

考虑环境因素的省级技术 效率排名(1999—2005)

胡鞍钢 郑京海 高宇宁 张宁 许海萍*

摘要 近年来,一些生产率模型已经开始考虑环境因素的影响。本文在中国省级数据的基础上,采用以方向性距离函数为表述的全要素生产率模型,对省级生产率绩效度量中的“技术效率”指标在考虑了环境因素的情况下进行重新排名。我们的研究经验表明,本文所使用的模型,既考虑环境因素的影响,又继承了传统生产率分析技术的系统性和结构性框架,相对于目前流行的直观的绿色GDP推算方法有着较为广泛的应用前景。

关键词 技术效率,方向性距离函数,环境保护

本文采用省级数据并应用方向性距离函数生产率模型对中国30个省市自治区的“技术效率”在考虑了环境因素的情况下进行重新排名。近年来,距离函数模型(如DEA方法)已经被许多作者用来测算省级生产的技术效率和全要素生产率的增长(如郑京海和胡鞍钢,2005;Zheng and Hu,2006),但这类模型给出的技术效率排名没有考虑到环境因素的影响。另外根据最近公布的世界银行数据推算的中国绿色GDP时间序列数据,在传统的核算框架下进一步推算出的绿色TFP指标也还无法准确反映环境因素的影响,而采用省级数据和方向性距离函数模型有以下几个优点:

一是省级横断面数据中的许多变量存在着很大的地区差异,因此观察到各省在增长模式上的差别及其对环境影响的可能性会更大。二是方向性距离函数模型在测算绿色TFP时不需要污染排放的价格数据。三是方向性距离函数在测算技术效率时采用的标准是,在给定投入的情况下,鼓励正常产出向生产前沿方向增加,同时又奖励污染排放向污染最小化前沿方向的减少,这比之直接采用绿色GDP数据通过Solow余值法来估算绿色TFP更具生产经济学含义。近年来,国际上采用方向性距离函数模型考察环境因素对生产率绩效测算影响的研究在逐渐增加,而国内在这方面的应用研究还不多。我们

* 胡鞍钢,清华大学公共管理学院;郑京海,哥德堡大学经济学系;高宇宁,剑桥大学土地经济系;张宁,香港中文大学经济学系;许海萍,浙江大学环境与资源学院。通信作者及地址:郑京海,Box 640, S-405 30, Göteborg, Sweden;E-mail:Jinghai_Zheng@economics.gu.se。本文为清华大学公共管理学院产业发展与环境治理研究中心(CIDEG)资助的《环境因素对中国省际生产率的影响》应急课题而作,作者们感谢陈玲博士以及薛澜教授的支持和鼓励。

在此进行一个初步的尝试,采用 CO₂、COD、SO₂、废水总排量和固体废弃物总排量作为环境指标。

本文首先以传统的增长核算方法对各省市自治区的经济增长方式进行分类。其次用标准的 DEA 方法在不考虑环境因素的情况下对省级技术效率进行排名,并试图找出经济增长方式与技术效率排名之间的关系。最后我们采用方向性距离函数模型来考察环境因素如何影响各省的技术效率排名,以及考虑环境因素的技术效率度量与经济增长方式之间的关系。全文以下分六个部分:在第一部分,我们通过世界银行在中国经济总量数据的基础上所做的工作介绍研究背景,并对有关绿色 GDP 测算的文献做一个简短的综述;在第二部分,在不考虑环境因素的情况下,我们对省级数据进行增长核算并对不同地区的增长模式进行分类;第三部分介绍本文采用的环境数据及背景情况;第四部分引入以方向性距离函数来表述的以及以 DEA 方法来实现的技术效率估算模型;第五部分对采用不同模型的经验估算结果进行分析;最后我们在第六部分给出一些尝试性的结论。

一、研究背景及文献综述

在过去的 30 年,中国是世界上经济增长率最快的国家之一,也是世界上国内储蓄率(指国内储蓄额占 GDP 比重)和国内投资率(指国内投资额占 GDP 比重)水平最高的国家之一。据世界银行(1997b)统计,中国 20 世纪 80 年代和 90 年代年平均 GDP 增长率为 10.1%和 10.7%,在世界上 206 个国家和地区之中分别居第二位(仅次于中非资源国博茨瓦纳)和第一位;2004 年中国国内储蓄率和国内投资率分别为 41.2%和 38.7%,居世界前列,比世界同期水平高出近 20 个百分点。但与此同时,世界银行(2006)公布的中国自然资产损失也是十分惊人的,这在很大程度上抵消了名义国内储蓄率和国内投资率,至少使真实国内储蓄率在 1985 年减少了 20 个百分点,到 2004 年下降为约 6 个百分点。

现行的基于名义 GDP 的国民经济核算体系存在严重缺陷,不仅没有扣除自然资产损失,而且将其中过度开采资源和能源,特别是不可再生资源,按照附加值统计计算在 GDP 总量之中。这就人为地夸大了经济收益,它是以资源的急剧消耗和环境的严重退化为代价的,必将导致真实的国民福利大为减少,因而必须要对现有的国民核算体系进行校正(Hamilton and Clemens, 1998; Kunte *et al.*, 1998)。

世界银行(1997a)首次提出了真实国内储蓄(genuine domestic savings)的概念与计算方法,它是指在扣除了自然资源(特别是不可再生资源)的枯竭以及环境污染损失之后的一个国家真实的储蓄率。计算真实国民储蓄率公式为(Hamilton and Clemens, 1998):

$$G = GNP - C - \delta K - n(R - g) - \sigma(e - d) + m, \quad (1)$$

式中 G 为真实国民储蓄率； $GNP - C$ 为传统的国民储蓄率，它包括外国储蓄率； $GNP - C - \delta K$ 为传统净国民储蓄率； δ 为生产性固定资产折旧； $-n(R - g)$ 为自然资源枯竭损失，其中 n 为净边际资产租金率， R 为可利用资源， g 为开采量， $-(R - g)$ 相当于资源存量变化率，当 $R > g$ 则出现资源净耗竭； $-\sigma(e - d)$ 为污染损失量， σ 为污染的边际社会成本， $e - d$ 为污染排放累积量变化率， e 为污染排放量， d 指污染排放累积量的自然净化量； m 为人力资本投资，由于人力资本不具有折旧，同时也被视为知识的资本，例如教育支出占 GDP 比重。

世界银行关于自然资源枯竭 (depletion) 的计算方法是按开采和获得自然资源的租金来度量的，该租金是以世界价格计算的生产价格同总生产成本之间的差值，该成本包括固定资产的折旧和资本的回报 (return)。需要指出的是，合理地开发资源对于促进经济发展是必要的，但是如果资源租金过低会导致对资源的过度开采，如果资源租金不能用于再投资 (如人力资本投资)，而是用于消费也被视为是“不合理的”。污染损失主要是针对 CO_2 并按每排放 1 吨二氧化碳造成的全球边际损失计算，Fankhauser (1995) 建议按 20 美元计算。

世界银行 (2006) 估算了中国 1970 年以来的各种自然资产损失 (见表 1)，从估算结果中可以发现：第一，能源耗竭所占自然资产损失最大，占 GDP 的损失经历了一个先上升后下降的过程。在 20 世纪 70 年代随着大规模的石油、煤炭开发，这一比例迅速上升，到 80 年代初期达到最高点，接近 GDP 的 1/4，而后有所下降；在 80 年代末期，大约占 GDP 的 10% 左右；90 年代上半期约占 GDP 的 5% 以上，到 2000 年下降到 3.24%；但是此后开始上升，2005 年占 GDP 比重上升到 6.7%。第二，二氧化碳污染损失占 GDP 比重排第二位。在 70 年代，这一损失在 2% 以下，80 年代在 3% 左右，90 年代出现了下降趋势，其中 90 年代下半期明显下降，到 2000 年降为 1.37%，之后一直保持这一水平。第三，资源矿产消耗或耗竭在自然资产损失中居第三位，近 20 年来曾先后出现两次开采耗竭时期，第一次是在 70 年代末期和 80 年代初期，其损失占 GDP 的 1.2%，第二次是在 80 年代末期 90 年代初期，其损失占 GDP 的比重在 0.8%—1.2% 之间；90 年代以来，这一损失占 GDP 的比重明显下降，到 2000 年只有 0.2%，但是“十五”末期钢铁、有色金属等产业的超高速发展使得这一比例又上升到 0.8%。第四，森林耗竭损失占 GDP 的比重相对最小，但从改革以来一直呈上升趋势，由占 GDP 比重不足 0.2% 一直上升到 90 年代中期的 0.4%。“九五”期间这一比重大幅下降，2000 年这一比重已降到 0.06%。

中国自然资产损失占 GDP 的比重十分惊人, 经历了一个先上升后下降的过程(见表 1)。70 年代初期这一损失占 GDP 的比重约为 3%—8%; 70 年代末期到 80 年代初期这一经济损失达到最高峰, 接近 GDP 的 30%; 而后逐渐下降, 在 80 年代后半期, 这一比重约为 15% 左右¹; 90 年代开始下降, 到 1995 年下降了约一半, 为 7.58%; 90 年代下半期明显下降, 到 2000 年已降至 4.88%。值得关注的是, 进入“十五”, 自然资产损失占 GDP 的比重又呈现上升, 这主要是因为能源耗竭和资源矿产消耗上升所致, 这说明经济增长的质量有所下降, 经济增长模式的逆转现象值得我们警惕。中国的各类自然资产损失占 GDP 的变化趋势反映在真实国内储蓄率呈先大幅度下降而后逐渐上升的趋势, 即由于净国内储蓄率在扣除了各种自然资本损失之后的国民财富在 90 年代以后呈现上升趋势, 出现了二者趋同的趋势。

表 1 自然资产损失和真实国内储蓄率

单位: % (占 GDP 比重)

年份	1970	1975	1980	1985	1990	1995	2000	2005
国民储蓄率	27.36	30.95	34.07	33.99	38.62	40.07	34.47	42.6
净国民储蓄率	22.35	21.91	17.16	24.64	27.88	32.31	24.68	32.9
自然资产损失比率	-2.72	-14.24	-27.54	-16.96	-15.26	-7.58	-4.88	-8.9
能源耗竭比率	-0.90	-12.01	-23.78	-13.6	-10.83	-4.50	-3.24	-6.7
矿物耗竭比率	-0.45	-0.64	-1.02	-0.49	-0.84	-0.42	-0.21	-0.8
森林耗竭比率	-0.00	-0.00	-0.23	-0.23	-0.32	-0.26	-0.06	-0.0
二氧化碳损失比率	-1.37	-1.59	-2.51	-2.64	-3.27	-2.40	-1.37	-1.4
教育支出比率	1.61	1.61	2.08	2.05	1.79	1.97	1.95	2.0
真实国内储蓄率	21.24	9.28	-8.31	9.73	14.41	26.70	21.75	26.0

