

# 交通行业生产率变动的 Bootstrap-Malmquist 指数分析 (1980—2005)

王亚华 吴凡 王争\*

**摘要** 交通行业是一个资本高投入、能源高消耗和污染高排放的行业, 尽管中国改革以来的交通运输业取得了巨大成就, 还鲜有从生产率视角对该行业的研究。本文应用 Malmquist-DEA 方法测算了中国交通全行业及四个主要部门 1980—2005 年间的生产率变动, 并引入 Bootstrap-DEA 方法估计了技术效率变化及其置信区间, 通过 Bootstrap 纠偏提高了效率测度的准确性。测评结果表明, 20 世纪 90 年代初期以来交通行业 TFP 增速有所下降, 技术效率显著下降; 2000 年之后, 交通各部门的技术进步率大幅度上升, 技术效率继续下降。中国交通行业的发展模式面临转型, 这也是中国经济增长方式转变的重要组成部分。

**关键词** 交通行业, 全要素生产率, 技术效率, Malmquist 指数, Bootstrap 方法

## 一、引言

1978 年以来, 伴随着中国经济的高增长, 中国交通进入了历史上发展最快的时期。截至 2005 年底, 全国各种运输基础设施大幅度增长: 民航运输线路里程累计增长 12.4 倍, 主要港口泊位数增长近 12 倍, 公路里程数翻一番, 铁路里程数增长近 50%。中国主要交通指标增长速度均超过发达国家, 在全世界的位次迅速提升、比重迅速加大。公路总里程由 1978 年的世界第七上升至 2005 年的世界第三, 其中高速公路从无到有, 目前仅次于美国, 名列世界第二, 约占世界高速公路总里程的 20%。港口集装箱吞吐量从 1978 年时的不足全世界的 1% 上升至目前的 25%, 名列第一。内河航道总里程、铁路主要运输指标等也已位居世界第一。中国交通基础设施和交通运输量的快速增长, 已经使中国跃居世界交通大国之列, 并有力地支撑了中国经济高增长。

近年来, 关于中国经济增长模式的讨论日益增多。经济学界的很多学者

\* 王亚华、吴凡, 清华大学国情研究中心; 王争, 浙江大学经济学院。通信作者及地址: 王亚华, 北京清华大学公共管理学院, 100084; E-mail: wangyahu@tsinghua.edu.cn。本文研究得到了清华大学国情研究中心与交通部交通科学研究院联合开展的“交通与发展”课题资助, 郑京海教授和胡鞍钢教授在研究过程中提供了许多支持和帮助, 董静在前期的数据整理中提供了协助, 匿名审稿人对本文提出了宝贵意见, 在此一并致谢。

指出中国的经济增长方式是“粗放型”的,即经济增长主要依赖于要素投入增长,而源于全要素生产率(Total Factor Productivity, TFP)增长的成分较低。特别是近年来经济增长质量出现了下降的势头。例如,郑京海和胡鞍钢(2005)指出,中国经济在1978—1995年期间经历了一个TFP高速增长期(为4.6%),而在1996—2001年期间出现低增长期(为0.6%),表现为技术进步速度减慢、技术效率有所下降;郭庆旺和贾俊雪(2005)进一步指出,中国TFP增长率从1993年以来呈现逐年下降趋势,直到2000年之后总体才呈现出逐年攀升势头。

交通行业是国民经济的重要部门。在20世纪80年代,交通曾经一度成为我国国民经济发展的瓶颈;从90年代初期开始,国家开始大力发展交通基础设施;特别是1998年开始国家实施积极的财政政策,加大了各种交通基础设施的投资力度。经过十几年交通基础设施的大发展,中国的交通基础设施与经济增长从不协调逐步转向协调发展。未来伴随着中国经济的持续增长,中国交通还有一段时期的快速发展空间。在交通行业对经济增长产生重要支撑作用的同时,也应该看到,交通行业的基本特征是资本投入密集、能源消耗密集和污染排放密集。因此,交通行业发展质量对于中国转变经济增长模式具有重要含义。这促使我们提出以下问题:改革以来中国交通行业的快速发展是否属于“粗放型”?交通全行业及其各部门的增长质量如何?其质量近年来是提高了还是恶化了?这对于中国经济增长及该行业发展有何含义?

本文对中国改革以来的交通行业生产率变动进行评价。我们关注的是TFP增长,首先利用索洛残差法进行了试算,这种方法最早由Solow(1957)提出,过去几十年中获得了广泛的应用,是一种比较传统的方法。然后重点利用非参数的Malmquist指数方法进行测算,这种基于DEA的Malmquist指数技术,最早见于Färe *et al.* (1994),在国外文献中已经有较多的应用,2002年以来在中国国内的经济研究中应用日渐增多。对于技术效率及其变化,在利用Malmquist-DEA方法进行估算的基础上,本文还引入了Bootstrap-DEA技术,通过Bootstrap纠偏来提高效率测度的准确性。这种由Simar and Wilson(1998, 2000)发展起来的Bootstrap方法,已经在实际应用中取得了不小进展,但是在国内研究文献中还鲜有人应用。

关于交通行业的生产率研究,在国内外还较少。Gordon(1993)是较早探讨交通生产率的研究之一,Oum *et al.* (1992)探讨了交通生产率的概念,并针对不同的问题提出了不同的测算方法。既有文献中利用非参数的Malmquist指数法应用于交通行业的研究,国内曾有一篇文献,即余思勤等(2004)对中国交通各部门1990—2000年间每一年的生产率进行的测算。但是这项研究并没有测算交通全行业的生产率。由于受数据时段的限制,这篇文献的分部门测算没有对趋势性变动做出归纳。本文研究的范围拓展到改革以来整个时期,并分不同的阶段,完整地揭示交通全行业及各部门的生产率

变动特征。由于引入了较新的针对非参数方法的 Bootstrap 纠偏技术，也提高了行业生产率测度的准确性。

本文结构作如下安排。第二部分介绍研究方法，重点是 Malmquist-DEA 和 Bootstrap-DEA 方法的介绍及应用技术描述。第三部分对本文所用的指标和数据的来源及处理情况做出说明。第四部分对本文使用的投入产出指标，进行经验性描述。第五部分给出利用索洛残差法的计算结果。第六部分是 Malmquist 生产率指数的测评结果及分析。第七部分介绍利用 Bootstrap 方法对技术效率的测评结果。最后部分归纳全文结论及含义。

## 二、研究方法

全要素生产率是生产率研究中的重要对象。常用的全要素生产率概念是指在剔除要素投入（如资本和劳动）之后，剩下的由技术进步和规模效益等因素导致的产出增加。估算全要素生产率的方法大致可以分为两类：一是增长核算法，二是经济计量法。增长核算法以新古典增长理论为基础，方法简单、结论直观，但过程比较粗糙；经济计量法则构建于计量经济模型的基础上，虽然过程相对复杂，但结论更为可信。

实证研究中常用的增长核算法是索洛残差法，又称生产函数法。索洛残差法的基本思路是估计出总量生产函数后，采用产出增长率扣除各投入要素增长率后的残差来度量 TFP 增长。索洛残差法具有简明直观和便于计算等优点，但也存在一些明显缺陷。例如，这种方法建立在新古典假设即完全竞争、规模收益不变和希克斯中性技术基础上，这些约束条件实际情况往往难以满足。确定资本弹性系数也是一个难题。此外，这种方法无法剔除测算误差的影响。

在经济计量法之下，有一类方法叫做前沿面生产函数（Frontier Production Function）方法，包括随机前沿面分析（Stochastic Frontier Analysis, SFA）和数据包络分析（Data Envelopment Analysis, DEA）等。本研究利用 Malmquist 生产率指数（Malmquist Productivity Index, MPI）定义 TFP，并采用非参数的 DEA 方法进行计算。基于 DEA 的 Malmquist 指数方法的优点在于：（1）不需要提供要素价格的信息；（2）适用于多个对象之间的面板数据分析；（3）可以将测算的 TFP 分解为技术进步（Technical Progress）和技术效率变化（Technical Efficiency Change）之积，而技术效率又可以进一步分解为纯技术效率和规模效率（Scale Efficiency）之积。

