

清华大学 CIDEG2007-2008 年应急项目

# 研究报告

*CIDEG Research Reports*

环境因素对中国省际生产率的影响

(送审稿)

**Influence of Environmental Factors to China's Provincial  
Productivity**

(Review Version)

2008 年 6 月

---

## 清华大学 CIDEG2007-2008 年应急项目

### 项目负责人:

郑京海                      瑞典哥德堡大学经济学系    教授

### 项目顾问:

胡鞍钢                      中国科学院—清华大学国情研究中心主任, CIDEG  
学术委员会委员

### 项目组成员:

高宇宁                      英国剑桥大学土地经济系    博士研究生

张    宁                      香港中文大学经济学系    博士研究生

徐海萍                      浙江大学经济学院    博士研究生

张庆丰                      清华大学公共管理学院    博士研究生

董秀海                      清华大学公共管理学院    博士研究生

---

# 环境因素对中国省际生产率的影响

## 项目报告

### 目录

<b>Executive Summary</b> .....	<b>2</b>
<b>内容概要</b> .....	<b>8</b>
<b>引言</b> .....	<b>13</b>
<b>第一章 中国的自然资产损失与真实储蓄率</b> .....	<b>14</b>
<b>第二章 省际生产率的计算方法</b> .....	<b>26</b>
(一) 文献回顾与模型选择 .....	29
(二) 距离函数与 Malmquist 指数法 .....	31
(三) 方向性距离函数与 Malmquist - Luenberger 指数法 .....	38
<b>第三章 各地区环境污染物数据背景</b> .....	<b>43</b>
(一) 废水排放情况 .....	45
(二) 工业固体废弃物排放情况 .....	47
(三) COD 排放情况 .....	49
(四) SO <sub>2</sub> 排放情况 .....	50
(五) CO <sub>2</sub> 排放情况 .....	52
<b>第四章 不考虑环境因素的省际生产率</b> .....	<b>55</b>
(一) 增长核算方法计算结果 .....	55
(二) Malmquist 指数方法计算结果 .....	58
(1) 生产率变化的时间趋势 .....	59
(2) 全要素生产率的增长及其构成 .....	61
(3) 生产率, 技术效率, 和“技术进步”率的分布变化情况 .....	63
<b>第五章 考虑环境因素的省际生产率</b> .....	<b>73</b>
(一) 技术效率的地区分布 .....	73
(二) 技术效率排名 .....	75
(三) 生产前沿 .....	77
(四) 增长方式与技术效率进步 .....	79
(五) TFP 增长的趋势与构成 .....	80
(六) 各地区 TFP 增长的分布 .....	84
(七) 生产率、技术效率和技术进步的分布变化 .....	87
<b>第六章 主要结论和政策建议</b> .....	<b>92</b>

---

# Executive Summary

The topic of the program is “Influence of Environmental Factors to China’s Provincial Productivity” and the target of the research is concentrated to adjust the traditional accounting of productivity and to know about the difference of the provincial productivity with and without the Environmental Factors. This study can make us understand China’s regional growth model and its sustainability more deeply. The core part of the research is formed by three parts: First, to estimate the provincial productivity under the traditional growth accounting method and to decompose the growth of Total Factor Productivity into efficiency change and technology change, using deterministic non-parametric production frontier model, which can be used as the benchmark of the comparison study; Second, to do structural description and analysis to the pollution emission according to the theory and model of production economics and to find out the similarity and difference between normal output and undesirable output, which become a basis of the analysis to the productivity with environmental factors; Third, to account provincial productivity with environmental factors and to analysis the growth trend and the content of this “green TFP”. The next step of the study will concentrated to find out the determinant factors of green TFP using advanced regression analysis and policy meanings of the results.

## **Background**

During the past 20 years, China has been one of countries whose economic growth rate was the fastest in the world, and whose gross domestic saving rate (as a percentage of GDP) and gross domestic investment rate (as a percentage of GDP) are the highest. But the national economic accounts system, which is based on nominal GDP, has severe flaws. It does not take out the loss of natural capital, and puts the values of overexploited resources and energy, especially the non-reproducible resources, into the GDP as additional value. This will factitiously exaggerate the economic income, at the expense of rapid consumption or depletion of natural

---

resources and severe deterioration of environment, and will inevitably lead to great reduction of the real national welfare. Therefore, it is necessary to emendate the current national accounts system.

Among the study of the investment driving mode and increasing of environment pollution during China's high economic growth, scholars have estimated China's environmental damage using different method. These estimations provide very important reference to our analysis to the economic damage of different pollutions. But these estimations are quite various because of their methods and contents included and they cannot carry out historical comparison or international comparison. Totally saying, there still lacks a complete economic analysis framework to combine investment driving growth mode and environmental factors.

We then bring out the concept of Green Total Factor Productivity. It refers to the Green GDP output of per unit input under giving production factors or the TFP considering of environmental factors. To do historical comparison, scholars can calculate the growth rate of green TFP, which can make up the disadvantage of the cross section estimation of traditional green GDP. The concept can directly connect economic growth mode and environmental factors, which has very important academic value and policy meaning to scientifically and systematically analyze and discuss the sustainable growth of China's economy.

There has emerged some productivity model with environmental factors in the international literature of productivity research but still little in the applied research of China. This program tries to re-estimate the provincial productivity, using Data Envelopment Analysis and other production function model based on all exist data of China, especially the provincial data.

### **Theoretical Methodology**

Except the traditional growth accounting of the provincial growth mode based on the

---

general Green GDP, we would like to use the deterministic non-parametric production frontier model to re-estimate China's provincial productivity. The study of Total Factor Productivity of the gross economy mainly uses the time series data of the gross economy. The limitation of this method is: First, its growth accounting needs to introduce very strong hypothesis of behavior and institution; Second, it does not make a difference between technology change and technology efficiency; Third, the amount of time series data is usually too small to use some complex production function to decompose the productivity and it is also difficult to do analysis with more variations. Our research solves these three problems by using provincial data and frontier model.

The growth of productivity is composed of three parts, the technology change (the adoption of a new-tech or the invention of a new product), efficiency change (the improvement of management efficiency or the accumulation of production experience) and scale effect (the organization of large enterprise, the capacity of huge country and knowledge itself). The frontier model to decompose the productivity has two types, the deterministic model and the stochastic model. The deterministic model is more familiar in applied research because the stochastic model still has some unresolved problems like how to set the direction of the distribution of efficiency, the mode of technology efficiency move along with time and the difficulty in identifying the parameter between efficiency change and technology change. The deterministic panel data model can also be divided to parametric model and non-parametric model. Based on a review of different kind of productivity model, especially the frontier production function model, we prefer to use deterministic non-parametric model to estimate the provincial productivity, which is the Malmquist Index method.

The productivity accounting of Malmquist Index is based on the method of Data Envelopment Analysis (DEA). Using the traditional Malmquist Index method, we can decompose the TFP growth into Efficiency Change and Technology Change, which can identify the main source of the productivity of an economy. Data Envelopment Analysis is an estimation method "facing data", which is used to estimate the

---

performance and comparative efficiency of a group of Decision Making Unit (DMU) with multi input and multi output. The DEA method thinks the production action of a part of the group of comparable DMUs forms the production frontier and they are comparatively efficient, which means they have the linear combination of maximum output under given input level. The comparative technology efficiency of other DMUs is based on their distance to the frontier. The DEA method has unique advantage in the measurement of the difference of DMU especially its efficiency because its measurement is based on unit but not their average. Besides, the DEA method is a non-parametric model and can avoid many restriction of parametric model, which is why it is widely used in measurement of efficiency and productivity.

There is a basic assumption in traditional DEA model, the minimum of input and the maximum of output in technology efficiency model. But this is not always right. In some production process under given input, some outputs are good desirable output, like new products, GDP etc. and others may be bad undesirable output as the by product, like environment damage, pollution emission etc.. The solution of traditional DEA model is to measure the efficiency when keeping the output level of undesirable output in the constraint of model. These undesirable outputs have remarkable negative externality and can lead to regional or even global problem and when they are considered in the analysis of productivity the conclusion of traditional model will be greatly changed. The Malmquist Index is based on traditional DEA method and may overestimate the technology efficiency if we do not consider the influence of environment factors, which may conceal the high cost of environment damage and pollution emission in economic development.

Some productivity model like directional distance function model has begun to consider the influence of environmental factors. This model defines Malmquist-Luenberger productivity index is based on directional distance function, which can also be decomposed into the two parts of technology change and efficiency change. The advantage of this model is that it can consider the influence of

---

environmental factors following the systematic and structural framework of traditional productivity analysis, which has wider application than the popular green GDP accounting. And the measurement of green TFP using directional distance function model need not the price data of pollution emission. When bring environmental factors into productivity analysis, the model can better show the environmental cost of economic growth and the real productivity level.

This study would like to apply the “environmental technology efficiency” of the directional distance function to China’s provincial data. Through the solution of the liner programming of standard DEA type, we try to re-ranking the technology efficiency of China’s 30 provinces considering the environmental factors. Through the decomposition of green TFP, we can describe the pattern of the productivity growth, efficiency change and technology change with different environmental factors.

### **Main Conclusion**

The main output of this program is the program report and two academic paper (one in Chinese and one in English). The Chinese paper “Provincial Technology Efficiency Ranking with Environment Factors (1999-2005)” has been published at the Volume 7 issue 3 of *China Economic Quarterly* in 2008. The English paper “Provincial Productivity in China - Accounting for Environmental Factors (1999-2005)” has been presented at the 19<sup>th</sup> annual conference at China Economist Association – UK at the University of Cambridge this April and will be published at *Journal of Comparative Economics*. The main founding of this study includes:

Among the estimations, the eastern China has the highest technology efficiency, followed by middle China and western China. The middle China experiences a catch-up with increasing technology efficiency and fewer gaps. And the technology efficiency of Western China decreased during the past seven years and its gap between eastern China increased continuously. This means although the western China developed very fast after the “Western Development”, it omit the improvement



---

of environmental technology efficiency and turns to more “extensive” mode.

The higher the average of technology efficiency of the provinces is, the lower the disparity of technology efficiency among the provinces is under given environmental factor. This show that the influence of environmental factors to technology efficiency has grads: for the easily controlled pollution (like waste water) the difference of technology, inputs among provinces is small and so the disparity of technology efficiency is also small; but for the difficultly controlled pollutions (like SO<sub>2</sub>) the difference of technology, inputs and the disparity of technology efficiency is comparatively larger.

A significant influence of the environmental factors, as the “undesirable output”, to the Malmquist productivity index was observed, which is mainly of its component of “Technology Change” other than “Efficiency Change”. Considering the less change of the Technology Efficiency in the growth of the provincial economies, the slow down of the TFP growth under this estimation is mainly because of the Technology Progress was discounted by the environmental factors. Although all regions show slow down in TFP growth, it is obvious that the low performance of productivity of western China is only partly of its negative Efficiency Change, but mainly of its heavily discounted Technology Change when count environmental factors in.

The improvement of provincial technology efficiency with environmental factors has strong connection with their growth mode. The more the growth mode close to “extensive mode”, the slower its environmental technology efficiency increases. This conclusion has important policy meaning to the choosing of provincial development mode. Under the macro economy background that China’s TFP growth has slowed down these years, to reverse the “extensive” growth mode of provincial economy and to improve their environmental technology efficiency has important meaning to keep the long-tern sustainable growth of China.

---

# 内容概要

本项目题为《环境因素对中国省际生产率的影响》，研究的目的在于对传统生产率核算方式进行修正，从而了解考虑环境因素（污染）后所得到的中国省际生产率估算与没有考虑环境因素的情况下相比有何不同，从而能够对于中国各地区经济增长方式的特征以及经济增长的可持续性进行更为深入的分析。核心的研究工作涉及三个方面：一是采用传统的核算方法对省级生产率进行估算并借助确定性的非参数生产前沿模型将全要素生产率的增长率拆分为技术效率的变化和技术进步两部分，作为比照研究的基础。二是对污染物生产的特征根据生产经济学的理论和模型进行结构描述和分析，找出污染物生产与合意（正常）产出之间存在的共性和不同之处，从而为考虑了环境污染因素的生产率分析工作打下坚实的基础。三是对生产率水平和生产率增长率在考虑环境因素的情况下进行估算，即绿色 TFP 的估算，并对绿色 TFP 增长的变化趋势以及拆分构成进行分析。下一阶段的研究将集中在利用回归分析技术寻找影响绿色 TFP 增长变化的决定因素，并集中探讨相应的政策含义。

## 研究背景

在过去的 20 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。但是现行的基于名义 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。

在近年来对中国经济高速增长中所表现出来的投资驱动型模式和日益加聚的环境污染问题的研究中，国内外学者用不同的方法计算了中国的环境经济损失，这些估计作了有意义的探讨，对我们分析各类污染所造成的经济损失提供了极其重要的参考价值。但是，由于不同的学者采用的估算方法不同，所计算的结果差

---

异较大，也由于计算所包含损失项目不同也会造成不同的估算结果，另外这些研究还不能进行历史纵向比较，也不能进行横向国际比较。总体来说，缺乏一个统一完整的能够将资本驱动的增长方式与环境因素结合起来的经济学分析框架。

我们在此基础上提出绿色 TFP，即绿色全要素生产率的概念。它指的是给定生产要素投入情况下，单位投入的绿色 GDP 产出或考虑了环境污染因素的全要素生产率。为了便于进行历史纵向比较，研究人员还可以对绿色 TFP 增长率进行测算，从而弥补了只计算水平绿色 GDP 的不足。绿色 TFP 概念则可以直接将经济增长方式与环境因素相关联，对科学系统地分析和探讨中国经济可持续增长问题有着极其重要的学术价值和政策含义。

目前在国际上的生产率研究文献中，已经出现了一定数量的考虑了环境污染因素的生产率模型。但是中国在这方面的应用研究还很少。因此本研究课题试图应用目前中国国内所有的数据，特别是省际数据，在考虑了环境污染因素的基础上，采用数据包罗分析技术以及其他生产函数模型，对各省的全要素生产率绩效进行重新估算。

## 理论方法

除了采用传统的增长核算方法对省级经济增长模式结合目前通行的绿色 GDP 估算方法进行初步的判断之外，在本研究中我们主要尝试应用一种确定性的非参数生产前沿模型在考虑了环境因素的情况下对中国的省级生产率进行估算。以往，经济总量全要素生产率的研究主要是采用有关经济总量的时间序列数据来进行的。这类研究所采用方法的主要局限之一是在增长核算法中需要引入很强的行为与制度假设；二是它们一般不对技术进步和技术效率加以区别；三是采用的时间序列的数据量很小，很难选择较复杂的函数形式进行生产函数估算并对生产率进行拆分，或考虑加入更多的变量进行分析也会很困难。而在我们的研究中，由于采用了省际数据和前沿生产函数估算方法，使上述三个方面的问题得到了较好的解决。

---

生产率的增长是由三部份组成的。一个是技术进步(如新技术的采用或新产品的发明)，二是技术效率(如管理效率的提高和生产经验的积累)，三是规模效益(组建和管理大企业乃至大国经济的能力以及知识本身，诸如知识产业等)。对生产率进行拆分的前沿生产函数模型一般分为两种，一种为确定性的，另一种为随机性的。由于随机性模型还存在一些难以解决的问题，比如如何设定效率分布的偏倚方向问题，效率随时间变化的模式问题，以及效率与技术进步参数之间的识别困难问题，因此在应用研究中采用确定性的模型比较常见。确定性的面版数据模型又可以分为参数型和非参数型。在对各种生产率模型特别是前沿生产函数模型的深入细致的调查研究基础上，我们倾向于在对省际生产率进行估算时采用一种确定性的非参数前沿生产函数模型，这就是 Malmquist 指数法。

Malmquist Index 的生产率测算是基于数据包络分析 (Data Envelopment Analysis, DEA) 方法的。通过传统的 Malmquist Index 方法，我们将 TFP 生产率的提高拆分为效率改进 (Efficiency Change, EC) 和技术进步 (Technology Change, TC)，从而可以区别经济体生产率增长的主要来源。数据包络分析是一种“面向数据”的测评方法，用于测评一组具有多种投入和多种产出的决策单元 (Decision Making Unit, DMU) 的绩效和相对有效性。DEA 方法认为一组可比较的 DMU 中部分个体的生产行为形成了生产前沿面，在这个前沿面上的 DMU 他们处于相对技术效率，即它们在给定投入水平下拥有了最大产出的线性组合。其他非前沿面 DMU 的相对技术效率则是参考前沿面得到的。由于 DEA 方法注重观测量个体而非观测量的平均值，因此对个体的差异尤其是 DMU 效率的考察有着独特优势。此外，DEA 是一种非参数估计的方法，因而可以规避参数方法的多种限制，所以 DEA 方法被广泛地应用于公私部门效率以及生产率的测评。

传统的 DEA 模型中，存在着一个基本的假设，即在计算技术效率的模型中要求最小化投入和最大化产出，然而这一基本假设是值得商榷的。一些生产过程中，在一定投入下得到若干产出，这些产出并非都是好的合意产出 (desirable output)，如新产品、GDP 等；作为合意产出的副产品 (by product)，与之伴随共同产生的可能还有坏的非合意产出 (undesirable output)，如环境破坏、污染排

---

放等。在传统的 DEA 模型中，最为实际的解决方法就是在模型约束中维持非合意产出水平，在此条件下进行效率评测。这些非合意产出往往存在着显著的负外部性，从而引发区域性甚至全球性的问题。很显然，如果将环境因素纳入到生产率分析中，将显著影响原有的模型和结论。Malmquist 生产率测算以 DEA 方法为基础，如果不考虑环境因素的影响，模型所得到的技术效率有可能得到高估，这也掩盖了经济发展中伴随而生的环境破坏和污染排放的高额成本。

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。该模型定义了以方向性距离函数来表述的 Malmquist-Luenberger 生产率变化指数，同样可将生产率拆分为技术进步和技术效率改善两个部分。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。将环境因素纳入生产率分析中后，将可以较好地体现经济增长的环境成本，还原一个较为真实的生产率水平。

本研究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。通过对于绿色 TFP 的拆分，可以描述各地区生产率增长、技术效率变化和技术进步在考虑不同环境因素（及其组合）情况下的变化分布。

## 结论含义

成果分为两大部分，研究报告和两篇有关的学术论文（中英文各一篇），中文论文《考虑环境因素的中国省级技术效率排名》已经在《经济学（季刊）》2008 年的第 7 卷第三期发表，英文论文“Provincial Productivity in China - Accounting for Environmental Factors (1999-2005)”已经在 2008 年 4 月在英国剑桥大学举办的留英经济学会第 19 届年会上宣读，将在英文期刊 Journal of Comparative Economics

---

上发表。本研究的主要结论为：

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。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，但是却忽视了环境技术效率的提高，增长模式趋向“粗放”。

在考虑环境因素的估计中，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  $\text{SO}_2$ ）各地区的技术、投入差距就大，技术效率差距就大。

环境因素作为“非合意产出”对于生产率指数，特别是技术进步的影响十分明显。考虑到技术效率进步在考虑环境因素后的变化并不显著，我们可以说各地区 TFP 增长率在考虑环境因素的估计中远低于传统的估计主要是由于环境因素对各地区技术进步的负面影响造成的。西部地区生产率的低下一方面是由于其低下的技术效率进步，但主要仍然是由于其技术进步率在考虑环境因素的情况下大幅度折扣。

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。

---

# 引言

中国在高速的经济增长过程中，生态环境的恶化和自然资源的消耗已经成为越来越突出的问题。在世界银行公布的 2006 年世界污染最严重的 20 座城市中，中国占了 16 席。与此同时中国从上个世纪 80 年代起就一直是世界上最大有机废水排放国，目前排放总量已经相当于美国、日本和印度的总和。同时，国际能源署等机构的研究和预测认为中国从 2007 到 2008 年开始就开始超过美国成为世界最大的二氧化碳排放国。

中国的资源环境问题很大程度上与其规模巨大且速度空前的工业化直接相关，这一过程伴随着巨大的能源、资源消耗和污染排放。中国的经济增长模式总体上是粗放的，黑色的，在物质资本投入迅速积累，制造业高速扩张，出口快速增长的同时走了一条“先污染再治理”的道路。目前，这些问题已经引起越来越多研究的关注，类似于“绿色 GDP”等方法就是在试图量化其影响。

然而，这些问题在传统的经济增长和生产率研究，特别是对于各地区的研究中涉及的还比较少，本研究在此基础上提出绿色 TFP，即绿色全要素生产率的概念，来分析和考察各类环境因素对于地区生产率的影响。这一研究是基于标准的生产经济学中的生产率分析框架，可以为科学系统地分析和探讨中国以及各地区经济可持续增长问题提供极其重要的学术价值和政策工具。

本报告共分为六个部分，第一部分为中国绿色 GDP 的总体背景情况，第二部分详细说明了省际生产率测算的具体方法，第三部分描述了本研究涉及的五种污染物数据的分布和变化情况，第四和第五部分则分别分析了不考虑环境因素的省际生产率和考虑环境因素的省际生产率的测算结果，最后一部分总结了本研究的主要结论及其政策含义。

---

# 第一章 中国的自然资产损失与真实储蓄率

在过去的 20 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。据世界银行统计<sup>1</sup>，中国 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；1999 年中国国内储蓄率和国内投资率分别为 42%和 40%，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，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，因而必须对现有的国民核算体系进行校正。<sup>2</sup>

如何估算各种自然资源耗竭和污染损失，这是一个在学术上争论较大的问题。令人惊喜的是，国内外学者用不同的方法计算了中国的环境经济损失，例如：过孝民与张慧勤<sup>3</sup>、夏光与赵毅红<sup>4</sup>、Smail<sup>5</sup>、郑毅生等<sup>6</sup>、孙炳彦<sup>7</sup>、徐嵩龄<sup>8</sup>。这些估计对我们分析各类污染所造成的经济损失作了有意义的探讨，并提供了极其重要的参考价值。但是，由于不同的学者采用的估算方法不同，所计算的结果差异较大，也由于计算所包含损失项目不同也会造成不同的估算结果，另外这些研究还不能进行历史纵向比较，也不能进行横向国际比较。实际上中国在过去 20 年高速经济发展是不断向自然资产拼命索取和透支的过程，这不仅包括各类污染的损失，而且包括各类自然资源的损失，自然资源耗竭，矿产资源耗竭，森林资源

---

<sup>1</sup> World Bank, *World Development Report 2000/2001:Attacking Poverty*, Oxford University Press, 2000.

<sup>2</sup> Arundhati Kunte, Kirk Hamilton, John Dixon and Michael Clemens, 1998, “*Estimating National Wealth: Methodology and Results*” January, The Environment Department, The World Bank.

Kirk Hamilton and Michael Clemens, 1998, *Genuine Savings Rates in Developing Countries*, August, The Environment Department, The World Bank.

<sup>3</sup> 过孝民,张慧勤主编. 公元 2000 年中国环境预测与对策研究[R]. 清华大学出版社,1990.

<sup>4</sup> 夏光,赵毅红. 中国环境污染损失的经济计量与研究[R]. 管理世界,1995, (5、6).

<sup>5</sup> Vaclav Smail, 1996, *Environmental problems in China: Estimates of Economic Costs*, East-West Center Special Report No. 5, East-West Center, Honolulu, Hawaii. 1996.

<sup>6</sup> 郑易生,李玉浸,钱慧红,王世汶. A 中国环境污染经济损失估算. 生态经济,1997, (6) B 中国 90 年代环境污染经济损失. 1995.

郑易生,阎林,钱慧红. 90 年代中期中国环境污染经济损失估算, 管理世界,1999, (2)

<sup>7</sup> 孙炳彦. 世纪之交中国污染损失估算,预测与思考[R]. 1997.

<sup>8</sup> 徐嵩龄. 中国环境破坏的经济损失计算[M]. 北京:中国环境科学出版社,1998.



耗竭，水资源耗竭。过孝民与张慧勤首先对 80 年代中期环境污染和生态破坏的经济损失作了初步估算，中国社会科学院环境与发展研究中心在 1995 年对 90 年代初期（1993）中国环境污染损失的估算为，占 GNP 比重 3%以上，而后又以 1995 年价格为基准估计的环境污染损失为 1875 亿元，占 GDP 的 3.27%。2006 年国家环保总局和国家统计局联合公布了《中国绿色国民经济核算研究报告（2004）》。报告指出，2004 年全国因环境污染造成的经济损失为 5118 亿元，占当年 GDP 的 3.05%。研究显示，2004 年全国水污染造成的经济损失为 2862.8 亿元，占总损失的 55.9%，大气污染造成的损失为 2198.0 亿元，占总损失的 42.9%；固体废物和污染事故造成的经济损失 57.4 亿元，占总损失的 1.2%。

实际上，从上个世纪 70 年代开始，联合国和世界银行等国际组织在绿色 GDP 核算的研究和推广方面做了大量的工作。1973—1982 年，联合国开始研究环境统计的方法，并编写了《环境统计资料编制纲要》。1983—1988 年，联合国统计署与世界银行环境局、美国环保局合作，正式开展了环境与资源核算的研究工作，初步讨论了资源与环境核算同国民经济核算体系的关系问题。1989 年以后，联合国统计署、环境署与世界银行等国际组织合作，研究界定环境资源核算的概念，并于 1994 年正式出版了《综合环境与经济核算手册》（The System of Integrated Environmental and Economic Accounting，简称 SEEA）中，提出了环境国内产出（Environment Domestic Products，简称 EDP）的概念，指在传统的 GDP 基础上扣减资源耗减和环境退化成本后的余额，即现在我们所称的绿色 GDP。可以认为绿色 GDP 即是指在 SNA 核算体系的基础上，由于外部影响因素和自然资源的考虑而得出的新的 GDP，代表着一个国家或地区更综合的经济福利水平。在 SEEA 的基本结构（表 1.1）中，核心的概念可以表述为：

绿色国内生产总值(绿色 GDP)=绿色国内生产净值+固定资产损耗

绿色国内生产净值=国内生产净值-生产中使用的非生产自然资源

国内生产净值=总产出-中间投入-固定资产损耗

表 1.1 综合环境和经济核算体系(SEEA)的基本结构

经济活动			经济资产		环境
生产	国外	最终消费	生产资产	非生产自然资产	其他非生产自然资产

期初资产存量				期初存量	期初存量		
供给	总产出	进口					
经济使用	中间投入	出口	最终消费	资本形成			
固定资产损耗	固定资产损耗			固定资产损耗			
国内生产净值	国内生产净值	出口	最终消费	资本形成净额			
非生产自然资产的使用	生产用非生产自然资产				非生产经济资产耗减	非生产自然资产降级	
非生产自然资产的其他积累					自然资产转为经济资产	自然资产减少	
绿色国内生产净值	绿色国内生产净值	净出口	最终消费	资本形成净额	非生产经济资产净耗减	自然资产降级与减少	
持有损益				持有损益	持有损益		
资产物量其他变化				其他变化	其他变化		
期末资产存量				期末存量	期末存量		

资料来源：廖明球，《国民经济核算中绿色 GDP 测算探讨》，《统计研究》2000 年第 6 期

之后，随着国际上对综合经济环境核算的研究和实践进展，经过认真总结和修订，《综合环境与经济核算手册（SEEA）2000》年版正式手册已在 2001 年 6 月份出版，初步确立了综合经济环境核算的实施步骤；2003 年再次修订后的《综合环境与经济核算手册（SEEA）2003》。SEEA2003 是在 SEEA1993 基础上修订完成的，也是对 SEEA1993 实践应用的经验总结。SEEA2003 对综合环境经济核算体系进行了全面阐述，详细说明了将资源耗减、环境保护和环境退化等问题纳入国民经济核算体系的概念、方法、分类和基本准则，构建了综合环境经济核算的基本框架；其宗旨在于以环境调整的国民财富、国内生产总值、国内净产出和资本积累等宏观经济指标支持社会、经济和环境综合决策，是衡量可持续发展、为实施可持续发展战略提供信息支持的基本手段。与前两个版本相比，SEEA 2003 更加强调实践应用成果的总结，对综合环境与经济体系的内容做了进一步的归纳和扩展，加强了对各部分具体核算方法的讨论，已成为当今国际上进行综合经济与环境核算工作的指导性文件。

SEEA 2003 文本中多次指出，建立 SEEA 是一个雄心勃勃的目标，但在现阶段是难以完全实现的。对于我国来说，此项工作更是处于刚刚起步和尝试阶段，一些条件和基础还不具备，尚有许多问题和困难亟待解决。就 GDP 核算来说，

还存在着服务业核算、不变价核算、季度核算等制度方法不健全、不规范等问题，GDP 核算是绿色 GDP 核算的基础，这一基础的不完善必然制约绿色 GDP 核算工作的顺利开展。就资源环境核算来说，现开展的核算仅仅是土地、森林、地下矿产、水四种自然资源的实物量核算，还有许多基础性的工作如：理论方法研究、整体框架体系的设计、核算方案的制定、实施步骤的确立、试点工作等，都在起步阶段，与 SEEA 的基本要求有着相当大的差距。就资源与环境估价的方法来说，将资源环境纳入国民经济核算体系、进而测算绿色 GDP，关键是要解决资源与环境的估价方法问题。虽然目前国际上已有一些关于这方面的研究成果和案例，但仍未形成一个国际公认的统一的估价方法。

1995 年以来，世界银行组织有关专家开始重新定义和衡量世界及各国的财富，提出了绿色国民经济核算（green national accounts）来衡量国民财富。这一体系主要是基于 Dasgupta, Heal 和 Maler 等人早期的研究<sup>9</sup>。所谓财富具有广泛的含义，它包括生产性资源(produced assets)、自然资本（natural capital）和人力资源（human resources），其中生产性资产是传统意义上的国民经济核算体系所衡量的国民财富，而自然资本和人力资源则是新型综合国民经济核算体系中的国民财富的重要组成部分。绿色 GDP 是一种新的国民财富或收入的估算。其中人力资源是各国真实国民财富最重要的组成部分，约占国民财富总量的 40-80%之间，一般而言，发达国家这一比重更高，而自然资源丰富的国家这一比重相对就低。生产性资产是第二要素，占总财富比重的 15-30%之间。自然资本是第三位要素，占总财富的 2-40%之间，其中中东和西非地区自然资本占第二位（见表 1.2）。

表 1.2 地区的人均财富估算(1994 年)

地区	倍(东亚=1.0)				总财富%		
	总财富	人力资源	产品资产	自然资本	人力资源	产品资产	自然资本
北美	6.9	6.9	8.9	4.0	76	19	5
太平洋 OECD	6.4	5.7	12.9	2.0	68	30	2
西欧	5.0	4.9	7.9	1.5	74	23	2
中东	3.2	1.8	3.9	14.5	43	18	39

<sup>9</sup> Dasgupta, P. and G. Heal, The Optional Depletion of Exhaustible Resources, *The Review of Economic Studies* (Symposium on the Economics of Exhaustible Resources), 1974.

Dasgupta, P. and G. Heal, *Economic Theory and Exhaustible Resources*, Cambridge University Press, 1981.

Dasgupta, P., *Control of Resources*, Basil Blackwell, Oxford, 1982.

Dasgupta, P. and K.-G. Maler, *Environment and Emerging Development Issues*, WIDER, 1990.

Maler, K.-G., National Accounts and Environmental Resources, *Environmental and Resource Economics*, Issue1, pp.1--15, 1991.

南美	2.0	1.9	2.3	2.3	74	17	9
北非	1.2	1.1	2.0	0.8	69	26	5
中美	1.1	1.1	1.1	0.8	79	15	6
加勒比地区	1.0	0.9	1.4	1.3	69	21	11
东亚	1.0	1.0	1.0	1.0	77	15	8
东非和南非	0.6	0.6	1.0	0.8	66	25	10
西非	0.5	0.4	0.6	1.3	60	18	21
南亚	0.5	0.4	0.6	1.0	65	19	16

资料来源：World Bank, 1997, *Expanding the Measure of Wealth: Indicators of Environmentally Sustainable Development*, The Environment Department, The World Bank.

