

文章编号: 1005-0523(2019)06-0047-08

## 考虑非期望产出的机场运营效率评价

韩东, 吴薇薇, 李晓霞, 石钰婷

(南京航空航天大学民航学院, 江苏 南京 211106)

**摘要:**目前在关于机场运营效率的研究中,非期望产出因素常常被忽略,且有效决策单元无法进一步排名,基于此本文首先构建超效率SBM模型,选择了2017年华东地区30个主要机场作为样本,将机场运营分为机场服务与旅客服务两阶段,然后对机场运营效率进行评价并给出机场排名,通过算例对比验证引入非期望产出的必要性与超效率SBM模型解决机场运营效率的优势。结果表明,DEA有效的机场的效率值得到了进一步区分,且引入非期望产出因素后,大多数样本机场运营效率有所提高,有5个机场从DEA无效变为有效,小型机场的运营效率得到了显著的提高。基于超效率SBM模型从不同阶段对机场运营效率进行研究,可为机场运营提供指导性的帮助。

**关键词:**两阶段;超效率SBM模型;非期望产出;机场运营效率

中图分类号:F560.6;[U-9] 文献标志码:A

DOI:10.16749/j.cnki.jecjtu.2019.06.008

机场是航空运输网络的节点,也是航空运输产业链中最重要的交通设施,更是城市对外交流的重要渠道。但是由于部分机场盲目追求自身机场建设的超前性,使其机场资源过剩,航站楼、跑道、停机位等设施不能有效利用从而导致建设冗余,降低其运营效率。因此,机场亟需基于自身的投入产出状况来提高其运营效率,即在机场各投入要素的投入量最小的情况下使各产出量最大化。国内外学者早在20世纪末便开始对机场效率展开了研究,主要使用的研究方法是数据包络分析(data envelopment analysis, DEA)。DEA方法是数学、运筹学、数理经济学和管理科学的一个新的交叉领域<sup>[1]</sup>,该方法可解决多项投入与产出效率评价问题且不受量纲的影响,其常用的评价模型包括CCR<sup>[2]</sup>、BCC<sup>[3]</sup>、网络DEA<sup>[4]</sup>、SBM<sup>[5]</sup>等。为了顺应全球民航业的飞速发展,国内外众多学者基于该方法对机场效率进行了研究:Orkcü<sup>[6]</sup>,朱志愚<sup>[7]</sup>,Ahn<sup>[8]</sup>选择旅客吞吐量、货邮吞吐量、起降架次作为产出指标,分别基于CCR模型与BCC模型对机场运营效率进行了评价。Lozano<sup>[9]</sup>,朱星辉<sup>[10]</sup>,李亚飞<sup>[11]</sup>分别引入了延误起降架次、平均延误时间、投诉数量作为非期望产出指标,并基于SBM模型对机场运营效率进行评价。韦薇<sup>[12]</sup>基于非参数方向距离函数,并引入延误起降架次作为非期望产出,进行了机场运营效率评价并与传统方法进行了算例对比。Liu<sup>[13]</sup>和梁的达<sup>[14]</sup>分别考虑了子系统对整体系统的影响,将机场运营分为不同的子阶段,并分别基于网络DEA与改进加性DEA对机场效率进行了研究。

综上所述,首先在运用DEA方法研究机场运营效率时,已有文献对期望产出指标考虑较全面,但对非期望产出指标考虑有所欠缺,不能很好地体现非期望产出对机场运营效率的影响作用。其次,已有文献无法解决多个有效决策单元(decision making unit, DMU)无法继续排名的问题。因此,本文将机场整体运行分为机场服务与旅客服务两阶段,并将延误起降架次、平均延误时间、年旅客投诉数作为非期望产出指标,运用

收稿日期:2019-05-07

作者简介:韩东(1994—),男,硕士研究生,研究方向为机场运营效率评价。

通讯作者:吴薇薇(1972—),女,副教授,博士,主要研究方向为交通运输经济。

考虑非期望产出的超效率 SBM 模型对机场运行效率进行研究,并与考虑非期望产出的 SBM 模型、传统思路中的 CCR 模型进行算例对比验证,并对运算结果进行分析,获得了准确的机场排名,验证了引入非期望产出的必要性,同时也验证了超效率 SBM 模型评价机场运营效率的有效性。

