

基于SBM-DEA模型的新疆机场集团运营效率评估

俞松卫¹, 杨谊成^{1,2}

¹新疆机场(集团)有限责任公司空管业务部, 新疆 乌鲁木齐

²中国民航大学空中交通管理学院, 天津

收稿日期: 2025年2月13日; 录用日期: 2025年3月6日; 发布日期: 2025年3月18日

摘要

本研究以新疆机场集团为研究对象, 采用基于松弛的DEA (SBM-DEA)模型, 结合非期望产出(如碳排放和旅客投诉量)和财务数据, 全面评估了新疆17个机场2013年至2023年的运营效率。研究结果表明: 1) 2013年至2019年期间, 大部分机场的运营效率较高, 尤其是在2016年、2018年和2019年, 部分机场的效率值接近或达到1, 表明资源配置和运营管理较为合理。2) 受新冠疫情影响, 几乎所有机场在2020年和2021年的效率值均显著下降, 尤其是2020年, 效率值普遍低于0.5。3) 随着疫情逐渐得到控制, 部分机场在2022年和2023年的效率值有所回升, 尤其是乌鲁木齐地窝堡国际机场和喀什机场的效率值迅速恢复至1, 显示出较强的恢复能力和较高的运营管理水平。

关键词

SBM-DEA, 机场运营效率评估, 新疆机场集团

Evaluation of Operational Efficiency of Xinjiang Airport Group Based on SBM-DEA Model

Songwei Yu¹, Yicheng Yang^{1,2}

¹Air Traffic Control Department, Xinjiang Airport (Group) Co., Ltd., Urumqi Xinjiang

²School of Air Traffic Management, Civil Aviation University of China, Tianjin

Received: Feb. 13th, 2025; accepted: Mar. 6th, 2025; published: Mar. 18th, 2025

Abstract

Taking Xinjiang Airport Group as the research object, this study comprehensively evaluated the

文章引用: 俞松卫, 杨谊成. 基于 SBM-DEA 模型的新疆机场集团运营效率评估[J]. 统计学与应用, 2025, 14(3): 121-128.
DOI: 10.12677/sa.2025.143065

operational efficiency of 17 airports in Xinjiang from 2013 to 2023 by using a slightly-based DEA (SBM-DEA) model, combined with unexpected outputs (such as carbon emissions and passenger complaints) and financial data. The results show that: 1) During 2013 to 2019, the operation efficiency of most airports is relatively high, especially in 2016, 2018 and 2019, the efficiency value of some airports is close to or reaches 1, indicating that resource allocation and operation management are reasonable. 2) Due to the impact of the COVID-19 epidemic, almost all airports have significantly decreased their efficiency values in 2020 and 2021, especially in 2020, the efficiency value is generally lower than 0.5. 3) With the epidemic gradually under control, the efficiency values of some airports rebounded in 2022 and 2023, especially the efficiency values of Urumqi Diwopu International Airport and Kashgar Airport quickly recovered to 1, indicating strong resilience and high level of operation and management.

Keywords

SBM-DEA, Airport Operational Efficiency Evaluation, Xinjiang Airport Group

Copyright © 2025 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

随着国家进入新时代, 民航业在“十四五”时期迎来新的发展机遇与挑战, 为实现民航强国目标, 行业需紧密围绕“十四五”规划的要求, 明确发展方向。在这一背景下, 机场集团必须不断提升运营效率, 推动民航强国建设。《规划》明确提出, 要坚持“两翼齐飞”、守住“三条底线”、完善“三大体系”, 并开创“四个新局面”, 为行业发展提供战略指引。新疆机场集团作为西北地区重要的机场管理机构, 凭借独特的地理位置和资源优势, 其运营效率研究不仅对区域航空业发展至关重要, 也为全国其他类似机场集团提供了宝贵的参考。因此, 对新疆机场集团各个机场运营效率进行评估, 找出各个机场存在的资源过剩或短缺问题, 据此优化资源配置与管理, 不仅能够提高整体效益、降低成本, 还能进一步推动整个交通网络的优化[1]。

