

中国各地区低碳经济转型进程评估*

陈诗一

内容提要: 本文基于 SBM-DDF-AAM 低碳经济分析理论机制, 构建了低碳转型进程的动态评估指数, 并对改革以来中国各省级地区的低碳经济转型进程进行评估和预测。结果表明, 中国低碳经济转型经历了上个世纪 80 年代中后期和本世纪初两个低潮发展时期, 也经历了 90 年代颇有成效阶段, 近年来又开始迎来大转型的历史契机。该评估指数不仅考虑了各种环境污染的负外部性和经济增长的质量, 而且也考虑了 GDP 增速, 能够更加准确评估中国的经济转型进程, 切合了“十二五”时期的科学发展主题。根据评估结果, 各地区低碳转型进程有很大不同且很多省市区尚处于不稳定的初期转型阶段, 各地方政府应因地制宜制定合理的经济和环境政策来持续促进低碳经济大转型进程。

关键词: 低碳经济转型 动态评估指数 预测 地区进程 能源与环境政策

一、引言

钱纳里等(1986)指出, 发展就是经济的成功转型。在资源日趋耗竭、能源价格飙升、环境污染恶化以及全球气候异常变化的今天, 任何经济体的发展都开始面临低碳转型的重大压力, 以大量使用化石燃料为基础的传统高碳发展条件已经丧失, 未来新的发展方式必须建立在低碳基础之上, 这是一个战略转折点, 谁占据新能源和低碳技术的制高点, 谁就将主导未来绿色工业革命和全球新一轮经济增长。改革开放特别是上世纪 90 年代以来, 我国对节约能源和保护环境开始重视, 但是长期以来唯 GDP 的评价考核体系导致我国经济增长方式依然粗放, 经济发展在很大程度上仍然以牺牲环境和经济质量为代价, 在经历了本世纪以来的经济高速增长和再次重工业化之后, 中国经济也已经走到了转型升级的十字路口。为此, “十二五”规划明确要求以科学发展为主题, 以加快转变经济发展方式为主线, 其中, 以节能减排、建设资源节约型和环境友好型社会为特征的低碳转型则成为明确路径和重要抓手。然而, 要从长期依赖的高碳增长一下子转型到低碳发展不啻于凤凰涅槃, 这既需要观念和实践上的革新, 也需要科学研究为低碳转型提供创新性和建设性指导。本文正是以此为目标, 首先对低碳转型的经济学理论机制进行研究, 在此基础上内生而成低碳经济转型评价指标体系, 使其具有代替 GDP 考核指标的操作便捷性, 也使得它能够与现有的低碳发展指标相区别以突出其动态的转型评估功能, 接着利用该指数对我国不同省级地区的低碳经济转型进程进行评估、预测以及横纵向维度的分析比较, 为探索一条中国特色低碳经济转型之路提供有益的政策建议。

二、如何评估低碳经济转型进程?

低碳思想的最初源起可以追溯到可持续发展概念, 尽管可持续发展的定义多种多样, 但是几乎

* 陈诗一, 复旦大学中国社会主义市场经济研究中心, 邮政编码: 200433, 电子信箱: shiyichen@fudan.edu.cn。作者感谢国家自然科学基金面上项目(71173048)、教育部人文社会科学重点研究基地重大项目(11JJD790007)、教育部“新世纪优秀人才支持计划”、复旦大学“卓识人才计划”、上海市重点学科建设项目(B101)、复旦大学“985工程”三期项目(2011SHKXZD001)的资助, 感谢匿名审稿人的有益评论, 文责自负。

从来没有离开过环境这个维度。而低碳术语本身则最早见诸于2003年英国能源白皮书《我们能源的未来:创建低碳经济》,其后低碳经济这一名词很快传播开来。对低碳经济的定义也比较多样,比如张坤民等(2008)把低碳经济定义为以低耗能、低排放、低污染为基础的经济模式;林伯强(2011)定义低碳经济是一种既考虑发展又考虑可持续的经济增长方式。对低碳经济转型学术界更无统一定义,往往只把它描述为从传统经济增长方式向低碳经济发展转变这样一个表征过程,并没有涉及到如何实现这种转型,更不要谈对低碳经济转型进行量化评估了,这与“十二五”规划以加快转变经济发展方式为主线的要求相差甚远,本文尝试对这个问题进行研究。

进行低碳转型评估分析首先要选择合适的经济理论机制。低碳经济转型的目标与普遍意义上的经济转型目标是一致的,因此对它们进行评估的理论和方法应该也是一致和兼容的,所谓低碳经济转型就是考虑了能源和环境污染等低碳因素后的经济实际转型进程,而高能耗和高排放是促成从低碳维度来转变经济发展方式的主要原因。刘伟(2010)从两个方面来阐述经济转型或经济发展方式转变,首先在微观上需要推动投入要素配置方式的转变,提高全要素生产率,其次还需要从宏观上寻求增长的均衡性或公平性。什么样的经济发展理论既能够考虑要素配置效率,又能够纳入文献中较少提及的低碳因素呢?自从索罗的开创性工作以来,由全要素生产率(TFP)对产出贡献度所度量的要素投入质量贡献已经成为判断经济可持续发展的主要标准,可以根据经济增长的数量贡献和质量贡献孰大孰小来进行经济转型判断,可见,TFP是新古典经济学判断经济转型的核心指标(陈诗一,2011a)。这里的难题仍然是,文献中度量TFP时很少涉及能源和环境这些低碳因素,其中最大原因就是对环境变量的特征把握和方法处置十分困难。

文献中通常把能源消费作为投入要素来处置,这已经成为共识。那么,如何把环境污染变量合理纳入经济发展分析呢?陈诗一(2010)曾总结过文献中对环境污染变量处置方法论的演化历程,认为直到Chambers et al.(1996)提出了基于方向性距离函数(DDF)的行为分析模型(AAM)才基本解决了处置环境污染变量的技术难题。DDF-AAM方法的优点是把环境污染变量作为非期望产出出来处置并能够识别其负外部性特征以和期望产出(如GDP)相区别,其缺点是对非期望产出减少和期望产出增加采取同比例处理(即径向假定),没有考虑到投入和产出变量的松弛性问题,这与现实有所不符。本文将放松径向假定,选择更灵活的基于松弛向量度量(slacks-based measure, SBM)的SBM-DDF-AAM方法作为低碳经济转型分析的理论机制。Tone(2001)、Zhou et al.(2006)、Fukuyama & Weber(2009)、Färe & Grosskopf(2010)都对该机制有过研究。低碳转型的狭义理解是经济由依赖高碳排放向低碳排放转型,本文认为低碳转型应该是一个更广义的概念,即由依赖高污染排放向低污染排放转型,这里污染排放涵盖包括二氧化碳在内的各种污染物,与这个广义概念相对应,SBM-DDF-AAM机制恰恰能够同时模拟多种污染排放。要评估转型进程,构建合适的低碳转型动态评估指数就十分必要,本文使用由SBM-DDF-AAM方法所度量的环境全要素生产率所代表的经济增长质量贡献(即TFP占产出的贡献份额)作为该评估指数,这个指数不仅描述了低碳转型的动态演进过程,而且还可以判断经济是否发生了低碳转型。如果要素数量贡献仍然大于质量贡献,那么仍旧处于传统高碳发展阶段;如果指数值超过了0.5,就说明期待的经济转型发生了。第三节将具体介绍这个能够有效捕捉环境污染负外部性特征、非径向、无角度的SBM-DDF-AAM方法。

