

中国城镇基础设施建设和利用效率的测度与评价

曾国安¹ 尹燕飞^{1,2}

(1. 武汉大学 经济与管理学院, 湖北 武汉 430072; 2. 美国加州州立大学 北岭分校, 加州 91330)

摘要:本文应用非参数估计的数据包络分析方法评价了中国各省份的基础设施效率水平。将建设基础设施的劳动力和物质资本作为投入指标,将经济增长设置为期望产出指标,引入其对环境的污染为非期望产出。将中国30个省、直辖市和自治区作为决策单元,以2010年的基础设施投入与产出数据为生产可能集,基于二阶段的SBM和CCR模型来评估中国基础设施效率水平。本文的实证结果发现,在有非期望产出和无非期望产出的两种情况下,东部省份基础设施效率要高于中部省份,中部省份高于西部省份。另一方面,在非期望产出权重提高时,各省份的基础设施效率趋于下降。

关键词:DEA测度法;城镇基础设施;环境与经济发展;环境效率

中图分类号:F403.5 **文献标识码:**A **文章编号:**1003-5230(2012)05-0003-06

一、引言

作为城市系统的重要组成部分,基础设施是城市综合服务功能的物质载体,城市赖以生存和发展的基础。若仅考虑基础设施建设所带来的经济效益,其很大程度助推了中国经济的飞速发展。若加入对于社会效益和环境效益等因素,将基础设施置于经济、社会、生态环境复杂开放的系统之中,其效率难以判断。本文的目的是评定中国基础设施建设及资源利用效率的程度,以及测定中国各省份的基础设施资源利用效率差异。

中国经济以较快速度保持了近三十年的增长,基础设施的成就被归结为“为增长而竞争”的结果^{[1][2]},并作为城市化发展进程中的必要条件。中国的奇迹源于基础设施的大规模建造,第一阶段始于1998年的西部大开发和东北老工业基地振兴计划,以基础设施建设拉动内需而推动经济增长。第二阶段始于2008年,投放基础设施四万亿资金来应对国际金融危机的冲击。在中央政府规制下的财政分权和地方官员晋升机制^[3],中央和地方政府双管齐下,成为基础设施建设奇迹的缔造者^①。

基础设施的大规模建设,已被证明是中国经济奇迹的“助推器”,基础设施的建设对经济的增长产生正相关的推动力^[4],经典内生增长理论在中国得到了最好的佐证。中国用于基础设施的投资不仅对于短期逆周期调节有效果,利用过程对于推进长期经济增长亦有重要作用^[5]。基础设施主要通过以

收稿日期:2012-06-15

作者简介:曾国安(1964—),男,湖南常德人,武汉大学经济与管理学院教授,博士生导师;

尹燕飞(1985—),女,湖南湘潭人,武汉大学经济与管理学院博士生,美国加州州立大学北岭分校访问学者。

下途径来促进经济增长:第一,作为投资列入国内生产总值账户中,直接计入经济增长。第二,基础设施有助于人力资本的聚集和 FDI 的引进,而人力资本和 FDI 通过“溢出效应”推动经济增长^{[6][7]}。第三,便捷的公共基础设施则能够为企业节约库存,利于企业及时有效地调整生产要素,从而降低调整成本,促进城市发展。

但另一方面,大规模的基础设施建设消耗了巨大的经济资源同时也付出了巨大的环境代价。首先,建造基础设施需要投入一定的资源要素,如自然资源、能源、人力资源、资本要素等,这是基础设施建设过程中必需投入的因素。第二,基础设施的建造期和营运过程中都不可避免的破坏所在地环境。如城市隧道工程的建造,会对水环境、空气环境和土壤带来污染^[8]。基础设施对于环境更为持久的破坏,主要集中在营运期,来源是机动车排放的废气,包括氮氧化物、一氧化碳、二氧化碳、总烃等,都属于城市建设基础设施所带来的非期望产出^[9]。第三,建造基础设施对于生态环境所带来的间接性的破坏。由于基础设施存在巨大的外溢性,各个地区为了争夺 FDI 而重复修葺城市基础设施^[10],污染密集型产业在基础设施建设发达的地区更加明显,中国一些省份成了“污染避难所”^[11]。

