线上升的趋势,其节能减排绩效有变好的趋势(图3f);橡胶制品业(O6)节能减排绩效点先移动到对角线上,之后沿着对角线上升,然后波动式地沿着对角线移动,其节能减排绩效呈上升趋势(图3g);塑料制品业(O7)节能减排绩效点变动较为复杂,但考虑到其本身所处的状态就是非常好的节能减排绩效状态,其趋势基本是保持原有状态(图3h);黑色金属冶炼及压延加工业(O8)节能减排绩效点先移到对角线附近后沿对角线向下移动,呈现

节能减排绩效逐渐变差的趋势(图3i);有色金属冶炼及压延加工业(O9)节能减排绩效点在对角线左侧上升后又回落,整体上节能减排绩效有所提高,但绩效值仍然较低(图3j);金属制品业(O10)节能减排绩效点沿对角线向下移动,呈现节能减排绩效逐渐变差的趋势(图3k)。

### 3.2 中国石油、化工和冶金行业节能减排绩效与经济效益协调性状态及趋势

国民生活水平的提高离不开经济的发展,只考虑节能减排而不考虑与经济效益结合必然会制约经济的发展,当然只发展经济而不考虑资源和环境要素同样会造成资源浪费和环境的破坏,只有走经济协调发展的道路才能保证人类社会的可持续发展。三角图法在原先节能减排绩效的基础上加入经济效益参数,对经济协调性发展评估有一定的价值。

由图4可知,1997年属于强不协调性的行业包括化学原料及化学制品制造业(O4)、橡胶制品业(O6)、黑色金属冶炼及压延加工业(O8)、有色金属冶炼及压延加工业(O9);属于弱不协调性的行业包括石油加工及炼焦业(O3)和化学纤维制造业(O5);属于弱协调性的行业包括塑料制品业(O7)和金属制品业(O10)(受《中国环境统计年鉴》数据限制,1997年到2000年缺少单列的石油和天然气开采业(O1)和非金属矿采选业(O2)的统一数据)。1997年中国石油、化工及冶金三大行业均处于弱协调或者不协调状态。2000年属于弱不协调性的行业为石油加工及炼焦业(O3)、化学原料及化学制品制造业(O4)、橡胶制品业(O6)和有色金属冶炼及压延加工业(O9);属于协调性的行业增加到4个,其中,橡胶制品业(O6)、塑料制品业(O7)和金属制品业(O10)属于强协调性行业。2003年属于强不协调性的行业包括石油和天然气开采业(O1)、非金属矿采选业(O2);属于弱不协调性的行业包括石油加工及炼焦业(O3)、化学原料及化学制品制造业(O4)和黑色金属冶炼及压延加工业(O8);属于弱协调性的行业是黑色金属冶炼及压延加工业;属于强协调性的行业是化学纤维制造业(O5)、橡胶制品业(O6)、塑料制品业(O7)和金属制品业(O10)。2006年行业所处协调性状态的离散程度相对于1997年更大,被研究的10个行业分布在5个不同的状态,如石油和天然气开采业(O1)、非金属矿采选业(O2)仍呈现强不协调性状态,石油加工及炼焦业(O3)属于弱不协调性状态,化学原料及化学制品制

造业(O4)、黑色金属冶炼及压延加工业(O8)、有色金属冶炼及压延加工业(O9)属于弱协调性状态,化学纤维制造业(O5)、塑料制品业(O7)属于强协调

性状态,橡胶制品业(O6)、金属制品业(O10)属于强协调性状态.

