

基于三阶段 DEA 模型的海港型城市机场效率评价

钱琪伟, 杨正全, 柳 青

(中国民航大学 交通科学与工程学院, 天津 300300)

摘要:为探究海港型城市机场的运行效率,采用三阶段 DEA(数据包络分析)模型及 Malmquist 生产力指数分别从静态、动态两个角度分析。选取沿海地区 14 座海港型城市的机场并选取内陆地区城市的 18 家机场进行对比研究。结果表明:样本机场间运行效率值差距较大;海港型城市机场的总体效率比内陆城市机场低 9%;90% 机场处于规模报酬递增阶段,机场生产效率总体呈现增长趋势。因此,内陆城市机场可以通过不断提升技术,改建或扩建提升效率;海港型城市机场应该充分发挥其规模优势。

关键词:海港型城市;机场;运行效率;三阶段 DEA(数据包络分析);Malmquist 指数

中图分类号:F562 **文献标志码:**A **文章编号:**1671-1807(2023)17-0008-09

海港型城市一般拥有优质的沿海港口、连接内陆腹地、海港对经济较强的影响,此类型城市经济大多具有较强的外向性,城市产业发展更具优势,经济增速快、实力更强^[1]。因此,这类城市的机场的发展也更具外向性,航空运输业也相对发达。

机场是民航运输中的重要一环,其运行效率对于航空运输整体服务水平的改善和提高具有重要的影响。机场效率的研究已有一定的发展,而研究的方向各有侧重。Gillen 和 Lall^[2]首次运用数据包络分析(data envelopment analysis, DEA)模型评价美国的 21 家机场的效率;此后涌现出 DEA 模型及各种改进衍生模型。Bazargan 和 Vasigh^[3]运用 DEA 模型对 45 个美国商业机场进行生产力分析;Pacheco 等^[4]使用 DEA 方法研究巴西管理风格变化对机场绩效的影响;Lozano 和 Gutiérrez^[5]基于 SBM-DEA(基于松弛变量的数据包络分析)模型研究西班牙 39 个机场效率;Rapee 和 Peng^[6]将 DEA 和层次分析法(analytic hierarchy process, AHP)结合起来研究泰国主要机场的效率;Örkcü 等^[7]使用 Malmquist 生产力指数来评估土耳其 21 个机场的绩效;Storto^[8]采用 NSBM-DEA(基于网络松弛变量的数据包络分析)方法来研究意大利机场的效率;Huynh 等^[9]运用两阶段法研究东南亚机场的效率。

国内学者的研究起步较晚。都业富等^[10]采用 DEA 对中国民用机场运行的相对有效性进行了评价;刘晏滔^[11]运用 DEA 对长三角地区 10 家机场的效率进行研究;褚衍昌^[12]运用二阶段 DEA 模型研究亚洲主要机场效率;任新惠和孙启玲^[13]运用 DEA 方法对长三角与珠三角地区机场的运营效率进行对比分析;朱星辉等^[14]运用基于松弛策略 DEA 方法对我国 2010 年客运吞吐量排名前 30 位的民用机场进行运营效率研究;马景禄^[15]使用改进 DEA 测算中国 9 家大型机场运营效率;罗润三^[16]运用 DEA 方法评估山东省的 6 家支线机场运营效率;曾竹喧^[17]运用三阶段 DEA 方法研究长三角机场群内各机场的效率;景崇毅等^[18]构建了具有子系统偏好的并行网络 DEA 模型,并对我国 2015—2019 年千万级以上机场的运行效率进行测算。

国内外现有研究多是从国家、地区或者机场角度按照某项指标进行排名,采用的方法多以 DEA 为基础或者相关方法。然而,在海港型城市这种独特的城市形态中,港口和城市相互影响、相互促进,城市的对外贸易十分活跃,进而影响港口及其他运输方式和其他相关产业的发展^[19]。港口城市具有发达的交通条件和国内、国外双向经济腹地,经济外向型程度高。因此,本文从机场所在城市类型这一角度入手来研究机场效率,选取海港型城市进行

收稿日期:2023-05-26

基金项目:中国民航局安全能力项目([2022]266 号);国家自然科学基金(62173332)。

作者简介:钱琪伟(1997—),男,河北唐山人,中国民航大学交通科学与工程学院,硕士研究生,研究方向为航空运输规划与管理;杨正全(1977—),男,山东济宁人,中国民航大学交通科学与工程学院,副教授,博士,研究方向为无人机集群控制;通信作者柳青(1979—),男,安徽合肥人,中国民航大学交通科学与工程学院,副教授,博士,研究方向为通用航空、无人驾驶航空器。

分析,研究该类城市环境下的机场效率状况,分析其效率特点,从细分研究角度以期更为精细地评价机场实际的运行效率。

在分析的基础上,利用三阶段 DEA 模型以及 Malmquist 生产率指数从静态和动态两方面分析机场的投入和产出之间的效率关系,真实全面了解机场的运营状况。机场效率评价时采用 2016—2021 年的数据,选取沿海地区 14 座海港型城市机场,参考人口、GDP 等指标筛选规模相当的 18 家内陆地区机场进行对照分析,并为民航机场效率评估提供新的参考角度及建议。

