

电力行业绿色效率测度研究

陆庙庙¹, 刘 茵¹, 朱 林¹, 马珠洪²

(1. 南通理工学院 商学院, 江苏 南通 226200; 2. 江苏省海安高级中学, 江苏 南通 226600)

摘要:探讨电力公司绿色效率值的影响因素,分析电力行业绿色效率指标体系的构建可行性。选取 10 家影响力大的发电公司作为研究对象,通过 DEA(数据包络分析)模型测算其绿色效率,分析影响绿色效率的因素。通过将绿色效率进行横向和纵向的对比发现,绿色效率的影响因素有装机容量、燃料成本等。电力公司的绿色效率受到公司规模和环境相关政策的影响。电力行业绿色指标体系的构建具有一定的可行性。

关键词:低碳经济;绿色效率;电力行业;可行性分析

中图分类号:F426.61 **文献标志码:**A **文章编号:**1671-1807(2023)09-0056-06

电力作为现代社会主要的动力能源,是科技文明进步的主要动力,是国民经济的基础,各行各业的发展都离不开电力的支持。随着经济发展规模不断扩大,对电力的需求也越来越大。2011 年后,中国已经超越美国成为全球第一大电力消费国。电力行业是碳排放的重要行业,为实现“双碳”目标,电力行业需实现绿色发展。电力行业围绕“双碳”目标出台了一系列政策,以优化电力行业的产业结构,提高电力行业信息透明度。在此背景下,仅通过财务数据评价企业绩效已不适用于电力行业,还需要将绿色经济的概念纳入企业战略管理层面,把绿色发展纳入企业战略目标,将环境指标纳入企业绩效评价中。对电力行业企业进行绿色效率评价对于践行绿色发展理念、实现“双碳”目标具有重要的现实意义。

1 电力行业特征

中国拥有丰富的煤炭资源,中国的电力行业也以煤炭燃料为主,水力、风力发电为辅,因此中国电力行业二氧化碳排放量位居行业之首,电力行业也成为实现“双碳”目标的关键行业。“十四五”规划强调促进经济绿色发展,因此电力行业的绿色发展既符合经济绿色发展的理念,助推实现“双碳”目标的实现,也有利于企业今后的长期稳定发展。

随着国家对环境污染与治理的要求和监管越

来越严格,企业生产与运行需要更多考虑对环境的影响。同时,投资者也希望企业披露更多环境信息,以方便其选择绿色发展能力更强的企业。对于电力行业企业而言,绿色发展信息披露就更为重要。电力行业作为基础性行业是中国现代能源系统的核心,电力系统的运用贯穿了中国国民经济的整体脉络。电力行业作为碳排放量最大的行业,更有义务将环境问题放在企业战略管理的层面中。一方面,有利于企业积极响应国家的政策,为企业更好地发展提供可靠的环境,提高企业的核心竞争力,另一方面,电力行业节能减排任务成效显著,有利于降低中国的碳排放量^[1]。

2 绿色效率理论概述

2.1 绿色效率

对电力行业环境管理效率进行评价时,许多学者利用数据包络分析(data envelopment analysis, DEA)模型进行测算。DEA 方法客观准确,可以定量科学地衡量效率水平,非参数的比较方式有着巨大的优势。许多学者将评价企业环境管理效率称为环境效率,而本文认为电力公司对环境进行管理的最终目的是发展绿色经济,所以将环境管理效率称为绿色效率。

绿色效率是反映企业绿色发展水平的效率值。将企业经营管理过程中对环境做出的贡献进行量

收稿日期:2022-11-29

基金项目:南通理工学院江苏省大学生创新创业训练计划项目(202212056006Z);“十四五”江苏省工商管理重点学科建设项目(SJYH2022-2/285)。

作者简介:陆庙庙(2001—),女,江苏南通人,南通理工学院商学院,研究方向为电子商务;刘茵(2000—),女,江苏南通人,南通理工学院商学院,研究方向为财务管理;通信作者朱林(1981—),女,江苏南通人,南通理工学院商学院,副教授,硕士,研究方向为绩效管理;马珠洪(2006—),男,江苏南通人,江苏省海安高级中学,研究方向为数学建模。

