

罗慧,赵奎峰,巩在武,等. 基于数据包络分析法的陕西气象资源效率评估[J]. 气象,2011,37(11):1438-1442.

基于数据包络分析法的陕西气象资源效率评估^{* 1}

罗 慧¹ 赵奎峰² 巩在武³ 冯 丽⁴ 姚东升⁵ 王百朋⁵ 张朝临⁵

1 陕西省西安市气象局, 西安 710016

2 陕西省气象台, 西安 710015

3 南京信息工程大学经管学院, 南京 210044

4 西安财经学院统计学院, 西安 710049

5 陕西省防雷中心, 西安 710004

提 要: 将数据包络分析法(DEA)应用于陕西气象资源效率评估,计算全省气象行业 2007—2009 年运行的综合效率值、技术效率值和规模效率值,得出综合效率和规模效率有所下降,而技术效率有所提升。其中,2009 年技术效率均值为 3 年来最高,而 2007 年技术效率值为 3 年来最低。构造基于面板数据的气象计量经济模型对各影响效率的因素进行计量分析,气象服务用户群及公众满意度指数、农业产出 GDP 值占区域 GDP 总值的比重和资金投入强度与气象部门产出的综合效率值呈正向关系,学术论文发表数量与综合效率值呈反向关系。据此提出提升资源效率有效性的对策。

关键词: 数据包络分析(DEA), 用户群和公众满意度指数, 计量经济方法, 效率评估

Efficiency Assessment of Shaanxi Meteorological Resources Based on Data Envelopment Analysis

LUO Hui¹ ZHAO Kuifeng² GONG Zaiwu³ FENG Li⁴
YAO Dongsheng⁵ WANG Baipeng⁵ ZHANG Chaolin⁵

1 Xi'an Meteorological Service, Xi'an 710016

2 Shaanxi Provincial Meteorological Observatory, Xi'an 710016

3 College of Economics and Management, Nanjing University of Information Science and Technology, Nanjing 210044

4 School of Statistics Xi'an University of Finance and Economics, Xi'an 710100

5 Shaanxi Provincial Lightning Protection Center, Xi'an 710004

Abstract: Using Data Envelopment Analysis (DEA in short) method to assess the efficiency of Shaanxi meteorological resources, the synthetic efficiency, technical efficiency, and scale efficiency of Shaanxi meteorological services were calculated from 2007 to 2009 and the general state is as follows. The averages of synthetic efficiency and scale efficiency have somewhat decreases, while technical efficiency increases. Their comparison shows that technical efficiency has top value in 2009 and the lowest in 2007. According to values of both synthetic efficiency and scale efficiency, they have top values in 2008 and the lowest in 2009. Factors affecting efficiency are analyzed by econometric modeling using Panel Data Model. Results show that CSIWSs (Customs and the public Satisfaction Index of Weather Services), and proportion of agricultural yields and investing funds have significant positive relationships with synthetic efficiency, and the number of academic papers constitutes a reverse relation with synthetic efficiency. According to those analyses, some effective countermeasures are put forward.

Key words: Data Envelopment Analysis (DEA), CSIWSs (Customs and the public Satisfaction Index of Weather Services), econometric method, evaluation of effectiveness

* 国家自然科学基金(70901043)和教育部人文社科基金(09YJC630130)共同资助

2011 年 3 月 4 日收稿; 2011 年 5 月 4 日收修定稿

第一作者: 罗慧, 主要研究方向为应用气象、气象服务评估. Email: luohui6812@sian.com

引 言

气象工作事关国计民生,直接服务经济社会发展大局,服务人民大众,是与经济建设、社会发展和人民生活密切相关的基础性公益事业。随着经济社会快速发展,对气象需求和气象服务期望值不断增大,存在无限需求与有限气象资源的矛盾。在需求牵引、服务引领的背景下,研究如何科学配置气象资源,以提高其利用效率、提升服务能力,进而满足社会公众对气象日益增大、日趋多元化的需求,具有重要指导意义。本文试图以陕西气象资源为研究背景,将陕西省 10 个地级市气象部门作为决策单元,采用数据包络分析(DEA)法来评价全省各市在 2007—2009 年的行业经济运行效率。为进一步评价影响气象行业投入—产出效率的因素,构造基于面板数据的计量经济模型,并对相关影响效率的因素进行计量分析,据此提出提升气象资源有效性的对策。

