

## 基于 DEA 方法评估中国小学教育的效率：以陕西省为例

李强          刘承芳          张林秀

## 1 前言

中小学教育是国民的基础教育，是提高全民族素质的基础手段，是我国教育体系中的一个重要环节，在我国的教育体系中居于重要地位。目前，我国的中小学教育属于义务教育阶段，它的发展主要依靠国家的公共财政支持，而我国政府也重视对教育的投资，希望把教育事业办好，充分发挥各个学校应有的作用。但目前的现实情况是，有的学校效率高，有的学校效率很低，参差不齐。由于我国还是发展中国家，人口基数大，人口增长快，总体上教育资源相对缺乏，农村的基础教育更是普遍面临教育经费短缺的问题，而且各个地区的教育资源存在很大的不平衡。教育需要人力、财力和物力的投入，如何充分、合理利用有限的教育资源，提高学校的办学效率，让每个孩子都能上学，都能上好学，培养出优秀的下一代具有极其紧迫的现实意义。

2001 年国务院发布《关于基础教育改革与发展的决定》，提出要因地制宜调整农村义务教育学校布局。从 2001 年起农村中小学布局调整在全国范围内大规模地广泛展开，各地按照小学就近入学、初中相对集中、优化教育资源配置的原则，规划和调整学校布局，对农村的部分中小学进行合并，并集中力量改善了一批乡镇中心学校的办学条件，希望使合并后的中心学校能实现规模效益。但是，学校合并能否现实资源合理利用和带来规模效益？目前还没有人进行实证研究。因此，通过对目前学校的效率进行评估一方面可以了解学校对资源的利用状况，另一方面可以为学校管理者未来对资源的进一步合理利用、提高资源的利用效率提供依据和决策参考。

效率是衡量投入和产出之间关系的指标，简单说就是将投入转换成产出的程度。给定一定的资源和投入，来达到最大的产出；或者给定产出，使投入的成本或资源最少就为有效。对于学校的效率，特别是中小学的效率，一般是指给定学校所获得的教育资源，用学生的升学率和学生的学习成绩的高低来衡量其效率的高低。一般文献上的做法是根据学校的实际的投入和产出的数据，利用参数或者非参数的方法来估计学校的效率。传统的方法一般采用前一种参数估计的方法，通过建立一种投入产出的函数关系，或者以固定的投入和产出比率来衡量效率。但是这种方法很难衡量学校的效率。

由于学校是一个公共服务部门，是非营利的组织，属于一种多投入多产出的经营方式。不同的学校，无论是在产出方面还是在投入方面都存在很大差异。我们无法事先确定生产前沿的确切的形式，为了避免函数形式的设定错误，因此，我们这里将采用目前非参数方法中的数据包络分析方法(Data Envelopment Analysis, DEA)来估计学校的效率。

数据包络分析方法(DEA)的基本思想是把每个学校看作一个多投入多产出的生产单元，通过构造一个前沿生产函数（效率前沿）来衡量各个学校的相对效率，通过衡量各个生产单

元到前沿的距离来作为各个学校的效率得分。如果我们观察到生产单元在前沿面上，则效率得分为 1，而在前沿面下面的点的得分小于 1，具体效率得分根据具体的相对位置来确定。

利用 DEA 方法不需要预先知道函数关系的特性，可以避免对学校评估时不知道投入和产出之间的关系困难，而且通过 DEA 方法还可以了解不同学校的经营效率的状况以及资源的利用效率等情况，并且可以提供学校未来修正和改进的依据和方向。

综上所述，本研究将以陕西省农村小学教育为例，利用 DEA 方法来探讨学校教育资源是否合理有效利用，并对 DEA 评估结果的稳健性进行检验，以及评价学校合并是否能提高学校的效率。因此，本文的具体目标是：1、通过相对效率和不同模型的评估结果的分析，为学校的经营者提供资源利用的建议；2、利用统计学的方法，对不同的模型的结果的稳健性进行检验；3、利用学校合并的信息，分析学校合并对学校效率的影响。

本文的内容安排如下：第二部分简要回顾以往利用 DEA 方法对学校效率的研究。第三部分对 DEA 方法的本质进行介绍。第四部分介绍小学教育效率分析框架，并介绍本文所采用的数据和模型。第五部分介绍 DEA 分析的结果，首先描述各小学的效率得分情况，然后用 Jackknifing 对不同 DEA 模型的效率得分的稳定性进行研究。第六部分比较分析合并过的学校与未合并过的学校之间是否存在效率差异。最后是结论。

## 2 国内外文献研究

目前国外对学校或教育机构效率进行评估有许多研究，研究的对象包括小学、初中、大学以及一些教育机构。如 Jesson, Mayston, and Smith (1987) 利用 DEA 方法评估了英国 96 个地方教育局的行政效率。他们的研究表明其中有 32 个行政单位达到了相对效率 (Jesson, Mayston and Smith 1987)。Mayston and Jesson (1988) 分别用 DEA 法与回归分析法对伦敦地方教育局进行绩效评估，并将两种方法的分析结果进行比较，发现二者的绩效排名明显具有差异性 (Mayston and Jesson 1988)。

应用 DEA 分析初等学校教育效率的研究的文献很多。Bradley, Johnes and Millington (2001) 的文章中对以往用 DEA 方法分析小学和初中效率的研究进行总结。这些研究可以分为两类研究，一是只利用 DEA 对学校的效率进行评估 (Bessent and Bessent 1980; Bessent et al. 1982; Thanassoulis and Dunstan 1994)，另一类是采用两阶段分析法来研究学校的效率，第一阶段用 DEA 分析学校的效率，第二阶段采用回归分析的方法分析决定学校效率高低的因素 (Ray 1991; Lovell, Walters and Wood 1994; Anderson, Walberg and Weinstein 1998; Kirjavainen and Loikkanen 1998; Mancebon and Mar Molinero 1998; Bradley, Johnes and Millington 2001; Afonso and St. Aubyn 2006)。如 Bessent et al. (1982) 用 DEA 方法对休斯顿独立校区的 167 所小学进行研究。他们用基本技能标准化测验的成绩作为产出。投入则包括两部分，一部分是学生的与学习成绩高度相关的特征，另一部分是学校的资源投入等七项，共计 12 项投入资源 (Bessent, Bessent, Kennington et al. 1982)。Kirjavainen and Loikkanen (1998) 则采用 DEA 与 Tobit 统计分析方法，探讨了芬兰 291 所高中学校的办学效率。该研究采用了四种模型，并用 Jackknifing 方法检验 DEA 得分结果的稳健性。他们的 DEA 模型包括以下投入要素：每周教学时数、每周非教学时数、教师经验、教师学历及学生入学水

平；包括以下产出要素：学生升级人数、毕业人数、大学入学考试必考科目成绩及大学入学考试选考科目成绩。他们的研究表明，样本高中的平均效率为 82-84%，最大值与最小值分别为 100% 与 41%。有意思的是，当他们把家长的受教育程度作为投入因素添加到模型中时，第四个模型的平均效率增加到 91%。