Malmquist 生产率指数是在距离函数的基础上定义出来的，是目前广泛采用的 TFP 测度方法。以  $t$  时期技术  $T(t)$  和  $t+1$  时期技术  $T(t+1)$  为参照，基于产出的 Malmquist 指数可以分别表示为：

$$M_0^t(x_{t+1}, y_{t+1}, x_t, y_t) = d_0^t(x_{t+1}, y_{t+1}) / d_0^t(x_t, y_t) \quad (1)$$

和

$$M_0^{t+1}(x_{t+1}, y_{t+1}, x_t, y_t) = d_0^{t+1}(x_{t+1}, y_{t+1}) / d_0^{t+1}(x_t, y_t), \quad (2)$$

其中,  $(x_t, y_t)$  和  $(x_{t+1}, y_{t+1})$  分别表示  $t$  时期和  $t+1$  时期的投入和产出向量;  $d_0^t$  和  $d_0^{t+1}$  分别表示以  $t$  时期技术  $T(t)$  为参照情况下时期  $t$  和时期  $t+1$  的距离函数。

为避免时期选择的随意性可能导致的差异, Caves *et al.* (1982) 提出用上述两式的几何平均值作为衡量从  $t$  时期到  $t+1$  时期生产率变化的 Malmquist 指数, 即:

$$\text{MPI} = M_0(x_{t+1}, y_{t+1}, x_t, y_t) = \left[ \frac{d_0^t(x_{t+1}, y_{t+1})}{d_0^t(x_t, y_t)} \times \frac{d_0^{t+1}(x_{t+1}, y_{t+1})}{d_0^{t+1}(x_t, y_t)} \right]^{1/2}. \quad (3)$$

该指数大于 1 时, 表明从  $t$  时期到  $t+1$  时期 TFP 是增长的; 反之亦然。

在规模报酬不变的假设前提下, 上式可以分解为技术进步和技术效率变化两项, 即:

$$\text{MPI} = \left[ \frac{d_0^t(x_{t+1}, y_{t+1})}{d_0^{t+1}(x_{t+1}, y_{t+1})} \times \frac{d_0^t(x_t, y_t)}{d_0^{t+1}(x_t, y_t)} \right]^{1/2} \times \frac{d_0^{t+1}(x_{t+1}, y_{t+1})}{d_0^t(x_t, y_t)}. \quad (4)$$

借助数据包络分析中规模收益不变的线性规划方法计算出各距离函数  $d(\cdot)$  的值, 可以得到 Malmquist 指数, 即 TFP。

DEA 方法的核心概念是生产决策单元。使用基于 DEA 的 Malmquist 指数法的一个重要前提是: 决策单元数不能太少, 至少是模型变量数的两倍。而本研究所采用的数据只有 4 个决策单元, 即铁路、公路、水路和民航等四个部门。如果直接采用基于 DEA 的 Malmquist 指数方法, 可能会因为数据过于稀疏而无法构造出近似于“光滑表面”的前沿面, 从而导致产生不稳定的测算结果。

为解决这一问题, 实际测算中采用一种改进的方法——三年窗口 (Three-Year-Window, TYW) 法。DEA 窗口法最早由 Charnes *et al.* (1985) 提出, 其后历经改进。Nghiem and Coelli (2002) 在一项关于越南农业的研究中应用了这种方法计算了 Malmquist 指数。

TYW 方法的基本思想是通过重复利用现有数据样本将决策单元个数扩展到足够多个。其具体方法是: 将所有  $T$  个时期的横截面数据 (cross-sections) 分割成一系列较短时期的、相互重叠的子面板数据 (sub-panels), 每组子面板数据包含  $S$  个时期 ( $S$  可以任意选择, 当  $S=3$  时就叫做“三年窗口法”)。这样一来, 第一组面板数据包含的时期为  $\{1, 2, \dots, S\}$ , 第二组面板数据包含的时期为  $\{2, 3, \dots, S+1\}$ , 依此类推, 直到最后一组面板数据包含的时期为

$\{T-S+1, T-S+2, \dots, T\}$ ，总共有  $T-S+1$  组。运用此方法的目的主要是为了利用子面板数据来构造一系列前沿面，然后用这些前沿面来计算距离函数，再进而进行生产效率的测算。

当决策单元个数相对较少、投入和产出变量个数相对较多的时候，TYW 方法可以缓解数据自由度大带来的问题。本研究的基本决策单元为铁路、公路、水路和民航四个部门，计算中运用三年窗口法将决策单元扩展为 12 个。但值得注意的是，这种方法会使计算时段减少  $S-1$  个周期。

利用 Malmquist-DEA 方法可以测度技术效率变化，但是为了对技术效率及其变化进行更为精确的测度，可以引入针对非参数距离函数估计的 Bootstrap 纠偏技术。这是因为，虽然 DEA 方法因其较少的限制性约束和非参数形式而受到实证研究的青睐，但是通常使用的 DEA 方法具有几个明显的缺陷 (Simar and Wilson, 2000)。首先，DEA 本质上是一种确定性前沿估计方法，它将所有的投入-产出组合视作是确定性生产关系的产物，是预期可以实现的。换言之，DEA 方法将投入-产出空间的前沿看作是完全效率状态，即使前沿上的投入-产出组合事实上并非具有完全效率，DEA 也将其设定为完全效率观测点。从这个角度来看，常用的 DEA 估计量实际上测度的并非是绝对意义上的“效率”概念，而是一种“相对效率”，即相对于“最佳实践” (best practice) 面的效率。因此通常得到 DEA 估计量只能看成是绝对效率估计的上限 (非效率水平的下限)，真实的效率水平要小于等于 DEA 估计值。其次，尽管从纯粹的统计学上来讲，DEA 估计量渐近分布的一般情形难以确知 (Kniep *et al.*, 2003)，但是由 Simar and Wilson (1998, 2000) 发展起来的 Bootstrap 方法却在实际应用中取得了不小进展。其原理是用重复自抽样的方法来推断 DEA 估计量的经验分布。Kniep *et al.* (2003) 指出，尽管标准的 DEA 估计量对于绝对效率水平的估计来说是有偏的、不一致的估计量，但根据 Simar 和 Wilson 的 Bootstrap 方法得到的 Bootstrap-DEA 估计量却在比较宽松的条件下是一致的，因而比标准的 DEA 方法更具吸引力和应用价值。

Bootstrap 方法的基本思想是，通过重复抽样来模拟数据生成过程 (Data Generating Process, DGP)，并且在模拟样本中应用原始估计量，从而可以近似地得到原始估计量的样本分布 (Simar and Wilson, 1998)。假设真实的 (不可知的) DGP 为  $\varphi$ ，通过重复抽样得到的 DGP 的一个合理估计为  $\hat{\varphi}$ ，那么 Bootstrap 过程将产生原始估计量的样本分布。具体来说，假设某一投入-产出组合  $(x_k, y_k)$  所对应的效率测度为  $\theta_k$ ，那么我们有：

$$(\hat{\theta}_k^* - \hat{\theta}_k) | \hat{\varphi} \sim (\hat{\theta}_k - \theta_k) | \varphi, \quad (5)$$

其中  $\theta_k$  是真实 Farrell 效率测度， $\hat{\theta}_k$  是 DGP  $\varphi$  下的效率测度， $\hat{\theta}_k^*$  是 DGP  $\hat{\varphi}$  下的效率测度。据此可以估计  $\hat{\theta}_k$  的偏差：

$$\text{bias}_{\hat{\varphi}, k} = E_{\hat{\varphi}}(\hat{\theta}_k^*) - \hat{\theta}_k. \quad (6)$$

一个可行的方法是用蒙特卡罗方法来估计上式:

$$\widehat{\text{bias}}_k = \frac{1}{B} \sum_{b=1}^B \hat{\theta}_{k,b}^* - \hat{\theta}_k = \bar{\theta}_k^* - \hat{\theta}_k. \quad (7)$$

这里  $B$  是重复抽样得到的样本个数。于是我们得到经 Bootstrap 纠偏的  $\hat{\theta}_k$  估计量:

$$\bar{\theta}_k = \hat{\theta}_k - \widehat{\text{bias}}_k = 2\hat{\theta}_k - \bar{\theta}_k^*. \quad (8)$$

相应地,  $\hat{\theta}_k$  的标准误是:

$$\widehat{\text{se}} = \left\{ \frac{1}{B-1} \sum_{b=1}^B (\hat{\theta}_{k,b}^* - \bar{\theta}_k^*)^2 \right\}^{1/2}. \quad (9)$$