化,可及时发现企业在环境管理过程中存在效率低下的问题。将企业对环境做出的贡献量化,也能够为政府提供客观的环境管理依据,有利于政府对企业进行有效的监督。政府在评价电力行业绿色效率时,能够在同一行业的不同公司之间进行比较,也能够不同行业之间进行比较,便于政府进行横向和纵向比较,更加客观地评价电力公司的绿色发展水平,为制定相关环境政策和税收法律等提供依据。对电力公司的绿色发展水平进行评价,能够发现企业环境管理薄弱的环节并进行优化,促进电力公司提高资源与资金的利用率,改变企业生产经营中高投入、低效率的部分,逐步优化生产经营结构以达到经济与环境协调发展。

2.2 绿色效率测算模型

本文选用数据包络分析法(DEA)对电力企业绿色效率进行测算。DEA被广泛应用于生产管理领域,并取得了很好的效果。DEA理论主要研究如何利用有效决策单元的信息来确定最优方案。DEA是一种非参数方法,针对多指标投入和多指标产出,通过线性规划构建观测数据的非参数分段曲面(或前沿)来度量效率,可以针对同类型单位进行有效性评价^[2]。DEA方法的主要特点包括:

1)不考虑投入与产出之间的生产函数关系。利用有效决策单元来定义生产可能集的前沿面,并使用输出变量与输入变量的加权和之比来度量相应决策单元的效率。

2)不考虑预先估计任何参数或权重。该方法将各生产要素按其贡献大小进行分类并赋予不同的权重,从而使得最终决策单元的输出能够更真实地反映出整个系统的综合绩效水平。投入和产出变量所占权重由求解对应DEA模型得到,其结果较为客观,较大程度地避免了主观因素给效率评价所带来的影响。

3)不考虑建立模型前对数据进行无量纲处理。DEA方法不直接对数据进行综合,因此决策单元的最优效率指标与投入指标及产出指标的无量纲选取无关。

4)适用于多输出-多输入的有效性综合评价问题,在处理此类问题时具有绝对优势。

DEA模型有很多种分化模型。电力行业的绿色效率反映电力行业绿色发展水平,将电力行业的人、财、物看作投入,发电量看作产出,那么与发电量同时产出的二氧化碳等污染物就可以看作非期望产出,发电量就可作为期望产出,这与DEA分化

模型中的非期望产出(undesirable outputs)模型一致。

非期望产出模型的理论依据是:假设存在 n 个决策单元,且每一个决策单元包含投入、期望产出和非期望产出3个要素,分别用3个矢量 $\mathbf{x}$ 、 $\mathbf{y}^g$ 、 $\mathbf{y}^b$ 来表示,其中 $\mathbf{x} \in \mathbf{R}_m$, $\mathbf{y}^g \in \mathbf{R}_{s1}$, $\mathbf{y}^b \in \mathbf{R}_{s2}$;对矩阵分别定义为 $\mathbf{X} = [x_1, x_2, \dots, x_n] \in \mathbf{R}_{m \times n}$, $\mathbf{Y}^g = [y_1^g, y_2^g, \dots, y_n^g] \in \mathbf{R}_{s1 \times n}$, $\mathbf{Y}^b = [y_1^b, y_2^b, \dots, y_n^b] \in \mathbf{R}_{s2 \times n}$;假设 $\mathbf{X} > \mathbf{0}$, $\mathbf{Y}^g > \mathbf{0}$, $\mathbf{Y}^b > \mathbf{0}$ 。生产可能性集定义为

$$P = \{(\mathbf{x}, \mathbf{y}^g, \mathbf{y}^b) | \mathbf{x} \geq \mathbf{X}\lambda, \mathbf{y}^g \leq \mathbf{Y}^g\lambda, \mathbf{y}^b \leq \mathbf{Y}^b\lambda, \lambda \geq 0\} \quad (1)$$