世界银行 1997 年首次提出了真实国内储蓄（genuine domestic savings）的概念与计算方法<sup>10</sup>，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):

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

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； $\delta$  为生产性固定资产折旧； $-n(R - g)$  为自然资源枯竭损失， $n$  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； $\sigma$  为污染的边际社会成本，当  $r > g$  则出现资源尽耗竭； $\sigma(e - d)$  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。

所谓自然资源枯竭（depletion）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二氧化碳，并按每排放 1 吨二氧化碳造成的全球边际损失计

<sup>10</sup> World Bank, 1997, *Expanding the Measure of Wealth: Indicators of Environmentally Sustainable Development*, The Environment Department, The World Bank.

算，Fankhauser 建议按 20 美元计算<sup>11</sup>。这一计算并没有包括空气污染、水污染和其它方面污染的损失。世界银行的计算表明，中东地区总财富 39%来源于自然资源，几乎全部来源于石油和天然气，在扣除了资源枯竭之后，这些国家的真实储蓄率都是负值（见表 1.3）。哈佛大学的 Sachs 和 Warner 发现<sup>12</sup>，从 70 年代以来，资源丰富或资源密集型国家经济增长率反而要比自然资源匮乏国家要慢得多。世界银行的研究也表明，那些资源依赖性大的国家自然资产损失大，真实国内储蓄水平相当低下或者为负值。

表 1.3 真实储蓄率（占 GDP 比重，%）

地区和收入类型	1970-79	1980-89	1990-1993
撒哈拉以南非洲地区	7.3	-3.2 (1.7)	-1.7 (2.4)
拉美和加勒比地区	10.4	1.9 (1.7)	5.1 (3.4)
东亚和太平洋地区	15.1	12.6 (8.0)	19.3 (7.4)
中东和北非	-8.9	-7.7 (2.0)	-7.0 (3.0)
南亚	7.2	6.5 (5.7)	6.9 (5.7)
高收入 OECD 国家	15.7	12.4 (3.1)	14.5 (2.4)
低收入组	9.8	3.3 (4.4)	8.2 (2.4)
中高收入组	7.2	2.9 (3.2)	8.9 (3.5)
高收入组	15.2	12.3 (3.1)	14.7 (2.4)

注：括号内分别为 20 世纪 80 年代和 90 年代经济增长率

资料来源：Kirk Hamilton and Michael Clemens, 1998, *Genuine Savings Rates in Developing Countries*, August, The Environment Department, The World Bank.  
World Bank, 2000a

世界银行数据库估算了各国 1970 年以来的各种自然资产损失。这里我们列出中国、美国和日本的数据，有如下结论：

第一，能源耗竭（energy depletion）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（见图 1.1）。在 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；近年来迅速下降，1998 年已不足 1.5%，接近美国水平，但是此后开始上升，2005 年占 GDP 比重上升到 6.8%。这一变化说明，“九五”期间产业结构调整、特别是能源消费结构调整是使能源耗竭占 GDP 比重大幅度下降的主要原因

<sup>11</sup> Fankhauser, S., 1995, *Valuing Climate Change: The Economics of the Greenhouse*, London: Earth scan.

<sup>12</sup> Sachs, J. and Warner, 1995, *Natural Resource Abundance and Economic Growth*, Development Discussion Paper No.517a, Harvard Institute for International Development, Harvard University.

因之一。由于能源耗竭占自然资产损失比重最大，对这一时期自然资产损失占 GDP 比重大幅度下降具有举足轻重的作用。但是进入“十五”，中国经济增长不是依靠技术进步和改善效率来实现高增长，而是由高资本投入和高资源消耗驱动，重新走入低质量、高增长的路径。根据英国石油公司 2004 年的统计，2003 年中国煤炭总产量占世界总量的 33.5%（美国为 21.9%），中国煤炭消费量占世界总量的 31.0%（美国为 22.3%），这都大大地超过中国人口占世界总量的比重和 GDP 占世界总量的比重。由此可知，中国是世界上最大的肮脏能源的生产国和消费国，不仅使本国人民成为最大的受害者，而且也极大地影响全球的环境和人类的安全。

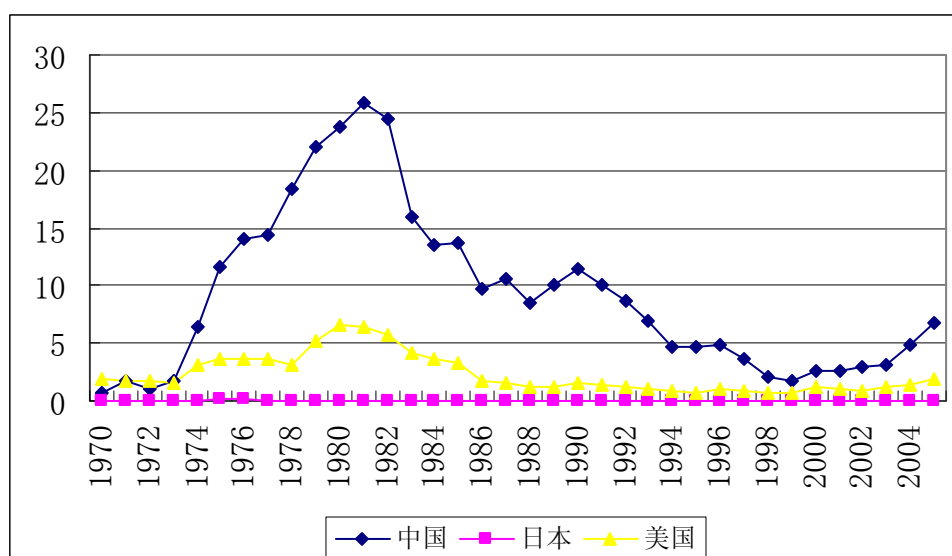


图 1.1 能源耗竭损失占 GDP 比重 (%)

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 4% 以上，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，2005 年为 1.38%。从国际比较看，中国这一比重远远高于美国和日本水平（见图 1.2）。需要说明的是这一计算尚未包括水污染的损失、二氧化硫的污染排放和其它有害、有毒物质的损失，如果加上这些污染损失的话，估计总的污染损失应在 3.5% 左右。世界银行（1997b）曾用人力资本方法计算中国的大气污染和水污染的损失约占 GDP 的 3.8-7.8% 之间。随着 90 年代下半期二氧化碳排放损失占 GDP 比重下降，也有助于自然资源损失占 GDP 比重进一步下降。我们发现单位 GDP 二氧化碳排放量从 60 年代中期经历了先上升后下降的过程，其中 90 年代下半期

呈明显下降的趋势（见图 1.3），这反映了经济增长速度高于二氧化碳排放速度，二者差距拉大意味着污染排放强度在减小，但是 2000 年之后这一指标又重新上升。由于“十五”期间的能源高增长，尤其是煤炭消费的大幅增长，二氧化碳排放污染损失的水平自 2000 年以后就始终维持在 1.4-1.5%的水平不再下降。

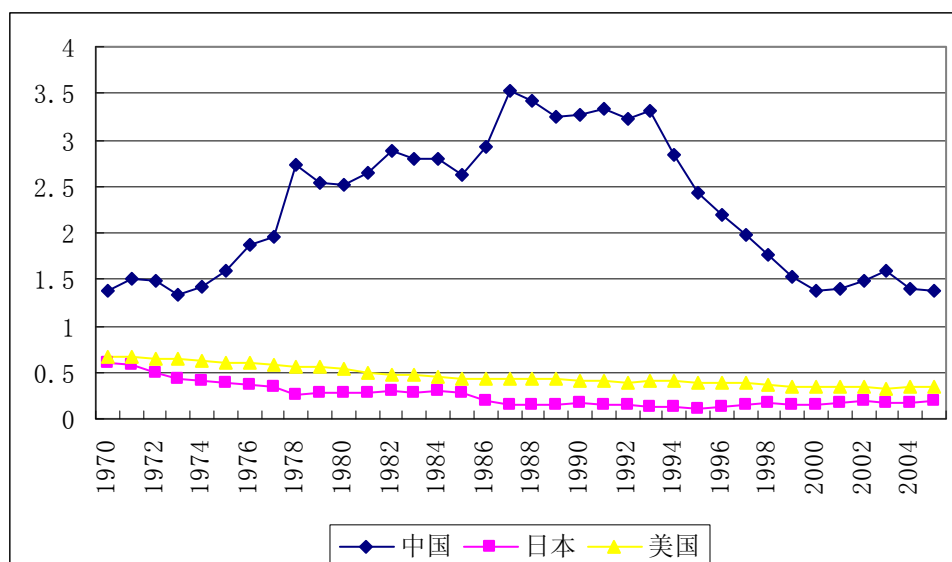


图 1.2 二氧化碳排放损失占 GDP 比重 (%)

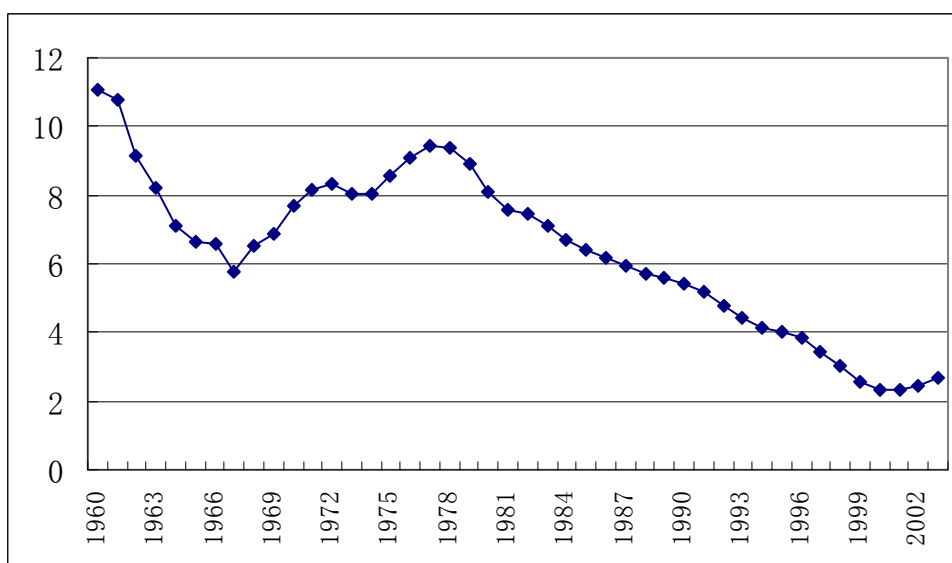


图 1.3 中国单位 GDP 二氧化碳排放量(千克/2000 年美元)

第三，资源矿产消耗或耗竭（mineral depletion）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（见图 1.4），第一次是在 70 年代末期和 80 年代初期，其损失占 GDP 比重的 1.2%，第二次是 80 年代末期 90 年代初期，其损失占 GDP 比重 0.8-1.2%之间；90 年代以来，这一损失占 GDP 比重

明显下降，到 1998 年只有 0.3%。但是 2003 年之后，由于中国钢铁产业的高速发展，这一比重到 2005 年又重新增加到 0.81%。美国是矿产资源生产大国，但是矿产耗竭损失占 GDP 比重远低于中国。

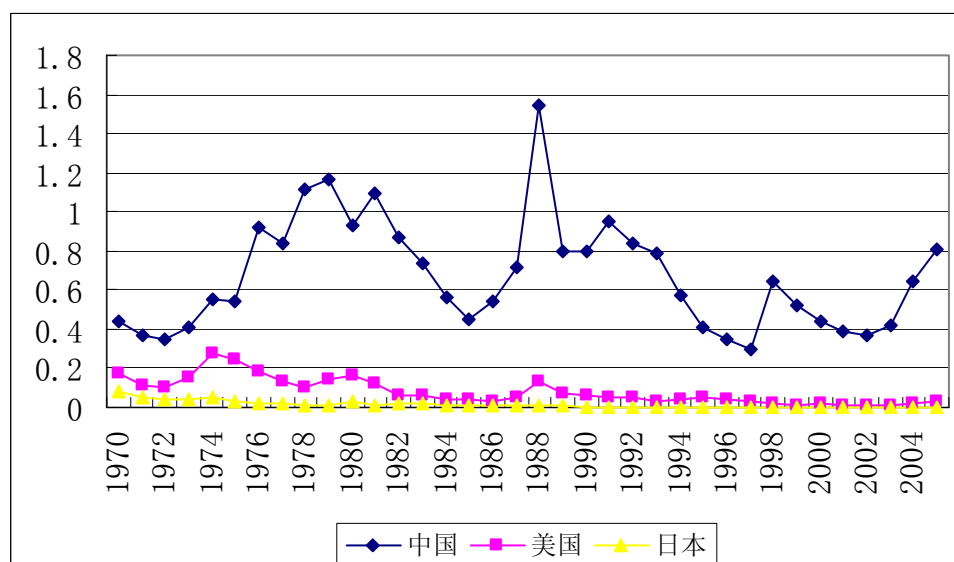


图 1.4 矿产资源耗竭占 GDP 比重 (%)

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 0.3%。“九五”期间这一比重大幅下降，1998 年这一比重已降到 0.05%，2001 年之后更是基本消失(见图 1.5)。需要指出的是改革以来，木材生产量一直呈上升趋势，1995 年达最高峰，为 6,767 万立方米，而后中央实行保护天然林工程，严禁砍伐森林，削减木材生产指标，增加木材进口量，到 2002 年木材生产量降为 4436 万立方米，比 1995 年减少了 1/3 (34.4%) (见图 1.6)。如果继续实行现行森林保护政策，大量利用国际木材资源，今后森林耗竭损失占 GDP 的比重还可以进一步降低。在过去的 50 年中国林业经历了开采规模最大、耗竭森林资源速度最快的过程，直到 90 年代下半期才开始根本转变，进入一个限制砍伐、大力保护森林资源的过程。这说明我们对中国基本国情缺乏深刻认识，走了一条“先破坏、后保护”的道路。根据世界银行(1997)提供的数据，我国虽然人均自然资本略高于日本人均自然资本，但是日本人均森林资源资本却是中国的 2.4 倍，森林覆盖率达 65%，尽管如此日本还大量进口世界木材资源，1998 年占世界总量的 22.4%，而中国仅占世界总量的 4.7%。加拿大、俄国、美国三大森林出口国占世界出口市场比重的 45.0%



（日本《世界状况》，2000/2001）。这表明中国需要进一步削减木材及其加工产品和相关产品（如纸或纸浆）的进口关税税率，甚至实行零关税，扩大利用世界森林资源能力，保护森林资源 50 年。

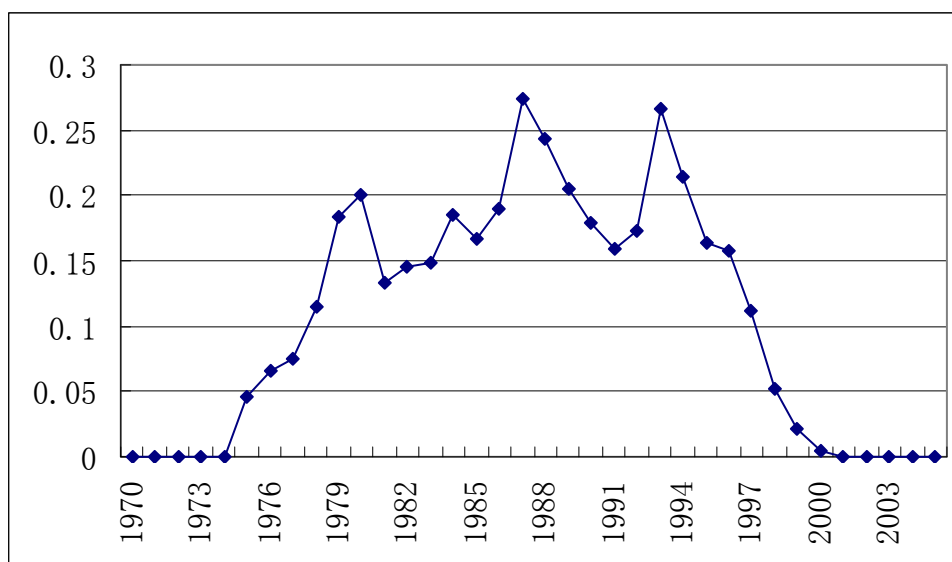


图 1.5 中国森林浩劫占 GDP 比重 (%)

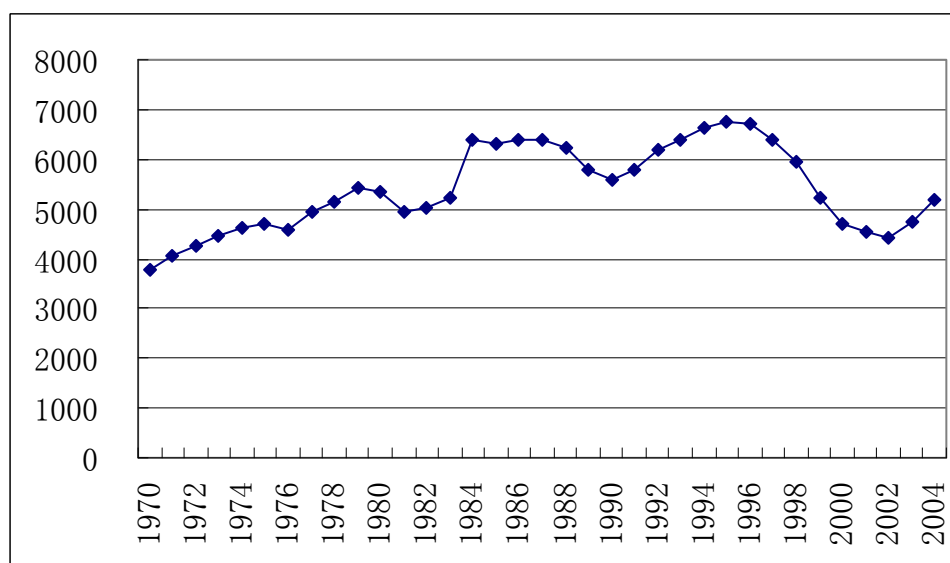


图 1.6 中国的木材产量 (万立方米)

第五，我国自然资产损失占 GDP 的比重十分惊人，经历了一个先上升后下降的过程（见图 1.7）。70 年代初期这一损失占 GDP 的比重约为 4%。70 年代末期到 80 年代初期这一经济损失达到最高峰，高达 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，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；90年代开始下降，到1995年下降了约一半，为7.80%；90年代下半期明显下降，到1999年已降至3.85%（见表1.4）。另外值得关注的是，进入“十五”，自然资产损失比重又开始上升，这主要是因为能源耗竭和矿产耗竭上升所致，2005自然资产损失比重上升为9.0%，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的变化趋势反映了过去20年中国确实经历了一个发展的大弯路，即“先破坏、后保护；先污染、后治理；先耗竭、后节约；先砍林、后种树”。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，出现了二条曲线趋同的趋势（见图1.8）。

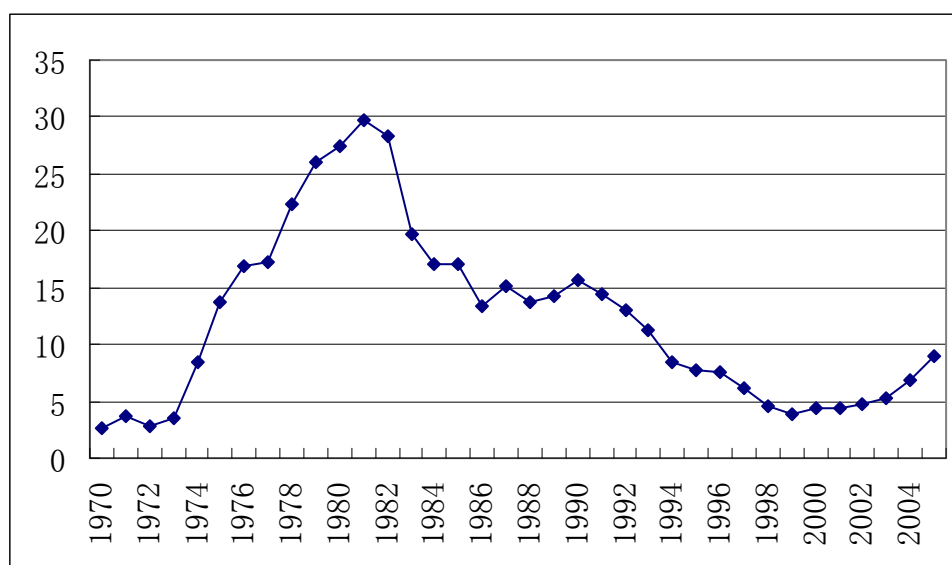


图 1.7 中国自然资产损失占 GDP 比重

表 1.4 自然资产损失和真实国内储蓄率

单位：%（占 GDP 比重）

	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
真实国民储蓄率	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。

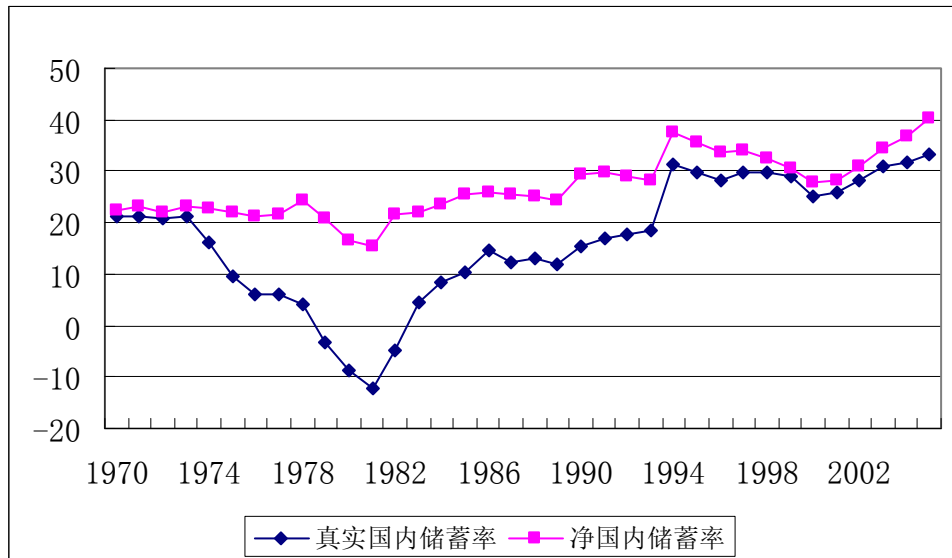


图 1.8 真实国内储蓄率和净国内储蓄率 (%)

需要特别说明的是，由于数据的可获得性和方法的局限性，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、SO<sub>2</sub>污染和其它有害、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。如果将所有的这些自然资产损失计算在内，我国自然资产损失将会更加惊人。由于中国目前整体生态恶化趋势尚没有被完全遏制，我国目前真实国民财富仍然非常巨大，真实储蓄可能要比本估算要低得多。更加客观的真实国民财富和真实储蓄的估算，还有待于数据的完善和方法的改进。

---

## 第二章 省际生产率的计算方法

改革开放二十多年来，中国经济长期保持了高增长。特别引人注意的是，不少研究表明中国经济增长在很大程度上依靠了全要素生产率（TFP）的贡献（参见 Bhattasali, 2001）。例如根据世界银行的估算，如果把经济增长的来源分为资本积累，就业增长，人力资本增长，和生产率增长四个组成部分，那么在 1978 到 1995 年间全要素生产率的增长对 GDP 增长的贡献平均每年高达 43%，是中国经济在这一时期的最主要增长来源（World Bank, 1997）。

然而，也有学者认为中国经济以往的发展呈现为一种高增长低效率的模式，今后中国要加快经济增长模式的转变，关键问题不在于是否是高增长，而在于实现什么样的高增长？即高质量高增长模式，这包括：由低效率高增长转向高效率高增长；由不公平高增长转向公平高增长；由低就业高增长转向高就业高增长；由不可持续高增长转向可持续高增长（胡鞍钢，2002）。还有学者指出，中国改革时期的经济增长是与东亚经济发展模式相一致的，即起点低，出口导向，高比例的农业人口，高储蓄率等（Sachs 和 Woo, 1997），其很大一部分生产率的增长在旧的计划体制向市场经济转变过程中将不可避免地逐渐减弱（Liu, 2000）。因此，一些学者对中国的经济近年来增长的情况以及改革时期要素积累的特点十分关注。

例如胡鞍钢(2003)注意到：在 1995-2001 年间，中国 GDP 年增长率为 8.2%，低于 1978-1995 年的增长率(9.8%)；人均 GDP 增长率为 7.3%，也低于 1978-1995 年期间的水平（8.4%）；劳动生产率年增长率为 7.0%，略低于前一时期（7.2%）；资本存量增长率为 11.8%，明显高于前一时期（9.3%）；就业增长为 1.2%，低于前一时期（2.4%）；人力资本（指 15 岁以上人口受教育年限）为 2.8%，高于前一时期；资本生产率为负增长（-3.6%）；人均劳动力占资本存量年增长率为 10.6%，为建国以来最高、最快，说明“资本深化”过程加速。张军（2004）也指出：中国经济在经历了 20 世纪 80 年代的增长和 1992-1994 年的超常规增长之后，资本形成中所累积的一系列低效率问题就开始显露端倪。导致这个结果出现

---

的主要原因是那个众所周知的过度投资和过度竞争的混合型转轨体制。由于过度的投资和过度的竞争，企业的技术选择显示出资本替代劳动的偏差，使技术路径逐步偏离了要素的自然结构，资本-劳动比率持续上升，加快了资本的深化过程，导致了投资收益率的持续而显著的恶化。Young（2000）在采用 1978-1997 年的省际数据对省际间产业结构变化的状况进行了分析之后，认为中国改革期间导致了国内市场分割，地区经济生产已经背离了自身的比较优势。

另外根据上面所引数据，如果仅以 GDP、资本存量、和就业人数的增长率采用 Solow 增长核算公式（取资本权数为 0.6 就业权数为 0.4）来估算生产率的增长，那末 1995-2001 年间的全要素生产率的增长仅为年均 0.64%，即仅占年均 GDP 增长率的 7.8%。而如果采用世界银行《中国 2020》中所引用的官方数字进行同样的估算，即将 GDP，资本存量，就业人数的增长率分别以 9.8%，8.8%，和 2.4%来估算的话，那么在 1978 到 1995 年间全要素生产率平均每年的增长为 3.16%，占 GDP 增长率的 33.6%。因此这两个时期生产率增长的差别之大是显而易见的，这似乎显示中国未来的经济发展有向 Young（1992，1995）和 Krugman（1994）所描绘的东亚模式趋同的迹象。或者说从上面观察到的“资本深化”现象来看，中国经济的发展是否正在背离林毅夫近年来所强调的经济发展应遵循比较优势的原则（参见林毅夫，2001）？为了对目前这一新的经济形势做出正确的判断，更加深刻地理解中国经济成长中所存在的问题，本文试图通过对省际全要素生产率及其组成部分的测算，从技术效率和技术进步这两个不同的方面来考察中国改革开放以来的生产率增长性质和近年来的变化趋势。

再有就是近年来，地区间收入差距扩大已成为中国政策领域争论的主题之一。崔启源、王有强（2001）在胡鞍钢主编的《地区与发展：西部开发新战略》一书中通过实证分析建国以来我国地区差距状况以及经济增长与地区差距之间的动态变化关系，认为省际差距改革以前是在起伏波动中扩大，到了 20 世纪 80 年代前半期逐渐缩小，而进入 90 年代则开始拉大。他们的研究表明，投资的地域分布和全要素生产率增长是地区差距的主要影响因素。他们认为，作为地区差距的一个影响因素，全要素生产率主要取决于技术创新、劳动力素质的提高和制

---

度变迁。就中国的情况而言，经济结构变动和制度创新是提高全要素生产率的主要推动力量。由于农业改革从欠发达的省份开始，改革初期生产率的增长具有降低差距的效应。从 20 世纪 80 年代后期以来，中国进入了新的发展阶段，生产率增长方式发生了改变，城市改革、集体经济（尤其是乡镇企业）的迅速发展以及服务业的增长（例如金融和房地产业），都有利于沿海省份的发展，结果使得生产率起到了扩大地区差距的作用。我们这一研究的另外一个目的就是在更新数据的基础上继续考察改革期间中国的全要素生产率增长的地区分布情况，以便进一步确认 90 年代和本世纪初生产率的增长在扩大地区收入差距中所起的作用。

以往，经济总量全要素生产率的研究主要是采用有关经济总量的时间序列数据来进行的。这类研究所采用方法的主要局限之一是在增长核算中需要引入很强的行为与制度假设；二是它们一般不对技术进步和技术效率加以区别；三是采用的时间序列的数据量很小，很难选择较复杂的函数形式进行生产函数估算并对生产率进行拆分，或考虑加入更多的变量进行分析也会很困难。而在我们的研究中，由于采用了省际数据和前沿生产函数估算方法，使上述三个方面的问题得到了较好的解决。在对各种生产率模型特别是前沿生产函数模型的深入细致的调查研究基础上，我们倾向于在对省际生产率进行估算时采用一种确定性的非参数前沿生产函数模型，这就是 Malmquist 指数法（见 Färe 等,1994）。采用省际数据对生产率拆分的研究虽然不多，与我们研究关系比较直接的有 Wu（2000 和 2003），以及林毅夫和刘培林（2003）。前者采用的是随机前沿版面数据生产函数模型，而后者中的技术进步率也是由 Malmquist 指数法得到的。相信今后这类应用研究会越来越多，从国际上这类文献的总体情况来看，有时同一模型在应用一组数据时可以得到与经验相符的结果，而应用到另一组数据时也可能得到与常理相悖的结果。因此，在本文中我们试图在省际生产率的测算方面为研究人员提供一些选择生产率模型的经验 and 理论依据。我们的研究一方面通过对生产率增长的估算可以为分析中国经济增长性质的研究提供实证依据，另一方面我们还侧重于对中国生产率增长的性质从技术进步和技术效率这两个方面进行更加深入细致的评估。

本研究的一个首要目的就是在省际生产函数估算的基础上对中国的全要素

---

生产率的增长及其构成进行较全面的考察。以往，经济总量全要素生产率的研究主要是采用有关经济总量的时间序列数据来进行的。比如，以总量时序生产函数的估算为依据对全要素生产率的考察有邹至庄自 1980 年代中起的研究（Chow, 1988, 1993, 2002a, 2002b），还有 Heytens 和 Zebregs（2003），以及 Wang 和 Meng（2001）的研究。另外采用 Solow（1957）增长核算法的研究有世界银行（World Bank, 1997），Hu 和 Khan（1997），Maddison（1998），Liu（2000），Wang 和 Yao（2003），Young（2003）等的研究。这些研究从经验方法上来讲有三个比较明显的局限性。一是增长核算法中需要引入很强的行为与制度假设，如利润最大化假设和完备竞争市场（perfect competition）假设。对于中国这样一个仍然处在经济转型时期的发展中国家，这些假设恐怕是很难满足的。二是增长核算法（Solow, 1957）和总量时序生产函数估算法（Cobb 和 Douglas, 1928）一般不对技术进步和技术效率加以区别，而技术效率问题恰恰是对多数发展中国家来说应该在政策上给予更多关注的基本问题（参见 Felipe, 1999）。三是上述研究中采用的时间序列的数据量很小，很难选择较复杂的函数形式进行生产函数估算并对生产率进行拆分，或考虑加入更多的变量进行分析也会很困难。由于省际数据的版面数据（Panel data）性质，数据量比总量时序资料增加了三十倍，兼有时间和空间两个维度，其优势是显而易见的。另外，生产率在省际间的分布情况也只有通过采用省际数据来考察，总量时序资料是无法胜任的。在对各种生产率模型特别是前沿生产函数模型的深入细致的调查研究基础上，我们倾向于在对省际生产率进行估算时采用一种确定性的非参数前沿生产函数模型，这就是 Malmquist 指数法（见 Färe 等, 1994）。为了说明我们这一模型选择有一定的合理性，下面我们先对相关文献做一个简要的综述，然后介绍所采用的 Malmquist 指数法，最后讨论一些在经验估算中需要注意的问题。

