

基于 DEA 模型的机场应急资源配置效率研究

文 军, 陈建勤, 纪 超, 钟佳轩, 徐志航, 罗心雨

(中国民用航空飞行学院 机场工程与运输管理学院, 四川 广汉 618307)

摘要:针对机场应急资源配置中存在的现实问题,以及机场安全管理自身特点,对机场应急系统中的投入产出的整体性相对效率进行考虑,选取应急人员经费、机器设备经费作为投入指标,突发性时间损失值及应急事件达标率作为产出指标,运用数据包络分析(DEA)对江苏 9 个机场应急资源配置效率进行研究。结果显示,江苏省仅有 2 个机场 DEA 有效,6 个机场均出现规模报酬递减的情况,且其中 4 个为规模不匹配。对非 DEA 有效的机场提出改进建议,并对江苏机场应急资源配置的未来发展提出建议,以期提高机场应急资源配置效率,减少资源浪费和闲置。

关键词:机场;应急资源;资源配置效率;安全运行;DEA 模型

中图分类号:X949 **文献标志码:**A **文章编号:**1671-1807(2021)04-0200-05

民航业作为社会经济发展的重要战略产业,主动服务于国家战略,把民航事业发展蓝图融入国家发展之中,保持行业平稳较快发展。机场作为民航业的基础设施,不断加快建设步伐,机场的数量与规模都不断增加,相较于 2009 年,中国不含港澳台在内的民用运输机场 166 个,其中年旅客吞吐量 1 000 万人次以上的机场 14 个,年货邮吞吐量 1 000 t 以上的 45 个,2019 年中国不含港澳台在内的民用运输机场 239 个,增幅达到 43.3%,年旅客吞吐量 1 000 万人次以上的机场 39 个,较 2009 年增长 178%,年货邮吞吐量 1 000 t 以上的有 59 个,增多 31.1%,具体数据如图 1 所示。国内民用运输机场数量和规模的不断扩大,也为中国民航持续健康发展奠定了扎实的基础。

机场作为人群大量聚集、流动的区域,要在确保安全的前提下,提供方便快捷的运输服务,实现效益和安全的平衡。然而随着中国进入民航大众化消费时代,航空需求迅猛增长。如图 2 所示,旅客吞吐量和货邮吞吐量不断刷新纪录,使得各种突发事件发生的概率增加。

交通运输部于 2016 年 4 月 20 日颁布《民用运输机场突发事件应急救援管理准则》,要求机场管理机构应当按照国家和地方人民政府的有关规定,制定机场突发事件应急预案,并负责机场应急救援

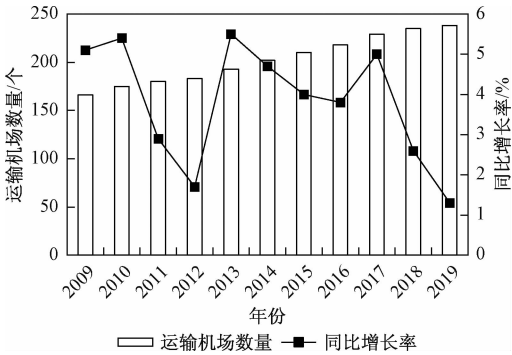


图 1 2010—2019 年中国民用运输机场数量及增长趋势

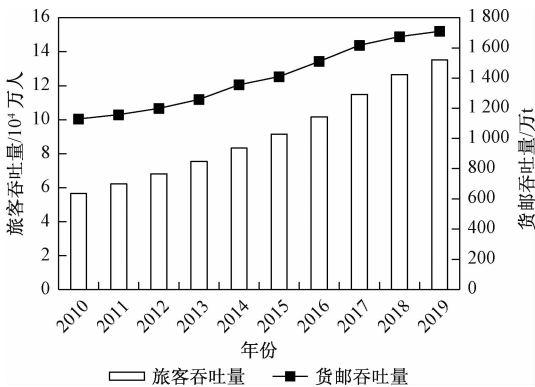


图 2 2010—2019 旅客及货邮吞吐量

收稿日期:2020-11-23

基金项目:中国民用航空飞行学院大学生科研创新计划项目(S201910624054)。

作者简介:文军(1968—),男,四川成都人,中国民用航空飞行学院机场工程与运输管理学院,教授,博士,硕士研究生导师,研究方向为航空运输规划与管理;陈建勤(1995—),女,江苏常州人,中国民用航空飞行学院机场工程与运输管理学院,硕士研究生,研究方向为交通运输工程。