基础设施对经济增长的贡献和对于自然生态环境的破坏可视为一枚硬币的两面。中国缔造经济增长和基础设施的奇迹,在改善经济环境的同时,也面临着自然资源和能源的逐渐耗竭以及人居环境的破坏的巨大风险。中国经济的飞速发展令人满意,基础设施建设及资源利用效率,其对经济的产出推动作用是否达到最大?其次,中国正提倡建设“资源节约型,环境友好型”社会,政策宣传下的各个省份,其基础建设对于生态环境是否有非期望产出?对于各自的基础设施建设程度和资源利用效率有何差异?对此,需要有一套标准体系来进行测度和评价,因此,本文应用 DEA 模型对此进行探讨。

许多学者都致力于验证基础设施对于经济增长的产出效率测度。用实证的数据描述公共基础设施和经济增长之间的正向相关关系,例如:王仁飞、许进杰描述了中国的情况^[12];Turm、Fernald 和 Ward、Haan 总结了发达国家的情况,而 Ghosh B 则验证了印度的情况;Catherine 侧重于考虑基础设施的正面产出作用,主要回报于制造业和生产力的增加^[13]。在测度中国基础设施效率时,加入对于环境的非期望影响测度的文章较少,本文对基础设施的建设与利用效率的评定加入非期望产出因素,是本文的贡献之一。

在测度基础设施效率的研究方法上,Mastromar Co C 和 Woitek U. 使用的是随机前沿分析法(stochastic frontier approach)分析了意大利基础设施利用效率,但重点放在比较南北地区差异及解释上^[14]。Sunhui 运用 Malmquist-DEA 方法对基础设施的投资效率进行了实证计算和分析。本文采用的效率值在方法论上更加科学,这是本文的贡献之二。

二、研究模型和方法

本文将基础设施建设的各项投入资源、正面产出、非期望产出(负面产出)放在同一个框架下进行分析,涉及一个多投入多产出模型。传统的计量方法通常只针对单一产出进行分析,故引入数据包络分析法(data envelope analysis,DEA)。Charnes 在 Farrell 提出的模型基础上,提出了基于多投入多产出的效率评估 DEA-CCR 模型,假设有 n 个决策单元,每个单元有 m 种要素投入 x_j ($j=1, \dots, m$),有 s_1 种正面产出 y_j^f ($j=1, 2, \dots, s_1$),其中 $x_j \geq 0, y_j^f \geq 0$,并引入松弛变量 s^- 和 s^+ ,决策单元 σ 的相对效率有如下 DEA-CCR 测度评价模型^{[15][16]}:

$$\begin{cases} \min \sigma (0 < \sigma \leq 1) \\ \sum_{j=1}^m x_j \lambda_j + s^- = \theta x_j & (j=1, 2, \dots, m) \\ \sum_{j=1}^{s_1} y_j^f \lambda_j - s^+ = y_j & (j=1, 2, \dots, s_1) \\ \lambda \geq 0, s^+ \geq 0, s^- \geq 0 \end{cases}$$

式中 λ_i 为各个决策单元在某一指标上的权重变量,CCR 模型假设决策单元为固定规模收益

(constant returns to scale)情况下得到的,用此模型得到决策单元的综合效率。在 CCR 模型的基础上,引入本文所考虑的非期望产出,按照 Scheel 的思路,将非期望产出按照最小化原则转换成投入进行规划^[17],模型如下:

$$\begin{cases} \min_{\theta, \lambda} \theta (0 < \theta \leq 1) \\ \text{s. t. } \sum_{j=1}^m \lambda_j x_j \leq \theta x_i; & \sum_{j=1}^{s_2} \lambda_j y_j^b \leq \theta y_i^b; & \sum_{j=1}^{s_1} \lambda_j y_j^g \leq \theta y_i^g \\ \lambda_j \geq 0; & \theta \leq 1 \end{cases} \quad (1)$$

