

---

# 基于超效率 DEA 模型的区域低碳效率空间分异

## ——以湖南省各市州为例\*<sup>1</sup>

周平

(中南大学商学院, 中国湖南长沙 410083)

**【摘要】:** 区域低碳效率是检验区域经济发展质量的重要指标之一。文章将超效率 DEA 模型引入到区域低碳效率测度当中, 利用湖南 14 个市州的实际数据, 就“十二五”期间湖南各市州低碳效率开展了具体测度, 并利用 Malmquist 指数计算其效率变动值。研究认为湖南各市州低碳效率整体情况较好, 但在规模效率、技术效率等方面也表现出一定的空间分异。因而, 新阶段应继续从转方式、调结构及制度改革方面强化区域低碳发展。湖南的示例对于其他区域低碳效率测度也是具有示范性的。

**【关键词】:** 绿色发展; 低碳经济; 区域低碳效率; 空间分异; 实证分析; 湖南

**【中图分类号】:** F127   **【文献标志码】:** A   **【文章编号】:** 1000-8462 (2017) 03-0188-05

DOI: 10.15957/j.cnki.jjdl.2017.03.025

区域低碳发展不仅是我国生态文明建设的客观要求, 也是区域转变经济发展方式、实现产业转型升级的重要途径<sup>[1]</sup>。同时, 区域低碳发展是各地区应对能源紧缺问题、降低污染物排放以及实现环境美好的必然选择。因此, 区域低碳效率成为检验区域经济发展质量的关键性指标之一。但由于目前区域低碳效率测度涉及到区域生产模式、生活方式、价值观念和经济发展水平等方面, 导致难以提出科学、合理、统一的指标体系, 也难以运用科学的方法测度区域低碳效率的水平<sup>[1]</sup>。也正是因为如此, 当前涉及到国内外关于区域低碳效率测度或评价及定量评估的相关研究还比较少, 且没有形成统一的理论框架和方法, 对于评价区域低碳效率的空间分异以及指导区域低碳效率测度还存在一些可供弥补之处。迫切需要构建能够反映区域生产方式、区域经济、区域碳排放情况的区域低碳效率测度模型, 并利用所建立的模型研究各区域低碳效率的空间分异情况, 科学分析区域间低碳效率空间分异。

湖南作为最早启动两型社会建设的省份之一, 在区域低碳发展方面走在全国前列。“十一五”以来, 湖南省加大了工业领域节能减排力度, 地区单位能耗下降 20%左右, 与此同时, 2006—2015 年间, 工业占能源消费总量的比重由 69.00%降低到 60.31%。且能源增长速度慢于 GDP 增长速度, 这说明, 随着节能减排和两型社会进程的不断推进, 湖南省的低碳效率不断提高。与此同时, 全省规模工业综合能源消费量同比下降 1.5%, 低于同期规模工业增速 8.4 个百分点。这也说明湖南省低碳经济发展取得了较好的成绩。因此, 分析这些年来湖南区域低碳效率, 探究各地区低碳效率的空间分异及其成因, 为湖南纵深推进各地区低碳发展提供科学依据, 并为其他同类区域测度低碳效率提供方法参考。

---

<sup>1</sup>收稿时间: 2016-08-14; 修回时间: 2016-11-12

作者简介: 周平 (1969—), 男, 湖南郴州人, 博士研究生。主要研究方向为企业管理。E-mail: 810952453@qq.com。

# 1 模型选择与变量选取

## 1.1 模型选择

效率是经济活动中投入与产出的比率。区域低碳效率测度是一个对低碳投入与输出的系统比较问题。在国外，对区域低碳效率测度研究起步较早，比较典型的方法和模型有 Mustafa H 构建的可计算一般均衡 (CGE) 模型<sup>[2]</sup>、Parikh 等构建的投入—产出模型 (I-O 模型)<sup>[3]</sup>、Dagoumas 等构建的综合测度模型等<sup>[4]</sup>。此外，还有诸如成本—效益分析法、碳排放强度、能源强度指数等其他方法。在国内，对于低碳效率的定量评估方法主要有层次分析法、数据包络分析法、综合评价法和因子分析法等。如马勇等运用层次分析法，建立了旅游目的地低碳效率定量评估方法<sup>[5]</sup>；刘晓磊基于 SBM 模型定量评估了全国各地地区低碳效率<sup>[6]</sup>；潘文砚、贾登勋、陈琦等利用数据包络分析法定量评估了我国各省（市、区）的低碳效率<sup>[7-9]</sup>。从国内外的研究来看，对于低碳效率的测度或评价已经有了一些研究基础，且以数据包络分析这一传统方法使用较多。但传统的 DEA 相对效率评价思想是以最小的投入生产尽可能多的产出，要求投入尽可能地减少而产出必须尽可能地增加，而现实生产过程可能带有明显的副产品，称为非期望产出，这些非期望产出必须尽可能地减少才能实现最佳的经济效率。可见传统 DEA 方法测度低碳效率也略显不足，且发现 DEA 模型无法对同时有效的决策单元做出进一步评价与比较。因此，基于国内外现有研究存在的缺漏和不足，为了更加全面、科学、合理地测度区域低碳效率，本文将 DEA 模型改进为超效率 DEA 模型，科学选取能够反映出区域低碳效率发展的投入、输出指标，利用 MYDEA 软件，对湖南各州市区域低碳效率进行定量评估。