## 1 建立机场效率评价模型

一般来说 DEA 模型均具有产出导向(output-oriented)与投入导向(input-oriented)两种形式,模型可设定为规模收益不变(CRS)和规模收益可变(VRS)。产出导向的 DEA 模型设定为给定一定量的投入要素,求取产出值最大;反之,投入导向的 DEA 模型是指在给定产出水平下,求取投入成本最小。目前基于 DEA 模型来研究机场效率的相关文献主要是基于径向的、导向的传统方法。径向是指投入或产出指标按照等比缩减或等比方法以达到有效,因此在没有考虑松弛变量的存在且存在投入或产出的非零松弛时,径向的 DEA 会高估效率值从而使结果误差较大;导向是指基于投入或产出导向,故其 DEA 模型不能兼顾考虑投入和产出两个方面,导致效率值计算不准确。而且通常在 DEA 的结果分析中,会发现多个 DMU 为 DEA 有效,特别是投入与产出指标数量较多时,相应的有效 DMU 也会更多,无法进一步的区分这些 DMU 的效率高低。

本文在研究机场运行效率时,需考虑非期望产出指标,且为了解决机场运营效率无法进一步排名这一问题,将运用超效率 SBM(super-slack-based measure)模型来解决机场效率评价问题。超效率 SBM 模型不仅具有上述两种导向形式,还具有非导向形式,同时还可将机场的投入与产出指标的动态变化过程有所表示。传统的 DEA 模型的产出或投入的其中一方是给定的,即二者不能同时被改善;而本文所选取的超效率 SBM 模型是非导向的,所以产出或投入两者可以同时被改善。

超效率 SBM 模型的相关参数与变量如下:假设我们要测量的机场个数(DMU)为  $n$  个,记作  $DMU_j(j=1,2,\dots,m)$ ;当前要测量的 DMU 记作  $DMU_k$ 。DMU<sub>k</sub> 有  $m$  种投入,记作  $x_{ik}(i=1,2,\dots,m)$ ;  $q_1$  种期望产出,记作  $y_r^g(r=1,2,\dots,q_1)$ ;  $q_2$  种非期望产出,记作  $y_r^b(r=1,2,\dots,q_2)$ ;  $(\bar{x}_i, \bar{y}_r^g, \bar{y}_r^b)$  为 DMU<sub>k</sub> 在第  $i$  种投入(或第  $r$  种产出)在超效率 SBM 模型中的投影值;  $\rho$  是生产单元效率值,  $\lambda$  为第  $j$  个 DMU 投入要素的权重。

根据如上参数与变量,考虑非期望产出的超效率 SBM 模型<sup>[5]</sup>如下:

$$\min \rho = \frac{\frac{1}{m} \sum_{i=1}^m \frac{\bar{x}_i}{x_{ik}}}{\frac{1}{q_1+q_2} \left( \sum_{r=1}^{q_1} \frac{\bar{y}_r^g}{y_{rk}^g} + \sum_{r=1}^{q_2} \frac{\bar{y}_r^b}{y_{rk}^b} \right)},$$

$$\text{s.t. } \bar{x}_i \geq \sum_{j=1, j \neq k}^n \lambda_j x_{ij}, \bar{y}_i^g \leq \sum_{j=1, j \neq k}^n \lambda_j y_{ij}^g, \bar{y}_r^b \leq \sum_{j=1, j \neq k}^n \lambda_j y_{rj}^b,$$

$$\bar{x}_i \geq x_{ik}, 0 \leq \bar{y}_r^g \leq y_{rk}^g, \bar{y}_r^b \geq y_{rk}^b,$$

$$\sum_{j=1, j \neq k}^n \lambda_j = 1, \lambda \geq 0。$$

## 2 机场运营效率分析

对华东地区 30 个主要机场进行研究分析,并将机场按照客运吞吐量(TTL)多少分为大型机场(2 个)、中大型机场(4 个)、中型机场(8 个)和小型机场(16 个),分类标准及分类结果如表 1 所示。为了分析子系统的运营效率对整体运营效率的影响,将机场运营整体划分为机场服务与旅客服务 2 个子阶段。整体效率( $\theta_z$ )包含机场服务效率( $\theta_j$ )与旅客服务效率( $\theta_l$ )两部分,在本研究中认为,机场服务效率( $\theta_j$ )与旅客服务效率( $\theta_l$ )同等重要;因此整体效率( $\theta_z$ )为机场服务效率( $\theta_j$ )与旅客服务效率( $\theta_l$ )的均值。即

$$\theta_z = (\theta_j + \theta_l) / 2$$

表 1 华东地区主要机场分类标准及结果  
 Tab.1 Criteria and results of classification of major airports in east China