### （一）文献回顾与模型选择

由于传统的增长核算方法一般将全要素生产率的增长等同于技术进步（如 Solow, 1957），从而忽略了技术效率的变化对生产率变化的影响。如前所述，近年来，在西方经济学文献中，人们对全要素生产率的拆分表现出了越来越多的兴

---

趣 (Färe 等,1994; Battese & Coelli,1995, Kumbhakar, 2000, Karagiannis 等, 2002)。这类文献认为,生产率的增长是由三部份组成的。一个是技术进步(如新技术的采用或新产品的发明),二是技术效率(如管理效率的提高和生产经验的积累),三是规模效益(组建和管理大企业乃至大国经济的能力以及知识本身,诸如知识产业等)。对生产率进行拆分的模型多为前沿生产函数模型,它们的应用要求采用版面数据 (Panel data),因此中国的省际版面数据的存在为我们对经济增长中的生产率因素进行进一步的拆分提供了一个有利条件。

对生产率进行拆分的前沿生产函数模型一般分为两种,一种为确定性的,另一种为随机性的。由于随机性模型还存在一些难以解决的问题,比如如何设定效率分布的偏倚方向问题 (Li, 1996 和 Carree, 2002), 效率随时间变化的模式问题, 以及效率与技术进步参数之间的识别困难问题 (Kumbhakar 和 Lovell 2000), 因此在应用研究中采用确定性的模型比较常见 (Karagiannis 等, 2002)。确定性的版面数据模型又可以分为参数型 (如 Førsund 和 Hjalmarsson, 1979a, 再如 Nishimizu 和 Page, 1982) 和非参数型 (Färe 等, 1994), 但在为数不是很多的应用文献中采用非参数型 (Malmquist 指数法) 的研究似乎占较大比例。一个比较经典的例子是 Färe 等 (1994) 采用 1979-1988 年的经济总量数据对 OECD17 个国家的 TFP 的估算和拆分。较近些的例子还有 Lall (2003) 等人对西半球 30 个国家以 1978-1994 年间的经济总量数据进行的 TFP 测算, 以及 Krüger (2003) 采用世界上 87 国家的经济总量数据的 TFP 时间趋势的研究。

在采用中国数据的研究中也有一些对生产率进行拆分的尝试。其中有的采用了随机生产前沿模型, 也有的采用了确定性生产前沿模型。在版面数据随机前沿生产函数方面, 有 Kalirajan 等 (1996) 以省际变系数前沿生产函数对农业生产率的拆分, 还有 Kong 等 (1999) 以部分国企八百家数据 1990-94 和 Wu (2000, 2003) 以省际数据, 应用版面数据随机生产前沿模型 (Battese & Coelli, 1995) 对生产率的拆分研究。在 Malmquist 指数法方面有 Färe 等 (1996) 应用 1980, 1984, 和 1985 国企数据的尝试, Mao 和 Koo (1997) 对省际农业生产率的拆分, Zhang 等 (2001) 对上海不同所有制工业企业的研究, 郑京海和刘小玄等 (2002, 2003)



---

对国企八百家 1980-94 数据的研究, 以及林毅夫和刘培林 (2003) 采用省际数据对技术进步和劳均资本关系的研究。

在采用随机生产前沿模型的研究中, 有些利用企业数据和省际数据的研究存在着两个问题。一是得出了国营企业改革时期生产率几乎无增长的结果 (如 Kong 等, 1999), 二是对生产率拆分后出现了省际技术进步率为负值的情况 (技术退步, 如 Wu, 2000)。而一些采用确定性生产前沿模型的研究则得到了与经验大致相符的结果 (如郑京海和刘小玄等, 2002; Zheng, Liu, 和 Bigsten, 2003; 以及 Mao 和 Koo, 1997)。

在文献中也可以看到一些采用传统的增长核算方法以省际数据对中国的 TFP 进行研究的例子, 比如王绍光和胡鞍钢 (1999), 胡鞍钢主编的《地区与发展: 西部开发新战略》一书 (2001), 以及 Ezaki 和 Sun (1999) 的部分研究。<sup>13</sup> 如前所述, 传统的增长核算方法忽略了技术效率的变化对生产率变化的影响, 因此我们考虑在本研究中采用面板数据前沿生产函数模型。由于随机前沿模型所存在的上述问题, 我们倾向于采用 Malmquist 指数法, 因为它是一个较规范的并已经在应用中被证明是对生产率进行拆分的较有效的方法。

## (二) 距离函数与 Malmquist 指数法

自上世纪七十年代末有学者采用版面数据应用确定性前沿生产函数模型以时间趋势变量对技术变迁率进行了估算 (Førsund 和 Hjalmarsson, 1979a) 以后, 这类模型的一个重要的发展就是在概念上和经验估算上将生产率拆分为技术进步, 效率变化, 和规模效率的改善 (Nishimizu 和 Page, 1982, Førsund 和 Hjalmarsson, 1979b)。以数据包络分析 (DEA) 为基础的 Malmquist 指数法生产率模型即属于这样一类模型。我们现在参照 Färe 等 (1994) 来定义以产出为指标的 Malmquist 生产率变化指数。假定在每个时刻  $t=1, \dots, T$ , 生产技术  $\mathbf{S}^t$  将要素投入,  $\mathbf{x}^t \in \mathbf{R}_+^N$ , 转化为产出,  $\mathbf{y}^t \in \mathbf{R}_+^M$ , 用集合来表示就是:

---

<sup>13</sup> 另外一个例子是 Jia (1998) 的对省际劳动生产率的趋同趋势的研究。

$$\mathbf{S}^t = \{(\mathbf{x}^t, \mathbf{y}^t): \mathbf{x}^t \text{ 可以生产 } \mathbf{y}^t\}. \quad (1)$$

$\mathbf{S}^t$  又叫生产可能性集合，其中每一个给定投入的最大产出子集又被叫做生产技术的前沿。另外， $t$  时刻的产出距离函数可以定义为：

$$\begin{aligned} D_o^t(\mathbf{x}^t, \mathbf{y}^t) &= \inf\{\theta: (\mathbf{x}^t, \mathbf{y}^t/\theta) \in \mathbf{S}^t\}. \\ &= (\sup\{\theta: (\mathbf{x}^t, \theta\mathbf{y}^t) \in \mathbf{S}^t\})^{-1}. \end{aligned} \quad (2)$$

注意  $D_o^t(\mathbf{x}^t, \mathbf{y}^t) \leq 1$  当且仅当  $(\mathbf{x}^t, \mathbf{y}^t) \in \mathbf{S}^t$ 。另外， $D_o^t(\mathbf{x}^t, \mathbf{y}^t) = 1$  当且仅当  $(\mathbf{x}^t, \mathbf{y}^t)$  为技术前沿上的点。根据 Farrell(1957)，这意味着生产从技术上讲其效率为 100%，也就是在给定投入的情况下实现了最大产出。在单一投入和单一产出的情况下，假设规模效益不变，当平均生产率达到最大时，最大可能产出也就实现了。在经验估算中，这个最大化了的平均生产率也就是样本中的最佳实践，这个最佳实践可以由数据包络分析（DEA）方法来定。为了定义 Malmquist 指数我们给出一个含有两个不同时刻的距离函数如下：

$$D_o^t(\mathbf{x}^{t+1}, \mathbf{y}^{t+1}) = \inf\{\theta: (\mathbf{x}^{t+1}, \mathbf{y}^{t+1}/\theta) \in \mathbf{S}^t\}. \quad (3)$$

此函数给出以  $t$  时刻的生产技术为参照时投入产出量  $(\mathbf{x}^{t+1}, \mathbf{y}^{t+1})$  所能达到的最大可能产出与实际产出的比率。同样，另一个类似的距离函数  $D_o^{t+1}(\mathbf{x}^t, \mathbf{y}^t)$  也可以给出以  $t+1$  时刻的生产技术为参照时投入产出量  $(\mathbf{x}^t, \mathbf{y}^t)$  所能达到的最大可能产出与实际产出之比。为了避免在选择生产技术参照系时的随意性，我们把以产出为指标的 Malmquist 指数特定为两个 Malmquist 指数的几何平均值。一个以  $t$  时刻的生产技术为参照，另一个以  $t+1$  时刻为参照，其数学表示如下：

$$M_o(\mathbf{x}^{t+1}, \mathbf{y}^{t+1}, \mathbf{x}^t, \mathbf{y}^t) = \left[ \left( \frac{D_o^t(\mathbf{x}^{t+1}, \mathbf{y}^{t+1})}{D_o^t(\mathbf{x}^t, \mathbf{y}^t)} \right) \left( \frac{D_o^{t+1}(\mathbf{x}^{t+1}, \mathbf{y}^{t+1})}{D_o^{t+1}(\mathbf{x}^t, \mathbf{y}^t)} \right) \right]^{1/2}. \quad (4)$$

除非特意说明，在所有的有关 Malmquist 指数的定义中我们假设生产技术

的规模效益不。公式 (4) 中的指数可以被看成两个部分的乘积，即：

$$\text{技术效率变化} = \frac{D_o^{t+1}(\mathbf{x}^{t+1}, \mathbf{y}^{t+1})}{D_o^t(\mathbf{x}^t, \mathbf{y}^t)}, \quad (5)$$

和

$$\text{技术进步率} = \left( \frac{D_o^t(\mathbf{x}^{t+1}, \mathbf{y}^{t+1})}{D_o^{t+1}(\mathbf{x}^{t+1}, \mathbf{y}^{t+1})} \frac{D_o^t(\mathbf{x}^t, \mathbf{y}^t)}{D_o^{t+1}(\mathbf{x}^t, \mathbf{y}^t)} \right)^{1/2}, \quad (6)$$

也就是说表达式 (5) 给出的是  $t$  与  $t+1$  时刻之间的效率变化，可以称之为效率变化指数；而式 (6) 则代表生产技术的前沿在产出增加方向上的移动，可称之为技术进步率指数。这两个指数如果小于 1 就意味着生产率的下降。为了采用非参数规划技术来计算 Malmquist 指数，我们假设设有  $k=1, \dots, K$  个省市自治区，在  $t=1, \dots, T$  中的每一个时刻，使用  $n=1, \dots, N$  要素投入， $x_n^{k,t}$ 。这些投入被用来生产  $m=1, \dots, M$  个种类的产出  $y_m^{k,t}$ 。每一个投入产出的观测值都为正数，并且假定每个时刻的观测值（比如每年）数目为常数（当然在实际当中情况不一定如此）。在  $t$  时刻，作为参照标准的生产技术前沿可以借助数据来得到：

$$\begin{aligned} \mathbf{S}^t = \{(\mathbf{x}^t, \mathbf{y}^t) : y_m^t \leq \sum_{k=1}^K z^{k,t} y_m^{k,t} \quad & m = 1, \dots, M, \\ \sum_k z^{k,t} x_n^{k,t} \leq x_n^t \quad & n = 1, \dots, N, \text{ and} \\ z^{k,t} \geq 0 \quad & k = 1, \dots, K\}. \end{aligned} \quad (7)$$

这个生产技术具有规模效益不变和（强）自由处置投入产出的性质 (Färe 等, 1985)。下面解释一下 Malmquist 指数法的几何意义。如图 1 所示， $\mathbf{x}$  为投入， $\mathbf{y}$  为产出。如果以从远点出发的两条射线代表  $t$  和  $t+1$  时刻的规模效益不变的生产前沿，并把与它们对应的生产可能性集合以  $\mathbf{S}^t$  和  $\mathbf{S}^{t+1}$  来表示，那末在  $t$  时刻观测到的投入产出点， $(\mathbf{x}^t, \mathbf{y}^t)$ ，相对时刻  $t$  的生产前沿的生产率可以定义为  $0a/0b$ ，即在给定投入的情况下实际产出与生产前沿上的产出之比。同理，在  $t+1$  时刻观测到的投入产出点， $(\mathbf{x}^{t+1}, \mathbf{y}^{t+1})$ ，相对时刻  $t$  的生产前沿的生产率为  $0d/0c$ 。再定义生产率的变化为  $t+1$  时刻和  $t$  时刻生产率之间的比值，

$$\dot{\text{TFP}}^t = \frac{0d/0c}{0a/0b}$$

当以 t+1 时刻的生产前沿为参照时,  $(\mathbf{x}^t, \mathbf{y}^t)$  和  $(\mathbf{x}^{t+1}, \mathbf{y}^{t+1})$  这两个观测点的生产率的变化可写成,

$$\dot{\text{TFP}}^{t+1} = \frac{0d/0f}{0a/0e}$$

为了避免在选择 t 还是 t+1 时刻的生产前沿为参照的随意性, 我们前文中采用了取两个生产率的几何平均值的办法。这样以产出为指标的 Malmquist 生产率指数还可以用图 2 中的符号写成如下形式,

$$M_0 = (\text{TFP}^t \cdot \text{TFP}^{t+1})^{1/2} = \left( \frac{0d/0c}{0a/0b} \frac{0d/0f}{0a/0e} \right)^{1/2} = \left( \frac{0d/0f}{0a/0b} \right) \left( \frac{0f/0c}{0e/0b} \right)^{1/2}$$

上式中第一项的分子为 t+1 时刻的实际产出对 t+1 时刻的生产前沿的比值, 这一生产率指标在文献中被称为 t+1 时刻的技术效率; 分母为 t 时刻的实际产出对 t 时刻的生产前沿的比值, 也就是 t 时刻的技术效率。这两个技术效率的比值可以理解为从 t 到 t+1 时刻的效率变化, 即与公式 (5) 对应:

$$\text{技术效率变化} = \left( \frac{0d/0f}{0a/0b} \right)$$

这个指标如果大于 1 意味着技术效率的改善, 小于 1 则表示技术效率降低, 等于 1 时为效率无变化。式中第二项的第一个比值为, 给定 t+1 时刻的投入水平,  $\mathbf{x}^{t+1}$ , t+1 时刻生产前沿上的产出对 t 时刻生产前沿上的产出之比; 第二个比值为, 给定 t 时刻的投入水平,  $\mathbf{x}^t$ , t+1 时刻生产前沿上的产出对 t 时刻生产前沿上的产出之比。这两个比值均为在给定投入水平的情况下生产前沿在产出增加方向上的增长率, 文献中称之为技术进步率。取它们的几何平均值, 我们将使用的技术进步率恰好等于  $M_0$  表达式中的第二项, 即:

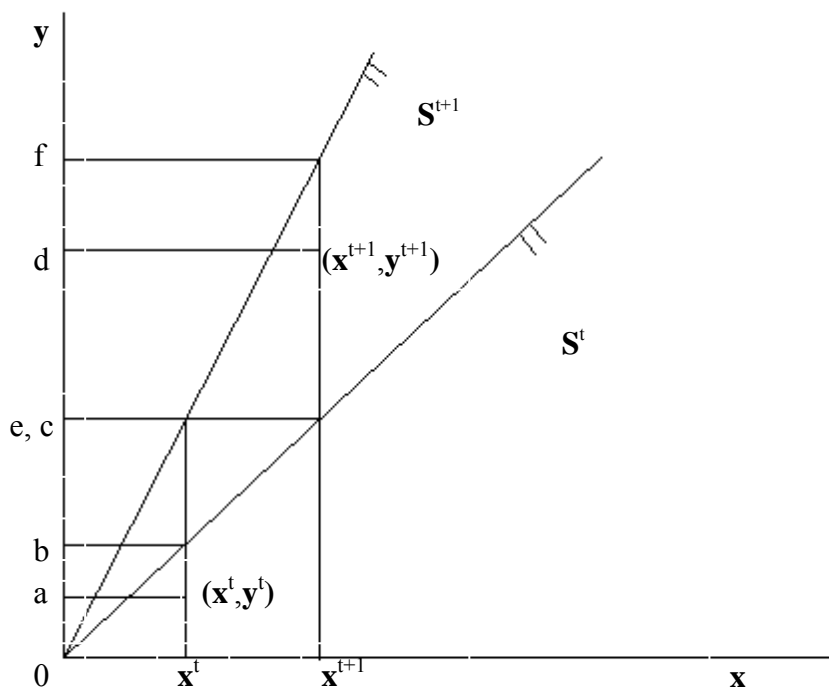


图 2.1 产出为指标的 Malmquist 全要素生产率指数及其拆分

$$\text{技术进步率} = \left( \frac{0f}{0e} \frac{0c}{0b} \right)^{\frac{1}{2}}$$

该项指标大于 1 时表示技术进步，等于 1 时技术无进步，小于 1 时技术退步。这样，生产率的变化在几何意义上也被拆分成了两个部分，一个是技术效率的变化，另一个是技术进步率。为了估算  $k'$  生在时刻  $t$  和  $t+1$  之间的生产率，我们需要解四个不同的线性规划问题： $D_o^t(\mathbf{x}', \mathbf{y}')$ ， $D_o^{t+1}(\mathbf{x}', \mathbf{y}')$ ， $D_o^t(\mathbf{x}^{t+1}, \mathbf{y}^{t+1})$ ，和  $D_o^{t+1}(\mathbf{x}^{t+1}, \mathbf{y}^{t+1})$ 。对于每个  $k'=1, \dots, K$  的省，

$$\begin{aligned}
& \left( D_0^t(\mathbf{x}^{k',t}, \mathbf{y}^{k',t}) \right)^{-1} = \max \theta^{k'} \\
& \text{subject to :} \\
& \theta^{k'} y_m^{k',t} \leq \sum_{k=1}^K z^{k,t} y_m^{k,t} \quad m = 1, \dots, M, \\
& \sum_{k=1}^K z^{k,t} x_n^{k,t} \leq x_n^{k',t} \quad n = 1, \dots, N, \text{ and} \\
& z^{k,t} \geq 0 \quad k = 1, \dots, K.
\end{aligned} \tag{8}$$

上面这一线性规划问题是数据包络分析 (DEA) 和距离函数估算的基础, 文献中称为 DEA 效率估算。有关  $D_0^{t+1}(\mathbf{x}^{t+1}, \mathbf{y}^{t+1})$  的线性规划问题和上面的类似, 但需要将  $t$  时刻改为  $t+1$  时刻。

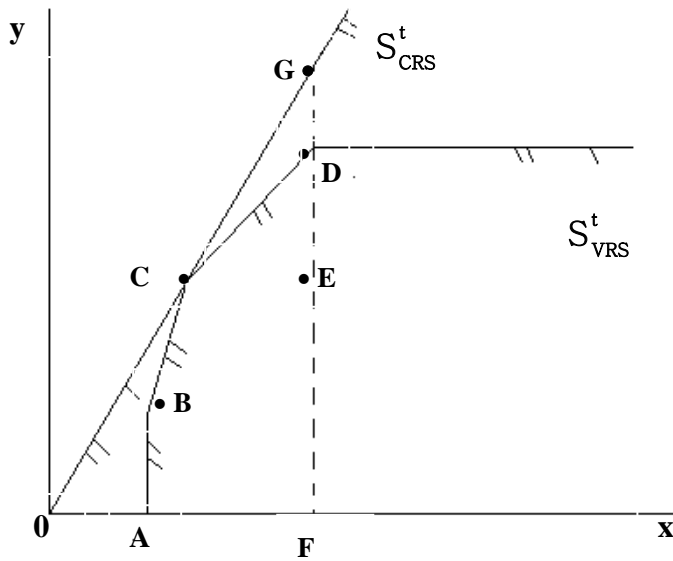


图 2.2 可变规模效益 (VRS) 生产前沿与规模效率

另外两个用来估算 Malmquist 生产率指数的距离函数需要同时使用两个时刻的数据。在以  $k'$  省为例, 其中一个线性规划问题的写法如下:

$$\begin{aligned}
& \left( D_o^t(\mathbf{x}^{k',t+1}, \mathbf{y}^{k',t+1}) \right)^{-1} = \max \theta^{k'} \\
& \text{subject to :} \\
& \theta^{k'} y_m^{k',t+1} \leq \sum_{k=1}^K z^{k,t} y_m^{k,t} \quad m = 1, \dots, M, \\
& \sum_{k=1}^K z^{k,t} x_n^{k,t} \leq x_n^{k',t+1} \quad n = 1, \dots, N, \text{ and} \\
& z^{k,t} \geq 0 \quad k = 1, \dots, K.
\end{aligned} \tag{9}$$

在实际应用中上面的线性规划问题有时会得出技术退步的结果。这样的结果一般很难解释,因为一门现代工农业生产技术或管理方法一旦被使用一般不会出现遗忘的现象,但有时也能在某些行业和某些情况下找到例子。比如农业劳动力向工业的转移可能会造成掌握较先进农业技术的青壮年人离开农村到城市里工作,结果留在农村从事农业劳动的多为老人和妇女导致技术上的倒退。再比如发展中国家的人才外流也可能造成技术退步现象。但在本研究中,为突出研究重点起见,我们在解上面的线性规划问题时,将  $t$  时刻的最佳实践省份也包括在  $t+1$  时刻的生产前沿中,以避免估算结果中出现技术退步的情况(技术无退步约束)。

根据上面的线性规划模型所估计出的生产前沿具有规模效益不变(CRS)的性质。如果对比相应的可变规模效益生产前沿,技术效率还可以被进一步拆分成“纯”技术效率,即以可变规模效益生产前沿为参照的技术效率(VRS)和规模效率两部分。如图2所示由观测值BCD组成的生产前沿ABCD也满足生产函数理论对生产函数形式的数学规制性假设(如准凹性假设等),但其生产率水平,在生产前沿的ABC一段上随着生产规模的增加由小变大,在经过C点后,又由大变小。以图2上落在VRS生产可能性集合 $S'_{VRS}$ 内的E点为例,“纯”技术效率是指EF对VRS生产前沿上产出FD的比值,而技术效率(CRS)是EF对CRS生产前沿CG上产出GD的比值。规模效率可以定义为这两个技术效率之间的比值(Førsund和Hjalmarsson, 1979b)。对应于VRS生产前沿线性规划问题与CRS生产前沿的规划问题的区别是前者比后者多了一个约束,  $\sum_{k=1}^K z^{k,t} = 1$  (Afriat, 1972)。

---

### (三) 方向性距离函数与 Malmquist - Luenberger 指数法

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、SO<sub>2</sub> 污染和其它有害、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., 2000)。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。Jeon and Sickles(2004)将 CO<sub>2</sub> 排放纳入生产率分析，利用 OECD 国家和亚洲国家数据，采用上述方法，分别测算了 Malmquist 和 Malmquist-Luenberger 生产率。此外，Arcelus and Arocena(2005)同样针对 OECD 国家的 CO<sub>2</sub> 排放问题，采用方向性距离函数的方法，并与其他不同策略倾向的效率评测方法结果进行对比。以上的分析均不同程度表明，将环境因素纳入生产率分析中后，将可以较好地体现经济增长的环境成本，还原一个较为真实的国家生产率水平。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,

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

以及产出与污染排放的联合生产假设为,

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

根据标准的产出距离函数的定义,

$$D_0^t(x^t, y^t, b^t) = \inf \{ \theta \mid (x^t, y^t / \theta, b^t / \theta) \in F^t \} = \left( \sup \{ \theta \mid (x^t, \theta y^t, \theta b^t) \in F^t \} \right)^{-1}$$

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,

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

我们用距离函数来定义技术效率的度量为一个在 0 与 1 之间的指数如下,

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

定义含污染排放的产出集为，

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

当方向向量为  $g$  时，方向性距离函数的定义为，

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

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，

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

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，

$$\hat{D}_0^t(x^t(k^*), y^t(k^*), b^t(k^*); y^t(k^*), -b^t(k^*)) = \max \beta$$

$$s.t. \quad (1+\beta)y_m^t(k^*) \leq \sum_{k=1}^K \lambda^t(k)y_m^t(k), \quad m=1, \dots, M$$

$$\sum_{k=1}^K \lambda^t(k)b_n^t(k) = (1-\beta)b_n^t(k^*), \quad n=1, \dots, N$$

$$\sum_{k=1}^K \lambda^l(k) x_l^t(k) \leq x_l^t(k^*), \quad l=1, \dots, L$$

$$\lambda^l(k) \geq 0, \quad k=1, \dots, K$$

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,

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

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:

$$\left( \bar{D}_0^t(x^t(k^*), y^t(k^*), b^t(k^*)) \right)^{-1} = \min \theta(k^*)$$

$$s.t. \quad y_m^t(k^*) \leq \sum_{k=1}^K \lambda^l(k) y_m^t(k), \quad m=1, \dots, M$$

$$\sum_{k=1}^K \lambda^l(k) b_n^t(k) = \theta(k^*) b_n^t(k^*), \quad n=1, \dots, N$$

$$\sum_{k=1}^K \lambda^l(k) x_l^t(k) \leq x_l^t(k^*), \quad l=1, \dots, L$$

$$\lambda^l(k) \geq 0, \quad k=1, \dots, K$$

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)。

Chung 等人 (1997) 定义了在生产空间中的  $t$  时刻和  $t + 1$  时刻之间的 Malmquist–Luenberger 生产率指数:

$$ML_0^{t,t+1} = \left[ \left( \frac{1 + \vec{D}_0^t(\mathbf{x}^t, \mathbf{y}^t, b^t; y^t, -b^t)}{1 + \vec{D}_0^t(\mathbf{x}^{t+1}, \mathbf{y}^{t+1}, b^{t+1}; y^{t+1}, -b^{t+1})} \right) \left( \frac{1 + \vec{D}_0^{t+1}(\mathbf{x}^t, \mathbf{y}^t, b^t; y^t, -b^t)}{1 + \vec{D}_0^{t+1}(\mathbf{x}^{t+1}, \mathbf{y}^{t+1}, b^{t+1}; y^{t+1}, -b^{t+1})} \right) \right]^{1/2}.$$

这一指数同样可以被拆分为两部分

$$\text{ML 技术效率变化} = \frac{1 + \vec{D}_0^t(\mathbf{x}^t, \mathbf{y}^t, b^t; y^t, -b^t)}{1 + \vec{D}_0^{t+1}(\mathbf{x}^{t+1}, \mathbf{y}^{t+1}, b^{t+1}; y^{t+1}, -b^{t+1})}$$

ML 技术进步率 =

$$\left[ \left( \frac{1 + \vec{D}_0^{t+1}(\mathbf{x}^{t+1}, \mathbf{y}^{t+1}, b^{t+1}; y^{t+1}, -b^{t+1})}{1 + \vec{D}_0^t(\mathbf{x}^{t+1}, \mathbf{y}^{t+1}, b^{t+1}; y^{t+1}, -b^{t+1})} \right) \left( \frac{1 + \vec{D}_0^{t+1}(\mathbf{x}^t, \mathbf{y}^t, b^t; y^t, -b^t)}{1 + \vec{D}_0^t(\mathbf{x}^t, \mathbf{y}^t, b^t; y^t, -b^t)} \right) \right]^{1/2}$$

---

## 第三章 各地区环境污染物数据背景

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<sup>14</sup>。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，针对第一章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（包括工业废水和生活废水）、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，包括工业 COD 和生活 COD），废气中的代表性污染物 SO<sub>2</sub>（包括工业 SO<sub>2</sub> 和生活 SO<sub>2</sub>），以及与能源消费密切相关的 CO<sub>2</sub> 排放总量。

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县以上企、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。由于生活废水、生活 COD、生活 SO<sub>2</sub> 的统计数据都是从 1999 年以后才开始在环境统计数据中出现，而且工业固体废弃物统计在 1998 年前后由于工业统计范围的变化也出现了不可比的口径变化，因此我们的计算对所有污染物都统一选取 1999 年到 2005 年作为研究的时间段。

从各地区的污染物排放总量来看，大气污染物总体上升比较明显，特别是中国化石能源消费的迅速增长使得 CO<sub>2</sub> 排放总量在 1999 到 2005 年之间增加了近

---

<sup>14</sup> 周民良, 2000; 中华人民共和国国务院新闻办公室, 2006; 中国科学院可持续发展战略研究组, 2006

一倍，同时 SO<sub>2</sub> 排放总量也上升了 32.4%；相对来说虽然废水排放总量也上升了 30.5%，但其代表性污染物 COD 基本保持了 1999 年的水平；而工业固体废弃物的排放在这六年间下降了 57.4%。工业固体废弃物的排放在地区间的分布呈现出很高的集中度，前 5 个主要的排放省区的排放量占到了全国的 70 左右，实际上全国主要的排放都集中在华北地区（山西、河北）和西南地区（贵州、云南、四川），这几个地区工业固体废弃物的大幅下降带动了全国排放总量的迅速下降。

表 3.1 污染排放分布

	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005
<b>相对平均值 (1999=100)</b>							
CO <sub>2</sub>	100	103.8	109.4	122.7	139.7	161.4	185.8
SO <sub>2</sub>	100	102.1	97.9	97.5	112.1	117.1	132.4
COD	100	101.0	98.7	94.0	96.0	96.4	101.8
Waste Water	100	103.5	108.0	109.7	114.6	120.4	130.5
Solid Waste	100	82.1	61.7	54.8	50.0	44.1	42.6
<b>差异系数 (标准差 / 平均值)</b>							
CO <sub>2</sub>	0.59	0.60	0.61	0.64	0.64	0.64	0.67
SO <sub>2</sub>	0.71	0.71	0.71	0.70	0.67	0.64	0.63
COD	0.62	0.65	0.67	0.67	0.65	0.65	0.64
Waste Water	0.75	0.76	0.82	0.80	0.80	0.79	0.83
Solid Waste	1.56	1.56	1.78	1.80	1.96	2.10	2.08
<b>集中度 (CR5, %)</b>							
CO <sub>2</sub>	34.10	34.39	34.81	35.58	35.47	35.97	37.40
SO <sub>2</sub>	35.63	35.57	35.76	35.24	33.5	32.12	31.76
COD	31.67	34.02	34.12	33.54	33.67	33.65	33.74
Waste Water	35.85	36.11	38.15	37.52	37.48	37.36	38.60
Solid Waste	68.59	67.37	73.26	68.15	69.23	70.54	69.30

从各地区污染排放强度（单位 GDP 的污染排放）的平均水平来看，大气污染强度中 CO<sub>2</sub> 排放强度经过一个先下降后上升的过程，到 2005 年基本回到 1999 年的水平，而 SO<sub>2</sub> 排放强度下降了 26.2%；废水排放的强度下降幅度在这 6 年中也达到了 28.2%，而其代表性污染物 COD 排放强度的下降幅度则是达到了 42.1%；工业固体废弃物的排放强度下降幅度最大，到 2005 年仅为 1999 年的 24.7%。各地区污染物排放强度分布的不均等程度差别也比较大，除了工业固体废弃物一直高于 70%，属于高度不均等以外，各地区 SO<sub>2</sub> 排放强度的基尼系数也基本都在 40% 以上，属于中度不均等。（见表 3.2）

表 3.2 污染排放强度的分布

	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005
<b>相对平均值 (1999=100)</b>							
CO <sub>2</sub>	100	95.4	91.9	91.9	95.8	98.0	99.1
SO <sub>2</sub>	100	93.8	81.7	74.4	78.9	73.0	73.8
COD	100	99.8	85.1	70.7	65.6	59.2	58.9
Waste Water	100	94.9	87.9	81.6	76.8	73.1	71.8
Solid Waste	100	81.5	55.3	42.4	38.1	29.2	24.7
<b>差异系数 (标准差 / 平均值)</b>							
CO <sub>2</sub>	0.48	0.50	0.51	0.50	0.56	0.56	0.54
SO <sub>2</sub>	1.02	1.03	1.03	1.02	0.97	0.93	0.89
COD	0.52	0.68	0.71	0.60	0.62	0.61	0.68
Waste Water	0.38	0.35	0.39	0.42	0.45	0.42	0.50
Solid Waste	1.92	1.68	1.87	1.85	2.02	1.96	1.85
<b>基尼系数 (%)</b>							
CO <sub>2</sub>	22.39	22.92	23.38	22.33	24.12	24.74	24.24
SO <sub>2</sub>	42.08	42.42	42.07	42.78	42.85	41.84	40.63
COD	24.24	26.80	28.25	26.25	26.77	25.63	28.96
Waste Water	16.11	15.15	16.85	18.26	19.41	18.09	21.20
Solid Waste	71.95	68.64	71.65	72.29	73.62	73.44	71.64