## 1.2 变量选取

党的十八大以来，高度重视生态文明建设，在各种文件中相继提到要大力实施以“节能减排”为重点的低碳发展路径，明确提出了将区域能耗及 CO<sub>2</sub>、SO<sub>2</sub> 排放量降低的指标。为了提出更加完善的评价标准，本文在考虑废气排放的同时，还将固体废弃物的排放纳入，并据此确立起反映区域低碳效率的综合测度指标。其中，将地区能源资源以及环境容纳资源的使用作为投入指标，这些指标代表了地区经济发展中对于能源资源的投入及环境资源的投入；而将地区经济发展总体情况以及地区环境质量情况作为产出指标，以此反映地区经济发展的情况以及减排结果。在此基础上，构建的区域低碳效率测度的投入和产出指标体系见表 1。

表 1 区域低碳效率测度的投入和产出指标体系  
Tab.1 Input and output index system of regional low carbon efficiency measurement

投入	投入变量	产出	产出变量
区域能源资源	能源消耗总量(折合成标准煤,万 t)	区域经济	地区生产总值(GDP,亿元)
	CO <sub>2</sub> 排放量(万 t)		单位 GDP 能耗(t 标准煤/万元)
区域环境容纳资源	工业 SO <sub>2</sub> 排放量(万 t)	区域环境质量	单位工业增加值能耗降低比例(%)
	工业固体废物产生量(万 t)		万元工业产值综合能耗(t 标准煤/万元)

注:能源消耗总量以各种能源消耗量折合成标准煤进行汇总计算,单位 GDP 能耗是指该地区每生产一个单位的地区生产总值所消耗的能源。

# 2 模型构建与实证

## 2.1 模型构建

根据数据包络分析 (DEA) 的基本原理,对其进行改进,改进的思路是在进行第  $m$  个决策单元效率评价时,使第  $m$  个决策单元的投入和产出被其他所有的决策单元投入和产出的线性组合替代,而将第  $m$  个决策单元排除在外。一个有效的决策单元可以使其投入按比例地增加,而效率值保持不变,其投入增加比例即其超效率评价价值,并据此建立以下模型:

$$\begin{aligned}
 & \min \theta \\
 s.t. & \begin{cases} \sum_{\substack{j=1 \\ j \neq m}}^n x_j \lambda_j + s^- = \theta x_m \\ \sum_{\substack{j=1 \\ j \neq m}}^n y_j \lambda_j - s^+ = y_m \\ \lambda_j \geq 0, j = 1, 2, \dots, n \\ s^- \geq 0, s^+ \geq 0 \end{cases} \quad (10)
 \end{aligned}$$

式中： $x$ 为投入指标； $y$ 为产出指标； $\theta$ 为超效率值； $s^-$ 为投入松弛变量； $s^+$ 为产出松弛变量。另外，在此基础上，设  $G = \sum \lambda_j$  为规模效益。

## 2.2 模型实证

### 2.2.1 数据来源说明

本文数据来源于各年度《湖南统计年鉴》《湖南城市统计年鉴》以及各地区经济社会发展报告，建立“十二五”期间湖南省14个市州低碳效率定量评估的投入产出面板数据表，利用 Excel 和 SPSS 对数据进行必要的预处理和计算，由于面板数据表大，限于篇幅，本文不再列出原始数据。

### 2.2.2 低碳效率总体分析

利用 MYDEA 软件，将输入输出指标代入上述模型中，得出“十二五”以来湖南省内各市州的低碳效率值（ $\theta$ ）见表2。

表2 湖南省内各市州的低碳效率定量评估结果  
(2011—2015年)

Tab.2 Low carbon efficiency assessment results about  
each city of Hunan Province (2011–2015)