大型机场 ( $TTL > 4\,000$ 万)	中大型机场 ( $2\,000 \text{ 万} < TTL \leq 4\,000$ 万)	中型机场 ( $600 \text{ 万} < TTL \leq 2\,000$ 万)	小型机场 ( $TTL \leq 600$ 万)
上海浦东国际机场	杭州萧山国际机场	济南遥墙国际机场	泉州晋江国际机场
上海虹桥国际机场	南京禄口国际机场	福州长乐国际机场	常州奔牛国际机场
	厦门高崎国际机场	南昌昌北国际机场	南通兴东国际机场
	青岛流亭国际机场	宁波栎社国际机场	徐州观音国际机场
		温州龙湾国际机场	扬州泰州国际机场
		合肥新桥国际机场	临沂沭埠岭机场
		无锡苏南硕放国际机场	盐城南洋国际机场
		烟台蓬莱国际机场	淮安涟水机场
			赣州黄金机场
			连云港白塔埠国际机场
			济宁曲阜机场
			日照山字河国际机场
			黄山屯溪国际机场
			阜阳西关机场
			池州九华山机场
			安庆天柱山机场

## 2.1 指标选取

在选取投入及产出指标时,要遵循指标系统性、可操作性、科学性的原则。本文非期望产出指标首先选取了延误起降架次、平均延误时间和年旅客投诉数。由于所选取的所有样本数据均为离散数据,故本文先采用 Kendall's tau-b 相关系数法计算期望产出要素与非期望产出要素之间的相关性。如表 2 所示(“\*\*”表示在置信度(双侧)为 0.01 时,相关性是显著的),其中延误起降架次与起降架次具有最强的相关性(相关系数为 0.908,且在 0.01(双侧)的水平上具有显著性),年旅客投诉数与旅客吞吐量具有最强的相关性(相关系数为 0.625,在 0.01(双侧)的水平上具有显著性),这说明机场在运行过程中在追求旅客吞吐量和起降架次提高时必定会引起延误起降架次与年旅客投诉数的提高,反之也会影响旅客满意度致使旅客流失,航班数减少,从而形成恶性循环。而平均延误时间与期望产出因素并未存在很强的正相关性;因此本文最终选取延误起降架次与年旅客投诉数作为非期望产出指标来研究机场运营效率。在机场服务阶段中,跑道长度、停机位个数、航线数量,都将直接影响机场的空侧容量;而在旅客服务阶段中,航站楼面积也决定着旅客满意度的变化,而旅客因出行做出选择时,由于对航空公司的喜好与出行目的不同,服务航空公司个数与航点个数也决定着旅客会不会选取该机场。因此,本文所选取的投入与产出指标最终如表 3 所示。

表2 产出指标间的相关性分析  
Tab.2 Correlation analysis of output indicators

指标	Kendall's tau-b	旅客吞吐量	起降架次	延误起降架次	平均延误时间	年旅客投诉数
旅客吞吐量	相关系数	1.000	0.848**	0.784**	0.156	0.625**
	显著性(双侧)		0.000	0.000	0.231	0.000
	样本数	30	30	30	30	30
起降架次	相关系数		1.000	0.908**	0.184	0.574**
	显著性(双侧)			0.000	0.158	0.000
	样本数		30	30	30	30
延误起降架次	相关系数			1.000	0.109	0.503**
	显著性(双侧)				0.401	0.000
	样本数			30	30	30
平均延误时间	相关系数				1.000	0.107
	显著性(双侧)					0.419
	样本数				30	30
年旅客投诉数	相关系数					1.000
	显著性(双侧)					
	样本数					30

表3 机场运营效率评价的投入和产出指标  
Tab.3 Input and output indices of airport operation efficiency evaluation