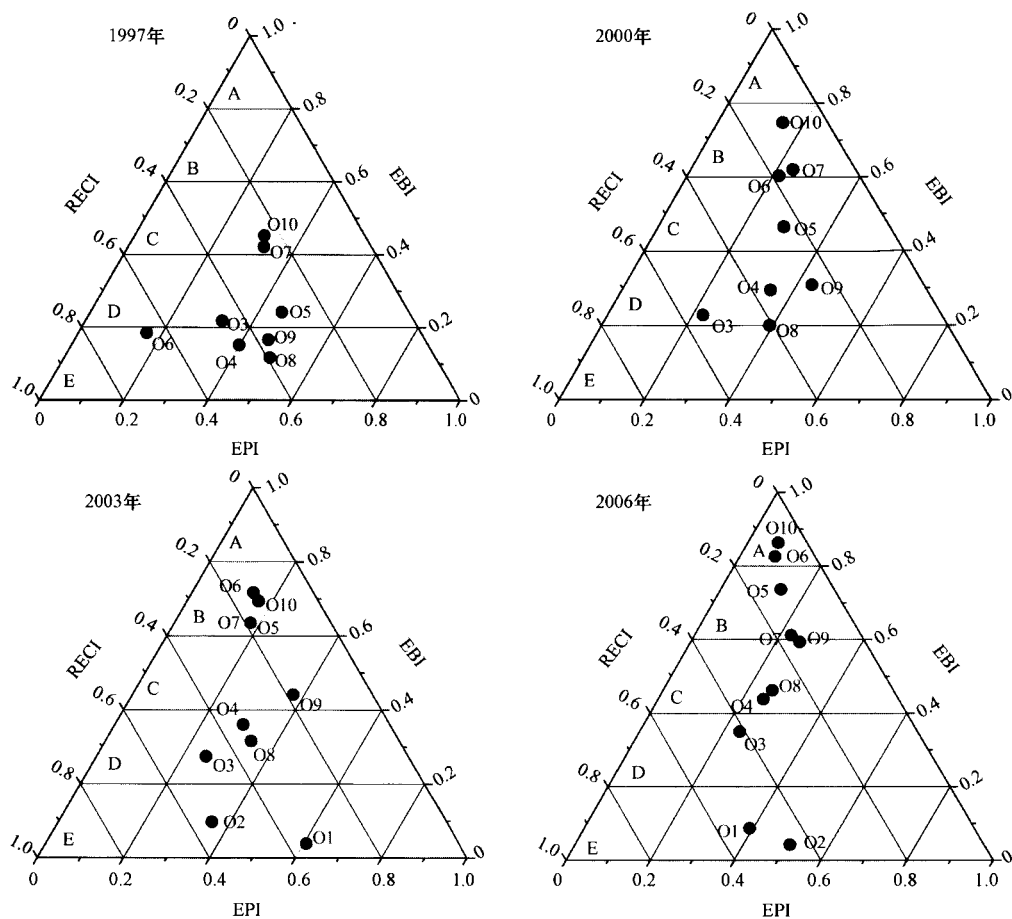


图4 1997~2006年中国石油、化工及冶金行业经济效益协调性状态

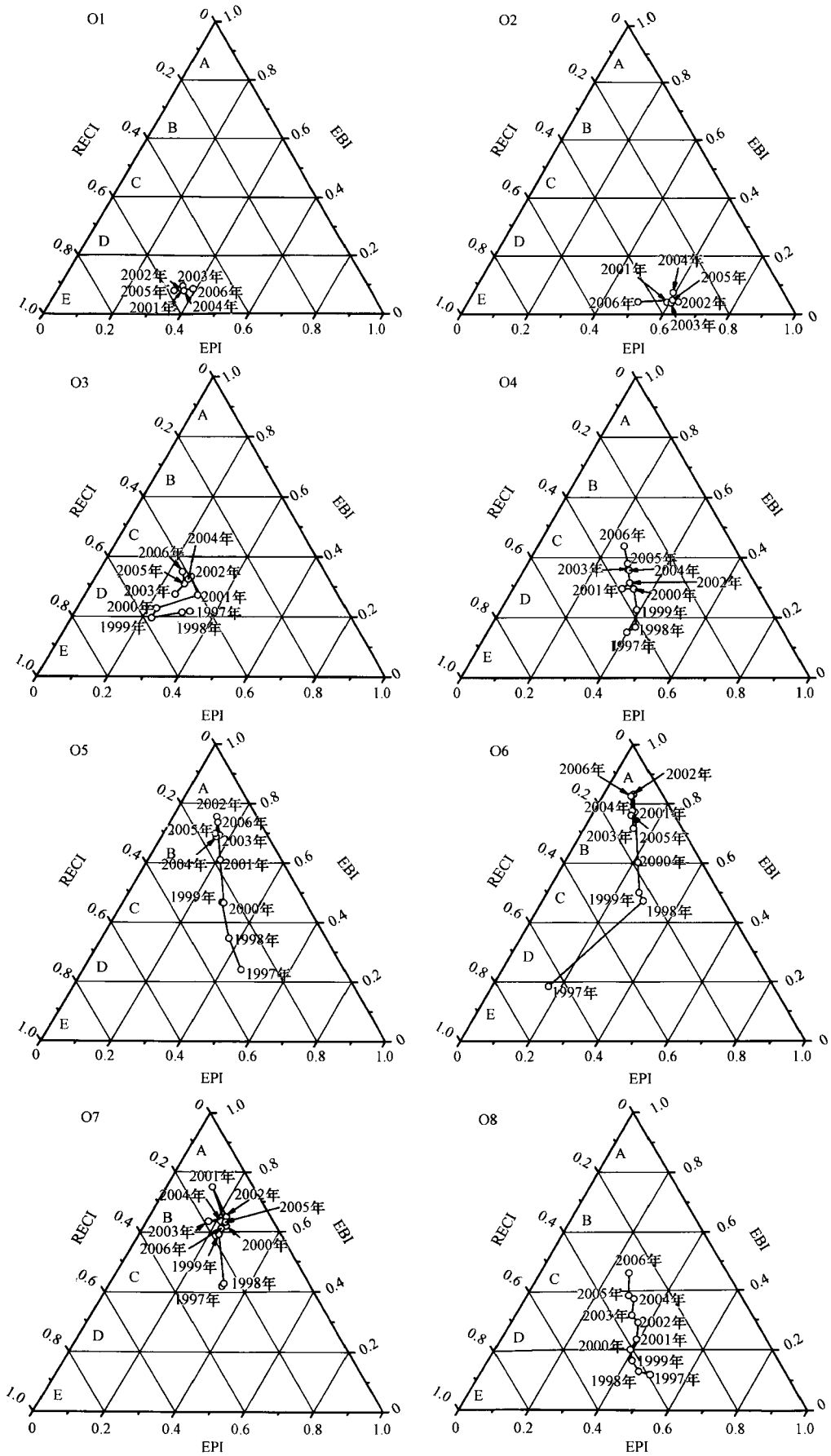
Fig. 4 The relative coordination status of economic development in the petroleum, chemical and metallurgical industries in China