国外不仅用 DEA 方法研究初等教育的效率，同样也研究一些国家高等教育的效率，如对澳大利亚(Coelli 1994; Avkiran 2001; Audibert, Mathonnat and Henry 2003)，美国(Ahn, Charnes and Cooper 1988; Robst 2001)，英国(Izadi et al. 2002)等国家的研究。这些研究分别以学校单元、学术单元和非学术单元进行，有的研究大学的整体效率，有的研究学术产出效率，有的研究管理效率。

虽然国内目前利用 DEA 方法来评估效率的文献有很多，但是用 DEA 方法来评价学校效率的研究相对较少，而且主要是集中在对高等院校效率的评价。国内学者有的从学校层面，有的则从院系的角度分别进行效率评估(刘亚荣 2001; 查勇 and 梁樑 2004; 陆根书 et al. 2005; 漆莉莉 and 杨君 2006; 陆根书 and 刘蕾 2006b; 陆根书 and 刘蕾 2006a)。谢友才和胡汉辉(2006)对我国研究生教育的效率进行了分析(谢友才 and 胡汉辉 2006)。但是目前对于小学和初中的效率研究几乎没有。另外，现有的关于学校效率的研究只是对学校 and 科研机构的效率进行评估，很少进一步讨论效率平均结果的稳定性。据作者所知，只有庞瑞芝(2006)在研究城市医院的效率时曾经对不同模型结果的稳健性进行检验(庞瑞芝 2006)。

有鉴于此，本研究不仅对我国西部地区小学教育的效率进行评价，而且将采用不同的方法对不同模型的稳健性进行检验，以填补这一研究领域的空白。

### 3 DEA 模型方法介绍

DEA方法是由Charnes、Cooper and Rhodes (1978)等学者在“相对效率评价”概念的基础上提出来的，DEA是一种新的系统分析方法(Farrell 1957; Charnes, Cooper and Rhodes 1978)。Charnes、Cooper and Rhodes (1978)根据Farrell (1957)的非参数生产前沿理论，在固定规模报酬条件下，建立一个规划模型来衡量多投入和多产出决策单元(Decision Making Units, DMU)的相对生产效率。在应用方面，Charnes、Cooper and Rhodes把最初的分数规划转为线性规划，并引入对偶定理使规划模型具有经济意义。后来的研究人员将三位学者最初建立的DEA模型以他们的姓氏缩写命名，称为“CCR”模型。DEA方法属于运筹学所研究的领域，是一种非参数方法，它主要采用数学规划方法，利用观察到的有效样本数据，计算给定决策单元的效率前沿，进而衡量决策单元的相对有效性。组成效率前沿的决策单元所形成的曲线所包围的区域将相对无效率的决策单元包络在内，各个决策单元的相对效率在 $[0, 1]$ 区间内分布，处于效率前沿决策单元的效率值为1。<sup>1</sup>DEA方法不仅可以计算同一决策单元的效率得分<sup>2</sup>，按照效率得分的大小对决策单元进行排序，而且可以分析决策单元资源配置

<sup>1</sup> 所谓相对效率是指利用数学技巧将被评估的DMU区分未有效率及无效率两种，有效率的DMU是指能以最适当的投入和产出组合形成的前沿面。而无效率的DMU则是以本身与效率前沿的相对位置来衡量出无效率的程度，其所区分出的有效率及无效率的概念，只是代表被评估的DMU的相对关系，一旦DMU的组成的单元发生改变，相对效率程度也会跟着变动，因此，称为相对效率。

<sup>2</sup>效率得分 (efficiency score) 是衡量一个决策单元的相对效率的指标，是该决策单元的产出加权总和除以

和产出的有效。

自从Charnes, Cooper and Rhodes (1978)提出DEA模型以后, DEA在理论和实践上不断发展, 应用范围日渐广泛。DEA方法目前在实证研究中应用广泛, 如学校、医院、铁路、银行等公共服务部门的运行效率的评估。DEA作为一种新的效率评估方法, 与以前的传统方法相比有很多优点, 主要表现在: ①与随机生产前沿 (SPF)分析方法相比, DEA方法可以用于对具有多投入、多产出的复杂决策单元系统的生产 (或经营) 效率进行评估, 而且还可以避免使用传统方法时由于各指标量纲等的不一致而寻求同度量因素所带来的诸多困难, 而SPF只能解决是单一产出; ②具有很强的客观性。DEA模型中投入、产出变量的权重由数学规划根据数据产生, 不需要事前设定投入与产出的权重, 因此不受人为主观因素的影响, 可避免在权重的分配时评价者的主观意愿对评价结果的影响; ③DEA是一种非参数估计方法, 因此不需要指定投入产出的生产函数形式, 投入产出可以采用隐函数的形式表示, 从而使计算简化, 而SPF则需要事先假定函数的形式。因此, DEA适合像学校、医疗等具有多种投入和多种产出的特点, 具有较复杂生产关系的决策单位的效率的评价。

DEA方法的缺点在于它衡量的生产函数边界是确定性的, 因此它无法分离随机因素和测量误差的影响。同时, 该方法的效率评估容易受到极值的影响, 而且决策单元的效率得分对投入变量和产出变量的选择比较敏感(Coelli, Rao and Battese 1998)。因此, 投入、产出变量的选择对于正确使用DEA方法非常关键。另外值得一提的是, 随着模型中投入和产出变量的增加, 处在效率前沿上的决策单元数目会上升, 因此考察决策单元的效率得分和效率排序对模型设定的敏感性是很重要的, 即要对模型的效率得分进行稳健性检验。目前在DEA研究中通常用Jackknifing方法来检验DEA效率得分是否稳健(Kirjavainen and Loikkanen 1998; Bradley, Johnes and Millington 2001)。

在理论上DEA模型可以从产出导向模式与投入导向模式两个角度来分析。顾名思义, 投入导向模式从投入的角度来探讨效率, 考察在目前的产出水平下, 应使用多少投入方属有效, 其目标函数是给定产出追求投入最小化。如果在相同的投入水平下比较产出的状况, 则称为产出导向模式, 其目标函数是追求产出最大化。有关传统DEA模型更详细的介绍, 请参考Charnes, Cooper and Rhodes(1978); Banker, Charnes and Cooper(1984); Färe, Grosskopf and Lovell (1994)。(Charnes, Cooper and Rhodes 1978; Banker, Charnes and Cooper 1984; Färe, Grosskopf and Lovell 1994)

本研究将采用DEA方法评估陕西省农村小学的效率, 相对而言学校的投入决策比较容易控制。出于这些考虑, 本研究将以投入导向模式作为主要框架。下面以最简单的CCR模型对DEA模型的数学表达式进行介绍。

假设共有 $n$ 个决策单元 (DMU),  $N=1, \dots, n$ ; 每个决策单元DMU  $j$  利用 $m$  种投入去生产 $s$  种产出。分别用投入 $X_j$  和产出 $Y_j$  表示, 则  $X_j = (x_{1j}, x_{2j}, x_{3j}, \dots, x_{mj})$ ,  $Y_j = (y_{1j}, y_{2j}, y_{3j}, \dots, y_{sj})$ 。第 $k$ 个决策单元的技术效率得分可根据下列规划求得,