1 数据包络分析含义

1.1 数据包络分析 DEA 含义

数据包络分析^[1](Data Envelopment Analysis, 简称 DEA)是以相对效率概念为基础,根据多指标投入和多指标产出对相同类型的单元进行相对有效性或效益评价的一种新方法,也是处理多目标决策问题的有效方法。该方法和模型由美国著名运筹学家查恩斯、库伯以及罗兹首先提出。通过保持决策单元(Decision Making Unit, 简称 DMU)的输入和输出不变,借助于数学规划模型将 DMU 投影在 DEA 前沿面上,比较 DMU 偏离 DEA 前沿面的程度,来评价决策单元的相对有效性。

1.2 DEA 模型及有效性评价^[2]

(1)评价综合效率的 CCR 模型

CCR 模型是 DEA 方法最基本的模型。假设有 n 个决策单元(DMU),每个决策单元都有 m 种输入和 s 种输出, x_{ij} 和 y_{rj} 分别表示第 j 个决策单元对第 i 种输入的投入量和对第 r 种输出的产出量。其中 $j=1, \dots, n, i=1, \dots, m, r=1, \dots, s$ 。输入变量和输出变量对应的权重分别为 $w=(w_1, \dots, w_m)^T, u=(u_1, \dots, u_s)^T$ 。构造如下最优化模型:

$$(P_{CCR}) \begin{cases} \max(u^T y_0 / w^T x_0) \\ (u^T y_j / w^T x_j) \leq 1, j = 1, \dots, n \\ w \geq 0, u \geq 0 \end{cases} \quad (1)$$

式(1)是最优化模型为分式规划问题,使用 Chance-Cooper 变换,可以得到一个等价的线性规划问题及其对偶问题,由于这两种方法在验证评价单元是否 DEA 有效方面都比较麻烦,Chance 和 Cooper 等引进了非阿基米德无穷小量概念,构造了带有非阿基米德无穷小量 ϵ 的 CCR 模型来判定 DMU_{j_0} 的有效性。 ϵ 是一个小于任何正数且大于零的常数,常取 10^{-6} 。此时,对偶规划问题为:

$$(D_\epsilon) \begin{cases} \min[\theta - \epsilon(\hat{E}^T S^- + E^T S^+)] \\ \sum_{j=1}^n \lambda_j x_j + S^- = \theta x_0 \\ \sum_{j=1}^n \lambda_j y_j - S^+ = y_0 \\ \lambda_j \geq 0, S^- \geq 0, S^+ \geq 0 \end{cases} \quad j = 1, \dots, n \quad (2)$$

式中, $\hat{E}^T = (1, 1, \dots, 1) \in E_m, E^T = (1, 1, \dots, 1) \in E_s, S^- = (s_1^-, s_2^-, \dots, s_m^-)^T$ 是与投入相对应的松弛变量组成的向量, $S^+ = (s_1^+, s_2^+, \dots, s_m^+)^T$ 是与产出相对应的剩余变量组成的向量;规划问题(D_ϵ)的最优解为 $\lambda^0, s^{-0}, s^{+0}, \theta^0$, 则有如下有效性评价:若 $\theta^0 = 1$, 则 DMU_{j_0} 为弱 DEA 有效;若 $\theta^0 = 1$, 并且 $s^{+0} = 0, s^{-0} = 0$, 则 DMU_{j_0} 为 DEA 有效。若 $\theta^0 \neq 1$, 则 DMU_{j_0} 为非 DEA 有效;如果某个决策单元是 DEA 有效的(CCR), 则从生产函数角度讲,它既是技术有效,也是规模有效的;对于非 DEA 有效(CCR)的决策单元,它既非技术有效,也非规模有效。因此 CCR 模型描述的是决策单元的综合效率。