工作的统筹协调和管理,以便在紧急情况下能够及时地对各类应急事故做出快速反应,避免或者减少人员伤亡和财产损失。机场作为民航运输中的重要节点,是保障整个民航系统安全、高效、可持续发展的重要环节,这不仅肯定了民用运输机场在整个民航运输系统中的特殊地位,同时也对机场的应急救援管理工作提出了更高的要求。

机场作为航空运输的基础设施,是各种人员、设施设备及财产最为集中的区域,在民航管理中机场的管理是极为重要的环节。而应急事件作为机场管理中难以预判的问题,如何快速有效地处理应急事件,最大限度地降低财产损失和人员伤亡对机场管理部门来说仍然是一个很大的挑战。机场应急管理的目的就是以最快的速度科学合理地配置应急资源,及时展开救援工作,使机场突发事件造成的损失降到最低。因此,对机场应急资源配置效率进行研究是整个应急管理系统的关键。

美国运筹学家 Charnes 和 Cooper 于 1978 年提出的数据包络分析法(data envelopment analysis, DEA)是以评价相对效率为基础而发展起来的非参数检验方法。该分析法中,决策单元为受评估的对象,基于线性规划方法,DEA 以受评估对象最优的投入指标与产出指标作为生产前沿来建立数据包络曲线。已有学者将 DEA 模型应用于应急资源配置研究,王海涛等基于煤矿企业安全投入产出因子,采用 DEA 法分析投入产出效率^[1];陈露结合 ANP 法(网络层次分析法)计算所得权重,运用 DEA 法计算城市轨道交通网络应急演练 3 个阶段的排序值,构建城市轨道交通应急演练效果组合评价模型^[2];钟小容以贵州 2014—2016 年的科技投入产出数据为指标,采用 DEA 法对贵州各区域的相对绩效进行评价,并对贵州各区域资源配置提出相应改进建议^[3];王致维等在研究分析长江危险品交通事故应急资源配置效率的过程中,运用 DEA 和神经网络相结合的方法,研究得出资源优化配置方案^[4];方磊采用偏好 DEA 应急资源配置模型,以决策者的偏好信息角度为出发点对消防站应急资源进行合理配置^[5];李昂等运用数据包络法分析鄂尔多斯市火灾突发事件应急资源配置效率^[6];彭辉等从乘客、政府及公交公司多维角度评价全国 8 个城市常规公共交通相对效益大小,研究结果有利于探寻造成公交效益低的原因^[7]。

DEA 模型是近年来资源配置效率评价中较为方便有效的模型,本文以机场应急资源配置的效率

作为研究对象,结合实际调查的具体情况,构建基于 DEA 模型的机场应急资源配置效率模型,选取江苏 9 个机场为实例进行研究分析,以期提高机场应急资源配置效率,减少资源浪费和闲置。

1 机场应急资源配置效率模型

1.1 应急资源配置效率评价指标体系构建

对机场应急资源配置进行具体分析,将机场应急资源配置效率评价指标分为投入指标和产出指标。投入指标是指资源配置时投入的各种物质要素,主要包括人力资源、物资资源、信息资源、财政资源、技术资源、备件器材、现有设施设备、应急从业人员、应急培训、管理体制资源等重要的保障资源,而机场应急资源配置效率的高低主要体现在专业应急人员的经费以及机器设备的购置费;产出指标指的是通过应急救援可获得的相应的服务和价值^[8]。

通过对机场应急资源配置的投入及产出指标的分析,在遵循可操作性、科学性、全面性原则的基础上,构建了机场应急资源配置效率评价体系,如表 1 所示。

表 1 机场应急资源配置效率投入产出指标体系

1 级指标	2 级指标	3 级指标
投入指标	应急力量	应急人员经费投入 x_1
		机器设备经费投入 x_2
产出指标	减少突发事件损失	突发性时间损失值 y_1
		应急时间达标率 y_2