文献中也有不少相关指数的研究,这些研究更多是利用不同层级的众多子指数进行无量纲化处理和加权平均来构建低碳或绿色发展统计指数。比如2010年,北京师范大学、西南财经大学和国家统计局中国经济景气监测中心曾测算出全国30个省市自治区的绿色发展指数,该指数由3个一级指标、9个二级指标和54个三级指标平均而成。联合国可持续发展委员会(UNCSD)所修订的可持续发展指标体系也与此类似。这些统计指数缺少精准定位的经济内含和合理的经济学生成机

制,可谓为指数而指数,可以进行一些比较静态分析,但是难以用来比较从高碳到低碳的客观转变过程特别是转折节点。可以说,与已有指数相比,本文的低碳转型评估指数从构建理念、经济内涵和构造方法上来说都完全不同,具有一定的创新性,这种由低碳转型经济传导机制自动生成的评估指数在评价转型进程时应该会更加可靠和具有一致性。文献中还存在不少与低碳无关的经济指数研究,其构建方法也完全可以作为本文低碳转型评估指数构建的重要参考依据,比如樊纲和王小鲁等(2003)构造的中国市场化进程相对指数,陈佳贵等(2006)使用的中国31个省市自治区工业化进程评价指数,涂正革(2008)的地区增长协调性分析等。

三、方法论

假设在 t 时点存在 n 个决策单位(DMU),每个单位有 k 种投入、 l 种期望(好)产出和 m 类非期望(坏)产出。对于第 i 个 DMU 而言($i=1, 2, \dots, n$) x_i 、 y_i 和 b_i 分别表示投入、好产出和坏产出的列向量,则 $X_{k \times n}$ 、 $Y_{l \times n}$ 和 $B_{m \times n}$ 代表所有 n 个决策单位的投入矩阵、好产出矩阵和坏产出矩阵。根据 SBM-DDF-AAM 方法,本文计算基于 t 期观察值和 t 期技术的第 i 个 DMU 环境效率得分的分式规划如下:

$$S'_{NLP}(x_i^t, y_i^t, b_i^t) = \min \frac{1 - (1/k) \sum_{k=1}^k (s_k^{x,-} / x_{k,i}^t)}{1 + [1/(l+m)] [\sum_{l=1}^l (s_l^{y,+} / y_{l,i}^t) + \sum_{m=1}^m (s_m^{b,-} / b_{m,i}^t)]}$$

$$s. t. \quad x_i = X\lambda + s_i^{x,-}; \quad y_i = Y\lambda - s_i^{y,+}; \quad b_i = B\lambda + s_i^{b,-};$$

$$s_i^{x,-} \geq 0; \quad s_i^{y,+} \geq 0; \quad s_i^{b,-} \geq 0; \quad i'\lambda = 1; \quad \lambda \geq 0$$

这里 $s_i^{x,-}$ 、 $s_i^{y,+}$ 和 $s_i^{b,-}$ 分别代表过度投入、好产出不足和过多坏产出,称之为松弛向量。 λ 为强度向量,其元素和为 1 意味着可变规模报酬(VRS)假定。该环境效率得分介于 0 和 1 之间,数值越大效率越高;如果 $S'_{NLP} = 1$,则说明该 DMU 是有效的,处于生产前沿面上。

为了从环境效率得分来计算环境全要素生产率,要计算四种类型的这种效率得分,即基于 t 期观察值和 t 期技术的 $S'_{NLP}(x_i^t, y_i^t, b_i^t)$ 、基于 $t+1$ 期观察值和 $t+1$ 期技术的 $S'_{NLP}(x_i^{t+1}, y_i^{t+1}, b_i^{t+1})$ 以及两个交互期效率得分,即 $S'^{t+1}(x_i^t, y_i^t, b_i^t)$ 和 $S'^t(x_i^{t+1}, y_i^{t+1}, b_i^{t+1})$ 。本文选择鲁恩博格(Luenberger)指数来计算环境全要素生产率(LTFP),计算公式可见王兵等(2010)。用计算而得的各省逐年环境全要素生产率增长除以对应的地区生产总值增长,就可以得到由经济增长质量贡献所度量的低碳转型评估指数。

如果计算得到有若干 DMU 都处在生产前沿之上,即它们的效率得分都等于 1,这时可以仿照 Tone (2002) 和 Du et al. (2010) 对这些有效率的单位继续计算它们的超效率(super-efficiency)以进一步排名。如果因历史、禀赋、制度等原因造成单位之间技术差异巨大,有可能导致不同单位面临不同生产边界的问题,则可以参照 Battese & Rao (2002) 的共同边界(meta-frontier)生产函数方法以及 Tone (2010) 提出的群组(clustering)评估方法来对不同单位进行环境效率得分的异质性分析。

四、数据和指数

(一) 省级面板数据构造

本文决策单位为各省市自治区,为了对中国各省市自治区进行低碳转型进程评估,本文构造了中国除台湾省之外的所有 31 个省市自治区的投入产出面板数据,构造说明如下。

1. 能源环境数据

各省能源消费和电力消费的数据相对比较完整,根据能源消费总量中的煤炭、石油和天然气消费量以及它们各自的碳排放系数可以估算出各省的二氧化碳排放总量。^①统计年鉴提供了各省废水排放总量和工业废水排放量数据,后者只是前者的一小部分^②,因此本文选择废水排放总量。^③年鉴中提供了各省1991年后的工业废气排放量以及1985—1995年的废气排放总量,交叉数据表明两者数值相差无几,因此合并形成废气排放总量数据。工业固体废物排放量数据由于异常值多和缺省多而没有采用。作为废水和废气的主要构成成分,本文也将使用化学需氧量和二氧化硫排放量在并行的模型中来进行分析,这两个数据都是工业和生活排放的加总,可以直接拿过来使用。化学需氧量值越高,表示水中有机污染物污染越重。总体而言,这里构建的变量及其单位和不同样本区间总计如下:能源消费(万吨标准煤,1980—2010年)、电力消费(亿千瓦小时,1990—2010年)、二氧化碳排放(万吨,1980—2010年)、废水排放(万吨,1985—2010年)、废气排放(亿标立方米,1985—2010年)、化学需氧量排放(万吨,2000—2010年)和二氧化硫排放(万吨,2000—2010年)。