资料来源: World Bank, World Development Indicator, 2006 CD-ROM。

需要特别说明的是, 由于数据的可获得性和方法的局限性, 一方面, 世界银行的这一计算并没有包括所有的自然资产损失, 不但水污染、SO₂ 污染和其他有害、有毒物质的污染损失没有计入, 而且也没有考虑生态破坏的损失, 如水土流失、土地荒漠化、生物多样性等损失; 另一方面, 世界银行对自然资产损失的计算没有考虑初级产品净进口对自然资源的正贡献, 同时对人力资本的计算也没有包括卫生支出。

在传统的国民经济核算体系中无论是高经济增长率还是高国内储蓄率都无法真正地识别真实国民财富以及各种自然资源损失的情况, 只有在绿色 GDP 的新国民经济核算体系下才能如实地反映上述情形, 尽管世界银行的估算还存在着一定的缺陷, 但是已经为我们清晰地描述了中国过去 30 年环境与

¹ 正如作者在《生存与发展》国情报告(1989)所指出的, 改革初期的经济发展是以自然资源和生态环境“透支”为其代价的, 现在看来这一代价远比我们当时估计的高得多。

发展的历史轨迹。这一变化说明，尽管资源消耗量随着经济增长上升，但是自然资产损失占GDP的比重却可能下降，通过经济增长模式的转变，可以扩大真实国民财富，提高真实国内储蓄率。

二、数据和省级增长核算

在上节中我们介绍了由经济总量数据得到的考虑环境因素所做的一些核算结果。由于方法和数据的局限性，经济总量数据的结果似乎还不能在时间趋势上反映近年来中国经济粗放式增长模式的特点。在这一节里，我们在不考虑环境因素的情况下对省级数据再做一个增长核算，并对不同地区的增长模式进行分类。这一方面是因为我们在第五节将采用省级数据对环境技术效率进行估算，另一方面我们还试图通过传统的增长核算进一步确认中国经济增长模式的粗放式背景。本文对于各地区TFP增长率的核算基于国家统计局(2006)在《新中国五十五年统计资料汇编》中公布的各地区GDP，就业人数和张军等(2004)²对于各地区资本存量的估算。本文的计算资本和劳动力的权重皆取0.5。

从一般意义下的增长模式来看，大部分地区改革开放以来的增长模式都是“粗放式”的，即资本存量的增长率大于GDP增长率。1978年到2005年期间，全国资本存量增长率比GDP增长率高出1.3个百分点，而在31个地区中只有四川、贵州、云南、陕西、甘肃和宁夏6个地区的资本存量增长率低于GDP增长率，属于“集约式”增长。

增长核算结果表明，30个地区中有18个从1978年到2005年间的TFP增长率介于3%到4%之间，天津(4.63)、浙江(4.18)、山东(4.02)、湖北(4.09)、广东(4.82)、四川(4.64)6个地区的TFP增长率超过4%，而山西(2.61)、黑龙江(2.46)、上海(2.93)、西藏(1.74)、青海(2.16)5个地区的TFP增长率则不足2%。特别需要指出的是，北京的TFP增长率远低于全国平均水平，仅为0.57%，这主要是由于其相对过高(GDP增长率低于全国平均水平而资本存量增长率居全国第二，高出平均水平5.89个百分点)的资本存量增长率导致的。

此外，从TFP增长贡献率来看，30个地区中有19个地区1978年到2005年间TFP对于GDP增长的贡献在30%到40%之间，而四川(48.76)、天津(45.21)、陕西(40.31)和云南(40.13)4个地区高于40%，另外山西(28.45)、内蒙古(28.65)、上海(29.46)、江苏(28.83)、西藏(18.36)、青海(26.59)6个地区的TFP增长贡献率低于30%。同样，北京的TFP增

² 根据作者网页上的说明，2001—2005年的计算结果是上海财经大学的张学良博士把数据库的数据按照张军等(2004)的方法更新，海南经贸职业技术学院财经系的陈刚先生补充了西藏的数据。

长贡献率远低于全国平均水平, 仅为 5.63% (见表 2)。

表 2 各地区 TFP 增长率及对增长贡献份额(1978—2005)

单位: %

省 份	GDP	资本	就业	TFP	TFP
北京	10.19	16.49	2.74	0.57	5.63
天津	10.24	10.65	0.56	4.63	45.21
河北	10.56	11.93	1.86	3.66	34.71
山西	9.18	11.55	1.59	2.61	28.45
内蒙古	10.94	13.86	1.74	3.13	28.65
辽宁	9.16	10.33	1.70	3.14	34.28
吉林	9.78	10.93	1.99	3.32	33.95
黑龙江	8.09	9.47	1.79	2.46	30.45
上海	9.93	13.25	0.76	2.93	29.46
江苏	12.49	16.54	1.24	3.60	28.83
浙江	13.13	15.73	2.17	4.18	31.82
安徽	10.51	10.88	2.33	3.91	37.22
福建	12.84	12.87	2.64	5.09	39.63
江西	9.82	11.69	1.94	3.00	30.59
山东	11.96	13.87	2.03	4.02	33.56
河南	10.83	11.49	2.63	3.76	34.75
湖北	10.47	11.50	1.26	4.09	39.10
湖南	9.20	9.65	1.77	3.49	37.97
广东	13.45	14.53	2.72	4.82	35.85
广西	9.43	9.96	2.32	3.29	34.86
海南	10.93	12.52	1.99	3.68	33.62
重庆					
四川	9.52	8.27	1.49	4.64	48.76
贵州	9.19	8.77	2.79	3.41	37.12
云南	9.39	8.89	2.35	3.77	40.13
西藏	9.50	13.97	1.53	1.74	18.36
陕西	9.65	9.44	2.09	3.89	40.31
甘肃	9.05	8.92	2.49	3.34	36.96
青海	8.14	9.64	2.30	2.16	26.59
宁夏	9.25	8.50	2.98	3.52	37.99
新疆	10.23	11.98	1.65	3.41	33.35
全国算术平均	10.24	11.60	1.98	3.44	33.61
全国加权平均	10.74	12.08	2.10	3.65	34.01

注: 资本和劳动权数均为 0.5。

如果将改革开放以来划分为两个时段，1978—1993和1993—2005。在第一个时段，全国的资本存量增长率仅比GDP增长率高出0.5个百分点。实际上，这是因为有14个地区处于“集约式”增长模式之中，其中福建、湖北、广西、四川、贵州、云南、甘肃、青海8个地区资本存量增长率更是低于GDP增长率2个百分点以上。在第二个时段，全国资本存量增长率高出GDP增长率2.4个百分点，除了天津和黑龙江的资本存量增长率分别低于GDP 1.94和1.35个百分点之外，其他所有29个地区都处于“粗放式”增长之中。

增长核算结果表明，在第一时段，出现了浙江（5.26）、福建（5.70）、湖北（5.05）、广东（5.96）4个TFP增长率超过5%的地区，同时还有天津（1.87）、吉林（1.86）、黑龙江（0.31）、上海（1.00）、西藏（0.10）、青海（1.60）、北京（-0.55）7个地区的TFP增长率低于2%，其中北京在这一时期的TFP增长竟然呈现负增长率，整体来说这一时期的TFP增长率差异很大。在第二时段，除了天津（8.12）具有远高于其他地区的增长率以外，最低的广西（1.68）地区和最高的上海地区（5.36），相差3.68个百分点，远小于第一时期。

如果将两个时期加以比较，可以发现16个地区在后一个阶段TFP增长率超过前一个时期，主要集中在华北、东北和华东地区，其中河北、四川和甘肃虽然第二个时期的TFP增长率较高，但其贡献率却低于第一个时期，而海南则刚好相反。一般认为1993—2005年这一阶段中国的TFP增长率低于之前一个阶段，然而计算结果表明有一半的地区是通过提高TFP增长率来保持GDP增长率没有因为就业增长率下降而下降（见表3）。

表3 各地区不同时期TFP增长率比较

单位：%

省 份	1978—1993年				1993—2005年			
	GDP	资本	劳动	TFP	GDP	资本	劳动	TFP
北京	9.48	17.73	2.34	-0.55	11.08	14.96	3.24	1.98
天津	8.13	10.39	2.13	1.87	12.93	10.99	-1.36	8.12
河北	9.70	9.38	2.76	3.63	11.65	15.20	0.75	3.67
山西	8.58	8.58	2.43	3.07	9.94	15.38	0.54	1.98
内蒙古	9.76	12.29	2.94	2.14	12.43	15.85	0.27	4.37
辽宁	8.69	9.96	3.18	2.12	9.74	10.80	-0.11	4.40
吉林	9.19	10.23	4.44	1.86	10.53	11.81	-0.98	5.11
黑龙江	6.86	10.40	2.69	0.31	9.66	8.31	0.67	5.17
上海	8.38	13.43	1.34	1.00	11.89	13.03	0.03	5.36
江苏	12.33	17.90	1.82	2.47	12.70	14.86	0.53	5.01
浙江	13.25	13.44	2.54	5.26	12.98	18.67	1.70	2.79
安徽	9.79	10.21	3.54	2.92	11.43	11.71	0.83	5.15
福建	13.05	11.27	3.42	5.70	12.58	14.89	1.67	4.30
江西	9.64	9.22	2.82	3.62	10.04	14.86	0.85	2.19
山东	11.47	12.26	2.62	4.03	12.58	15.91	1.30	3.98

(续表)

省 份	1978—1993 年				1993—2005 年			
	GDP	资本	劳动	TFP	GDP	资本	劳动	TFP
河南	10.42	10.12	3.04	3.84	11.33	13.24	2.12	3.65
湖北	9.88	7.72	1.94	5.05	11.22	16.41	0.41	2.81
湖南	8.39	7.91	2.59	3.14	10.23	11.87	0.75	3.92
广东	14.29	13.87	2.78	5.96	12.41	15.36	2.65	3.40
广西	8.92	5.86	3.02	4.48	10.06	15.31	1.45	1.68
海南	12.90	15.33	2.76	3.85	8.53	9.11	1.05	3.45
重庆								
四川	8.96	6.41	2.64	4.43	10.24	10.64	0.07	4.88
贵州	9.19	6.62	3.55	4.10	9.20	11.52	1.85	2.52
云南	9.67	6.64	3.08	4.81	9.05	11.77	1.45	2.44
西藏	7.21	12.96	1.26	0.10	12.42	15.25	1.87	3.86
陕西	9.57	9.00	3.12	3.51	9.75	9.98	0.82	4.36
甘肃	8.43	5.49	4.88	3.24	9.83	13.37	-0.42	3.36
青海	6.62	6.84	3.21	1.60	10.06	13.26	1.18	2.84
宁夏	8.95	5.93	3.56	4.20	9.63	11.79	2.25	2.61
新疆	11.18	12.61	1.95	3.90	9.06	11.21	1.28	2.81
全国算术平均	9.76	10.33	2.81	3.19	10.84	13.24	0.96	3.74
全国加权平均	10.19	10.72	2.79	3.43	11.44	13.80	1.25	3.92