1.2 应急资源配置效率理论基础

数据包络分析模型主要着重于“投入”和“产出”之间的关系,可以真实地反映客观数据的决策单元的有效性^[9]。通过 DEA 分析,采用 CCR 模型对机场应急资源配置效率进行评价,构建相应的数学模型。

假定有 n 个 DMU ($j = 1, 2, \dots, n$), 其中每个 DMU 有 m 项投入量 ($i = 1, 2, \dots, m$) 和 s 项产出量 ($s = 1, 2, \dots, n$)。用 X_{ij} 表示第 j 个 DMU 的第 i 项投入量, Y_{rj} 表示第 j 个 DMU 单元的第 r 项产出量。若用 V_i 表示第 i 项投入的对应权重, U_r 表示第 r 项产出对应的权重,则每个 DMU 的投入产出效率值 H_j 的表达式为

$$H_j = \frac{\sum_{r=1}^s U_r Y_{rj}}{\sum_{i=1}^m V_i X_{ij}}$$

(1)

选取合适的权重值 V_i 和 U_r , 时期满足 $H_j \leqslant 1$ 。对第 j_0 个决策单元进行绩效评价, 建立最优化模型为

$$\max H_{j_0} = \frac{\sum_{r=1}^s U_r Y_{rj_0}}{\sum_{i=1}^m V_i X_{ij_0}}$$
$$\begin{cases} \frac{\sum_{r=1}^s U_r Y_{rj}}{\sum_{i=1}^m V_i X_{ij}} \leqslant 1, j = 1, 2, \dots, n \\ V_i \geqslant 0, i = 1, 2, \dots, n \\ U_r \geqslant 0, r = 1, 2, \dots, s \end{cases} \quad (2)$$

为便于求解最优解, 将最优化模型转变为对偶模型为

$$\min \theta$$
$$\begin{cases} \sum_{j=1}^n \lambda_j X_{ij} \leqslant \theta X_{ij_0} \\ \sum_{j=1}^n \lambda_j Y_{rj} \leqslant Y_{rj_0} \\ \lambda_j \geqslant 0; i = 1, 2, \dots, m; \\ r = 1, 2, \dots, s; j = 1, 2, \dots, n \end{cases} \quad (3)$$

为了便于计算各个 DMU 是否存在投入冗余或产出不足问题, 将式(3)引入松弛变量及非阿基米德常量, 所以 CCR 模型为

$$D_z =$$
$$\begin{cases} \min[\theta - (e_1^T S^- + e_2^T S^+)] \\ \sum_{j=1}^n \lambda_j x_{ij} + s_i^- = \theta x_{i0} \\ \sum_{j=1}^n \lambda_j y_{rj} - s_i^+ = y_{r0} \\ e = (1, 1, \dots, 1)^T \in E^m, e = (1, 1, \dots, 1)^T \in E^s \\ s_i^- = (s_1^-, s_2^-, \dots, s_m^-)^T, s_i^+ = (s_1^+, s_2^+, \dots, s_m^+)^T \\ s_j^- \geqslant 0, s_j^+ \geqslant 0, \lambda_j \geqslant 0, j = 1, 2, \dots, n, \theta \in E \end{cases} \quad (4)$$

式中: θ 为资源配置效率; x 为输入指标; y 为输出指标; 1 为输入变量系数; e 为非阿基米德常量; S^+ 、 S^- 为松弛变量。

利用模型 D_z 能判断决策单元是否 DEA 有效。设线性规划 D_z 最优解为 $(\lambda_0, s^{0-}, s^{0+}, \theta^0)$, 利用单纯形法求解 D_z , 其结果可分为以下 3 种情况:

- 1) 若 $\theta^0 = 1$, 且 $s^{0-} = s^{0+} = 0$, 则称决策单元 j_0 为 DEA 有效, 表明该决策单元产出相对最大、效益最大。
- 2) 若 $\theta^0 = 1$, 且 $s^{0-} \neq 0, s^{0+} \neq 0$, 则称决策单