与大多数研究不同,本文还根据数据可得性构建了工业污染治理投资(亿元,1998—2010年)和环境污染治理投资(亿元,2004—2010年)作为节能减排的投入变量来引入研究。^④环境污染治理投资指在污染源治理和城市环境基础设施建设的资金投入中,用于形成固定资产的资金,其中污染源治理投资包括工业污染源治理投资和“三同时”项目环保投资两部分。因此,环境污染治理投资为城市环境基础设施建设投资(包括燃气、集中供热、排水、园林绿化、市容环境卫生)、工业污染源治理投资与建设项目“三同时”项目环保投资之和。按2009年的数据,其占比分别为55.5%、9.8%和34.7%,可见工业污染治理投资比较少。工业污染治理投资的来源主要包括排污费补助、政府其他补助、企业自筹(含银行贷款),主要用于治理废水、废气、固体废物、噪声和其他。^⑤本文借用同期固定资产投资价格指数把这两个污染治理投资序列都平减到2005年的价格水平。

2. 产出、劳动和资本存量数据

《中国国内生产总值核算历史资料》1952—1995年和1952—2004年版本提供了各省总产出及总产出指数截止2004年的数据,其后数据无从查找,本文据此计算了各省总产出的实际数值(亿元,1980—2004年)。各省地区生产总值及其指数的数据很完整,利用换算成的GDP隐含价格平减指数(2005年=100)计算获得地区生产总值的实际值(亿元,1980—2010年)。统计年鉴提供了各省职工人数和就业人员两套数据,但是由于2009年后不再提供职工人数数据,而且职工人数序列在1998年前后由于统计口径发生改变而变化剧烈,还是就业人员数据相对来说能够反映实际状况,所以选择使用就业人员(万人,1980—2010年)。

中国各省1952—2010年资本存量的估算参照张军等(2004)的方法来计算完成(单位:亿元)。与张军等(2004)处置不同的地方主要包括:广东省1996—2000年的固定资产投资价格指数由自

① 1990—1996年电力消费数据摘自《中国能源统计年鉴》1997—1999年和2006年版,其它摘自《中国统计年鉴》。这里西藏的能源消费及其构成数据缺失,由于电力消费数据相对完整,根据西藏和新疆电力消费的比例关系以及新疆的能源消费总量和构成来推算西藏的能源消费和二氧化碳排放。

② 从2009年的全国数据来看,工业废水排放总量234亿吨,生活污水排放量355亿吨,比例达40%和60%。有些年份有些地区的差异更大,比如2003年后的北京,工业废水和生活废水排放比例分别达10%和90%。

③ 其中,1998—2002年废水排放总量数值由年鉴分别提供的工业废水和生活污水加总而成;1996—1997年废水排放总量缺失,采用线性插值。

④ 原始数据摘自2005—2011年《中国环境统计年鉴》和1999—2011年《中国统计年鉴》。

⑤ 以2009年为例,从资金来源构成来看,全国工业污染治理投资443亿元,其中排污费占1.6%,政府补助3.2%,企业自筹95.2%(银行贷款占10.7%);从治理构成来看,其中34%用于治理废水、53%治理废气、5%治理固体废物、0.3%用于噪声、8.5%用于治理其他。

身固定资本形成指数换算；江西省 1952—1977 年缺省的固定资本形成数据利用同期的全社会固定资产投资数据乘上 1978—1982 年的平均比重来补充；^①1991—2000 年海南省固定资产投资价格指数直接使用其自有数据而非用其商品零售价格指数来代替。计算中需要注意固定资本形成指数与固定资产投资价格指数的换算。根据《中国国内生产总值核算历史资料》1952—1995 版本提供的固定资本形成指数来计算 1952—1990 年各省固定资产投资隐含价格平减指数(上一年 = 100, 以 1985 年为例)的公式如下：

$$1985 \text{ 年的投资隐含价格平减指数(上一年} = 100) = \frac{1985 \text{ 年的固定资本形成总额(当年价格)} * 10000}{[1984 \text{ 年的固定资本形成总额(当年价格)} * 1985 \text{ 年的固定资本形成总额指数(上一年} = 100)]}$$

1991 年后各省固定资产投资价格指数则由《中国统计年鉴》提供。

如上所述,由于数据可得性,本文所有数据样本的起始时点不同,但基本上都截至 2010 年。为了能够对 2011 和 2012 两年的低碳转型指数进行预测,本文根据线性插值的方法统一预测了各个变量的 2011 和 2012 年数值。

(二) 低碳经济转型动态评估指数构建

本文所使用变量总共包括期望产出 1 种,即地区生产总值(VA)或地区总产出(GOV),非期望产出 5 种,为二氧化碳排放(CO₂)、废水排放(WW)、废气排放(WG)、二氧化硫排放(SO₂)和化学需氧量(COD),投入变量 6 种,分别为能源消费(E)、电力消费(EL)、工业污染治理投资(IPI)、环境污染治理投资(EPI)、劳动(L)和资本存量(K)。一般来说,如果使用了诸如能源消费、电力消费等具有中间投入品性质的变量,应该使用总产出数据,但是各省总产出的数据期间只截止到 2004 年,本文将使用地区生产总值这个产出变量。^②

正式度量时,本文根据变量之间的关系和不同的样本区间设定了 8 个模型,这些模型包含的共同变量为地区生产总值、二氧化碳排放、劳动、资本存量和能源消费(或电力消费)。前 4 个模型还包括废水排放和废气排放变量,后 4 个模型则使用替代的化学需氧量和二氧化硫排放变量。8 个模型的样本跨度都不尽相同。基于每一个模型都可以计算获得一套环境全要素生产率度量,并进而计算出相应的低碳经济转型评估子指数。为了最终获得稳健性的低碳经济转型动态评估总指数,本文把前 4 个模型和后 4 个模型估算的子指数分别在相应样本期间上进行简单平均,获得两类分指数,再把这两个分指数在相应期间上进一步简单平均,得到各省市改革后每年的低碳经济转型动态评估总指数序列。8 个模型的变量设定具体如下：

Model 1(1985—2010) :	VA	CO ₂	WW	WG	L	K	E	}	分指数 1	}	总指数	
Model 2(1990—2010) :	VA	CO ₂	WW	WG	L	K	EL					
Model 3(1998—2010) :	VA	CO ₂	WW	WG	L	K	E					IPI
Model 4(2004—2010) :	VA	CO ₂	WW	WG	L	K	E					EPI
Model 5(2000—2010) :	VA	CO ₂	COD	SO ₂	L	K	E	}	分指数 2			
Model 6(2000—2010) :	VA	CO ₂	COD	SO ₂	L	K	EL					
Model 7(2000—2010) :	VA	CO ₂	COD	SO ₂	L	K	E					IPI
Model 8(2004—2010) :	VA	CO ₂	COD	SO ₂	L	K	E					EPI