注:资本和劳动权数均为 0.5。

三、环境数据及背景情况

20 世纪 70 年代末期以来,随着中国经济持续快速发展,发达国家上百年的工业化过程中分阶段出现的环境问题在中国集中出现,环境与发展的矛盾日益突出。资源相对短缺、生态环境脆弱、环境容量不足,逐渐成为中国发展中的重大问题。虽然中国政府在过去的二十年一直采取积极的措施投入环境治理,但是,中国环境形势依然十分严峻(周民良,2000;中华人民共和国国务院办公厅,2006;中国科学院可持续发展战略研究组,2006)。因为本文所要探讨的环境因素对技术效率的影响主要表现在环境污染物的排放对技术效率的影响,针对第一节中世界银行总量经济数据核算中的不足之处,这里选取了 5 个主要的环境污染物排放量作为考察指标,它们分别是废水、工业固体废弃物排放总量,废水中的代表性污染物 COD (Chemical Organic Demand, COD), 废气中的代表性污染物 SO_2 , 以及与能源消费密切相关的 CO_2 排放总量。³

³ 本文所采用的环境数据均来源于历年《中国环境统计公报》及《中国环境年鉴》。1989 年我国首次发布《中国环境状况公报》,从 1991 年起,部分统计指标的解释及计算方法做了修改,1990 年前的统计范围为县及以上企、事业单位,1991 年以后修改为县及县以上有污染的工业企业单位。由于除工业企业外的其他企业及事业单位的“三废”排放量占总排放量的比例非常小,尚不影响与修改前历年“三废”排放量的可比性。2001 年开始执行国家“十五”环境统计报表制度,调查口径为各地 85% 的重点调查企业,根据 85% 重点调查企业汇总后的实际情况来估算非重点调查企业数据。

（一）废水排放情况

自1989年来，全国废水排放总体呈增长趋势（王玉庆，1993；刘娇和洪河，2003），但是各地区排放量增长的速度快慢不一，总体上，东部地区废水排放量增长速度较快，中西部地区增长较慢，有的省份甚至还有所下降。年均排放量增长最快的5个省份依次是：广东、江苏、浙江、山东、福建，这5个省均为改革开放以来经济快速增长的沿海东部省份，其中广东的年均废水排放增长量高达24 678万吨，江苏、浙江、山东、福建分别为14 754、10 335、8 927、6 947万吨。相反，部分省份近年来废水排放总量呈下降趋势，如黑龙江（年均下降量为2 123万吨/年）、四川（年均下降量为1 866万吨/年）、湖北（年均下降量为751万吨/年）、辽宁（年均下降量为439万吨/年）、甘肃（年均下降量为57万吨/年），但是与排放量增加的省份的增长速度相比，排放量下降的省份其下降速度并不足以扭转全国排放量持续增长的趋势，故全国废水排放总值持续增长，特别是在“九五”和“十五”期间，增长速度加快（见表4）。

表4 废水排放量增加最快的5个省市和下降的5个省市

增长最快的5个省市	年均增长量 (万吨/年)	下降的5个城市	年均下降量 (万吨/年)
广东	24 678	黑龙江	2 123
江苏	14 754	四川	1 866
浙江	10 335	湖北	751
山东	8 927	辽宁	439
福建	6 947	甘肃	57

（二）工业固体废弃物

因为生活和农业固体废弃物统计非常困难，故一直以来都只统计工业固体废弃物排放量，因此本文也只能选用工业固体废弃物排放量来代替。从全国水平看，工业固体废弃物排放量总体呈下降趋势，部分地区如天津、江苏、海南、黑龙江、安徽、山东、上海等地对工业固体废弃物已经做到了全部综合利用或再处理，排放量已达到或接近零。截止到2005年，还有较大工业固体废弃物排放量的省份有山西、重庆、贵州、四川和广西，2005年分别排放了604.7、184.5、131.3、115.7和110.5万吨。“十五”期间，大部分地区的工业固体废弃物排放量都有了较大削减，但也有部分地区反而有所增加，如新疆、山西、重庆等，其中新疆的工业固体废弃物排放量增长最大，2005年与2000年相比，增加了46.87万吨（见表5）。

表5 “十五”期间工业固体废物排放量变化

2005年排放量最大的5个省市	排放量(万吨)	排放增加最多的5个省市	2000—2005年排放增加量(万吨)
山西	604.7	新疆	46.87
重庆	184.5	山西	22.20
贵州	131.3	重庆	16.27
四川	115.7	广西	4.93
广西	110.5	湖北	4.44

(三) COD 排放量

COD是废水中的代表性污染物，“十五”期间（2000—2005）全国COD的排放量总体呈上升趋势（彭水军等，2006），但有些地区有所上升，有些地区有所下降。排放量最大的10个省份依次为：广东、广西、江苏、湖南、四川、山东、河南、河北、辽宁和湖北；“十五”末与“十五”初相比，排放量增加最多的地区是江苏、湖南、广东、新疆、福建、山西、江西、广西、甘肃和内蒙古；排放量有所下降的地区有山东、四川、河南、湖北、吉林、北京、辽宁、河北、天津和宁夏（见表6）。

表6 “十五”期间COD排放量变化

2005年COD排放量前10名省份	排放量(万吨)	增长最多的省份	增加量(万吨)	下降最多的省份	削减量(万吨)
广东	105.8	江苏	31.2	山东	22.9
广西	107	湖南	22.1	四川	19.3
江苏	96.6	广东	10.7	河南	9.9
湖南	89.5	新疆	7.4	湖北	8.6
四川	78.3	福建	7.2	吉林	6.9
山东	77.0	山西	7.0	北京	6.3
河南	72.1	江西	6.7	辽宁	5.7
河北	66.1	广西	4.4	河北	4.6
辽宁	64.4	甘肃	4.4	天津	4.0
湖北	61.6	内蒙古	4.1	宁夏	3.2

(四) SO₂排放量

对于大多数省市，SO₂排放量经历了一个先增长（1989—1998），后下降（1998—2003），再增长（2003—2005）的过程，2003年后迎来新一轮的增长高峰（中国科学院可持续发展战略研究组，2006；彭水军和包群，2006）。从表7中可以看出，山东、河南、山西、河北、内蒙古、江苏、贵州和四川的SO₂排放总量位于全国前列，但排放增长速度最快的10个地区分别是青海、福建、新疆、宁夏、广东、内蒙古、河南、云南和海南，特别引人注目的是

一些西部省份如青海、新疆、宁夏、内蒙古、贵州、云南等表现出了非常高的增长率（见表7）。

表7 SO₂排放量最大的10个省市和增长率最高的10个省市

2005年排放量最大的10个省市	排放量(万吨)	增长率最高的10个省市	增长率(%)
山东	200.3	青海	313.3
河南	162.5	福建	254.6
山西	151.6	新疆	246.0
河北	149.6	宁夏	211.8
内蒙古	145.6	广东	208.1
江苏	137.3	内蒙古	197.1
贵州	135.8	贵州	151.5
四川	129.9	河南	139.0
广东	129.4	云南	127.0
辽宁	119.7	海南	120.0

(五) CO₂排放量

因为历年的环境统计年鉴上都没有CO₂的统计数据，但CO₂的排放与各种能源的使用又密切相关，所以本文对省级CO₂的排放量重新进行了测算。目前能源消费与CO₂排放之间的计算方法一般是采用如下方法计算（节能与环保杂志社，2006），即：

$$\text{CO}_2 \text{ 排放量} = \text{含碳能源消费量} \times \text{碳折算系数} \times \text{CO}_2 \text{ 气化系数。}$$

含碳能源一般是指煤炭、石油和天然气等在消费过程中会释放出CO₂的能源。CO₂气化系数是指碳完全氧化成为二氧化碳之后与之前的质量之比，是一个标准量3.67（即44:12）。这里面唯一的不同就是“碳折算系数”，目前国内比较通行的是三种口径，第一种是国家发改委能源研究所制定的系数0.67，第二种是美国能源部二氧化碳信息分析中心（CDIAC）制定的系数0.69，第三种是日本能源经济研究所（IEE, Japan）制定的系数0.68，本文采用了第一种。

本文各地区“能源消费结构”数据和1990—1994年能源消费数据总量数据来自《新中国五十五年统计资料汇编》（国家统计局，2006），各地区1995—2004年能源消费数据总量数据来自《中国能源统计年鉴》（国家统计局，2000，2003，2004，2005）。目前由于山西和上海的能源消费结构数据是终端能源消费数据，无法直接使用，采用“能源生产结构”数据代替，部分数据缺失采用简单线性插值补齐（见表8）。

表8 CO₂排放量最大的10个省市和增长率最高的10个省市

2004年排放量 最大的10个省市	排放量 (万吨)	1999—2004年平均增长率 最高的10个省市	增长率 (%)
山东	48 204.81	宁夏	23.96
河北	38 732.34	山东	16.70
江苏	33 370.72	内蒙古	14.90
辽宁	32 022.10	浙江	14.28
广东	29 892.72	广西	12.82
山西	27 587.44	陕西	12.58
浙江	25 503.09	海南	12.47
湖北	21 194.94	湖南	12.12
四川	18 770.33	江西	11.67
内蒙古	18 689.72	山西	11.60

四、方向性距离函数模型

如前文所述,由于数据的可获得性,世界银行的绿色GDP计算没有包括水污染、SO₂污染和其他有害、有毒物质的污染损失。另外由于方法的局限性,即使有这方面的数据,具体估算这些污染物所造成的经济损失也是十分困难的,因为存在一个如何设定污染排放物的价格问题。目前一些生产率模型已经开始考虑环境因素的影响,比如方向性距离函数模型。这类模型的优点在于,它既可以考虑环境因素的影响,又继承了传统生产率分析技术的系统性和结构性框架,相对于目前流行的直观的绿色GDP推算方法有着较为广泛的应用前景。另外方向性距离函数模型在测算绿色TFP时不需要污染排放的价格数据。