其中 θ 为要计算的效率值,当 $\theta=1$ 时,该决策单元有效,仍然有 m 种投入, s_1 种正面产出, s_2 种非期望产出为 y_j^b , λ_j 为附加的权重。由于传统的 CCR 模型是将非期望产出作为投入的一项并使其最小化来处理,此处理方法具有强制性。CCR 模型中产出的有效前沿面平行于 X 轴或 Y 轴,具有径向(radial)的特征, Tone 据此提出 SBM 模型来解决松弛测度问题^[18]。本文假设有 m 种投入,产出有 s 种,其中有 s_1 种正面产出和 s_2 种非期望产出:

$$\begin{cases} \text{Min}_{\lambda, s^-, s^g, s^b} \rho = \frac{1 - \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m s_i^- / x_i}{1 + \frac{1}{s_1 + s_2} (\sum_{i=1}^{s_1} s_i^g / y_i^g + \sum_{i=1}^{s_2} s_i^b / y_i^b)} \\ \text{s. t. } x_0 = X\lambda + s^-, & y_0^g = Y^g\lambda - s^g, & y_0^b = Y^b\lambda + s^b \\ \lambda \geq 0, & s^- \geq 0, & s^g \geq 0, & s^b \geq 0 \end{cases} \quad (2)$$

其中 s^- 代表投入过剩, s^g 代表正面产出不足, s^b 代表非期望产出过剩。按照前面相似的论述,当 $\rho=1$, s^- 、 s^g 和 s^b 都为 0 时,该目标方程满足 s^- 、 s^g 和 s^b 单调递增,目标值满足 $0 < \rho \leq 1$,该决策单元是有效的。

在本文后续的测度部分,引入正面产出和非期望产出,同时使用 CCR 模型和 SBM 模型来进行比较测度。由于 SBM 模型引入了非期望产出,通常其效率值小于 CCR 模型测定的效率值。仅当基础的 CCR 模型效率值为 1(即有效率)时,两者才相等^{[19] (P56-63)}。这说明 SBM 模型考虑了所有的无效率测度,而 CCR 模型仅考虑了纯粹的技术无效率。在随后的测度中,本文依然报告 CCR 模型结果对比两者在实证分析上的差异。

三、指标体系构建与说明

本文对于基础设施资源利用的测度分为三步:

第一步,明确决策单元,每个决策对象具有相同的投入和产出指标,本文的决策单元为中国的 30 个独立省级行政单位。

第二步,确定 DEA 评价指标体系。其一,设置投入指标。对于基础设施定义的内容,主要涵盖电力燃气以及水的生产和供应、交通运输、仓储及邮政、水利、环境和公共设施管理(这里包含了以基础设施为基础的公共服务内容)。一方面,基础设施的建设需要投入一定的资本和劳动力才能建设道路桥梁等。另一方面,按照 Boarnet 的思路,假设一区域增加基础设施资本存量,将引致此区域劳动和资本要素价格的上升。在这两项要素可自由流动的情况下,要素价格差异将引致劳动力和资本的流入,并使得产出增加快于要素流出区域^[20]。据此理论,资本和劳动力作为基础设施的直接投入品和产出增加的诱发因素,应当列入投入的指标。因此,本文设定的投入指标有:基础设施的资本投入、基础设施建设及应用的劳动力投入。其二,设置正面产出指标。基础设施对于经济增长的正面作用主要来源于两个不同方面。第一,基础设施的建设过程中,建造过程中对材料的购置可以直接计入 GDP 的增加值。第二,交通等基础设施的改善能视作空间网络化,能有效强化各区域间的经济活动的集散与扩散,加速生产要素的流动和区域贸易,从而影响产业布局,对区域经济增长有溢出效应。正如 Yilmaz 的研究证实,在传统生产函数中加入邻近区域的基础设施,发现存在正溢出效应并对经

济增长有直接作用^[21]。本文选取产出的第一项指标:GDP 的增加值。另一方面,更加便利的基础设施使得成本的降低,会促进区域间的产业集聚或扩散,区域市场规模扩大,会带来市场规模效应,产能的利用效率得到增加。本文选定第二项产出指标:单位地区生产总值能耗变化率。最后设置负面产出指标(非期望产出)。负面影响主要有基础设施建设过程中所产生的对环境直接的负面影响,以及在循环使用基础设施发展经济时对环境产生的积累性质的负面影响。虽然在数据上此过程不可分割,但是我们可以测度负面产出的最终数据。因此,本文选择的负面产出指标为化学需氧量(包括工业废水和生活废水)以及 SO₂ 排放量。