1 研究方法

1.1 三阶段 DEA 模型

2002 年 Fried 等^[20]提出将环境影响和统计噪声纳入 DEA 中构建新模型,并分为 3 个阶段,如图 1 所示。

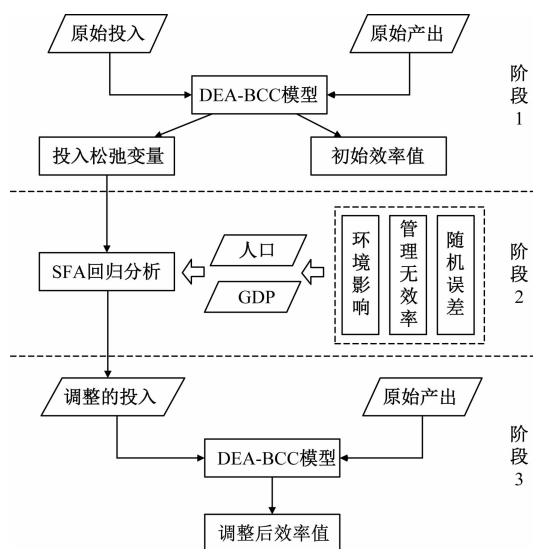


图 1 三阶段 DEA 流程

在阶段 1,DEA 应用于产出和投入,以获得绩效的初始值;在阶段 2,用随机前沿分析(stochastic frontier analysis,SFA)分析一组环境变量对阶段 1 的绩效指标的影响,这为每个输入或输出提供了将绩效变化分解为因环境影响、管理无效率及统计噪声部分;在阶段 3,调整输入或输出以考虑环境影响和阶段 2 发现的统计噪声的影响,并使用 DEA 重新评估生产者的效率。对于不同类型的机场而言,在疫情的影响下,采用三阶段 DEA 能更加准确地测算效率值,对机场运行情况拥有真实的了解。

1.1.1 阶段 1:DEA-BCC 模型

在阶段 1 中,假设规模报酬可变,并利用原始投入与产出数据测算初步的效率。投入导向型 BCC 模型中,可以被表述为

$$\min_{\theta, \lambda} \theta - \epsilon(e^T S^- + e^T S^+)$$

$$\text{s. t.} \begin{cases} \sum_{j=1}^n X_j \lambda_j + S^- = \theta X_0 \\ \sum_{j=1}^n Y_j \lambda_j - S^+ = Y_0 \\ \sum \lambda_j = 1 \\ \lambda_j \geq 0, S^-, S^+ \geq 0 \end{cases}$$

(1)

式中: $j = 1, 2, \dots, n$ 为各决策单元(DMU); X_j, Y_j 分别为第 j 个 DMU 的投入向量、产出向量; X_0, Y_0 分别为投入量、产出量; θ 为效率值; S^- 为投入松弛变量; S^+ 为产出松弛变量; λ_j 为权重; ϵ 为非阿基米德无穷小; $e^T = (1, 1, \dots, 1) \in E_m, e^T = (1, 1, \dots, 1) \in E_s$ 。

若 $\theta = 1, S^+ = S^- = 0$, 则 DMU 为 DEA 有效;若 $\theta = 1, S^+ \neq 0$, 或 $S^- \neq 0$, 则 DMU 为弱 DEA 有效;若 $\theta < 1$, 则 DMU 为非 DEA 有效。

1.1.2 阶段 2:SFA 模型

采用 SFA 模型分离外部因素,将阶段 1 中的松弛变量对环境变量及混合误差项进行回归分析,模型为

$$S_{ni} = f(Z_i; \beta_n) + \nu_{ni} + \mu_{ni},$$

$$i = 1, 2, \dots, I; n = 1, 2, \dots, N \quad (2)$$

式中: f 为生产函数; S_{ni} 为第 i 个 DMU 的第 n 项投入变量的松弛值; Z_i 为环境变量; β_n 为环境变量系数; $\nu_{ni} + \mu_{ni}$ 为混合误差项。

SFA 回归公式为

$$X_{ni}^A = X_{ni} + \{ \max[f(Z_i; \hat{\beta}_n)] - f(Z_i; \hat{\beta}_n) \} +$$

$$[\max(\nu_{ni}) - \nu_{ni}], i = 1, 2, \dots, I; n = 1, 2, \dots, N \quad (3)$$

式中: X_{ni}^A 为调整后投入; X_{ni} 为调整前投入; $\max[f(Z_i; \hat{\beta}_n)] - f(Z_i; \hat{\beta}_n)$ 为环境因素调整; $\max(\nu_{ni}) - \nu_{ni}$ 为将全部 DMU 置于相同运气水平下。

1.1.3 阶段 3:再次 DEA 测算

将阶段 2 调整过的投入数据及原始产出数据,再次应用 DEA-BCC 方法对效率值进行测算,进而得到真实的 DMU 效率值。

1.2 评价指标体系构建

在数据可获取性的基础上,综合考虑到海港型城市与内陆城市机场实际运营情况,选择 2 项投入指标和 3 项产出指标,并选取 2 项指标作为环境变量,具体见表 1。

应用 Stata26 软件对投入与产出变量进行 Pearson 相关性检验,结果见表 2,投入、产出变量相关系数均为正值,显著性水平为 1%,说明指标具有合理性。

表 1 投入产出变量

变量类型	变量	单位
投入变量	航站楼面积	万 m ²
	机位数量	个
产出变量	旅客吞吐量	人次
	货邮吞吐量	t
	起降架次	次
环境变量	人口	万人
	GDP	亿元

表 2 投入产出变量的 Pearson 相关性检验结果

变量	旅客吞吐量	货邮吞吐量	起降架次
航站楼面积	0.579*** (0.000)	0.459*** (0.000)	0.611*** (0.000)
机位数量	0.589*** (0.000)	0.490*** (0.000)	0.612*** (0.000)

注：***表示显著性水平为 1%；括号内为 P 值。

2 机场效率结果及分析

2.1 样本选取

研究样本考虑该城市机场吞吐量规模以及参考 2021 年本地港口吞吐量在 2 亿 t 以上的沿海城市,从中选取了 14 座海港型城市。结合所选海港型城市并依据其人口和 GDP 水平,相应地选取 18 座内陆城市进行研究。运行效率评价选取的 32 家机场见表 3。研究分为静态与动态研究两方面,静态选取 2017 年、2020 年的数据以此对比研究疫情前后的效率状况,动态研究选取 2016—2021 年的数据。数据来源于交通运输部吞吐量数据、民航局的历年《全国机场生产统计公报》、各地机场官网数据及《中国统计年鉴》。

