

# 基于两阶段 DEA 模型的长江经济带物流环境效率研究

陈鑫<sup>[1]</sup> 赵顺<sup>[2]</sup> 祁玉青<sup>[2]</sup>

(1. 南充科技职业学院, 四川 南充 637131;  
2. 南京工业大学, 江苏 南京 211816)

**摘要** 本文针对物流造成的碳排放问题, 运用两阶段 DEA 模型, 对长江经济带 11 个省市 2015-2019 年的物流环境效率进行了对比分析。结果表明: 长江经济带的物流环境效率整体不高; 部分省市物流环境效率存在反复性; 普遍存在投入冗余和产出不足的现象, 且区域性差异明显。最后, 文章针对上述情况提出了将政府宏观调控与市场调节相结合、发挥 DEA 有效省市示范带头、加强湖南等中部省份污染治理力度和优化西部省市物流资源配置的对策建议。

**关键词** 物流环境效率 碳排放 两阶段 DEA

中图分类号: F503

文献标识码: A

文章编号: 1007-0745(2022)03-0061-07

中国承诺在 2030 年前, 二氧化碳的排放量不再增长, 达到峰值之后慢慢减下去。碳达峰是一个过程性的描述, 即碳排放首先进入平台期间并可能在一定范围波动, 然后进入平稳下降阶段。

近年来, 随着我国经济高速提升, 尤其是电子商务的进步, 使得我国物流行业获得了巨大的发展。在虚拟经济不断超越实体经济的过程中, 物流对国民经济的促进作用也愈发明显。然而物流业造成的环境问题也愈发严重, 经济发展既要重视效率与质量, 也要重视可能有的负面环境影响。本文结合当前环评视角, 以环境效率去测度长江经济带的物流业发展状况。环境效率指满足人类需求的产品和服务的经济价值除以环境负荷, 即单位环境负荷的经济价值<sup>[1]</sup>。

长江经济带横跨我国东中西三大区域, 是我国综合实力最强、战略支撑作用最大的区域之一。长江经济带覆盖了上海、江苏、浙江、安徽、江西、湖北、湖南、重庆、四川、云南、贵州 11 个省市, 总面积约 205 万平方公里, 人口和生产总值均超过全国的 40%。长江经济带物流业发展水平全国领先, 本文以长江经济带物流运输过程造成的碳排放问题为切入点, 考虑非期望产出问题, 运用两阶段 DEA 模型, 对比分析长江经济带物流环境效率, 以为各个省市优化物流发展提供一定的参考。

## 1 研究背景

物流业是支撑国民经济发展的基础性、战略性产业。对于促进产业结构调整、转变发展方式、推动经济又好又快发展具有重要意义<sup>[2]</sup>。长江经济带物流业近年来保持较快的增长速度, 服务能力不断提升, 基础设施条件和政策环境不断改善, 发展环境得到不断优化。但随着传统对外贸易市场需求的不断下降, 带来了大量的产能过剩, 产能过剩制约着企业的转型升级。物流业的发展对于区域内资源的优化配置、劳动力等生产要素与生产发展需求进一步衔接, 对促进良性的发展循环具有重要作用, 因此, 研究解决物流业发展带来的环境问题愈发重要。科学测算评估长江经济带物流业发展造成的环境影响, 是实现长江经济带绿色可持续发展的重要前提。

目前, 国内学者们常用环境效率来评价行业发展水平。环境效率与传统效率评价的不同之处在于它在评价行业效率时, 考虑到了现实生产过程中带有明显的副产品, 其中很多不是我们所期望的产出, 比如污染物<sup>[3]</sup>。对于环境效率的测算国内有很多, 比如卞亦文<sup>[4]</sup>提出非合作博弈两阶段生产系统的环境效率评价模型, 并应用于我国各地区工业系统的环境效率评价。卢永琴等<sup>[5]</sup>运用非合作博弈两阶段系统对我国产业园区的环境效率进行了测算。董峰等<sup>[6]</sup>利用三阶段 DEA 模型测算了低碳约束下我国省际物流业效率, 对被测省份按高、

★基金项目: 南充市科学技术局 2021 年度南充市研发资金项目“南充市乡村智慧消防栅格化建设研究”(项目编号: 21YFZJ0035); 国家自然科学基金青年基金“框架协议采购模式及库存决策研究”(项目编号: 71701092)。

