

民族地区生态效率测度及影响因素研究¹

陈祖海，匡若兰

(中南民族大学经济学院，湖北武汉 430074)

【摘要】 依据 2005—2015 年的相关统计数据，运用 DEA 模型分析民族地区的生态效率，并结合 Tobit 模型探讨生态效率的影响因素。结果表明：(1) 民族地区的生态效率呈现先缓慢下降再上升的趋势，均值低于全国平均水平，且与全国的差距逐步缩小。(2) 民族地区各省份的生态效率差异较为明显；固体废弃物的排放和水资源投入的较大冗余是影响生态效率未达 DEA 有效的主要因素。(3) 地区因素、对外开放度与环境规制是阻碍生态效率提高的主要因素。

【关键词】 民族地区 生态效率 DEA 模型 Tobit 模型

【中图分类号】 F062.2 **【文献标识码】** A **【文章编号】** 1671-4407 (2019) 02-192-05

1 引言

西部大开发以来，民族地区的经济得到迅速发展，但仍落后于东部沿海地区。中国社会科学院发布的《中国工业化进程报告（1995—2015）》指出，至 2015 年中国一半以上的省市处于工业化后期阶段，民族地区中除内蒙古已进入工业化后期外，青海、宁夏、广西、贵州、云南、新疆、西藏均处于工业化的中期阶段。十九大报告提出要实施区域协调发展战略，加大力度支持民族地区加快发展。由于民族地区的生态环境相对脆弱，经济社会发展所面临的资源环境问题更加严峻。因此，如何处理好经济发展与环境保护的关系，如何提高民族地区生态效率是一个重要课题。故本文研究民族地区（我国的少数民族地区按省份来分，主要有内蒙古、广西、西藏、宁夏、新疆、贵州、云南、青海 8 省份，因西藏能源数据不完整，故不纳入分析）的生态效率及其影响因素，以期为推动民族地区绿色发展提供参考。

2 文献回顾

“生态效率”（eco-efficiency）这一概念，最早是由德国学者 Schaltegger&Sturm^[1]于 1990 年提出的，强调了“经济效率和环境效益的统一”。之后由 OECD（经济合作发展组织）和 WBCSD（世界可持续发展商业委员会）拓展了这一概念，提出了经济—生态效益的理论。生态效率是产出与投入的比值。生态效率的核心思想就是以较小的资源消耗和较少的环境污染创造更多的价值。

近年来国内关于生态效率的研究取得了较大的进展，学者们主要从三个方面进行生态效率的研究。一是生态效率的概念及内涵研究。王金南^[2]认为生态效率涵盖技术与和管理两个领域，通过提高能源和物料投入的生产力降低单位产品的耗费；诸大建和朱远^[3]认为生态效率就是资源生产率；周国梅等^[4]认为生态效率是用投入和产出的比值衡量生态资源满足人类需要的效率。二是不同层面上的研究。主要分为四类：①行业生态效率研究，如郭露和徐诗倩^[5]采用超效率 DEA 模型研究中部六省的工业生

¹基金项目：国家社会科学基金项目“民族地区资源开发利益共享机制研究”（10BMZ046）

第一作者简介：陈祖海（1965—），男，湖北潜江人，博士，教授，博士研究生导师，研究方向为生态经济与政策。
E-mail: chen-zhai7@163.com

态效率，陈祖海等^[6]构建经济增长效率模型分析能源开发的“资源诅咒”效应，发现2003年以后民族地区资源效率得到提高；②产业园区生态效率研究，刘晶茹等^[7]提出复合生态效率的概念，构建了园区复合生态效率评价指标体系，并对郑州经济技术开发区进行生态效率测评，刘巍等^[8]基于生态效率理论和数据包络分析法，应用四种不同的模型比较分析工业示范园区生态效率率的差异；③区域生态效率研究，周虹和喻思齐^[9]基于DEA法对比分析长株潭城市群和武汉城市圈的生态效率，任宇飞和方创琳^[10]利用非期望产出SBM模型分析京津冀城市群县域的生态效率，并探讨其空间效应与空间关联模式；④宏观尺度上的生态效率研究，如诸大建和朱远^[3]提出生态效率可以用来度量循环经济的发展，匡远配^[11]提出生态效率可作为两型经济的衡量标准等。三是采用不同的核算方法。例如单一指标法、指标体系法、因子分析法、层次分析法(AHP)、模糊评价法、灰色聚类法、能值分析法、数据包络分析(DEA)等，但大多数学者还是采用数据包络分析法。鉴于此，本文采用DEA模型中经典的BCC模型对民族地区2005—2015年的生态效率进行测度研究，并采用Tobit面板回归模型对其影响因素进行分析。