^① 1952—1977 年的海南省、湖北省和宁夏、1952—1995 年的重庆市、1952—1999 年西藏的数据补充方法同此。

^② 为此有必要检查两个不同产出变量的度量影响,这时将只使用二氧化碳排放 1 个非期望产出变量,投入变量为最简单的能源消费、劳动和资本存量。

基于8个模型可以生成8个评估子指数,由于不同模型中变量的单位和数值大小不同,所度量的指数值大小难免有差异,而各子指数又采取等权重来构成分指数和总指数,为了避免某些可能存在的异常子指数对最终结果带来有偏的影响,或者说为了保证所有子指数在简单平均生成成分指数和总指数时能够均等地发挥作用,本文采取与樊纲和王小鲁等(2003)构建中国各地区市场化进程指数相似的方法,对8个子指数进行标准化处理。樊纲和王小鲁等(2003)构建的中国各地区市场化进程指数完全是一个相对指数,与他们不同的是,本文所构建的指数既能够相对比较,又具有绝对含义。^①根据指数数值高低与低碳转型之间的理论关系,对各子指数进行标准化或者说计算指数得分的公式可分为两大类。当指数值大于或等于低碳转型的阈值0.5时,子指数得分按如下公式计算:

$$\text{第 } i \text{ 个省份子指数得分} = \left(1 + \frac{V_i - 0.5}{V_{\max} - 0.5} \right) \times 0.5$$

数值越高,说明低碳转型的程度越高。如果指数数值小于阈值0.5时,则子指数得分按如下公式计算:

$$\text{第 } i \text{ 个省份子指数得分} = \left(1 - \frac{0.5 - V_i}{0.5 - V_{\min}} \right) \times 0.5$$

数值越高,说明该省份越接近低碳转型。公式中 V_i 代表第 i 个省份指数的原始数值, V_{\max} 为样本期间31个省份中指数的最大数值,而 V_{\min} 则为最小指数数值。

由8个子指数和2个分指数简单平均生成的总指数有效地克服了个别模型设定偏误可能带来的影响,是对不同角度度量结果的综合,可以根据该指数值是否跃过了临界值(0.5)来判断经济有没有实现从高碳模式到低碳转型的惊险一跳,指数值本身的高低变化也可以用来捕捉低碳经济转型的具体演化程度。这样一种由低碳转型经济机制所内生而成的自洽指数所具有的动态评估功能,是其他多层次绿色发展统计指数所不能比拟的,在现有文献中对此尚无专门论述。在31个省市区低碳经济转型评估指数计算的基础上,本文还将进一步分析不同能耗和污染排放水平地区的低碳经济转型差异,为此本文将把31个省市区分成低能耗低排放和高能耗高排放两组进行分析。^②

五、中国各地区低碳经济转型进程评估和预测

首先对计算低碳转型评估指数的环境效率得分和环境全要素生产率进行分析。^③表1报告了基于SBM-DDF-AAM方法所估算的各省2010年的各种环境效率得分情况。从基于地区总产出和地区生产总值所估算的环境效率得分来看,基于地区生产总值所估算出的有效率省市有6个,它们是北京市、天津市、上海市、江苏省、广东省和西藏,而基于地区总产出所估算的有效率省市只多了浙江省和福建省两个。虽然大部分省份基于地区生产总值所估算的环境效率得分比基于总产出的估算数值大些,但是在两个序列中各省市的排序还是很相似,比如两个序列排名前十的省市中只有

^① 对于由全要素生产率贡献度所度量的指数而言,0.5是一个体现绝对数含义的阈值,无论指数如何标准化都不改变指数值和0.5阈值的比较关系;同时,指数标准化后也不改变某一决策单位在同一时间点不同单位之间以及不同时间点中的相对位置,完全可以进行横向和纵向相对比较。

^② 为了构建一个分组的合理指标,本文选择了2000年和2010年各省能源强度、电力消费强度、二氧化碳排放强度、二氧化硫排放强度和化学需氧量排放强度5个子指标,所有子指标除以各自平均值以消除不同单位的影响,这样正规化后的子指标的均值就为1。两年的总指标由各自正规化后的子指标简单加权平均而得,而最终的分组综合指标则由两年的总指标分别赋予0.4和0.6的权重平均而得。具体分组可见下面表1的第5和11列。低能耗低排放地区包括16个省市区,其中北京市、广东省和上海市排名前三,指标值小于和接近0.5;高能耗高排放地区有15个省市区,排在最后的是贵州省和宁夏,指标值超过了2。

^③ 该分析基于地区总产出或地区生产总值1个期望产出、二氧化碳排放1个非期望产出和能源消费、劳动、资本存量3个投入变量的最简洁模型。

1 个不同,排名后十位的省市中也只有 1 个省市不同,排最后的都是贵州省,环境效率得分低于 0.3。两个序列中有 9 个省市的排名完全相同,有 5 个省市的排名相差 1 位,还有 11 个省市的排名相差两位。这些相似性说明了基于地区生产总值和地区总产出所估算的环境效率得分没有明显区别。在环境效率得分基础上,本文也绘制了基于地区生产总值和地区总产出所估算的两条全要素生产率加权平均增长曲线,它们有着相似的变化模式而且数值相差不大,也进一步说明了无论是使用地区生产总值还是选择地区总产出作为期望产出并不明显影响环境 TFP 乃至低碳转型评估指数的度量结果,因此本文接下来只选择时期跨度到 2010 年的地区生产总值这一个期望产出来进行度量和分析。^①

表 1 基于 DDF-SBM 所估算的 2010 年中国省际环境效率、超效率和群组效率得分

省份	环境效率		环境超效率	群组隶属	环境群组效率	省份	环境效率		环境超效率	群组隶属	环境群组效率
	基于总产出	基于地区生产总值					基于总产出	基于地区生产总值			
北京市	1	1	1.214	1	1	湖北省	0.371	0.500		1	0.500
天津市	1	1	1.156	1	1	湖南省	0.343	0.507		1	0.507
河北省	0.341	0.427		2	1	广东省	1	1	1.161	1	1
山西省	0.271	0.378		2	0.672	广西	0.318	0.450		2	1
内蒙古	0.284	0.385		2	1	海南省	0.593	0.738		1	0.738
辽宁省	0.398	0.493		2	1	重庆市	0.440	0.557		2	1
吉林省	0.324	0.438		2	1	四川省	0.336	0.460		2	1
黑龙江省	0.393	0.592		1	0.592	贵州省	0.233	0.299		2	0.466
上海市	1	1	1.436	1	1	云南省	0.263	0.370		2	0.616
江苏省	1	1	1.315	1	1	西藏	1	1	1.005	1	1
浙江省	1	0.755		1	0.755	陕西省	0.341	0.472		2	0.869
安徽省	0.361	0.475		1	0.475	甘肃省	0.310	0.377		2	1
福建省	1	0.683		1	0.683	青海省	0.420	0.452		2	1
江西省	0.446	0.556		1	0.556	宁夏	0.333	0.362		2	0.670
山东省	0.949	0.568		1	0.756	新疆	0.294	0.402		2	0.763
河南省	0.331	0.424		1	0.621						