---

投入加权总和, 所得的最大比率值分。建立的规划模型是以各决策单元的各项投入与产出的权重作为变量, 求出目标函数效率值最大时候的一组权重值。约束方程则是把该组权重带入每个决策单元的效率衡量公式中, 并且使每个决策单元的效率得分均不大于1。这样的求解过程对每一个决策单元做一次, 所以 $n$ 个决策单元就会得到 $n$ 组权重值, 同时也得到各个决策单元的效率得分。

$$\begin{aligned}
& \text{Min} \quad TE_k \\
\text{St:} \quad & \sum_{j=1}^n \lambda_j X_{ij} \leq TE_k X_{ik}, \quad i = 1, 2, \dots, m \\
& \sum_{j=1}^n \lambda_j Y_{rj} \geq Y_{rk}, \quad r = 1, 2, \dots, s \\
& \lambda_j \geq 0; \quad j = 1, 2, \dots, n \\
& \sum_{j=1}^n \lambda_j \leq 1
\end{aligned}$$

通过对上式求解可以得到 $TE_k$ ，即为第 $k$ 个决策单元的技术效率。重复 $n$ 次后，即可得所有决策单元的技术效率得分。

CCR模式是假定生产技术和固定规模报酬（Constant Returns to Scale, CRS）。Banker, Charnes and Cooper（1984）对CCR模型进行发展(Banker, Charnes and Cooper 1984)，把固定规模报酬假设改为非递增规模报酬(Non-increasing Returns to Scale, NIRS)，则在上述的DEA模型的基础上还需要加入另外一个约束条件： $\sum_{j=1}^n \lambda_j \leq 1$ ，则在此假定下非递增规模报酬时的技术效率为 $\theta_k$ 。如果我们把固定规模报酬假设改为可变规模报酬(Variable Returns to Scale, VRS)，则DEA模型约束条件须改为 $\sum_{j=1}^n \lambda_j = 1$ ，则在此假定下得到的效率值***PTE***。

线性规划模型在可变规模报酬（Variable Return to Scale, VRS）条件下得到的效率得分称为纯技术效率。在CRS假设条件下得到的效率得分称为技术效率，它是规模效率与纯技术效率的乘积。因此，可以根据CRS模型和VRS模型来确定规模效率。

## 4 小学教育效率分析框架

### 4.1 数据

本研究将采用作者 2006 年在陕西省开展的农村小学调查所收集的数据。我们在陕西省共调查了 6 个区县 36 个小学。这六个区县分别是：洛南县、绥德县、铜川市印台区、蒲城县、大荔县和咸阳市秦都区。我们的分析主要用到样本小学在 2006 年的信息。

高等院校教育效率的研究中产出因素比较复杂，不但包括学生的就业状况、考试成绩、研究生的数量，而且还包括各种科研产出，如发表的文章、科研项目的多少、科研经费的数量、奖励的成果等。相比之下，研究小学教育的效率时产出相对简单，考核小学的效率主要是从学生的角度，包括升学率、考试成绩等。由于我们 2006 年在陕西所做的调查主要针对小学 5 年级学生，而目前中国小学大部分实行的是六年制，所以我们无法把小学升初中的升学率作为考察指标。因此，本研究中的关键产出数据是学生期末考试的成绩有关，具体来说就是五年级学生语文和数学的期末统考成绩。

### 4.2 DEA 模型和变量

在研究教育生产函数时，通常有两种方式可用于分析学校对学生的影响(Hanushek 1979)。一种是在某一时点考虑学生的家庭背景、学校投入、学生初始能力的累积等因素对学生的影响，另一种则是衡量上述因素在一定时期内的影响。这里我们选择后一种方式进行效率分析，这种方法又被称“学生个体水平教育生产函数的增加值模型” (Kirjavainen and Loikkanent 1998)。

表 1 在 DEA 分析中使用的变量

	模型 1	模型 2	模型 3	模型 4
<b>产出变量</b>				
语文成绩	X	X	X	X
数学成绩	X	X	X	X
<b>投入变量</b>				
贫困学生比例	X	X	X	X
每周语文老师上课时间	X	X	X	X
每周数学老师上课时间	X	X	X	X
数学老师的月工资	X	X	X	X
语文老师的月工资	X	X	X	X
平均教育年限		X	X	X
师生比例			X	X
家长的教育水平				X

增加值模型可以减少数据的需求量。在实际研究中，数据可以是学生个体的数据或者是将学生个体数据加总成学校层面的数据。我们的研究中观测到的决策单元是学校，但成绩是用全校五年级学生语文和数学期末考试的平均分。

由于 DEA 方法不是一个统计学方法，所以不能像统计模型那样进行经典的假设检验。由于没有一个清晰的标准来确定到底那些变量应该进入模型进行 DEA 分析，我们构造了 4 个模型来分析以便于考察或检验结构的稳健性，这 4 个模型从简单到复杂。最简单的模型只包括一些基本的投入和产出变量，然后在模型中逐渐增加投入变量进行分析。这 4 个模型中所包括的投入和产出变量见表 1。事实上，各个模型的产出变量没有发生改变，模型之间的差别主要是在投入变量。

模型 1 是最简单的模型。根据我们的模型，学校是描述学生的成绩与学校教师投入的教学时间、教师工资的生产关系。教师上课的时间用平均每周的课时数表示（一个课时等于 45 分钟）。教师的工资用的是学校老师的平均月工资。

模型 2 增加了教师的教学经验的控制变量，这里用教师的平均教龄来表示。模型 3 中又增加了师生比例变量，用来控制投入的强度。最后在模型 4 中增加了家长的平均教育水平，用来控制学生的社会经济状况。

## 5 模型结果分析

在这部分我们将介绍实证研究的结果。如前所述，我们用了投入导向的 DEA 模型，所以效率得分是小余 1 的数。这样得到的效率得分是用来衡量产出一定的情况下，投入要素可能节约的情况。

我们根据 4 个模型分别计算了在 CRS、NIRS 和 VRS 假设条件下的效率得分。详细结果见附表 1。从图 1 和图 2 可以看出，在 VRS 条件下的效率得分要高于在 CRS 条件下的效率得分。而且，随着 DEA 中投入变量的增加，效率得分有的增加，有的保持不变，但是平均的效率得分是在增加。这一点进一步验证了 Kirjavainen and Loikkanen 的观点，即各学校的效率会因模型的不同（亦即投入与产出项之增加）而有所改变。接下来我们首先对不同 DEA 模型的结果进行描述，然后根据效率得分来考察学校排序的稳定性。

### 5.1 效率得分分布情况：

表 2 提供了 4 个模型在 CRS 和 VRS 假设条件下的效率得分的分布情况。虽然不同模型之间的效率得分是不可比的，但是如果不考虑模型的使用，我们的数据表明不同模型所计算