3 研究设计

3.1 研究方法

数据包络分析方法(data envelopment analysis, DEA)是一种基于被评价对象间相对比较的非参数技术效率分析方法。本文选取投入导向型的BCC模型分析民族地区的生态效率，该模型把综合技术效率分解为两部分：纯技术效率和规模效率。具体的BCC模型构造如下：

假设测度 t 个地区的生态效率，每个地区均有 m 种投入变量和 n 种产出变量， x_{ij} 表示第 j 个地区的第 i 种输入的投入量， y_{rj} 表示第 j 个地区的第 r 种输出的产出量， v_i 表示第 i 种输入的权重， u_r 表示第 r 种输出的权重。这样，第 j 个地区的投入可以表示为 $x_j = (x_{1j}, \dots, x_{mj})^T$ ，对应权系数是 $v = (v_1, \dots, v_m)^T$ ；产出可以表示为 $y_j = (y_{1j}, \dots, y_{nj})^T$ ，对应权系数 $u = (u_1, \dots, u_n)^T$ 。第 j 个地区的效率指数 h_j 为：

$$h_j = \frac{u^T y_j}{v^T x_j} = \frac{\sum_{r=1}^n u_r y_{rj}}{\sum_{i=1}^m v_i x_{ij}} \quad (j=1, 2, \dots, t) \quad (1)$$

以所有地区的效率指数为约束，构建如式(2)所示的最优化模型：

$$\left\{ \begin{array}{l} \max \frac{u^T y_0}{v^T x_0} \\ \text{s.t.} \frac{u^T y_j}{v^T x_j} \leq 1 \quad (j=1, 2, \dots, t) \\ u \geq 0, v \geq 0 \end{array} \right. \quad (2)$$

引入松弛变量，为：

$$\begin{cases}
 \min \theta \\
 \text{s.t.} \sum_{j=1}^t \lambda_j x_j + S^- = \theta x_0 \\
 \sum_{j=1}^t \lambda_j y_j - S^+ = y_0 \\
 \sum_{j=1}^t \lambda_j = 1 \\
 \lambda_j \geq 0 \quad (j=1, 2, \dots, t) \\
 S^-, S^+ \geq 0
 \end{cases} \quad (3)$$

其中：式(3)中 θ 无约束，为第 i 个 DUM 的技术效率值。 θ^* 、 λ^* 、 S^* 、 S^{**} 为上述问题的最优解，那么：

(1) 若有 $\theta^*=1$ 且 $S^*=S^{**}=0$ ，则表示该地区的生态效率为 DEA 有效，即在它原投入基础上的产出已经达到最大；

(2) 若有 $\theta^*=1$ 且 $S^* \neq 0$ 或者 $S^{**} \neq 0$ ，则该区域的生态效率为 DEA 弱有效，即可以减少 S^* 的投入而保持原产出不变，或者在投入不变的情况下提高 S^* 的产出；

(3) 若有 $\theta^* < 1$ ，则该地区的生态效率为非 DEA 有效，即将原投入按 θ 比例减少而保持原产出不变。

3.2 指标体系构建

本文采用投入变量法，将非期望产出指标的环境污染指标作为投入指标进行处理。因此投入指标分为资源消耗和环境污染两大类，产出指标以各地区的经济发展总量即各地区生产总值(GDP)来表示。资源消耗包括水资源消耗、能源消耗和土地消耗三类，分别用用水总量、能源消耗总量和建设用地面积表示；环境污染则包括废气排放、废水排放和固体污染物排放三类，分别用废气中烟粉尘排放总量、废水排放总量和工业固体废弃物产生量表示(表1)。使用的数据均来源于相关各年的《中国统计年鉴》《中国环境年鉴》《中国国土资源年鉴》和各省份的统计年鉴。