方向性距离函数较早的讨论有Chambers *et al.* (1996)。投入距离函数与成本函数互为对偶关系,产出距离函数与产值函数互为对偶关系,而方向性距离函数的一个经济学意义是它与利润函数互为对偶关系,并且可以证明投入和产出距离函数是方向性距离函数的特例(Färe *et al.*, 1994)。较早将方向性距离函数应用于考虑环境因素的生产率测算的有Chung *et al.* (1997),该研究定义了以方向性距离函数来表述的Malmquist-Luenberger生产率变化指数,并可将生产率拆分为技术进步和技术效率改善两个部分。本文侧重将基于方向性距离函数的“环境技术效率”概念应用于中国省级经济总量数据。通过对标准的DEA类型的线性规划问题的求解,我们试图对中国30个省市自治区的技术效率在考虑了环境因素的情况下进行重新排名。

下面我们主要参照Jeon and Sickles (2004)中的表达形式来介绍本文所采用的方向性距离函数模型。含污染排放的生产可能集表述如下:

$$F^t = \{(x^t, y^t, b^t) \mid x^t \text{ can produce } (y^t, b^t)\},$$

其中 b 表示作为产出之一的污染排放。同时引入产出的弱自由处置假设为：

$$(x^t, y^t, b^t) \in F^t \quad \text{and} \quad 0 \leq \theta \leq 1 \quad \text{imply} \quad (x^t, \theta y^t, \theta b^t) \in F^t,$$

以及产出与污染排放的联合生产假设为：

$$\text{If } (x^t, y^t, b^t) \in F^t \quad \text{and} \quad b^t = 0 \quad \text{then} \quad y^t = 0.$$

根据标准的产出距离函数的定义：

$$\begin{aligned} D_0^t(x^t, y^t, b^t) &= \inf \{\theta \mid (x^t, y^t/\theta, b^t/\theta) \in F^t\} \\ &= (\sup \{\theta \mid (x^t, \theta y^t, \theta b^t) \in F^t\})^{-1}. \end{aligned}$$

在忽略污染排放的情况下（即忽略产出 b 的情况下），通过 DEA 模型可以计算距离函数的值：

$$\begin{aligned} &(\hat{D}_0^t(x^t(k^*), y^t(k^*), b^t(k^*)))^{-1} = \max \theta(k^*), \\ \text{s. t.} \quad &\theta(k^*) y_m^t(k^*) \leq \sum_{k=1}^K \lambda^t(k) y_m^t(k), \quad m = 1, \dots, M, \\ &\sum_{k=1}^K \lambda^t(k) x_l^t(k) \leq x_l^t(k^*), \quad l = 1, \dots, L, \\ &\lambda^t(k) \geq 0, \quad k = 1, \dots, K. \end{aligned}$$

我们用距离函数来定义技术效率，其具体度量为一个在 0 与 1 之间的指数，表示如下：

$$\text{技术效率} = \frac{1}{\hat{D}_0^t(x^t, y^t, b^t)} \Big|_{b=0}.$$

定义含污染排放的产出集为：

$$P(x^t) = \{(y^t, b^t) \mid (x^t, y^t, b^t) \in F^t\}.$$

当方向向量为 g 时，方向性距离函数的定义为：

$$\hat{D}_0^t(x^t, y^t, b^t; g) = \sup \{\beta \mid (y^t + \beta g_y, b^t - \beta g_b) \in P(x^t)\}.$$

当方向向量为 (y, b) ，方向性距离函数与标准距离函数之间的关系如下：

$$\begin{aligned} \vec{D}_0^t(x^t, y^t, b^t; y, b) &= \sup \{\beta \mid (y^t + \beta g_y, b^t + \beta g_b) \in P(x^t)\} \\ &= \sup \{\beta \mid (y^t(1 + \beta), b^t(1 + \beta)) \in P(x^t)\} \\ &= \sup \{-1 + (1 + \beta) \mid (y^t(1 + \beta), b^t(1 + \beta)) \in P(x^t)\} \\ &= -1 + \sup \{(1 + \beta) \mid (y^t(1 + \beta), b^t(1 + \beta)) \in P(x^t)\} \\ &= -1 + \frac{1}{D_0^t(x^t, y^t, b^t)}. \end{aligned}$$

在文献中,方向性距离函数也可以通过求解类似标准 DEA 模型的线性规划问题来计算,

$$\begin{aligned} \hat{D}_0^t(x^t(k^*), y^t(k^*), b^t(k^*); y^t(k^*), -b^t(k^*)) &= \max \beta, \\ \text{s. t. } (1 + \beta)y_m^t(k^*) &\leq \sum_{k=1}^K \lambda^t(k)y_m^t(k), \quad m = 1, \dots, M, \\ \sum_{k=1}^K \lambda^t(k)b_n^t(k) &= (1 - \beta)b_n^t(k^*), \quad n = 1, \dots, N, \\ \sum_{k=1}^K \lambda^t(k)x_l^t(k) &\leq x_l^t(k^*), \quad l = 1, \dots, L, \\ \lambda^t(k) &\geq 0, \quad k = 1, \dots, K. \end{aligned}$$

这类模型的较早期非线性版本出现在 Färe *et al.* (1989)。

模仿采用标准距离函数的技术效率度量,方向性距离函数的效率度量也可以定义为一个在 0 与 1 之间的指数,

$$\text{方向性技术效率} = \frac{1}{1 + \vec{D}_0^t(x^t, y^t, b^t; y^t, -b^t)}.$$

值得注意的是,根据这个定义,当观测点在生产前沿上时,方向性距离函数的值为零,相应的技术效率也为 1,即 100%。我们暂且用它来进行技术效率排名。但上述模型在实际应用中,在某些情况下常常会出现大量的效率为 100% 的生产单位。因此文献中也提到可以用非射线的效率度量模型来拉开生产单位之间技术效率的排名差距,如 Tyteca (1997) 在假设正常产出效率相同情况下采用了下面的模型:

$$\begin{aligned} (\vec{D}_0^t(x^t(k^*), y^t(k^*), b^t(k^*)))^{-1} &= \min \theta(k^*), \\ \text{s. t. } y_m^t(k^*) &\leq \sum_{k=1}^K \lambda^t(k)y_m^t(k), \quad m = 1, \dots, M, \\ \sum_{k=1}^K \lambda^t(k)b_n^t(k) &= \theta(k^*)b_n^t(k^*), \quad n = 1, \dots, N, \\ \sum_{k=1}^K \lambda^t(k)x_l^t(k) &\leq x_l^t(k^*), \quad l = 1, \dots, L, \\ \lambda^t(k) &\geq 0, \quad k = 1, \dots, K. \end{aligned}$$

上面的模型还可以与加权非射线效率模型 (Seifert and Zhu, 1998) 组合形成环境非射线效率模型 (Zhou *et al.*, 2007)。

五、采用不同模型的经验估算结果和分析

下面对采用不同模型的经验估算结果进行分析。郑京海和胡鞍钢 (2005) 采用 DEA 在没有考虑环境因素的情况下给出了 1979 至 2001 年间各省技术效

率的排名。而我们一方面观察在考虑了环境因素的影响情况下省际技术效率的排名是否发生了变化，另一方面考察在第二部分中省级增长方式的分类与省级技术效率表现之间是否具有一定的联系或相关性。

(一) 技术效率的地区分布

在考虑单一环境因素的估计中，技术效率东部地区最高，中部地区次之，西部地区最低，其分布呈现出技术效率越高的地区差距往往也较小的情况：各地区考虑废水排放的技术效率均最高，同时中部和西部地区与东部地区的差距在各类环境因素之间也最小，分别为 0.046 和 0.108，西部地区与东部地区的最大差距出现在整体技术效率最低的考虑固体废弃物排放的技术效率上，为 0.222，而中部地区与东部地区的最大差距出现在整体技术效率次低的考虑 SO_2 排放的技术效率上，为 0.125（见表 9）。

表 9 不同环境因素下的地区技术效率分布(各年度平均)

	东部	中部	西部
忽略环境因素	0.714	0.602	0.427
CO_2	0.894	0.820	0.741
COD	0.875	0.768	0.723
SO_2	0.886	0.761	0.670
固体废弃物	0.793	0.700	0.571
废水	0.908	0.862	0.800

在考虑双环境因素的估计中，整体技术效率都会往生产前沿移动，因此呈现出技术效率整体较单一环境因素高的情况。此外，考虑两个环境因素的估计在不同组别之间的差异较单一环境因素为小，但是最大差异仍然出现在整体水平较低的考虑 SO_2 和固体废弃物的技术效率估计中，中部地区与东部地区的差距为 0.084，西部地区与东部地区的差距为 0.215。而两个地区与东部地区的最小差距则出现在考虑 CO_2 和固体废弃物的估计中，中部地区与东部地区的差距仅为 0.010，在考虑固体废弃物和废水的估计中，西部地区与东部地区的差距仅为 0.099（见表 10）。

表 10 不同环境因素下的地区技术效率分布(各年度平均)

	东部	中部	西部
忽略环境因素	0.714	0.602	0.427
CO_2 和 COD	0.964	0.905	0.780
CO_2 和 SO_2	0.946	0.896	0.802
CO_2 和固体废弃物	0.921	0.911	0.769
CO_2 和废水	0.980	0.932	0.843
COD 和 SO_2	0.921	0.861	0.795

(续表)

	东部	中部	西部
COD和固体废弃物	0.900	0.859	0.764
COD和废水	0.941	0.895	0.830
SO ₂ 和固体废弃物	0.902	0.818	0.687
SO ₂ 和废水	0.954	0.886	0.850
固体废弃物和废水	0.928	0.909	0.829

从技术效率地区分布的年度变化来看,无论是单一环境因素平均还是两环境因素组平均,其变化趋势都是类似的:即东部地区的技术效率最高,都呈现出先下降后上升的趋势,单一环境因素平均在2004年达到最低值0.864,两环境因素组平均在2003年达到最低值0.926;中部地区技术效率居中,但是呈现出明显的对东部地区的追赶,单一环境因素平均与东部地区的差距从1999年的0.095缩小到2005年的0.084,两环境因素组平均的差距从1999年的0.064缩小到2005年的0.046;西部地区技术效率最低,而且呈现下降趋势,与东部和中部地区的差距都在扩大,单一环境因素平均值从1999年的0.730下降到2005年的0.689,与东部地区的差距从0.139扩大到0.180,两环境因素组平均值从1999年的0.818下降到2005年的0.781,与东部地区的差距从0.121扩大到0.156(见表11)。