表1 两阶段投入与产出指标

指标类型	指标名称	变量	单位
投入变量	固定资产投资	$x_1$	亿元
	物流业从业人数	$x_2$	万人
	公路营运汽车拥有量	$x_3$	万辆
	民用机动运输船数	$x_4$	艘
产出变量	货物周转量	$Y_1$	亿吨公里
	年能源消耗量	$Y_2$	吨
	物流产业增加值	$Y_3$	亿元
	物流从业人员平均工资	$Y_4$	元
	碳排放量	$Y_5$	吨

表2 标准煤折算与碳排放系数

能源	标准煤折算系数	碳排放系数
原煤	0.7143kg 标准煤 /kg	1.9003kg-CO <sub>2</sub> /kg
柴油	1.4571kg 标准煤 /kg	3.0959kg-CO <sub>2</sub> /kg
汽油	1.4714kg 标准煤 /kg	2.9251kg-CO <sub>2</sub> /kg
燃料油	1.4286kg 标准煤 /kg	3.1705kg-CO <sub>2</sub> /kg
电力	0.1229kg 标准煤 /kw · h	/
液化石油气	1.7143kg 标准煤 /kg	3.1013kg-CO <sub>2</sub> /kg
天然气	1.3300kg 标准煤 /kg	2.1622kg-CO <sub>2</sub> /m <sup>3</sup>

中、低三种效率进行区分分析。任阳军和汪传旭<sup>[7]</sup>将碳排放量作为一种投入,利用超效率DEA模型对我国2007-2014年29个省份的商贸流通业效率进行了评价。学者们利用模型算法对环境影响下行业效率的变动做出了有益的探讨。本文借鉴并优化了DEA模型对于环境效率的测度,并运用在低碳视角下长江经济带的物流业环境效率的研究。

## 2 模型设定与指标选取

### 2.1 模型简介

数据包络分析(Data Envelopment Analysis, DEA)作为一种重要的非参数分析方法,最早由Charnes等提出<sup>[8]</sup>,传统的DEA评价模型的分析结果中,常常会出现多个决策单元(DMU, Decision Making Units)都是有效的情况,对于有效的决策单元无法做出进一步的区分。为了解决这一问题,Anderson等<sup>[9]</sup>提出了超效率DEA模型。它的核心思想就是将被评价DMU从参考集中剔除,也就是说,被评价DMU的效率是参考其他DMU构成的前沿得出的,有效DMU的超效率值一般会大于1,从而可以对有效DMU进行区分,无效DMU效率值仍然不变。另一方面,传统的DEA评价模

型在评价物流效率时,多把被评价DMU当做是一个黑匣子,没有考虑物流过程中的中间产品。对于一个完整的物流过程,每个环节是相互衔接的,即上一环节的产出很多时候则是下一阶段的投入。因此,本文在进行物流环境效率测度时,将超效率DEA模型引入两阶段DEA模型计算。介于有关超效率DEA模型和两阶段DEA模型相关研究已有较多,此处就模型规划式等不再赘述。

### 2.2 投入与产出变量选取

国内对于物流业一直都没有较为明确的界定,因此本文参考大多数学者的研究,选择了交通运输仓储与邮政行业。并将物流运作过程看作两个阶段:在第I阶段,从资产、人力以及能源消耗考虑。以固定资产投资、物流业从业人数、公路营运汽车拥有量和民用机动运输船数作为投入变量。货物周转量与年能源消耗量作为这一阶段的中间产出变量;在第II阶段中,考虑到通过第I阶段的投入提高了货物周转量促进了物流业产值的增加,所以将物流产业增加值为输出指标。另外,行业的发展也会为从业人员带来薪酬上的增长,出于对数据收集可得性与统计口径的考虑,以物流业

表3 传统效率模型与两阶段超效率DEA模型的对比分析(2015~2016)

年份	DMU	不考虑中间产出	排序	第一阶段效率值	第二阶段效率值	加权平均效率值	排序
2015	上海	2.18	1	11.63	0.49	6.06	1
	江苏	1.49	5	0.46	1.14	0.80	5
	浙江	0.81	9	0.56	0.75	0.65	7
	安徽	0.78	10	1.12	0.63	0.87	3
	江西	1.54	4	0.49	1.17	0.83	4
	湖北	0.76	11	0.34	0.54	0.44	11
	湖南	1.08	6	0.34	0.97	0.66	6
	重庆	1.01	7	0.31	0.87	0.59	10
	四川	0.91	8	0.25	1.06	0.65	8
	云南	1.70	2	0.15	1.11	0.63	9
	贵州	1.70	3	0.24	1.85	1.04	2
2016	上海	2.32	1	8.38	0.46	4.42	1
	江苏	1.34	5	0.51	0.95	0.73	5
	浙江	0.91	9	0.70	0.73	0.72	6
	安徽	0.79	10	1.92	0.53	1.23	2
	江西	1.30	6	0.53	0.70	0.61	8
	湖北	0.76	11	0.46	0.58	0.52	11
	湖南	0.96	8	0.44	0.77	0.60	9
	重庆	0.98	7	0.31	0.78	0.55	10
	四川	1.42	4	0.38	1.42	0.90	4
	云南	1.55	3	0.27	0.97	0.62	7
	贵州	2.08	2	0.35	1.79	1.07	3