表 1 生态效率指标评价体系

指标类型		具体指标	指标单位
投入 指标	资源消耗指标	能源消费总量	万吨标准煤
		用水总量	亿立方米
		建设用地面积	万公顷
	环境污染指标	废气中烟粉尘排放总量	万吨
		废水排放总量	万吨
		工业固体废弃物产生量 (固废)	万吨
产出 指标	—	地区 GDP	亿元

4 结果分析

4.1 基于 DEA-BCC 模型的生态效率分析

运用 DEAP2.1 软件, 选取可变规模报酬下的 BCC 模型, 将表 1 中的投入产出指标的相关数据代入求解, 经过计算得到 2005—2015 年民族地区生态效率评价结果 (表 2)。

表 2 2005—2015 年民族地区生态效率

地区	2005 年	2006 年	2007 年	2008 年	2009 年	2010 年	2011 年	2012 年	2013 年	2014 年	2015 年	mean1
内蒙古	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	0.932	0.849	0.996	0.923	0.902	0.905	0.955
广西	0.720	0.722	0.716	0.660	0.636	0.639	0.630	0.613	0.539	0.527	0.513	0.629
贵州	0.519	0.558	0.545	0.566	0.518	0.403	0.434	0.481	0.507	0.482	0.525	0.503
云南	0.675	0.644	0.637	0.618	0.583	0.581	0.466	0.478	0.504	0.517	0.490	0.563
青海	0.410	0.517	0.432	0.453	0.384	0.441	0.466	0.553	0.564	0.569	0.574	0.488
宁夏	0.248	0.367	0.270	0.294	0.292	0.314	0.323	0.386	0.390	0.419	0.511	0.347
新疆	0.602	0.695	0.575	0.508	0.442	0.480	0.471	0.514	0.489	0.513	0.525	0.529
mean2	0.596	0.643	0.596	0.586	0.551	0.541	0.520	0.574	0.559	0.561	0.578	0.574
mean3	0.714	0.733	0.707	0.683	0.677	0.680	0.653	0.672	0.653	0.652	0.644	0.685

注: (1) mean1 表示民族地区各省份 2005—2015 年的生态效率均值; (2) mean2 表示民族地区生态效率的年均值; (3) mean3 表示我国 30 个省份 (西藏能源数据 不完整, 故不纳入分析) 生态效率的年均值。

由表 2 可以发现: (1) 从生态效率均值看, 民族地区的生态效率呈现以下特征: ①总体水平较低, 均值为 0.574, 低于我国 30 个省份的生态效率水平; ②变化趋势与全国不一致, 2005—2011 年民族地区的生态效率均值缓慢降低, 2012—2015 年缓慢回升, 与我国生态效率的年均值之间的差距呈现缩小的趋势。③样本省份差异显著, 除内蒙古生态效率均值为 0.955 外, 余下六省的生态效率均值处在 0.65 以下。

(2) 从生态效率值看: ①仅内蒙古在 2005—2009 年的生态效率值为 1, 表明其连续数年处在生态效率前沿面, 其余均属于生态效率无效; ②内蒙古、广西和云南的生态效率值呈现缓步降低的趋势, 而贵州、新疆、青海与宁夏的生态效率值在降低之后又有所上升。除内蒙古的生态效率值保持在 0.9 以上外, 其余地区的差距正在逐步缩小。

4.2 基于 DEA 的规模效率分析

表 3 2005—2015 年民族地区规模效率

地区	2005 年	2006 年	2007 年	2008 年	2009 年	2010 年	2011 年	2012 年	2013 年	2014 年	2015 年	均值	
内蒙古	1	1	1	1	1	0.932	0.849	0.996	0.923	0.924	0.957	0.962	-
广西	0.984	0.983	0.976	0.971	0.967	0.977	0.971	0.971	0.96	0.958	0.949	0.970	irs
贵州	0.769	0.834	0.816	0.826	0.794	0.732	0.754	0.829	0.857	0.842	0.899	0.814	irs
云南	0.904	0.953	0.973	0.96	0.951	0.943	0.944	0.946	0.948	0.947	0.938	0.946	irs
青海	0.41	0.517	0.432	0.453	0.384	0.441	0.466	0.553	0.564	0.569	0.574	0.488	irs
宁夏	0.248	0.367	0.27	0.294	0.292	0.314	0.323	0.386	0.39	0.419	0.511	0.347	irs
新疆	0.833	0.915	0.905	0.882	0.817	0.869	0.811	0.875	0.89	0.883	0.878	0.869	irs