表11 不同年份下的地区技术效率分布

	单一环境因素平均			两环境因素组平均		
	东部	中部	西部	东部	中部	西部
1999	0.869	0.774	0.730	0.939	0.875	0.818
2000	0.877	0.790	0.702	0.941	0.885	0.810
2001	0.877	0.790	0.706	0.940	0.892	0.815
2002	0.873	0.780	0.706	0.934	0.887	0.802
2003	0.868	0.774	0.701	0.926	0.891	0.794
2004	0.864	0.782	0.691	0.934	0.890	0.793
2005	0.869	0.785	0.689	0.939	0.875	0.818

(二) 技术效率排名

与忽略环境因素的地区技术效率排名相比,考虑环境因素的排名发生了一定的变化,一些地区,如北京、河南、广西、贵州、西藏、甘肃都出现了比较明显的排名进步,其中西藏在单一环境因素和两环境因素组的平均排名分别进步了10名和14名,是进步最明显的地区;而山西、吉林、浙江、宁夏、新疆则出现了比较明显的排名退步,其中新疆在单一环境因素和两环境因素组的平均排名分别退步了8名和10名,是退步最明显的地区。这种变化反映出各地区环境因素的对产出影响的强弱:即排名进步的地区环境因素的影响相对较小,而排名退步的地区影响相对较大(见表12)。

表 12 各地区技术效率排名分布

地区	忽略环境 因素排名	单一环境因素				两环境因素组			
		平均 排名	排名 变化	年度 极差	因素 极差	平均 排名	排名 变化	年度 极差	因素 极差
北京	19	15	4	5	19	12	7	6	20
天津	8	9	-1	6	12	8	0	6	15
河北	16	17	-1	2	15	19	-3	3	14
山西	20	28	-8	3	3	18	2	6	28
内蒙古	17	21	-4	6	15	18	-1	8	27
辽宁	1	1	0	0	0	1	0	0	0
吉林	11	15	-4	3	4	16	-5	5	11
黑龙江	13	15	-2	6	12	13	0	6	25
上海	1	1	0	0	0	1	0	0	0
江苏	5	3	2	4	5	2	3	4	5
浙江	9	11	-2	4	1	15	-6	3	4
安徽	4	3	1	5	5	1	3	0	0
福建	10	8	2	3	8	8	2	1	15
江西	12	14	-2	4	9	16	-4	4	11
山东	15	15	0	4	7	17	-2	10	11
河南	26	19	7	2	10	20	6	2	10
湖北	6	6	0	7	8	4	2	8	9
湖南	25	23	2	2	8	26	-1	5	10
广东	7	10	-3	3	7	9	-2	4	16
广西	28	26	2	4	15	22	6	5	29
海南	14	11	3	4	12	10	4	4	20
四川	29	25	4	6	14	26	3	4	15
贵州	30	27	3	4	6	18	12	8	26
云南	1	2	-1	6	6	1	0	0	0
西藏	21	11	10	11	16	7	14	16	15
陕西	24	24	0	5	5	25	-1	4	6
甘肃	27	22	5	5	6	23	4	4	7
青海	23	20	3	8	5	25	-2	6	5
宁夏	22	28	-6	7	7	28	-6	3	11
新疆	18	26	-8	7	5	28	-10	1	7

注：极差指最高排名与最低排名的名次差。

另一方面，考虑单一环境因素和考虑两环境因素组的技术效率排名则基本比较接近，说明环境因素对技术效率排名的影响是比较稳定的；在同一种分类中，技术效率排名在时间维度上的变化一般都远远小于在不同环境因素（组）之间的差异，说明各地区在不同环境因素之间具有比较明显的偏向。例如山西和贵州在考虑两环境因素组下的技术效率平均排名与在单一环境因素下的平均排名差异较大就是因为两个地区都有三个两环境因素组的技术效率排名处在第一，其中山西均与固体废弃物排放有关而贵州均与 SO_2 排放有关（见附表 4）。

(三) 生产前沿

在考虑单一环境因素的估计中,总体来说,辽宁和上海是始终处于生产前沿的,其中,考虑 CO_2 的估计结果和其他环境因素的差别较大,仅有湖北处于生产前沿,而在考虑其他四个环境因素的估计中,安徽和云南均处于生产前沿。此外,江苏在考虑 COD、 SO_2 和固体废弃物排放的估计中处于生产前沿,西藏在考虑 SO_2 的估计中处于生产前沿,而天津在考虑废水排放的估计中处于生产前沿(见表 13)。

表 13 不同环境因素下的最佳实践省份(各年度平均)

	最佳实践省份
忽略环境因素	辽宁、上海、云南
CO_2	辽宁、上海、湖北
COD	辽宁、上海、江苏、安徽、云南
SO_2	辽宁、上海、江苏、安徽、云南、西藏
固体废弃物	辽宁、上海、江苏、安徽、云南
废水	天津、辽宁、上海、安徽、云南

与之对照,在考虑两环境因素的估计结果中,有更多的省份移动到了生产前沿上。在忽略环境因素的估计中处于前沿的辽宁、上海和云南在考虑各类环境因素组的估计中仍然处于前沿。此外,江苏(除了 SO_2 和固体废弃物组)和安徽在各类环境因素组合中也基本都处在生产前沿。相比来说, CO_2 、 SO_2 和废水排放这三个环境因素的两两组合所对应的估计,有比较多的地区处于生产前沿,三种组合分别为 CO_2 和 SO_2 12 个, CO_2 和废水 10 个, SO_2 和废水 13 个。

此外,湖北在六个组合,天津在五个组合中分别处于前沿。山西在和固体废弃物有关的四个组合,海南和贵州在和 SO_2 有关的四个组合中分别都有三个处于前沿,但是在 SO_2 和固体废弃物的组合中均不在前沿,这应该和这些地区的排放特征直接相关(见表 14)。

表 14 不同环境因素下的最佳实践省份(各年度平均)

	最佳实践省份
忽略环境因素	辽宁、上海、云南
CO_2 和 COD	辽宁、上海、江苏、安徽、湖北、广东、广西、云南
CO_2 和 SO_2	北京、辽宁、黑龙江、上海、江苏、安徽、福建、湖北、广西、海南、贵州、云南
CO_2 和固体废弃物	山西、辽宁、黑龙江、上海、江苏、安徽、湖北、云南
CO_2 和废水	天津、内蒙古、辽宁、上海、江苏、安徽、湖北、广东、广西、云南
COD 和 SO_2	辽宁、上海、江苏、安徽、湖北、海南、贵州、云南、西藏
COD 和固体废弃物	山西、辽宁、上海、江苏、安徽、云南

(续表)

最佳实践省份	
COD 和废水	天津、辽宁、上海、江苏、安徽、云南
SO ₂ 和固体废弃物	天津、辽宁、上海、安徽、云南
SO ₂ 和废水	天津、内蒙古、辽宁、上海、江苏、安徽、福建、湖北、广东、海南、贵州、云南、西藏
固体废弃物和废水	天津、山西、辽宁、上海、江苏、安徽、云南

在不同年份上，最佳实践省份的分布相对比较稳定，相比单一环境因素，考虑两因素的估计结果有更多的省份移动到了生产前沿上。在单一环境因素的估计中，辽宁、上海始终处于生产前沿上，从 2000 年开始安徽和云南也一直处于生产前沿上，而湖北从 2000 年之后就退出了生产前沿，而江苏则在 2000、2002、2004 和 2005 年处于生产前沿。在两环境因素因素的估计中，辽宁、上海、安徽、云南始终处于生产前沿，江苏在除了 2003 年以外的年份也都处于生产前沿。此外，湖北在 2002 年以前也一直处在生产前沿上，在这个时期，西藏除了 2000 年以外也处于生产前沿（见表 15）。

表 15 不同年份下的最佳实践省份

	单一环境因素平均	两环境因素组平均
1999	辽宁、上海、湖北	辽宁、上海、江苏、安徽、湖北、云南、西藏
2000	辽宁、上海、江苏、安徽、湖北、云南	辽宁、上海、江苏、安徽、湖北、云南
2001	辽宁、上海、安徽、云南	辽宁、上海、江苏、安徽、湖北、云南、西藏
2002	辽宁、上海、江苏、安徽、云南	辽宁、上海、江苏、安徽、湖北、云南、西藏
2003	辽宁、上海、安徽、云南	辽宁、上海、安徽、云南
2004	辽宁、上海、江苏、安徽、云南	辽宁、上海、江苏、安徽、云南
2005	辽宁、上海、江苏、安徽、云南	辽宁、上海、江苏、安徽、云南

(四) 增长方式与技术效率进步

本文采用资本存量增长率和 GDP 增长率的比值来衡量一个地区的增长模式，如果该比值小于 1，说明前者小于后者，该地区为“集约式”增长。在 1999 年到 2005 年期间，天津、上海、海南、黑龙江和四川五个地区属于这种模式。（见表 16）进一步分析增长模式特征与地区技术效率排名进步我们可以看到，无论是考虑单一环境因素还是考虑两环境因素组的估计，各地区 1999 到 2005 年间资本存量平均增长率和 GDP 平均增长率的比值与这一时期技术效率（排名）的进步呈现出比较明显的负相关关系（见图 1、图 2）。这也就是说，一个地区增长模式越是接近集约式，其技术效率的进步就越快；反之一个地区增长模式越是接近“粗放式”，其技术效率的进步就越慢。

表 16 各地区增长方式划分(1999—2005)

增长方式	地 区
集约式增长	天津(0.74), 上海(0.83), 海南(0.83), 黑龙江(0.84), 四川(0.85)
粗放式增长	广东(1.04), 福建(1.07), 新疆(1.09), 北京(1.10), 陕西(1.11), 江苏(1.13), 河南(1.15), 河北(1.16), 安徽(1.16), 辽宁(1.17) 云南(1.24), 湖南(1.25), 山西(1.26), 吉林(1.27), 广西(1.27), 山东(1.29), 内蒙古(1.33), 青海(1.36) 贵州(1.41), 宁夏(1.41), 浙江(1.43), 江西(1.54), 甘肃(1.59), 湖北(1.63), 西藏(1.79)

