

---

# 基于三阶段 DEA 模型的云南有色金属产业效率影响机理研究<sup>\*1</sup>

赵婧雯<sup>1</sup> 刘春学<sup>1, 3</sup> 张钦礼<sup>2, 3</sup>

(1. 云南财经大学城市与环境学院, 云南昆明 650221;

2. 中南大学资源与安全工程学院, 湖南长沙 410083

3. 湖北师范大学资源枯竭城市转型与发展研究中心, 湖北黄石 435002)

**【摘要】:** 本文运用三阶段 DEA 模型, 对 2005—2014 年我国 31 个省市有色金属产业的效率进行测度, 揭示了云南有色金属产业效率偏低的主要原因。结果表明:一方面, 外部环境因素对有色金属产业的规模效率影响显著, 其中一、三产业占比情况对产业生产有较大的积极影响;另一方面, 剔除环境因素和随机干扰之后, 云南有色金属产业综合技术效率波动明显, 综合技术效率在全国排名较后, 与纯技术效率的趋势较为吻合, 同时规模效率在全国范围内也排名靠后。研究发现, 纯技术效率较低是影响云南有色金属产业效率相对较低的主要原因, 云南有色金属产业效率亟需提升管理水平, 提高资源利用效率。

**【关键词】:** 有色金属产业; 三阶段 DEA 模型; 效率; 环境因素; 云南省

**【中图分类号】:** F790.49 **【文献标识码】:** A **【文章编号】:** 2096-3130(2017)03-0087-06

doi:10.3969/j.issn.2096-3130.2017.03.019

2016 年 6 月的中国有色金属产业月度报告显示, 有色金属产业的生产总体较为平稳, 有色金属产品的价格环比增长回升, 企业经济效益呈恢复性增长, 但产业复苏的基础尚不牢固, 行业困难局面并未得到明显好转, 发展后劲仍显不足。有色金属产业依旧面临价格波动较大、资金链条紧绷、出口压力较大、企业负担沉重等问题。有色金属作为重要的基础原料产品, 势必将通过投入产出关联对其他产业产生影响, 同时对整个经济运行进行干扰, 减弱国家的政策效果。因此确定有色金属产业的效率的实际情况, 并通过对比全国 31 个省市有色金属产业效率的情况, 对近十年有色金属产业效率的演变规模进行分析, 深入挖掘云南有色金属产业存在的问题具有重要的现实意义。

---

<sup>1</sup> **基金项目:** 云南省省院省校教育合作人文社科项目“新常态下云南有色金属产业持续发展对策研究”(SYSX201511), 湖北师范大学资源枯竭城市转型与发展研究中心开放基金项目成果(kf2015y03)

**收稿日期:** 2017—02—16

**作者简介:** 赵婧雯, 女, 湖北宜昌人, 硕士研究生, 主要研究方向为资源经济学; 张钦礼, 男, 汉族, 山东临朐人, 博士, 中南大学资源与安全工程学院教授, 博士生导师, 主要研究方向: 采矿技术、安全技术及资产评估等; 刘春学, 男, 河南林州人, 博士, 云南财经大学城市与环境学院教授, 博士生导师, 主要研究方向为资源环境经济学。

关于产业效率的问题，国内多使用 DEA 方法进行实证探讨。赵自芳和史晋川(2006)运用 DEA 模型，选取产品销售收入为产出指标，固定资产净值余额、从业人员平均人数为投入指标，对要素市场扭曲导致的效率损失进行了测算。王家庭(2009)、黄永兴(2014)分别基于三阶段 DEA 模型、Bootstrap-DEA 方法，选取营业收入、增加值为产出指标，产业资产、从业人数等为投入指标，对产业效率进行了实证分析。田淑英(2012)基于 DEA 模型选取产业产值、人均收入等为产出指标，固定资产投资、年末从业人数为投入指标，对产业的投入产出效率进行了评价。国内对有色金属产业效率的研究不多，鉴此，本文使用 2005—2014 年十年共 31 个省有色金属产业数据，对有色金属产业的效率演变情况进行分析，试图在时间的演变规律和三阶段 DEA 方法上有所拓展。