表 1 还对有效率的省市进行了进一步的排名,即计算了它们的超效率(super-efficiency)。基于地区生产总值所估算的 2010 年 6 个有效率的省市根据超效率数值由高到低重新排名为:上海市、江苏省、北京市、广东省、天津市和西藏。如方法论中介绍,表 1 也对不同群组的环境效率得分进行了进一步的异质性分析,这里两类群组的分类方法在第四节末已经说明,1 代表低能耗低排放组别,2 代表高能耗高排放地区,两种群组的技术前沿面不再相同。对低能耗低排放地区而言,原来基于 31 个省市共同前沿面所估算的 6 个有效率的省市仍然隶属于这一组,仍然是该组中最有效率的 6 个省市,可见共同技术前沿面是由低能耗低排放组别的技术前沿所决定的;而对于高能耗高排放组别而言,那些基于共同技术前沿度量本不有效的一些省份现在基于组别技术前沿度量变得有效了,这些在第 2 组中有效率的省份包括河北省、内蒙古、辽宁省、吉林省、广西、重庆市、四川省、甘肃省和青海省,有 9 个之多,可以称这些省份为局部有效但是全局无效的单位。这里不展开分析,接下来低碳转型指数的构建和分析仍然基于由共同技术前沿面所估算的 SBM-DDF-AAM 环境

^① 权重为各省地区生产总值份额。该图这里略去。

效率得分而进行。

按第四节介绍,把8个模型的子指数先标准化再平均化就可以最终得到31个省市自治区1986—2010年的低碳转型动态评估指数序列以及2011—2012两年的评估指数预测值。图1绘制了本文所度量低碳转型评估指数的全国和不同地区的平均变化趋势,这里的权重是各个省份的地区生产总值份额,地区分组见表1。图1显示,全国平均的低碳经济转型评估指数曲线变化起伏较大但是表现出一定的规律性,据此可以把中国整体低碳转型进程划分为四个不同的阶段。1986—1990年的评估

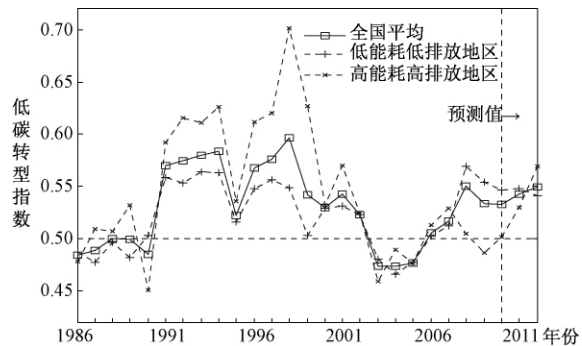


图1 中国及不同地区低碳经济转型评估指数平均变化趋势

指数都小于或接近于0.5,这说明这一时期我国处于传统的高碳增长时期。整个20世纪80年代,国家为了缓解长期计划经济造成的能源短缺状况而对能源生产采取了鼓励的政策,煤炭、石油、电力企业先后实行了承包责任制改革,其中市场化最为彻底、竞争最为激烈的就是煤炭行业,这一度使得高能耗高排放地区的经济转型表现不错。但是,小煤矿盲目发展的直接后果是生产过剩、产量失控,破坏性开采和未采取环保措施造成了煤炭资源的严重破坏、浪费和环境的过度污染,因此,该时期全国低碳转型整体表现不佳,并且直接导致1990年高能耗高排放组别的转型评估指数达到历史最低。因而中国政府从上世纪90年代开始对能源发展采取限制政策,并且开始治理整顿煤炭市场,截至1994年,导致生产无序和腐败滋生的煤炭双轨制价格在所有资源性产品中率先基本放开,煤炭市场完全形成,可以看到,这段时期全国平均的低碳转型指数达到了0.57—0.58左右。虽然大批国企财务危机爆发(比如大量小煤矿的低成本开采间接导致了国有煤矿亏损)等拖累了经济转型进程(1995年指数值一度降到0.52),但是在90年代中后期对国有企业进行抓大放小的改革背景下,政府淘汰和关闭了10多万家高耗能、高污染的小企业,能源和排放密集型的小企业的无序生产得到遏止,因此可以看到从1996年之后到2002年较长时段内中国都处于良性的低碳经济发展状态。整个90年代至本世纪初叶高能耗高排放地区的低碳转型表现功不可没,这些要得益于中国政府在90年代初建立起来的环保意识和可持续发展观念以及上述各种合理政策的支持。这些政策还包括环境污染治理战略的转变,从80年代以前点源治理和末端治理转向流域区域综合治理和源头全过程控制等。中国于1992年签署了有关低碳发展的《里约宣言》和《21世纪议程》,并于1994年率先发布了第一个国家级的《中国21世纪议程》,1998年又开始实施《中华人民共和国节约能源法》等等。

然而,本世纪初以来,以高能耗、高污染为特征的重工业化现象在中国经济发展中再次出现,房地产和汽车工业快速发展,基础设施投资持续加大,机电和化工等资源密集型产品出口份额增加,所有这些都带动了采掘业、石油和金属加工业、建材及非金属矿物制品业、化工和机械设备制造等重化产业的急剧膨胀。如图1所示,这一时期的经济高速增长以及能耗和污染排放的疯狂飙升导致2003—2005年中国低碳经济转型又掉入了历史低谷,指数值只有0.47左右。令人欣慰的是,从图1看出,2007年之后中国又实现了从高碳增长到低碳发展的反超,低碳转型评估指数爬升到2006年的0.51,一直上升到2008年的0.55,其后(包括2011和2012两年预测期间)则保持着相对稳定的发展趋势。这段时期经济转型成绩的取得也是与合理的政策支持息息相关的。比如,中共十六届三中全会在反思和总结的基础上提出了科学发展观的思想,十六届四中全会又进一步提出建设和谐社会的要求。2007年出台发展中国家第一部的《中国应对气候变化国家方案》。2006年

和 2009 年分别提出中国节能减排的约束性指标。2008 年底为应对金融危机的 4 万亿元人民币总刺激投资中,中国投入绿色项目的资金占到了 38%,达到 2210 亿美元,是排在第二位的美国的两倍。2010 年中国又决定在广东、辽宁、湖北、陕西、云南五省和天津、重庆等八市开展低碳试点。