地区	2011年	2012年	2013年	2014年	2015年	均值	排名
长沙	3.41	4.37	5.38	7.54	9.65	6.07	1
株洲	1.89	3.01	3.70	4.17	5.34	3.62	10
湘潭	2.32	3.38	4.16	5.14	6.58	4.32	7
岳阳	1.60	2.61	3.22	3.52	4.51	3.09	13
益阳	2.74	3.81	4.70	6.05	7.74	5.01	3
常德	3.07	4.13	5.08	6.78	8.68	5.55	2
衡阳	1.47	2.38	2.93	3.25	4.16	2.84	14
娄底	2.64	3.62	4.45	5.81	7.44	4.79	4
永州	1.92	2.89	3.56	4.24	5.43	3.61	11
郴州	1.79	2.87	3.53	3.96	5.07	3.45	12
邵阳	2.17	3.36	4.14	4.80	6.14	4.12	8
怀化	2.42	3.50	4.31	5.35	6.85	4.48	6
张家界	2.14	3.00	3.69	4.73	6.05	3.92	9
湘西自治州	2.84	3.16	3.89	6.27	8.03	4.84	5
全省均值	2.32	3.29	4.05	5.12	6.55	4.27	

从整体来看，湖南省 14 个市州的低碳效率平均值  $\theta$  在 2011—2015 年分别为 2.32、3.29、4.05、5.12、6.55，呈现出上升的态势，且均大于 1，整体 DEA 有效，表明“十二五”期间湖南在发展低碳经济，促进区域低碳发展方面整体效率较高。从 2012 年开始，湖南省即把推广十大清洁低碳技术作为两型社会建设和生态文明建设的重要抓手，同时，开展了严格的节能减排监测，取得了明显的成效。以 2014 年为例，湖南狠抓工业节能、清洁生产和资源综合利用等各项工作，全年全省单位规模工业增加值能耗下降 11% 左右（高出全国降幅 4 个百分点），全省规模工业综合能源消费量下降 3.9% 左右，以较低的能源消耗支撑了较高的工业经济增长，凸显了低碳效率的优势。湘潭高新区、岳阳绿色化工产业园、益阳高新区纳入国家低碳园区试点，湖南还出台了《湖南省应对气候变化方案》等十多个政策法规文件，全方位地推动低碳发展。同时，从低碳效率的空间比较来看，长沙、常德、益阳、娄底等地市低碳效率比较高，这也是符合实际的，如长沙作为省会城市，是长株潭两型社会建设的重中之重，其作为全国率先推进两型社会建设的典型大市，在推进低碳发展方面取得了突出的成效，而常德、益阳作为洞庭湖生态经济区的重要组成部分，其生态发展理念和方式由来已久，政府对洞庭湖区域的低碳发展工作也加大力度，对促进低碳效率水平提升有至关重要的意义。

同时可以注意到， $\theta$  值相对较低的衡阳、岳阳、郴州等市，是湖南的工业大市，正处于加快转型发展，低碳发展的路径当中，短期内其低碳效率提升还不够明显，在节能减排方面还有许多亟需改进的地方。

### 2.2.3 规模效益分析

进一步，利用软件可以计算得到“十二五”以来湖南省内各市州的规模效益值  $G$ ，见表 3。

**表3 湖南省内各市州的规模效益值 (2011—2015年)**  
**Tab.3 Scale efficiency value about each city of Hunan Province (2011–2015)**

地区	2011年	2012年	2013年	2014年	2015年	均值
长沙	1.54	1.61	1.66	1.86	2.14	1.76
株洲	0.85	1.10	1.14	1.03	1.18	1.06
湘潭	1.05	1.24	1.28	1.27	1.46	1.26
岳阳	0.72	0.96	1.00	0.87	1.00	0.91
益阳	1.24	1.40	1.45	1.49	1.71	1.46
常德	1.39	1.51	1.56	1.67	1.92	1.61
衡阳	0.66	0.87	0.90	0.80	0.92	0.83
娄底	1.19	1.32	1.38	1.43	1.64	1.39
永州	0.87	1.06	1.10	1.04	1.20	1.05
郴州	0.81	1.05	1.09	0.98	1.13	1.01
邵阳	0.98	1.23	1.28	1.18	1.36	1.21
怀化	1.09	1.28	1.33	1.31	1.51	1.30
张家界	0.97	1.10	1.14	1.17	1.35	1.15
湘西自治州	1.28	1.17	1.20	1.54	1.77	1.39