阶段	投入	期望产出	非期望产出
机场服务	跑道总长		
	总航线数	起降架次	延误起降架次
	停机位个数		
旅客服务	航站楼面积		
	服务航空公司个数	旅客吞吐量	年旅客投诉数
	航点个数		

## 2.2 算例设计

为了更加突出说明非期望产出对运营效率的影响,本文将给出3个算例进行对比分析,各算例所用模型及是否考虑非期望产出指标如表4所示。3个算例的投入与期望产出要素相同,算例1考虑了非期望产出,是采用本文所选取的超效率SBM模型进行机场运营效率研究,算例2是基于考虑非期望产出因素的SBM模型,而算例3采用传统的CCR模型且不考虑非期望产出。

表4 3个算例所选取的研究方法  
Tab.4 The research method selected by three examples

算例设计	算例1	算例2	算例3
算例所选方法	超效率SBM	SBM	传统方法(CCR)
是否考虑非期望产出	是	是	否

## 2.3 算例分析

运用MaxDEA 8.0软件对华东地区30个机场两阶段的运营效率进行了评估,各算例的运营效率值如表5所示,运营效率值大于或等于1的DMU为DEA有效,否则为无效。

表5 机场运营效率的两阶段分别在3个算例中的运营效率值

Tab.5 The operation efficiency values of three examples for the two stages of airport operation efficiency respectively

机场	机场服务			旅客服务			整体服务		
	算例 1	算例 2	算例 3	算例 1	算例 2	算例 3	算例 1	算例 2	算例 3
上海浦东国际机场	1.833	1.000	1.000	1.671	1.000	0.876	1.752	1.000	0.938
上海虹桥国际机场	1.078	1.000	1.000	1.550	1.000	1.000	1.314	1.000	1.000
杭州萧山国际机场	0.924	0.924	0.911	0.634	0.634	0.808	0.779	0.779	0.860
南京禄口国际机场	1.131	1.000	1.000	0.527	0.527	0.621	0.829	0.764	0.811
厦门高崎国际机场	1.113	1.000	1.000	0.698	0.698	0.834	0.906	0.849	0.917
青岛流亭国际机场	1.050	1.000	1.000	1.189	1.000	1.000	1.120	1.000	1.000
济南遥墙国际机场	1.026	1.000	1.000	0.577	0.577	0.729	0.801	0.789	0.865
福州长乐国际机场	0.702	0.702	0.616	1.106	1.000	0.625	0.904	0.851	0.621
南昌昌北国际机场	0.700	0.700	0.675	0.458	0.458	0.606	0.579	0.579	0.641
宁波栎社国际机场	0.819	0.819	0.814	0.753	0.753	0.881	0.786	0.786	0.848
温州龙湾国际机场	0.723	0.723	0.649	1.201	1.000	1.000	0.962	0.862	0.825
合肥新桥国际机场	0.778	0.778	0.766	0.525	0.525	0.589	0.652	0.652	0.678
无锡苏南硕放国际机场	0.835	0.835	0.742	0.639	0.639	0.645	0.737	0.737	0.694
烟台蓬莱国际机场	0.636	0.636	0.523	0.422	0.422	0.457	0.529	0.529	0.490
泉州晋江国际机场	0.865	0.865	0.560	1.114	1.000	1.000	0.989	0.933	0.780
常州奔牛国际机场	0.723	0.723	0.522	0.536	0.536	0.394	0.629	0.630	0.458
南通兴东国际机场	0.507	0.507	0.311	0.486	0.486	0.474	0.497	0.497	0.393
徐州观音国际机场	35.064	1.000	0.452	0.202	0.202	0.204	17.633	0.601	0.328
扬州泰州国际机场	1.039	1.000	0.834	0.405	0.405	0.311	0.722	0.703	0.573
临沂沭埠岭机场	0.356	0.356	0.169	0.295	0.295	0.276	0.326	0.326	0.223
盐城南洋国际机场	0.408	0.408	0.198	1.014	1.000	0.205	0.711	0.704	0.202
淮安涟水机场	0.490	0.490	0.243	0.425	0.425	0.329	0.458	0.458	0.286
赣州黄金机场	0.567	0.567	0.293	0.339	0.339	0.252	0.453	0.453	0.273
连云港白塔埠国际机场	0.704	0.704	0.252	0.495	0.495	0.346	0.599	0.600	0.299
济宁曲阜机场	0.622	0.622	0.187	1.045	1.000	0.402	0.833	0.811	0.295
日照山字河国际机场	1.778	1.000	1.000	1.044	1.000	0.219	1.411	1.000	0.610
黄山屯溪国际机场	0.479	0.479	0.168	1.165	1.000	0.439	0.822	0.740	0.304
阜阳西关机场	1.080	1.000	0.167	1.139	1.000	0.317	1.109	1.000	0.242
池州九华山机场	1.096	1.000	0.587	1.107	1.000	0.215	1.101	1.000	0.401
安庆天柱山机场	1.103	1.000	0.170	1.091	1.000	0.210	1.097	1.000	0.190

