

# 基于超效率DEA的 我国核电行业投入产出效率评价

邹树梁<sup>1</sup>(博士生导师), 邓亚玲<sup>2</sup>, 刘文君<sup>2</sup>

(1.核设施应急安全作业技术与装备湖南省重点实验室, 湖南衡阳 421001;

2.南华大学经济管理学院, 湖南衡阳 421001)

**【摘要】**本文从核电行业的投入、产出角度,构建了主营业务成本累计值、全部从业人员平均人数累计值、资产总计累计值为投入指标,主营业务收入累计值、利润总额累计值为产出指标的投入产出效率评价指标体系;基于Super—DEA方法建立了核电行业投入产出效率评价模型,并运用模型对wind数据库中2004~2014年核电行业投入产出指标累计值进行了实例研究,结果验证了该方法不仅能够区分相对有效决策单元的规模效率和技术效率,得出最优决策方案,还能够在分析相对无效决策方案的规模效率和技术效率的基础上进一步提出目标改进措施。

**【关键词】**超效率DEA; 核电行业; 投入产出效率

## 一、引言

来自国内外大力呼吁的能源结构调整、清洁能源的利用以及环境保护来看,发展核电是我国提高综合实力和国际竞争力的必然选择。我国目前在役的核电机组

有22台,占全国发电量2.2%,在建26台,占世界在建规模的40%,核电为我国的经济和全球清洁能源产业带来了发展机遇。我国核电“从无到有”经过30多年的快速发展,在得到了公众广泛认可的同时,也在社会上形成了“成本

业的金融支持效率投入的重要因素,但与前两者相比相对较弱。

## 四、结论

本文采用DEA方法对比分析了2010~2013年江苏省15家新能源上市公司股权融资效率的差异,在此结果上,通过固定效应模型进一步分析了效率的影响因素,得出以下结论:①受2008年世界金融危机的影响,江苏省新能源产业的综合效率在2011年跌到低谷,随着国家经济刺激政策的出台,新能源产业重新获得了政府政策和金融市场的大力支持。②江苏省新能源产业起步较晚,技术水平落后于欧美国家,大部分技术依赖于国外,导致江苏省新能源产业的纯技术效率普遍低于规模效率,从而使得综合效率偏低。③目前江苏省新能源产业企业处于成长期,受国家宏观经济环境多方面的影响,金融支持新能源产业的功能常常出现不稳定的现象,抗风险能力有限。④新能源产业采用不同金融支持手段与方法受到不同程度的影响。公司股权融资有利于江苏省新能源融通资金支持实现产业效率最大化,负债融资行为对江苏省新能源产业的金融支持效率会产生负面影响。

## 主要参考文献

杨明辉,彭立新.能源企业上市融资将大量出现[J].经济导刊,2004(8).

蒋松云,曾铮.能源效率和可再生能源的发展及其金融支持的国际经验[J].经济社会体制比较,2008(1).

张亮.我国节能与新能源行业的金融支持问题[J].开放导报,2009(4).

袁中华,刘晓差.后危机时代我国新兴产业发展的金融支持研究[J].产业金融,2010(5).

陈芳平,李静.我国新兴产业发展的金融支持策略[J].中国科技纵横,2010(2).

陈柳钦.新兴产业发展的金融支持研究[J].金融发展研究,2010(6).

薛楠,刘舜.新能源战略性新兴产业投融资问题探讨[J].中国流通经济,2013(6).

刘洪昌,闫帅.战略性新兴产业发展的金融支持及其政策取向[J].现代经济探讨,2013(1).

徐枫,周文浩.新能源产业的金融支持绩效评价——基于DEA和Logit模型[J].科技管理研究,2014(20).

Charnes A., Cooper W. W., Rhodes E.. Measuring the efficiency of decision making units[J]. European Journal of Operational Research, 1978(2).