DEA 作为非参数方法, 无需依赖特定生产函数或预设特征, 因此在多维度效率评估中具有优势, 并且能够灵活处理多个输入输出。因此, 很多文献采用数据包络分析(DEA)方法对机场的运营效率进行研究[1][2], 主要成果归纳如下: Gillen 和 Lall 首次利用 DEA 模型分析了美国 21 个机场的运营效率, 然后对机场效率的影响因素进行了第二阶段回归分析[3]; Fung 等人专门针对中国机场进行了研究测量了 1995 年至 2004 年中国 25 个支线机场的生产率变化[4]; Lin 和 Hong 将世界上 20 个枢纽机场与非枢纽机场进行了比较, 以衡量运营绩效[5]; Lam、Low 和 Tang 分析了亚太地区 11 个主要机场 2001~2005 年的效率[6]; 韩东等使用超效率 SBM 模型分析华东地区 30 个机场, 发现引入非期望产出因素后, 大部分机场效率提高[7]; 郑宇婷等采用视窗网络 SBM 方法研究了全球 16 家大型机场公司[8]。

然而, 现有研究存在两点明显不足: 首先, 传统效率评估方法常常忽视了非期望产出(如碳排放和运营亏损), 这些因素对机场集团运营效率评估影响深远; 其次, 现有的机场集团运营效率评估通常选取的指标缺乏统一性和针对性, 导致评估结果的准确性和实际意义受到限制。针对这些不足, 为全面评估 2013~2023 年新疆机场集团的真实运营数据, 本研究引入非期望产出变量, 在构建 4 个投入和产出指标基础上, 基于 Slack 的 DEA (SBM-DEA)模型评估新疆机场集团运营效率, 该模型在定性效率评价方面相比传统 DEA 具有更高的判别力, 将帮助我们更精确地评估机场的整体绩效[9]。

2. 指标选取与模型构建

2.1. 指标选取

如表 1 所示, 本文选取的变量组合旨在全面反映新疆机场集团运营效率的多维特性, 包括人力、资金、管理、能源等投入要素, 以及经济效益、服务质量和环境影响等产出表现, 既关注了正向产出(如总盈利、航班放行正常率)对效率提升的促进作用, 也纳入了非期望产出(如二氧化碳排放量、旅客投诉量)对效率抑制的影响, 从而更全面地评估机场运营的实际表现, 为新疆机场集团提供科学、精准的运营效率评价依据。

Table 1. Operation efficiency evaluation index system

表 1. 运行效率评价指标体系

指标类型	指标名称	单位
投入指标	员工人数(X^1)	人次
	运营投入(X^2)	万元
	管理投入(X^3)	万元
	能源费用(X^4)	万元
产出指标	总盈利(Y^1)	亿元
	二氧化碳排放量(Y^2)	吨
	旅客投诉量(Y^3)	件
	航班放行正常率	%

2.2. 模型构建

本文使用考虑非期望产出的 SBM 模型对新疆机场集团的运营效率进行评估, 具体的分式规划形式如下所示:

$$O^* = \min \frac{1 - \left(\frac{1}{m} \right) \sum_{i=1}^m \left(\frac{s_{i0}^-}{x_{i0}} \right)}{1 + \left(\frac{1}{s_1} + s_2 \right) \left(\sum_{r_1=1}^{s_1} \left(\frac{s_{r_1 0}^g}{y_{r_1 0}^g} \right) + \sum_{r_2=1}^{s_2} \left(\frac{s_{r_2 0}^b}{y_{r_2 0}^b} \right) \right)} \quad (1)$$

$$S.T, x_0 = X\lambda + s_0^- y_0^g = Y^g \lambda - s_0^g y_0^b = Y^b \lambda + s_0^b s_0^- \geq 0, s_0^g \geq 0, s_0^b \geq 0, \lambda \geq 0 \quad (2)$$

式中: x 代表投入变量, y^g 代表期望产出, y^b 代表着不期望产出, s^- 代表着投入松弛变量, s^g 代表着期望产出松弛变量, s^b 代表不期望产出变量。 λ 为权重向量。 o 代表着被评价变量。 O^* 是关于 s^-, s^g, s^b 的严格单调递减, 且满足 $0 \leq O^* \leq 1$ 。当 $O^* = 1$ 时候, 代表决策单元有效率; 反之当 $O^* \leq 1$ 时候, 代表决策单元无效, 说明投入产出并没到达最大效率需要采取措施增加运营效率。