下文将利用 Simar and Wilson (1998, 2000) 提出的上述 Bootstrap-DEA 方法来估计交通各部门及全行业的技术效率, 并推断其置信区间。

### 三、指标和数据

应用 DEA 技术, 首先需要界定研究对象的投入指标和产出指标。以下对本研究产出和投入指标的选择及数据来源和处理情况进行说明。

就产出而言, 交通行业属于服务业范畴, 其价值在于提供“运输服务”。交通发挥其作用的方式在于满足旅客的需求或增加货物的价值, 其生产的产品就是服务本身。从这个意义上来看, 衡量交通产出时, 应当以其为服务对象带来的效用总量来计算。比较合理的选择是选择“交通行业附加值”作为产出指标, 但是该指标尚无法获得。目前交通行业常用的产出指标是运输周转量, 即运量与运距的乘积, 用于反映各种运输方式提供服务的数量。目前交通统计中反映运输周转量的指标有“旅客周转量”和“货运周转量”。但是, 旅客周转量和货物周转量不一定是可比的, 例如民航 1 人公里的旅客周转量与 1 吨公里的货物周转量显然是不等价的。为此, 本研究对于每一种运输方式, 将旅客周转量和货物周转量折算为一个标准产出指标——“综合周转量” $Y$ , 作为交通产出指标。综合周转量的计算采用交通运输统计中的周转量换算方法, 具体权重选择及加总方法如表 1 所示。<sup>1</sup>

<sup>1</sup> “综合周转量”是综合反映各种运输工具在一定时期内实际完成的旅客、货物周转量的综合指标。具体计算方法是将旅客周转量和货物周转量区分不同运输工具按相应的换算比例, 换算成同一计量单位进行加总求得。通常是将旅客周转量换算成货物周转量, 计量单位是吨公里。

表 1 综合周转量折算方法

部门	旅客周转量 (亿人公里)	货物周转量 (亿吨公里)	综合周转量 (亿吨公里)
铁路	$P$	$F$	$Y = P + F$
公路	$P$	$F$	$Y = \frac{P}{10} + F$
水路	$P_S$ (座位) $P_B$ (卧铺)	$F$	$Y = \frac{P_S}{3} + P_B + F$
民航	$P$	$F$	$Y = \frac{P}{13.9} + F$

注：折算采用运输统计指标中“换算周转量”常用换算方法，具体参见 <http://www.rcinfo.gov.cn/ci-dian/ysyd.htm>。

就投入而言，可选用的指标较多，例如资本存量、运输线路长度、运输工具数、从业人员数和能源消耗量等指标均可作为投入指标。考虑到指标在交通各部门间的可比性及可累加性，本研究选取了其中的三项指标作为投入指标：资本存量  $K$ （用于表征物质资本投入）、从业人员数  $L$ （用于表征劳动力投入）、能源消耗量  $E$ （用于表征能源资源投入）。

在投入指标中，资本存量是一个度量相对困难的指标。所谓“资本存量”是指“物质资本存量”，根据 OECD 的定义，是某一时点安装在生产单元中的固定资产的价值。度量资本存量存在两个难点：（1）确定度量对象的范围。（2）确定度量对象的“年龄-效率”和“年龄-价格”函数。在本研究中，铁路和民航部门的资本存量采用的是《中国统计年鉴》中相应的“固定资产净值”（并处理为可比价）数据。由于统计资料中没有公路和水路部门的“固定资产净值”项目，公路和水路的资本存量数据，直接引用了交通部科学研究院（2007）“交通资本存量测算的理论与方法研究”课题成果资料。该课题系采用“永续盘存法”测算公路和水路的资本存量，测算范围包括公路、场站、航道和港口这四类资产的生产性资本存量。两种来源数据的统计测算方法是一致的，因而数据具有可比性。

本研究搜集整理的数据库，包括 1980 年至 2005 年间共 26 个年份的铁路、公路、水路和民航四部门上述投入和产出指标的相关统计数据。除了资本存量之外，其他数据的来源如下：运输周转量系根据历年《中国统计年鉴》和《中国交通年鉴》整理；公路和水路的从业人员数根据《全国交通统计资料汇编》整理得到，铁路和民航根据历年的《中国统计年鉴》和《中国交通年鉴》整理；能源消耗量的数据来自于国际能源署（IEA）的“能源平衡表”（Energy Balances）。需要说明的是，水路运输包括了内河运输、沿海运输和远洋运输，使得水路运输在全行业综合周转量中所占份额较高。对于数据系列中的数据缺失，采用插值法处理。

由于本研究的结论高度依赖于数据，数据的搜集和整理工作成为本研究的难点。除了统计数据本身质量问题导致的误差之外，本研究采用的指标和数据可能还存在一些内在的局限性，有可能给测评工作带来系统性影响。

对于产出指标,选择“综合周转量”这样的实物量作为产出指标,有两个原因可能导致产出被低估。首先,相对于选择“附加值”这样的价值量作为产出指标,会导致产出的低估。这是因为,对于单位数量的周转量,现在发生的周转量所提供的服务价值,通常高于过去同样数量周转量提供的服务价值。其次,在各种运输方式中,由于铁路、航空运输业单位少、经济成分比较单一,统计数据相对全面。而公路和水路,由于改革开放以来经济成分日益多样化,公路水路运输统计的复杂性,及公路水路运输统计工作改革的滞后性,客观上使公路水路的运输统计可能被低估。上述两个原因,使得产出随时间推移被低估的可能性加大,特别是对于公路和水路。而在投入指标中,各种运输方式的从业人员数,由于统计口径的不完整,难以涵盖全部行业就业人员,特别是对于公路和水路这样市场化程度较高的运输方式,从业人员数存在被低估的问题。这些数据方面的问题,有待在今后的研究中进一步改进。

#### 四、数据描述

为了对交通各部门及全行业的变化建立感性认识,下面对本文使用的投入和产出指标进行经验性描述和分析。

交通全行业各投入产出变量的年增长率如图1所示。从综合周转量来看,整个时期年均增长7.9%,其中20世纪80年代增长较快,年均增长率为8.2%,90年代增长率明显下降为5.6%,2000年以来增长率大幅度提高,达到12%。从资本存量变动来看,整个时期年均增长率为10.1%,1990年以来年均增长13.9%,大大高于80年代的4.6%,特别是1993年之后的增长明显加快。从业人员数变化来看,1980年至1995年稳步上升,于1995年达到峰值后持续回落,至2005年基本比1980年略有减少,80年代年均增长2.1%,1990年以来年均减少1.6%。资本和从业人员数的相对变动反映了,我国交通业在过去十几年中,资本深化程度迅速提高,正在从劳动密集型产业转向

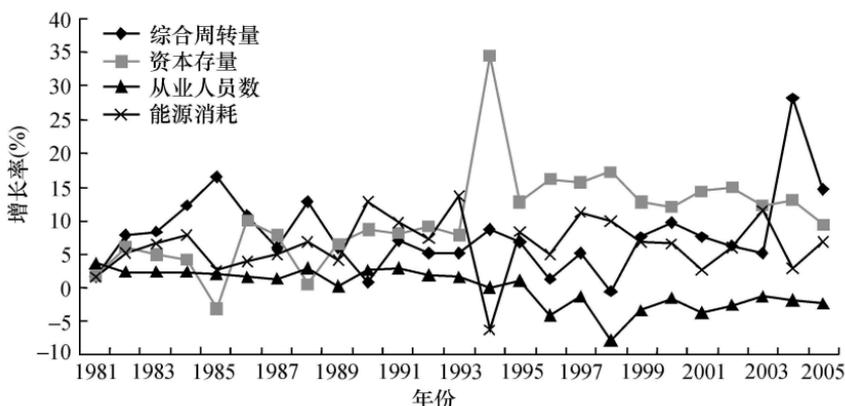


图1 交通全行业各变量年增长率(1981—2005)

资本密集型产业。从能源消耗来看，整个时期保持了持续稳健的增长态势，年均增长 6.2%，高于全社会能源消耗增长率 5.2%，其中 80 年代年均增长 5.6%，1990 年之后略有提高，为 6.6%。