对比算例 1 与算例 2,可以看出对于无效 DMU,两算例所得的效率得分是完全一致的,但对于有效 DMU 来说,算例 2 无法对它们进行进一步的排名,导致不能区分哪个机场更为有效。而算例 1 基于超效率 SBM 模型则可以有效避免这一点,在求得有效 DMU 的同时,可以对其进行进一步的排名,其排名结果如表 6 所示。对比算例 2 与算例 3,可以发现考虑非期望产出指标后,无论是从机场服务阶段还是旅客服务阶段,许多无效 DMU 的效率发生很大改变,且有 5 个机场从无效 DMU 变为了有效 DMU,这是因为各机场在生产和运营的过程中所产生的非期望产出指标对机场本身的运营效率产生了影响。之前的学者研究机场运营效率时所使用的传统方法,即 CCR 模型,对无效率程度的评价只包括所有投入(产出)等比缩减或增加的比例,而该方法没有考虑松弛改进的部分,会使所得效率值不够准确。因此在研究机场运营效率时使用径向 DEA 模型和忽略非期望产出指标是不能够全面、科学、准确地评价各机场的有效程度,从而导致评价结果失真。

表 6 算例 1 样本机场的最终效率排名  
Tab.6 The final efficiency ranking of the sample airports in Example 1

机场	名次	机场	名次	机场	名次
徐州观音国际机场	1	厦门高崎国际机场	11	盐城南洋国际机场	21
上海浦东国际机场	2	福州长乐国际机场	12	合肥新桥国际机场	22
日照山字河国际机场	3	济宁曲阜机场	13	常州奔牛国际机场	23
上海虹桥国际机场	4	南京禄口国际机场	14	连云港白塔埠国际机场	24
青岛流亭国际机场	5	黄山屯溪国际机场	15	南昌昌北国际机场	25
阜阳西关机场	6	济南遥墙国际机场	16	烟台蓬莱国际机场	26
池州九华山机场	7	宁波栎社国际机场	17	南通兴东国际机场	27
安庆天柱山机场	8	杭州萧山国际机场	18	淮安涟水机场	28
泉州晋江国际机场	9	无锡苏南硕放国际机场	19	赣州黄金机场	29
温州龙湾国际机场	10	扬州泰州国际机场	20	临沂沭埠岭机场	30

其次,采用 Kendall's W 与 Friedman 检验以验证不同模型的评价结果是否对机场运营效率产生显著影响,通过对算例 2 与算例 3 中整体服务运营效率值进行计算,得到不同的指标对机场运营效率具有显著性差异(如表 7 所示)。由表 7 可知,整体服务运营效率值的渐进显著性为 0.008,小于 0.05。这说明延误起降架次与年旅客投诉数两因素对该机场两阶段的运营效率评价产生了显著效果。

表 7 整体服务阶段中算例 1 与算例 2 的非参数检验结果  
Tab.7 The non-parametric test results of Example 1 and 2 in the whole service stage

机场服务	Friedman 检验	Kendall's W 检验
样本数	30	30
卡方 (Chi-Square)	7.000	7.000
自由度 (df)	1	1
渐进显著性 (Asymp.Sig.)	0.008	0.008
Kendall's W <sup>a</sup>		0.233