3. 实例分析

3.1. 机场选取和描述性分析

本研究选取了新疆机场集团涉及乌鲁木齐地窝堡国际机场、喀什机场等 17 个机场作为研究对象, 数据主要来源于官网, 研究时间范围为 2013 年至 2023 年, 它们的基本数据统计值如表 2 所示, 新疆机场集团各个机场在资源配置和运营管理上的多样性, 为后续其各个机场效率评估提供了坚实的数据基础和

理论支持。

Table 2. Basic operation of Xinjiang Airport Group from 2013 to 2023
表 2. 新疆机场集团 2013 年至 2023 年的基本运行情况

	平均值	标准差	最大值	最小值
员工人数(人)	387	516.10	3000	46
运营投入(万元)	6789	10874.20	65000	240
管理投入(万元)	3201	4153.91	25000	220
能源费用(万元)	1377	2620.75	15000	60
总盈利(亿元)	1	0.94	6	0
二氧化碳排放量(吨)	16023	29770.65	180000	1200
旅客投诉量(件)	100	163.54	1000	2
航班放行正常率(%)	0.91	0.07	0.99	0.62

3.2. 机场效率分析

Table 3. Efficiency statistics of 17 airports in Xinjiang during 2013~2023
表 3. 2013~2023 年 17 家新疆机场效率统计

	HTN	AAT	BPL	KRL	YIN	KRY	KHG	KCA	JBK	TCG	TLQ	HMI	HQL	NLT	KJI	YTW	URC
2013	0.12	0.13	0.13	0.17	0.18	0.19	0.28	0.56	0.72	0.79	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
2014	0.12	0.12	0.14	0.19	0.20	0.18	0.32	0.85	0.62	0.37	1.00	0.85	0.80	0.49	0.40	0.80	1.00
2015	0.12	0.11	0.13	0.22	0.22	0.17	0.38	1.00	0.74	0.28	1.00	1.00	0.66	0.38	0.22	0.66	1.00
2016	0.11	0.26	0.12	0.24	0.24	0.17	0.43	1.00	1.00	0.26	1.00	0.58	0.52	0.37	0.21	1.00	1.00
2017	0.11	0.17	0.12	0.24	0.26	0.34	0.45	1.00	0.91	0.26	0.81	0.51	0.48	0.36	0.21	0.84	0.91
2018	0.10	0.25	0.11	0.69	0.29	0.16	0.60	1.00	1.00	0.23	0.74	0.52	0.39	0.36	0.19	1.00	1.00
2019	0.21	0.10	0.11	1.00	0.38	0.15	0.79	1.00	0.85	0.24	0.67	0.46	0.32	0.36	0.18	0.42	0.70
2020	0.09	0.09	0.09	0.15	0.15	0.21	0.35	0.50	0.28	0.20	0.50	0.44	0.37	0.29	0.14	0.15	0.28
2021	0.08	0.09	0.20	0.21	0.22	0.13	0.60	0.36	0.26	0.30	1.00	0.33	0.40	0.43	0.35	0.28	0.40
2022	0.08	0.14	0.09	0.30	0.30	0.17	1.00	0.37	0.42	0.21	1.00	0.38	0.13	0.31	0.14	0.18	1.00
2023	0.16	0.35	0.16	0.39	0.38	0.30	1.00	0.36	1.00	0.33	0.62	0.41	0.28	0.42	0.23	0.43	1.00

利用 SBM 评估新疆机场集团 17 家机场 2013 年至 2023 年的效率值如图 1 和表 3 所示，从中可知：1) 2013 年至 2019 年期间，大部分机场的效率值较高，尤其是在 2016 年、2018 年和 2019 年，部分机场的效率值接近或达到 1，表明这些年份的资源配置和运营管理较为合理，达到了最优效率。2) 2020 年和 2021 年，几乎所有机场的效率值都出现了显著下降，尤其是 2020 年，效率值普遍低于 0.5，主要是由于新冠疫情的爆发导致航班量大幅减少，运营成本增加，盈利能力下降，旅客投诉量增加，航班放行正常率下降，进一步加剧了效率损失。3) 2022 年和 2023 年，随着疫情逐渐得到控制，部分机场的效率值有所回升，尤其是乌鲁木齐地窝堡国际机场(URC)和喀什机场(KHG)的效率值迅速恢复至 1，表明这些机场具有较强的恢复能力和较高的运营管理水平。