尽管波动模式与全国趋势都很相似,图 1 显示高能耗高排放地区的低碳转型状况大部分时点要优于低能耗低排放地区,只有 2008—2010 年反之。一种解释是重型化地区可能更为注重节能减排且空间也大因此低碳发展效果更好,轻型化省市节能减排空间有限低碳转型反而更为艰难。另外,本文基于表 1 的模型做了这样一个测试发现,所估算高能耗高排放地区的环境全要素生产率增长与低能耗低排放地区的估算值相差无几,在 10% 左右,差距只体现在小数点后第三位,但是高低组别的地区 GDP 增长率分别为 10.6% 和 11.7%,相差达一个百分点之多。本文所估算的低碳评估指数其实就是环境全要素生产率增长率除以 GDP 增长率的比率,轻型化地区指数中分母 GDP 的更快增长导致其低碳转型指数估算值较低也就不奇怪了,它们的生产率增长并不亚于重型化地区,因此仿效最近几年的情况在经济较快增长的同时更为关注环境全要素生产率的增长,轻型化地区的低碳转型状况将会得到更大改善。

表 2 报告了各省市低碳转型评估指数从“七五”到“十一五”五个“五年规划”期间的总指数均值以及 2011 年和 2012 年两年的总指数预测值序列。与图 1 描述的低碳转型进程模式相似,与 1986—1990 年相对应的正是“七五”规划时期,该时期总指数平均值超过 0.5 的省份的只有 11 个,该阶段呈现出典型的粗放增长模式;与整个 90 年代良好的低碳经济转型状况对应,“八五”和“九五”规划期间平均来看,实现了低碳转型的省份分别达到了 17 个和 19 个,超过了半数;本世纪初以来的经济再次重型化导致低碳转型进程再次阻滞,“十五”期间实现低碳转型的省份数目降到了有史以来并列最低的 11 个;当然随着科学发展观的提出以及政府对低碳转型的政策支持,近几年来低碳经济转型状况又有了良好回升,“十一五”期间实现了经济转型的省份数目上升到了 16 个,2011 年和 2012 年两年的预测值显示该数目又分别达到了 20 个和 18 个,上升趋势明显。

如前所述,环境全要素生产率增长和 GDP 增长作为构成低碳转型总指数的分子和分母,全要素生产率增长率的高和低并不必然意味着转型评估指数的高和低,同理可以推知,环境效率得分的大小以及各省在两个群组中的隶属也并不必然意味着它们的转型指数排名高低,影响低碳转型指数估算值大小的因素显然还有更多。因此,表 2 微观省份数据给出的结果与图 1 结论并不尽一致。处于环境效率得分较高的低能耗排放组别的省份中,有些其低碳转型表现并不理想,比如安徽省、海南省、西藏等,但是大部分省份的低碳转型表现还不错。比如,北京市低碳转型总指数评估值从“七五”到“十一五”五个规划期间排名分别为第 15、4、16、10 和 14 位,2011—2012 年预测的是第 17 和第 10 位;上海市五个规划期间低碳转型评估排名分别为第 18、6、19、15 和 13 位,2011—2012 年的预测位置分别为第 7 和 9 位;浙江省低碳转型评估指数值在五个规划期间的排名分别为第 9、23、17、13 和 1 位,两年预测分别为第 20 和 14 位;江苏省的排名为第 25、20、4、16 和 2 位,2011—2012 年预测为第 16 和 15 位等。重型化地区也有些省份低碳转型表现良好。辽宁省在五个规划期间的低碳经济转型评估指数值排名分别为第 21、17、1、6 和 3 位,两年预测排名分别为第 2 和 1 位;吉林省的低碳转型评估排名为第 16、7、5、7 和 19 位,2011—2012 年预测排第 14 和 19 位。但是,更多高能耗高排放重型化地区的省份低碳转型状况仍然糟糕,这些省份的低碳转型任重道远。比如山西省在五个规划期间的低碳转型评估指数排名为第 14、18、21、14 和 31 位,2011—2012 年预测排名仍然为倒数第 1 和 4 位;内蒙古在五个规划期间的低碳转型评估排名为第 23、27、30、30 和 24 位,两年预测排名则为并列的第 25 位;青海省的低碳转型评估排名分别为第 28、13、29、25 和 29 位,2011—2012 年预测都为倒数第 2 位。由此可见,图 1 所显示的重型化地区低碳转型绝大部分年份好于轻型化地区只是一个粗线条的结论,具体到表 2 的各省数据分析,其实并不能得出两个群

表2 中国各省低碳经济转型评估指数

评估指数	低碳经济转型评估平均总指数					总指数预测值	
	七五 (1986—1990)	八五 (1991—1995)	九五 (1996—2000)	十五 (2001—2005)	十一五 (2006—2010)	2011	2012
北京市	0.4905	0.7541	0.5258	0.5128	0.5064	0.5062	0.5383
天津市	0.5172	0.6855	0.5656	0.5688	0.5027	0.5367	0.5219
河北省	0.6031	0.9596	0.8459	0.6144	0.5525	0.4922	0.6782
山西省	0.4915	0.5006	0.4790	0.4932	0.3639	0.2790	0.4365
内蒙古	0.4629	0.4715	0.3483	0.4153	0.4832	0.4588	0.4641
辽宁省	0.4752	0.5078	0.8934	0.5286	0.5847	0.6648	0.7216
吉林省	0.4902	0.6372	0.6357	0.5230	0.4946	0.5309	0.4951
黑龙江省	0.4570	0.4393	0.5660	0.5808	0.5029	0.4072	0.4747
上海市	0.4815	0.6750	0.5035	0.4915	0.5082	0.5708	0.5486
江苏省	0.4514	0.4932	0.6552	0.4806	0.5936	0.5155	0.5228
浙江省	0.5208	0.4852	0.5147	0.4941	0.5947	0.5035	0.5244
安徽省	0.3966	0.4971	0.5865	0.4293	0.4675	0.4753	0.4949
福建省	0.5031	0.5670	0.6321	0.5195	0.4939	0.5474	0.5716
江西省	0.3874	0.4860	0.5694	0.4324	0.5159	0.5382	0.4920
山东省	0.4916	0.5262	0.4843	0.5480	0.5531	0.6041	0.6096
河南省	0.6984	0.7972	0.5280	0.5192	0.5460	0.5997	0.5265
湖北省	0.5191	0.5969	0.5270	0.4648	0.4952	0.5655	0.5570
湖南省	0.3772	0.3718	0.5378	0.4664	0.5216	0.5562	0.5649
广东省	0.4757	0.4832	0.4610	0.4549	0.5247	0.5860	0.5359
广西	0.5002	0.6044	0.5969	0.5404	0.5415	0.5960	0.4326
海南省	—	0.4742	0.4571	0.4779	0.5302	0.4712	0.4803
重庆市	—	—	0.5037	0.4326	0.4414	0.4356	0.4410
四川省	0.3469	0.4527	0.3815	0.4207	0.5129	0.5592	0.6908
贵州省	0.3820	0.4859	0.4548	0.4712	0.4897	0.4525	0.4611
云南省	0.6282	0.6066	0.6066	0.5085	0.4872	0.7793	0.5487
西藏	0.6113	0.7744	0.2731	0.4588	0.4222	0.5061	0.3252
陕西省	0.5352	0.6325	0.7348	0.4998	0.4972	0.5245	0.5322
甘肃省	0.4742	0.4545	0.4545	0.4797	0.4896	0.5044	0.5036
青海省	0.3832	0.5689	0.3700	0.4347	0.4313	0.3770	0.3915
宁夏	0.5765	0.5248	0.4674	0.3949	0.4349	0.4962	0.5139
新疆	0.4823	0.4817	0.4727	0.4722	0.4612	0.4295	0.4675
指数值超过 0.5的省数	11	17	19	11	16	20	18