(2)评价技术效率的 BCC 模型

对某一决策单元的效率评估,主要包括技术效率与规模效率两种,技术效率反映在即定的投入下某决策单元获取最大产出的能力,而规模效率则反映某决策单元是否在合适的规模下经营。为了判断决策单元的技术效率或规模效率,可以将 CCR 模型与 BCC 模型配合使用。BCC 模型是在 CCR 模型的基础上增加了约束条件 $\sum_{j=1}^n \lambda_j = 1$, 对 BCC 模型的最优值 σ^0 , 有如下有效性评价: $\sigma^0 = 1$, 则 DMU_{j_0} 为弱 DEA 有效(BCC), 即相对产出 y^0 而言,投入量 x^0 不能按同一比例 σ^0 减少;当 $\sigma^0 = 1, s^{+0} = 0, s^{-0} = 0$ 时,则 DMU_{j_0} 为 DEA 有效(BCC), 即投入量 x^0 不

能按同一比例减少,也不能将其中的个别投入分量减少。因此 BCC 模型主要考察决策单元的技术效率, $\sigma^0 = 1$, 决策单元技术有效, 否则技术无效^[3]。由于规模效率 = 综合效率/技术效率, 即可得到 DMU 的规模效率。

以上模型是从产出不变, 投入减少的角度构造的, 用于研究投入的有效性。同理, 从投入不变, 产出增加的角度可构造相应模型研究产出的有效性。本文主要分析前者。

(3) 规模收益分析

如果某生产过程处于规模收益递增状态, 说明在原有投入的基础上, 适当增大投入量, 最大可能产出有相对更高比例的增加, 因而此 DMU 会有增加投入的积极性。某一 DMU 规模收益增减情况可由 CCR 模型中的 λ_j 的最优值来判别。即当 $\sum_{j=1}^n \lambda_j^0 = 1$ 时, DMU_{j_0} 规模收益不变, 即达到规模有效; 当 $\sum_{j=1}^n \lambda_j^0 < 1$ 时, DMU_{j_0} 规模收益递增, 应通过扩大规模, 实现规模经济; 当 $\sum_{j=1}^n \lambda_j^0 > 1$ 时, DMU_{j_0} 为规模收益递减, 应在现有规模下, 通过技术进步实现集约化经营。

2 陕西气象资源效率的实证分析

2.1 效率评价指标选取与数据来源

以陕西省气象系统为例, 将陕西省每个地级市气象部门作为决策单元, 对 10 个地级市 2007—

2009 年气象行业的经济运行效率进行评价。在综合考虑众多的投入和产出指标基础上, 经过比较分析, 确定人、财、物等为基本投入指标: I_1 为各市就业人数(人); I_2 为各市气象台预报员人数(人); I_3 为副高级以上人员比例; I_4 为资金投入(万元)。(上述基础数据来源于陕西省气象局)。

确定预报准确率的基本产出指标, 由于晴雨预报和一般性降水预报 TS 评分具有共线性, 独立性不太好, 故结合陕西实际, 着重考虑采用大雨及以上的 TS 评分。通常大雨及以上预报难度大、TS 评分偏低, 本文采用各地市高影响天气的平均公众风险关注度进行归一化处理中, 该指标值综合应用模糊数学方法计算全省各个地市的 12121 气象电话信息和气象信息的风险概率, 反演得出高温(热浪、桑拿)、小雨、大雨和大到暴雨发生时的公众风险关注度^[4]。最终确定的产出指标: Y_1 为晴雨预报准确指标, $Y_1 = \text{晴雨预报准确预报 TS 评分} \times \text{小雨发生时的平均公众风险关注度}$ 。 Y_2 为气温预报准确指标, $Y_2 = \text{气温预报准确预报 TS 评分} \times \text{高温或低温发生时的平均公众风险关注度}$ 。 Y_3 为大雨及以上预报准确指标, $Y_3 = \text{大雨及以上预报准确预报 TS 评分} \times \text{大雨及以上发生时的平均公众风险关注度}$ 。(上述基础数据来源于陕西省气象局)。