## 一、分析方法

三阶段 DEA 分析方法是在传统 DEA 方法的基础上，加入第二阶段 SFA 分析，弥补其在剔除随机误差和环境因素两个方面的不足，使计算出来的结果能更加准确地衡量内部管理水平的生产效率值。为了验证是否有必要进行三阶段 DEA，需使用 Pearson 相关性检验和配对 T 检验对投入和产出变量的相关性进行检验。测算主要分为三个阶段，第一阶段利用传统 DEA 模型计算综合技术效率、纯技术效率和规模效率的值。引入对偶变量  $\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_n$ ，和松弛变量  $s$ ，传统的 DEA 模型即为 CCR 模型。数学表达式为：

$$\begin{aligned} & \min \theta \\ & \left\{ \begin{array}{l} \sum_{i=1}^n \rho_i x_i + s^- = \theta x_o \\ \sum_{i=1}^n \rho_i y_i + s^+ = y_o \\ s^-, s^+, \rho_i \geq 0, \theta \text{ 无约束} \end{array} \right. \end{aligned}$$

$\theta$  求出即为各技术效率值。在规模报酬可变的条件下，BCC 模型数学表达式为  $\min \eta$ ， $\eta$  即为各个决策单元的纯技术效率 (PTE)。利用 DMU 在既定产出水平下的最优投入  $x_o^* = \eta x_o - s^*$  和以上两个模型计算  $\theta$  和  $\eta$  结果，可求得各决策单元规模效率 (SE)， $SE=TE/PTE$ 。为客观分析各 DMU 生产效率，需考虑环境因素对生产要素投入的影响，求出  $x_o$  和  $x_o^*$  的差值作为第二阶段需要调整的投入额。求出其冗余量，进入第二阶段。第二阶段构建 SFA 回归模型，分别对 M 个决策单元的 N 个投入差额变量进行分析。投入差额变量表达式如下：

$$s_{ij} = x_{ij} - x_{ij}^* \quad (i = 1, 2, \dots, M; j = 1, 2, \dots, N)$$

$x_{ij}$  为第 i 个决策单元第 j 项投入值， $x_{ij}^*$  为第 i 个决策单元第 j 项理想投入值，以  $s_{ij}$  得到的差值为因变量，外界环境  $z_i$  为自变量建立 SFA 回归方程。

$$s_{ij} = f_j(z_i, \beta) + \mu_{ij} + V_{ij}$$

$f_j(z_i, \beta)$  为外部环境变量对  $s_{ij}$  的影响方式，通常  $f_j(z_i, \beta) = z_i^T \beta$ ； $\beta$  为环境解释变量  $z_i$  的回归系数； $\mu_{ij}$ ， $v_{ij}$  均为复合随机项。通过 SFA 方程回归之后，可以剔除环境因素与随机误差项对投入变量的影响，将所有的决策单元放置在同样外部环境和随机干扰下进行效率测算。具体调整方式表示为：

$$x_{ni}^* = x_{ni} + [\max_i \{z_i \beta^n\} - z_i \beta^n] + [\max_i \{v_{ni}\} - v_{ni}]$$

其中， $x_{ni}$  和  $x_{ni}^*$  分别表示调整之前和调整之后的投入变量。第三阶段将第二阶段处理过的投入数据代替原始投入数据，产出仍为原数据，再次运用第一阶段的计算方法，对决策单元进行效率分析。

## 二、实证分析

### (一) 指标选取及数据处理

利用三阶段 DEA 模型对云南有色金属产业的生产效率进行分析，需统计传统 DEA 模型所需要使用的投入产出指标，以及第二阶段引入 SFA 回归模型后需使用的环境指标。根据《中国工业统计年鉴》(2006—2015)，本文将有色金属采选业、有色金属冶炼及压延加工业两大产业进行整合，形成有色金属产业。指标的类别主要参考国内学者在研究产业效率时采用的指标，结合有色金属产业数据的可获得性、科学性等原则，选取投入指标为有色金属产业固定资产合计、主营业务成本、平均用工人数，产出指标为主营业务收入。