### (一) 废水排放情况

自 1999 年来, 全国废水排放总体呈增长趋势, 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。到 2005 年排放量最大的 5 个省份依次是: 广东、江苏、浙江、山东、福建, 这 5 个省也是这一时期经济总量最大的沿海东部省份, 其中广东的年均废水排放增长量高达 63.8 亿吨, 江苏、浙江、山东、福建分别为 51.9、31.3、28.0、27.1 亿吨。到 2005 年, 河北、广西、福建三个省区成为高废水排放省区 (见图 3.1), 相反上海、贵州、甘肃等省份近年来废水排放总量呈下降趋势, 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“十五”期间, 增长速度加快。(见表 3.3)

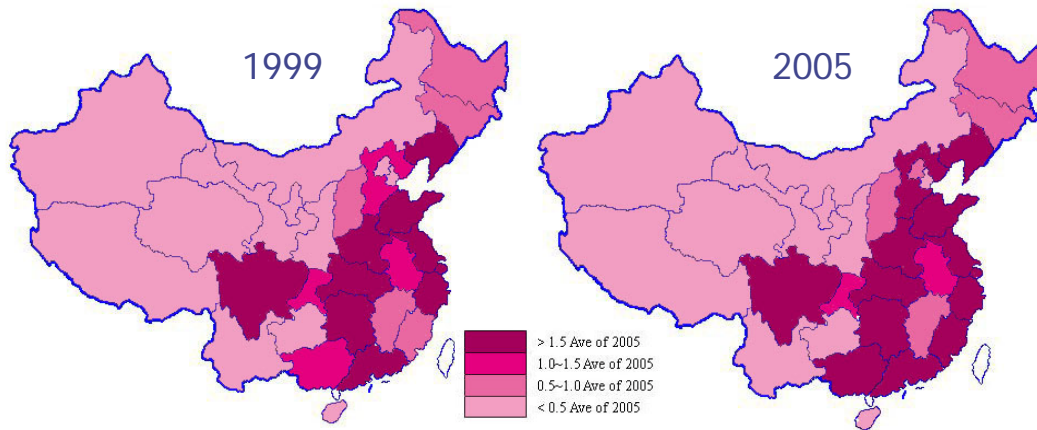


图 3.1 废水排放总量的地区分布

表 3.3 废水排放量最大和增加最快的 5 个省市

排放量最大的 5 个省市 (2005)	排放量 (亿 吨)	增长最快的 5 个省市 (1999-2005)	增长率 (%)
广东	63.8	宁夏	18.51
江苏	51.9	福建	13.05
浙江	31.3	青海	8.93
山东	28.0	天津	8.61
福建	27.1	广西	8.53
各地区平均	16.9	各地区平均	4.54

从废水的排放强度来看，广西、宁夏、重庆、湖南、青海五个地区是全国废水排放强度最高的五个地区。全国总体呈现下降的趋势，实际上只有宁夏和福建两个省区的废水排放强度在 1999 到 2005 年期间继续增加，增长率分别达到 6.88%和 2.30%（见表 3.4）。到 2005 年东北、华北、华东地区的废水排放强度普遍下降，黑龙江、陕西、甘肃、内蒙四个地区更是下降了两个等级（见图 3.2）。

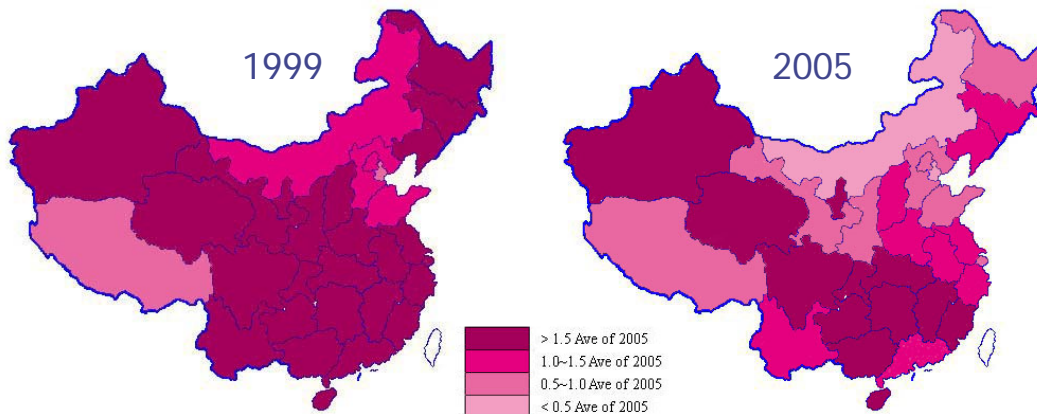




图 3.2 废水排放强度的地区分布

表 3.4 废水排放强度最大和增加最快的 5 个省市

排放强度最高的地区 (2005)	强度 (吨/ 万 元 GDP)	增长最快的 5 个省市 (1999-2005)	增长率 (%)
广西	308.45	宁夏	6.88
宁夏	245.57	福建	2.30
重庆	167.86	广西	-1.62
湖南	165.63	青海	-2.31
青海	149.14	海南	-2.34
各地区平均	108.20	各地区平均	-5.73

## (二) 工业固体废弃物排放情况

因为生活和农业固体废弃物统计非常困难，故一直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（见表 3.5）。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，特别是辽宁、山东从高废弃排放地区变为低废弃物排放地区（见图 3.3），但也有西藏、青海、上海、广西、内蒙古五个地区反而有所增加。

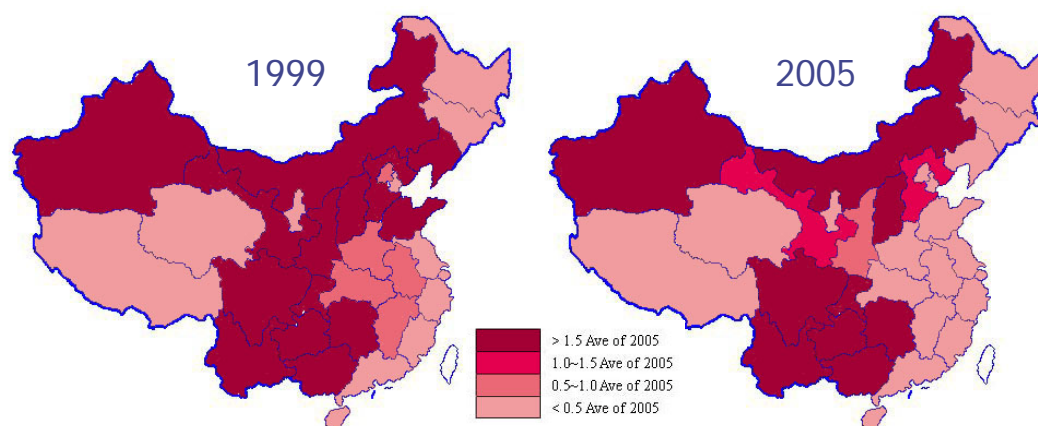


图 3.3 工业固体废弃物排放量的地区分布

表 3.5 工业固体废物排放量最大和增加最快的 5 个省市

排放量最大的 5 个省市 (2005)	排放量 (万 吨)	增长最快的 5 个省市 (1999-2005)	增长率 (%)
山西	604.7	西藏	43.67
重庆	184.5	青海	19.53
贵州	131.3	上海	8.89
四川	115.7	广西	5.02
广西	110.5	内蒙古	0.64
各地区平均	53.4	各地区平均	-13.24

从工业固体废弃物的排放强度来看,山西、贵州、重庆、新疆和广西是排放强度最高的五个地区,其中山西的排放强度相当于各地区平均水平的近 10 倍。全国呈现出非常明显的下降趋势,仅有西藏和青海两个地区的排放强度在过去 6 年中有所上升(见表 3.6)。河北、辽宁两个地区也同样由高排放强度地区转变为低排放强度地区,陕西、湖南两个地区由高排放强度地区转变为下中等排放强度地区(见图 3.4)。

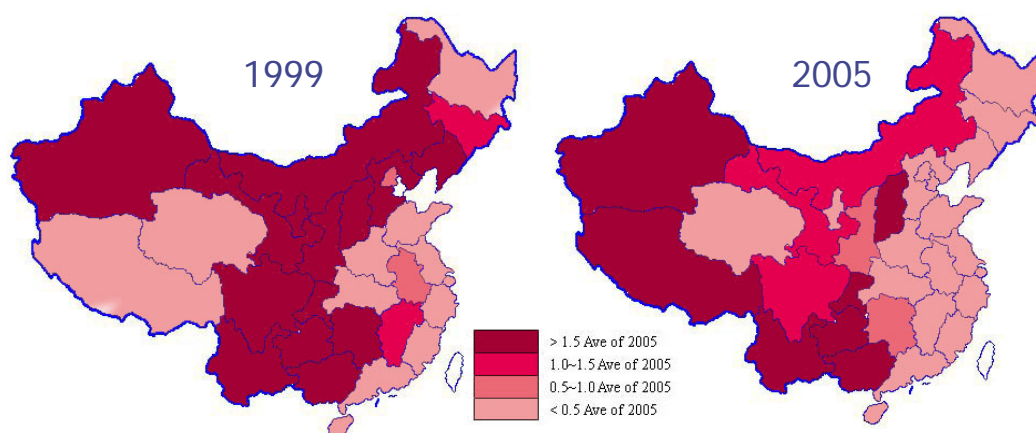


图 3.4 工业固体废物排放强度的地区分布

表 3.6 工业固体废物排放强度最大和增加最快的 5 个省市

排放强度最高的地区 (2005)	强度 (吨/ 亿元 GDP)	增长最快的 5 个省市 (1999-2005)	增长率 (%)
山西	5403.93	西藏	28.29
贵州	2608.78	青海	7.20
重庆	2135.91	上海	-2.54
新疆	2000.37	广西	-4.80
广西	1257.68	新疆	-9.22
各地区平均	597.40	各地区平均	-20.78

### （三）COD 排放情况

COD 是废水中的代表性污染物，“十五”期间（2000 年—2005 年）全国 COD 的排放量总体变化不大，有 16 个地区的排放量有所上升，15 个地区的排放量有所下降。排放量最大的 5 个省份依次为：广东、广西、江苏、湖南、四川，2005 年的排放量分别为 107.0、105.8、96.6、89.5 和 78.3 万吨（见表 3.7）。“十五”期间，山西和安徽从高排放地区变为上中等排放地区，云南和贵州则从上中等和下中等排放地区变为下中等和低排放地区，同时江西、陕西和新疆的趋势则相反，从较低排放地区变为较高的排放地区（见图 3.5）。

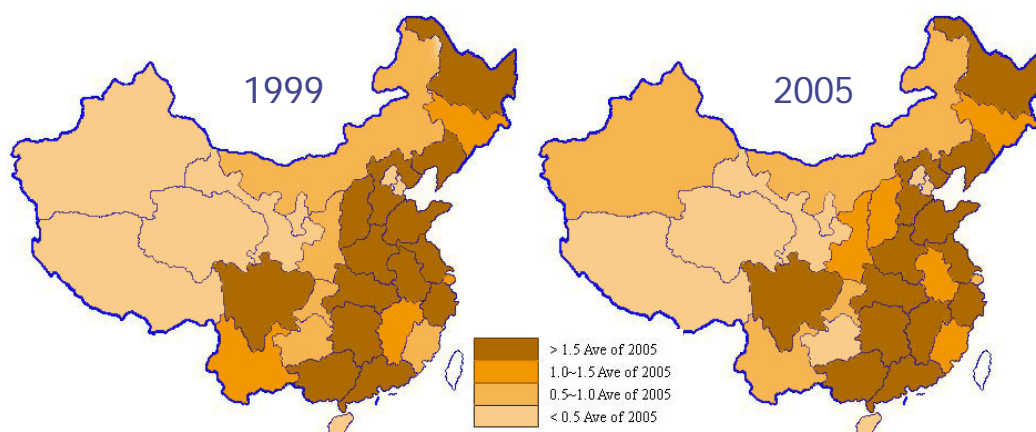


图 3.5 COD 排放量的地区分布

表 3.7 COD 排放量最大和增加最快的 5 个省市

排放量最大的 5 个省市 (2005)	排放量 (万 吨)	增长最快的 5 个省市 (1999-2005)	增长率 (%)
广西	107.0	西藏	27.98
广东	105.8	青海	13.24
江苏	96.6	江苏	6.17
湖南	89.5	宁夏	5.62
四川	78.3	广西	5.34
各地区平均	45.6	各地区平均	0.30

从 COD 的排放强度来看，广西、宁夏、湖南、青海、新疆五个省区是排放强度对最高的地区，其中广西的排放强度相当于各地区平均水平的近四倍。全国呈现出比较明显的下降趋势，仅有西藏和青海两个地区的排放强度在过去 6 年中有

所上升（见表 3.8）。山东、浙江两省从高排放强度地区转变为低排放强度地区，福建、甘肃两省则从高排放强度地区转变为下中等排放强度的地区（见图 3.6）。

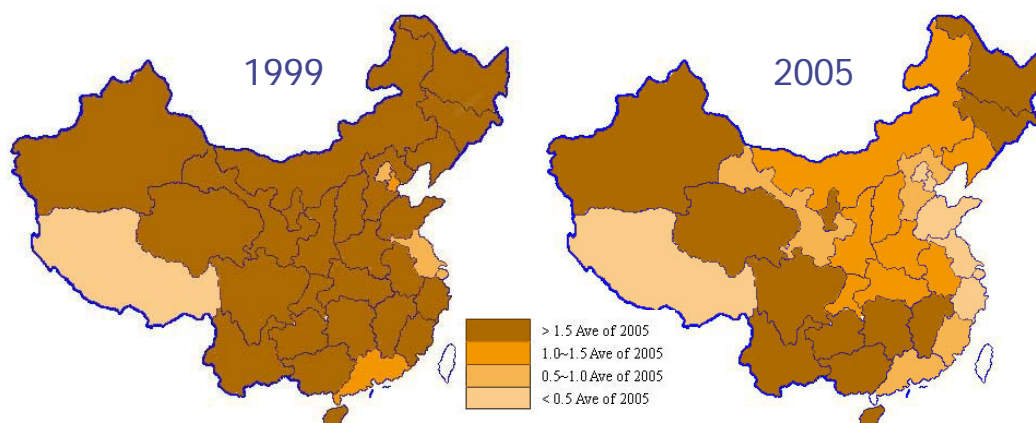


图 3.6 COD 排放强度的地区分布

表 3.8 COD 排放强度最大和增加最快的 5 个省市

排放强度最高的地区 (2005)	强度 (吨/ 亿元 GDP)	增长最快的 5 个省市 (1999-2005)	增长率 (%)
广西	1217.8	西藏	14.28
宁夏	975.4	青海	1.56
湖南	579.1	湖南	-4.38
青海	565.1	广西	-4.51
新疆	495.5	宁夏	-4.74
各地区平均	347.4	各地区平均	-8.54

#### (四) SO<sub>2</sub> 排放情况

对于大多数省市，SO<sub>2</sub> 排放量经历了一个先下降（1999—2003 年），再增长（2003—2005 年）的过程，2003 年后迎来新一轮的增长高峰。从表 7 中可以看出，山东、河南、山西、河北、内蒙古的 SO<sub>2</sub> 排放总量位于全国前列，2005 年的排放量分别达到 200.3、162.5、151.6、149.6 和 145.6 万吨。但排放增长速度最快的 10 个地区分别是青海、内蒙古、西藏、福建、江西，其中青海的增长速度达到各地区平均水平的 5 倍（见表 3.9）。浙江从下中等排放地区转变为高排放地区，内蒙古、陕西、重庆、湖南、广西则从上中等排放地区转变为高排放地区（见图 3.7）。

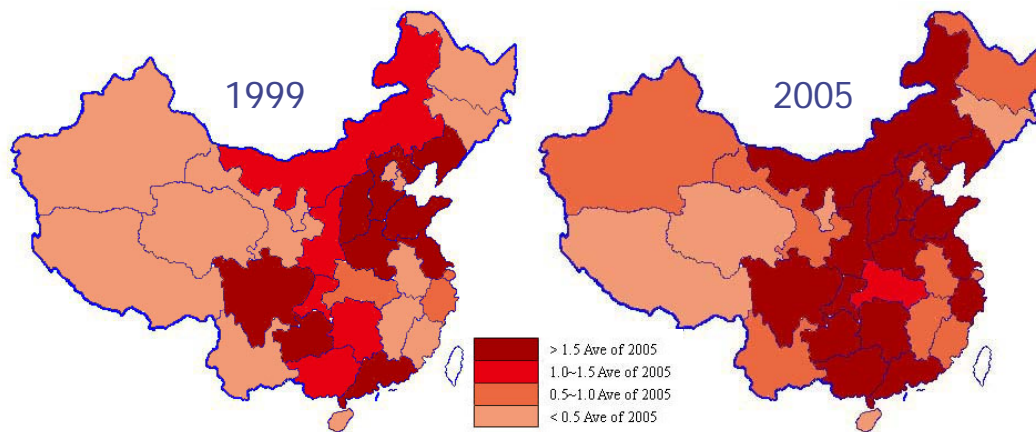


图 3.7 SO<sub>2</sub> 排放量的地区分布

表 3.9 SO<sub>2</sub> 排放量最大和增加最快的 5 个省市

排放量最大的 5 个省市 (2005)	排放量 (万 吨)	增长最快的 5 个省市 (1999-2005)	增长率 (%)
山东	200.3	青海	24.37
河南	162.5	内蒙古	14.24
山西	151.6	西藏	14.23
河北	149.6	福建	13.78
内蒙古	145.6	江西	11.76
各地区平均	82.2	各地区平均	4.79

从各地区 SO<sub>2</sub> 排放强度来看，贵州、宁夏、山西、内蒙古、广西的 SO<sub>2</sub> 排放强度是所有省区中最高的，其中贵州的排放强度达到全国平均水平的四倍以上。此外，青海、福建、西藏、江西的排放强度在过去 6 年也有所上升（见表 3.10）。青海和山东从下中等 SO<sub>2</sub> 排放强度地区转变为高排放强度地区，而河北、湖南、四川、云南则是从上中等 SO<sub>2</sub> 排放强度地区转变为高排放强度地区（见图 3.8）。



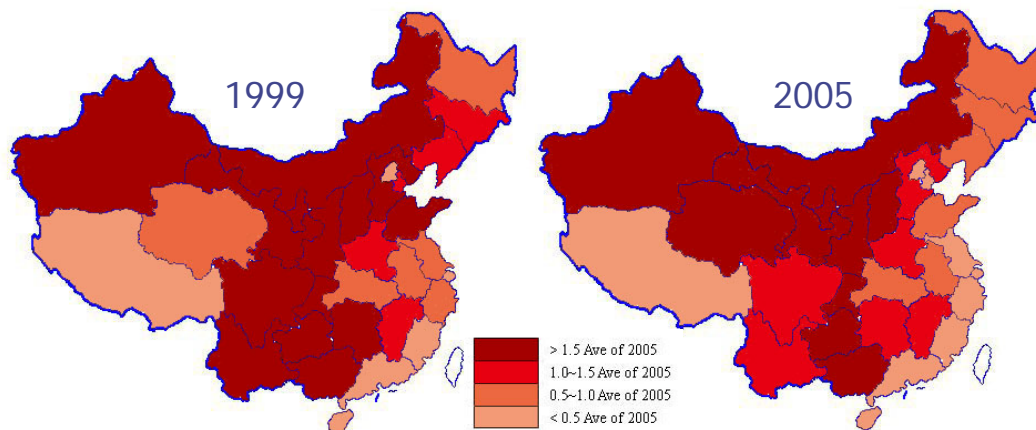


图 3.8 SO<sub>2</sub> 排放强度的地区分布

表 3.10 SO<sub>2</sub> 排放强度最大和增加最快的 5 个省市

排放强度最高的地区 (2005)	强度 (吨/ 亿元 GDP)	增长最快的 5 个省市 (1999-2005)	增长率 (%)
贵州	2698.19	青海	11.55
宁夏	2339.70	福建	2.96
山西	1354.78	西藏	2.01
内蒙古	1348.15	江西	0.65
广西	1164.35	河南	-0.41
各地区平均	675.5	各地区平均	-4.94

### (五) CO<sub>2</sub> 排放情况

因为历年的环境统计年鉴上都没有 CO<sub>2</sub> 的统计数据，但 CO<sub>2</sub> 的排放与各种能源的使用又密切相关，所以本文对省级 CO<sub>2</sub> 的排放量重新进行了测算。目前能源消费与二氧化碳排放之间的计算方法一般是采用如下方法计算，即：

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

含碳能源（或称为化石燃料，Fossil Fuel）一般是指煤炭、石油和天然气等在消费过程中会释放出 CO<sub>2</sub> 的能源。CO<sub>2</sub> 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 3 种口径，第一是国家发改委能源研究所制定的系数为 0.67，第二就是美国能源部二氧化碳信息分析中心（CDIAC）制定的系数为 0.69，第三就是日本能源经济研究所（IEE, Japan）制定的系数为

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)

从 CO<sub>2</sub> 的排放总量来看, 山东、河北、江苏、辽宁、广东在各地区中排放量最大, 2005 年排放量分别达到 4.82、3.87、3.34、3.20 和 2.99 亿吨。全国总体上呈现出排放总量高增长的情况, 1999 年到 2005 年的平均增长率高达 10.88% (见表 3.11)。内蒙古、江苏、浙江、湖北、湖南从下中等或低排放地区转变为高排放地区, 而黑龙江、山西、广东等省区从上中等排放地区转变为高排放地区 (见图 3.9)。

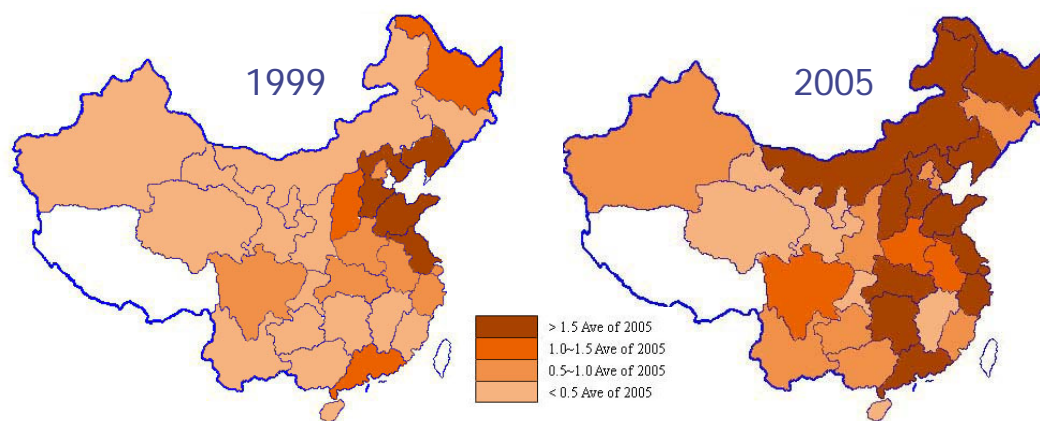


图 3.9 CO<sub>2</sub> 排放量的地区分布

表 3.11 CO<sub>2</sub> 排放量最大和增加最快的 5 个省市

排放量最大的 5 个省市 (2005)	排放量 (亿 吨)	增长最快的 5 个省市 (1999-2005)	增长率 (%)
山东	4.82	宁夏	23.96
河北	3.87	山东	16.70
江苏	3.34	内蒙古	14.90
辽宁	3.20	浙江	14.28

广东	2.99	广西	12.82
各地区平均	1.94	各地区平均	10.88

从 CO<sub>2</sub> 的排放强度来看，宁夏、山西、贵州、新疆和内蒙古是各地区中排放强度最高的，其中宁夏的排放强度相当于各地区平均水平的三倍。全国的总体排放强度略有下降，在过去六年中的平均增长率为-0.14%（见表 3.12）。云南和湖南从上中等排放强度地区转变为高排放强度地区，而四川、安徽则从下中等排放强度地区转变为上中等排放强度地区（见图 3.10）。

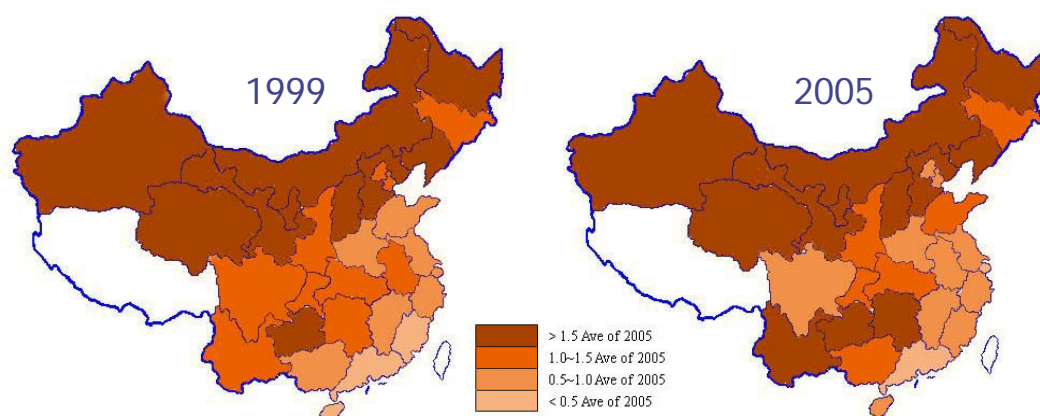


图 3.10 CO<sub>2</sub> 排放强度的地区分布

表 3.12 CO<sub>2</sub> 排放强度最大和增加最快的 5 个省市

排放强度最高的地区 (2005)	强度 (吨/万 元 GDP)	增长最快的 5 个省市 (1999-2005)	增长率 (%)
Ningxia	38.19	Ningxia	9.74
Shanxi	26.98	Hunan	4.16
Guizhou	25.86	Shandong	4.11
Xinjiang	23.65	Fujian	3.93
Inner Mongolia	21.89	Guangxi	2.48
各地区平均	13.5	各地区平均	-0.14



---

## 第四章 不考虑环境因素的省际生产率

### （一）增长核算方法计算结果

在这一节里，我们在不考虑环境因素的情况下对省级数据先做一个增长核算，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)<sup>15</sup>对于各地区资本存量的估算。本计算中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（Zheng et al., 2008）。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、甘肃和宁夏六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）六个地区的 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 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）、

---

<sup>15</sup> 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。

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 增长贡献率远低于全国平均水平, 仅为 5.63%。(见表 4.1)

表 4.1 各地区 TFP 增长率及对增长贡献份额 (1978-2005)

省份	单位: %				
	GDP	资本	就业	TFP	TFP贡献率
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:  $TFP\text{增长率} = GDP\text{增长率} - 0.5 \times \text{资本增长率} - 0.5 \times \text{就业增长率}$

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）6个地区的TFP增长率低于1%，而北京在这一时期的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4.2）

表4.2 各地区不同时期TFP增长率比较

单位：%

省份	1978-1993				1993-2005			
	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
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：TFP增长率=GDP增长率-0.5×资本增长率-0.5×就业增长率

## (二) Malmquist 指数方法计算结果

地区生产率估算的基本结果有表格六张。表 4.3 和表 4.4 中分别为每年的技术效率和生产率增长率的全国平均值。表 4.5 至表 6 将结果分为两个时期，八十年代（1979-1992）和九十年代（1993-2005）。表 4.5 为各省在两个时期中的平均技术效率的估算，表 4.6 和表 4.7 是各省 TFP 增长率及其各组成部分在两个不同时期的平均值，表 6 为数据末年（2005 年）对数据起始年（1978 年）的 TFP 及其组成部分的累积增长率。在表 4.5 至表 6 的最后一行有两个时期的全国平均值。

下面将以表中给出的结果从三个方面来讨论中国改革开放以来的生产率增

---

长的性质和近年来的变化趋势。第一是对在改革时期省际生产率增长的时间趋势进行考察,并试图通过对省际生产率增长的估算来印证我们早些时候在经济总量数据中观察到的近年来全要素生产率增长减缓的情况;二是考察省际全要素生产率增长的构成,即将测算的全要素生产率的增长分解为技术进步和效率改善两个部分;三是对改革期间的省际技术效率水平和全要素生产率增长的地区分布变化情况做一个定量的描述。为了严格区分微观水平上的技术进步概念和总量水平上的经验生产前沿的移动,我们在这里有时会用加引号的“技术进步”来表示总量水平上的广义的技术进步。

### (1) 生产率变化的时间趋势

表 4.6 显示从 1979 年到 2001 年的二十二年里,全国技术效率的平均值有较大提高,1978 年为 46.17%,1990 年上升为 71.91%,之后在波动中逐渐下降到 2004 年的 66.27%,但是 2005 年出现了大幅度的下降,降至 60.44%<sup>16</sup>。反之标准差有一个明显的先下降后上升的趋势,从 1978 年的 0.1707 下降到 1990 年的 0.1518,之后又增加到了 2004 年的 0.1824。规模效率水平总的来说呈现下降趋势,平均潜力从 1978 年的 41.51%下降到 1990 年的 15.11%,而后呈现小幅上升之后下降到 2005 年的 15.67%。表 4.8 中显示,从全国平均来讲,1990 年代的技术效率(0.6645)比 1980 年代(0.6244)稍微略有提高。

在表 7、8 中。全要素生产率在八十年代平均每年增加 0.88%,而在九十年代只有 0.26%。从 2001 年开始,全要素生产率出现了持续的负增长。这一趋势与我们在另一篇文章中(Zheng, Hu & Bigsten, 2008)以总量数据根据 Solow 增长核算公式所得到的结果很接近(见图 4.1)。图中我们采用的资本权数为 0.6 就业权数为 0.4,虽然带有一定程度的随意性,但也的确注意到了 Chow(2000)中生产函数估算中得到的资本弹性为 0.628。文献中也有直接计算劳动报酬在

---

<sup>16</sup> 由于我们采用的是经济总量数据,许多与时间无关的个体效应一般来说也会影响省际间效率水平的测算。因此,一些采用加总数据的应用研究并不对估算出的技术效率水平作较详细的解释,而是多把注意力放在效率变化的时间趋势上,这样的分析可以消除个体效应的影响。值得一提的是接近 70%的效率水平还不能算低的,比如 Puig-Junoy(2000)的美国州际生产率研究所给出的 DEA 技术效率的全国平均水平也在 80%到 85%之间,但与中国相反的是美国的标准差从 1970 年的 0.137 下降到了 1983 年的 0.097。

GDP 中份额来得到资本和就业权数的例子，如在 Hu 和 Khan（1997）中，就业权数为 0.453，Young（2003）为 0.6，以及 Wang 和 Yao（2003）为 0.5，均比我们的 0.4 高。

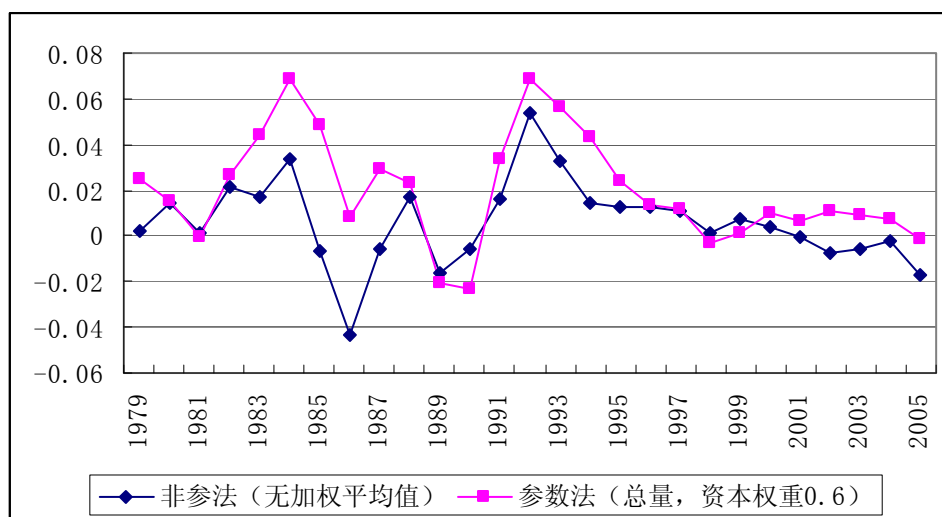


图 4.1 两种不同方法计算的中国 TFP 增长率 (1979-2005)