**【基金项目】**苏州科技学院科研青年基金项目“江苏省战略性新兴产业与金融融合发展研究”(批准号: XKQ201207)

高、建设周期长、风险大”的共识。这种共识使得核力发电的经济性受到了许多人的质疑。在以亿元为单位进行投资的核电领域,投资项目的成本必定是投资企业关注的焦点。面对保密性较强的核电行业,决策者在做出巨额的投资决策时常常会陷入困境。如何准确评价并做出最优的行业投资决策,便成为当前学术界和企业高度关注的重大课题。因此,十分有必要对我国核电行业的投入产出效率进行研究。

核电行业投资项目的经济性是投资决策考虑的主要指标,国内外关于项目经济性评价的文献较多,但我国核电行业的经济性并没有引起重视。不同的投资方案,经济性截然不同,而核电投资项目多投入、多产出的特点使得传统的技术经济方法的应用受到限制。DEA模型是由Charnes等(1978)首先提出,应用于评价同类型的多投入、多产出的决策单元相对有效性的统计方法。Zhang等(2003)运用随机前沿分析法对不同的企业投入产出效率进行了评价;Abbott和Doucouliagos(2003)运用DEA方法对澳大利亚38所高校的技术效率和规模效率进行了测定。蒋平、王勇(2011)基于人力和资本两方面的投入指标,以文化产业增加值和营业收入为产出指标对我国文化产业投入产出效率进行了研究,得出我国各省份文化产业投入产出效率普遍较低,且差距较大,并提出文化产业规模有较大的发展空间;郭岚等(2008)运用组合评价的DEA模型从资本和人力两个方面对我国旅游业上市公司的效率评价进行研究,最后对20家上市旅游公司的经营效率进行了排名。

目前尚未见学者从投入产出效率角度对我国核电行业的成本效率进行评价,仅有少数文献对我国核电经济性进行过研究。刘亚春、邹树梁(2011)从机组能力因子、环境保护的有效性、事故工时损失率、上网电价四个投入指标对核电厂运营绩效的有效性进行了评价,并对5家核电厂运营绩效进行了实证分析;肖征文(2008)结合2004年和2008年两年的数据,从燃料费用、运维费用、退役费用等8个外部成本的衡量上对煤电与核电的经济性进行了对比研究,并得出核电价格的经济性和竞争力弱于煤电的结论;李涌(2010)从单位造价、燃料成本、乏燃料后处理费用以及投资收益上对我国核电的经济性进行了定性分析,指出核电经济性与传统火电经济性有着很大的差别,扩大核电机组容量有助于提高核电经济性。

上述文献为我国核电行业投入产出效率研究奠定了理论基础,但存在以下不足:第一,关于核电经济性研究多半停留在微观层面的理论分析。大量的文献仅从核电站的发电成本、上网电价、工程造价等微观层面进行定性分析,这种定性的研究结论主观性较强,分析结果中的核电经济性不能够反映所有核电站的核电经济性,不能够代表整个核电行业的投资绩效。第二,现有的少量对核电

经济性进行定量分析的文献数据量较少,亦不能够代表整体,说服力不强,同时许多数据时效性较差,不能够反映核电行业的发展现状。第三,许多关于投入产出效率评价的文献没有对有效的决策单元进行深入的分析。许多运用DEA模型对投入产出效率进行测定的文献只是将决策单元分为相对有效和相对无效,并没有对相对有效的决策单元的有效性进行深入区分和甄别,没有分析有效决策单元间的差距。

基于以上考虑,本文选择可同时判断规模有效和技术有效的CCR—DEA模型和判断技术有效的BCC—DEA模型对我国2004~2014年的核电行业投资的技术效率和规模效率进行探索,并基于SE—DEA确定最佳投资决策。

本文首次从宏观角度运用了超效率DEA模型对我国核电行业投入产出有效的年份进行了区分。刘江华、丁晓明(2008)指出核电宏观层面的经济性可从社会效益和环境效益两个角度进行评价,本文从核电行业成本效率角度对核电的社会经济效益进行了研究。

在数据方面,本文选择时效性较强的2014年8月份我国核电行业累计值作为研究时间点,统计了2004年8月~2014年8月的累计值。

本文在方法的运用、指标选取、数据全面性以及研究角度上均具有科学性和合理性,研究结论具有借鉴价值。

## 二、指标体系的建立

1. 投入产出指标的研究现状。建立合理的指标是运用DEA模型进行评价的前提和基础,DEA模型的投入指标应越小越好,而产出指标应越大越好。陈世宗等(2005)在探讨DEA模型中投入产出项界定时,得出过多的投入产出指标会模糊同类型决策单元间的差异性,使得效率评价失去意义,应仔细甄选出最关键的因素。