$$\rho^* = \min \frac{1 - \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m \frac{s_i^-}{X_{i0}}}{1 + \frac{1}{s_1 + s_2} \left[\sum_{r=1}^{s_1} \frac{s_r^g}{y_{r0}^g} + \sum_{r=1}^{s_2} \frac{s_r^b}{y_{r0}^b} \right]}, \quad \text{s. t.} \begin{cases} \mathbf{x}_0 = \mathbf{X}\lambda + \mathbf{s}^- \\ \mathbf{y}_0^g = \mathbf{Y}^g\lambda - \mathbf{s}^g \\ \mathbf{y}_0^b = \mathbf{Y}^b\lambda + \mathbf{s}^b \\ \mathbf{s}^- \geq \mathbf{0}, \mathbf{s}^g \geq \mathbf{0}, \mathbf{s}^b \geq \mathbf{0}, \lambda \geq 0 \end{cases} \quad (2)$$

式中:矢量 $\mathbf{s}^- \in \mathbf{R}_m$, $\mathbf{s}^b \in \mathbf{R}_{s2}$ 分别代表投入及非期望产出的冗余; $\mathbf{s}^g \in \mathbf{R}_{s1}$ 表示期望产出不足。当 $\rho^* = 1$ 时,则 $\mathbf{s}^- = \mathbf{0}$, $\mathbf{s}^g = \mathbf{0}$, $\mathbf{s}^b = \mathbf{0}$,说明不存在投入及非期望产出的冗余,也不存在期望产出的不足,则被评价决策单元是有效率的。当 $0 < \rho^* < 1$ 时,则被评价的单元是低效率的,说明可以通过优化配置投入产出率来提高效率。

3 电力公司绿色效率指标体系的构建

3.1 绿色效率指标的选取原则及依据

用DEA方法测算绿色效率时,需要建立合理的指标体系,有质量的绿色效率依赖全面科学的指标体系,要建立高质量的绿色效率指标体系,需要遵循以下原则^[3]:

1)科学性与全面性相结合。在选择绿色效率指标时,首先应考虑到环境法律法规和有关政策对绿色效率指标或者企业绿色发展提出的硬性要求。其次应考虑到产业间的差异性,并选择属于具体产业的绿色效率指标进行全面性选择,选取属于特定行业的绿色效率指标,保证绿色效率的科学性。绿色效率的涵盖范围广泛,应该关注到对资源、生态、社会等多方面的影响因素,做到指标选取的全面性。

2)可比性和可行性相结合。在进行绿色发展水平的评价时,必须注意定性和定量分析方法的选择,不能简单地采用一种或两种分析方法;同时还

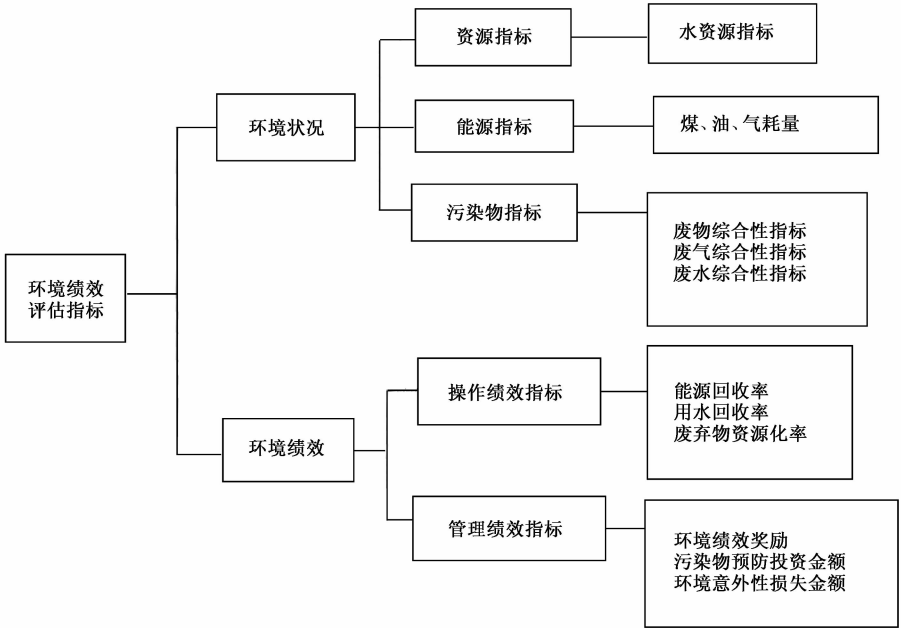
要充分考虑指标间存在着相互联系。而且,影响指标多种多样,但要考虑到指标的可获得性,依据重要性原则,进行适当筛选。