从业人员的平均工资为输出指标。能源消耗对环境的影响较大的是碳排放,所以以碳排放量为最终的非期望产出(见表1)。

关于年能源消费量和碳排放量的统计参考的是已有的处理方法<sup>[10]</sup>。能源消费量的确定是选取原煤、柴油、汽油、燃料油、电力、液化石油气和天然气这七种能源,按照各自能源标准系数折算为万吨标准煤后加总。物流业二氧化碳排放量的统计则是以上六种能源消耗量(电力除外)分别乘以各自的碳排放系数然后加总得到(标准煤折算系数表与碳排放系数见表2)。

### 3 长江经济带物流环境效率分析

本文研究的是长江经济带的11个省市在2015~2019年的物流业环境效率。数据主要来源于中国国家统计局、《中国能源统计年鉴》、各省市统计网站等。根

据相关指标的数据,运用MyDEA1.0.5软件,得到各省市的物流效率,计算结果见表3、表4、表5。

#### 3.1 传统效率模型与两阶段超效率DEA模型的对比分析

从表中数据可以看出,在考虑了非期望产出的影响后,长江经济带各省市的效率值,整体呈下滑趋势。就2019年来看,江苏(1.39; 0.65)、浙江(1.24; 0.8)、江西(1.13; 0.74)、湖南(1; 0.52)、四川(1.2; 0.69)、云南(1.38; 0.59)、贵州(1.91; 0.88)在传统效率评价模型下皆处于前沿面上,但在考虑了非期望产出的两阶段超效率DEA评价模型下都为DEA无效(见图1),造成上述现象的原因主要是以碳排放为主的环境污染对物流业效率提升有着重要的影响。整体下滑的背景下,我们也能看到诸如上海(2.59; 4.92)、安徽(0.71; 0.96)在两阶段超效率DEA模型评价下效率值不降反

表4 传统效率模型与两阶段超效率DEA模型的对比分析(2017~2018)

2017	上海	2.87	1	9.87	0.71	5.29	1
	江苏	1.28	4	0.45	0.93	0.69	7
	浙江	0.93	9	0.63	0.76	0.70	6
	安徽	0.79	10	1.71	0.57	1.14	2
	江西	1.15	6	0.47	0.96	0.71	5
	湖北	0.78	11	0.42	0.54	0.48	11
	湖南	1.04	7	0.40	0.69	0.54	10
	重庆	0.98	8	0.30	0.97	0.63	8
	四川	1.18	5	0.25	1.18	0.72	4
	云南	1.50	3	0.23	1.02	0.62	9
	贵州	2.09	2	0.33	1.47	0.90	3
2018	上海	2.39	1	8.86	0.66	4.76	1
	江苏	1.38	5	0.40	0.73	0.57	8
	浙江	1.00	7	0.75	0.60	0.67	5
	安徽	0.77	11	1.23	0.53	0.88	3
	江西	1.12	6	0.46	0.79	0.62	6
	湖北	0.80	10	0.43	0.43	0.43	11
	湖南	1.00	8	0.40	0.59	0.49	10
	重庆	0.88	9	0.26	0.74	0.50	9
	四川	1.48	3	0.26	1.48	0.87	4
	云南	1.47	4	0.23	0.93	0.58	7
	贵州	2.11	2	0.30	1.51	0.91	2

表5 传统效率模型与两阶段超效率DEA模型的对比分析(2019)

2019	上海	2.59	1	9.06	0.78	4.92	1
	江苏	1.39	3	0.37	0.94	0.65	7
	浙江	1.24	5	0.77	0.83	0.80	4
	安徽	0.71	11	1.26	0.67	0.96	2
	江西	1.13	7	0.49	0.98	0.74	5
	湖北	0.78	10	0.44	0.48	0.46	11
	湖南	1.00	8	0.43	0.61	0.52	10
	重庆	0.88	9	0.29	0.85	0.57	9
	四川	1.20	6	0.20	1.18	0.69	6
	云南	1.38	4	0.24	0.94	0.59	8
	贵州	1.91	2	0.32	1.43	0.88	3