需要注意的是，就业权数取得越高，TFP 就会越高，因为就业的增长远低于资本的增长，如 1978-1995 期间的资本存量增长率为 8.8%，就业为 2.4%。而 1995-2001 期间资本存量增长率为 11.8%，就业增长仅为 1.2%。这样资本权数的取值的大小对在经济总量水平上估算生产率增长是至关重要的。以近几年的资本存量增长率 11.8% 为例，其权数从 0.4 增加到 0.6 会使资本的增长对 GDP 增长的贡献从 4.72% 增加到 7.08%，而这一期间的 GDP 年平均增长为 8.2%。我们所采用的 Malmquist 指数法属于生产函数模型，在本质上与 Chow（2000）所估算的总量生产函数模型是一致的。而以劳动报酬在 GDP 中份额为就业权数的方法需要满足总量经济的生产行为遵从利润最大化原则，以及完备竞争市场的制度假设。这些假设对于中国这样的一个发展中的转型国家来说似乎是难于满足的。基于上述原因，我们感到“1995 年以后全要素平均增长率出现下降”的结果是有一定的理论和经验依据的。

综合表 4.3 和表 4.4 的结果，在改革期间，在总量水平或全国平均水平上，技术效率呈现出先大幅上升后小幅下降的趋势，省际间技术效率水平差距变化趋

---

势则刚好相反。可以肯定大部分省份的技术效率正在追赶上来。这一细节可以从表 9 中得到印证，如效率有显著提高的省份有 27 个，占 90%，技术效率提高最多的是甘肃，为 121%。效率下降的省份只有 2 个，其中北京下降了 36 个百分点，江苏下降了 28 个百分点。当然由于经验模型的性质，这一下降可能不光是效率低本身造成的，而是反映了省份之间的技术差距。

## (2) 全要素生产率的增长及其构成

通过对生产率的拆分，我们可以判断技术效率和全要素生产率升降的原因。从表 4.7 来看，总体上生产率的增长是由“技术进步”导致的，省际平均技术效率水平变化相对比较小。1979 至 2005 年间的累积“技术进步”率为 91.15%，而效率的变化为 38.17%。表 7 和表 8 也显示八十年代和九十年代的 TFP 增长主要是“技术进步”带来的，而不是由于技术效率的提高：八十年代平均“技术进步”率为 1.77%，效率变化为-0.83%；九十年代平均“技术进步”率为 1.39%，效率变化为-1.09%。下面我们通过观察生产前沿的移动和生产单位（省市自治区）在投入系数空间的分布和随时间变化运动的情况来大致判断一下我们生产率拆分结果的参考价值。

图 4.2 所显示的是省际生产前沿在投入系数空间内随时间移动的情况(1978, 1992, 2005)。三组不同的点阵代表各省按资本劳动比在 1978, 1992, 和 2005 年时的分布情况。从这三年的点阵分布形式和运动方向来看，有两个趋势似乎是明显的。一是资本劳动比从 1978 年的东西向分布逐渐变成为 2005 年的南北向分布，似乎表明生产要素结构在这二十多年间经历了一个资本相对密集化的过程，与 Young (2000) 所观察到的现象是一致的。二是点阵向生产前沿的运动也还是清晰可见的。从生产前沿的形状和运动来看，有三点值得引起注意，一是八十年代生产前沿向原点移动的幅度要比九十年代大得多，与上一段提到的九十年代“技术进步”率降低影响到生产率的增长是一致的。二是生产前沿的线性分段在逐步增加（参见表 7），也就是最佳实践省份在逐渐增加，通常来说，这是一个好的迹象。1978 年时只有上海在生产前沿上，到了 1992 年增加到了两个，是上海、福建，且一直保持到 2005 年。三是生产前沿在资本系数方向上，九十年代

“资本深化”现象也出现在生产前沿的某些区段上。比如虽然上海的劳动系数在下降但资本系数在增加，但是在劳动系数方向上生产前沿九十年代移动的幅度也大大小于八十年代。

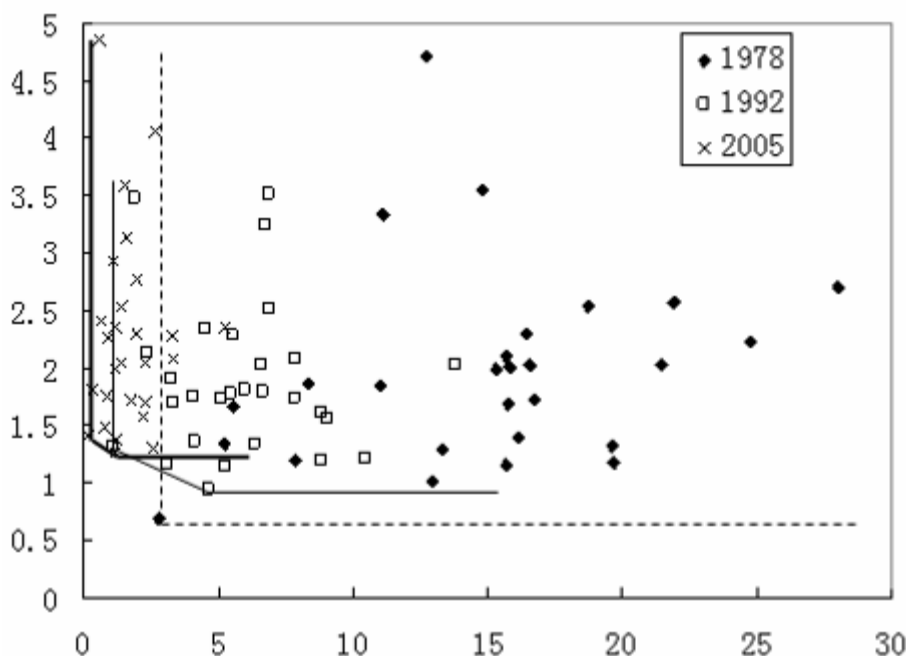


图 4.2 生产前沿的运动和省际资本劳动比分布的变化

根据上面的观察，生产前沿主要是由上海和福建这两个省市决定的。从人们的一般印象来看，上海和福建应该属于技术效率较高的地区，特别是上海有些领域接近国际水平。并且一方面在提高资本生产率方面变化不大，而另一方面它们自身的资本密集度也在显著增加，导致劳动系数的减小（即劳动生产率的提高）。因此把这一时期生产前沿的移动理解为技术进步应该是有一定的参考价值的。那么生产前沿上最佳实践省份所拥有的技术其他省份是否也在使用的呢？在不涉及更多的专业资料的情况下，我们可以用资本劳动比为指标比做一个简单的判断。从图 4.2 来看，各省的资本密集度都在增加，似乎新技术的采用是一个省际间的普遍现象。所以，我们依据全国的生产前沿来测算各省的技术效率的做法还是有很好的参考价值的。如果要进一步考察这些问题，一个办法是采用更保守一些的生产前沿，比如可以采用一个中西部生产前沿来印证一下。应该说，如果不考虑西部省份和生产前沿上资本密集的海南以及劳动密集的福建，对一个正处于经济高速增长结构迅速变化的发展中和转型中的国家来讲，上面所观察到的省际生产



---

前沿向原点的运动情况和省际资本劳动比的分布变化状况是正常的。但生产前沿上资本系数的变化远小于劳动系数变化的情况应该引起人们的注意，因为这意味着生产率的提高过分地依赖于劳动生产率，而如果劳动生产率的提高又仅仅依赖于资本密集度的增加就会最终形成一种资本积累型的增长模式。

### (3) 生产率，技术效率，和“技术进步”率的分布变化情况

表 4.8 显示九十年代全国的平均技术效率比八十年代有所提高但幅度很小，仅从 62.44%提高到了 66.45%。上海无论在八十年代还是在九十年代都一直是中国的最佳实践省份。北京的技术效率从八十年代的 61.17%下降到了九十年代的 49.58%，而广东则从 77.36%增加到了 90.36%。总体印象是西部省份技术效率低东部省份效率高，比如九十年代的青海省的技术效率只相当于上海的三分之一，为 33.40%。

表 4.6 显示八十年代大部分省区（21 个）的 TFP 均有增长，从年均-2.95%（黑龙江）到 4.34%（北京）。但这一时期的 TFP 增长主要是“技术进步”带来的而不是由于技术效率的提高。表 4.7 显示九十年代，更多的省份（14 个）的 TFP 出现了负增长。同时效率提高的省份从八十年代的 8 个减少到 6 个，如天津，辽宁、吉林、黑龙江、海南、陕西等。由此看来，“技术进步率”的增长差异可能是构成地区差异的主要原因。

下面我们通过对图 4.3 至图 4.6 的观察，再仔细分析一下 1980 年代与 1990 年代之间省际生产率的发展和变化。图 4.3 至图 4.6 分别以两个时期各省生产率（如技术效率或 TFP 增长率等）的平均值为坐标来显示两个时期的生产率水平或增长率之间是否有某种相关关系。以图 4.3 为例，当八十年代技术效率低的省份在九十年代效率普遍有提高时，那末这些省份将会分布于图中的 45 度线以上位置。从图 5 中可以看到，大多数省份则位于 45 度线的上方，说明大部分省份的技术效率在九十年代上升了，而某些省份的技术效率有所下降，这与表 4.3 中平均效率水平有较大上升的趋势相一致。

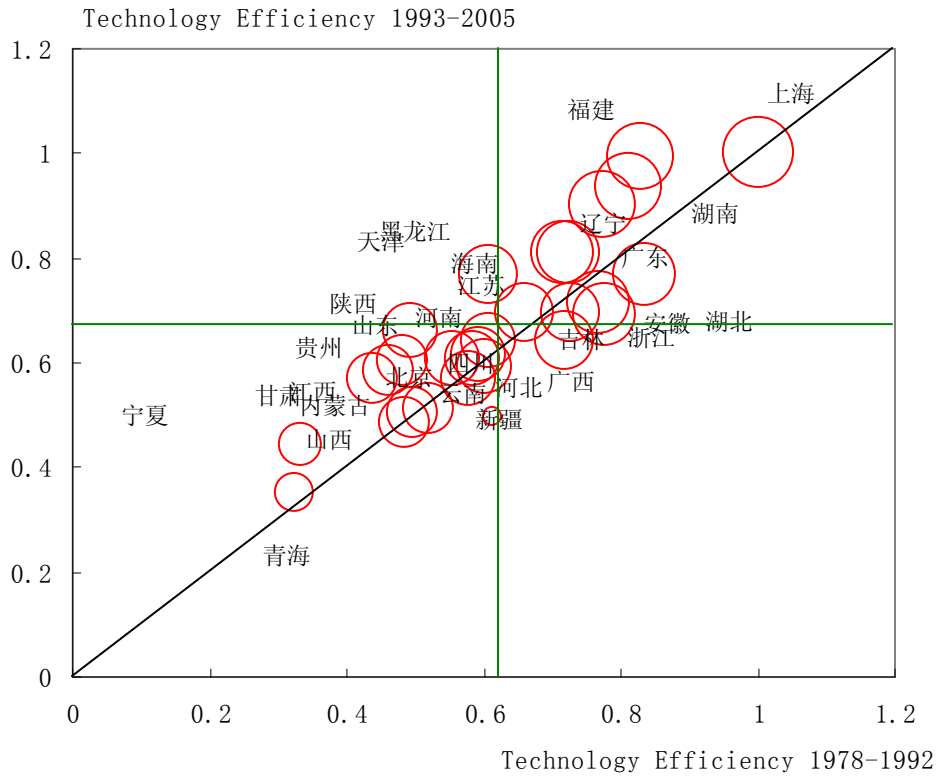


图 4.3 1980 年代和 1990 年各省技术效率的运动变化

图 4.4 中多数省份位于 45 度线下方，从另一个角度表明九十年代省际间生产率的增长普遍比八十年代减缓了许多。而且八十年代生产率提高较快的省份如湖北、四川、云南、广西均高于平均值，但在九十年代却被远远地落在了后面，大大低于平均值。加上生产率八十年代增长相对低的省市如黑龙江等在九十年代增长率有所上升，在这两类省份的综合作用下，图 6 的一部分点阵显示两个时期的生产率增长呈负相关关系。这一现象似乎与崔启源、王有强（2001）观察到的省际收入差距有某种对应关系，即省际差距改革以前是在起伏波动中扩大，到了 20 世纪 80 年代前半期逐渐缩小，而进入 90 年代则开始拉大。

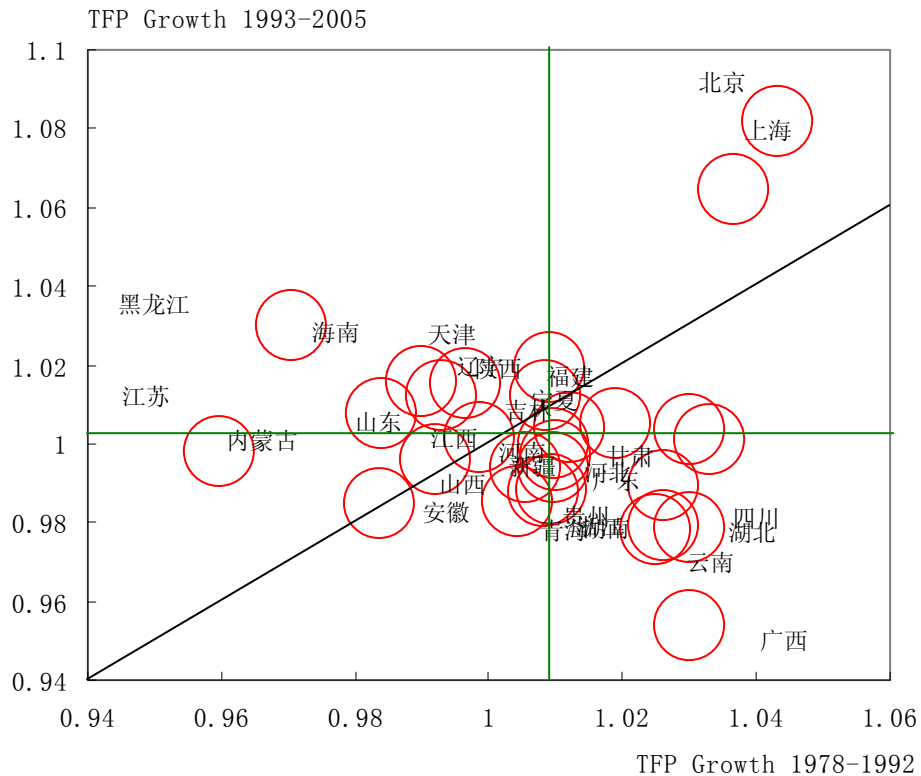


图 4.4 1980 年代和 1990 年代各省全要素生产率的运动变化

图 7 显示九十年代除去北京、上海一枝独秀外，其他省份的“技术进步”速度多有所下降，均分布在图中 45 度线的下方。具体说来，1980 年代的全国“技术进步”率的平均水平为 1.77%（表 4.6），到了 1990 年代这个平均值降到了 1.39%（表 4.7）。绝大多数省份多散布在八十年代的平均线上下，似乎表明八十年代的“技术进步”速度比较平均，根据表 4.6 计算的标准差为 0.0080；而九十年代“技术进步”的差距较大，根据表 4.7 计算的标准差为 0.0236。因此“技术进步”率下降是导致九十年代生产率的生长比八十年代下降的一个原因，而且“技术进步”率的差异似乎也是省际间生产率增长差异增大的原因。<sup>17</sup>

<sup>17</sup> 由于我们在估算 Malmquist 指数时采用了“技术无退步约束”，在给定的 TFP 增长率的情况下技术进步和效率变化之间形成了此消彼长的关系。这种关系对我们的分析会发生怎样的影响还需要进一步的观察。

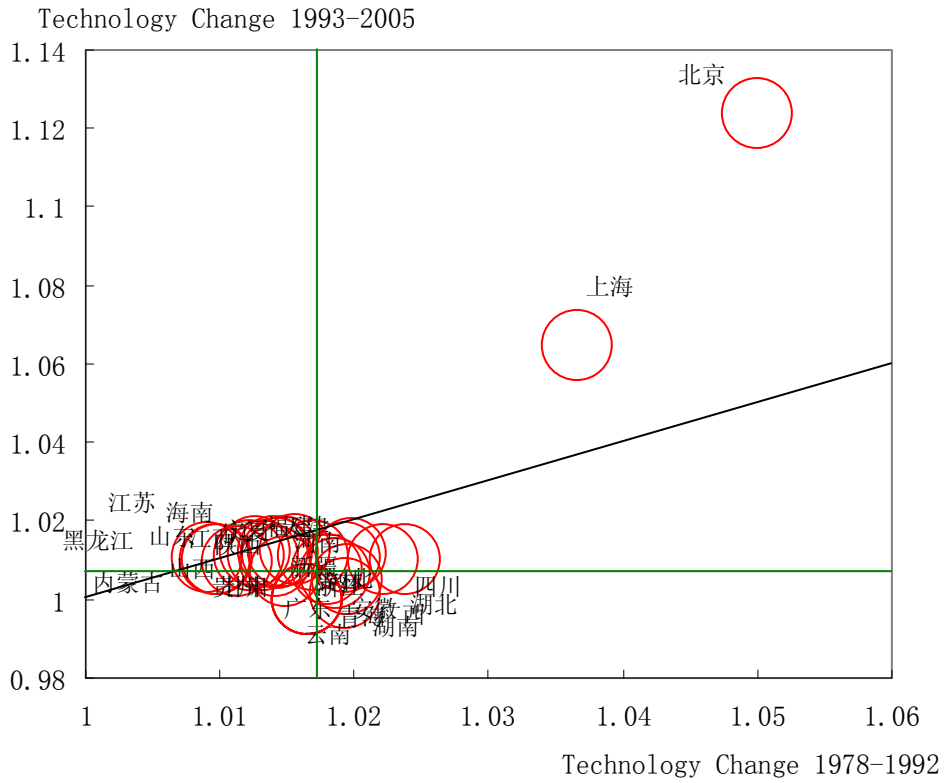


图 4.5 1980 年代和 1990 年代各省技术进步率的运动变化

图 8 进一步显示省际间的技术效率在两个时期内的变化，位于 45 度线两边的省份几乎各占一半，其中 45 度线上的省份效率有提高，而 45 度线以下的省份效率下降了。另外点阵的发散似乎表明效率差别的加大。因此，技术效率变化的重新分布可能是省际间生产率增长差异增大的另一个原因。



1996	0.6699	0.7772	1.1919	0.1518	0.1565	0.2935
1997	0.6732	0.7859	1.2090	0.1542	0.1613	0.3655
1998	0.6836	0.7928	1.2017	0.1539	0.1569	0.3619
1999	0.6826	0.7887	1.1976	0.1609	0.1667	0.3700
2000	0.6847	0.7871	1.1935	0.1632	0.1677	0.3790
2001	0.6838	0.7840	1.1930	0.1645	0.1680	0.3924
2002	0.6769	0.7759	1.1962	0.1725	0.1776	0.4140
2003	0.6677	0.7666	1.2040	0.1776	0.1832	0.4434
2004	0.6627	0.7628	1.2106	0.1824	0.1910	0.4658
2005	0.6044	0.6960	1.1567	0.1722	0.1975	0.1500

表 4.4 Malmquist 生产率增长指数及其构成 (全国平均值, 1979-2005)

年份	生产率增长 (CRS)	效率变化 (CRS)	技术进步 率(CRS)	规模效率 变化	效率变化 (VRS)
1979/1978	1.0021	0.9944	1.0081	1.0085	0.9875
1980/1979	1.0144	1.0059	1.0084	1.0153	0.9919
1981/1980	1.0015	0.9974	1.0043	1.0053	0.9932
1982/1981	1.0217	1.0171	1.0046	1.0035	1.0149
1983/1982	1.0167	1.0141	1.0026	1.0079	1.0068
1984/1983	1.0340	1.0300	1.0040	1.0134	1.0171
1985/1984	0.9936	0.9887	1.0052	1.0131	0.9767
1986/1985	0.9564	0.9550	1.0014	0.9926	0.9637
1987/1986	0.9939	0.9906	1.0033	0.9994	0.9930
1988/1987	1.0171	1.0121	1.0049	1.0115	1.0012
1989/1988	0.9834	0.9814	1.0020	1.0015	0.9803
1990/1989	0.9944	0.9905	1.0039	1.0118	0.9798
1991/1990	1.0163	0.9732	1.0443	0.9957	0.9780
1992/1991	1.0537	0.9621	1.0953	0.9901	0.9721
1993/1992	1.0329	0.9628	1.0729	0.9933	0.9712
1994/1993	1.0147	0.9833	1.0323	1.0085	0.9762
1995/1994	1.0127	0.9985	1.0143	1.0098	0.9901
1996/1995	1.0129	1.0014	1.0116	1.0075	0.9958
1997/1996	1.0108	0.9929	1.0181	1.0061	0.9873
1998/1997	1.0011	0.9947	1.0063	1.0017	0.9933
1999/1998	1.0076	0.9852	1.0248	1.0093	0.9774
2000/1999	1.0043	0.9947	1.0096	1.0064	0.9888
2001/2000	0.9996	0.9921	1.0075	1.0051	0.9876
2002/2001	0.9927	0.9823	1.0106	1.0135	0.9711
2003/2002	0.9943	0.9798	1.0148	1.0140	0.9685
2004/2003	0.9977	0.9840	1.0139	1.0139	0.9737
2005/2004	0.9831	0.9802	1.0028	1.0034	0.9779
2005/1978	2.5400	1.3817	1.9115	1.2385	1.2894

表 4.5 中国各省 1980 年代和 1990 年代的平均技术效率

地区	1978-1992			1993-2005		
	技术效率 (CRS)	技术效率 (VRS)	规模效率	技术效率 (CRS)	技术效率 (VRS)	规模效率
北京	0.6117	0.6627	1.0835	0.4958	0.5408	1.0874
天津	0.6065	0.6801	1.1243	0.7685	0.8505	1.1062
河北	0.5843	0.6835	1.2174	0.6076	0.6830	1.1237
山西	0.4839	0.4877	1.0086	0.4851	0.4875	1.0052
内蒙古	0.5782	0.5967	1.0326	0.5695	0.5883	1.0329
辽宁	0.7232	0.8275	1.1782	0.8099	0.8460	1.0450
吉林	0.6599	0.6731	1.0203	0.6953	0.7138	1.0263
黑龙江	0.7159	0.7187	1.0040	0.8117	0.8230	1.0137
上海	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
江苏	0.7171	0.9830	1.3754	0.6411	1.0000	1.5635
浙江	0.7676	0.7792	1.0146	0.7146	0.7739	1.0842
安徽	0.7758	0.7948	1.0273	0.6904	0.7727	1.1228
福建	0.8296	0.8545	1.0328	0.9937	1.0000	1.0068
江西	0.5188	0.5236	1.0089	0.5131	0.5433	1.0595
山东	0.6064	0.8645	1.4534	0.6404	0.7850	1.2274
河南	0.5919	0.6930	1.1937	0.6136	0.7603	1.2404
湖北	0.8357	0.8584	1.0350	0.7667	0.8590	1.1184
湖南	0.8125	0.8263	1.0160	0.9367	0.9781	1.0517
广东	0.7736	0.8650	1.1351	0.9036	1.0000	1.1070
广西	0.6007	0.6165	1.0241	0.5932	0.6052	1.0236
海南	0.7277	1.0000	1.3880	0.6955	0.9791	1.4151
四川	0.4623	0.6744	1.5581	0.5849	0.7137	1.2213
贵州	0.4821	0.4977	1.0318	0.6035	0.6990	1.1603
云南	0.5542	0.5657	1.0183	0.6086	0.6293	1.0371
陕西	0.4922	0.4968	1.0092	0.6608	0.6756	1.0232
甘肃	0.4394	0.4465	1.0146	0.5682	0.5897	1.0374
青海	0.3238	0.9518	3.0455	0.3507	0.9341	2.6577
宁夏	0.3340	1.0000	3.2039	0.4428	0.9559	2.1520
新疆	0.4972	0.5236	1.0525	0.5048	0.5409	1.0708
全国平均	0.6244	0.7292	1.2520	0.6645	0.7699	1.2007

表 4.6 中国各省 1980 年代全要素生产率的增长及其组成部分, 技术进步与效率变化

	全要素生产率 (CRS)	效率变化 (CRS)	技术进步 率(CRS)	规模效率 变化	效率变化 (VRS)
北京	1.0434	0.9936	1.0500	0.9965	0.9974
天津	1.0092	0.9855	1.0238	0.9971	0.9885
河北	1.0097	0.9947	1.0156	0.9927	1.0023
山西	1.0056	0.9934	1.0127	1.0025	0.9909
内蒙古	0.9841	0.9730	1.0122	1.0057	0.9674
辽宁	0.9930	0.9836	1.0097	0.9895	0.9945
吉林	0.9965	0.9830	1.0144	1.0045	0.9786
黑龙江	0.9705	0.9596	1.0113	0.9993	0.9603
上海	1.0367	1.0000	1.0367	1.0000	1.0000
江苏	0.9599	0.9510	1.0090	0.9453	1.0062
浙江	1.0082	0.9937	1.0147	0.9968	0.9968
安徽	0.9836	0.9675	1.0166	0.9910	0.9764
福建	1.0191	1.0005	1.0186	1.0077	0.9929
江西	1.0100	0.9937	1.0170	0.9994	0.9943
山东	0.9986	0.9848	1.0140	0.9866	0.9985
河南	1.0094	0.9908	1.0195	0.9794	1.0120
湖北	1.0262	1.0078	1.0194	0.9974	1.0101
湖南	1.0044	0.9885	1.0166	0.9958	0.9927
广东	1.0123	0.9993	1.0132	0.9740	1.0266
广西	1.0301	1.0141	1.0166	1.0045	1.0099
海南	0.9900	0.9760	1.0141	1.0263	0.9510
四川	1.0261	1.0073	1.0193	1.0060	1.0021
贵州	1.0251	1.0092	1.0166	1.0026	1.0066
云南	1.0302	1.0156	1.0166	0.9997	1.0155
陕西	1.0085	0.9940	1.0148	1.0012	0.9928
甘肃	1.0331	1.0160	1.0180	1.0026	1.0135
青海	1.0098	0.9909	1.0198	1.1191	0.8871
宁夏	1.0302	1.0086	1.0222	1.0913	0.9248
新疆	0.9922	0.9830	1.0098	1.0068	0.9763
全国平均	1.0088	0.9917	1.0177	1.0042	0.9885



表 4.7 中国各省 1990 年代全要素生产率的增长及其组成部分, 技术进步与效率变化

	全要素生产率 (CRS)	效率变化 (CRS)	技术进步 率(CRS)	规模效率 变化	效率变化 (VRS)
北京	1.0815	0.9651	1.1237	1.0060	0.9613
天津	1.0192	1.0090	1.0101	0.9981	1.0112
河北	1.0002	0.9877	1.0126	1.0085	0.9795
山西	0.9939	0.9823	1.0119	0.9984	0.9839
内蒙古	1.0075	0.9965	1.0112	1.0046	0.9920
辽宁	1.0123	1.0022	1.0101	0.9987	1.0035
吉林	1.0152	1.0034	1.0118	1.0015	1.0020
黑龙江	1.0301	1.0203	1.0097	1.0002	1.0201
上海	1.0645	1.0000	1.0645	1.0000	1.0000
江苏	0.9978	0.9874	1.0106	0.9874	1.0000
浙江	0.9875	0.9756	1.0123	0.9940	0.9815
安徽	0.9845	0.9845	1.0000	0.9827	1.0019
福建	1.0049	0.9984	1.0065	0.9987	0.9997
江西	0.9969	0.9860	1.0113	1.0027	0.9832
山东	1.0015	0.9893	1.0123	0.9939	0.9956
河南	0.9884	0.9836	1.0047	0.9913	0.9922
湖北	0.9895	0.9791	1.0107	1.0101	0.9694
湖南	0.9855	0.9855	1.0000	0.9824	1.0031
广东	1.0041	0.9930	1.0112	0.9930	1.0000
广西	0.9537	0.9537	1.0000	0.9892	0.9642
海南	1.0155	1.0060	1.0097	1.0253	0.9811
四川	0.9790	0.9774	1.0016	0.9892	0.9880
贵州	0.9782	0.9782	1.0000	1.0333	0.9469
云南	0.9786	0.9786	1.0000	1.0017	0.9772
陕西	1.0122	1.0052	1.0070	1.0009	1.0044
甘肃	1.0009	0.9934	1.0075	1.0131	0.9807
青海	0.9937	0.9825	1.0114	1.1273	0.8797
宁夏	1.0036	0.9939	1.0098	1.0995	0.9064
新疆	0.9958	0.9860	1.0100	1.0080	0.9781
全国平均	1.0026	0.9891	1.0139	1.0083	0.9823

表 4.8 中国各省 1978 至 2005 年间累积全要素生产率的增长及技术进步与效率变化

	全要素生产率 (CRS)	效率变化 (CRS)	技术进步率 (CRS)	规模效率 变化	效率变化 (VRS)
北京	2.1186	0.6366	3.3279	1.0550	0.6034
天津	4.2518	1.3656	3.1134	1.1737	1.1635
河北	2.6782	1.3951	1.9198	1.4870	0.9382
山西	2.9255	1.3711	2.1337	1.0007	1.3701
内蒙古	2.6996	1.1810	2.2858	1.0352	1.1409
辽宁	3.1448	1.5686	2.0049	1.5591	1.0061
吉林	2.6265	1.4194	1.8504	0.9957	1.4255
黑龙江	2.0015	1.2625	1.5854	0.9329	1.3533
上海	3.2886	1.0000	3.2886	1.0000	1.0000
江苏	2.1329	0.8157	2.6147	0.7452	1.0947
浙江	2.6202	1.2062	2.1724	0.8679	1.3897
安徽	1.3730	1.0084	1.3616	0.8115	1.2427
福建	2.4049	1.5422	1.5593	0.9872	1.5622
江西	2.2026	1.2795	1.7215	0.9137	1.4004
山东	2.5486	1.2654	2.0142	1.3477	0.9389
河南	2.0528	1.4105	1.4554	1.1620	1.2139
湖北	2.4215	1.3727	1.7640	1.0741	1.2780
湖南	1.5303	1.2650	1.2098	0.7420	1.7049
广东	3.2446	1.6674	1.9459	1.1363	1.4675
广西	1.8461	1.3803	1.3375	0.8312	1.6606
海南	1.9906	1.2630	1.5762	1.5853	0.7967
四川	2.8368	1.8769	1.5114	1.9202	0.9774
贵州	1.7657	1.5084	1.1706	0.7867	1.9172
云南	2.3612	1.8214	1.2963	0.8169	2.2298
陕西	3.0365	2.0210	1.5025	0.9094	2.2223
甘肃	3.5402	2.2124	1.6002	0.9426	2.3471
青海	2.3164	1.0907	2.1238	3.3226	0.3283
宁夏	3.1458	1.5795	1.9917	3.6995	0.4270
新疆	2.5545	1.2815	1.9934	1.0755	1.1915
全国平均	2.5400	1.3816	1.9114	1.2385	1.2894

## 第五章 考虑环境因素的省际生产率

下面对采用不同模型的经验估算结果进行分析。我们一方面观察在考虑了环境因素的影响情况下省际间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<sub>2</sub> 排放的技术效率上，为 0.125。（见表 5.1）

表 5.1 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 <sub>2</sub>	0.894	0.820	0.741
COD	0.875	0.768	0.723
SO <sub>2</sub>	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。其次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<sub>2</sub> 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<sub>2</sub> 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 5.2）

表 5.2 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 <sub>2</sub> 和 COD	0.964	0.905	0.780
CO <sub>2</sub> 和 SO <sub>2</sub>	0.946	0.896	0.802
CO <sub>2</sub> 和固体废弃物	0.921	0.911	0.769
CO <sub>2</sub> 和废水	0.980	0.932	0.843
COD 和 SO <sub>2</sub>	0.921	0.861	0.795
COD 和固体废弃物	0.900	0.859	0.764
COD 和废水	0.941	0.895	0.830
SO <sub>2</sub> 和固体废弃物	0.902	0.818	0.687
SO <sub>2</sub> 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 5.3）