注: 括号中数字为资本存量年平均增长率与 GDP 年平均增长率之比。

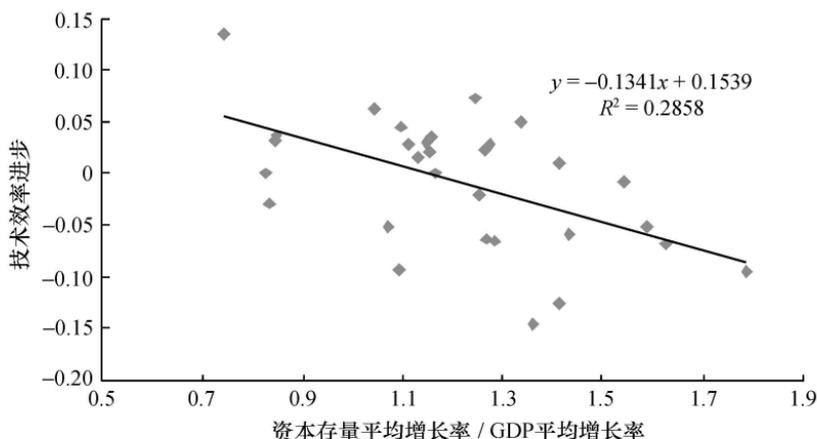


图 1 增长模式与单一环境因素平均技术效率进步(1999—2005)

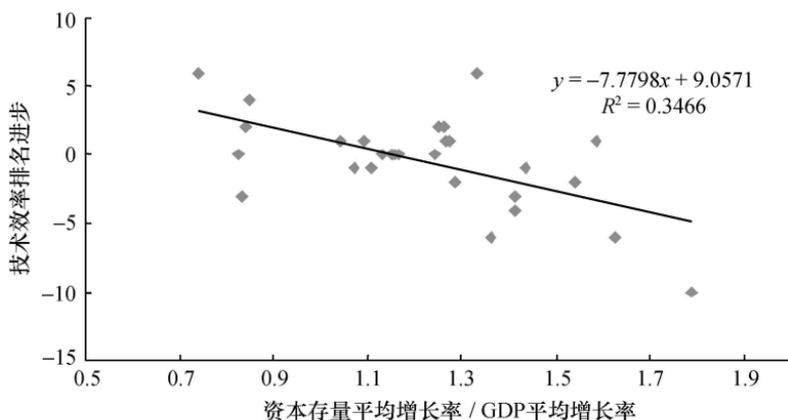


图 2 增长模式与两环境因素组平均技术效率排名进步(1999—2005)

六、结 论

伴随着中国的经济发展, 环境因素对于 GDP 的影响已经越来越受到关注。本文采用以方向性距离函数为表述的全要素生产率模型, 对于中国各

地区的生产率绩效度量中的“技术效率”指标在考虑了环境因素的情况下进行了分析。

从估算结果来看，在测算时期内，东部地区考虑了环境因素的技术效率最高，中部地区次之，西部地区最低。在考虑单一环境因素的估计中，地区技术效率分布呈现出技术效率越高的项目地区差距往往也较小的情况，这说明环境因素对于技术效率的影响存在梯度，越是影响小，容易解决的项目（像废水）各地区的技术、投入差距就小，技术效率差距就越小；反之影响大、难于解决的项目（像 SO_2 和固体废弃物）各地区的技术、投入差距就大，技术效率差距就大。另一方面，测算期内，中部地区对东部地区不断追赶，技术效率水平提高，差距缩小，而西部地区技术效率水平下降，和东部地区的差距不断拉大。这说明在“西部大开发”战略实施以后，西部地区虽然增长迅速，但是却忽视了效率的提高，增长模式趋向“粗放”。

从技术效率的排名来看，在考虑与忽略环境因素情况下的差异反映了各地区环境因素对于产出影响的强弱。此外考虑单一环境因素和考虑两环境因素组的技术效率排名则基本比较接近，而技术效率排名在时间维度上的变化一般都远远小于在不同环境因素（组）之间的差异，这说明环境因素对技术效率排名的影响是比较稳定的同时在各地区在不同环境因素之间具有比较明显的偏向。

从生产前沿分析来看，考虑了环境因素的前沿面构成，除了有传统意义的高技术效率地区，如上海、江苏，还包括像辽宁、安徽、云南等在考虑各类环境因素下的高技术效率地区，这也表明，在排除了环境因素的影响下，可以更清晰地认识地区生产率绩效的特征。同时，在不同环境因素的估计中，还有部分地区在考虑特定的环境因素（组）的估计中，处于了生产前沿面。山西在和固体废弃物有关的四个组合，海南和贵州在和 SO_2 有关的四个组合中的三个都处于生产前沿，这也说明特定地区的生产率绩效与该地区的环境因素特征有直接的关系，这为未来地区生产率绩效分析提供了可以借鉴的途径和工具。

本文另外一个重要的结论就是认为各地区考虑环境因素的技术效率的进步与地区增长模式具有重要的关联，一个地区增长模式越是接近“集约式”，其技术效率的进步就越快；反之，一个地区增长模式越是接近“粗放式”，其技术效率的进步就越慢，这一结论对于指导地区经济增长道路的选择具有重要的指导作用。实际上在近年来中国总体 TFP 增长放缓的大背景下，扭转地区经济普遍的“粗放式”增长模式，提高地区技术效率的进步，对于保持中国长期可持续增长具有重要的意义。当然，进一步的工作就是要以定量的方法，来找出其他影响技术效率进步的因素以及影响地区增长模式的影响因素，从而为地区经济增长提供更为充分的政策分析。

附表1 省市自治区考虑环境因素的技术效率排名(单一环境因素平均)

地区	1999年		2000年		2001年		2002年		2003年		2004年		2005年	
	技术效率	排名												
北京	0.792	(15)	0.782	(16)	0.802	(15)	0.810	(14)	0.813	(13)	0.812	(13)	0.837	(11)
天津	0.843	(12)	0.885	(10)	0.884	(11)	0.945	(8)	0.922	(10)	0.945	(6)	0.978	(6)
河北	0.729	(19)	0.740	(17)	0.741	(18)	0.718	(18)	0.719	(18)	0.729	(18)	0.750	(18)
山西	0.595	(30)	0.609	(29)	0.608	(29)	0.601	(29)	0.600	(29)	0.612	(27)	0.617	(27)
内蒙古	0.662	(26)	0.672	(23)	0.671	(23)	0.667	(21)	0.663	(21)	0.691	(20)	0.712	(20)
辽宁	1.000	(1)	1.000	(1)	1.000	(1)	1.000	(1)	1.000	(1)	1.000	(1)	1.000	(1)
吉林	0.775	(17)	0.786	(15)	0.813	(14)	0.803	(15)	0.806	(14)	0.806	(14)	0.803	(14)
黑龙江	0.792	(16)	0.819	(13)	0.795	(16)	0.775	(16)	0.780	(16)	0.851	(10)	0.823	(13)
上海	1.000	(1)	1.000	(1)	1.000	(1)	1.000	(1)	1.000	(1)	1.000	(1)	1.000	(1)
江苏	0.985	(4)	1.000	(1)	0.996	(5)	1.000	(1)	0.999	(5)	1.000	(1)	1.000	(1)
浙江	0.905	(8)	0.879	(11)	0.891	(10)	0.860	(12)	0.855	(12)	0.850	(11)	0.847	(10)
安徽	0.966	(5)	1.000	(6)	1.000	(1)	1.000	(1)	1.000	(1)	1.000	(1)	1.000	(1)
福建	0.951	(6)	0.959	(7)	0.952	(7)	0.953	(7)	0.926	(9)	0.912	(9)	0.900	(9)
江西	0.797	(14)	0.828	(12)	0.837	(13)	0.828	(13)	0.804	(15)	0.783	(16)	0.788	(16)
山东	0.825	(13)	0.815	(14)	0.781	(17)	0.739	(17)	0.743	(17)	0.758	(17)	0.760	(17)
河南	0.705	(21)	0.721	(20)	0.723	(19)	0.709	(19)	0.714	(19)	0.724	(19)	0.734	(19)
湖北	1.000	(1)	1.000	(1)	0.995	(6)	0.983	(6)	0.941	(6)	0.920	(8)	0.931	(7)
湖南	0.674	(24)	0.678	(22)	0.674	(22)	0.659	(22)	0.657	(22)	0.654	(23)	0.654	(24)
广东	0.863	(10)	0.934	(8)	0.919	(9)	0.925	(10)	0.927	(8)	0.936	(7)	0.925	(8)
广西	0.672	(25)	0.624	(27)	0.628	(27)	0.619	(27)	0.612	(27)	0.609	(28)	0.608	(29)
海南	0.856	(11)	0.909	(9)	0.932	(8)	0.911	(11)	0.901	(11)	0.820	(12)	0.826	(12)
四川	0.623	(28)	0.651	(25)	0.644	(25)	0.638	(25)	0.630	(24)	0.643	(25)	0.660	(22)
贵州	0.614	(29)	0.612	(28)	0.614	(28)	0.609	(28)	0.602	(28)	0.616	(26)	0.625	(25)
云南	0.928	(7)	1.000	(1)	1.000	(1)	1.000	(1)	1.000	(1)	1.000	(1)	1.000	(1)
西藏	0.885	(9)	0.737	(18)	0.850	(12)	0.929	(9)	0.935	(7)	0.788	(15)	0.790	(15)
陕西	0.630	(27)	0.670	(24)	0.655	(24)	0.640	(24)	0.640	(23)	0.655	(22)	0.658	(23)
甘肃	0.714	(20)	0.679	(21)	0.676	(21)	0.650	(23)	0.629	(25)	0.652	(24)	0.662	(21)
青海	0.771	(18)	0.726	(19)	0.690	(20)	0.678	(20)	0.671	(20)	0.658	(21)	0.624	(26)
宁夏	0.699	(23)	0.606	(30)	0.595	(30)	0.588	(30)	0.584	(30)	0.600	(30)	0.573	(30)
新疆	0.701	(22)	0.637	(26)	0.632	(26)	0.622	(26)	0.612	(26)	0.606	(29)	0.608	(28)

附表 2 省市区考虑环境因素的技术效率排名(各年度平均)