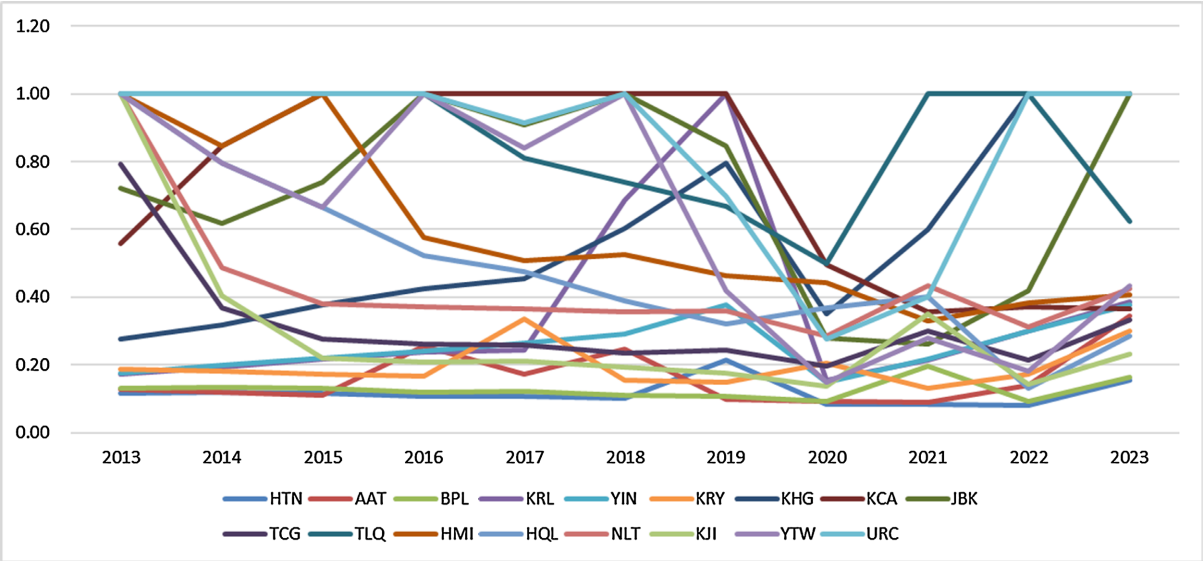


Figure 1. Efficiency statistics of 17 airports in Xinjiang from 2013 to 2023

图 1. 2013~2023 年 17 家新疆机场效率统计

3.3. 各个机场变量投入和产出松弛分析

本研究重点分析各机场在投入和产出方面的松弛情况，具体探讨资源配置和产出生成过程中可能存在的问题。通过对松弛变量的深入剖析，能够识别出影响机场效率的关键因素，并为机场管理者提供针对性的改进建议。各机场投入和产出变量的松弛值如表 4 所示，其中第 3 至 6 列表示投入项，第 7 至 8 列表示产出项，第 8 至 9 列为非期望产出项的变量松弛值。具体而言，若投入项的松弛值大于 0，表明投入需减少；若产出项的松弛值大于 0，表明产出需增加；若非期望产出项的松弛值大于 0，表明非期望产出需减少。

Table 4. Slack values of airport variables

表 4. 机场各个变量的 Slack 值

年份	DMU	员工人数	运营投入	能源费用	管理投入	总盈利	航班放行正常率	二氧化碳排放量	旅客投诉量
2023	URC	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	KHG	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	TLQ	18.56	126.65	83.27	851.00	0.00	0.00	4756.71	1.67
	KRY	377.41	1415.21	693.12	581.94	0.00	0.00	6751.71	8.25
	HMI	17.56	727.11	186.84	2450.30	0.00	0.00	4895.97	47.60
	JBK	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	HQL	166.00	3160.00	96.00	630.00	0.03	0.00	1660.00	9.20
	KRL	843.82	2988.62	792.74	1068.03	0.00	0.00	15753.28	0.00
	KCA	26.84	3790.40	45.36	3614.25	0.00	0.00	14221.98	4.10
	YIN	734.46	2685.46	727.78	1533.39	0.00	0.00	16150.45	0.00
	BPL	101.88	10413.02	2905.57	4629.69	0.00	0.00	11193.75	29.55