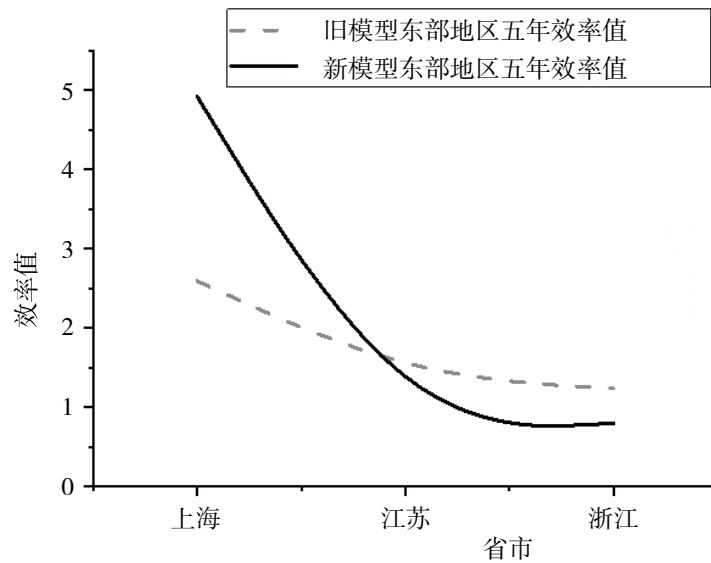


图1 东部地区新旧模型下效率值对比

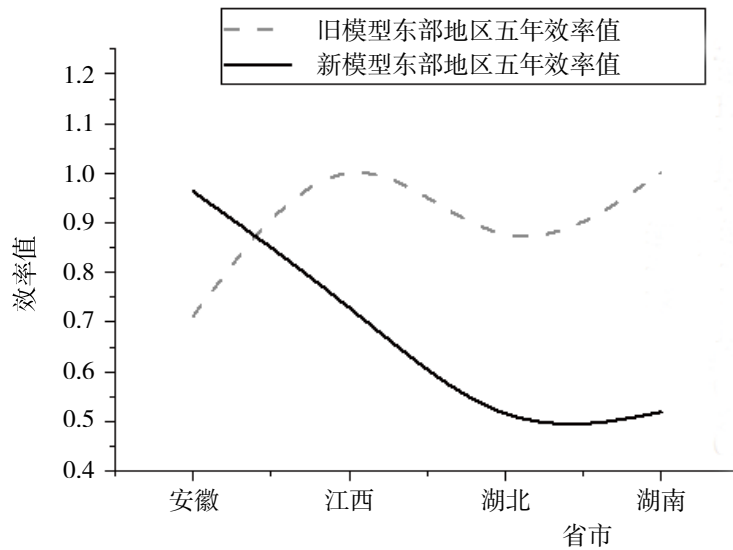


图2 中部地区新旧模型下效率值对比

升。这说明上海、安徽实行了有效的低碳循环经济发展模式，进行了生态文明建设。从实线的起伏程度来看，东部地区波动幅度最大，原因在于数值层面上上海环境效率比较高，社会经济发展层面来看，上海经济更为发达，且环境保护做得更好。西部地区波动最小，原因在于相对东中部而言，西部地区4省市物流业发展差异小和物流业发展相对滞后，对环境的影响相对较小。就地域划分来看，东、中部省市的环境效率值从左至右逐渐下降，而西部地区从左至右是缓慢上升。这表明长江经济带内除传统意义的东中西发展差异外，

三个地区内部仍然存在发展较大的发展差异。其中缘由主要是经济发展水平与环境容量的影响(见图2、图3)。

### 3.2 跨期数据分析

参考传统意义上的东中西地域观念，选取了上海、江苏、安徽、江西、重庆、贵州6个省市进行纵向效率值对比分析。从2015至2019年，上述6个省市仅安徽和贵州出现DEA有效性的变动。安徽在2016与2017年变为DEA有效，但是在随后的2年又变为DEA无效。造成这一现象的原因是没有完全处理好物流业发展与碳排放控制的关系。当经济规模扩大和增速提