由于各个投入项与产出项之间必须符合模型的“同向性”假定，即投入量增加时，产出量不能减少，在此进行 Pearson 相关性检验，可知各个投入项与产出项之间的相关性系数均可以通过 1% 置信水平的双尾检验，说明投入项与产出项之间符合“同向性”假定，且各个投入量对产出量主营业务收入的影响很大，指标的选择较为合理。

表 1 2005—2014 年投入量与产出量 Pearson 相关性检验

投入项 \ 产出项	固定资产合计	主营业务成本	平均用工时间
主营业务收入	0.855** (0.000)	1.000** (0.000)	0.679** (0.000)

(注：\*\*表示在 1% 的显著性水平上显著；() 中的数为 P 值)

本文的环境指标是能影响有色金属产业发展，但不属于该产业主观可控的因素。相同的生产技术、生产设备、生产人员，但生产环境较好的个体可能具有更高的生产效率，因此第二阶段的 SFA 回归分析中，将引入环境变量，以排除环境因素以及随机误差项给效率值带来的影响，使各个 DMU 都处于相同的环境中，得到更加科学的效率评价结果。目前环境变量的选取并没有严格统一的标准，本文参考国内相关研究，主要选取以下指标作为环境指标：城镇人均一般可支配收入，用于表示消费和工作积极程度等因素对生产投入的影响；地方财政支出，用于表示政府投资对生产投入的影响；一、三产业占整个 GDP 的比重，用于表示一、三产业发展对第二产业发展提供的物质条件和科学技术条件。

### (二) 三阶段 DEA 模型实证结果分析

传统 DEA 模型分析为第一阶段模型，利用 Deap2.1 软件分析投入导向型的可变规模模型对各个省有色金属产业 2005—2014

年的技术效率、纯效率和规模效率。

通过传统 DEA 模型得到 31 个省市共 310 个决策单元的效率值，同时计算出各 DMU 的冗余量。第二阶段以第一阶段 DEA 分析得到的投入冗余量为因变量，环境变量为自变量，建立 SFA 回归模型。根据各省十年冗余量均值、环境变量均值数据代入回归分析，结果表明，云南有色金属产业固定资产合计、平均用工人数这两方面投入冗余量的平均占比较大，三种投入的冗余量占比分别为 6.48%、31.04%和 20.62%:投入情况存在较大程度的浪费。

表 2 第二阶段 SFA 回归结果

	主营业务成本冗余量	固定资产合计冗余量	平均用工人数冗余量
常数项	70.65* (53.48)	177.64341* (177.86867)	0.31** (4.2658236)
一三产业占比	-54.82* (-81.71)	-233.25524* (-224.53176)	-0.30 (-2.1103975)
财政一般预算收入	0.0045** (3.29)	0.00916 (1.4486783)	0.0000 (-0.070944575)
城镇居民一般可支配收入	0.0030* (-19.33)	-0.004571941* (-9.780064)	0.0000* (-8.651656)
$\sigma^2$	2014.06* (2014.79)	11236.299* (11235.946)	1.26** (4.577377)
$\gamma$	0.9999999* (77.31)	0.9999999* (91297.704)	0.9999999* (33888781)
log likelihood function	-145.42	-165.63	-26.13
LR test of the one-sided error	8.39	17.06	20.37

注：“( )”内为 t 检验值，\*、\*\*、\*\*\* 分别代表通过 1%、5%、10% 的显著性检验。

由 SFA 回归分析结果可知，大部分变量均可以通过显著性检验，说明各变量对有色金属产业投入的冗余量具有较为明显的影响。表中显示， $\gamma$  接近于 1，而且能够通过 1% 的显著性水平，表明管理因素对文中三种投入的影响有主导性的作用。第二阶段由于自变量为环境变量，而因变量是投入冗余量，得出系数为负值，说明随着环境变量的增大，冗余量将减小，投入浪费的情况将减弱。回归模型显示，一三产业占比对三项投入的系数均为负值，表明一三产业占比越大，则投入浪费将明显降低。财政一般预算收入和城镇居民一般可支配收入的增加都对主营业务成本有一定负面影响，而城镇一般居民可支配收入的增加对平均用工人数有积极的影响。总之，各个环境变量将对不同地区的投入情况进行影响，本文需要对原始投入要素进行适当的调整，使得所有地区面对的外在条件达到一致，再分析真实的地区有色金属产业效率水平。