出来的效率存在差异。从模型效率得分的区间（最小值与最大值）看，对于 CRS 条件下的模型，随着投入变量的增加，得分区间缩小，由 0.23~1.00 变化到 0.25~1.00，但是变化幅度不大。而对于 VRS 条件下得模型，则得分区间的变化相对较大，由模型 1 和 2 的 0.62~1.00，变化到模型 3 的 0.70~1.00，到模型 4 的 0.81~1.00。

表 2 平均效率得分、最低、最高效率、标准差和有效学校的比率

	模型 1		模型 2		模型 3		模型 4	
	CRS_M1	VRS_M1	CRS_M2	VRS_M2	CRS_M3	VRS_M3	CRS_M4	VRS_M4
平均得分	0.79	0.89	0.81	0.89	0.90	0.98	0.91	0.99
最小	0.23	0.62	0.23	0.62	0.23	0.70	0.25	0.81
最大	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
标准差	0.21	0.12	0.19	0.12	0.17	0.07	0.16	0.03
有效学校个数	9	15	11	17	19	29	20	30
总个数	36	36	36	36	36	36	36	36
比率%	0.25	0.42	0.31	0.47	0.53	0.81	0.56	0.83

从表 2 中还可以看出，由模型 1 到模型 2，随着模型中投入变量的增加虽然效率得分的平均值有所增加，但是变化幅度很小。相比之下，从模型 2 到模型 3，效率得分的变化很大。

模型 1 在 CRS 假设条件下的平均效率得分为 0.79，说明在投入资源方面还有 21% (= 1-0.79) 的节省空间可以利用。而随着投入变量增加，模型 2 的平均效率得分增加到 0.81，而模型 3 的平均效率得分为 0.90，只有 10% 的节约空间。模型 1 和模型 2 之间的差异以及模型 3 和模型 4 之间的差异相对较小，而从模型 2 到模型 3 变化很大。另外，从有效率的学校的比率来看，从模型 1 到模型 4，有效率学校的个数不断增加，由模型 1 中的 25% 增加到模型 4 中的 56%。

对于 VRS 假设条件下的模型，可以看到，效率得分的变化较小。与 CRS 条件下的效率得分相比，无论是最小值还是平均的效率得分，VRS 条件下效率得分值都相对较高。但是这 4 个模型的 CRS 和 VRS 结果的平均得分差异变化很小。

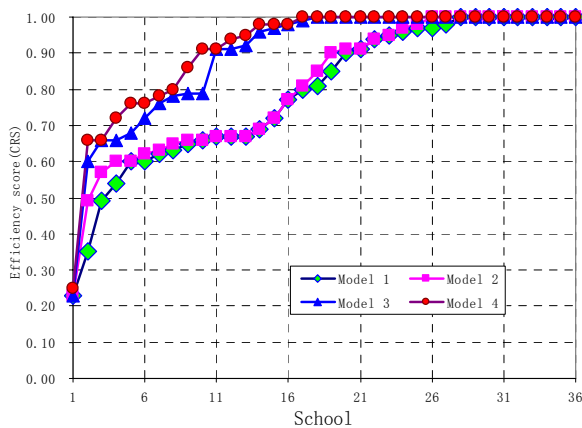


图 1 在 CRS 假设条件下模型 1-4 的效率分布

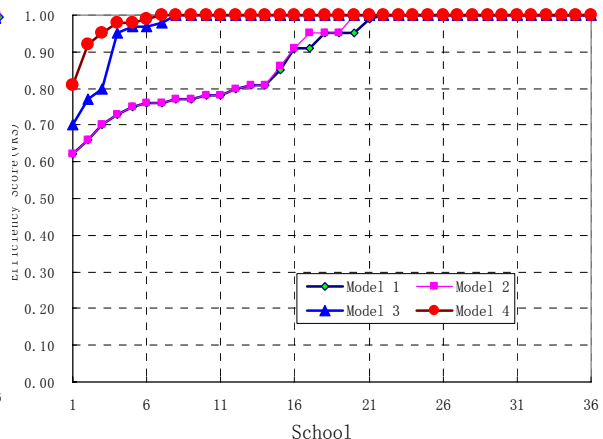


图 2 在 VRS 假设条件下模型 1-4 的效率分布

我们也可以利用图形来比较各模型计算出的效率得分的分布情况。如图 1 和图 2 将样本学校根据每个模型求出的效率得分从低到高排序。图中横轴是学校的次序，纵轴是效率得分。图 1 是在 CRS 假设条件下模型 1—模型 4 的效率分布图。模型 1 和模型 2 的效率得分明显低



于模型 3 和模型 4 的效率得分, 模型 3 是增加控制了学校资源利用强度变量。而模型 1 和模型 2、模型 3 和模型 4 的效率得分比较接近, 模型 4 是增加了学生的社会经济背景变量, 可以看出对效率分布没有太大的影响。

图 2 是在 CRS 假设条件下模型 1—模型 4 的效率得分分布图。在图 2 中我们可以看到与图 1 相似的变动趋势。但是从图 2 中可以看出, VRS 的效率得分要高于图 1 中 CRS 的效率得分。

## 5.2 DEA 效率得分的稳定性检验

上文提到有很多因素可能影响 DEA 结果的稳定性。首先, 异常点的存在会影响效率得分。因此, 剔除异常值能改变整个效率得分、平均效率得分及其排序情况。其次, 使用不同的投入和产出变量也会影响每个学校的效率得分和排序(Coelli, Rao and Battese 1998)。由于 DEA 是一种线性规划的方法, 无法直接进行各种统计学检验, 所以我们通过以下两个方法来检验 DEA 效率得分结果的稳健性。

### A. 刀切法 (Jackknifing method):

我们用刀切法分析是否存在一些影响生产前沿和效率得分的异常值。简单地说, 这里的刀切法就是每次删除一个有效率的学校, 然后再进行 DEA 分析, 由此检验 DEA 结果的稳健性。以模型 1 为例, 在 CRS 条件下存在 9 个有效率的学校, 按照刀切法我们必须逐个删除这 9 个有效率的学校, 分别做 9 次额外的 DEA 分析。然后把包含所有学校的模型的排序与剔除一个有效学校的模型的排序进行斯皮尔曼秩相关系数 (Spearman Rank Correlation Coefficient) 检验, 得到 9 个斯皮尔曼秩相关系数值。同时, 还计算每次额外 DEA 分析的效率得分的平均效率 (共 9 个平均效率得分), 然后计算这 9 个平均效率得分的标准差。刀切法的分析结果见表 3。

从表 3 可以看出, 再考虑了异常值对效率前沿的影响的情况下, 斯皮尔曼秩相关系数值很高, 这表明学校排序是相对稳定的。在 CRS 模型条件下, 模型 2 中的相关系数的变化最小 (0.92~1.00), 而模型 3 的相关系数的变化最大 (0.86~1.00)。在 CRS 假设条件下, 结果类似, 模型 2 的结果变化最小, 而模型 3 的结果变化最大。