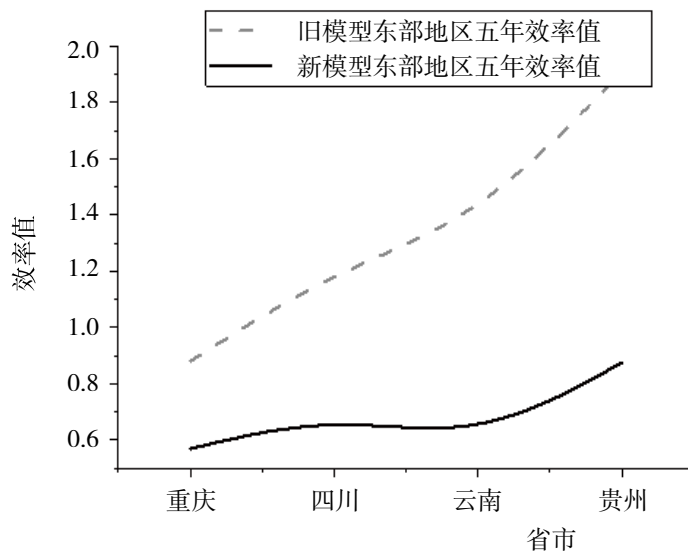


图3 西部地区新旧模型下效率值对比

表6 各决策单元5年物流业投入冗余与产出不足

年份	无效DMU	投入冗余						产出不足			
		固定资产投资	年能源消耗量	民用机动运输船数	从业人数	营运汽车拥有量	货物周转量(II)	碳排放量	货物周转量(I)	物流业增加值	从业人员工资水平
2018	江苏	1779.21	1148.56	24605	31.54	51.27	2829.18	215.71	0	0	62111.47
	浙江	1784.97	502.48	7398	7.35	8.54	6772.01	433.35	0	0	323.82
	安徽	0	0	0	0	0	9620.92	622.16	0	22.78	0
	江西	720.43	395.83	1664	10.29	25.38	2506.20	24.34	0	130.56	0
	湖北	2492.06	1159.83	2160	19.58	32.02	3744.52	1702.85	0	0	0
	湖南	1655.19	942.24	3387	13.75	31.95	1761.93	1022.88	0	0	0
	重庆	1455.16	526.80	2358	18.80	23.52	1636.86	235.78	0	38.76	0
	四川	3615.47	678.22	6028	33.81	53.84	0	0	0	0	0
	云南	2493.30	768.27	827	13.11	61.52	89.37	346.63	0	677.99	0
	贵州	1684.63	602.72	1441	8.19	25.22	0	0	0	0	0

升时，相应的污染物治理政策方针制定更新不匹配，以及污染物治理设施的不完备和不完善。贵州在这5年间从DEA有效变为无效，造成这一结果的原因主要是贵州在谋求物流业发展的时候，存在过分追求物流规模扩大而未注重节能减排的可能。比如，引进一些经济实力强，但同时也伴随着较大环境负荷的企业。上海物流环境效率虽然波动明显，但都是处于生产前沿面上，物流业发展比较合理。江苏、江西、重庆都为DEA无效，5年间效率值波动幅度不大。究其原因

主要是江苏、江西、重庆污染物排放的控制与治理落后于物流业的发展，对于污染物的排放、治理仍未有较大改善。

### 3.3 投入冗余与产出不足分析

本文两阶段超效率DEA模型的综合效率是由两个子阶段效率值加权平均和构成，所以基于两个子阶段去考虑投入冗余与产出不足，结果见表6。

以上表2018年的计算结果为对象，对除上海以外的10个DEA无效省市进行投入冗余与产出不足分析。

在现有产出不变的情况下,第一子阶段中DEA无效地区固定资产投入、从业人数、营运汽车拥有量、民用机动运输船数和年能源消耗量都出现了不同程度的冗余。特别地,江苏民用机动运输船冗余量接近其他9省市的船舶冗余量。作为内外河航运的承接地区,船舶投入量大但并未实现合理的产能转化。总体冗余程度从高到低依次为西部地区、中部地区、东部地区。以固定资产为例,西部地区固定资产投入冗余和为8985.61亿元,中东部地区分别为4432.58亿元、3564.18亿元。造成这一现象的原因主要是东中西冗余程度与DEA无效省市的数量以及经济发展水平呈正相关。