在表5的算例1中同样可以看出浦东、虹桥和流亭等机场的两阶段运营效率值均大于1,说明这些机场都是技术有效的,机场各方面的建设、管理与技术水平都与其规模相匹配。禄口、高崎和遥墙等机场的机场服务效率大于1而旅客服务效率小于1,说明这些机场仅在机场服务阶段是技术有效的,而旅客服务方面的运营管理仍有欠缺。例如徐州观音国际机场,虽然在机场服务方面效率得分遥遥领先,但其旅客服务效率仅为0.202,仍需加强旅客服务管理方面的优化。而长乐、龙湾、晋江等机场的旅客服务效率大于1而机场服务效率小于1,这些机场的空侧设施利用率低或容量已饱和,应加强对该方面的管理与建设。其余两阶段运营效率都小于1的机场,其拥有的资源并没有很好利用,生产水平并没有达到预期,机场运营管理水平有待提高。分别对比整体服务阶段的算例2与算例3可以看出,非期望产出指标的引入使得绝大多数中小机场的运营效率都有所提高,且部分机场由于非期望产出的引入使其从无效变为有效,这说明非期望产出指标对这些机场的运营效率产生了正向影响,虽然这些机场的客货运吞吐量与建设规模并不很大,但其运营质量高,航班延误与旅客投诉较少,这在不考虑非期望产出的运营效率研究中,是无法体现的。而大多中大型机场在引入非期望产出指标后效率值有所降低,是因为这些机场庞大的规模导致各部门之间难以协调管理,从而导致运营效率降低。

在机场服务阶段,部分运营效率无效,但延误起降架次少的机场,其阶段得分得到了显著提高,如连云港白塔埠国际机场提高了45.2%,济宁曲阜机场提高了43.5%等;而在旅客服务阶段引入年旅客投诉数后,连云港白塔埠国际机场提高了14.9%,常州奔牛国际机场提高了14.2%等;而部分机场在引入非期望产出指标后,整体服务效率值降低,如杭州萧山国际机场的得分降低了8.1%,济南遥墙国际机场降低了7.6%等,这说明这些机场的非期望产出量较多。

由表5可以得到各类机场的平均运营效率,由于在算例1中徐州观音国际机场的效率值在计算各类机场效率平均值时会产生较大误差,因此在计算算例平均值时将其去除,得到3个算例的平均整体服务效率如图1所示。对于华东地区的大型机场、中大型机场与中型机场来说,考虑非期望产出因素前后的平均效率值基本没有改变,上海的“一市两场”中的“两场”也仅仅是因为模型的不同,其DMU依然有效或趋近于有效。而对于小型机场来说,与传统研究方法不同,考虑非期望产出后其效率值有着显著提高,说明华东地区的小型机场虽然运营规模较小,但它们在延误处理与服务旅客方面表现良好。综上所述,基于考虑非期望产出的超效率SBM模型可以更准确、科学、有效地对机场运营效率进行评价。

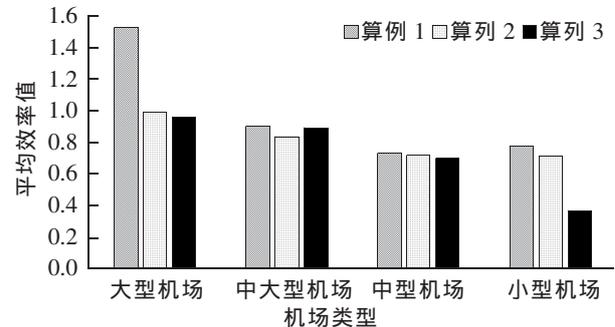


图1 3个算例各类型机场的平均效率值  
Fig.1 The average efficiency value of each type of airport in three examples

### 3 总结

针对在机场运营效率评价中非期望产出被忽略且传统机场运营效率评价不能进一步区分有效DMU这一问题,本文将整体服务分为机场服务与旅客服务,构建了超效率SBM模型,选择华东地区30个机场作为研究对象,对其运营效率进行了分析,并得到准确的机场排名。本研究表明:

1) 两阶段模型的方法可以分别得出机场服务与旅客服务阶段的机场运营效率,进而研究机场无效的原因,为机场运营提供帮助;

2) CCR模型是径向模型,所以无法体现松弛改进的部分,且传统方法与SBM模型并不能对有效DMU进行进一步的评价;因此基于超效率SBM模型运算出的结果可为机场运营效率排名提供宝贵意见;