随着投入变量的增加, DEA 的效率得分看上去更稳定。在 CRS 假设条件下, 只有模型 1 的平均效率得分和迭代效率得分的平均值之间存在些许差异。但是如果对均值差异进行 T 检验, 我们发现所有模型在平均效率得分和迭代效率得分的平均值之间在统计上不存在显著差异。同样对于 VRS 模型也如此。另外, 随着模型中投入变量的增加, 迭代效率得分的平均值的标准差逐渐减小。

表 3 DEA 分析效率得分的稳健性分析

		有效率学校的个数	斯皮尔曼秩相关系数		平均效率得分	迭代的效率得分的平均值	效率得分的标准误差
			最小值	最大值			
模型 1	CRS	9	0.89	1.00	0.79	0.80	0.0131
	VRS	15	0.89	1.00	0.89	0.89	0.0103
模型 2	CRS	11	0.92	1.00	0.81	0.81	0.0113
	VRS	17	0.90	1.00	0.89	0.89	0.0093
模型 3	CRS	19	0.86	1.00	0.90	0.90	0.0054
	VRS	29	0.87	1.00	0.98	0.98	0.0014
模型 4	CRS	20	0.87	1.00	0.91	0.91	0.0044
	VRS	30	0.83	1.00	0.99	0.99	0.0010



## B. 不同模型学校效率排序的稳健性。

模型变量的改变也会影响效率得分，从而影响到学校的效率排序。为了检验学校效率排序的稳健性，我们计算了所有模型之间的斯皮尔曼秩相关系数（表 4）。

我们的数据显示，在 CRS 假设下，模型 1 和模型 2 的效率排序的相关系数为 0.9772，意味着这两个模型之间的效率得分排序的差异很小（斯皮尔曼秩相关系数=1 表示两个排序完全相同）。而模型 2 和模型 3 之间的斯皮尔曼秩相关系数只有 0.7998，存在一定差异。模型 3 和模型 4 之间的相关系数很高，说明差异很小。对于 VRS 假设下的情况也是如此。有趣的是，VRS 假设下的相关系数比 CRS 假设下的相关系数小，说明模型中选择的投入变量对效率的得分排序有一定的影响。

表 4 模型 1—模型 4 之间的斯皮尔曼秩相关系数

	模型 1		模型 2		模型 3	
模型 2	0.9772	(CRS)				
	0.9720	(VRS)				
模型 3	0.7948	(CRS)	0.7998	(CRS)		
	0.5623	(VRS)	0.5725	(VRS)		
模型 4	0.7763	(CRS)	0.7778	(CRS)	0.9756	(CRS)
	0.5220	(VRS)	0.5315	(VRS)	0.9202	(VRS)

## 6 不同模型的规模效率比较

如上所述，通过DEA的CRS模型可以求出技术效率 $TE_{CRS}$ ，而通过DEA的VRS模型可以求出纯技术效率 $PTE_{VRS}$ ，DEA的NIRS模型可以求出技术效率 $TE_{NIRS}$ 。又因为 $TE_{CRS} = SE \times PTE_{VRS}$ ，即技术效率等于规模效率 $\times$ 纯技术效率，所以可以求出模型的规模效率（SE）。另外，根据NIRS模型求出技术效率 $TE_{NIRS}$ ，可以用以判断每个学校是处于那个发展阶段，如果某个学校的 $TE_{NIRS} = PTE_{VRS}$ ，则该学校处于规模报酬递减阶段（DRS）；如果某学校的 $TE_{NIRS} \neq PTE_{VRS}$ ，则该学校处于规模报酬递增阶段（IRS）。表 5 列出了对不同模型计算的学校效率的统计的情况（详细的结果见附表 1）。

表 5 不同模型的效率比较

项目	模型 1		模型 2		模型 3		模型 4	
	个	%	个	%	个	%	个	%
1、技术效率（TE）								
1.1 TE=1 的小学数	9	25	11	31	19	53	20	56
1.2 TE<1 的小学数	27	75	25	69	17	47	16	44
2、纯技术效率（PTE）								
2.1 PTE=1 的小学数	15	42	17	47	29	81	30	83
2.2 PTE<1 的小学数	21	58	19	53	7	19	6	17
3、规模效率（SE）								
3.1 SE=1 的小学数	13	36	15	42	19	53	21	58
3.2 SE<1 的小学数	23	64	21	58	17	47	15	42

模型 1 的结果显示, 36 所样本小学中有 25% 即 9 所小学是 CRS 有效的, 有 42% 即 15 所学校是 VRS 有效的, 有 36% 即 13 所学校是规模有效的。技术效率 (TE) 的平均值为 0.79, 纯技术效率 (PTE) 的平均数为 0.89, 而平均规模效率 (SE) 为 0.89。这说明, 大多数的学校处于相对“有效”的状态。需要指出的是, 我们并不能因此说这些相对有效的学校是有生产力的, 因为 DEA 计算的效率是一种相对效率的概念, 只能表明在样本数据中这些学校是相对有效的。从规模效率 (SE) 来看, 有 9 所小学为 CRS 有效 (即 DEA 有效率 TE), 20 所小学是处于规模收益递增阶段, 只有 7 所小学是处于规模收益递减阶段。这说明处于规模收益递增阶段的 23 所学校在规模上还有很大的潜力。在 27 所非 CRS 有效的小学校, 有 6 所小学为 VRS 有效, 即纯技术效率为 1, 说明这些学校的 DEA 非有效率的主要原因是规模效率非有效。这 6 个学校中有 1 个学校是处于规模收益递减阶段 (DRS), 5 个学校处于规模收益递增阶段 (IRS)。对于处于规模收益递增阶段的学校, 应当适当扩大其教育的规模, 而处于规模收益递减阶段的学校应当减少其规模。有 17 所学校的纯技术效率和规模效率都不等于 1, 说明这些学校 DEA 无效的主要原因既包括教师的教学能力和学校的管理水平不高或者说纯技术效率低, 又包括学校的教学规模不适当造成的。在这 17 所学校中, 有 2 所处于规模报酬递减阶段, 说明这些学校可以通过减少学校规模来提高学校的投入产出比率; 其余 15 所学校处于规模报酬递增阶段, 说明这些学校可以通过适当提高学校的规模来提高生产效率 (表 2 和附表 1)。

模型 2 的结果表明, 有 31% 的小学是 CRS 有效的, 有 47% 的学校是 VRS 有效的。纯技术效率的平均数为 0.89, 规模的平均效率为 0.90。从规模效率 (SE) 来看, 有 11 所小学为 CRS 有效, 25 所小学为非 CRS 有效的学校 (其中 6 所小学为 VRS 有效的)。在 25 所非 CRS 有效的学校中, 18 所小学处于规模收益递增阶段, 只有 7 所小学处于规模收益递减阶段。

模型 3 的结果表明, 有 53% 的小学是 CRS 有效的, 有 9% 的学校是 VRS 有效的。纯技术效率的平均数为 0.98, 规模的平均效率为 0.92。从规模效率 (SE) 来看, 有 19 所小学为 CRS 有效, 17 所小学为非 CRS 有效的学校 (其中 10 所小学为 VRS 有效的)。在 17 所非 CRS 有效的小学中, 16 所小学处于规模收益递增阶段, 只有 1 所小学处于规模收益递减阶段。