第二子阶段中DEA无效省市的货物周转量与碳排放量同样存在不同程度的冗余。冗余量最小的为西部地区,冗余量最大的为中部地区,居中为东部地区。以货物周转量为例,西部地区冗余总量为1726.23亿吨公里,中部地区为17633.57亿吨公里,东部地区为9601.19亿吨公里。出现这种结果的原因主要有:货物运输需求是派生性需求,其大小取决于社会经济的发展水平与经济实际发展程度相关,中东部的货物周转量大于西部地区;中东部省市大规模投入并未得到有效转化。就二氧化碳的排放冗余量来看,中部地区省市最为突出。中部地区作为东西货运的交汇地带,频繁的货物运输随之带来的是大量的碳排放。另外上游省市的污染物排放扩散和东部省市的产业转移也是部分原因。

在现有投入不变的情况下,第二子阶段中DEA无效省市的物流业增加值、从业员工工资水平存在不同程度的产出不足。就物流业增加值来看,云南、江西产出缺额较大,主要是这两个省份物流业发展水平不高,物流业产能不足。就从业员工工资水平来看江苏、浙江出现产出不足,说明薪酬增长与地区物流业发展乃至宏观经济发展不同步。企业的长足发展需要注意提升员工满意度,特别是薪资的增长。

#### 4 结论与建议

本文在传统两阶段DEA模型基础上设定两个子阶段的权重系数且将超效率DEA计算引入子阶段效率计算。基于实证分析结论,对改善长江经济带物流业环境效率,吸引外资,促进东部地区的产业转移,逐步缩小区域差异,辅助国家相关部门和长江经济带内各个省市物流发展决策提出以下几点建议:

第一,非期望产出对长江经济带物流业环境效率有着明显的负面影响。大量的冗余表明,长江经济带内诸多省市只考虑经济的发展,忽视了环境污染将制约着物流业的可持续发展。这就要求政府谋求物流业发展不能回避污染问题,要注重节能减排。同时发挥

政府部门宏观调控的权力,调节市场主体行为。从企业层面来讲,要求企业自觉遵守节能减排的各项政策法规,在追求经济效益的同时自觉承担起企业的社会责任。

第二,发挥DEA有效省市的示范作用。学习DEA有效省市的物流业发展经验,引进先进技术与高层次人才,打造物流公共服务信息平台。引进推广智慧物流、低碳物流等发展理念。利用国家产业转移的重大契机,加快中西部物流业发展,并在发展过程中注重环境保护,产业的转移不应该是污染的转移。产业转移过程中,应当发现培育低碳化、网络化、智能化的物流增长新节点,以提升长江经济带物流业整体发展水平。

第三,要想推动长江经济带物流业整体发展,就得提升“短板”省市的环境效率,优化边缘省市的物流资源配置。针对大部分省市普遍存在投入冗余和产出不足的现象,建议各个省市有关部门根据各项具体冗余和不足的指标做出相应的调整。适当的削减某些冗余指标的数量,遏制盲目扩大生产规模。同时通过引进先进的物流技术和管理模式来提高产出效率。一方面对于中部DEA无效省份勒令关停污染严重的企业,通过税收、罚款等方式治理污染物轻微排放的企业。另一方面政府部门应该不断提供新型的融资渠道、税收优惠、财政支持等帮助区域内西部省市新兴物流企业发展和物流基础设施建设。

#### 参考文献:

- [1] 卞亦文. 非合作博弈两阶段生产系统的环境效率评价[J]. 管理科学学报, 2012,15(07):11-19.
- [2] 祁玉青,赵顺,倪卫红. 基于DEA模型的扬子江城市群城市物流业效率研究[J]. 物流技术, 2018(07):44-49.
- [3] 刘勇,李志祥,李静. 环境效率评价方法的比较研究[J]. 数学的实践与认识, 2010,40(01):84-92.
- [4] 同[1].
- [5] 卢永琴,项勇,张志盈. 基于DEA的产业区生产系统非合作博弈环境效率分析[J]. 企业经济, 2014(08):31-35.
- [6] 董锋,徐喜辉,韩宇. 低碳约束下的我国省际物流业效率研究[J]. 华东经济管理, 2016,30(05):86-91.
- [7] 任阳军,汪传旭. 低碳约束下商贸流通业效率及其影响因素研究[J]. 商业经济研究, 2017(07):17-19.
- [8] 王倩倩. 基于DEA-BCC模型的全国公路运输货物效率评价[J]. 物流技术与应用, 2019,24(07):144-146.
- [9] Andersen P, Petersen N C. A Procedure for Ranking Efficient Units in Data Envelopment Analysis[J]. Management Science, 1993,39(10):1261-1264.
- [10] 杨传明. 低碳约束下江苏物流产业效率测度[J]. 华东经济管理, 2018(01):27-32.