2.2 陕西省各市局 2007—2009 年经济运行效率分析

根据所收集的数据, 基于 DEA 的 CCR 模型和 BCC 模型, 利用 DEAP2.1 软件计算陕西省气象行业 2007—2009 年经济运行的综合效率值、技术效率值和规模效率值, 并给出了规模收益增减情况, 其评价结果见表 1。

表 1 陕西省各市气象局 2007—2009 年行业运行效率值
Fig. 1 Values of the Synthetic Efficiency, Technical Efficiency, and Scale Efficiency calculated from ten urban meteorological offices in Shaanxi Province during 2007 to 2009

	2007 年各效率值				2008 年各效率值				2009 年各效率值			
	综合效率 θ	技术效率 δ	规模效率	规模收益	综合效率 θ	技术效率 δ	规模效率	规模收益	综合效率 θ	技术效率 δ	规模效率	规模收益
西安	1.000	1.000	1.000	—	1.000	1.000	1.000	—	0.821	1.000	0.821	drs
铜川	1.000	1.000	1.000	—	1.000	1.000	1.000	—	1.000	1.000	1.000	—
宝鸡	0.969	1.000	0.969	drs	0.815	0.916	0.891	drs	0.700	0.919	0.762	drs
咸阳	1.000	1.000	1.000	—	1.000	1.000	1.000	—	1.000	1.000	1.000	—
渭南	0.889	1.000	0.889	drs	0.813	1.000	0.813	drs	0.763	1.000	0.763	drs
汉中	1.000	1.000	1.000	—	1.000	1.000	1.000	—	0.965	0.994	0.970	drs
安康	0.621	0.859	0.723	drs	0.761	0.928	0.820	drs	0.952	1.000	0.952	drs
商洛	1.000	1.000	1.000	—	1.000	1.000	1.000	—	1.000	1.000	1.000	—
延安	0.672	0.792	0.848	drs	0.780	0.825	0.945	drs	0.695	0.823	0.844	drs
榆林	1.000	1.000	1.000	—	1.000	1.000	1.000	—	1.000	1.000	1.000	—
均值	0.915	0.965	0.943		0.917	0.967	0.947		0.890	0.974	0.911	

注: drs: 规模收益递减; irs: 规模收益递增; —: 规模收益不变

从表 1 可以看出,总体来讲,2008 年综合效率和规模效率的平均值为 3 年来最高,而 2009 年技术效率均值为 3 年来最高。而 2009 年综合效率和规模效率值为 3 年来最低,2007 年技术效率值为 3 年来最低。可见近年来,综合效率和规模效率有所下降,而技术效率有所提升。

由综合效率值 θ 可知, $\theta < 1$ 时,表明该决策单元相对于 DEA(CCR)无效,或不为技术有效,或不为规模有效。 $\theta = 1$ 时,表明该决策单元相对于 DEA(CCR)有效,此时其投入产出的资源配置达到最优状态。因此,宝鸡、渭南、安康和延安市气象局在 2007 和 2008 年均处于 DEA 无效状态即 $\theta < 1$,且 2008 年宝鸡市气象局和渭南市气象局的综合效率值相对 2007 年有所下降,而安康市气象局和延安市气象局的综合效率值相对于 2007 年有所改善,其他地市均处于 DEA 相对有效状态即 $\theta = 1$ 。2009 年铜川、咸阳、商洛和榆林市气象局依然保持着 DEA 相对有效状态,但是西安市气象局和汉中市气象局由 DEA 相对有效状态变为相对无效状态。