模型 4 的结果表明, 有 56% 的小学是 CRS 有效的, 有 83% 的学校是 VRS 有效的。纯技术效率的平均数为 0.99, 规模的平均效率为 0.92。从规模效率 (SE) 来看, 有 20 所小学为 CRS 有效, 16 所小学为非 CRS 有效的学校 (其中 10 所小学为 VRS 有效的)。在 16 所非 CRS 有效的小学中, 15 所小学处于规模收益递增阶段, 只有 1 所小学处于规模收益递减阶段。

表 6 合并学校的效率比较

		模型 1	模型 2	模型 3	模型 4
1、技术效率 (TE)	未合并	0.77	0.79	0.85	0.88
	合并	0.81	0.82	0.94*	0.95*
2、纯技术效率(PTE)	未合并	0.90	0.90	0.96	0.98
	合并	0.88	0.88	0.99	1.00
3、规模效率 (SE)	未合并	0.85	0.87	0.88	0.88
	合并	0.92*	0.93	0.95*	0.95*

我们的调查中有这所小学是否合并过的信息, 表 6 比较了合并过的学校与未合并过的学

校的效率。结果表明,从技术效率看(TE),所有模型的结果都显示合并的学校的效率高于没有合并过的学校。T-检验的结果表明,在模型3和模型4中,合并过的学校的效率在10%的水平上显著高于未合并过的学校。规模效率(SE)也是如此,所有的模型结构都显示合并过的学校的规模效率高于未合并过的学校。T-检验的结果表明,发现除了模型2以外,在其它3个模型中,合并过的学校的规模效率在10%的水平上显著高于未合并过的学校。而对于纯技术效率(PTE),在模型1和模型2中,未合并过的学校的纯技术效率高于合并过的学校,而模型3和模型4的情况刚好相反,即合并的学校的纯技术效率高于没有合并的,但是纯技术效率上的差异在统计上并不显著。

## 6 结论

本文利用最新的小学调查数据,采用DEA的方法对陕西省内小学的教育效率进行分析。由于DEA效率评估方法可能会受到异常值或模型中选择的投入和产出变量的影响,我们还对DEA分析结果进行了稳健性检验。本文的主要研究结论如下:

1. 由于DEA方法是一种非参数的方法,无法用经典的统计方法进行检验。本文采用Jackknifing方法对DEA效率得分的结果进行斯皮尔曼相关系数检验。检验结果表明我们所建立的DEA模型的效率得分不受异常值的影响,即我们的研究结果是稳健的。

而从模型投入变量的选择看,模型1和模型2之间、模型3和模型4之间的差别较小,这说明增加投入变量对效率得分并没有显著的影响。但是从模型2到模型3,增加变量会影响效率得分的大小和排序。可以看出,学校排序的效率得分依赖于包含在DEA分析中的投入变量。

2. 从小学效率的分析结果得知,陕西省的大多数小学处于相对“有效”状态。我们的数据还显示,无论采用那种模型,目前只有极少数学校处于规模报酬递减阶段(DRS),大部分学校还是处于规模报酬递增阶段(IRS)或者规模报酬不变阶段(CRS)。因此,对于那些还没有达到规模效率的学校,可以通过扩大学校的规模来提高学校的效率。

3. 从小学是否合并的角度来看,合并过的小学的规模效率(SE)和技术效率(TE)都要高于未合并过的小学,但是合并过的小学跟未合并过的小学在纯技术效率(PTE)上没有太大差别。由此可见,一所小学效率的高低主要在于规模效率的高低。所以,从学校的相对效率来考虑,合并过的学校相对于未合并过的学校更有效。而学校效率的提高是否就是由于学校合并后规模的扩大?诚然,本研究在评估小学的效率时,除了投入要素外,对一些可能影响学校效率的环境因素(如学校规模、班级规模、地理位置、当地学校密度等)并没有考虑。这些都还有待于更进一步的计量经济研究。下一步我们将采用回归的方法对影响学校效率高低的因素进行更近一步的分析。

虽然本文从学校经营效率的角度看,合并学校要比没有合并的学校的效率高,实现了一定的规模效率,但是我们也不能忽视合并学校带来的一些问题,如合并学校对学生及其家庭带来一定的经济负担。庞丽娟(2006)提出地方政府在推进农村中小学布局调整的过程中,应当把农民子女受教育权利放在第一位,坚持因地制宜、实事求是的原则,做好布局调整工作(庞丽娟 2006)。因此,在国家基础教育改革的过程中不但要考虑学校的办学的效率,同时也应该在提高效率的前提下考虑学生和家庭的承受能力。