从现有学者关于企业对社会经济影响研究的文献来看,主要是从人力和资本两个方面进行研究。陈军飞(2004)仅从财务角度选取了4个投入指标和3个产出指标对公司的成本效率进行了研究,这种指标选取过于单一,容易导致成本效率评价出现偏差。王若钢、冯英俊等(2006)从员工总数、固定资产投入、年业务支出以及净资产利润率、市场占有率对第三方物流企业绩效进行了研究,并为企业制定了改进策略。刘贵清(2013)从总资产、总成本、固定资产、员工人数、主营业务成本上对我国中小企业绩效进行了评价。匡海波(2007)选取了固定资产、成本、员工人数为投入指标,主营业务收入、净利润及每股收益为产出指标,对我国港口上市公司成本效率进行了评价。

2. 核电行业投入产出指标确定。核电行业与一般的行业相比,有一定的特殊性,核电行业投入产出效率评价指标的建立需要考虑其系统性、可比性和有效性。本文经

过比较分析,结合我国核电行业的发展现状,从核力发电行业的投入与产出角度,选取了3个投入指标:主营业务成本累计值(cost)、全部从业人员平均人数累计值(people)、资产总计累计值(assets);2个产出指标:主营业务收入累计值(revenue)、利润总额累计值(profit)。

投入指标主要从“物”、“资金”、“人力”三个角度考虑核电行业的投入。核电行业是一个投入成本高的行业,主营业务成本的高低反映了核电行业投入产量的多少,故本文把主营业务成本列入投入指标;员工是企业发展中最重要的要素,员工的数目体现了核电行业人力资本的投入情况,是反映企业“人力”成本的投入指标;总资产包含了企业投入的金融资产和非金融资产,体现了企业“物”和“资金”投入的多少。本文选择以往文献中的产出指标,即主营业务收入和利润总额,这两个指标较好地反映了整个行业的运营能力和发展能力,因此可作为产出指标。

3. 数据的处理。DEA模型对决策单元的选取有两个要求:一是所有的决策单元应是具有同类型特征的方案,即相同的业务内容、目标和任务以及相同的输入产出指标;二是决策单元数量要不小于投入产出指标数量乘积,为了避免同类型的决策单元受到影响,决策单元的数量以不少于投入产出指标总数的2倍为最佳。

近几年是我国核电快速发展的时期,也是我国进军核电大国的关键时期,本文选取2014年的核电行业数据作为研究起点,判断核电发展中存在的问题以及未来发展改进的方向,以期为我国核电行业现阶段的发展提供借鉴。由于2014年的核电行业统计数据只累计到8月份,本文主要从wind资讯中选择了2004~2014年每年8月份各项指标的累计值进行处理和测定。

### 三、基于 Super—DEA 的核电行业投入产出效率评价模型

本文主要采用 Super—DEA 模型解决我国核电行业投资方案优劣评价问题,具体步骤如下:

步骤一:先根据 CCR—DEA 模型计算 11 年的投资方案的效率值,判断各方案是否相对有效,即在技术上和规模上同时有效。

设  $s^-$  和  $s^+$  为松弛向量,若最优值  $\theta=1$ ,且  $s^-=s^+=0$ ,则该决策单元为 DEA 相对有效;若最优值  $\theta=1$ ,且  $s^-\neq 0$  或  $s^+\neq 0$  则该决策单元为弱 DEA 有效,即或不为规模有效,或不不为技术有效;若最优值  $\theta<1$ ,则该决策单元为 DEA 相对无效。

步骤二:在 CCR—DEA 模型中,根据 CCR—DEA 的

输出结果,可计算  $K = \sum_{j=1}^n \lambda_j / \theta$  的值,然后根据 K 值判断

决策单元的规模增减情况。 $\lambda_j$  为相对于  $DMU_{j_0}$  重新构造

一个有效 DMU 组合中第 j 个决策单元  $DMU_j$  的组合比例。若  $K=1$ ,在该决策单元的规模是最佳;若  $K>1$ ,则该决策单元的规模偏大,且 K 值越大规模递减趋势越大;若  $K<1$ ,则该决策单元的规模偏小,且 K 值越小规模递增趋势越大。

此外,还可以根据 CCR—DEA 的求解结果,对投入产出指标进行调整,使得新的决策单元相对有效。

$$\text{投入调整: } \vec{x} = \theta_{CCR} x^- s^-$$

$$\text{产出调整: } \vec{y} = y + s^+$$

步骤三:对于非 DEA 有效的决策单元,再用 BCC—DEA 模型判断是否相对技术有效,即是否最大限度地利用自身技术条件减少资源的投入。

步骤四:利用 Super—DEA 对被评价的决策单元进行有效的排序,以确定最佳投资方案。Super—DEA 模型能够有效地将有效的决策单元进行排名,区分各决策单元的差异性,而传统的决策单元仅能将决策单元分为有效和无效两种。