对于综合效率值 $\theta < 1$ 的决策单元,可进一步借助 DEA 的 BCC 模型测算的效率值 δ 来判断该决策单元的技术有效性。 $\delta = 1$ 时,说明该决策单元相对于 DEA(BCC)有效,即技术有效。如西安、铜川、咸阳、渭南、商洛和榆林等市气象局 3 年来均处技术有效状态,意味着在现有产出量的情况下,投入量已不能再减少了,即现有投入下已获取了最大的产出能力。 $\delta < 1$ 时,说明该决策单元相对于 DEA(BCC)非技术有效,也非规模有效。如 2007 年安康和延安市气象局,2008 年宝鸡市气象局和 2009 年汉中市气象局的技术效率也由有效变为无效状态。这些市气象局应着重通过提高技术效率以改善其综合效率。

由规模收益情况可看出, $\theta = 1$ 时,DEA 有效(CCR)的决策单元处于规模收益不变状态。对于规模收益递减的地区,如宝鸡、渭南、安康和延安等市气象局 3 年均处于规模收益递减状态,应着重通过提高规模效率,合理配置各项投入资源,以提高产出,或者压缩投入规模,使规模收益变为有效。对于规模收益递增的地区,适当增大投入量,最大产出可能会有更高比例的增加,但如果规模效率值较大,应重点通过业务平台升级改造或加强管理以提高技术效率。

3 陕西气象效率影响因素的计量经济分析

由于 DEA 的 CCR 模型有效即综合效率 $\theta = 1$ 时,表明决策单元同时处于技术有效和规模有效状态,并且综合效率又等于技术效率与规模效率的乘积。上文中仅分析了各因素对综合效率的影响程度,有必要以综合效率值 θ 作为被解释变量,构建相关变量、通过基于面板数据的计量经济模型,进一步分析影响气象行业产出效率的影响因子。

影响气象行业投入产出效率的因素众多而复杂,其中公众气象服务满意度 CSIWS 指数(X_1)、气象服务用户群满意度指数(决策用户群及专业用户)(X_2)^[5]、学术论文发表数量(X_3)、农业产出 GDP 值占区域 GDP 总值的比重(X_4)、资金投入强度(即各市局资金投入占各市产出的比重)(X_5),往往被认为是与气象行业投入产出效率关系密切的因素。以上述各影响因素作为解释变量,以综合效率值 θ 作为被解释变量,对上述各变量,构造基于面板数据的计量经济模型。为了消除残差项序列相关的问题,考虑带残差项的一阶自回归 AR(1)项方程,其中 AR(1)表示自回归为 1 阶的模型,即用变量在时刻 $t-1$ 的值预测变量在时间 t 的值。使用最小二乘法,经过多次实验,分析结果如下:

$$\begin{aligned} \theta = & 0.0053X_1 + 0.0057X_2 - 0.0213X_3 + \\ & 0.0008X_4 + 0.8799X_5 + [AR = 0.6051] \\ R^2 = & 0.6745, DW = 1.98, \end{aligned}$$

$$F = 5.80(P = 0.004) \quad (3)$$

从回归结果可以看出,在影响综合效率的因素中,由各解释变量可解释的部分占 67.45%。 F 值较高, F 统计量的相伴概率为 0.004,回归方程的显著性较强。

在各影响因素中,气象服务用户群(公众气象服务)满意度指数、农业产出 GDP 值占区域 GDP 总值的比重和资金投入强度与气象部门产出的综合效率值成正向关系。公众气象服务满意度 CSIWS 指数提高一个百分点,综合效率值将提高 0.005 个百分点;气象服务用户群满意度指数提高一个百分点,综合效率值将提高 0.006 个百分点;农业产出 GDP 值占区域 GDP 总值的比重每增加一个单位,综合效率

值提高 0.0008。资金投入强度与综合效率值为正向关系,各市局资金投入占各市产出的比重每增加一个百分点,综合效率值将增加 0.88 个百分点。而学术论文发表数量与气象部门综合效率值成负相关,即学术论文发表数量的增加并没有引起气象部门产出的效率值的增加。