3)准确性与客观性相结合。绿色发展水平评价要求保证评价的准确性与客观性,因此在选取指标时,准确、客观、量化的数据指标更有利于直观反

映企业绿色发展水平。

为了保证测算电力公司的绿色效率值,查阅了国际 IOS 发布的环境绩效评价标准 IOS14031 和 WBCSD 发布的生态效率指标体系。

1)国际标准化组织 IOS 于 1999 年颁布了 IOS14031 用作环境绩效评价指标,如图 1 所示。



衡量环境状况的指标主要有资源指标、能源指标和污染物指标。电力行业作为能源行业,对煤、油、气等能源的消耗较大,电力生产的过程中也有污染物排出,所以构建绿色效率指标体系时首先会将这两类指标放在指标体系中^[4]。

2)WBCSD 生态效率指标体系。WBCSD 是国际可持续发展工商理事会于 2000 年发布的生态效率指标,用来进行环境绩效评价,见表 1。

综合两个指标标准以及考虑到测算模型的特点,将指标主要分为两类,一类是投入指标,另一类是产出指标。因为电力行业的特点,其产出可以分为期望产出和非期望产出,与 DEA 模型的分化模

型非期望产出模型相契合。电力公司是典型的人、财、物的配合才能实现经济效益的企业,三者关系密不可分,所以将投入指标和产出指标分为 5 类,设计了绿色效率的指标体系^[5],见表 2。

装机容量能够直接影响发电量,装机容量越大,发电量就会越大,装机容量作为投入指标,发电量作为产出指标,两者之间关系紧密,能够更客观地反映绿色效率值的科学性。电力公司的装机容量包括煤炭发电、水力发电、风力发电等,本文选择全部的装机容量作为样本数据,全部的装机容量能够反映电力公司利用清洁能源发电实现的绿色发展水平,能够更好地反映企业的绿色效率。电力公司的绿色效率投入指标选择的是燃料成本,因为在

表 1 WBCSD 生态效率指标

指标维度	指标
产品的价值	生产或销售的产品的质量和数量
	销售额
产品的环境影响	原材料消耗
	水资源小消耗
	能源消耗
	污染气体排放
	温室气体排放

表 2 绿色效率评价指标

指标类型	指标	单位
投入指标	电力公司从业人数	人
	装机容量	MW
	燃料成本	亿元
产出指标	发电量	亿 kW · h
	CO ₂ 排放量	万 t

企业公开的数据中并没有公开企业耗用原煤的数据,所以选择了年报中告知的燃料成本为样本数据。其他电力公司的绿色效率指标分别是电力公司从业人数、发电量和二氧化碳排放量。

3.2 样本公司的选取及数据来源

基于数据的可靠性及可比性,按照以下原则筛选样本公司:①剔除水力、风力等主要依靠清洁能源发电的电力公司;②剔除ST公司和*ST公司;③剔除上市时间短的公司;④剔除审计意见缺失或者“保留意见”“无法表示意见”等上市公司。

根据以上原则,从中财网电力、热力生产供应业中收集到的80家上市公司中选取了10家电力公司作为研究样本,包括大唐发电、华能国际、国电电力、华银电力、华电国际、国投电力、京能电力、浙能电力、湖北能源、上海电力。这些电力公司属于央企发电公司和影响力较大的地方发电公司。通过中财网收集10家电力公司2016—2020年披露的年报和财务报表的数据,其余数据通过计算得到。