第三步进行实证计算,本文所用数据来自 2011 年《中国统计年鉴》。

四、实证分析

依据 SBM 模型,本文计算了全国 30 个省市 2010 年的效率值。实证结果为例展示在图 1 和图 2 中,效率值的高低用不同颜色深浅标记出来^②。

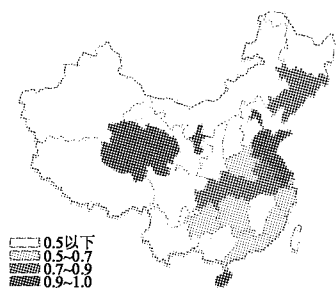


图 1 考虑负面产出的平均效率值

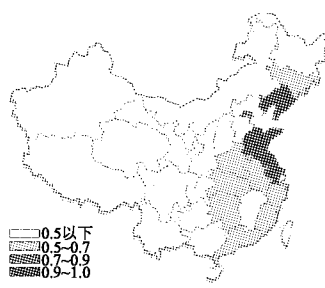


图 2 不考虑负面产出的平均效率值

两图中反差较大的有宁夏、青海、海南、天津这 4 个省、区、市,在考虑负面产出情形下效率值较高(均为 1),而未考虑负面产出情形下效率值骤降分别为 0.38、0.17、0.36 和 0.43,说明其在基础设施的建造中注意对环境保护,在基础设施的使用过程中减排较佳,而 GDP 的增加值方面相对迟缓。从观察数据来看,除海南省外的 3 个省、区、市的单位地区生产总值能耗变化率较大(3 个省、区、市的均值为下降 6.25%),而全国除西藏外下降的均值为 5.24%。总需氧量全国均值为 42.53 万吨,而 4 省、区、市的均值只有 10.87 万吨。SO₂ 排放量全国均值有 73.81 万吨,4 省、区、市的均值只有 17.72 万吨,远低于全国平均水平,此为这 4 个省、区、市考虑了负面产出情况下的效率值与未考虑负面产出的效率值落差大的重要原因。但数据显示除天津外的 3 省、区的基础设施建设投资过少,GDP 增加值也不高,说明这 4 个省份属于经济发展落后情况下的高效率。

表 1 考虑负面产出和未考虑负面产出的部分省份效率值

DMU	考虑负面产出的效率值	未考虑负面产出的效率值
山西	0.09	0.02
黑龙江	0.20	0.16
新疆	0.21	0.09
云南	0.31	0.21

山西、黑龙江、新疆、云南 4 省、区在考虑了和未考虑负面产出情况下的效率值均排在末端(如表 1 所示)。究其原因,4 省、区的基础设施投资(1 369.65 亿元)比全国 30 个省(市)的均值(1 643 亿元)要低,但是其 GDP 增加值均值只有 221.75 亿元,远低于全国 30 个省市的 1 064.78 亿元,而且此 4 省、区的 SO₂ 排放量、总需氧量依然较高,单位地区生产总值能耗下降也较其他省市少,导致此 4 省、区考虑负面产出效率值和未考虑负面产出的效率值双低。黑龙江、新疆、云南的 GDP 增加值较小并非基础设施不完善所致,而可能由于地理或者其他因素所致。山西则是由于处在发展战略调整期,2009 年其全年关闭了大量中小煤矿,导致其支柱产业产量下降所致,其 SO₂ 排放量也是久高不下。

根据经济区域划分的效率值分布如表 2。总体来看东部地区无论是考虑了负面产出的效率值还是未考虑负面产出的效率值都高于其他地区。引人深思的是中部地区的效率值,考虑负面产出的效率值略低于西部,但在未考虑负面产出的效率值却在一定程度上高于西部地区(如表 2 所示)。这说明中部地区在基础设施建设与使用过程中环境保护与节能减排不如东部地区。从原始数据上来看,中部地区对基础设施的投资以及 GDP 的增加量都高于西部,其 SO₂ 的排放、总需氧量也远高于西部,从而其整体的基础设施建设与使用效率基本上与西部持平甚至略低。中部地区的基础设施建设与使用远高于西部整体,但其固有的经济发展方式并未转变,经济发展的污染程度均高于东部和西部。所以,中部地区的基础设施建设尚未与相关发展政策衔接得当,应让中部地区的基础设施建设为经济转型作出更好的贡献。