铁路部门各变量年增长率如图 2 所示。铁路部门的综合周转量 20 世纪 80 年代年均增长 6.4%，90 年代显著下降为 3.3%，2000 年之后大幅提高为 7.9%。该部门的资本存量 80 年代增长缓慢，平均仅为 1%，1993 年之后增长明显加快，整个 90 年代平均为 9.1%，2000 年以后进一步提高为 11.5%。从业人员数与全行业变动趋势一致，80 年代有所增长，1995 年之后陷入负增长。能源消耗增长较慢，80 年代年均增长 2.8%，90 年代为 1.5%，2000 年以来大幅度提高为 8.7%。

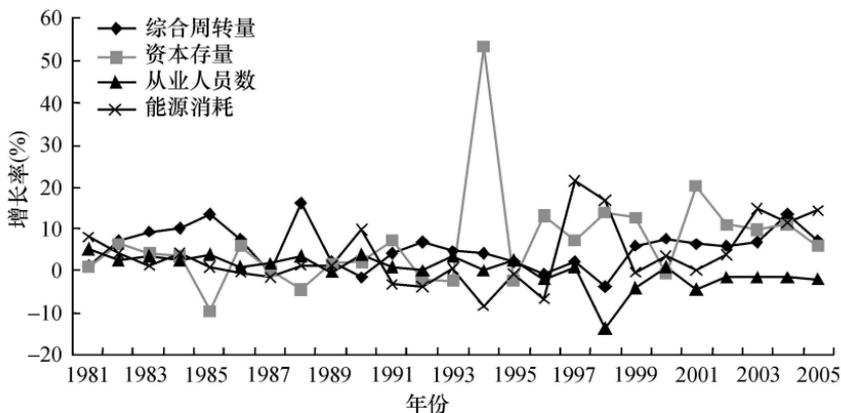


图 2 铁路部门各变量年增长率 (1981—2005)

公路部门各变量年增长率如图 3 所示。该部门的综合周转量 20 世纪 80 年代呈现高增长，年均增长 15.8%，进入 90 年代显著下降，1990 年之后平均为 6.7%，近几年增长率又有所提高。资本存量增长率从 80 年代初期以来持续提高，1995 年达到高峰，之后逐步回落，整个时期年均增长 16.1%。从业人员数与全行业变动趋势一致，80 年代有所增长，1992 年之后呈现负增

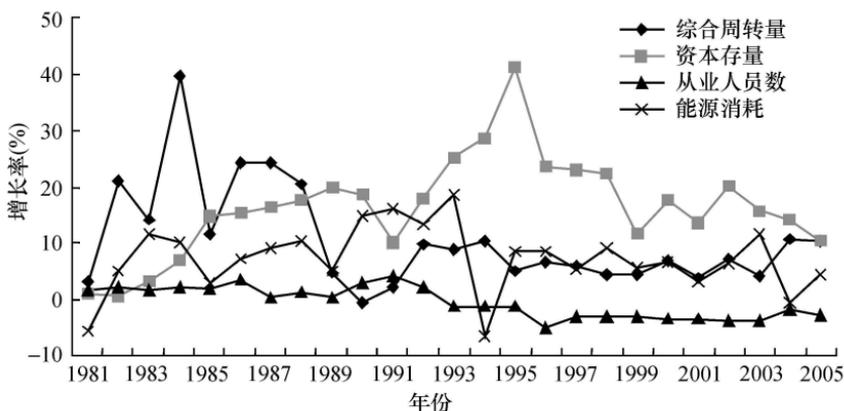


图 3 公路部门各变量年增长率 (1981—2005)

长。能源消耗增长略快于全行业,其中80年代年均增长7%,90年代为8.3%,2000年之后回落为5%。

水路部门各变量年增长率如图4所示。该部门的综合周转量波动较大,20世纪80年代年均增长率为8.6%,90年代略有下降,为7.4%,近几年增长率有大幅度提高。资本存量增长率80年代较高,为10.2%,1990年以来变化不大,平均为7.6%。从业人员数与全行业变动趋势一致,80年代有所增长,1995年之后呈现负增长。能源消耗增长较快,其中80年代年均增长9.7%,90年代为9.6%,2000年之后下降为6.1%。

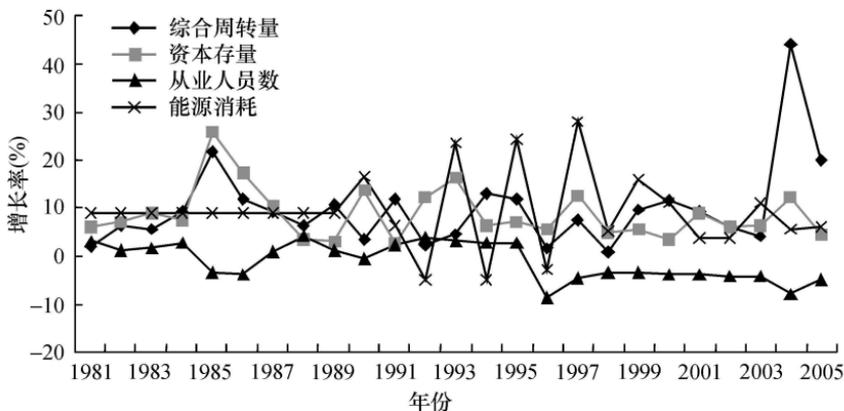


图4 水路部门各变量年增长率(1981—2005)

民航部门各变量年增长率如图5所示。该部门的综合周转量20世纪80年代年均均为12.4%,90年代大幅下降为4.7%,近几年增长率有大幅度提高。资本存量增长率80年代较高,为10.2%,1990年以来变化不大,平均为7.6%。从业人员数一直保持了较快增长,整个时期年均均为9.3%,其中80年代年均均为12.4%,1990年以来年均均为7.2%。整个时期能源消耗年均增长12.9%,大大高于全行业增长速度,其中80年代年均增长10%,90年代为20.5%,2000年之后大幅下降为4.5%。

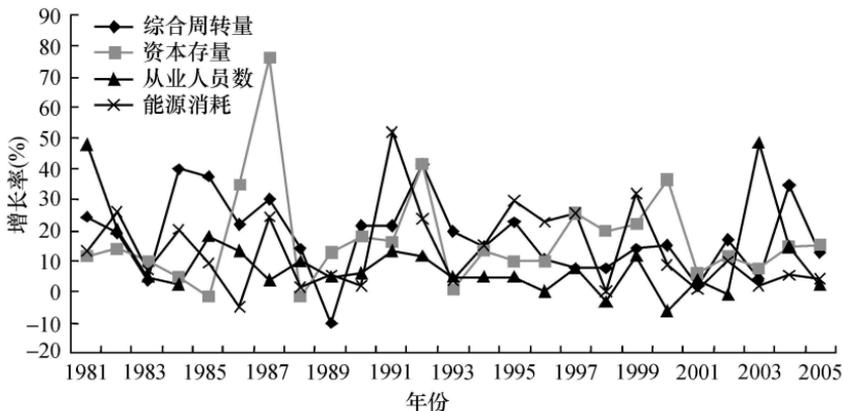


图5 民航部门各变量年增长率(1981—2005)

对 1980 年以来交通全行业及各部门的产出变动分析表明, 20 世纪 90 年代交通全行业及各部门的综合周转量的增长率相对于 80 年代均出现了明显下降。这是由于 80 年代, 我国人流物流激增, 各种运输方式全面告急, 推动了 90 年代之后国家对交通基础设施的大规模投入。从投入要素的变动来看, 相对于 80 年代, 90 年代全行业及各部门的资本存量呈现高增长, 能源除铁路部门之外, 能源消耗也呈现高增长, 这可能意味着 90 年代交通全行业及各部门 TFP 的普遍下滑。近几年来交通全行业及各部门的产出增长率又有大幅度提高, 而各投入要素增长率相对 90 年代变化不大, 甚至部分要素增长率还有所下降, 这表明近几年来 TFP 可能出现了普遍回升。比较各部门的投入和产出变动, 民航的资本和能源投入增长最快, 而产出增长也最快; 铁路的资本和能源投入增长最慢, 而产出增长也最慢; 公路和水路则介于两者之间。直观上很难对交通各部门间的生产率变化快慢做出判断, 这需要应用生产率技术进行定量评价。