注: “-” 表示规模效率不变, “irs” 表示规则效率递减。

规模效率反映各决策单元的经营规模是否最优。当规模效率值为 1 时, 意味着该决策单元的经营规模最优, 具有规模效率; 若其规模效率值小于 1, 则规模无效率。规模无效率即表示该决策单元处于规模报酬递增或者规模报酬递减的状态, 需进一步分析。

从表 3 可以看出, 除内蒙古在 2005—2009 年达到规模效率外, 其余地区在考察期内均处于规模无效率的状态。其中, 青海和宁夏的规模效率值大多处在 0.5 以下, 由于综合技术效率=规模效率×纯技术效率, 说明这两个地区未达到生态效率前沿面的重要原因是规模效率过低。此外, 内蒙古自 2010 年起呈现出规模报酬递减的态势, 所以, 内蒙古需要有效控制其经济规模, 加强技术创新与使用, 优化资源配置, 提升该区域的规模效率, 进而提升其生态效率。而其余 6 省份通过提高经济规模与规模效率来改善生态效率, 具有很大的可行性。

4.3 偏要素生态效率分析

DEA 模型决策单元的每种投入的偏要素生态效率 (PTE), 是在保持既定产出且其他各种投入要素不变的条件下, 该要素可以达到的潜在最小投入量与目前要素的投入量之比, 也即该要素可以实现减少的幅度, 由此明确决策单元改善生态效率的方向。利用偏要素生态效率缺 fi 比率 (PFEGR) 表示偏要素生态效率与纯技术效率之间的差距。PFEGR 的值越大, 意味着该项投入的偏要素生态效率越接近决策单元整体的纯技术效率; 反之, 则差距越大。以 2015 年为例, 分析民族地区的偏要素生态效率, 如表 4 所示。

表 4 2015 年民族地区偏要素效率和纯技术效率

地区	偏要素生态效率 (PTE)						纯技术效率	偏要素生态效率缺口比率 (PFEGR)					
	能源	用水	用地	固废	废水	烟粉尘		能源	用水	用地	固废	废水	烟粉尘
内蒙古	0.422	0.153	0.247	0.052	0.945	0.102	0.945	0.446	0.162	0.262	0.055	1	0.108
广西	0.540	0.136	0.289	0.088	0.525	0.112	0.540	1	0.251	0.535	0.164	0.972	0.208
贵州	0.584	0.322	0.559	0.522	0.584	0.365	0.584	0.999	0.551	0.957	0.894	0.999	0.626
云南	0.522	0.249	0.345	0.061	0.522	0.174	0.522	1	0.477	0.662	0.117	1	0.333
青海	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
宁夏	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
新疆	0.419	0.073	0.231	0.598	0.598	0.285	0.598	0.701	0.122	0.387	1	1	0.477

由表 4 可以看出: (1) 青海和宁夏的纯技术效率值为 1, 说明其每一项要素的投入与产出都达到了一个最优的状态, 那么, 只能通过提高该地区的经济规模与规模效率来提升它们的生态效率。

(2) 从生态效率影响因素来看, 烟粉尘、水资源的偏要素生态效率相对较低, 且 PFEGR 值也比较低, 说明民族地区经济发展面临较大的环境压力。因此, 必须转变经济发展方式, 提高资源环境的利用效率, 降低污染的排放, 进而提高民族地区生态效率。