Super—DEA 得到的效率值越高,投资方案越优,最终得到最佳投资方案,其模型如下:

$$\begin{aligned} \min \theta \\ \text{s.t.} \begin{cases} \sum_{j=1}^n \lambda_j x_{j0} + s^- = \theta x_0 \\ \sum_{j=1}^n \lambda_j y_{j0} - s^+ = y_0 \\ \lambda_j, s^-, s^+ \geq 0, j = 1, 2, \dots, n \end{cases} \end{aligned}$$

## 四、实证分析

1. 模型计算的结果。表 1、表 2、表 3、表 4 为 CCR—DEA 模型、BCC—DEA 模型、SUP—CCR—DEA 模型分别对我国 2004~2011 年核电行业各项指标的投入产出指标数据进行计算的结果,且符合 DEA 模型对决策单元数量的要求。

表 1 各投资方案评价结果

方案	CCR—DEA		BCC—DEA		SUP—CCR—DEA	
	效率值	排序	效率值	排序	效率值	排序
2004	1	1	1	1	1.038 102 5	5
2005	1	1	1	1	1.041 159 2	4
2006	0.979 370 9	8	0.983 651 7	9	0.979 370 9	8
2007	0.799 069 3	1	0.804 390 9	11	0.799 069 3	11
2008	0.960 223 7	1	0.960 632 9	10	0.960 223 7	9
2009	1	1	1	1	1.017 755 5	7
2010	1	1	1	1	1.562 964 8	1
2011	0.946 098	8	1	1	0.946 098	10
2012	1	9	1	1	1.165 363 8	2
2013	1	10	1	1	1.078 459	3
2014	1	11	1	1	1.023 347 5	6

2. 实证结果分析。

表 2 CCR—DEA 求解结果

决策单元	$\theta^{CCR}$	$S^-_1$	$S^+_1$	$S^-_3$	$S^+_1$	$S^+_2$
2004	1	0	0	0	0	0
2005	1	0	0	0	0	0
2006	0.979	0	255.357	0	0	33 624.894
2007	0.799	0	505.1	0	0	104 174.66
2008	0.960	0	0	0	0	0
2009	1	0	0	0	0	0
2010	1	0	0	0	0	0
2011	0.946	30 110.197	0	0	0	0
2012	1	0	0	0	0	0
2013	1	0	0	0	0	0
2014	1	0	0	0	0	0

表 3 非有效投资方案的目标改进分析

Plan	Cost	People	Assets	Revenue	Profit	
2006	True	301 311.9	3 735	8 774 064.5	1 359 100.1	434 203
	target	295 096.09	3 402.592 9	8 593 063	1 359 100.1	467 827.89
	Difference	-2.06%	-8.90%	-2.06%	0.00%	7.74%
2007	True	283 327.4	5 654	11 675 575	1 376 315.9	456 632.5
	target	226 398.23	4 011.938 8	9 329 593.2	1 376 315.9	560 807.16
	Difference	-20.09%	-29.04%	-20.09%	0.00%	22.81%
2008	True	273 819.1	5 361	11 522 842	1 606 198.2	697 626.1
	target	262 927.58	5 147.759 1	11 064 506	1 606 198.2	697 626.1
	Difference	-3.98%	-3.98%	-3.98%	0.00%	0.00%
2011	True	332 235.1	6 470	15 316 965	2 050 500.1	908 948.1
	target	284 216.78	6 121.254 4	14 491 350	2 050 500.1	908 948.1
	Difference	-14.45%	-5.39%	-5.39%	0.00%	0.00%

表 4 各投资决策规模收益分析结果

决策单元	$\theta^{CCR}$	$\theta^{BCC}$	$\theta^{super}$	K	相对有效性	技术有效性	规模有效性
2004	1	1	1.038	1	有效	有效	有效
2005	1	1	1.041	1	有效	有效	有效
2006	0.979	0.984	0.979	0.940	无效	无效	无效
2007	0.799	0.804	0.799	1.1	无效	无效	无效
2008	0.960	0.961	0.960	1.026	无效	无效	无效
2009	1	1	1.018	1	有效	有效	有效
2010	1	1	1.563	1	有效	有效	有效
2011	0.946	1	0.946	1.538	无效	有效	无效
2012	1	1	1.165	1	有效	有效	有效
2013	1	1	1.078	1	有效	有效	有效
2014	1	1	1.023	1	有效	有效	有效