3) 引入非期望产出指标后,大部分机场效率有所提高,有5个机场从无效变为有效,说明非期望产出指标对机场运营效率有显著影响,部分机场虽然规模不大,但其低延误,低投诉的特点使得机场保持着高效

运转,且小型机场较其他类型的机场,其运营效率得到显著提高。

在我国民航业日益飞速发展的同时,机场运营效率的研究是不可或缺的。科学、客观地评价机场运营效率,找到提升与制约运营效率的因素,对增强机场群中机场核心竞争力和机场效益,促进民航运输业可持续发展具有重要的意义。但本文在考虑非期望投入指标时,未将机场噪音和碳排放等环境因素指标加入其中。此外,资本投入也会对机场运营效率产生影响,有待日后进一步研究。

参考文献:

- [1] 魏权龄. 数据包络分析[M]. 北京:科学出版社,2004.
- [2] CHARNES A, COOPER W W, RHODES E. Measuring the efficiency of decision-making units[J]. *European Journal of Operational Research*, 1979, 3(4): 339-0.
- [3] 王俊丹, 曾小舟, 冯琳. 基于 DEA 方法的我国机场运行效率评价[J]. *华东交通大学学报*, 2017, 34(6): 82-89.
- [4] 韩松, 魏权龄. 网络 DEA 模型的生产理论背景[J]. *经济理论与经济管理*, 2012(4): 42-46.
- [5] 成刚. 数据包络分析方法与 MAXDEA 软件[M]. 北京:知识产权出版社,2014.
- [6] HASAN ÖRKCÜ H, CEMAL BAL K, 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.
- [7] 朱志愚, 马景禄, 王宗宝, 等. 中国主要枢纽机场运营效率评价研究[J]. *中国民航飞行学院学报*, 2016, 27(3): 35-40.
- [8] AHN Y H, MIN H. Evaluating the multi-period operating efficiency of international airports using data envelopment analysis and the Malmquist productivity index[J]. *Journal of Air Transport Management*, 2014, 39: 12-22.
- [9] SEBASTIÁN LOZANO, ESTER GUTIÉRREZ. Slacks-based measure of efficiency of airports with airplanes delays as undesirable outputs[J]. *Computers & Operations Research*, 2011, 38(1): 131-139.
- [10] 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.
- [11] 李亚飞, 王莉莉. 考虑非期望产出的我国对外开放机场生产效率评估[J]. *数学的实践与认识*, 2015, 45(7): 62-70.
- [12] 韦薇, 夏洪山. 基于非期望产出的机场运营效率评价[J]. *系统工程理论与实践*, 2014, 34(1): 138-146.
- [13] LIU D. Measuring aeronautical service efficiency and commercial service efficiency of East Asia airport companies: an application of network data envelopment analysis[J]. *Journal of Air Transport Management*, 2016, 52: 11-22.
- [14] 梁的达, 夏洪山, 李欢, 等. 基于加性 DEA-Tobit 两步法的机场运行效率分析[J]. *航空计算技术*, 2018, 48(3): 99-102.

## Evaluation of Airport Operation Efficiency Considering Non-Expected Output

Han Dong, Wu Weiwei, Li Xiaoxia, Shi Yuting

(College of Civil Aviation, Nanjing University of Aeronautics and Astronautics, Nanjing 211106, China)

**Abstract:** In the process of airport operation research, non-expected output factors are often neglected. Meanwhile, the effective DMU can not be ranked further in researching the efficiency of airport operation. Therefore, this paper established Super-SBM model and selected 30 major airports in east China in 2017 as samples. This paper also divided the airport operation into two stages of airport service and passenger service. Then, it evaluated the airport operation efficiency and gave the ranking of the airports. Simultaneously, the necessity of introducing non-expected output and the advantage of Super-SBM model in solving the efficiency of airport operation was proved by the comparison and verification of calculation examples. It is found that the DEA-efficient airports were further differentiated. After introducing non-expected output, most of the airport operation efficiency of the sample airports has increased. Five airports have changed from DEA-inefficiency to DEA-efficiency and the operational efficiency of small airports has been significantly improved. Based on the Super-SBM model, this paper, researching airport operation efficiency from different stages, can provide guidance and help for airport operation.

**Key words:** two-stage; super-SBM model; non-expected output; airport operation efficiency