3.3 数据处理及绿色效率分析

根据电力公司的绿色效率评价指标,查询电力公司公开的年度财务报告,查看电力公司的在职员工数量、装机容量、发电量,具体数据见表3。

表3 2020年电力公司绿色效率测算数据

电力公司	人员数量/人	装机容量/MW	燃料成本/亿元	发电量/(亿kW·h)	CO ₂ 排放量/万t
大唐发电	33 340	52 826.4	418.81	2 726.3	23 298.00
华能国际	57 874	113 357	798.53	4 040.16	33 340.00
国电电力	32 913	87 991.9	512.6	3 773.63	24 708.00
华银电力	5 752	5 845.5	42.59	207.93	1 579.00
华电国际	27 116	58 448	413.94	2 073.17	15 271.00
国投电力	8 614	31 826.8	210.9	1 485.1	4 268.00
京能电力	5 405	16 730	147.16	739.73	6 593.00
浙能电力	9 322	32 983	393.84	1 137.19	9 320.00
湖北能源	4 063	10 544.9	120.05	329.58	1 325.00
上海电力	6 306	16 762.9	167.81	491.27	3 009.00

将2016—2020年的电力公司的绿色效率评价指标得到的数据导入DEA-SOLVER pro5.0软件,选择DEA分化模型中的非期望产出模型进行测算。10家电力公司2016—2020年的绿色效率指标进行计算之后得到的绿色效率值,见表4。

由表3可知,2020年大唐发电、国电电力和国投电力的绿色效率值为1,2020年大唐发电、国投电力和国电电力的绿色发展水平处于行业前沿,这3家电力公司在环境管理方面是有效的,不存在投入与非期望产出的冗余,也不存在期望产出不足的

情况。其他电力公司均存在劳动力、资产投入比重过大,发电量不足,CO₂排放量过高等问题^[6]。将表4的数据用图表示,如图2所示。

表4 2016—2020年10家电力公司的绿色效率

电力公司	2016年	2017年	2018年	2019年	2020年
大唐发电	1	1	1	1	1
华能国际	0.774 0	0.532 7	0.522 3	0.481 1	0.474 5
国电电力	0.759 8	0.547 7	0.521 5	1	1
华银电力	0.568 9	0.418 2	0.462 4	0.436 6	0.423 5
华电国际	0.849 3	0.545 7	0.542 5	0.504 4	0.489 1
国投电力	1	1	1	1	1
京能电力	1	1	0.565 6	0.723 9	0.611 3
浙能电力	0.649 9	0.524 0	0.519 2	0.466 2	0.467 2
湖北能源	0.342 8	0.452 1	0.396 6	0.390 2	0.446 4
上海电力	0.551 5	0.433 0	0.437 6	0.403 0	0.394 0

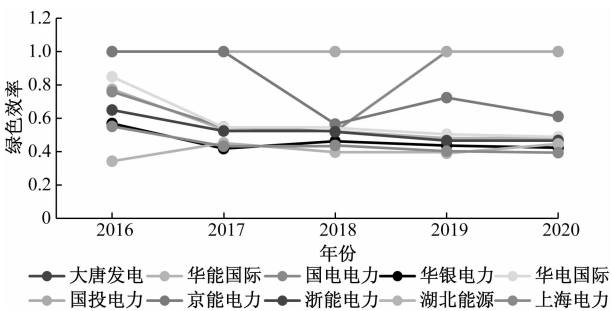


图2 2016—2020年10家电力公司的绿色效率

从图2可以发现,2016—2020年只有大唐发电和国投电力的绿色效率是有效的。通过将绿色效率进行横向和纵向的对比,发现对绿色效率影响较大的因素是电力公司的装机容量、燃料成本和CO₂排放量。装机容量是指电力公司所装有的全部汽轮发电机组额定功率的总和,是反映电力公司的建设规模和电力生产能力的主要指标之一。电力公司的装机容量越大,其发电量就会越大。绿色效率中的期望产出变大,在一定程度上会提高绿色效率,但是如果发电量达不到预期的效果,那么就会存在资产的投入量过大的情况,投入量冗余会降低绿色效率的值^[7]。将2020年10家企业的装机容量进行对比,如图3所示。