2.2 阶段 1 效率测算

使用 DEAP2.1 软件求解 32 家机场的运行效率。应用 2016—2021 年的原始数据分别计算得出阶段 1 的效率值,并计算投入松弛变量。阶段 1 为效率的初步值,需要在阶段 2 调整后重新进行计算。两个时期中各取一个年份(2017 年、2020 年)为例。

因变量	2017 年		2020 年	
	航站楼面积松弛	机位数量松弛	航站楼面积松弛	机位数量松弛
系数	−23.008 *** (−36.761)	−49.295*** (−49.680)	−26.765*** (−26.889)	−18.822*** (−13.053)
人口	0.002 * (1.223)	−0.015 * (−0.591)	0.007*** (2.626)	−0.020 * (−0.374)
GDP	0.002*** (19.628)	0.009*** (7.268)	0.002*** (5.021)	0.006*** (4.090)
σ^2	653.882*** (653.889)	4 163.663*** (4163.665)	768.129*** (768.131)	2 922.902*** (2 761.108)
γ	0.999 999 99*** (512 985.36)	0.999 999 99*** (3 328.722)	0.999 999 99*** (6.144)	0.999 999 99*** (15 668.776)
LR 单边检验	13.724***	8.622***	10.873***	9.524***

注：*、***分别表示在 10%、1%显著性水平上显著；括号内为 t 值；LR 为似然比检验。

表 3 样本机场

海港型城市机场	内陆城市机场
大连/周水子、福州/长乐、广州/白云、连云港/白塔埠、宁波/栎社、秦皇岛/北戴河、青岛/流亭、日照/山字河、上海/浦东、深圳/宝安、唐山/三女河、天津/滨海、厦门/高崎、烟台/蓬莱	昆明/长水、合肥/新桥、成都/双流、贵阳/龙洞堡、长沙/黄花、银川/河东、西安/咸阳、乌鲁木齐/地窝堡、北京/首都、重庆/江北、沈阳/桃仙、郑州/新郑、南昌/昌北、长春/龙嘉、武汉/天河、哈尔滨/太平、太原/武宿、兰州/中川

2.3 阶段 2 SFA 调整

为了剔除外部影响,以人口、GDP 两个环境因素为自变量,利用航站楼面积、机位数的松弛量建立两个 SFA 回归方程,采用 Frontier4.1 软件测算,结果见表 4,3 个方程的 LR 值和 γ 值均处于 1%的显著水平,而 γ 值接近 1,因此 SFA 回归有效,管理无效率为投入松弛变量的主要影响,随机扰动对投入松弛变量的影响较小。

根据表 4,对 2017 年、2020 两年度进行分析可以得出以下结论：

1)人口对航站楼面积松弛系数为正值,说明人口数量增长导致航站楼面积投入的冗余的增加;而人口对机位数量松弛变量系数为负值,表明人口的增加使得机位数量投入冗余降低,进而影响该地区机场的效率。

2)GDP 对航站楼面积松弛系数为正值,说明 GDP 的增长导致航站楼面积投入冗余增加;而 GDP 对机位数量松弛变量系数为正值,表明 GDP 的增加引起机位数量投入冗余增长,对该地区机场的效率产生影响。