(3) 从各省份来看, 内蒙古、广西、云南的固废投入的偏要素生态效率值相对最低, 可以说是当地在生态文明建设中处于劣势的关键因素。因此, 为提升生态文明建设水平, 三省份的首要任务是减少固废的排放, 积极开发应用固废的再利用技术, 从而逐步提高其水资源的利用效率、烟粉尘的处理技术。对于贵州和新疆来说制约生态效率提升的关键因素是水资源投入的偏要素生态效率过低, 那么首先需要节约用水、提高水资源的利用效率, 然后再提高烟粉尘的处理技术。由于新疆的土地投入的偏要素生态效率较低, 改善土地利用效率也是新疆的重要任务之一。此外, 虽然内蒙古的废水投入的 PFEGR 为 1, 即废水的偏要

素生态效率值等于其技术生态效率，由于其偏要素生态效率未实现 DEA 有效，故还有一定的改善空间。同理，广西与云南的能源投入、云南与新疆的废水投入以及新疆的固废投入的偏要素生态效率也存在较大的提升空间。

4.4 生态效率影响因素分析

根据已有研究^[12-13]发现，生态效率值的高低不仅受直接参与绩效评价的投入指标的影响，还受评价体系之外的经济、政策、地区等因素的影响。本文基于 Tobit 模型，选取以下六个因素作为民族地区生态效率的解释变量：①地区因素 (x_1)，以人口密度作为衡量指标；②经济规模 (x_2)，取各省人均地区生产总值表征；③产业结构 (x_3)，以第二产业所占比重为衡量标准；④对外开放度 (x_4)，以各省进出口总额与 GDP 的比值为衡量指标；⑤科技水平 (x_5)，取各省专利申请授权数(项)表征；⑥环境规制 (x_6)，以环境污染治理投资占 GDP 的比重为衡量指标。

Tobit 模型如式(4)所示：

$$Y_{it} = \beta_0 + \beta_1 \ln x_{1it} + \beta_2 \ln x_{2it} + \beta_3 x_{3it} + \beta_4 x_{4it} + \beta_5 \ln x_{5it} + \beta_6 x_{6it} + \varepsilon_{it} \quad (4)$$

式中： Y_{it} 为民族地区各省份生态效率， i 为省份， t 为年份， β 为回归系数， ε 为随机扰动项。为了降低 Tobit 回归模型异方差的影响，对地区因素 (x_1)、经济规模 (x_2) 和科技水平 (x_5) 进行取对数处理，且基础数据均来源于《中国城市统计年鉴》(2006—2016 年)。本文利用 Statal4 软件进行面板回归，结果见表 5。

表 5 民族地区生态效率影响因素 Tobit 回归结果

变量名称	系数	标准误差	Z 值	P 值	95%置信区间	
$\ln x_1$	-0.224 17	0.054 328	-4.13	0.000	-0.330 65	-0.117 69
$\ln x_2$	-0.033 215	0.047 119	-0.70	0.481	-0.125 57	0.059 138
x_3	-0.002 043	0.003 157	-0.65	0.518	-0.008 23	0.004 145
x_4	-0.004 454	0.002 709	-1.64	0.100	-0.009 76	0.000 856
$\ln x_5$	0.008 012	0.029 702	0.27	0.787	-0.050 2	0.066 229
x_6	-0.026 988	0.015 309	-1.76	0.078	-0.056 99	0.003 018
_cons	2.142 683	0.395 7621	5.41	0.000	1.367 003	2.918 362

由表 5 可知，所选影响因素中地区因素、对外开放度、环境规制与生态效率显著负相关，表明它们对生态效率的影响存在消极作用。而经济规模、产业结构与科技水平对生态效率的影响是不显著的，表明在现有的生产条件下，它们对于生态效率的影响不是很明显。

首先，在地区因素方面，人口密度每提高一个百分点，民族地区的生态效率将会减少 0.22417 个百分点。在考察期内，除青海外，民族地区的人口密度均呈现缓步上升的趋势，随着人口密度的增大，人们的生产生活给当地环境带来较大的压力。此外，民族地区生态环境脆弱，应合理地减少其人口密度以改善生态效率。

其次，在对外开放度方面，各省份的进出口总额占 GDP 的比重每增加一个百分比，生态效率会降低 0.004454 个百分点。这在一定程度上说明对外贸易虽然能促进经济增长，但这种促进作用可能是以生产并出口高能耗、高污染的低端产品为代价的。