通过对比可以发现,大唐发电和国投电力的装机容量都不是最大的,电力公司在扩大规模时,不仅考虑扩大规模之后为公司带来的规模效益,还要考虑发电量能否实现最大化。电力公司的投入量与产出量相互影响,需要经过大量的重新组合,才能找到最优的配置方案。

影响电力公司绿色效率的还有CO₂排放量。CO₂排放量作为非期望产出,排放量与电力公司发

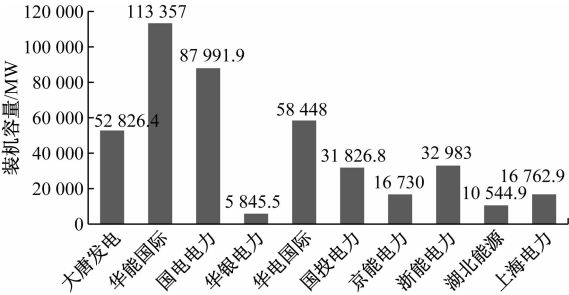


图 3 2020 年 10 家电力公司的装机容量

电量不匹配,非期望产出过量,会降低绿色效率值。想要实现高产值、低投入、低污染物排放需要依靠科学技术,技术水平提高,电力公司能够选择效率更高的发电机组,可以降低标准煤耗,降低劳动力、燃料的投入,提高煤炭的利用效率,降低 CO₂ 的排放,提高发电量,从而提高绿色效率。

4 提高绿色效率指标的建议

电力公司改变企业中高投入、低效率的部分,提高绿色发展水平,符合绿色发展理念。通过绿色发展,电力公司能够树立更好的形象,提高公司的潜在价值,有利于未来的可持续发展。基于研究结论,针对电力公司提高绿色效率提出以下建议。

4.1 合理配置资源

电力公司需要将投入量与产出量进行科学配置,降低投入和非期望产出,提高期望产出。在对装机容量进行配置的时候,可以扩大清洁能源的装机容量。一是可以将煤炭发电的装机容量替换为清洁能源的装机容量,这样并不会扩大投入,同时能够减少 CO₂ 的排放量,但同时需考虑到清洁能源的发电能力比煤炭发电小,且成本也远比煤炭发电高,如何提高发电率、降低成本是关键。二是可以在原有的装机容量上扩大清洁能源的装机容量,虽然提高了投入量,但也提高了期望产出,且不会增加非期望产出,但是要保证发电量能够达到预期的效果,否则会造成投入冗余,降低绿色效率^[8]。提高清洁能源的装机容量,能够降低煤炭等不可再生资源的利用,提高企业的绿色效率。

4.2 降低供电煤耗

供电煤耗国家对电力公司重要的考核指标之一一是发电公司每向外提供 1 kW·h 电能平均耗用的标准煤量。提高电力公司煤炭发电机组的效率能够降低电力公司向外提供电能时的标准煤的消耗,减少燃料投入的同时,也减少了 CO₂ 的排放。对于绿色效率值维持在 1 的大唐发电和国电电力,两家企业的供电煤耗都处于中间偏低的水平。中等规模

下企业的供电煤耗应当控制在低水平上,而规模更大的电力公司,其供电煤耗的标准理当更低。

4.3 提高科学技术水平

提高清洁能源发电装置的发电效率,要将清洁能源发电效率提高到煤炭发电效率,增加清洁能源代替煤炭发电的可能性,同时要降低清洁能源发电的成本。清洁能源发电的主要问题在于成本太高,例如三峡水力发电,建造成本远高于普通的煤炭发电。降低清洁能源的成本能够增大让清洁能源发电代替煤炭发电的可能性。