由图5可知,各行业的发展趋势从1997年到2006年有较大的差异.石油和天然气开采业(O1)、非金属矿采选业(O2)在行业划分中同属于采掘业,具有相同的趋势,呈现围绕一个平衡位置不断的变化状态,向弱不协调趋势发展,按照现有模式,两个行业将继续处于强不协调状态.这主要是因为两个行业多年均处于经济收益小,而对资源的利用和环境的破坏十分严重的状态.石油加工及炼焦业(O3)的发展方向为 $T_4 \rightarrow T_1 \rightarrow T_4$ ,整体上是 $T_2$ 方向,但方向上的波动使该行业经过10年发展后仍处于弱不协调性的状态.化学原料及化学制品制造业(O4)、化学纤维制造业(O5)、橡胶制品业(O6)、黑色金属冶炼及压延加工业(O8)、有色金属冶炼及压延加工业(O9)、金属制品业(O10)一直保持 $T_2$ 方向强协调发展,按照跨越状态趋势线长度评估协调性

状态变化速率可将行业的强协调性趋势按从大到小排序为:橡胶制品业(O6)、金属制品业(O10)、化学纤维制造业(O5)、有色金属冶炼及压延加工业(O9)、黑色金属冶炼及压延加工业(O8)、化学原料及化学制品制造业(O4).塑料制品业(O7)先呈强协调性趋势,后呈弱不协调性趋势,并保持在强协调性和弱协调性之间状态.

三角图法具有如下主要特点(Xu *et al.*, 2006):①既可以评估经济效益的协调性状态,又能表征其长期变化趋势和演变过程;②原理简单、计算简便,结果表达直观,便于各级(如工厂、行业、社区、城市、地区、国家等)决策者以及非专业人士的理解和使用;③可以根据数据的可获性,灵活地选择评估指标和评估对象.





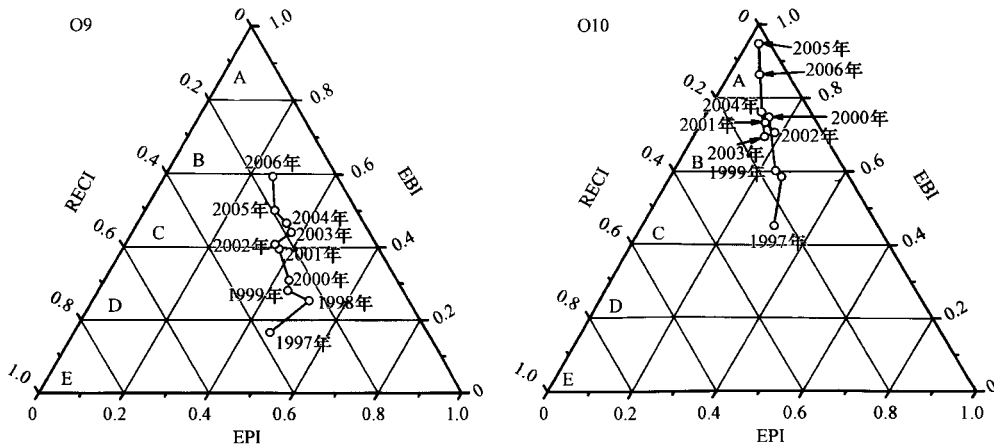


图5 1997~2006年中国石油、化工及冶金行业经济效益协调性的长期变化趋势

Fig. 5 The relative coordination trends of economic development in petroleum, chemical and metallurgical industries in China

