

传统和网络数据包络分析对机场运营 相对无效判定结果的荟萃分析

袁捷, 李一凡, 张家科, 凌建明

(同济大学 道路与交通工程教育部重点实验室, 上海 201804)

摘要: 为了分析分别使用传统和网络数据包络分析(data envelopment analysis, DEA)判定机场运营是否相对无效时判定结果的差异,通过制定文献标准进行了有关DEA和机场运营效率的文献遴选和数据提取。基于荟萃分析方法,对所选研究进行了发表性偏倚分析,对提取的数据进行了异质性和显著性检验。结果表明,所选的研究和数据具有统计学意义,使用传统DEA方法得到的运营相对无效机场数与相对有效机场数之比为使用网络DEA方法的0.17倍,使用网络DEA进行机场运营是否相对无效的判定更为真实准确。

关键词: 机场运营;传统数据包络分析;网络数据包络分析;相对无效;判定结果

中图分类号: U8

文献标志码: A

Traditional and Network DEA for Judgment of Relatively Ineffective Airports Based on Meta-analysis

YUAN Jie, LI Yifan, ZHANG Jiako, LING Jianming

(Key Laboratory of Road and Traffic Engineering of the Ministry of Education, Shanghai 201804, China)

Abstract: To analyze the difference between traditional and network data envelopment analysis (DEA) in judging whether the airport operation is relatively inefficient, this paper made literature selection and data extraction on DEA and airport operation efficiency by formulating literature standards. Publication bias of selected studies is conducted, and heterogeneity and overall effect of extracted data is tested based on meta-analysis. The results show that the selected research and data have statistical significance, and the ratio of the number of relatively ineffective airports to the number of relatively

effective airports obtained by the traditional DEA method is 0.17 times that of the network DEA method. Using network DEA method to judge whether the airport operation is relatively inefficient is truer and more accurate than traditional DEA method.

Key words: airport operation; traditional data envelopment analysis; network data envelopment analysis; relatively inefficiency; judgment results

机场运营是指以航空器为载体,以客货运为主要方式,在机场进行的包括投入、管理、服务、产出等一系列过程的生产经营活动,航空业务量的持续高速增长为机场运营带来了巨大的压力,对机场运营的效率进行评价是机场业适应民航事业持续发展的内在要求,有助于进行资源的合理配置、政府的宏观调控和机场竞争力的提升^[1]。有关机场效率及生产力的研究方法大致分为两类,分别是参数法和非参数法,由于参数法建立在一系列苛刻的假设基础上,其前沿函数的形式、参数及确定方法等会影响效率评价结果,更多学者倾向于用非参数方法对效率进行评价,其中的DEA方法具有不需要确定具体的函数形式、评价前不需要对指标进行权重赋值、评价指标不需要量纲统一、可处理多输入(资源的消耗)和多输出(取得的成效)效率评价问题等优点^[2],在1997年被Gillen和Lall首次应用于民航行业^[3],但早期传统DEA模型对机场运营效率的测度是将机场的运作视为“黑箱”,只关注两端的投入和产出,没有深入到机场内部的运作。随着DEA理论的发展,考虑系统内部运营过程的网络DEA模型被提出,并于

收稿日期: 2020-12-15

基金项目: 国家重点研发计划(2019YFB1310600);国家自然科学基金(U1933116)

第一作者: 袁捷(1971—),男,教授,工学博士,博士生导师,主要研究方向为道路与机场工程。

E-mail: yuanjie@tongji.edu.cn

通信作者: 张家科(1983—),男,助理教授,工学博士,硕士生导师,主要研究方向为道路与机场工程。

E-mail: zhjiako@tongji.edu.cn



论文
拓展
介绍

2009年被引入到机场效率评价领域^[4],自此,传统DEA和网络DEA开始成为机场相对效率评价领域的两大研究和应用热点。

相较于各种复杂的效率概念和数,直接对机场运营进行是否有效或无效的判断显得更为清晰明了,而研究者和管理者更倾向于关注哪些机场的运营是相对无效的,进而分析其运营无效的原因。但近年来,利用传统DEA方法和网络DEA方法对机场是否相对无效的判定结果往往存在差别,其原因主要来自两个方面:①由于传统DEA模型和网络DEA模型在结构、约束、侧重点等方面相差较大,其判定结果势必不同;②从统计学的角度来看,由于各个研究的数据来源、样本量、指标等不尽相同且不够全面,导致各个研究得到的计算值与各自的真实值之间存在一定误差,造成对于机场运营是否相对无效的判定不准确。针对传统DEA方法和网络DEA方法对机场在运营方面相对无效的判定结果,考虑到机场运营相对无效判定的复杂性,本着挖掘再利用已发表数据的想法,笔者收集传统DEA方法和网络DEA方法对机场运营相对效率评价的数据,进行荟萃分析,初步揭示传统DEA方法和网络DEA方法对机场运营相对无效判定的差异性,以期对机场管理和机场效率研究人员提供更准确的机场运营是否相对无效的判定结果。