## 五、利用索洛残差法的核算结果

本文首先利用传统的索洛残差法计算交通各部门及全行业的 TFP。采用这种方法面临的一个主要困难, 是如何确定各种投入要素的产出弹性系数。Chow (1993) 曾经利用中国的资本存量数据拟合 C-D 生产函数, 回归出中国的资本弹性系数大约为 0.6。在实证研究中较多学者取 0.6 左右的值作为资本弹性系数。但是对于本文研究的交通行业来说, 由于缺乏文献积累, 难以根据经验给出资本弹性系数。而且各部门的情况不同, 它们能否取相同的资本弹性系数, 也是值得存疑的问题。

首先指定交通各部门及全行业的资本弹性系数取值 0.6, 核算交通各部门及全行业的索洛残差, 不同时期的 TFP 核算结果如表 2 所示。

表 2 采用指定系数的 TFP 核算结果

	铁路	公路	水路	民航	全行业
1980—2005	0.0164	0.0082	0.0483	0.0380	0.0187
1980—1990	0.0472	0.0832	0.0225	0.0454	0.0453
1990—2000	-0.0170	-0.0600	0.0323	0.0384	-0.0263
2000—2005	0.0191	-0.0046	0.1333	0.0209	0.0532
1990—2005	-0.0052	-0.0412	0.0653	0.0331	-0.0002

注: 有  $K$  和  $L$  两个投入要素, 假设所有部门的资本产出弹性系数为 0.6, 劳动产出弹性系数为 0.4。

接下来尝试利用回归法确定各部门及全行业的资本弹性系数, 采用的回归方程如下:

$$\ln Y = \ln A + \alpha \ln K + (1 - \alpha) \ln L \quad (10)$$

利用 26 年的时序数据进行 OLS 回归, 分别回归各部门及全行业的资本

弹性系数。结果表明,五个回归方程的整体拟合优度均很高,并得到了1%水平上显著的资本弹性系数 $\alpha$ ,如表3所示。铁路和全行业的资本弹性系数非常接近0.6;公路的资本弹性系数较低,为0.520,说明该部门的资本弹性系数相对较低;而水路和民航的资本弹性系数远高于0.6,分别为0.989和0.920,说明这两个部门现阶段的资本边际收益很高。

表3 资本弹性系数的回归结果

	$\ln A$	$\alpha$	$t$	Prob.	$R^2$
铁路	3.3034	0.5872	9.950	0.0000	0.805
公路	2.3837	0.5196	13.998	0.0000	0.891
水路	4.3381	0.9891	32.693	0.0000	0.978
民航	-1.2990	0.9196	17.145	0.0000	0.925
全行业	3.3099	0.6101	16.828	0.0000	0.922

利用回归的资本弹性系数,重新计算交通各部门及全行业的TFP,结果如表4所示。从结果比较来看,全行业、铁路和公路与表2的变化趋势基本相同;水路的TFP增长仍然是持续提高,但是80年代和90年代的数值由正转为负;而民航的TFP变化趋势发生了变化,在三个时期中先下降后上升,与全行业变化趋势保持一致。此外,TFP数值相对于表2发生了较大变化。例如,在整个时期,公路的TFP增长有较大提高,从增长最慢的部门转而成为最快的部门;水路的TFP增长大幅度下降,从增长最快的部门成为最慢的部门。

表4 采用回归系数的TFP核算结果

	铁路	公路	水路	民航	全行业
1980—2005	0.0171	0.0215	0.0101	0.0158	0.0176
1980—1990	0.0470	0.0907	-0.0144	0.0332	0.0451
1990—2000	-0.0157	-0.0411	-0.0013	-0.0072	-0.0278
2000—2005	0.0209	0.0098	0.0837	0.0260	0.0517
1990—2005	-0.0037	-0.0239	0.0264	0.0044	-0.0017

上述核算过程实际上暴露了参数法核算TFP存在的问题,就是非常依赖弹性系数的取值。由于取值的变化,则可能导致结果的变化。如果人为确定资本弹性系数,参数值的确定比较主观;如果采用回归分析确定系数,参数值会比较依赖样本数据,并且难以避免数据误差的影响。这使得基于索洛残差法的测算结果显得比较粗糙。相对而言,下文基于非参数的Malmquist指数法的利用,回避了上述的参数估值问题,给出的测评结果更为准确可信。

## 六、基于Malmquist-DEA方法的测评结果及分析

测评模型均以综合周转量 $Y$ 为产出变量,根据所选择的投入变量的不同组合,构建两种模型:KL模型,以资本存量 $K$ 和从业人员数 $L$ 为投入变量;

KLE 模型，在 KL 模型的基础上增加能源消耗量  $E$  作为第三个投入变量。利用 KL 模型测算的全行业的 TFP 增长、技术进步率和技术效率变化的结果如图 6 所示。<sup>2</sup>

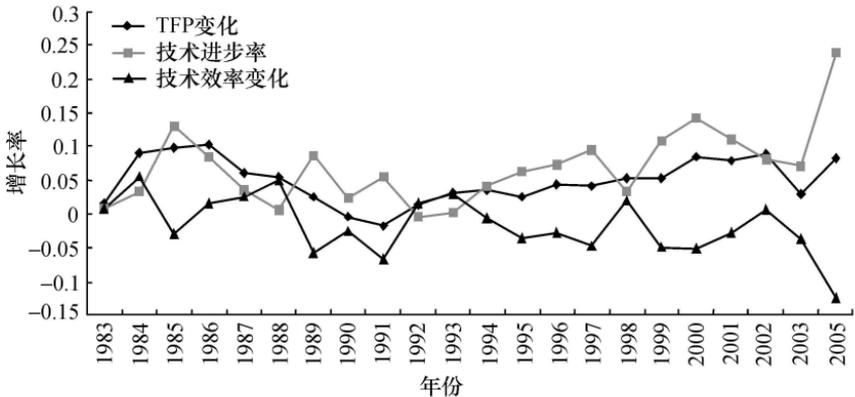


图 6 交通全行业 TFP、技术进步和技术效率的变化 (1980—2005)

从交通全行业的情况来看，TFP 增长在 20 世纪 80 年代经历了先上升后下降的过程，至 1991 年降至谷底。而后不断攀升，至 2000 年之后，除了 1 个年份之外，均维持在比较高的水平。技术进步率的变化与 TFP 变化的趋势基本一致，在 80 年代先上升，然后在波动中下降，至 1992 年降至最低，而后在波动中不断上升，1998 年以来维持在较高的水平。从技术效率的变化来看，在 1993 年之前，技术效率变化处于涨跌互现的波动情形，在 80 年代的大部分年份变化率为正；从 1993 年以后，技术效率变化持续降低，大部分年份为负，且目前的增长率处于历史上最低的水平。

如果看一下分部门 TFP 增长的情况，如图 7 所示：铁路的 TFP 起伏最小，20 世纪 80 年代先上升后下降，90 年代处于较低的水平，1997 年之后持续提高；公路的 TFP 增长起伏较大，80 年代从高位持续下降，至 1991 年降至谷底，并处于负值，而后不断提高，1998 年以来维持在较高的水平；水路的 TFP 增长大部分年份在 0—5% 左右的区间范围内波动，只是 2004 和 2005 两个年份跃升至较高的水平；民航的 TFP 增长在 80 年代和 90 年代均经历了倒 U 形的大起大落，2003 年以来陡降为负值。

根据 TFP 的大致走势，我们对不同时期分别计算。KL 模型的结果如表 5 所示。KLE 模型的结果与 KL 模型的结果对比显示，公路和民航的结果没有变化；水路和全行业的 TFP 增长和技术进步率均有所下降；铁路的 TFP 增长和技术进步率，除 80 年代之外的所有时期均有所下降；铁路和全行业的技术效率变化和规模效率变化，除 80 年代之外的所有时期均有所上升；水路各时期的技术效率变化和规模效率变化则有涨有跌。尽管两种模型的结果略有差