传统 DEA 模型 2005—2014 年结果分析可知，纯技术效率指标上，云南省有色金属产业的纯技术效率基本未达到 DEA 有效，近五年来纯技术效率在 0.9 以上，但整体低于全国平均水平，2014 年效率达到 DEA 有效的有北京、天津、吉林、浙江、江苏、安徽、江西、山东、湖南、海南、西藏共 11 个省份，云南省有色金属产业纯技术效率为 0.943，在全国范围内排名 26，纯技术效率较低。另外，从纯技术效率的稳定性上分析，云南省有色金属产业的纯技术效率近十年来和平均效率值相比，波动较大，并不十分稳定，近几年有上升趋势。规模效率指标上，云南有色金属产业的规模效应没有达到 DEA 有效，除了 2008 年、2012 年，其他年份均低于全国各个省市的平均水平。2014 年达到 DEA 有效的省份有天津、上海、安徽、湖南、西藏五个省份，云南有色金属产业的规模效率值为 0.969，全国排名 18 名，属于中等偏下水平。另外，从云南有色金属产业的规模效率稳定性上看，近

十年来该效率波动较大，最低低于 0.94，最高达到 0.995，接近 DEA 有效水平。综合技术效率指标上，云南有色金属产业的综合技术效率通常并未达到 DEA 有效，且与 DEA 有效水平相差较大，近十年来，除了 2012 年之外，综合效率均低于全国平均综合效率。2014 年达到 DEA 有效的省份有云南省、天津、安徽、湖南、西藏四个省份，有色金属产业的综合效率排名为 26 名，属于靠后水平，综合效率值仅有 0.914。另外，从云南有色金属产业综合效率值的稳定性上分析，近十年来波动较大，最高的综合效率值接近 1，但最低值在 0.84 以下。

表 3 2005、2014 年第一、第三阶段效率值比较情况

	综合技术效率				纯技术效率				规模效率			
	2005 年		2014 年		2005 年		2014 年		2005 年		2014 年	
	调整前	调整后	调整前	调整后	调整前	调整后	调整前	调整后	调整前	调整后	调整前	调整后
北京	0.92	0.91	0.99	0.59	0.92	0.92	1.00	0.60	1.00	0.99	0.99	0.98
天津	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
河北	0.84	0.84	0.97	0.97	0.84	0.84	0.98	0.99	1.00	1.00	1.00	0.98
山西	0.70	0.70	0.84	0.89	0.73	0.74	0.91	0.91	0.96	0.95	0.92	0.98
内蒙古	0.84	0.84	0.94	0.97	0.84	0.84	0.98	0.98	1.00	1.00	0.96	0.99
辽宁	0.81	0.81	0.97	0.97	0.82	0.82	0.98	0.97	0.98	0.98	0.99	1.00
吉林	0.78	0.78	0.92	0.97	0.79	0.79	1.00	0.99	1.00	0.99	0.92	0.97
黑龙江	0.78	0.78	0.75	0.91	0.79	0.80	0.91	0.97	0.99	0.98	0.82	0.94
上海	0.93	0.93	0.95	0.86	0.94	0.94	0.95	0.86	0.99	0.99	1.00	1.00
江苏	0.99	0.99	0.97	0.99	1.00	1.00	1.00	1.00	0.99	0.99	0.97	0.99
浙江	0.98	0.98	0.96	0.95	0.99	0.99	1.00	0.95	0.99	0.99	0.96	1.00
安徽	0.96	0.96	1.00	1.00	0.97	0.97	1.00	1.00	0.99	0.99	1.00	1.00
福建	0.98	0.98	0.98	0.98	0.98	0.98	0.99	0.98	1.00	1.00	0.99	1.00
江西	0.96	0.96	0.97	0.97	0.97	0.97	1.00	1.00	0.99	0.99	0.97	0.97
山东	0.95	0.96	0.99	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.96	0.96	0.99	1.00