表 5.3 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

对比单一环境因素和两环境因素下各地区的技术效率分布我们可以看出，考虑更多环境因素会使得各地区技术效率整体向生产前沿移动。总体来看，高技术效率地区变化相对比较小，低技术效率地区的变化比较大。这一方面与各地区和前沿的距离有关，但另一方面也和其自身技术效率受到不同污染物的组合的平均影响有关。其中变化最明显的是山西和内蒙古，考虑单环境因素的技术效率是高于大部分西部地区的，但是在考虑两环境因素时，这两个地区的技术效率就新疆一起成为全国三个最低的地区。（见图 5.1）

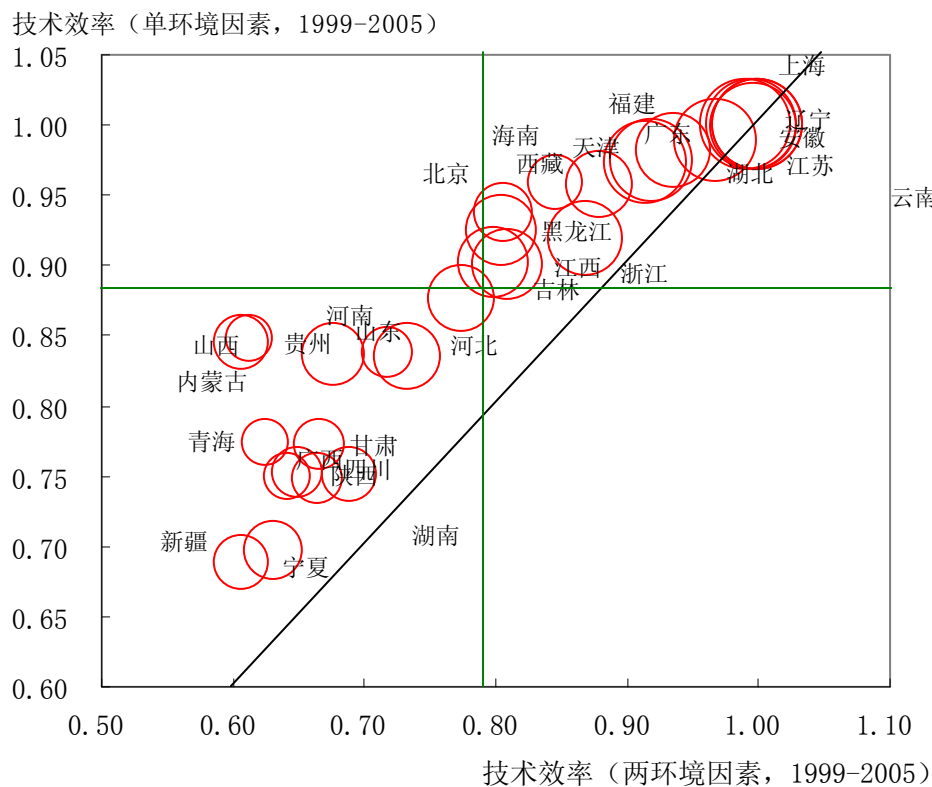


图 5.1 各地区技术效率分布

## （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 5.4）

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<sub>2</sub> 排放有关。（见附表 4）

表 5.4 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。

### （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<sub>2</sub> 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<sub>2</sub> 和固体废弃物排放的估计中处于生产前沿，西藏在考虑 SO<sub>2</sub> 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 5.5）

表 5.5 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 <sub>2</sub>	辽宁、上海、湖北
COD	辽宁、上海、江苏、安徽、云南
SO <sub>2</sub>	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<sub>2</sub> 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<sub>2</sub>、SO<sub>2</sub> 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<sub>2</sub> 和 SO<sub>2</sub> 12 个，CO<sub>2</sub> 和废水 10 个，SO<sub>2</sub> 和废水 13 个。

此外，湖北在 6 个组合，天津在 5 个组合中分别处于前沿。山西在和固体废弃物有关的 4 个组合，海南和贵州在和 SO<sub>2</sub> 有关的 4 个组合中分别都有 3 个处于前沿，但是在 SO<sub>2</sub> 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 5.6）

**表 5.6 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 <sub>2</sub> 和 COD	辽宁、上海、江苏、安徽、湖北、广东、广西、云南
CO <sub>2</sub> 和 SO <sub>2</sub>	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 <sub>2</sub> 和固体废弃物	山西、辽宁、黑龙江、上海、江苏、安徽、湖北、云南
CO <sub>2</sub> 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 <sub>2</sub>	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
COD 和废水	天津、辽宁、上海、江苏、安徽、云南
SO <sub>2</sub> 和固体废弃物	天津、辽宁、上海、安徽、云南
SO <sub>2</sub> 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 5.7）

**表 5.7 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 5.8) 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 5.2, 图 5.3)。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 5.8 各地区增长方式划分 (1999-2005 年)

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) 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)
粗放式增长	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。

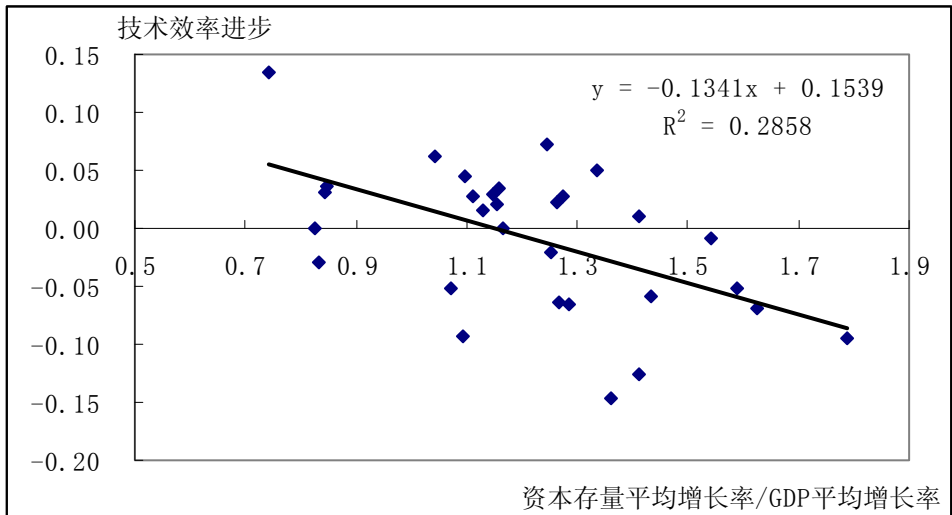


图 5.2 增长模式与单一环境因素平均技术效率进步（1999-2005）

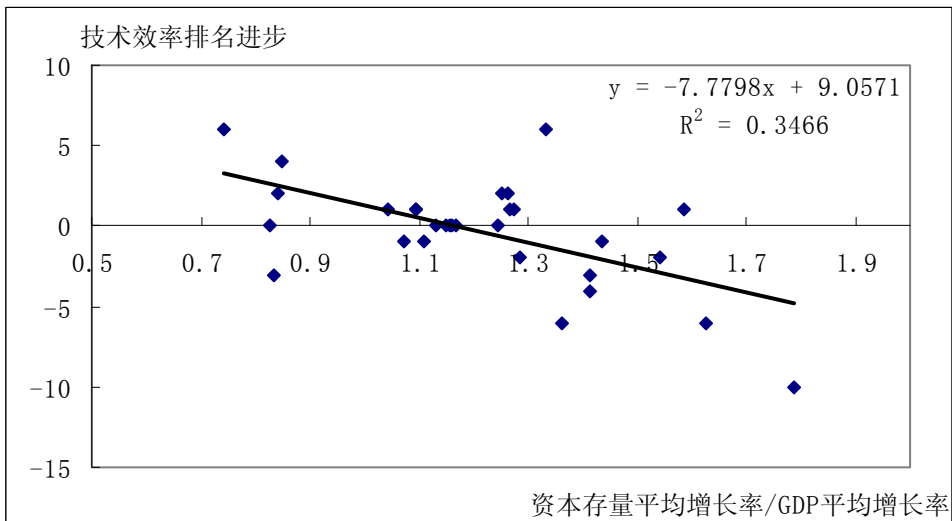


图 5.3 增长模式与两环境因素组平均技术效率排名进步（1999-2005）

### （五）TFP 增长的趋势与构成

1999年到2005年期间各地区忽略环境因素的TFP增长无论是平均值还是标准差变化都比较小，最小值出现在2004年到2005年的4.64%，最大值出现在2000到2001年的5.63%，相差仅为1%。尽管2001年到2003年两期的技术效率变化相对较低，但是由于这两期的技术进步率都非常高（超过了6%），因而还是保持了它们较高

的TFP增长率(见表 5.9)。实际上, 相关的研究中(Zheng and Hu, 2006) 也观测到20世纪90年代以后各地区技术效率的变化放缓。

当考虑单一环境因素的时候, 技术效率变化的趋势差别较小, 只有1999到2000年期由进步变为退步。但是在考虑两环境因素时差别较大, 仅有这一期保持进步, 之后全部表现为技术效率退步。更主要的区别来自于生产率差异, 考虑环境因素的TFP增长率远低于传统估计且呈现下降趋势, 特别是考虑两因素的在2004到2005年期出现负增长。考虑单一环境因素的1999年到2005年的TFP累积增长仅为忽略情况下的三分之一, 而考虑两环境因素的仅为六分之一略强。出现这一趋势的主要原因是新的估计中技术进步率低于原来的估计, 而且考虑两因素的情况下大部分时间里低于考虑单一因素的情况。这样的趋势表示“十五”期间, 环境污染作为一种“非合意产出”对于TFP增长, 特别是技术进步的负面影响是在不断加大的。

**表5.9 各时期TFP增长及构成**

	M-L 指数		效率变化		技术进步	
	平均值	标准差	平均值	标准差	平均值	标准差
<b>忽略环境因素</b>						
1999/2000	1.0491	0.0293	0.9947	0.0166	1.0546	0.0194
2000/2001	1.0563	0.0326	1.0032	0.0214	1.0527	0.0151
2001/2002	1.0466	0.0450	0.9859	0.0349	1.0614	0.0186
2002/2003	1.0515	0.0332	0.9880	0.0181	1.0641	0.0240
2003/2004	1.0540	0.0345	1.0073	0.0211	1.0462	0.0213
2004/2005	1.0464	0.0336	1.0043	0.0190	1.0420	0.0329
1999/2005	1.3367	0.1640	0.9851	0.0807	1.3550	0.1036
<b>单环境因素平均</b>						
1999/2000	1.0374	0.0425	1.0016	0.0314	1.0359	0.0234
2000/2001	1.0297	0.0341	1.0033	0.0352	1.0276	0.0157
2001/2002	1.0240	0.0182	0.9916	0.0208	1.0333	0.0166
2002/2003	1.0134	0.0159	0.9938	0.0116	1.0200	0.0164

2003/2004	1.0133	0.0284	1.0010	0.0276	1.0131	0.0145
2004/2005	1.0079	0.0191	1.0036	0.0175	1.0048	0.0112
1999/2005	1.1057	0.0781	0.9918	0.0507	1.1180	0.0596
<b>两环境因素平均</b>						
1999/2000	1.0339	0.0496	1.0136	0.0367	1.0213	0.0299
2000/2001	1.0237	0.0359	0.9970	0.0355	1.0289	0.0261
2001/2002	1.0203	0.0187	0.9984	0.0137	1.0224	0.0156
2002/2003	1.0082	0.0224	0.9986	0.0310	1.0117	0.0218
2003/2004	1.0061	0.0259	0.9994	0.0259	1.0083	0.0163
2004/2005	0.9983	0.0250	0.9932	0.0556	1.0129	0.0518
1999/2005	1.0595	0.0745	0.9902	0.0555	1.0707	0.0396

当我们比较不同污染物对于TFP增长的影响是可以发现，对于考虑单一环境因素的情况，SO<sub>2</sub>对于TFP增长的影响最小，而CO<sub>2</sub>的影响最大。考虑SO<sub>2</sub>的平均TFP增长率比不考虑环境因素的情况低2.08个百分点，累积TFP增长不到其一半，为15.42%。相比之下，考虑CO<sub>2</sub>的平均TFP增长率仅为0.4%，而其累计增长率仅为不考虑环境因素的情况十分之一。同样，在考虑两环境因素的TFP增长率中，所有与CO<sub>2</sub>有关的组合也都远低于其他组合，这说明排放是威胁地区TFP增长的最主要的环境因素。出现这种TFP增长差异主要是源于不同环境因素对应的技术进步率出现的显著差异（其中比较特别的是COD以及和COD相关的组合其技术效率进步基本都是正向的），这一点无论是考虑单一因素还是考虑两因素的情况下都是类似的。（见表5.10，表5.11）

**表 5.10 单一环境因素平均的TFP增长率**

	M-L 指数		效率变化		技术进步	
	平均值	标准差	平均值	平均值	标准差	平均值
<b>各时期平均</b>						
忽略环境因素	1.0506	0.0347	0.9973	0.0218	1.0535	0.0219
CO <sub>2</sub>	1.0040	0.0250	0.9990	0.0233	1.0050	0.0089
COD	1.0245	0.0512	1.0051	0.0528	1.0199	0.0205

SO <sub>2</sub>	1.0298	0.0343	0.9995	0.0251	1.0303	0.0252
固体废弃物	1.0274	0.0551	0.9928	0.0487	1.0361	0.0552
废水	1.0196	0.0330	0.9992	0.0391	1.0215	0.0251
<b>1999/2005 累计</b>						
忽略环境因素	1.3367	0.1640	0.9851	0.0807	1.3550	0.1036
CO <sub>2</sub>	1.0349	0.0882	0.9943	0.0709	1.0404	0.0348
COD	1.1346	0.1073	1.0225	0.0867	1.1095	0.0461
SO <sub>2</sub>	1.1542	0.1032	0.9961	0.0511	1.1589	0.0848
固体废弃物	1.1259	0.1264	0.9563	0.1027	1.1911	0.1878
废水	1.0832	0.0811	0.9919	0.0704	1.0925	0.0409

表 5.11 两环境因素平均的TFP增长率

	M-L 指数		效率变化		技术进步	
	平均值	标准差	平均值	平均值	标准差	平均值
<b>各时期平均</b>						
No E.F.	1.0506	0.0347	0.9973	0.0218	1.0535	0.0219
CO <sub>2</sub> 和 COD	1.0006	0.0354	0.9906	0.0286	1.0133	0.0240
CO <sub>2</sub> 和 SO <sub>2</sub>	1.0005	0.0373	0.9869	0.0305	1.0172	0.0230
CO <sub>2</sub> 和固体废弃物	1.0008	0.0380	0.9982	0.0301	1.0070	0.0209
CO <sub>2</sub> 和废水	1.0133	0.0272	0.9951	0.0198	1.0195	0.0168
COD 和 SO <sub>2</sub>	1.0397	0.0287	1.0038	0.0237	1.0375	0.0207
COD 和固体废弃物	1.0315	0.0293	1.0080	0.0303	1.0259	0.0171
COD 和废水	1.0260	0.0272	0.9991	0.0198	1.0293	0.0168
SO <sub>2</sub> 和固体废弃物	1.0432	0.0403	1.0090	0.0266	1.0380	0.0342
SO <sub>2</sub> 和废水	1.0295	0.0245	0.9956	0.0231	1.0352	0.0179
固体废弃物和废水	1.0292	0.0223	1.0016	0.0213	1.0288	0.0147
<b>1999/2005 累计</b>						
No E.F.	1.3367	0.1640	0.9851	0.0807	1.3550	0.1036
CO <sub>2</sub> 和 COD	1.0132	0.0910	0.9638	0.0997	1.0564	0.0818
CO <sub>2</sub> 和 SO <sub>2</sub>	1.0038	0.1171	0.9505	0.1027	1.0566	0.0612
CO <sub>2</sub> 和固体废弃物	1.0060	0.0818	0.9769	0.1026	1.0353	0.0743
CO <sub>2</sub> 和废水	1.0345	0.0871	0.9803	0.0661	1.0553	0.0526
COD 和 SO <sub>2</sub>	1.1064	0.1144	1.0071	0.0826	1.0983	0.0675
COD 和固体废弃物	1.0812	0.1420	1.0151	0.1267	1.0657	0.0608
COD 和废水	1.0660	0.0965	0.9912	0.0781	1.0751	0.0393
SO <sub>2</sub> 和固体废弃物	1.1493	0.1291	1.0257	0.0918	1.1215	0.0861
SO <sub>2</sub> 和废水	1.0634	0.0905	0.9842	0.0762	1.0809	0.0474
固体废弃物和废水	1.0663	0.0955	1.0026	0.0814	1.0635	0.0380

## （六）各地区 TFP 增长的分布

中国区域的TFP增长率差异十分明显，即使不考虑环境因素，西部地区的TFP增长率仍然比东部地区低接近1个百分点（不包括2004到2005年）。从累计的TFP增长率来说，西部地区的技术进步率反而还略高于中部地区，但是由于退步的技术效率变化，使其在生产率的增长中落后，从1999到2005年累计低于中部地区6个百分点。如果考虑环境因素，西部地区的落后就更为明显，尽管各个区域都显示出了明显的TFP增长放缓，但是西部地区在2003年之后出现了TFP的负增长（两环境因素是2002年之后）。TFP增长放缓的主要原因是技术进步的放缓，例如西部地区的技术进步在考虑两环境因素的情况下，在2003到2004年期间出现了负增长。这一趋势说明西部地区的增长是典型的“环境粗放型”增长，其生产率增长在考虑环境因素之后会远低于传统的估计。（见表5.12）

表 5.12 各时期分地区TFP增长及构成

	M-L 指数	东部		中部			西部		
		效率 变化	技术 进步	M-L 指数	效率 变化	技术 进步	M-L 指数	效率 变化	技术 进步
<b>忽略环境因素</b>									
1999/2000	1.0553	0.9954	1.0601	1.0439	0.9946	1.0494	1.0461	0.9939	1.0524
2000/2001	1.0599	1.0051	1.0545	1.0540	1.0018	1.0517	1.0538	1.0021	1.0514
2001/2002	1.0492	0.9909	1.0587	1.0491	0.9866	1.0630	1.0406	0.9785	1.0634
2002/2003	1.0546	0.9890	1.0664	1.0547	0.9944	1.0602	1.0440	0.9804	1.0649
2003/2004	1.0591	1.0090	1.0497	1.0537	1.0113	1.0415	1.0475	1.0011	1.0464
2004/2005	1.0452	1.0005	1.0449	1.0497	1.0135	1.0356	1.0446	1.0003	1.0445
1999/2005	1.3682	0.9906	1.3829	1.3439	1.0049	1.3296	1.2876	0.9582	1.3432
<b>单环境因素平均</b>									
1999/2000	1.0425	1.0012	1.0419	1.0424	1.0061	1.0362	1.0256	0.9974	1.0275
2000/2001	1.0285	1.0040	1.0255	1.0279	0.9989	1.0300	1.0330	1.0067	1.0279
2001/2002	1.0304	0.9937	1.0379	1.0203	0.9870	1.0342	1.0191	0.9933	1.0264
2002/2003	1.0205	0.9935	1.0276	1.0125	0.9963	1.0166	1.0050	0.9918	1.0134
2003/2004	1.0199	0.9993	1.0207	1.0210	1.0071	1.0146	0.9969	0.9970	1.0015

2004/2005	1.0134	1.0075	1.0061	1.0095	1.0031	1.0076	0.9990	0.9989	1.0002
1999/2005	1.1247	0.9998	1.1304	1.1374	0.9974	1.1431	1.0488	0.9757	1.0763
<b>两环境因素平均</b>									
1999/2000	1.0354	1.0150	1.0216	1.0500	1.0191	1.0319	1.0158	1.0062	1.0104
2000/2001	1.0183	0.9884	1.0329	1.0215	1.0041	1.0186	1.0333	1.0014	1.0340
2001/2002	1.0171	0.9946	1.0227	1.0283	1.0005	1.0280	1.0165	1.0013	1.0164
2002/2003	1.0136	0.9966	1.0175	1.0107	1.0021	1.0109	0.9984	0.9978	1.0049
2003/2004	1.0134	1.0070	1.0077	1.0143	0.9968	1.0182	0.9883	0.9918	0.9991
2004/2005	1.0018	1.0082	0.9988	0.9985	0.9972	1.0142	0.9932	0.9692	1.0303
1999/2005	1.0634	1.0031	1.0601	1.0998	1.0127	1.0885	1.0140	0.9507	1.0671

此外，如果我们比较不同环境因素的影响，我们可以看到CO<sub>2</sub>仍然是具有最显著影响的环境因素，在考虑单一环境因素的估计中对西部地区的影响最为显著，在考虑两环境因素的估计中，和CO<sub>2</sub>有关的组合中，西部地区有三个出现了负增长。而且废水排放在考虑单一环境因素的估计中，使得东部地区的TFP增长率从5.39下降到1.99，其受影响程度与西部地区已经十分接近。这也表明不同污染物排放对于各区域TFP增长的影响具有明显的差异。同样，这种TFP增长的放缓仍然是主要来自于技术进步的放缓，例如西部地区在CO<sub>2</sub>和COD以及CO<sub>2</sub>和固体废弃物这两种组合下的技术进步率亦为负。而且西部地区在所有环境因素及组合中的技术效率进步为负，这进一步影响了其生产率增长。（见表5.13，表5.14）

**表 5.13 分地区单一环境因素TFP增长率**

	东部			中部			西部		
	M-L 指数	效率 变化	技术 进步	M-L 指数	效率 变化	技术 进步	M-L 指数	效率 变化	技术 进步
<b>Average through Periods</b>									
忽略环境因素	1.0539	0.9983	1.0557	1.0508	1.0004	1.0502	1.0461	0.9927	1.0538
CO <sub>2</sub>	1.0064	0.9989	1.0076	1.0031	0.9989	1.0041	1.0013	0.9991	1.0022
COD	1.0317	1.0097	1.0222	1.0248	1.0048	1.0204	1.0147	0.9992	1.0163
SO <sub>2</sub>	1.0387	1.0032	1.0355	1.0284	0.9987	1.0298	1.0191	0.9954	1.0237
固体废弃物	1.0342	0.9913	1.0454	1.0278	0.9912	1.0389	1.0186	0.9964	1.0220

废水	1.0199	0.9958	1.0247	1.0272	1.0052	1.0228	1.0116	0.9979	1.0159
<b>Accumulation 1999/2005</b>									
忽略环境因素	1.3682	0.9906	1.3829	1.3439	1.0049	1.3296	1.2876	0.9582	1.3432
CO <sub>2</sub>	1.0374	0.9945	1.0432	1.0513	0.9945	1.0556	1.0127	0.9937	1.0190
COD	1.1710	1.0566	1.1074	1.1638	1.0288	1.1326	1.0567	0.9708	1.0892
SO <sub>2</sub>	1.1879	1.0162	1.1678	1.1692	0.9917	1.1798	1.0943	0.9737	1.1261
固体废弃物	1.1721	0.9543	1.2551	1.1756	0.9421	1.2534	1.0197	0.9728	1.0505
废水	1.0622	0.9744	1.0915	1.1269	1.0298	1.0942	1.0673	0.9773	1.0923

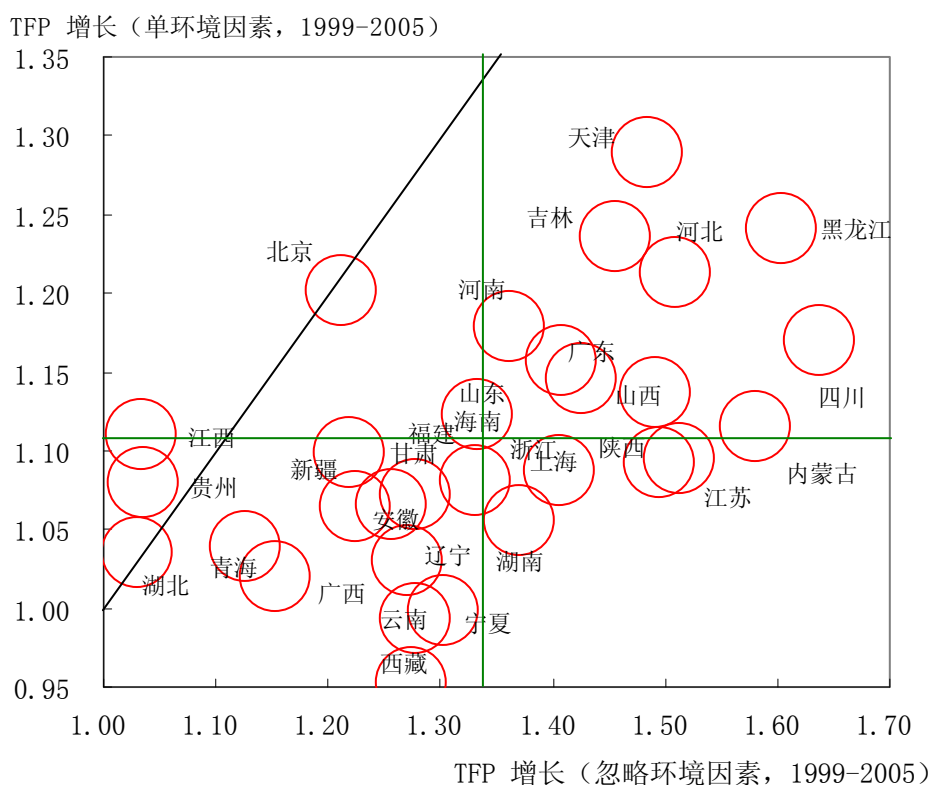
表 5.14分地区两环境因素TFP增长率

	Eastern			Middle			Western		
	M-L 指数	效率 变化	技术 进步	M-L 指数	效率 变化	技术 进步	M-L 指数	效率 变化	技术 进步
<b>各时期平均</b>									
忽略环境因素	1.0539	0.9983	1.0557	1.0508	1.0004	1.0502	1.0461	0.9927	1.0538
CO <sub>2</sub> 和 COD	1.0089	0.9968	1.0137	1.0015	0.9822	1.0249	0.9883	0.9916	0.9997
CO <sub>2</sub> 和 SO <sub>2</sub>	1.0065	0.9936	1.0144	1.0116	0.9935	1.0232	0.9789	0.9694	1.0147
CO <sub>2</sub> 和固体废弃物	1.0097	1.0074	1.0063	1.0014	0.9928	1.0149	0.9877	0.9917	0.9990
CO <sub>2</sub> 和废水	1.0055	0.9926	1.0136	1.0156	1.0013	1.0156	1.0224	0.9917	1.0330
COD 和 SO <sub>2</sub>	1.0420	1.0106	1.0310	1.0544	1.0078	1.0488	1.0219	0.9907	1.0349
COD 和固体废弃物	1.0400	1.0185	1.0238	1.0406	1.0144	1.0280	1.0122	0.9887	1.0263
COD 和废水	1.0231	0.9998	1.0264	1.0392	1.0072	1.0325	1.0168	0.9900	1.0301
SO <sub>2</sub> 和固体废弃物	1.0508	1.0055	1.0486	1.0641	1.0269	1.0428	1.0132	0.9954	1.0202
SO <sub>2</sub> 和废水	1.0292	0.9966	1.0329	1.0405	1.0071	1.0334	1.0191	0.9827	1.0401
固体废弃物和废水	1.0222	1.0014	1.0219	1.0427	1.0119	1.0309	1.0242	0.9914	1.0350
<b>1999/2005 累计</b>									
忽略环境因素	1.3682	0.9906	1.3829	1.3439	1.0049	1.3296	1.2876	0.9582	1.3432
CO <sub>2</sub> 和 COD	1.0324	0.9879	1.0478	1.0206	0.9371	1.1003	0.9785	0.9605	1.0188
CO <sub>2</sub> 和 SO <sub>2</sub>	1.0215	0.9763	1.0477	1.0397	0.9672	1.0748	0.9371	0.8930	1.0496
CO <sub>2</sub> 和固体废弃物	1.0234	0.9993	1.0238	1.0160	0.9665	1.0701	0.9776	0.9607	1.0176
CO <sub>2</sub> 和废水	1.0114	0.9738	1.0379	1.0360	1.0011	1.0342	1.0674	0.9666	1.1053
COD 和 SO <sub>2</sub>	1.1329	1.0374	1.0910	1.1608	1.0196	1.1405	1.0166	0.9540	1.0658
COD 和固体废弃物	1.1140	1.0612	1.0490	1.1532	1.0618	1.0888	0.9924	0.9327	1.0643
COD 和废水	1.0541	0.9894	1.0656	1.1100	1.0237	1.0843	1.0379	0.9612	1.0784
SO <sub>2</sub> 和固体废弃物	1.1321	1.0155	1.1138	1.2401	1.0974	1.1302	1.0959	0.9800	1.1223
SO <sub>2</sub> 和废水	1.0606	0.9879	1.0737	1.1129	1.0244	1.0864	1.0175	0.9391	1.0851
固体废弃物和废水	1.0639	1.0028	1.0607	1.1190	1.0535	1.0620	1.0278	0.9627	1.0674



### (七) 生产率、技术效率和技术进步的分布变化

我们可以比较两种不同估计下的各地区TFP增长率，几乎所有的省份都在45度线下方，说明它们考虑环境因素的累计TFP增长率低于传统的估计。这考虑单环境因素的情况下，仅有江西、贵州和湖北的分布相反，处于45度线上方，而在考虑两环境因素的估计中，整体TFP增长率更低，而且仅有江西高于不考虑环境因素的估计。反之，原理45度线的省份，如内蒙古江苏、四川、宁夏则是生产率增长受到环境因素最大的省份。(见图5.4)



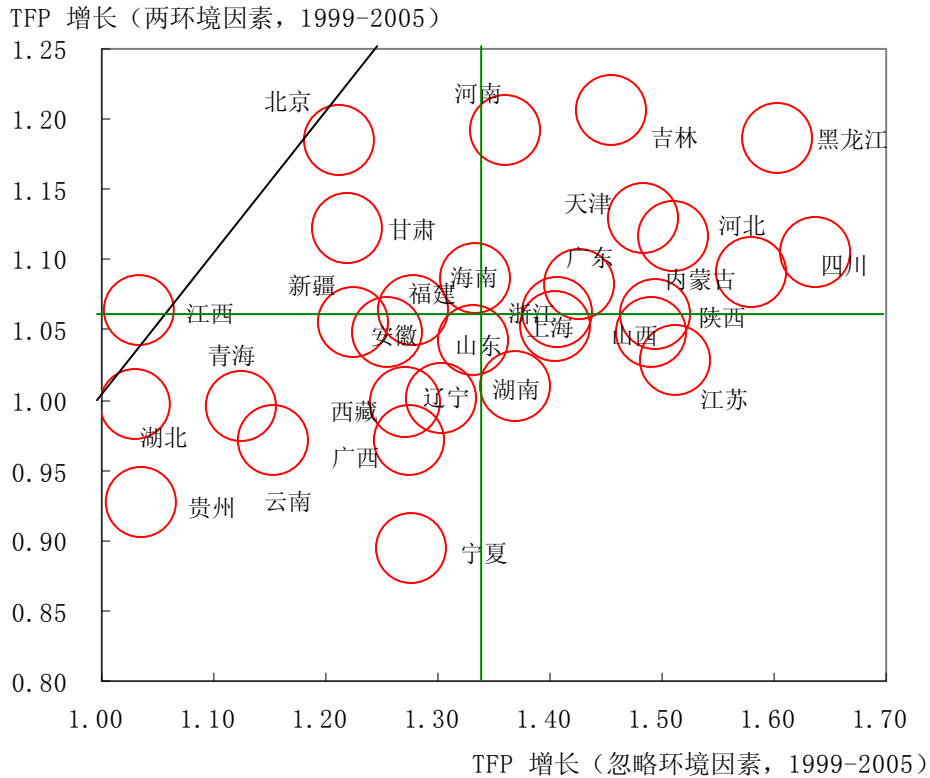
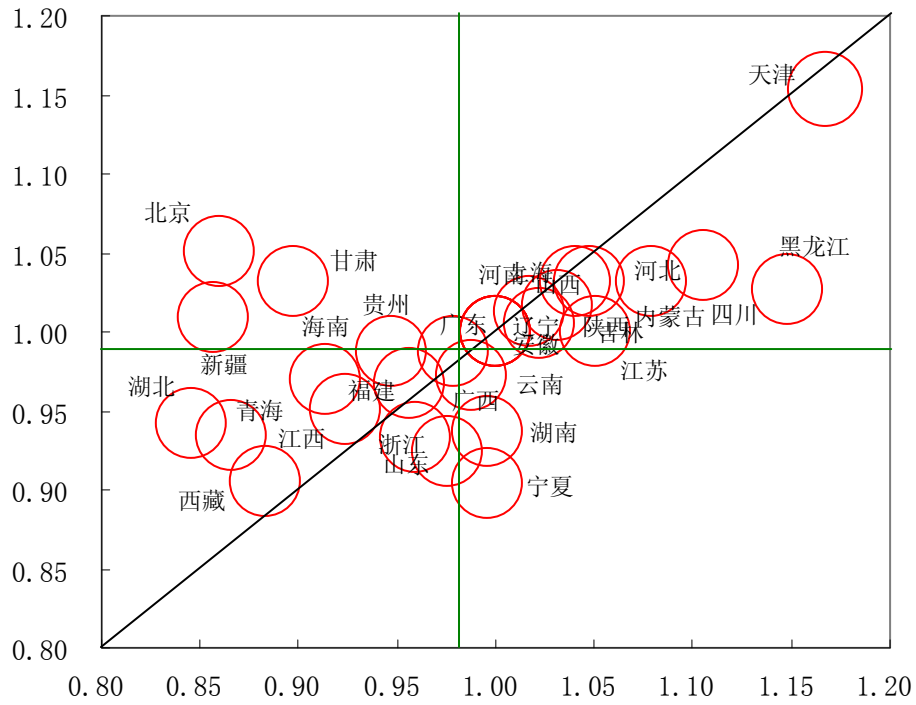