地区	考虑环境因素的技术效率排名																							
	忽略环境因素的				CO ₂				COD				SO ₂				固体废物				废水			
	技术效率	排名	技术效率	排名	技术效率	排名	技术效率	排名	技术效率	排名	技术效率	排名	技术效率	排名	技术效率	排名	技术效率	排名	技术效率	排名	技术效率	排名		
北京	0.426	(19)	0.796	(18)	0.946	(6)	0.929	(11)	0.501	(25)	0.862	(18)												
天津	0.859	(8)	0.870	(13)	0.910	(10)	0.890	(13)	0.903	(8)	1.000	(1)												
河北	0.550	(16)	0.701	(24)	0.777	(15)	0.676	(18)	0.575	(16)	0.933	(9)												
山西	0.406	(20)	0.593	(29)	0.654	(26)	0.547	(29)	0.500	(29)	0.736	(26)												
内蒙古	0.522	(17)	0.644	(27)	0.700	(22)	0.585	(23)	0.540	(19)	0.915	(12)												
辽宁	1.000	(1)	1.000	(1)	1.000	(1)	1.000	(1)	1.000	(1)	1.000	(1)												
吉林	0.661	(11)	0.801	(17)	0.731	(17)	0.820	(14)	0.755	(13)	0.886	(15)												
黑龙江	0.615	(13)	0.730	(22)	0.723	(19)	0.819	(15)	0.862	(10)	0.891	(14)												
上海	1.000	(1)	1.000	(1)	1.000	(1)	1.000	(1)	1.000	(1)	1.000	(1)												
江苏	0.981	(5)	0.989	(4)	1.000	(1)	1.000	(1)	1.000	(1)	0.996	(6)												
浙江	0.737	(9)	0.888	(12)	0.883	(11)	0.895	(12)	0.763	(12)	0.917	(11)												
安徽	0.997	(4)	0.976	(6)	1.000	(1)	1.000	(1)	1.000	(1)	1.000	(5)												
福建	0.727	(10)	0.979	(5)	0.944	(7)	0.996	(8)	0.849	(11)	0.912	(13)												
江西	0.620	(12)	0.937	(8)	0.779	(14)	0.800	(16)	0.661	(14)	0.869	(17)												
山东	0.553	(15)	0.821	(14)	0.798	(13)	0.681	(17)	0.642	(15)	0.930	(10)												
河南	0.345	(26)	0.914	(11)	0.723	(20)	0.644	(20)	0.521	(20)	0.790	(21)												
湖北	0.902	(6)	1.000	(1)	0.941	(8)	0.995	(9)	0.947	(6)	0.953	(7)												
湖南	0.353	(25)	0.782	(19)	0.663	(25)	0.639	(21)	0.517	(21)	0.719	(27)												
广东	0.861	(7)	0.935	(9)	0.914	(9)	0.984	(10)	0.877	(9)	0.881	(16)												
广西	0.314	(28)	0.819	(15)	0.580	(30)	0.579	(24)	0.506	(23)	0.640	(30)												
海南	0.556	(14)	0.924	(10)	0.747	(16)	0.999	(7)	0.905	(7)	0.822	(19)												
四川	0.313	(29)	0.816	(16)	0.631	(28)	0.566	(27)	0.500	(30)	0.694	(29)												
贵州	0.269	(30)	0.619	(28)	0.663	(28)	0.528	(30)	0.501	(28)	0.755	(24)												
云南	1.000	(1)	0.949	(7)	1.000	(1)	1.000	(1)	1.000	(1)	1.000	(1)												
西藏	0.385	(21)			0.865	(12)	1.000	(1)	0.571	(17)	0.944	(8)												
陕西	0.355	(24)	0.721	(23)	0.670	(23)	0.569	(25)	0.501	(27)	0.789	(22)												
甘肃	0.334	(27)	0.749	(20)	0.718	(21)	0.566	(26)	0.501	(24)	0.796	(20)												
青海	0.369	(23)	0.733	(21)	0.725	(18)	0.660	(19)	0.554	(18)	0.770	(23)												
宁夏	0.379	(22)	0.657	(26)	0.599	(28)	0.547	(28)	0.514	(22)	0.714	(28)												
新疆	0.441	(18)	0.684	(25)	0.639	(27)	0.595	(22)	0.501	(26)	0.737	(25)												

附表3 省市区考虑环境因素的技术效率排名(两环境因素组平均)

地区	1999年		2000年		2001年		2002年		2003年		2004年		2005年	
	技术效率	排名												
北京	0.933	(11)	0.917	(14)	0.921	(15)	0.945	(12)	0.946	(9)	0.944	(11)	0.960	(10)
天津	0.938	(12)	0.946	(10)	0.978	(10)	0.987	(9)	0.982	(6)	0.992	(6)	0.995	(6)
河北	0.828	(19)	0.834	(19)	0.852	(20)	0.822	(20)	0.819	(22)	0.821	(22)	0.867	(19)
山西	0.777	(23)	0.823	(21)	0.887	(17)	0.880	(17)	0.859	(19)	0.846	(19)	0.848	(21)
内蒙古	0.813	(21)	0.789	(23)	0.796	(23)	0.814	(22)	0.862	(18)	0.881	(17)	0.901	(15)
辽宁	1.000	(1)	1.000	(1)	1.000	(1)	1.000	(1)	1.000	(1)	1.000	(1)	1.000	(1)
吉林	0.894	(17)	0.906	(16)	0.904	(16)	0.887	(16)	0.930	(12)	0.898	(15)	0.895	(16)
黑龙江	0.918	(14)	0.931	(12)	0.926	(14)	0.914	(14)	0.897	(16)	0.957	(10)	0.934	(12)
上海	1.000	(1)	1.000	(1)	1.000	(1)	1.000	(1)	1.000	(1)	1.000	(1)	1.000	(1)
江苏	1.000	(1)	1.000	(1)	1.000	(1)	1.000	(1)	0.990	(5)	1.000	(1)	1.000	(1)
浙江	0.933	(13)	0.925	(13)	0.937	(12)	0.907	(15)	0.913	(15)	0.909	(14)	0.906	(14)
安徽	1.000	(1)	1.000	(1)	1.000	(1)	1.000	(1)	1.000	(1)	1.000	(1)	1.000	(1)
福建	0.996	(8)	0.991	(8)	0.995	(8)	0.992	(8)	0.956	(8)	0.976	(8)	0.967	(9)
江西	0.910	(15)	0.915	(15)	0.928	(13)	0.921	(13)	0.873	(17)	0.881	(16)	0.880	(17)
山东	0.906	(16)	0.936	(11)	0.879	(18)	0.843	(18)	0.834	(21)	0.855	(18)	0.880	(18)
河南	0.821	(20)	0.832	(20)	0.840	(21)	0.824	(19)	0.858	(20)	0.838	(20)	0.857	(20)
湖北	1.000	(1)	1.000	(1)	1.000	(1)	1.000	(1)	0.967	(7)	0.975	(9)	0.981	(7)
湖南	0.744	(29)	0.766	(27)	0.751	(28)	0.743	(27)	0.773	(24)	0.732	(28)	0.726	(27)
广东	0.991	(9)	0.999	(7)	0.963	(11)	0.971	(11)	0.938	(10)	0.982	(7)	0.979	(8)
广西	0.760	(26)	0.761	(28)	0.763	(25)	0.760	(24)	0.803	(23)	0.806	(23)	0.762	(25)
海南	0.984	(10)	0.985	(9)	0.987	(9)	0.975	(10)	0.927	(13)	0.923	(13)	0.926	(13)
四川	0.746	(28)	0.768	(26)	0.760	(26)	0.754	(26)	0.718	(28)	0.736	(26)	0.762	(24)
贵州	0.847	(18)	0.840	(18)	0.855	(19)	0.817	(21)	0.922	(14)	0.836	(21)	0.817	(22)
云南	1.000	(1)	1.000	(1)	1.000	(1)	1.000	(1)	1.000	(1)	1.000	(1)	1.000	(1)
西藏	1.000	(1)	0.901	(17)	1.000	(1)	1.000	(1)	0.930	(11)	0.932	(12)	0.945	(11)
陕西	0.763	(25)	0.777	(24)	0.758	(27)	0.736	(28)	0.729	(27)	0.752	(24)	0.752	(26)
甘肃	0.774	(24)	0.795	(22)	0.803	(22)	0.772	(23)	0.734	(26)	0.751	(25)	0.779	(23)
青海	0.787	(22)	0.776	(25)	0.774	(24)	0.756	(25)	0.750	(25)	0.732	(27)	0.681	(28)
宁夏	0.747	(27)	0.726	(29)	0.684	(30)	0.673	(30)	0.656	(30)	0.724	(29)	0.612	(30)
新疆	0.698	(30)	0.708	(30)	0.702	(29)	0.707	(29)	0.711	(29)	0.672	(30)	0.678	(29)

附表4 省市区考虑环境因素的技术效率排名(各年度平均)

地区	考虑环境因素的技术效率排名											
	忽略环境因素的		CO ₂ 和COD		CO ₂ 和SO ₂		CO ₂ 和固体废物		CO ₂ 和废水		COD和SO ₂	
	技术效率	排名	技术效率	排名	技术效率	排名	技术效率	排名	技术效率	排名	技术效率	排名
北京	0.426	(19)	0.988	(11)	1.000	(1)	0.804	(20)	0.899	(20)	0.966	(13)
天津	0.859	(8)	0.974	(13)	0.920	(16)	0.946	(13)	1.000	(1)	0.960	(14)
河北	0.550	(16)	0.844	(20)	0.705	(26)	0.708	(25)	0.978	(12)	0.798	(20)
山西	0.406	(20)	0.887	(17)	0.601	(29)	1.000	(1)	0.845	(23)	0.723	(24)
内蒙古	0.522	(17)	0.819	(21)	0.810	(22)	0.657	(28)	1.000	(1)	0.852	(18)
辽宁	1.000	(1)	1.000	(1)	1.000	(1)	1.000	(1)	1.000	(1)	1.000	(1)
吉林	0.661	(11)	0.939	(15)	0.832	(19)	0.806	(19)	0.913	(19)	0.987	(12)
黑龙江	0.615	(13)	0.734	(26)	1.000	(1)	1.000	(1)	0.922	(18)	0.916	(16)
上海	1.000	(1)	1.000	(1)	1.000	(1)	1.000	(1)	1.000	(1)	1.000	(1)
江苏	0.981	(5)	1.000	(1)	1.000	(1)	1.000	(1)	1.000	(1)	1.000	(1)
浙江	0.737	(9)	0.912	(16)	0.903	(17)	0.883	(17)	0.947	(16)	0.919	(15)
安徽	0.997	(4)	1.000	(1)	1.000	(1)	1.000	(1)	1.000	(1)	1.000	(1)
福建	0.727	(10)	0.996	(10)	1.000	(1)	0.995	(10)	0.999	(11)	0.996	(11)
江西	0.620	(12)	1.000	(9)	1.000	(13)	0.974	(12)	0.975	(13)	0.852	(17)
山东	0.553	(15)	0.875	(18)	0.827	(20)	0.803	(21)	0.974	(14)	0.822	(19)
河南	0.345	(26)	0.953	(14)	0.995	(15)	0.934	(14)	0.932	(17)	0.742	(23)
湖北	0.902	(6)	1.000	(1)	1.000	(1)	1.000	(1)	1.000	(1)	1.000	(1)
湖南	0.353	(25)	0.811	(22)	0.825	(21)	0.825	(18)	0.799	(27)	0.681	(26)
广东	0.861	(7)	1.000	(1)	0.996	(14)	0.996	(9)	1.000	(1)	0.996	(10)
广西	0.314	(28)	1.000	(1)	1.000	(1)	0.924	(16)	1.000	(1)	0.591	(30)
海南	0.556	(14)	0.985	(12)	1.000	(1)	0.992	(11)	0.965	(15)	1.000	(1)
四川	0.313	(29)	0.865	(19)	0.903	(18)	0.928	(15)	0.839	(24)	0.637	(29)
贵州	0.269	(30)	0.725	(27)	1.000	(1)	0.751	(23)	0.829	(25)	1.000	(1)
云南	1.000	(1)	1.000	(1)	1.000	(1)	1.000	(1)	1.000	(1)	1.000	(1)
西藏	0.385	(21)									1.000	(1)
陕西	0.355	(24)	0.742	(25)	0.789	(23)	0.770	(22)	0.858	(22)	0.688	(25)
甘肃	0.334	(27)	0.792	(23)	0.724	(24)	0.730	(24)	0.878	(21)	0.779	(21)
青海	0.369	(23)	0.791	(24)	0.708	(25)	0.700	(26)	0.808	(26)	0.748	(22)
宁夏	0.379	(22)	0.677	(28)	0.653	(27)	0.607	(29)	0.765	(29)	0.659	(27)
新疆	0.441	(18)	0.648	(29)	0.635	(28)	0.664	(27)	0.768	(28)	0.642	(28)