<sup>2</sup> 2004 年的数据变动较大，出于绘图的考虑在图中没有显示。

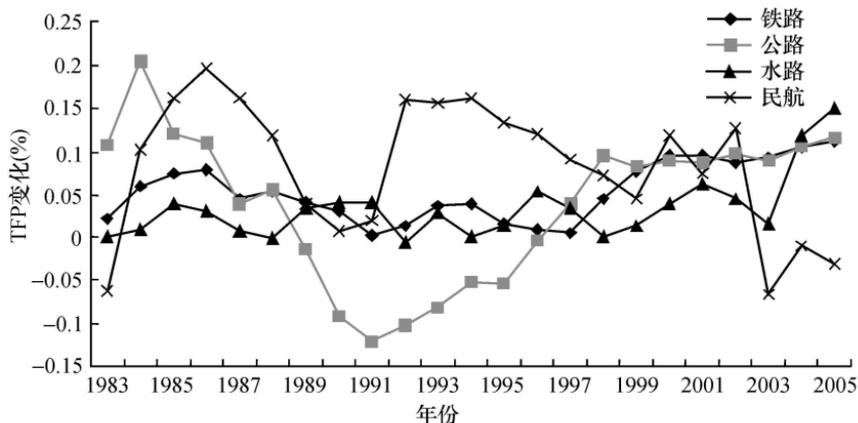


图7 交通各部门TFP变化(1980—2005)

别,但是在历史趋势和部门间差异上可以得出比较一致的结论。限于篇幅, KLE模型的结果略去。下面主要利用表5中KL模型的计算结果进行分析。

表5 KL模型测评结果(分阶段,1980—2005)

	铁路	公路	水路	民航	全行业
<b>TFP变化</b>					
1980—2005	1.053	1.037	1.033	1.080	1.050
1980—1990	1.050	1.063	1.020	1.087	1.055
1990—2000	1.027	0.976	1.020	1.106	1.031
2000—2005	1.098	1.099	1.077	1.016	1.072
1990—2005	1.054	1.023	1.040	1.076	1.048
<b>技术进步</b>					
1980—2005	1.117	1.063	1.040	1.117	1.084
1980—1990	1.094	0.994	1.022	1.094	1.050
1990—2000	1.076	1.035	1.018	1.077	1.051
2000—2005	1.221	1.221	1.101	1.221	1.190
1990—2005	1.128	1.102	1.050	1.128	1.102
<b>技术效率变化</b>					
1980—2005	0.943	0.975	0.993	0.967	0.969
1980—1990	0.959	1.070	0.998	0.993	1.004
1990—2000	0.954	0.943	1.001	1.027	0.981
2000—2005	0.899	0.900	0.978	0.832	0.901
1990—2005	0.935	0.928	0.990	0.953	0.951
<b>规模效率变化</b>					
1980—2005	0.972	0.971	0.993	0.968	0.976
1980—1990	0.957	0.990	0.998	0.878	0.955
1990—2000	0.980	0.948	1.002	0.975	0.976
2000—2005	0.969	0.981	0.979	1.038	0.991
1990—2005	0.979	0.962	0.991	1.020	0.988

Malmquist-DEA 方法的 TFP 增长率计算结果，整体在数值上显著高于索洛残差法的结果，但是在 TFP 变化趋势上，两种方法的计算结论大体一致。从全行业来看，80 年代 TFP 增长率较高，为 5.5%；1990 年以来有所下降，为 4.8%，其中 90 年代显著下降到 3.1%，2000 年之后提高到 7.2%。交通行业的 TFP 增长在 90 年代出现了下降，直到 2000 年 TFP 增长才显著提高，但 1990 年以来的 TFP 年均增长仍然低于 80 年代的水平。

从分部门 TFP 变化趋势来看，两种方法的测评结果也基本一致。铁路和公路的 TFP 增长均呈先下降后上升的趋势；水路的 TFP 增长在近期也呈现上升的趋势。主要的差异是民航的 TFP 变化趋势，在表 5 中表现为先上升后下降，主要是 90 年代的 TFP 增长核算结果与索洛残差法的结果有较大差异。此外，各部门的 TFP 增长率相对差异也发生了较大变化。从整个时期来看，民航的 TFP 增长率最高，其次为铁路，公路和水路较低。对比索洛残差法的结果，分时期的 TFP 增长相对快慢也发生了变化。

对交通全行业 TFP 增长的拆分进一步表明，全行业的技术进步率近年来的提高趋势十分显著，从 2000 年前 5% 左右的水平，2000 年之后大幅度提高到 19%。与此形成对照的是，全行业的技术效率变化相对较慢：80 年代全行业的技术效率变化为 1.004，有微弱增长；90 年代下滑至 0.981；2000 年之后进一步下滑为 0.901。这表明 90 年代以来交通行业的技术效率出现了恶化。从规模效率变化指标来看，交通全行业的规模效率还没有完全发挥出来，但是趋向于改善，特别是近年来规模效率变化率的提升比较明显。

郑京海和胡鞍钢（2005）利用非参数的 Malmquist 指数方法，基于省际数据测算了中国经济 TFP 和技术效率的变化，将其与本文的计算结果做一比较（见表 6）。1979 年至 1990 年间中国经济 TFP 年均增长 4.94%，该时期交通行业 TFP 年均增长 5.5%，略高于中国经济同期水平。其后，1991 年至 2001 年间，中国经济 TFP 年均增长率下降到 1.85%，交通行业下降到 3.1%，仍然高于中国经济同期水平。进一步分析 TFP 增长的构成，可以发现：在前一时期，交通全行业的技术进步率低于中国经济的整体水平；90 年代由于中国经济技术进步率的下降，交通行业的技术进步率已经高于中国经济的整体水平；交通行业的技术效率增长在 80 年代高于中国经济的整体水平，进入 90 年代，交通行业的技术效率变化显著下降，已经低于中国经济的整体水平。

表 6 交通全行业与中国经济生产率增长的分阶段比较

	TFP 增长	技术进步率	技术效率变化
交通(1980—1990)	1.055	1.050	1.004
全国(1979—1990)	1.0494	1.0605	0.9902
交通(1990—2000)	1.031	1.051	0.981
全国(1991—2001)	1.0185	1.0216	0.9969

注：全国数据来源根据郑京海和胡鞍钢（2005）。

## 七、利用 Bootstrap-DEA 方法估计技术效率

表 7 报告了 KL 模型的 Bootstrap-DEA 估计结果及其统计推断。不难发现, 经过 Bootstrap 纠偏的 DEA 效率值比未纠偏的 DEA 效率值要低, 这是因为 Bootstrap 方法也考虑到了前沿面的非效率因素。尽管 95% 置信区间随时间推移而有所扩大, 但是技术效率变化的趋势还是清晰可见的。因 KLE 模型的估计结果与 KL 模型非常相似, 这里略去, 接下来以 KL 模型为基准对结果进行分析。为了更直观显示各交通行业技术效率的动态变化, 我们将表 7 的估计结果绘制在图 8 中。

表 7 Bootstrap-DEA 估计及统计推断(KL 模型)

	技术效率 1	技术效率 2	偏差	偏差方差	置信区间下界	置信区间上界
<b>铁路</b>						
1980	0.595	0.583	0.012	9.623	0.562	0.594
1985	0.774	0.749	0.025	0.000	0.714	0.773
1990	0.894	0.852	0.043	0.001	0.809	0.891
1995	0.910	0.892	0.017	0.000	0.865	0.908
2000	0.917	0.890	0.026	0.000	0.854	0.914
2005	1.000	0.874	0.126	0.007	0.805	0.992
<b>公路</b>						
1980	0.490	0.485	0.004	1.609	0.475	0.489
1985	0.847	0.836	0.012	9.742	0.813	0.847
1990	0.939	0.919	0.020	0.000	0.888	0.937
1995	0.970	0.945	0.024	0.000	0.916	0.967
2000	1.000	0.984	0.016	9.165	0.963	0.998
2005	1.000	0.931	0.069	0.004	0.840	0.998
<b>水路</b>						
1980	0.813	0.751	0.062	0.004	0.676	0.812
1985	0.742	0.681	0.061	0.003	0.617	0.741
1990	0.706	0.640	0.066	0.003	0.585	0.705
1995	0.698	0.621	0.077	0.003	0.574	0.696
2000	0.692	0.581	0.111	0.004	0.557	0.688
2005	1.000	0.644	0.356	0.019	0.731	0.972
<b>民航</b>						
1980	0.521	0.505	0.015	0.000	0.485	0.519
1985	1.000	0.941	0.059	0.001	0.896	0.993
1990	0.694	0.673	0.021	0.000	0.643	0.692
1995	0.990	0.927	0.063	0.002	0.868	0.986
2000	0.922	0.858	0.064	0.002	0.790	0.917
2005	1.000	0.935	0.065	0.002	0.870	0.992
<b>全行业</b>						
1980	0.662	0.649	0.013	0.000	0.624	0.661
1985	0.899	0.882	0.018	0.000	0.848	0.899
1990	0.960	0.922	0.038	0.001	0.884	0.957
1995	0.963	0.942	0.021	0.000	0.914	0.961
2000	0.868	0.848	0.021	0.000	0.814	0.866
2005	1.000	0.881	0.119	0.008	0.800	0.994