图5.4 考虑和忽略环境因素的各地区TFP增长率

注：气泡大小为平均的Malmquist指数大小；  
绿色的十字线代表了对应指标的平均值水平

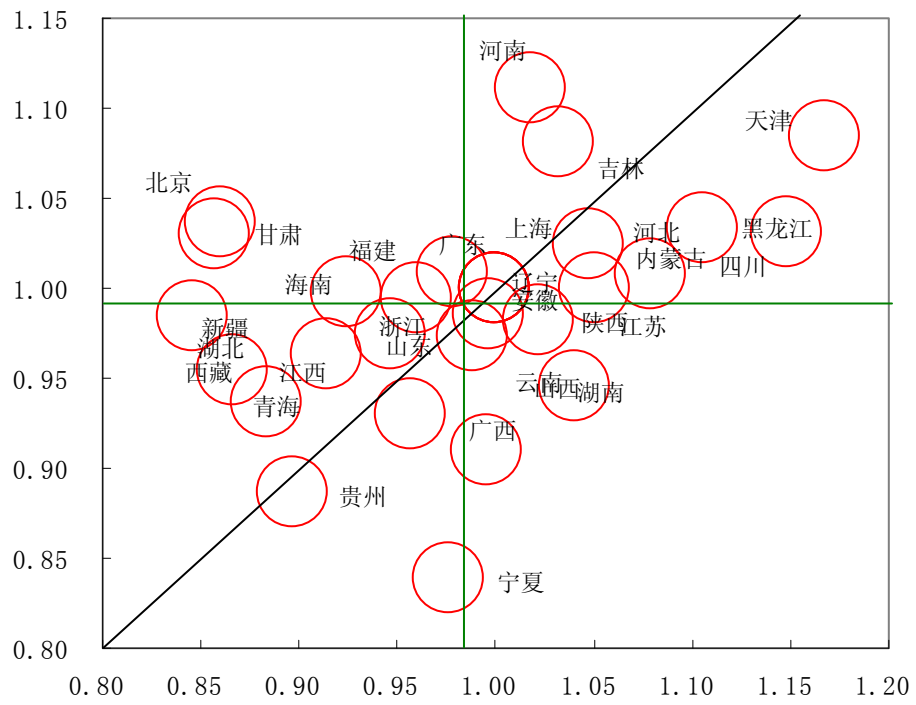
技术效率对于TFP增长的影响相对较小，各地区基本分布在45度线的两侧。像北京、新疆、甘肃等一些地区的技术效率进步是比较明显的，在考虑两环境因素的情况下，河南、吉林也出现了比较明显的技术效率进步，而像黑龙江、宁夏这些地区的则是出现了比较明显的技术效率退步。(见图5.5) 这表示了各地区不同的经济增长模式，特别是在考虑环境因素下重新定义的“集约型”与“粗放型”增长模式。

技术效率变化（单环境因素，1999-2005）



技术效率变化（忽略环境因素，1999-2005）

技术效率变化（两环境因素，1999-2005）

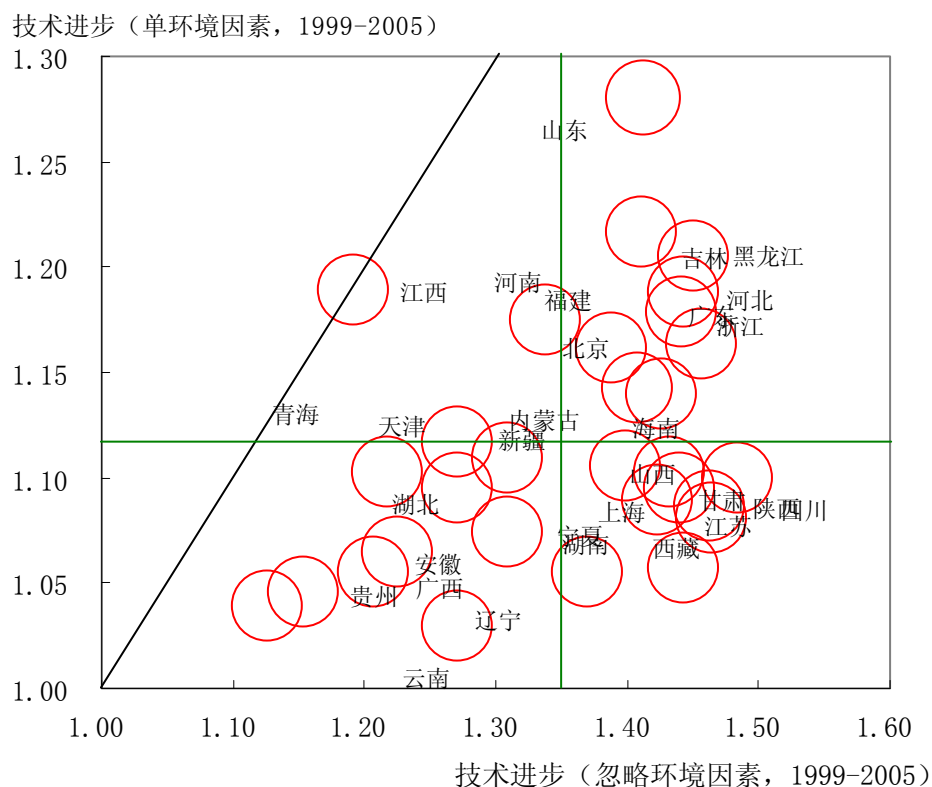


技术效率变化（忽略环境因素，1999-2005）

图5.5 考虑和忽略环境因素的各地区技术效率变化率

注：气泡大小为平均的技术效率变化大小；  
绿色的十字线代表了对应指标的平均值水平

对于各地区TFP增长率的影响同样是来自于技术进步率。除了在考虑单一环境因素下的江西，其他所有地区的技术进步率都在45度线下方，也就是说考虑环境因素的技术效率低于忽略环境因素的估计。距离45度线最远的一些地区，如四川、江苏、西藏等等，累积的技术进步率在考虑环境因素的情况下比不考虑的时候低了40%甚至更多，也就是说环境因素在这里使得80%左右的技术进步被环境因素折扣掉。(见图5.6) 也就是说，中国大部分地区的TFP增长由于考虑环境因素对于技术进步的负面影响而明显低于我们传统的估计。



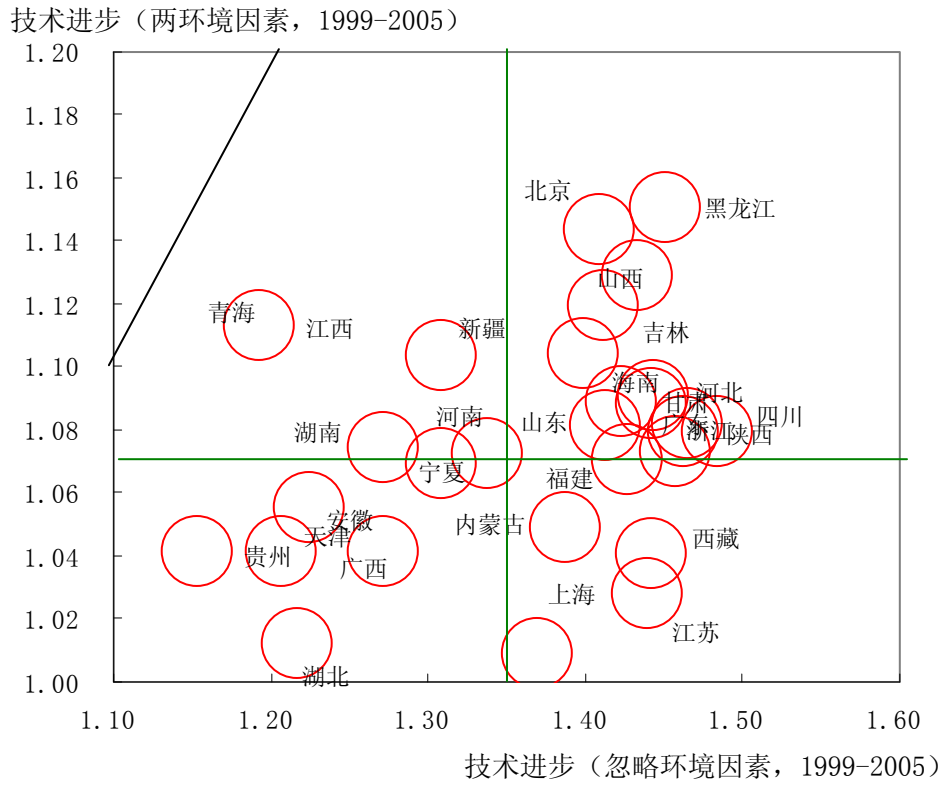


图5.6考虑和忽略环境因素的各地区技术进步率

注：气泡大小为平均的技术进步率大小；  
绿色的十字线代表了对应指标的平均值水平

---

## 第六章 主要结论和政策建议

### (一) 不考虑环境因素的省级生产率

中国是一个处在转型时期的发展中国家，如何通过改革开放来提高技术效率和促进技术进步在相当长的一个时期内会是其经济成长中迫切需要解决的问题。根据我们所估算的结果来判断，将省际 TFP 拆分为技术进步和技术效率变化是具有十分重要的政策含义的。这是因为技术效率不高与改革开放过程中所遇到的许多问题是紧密相关的，如国有企业的改革，金融体系的问题，以及如何提高政府工作效率的问题等等。

从我们这次所得到的估算结果来看，结论与文献中基于企业调查数据的研究是基本一致的。即省际生产率的增长主要是“技术进步”带来的，而效率改善的速度明显落后于“技术进步”的速度。另外与八十年代相比，进入九十年代以来，西部省份与东部省份以资本劳动比来衡量的技术差距似乎在缩小，与此同时，尽管许多省份在九十年代上半期技术效率有所提高，但潜力仍然很大，而且西部省份的技术效率变化不大甚至有下降的趋势。而在九十年代后半期多数省份的“技术进步”速度放缓，技术效率没有提高，导致全要素生产率的增长率只有 0.6%。因此，改革开放以来的经济增长似乎可以划分为两个不同的时期，对应两种不同增长模式：1978—1995 年为第一个时期，可以称为 TFP 高增长期，表现为高经济增长、高生产率增长，这与相关文献的结果是基本一致的，即中国经济增长比改革之前明显提高主要是由于 TFP 增长率由负变正所致，并达到较高增长率。1995—2005 年为第二个时期，可以称为 TFP 低增长期，表现为高经济增长、低生产率增长。其中生产率变化的具体特征为：“技术进步”速度减慢、技术效率有所下降。这些都是本文的重要发现。总的来说，我们的经验估算结果也是与过去人们对中国经济不是“高效率的高增长”这一印象相符的。因此我们认为应该认真考虑一下“中国经济的发展是否正在背离比较优势的原则？”这一问题。

---

另外，即便中国经济增长中的技术进步因素也主要是引进技术带来的，自主技术创新的成分很少。即过去 30 年来，中国利用了别人的技术，拥有后发优势，但从九十年代生产前沿的变动情况来看技术进步的速度也在减慢。那末这是不是说中国目前所能够利用的后发优势也在减弱？要维持经济持续增长，今后除了进一步提高技术效率外，长远来看是否应该更多地依靠研究开发具有自主知识产权的新产品和新技术？还是因为近年来经济发展没有遵循比较优势的原则，导致了效率下降，后发优势没有充分发挥？

至于省际生产率的差异方面，尽管东部省份的技术进步率相对高是它们生产率高于中西部省份的主要原因，但我们看到九十年代西部省份生产率增长落后于中部地区的原因似乎不是技术进步率低导致的，而是技术效率的退步造成的。为了进一步理解省际生产率绩效测算结果的政策含义，我们要做的第二步工作就是要找出影响技术进步和影响效率改善的决定因素，比如实物资本、人力资本、社会资本、研究与开发、基础设施、外国直接投资、贸易、卫生状况、产业结构、所有制结构、城市化、政府工作效率等等。

## （二）考虑环境因素的省级生产率

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、生产率增长、技术标率变化和技术进步指标在考虑环境因素的情况下进行了分析，进而刻画了省际生产率在考虑环境因素后的变化。

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<sub>2</sub> 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，但是却忽视了环境技术效率的提高，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，还包括了像辽宁、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 4 个组合，海南和贵州在和 SO<sub>2</sub> 有关的 4 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。

环境因素作为“非合意产出”对于生产率指数，特别是技术进步的影响十分明显。考虑到技术效率进步在考虑环境因素后的变化并不显著，我们可以说各地区 TFP 增长率在考虑环境因素的估计中远低于传统的估计主要是由于环境因素对各地区技术进步的负面影响造成的。这就意味着在传统经济增长方式下 TFP 增长率表面上维持的比较高的增长率，一旦将环境污染因素考虑进来就可以看到十分明显的影响，以至于部分地区在部分年份的 TFP 增长出现负值。在各类污染物中，CO<sub>2</sub> 的影响最为显著，这也说明了“十五”期间化石能源消费的高速增长对于各地区 TFP 增长所带来的问题。



---

此外，我们比较各个区域的 TFP 增长的不同。尽管各地区 TFP 增长在考虑了环境因素之后显示出了明显的下降，但是西部地区的下降尤为明显。西部地区生产率的低下一方面是由于其低下的技术效率进步，但主要仍然是由于其技术进步率在考虑环境因素的情况下大幅度折扣。出现这一情况的主要原因是因为西部地区的技术更为“环境粗放”，从而导致了其 TFP 增长率在 2003 年之后出现了负值。同样，环境因素对于各地区的生产率影响也十分明显，仅有江西等少数几个省份在考虑环境因素的情况下，拥有更高的 TFP 增长率。

本研究的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，更好地理解中国各地区的经济增长，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		2000		2001		2002		2003		2004		2005	
	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	0.792	(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 省市自治区考虑环境因素的技术效率排名（各年度平均）

地区	忽略环境因素的技术效率排名		考虑环境因素的技术效率排名									
			CO2		COD		SO2		固体废弃物		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
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	(24)	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	(29)	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		2000		2001		2002		2003		2004		2005	
	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	0.933	(11)	0.917	(14)	0.921	(15)	0.945	(12)	0.946	(9)	0.944	(11)	0.960	(10)
天津	0.933	(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 省市自治区考虑环境因素的技术效率排名（各年度平均）

地区	忽略环境因素的技术效率排名		考虑环境因素的技术效率排名									
			CO <sub>2</sub> 和COD		CO <sub>2</sub> 和SO <sub>2</sub>		CO <sub>2</sub> 和固体废弃物		CO <sub>2</sub> 和废水		COD和SO <sub>2</sub>	
	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

地区	考虑环境因素的技术效率排名									
	COD 和固体废弃物		COD 和废水		SO <sub>2</sub> 和固体废弃物		SO <sub>2</sub> 和废水		固体废弃物和废水	
	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)

附表5 省市区考虑环境因素的技术进步（单一环境因素平均）

	1999/2000			2000/2001			2001/2002			2002/2003			2003/2004			2004/2005		
	M.I.	E.C.	T.C.	M.I.	E.C.	T.C.	M.I.	E.C.	T.C.	M.I.	E.C.	T.C.	M.I.	E.C.	T.C.	M.I.	E.C.	T.C.
北京	1.0571	0.9883	1.0703	1.0540	1.0231	1.0302	1.0389	1.0101	1.0291	1.0404	1.0020	1.0390	1.0282	1.0001	1.0283	1.0339	1.0279	1.0060
天津	1.0871	1.0511	1.0337	1.0597	1.0218	1.0368	1.0909	1.0609	1.0283	1.0405	0.9698	1.0745	1.0589	1.0118	1.0467	1.0388	1.0441	0.9960
河北	1.0584	1.0147	1.0437	1.0312	1.0055	1.0274	1.0234	0.9751	1.0500	1.0278	1.0045	1.0235	1.0214	1.0084	1.0130	1.0302	1.0237	1.0065
山西	1.0359	1.0239	1.0121	1.0114	0.9967	1.0153	1.0156	0.9927	1.0232	1.0085	0.9987	1.0100	1.0141	1.0119	1.0027	1.0077	1.0081	0.9997
内蒙古	1.0417	1.0116	1.0300	1.0216	0.9974	1.0249	1.0354	0.9931	1.0428	1.0062	0.9841	1.0224	1.0352	1.0225	1.0126	1.0305	1.0190	1.0113
辽宁	1.0395	1.0000	1.0395	1.0161	1.0000	1.0161	1.0222	1.0000	1.0222	1.0173	1.0000	1.0173	1.0091	1.0000	1.0091	0.9826	1.0000	0.9826
吉林	1.0602	1.0071	1.0530	1.0683	1.0321	1.0351	1.0322	0.9891	1.0438	1.0290	1.0100	1.0192	1.0187	0.9966	1.0223	0.9834	0.9841	0.9996
黑龙江	1.0817	1.0139	1.0670	1.0384	0.9795	1.0647	1.0347	0.9780	1.0601	1.0274	1.0153	1.0123	1.0784	1.0787	1.0025	1.0210	0.9850	1.0454
上海	1.0119	1.0000	1.0119	1.0111	1.0000	1.0111	1.0131	1.0000	1.0131	1.0189	1.0000	1.0189	1.0157	1.0000	1.0157	1.0026	1.0000	1.0026
江苏	1.0261	1.0000	1.0261	1.0095	0.9954	1.0142	1.0270	1.0047	1.0222	1.0137	0.9968	1.0171	1.0141	1.0033	1.0107	1.0076	1.0000	1.0076
浙江	1.0331	0.9850	1.0483	1.0282	1.0090	1.0207	1.0136	0.9614	1.0542	1.0249	0.9972	1.0280	1.0263	0.9947	1.0321	1.0163	1.0016	1.0148
安徽	1.0062	0.9996	1.0066	1.0186	1.0004	1.0182	1.0120	1.0000	1.0120	1.0082	1.0000	1.0082	1.0064	1.0000	1.0064	1.0012	1.0000	1.0012
福建	1.0228	0.9886	1.0345	1.0222	0.9981	1.0245	1.0369	1.0050	1.0320	1.0020	0.9717	1.0316	1.0065	0.9794	1.0280	0.9942	0.9886	1.0059
江西	1.0552	0.9949	1.0606	1.0485	1.0102	1.0378	1.0128	0.9828	1.0304	0.9979	0.9687	1.0300	1.0048	0.9728	1.0333	1.0142	1.0039	1.0106
山东	1.0778	0.9964	1.0890	1.0367	0.9724	1.0720	1.0193	0.9369	1.0942	1.0270	0.9999	1.0274	1.0345	1.0118	1.0226	1.0378	1.0058	1.0323
河南	1.0477	1.0017	1.0463	1.0246	1.0014	1.0249	1.0216	0.9850	1.0373	1.0126	1.0081	1.0046	1.0082	1.0079	1.0008	1.0103	1.0080	1.0024
湖北	1.0100	0.9959	1.0142	1.0076	0.9792	1.0305	1.0131	0.9829	1.0314	1.0234	0.9820	1.0434	1.0236	0.9801	1.0447	1.0174	1.0212	0.9973
湖南	1.0429	1.0065	1.0364	1.0118	0.9934	1.0188	1.0053	0.9795	1.0264	0.9990	1.0000	0.9995	0.9998	0.9937	1.0061	1.0000	0.9986	1.0014
广东	1.0467	0.9934	1.0535	1.0135	0.9804	1.0340	1.0626	1.0079	1.0544	1.0380	1.0030	1.0353	1.0452	1.0126	1.0324	1.0090	0.9907	1.0188
广西	1.0120	0.9910	1.0212	1.0202	1.0062	1.0142	1.0035	0.9876	1.0161	0.9892	0.9917	0.9977	0.9972	0.9940	1.0032	0.9956	0.9965	0.9992
海南	1.0370	1.0065	1.0305	1.0396	1.0364	1.0043	1.0128	0.9748	1.0390	1.0061	0.9858	1.0206	0.9822	0.9757	1.0066	1.0118	1.0107	1.0011
四川	1.0208	1.0135	1.0073	1.0191	0.9945	1.0257	1.0195	0.9944	1.0256	1.0021	0.9927	1.0093	1.0148	1.0169	0.9990	1.0262	1.0227	1.0035
贵州	1.0225	1.0122	1.0103	1.0129	1.0020	1.0120	1.0121	0.9949	1.0174	0.9962	0.9936	1.0028	1.0093	1.0156	0.9943	1.0140	1.0146	0.9994
云南	1.0698	1.0000	1.0698	1.0609	1.0000	1.0609	1.0339	1.0000	1.0339	1.0501	1.0000	1.0501	1.0174	1.0000	1.0174	0.9997	1.0000	0.9997
西藏	0.8713	0.8610	1.0102	1.1788	1.1672	1.0109	1.0466	1.0273	1.0187	1.0022	0.9940	1.0084	0.9049	0.9005	1.0069	1.0111	1.0143	0.9975
陕西	1.0322	1.0212	1.0113	1.0119	0.9825	1.0319	1.0138	0.9840	1.0309	1.0087	1.0005	1.0082	1.0078	1.0136	0.9959	1.0063	1.0051	1.0013
甘肃	1.0416	1.0344	1.0085	1.0331	0.9946	1.0409	1.0039	0.9693	1.0375	0.9905	0.9717	1.0200	1.0200	1.0378	0.9904	1.0102	1.0101	1.0007
青海	1.1434	1.0526	1.0825	0.9711	0.9447	1.0328	1.0204	0.9889	1.0321	0.9972	0.9934	1.0034	0.9766	0.9778	0.9990	0.9557	0.9562	0.9995
宁夏	0.9893	0.9699	1.0197	0.9982	0.9823	1.0167	1.0096	0.9922	1.0179	0.9985	0.9943	1.0043	1.0268	1.0236	1.0032	0.9617	0.9616	1.0001
新疆	1.0398	1.0118	1.0280	1.0110	0.9922	1.0193	1.0119	0.9884	1.0240	0.9998	0.9861	1.0142	0.9941	0.9868	1.0078	1.0060	1.0055	1.0006

附表6 省市区考虑环境因素的技术进步（各年度平均）

	No Environmental Factors			CO <sub>2</sub>			COD			SO <sub>2</sub>			Solid Waste			Waste Water		
	M.I.	E.C.	T.C.	M.I.	E.C.	T.C.	M.I.	E.C.	T.C.	M.I.	E.C.	T.C.	M.I.	E.C.	T.C.	M.I.	E.C.	T.C.
北京	1.0451	0.9774	1.0685	1.0211	1.0081	1.0129	1.0624	1.0174	1.0448	1.0857	1.0109	1.0754	1.0050	1.0004	1.0046	1.0363	1.0061	1.0313
天津	1.0680	1.0262	1.0408	1.0649	1.0377	1.0268	1.0618	1.0221	1.0393	1.0838	1.0317	1.0503	1.0896	1.0414	1.0505	1.0132	1.0000	1.0132
河北	1.0760	1.0078	1.0676	0.9974	0.9959	1.0015	1.0393	1.0228	1.0174	1.0482	1.0083	1.0400	1.0460	0.9944	1.0520	1.0295	1.0050	1.0260
山西	1.0695	1.0067	1.0624	1.0016	0.9992	1.0024	1.0273	1.0153	1.0124	1.0199	1.0015	1.0184	1.0000	0.9998	1.0003	1.0289	1.0109	1.0190
内蒙古	1.0881	1.0233	1.0633	0.9993	0.9958	1.0036	1.0244	1.0101	1.0144	1.0277	0.9951	1.0326	1.0544	1.0102	1.0436	1.0363	1.0119	1.0258
辽宁	1.0393	1.0000	1.0393	1.0076	1.0000	1.0076	1.0226	1.0000	1.0226	1.0184	1.0000	1.0184	1.0023	1.0000	1.0023	1.0213	1.0000	1.0213
吉林	1.0744	1.0055	1.0685	1.0070	1.0031	1.0039	1.0252	1.0025	1.0229	1.0487	1.0009	1.0478	1.0460	0.9994	1.0463	1.0328	1.0099	1.0234
黑龙江	1.0867	1.0169	1.0687	1.0259	1.0204	1.0055	1.0334	1.0152	1.0183	1.0584	1.0076	1.0504	1.0741	0.9786	1.1129	1.0428	1.0202	1.0229
上海	1.0530	1.0000	1.0530	1.0094	1.0000	1.0094	1.0113	1.0000	1.0113	1.0121	1.0000	1.0121	1.0074	1.0000	1.0074	1.0208	1.0000	1.0208
江苏	1.0717	1.0084	1.0628	1.0042	1.0000	1.0042	1.0105	1.0000	1.0105	1.0288	1.0000	1.0288	1.0117	1.0000	1.0117	1.0265	1.0001	1.0263
浙江	1.0495	0.9869	1.0635	0.9973	0.9892	1.0082	1.0377	1.0159	1.0229	1.0424	0.9897	1.0533	1.0293	0.9749	1.0559	1.0118	0.9877	1.0248
安徽	1.0360	1.0000	1.0360	1.0067	1.0000	1.0067	1.0131	1.0000	1.0131	1.0048	1.0000	1.0048	1.0021	1.0000	1.0021	1.0171	1.0000	1.0171
福建	1.0635	0.9931	1.0709	0.9966	0.9959	1.0007	1.0180	0.9965	1.0221	1.0129	0.9954	1.0175	1.0446	0.9832	1.0625	0.9984	0.9718	1.0276
江西	0.9899	0.9765	1.0139	0.9894	0.9826	1.0068	1.0207	0.9885	1.0329	1.0341	0.9867	1.0474	1.0450	0.9883	1.0577	1.0219	0.9983	1.0240
山东	1.0593	0.9994	1.0599	0.9880	0.9819	1.0063	1.0488	1.0253	1.0235	1.0510	1.0039	1.0470	1.0814	0.9237	1.1794	1.0252	1.0013	1.0250
河南	1.0755	1.0033	1.0721	1.0091	1.0051	1.0040	1.0396	1.0244	1.0156	1.0246	0.9924	1.0324	1.0104	0.9823	1.0289	1.0205	1.0060	1.0158
湖北	0.9823	0.9732	1.0101	1.0019	1.0000	1.0019	1.0336	0.9932	1.0424	1.0059	1.0002	1.0059	1.0109	0.9713	1.0419	1.0270	0.9863	1.0427
湖南	1.0552	0.9981	1.0573	0.9868	0.9843	1.0026	1.0053	0.9938	1.0119	1.0319	1.0039	1.0283	1.0076	0.9912	1.0166	1.0173	1.0033	1.0144
广东	1.0609	0.9965	1.0647	1.0095	1.0013	1.0082	1.0364	1.0082	1.0280	1.0371	0.9986	1.0387	1.0586	0.9891	1.0702	1.0376	0.9928	1.0451
广西	1.0018	0.9928	1.0094	0.9909	0.9884	1.0025	1.0038	0.9953	1.0088	1.0172	0.9997	1.0176	0.9996	0.9971	1.0026	1.0032	0.9920	1.0115
海南	1.0586	0.9910	1.0683	0.9899	0.9878	1.0021	1.0276	1.0129	1.0158	1.0272	1.0000	1.0272				1.0150	0.9926	1.0229
四川	1.0794	1.0128	1.0658	1.0192	1.0136	1.0056	1.0196	1.0142	1.0053	1.0327	1.0041	1.0285	1.0003	0.9994	1.0009	1.0137	0.9976	1.0183
贵州	0.9953	0.9825	1.0136	1.0024	1.0038	0.9985	1.0191	1.0072	1.0124	1.0089	1.0019	1.0070	1.0001	0.9998	1.0004	1.0253	1.0147	1.0118
云南	1.0129	1.0000	1.0129	0.9988	1.0000	0.9988	1.0376	1.0000	1.0376	1.0279	1.0000	1.0279	1.1187	1.0000	1.1187	1.0102	1.0000	1.0102
西藏	1.0438	0.9801	1.0650				1.0076	0.9879	1.0237	1.0058	1.0000	1.0058	0.9998	0.9982	1.0016	0.9967	0.9901	1.0039
陕西	1.0700	1.0039	1.0660	0.9954	0.9920	1.0035	1.0211	1.0121	1.0094	1.0272	0.9986	1.0286	1.0007	0.9989	1.0018	1.0228	1.0041	1.0230
甘肃	1.0337	0.9748	1.0606	1.0071	1.0019	1.0053	1.0103	0.9947	1.0174	1.0219	0.9932	1.0288	1.0003	0.9984	1.0019	1.0432	1.0267	1.0282
青海	1.0704	0.9993	1.0712	1.0043	1.0022	1.0021	0.9986	0.9826	1.0168	1.0108	0.9726	1.0379	1.0394	0.9824	1.0547	1.0006	0.9883	1.0129
宁夏	1.0675	0.9960	1.0718	0.9822	0.9832	0.9990	1.0061	0.9965	1.0094	1.0110	0.9988	1.0122	1.0077	0.9913	1.0166	0.9796	0.9667	1.0141
新疆	1.0418	0.9851	1.0575	1.0010	0.9965	1.0046	1.0122	0.9977	1.0147	1.0259	0.9895	1.0367	1.0006	0.9991	1.0015	1.0124	0.9928	1.0207