附表1 样本小学教育的效率表

county	模型 I					模型 II				
	CRS	NIRS	VRS	se	RTS	CRS	NIRS	VRS	se	RTS
11 DMU1111	0.65	0.76	0.76	0.86	DRS	0.65	0.76	0.76	0.86	DRS
11 DMU1112	0.63	0.63	0.77	0.82	IRS	0.63	0.63	0.77	0.82	IRS
11 DMU1113	0.49	0.49	0.66	0.74	IRS	0.49	0.49	0.66	0.74	IRS
11 DMU1121	1.00	1.00	1.00	1.00	CRS	1.00	1.00	1.00	1.00	CRS
11 DMU1122	0.98	1.00	1.00	0.98	DRS	0.98	1.00	1.00	0.98	DRS
11 DMU1123	1.00	1.00	1.00	1.00	CRS	1.00	1.00	1.00	1.00	CRS
12 DMU1211	0.60	0.60	0.70	0.86	IRS	0.60	0.60	0.70	0.86	IRS
12 DMU1212	0.95	0.95	0.95	1.00	DRS	0.95	0.95	0.95	1.00	DRS
12 DMU1213	0.35	0.35	0.91	0.38	IRS	0.66	0.66	1.00	0.66	IRS
12 DMU1221	1.00	1.00	1.00	1.00	CRS	1.00	1.00	1.00	1.00	CRS
12 DMU1222	1.00	1.00	1.00	1.00	CRS	1.00	1.00	1.00	1.00	CRS
12 DMU1223	0.97	0.97	1.00	0.97	IRS	0.97	0.97	1.00	0.97	IRS
13 DMU1311	0.94	0.94	0.95	0.99	IRS	0.94	0.94	0.95	0.99	IRS
13 DMU1312	0.23	0.23	0.76	0.30	IRS	0.23	0.23	0.76	0.30	IRS
13 DMU1313	0.62	0.62	0.62	1.00	DRS	0.62	0.62	0.62	1.00	DRS
13 DMU1321	1.00	1.00	1.00	1.00	CRS	1.00	1.00	1.00	1.00	CRS
13 DMU1322	1.00	1.00	1.00	1.00	CRS	1.00	1.00	1.00	1.00	CRS
13 DMU1323	0.96	0.96	1.00	0.96	IRS	1.00	1.00	1.00	1.00	CRS
14 DMU1411	0.97	0.97	1.00	0.97	IRS	1.00	1.00	1.00	1.00	CRS
14 DMU1412	1.00	1.00	1.00	1.00	CRS	1.00	1.00	1.00	1.00	CRS
14 DMU1413	0.81	0.81	0.81	1.00	DRS	0.81	0.81	0.81	1.00	DRS
14 DMU1421	0.66	0.66	0.81	0.81	IRS	0.66	0.66	0.81	0.81	IRS
14 DMU1422	0.77	0.77	0.77	1.00	DRS	0.77	0.77	0.77	1.00	DRS
14 DMU1423	0.67	0.73	0.73	0.92	DRS	0.67	0.73	0.73	0.92	DRS
15 DMU1511	0.67	0.67	0.75	0.89	IRS	0.67	0.67	0.75	0.89	IRS
15 DMU1512	0.69	0.69	0.78	0.88	IRS	0.69	0.69	0.78	0.88	IRS
15 DMU1513	0.91	0.91	1.00	0.91	IRS	0.91	0.91	1.00	0.91	IRS
15 DMU1521	0.67	0.67	0.80	0.84	IRS	0.67	0.67	0.80	0.84	IRS
15 DMU1522	0.90	0.90	1.00	0.90	IRS	0.90	0.90	1.00	0.90	IRS
15 DMU1523	1.00	1.00	1.00	1.00	CRS	1.00	1.00	1.00	1.00	CRS
16 DMU1611	0.85	0.85	0.95	0.89	IRS	0.85	0.85	0.95	0.89	IRS
16 DMU1612	0.60	0.60	0.78	0.77	IRS	0.60	0.60	0.78	0.77	IRS
16 DMU1613	0.54	0.54	0.85	0.64	IRS	0.57	0.57	0.86	0.66	IRS
16 DMU1621	0.72	0.72	0.91	0.79	IRS	0.72	0.72	0.91	0.79	IRS
16 DMU1622	0.80	0.80	0.99	0.81	IRS	0.91	0.91	1.00	0.91	IRS
16 DMU1623	1.00	1.00	1.00	1.00	CRS	1.00	1.00	1.00	1.00	CRS
平均得分	0.79	0.80	0.89	0.89	DRS 7	0.81	0.81	0.89	0.90	DRS 7
有效学校个数	9	10	15	13	IRS 20	11	12	17	15	IRS 18
有效学校比例	0.25	0.28	0.42	0.36	CRS 9	0.31	0.33	0.47	0.42	CRS 11

注: CRS=Constant Return to Scale, VRS=Variable Return to Scale, NIRS=Non-Increasing Return to Scale, SE=Scale Efficiency, RTS=Return to Scale, DRS=Decreasing Return to Scale, IRS=Increasing Return to Scale。

附表1 样本小学教育的效率表 (续)

county	模型 III					模型 IV				
	CRS	NIRS	VRS	se	RTS	CRS	NIRS	VRS	se	RTS
11 DMU1111	1.00	1.00	1.00	1.00	CRS	1.00	1.00	1.00	1.00	CRS
11 DMU1112	0.68	0.68	0.97	0.70	IRS	0.76	0.76	1.00	0.76	IRS
11 DMU1113	0.72	0.72	1.00	0.72	IRS	0.72	0.72	1.00	0.72	IRS
11 DMU1121	1.00	1.00	1.00	1.00	CRS	1.00	1.00	1.00	1.00	CRS
11 DMU1122	1.00	1.00	1.00	1.00	CRS	1.00	1.00	1.00	1.00	CRS
11 DMU1123	1.00	1.00	1.00	1.00	CRS	1.00	1.00	1.00	1.00	CRS
12 DMU1211	0.60	0.60	0.70	0.86	IRS	0.86	0.86	0.98	0.88	IRS
12 DMU1212	1.00	1.00	1.00	1.00	CRS	1.00	1.00	1.00	1.00	CRS
12 DMU1213	0.66	0.66	1.00	0.66	IRS	0.66	0.66	1.00	0.66	IRS
12 DMU1221	1.00	1.00	1.00	1.00	CRS	1.00	1.00	1.00	1.00	CRS
12 DMU1222	1.00	1.00	1.00	1.00	CRS	1.00	1.00	1.00	1.00	CRS
12 DMU1223	1.00	1.00	1.00	1.00	CRS	1.00	1.00	1.00	1.00	CRS
13 DMU1311	0.97	0.97	1.00	0.97	IRS	0.98	0.98	1.00	0.98	IRS
13 DMU1312	0.23	0.23	0.77	0.30	IRS	0.25	0.25	0.81	0.31	IRS
13 DMU1313	0.79	0.79	0.80	0.99	IRS	0.91	0.91	0.92	0.99	IRS
13 DMU1321	1.00	1.00	1.00	1.00	CRS	1.00	1.00	1.00	1.00	CRS
13 DMU1322	1.00	1.00	1.00	1.00	CRS	1.00	1.00	1.00	1.00	CRS
13 DMU1323	1.00	1.00	1.00	1.00	CRS	1.00	1.00	1.00	1.00	CRS
14 DMU1411	1.00	1.00	1.00	1.00	CRS	1.00	1.00	1.00	1.00	CRS
14 DMU1412	1.00	1.00	1.00	1.00	CRS	1.00	1.00	1.00	1.00	CRS
14 DMU1413	0.92	0.92	0.97	0.95	IRS	0.95	0.95	0.99	0.96	IRS
14 DMU1421	0.76	0.76	0.95	0.80	IRS	0.76	0.76	0.95	0.80	IRS
14 DMU1422	0.99	1.00	1.00	0.99	DRS	1.00	1.00	1.00	1.00	CRS
14 DMU1423	0.96	0.96	0.98	0.98	IRS	0.98	0.98	0.98	1.00	DRS
15 DMU1511	0.98	0.98	1.00	0.98	IRS	0.98	0.98	1.00	0.98	IRS
15 DMU1512	1.00	1.00	1.00	1.00	CRS	1.00	1.00	1.00	1.00	CRS
15 DMU1513	0.91	0.91	1.00	0.91	IRS	0.91	0.91	1.00	0.91	IRS
15 DMU1521	1.00	1.00	1.00	1.00	CRS	1.00	1.00	1.00	1.00	CRS
15 DMU1522	0.91	0.91	1.00	0.91	IRS	0.94	0.94	1.00	0.94	IRS
15 DMU1523	1.00	1.00	1.00	1.00	CRS	1.00	1.00	1.00	1.00	CRS
16 DMU1611	1.00	1.00	1.00	1.00	CRS	1.00	1.00	1.00	1.00	CRS
16 DMU1612	0.78	0.78	1.00	0.78	IRS	0.78	0.78	1.00	0.78	IRS
16 DMU1613	0.66	0.66	1.00	0.66	IRS	0.66	0.66	1.00	0.66	IRS
16 DMU1621	0.79	0.79	1.00	0.79	IRS	0.80	0.80	1.00	0.80	IRS
16 DMU1622	1.00	1.00	1.00	1.00	CRS	1.00	1.00	1.00	1.00	CRS
16 DMU1623	1.00	1.00	1.00	1.00	CRS	1.00	1.00	1.00	1.00	CRS
<b>平均得分</b>	<b>0.90</b>	<b>0.90</b>	<b>0.98</b>	<b>0.92</b>	<b>DRS 1</b>	<b>0.91</b>	<b>0.91</b>	<b>0.99</b>	<b>0.92</b>	<b>DRS 1</b>
<b>有效学校个数</b>	<b>19</b>	<b>20</b>	<b>29</b>	<b>19</b>	<b>IRS 16</b>	<b>20</b>	<b>20</b>	<b>30</b>	<b>21</b>	<b>IRS 15</b>
<b>有效学校比例</b>	<b>0.53</b>	<b>0.56</b>	<b>0.81</b>	<b>0.53</b>	<b>CRS 19</b>	<b>0.56</b>	<b>0.56</b>	<b>0.83</b>	<b>0.58</b>	<b>CRS 20</b>