2.4 阶段 3 效率分析

采用调整过的投入值及原始产出值,应用 DEAP2.1 求得阶段 3 的结果,见表 5。此时的效率剔除了外部影响,可以较为客观地反映其真实经营与管理水平。

表 5 2017 年、2020 年 1、3 阶段 32 家机场运行效率值

年份	海港城市机场	阶段 1				阶段 3			
		综合运营效率	纯技术效率	规模效率	规模报酬	综合运营效率	纯技术效率	规模效率	规模报酬
2017	大连/周水子	0.947	1.000	0.947	drs	0.336	0.849	0.396	irs
	福州/长乐	0.436	0.463	0.943	drs	0.219	0.809	0.271	irs
	广州/白云	0.896	1.000	0.896	drs	0.912	0.944	0.965	irs
	连云港/白塔埠	0.533	0.752	0.708	irs	0.028	0.834	0.033	irs
	宁波/栎社	1.000	1.000	1.000	—	0.218	1.000	0.218	irs
	秦皇岛/北戴河	0.459	0.710	0.646	irs	0.023	0.800	0.029	irs
	青岛/流亭	0.895	1.000	0.895	drs	0.440	0.931	0.473	irs
	日照/山字河	1.000	1.000	1.000	—	0.104	0.816	0.128	irs
	上海/浦东	1.000	1.000	1.000	—	1.000	1.000	1.000	—
	深圳/宝安	0.712	0.851	0.838	drs	0.809	1.000	0.809	irs
	唐山/三女河	0.512	1.000	0.512	irs	0.015	0.937	0.016	irs
	天津/滨海	0.633	0.641	0.988	drs	0.441	0.967	0.457	irs
	厦门/高崎	0.662	0.738	0.897	drs	0.363	0.732	0.496	irs
	烟台/蓬莱	0.454	0.459	0.989	irs	0.154	0.832	0.185	irs
	昆明/长水	0.769	0.907	0.847	drs	0.625	0.753	0.829	irs
	合肥/新桥	0.719	0.739	0.973	irs	0.201	0.894	0.224	irs
	成都/双流	1.000	1.000	1.000	—	0.813	1.000	0.813	irs
	贵阳/龙洞堡	0.898	0.938	0.958	drs	0.375	0.771	0.486	irs
	长沙/黄花	0.658	0.719	0.916	drs	0.410	0.857	0.479	irs
	银川/河东	0.428	0.435	0.985	irs	0.139	0.698	0.199	irs
	西安/咸阳	0.770	1.000	0.770	drs	0.580	0.775	0.749	irs
	乌鲁木齐/地窝堡	0.597	0.665	0.897	drs	0.311	0.690	0.451	irs
	北京/首都	0.676	1.000	0.676	drs	1.000	1.000	1.000	—
	重庆/江北	0.395	0.460	0.858	drs	0.520	0.746	0.698	irs
	沈阳/桃仙	0.638	0.651	0.980	irs	0.284	0.795	0.357	irs
	郑州/新郑	0.378	0.396	0.954	drs	0.367	0.704	0.522	irs
	南昌/昌北	0.538	0.551	0.976	drs	0.199	0.754	0.263	irs
	长春/龙嘉	0.689	0.693	0.994	irs	0.190	0.814	0.233	irs
	武汉/天河	0.403	0.429	0.94	drs	0.397	0.800	0.496	irs
	哈尔滨/太平	1.000	1.000	1.000	—	0.283	0.813	0.348	irs
	太原/武宿	0.769	0.82	0.938	drs	0.223	0.762	0.292	irs
	兰州/中川	0.814	0.856	0.95	drs	0.225	0.750	0.300	irs
	均值	0.696	0.777	0.902		0.381	0.838	0.444	
2020	大连/周水子	0.569	0.583	0.975	irs	0.271	0.840	0.322	irs
	福州/长乐	0.409	0.424	0.964	irs	0.269	0.833	0.323	irs
	广州/白云	0.725	1.000	0.725	drs	0.843	1.000	0.843	drs
	连云港/白塔埠	0.695	1.000	0.695	irs	0.045	0.910	0.050	irs
	宁波/栎社	0.671	0.691	0.972	irs	0.290	1.000	0.290	irs
	秦皇岛/北戴河	0.390	0.933	0.417	irs	0.059	0.880	0.066	irs
	青岛/流亭	1.000	1.000	1.000	—	0.470	0.999	0.471	irs
	日照/山字河	1.000	1.000	1.000	—	0.444	0.980	0.453	irs
	上海/浦东	1.000	1.000	1.000	—	1.000	1.000	1.000	—
	深圳/宝安	1.000	1.000	1.000	—	1.000	1.000	1.000	—
	唐山/三女河	0.628	1.000	0.628	irs	0.022	1.000	0.022	irs
	天津/滨海	0.490	0.533	0.920	irs	0.418	0.936	0.447	irs
	厦门/高崎	0.704	0.705	0.999	irs	0.402	0.772	0.521	irs
	烟台/蓬莱	0.585	0.625	0.935	irs	0.225	0.919	0.245	irs
	昆明/长水	0.708	0.737	0.960	drs	0.679	0.746	0.910	irs
	合肥/新桥	0.856	0.915	0.935	irs	0.302	1.000	0.302	irs
	成都/双流	1.000	1.000	1.000	—	1.000	1.000	1.000	—
	贵阳/龙洞堡	0.831	0.838	0.992	irs	0.407	0.804	0.506	irs
	长沙/黄花	0.693	0.731	0.948	drs	0.504	0.882	0.571	irs
	银川/河东	0.485	0.519	0.935	irs	0.188	0.761	0.247	irs

续表

年份	海港城市机场	阶段 1				阶段 3			
		综合运营效率	纯技术效率	规模效率	规模报酬	综合运营效率	纯技术效率	规模效率	规模报酬
2020	西安/咸阳	0.846	1.000	0.846	drs	0.682	0.802	0.851	irs
	乌鲁木齐/地窝堡	0.496	0.497	0.997	irs	0.265	0.720	0.368	irs
	北京/首都	0.440	0.441	0.999	irs	0.654	0.688	0.951	irs
	重庆/江北	0.489	0.556	0.879	drs	0.720	0.774	0.930	irs
	沈阳/桃仙	0.606	0.665	0.911	irs	0.348	0.835	0.416	irs
	郑州/新郑	0.513	0.526	0.976	irs	0.447	0.677	0.661	irs
	南昌/昌北	0.772	0.798	0.968	irs	0.288	0.846	0.340	irs
	长春/龙嘉	0.462	0.485	0.952	irs	0.238	0.802	0.296	irs
	武汉/天河	0.437	0.438	0.997	irs	0.370	0.895	0.413	irs
	哈尔滨/太平	0.69	0.709	0.974	drs	0.318	0.804	0.396	irs
	太原/武宿	0.904	0.909	0.995	irs	0.263	0.847	0.311	irs
	兰州/中川	1.000	1.000	1.000	—	0.307	0.831	0.370	irs
	均值	0.690	0.758	0.922		0.429	0.868	0.497	

注:drs 表示规模报酬递减;irs 表示规模报酬递增;—表示规模报酬不变。

经过阶段 3 调整后,对结果进行全面分析如下:

1)调整前后效率的综合对比分析。研究发现,2017 年调整后研究样本综合运营效率为 0.381,比调整前降低 0.315;在经过调整后呈现一定幅度的下降表明样本机场综合的运行效率还需进一步提升,综合运营效率在调整前后差值较大;纯技术效率达 0.838,比调整前提高 0.061,说明外部环境抑制了机场纯技术效率的提高;规模效率为 0.444,比调整前降低 0.458,效率值降幅较大,机场规模效率对于环境因素较为敏感;提升规模效率进而使得机场的综合技术效率的进步。而 2020 调整后研究样本综合运营效率为 0.429,比调整前降低 0.261;纯技术效率为 0.868,比调整前提高 0.11;规模效率为 0.497,比调整前降低 0.425;在经过调整后的 2020 年规模效率、综合运营效率均有下降幅度。综合技术效率、规模效率的减少证明阶段 1 的结果因环境因素而使综合技术效率值偏高,说明样本机场资源配置能力较强,但并不能充分发挥规模经济优势,机场管理层应该努力提升其内部管理水平,发挥规模经济优势,为顾客提供更优质的服务;海港型城市中的上海/浦东、深圳/宝安、广州/白云几家机场以及内陆的昆明/长水、成都/双流等机场能较好地发挥规模优势;而秦皇岛/北戴河、唐山/三女河两家机场综合技术效率不足 0.1,十分低下,前者是刚从军民合用机场独立出来运行,后者属于军民合用机场,两者整体的运营效率和管理水平还有巨大的提升空间。

2)效率前沿分析。在 2017 年,在剔除随机干扰和环境因素前后,上海/浦东机场一直是处于综合

技术效率前沿面的,说明该机场的硬件水平与管理运作方面具有高效性;而 2020 年,在剔除随机干扰和环境因素前后,上海/浦东、成都/双流、深圳/宝安处于综合技术效率前沿面上,说明国内的大型机场效率在全国处于先进水平。值得注意的是,广州/白云机场始终仅有纯技术效率处于前沿面,需要提高规模效率以提高综合效率。

3)海陆机场效率比较分析。比较来看,内陆城市机场的规模效率要强于海港型城市,具有较强的规模经济优势,而综合技术效率和纯技术效率两方面要弱于海港型城市;海港型城市机场总体效率略高于内陆型城市机场,说明这些机场的基础设施与运营能力处于较高水平。此外,分析表 5 可知,2017 年调整前后,海港型城市的机场综合效率下降 0.362,在 2020 年下降了 0.294;而内陆城市机场相应的年份调整前后分别下降了 0.277 和 0.236;海港城市机场受环境影响较大使得效率值被高估,内陆型城市机场受环境影响产生较小程度效率变化。

4)海港型城市机场效率分析。在我国沿海港口城市港城关系中,港城关系分为城市驱动型、港口驱动型、港城互驱型 3 种类型^[21],因此再结合郭建科等^[22]的研究结果,将样本海港型城市及其机场进行如下分组。

城市驱动型:大连/周水子、秦皇岛/北戴河、天津/滨海、青岛/流亭、上海/浦东、连云港/白塔埠、宁波/栎社、厦门/高崎、深圳/宝安、广州/白云。

港口驱动型:烟台/蓬莱、日照/山字河、唐山/三女河。

港城互驱型：福州/长乐。

根据分组并结合表 5 结果计算其平均综合效率。结果表明,经过调整后,2017 年,城市驱动型的城市中,机场的平均效率为 0.457,港口驱动型及港城互驱型分别为 0.091、0.219;城市驱动型其发展以城市本身的规划为主,城市的发展较少的受到港口的影响及制约,因而该类城市的机场综合效率相对较高;然而港口驱动型城市的发展受港口影响,其机场综合效率相对低下,而港城互驱型其机场效率值处于中间位置。在 2020 年,3 类城市的机场综合效率分别为 0.480、0.230、0.269,相较于 2017 年,各类城市的机场效率都有所提升,机场的效率值仍存在城市驱动型>港城互驱型>港口驱动型的排序状况。

5)调整前后趋势变化分析。表 6 显示,经过阶段 2 的调整后,阶段 3 计算出的机场综合技术效率普遍低于阶段 1。其中广州/白云、深圳/宝安、北京/首都、重庆/江北 4 家机场的效率有所上升,仅有上海/浦东机场效率值始终保持为 1。从排名变动来看,连云港/白塔埠、宁波/栎社、日照/山字河、合肥/新桥、太原/武宿、兰州/中川排名下降最多,分别下降了 12、17、22、14、15、15 个名次;北京/首都、重庆/江北、郑州/新郑、武汉/天河 4 家排名上升最多,分别上升 16、22、16、16 个名次,证明这些省份的机场效率受外部影响程度较大。在前 15 名中,海港型机场仅有 6 家,其余 8 家机场名次比较靠后;而内陆城市机场有 9 家排名在前 15,说明内陆城市的机场整体运营效率较高,拥有更好的管理水平。