元 j_0 为 DEA 弱有效。
3) 若 $\theta^0 < 1$, 则称决策单元 j_0 为非 DEA 有效。

2 实例分析

2.1 数据选取

依据本文构建的机场应急资源配置效率评价模型, 选择江苏 9 个机场(南京禄口机场、无锡硕放机场、常州奔牛机场、徐州观音机场、南通兴东机场、连云港白塔埠机场、淮安涟水机场、盐城南洋机场、扬州泰州机场)作为决策单元, 对其应急资源配置效率进行综合评价, 各项数据见表 2, 分别用 $DMU_1, DMU_2, \dots, DMU_9$, 代表这 9 个机场。

表 2 DMU 投入产出原始数据

决策单元	投入		产出	
	应急人员 经费投入	机器设备 经费投入	突发性时 间损失值	应急时间 达标率
	x_1 /万元	x_2 /万元	y_1 /万元	y_2 /%
DMU ₁	345	594	198	86
DMU ₂	319	459	140	79
DMU ₃	306	388	155	82
DMU ₄	295	435	188	84
DMU ₅	264	364	153	76
DMU ₆	215	470	124	78
DMU ₇	227	389	139	80
DMU ₈	259	457	174	73
DMU ₉	231	364	167	78

2.2 决策单元效率评价

以决策单元 DMU_5 为例, 采用 DEA 法根据应急资源的指标计算资源配置效率。利用 MATLAB 编程进行数据处理, 分别可以得到 9 个机场应急资源配置的综合效率值、技术效率值、规模效率值规模效应, 如表 3 所示。

表 3 9 个机场应急资源配置效率值

决策单元	综合效率	纯技术效率	规模效率	规模效应
DMU ₁	0.966	1.000	0.966	drs
DMU ₂	0.909	0.923	0.985	drs
DMU ₃	0.986	1.000	0.986	drs
DMU ₄	0.942	1.000	0.942	drs
DMU ₅	0.974	1.000	0.974	irs
DMU ₆	0.774	0.774	1.000	—
DMU ₇	0.960	0.990	0.970	drs
DMU ₈	0.849	0.876	0.969	drs
DMU ₉	1.000	1.000	1.000	—

由表 3 可知, 南京禄口机场、无锡硕放机场、常州奔牛机场、徐州观音机场、淮安涟水机场和盐城南洋机场属于规模报酬递减, 即为非 DEA 有效, 表

明这 6 个机场投入的应急资源并没有得到合理的配置,产出指标突发性时间损失值及应急时间达标率也并未达到最佳状态。还需要对应急资源进行科学配置,提高机场应急资源配置效率,减少资源浪费。南通兴东机场属于规模报酬递增,即为 DEA

弱有效;连云港白塔埠机场及扬州泰州机场为规模报酬不变,即为 DEA 有效。

为了使得机场应急资源配置效率 DEA 有效,将对各机场应急资源的配置进行科学合理的调整,如表 4 所示。

表 4 机场应急资源配置调整值

决策单元	应急人员经费投入		机器设备经费投入		突发性时间损失值		应急时间达标率	
	投入冗余	产出不足	投入冗余	产出不足	投入冗余	产出不足	投入冗余	产出不足
DMU ₁	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
DMU ₂	-35.128	-31.122	-11.250	0.000	0.000	30.875	0.000	0.000
DMU ₃	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
DMU ₄	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
DMU ₅	0.000	0.000	0.000	-17.000	0.000	-14.000	0.000	2.000
DMU ₇	-1.569	0.000	-3.990	0.000	0.000	32.040	0.000	0.000
DMU ₈	-56.794	0.000	-20.133	0.000	0.000	0.000	0.000	6.914

对于非 DEA 有效的机场来说,南京禄口机场、常州奔牛机场、徐州观音机场的纯技术效率均为 1,但其规模效率小于 1,这说明对这些机场自身的技术效率而言,不存在投入冗余、产出不足的情况,而它们的综合效率没有达到有效,是因为机场规模与投入和产出之间不相匹配,这 3 个机场需要缩小相应的规模。对无锡硕放机场、淮安涟水机场及盐城南洋机场投入产出分析可知,这 3 个机场均存在投入冗余情况,无锡硕放机场应将应急人员经费投入减少 35.128 万,及其设备经费投入减少 11.25 万;淮安涟水机场应将应急人员经费投入减少 1.569 万,及其设备经费投入减少 3.99 万;盐城南洋机场应将应急人员经费投入减少 56.794 万,及其设备经费投入减少 20.133 万。