注: CRS=Constant Return to Scale, VRS=Variable Return to Scale, NIRS=Non-Increasing Return to Scale, SE=Scale Efficiency, RTS=Return to Scale, DRS=Decreasing Return to Scale, IRS=Increasing Return to Scale.

参考文献:

- Afonso, A. and M. St. Aubyn (2006). "Cross-country efficiency of secondary education provision: A semi-parametric analysis with non-discretionary inputs." Economic Modelling **23**(3): 476-491.
- Ahn, T., A. Charnes and W. W. Cooper (1988). "Some statistical and DEA evaluations of relative efficiencies of public and private institutions of higher learning." Socio-Economic Planning Sciences **22**(6): 259-269.
- Anderson, L., H. J. Walberg and T. and Weinstein (1998). "Efficiency and effectiveness analysis of Chicago public elementary schools: 1989, 1991, 1993." Education Administration Quarterly **34**(4): 484-504.
- Audibert, M., J. Mathonnat and M.-C. Henry (2003). "Social and health determinants of the efficiency of cotton farmers in Northern Cote d'Ivoire." Social Science & Medicine **56**(8): 1705-1717.
- Avkiran, N. K. (2001). "Investigating technical and scale efficiencies of Australian Universities through data envelopment analysis." Socio-Economic Planning Sciences **35**(1): 57-80.
- Banker, R. D., A. Charnes and W. W. Cooper (1984). "Some Models for Estimating Technical and Scale Inefficiencies in Data Envelopment Analysis." Management Science **30**: 1078-1092.
- Bessent, A. and W. Bessent (1980). "Determining the comparative efficiency of schools through data envelopment analysis." Educational Administration Quarterly **16**(1): 57-75.
- Bessent, A., W. Bessent, J. Kennington and B. Reagan (1982). "An application of mathematical programming to assess productivity in the Houston Independent School district." Management Science(23): 1355-1367.
- Bradley, S., G. Johnes and J. Millington (2001). "The effect of competition on the efficiency of secondary schools in England." European Journal of Operational Research **135**(3): 545-568.
- Charnes, A., W. W. Cooper and E. Rhodes (1978). "Measuring the efficiency of decision making units " European Journal of Operational Research **2**(6): 429-444.
- Coelli, T. (1994). Assessing the performance of Australian universities using data envelopment analysis. Internal Report, Centre for Efficiency and Productivity Analysis, University of New England.
- Coelli, T. J., D. S. P. Rao and G. E. Battese (1998). An Introduction to Efficiency and Productivity Analysis. Boston, Kluwer Academic Publishers.
- Färe, R., S. Grosskopf and C. A. K. Lovell (1994). Production Frontiers, Cambridge University Press.
- Farrell, M. J. (1957). "The Measurement of Productive Efficiency." Journal of the Royal Statistical Society, Series A(General), **120**(3): 253-290.
- Hanushek, E. A. (1979). "Conceptual and empirical issues in the estimation of educational production functions." Journal of human Resources **14**: 351-388.
- Izadi, H., G. Johnes, R. Oskrochi and R. Crouchley (2002). "Stochastic frontier estimation of a CES cost function: the case of higher education in Britain." Economics of Education Review **21**(1): 63-71.
- Jesson, D., D. Mayston and P. Smith (1987). "Performance assessment in the education sector: educational and economic perspectives." Oxford Review of Educational **13**(3): 249-266.
- Kirjavainen, T. and H. A. Loikkanen (1998). "Efficiency differences of Finnish senior secondary schools: An application of DEA and Tobit analysis." Economics of Education Review **17**(4): 377-394.
- Lovell, C. A. K., L. C. Walters and L. L. Wood (1994). Stratified models of education production using modified DEA and regression analysis. in: A. Charnes, W. W. Cooper, A. Y. Lewin and L. M. Seiford, (Eds.), Data Envelopment Analysis: Theory Methodology and Applications, Kluwer,

Massachussets.

- Mancebon, M. J. and C. Mar Molinero (1998). Performance in primary schools. Discussion Paper 98-139, Department of Management, University of Southampton.
- Mayston, D. and D. Jesson (1988). "Developing models of educational accountability." Oxford Review of Educational **14**(3): 321-339.
- Ray, S. C. (1991). "Resource use efficiency in public schools: A study of Connecticut data." Management Science(37): 1620-1628.
- Robst, J. (2001). "Cost Efficiency in Public Higher Education Institutions " The Journal of Higher Education **72**(6): 730-750.
- Thanassoulis, E. and P. Dunstan (1994). "Guiding Schools to Improved Performance Using Data Envelopment Analysis: An Illustration with Data from a Local Education Authority " Journal of the Operational Research Society **45**(11): 1247-1262.
- 查勇 and 梁樑 (2004). "基于DEA模型的高等院校院系投入产出效率评估." 科技进步与对策(1): 102-105.
- 漆莉莉 and 杨君 (2006). "基于DEA模型的我国教育活动效率分析." 统计应用(5): 55-57.
- 刘亚荣 (2001). "我国高等学校办学效率评价分析." 教育与经济(4): 31-36.
- 庞瑞芝 (2006). "我国城市医院经营效率实证研究-基于DEA模型的两阶段分析." 南开经济研究 (4): 71-81.
- 庞丽娟 (2006). 农村中小学布局调整应因地制宜. 《人民日报》. 2006年3月16日第十三版.
- 谢友才 and 胡汉辉 (2006). "我国研究生教育的效率分析." 高等教育研究 **26**(11): 68-76.
- 陆根书 and 刘蕾 (2006a). "不同地区教育部直属高校科研效率比较研究." 复旦教育论坛 **4**(2): 55-59.
- 陆根书 and 刘蕾 (2006b). "教育部直属高校自然科学研究效率及发展其实." 高等工程教育研究 (1): 12-15.
- 陆根书, 刘蕾, 孙静春 and 顾丽娜 (2005). "教育部直属高校科研效率评价研究." 西安交通大学学报 (社会科学版) **25**(2): 75-79.