从平均规模效益值分析,可知岳阳、衡阳的规模效益值介于0~1之间,说明成倍地增加低碳发展方面的投入力度,这些区域的低碳效率会有更大比例的增长。除了这几个市之外,其他地区的规模效益值均大于1,说明这些地区的规模效益递减,在低碳发展方面的投入应保持适度的规模。

#### 2.2.4 低碳效率动态分析

为了更好地分析湖南14个市州低碳效率的变化趋势,运用“十二五”以来湖南省14个市州的面板数据,采用Malmquist指数模型计算了其效率变动值。由于面板数据较长,因此,分析14个市州年均低碳效率的Malmquist指数及其分解,见表4。

表4 湖南省各市州年均低碳效率的  
Malmquist 指数及其分解

Tab.4 Malmquist index and its decomposition of annual  
low carbon efficiency about each city of Hunan Province

地区	综合技术效率	技术进步	纯技术效率	规模效率	全要素低碳效率
长沙	1.000	1.132	1.000	1.000	1.132
株洲	1.005	1.120	1.000	1.006	1.129
湘潭	0.933	1.189	1.000	0.931	1.115
岳阳	1.045	1.080	0.978	1.069	1.128
益阳	1.014	1.106	1.000	1.014	1.122
常德	1.000	1.163	1.000	1.000	1.125
衡阳	0.946	1.225	1.000	0.946	1.118
娄底	0.982	1.091	1.002	0.979	1.070
永州	0.990	1.136	0.998	0.992	1.116
郴州	1.000	1.093	1.000	0.997	1.104
邵阳	0.931	1.171	0.989	1.000	1.112
怀化	1.004	1.119	1.000	1.000	1.120
张家界	0.990	1.053	0.996	0.996	1.114
湘西自治州	0.981	1.114	1.000	0.998	1.124
均值	0.990	1.130	0.930	1.000	1.116

表4显示,“十二五”以来湖南省各市州的全要素低碳效率的增长率 TFP 值都大于1,其中年均增长率为11.6%。从年均增长率的分解来看,技术进步年均增长率为13%,规模效率年均增长保持不变,综合技术效率和纯技术效率都是下降的,其中,综合技术效率年均下降为1%,纯技术效率年均下降为7%,由此可见,湖南省各地区的低碳效率的增长来自技术进步的推动。从各个城市来看,长沙、株洲、岳阳、常德、湘西自治州、益阳、怀化、衡阳等市州增长最快,其TFP增长分别为13.2%、12.9%、12.8%、12.5%、12.4%、12.2%、12.0%、11.8%,均高于平均值11.6%。而株洲在低碳效率方面本身得分虽然偏低,但是低碳效率增长速度很快,这得益于株洲这几年开展两型社会的大力投入。娄底的低碳效率年均增长率是最低的,只有7%,低于平均值,其本身低碳效率值排名还是比较靠前(位于第4位),所以有较大的提升空间。从低碳效率进步动力来看,湖南各市州低碳效率主要是来自技术进步的推动力。技术进步增长率最快的是衡阳、湘潭、邵阳、常德、永州,分别为22.5%、18.9%、17.1%、16.3%、13.6%,均超过全省平均值。从影响TFP进步的因素来看,综合技术效率和规模效率最明显。综合技术效率达到或超过1的有7个,其中湘潭、衡阳、娄底、永州、邵阳、张家界、湘西自治州分别下降6.7%、5.4%、1.8%、1.0%、6.9%、1.0%、1.1%。

### 3 启示与建议

#### 3.1 启示

从上述分析可以看出,湖南省14个市州的区域低碳效率基本上与这些区域的实际情况是高度吻合的。湖南省整体的低碳效率比较高,这得益于近年来省委、省政府积极推进绿色湖南建设,按照绿色化推进产业结构转型与升级,尤其是长株潭两型社会建设、环洞庭湖生态经济区成功获批国家级生态经济区、大湘西地区作为首批国家级生态文明先行示范区等区域战略的实施

与推行，都对湖南低碳效率的整体提升有着重要的推动作用。因此，给我们的启示是，区域低碳效率提升需要切实转变区域经济发展方式，坚持产业结构优化调整和升级，同时，从制度上推动低碳发展工作出实效，当然，还离不开社会各界的配合与努力，只有这样才能推动区域低碳发展水平的不断提升。