表 6 1、3 阶段 32 家机场 2016—2021 年平均效率值及排名

机场	阶段 1				阶段 3				排名变化
	综合运营效率	纯技术效率	规模效率	排名	综合运营效率	纯技术效率	规模效率	排名	
大连/周水子	0.772	0.819	0.942	12	0.325	0.847	0.385	16	—4
福州/长乐	0.422	0.443	0.955	31	0.249	0.811	0.308	23	8
广州/白云	0.779	0.945	0.824	10	0.830	0.909	0.918	5	5
连云港/白塔埠	0.629	0.930	0.677	19	0.040	0.872	0.046	31	—12
宁波/栎社	0.894	0.898	0.993	4	0.258	1.000	0.258	21	—17
秦皇岛/北戴河	0.416	0.841	0.492	32	0.043	0.838	0.052	30	2
青岛/流亭	0.834	0.931	0.901	6	0.456	0.934	0.490	9	—3
日照/山字河	0.980	1.000	0.980	3	0.246	0.877	0.277	25	—22
上海/浦东	1.000	1.000	1.000	1	1.000	1.000	1.000	1	0
深圳/宝安	0.831	0.950	0.874	7	0.884	1.000	0.884	3	4
唐山/三女河	0.464	1.000	0.464	26	0.016	0.964	0.017	32	—6
天津/滨海	0.586	0.613	0.954	22	0.429	0.946	0.454	12	10
厦门/高崎	0.665	0.717	0.929	16	0.382	0.751	0.510	14	2
烟台/蓬莱	0.510	0.531	0.962	25	0.193	0.868	0.223	28	—3
昆明/长水	0.735	0.846	0.872	14	0.645	0.741	0.874	6	8
合肥/新桥	0.779	0.823	0.947	8	0.250	0.944	0.264	22	—14
成都/双流	1.000	1.000	1.000	1	0.904	1.000	0.904	2	—1
贵阳/龙洞堡	0.773	0.794	0.974	11	0.362	0.777	0.468	15	—4
长沙/黄花	0.643	0.705	0.910	17	0.454	0.860	0.529	10	7
银川/河东	0.434	0.455	0.954	28	0.164	0.730	0.227	29	—1
西安/咸阳	0.765	1.000	0.765	13	0.639	0.794	0.804	7	6
乌鲁木齐/地窝堡	0.574	0.665	0.868	23	0.324	0.708	0.459	17	6
北京/首都	0.605	0.818	0.785	20	0.883	0.892	0.986	4	16
重庆/江北	0.424	0.503	0.841	30	0.622	0.770	0.804	8	22
沈阳/桃仙	0.639	0.674	0.948	18	0.318	0.820	0.389	18	0
郑州/新郑	0.425	0.435	0.978	29	0.392	0.687	0.572	13	16
南昌/昌北	0.599	0.615	0.974	21	0.242	0.799	0.303	26	—5
长春/龙嘉	0.566	0.584	0.968	24	0.220	0.797	0.277	27	—3
武汉/天河	0.459	0.506	0.919	27	0.436	0.843	0.516	11	16
哈尔滨/太平	0.733	0.788	0.920	15	0.306	0.790	0.388	19	—4
太原/武宿	0.779	0.814	0.954	9	0.246	0.802	0.308	24	—15
兰州/中川	0.854	0.883	0.964	5	0.265	0.788	0.337	20	—15

如图 2 所示,32 家机场纯技术效率均在 80% 以上,出现先下降再上升趋势,下降趋势集中在 2020 年,综合技术效率与规模效率整体呈现上升趋势,规模效率值低下严重影响综合技术效率表现。

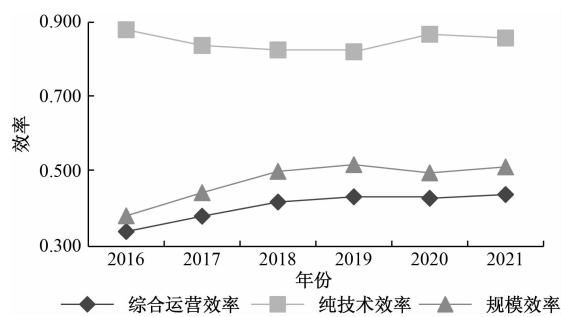


图 2 2016—2021 年 32 家机场效率均值

6) 机场规模分类效率分析。结合选取样本机场的吞吐量能力将其进一步分类,见表 7,依据机场分类对不同类型机场效率进行深入分析,结果见表 8。海港型城市机场及内陆城市机场对比研究中,海港型城市超大型机场综合运营效率与规模效率高于内陆城市超大型机场,而其中小型、大型机场综合运营效率与规模效率低于内陆城市相应的机场,说明海港型城市的超大型的机场在管理以及规模上更具优势;海港型城市各类型纯技术效率要高于内陆城市机场,说明其机场运行的技术方面具有优势。在海港型城市机场分析研究中,超大型机场各方面效率都显著高于大型及中小型机场,总体来看,超大型机场效率最好,大型次之,中小型最次,另外发现,大型机场纯技术效率弱于中小型机场。而在内陆城市机场分析研究中,其规律与海港型城市机场相同。

7) 象限分析。根据纯技术效率和规模效率分别以 0.90、0.80 为分界线对各机场进行划分,分为“双高型”“高低型”“低高型”“双低型”4 种类型。超过半数省份属于“双低型”,即纯技术效率和规模效率分别小于 0.90、0.80。上海/浦东、深圳/宝安、成都/双流、广州/白云 4 家机场属于“双高型”,即纯技

术效率和规模效率分别大于 0.90、0.80,4 家机场处于一线或新一线城市且有 3 家机场属于海港型城市机场,表明部分海港型城市机场效率处于较高水平。昆明/长水、西安/咸阳、重庆/江北、青岛/流亭、天津/滨海等机场属于“低高型”或“高低型”,即纯技术效率小于 0.90 或规模效率小于 0.80。

8) 规模报酬分析。由表 9 可知,阶段 1 中规模报酬递增、规模报酬递减机场分别约有 13、15 家。在阶段 3 中,处于规模报酬递增阶段的机场约 29 家,约有 2 家出现了规模报酬不变现象。说明外部社会环境对大部分机场的效率产生负面影响,造成了机场总体规模效率低下。

2.5 Malmquist 指数分析

利用 Malmquist 指数方法对各机场的动态变化进行分析。将阶段 2 调整后的投入,利用 DEAP2.1 来测算出各机场 2016—2021 年的效率变化情况,得到各机场的全要素生产率变化指数,见

表 7 32 家机场分类

级别	海港型城市机场	内陆城市机场
中小型	连云港/白塔埠、秦皇岛/北戴河、日照/山字河、唐山/三女河、烟台/蓬莱	合肥/新桥、银川/河东
大型	大连/周水子、福州/长乐、宁波/栎社、青岛/流亭、天津/滨海、厦门/高崎	贵阳/龙洞堡、长沙/黄花、西安/咸阳、乌鲁木齐/地窝堡、重庆/江北、沈阳/桃仙、郑州/新郑、南昌/昌北、长春/龙嘉、武汉/天河、哈尔滨/太平、太原/武宿、兰州/中川
超大型	广州/白云、上海/浦东、深圳/宝安	昆明/长水、成都/双流、北京/首都