(1)综合相对有效性分析。由表 1 和表 2 中显示的 CCR—DEA 模型计算结果可知 2004 年、2005 年、2009 年、2010 年、2012 年、2013 年、2014 年的核电投资方案效率值均为 1, 松弛

向量均为 0, 说明这 7 年的投资决策同时规模有效和技术有效, 达到了最佳投资决策; 非 DEA 有效的投资年份有 2006 年、2007 年、2008 年、2011 年, 其中 2008 年和 2011 年的投资决策由于受到了金融危机和福岛核事故的影响, 核电行业的发展受到了严峻的考验。这一分析结果表明我国核电行业综合技术效率整体较好, 核电投资规模与技术水平都得到了较好的控制。

(2)规模收益分析。由表 3 中的 K 值可知,  $K=1$  的年份有 2004 年、2005 年、2009 年、2010 年、2012 年、2013 年、2014 年, 即这 7 年的投资规模处于最佳水平, 规模收益良好; 2007 年、2008 年和 2011 年均满足  $K>1$ , 这 3 年里核电行业的投资方案规模收益递减, 即在这两年的基础上增加投入量不可能带来高比例的产出; 2006 年  $K<1$ , 该年的投资规模收益递增, 即在 2006 年的基础上增加投入量, 产出比例将会增加。

针对 4 个年份的非 DEA 有效投资方案, 可结合 CCR—DEA 模型的求解结果, 根据投入产出目标改进公式, 对原有的投入产出指标进行调整, 重构新的 DEA 相对有效的决策单元, 改进结果见表 3。在非 DEA 有效的 4 个年份投资方案中, 2007 年投入的主营业务成本、人力成本、资产三项指标实际数量偏离目标值均为最大; 主营业务成本中实际值偏离目标值最小的是 2006 年, 资产和人力成本中实际值偏离目标值最小的均为 2008 年, 即 2014 年资源利用率最低, 在人力成本和资产上 2008 年的资源利用率最高。

(3)技术效率分析。由表 1 可看出, BCC—DEA 的效率值均不小于 CCR—DEA 模型的效率值, 且 BCC—DEA 的有效投资年份有 2004 年、2005 年、2009 年、2010 年、2011 年、2012 年、2013 年、2014 年。这一结果多于 CCR—DEA, 主要是由于 CCR—DEA 的效率值综合测评了纯技术效率与规模效率, 而 BCC—DEA 的效率值仅为纯技术效率。

在 BCC—DEA 模型中非 DEA 有效的投资 2011 年的相对效率值为 1, 说明这一年的投资方案是规模无效和技术有效方案, 即这个方案非 DEA 有效的原因是投资规模不合理, 而并非技术上的问题。在产出一定的条件下, 可对此投资方案的投资规模进行调整, 实现最大限度地利用自身技术减少投入。

(4)基于 SUP—DEA 的投资方案最优决策。从表 1 中 CCR—DEA 模型计算结果可知, 2004 年、2005 年、2009 年、2010 年、2012 年、2013 年、2014 年这 7 年的投资方案对资源进行了充分利用, 是优先考虑的投资方案。

运用 SUP—CCR—DEA 对这 7 个相对有效的投资方案进一步排序, 优劣次序依次是 2010 年、2012 年、2013 年、2005 年、2004 年、2014 年、2009 年、2006

年,可知2010年的投资方案相对有效性最高,达到了1.563;而SUP—CCR—DEA模型中输出的非DEA有效的投资方案的相对效率值与CCR—DEA的效率完全相同。因此,核电行业在选择最优投资方案时应优先考虑2010年。

### 五、结论

结论一:构建了我国核电行业投资项目的投入产出效率评价指标体系。在已有相关文献研究基础上,结合我国核电行业发展现状,首次从核电行业的投入和产出角度对投入产出效率进行了研究,选取了主营业务成本累计值、全部从业人员平均人数累计值、资产总计累计值3个投入指标和主营业务收入累计值、利润总额累计值2个产出指标。弥补了现有文献在核电行业投入产出效率评价指标体系的缺口,为合理评价核电行业的投入产出效率奠定了基础。