续表

2020	NLT	28.00	280.00	168.00	90.00	0.10	0.00	7480.00	10.60
	AAT	0.00	7000.00	2820.00	5000.00	0.00	0.00	10500.00	0.00
	KJI	21.75	4421.10	1420.17	2426.38	0.00	0.00	12951.46	13.54
	TCG	322.00	1120.00	162.00	60.00	0.05	0.00	7320.00	11.40
	HTN	159.38	10863.44	2902.03	3883.44	0.00	0.00	8968.75	38.59
	YTW	152.00	2994.84	82.89	241.60	0.00	0.00	900.00	11.04
	URC	1000	29000.00	8000.00	11000.00	0.00	0.00	100000.00	350.00
	KHG	546.68	5518.91	1217.44	3033.46	0.00	0.00	10308.80	0.00
	TLQ	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	KRY	372.00	1320.00	422.00	560.00	0.07	0.00	4320.00	13.40
	HMI	0.00	13.60	68.00	144.40	0.30	0.00	360.00	47.00
	JBK	94.00	1640.00	34.00	470.00	0.16	0.00	640.00	71.80
	HQL	40.00	650.00	10.00	225.00	0.00	0.00	150.00	0.00
	KRL	847.57	3743.73	806.46	2041.83	0.00	0.00	14148.67	6.59
	KCA	16.97	2887.30	3.46	2589.87	0.00	0.00	9760.30	0.00
	YIN	752.50	3850.00	810.00	2062.50	0.00	0.01	14225.00	8.25
	BPL	80.00	5800.00	1740.00	3250.00	0.20	0.01	5800.00	41.00
	NLT	26.00	300.00	120.00	100.00	0.24	0.00	4800.00	1.00
	AAT	114.00	5640.00	1734.00	3220.00	0.16	0.00	11640.00	71.80
	KJI	10.00	2300.00	840.00	1550.00	0.25	0.01	2300.00	11.00
2013	TCG	290.00	1000.00	120.00	100.00	0.24	0.05	4800.00	1.00
	HTN	100.00	5800.00	1740.00	3250.00	0.20	0.01	5800.00	41.00
	YTW	102.42	1934.51	34.60	90.70	0.11	0.01	0.00	0.00
	URC	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	KHG	365.00	1500.00	1050.00	1400.00	0.00	0.07	8750.00	350.00
	TLQ	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	KRY	260.00	1000.00	290.00	300.00	0.18	0.06	4300.00	81.00
	HMI	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	JBK	0.00	0.00	0.00	0.00	0.10	0.08	0.00	191.00
	HQL	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	KRL	575.00	1850.00	525.00	862.50	0.00	0.06	14350.00	148.25
	KCA	7.00	2660.00	3.50	1119.00	0.04	0.00	5400.00	1.50
	YIN	475.00	1850.00	525.00	862.50	0.00	0.06	14350.00	148.25
	BPL	40.00	3800.00	940.00	1750.00	0.20	0.08	3800.00	91.00
	NLT	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	AAT	90.00	3800.00	940.00	1750.00	0.10	0.08	8800.00	191.00

续表

KJI	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
TCG	165.00	100.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
HTN	64.00	3800.00	940.00	1750.00	0.20	0.06	3800.00	91.00
YTW	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

在高效率年份, 机场的投入和产出配置较为合理, 员工人数、运营投入、能源费用和管理投入等投入项的松弛值较小, 表明这些机场的资源配置较为高效。同时, 总盈利和航班放行正常率等产出项的松弛值也较小, 表明这些机场的盈利能力和航班放行效率较高。此外, 二氧化碳排放量和旅客投诉量等非期望产出项的松弛值较小, 表明这些机场在环境保护和服务质量方面表现较好。相比之下, 在低效率年份, 尤其是 2020 年和 2021 年, 部分机场投入项的松弛值较大, 表明存在资源浪费问题。例如, 员工人数松弛值较大反映出人员冗余, 需通过优化人力资源配置减少不必要的员工数量; 运营投入和能源费用的松弛值较大表明运营成本高和能源消耗较多, 建议通过优化运营流程、引入节能技术等措施降低相关成本。