注:“技术效率 1”表示未经 Bootstrap 纠偏的 DEA 估计量,“技术效率 2”表示经 Bootstrap 纠偏的 DEA 估计量,“偏差”表示经 Bootstrap 纠偏得到的 DEA 偏差估计量,这里:技术效率 2=技术效率 1-偏差。“偏差方差”表示 DEA 偏差估计量的方差,置信区间上下界表示“技术效率 2”的 95% Bootstrap 置信区间上下界。

全行业的技术效率走势与 Malmquist 指数法得出的技术效率变化在趋势上大体一致。80 年代，交通全行业的技术效率趋向于改善，1993 年以后技术效率持续下降，直到最近两年才有所好转。观察各部门的技术效率变化可知，全行业技术效率的这一走势与各部门技术效率在 90 年代的普遍下滑是密切联系的，而最近两年的技术效率上升，是由于各部门近两年的技术效率普遍好转。

分部门来看，铁路部门与全行业技术效率变化的走势基本一致。铁路部门 80 年代的技术效率趋向于提高，这与 Malmquist 指数法的计算结果不同。公路部门 80 年代技术效率有显著提高，90 年代有微弱提高，2000 年之后有所下降，其中 90 年代的计算结果与 Malmquist 指数法的结果略有差异。水路部门的技术效率从 80 年代初以来呈现持续的恶化，结果也有所不同。若以 Bootstrap-DEA 估计结果为基准，可以发现在所有部门的技术效率估计中，水路部门的 Malmquist-DEA 技术效率高估最多。根据 Malmquist 指数法计算的结果，水路部门的技术效率在 90 年代有轻微的上升。我们认为这可能是由 Bootstrap 纠偏降低了技术效率值所引起的。同时，图 8 表明，90 年代以后，水路部门 Malmquist-DEA 的高估程度有所增加。经过 Bootstrap 纠偏的技术效率估计强烈地表明水路部门效率的低下状况在所有交通运输部门中正在变得日益突出。水路部门运营模式的落后可能是症结所在。通过开发旅游观光资源，充分发掘潜在的水路运输需求，丰富水路运输品种，提高服务质量，也许是比较可行的出路。当然，这其中还需要政府部门在环境保护和自然资源规划等方面进行统筹规划，才有利于效率提高的真正实现。民航部门的技术效率在 80 年代中期以前是上升的，之后则开始下滑，直到 90 年代初期才开始上升，而 90 年代后期有所下降，这与 Malmquist 指数法的计算结果基本一致。

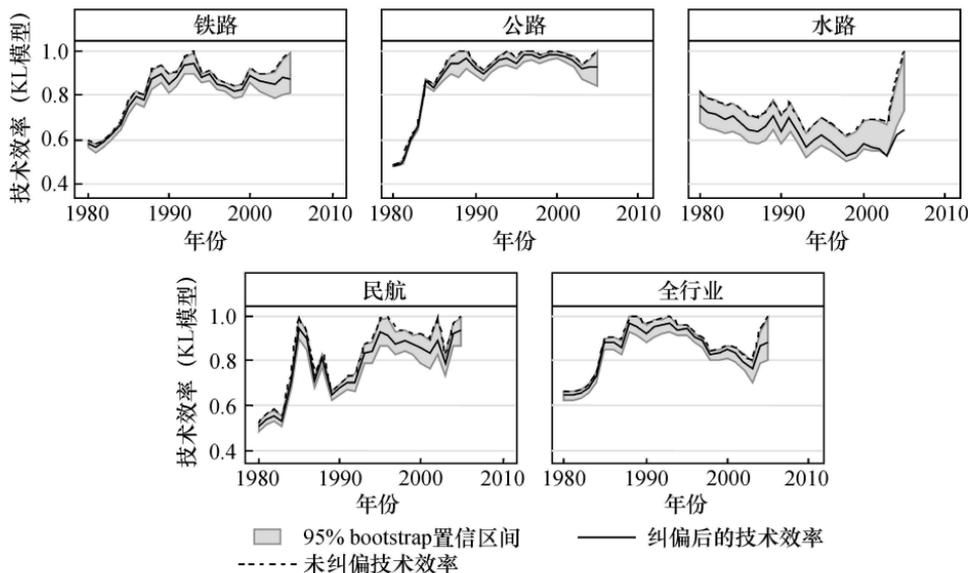


图 8 KL 模型的 Bootstrap-DEA 结果

值得注意的是, Bootstrap-DEA 计算结果显示, 最近两年交通全行业的技术效率有所上升, 这与 Malmquist-DEA 计算的结果是相反的(大幅度下降)。通过观察图 8 中各行业的技术效率走势后, 可以确认这种回转趋势在很大程度上是源于民航和水路部门的效率提升(特别是民航部门)。这种提升可能源于一系列的制度变革。自 2002 年以来的民航公司集团化重组, 到 2004 年民营航空公司的挂牌, 再到航运市场分阶段开放政策的出台, 民航业的市场化改革显然已经取得了初步成效。另一种可能的解释, 是 2002 年以来中国经济步入新一轮的经济高速增长周期, 带动了各交通部门的周转量增长普遍加快。至于近两年交通行业的技术效率变化, 是长期下滑趋势中的暂时回升, 还是长期趋势发生逆转的开始, 则有待利用更长时序数据的实证检验。

## 八、结论及含义

本文应用生产率技术对中国交通全行业及四个主要部门 1980—2005 年间的生产率变动进行测算。该研究显示了 Malmquist 指数法在生产率测算中的优越性, 以及 Bootstrap 方法在效率测度中的应用价值。相对于传统的增长核算法, 运用 Malmquist 指数法, 不仅测算结果更为可靠, 而且能够对 TFP 做进一步分解而使结果更为丰富。这可以解释, 为何这种非参数的 Malmquist 指数法, 近几年在国内的经济研究中日益受到青睐。而引入 Bootstrap-DEA 方法估计技术效率变化及其置信区间, 通过 Bootstrap 纠偏提高了效率测度的准确性, 我们预期这种方法在国内的经济研究中有很好的应用前景。

本研究对中国交通行业的生产率测算和分析, 有以下主要结论:

第一, 1980 年以来, 中国交通行业的 TFP 增长经历了一个先下降后上升的起伏过程。80 年代交通行业 TFP 经历了高速增长, 进入 90 年代后 TFP 增长率显著降低, 直到 2000 年之后, TFP 增长恢复到较高水平。这与过去二十多年间中国经济的 TFP 增长趋势大体一致。相对而言, 交通行业的 TFP 增长率高于中国经济的 TFP 增长率, 而且在 90 年代经历的 TFP 增长率下降中, 交通行业的下降幅度低于中国经济的下降幅度。

第二, 中国交通行业的 TFP 增长, 主要来源于技术进步, 而技术效率变化缓慢。交通行业的技术进步率在 1980—2000 年间比较稳定, 且在 90 年代高于中国经济的技术进步率, 2000 年之后该行业技术进步率大幅跃升。但是该行业的技术效率变化相对缓慢, 90 年代的技术效率显著下降, 已经低于中国经济的技术效率增长率, 2000 年之后还在进一步下降, 只是近两年来略有好转。交通行业的技术进步主要是大规模的资本投资驱动的。近年来交通固定资产投资激增, 一方面显著加快了全行业的技术进步, 另一方面由于管理体制改革的资源配置没有同步跟上, 导致了技术效率的下降。

第三, 中国交通各部门的 TFP 有明显的阶段性波动, 但是近年来各部门的技术进步和技术效率变动的趋势一致。80 年代, 民航和公路的 TFP 增长较快; 进入 90 年代, 民航的 TFP 增长率远高于其他部门; 2000 年以后, 公路、铁路