河南	0.96	0.96	0.95	0.97	1.00	1.00	0.99	1.00	0.96	0.96	0.96	0.98
湖北	0.84	0.84	0.95	0.95	0.84	0.84	0.95	0.96	1.00	1.00	1.00	0.99
湖南	0.93	0.93	1.00	1.00	0.99	1.00	1.00	1.00	0.93	0.93	1.00	1.00
广东	0.91	0.91	0.96	0.97	0.96	0.97	0.96	0.97	0.95	0.94	1.00	1.00
广西	0.74	0.74	0.92	0.96	0.74	0.74	0.98	0.98	1.00	1.00	0.94	0.98
海南	0.96	0.89	0.96	0.93	1.00	1.00	1.00	1.00	0.96	0.89	0.96	0.93
重庆	0.91	0.91	0.94	0.96	0.91	0.91	0.97	0.96	1.00	1.00	0.97	1.00
四川	0.87	0.87	0.95	0.95	0.87	0.87	0.95	0.96	1.00	1.00	1.00	0.99
贵州	0.81	0.81	0.90	0.94	0.81	0.81	0.95	0.95	1.00	1.00	0.95	0.99
云南	0.83	0.83	0.91	0.94	0.87	0.87	0.94	0.95	0.96	0.95	0.97	0.99
西藏	0.84	0.66	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.84	0.66	1.00	1.00
陕西	1.00	1.00	0.96	0.98	1.00	1.00	0.98	0.98	1.00	1.00	0.98	1.00
甘肃	0.83	0.83	0.93	0.93	0.88	0.89	0.93	0.93	0.95	0.94	1.00	1.00
青海	1.00	1.00	0.86	0.88	1.00	1.00	0.90	0.89	1.00	1.00	0.96	0.99
宁夏	0.76	0.76	0.86	0.86	0.77	0.77	0.88	0.87	0.99	0.99	0.97	0.99
新疆	0.83	0.82	0.92	0.96	0.84	0.85	0.99	0.99	0.98	0.97	0.93	0.97
平均效率	0.89	0.88	0.94	0.94	0.91	0.91	0.97	0.95	0.98	0.97	0.97	0.99

注：表中仅为 2005 年、2014 年计算结果，便于比较十年各个省市效率变化。

第一阶段的 DEA 研究结果表明，2005 年至 2014 年期间，云南有色金属产业的 DEA 无效率的主要原因是纯技术无效率，即主要是云南地区生产要素的利用和管理能力较弱导致，规模效率的影响程度较弱。但是云南地区有色金属产业存在部分地区经营规模并不大，生产较为分散的情况，因此需进行投入调整，进一步说明规模效率对综合技术效率的贡献情况。

经过第二阶段的调整，2005 至 2014 年各省市纯技术效率结果有 1 个百分点左右的小幅度波动，规模效率有 3 个百分点左右的明显提高，导致综合技术效率值小幅度上涨。