4. 对策与建议

本文利用 SBM-DEA 对 2013 至 2023 年新疆机场集团 17 个机场运营效率进行评估, 重点分析各机场在投入和产出方面的松弛情况, 能够识别出影响机场效率的关键因素, 并为机场管理者提供针对性的改进建议。通过对比不同机场不同年度的效率差异, 并剖析各个投入产出指标松弛变量变化趋势, 我们的主要对策和建议如下:

首先, 针对部分机场存在的人员冗余问题, 建议通过精简人员结构、提升员工效率以及引入灵活用工机制来优化人力资源配置, 减少不必要的员工数量。

其次, 为降低运营成本, 机场集团应优化运营流程, 推广节能技术和清洁能源的使用, 并建立严格的成本控制机制, 确保资源的合理使用。在管理效率方面, 建议引入现代化管理工具, 简化管理流程, 并加强管理人员的培训, 以提升管理水平和决策能力。

此外, 为提高盈利能力, 机场集团应通过增加航班量、提升服务质量和引入多元化收入来源(如商业租赁和广告)来增加收入。针对非期望产出问题, 建议通过引入清洁能源、优化飞行路线和提升服务质量来减少二氧化碳排放和旅客投诉量, 从而改善环境保护和服务质量。

最后, 为增强应对突发事件的能力, 机场集团应制定详细的应急预案, 建立完善的风险管理机制, 并通过优化资源配置和提升管理效率, 确保在突发事件后能够迅速恢复运营。通过以上措施, 新疆机场集团可以有效提升运营效率, 实现可持续发展, 为民航强国建设贡献力量。

基金项目

天津市教委自然科学基金重点项目(2021ZD004)。

参考文献

[1] Farrell, M.J. (1957) The Measurement of Productive Efficiency. *Journal of the Royal Statistical Society. Series A (General)*, 120, 253. <https://doi.org/10.2307/2343100>

[2] Charnes, A., Cooper, W.W. and Rhodes, E. (1978) Measuring the Efficiency of Decision Making Units. *European Journal of Operational Research*, 2, 429-444. [https://doi.org/10.1016/0377-2217\(78\)90138-8](https://doi.org/10.1016/0377-2217(78)90138-8)

[3] Gillen, D. and Lall, A. (1997) Developing Measures of Airport Productivity and Performance: An Application of Data

- Envelopment Analysis. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, **33**, 261-273. [https://doi.org/10.1016/s1366-5545\(97\)00028-8](https://doi.org/10.1016/s1366-5545(97)00028-8)
- [4] Fung, M.K.Y., Wan, K.K.H., Hui, Y.V. and Law, J.S. (2008) Productivity Changes in Chinese Airports 1995–2004. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, **44**, 521-542. <https://doi.org/10.1016/j.tre.2007.01.003>
- [5] Lin, L.C. and Hong, C.H. (2006) Operational Performance Evaluation of International Major Airports: An Application of Data Envelopment Analysis. *Journal of Air Transport Management*, **12**, 342-351. <https://doi.org/10.1016/j.jairtraman.2006.08.002>
- [6] Lam, S.W., Low, J.M.W. and Tang, L.C. (2009) Operational Efficiencies across Asia Pacific Airports. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, **45**, 654-665. <https://doi.org/10.1016/j.tre.2008.11.003>
- [7] 韩东, 吴薇薇, 李晓霞, 石钰婷. 考虑非期望产出的机场运营效率评价[J]. 华东交通大学学报, 2019, 36(6): 47-54.
- [8] 郑宇婷, 王丹丹. 基于视窗网络 SBM 的大型机场公司运营效率评价[J]. 东北农业大学学报(社会科学版), 2020, 18(4): 10-16.
- [9] Tone, K. (2001) A Slacks-Based Measure of Efficiency in Data Envelopment Analysis. *European Journal of Operational Research*, **130**, 498-509. [https://doi.org/10.1016/S0377-2217\(99\)00407-5](https://doi.org/10.1016/S0377-2217(99)00407-5)