表 8 2016—2021 年 32 家机场分类效率

级别	海港型城市机场			内陆城市机场		
	综合运营效率	纯技术效率	规模效率	综合运营效率	纯技术效率	规模效率
中小型	0.108	0.884	0.123	0.207	0.837	0.245
大型	0.350	0.881	0.401	0.371	0.787	0.473
超大型	0.905	0.970	0.934	0.811	0.878	0.921

表 9 2016—2021 年 1、3 阶段 32 家机场规模报酬情况

规模报酬情况	阶段 1						阶段 3					
	2016 年	2017 年	2018 年	2019 年	2020 年	2021 年	2016 年	2017 年	2018 年	2019 年	2020 年	2021 年
irs	12	8	8	10	20	17	30	30	30	30	28	28
drs	15	19	20	17	6	10	0	0	0	0	1	1
—	5	5	4	5	6	5	2	2	2	2	3	3

注:irs 表示规模报酬递增;drs 表示规模报酬递减;—表示规模报酬不变。

表 10。全要素生产率(tfpch)可分解为技术效率变化(effch)和技术进步变化(techch)两部分,而技术效率变化可进一步分解为纯技术效率变化(pech)和规模效率(sech)变化。

采用 Malmquist 指数从时间序列角度分解 2016—2021 年机场全要素生产率,见表 11,从时间变化上看,Malmquist 指数的值 2018—2020 年出现小于 1 的情况,其余时期 Malmquist 指数均大于 1;全要素生产率为先降低后增长的趋势,说明新冠肺炎疫情对于机场运行效率影响比较明显,尤其是 2020 年,此后的 2021 年效率逐步恢复提升。3 年间 32 家机场技术效率、技术进步、规模效率、全要素生产率表现相同的变化趋势,即先下降,2019—2020 最低,之后回升,而纯技术效率则是稳步提升。

表 10 Malmquist 指数法评估 32 家机场
2016—2021 年效率情况

机场	effch	techch	pech	sech	tfpch
大连/周水子	1.006	0.968	0.981	1.026	0.973
福州/长乐	1.048	0.968	0.998	1.050	1.014
广州/白云	0.983	0.959	1.010	0.973	0.942
连云港/白塔埠	1.207	0.982	0.993	1.215	1.185
宁波/栎社	1.123	0.962	1.000	1.123	1.080
秦皇岛/北戴河	1.300	0.983	0.990	1.313	1.278
青岛/流亭	1.014	0.956	0.972	1.044	0.970
日照/山字河	1.558	0.984	0.999	1.560	1.534
上海/浦东	1.000	0.953	1.000	1.000	0.953
深圳/宝安	1.056	0.947	1.000	1.056	1.001
唐山/三女河	1.206	0.980	1.003	1.203	1.183
天津/滨海	1.056	0.983	1.000	1.056	1.038
厦门/高崎	1.006	0.960	0.989	1.017	0.966
烟台/蓬莱	1.135	0.977	1.001	1.135	1.109
昆明/长水	1.033	0.981	0.976	1.058	1.013
合肥/新桥	1.151	0.980	1.011	1.138	1.127
成都/双流	1.074	0.975	1.000	1.074	1.047
贵阳/龙洞堡	1.091	0.976	0.992	1.100	1.065
长沙/黄花	1.069	0.965	0.993	1.077	1.032
银川/河东	1.122	0.978	0.989	1.135	1.097
西安/咸阳	1.060	0.959	1.005	1.054	1.016
乌鲁木齐/地窝堡	1.044	0.957	0.993	1.052	0.999
北京/首都	0.915	0.958	0.921	0.993	0.876
重庆/江北	1.106	0.948	1.021	1.084	1.048
沈阳/桃仙	1.076	0.977	0.989	1.088	1.051
郑州/新郑	1.067	0.969	0.992	1.075	1.034
南昌/昌北	1.162	0.974	1.003	1.159	1.131
长春/龙嘉	1.119	0.963	0.994	1.125	1.078
武汉/天河	1.107	0.959	1.022	1.083	1.061
哈尔滨/太平	1.044	0.950	0.989	1.056	0.992
太原/武宿	1.111	0.971	1.005	1.105	1.078
兰州/中川	1.114	0.973	0.999	1.116	1.084
均值	1.094	0.968	0.994	1.100	1.059

表 11 2016—2021 年 32 家机场平均 Malmquist 指数

时期	effch	techch	pech	sech	tfpch
2016—2017 年	1.250	1.035	0.951	1.315	1.294
2017—2018 年	1.198	1.028	0.985	1.216	1.231
2018—2019 年	1.037	0.953	0.994	1.044	0.988
2019—2020 年	0.998	0.810	1.058	0.943	0.808
2020—2021 年	1.011	1.036	0.988	1.023	1.047
均值	1.094	0.968	0.994	1.100	1.059

3 结论

采用三阶段 DEA 模型和 Malmquist 生产力指数从静态和动态两方面评价 2016—2021 年海港型城市及内陆城市机场在疫情前后的运行效率。

研究结果表明:①样本机场的运行效率差距较大,机场实际经营管理水平不尽相同,许多机场效率较低,存在较大的改善空间;②海港型城市机场综合技术效率和纯技术效率两方面要强于内陆城市机场,而规模效率要弱于内陆城市机场,海港型城市机场技术更新迭代速度较快;③环境因素的存在会使机场效率值偏高,且海港型城市对环境因素更加敏感,效率评估受到的影响更大;④城市驱动型的海港城市发展较少地受到港口的影响,其机场综合效率相对较高;而港口驱动型城市其机场效率相对较低;⑤样本机场中 90%的机场处于规模报酬递增阶段,各机场具有较强的发展潜力,可以通过改扩建机场实现机场业务量的有效提升并且优化管理流程以提高管理效率水平;⑥疫情前后各地机场效率值总体呈现先降低后恢复的势头;⑦内陆城市机场应该注重提升其技术,并且可以适当改建或扩建;而海港型城市机场应该扩大市场份额以发挥规模优势,提高规模效率,并且避免盲目扩建航站楼和机位而导致效率降低;⑧三阶段 DEA 方法对于效率的评估结果更加准确全面,与 Malmquist 生产率指数相结合,可以测算生产力及其构成要素的变化,进而提供更加丰富的决策信息。

参考文献

[1] 毕斗斗,方远平.世界先进海港城市的发展经验及启示[J].国际经贸探索,2009,25(5):35-40.