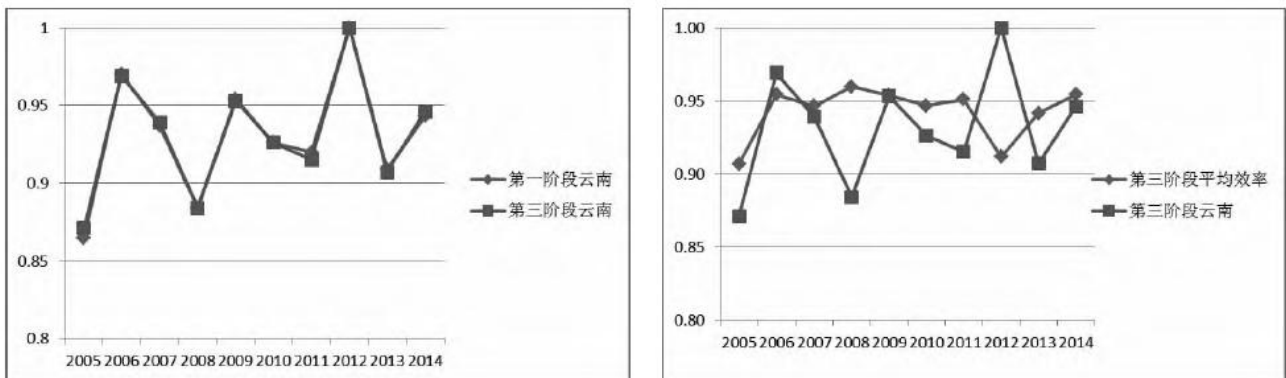


图 1 各投入调整前后纯技术效率比较

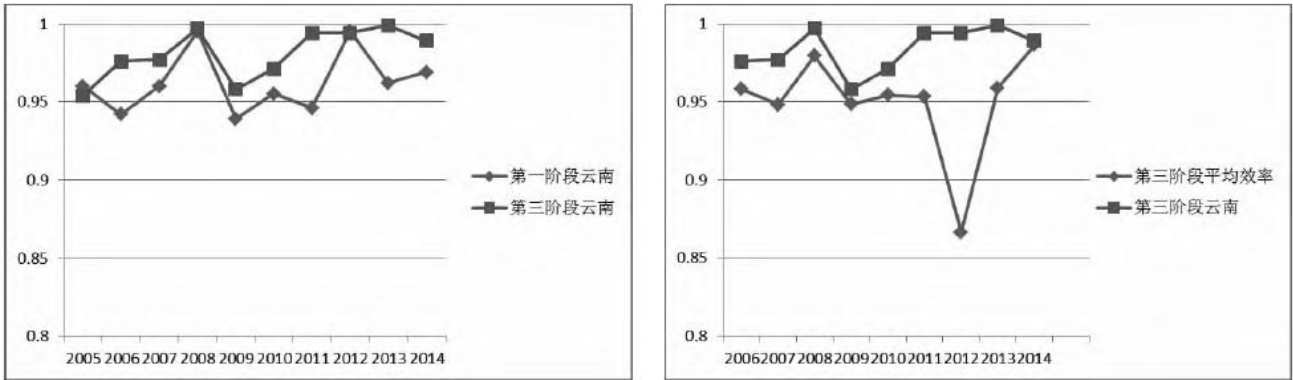


图 2 各投入调整前后规模效率比较

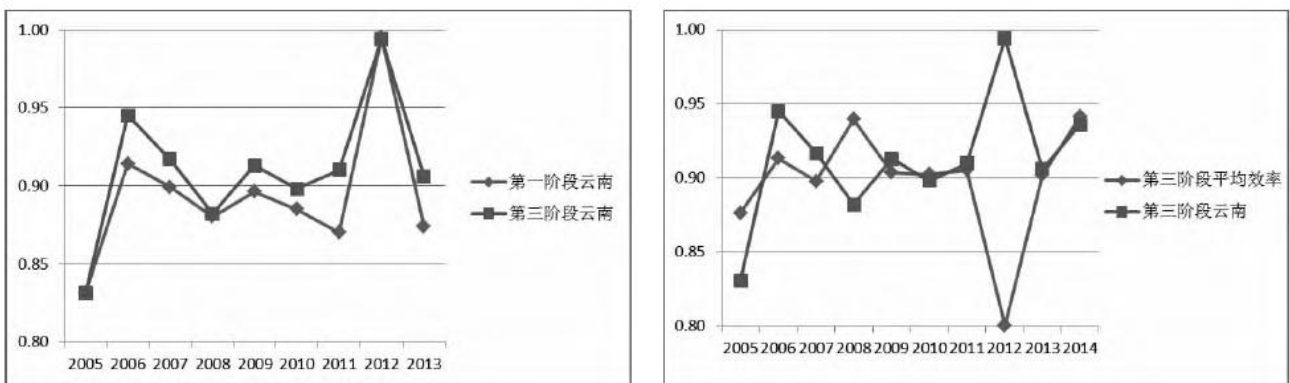


图 3 各投入调整前后综合技术效率比较

调整之后云南有色金属产业的纯技术效率变化较小，除 2012 年之外，其他年份纯技术效率均低于全国效率平均值，一是表明云南有色金属产业的管理情况受随机误差以及外界环境因素影响较小，二是表明云南有色金属产业的管理水平在全国范围内处于中下游水平；云南规模效率经过调整明显提高，十年规模效率值均不低于规模效率均值，表明云南规模效率在排除随机误差以及外界环境因素影响之后，产业规模情况有所改善。由于云南有色金属产业规模效率接近于 1，因此综合效率情况与纯技术效率的情况较为接近，说明云南地区的有色金属产业效率主要是因为生产要素的利用程度不够，管理水平不高所导致，云南有色金属产业的规模效率情况较好，通过第二阶段的调整，进一步说明了云南有色金属产业纯技术效率和规模效率情况，厘清了云南有色金属产业效率存在的主要问题。

另外，通过云南有色金属产业第三阶段纯技术效率、规模效率及综合技术效率与全国各个省市排名的情况可以分析得知，云南有色金属产业综合技术效率的情况在全国 31 个省市中排名较后，主要是由于纯技术效率较低导致，但与全国各个地区比较可知，云南的规模效率情况依然处于中下游水平。

总之，2005 年至 2014 年云南有色金属产业近十年的纯技术效率整体呈上升趋势，但在全国 31 个省市中排名十分落后，云南有色金属产业的管理水平和技术进步程度亟待提高。2005 年至 2014 年云南有色金属产业的规模效率较为平稳，近五年均接近于 DEA 有效水平，表明云南有色金属产业的规模效率较高，但与全国其余 30 个省市相比，处于中下游位置，云南有色金属产业依然分散度较高，集聚程度有待进一步提高。2005 年至 2014 年云南有色金属产业的综合技术效率整体呈上升趋势，在全国范围内处于落后地位。

### 三、结论

---