在全国的数据中,依然无法确定低效生产省份(图 1 和图 2 中白色标记的省份低于 0.5)的具体原因。以 2010 年的数据为例,将 SBM 模型中负面产出与正面产出的比调整为 0.3:1, 3:1, 10:1, 以观察负面产出变化对效率值的影响,如表 3 所示。

表 2 东中西区域的效率值分布表

区域划分效率值类别	东部	中部	西部
考虑负面产出的效率值	0.76	0.52	0.55
未考虑负面产出的效率值	0.63	0.44	0.29

表 3 2010 年不同权重下的效率变化表
权重为:负面产出/正面产出

负面产出与正面产出权重比地区	0.3:1	1:1	3:1	10:1
山西	0.17	0.09	0.06	0.05
贵州	0.6	0.6	0.57	0.53
甘肃	0.4	0.4	0.4	0.39
新疆	0.23	0.21	0.16	0.14

提高了负面产出权重后的情况有两种:对于没有变化的省份,其生产无效(效率值低于 0.5)的原因可以归结为正面产出不足。从变化的数值发现山西、贵州、甘肃、新疆 4 省、区的效率值均随负面产出权重的提高而降低,可见主要源于过多的负面产出。比较明显的是山西和新疆,其效率值未处于平均水平以上,部分原因是 GDP 的产出过小,更大程度上归结为基础设施在建造和使用过程中对于环境造成了一定的破坏(例如山西的煤矿污染很严重),拉低了效率值。这也说明地方政府在 GDP 为单一考核机制下,所产生的负面产出已经开始影响其综合的经济效益。

五、结论

(一)东、中、西部地区基础设施建设与利用的效率依次递减

总体的实证结果表明(表 2 所示),东部地区的效率值最大,中部地区其次,西部地区的效率值最小。东部地区的基础设施在经济增长方面发挥了较大作用,注重环境保护。中部地区在两个模型结果效率值变化较大,说明中部地区的基础设施建设与使用强于西部整体,但其固有的经济发展方式尚未转变,经济发展的污染程度既高于东部也高于西部。地理位置较偏的西部地区,基础设施对于经济发展的正向作用较小,环境方面的负面产出高于中部和东部。

(二)部分省份的负面产出拉低基础设施建设与利用的效率

在改变负面产出与正面产出的权重比后,山西、贵州、甘肃、新疆的效率值随着负面产出权重的提高而降低(表 3 所示),其负面产出对其效率值有较大影响,尤其是山西和新疆基础设施对于环境的影响拉低了整体效率。

(三)部分省份基础设施建设与利用存在“低水平”的高效率的情况

宁夏、青海、海南 3 省、区基础设施建设与利用对经济发展的影响的正向贡献不足(图 1、图 2 所示),若考虑环境方面影响,此 3 省、区的基础设施的建设与利用的效率很高,即相比于其他省份,其基础设施建设与利用对经济发展影响的正向贡献不足,表现出基础设施的建设与利用相对处于“低水平”状态,但非期望产出也明显低于其他省份,说明具有“低水平”的高效率。

(四)部分省份基础设施建设与利用存在“完全低效率”的情况

山西、黑龙江、新疆、云南 4 省、区在考虑负面产出和未考虑负面产出的效率值均是排在全国的尾

部(表 1 所示),称之为“完全低效率”。其基础设施投入较多,且整体利用效率有待提高。由此可以看出此 4 省、区的基础设施建设对经济发展贡献的正向产出作用不明显,对基础设施建设与利用方面的资源环境因素考虑也有所欠缺。

注释:

① 据中国统计局数据,2010 年时速超过 200 公里以上的高速铁路在建规模已经超过 1 万公里,2012 年营业里程将达到 1.2 万公里;公路里程从 127.80 万公里增加到 373.02 万公里;内河航道里程居世界第一位;发电量已从 117 万亿千瓦时,增加到 347 万亿千瓦时,达到美国的 84.4%。