4 建 议

基于 DEA 评估陕西气象资源效率,表明陕西省气象行业 2007—2009 年运行中,综合效率和规模效率有所下降,而技术效率有所提升。其中,2009 年技术效率均值为 3 年来最高,而 2007 年技术效率值为 3 年来最低。就综合效率和规模效率比较而言,2008 年综合效率和规模效率平均值为 3 年来最高,而 2009 年综合效率和规模效率值为 3 年来最低。构造基于面板数据的计量经济模型对各影响效率的因素进行计量分析,公众及用户群满意度指数、农业产出 GDP 值占区域 GDP 总值的比重和资金投入强度与气象部门产出的综合效率值成正向关系,学术论文发表数量与综合效率值呈反向关系。基于上述分析,建议如下。

首先,以转变发展方式来提升四个能力为未来发展的根本途径,通过提高技术效率来强化业务技术平台技术能力,通过加强科学管理以提升其运行综合效率。在气象现代化中,要统筹现代气象业务、气象科技创新和气象人才队伍等全面方面,更应重视和提高气象现代化建设的软、硬实力相结合,兼顾质量和效益协调发展。

其次,由于服务对象和社会公众通过对所感受的气象产品及服务质量而产生的满意度,与气象部门综合效率呈正向关系,需从外部形成激励气象部门注重提高资源利用效率的机制。按照现代公共气象服务体系建设要求,逐步建立包含政府决策者评价、专业用户和社会公众 CSIWS 满意度、公众气象风险关注度、气象计量经济分析和气象资源效率评估等多元化需求调查和服务综合考评机制,在需求

牵引下、促使公共气象服务整体水平和能力的提升。随着气象服务用户群(社会公众)满意度的提高,综合效率值会相应提高,可逐步建立与效率评价结果相结合的财政拨款机制。

再次,农业产出 GDP 值占区域 GDP 总值的比重和资金投入强度与综合效率值呈正向关系,围绕十二五期间农业和农村发展面临的挑战和机遇,围绕农业现代化建设和社会主义新农村建设,建设农业气象服务体系和农村气象灾害防御体系,推动陕西省农村改革发展、调整优化农业结构、促进农民增收,通过加大财政支付转移力度促进城乡基本公共气象服务均等化,是值得花大气力做好的利国利民的民生工程。

最后,需要构建科学评价和规范管理的气象科技创新综合指标体系。《我国国民经济和社会发展十二五规划纲要》给出关于科技教育水平明显提升的两大预期性指标:每万人口发明专利拥有量和研究与试验发展经费支出占国内生产总值比重^[6],前者反映自主创新的产出指标,是国际上通行的反映拥有自主知识产权技术的核心指标。鉴于此,我们不仅以学术论文发表数量“论英雄”,更要针对当地特色经济社会发展需求,以优势领域的技术软件研发、成果转化程度和业务应用效果等为主要考量指标,切实提升气象科技支撑能力和水平。

参考文献

- [1] 盛昭翰,朱乔,吴广深. DEA 理论、方法与应用[M]. 北京:科学出版社,1998.
- [2] 冯振环,赵国杰. 运用 DEA 对中国区域投资的分级有效性评价[J]. 现代财经,2004,168(24):18-21.
- [3] 苗玉凤,田东平. 基于数据包络分析的高校效率评价[J]. 科技与管理,2007,45(5):138-140.
- [4] 罗慧,张雅斌,刘璐,等. 高影响天气事件公众关注度的风险评估[J]. 气象,2007,33(10):15-22.
- [5] 罗慧,谢璞,俞小鼎. 奥运气象服务社会经济效益评估个案分析[J]. 气象,2007,33(3):89-94.
- [6] 中华人民共和国国民经济和社会发展第十二个五年规划纲要. 北京:人民出版社,2011.