组低碳经济转型表现优劣的一致性结论,应该具体省份具体分析。比如,上海市“九五”和“十五”期间低碳转型表现不佳可能与其投资驱动型增长方式和支柱产业的不合理确立有关。上海“十五”期间的转型指数竟然低于0.50,和粗放型增长的“七五”时期相似。这两个五年规划时期全国

二氧化碳排放出现停顿甚至略有负增长,但是上海市同期二氧化碳排放仍然增长较快,这期间政府性公司主导经济发展的“上海模式”延缓了上海市国企改革步伐,相对于其它省市而言,同期节能减排政策的执行效果有所削弱。“十一五”开始的头两年(2006—2007年)全国二氧化碳排放增长下降到了7.2%,但是上海市二氧化碳排放却依然高歌猛进,增长率高达12%,这是因为上海市政府在“十五”期间为促增长所确定的六大重点支柱产业(石油精细化工、钢材、生物医药、电子信息、成套设备和汽车)大部分都是耗能排放大户,当然它们也是上海市GDP高速增长的强力推动器,产出了上海市一半以上的工业总产值。2009年上海市政府重新确立了九大高科技产业的制造业发展战略以取代2005年确立的这六大支柱产业定位,虽然政策成效还有待观望,但是2011—2012年上海的低碳转型预测排名还是不错的。北京市的情形与上海市相似,“九五”和“十一五”期间的低碳转型排名并不佳,这是因为其投融资体制也以政府为主导,在北京市全社会固定资产投资中,国有单位投资占居主导地位,其中,基本建设投资又始终占居第一,不改变这种投资驱动型的粗放增长方式就很难实现可持续发展。

六、结论性政策评注

本文提出了一个基于松弛向量可度量方向性距离函数行为分析模型(SBM-DDF-AAM)的低碳经济转型理论机制,在此基础上构建了一套自洽的能够进行低碳转型动态评估的指数体系,并对1986—2010年期间中国31个省市区的低碳经济转型实际进程进行了评估分析,同时预测了2011—2012年各省的低碳转型走势。度量结果表明中国低碳转型历程可以形象地概括为四个阶段:上个世纪80年代由于资源的过度开发和环境污染的严重恶化,中国经济整体仍然维持着传统的以高能耗、高排放为特征的高碳增长模式;随着政府转而采取限制能源开发的政策以及抓大放小国企改革中大量能耗和污染密集型中小企业的关闭,中国在90年代和本世纪初叶总体来说节能减排卓有成效,低碳经济转型表现良好;然而2003年以来,经济增长再现重型化特征,GDP的高速增长是以能源消耗和二氧化碳排放的飙升为代价的,中国成为了世界第二大经济体,中国也成为了世界最大的能源消耗国和二氧化碳排放国,中国低碳转型再次掉入了谷底,各种矛盾凸显,倒逼政府对粗放型增长方式进行反思;科学发展观的提出恰逢其时,中国政府首次提出了量化的节能减排约束性指标,近几年来中国的低碳转型又呈现出喜人的进展趋势,可以这么说,金融危机为经济转型带来了难得的契机,大危机才能带来大变革,“十二五”注定将成为中国经济大转型的战略机遇期。

然而,要切实实现经济转型殊为不易且极具挑战,要变革理念还要舍得利益。本文提出的低碳转型经济机制告诉我们,以要素数量扩张方式通过高投入、高能耗、高排放驱动经济高增长,早晚要碰到要素边际报酬递减规律的红线,不可持续;只有通过节能减排、要素重置推动全要素生产率持续改善才是低碳转型的必由之路,从这个意义上说,事实上并不存在发展方式选择的余地,只有加快转变发展方式的历史使命,这也可以回答低碳转型会否导致经济减速这样一个老生常谈的问题。如果经济的适当减速能够为加快经济转型创造条件那又为何不为呢?其实根据本文构建的低碳转型评估指数的结构来看这个问题会一目了然。本文用环境全要素生产率的产出贡献来度量的低碳经济转型评估指数的分子是全要素生产率增长率,分母是GDP增长率。如果分子的增长困难,分母增长率适当减少可以提高低碳转型的指数值,短期压力和阵痛的承受长远来看反倒有助于经济运行质量的提升与飞跃;如果分母的GDP有较高的增长,而分子代表的生产率能够增长更快,这也是一种低碳转型进度的加快,而且似乎更值得倡导,有助于最终实现竞争战略之父波特所预言的双赢发展。这就要求政府和企业不要仅仅只感受到增长的压力,更要有主动并坚决提高增长质量的决心,要跳出一时一地的利益割舍和政绩不彰纠结,那种以廉价消耗资源破坏环境等初级方式来追求简单GDP和个人政绩的落后观念必须彻底根除。从这个角度讲,唯GDP的考核标准应该让位

与新的评价指标,这样经济转型才有内生的动力之源。本文构建的低碳转型评估指数内生于其经济理论机制,只涉及经济单位主要的投入产出变量,计算简单,而且可以形象地感知经济增长质量和速度之间的辩证关系,因此可以作为合理的GDP替代评价指标。