提高煤炭燃烧的效率。电力公司标准煤与煤炭之间的换算公式为

标准煤量(t)=[某种燃料数量(t)×
该种燃料的低位发热量(kJ/kg)]/29 308 kJ/kg。

理论上在标准煤耗不变的情况下,可以提高煤炭的低位发热量,减少煤炭的投入量,在保证发电量的同时就减少了投入。煤炭燃烧是产生 CO₂ 的主要来源,减少煤炭的投入,也减少了 CO₂ 的排放,从而可以提高绿色效率。

4.4 强化政府监督及制度建设

目前,电力公司年报中关于环境影响的信息比重较小,且相对分散,不利于对电力公司的绿色生产状况进行评价。可制定完善相关制度政策,对电力公司绿色生产状况信息披露提出要求,一方面强化电力公司对环境保护的重视,另一方面对电力公司进行环境治理评价具有更多依据。可针对电力公司制定科学合理的奖惩措施,将保护环境制度化。

5 结论

通过 DEA 模型测算 10 家电力公司的绿色效率,发现电力公司的绿色效率受到公司规模和环境相关政策的影响。电力公司的规模与其技术水平,即装机设备的供电煤耗水平相适应,电力公司规模越大,装机设备的煤耗水平越低才能保证电力公司的绿色发展水平处在行业前沿。电力公司应严格按照国家相关环境保护标准进行低碳化生产,政府通过监督和管理促进绿色效率水平的提升。严格的环境政策为市场提供了公正透明的信息平台,督促电力公司谨慎对待环境问题,也提高了电力公司的绿色发展水平,有利于企业实现低排放、低耗能、高效益的可持续发展。

参考文献

[1] 卢丽文,宋德勇,李小帆.长江经济带城市发展绿色效率研究[J].中国人口·资源与环境,2016,26(6):35-42.

[2] 马丁,周新. 黄河沿岸城市绿色发展效率及影响因素分析[J]. 调研世界,2020(12):3-9.

[3] 赵天燕,孙涛,郭文. 火力发电企业环境效率及全要素生产率[J]. 财贸研究,2015,26(5):19-25.

[4] 潘建均,侯光明,王俊鹏. 中国电力行业环境效率及其影响因素研究:基于 2008—2017 年省级面板数据[J]. 技术经济,2021,40(6):20-30.

[5] 陈健,李海鹏,林俊豪,等. 碳中和目标下我国电力行业的低碳转型问题与路径研究[C]//中国环境科学学会 2021 年科学技术年会论文集(一). 北京:中国环境科学学会,2021:60-68.

[6] 薛恒. 电力行业节能减排及低碳化发展分析[J]. 应用能源技术,2021(1):49-51.

[7] BJERREGAARD C,MOLLER N F. The influence of electricity prices on saving electricity in production:automated multivariate time-series analyses for 99 Danish trades and industries[J]. Energy Economics,2021(5):105-444.

[8] MARADIN D,CEROVIĆ L,ŠEGOTA A. The efficiency of wind power companies in electricity generation[J]. Energy Strategy Reviews,2021(37):100-708.

Research on Green Efficiency Measurement of Power Industry

LU Miaomiao¹, LIU Yin¹, ZHU Lin¹, MA Zhuqi²

(1. College of Business,Nantong Institute of Technology,Nantong 226200,Jiangsu,China;
2. Haian Senior School of Jiangsu Province,Nantong 226600,Jiangsu,China)

Abstract: To explore the influencing factors of green efficiency value of power company and analyze the feasibility of constructing green efficiency index system in power industry, ten influential power generation companies were selected as the research objects. The green efficiency of the ten power companies was measured through the DEA(data envelopment analysis) model, and the factors affecting the green efficiency were analyzed. By comparing the green efficiency horizontally and vertically, it is found that the influence factor of the green efficiency includes the installed capacity and the fuel cost. The green efficiency of power companies is affected by the size of the company and some environmental related policies. The construction of the green index system of the electric power industry has a certain feasibility.

Keywords: low carbon economy;green efficiency;power industry;feasibility analysis