结论二:将DEA模型引入到核电行业,建立了基于SUP—CCR—DEA模型的核电行业投资项目的投入产出效率评价模型。从宏观角度对我国核电行业11年的投资决策投入产出效率进行排名,并对CCR—DEA、BCC—DEA、SUP—CCR—DEA三种模型计算出的效率值进行了比较和分析,最后提出了非DEA投资方案的改进策略。

结论三:采用wind资讯上2004~2014年间各投入产出指标的累计值,运用SUP—CCR—DEA模型对其进行了实证研究。结果表明:①2004年、2005年、2009年、2010年、2012年、2013年、2014年的投资方案均为相对有效,且同为技术有效和规模有效,其中2010年效率最高,达到了1.563。②2006年、2007年、2008年、2011年的投资方案非DEA有效,其中2007年的资源利用率最低。③在4个非DEA有效的年份中,2011年的投资方案是技术有效而规模无效,而2006~2008年三年的投资方案技术效率与规模效率均为非DEA有效。④在11个年份的投资方案中,有2004年、2005年、2009年、2010年、2012年、2013年、2014年这7年的投资规模处于最佳水平,2006年的规模收益处于递增,2007年、2008年和2011年的规模收益处于递减趋势从小到大依次排列为2008年、2007年、2011年。

本文仅从核电行业的投入产出效率进行核电投资经济性研究,对于核电在社会发展以及环境保护方面的经济性也是亟待研究的问题。另外,本文是从宏观角度进行的效率评价,对核电站发电的经济性从微观角度进行定量分析与评价也是值得进一步研究的问题。

### 主要参考文献

杨海瀛.浅谈提高核电经济性的方法[J].中国外资,2012(14).

王平.基于超效率DEA的企业自主创新项目投资方案决策[J].企业经济,2011(2).

Charnes A., Cooper W. W., Rhodes E.. Measuring the Efficiency of DMU[J]. European Journal of Operation-

al Research,1978(6).

Zhang A., Zhang Y., Zhao R.. A study on the R&D efficiency, and productivity of Chinese firms[J]. Journal of Comparative Economics,2003(31).

Abbott M., Doucouliagos C.. The efficiency of Australian universities: a Data Envelopment Analysis[J]. Economics of Education Review,2003(22).

蒋萍,王勇.全口径中国文化产业投入产出效率研究——基于三阶段DEA模型和超效率DEA模型的分析[J].数量经济技术经济研究,2011(12).

郭岚,张勇,李志娟.基于因子分析与DEA方法的旅游上市公司效率评价[J].管理学报,2008(2).

刘亚春,邹树梁.核电厂运行的安全性与经济性评价[A].中国核科学技术进展报告(第二卷)——中国核学会2011年学术年会论文集第3册(核能动力分卷(下))[C].中国核学会,2011(8).

肖征文.我国核电价格的外部经济性问题探析[J].粤港澳市场与价格,2008(8).

李涌.中国核电经济性的特点及提高方法浅析[J].核动力工程,2010(3).

刘江华,丁晓明.核电经济性分析有关问题探讨[J].电力技术经济,2008(1).

武春友,吴琦.基于超效率DEA的能源效率评价模型研究[J].管理学报,2009(11).

陈世宗,赖邦传,陈晓红.基于DEA的企业绩效评价方法[J].系统工程,2005(6).

陈军飞,许长新等.用数据包络分析法对港口水运上市公司经营效率的评价[J].上海海运学院学报,2004(1).

王若钢等.基于DEA的第三方物流动态绩效评价研究[J].沈阳建筑大学学报(自然科学版),2006(1).

姜美.基于DEA的我国物流企业绩效评价研究[D].沈阳:东北大学,2008.

刘贵清.基于DEA与AHP方法的中小企业绩效评价模型[J].统计与决策,2013(14).

匡海波.基于超效率CCR—DEA的中国港口上市公司成本效率评价研究[J].中国管理科学,2007(3).

师博,沈坤荣.市场分割下的中国全要素能源效率:基于超效率DEA方法的经验分析[J].世界经济,2008(9).

李光金.评价相对效率的投入—产出型DEA[J].管理科学学报,2001(2).

【基金项目】国家社会科学基金青年项目“我国核电产业技术效率测定研究”(编号:12CJY013);高等学校博士学科点专项科研基金“乏燃料后处理剪切机关键零部件模仿真与可靠性研究”(编号:20134324110001);中国博士后面基金“基于残余应力的薄壁件高速铣削变形机理研究”(编号:2013M542123)