尽管从平均角度看,中国低碳经济转型呈现规律性的变化模式,但是具体到各省级地区的微观分析,不同省份又有着不同的低碳转型表现,因此,各地要因地制宜制定合理的低碳转型方针政策,以克服自身低碳转型的不足,发挥各自资源禀赋和历史地理条件的比较优势,实现聪明的增长。当然,即使从同一个省份来看,其低碳转型也不总是呈现一致性的变化趋势,有些省份所估算的转型评估指数高低有变还经常出现转型反复,这也表明中国的低碳转型进程仍然处于不稳健的初期阶段,需要时间来固化已有的低碳转型势头,一个五年规划不够,也许要几个五年规划才能实现之,不要幻想一蹴而就。由此看来,政府采取合理的低碳转型政策来支持这样一个长期的发展方式转变就十分重要,特别是最相关的能源和环境政策。经济发展过于依赖能源消耗的背后,是资源价格体制的长期扭曲,因此“十二五”期间要加快仍然没有放开或理顺的能源产品价格改革,让能源要素市场真正发挥调节配置资源的功能。能源价格是决定能源需求的最基本变量,能源价格上涨必然会使能源需求下降,逼迫高耗能单位通过技术改造等手段降低自身能耗,促进节能减排和产业升级。当然,在当前通货膨胀压力加大的情况下,能源价格改革的阻力会加大,可以选择适当的时机来进行。中国环境税制改革势在必行,开征环境税已是大势所趋。环境税通过两种途径影响与低碳转型息息相关的污染减排:一是直接途径,仍然通过提高能源价格,刺激各单位采取节能减排措施,发展新能源,促进能源消费结构优化;二是间接途径,环境税不应该被看作一项永久的财政收入,而应该通过环境税收入的再分配,再投资于低碳技术以及对旧有税制的各种扭曲现象进行调整(姚昕和刘希颖,2010;陈诗一,2011b)。还有一种有效的值得大力倡导的环境政策就是污染排放权交易,按照目前的发展速度,碳交易会很快发展成超过石油市场的全球规模最大的商品交易市场,中国已经被许多国家看作是最具潜力的减排市场,有必要对碳交易机制和碳金融工具进行预先研究。上述的能源和环境政策都是基于市场机制导向式的,基于行政命令式的政策有时也可以辅助实施,比如国家节能减排约束性指标的制定,应切实执行“十二五”期间降低能源强度和二氧化碳排放强度以及主要污染物的量化指标。

经济转型就像化蛹成蝶,这是经济社会领域的一场深刻变革,是一项宏大而复杂的系统工程,也是一场争夺未来全球发展制高点的竞赛,中国低碳经济转型的探索、实践和理论规律必将成为与“华盛顿共识”和“孟买模式”不同的“中国模式”的关键组成部分。期待本文提出的理论机制和构建的评估指数能够从科学研究的角度为中国低碳经济转型作为贡献。当然,本文的低碳经济转型研究还只是刚刚开始,未来还可以针对不同行业以及更微观的城市进行评估研究,还可以构建其它替代的低碳转型评估指数,比如诺伊迈耶(2006)所谓的弱可持续发展指数和 Battese & Rao (2002)的共同环境技术比率变化指数等等。

参考文献

- 陈佳贵、黄群慧、钟宏武,2006《中国地区工业化进程的综合评价和特征分析》,《经济研究》第6期。
- 陈诗一,2010《中国的绿色工业革命:基于环境全要素生产率视角的解释(1980—2008)》,《经济研究》第11期。
- 陈诗一,2011a《节能减排、结构调整与工业发展方式转变研究》,北京大学出版社。
- 陈诗一,2011b《边际减排成本与中国环境税改革》,《中国社会科学》第3期。
- 樊纲、王小鲁等,2003《中国各地区市场化相对进程报告》,《经济研究》第3期。
- 林伯强,2011《中国低碳转型》,科学出版社。
- 刘伟,2010《实现经济发展战略目标关键在于转变发展方式》,《经济研究》第12期。
- 诺伊迈耶,2006《强与弱:两种对立的可持续性范式》,上海译文出版社。

- 钱纳里等,1986《工业化和经济增长的比较研究》,上海三联书店、上海人民出版社。
- 涂正革 2008《环境、资源与工业增长的协调性》,《经济研究》第2期。
- 王兵、吴延瑞、颜鹏飞 2010《中国区域环境效率与环境全要素生产率增长》,《经济研究》第5期。
- 姚昕、刘希颖 2010《基于增长视角的中国最优碳税研究》,《经济研究》第11期。
- 张军、吴桂英、张吉鹏 2004《中国省际物质资本存量估算:1952—2000》,《经济研究》第10期。
- 张坤民、潘家华、崔大鹏 2008《低碳经济论》,中国环境科学出版社。
- Battese, G. E., and D. S. P. Rao, 2002, "Technology Gap, Efficiency and A Stochastic meta-frontier Function", *International Journal of Business and Economics* 1, 87—93.
- Chambers, R., R. Färe, and S. Grosskopf, 1996, "Productivity Growth in APEC Countries", *Pacific Economic Review* 1, 181—190.
- Du, J., L. Liang, and J. Zhu, 2010, "Aslacks-based Measure of Super-efficiency in Data Envelopment Analysis: A Comment", *European Journal of Operational Research* 204(3), 694—697.
- Färe, R., and S. Grosskopf, 2010, "Directional Distance Functions and Slacks-based Measures of Efficiency", *European Journal of Operational Research* 200(1), 320—322.
- Fukuyama, H., and W. L. Weber, 2009, "A Directional Slacks-based Measure of Technical Inefficiency", *Socio-Economic Planning Sciences* 43(4), 274—287.
- Tone, K., 2001, "Aslacks-based Measure of Efficiency in Data Envelopment Analysis", *European Journal of Operational Research* 130, 498—509.
- Tone, K., 2002, "Aslacks-based Measure of Super-efficiency in Data Envelopment Analysis", *European Journal of Operational Research* 143(1), 32—41.
- Tone, K., 2010, "Variations on the Theme of Slacks-based Measure of Efficiency in DEA", *European Journal of Operational Research* 200(3), 901—907.
- Zhou, P., B. W. Ang, and K. L. Poh, 2006, "Slacks-based Efficiency Measures for Modeling Environmental Performance", *Ecological Economics* 60, 111—118.

Evaluation of Low Carbon Transformation Process for Chinese Provinces

Chen Shiyi
(Fudan University)

Abstract: Based on SBM-DDF-AAM theoretical mechanism, this paper builds the dynamic index to evaluate the low carbon economic transformation of Chinese provinces since the reform. The measurement indicates that Chinese low carbon transformation underwent terrible development during 1986—1990 and the beginning of this century and performed well in 1990s and currently. The evaluation index of low carbon transformation produced from economic model takes both the growth quality and speed into account and can be employed as the more appropriate alternative of conventional GDP criterion. The heterogeneity and inconsistency of evaluated index for each province revealed that Chinese low carbon transformation is still during the unstable early stage and specific energy and environmental policies should be implemented to support the long-run process of great transformation in China.

Key Words: Low Carbon Economic Transformation; Dynamic Evaluation Index; Forecasting; Regional Course; Energy and Environmental Policy

JEL Classification: Q51, Q56, O44

(责任编辑:詹小洪)(校对:梅子)