(续表)

考虑环境因素的技术效率排名

地区	COD和固体废物		COD和废水		SO ₂ 和固体废物		SO ₂ 和废水		固体废物和废水	
	技术效率	排名	技术效率	排名	技术效率	排名	技术效率	排名	技术效率	排名
北京	0.963	(8)	0.975	(11)	0.959	(8)	0.954	(15)	0.870	(21)
天津	0.933	(11)	1.000	(1)	1.000	(1)	1.000	(1)	1.000	(1)
河北	0.788	(19)	0.943	(15)	0.686	(21)	0.955	(14)	0.944	(13)
山西	1.000	(1)	0.743	(27)	0.882	(15)	0.775	(25)	1.000	(1)
内蒙古	0.720	(24)	0.978	(9)	0.595	(26)	1.000	(1)	0.936	(14)
辽宁	1.000	(1)	1.000	(1)	1.000	(1)	1.000	(1)	1.000	(1)
吉林	0.914	(14)	0.988	(8)	0.833	(16)	0.900	(19)	0.905	(19)
黑龙江	0.942	(10)	0.959	(13)	0.915	(14)	0.912	(18)	0.953	(11)
上海	1.000	(1)	1.000	(1)	1.000	(1)	1.000	(1)	1.000	(1)
江苏	1.000	(1)	1.000	(1)	0.986	(6)	1.000	(1)	1.000	(1)
浙江	0.884	(17)	0.939	(17)	0.920	(13)	0.946	(17)	0.932	(15)
安徽	1.000	(1)	1.000	(1)	1.000	(1)	1.000	(1)	1.000	(1)
福建	0.946	(9)	0.989	(7)	0.968	(7)	1.000	(1)	0.930	(16)
江西	0.781	(20)	0.890	(18)	0.790	(17)	0.873	(20)	0.874	(20)
山东	0.840	(18)	0.941	(16)	0.776	(18)	0.947	(16)	0.956	(10)
河南	0.724	(23)	0.802	(23)	0.702	(19)	0.795	(23)	0.804	(24)
湖北	0.979	(7)	0.976	(10)	0.949	(9)	1.000	(1)	0.988	(8)
湖南	0.669	(26)	0.722	(28)	0.701	(20)	0.723	(28)	0.723	(27)
广东	0.933	(12)	0.973	(12)	0.935	(12)	1.000	(1)	0.918	(17)
广西	0.583	(30)	0.702	(29)	0.649	(24)	0.642	(30)	0.643	(30)
海南	0.924	(13)	0.830	(21)	0.941	(10)	1.000	(1)	0.944	(12)
四川	0.644	(28)	0.698	(30)	0.571	(29)	0.702	(29)	0.705	(29)
贵州	0.893	(16)	0.762	(26)	0.601	(25)	1.000	(1)	0.917	(18)
云南	1.000	(1)	1.000	(1)	1.000	(1)	1.000	(1)	1.000	(1)
西藏	0.898	(15)	0.955	(14)	0.940	(11)	1.000	(1)	0.956	(9)
陕西	0.685	(25)	0.803	(22)	0.574	(28)	0.811	(22)	0.804	(23)
甘肃	0.744	(22)	0.831	(20)	0.588	(27)	0.838	(21)	0.820	(22)
青海	0.746	(21)	0.785	(24)	0.661	(23)	0.778	(24)	0.781	(25)
宁夏	0.601	(29)	0.866	(19)	0.570	(30)	0.773	(26)	0.718	(28)
新疆	0.662	(27)	0.767	(25)	0.678	(22)	0.744	(27)	0.758	(26)

参 考 文 献

- [1] Chambers, R., Y. Chung, and R. Färe, “Benefit and Distance Functions”, *Journal of Economic Theory*, 1996, 70(2), 407—419.
- [2] Chung, Y., R. Färe, and S. Grosskopf, “Productivity and Undesirable Outputs: A Directional Distance Function Approach”, *Journal of Environmental Management*, 1997, 51(3), 229—240.
- [3] Färe, R., S. Grosskopf, C. Lovell, and C. Pasurka, “Multilateral Productivity Comparisons When Some Outputs Are Undesirable: A Nonparametric Approach”, *Review of Economics and Statistics*, 1989, 71(1), 90—98.
- [4] Färe, R., S. Grosskopf, M. Norris and Z. Zhang, “Productivity Growth, Technical Progress and Efficiency Change in Industrialized Countries”, *American Economic Review*, 1994, 84(1), 66—83.
- [5] Fankhauser, S., *Valuing Climate Change: The Economics of the Greenhouse*. London: Earthscan, 1995.
- [6] Hamilton, K., and M. Clemens, “Genuine Savings Rates in Developing Countries”, Environment Department Paper, Washington, DC, World Bank, 1998.
- [7] 胡鞍钢、王毅,《生存与发展》。北京:科学出版社,1989年。
- [8] Jeon, B., and R. Sickles, “The Role of Environmental Factors in Growth Accounting”, *Journal of Applied Econometrics*, 2004, 19(5), 567—591.
- [9] 节能与环保杂志社,《节能手册2006》。北京:《节能与环保》杂志社,2006年。
- [10] Kunte, A., K. Hamilton, J. Dixon, and M. Clemens, “Estimating National Wealth: Methodology & Results”, Environment Department Paper, Washington, DC, World Bank, 1998.
- [11] 刘娇、洪河,“中国环境污染状况备忘录”,《生态经济》,2003年第8期,第36—40页。
- [12] 彭水军、包群,“中国经济增长与环境污染——基于时序数据的经验分析(1985—2003)”,《当代财经》,2006年第7期,第5—12页。
- [13] Seifert, L., and J. Zhu, “Identifying Excesses and Deficits in Chinese Industrial Productivity (1953—1990): A Weighted Data Envelopment Analysis Approach”, *Omega*, 1998, 26(2), 279—296.
- [14] Tyteca, D., “Linear Programming Models for the Measurement of Environmental Performance of Firms: Concepts and Empirical Results”, *Journal of Productivity Analysis*, 1997, 8(2), 183—197.
- [15] 王玉庆,“中国环境污染的状况和对策”,《中国环境科学》,1993年第4期,第241—245页。
- [16] World Bank, *China 2020: Development Challenges in the New Century*. Oxford, Oxford University Press, 1997a.
- [17] World Bank, *Expanding the Measure of Wealth: Indicators of Environmentally Sustainable Development*. Washington, D. C., World Bank, 1997b.
- [18] World Bank, *World Development Indicators*. Washington, D. C.: World Bank. 2006.
- [19] 郑京海、胡鞍钢,“中国改革时期省际生产率增长变化的实证分析(1979—2001年)”,《经济学(季刊)》,2005年第4卷第2期,第263—296页。
- [20] Zheng, J., and A. Hu, “An Empirical Analysis of Provincial Productivity in China (1979—2001)”, *Journal of Chinese Economic and Business Studies*, 2006, 4(3): 221—239.
- [21] 中华人民共和国国务院办公厅,“中国的环境保护(1996—2005)白皮书”,http://www.gov.cn/zwggk/2006-06/05/content_300288.htm。
- [22] 中国科学院可持续发展战略研究组,《2006年中国可持续发展战略报告》。北京,中国科学出版社,2006。
- [23] 周民良,“中国的区域发展与区域污染”,《管理世界》,2002年第2期,第103—110页

- [24] Zhou, P., K. Poh, and B. Ang, "A Non-radial DEA Approach to Measuring Environmental Performance", *European Journal of Operational Research*, 2007, 178(1), 1—9.
- [25] 张军、吴桂英、张吉鹏, "中国省际物质资本存量估算:1952—2000", 《经济研究》, 2004年第10期, 第35—44页。
- [26] 中国国家统计局, 《中国能源统计年鉴(2000)》。北京:中国统计出版社, 2000年。
- [27] 中国国家统计局, 《中国能源统计年鉴(2003)》。北京:中国统计出版社, 2003年。
- [28] 中国国家统计局, 《中国能源统计年鉴(2004)》。北京:中国统计出版社, 2004年。
- [29] 中国国家统计局, 《中国能源统计年鉴(2005)》。北京:中国统计出版社, 2005年。
- [30] 中国国家统计局, 《新中国五十五年统计资料汇编》。北京:中国统计出版社, 2006年。

Provincial Technology Efficiency Ranking with Environment Factors(1999—2005)

ANGANG HU

(*Tsinghua University*)

JINGHAI ZHENG

(*Göteborg University*)

YUNING GAO

(*University of Cambridge*)

NING ZHANG

(*The Chinese University of Hong Kong*)

HAIPING XU

(*Zhejiang University*)

Abstract In recent years, some productivity models have started to consider the influence of environmental factors. This study re-ranks technical efficiency of Chinese provinces, using directional distance function approach. It takes account of environmental factors while implementing the DEA methodology. The study demonstrates that this type of models can produce efficiency rankings that are significantly different from the standard DEA model, and opens new avenues for the studies of total factor productivity when environmental factors are involved.

JEL Classification D24, O53, O13