和水路的 TFP 增长率显著提高，民航则显著下降。近年来，四部门的技术进步率均出现了不同程度的大幅度提高，而技术效率又均表现出不同程度的下滑。

上述结果表明，改革以来中国交通行业的高速发展，总体上来看不能简单归入“粗放型”之列。这是因为交通全行业的 TFP 增长率维持了较高的水平，并一直高于中国经济的 TFP 增长率，近年来还有提高的趋势。总体来看，交通行业的发展质量是较高的。但必须看到，交通行业的 TFP 增长主要依靠技术进步，而技术进步是由迅速激增的高资本投入带来的。1979—1990 年，四部门的资本存量年均增长率为 3.94%，明显低于社会总资本的增长率 7.75%；1991—2004 年，四部门的资本存量增长率提高至 14.2%，高于社会总资本 11.22% 的年均增长率（胡鞍钢和王亚华，2007）。这种高资本投入驱动的发展模式问题已经开始显现。

事实上，从本文测算的结果来看，交通行业的技术效率近年来显著降低。交通全行业的技术效率变化缓慢，90 年代已经低于中国经济的技术效率水平，且 2000 年之后进一步降低。技术效率变化的放缓，必然导致资本投资的边际收益递减。这种高资本投入、低资本收益及低资源配置效率的发展模式，将使 TFP 增长难以持续，并且还伴随着能源高消耗和污染高排放的问题。近年来交通耗能大幅度增长，该行业的石油消费已占到全部石油消费量的 40%，同时交通污染排放随着各类汽车数量快速增加而不断增长，已经给环境造成了巨大的压力。

交通行业 90 年代初以来的发展模式，基本特征表现为：主要是由资本投入驱动，技术效率持续下降，资本高投入伴随着资源高消耗和污染高排放，可持续发展问题堪忧。这与 90 年代以来的中国经济增长模式颇为相像，相比而言，交通行业的上述特征更为突出，表现为更快的资本投入增长及更快的技术效率下降。只不过由于交通资本投入增长仍然很快，资本投入驱动的技术进步率较高，暂时抵消了技术效率的下降，使得近年来的 TFP 增长率能够保持较高水平。尽管未来一段时期交通行业的 TFP 增长将仍然主要依靠资本投入驱动的技术进步，但是随着交通基础设施建设的资金约束日益明显，交通资本投入增长将会放缓，而且交通领域的许多技术目前已经达到或接近世界先进水平，未来通过技术引进支撑技术进步将越来越困难。如果交通行业仍然沿着过去的发展模式走下去，该行业的 TFP 增长可能会再次显著下降。

由此看来，交通行业的发展模式需要转型，在维持较高的资本投入增长的同时，需要着力提高资源配置效率。这就要求大力推进各方面的创新，包括理念创新、科技创新、体制机制创新和政策创新。最近政府部门已经开始关注交通行业发展转型的问题，提出了“建设创新型行业”的新思路。这实质上就是试图通过积极主动的创新，抵偿资本投入的收益递减，维持该行业较高的生产率，进而使该行业的发展可持续。由于交通行业是国民经济的重要部门，也是能源消耗和污染排放的重要来源，交通行业的发展质量对于中国经济的增长质量会产生重要影响。因此，交通行业发展模式的转型，也构成了中国经济增长方式转变的重要组成部分。本文研究为交通行业的发展模式转型提供了科学依据，文中测算的具体结论可为交通各部门制定发展战略提供决策参考。



## 参 考 文 献

- [1] Caves, D., L. Christensen, and W. Diewert, "The Economic Theory of Index Numbers and the Measurement of Input, Output and Productivity", *Journal of Econometrics*, 1982, 50(6), 1393—1414.
- [2] Charnes A, W. Cooper, and B. Golany, L. Seiford, and J. Stutz, "Foundations of Data Envelopment Analysis for Pareto-Koopmans Efficient Empirical Production Functions", *Journal of Econometrics*, 1985, 30(1), 91—107.
- [3] Chow, G., "Capital Formation and Economic Growth in China", *Quarterly Journal of Economics*, 1993, 108(3), 809—842.
- [4] Cooper, W., L. Seiford, and K. Tone, *Data Envelopment Analysis: A Comprehensive Text with Models, Applications, References and DEA-Solver Software*. Boston: Kluwer Academic, 2000.
- [5] Eberhard, A., "A Re-assessment of Independent Regulation of Infrastructure in Developing Countries: Improving Performance through Hybrid and Transitional Models", Paper in Annual World Bank Conference on Development Economics, Tokyo: 29—30 May 2006.
- [6] Färe, R., S. Grosskopf, M. Norris, and Z. Zhang, "Productivity Growth, Technical Progress, and Efficiency Change in Industrialized Countries", *American Economic Review*, 1994, 84(1), 66—83.
- [7] Gordon, R., "Productivity in the Transportation Sector", NBER Working Paper No. 3815, 1993.
- [8] Kniep, A., L. Simar, and P. Wilson, "Asymptotics for DEA Estimators in Non-parametric Frontier Models", IAP Technical Report 0323, 2003.
- [9] 胡鞍钢、王亚华, "交通革命, 评中国交通发展之路", 《国情报告》, 2007年第20期, 5月18日。
- [10] 郭庆旺、贾俊雪, "中国全要素生产率的估算: 1979—2004", 《经济研究》, 2005年第6期, 第51—60页。
- [11] 交通部科学研究院: "交通资本存量测算的理论与方法研究", 《交通与发展》课题专题报告之一, 2007年6月。
- [12] 林毅夫、任若恩, "东亚经济增长模式相关争论的再探讨", 《经济研究》, 2007年第8期, 第4—12页。
- [13] Morrison, C., and A. Schwartz, "State Infrastructure and Productive Performance", *American Economic Review*, 1996, 86(5), 1095—1111.
- [14] Nghiem, H., and T. Coelli, "The Effect of Incentive Reforms upon Productivity: Evidence from the Vietnamese Rice Industry", *Journal of Development Studies*, 2002, 39(1), 74—93.
- [15] Oum, T., M. Tretheway, and W. Waters II, "Concepts, Methods and Purposes of Productivity Measurement in Transportation", *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 1992, 26(6), 493—505.
- [16] Simar, L., and P. Wilson, "Sensitivity Analysis of Efficiency Scores: How to Bootstrap in Non-parametric Frontier Models", *Management Science*, 1998, 44(1), 49—61.
- [17] Simar, L., and P. Wilson, "Statistical Inference in Nonparametric Frontier Models: The State of the Art", *Journal of Productivity Analysis*, 2000, 13(1), 49—78.
- [18] Solow, R., "Technical Change and the Aggregate Production Function", *Review of Economics and Statistics*, 1957, 39(3), 312—320.

- [19] Wu, Y., "Is China's Growth Sustainable? A Productivity Analysis", *China Economic Review*, 2000, 11(3), 278—296.
- [20] 余思勤、蒋迪娜、卢剑超, "我国交通运输业全要素生产率变动分析", 《同济大学学报(自然科学版)》, 2004年第6期, 第827—831页。
- [21] 郑京海、胡鞍钢, "中国改革时期省际生产率增长变化的实证分析(1979—2001年)", 《经济学(季刊)》, 2005年第4卷第2期, 第263—296页。

## Productivity in China's Transportation Sector: A Malmquist Index and Bootstrap Approach (1980—2005)

YAHUA WANG FAN WU

(*Tsinghua University*)

ZHENG WANG

(*Zhejiang University*)

**Abstract** China's transportation sector has made great achievements since the reform and opening-up, but there are few studies on this sector from the perspective of productivity, considering it is a sector with investment intensity, energy consumption intensity and pollution emission intensity. This paper adopts the approach of Malmquist DEA to evaluate the productivity of the whole transportation sector and four sub-sectors over the period 1980—2005 in China, and introduce Bootstrap methodology to estimate confidence intervals for technical efficiency, which provides a correction for the inherent bias in Malmquist DEA estimation. We find that TFP growth and technical efficiency changes of the whole sector have declined since 1990, and the technical progress of the four sub-sectors rises obviously since 2000, whereas the technical efficiency presents to fall. China's transportation sector requires a transition of development pattern, which is also an important part of Chinese economic transition of growth pattern.

**JEL Classification** D24, C14, L91