② 限于篇幅,SBM 与 CCR 模型测算结果表未予报告,感兴趣的读者可向作者索取。

参考文献:

- [1] 傅勇,张晏. 中国式分权与财政支出结构偏向:为增长而竞争的代价[J]. 管理世界,2007,(3):4-12.
- [2] 陈银娥,刑乃千,师文明. 农村基础设施投资对农民收入的影响——基于动态面板数据模型的经验研究[J]. 中南财经政法大学学报,2012,(1):97-103.
- [3] 王世磊,张军. 中国地方官员为什么要改善基础设施? ——一个关于官员激励机制的模型[J]. 经济学季刊,2008,(7):383-398
- [4] Barro,R. J. Government Spending in a Simple Model of Endogenous Growth[J]. Journal of Political Economy, 1990,98(5):103-125.
- [5] 娄洪. 长期经济增长中的公共投资政策——包含一般拥挤性公共基础设施资本存量的动态经济增长模型[J]. 经济研究,2004,(3):10-19.
- [6] Arrken, B. J., Harrison, A. E. Do Domestic Firms Benefit from Foreign Direct Investment? Evidence from Venezuela[J]. American Economic Review, 1999,89(3):605-618.
- [7] Jeffery C. P, Catherine M P. Public Infrastructure Investment, Interstate Spatial Spillovers, and Manufacturing Costs[J]. Review of Economics and Statistics, 2004,(86):551-560.
- [8] Chehade F H, Shahrour I. Numerical Analysis of the Interaction between Twin-tunnels, Influence of Relative Position and Construction Procedure[J]. Tunneling and Underground Space Technology, 2008,(23):210-214.
- [9] Chiang H L, Hu C S, Chen S Y, et al. Emission Factors and Characteristics of Criteria Pollutants and Volatile Organic Compounds in a Freeway Tunnel Study[J]. Science of the Total Environment, 2007,(381):200-211.
- [10] Peter N, Rainer S, Manfred Wiebel. Distributional Effects of FDI: How the Interaction of FDI and Economic Policy Effects Poor Households in Bolivia [J]. Development Policy Review, 2007,(25):429-450.
- [11] Mani, M., Wheeler, D. In Search of Pollution Havens? Dirty Industry in the World Economy, 1960-1995 [J]. Journal of Environment and Development, 1998,7(3):215-247.
- [12] 王任飞,王进杰. 基础设施与中国经济增长:基于 VAR 方法的研究[J]. 世界经济,2007,(3):13-21.
- [13] Jeffery C P, Catherine M P. The Impacts of Transportation Infrastructure on Property Values: A High Order Spatial Econometrics Approach[J]. Journal of Regional Science, 2007,(3):457-478.
- [14] Mastromar Co C, Woitek U. Public Infrastructure Investment and Efficiency in Italian Regions[J]. Journal of Productivity Analysis, 2006,25(4):57-65.
- [15] Charnes, A., Cooper, W. W., Rhodes, E. . Measuring the Efficiency of Decision Making Units[J]. European Journal of Operational Research 1978,(2):429-444.
- [16] 李志辉,王文宏. 提升中国上市商业银行经营效率之见解[J]. 现代财经,2011,(4):36-42.
- [17] Scheel, H. . Undesirable Outputs in Efficiency Valuations[J]. European Journal of Operational Research 2001(132),400-410.
- [18] Cook, W. D., Hababou, M., Tuenter, H. Multicomponent Efficiency Measurement and Shared Inputs in Data Envelopment Analysis[J]. Journal of Productivity Analysis 2000,(14):209-224.
- [19] Cooper W W, Seiford L M, Zhu J. Handbook on Data Envelopment Analysis[M]. Norwell; Kluwer Academic Publishers, 2004.
- [20] Boarnet, Marlon G. Spillovers and Locational Effects of Public Infrastructure[J]. Journal of Regional Science, 1998,(36):29-43.
- [21] Yilmaz, Serdar. Geographic and Network Neighbors, Spillover Effects of Telecommunications Infrastructure [J]. Journal of Regional Science, 2002,(42):98-123.

(责任编辑:肖加元)