#### 4 结论 (Conclusions)

本文利用两种方法对1997~2006年中国石油、化工和冶金行业的节能减排绩效和经济协调性进行评估,结果表明:10个被研究的行业中塑料制品业的节能减排绩效最好,有9个行业属于节能减排绩效很差之差的行业,其中,石油加工及炼焦业(O3)、化学原料及化学制品制造业(O4)、黑色金属冶炼及压延加工业(O8)和金属制品业(O10)等4个行业节能减排绩效有变差的趋势;2006年,上述行业节能减排绩效与经济效益协调性所处状态的离散程度相对于1997年变大,并分布在5个不同的状态,其中,石油和天然气开采业(O1)和非金属矿采选业(O2)处于强不协调状态,石油加工及炼焦业(O3)处于弱不协调状态,化学原料及化学制品制造业(O4)、黑色金属冶炼及压延加工业(O8)和有色金属冶炼及压延加工业(O9)处于弱协调状态,化学纤维制造业(O5)和塑料制品业(O7)处于强协调状态,橡胶制品业(O6)和金属制品业(O10)处于很强协调状态;O1、O2和O3呈弱不协调性发展趋势,O4、O5、O6、O8、O9和O10呈强协调性发展趋势,O7先呈强协调性发展趋势,后呈弱不协调性发展趋势.本研究设计的方法具有简便、直观、灵活和易用等特点,是值得推广的节能减排绩效及其与经济效益协调性监控和评估方法.

责任作者简介:徐福留(1962—),博士,教授,国家杰出青年科学基金获得者,主要从事污染物表生行为与环境效应

研究.

#### 参考文献 (References):

- 郭英玲,刘红旗,郭瑞峰,等. 2009. 面向节能减排的简式生命周期评价方法[J]. 环境保护, (6): 8—10
- Guo Y L, Liu H Q, Guo R F, et al. 2009. The short form of life cycle assessment method applied in evaluation of energy-saving and pollutant reduction [J]. Environmental Protection, (6): 8—10 (in Chinese)
- 李亮,吴瑞明. 2009. 节能减排效用分析与评价研究[J]. 科学技术与工程, (1): 1—4
- Li L, Wu R M. 2009. Study on utility analysis and evaluation of energy-saving and pollutant emission reduction [J]. Science Technology and Engineering, (1): 1—4 (in Chinese)
- 王彦彭. 2009. 我国节能减排指标体系研究[J]. 煤炭经济研究, (2): 31—32; 39
- Wang Y P. 2009. Study of indicator system of China's energy saving and pollution reduction [J]. Coal Economic Research, (2): 31—32; 39 (in Chinese)
- Xu F L, Zhao S S, Dawson R W, et al. 2006. A triangle model for evaluating the sustainability status and trends of economic development[J]. Ecological Modelling, 195: 327—337
- 徐福留,周家贵,李本纲,等. 2001. 城市环境质量多级模糊综合评价[J]. 城市环境与城市生态, 14(2): 13—15
- Xu F L, Zhou J G, Li B G, et al. 2001. Multi-step fuzzy cluster analysis for comprehensive assessment of urban environmental quality [J]. Urban Environmental & Urban Ecology, 14 (2): 13—15 (in Chinese)
- 徐福留. 1993. Delpi法在环境预测中的应用[J]. 上海环境科学, 12 (11): 28—32
- Xu F L. 1993. The application of Delpi method in environmental prediction [J]. Shanghai Environmental Sciences, 12 (11): 28—

- 32 (in Chinese)
- 杨华峰, 姜维军. 2008. 企业节能减排效果综合评价指标体系研究 [J]. 工业技术经济, 27(10): 55—58
- Yang H F, Jiang W J. 2008. Study of comprehensive evaluation index system of enterprise's energy saving and pollution reduction [J]. Industrial Technology & Economy, 27(10): 55—58 (in Chinese)
- 赵焕臣. 1986. 层次分析法——一种简易的新决策方法 [M]. 北京: 科学出版社
- Zhao H C. 1986. Analytic Hierarchy Process—a New Simple Method for Decision-making [M]. Beijing: Science Press (in Chinese)
- 中华人民共和国中央人民政府. 2006. 中华人民共和国国民经济和社会发展第十一个五年规划纲要 [OL]. 2009-11-12, [http://www.gov.cn/ztl/2006-03/16/content\\_228841\\_2.htm](http://www.gov.cn/ztl/2006-03/16/content_228841_2.htm)
- The Central People's Government of the People's Republic of China (CPGPRC). 2006. The 11th Five-year Plan for National Economic and Social Development of the People's Republic of China [OL]. 2009-11-12, [http://www.gov.cn/ztl/2006-03/16/content\\_228841\\_2.htm](http://www.gov.cn/ztl/2006-03/16/content_228841_2.htm) (in Chinese)