[2] GILLEN D,LALL A. Developing measures of airport productivity and performance:an application of data envelopment analysis[J]. Transportation Research Part E:Logistics and Transportation Review,1997,33(4):261-273.

[3] BAZARGAN M,VASIGH B. Size versus efficiency:a case study of US commercial airports[J]. Journal of Air Transport Management,2003,9(3):187-193.

[4] PACHECO RR,FERNANDES E,DE SEQUEIRA SAN-

- TOS M P. Management style and airport performance in Brazil[J]. *Journal of Air Transport Management*, 2006, 12(6): 324-330.
- [5] LOZANO S, GUTIÉRREZ E. Slacks-based measure of efficiency of airports with airplanes delays as undesirable outputs[J]. *Computers & Operations Research*, 2011, 38(1): 131-139.
- [6] RAPEE P, PENG K C. Measuring efficiency of main airports in Thailand by an integrated DEA-AHP method[J]. *Advanced Materials Research*, 2014, 1030: 2203-2206.
- [7] ÖRKÇÜ H H, BALIKÇI C, DOĞAN M I, et al. An evaluation of the operational efficiency of Turkish airports using data envelopment analysis and the Malmquist productivity index: 2009-2014 case [J]. *Transport Policy*, 2016, 48: 92-104.
- [8] LO STORTO C. The analysis of the cost-revenue production cycle efficiency of the Italian airports: a NSBM DEA approach [J]. *Journal of Air Transport Management*, 2018, 72: 77-85.
- [9] HUYNH T M, KIM G, HA H K. Comparative analysis of efficiency for major Southeast Asia airports: a two-stage approach [J]. *Journal of Air Transport Management*, 2020, 89: 101898.
- [10] 都业富, 朱新华, 冯敏. DEA 方法在中国民用机场评价中的应用研究[J]. *中国民航学院学报*, 2006(6): 46-49.
- [11] 刘晏滔. 基于 DEA 方法的长三角地区机场效率分析[D]. 天津: 中国民航大学, 2008.
- [12] 褚衍昌. 机场运营效率评价与改善研究[D]. 天津: 天津大学, 2009.
- [13] 任新惠, 孙启玲. 基于 DEA 的长三角与珠三角地区机场运营效率对比分析[J]. *交通企业管理*, 2011, 26(12): 60-62.
- [14] 朱星辉, 戚彦龙, 王琨, 等. 基于松弛策略的机场运营效率分析[J]. *大连交通大学学报*, 2014, 35(2): 30-35.
- [15] 马景禄. 基于改进 DEA 模型的我国大型机场运营效率评价研究[D]. 广汉: 中国民用航空飞行学院, 2016.
- [16] 罗润三. 基于 DEA 方法的山东省支线机场运营效率研究[J]. *统计与管理*, 2019(5): 113-116.
- [17] 曾竹喧. 运用数据包络分析方法的机场群效率研究[D]. 南京: 南京航空航天大学, 2020.
- [18] 景崇毅, 宋如博, 吴孟瑶, 等. 基于并行网络 DEA 的大型机场运营效率研究[J]. *航空计算技术*, 2021, 51(5): 19-23.
- [19] 陈航, 栾维新, 王跃伟. 我国港口功能与城市功能关系的定量分析[J]. *地理研究*, 2009, 28(2): 475-483.
- [20] FRIED H O, LOVELL C A K, SCHMIDT S S, et al. Accounting for environmental effects and statistical noise in data envelopment analysis [J]. *Journal of Productivity Analysis*, 2002, 17(1): 157-174.
- [21] 殷翔宇, 宗会明, 曲明辉, 等. 我国沿海港口港城关系协同发展驱动机制研究[J]. *人文地理*, 2023, 38(1): 64-70.
- [22] 郭建科, 杜小飞, 孙才志, 等. 环渤海地区港口与城市关系的动态测度及驱动模式研究[J]. *地理研究*, 2015, 34(4): 740-750.

Efficiency Evaluation of Harbor City Airport Based on Three-stage DEA Model

QIAN Qiwei, YANG Zhengquan, LIU Qing

(School of Transportation Science and Engineering, Civil Aviation University of China, Tianjin 300300, China)

Abstract: In order to explore the operating efficiency of harbor-type city airports, the three-stage DEA (data envelopment analysis) model and Malmquist productivity index are used to analyze from static and dynamic perspectives. The airports of 14 seaport cities in coastal areas and 18 airports in inland cities are selected for comparative study. The results show that there is a large gap in operational efficiency among the sample airports, the overall efficiency of harbor city airports is 9% lower than that of inland city airports, 90% of the airports are in the stage of increasing returns to scale, and the overall airport production efficiency shows an increasing trend. Therefore, airports in inland cities can improve efficiency through continuous upgrading of technology, reconstruction or expansion, airports in harbor-type cities should give full play to their scale advantages.

Keywords: seaport cities; airports; operation efficiency; three-stage DEA (data envelopment analysis); Malmquist index