针对 DEA 弱有效的南通兴东机场,根据其投入产出分析数据可知出现了产出不足的情况,即突发性时间损失值应减少 14 万,应急事件达标率应增加 2%,故可在一定程度上减少应急力量的投入。

3 结语

随着中国航空科学技术的快速发展,民航安全管理方法的不断进步,中国航空安全管理状况得到了巨大的改善,但在航空安全水平不断提升的大环境下,每年机场仍旧存在应急事件。针对机场应急资源配置效率进行评价,为了使得评价结果具有客观性,选择了规模有效和技术有效作为评判要素,建立了基于数据包络分析(DEA)方法的评价模型。以江苏 9 个机场为例,对其进行机场应急资源配置效率进行评价,并指出各机场问题所在以及后续调整对策。对机场应急资源配置效率评价,可以将机

场应急资源科学合理的配置,减少应急资源的浪费,加强机场应急管理能力,为提升机场应急资源配置效率提供了理论依据。

针对以上评价结论提出以下建议:①由江苏省政府牵头,实现区域机场应急资源的整合,将人力、物力、财力、信息和技术等应急资源的比例要优化配置。继续将江苏的各个机场组成东部机场集团,进行应急资源集中配置,实现规模效应,解决机场应急资源分散和重复建设。②加快机场行业现代化进程,提高人力资源素质。进行新技术更新,引进专业化的应急设备,提升机场应急救援的水平。③改善低效的投入,避免投入资源过剩,造成资源浪费。④强化应急管理,提高应急预案的可操作性。

参考文献

[1] 王海涛,贾旭璠. 基于 DEA 的煤矿安全投入产出效率评价研究[J]. 中国煤炭,2019,45(5):22-26.

[2] 陈露. 基于 ANP-DEA 的城轨网络应急演练组合评价模型[J]. 中国安全生产科学技术,2014,10(1):59-63.

[3] 钟小容. 基于 DEA 模型的贵州区域科技投入产出效率研究[J]. 科技和产业,2020,20(5):15-19.

[4] 王致维,张培林. 长江危险品船舶交通事故应急资源优化配置研究[J]. 水运工程,2011(10):54-57.

[5] 方磊. 基于偏好 DEA 模型的应急资源优化配置[J]. 系统工程理论与实践,2008(5):98-104.

[6] 李昂,刘晨昊. 基于 AHP-DEA 模型的火灾突发事件应急资源配置[J]. 消防科学与技术,2019,38(1):53-56.

[7] 彭辉,赵亚军. 基于 DEA 模型的城市公交交通效益对比评价[J]. 重庆交通大学学报(自然科学版),2019,38(12):110-114.

[8] 李岳鑫,王有远,史永立. 基于 AHP 和 DEA 的科创型中小

企业信用评价研究[J]. 科技和产业, 2020, 20(7): 109—113.

[9] 赵舒芳. 基于 DEA 的高速公路运营效益评价[D]. 武汉: 武汉理工大学, 2015.

Research on the Airport Emergency Resource Allocation Efficiency Based on DEA Model

WEN Jun, CHEN Jian-qin, JI Chao, ZHONG Jia-xuan, XU Zhi-hang, LUO Xin-yu

(Airport Engineering and Transportation Management College, Civil Aviation Flight University of China, Guanghan Sichuan 618307, China)

Abstract: In view of the practical problems existing in the allocation of airport emergency resources and the characteristics of airport safety management, considers the overall relative efficiency of input and output in the airport emergency system, selects emergency personnel funds, machinery and equipment funds as input indicators, sudden time loss value and emergency event compliance rate as output indicators, and uses data envelopment analysis (DEA) The efficiency of emergency resource allocation of 9 airports in Jiangsu Province was studied. The results show that only two airports in Jiangsu achieve DEA effective, and the returns to scale of six airports are decreasing, and four of them are scale mismatching. This paper puts forward some suggestions for the improvement of non DEA effective airports and the future development of Jiangsu airport emergency resource allocation, so as to improve the efficiency of airport emergency resource allocation and reduce the waste and idle of resources.

Key words: airport; emergency resources; resource allocation efficiency; safe operation; DEA model