### 3.2 对策建议

一是健全区域低碳发展的体制机制。首先要树立低碳发展理念，按照低碳要求调整和布局产业。在湖南省各区域“十三五”产业规划当中要认真考虑低碳发展的路径，在编制产业发展规划过程中，应统筹考虑产业低碳化改进内容和项目。其次要拓宽合作与交流平台。重点加强节能与提高能效、新能源与可再生能源利用、碳交易等领域的合作与交流平台建设。如充分利用 CDM 平台，提高政府部门、企业界、学术机构、咨询服务机构、金融机构等推动 CDM 项目开发的能力 [10]。再次要强化区域低碳发展的组织保障。加快区域低碳发展需要各级各部门共同努力，需要动员全社会的力量积极参与，形成强大的工作合力。各级党委、政府要切实加强对区域低碳发展的领导，及时研究解决区域低碳发展中的重大问题。此外，要强化区域低碳经济考核。建议对地方政府和重点企业考核碳汇指标（主要考核森林覆盖率）、能源强度指标（主要考核单位 GDP 能源消耗量）、碳排放强度指标（主要考核单位 GDP 碳排放量）、水资源保护四项。并加强淘汰落后产能核查，对未按期完成淘汰落后产能任务的地区，以及未按规定期限淘汰落后产能的企业，应该重点考核和督查。还应建立一系列针对能源、资源、环境的准入和考核机制，在考核的基础上全面推动产业低碳转型。

二是着眼于转变区域经济发展方式。切实转变“唯 GDP 论”的观点，坚决改变重开发、轻节约，重速度、轻效益，重眼前、轻长远的传统发展模式，坚持“宁要绿水青山，不要金山银山，绿水青山就是金山银山”的观念，以此为基础，一方面，对于区域内传统产业应加快推进区域传统产业转型升级和结构优化调整。推动区域经济增长由能源过度依赖向创新驱动的转变，用高新技术和先进适用技术改造提升传统产业。另一方面，在新兴产业选择方面，以科技含量高、经济效益好、资源消耗低、环境污染少的标准去科学合理地选择和布局产业，有条件的区域应该大力发展生态工业、生态农业、生态旅游和现代服务业。此外，应大力推广应用新技术、新材料、新能源，尽可能降低对生态环境的影响。

三是形成全社会推进低碳发展的合力。要严格按照湖南省《实施低碳发展五年行动方案（2016—2020 年）》，要在全社会形成节能减排、低碳出行、绿色发展的氛围，同时，新时期要加大生态文明宣传教育力度，普及生态文化知识，扩大生态文化影响力 [11]。一方面，可以推广低碳社区、绿色单位、低碳家庭等评比活动，培育和引导低碳的生产、生活方式，使每一个公民、每一个家庭都成为低碳的宣传者、实践者、推动者和受益者，自觉节俭消费，崇尚绿色生活，为低碳效率贡献力量；另一方面，应进一步加大政策研究和监督检查力度，注重探索公众参与机制，鼓励和引导群众参与低碳环保事业的热情，使区域低碳发展成为全社会的共同愿望、共同责任和共同行动。

#### 参考文献：

- [1] 熊曦，刘晓玲，周平. 湖南经济增长与碳排放的脱钩关系动态比较研究 [J]. 中国能源，2015(1): 26-31.
- [2] Mustafa H. Focus on low carbon technologies: The positive solution [J]. International Economics, 2005, 65(12): 2331 - 2340.
- [3] Parikh J, Panda M, Kumar G, et al. CO2 emissions structure of Indian economy [J]. Energy, 2009, 34(8): 1024 -1031
- [4] Dagoumas A, Barker T. Pathways to a low-carbon economy for the UK with the macro-econometric E3MG model [J]. Energy Policy, 2010, 38(6): 3067 - 3077.

- 
- [5] 马勇, 颜琪, 陈小连. 低碳旅游目的地综合评价指标体系构建研究 [J]. 经济地理, 2011, 31(4): 686-689.
- [6] 刘晓磊. 基于 SBM 模型的中国省际能源效率研究 [D]. 杭州: 杭州电子科技大学, 2011.
- [7] 潘文砚, 王宗军. 我国区域低碳效率实证研究 [J]. 金融与经济, 2013(9): 15-18.
- [8] 贾登勋, 黄杰. 低碳经济发展效率的区域差异及影响因素研究 [J]. 兰州大学学报: 社会科学版, 2014, 42(4): 113-119.
- [9] 陈琦, 欧阳晓, 徐雪松. 我国钢铁企业低碳经济效率及其影响因素研究 [J]. 系统工程理论与实践, 2015, 35(7): 1896-1900.
- [10] 熊曦. 区域工业发展与碳排放的脱钩关系分析 [J]. 财经理论与实践, 2015(6): 120-125.
- [11] 罗能生, 李佳佳, 罗富政. 城镇化与生态环境耦合关系研究——以长株潭城市群为例 [J]. 湖湘论坛, 2014(1): 47-52.