最后, 在环境规制方面, 环境污染治理投资占 GDP 的比重每增加一个百分点, 民族地区的生态效率将会减少 0.026988 个百分点, 表明尽管民族地区加大了环境污染治理投资的比重, 但生态效率并没有得到改善。因此, 政府在环境污染治理时, 不仅要考虑投入的数量, 更要考虑投入的效率问题。

5 结论

(1) 民族地区的生态效率的地区差异显著, 仅内蒙古在 2005—2009 年达到 DEA 有效, 其余均处于生态无效率状态, 呈现先缓慢降低再上升的趋势, 均值低于全国水平, 且与全国的差距逐步缩小。

(2) 从民族地区各省份来看, 青海和宁夏应通过提高该地区的经济规模与规模效率提升其生态效率。内蒙古、广西和云南的首要任务是提高能源的利用效率, 减少固废的排放, 积极开发应用固废的再利用技术; 贵州和新疆应首先节约用水、提高水资源的利用效率, 进而逐步降低其他投入要素的冗余率, 以期改善生态效率。

(3) 从现实情况来看, 民族地区拥有丰富的矿产资源与能源, 某些省份在其经济发展中过于依赖资源型产业, 很容易造成能源的过度消耗和污染的大量排放。因此, 民族地区要加强对矿产资源的综合开发利用, 提高矿产资源的规模效应和综合利用率, 要树立绿色发展的理念, 加快转变经济增长方式, 调整和优化产业结构。

(4) 从影响因素来看, 地区因素、对外开放度、环境规制对生态效率存在显著的负向作用。因此, 民族地区在提升生态效率时, 必须合理调节人口密度, 开展“绿色贸易”战略, 提升环境污染治理投入的效率。E

参考文献:

- [1] Schaltegger S, Sturm A. Okologische rationalitat: Ansatzpunkte zur ausgestaltung von okologieorientierten managementinstrumenten [J]. Die Untemehmung, 1990, 44(4): 273-290.
- [2] 王金南. 发展生态工业是解决工业污染的重要途径[N]. 中国 环境报, 2001-12-21 (3).
- [3] 诸大建, 朱远. 生态效率与循环经济[J]. 复旦学报(社会科学版), 2005 (2) : 60-66.
- [4] 周国梅, 彭昊, 曹凤中. 循环经济和工业生态效率指标体系 [J]. 城市环境与城市生态, 2003 (6) : 201-203.
- [5] 郭露, 徐诗倩. 基于超效率 DEA 的工业生态效率——以中部六省 2003—2013 年数据为例[J]. 经济地理, 2016 (6) : 116-121.
- [6] 陈祖海, 雷朱家华, 刘驰. 民族地区能源开发与经济增长效率研究——基于“资源诅咒”假说[J]. 中国人口·资源与环境, 2015 (6) : 98-106.
- [7] 刘晶茹, 吕彬, 张娜, 等. 生态产业园的复合生态效率及评价指标体系[J]. 生态学报, 2014 (1) : 136-141.
- [8] 刘巍, 田金平, 李星, 等. 基于 DEA 的中国综合类生态产业园生态效率评价方法研究[J]. 中国人口·资源与环境, 2012(S1) : 93-97.
- [9] 周虹, 喻思齐. 基于 DEA 法的城市圈生态效率对比研究——以长株潭城市群和武汉城市圈为例[J]. 区域经济评论, 2014(5) : 146-150.

-
- [10] 任宇飞, 方创琳. 京津冀城市群县域尺度生态效率评价及空间格局分析[J]. 地理科学进展, 2017 (1) : 87-98
- [11] 匡远配. 两型经济的衡量标准与模式: 基于生态经济效率理论的分析[J]. 经济体制改革, 2011 (6) : 24-27.
- [12] 王晓玲, 方杏村. 东北老工业基地生态效率测度及影响因素研究——基于 DEA-Malmquist-Tobit 模型分析[J]. 生态经济, 2017(5) : 95-99.
- [13] 付丽娜, 陈晓红, 冷智花. 基于超效率 DEA 模型的城市群生态效率研究——以长株潭“3+5”城市群为例[J]. 中国人口·资源与环境, 2013 (4) : 169-175.