附表7 省市自治区考虑环境因素的技术进步（两环境因素组平均）

	2000/1999					2001/2000					2002/2001				
	M.I.	E.C.	T.C.	S.C	V.E.C.	M.I.	E.C.	T.C.	S.C	V.E.C.	M.I.	E.C.	T.C.	S.C	V.E.C.
北京	1.0516	1.0456	1.0114	1.0281	1.0182	1.0450	0.9584	1.0950	0.9849	0.9735	1.0547	1.0244	1.0301	1.0057	1.0188
天津	1.0915	1.1040	0.9951	1.0910	1.0119	1.0428	0.9823	1.0613	0.9823	1.0000	1.0303	1.0061	1.0241	1.0061	1.0000
河北	1.0390	1.0047	1.0345	1.0061	0.9987	1.0117	1.0077	1.0056	0.9885	1.0192	1.0189	0.9846	1.0352	0.9916	0.9930
山西	1.0852	1.0879	1.0069	0.9813	1.1128	1.0046	1.0279	0.9805	1.0069	1.0262	1.0079	0.9922	1.0165	0.9928	0.9994
内蒙古	1.0517	1.0171	1.0345	0.9950	1.0222	1.0048	0.9962	1.0088	1.0015	0.9950	1.0507	1.0232	1.0261	0.9824	1.0463
辽宁	1.0290	1.0000	1.0290	1.0000	1.0000	1.0212	1.0000	1.0212	1.0000	1.0000	1.0282	1.0000	1.0282	1.0000	1.0000
吉林	1.0618	1.0146	1.0466	0.9958	1.0189	1.0452	1.0078	1.0409	0.9800	1.0286	1.0588	0.9993	1.0600	0.9662	1.0358
黑龙江	1.0832	1.0012	1.0820	1.0023	0.9989	1.0268	1.0066	1.0207	1.0053	1.0013	1.0659	1.0059	1.0607	1.0016	1.0044
上海	1.0154	1.0000	1.0154	1.0000	1.0000	1.0089	1.0000	1.0089	1.0000	1.0000	1.0096	1.0000	1.0096	1.0000	1.0000
江苏	1.0233	1.0000	1.0233	1.0000	1.0000	1.0016	1.0000	1.0016	1.0000	1.0000	1.0150	1.0000	1.0150	1.0000	1.0000
浙江	1.0229	0.9887	1.0344	1.0075	0.9814	1.0245	1.0108	1.0143	0.9917	1.0191	1.0094	0.9615	1.0498	0.9871	0.9745
安徽	1.0201	1.0000	1.0201	1.0000	1.0000	1.0208	1.0000	1.0208	1.0000	1.0000	1.0146	1.0000	1.0146	1.0000	1.0000
福建	1.0095	0.9944	1.0152	0.9977	0.9967	1.0111	1.0061	1.0050	1.0022	1.0039	1.0143	1.0013	1.0130	1.0006	1.0007
江西	1.0360	1.0045	1.0315	0.9952	1.0093	1.0414	1.0154	1.0276	1.0031	1.0121	0.9992	0.9901	1.0091	0.9922	0.9980
山东	1.0636	1.0292	1.0351	1.0292	1.0000	1.0052	0.9211	1.1044	0.9663	0.9544	0.9950	0.9634	1.0319	0.9364	1.0353
河南	1.0397	1.0166	1.0235	1.0151	1.0015	1.0326	1.0060	1.0277	0.9841	1.0224	1.0253	0.9918	1.0339	0.9990	0.9928
湖北	1.0322	1.0000	1.0322	1.0000	1.0000	1.0242	1.0000	1.0242	1.0000	1.0000	1.0178	1.0000	1.0178	1.0000	1.0000
湖南	1.0396	1.0302	1.0098	1.0021	1.0280	0.9932	0.9772	1.0164	0.9884	0.9890	1.0148	1.0024	1.0131	0.9954	1.0071
广东	1.0389	1.0079	1.0309	1.0091	0.9988	1.0076	0.9628	1.0484	0.9625	1.0003	1.0369	1.0098	1.0267	1.0089	1.0009
广西	1.0073	1.0037	1.0040	0.9708	1.0484	1.0146	1.0064	1.0090	1.0308	0.9874	0.9857	1.0018	0.9842	0.9690	1.0466
海南	1.0332	1.0023	1.0309	1.0025	0.9998	1.0250	1.0049	1.0200	1.0055	0.9994	1.0067	0.9829	1.0245	0.9884	0.9944
四川	1.0097	1.0339	0.9781	1.0806	0.9596	1.0160	0.9881	1.0296	0.9445	1.0570	1.0078	1.0063	1.0028	1.0359	0.9733
贵州	1.0351	0.9937	1.0471	0.9936	0.9993	1.0232	1.0235	1.0065	1.0028	1.0197	0.9884	0.9835	1.0072	0.9881	0.9946
云南	1.0461	1.0000	1.0461	1.0000	1.0000	1.0563	1.0000	1.0563	1.0000	1.0000	1.0198	1.0000	1.0198	1.0000	1.0000
西藏	0.8393	0.9024	0.9373	0.9024	1.0000	1.1842	1.1398	1.0437	1.1398	1.0000	1.0275	1.0000	1.0275	1.0000	1.0000
陕西	1.0080	1.0233	0.9853	1.0098	1.0134	1.0046	0.9718	1.0344	0.9729	1.0011	1.0123	0.9980	1.0160	0.9900	1.0087
甘肃	1.0152	1.0589	0.9600	1.0156	1.0423	1.0594	1.0105	1.0502	0.9836	1.0298	1.0252	1.0022	1.0275	0.9810	1.0212
青海	1.1633	1.0678	1.0884	1.0237	1.0520	0.9862	0.9433	1.0472	0.9774	0.9694	1.0220	1.0011	1.0216	1.0039	0.9973
宁夏	0.9705	0.9503	1.0235	0.9354	1.0163	0.9666	0.9603	1.0076	0.9491	1.0137	1.0197	0.9983	1.0217	0.9983	1.0000
新疆	1.0548	1.0260	1.0278	0.9902	1.0366	1.0033	0.9749	1.0301	1.0003	0.9752	1.0256	1.0226	1.0040	0.9983	1.0242

续表 7

	2003/2002					2004/2003					2005/2004				
	M.I.	E.C.	T.C.	S.C	V.E.C.	M.I.	E.C.	T.C.	S.C	V.E.C.	M.I.	E.C.	T.C.	S.C	V.E.C.
北京	1.0407	1.0018	1.0392	1.0006	1.0011	1.0300	1.0026	1.0283	1.0001	1.0024	1.0358	1.0121	1.0236	1.0092	1.0029
天津	1.0333	0.9934	1.0400	0.9934	1.0000	1.0209	1.0095	1.0126	1.0095	1.0000	1.0027	1.0021	1.0006	1.0021	1.0000
河北	1.0170	0.9946	1.0227	0.9970	0.9976	1.0042	0.9990	1.0056	1.0003	0.9988	1.0346	1.0345	1.0001	0.9908	1.0566
山西	0.9857	0.9797	1.0106	1.0046	0.9801	1.0136	1.0115	1.0029	1.0306	0.9848	0.9828	0.8807	1.1575	0.9644	0.9151
内蒙古	1.0209	1.0668	0.9667	1.0273	1.0367	1.0240	1.0097	1.0142	1.0036	1.0060	0.9762	0.9414	1.0585	0.9927	0.9480
辽宁	1.0172	1.0000	1.0172	1.0000	1.0000	1.0106	1.0000	1.0106	1.0000	1.0000	0.9761	1.0000	0.9761	1.0000	1.0000
吉林	1.0666	1.0376	1.0285	1.0214	1.0159	1.0120	0.9711	1.0425	1.0109	0.9643	0.9876	1.0590	0.9398	1.0432	1.0178
黑龙江	1.0260	0.9841	1.0426	0.9903	0.9938	1.0679	1.0287	1.0386	1.0147	1.0137	1.0088	0.9936	1.0158	0.9864	1.0067
上海	1.0152	1.0000	1.0152	1.0000	1.0000	1.0151	1.0000	1.0151	1.0000	1.0000	1.0014	1.0000	1.0014	1.0000	1.0000
江苏	1.0062	1.0000	1.0062	1.0000	1.0000	1.0016	1.0000	1.0016	1.0000	1.0000	1.0008	1.0000	1.0008	1.0000	1.0000
浙江	1.0190	0.9939	1.0257	1.0072	0.9870	1.0213	1.0057	1.0160	1.0085	0.9972	1.0010	1.0392	0.9657	1.0010	1.0381
安徽	1.0016	1.0000	1.0016	1.0000	1.0000	1.0022	1.0000	1.0022	1.0000	1.0000	1.0019	1.0000	1.0019	1.0000	1.0000
福建	0.9922	0.9829	1.0101	0.9823	1.0007	1.0108	0.9964	1.0146	1.0173	0.9807	0.9887	1.0155	0.9753	0.9982	1.0171
江西	0.9685	0.9501	1.0211	0.9986	0.9513	1.0100	0.9936	1.0168	1.0065	0.9873	1.0095	1.0068	1.0045	1.0031	1.0037
山东	1.0140	0.9816	1.0338	0.9809	1.0006	1.0181	1.0052	1.0138	1.0003	1.0051	1.0098	1.1086	0.9263	1.0956	1.0119
河南	1.0139	1.0025	1.0114	1.0047	0.9979	1.0095	0.9992	1.0123	1.0057	0.9931	1.0275	1.0972	0.9503	1.0065	1.0884
湖北	1.0328	1.0000	1.0328	1.0000	1.0000	1.0087	0.9750	1.0366	0.9776	0.9974	1.0057	1.0115	0.9958	1.0203	0.9915
湖南	0.9801	0.9983	0.9829	1.0067	0.9915	0.9808	0.9828	0.9980	1.0046	0.9782	0.9866	0.9841	1.0035	0.9936	0.9941
广东	1.0186	1.0083	1.0107	1.0083	1.0000	1.0236	1.0068	1.0166	1.0068	1.0000	1.0049	1.0164	0.9894	1.0164	1.0000
广西	0.9842	1.0111	0.9751	1.0057	1.0052	1.0091	1.0614	0.9597	1.0611	1.0003	0.9596	0.8741	1.1149	0.9575	0.9445
海南	1.0060	0.9920	1.0141	0.9973	0.9949	0.9953	0.9978	0.9978	1.0024	0.9952	1.0069	0.9955	1.0115	0.9981	0.9975
四川	0.9695	0.9690	1.0006	0.9940	0.9773	1.0025	1.0040	1.0021	1.0378	0.9726	1.0386	1.0170	1.0227	1.0181	0.9997
贵州	1.0360	1.1141	0.9437	1.0145	1.0968	0.9574	0.9515	1.0084	0.9471	1.0042	0.9770	0.8567	1.1628	1.0645	0.8113
云南	1.0038	1.0000	1.0038	1.0000	1.0000	0.9798	1.0000	0.9798	1.0000	1.0000	0.9968	1.0000	0.9968	1.0000	1.0000
西藏	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	0.9374	0.9448	0.9918	0.9448	1.0000	1.0130	1.0109	1.0027	1.0109	1.0000
陕西	1.0022	0.9933	1.0097	1.0167	0.9782	0.9968	1.0070	0.9928	1.0229	0.9846	1.0062	0.9911	1.0161	1.0097	0.9817
甘肃	0.9695	0.9485	1.0268	1.0129	0.9374	1.0117	1.0200	1.0000	1.0258	0.9923	1.0287	1.0046	1.0253	1.0111	0.9945
青海	1.0197	1.0150	1.0045	1.0045	1.0110	0.9561	0.9482	1.0093	0.9133	1.0438	0.9423	0.9427	0.9996	1.2149	0.7907
宁夏	0.9871	0.9631	1.0296	0.9631	1.0000	1.0596	1.0671	0.9949	1.0671	1.0000	0.9282	0.9126	1.0239	1.2159	0.7805
新疆	0.9974	0.9773	1.0255	1.0002	0.9778	0.9939	0.9835	1.0124	1.0088	0.9754	1.0083	0.9869	1.0227	1.0094	0.9778

附表 8 省市自治区考虑环境因素的技术进步 (各年度平均)

	忽略环境因素					CO <sub>2</sub> 和 COD					CO <sub>2</sub> 和 SO <sub>2</sub>				
	M.I.	E.C.	T.C.	S.C	V.E.C.	M.I.	E.C.	T.C.	S.C	V.E.C.	M.I.	E.C.	T.C.	S.C	V.E.C.
北京	1.0451	0.9774	1.0685			0.9050	0.8856	0.8939	0.8765	0.8841	0.9374	0.8750	0.9374	0.8750	0.8750
天津	1.0680	1.0262	1.0408			0.9656	0.9363	0.9045	0.9363	0.8750	0.9306	0.9249	0.8815	0.9249	0.8750
河北	1.0760	1.0078	1.0676			0.8666	0.8640	0.8777	0.8769	0.8622	0.8879	0.8698	0.8935	0.8010	0.9742
山西	1.0695	1.0067	1.0624			0.8036	0.7774	0.9448	0.8714	0.7796	0.8739	0.8691	0.8802	0.8764	0.8678
内蒙古	1.0881	1.0233	1.0633			0.8781	0.8693	0.8841	0.8755	0.8688	0.8984	0.8931	0.9154	0.8788	0.8873
辽宁	1.0393	1.0000	1.0393			0.8658	0.8750	0.8658	0.8750	0.8750	0.8809	0.8750	0.8809	0.8750	0.8750
吉林	1.0744	1.0055	1.0685			0.9195	0.8788	0.9153	0.8801	0.8799	0.9164	0.8778	0.9139	0.8748	0.8777
黑龙江	1.0867	1.0169	1.0687			0.9318	0.8750	0.9318	0.8750	0.8750	0.9408	0.8750	0.9408	0.8750	0.8750
上海	1.0530	1.0000	1.0530			0.8866	0.8750	0.8866	0.8750	0.8750	0.8788	0.8750	0.8788	0.8750	0.8750
江苏	1.0717	1.0084	1.0628			0.8783	0.8750	0.8783	0.8750	0.8750	0.8753	0.8750	0.8753	0.8750	0.8750
浙江	1.0495	0.9869	1.0635			0.8751	0.8596	0.8914	0.8747	0.8600	0.8852	0.8614	0.8997	0.8627	0.8746
安徽	1.0360	1.0000	1.0360			0.8780	0.8750	0.8780	0.8750	0.8750	0.8827	0.8750	0.8827	0.8750	0.8750
福建	1.0635	0.9931	1.0709			0.8709	0.8689	0.8770	0.8699	0.8740	0.8715	0.8696	0.8769	0.8719	0.8727
江西	0.9899	0.9765	1.0139			0.8599	0.8524	0.8829	0.8721	0.8552	0.8699	0.8503	0.8964	0.8740	0.8512
山东	1.0593	0.9994	1.0599			0.8656	0.8221	0.9258	0.8247	0.8782	0.8369	0.8352	0.8816	0.8352	0.8750
河南	1.0755	1.0033	1.0721			0.8893	0.8810	0.8832	0.8763	0.8796	0.8748	0.8707	0.8793	0.8747	0.8710
湖北	0.9823	0.9732	1.0101			0.8818	0.8750	0.8818	0.8750	0.8750	0.8760	0.8750	0.8760	0.8750	0.8750
湖南	1.0552	0.9981	1.0573			0.8446	0.8511	0.8691	0.8761	0.8501	0.8333	0.8376	0.8729	0.8752	0.8375
广东	1.0609	0.9965	1.0647			0.8827	0.8750	0.8826	0.8750	0.8750	0.8813	0.8769	0.8795	0.8769	0.8750
广西	1.0018	0.9928	1.0094			0.8488	0.8578	0.8735	0.8846	0.8486	0.8254	0.8198	0.8883	0.8749	0.8199
海南	1.0586	0.9910	1.0683			0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.8776	0.8750	0.8776	0.8750	0.8750
四川	1.0794	1.0128	1.0658			0.8770	0.8747	0.8776	0.9200	0.8340	0.8679	0.8828	0.8634	0.8783	0.8794
贵州	0.9953	0.9825	1.0136			0.8246	0.8725	0.8470	0.8821	0.8724	0.8009	0.7816	0.9189	0.8749	0.7817
云南	1.0129	1.0000	1.0129			0.8617	0.8750	0.8617	0.8750	0.8750	0.8737	0.8750	0.8737	0.8750	0.8750
西藏	1.0438	0.9801	1.0650												
陕西	1.0700	1.0039	1.0660			0.8488	0.8504	0.8738	0.8775	0.8481	0.8388	0.8475	0.8676	0.8751	0.8475
甘肃	1.0337	0.9748	1.0606			0.8794	0.8751	0.8801	0.8761	0.8743	0.8695	0.8741	0.8705	0.8747	0.8748
青海	1.0704	0.9993	1.0712			0.9032	0.8763	0.9004	0.9012	0.8519	0.8849	0.8457	0.9178	0.8712	0.8503
宁夏	1.0675	0.9960	1.0718			0.8488	0.8498	0.8741	0.8396	0.8865	0.8154	0.8095	0.8843	0.8095	0.8750
新疆	1.0418	0.9851	1.0575			0.8747	0.8672	0.8834	0.8811	0.8616	0.9011	0.8698	0.9065	0.8752	0.8698

续表 8

	CO <sub>2</sub> 和固体废弃物					CO <sub>2</sub> 和废水					COD 和 SO <sub>2</sub>				
	M.I.	E.C.	T.C.	S.C	V.E.C.	M.I.	E.C.	T.C.	S.C	V.E.C.	M.I.	E.C.	T.C.	S.C	V.E.C.
北京	0.9057	0.8921	0.9007	0.8765	0.8903	0.9188	0.8786	0.9150	0.9038	0.8527	0.9483	0.8979	0.9232	0.8859	0.8870
天津	0.8824	0.8490	0.8367	0.8490	0.8000	0.8731	0.8750	0.8731	0.8750	0.8750	0.9292	0.8934	0.9112	0.8934	0.8750
河北	0.8665	0.8643	0.8773	0.8768	0.8626	0.8983	0.8729	0.9010	0.8729	0.8750	0.9432	0.9150	0.9020	0.8742	0.9158
山西	0.7872	0.7782	0.9267	0.8699	0.7814	0.9090	0.8905	0.9034	0.8880	0.8910	0.9208	0.8974	0.8996	0.8783	0.8940
内蒙古	0.8793	0.8715	0.8830	0.8708	0.8758	0.8661	0.8750	0.8661	0.8750	0.8750	0.9491	0.9061	0.9252	0.8689	0.9172
辽宁	0.8593	0.8750	0.8593	0.8750	0.8750	0.8869	0.8750	0.8869	0.8750	0.8750	0.8847	0.8750	0.8847	0.8750	0.8750
吉林	0.9346	0.9376	0.8776	0.8893	0.9265	0.9159	0.8883	0.9023	0.8728	0.8906	0.9487	0.8763	0.9488	0.8751	0.8758
黑龙江	0.8873	0.8333	0.8873	0.8333	0.8333	0.9264	0.8872	0.9138	0.8752	0.8870	0.9465	0.8691	0.9540	0.8778	0.8660
上海	0.8438	0.8333	0.8438	0.8333	0.8333	0.8813	0.8750	0.8813	0.8750	0.8750	0.8821	0.8750	0.8821	0.8750	0.8750
江苏	0.8357	0.8333	0.8357	0.8333	0.8333	0.8782	0.8750	0.8782	0.8750	0.8750	0.8810	0.8750	0.8810	0.8750	0.8750
浙江	0.8800	0.8857	0.8710	0.8729	0.8880	0.8843	0.8647	0.8952	0.8793	0.8606	0.9235	0.8745	0.9242	0.8802	0.8694
安徽	0.8362	0.8333	0.8362	0.8333	0.8333	0.8835	0.8750	0.8835	0.8750	0.8750	0.8961	0.8750	0.8961	0.8750	0.8750
福建	0.8740	0.8750	0.8740	0.8750	0.8750	0.8738	0.8738	0.8750	0.8738	0.8750	0.8911	0.8689	0.8975	0.8749	0.8691
江西	0.8626	0.8653	0.8724	0.8722	0.8681	0.8633	0.8563	0.8824	0.8739	0.8573	0.9020	0.8610	0.9231	0.8761	0.8594
山东	0.8734	0.8925	0.8685	0.8945	0.8782	0.8957	0.8725	0.8991	0.8725	0.8750	0.9530	0.9176	0.9081	0.9176	0.8750
河南	0.8927	0.8894	0.8783	0.8780	0.8863	0.8895	0.8814	0.8829	0.8807	0.8756	0.9439	0.9045	0.9125	0.8940	0.8851
湖北	0.8755	0.8750	0.8755	0.8750	0.8750	0.8830	0.8750	0.8830	0.8750	0.8750	0.8958	0.8750	0.8958	0.8750	0.8750
湖南	0.8446	0.8511	0.8691	0.8761	0.8501	0.8613	0.8566	0.8801	0.8743	0.8574	0.9004	0.8719	0.9040	0.8339	0.9210
广东	0.8826	0.8750	0.8826	0.8750	0.8750	0.8765	0.8750	0.8765	0.8750	0.8750	0.8946	0.8723	0.8975	0.8723	0.8750
广西	0.8488	0.8578	0.8735	0.8846	0.8486	0.8283	0.8279	0.8804	0.8709	0.8312	0.8930	0.8722	0.8962	0.7734	1.0432
海南						0.8629	0.8575	0.8810	0.8575	0.8750	0.9178	0.8750	0.9178	0.8750	0.8750
四川	0.8770	0.8747	0.8776	0.9200	0.8340	0.8937	0.8750	0.8937	0.8787	0.8719	0.9077	0.8897	0.8924	0.8937	0.8718
贵州	0.8246	0.8725	0.8470	0.8821	0.8724	0.9308	0.8920	0.9196	0.8724	0.8942	0.8713	0.8159	0.9404	0.8739	0.8167
云南	0.8615	0.8750	0.8615	0.8750	0.8750	0.8776	0.8750	0.8776	0.8750	0.8750	0.9102	0.8750	0.9102	0.8750	0.8750
西藏											0.8876	0.8750	0.8876	0.8750	0.8750
陕西	0.8488	0.8504	0.8738	0.8775	0.8481	0.8995	0.8675	0.9079	0.8759	0.8666	0.9063	0.8920	0.8891	0.8869	0.8800
甘肃	0.8768	0.8751	0.8769	0.8761	0.8744	0.9355	0.9046	0.9068	0.8691	0.9116	0.8731	0.8522	0.8999	0.8996	0.8302
青海	0.9022	0.8762	0.8996	0.8901	0.8614	0.8809	0.8506	0.9072	0.8679	0.8576	0.8779	0.8378	0.9177	0.9011	0.8419
宁夏	0.8487	0.8504	0.8733	0.8402	0.8865	0.8492	0.8185	0.9103	0.8185	0.8750	0.9130	0.8943	0.9070	1.0235	0.7750
新疆	0.8745	0.8673	0.8832	0.8813	0.8617	0.8899	0.8589	0.9078	0.8744	0.8597	0.9000	0.8699	0.9054	0.8801	0.8651

续表 8

	COD 和固体废弃物					COD 和废水					SO <sub>2</sub> 和固体废弃物				
	M.I.	E.C.	T.C.	S.C	V.E.C.	M.I.	E.C.	T.C.	S.C	V.E.C.	M.I.	E.C.	T.C.	S.C	V.E.C.
北京	0.9424	0.8916	0.9262	0.8803	0.8862	0.9359	0.8846	0.9258	0.8799	0.8797	0.9464	0.8852	0.9358	0.8810	0.8791
天津	0.8296	0.8301	0.8078	0.8042	0.8239	0.8765	0.8750	0.8765	0.8750	0.8750	0.8855	0.8000	0.8855	0.8000	0.8000
河北	0.9339	0.9139	0.8943	0.8733	0.9158	0.8966	0.8729	0.8996	0.8729	0.8750	0.9493	0.8845	0.9389	0.8812	0.8783
山西	0.8930	0.8750	0.8930	0.8750	0.8750	0.9200	0.8905	0.9048	0.8748	0.8907	0.9477	0.9256	0.9256	0.7829	1.0492
内蒙古	0.9173	0.8949	0.8963	0.8800	0.8899	0.9208	0.8939	0.9012	0.8751	0.8939	0.9244	0.8781	0.9209	0.8753	0.8779
辽宁	0.8986	0.8750	0.8986	0.8750	0.8750	0.8909	0.8750	0.8909	0.8750	0.8750	0.8880	0.8750	0.8880	0.8750	0.8750
吉林	0.9249	0.8838	0.9238	0.8782	0.8782	0.9124	0.8799	0.9076	0.8799	0.8750	0.9678	0.9326	0.9103	0.8799	0.9312
黑龙江	0.8759	0.8333	0.8759	0.8333	0.8333	0.9151	0.8904	0.9000	0.8827	0.8826	0.8769	0.8341	0.8761	0.8337	0.8334
上海	0.8429	0.8333	0.8429	0.8333	0.8333	0.8833	0.8750	0.8833	0.8750	0.8750	0.8424	0.8333	0.8424	0.8333	0.8333
江苏	0.8376	0.8333	0.8376	0.8333	0.8333	0.8842	0.8750	0.8842	0.8750	0.8750	0.8626	0.8333	0.8626	0.8333	0.8333
浙江	0.9301	0.9190	0.8870	0.8753	0.9186	0.8955	0.8661	0.9053	0.8828	0.8586	0.9232	0.8769	0.9247	0.8753	0.8760
安徽	0.8359	0.8333	0.8359	0.8333	0.8333	0.8987	0.8750	0.8987	0.8750	0.8750	0.8575	0.8333	0.8575	0.8333	0.8333
福建	0.8994	0.8797	0.8954	0.8774	0.8774	0.8890	0.8751	0.8888	0.8750	0.8750	0.8982	0.8750	0.8982	0.8750	0.8750
江西	0.9093	0.8677	0.9183	0.8771	0.8655	0.9053	0.8753	0.9052	0.8752	0.8750	0.9178	0.8685	0.9250	0.8751	0.8685
山东	0.9258	0.8950	0.9168	0.8902	0.8778	0.8996	0.8730	0.9027	0.8730	0.8750	0.9216	0.8906	0.9362	0.8906	0.8750
河南	0.9669	0.9770	0.8689	0.8748	0.9775	0.9100	0.8789	0.9064	0.8750	0.8793	0.9743	0.9547	0.9102	0.8796	0.9457
湖北	0.9036	0.8677	0.9130	0.8762	0.8669	0.8987	0.8661	0.9105	0.8661	0.8750	0.8991	0.8752	0.8991	0.8750	0.8751
湖南	0.8823	0.8724	0.8853	0.8755	0.8719	0.9025	0.8813	0.8964	0.8753	0.8811	0.9272	0.9010	0.9007	0.8869	0.8887
广东	0.9274	0.8988	0.9046	0.8988	0.8750	0.9178	0.8763	0.9179	0.8763	0.8750	0.9223	0.8751	0.9224	0.8751	0.8750
广西	0.8805	0.8722	0.8835	0.8756	0.8716	0.8785	0.8882	0.8925	0.9117	0.9028	0.9057	0.8904	0.8902	0.8745	0.8909
海南						0.8949	0.8616	0.9095	0.8851	0.8519					
四川	0.8980	0.8864	0.8862	0.9074	0.8577	0.8894	0.8673	0.8998	0.9012	0.8701	0.9289	0.8980	0.9081	0.9063	0.8695
贵州	0.8261	0.8113	0.8999	0.8785	0.8111	0.9196	0.8974	0.8975	0.8747	0.8975	0.8889	0.8849	0.8792	0.8750	0.8850
云南	0.8884	0.8750	0.8884	0.8750	0.8750	0.9037	0.8750	0.9037	0.8750	0.8750	0.8690	0.8750	0.8690	0.8750	0.8750
西藏	0.8243	0.7948	0.8361	0.7948	0.8000	0.8681	0.8535	0.8903	0.8535	0.8750	0.7253	0.8000	0.7253	0.8000	0.8000
陕西	0.9018	0.8871	0.8899	0.8882	0.8738	0.9049	0.8780	0.9055	0.8801	0.8780	0.9130	0.8806	0.9081	0.8795	0.8759
甘肃	0.8889	0.8612	0.9088	0.9026	0.8360	0.9386	0.9126	0.9052	0.8886	0.8989	0.9064	0.8673	0.9158	0.8774	0.8648
青海	0.8911	0.8552	0.9096	0.9725	0.7894	0.8821	0.8593	0.8988	0.8828	0.8638	0.8653	0.8191	0.9294	0.9417	0.7851
宁夏	0.8805	0.8718	0.8834	1.0274	0.7754	0.8055	0.7867	0.9037	0.8826	0.7937	0.8936	0.8713	0.8977	1.0376	0.7751
新疆	0.8943	0.8687	0.9014	0.8769	0.8677	0.8953	0.8663	0.9079	0.8748	0.8662	0.9207	0.8677	0.9335	0.8734	0.8709

续表 8

	SO <sub>2</sub> 和废水					废水和固体废弃物				
	M.I.	E.C.	T.C.	S.C	V.E.C.	M.I.	E.C.	T.C.	S.C	V.E.C.
北京	0.9378	0.8751	0.9381	0.8751	0.8752	0.9259	0.8861	0.9177	0.8863	0.8738
天津	0.9105	0.8750	0.9105	0.8750	0.8750	0.8042	0.8000	0.8042	0.8000	0.8000
河北	0.9038	0.8696	0.9100	0.8696	0.8750	0.9059	0.8854	0.8955	0.8853	0.8753
山西	0.9377	0.8786	0.9352	0.8901	0.8764	0.9167	0.8750	0.9167	0.8750	0.8750
内蒙古	0.8852	0.8750	0.8852	0.8750	0.8750	0.9221	0.9002	0.8968	0.8769	0.8983
辽宁	0.9022	0.8750	0.9022	0.8750	0.8750	0.8925	0.8750	0.8925	0.8750	0.8750
吉林	0.9254	0.8895	0.9100	0.8751	0.8895	0.9309	0.9184	0.8873	0.8763	0.9172
黑龙江	0.9346	0.9051	0.9032	0.8760	0.9040	0.8766	0.8342	0.8765	0.8337	0.8339
上海	0.8909	0.8750	0.8909	0.8750	0.8750	0.8422	0.8333	0.8422	0.8333	0.8333
江苏	0.8982	0.8750	0.8982	0.8750	0.8750	0.8453	0.8333	0.8453	0.8333	0.8333
浙江	0.8940	0.8658	0.9041	0.8825	0.8585	0.8903	0.8728	0.8934	0.8706	0.8772
安徽	0.8937	0.8750	0.8937	0.8750	0.8750	0.8490	0.8333	0.8490	0.8333	0.8333
福建	0.8836	0.8750	0.8836	0.8750	0.8750	0.8850	0.8772	0.8859	0.8763	0.8778
江西	0.9112	0.8728	0.9136	0.8751	0.8728	0.9097	0.8746	0.9105	0.8753	0.8743
山东	0.8959	0.8693	0.9026	0.8693	0.8750	0.8911	0.8754	0.8915	0.8754	0.8750
河南	0.9101	0.8812	0.9051	0.8756	0.8810	0.9244	0.9109	0.8880	0.8762	0.9101
湖北	0.8920	0.8750	0.8920	0.8750	0.8750	0.8919	0.8549	0.9130	0.8749	0.8550
湖南	0.9038	0.8789	0.9000	0.8753	0.8788	0.9033	0.8835	0.8946	0.8778	0.8807
广东	0.9126	0.8750	0.9126	0.8750	0.8750	0.9179	0.8767	0.9186	0.8767	0.8750
广西	0.8765	0.8598	0.8924	0.8751	0.8598	0.8789	0.8650	0.8896	0.8752	0.8648
海南	0.9003	0.8750	0.9003	0.8750	0.8750					
四川	0.8917	0.8649	0.9041	0.8843	0.8567	0.8871	0.8693	0.8939	0.9160	0.8350
贵州	0.9136	0.8445	0.9474	0.8741	0.8453	0.8801	0.8395	0.9240	0.8756	0.8396
云南	0.9030	0.8750	0.9030	0.8750	0.8750	0.9238	0.8750	0.9238	0.8750	0.8750
西藏	0.8750	0.8750	0.8750	0.8750	0.8750	0.8296	0.7946	0.8344	0.7946	0.8000
陕西	0.8968	0.8702	0.9040	0.8758	0.8702	0.9055	0.8843	0.8976	0.8809	0.8786
甘肃	0.9373	0.9074	0.9127	0.8774	0.9059	0.9332	0.9143	0.8966	0.8768	0.9126
青海	0.8842	0.8572	0.9037	0.8851	0.8634	0.8904	0.8574	0.9087	0.9310	0.8150
宁夏	0.8311	0.7823	0.9335	0.8796	0.7915	0.8471	0.8282	0.8961	0.8890	0.8348
新疆	0.8928	0.8624	0.9071	0.8748	0.8627	0.8911	0.8705	0.8973	0.8744	0.8711