使用三阶段 DEA 模型对近十年云南有色金属产业的效率演变情况与全国各地区有色金属产业的效率情况进行比较分析, 确定纯技术效率较低是影响云南有色金属产业效率相对较低的主要原因, 云南有色金属规模效率情况相比纯技术效率较好, 但在全国范围内也处在下游水平。2005 年至 2014 年间推动云南有色金属产业效率的主要是规模效率的提升, 而管理水平、技术进步等纯技术效率因素的贡献较小, 这说明随着云南有色金属产业生产规模的逐渐扩大, 产业管理水平较低, 产业间各部门并未实现较好的协调, 不能完全适应产业规模的发展步伐, 产业并未实现理想的生产效率。云南有色金属产业离 DEA 有效还有一定的差距源于管理水平和技术进步的落后, 因此提高资源的利用效率, 提升产业的管理水平对提升云南有色金属产业在全国范围的影响力至关重要。

#### 参考文献:

- [1] 田淑英, 许文立. 基于 DEA 模型的中国林业投入产出效率评价[J]. 资源科学, 2012, (10):1944-1950.
- [2] 王家庭, 张容. 基于三阶段 DEA 模型的中国 31 省市文化产业效率研究[J]. 中国软科学, 2009, (9):75-82.
- [3] 赵自芳, 史晋川. 中国要素市场扭曲的产业效率损失——基于 DEA 方法的实证分析[J]. 中国工业经济, 2006, (10):40-48.
- [4] 黄永兴, 徐鹏. 中国文化产业效率及其决定因素——基于 Bootstrap-DEA 的空间计量分析[J]. 数理统计与管理, 2014, (3):457-466.
- [5] 刘佳, 陆菊, 刘宁. 基于 DEA-Malmquist 模型的中国沿海地区旅游产业效率时空演化、影响因素与形成机理[J]. 资源科学, 2015, (12):2381-2393.
- [6] Fried, Lovell, Schmidt, Yaisawarny. Accounting for Environmental Effects and Statistical Noise in Data Envelopment Analysis[J]. Journal of Productivity Analysis. 2002, (17):121-136.
- [7] 韩晶. 中国高技术产业创新效率研究——基于 SFA 方法的实证分析[J]. 科学学研究, 2010, (3):468-472.