1 概念与理论

1.1 DEA与机场运营相对无效

DEA的基本原理是借用包络的概念,通过保持决策单元的投入或者产出不变,用数学规划方法将多输入、多输出的多个决策单元的投入和产出投射到超平面中,找出投入最小或产出最高的有效前沿面(可行区域的边界),若DMU落在有效前沿面上则称为DEA有效;反之,落在有效前沿面以内则称为非DEA有效,即相对无效^[1],如图1所示。

使用DEA方法评价机场运营效率时,需要研究者选定机场的输入指标和输出指标,输入指标主要包括成本(如:人工、经济等)和机场设施设备(如:跑道、停机坪、航站楼、安检通道等),输出指标包括期望产出(如:旅客吞吐量、货邮吞吐量、飞机起降架次等)和非期望产出(如:噪声、航班延误等)。在一批参与评价的机场中,总有一些机场的输出与输入之间关系最优,其生产点位于有效前沿面上,这些机场即为在运营时相对有效的机场;而其余机场的生产点位于有效前沿面内,说明其输入还有待改进,以获

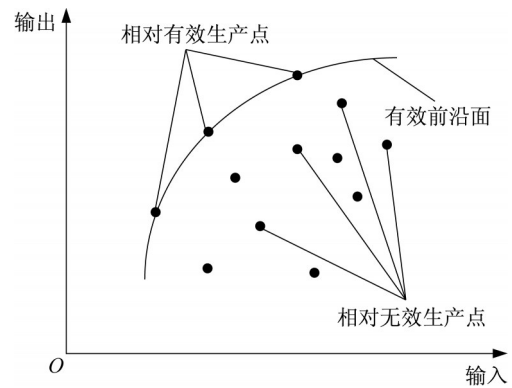


图1 DEA基本原理

Fig.1 Basic principles of DEA

得最优的输出,这些机场在运营方面相对无效。

1.2 传统DEA和网络DEA

传统DEA模型中最基本的模型为CCR模型^[5]和BCC模型^[4]。假设有个 n 决策单元,每个决策单元有 m 个输入和 s 个输出, $X_j = (X_{1j}, X_{2j}, \dots, X_{mj})$ 表示第 j 个决策单元的输入, $Y_j = (Y_{1j}, Y_{2j}, \dots, Y_{sj})$ 表示第 j 个决策单元的产出, $V = (V_1, V_2, \dots, V_m)$ 表示输入的权重, $U = (U_1, U_2, \dots, U_s)$ 表示输出的权重,则第 j 个决策单元的效率评价指数可表示为

$$h_j = \frac{UY_j^T}{VX_j^T} \quad (1)$$

当对第 j 个决策单元进行效率评价时,以效率指数 h_j 作为约束条件,以权重 v 和 u 为变量,可建立CCR模型如下:

$$\max \frac{UY_j^T}{VX_j^T} = V_p \quad (2)$$

$$\text{s.t.} \begin{cases} \frac{UY_j^T}{VX_j^T} \leq 1, j=1, 2, \dots, n \\ u \geq 0, v \geq 0 \end{cases} \quad (3)$$

将式(2)和式(3)转化为等价线形规划模型,可得到更加简便的CCR计算模型。通过在CCR模型中加入生产规模约束条件,即可变为规模报酬可变的BCC模型。若第 j 个决策单元的效率评价指数 $h_j = 1$,说明该决策单元的生产点刚好落在有效前沿面上,其是相对有效的;若第 j 个决策单元的效率评价指数 $h_j < 1$,说明该决策单元的生产点落在有效前沿面以内,其是相对无效的。

相较于传统DEA模型只关注系统整体的投入和产出,网络DEA模型将整个运营过程/系统进行子过程/子系统划分,各子过程/子系统用传统DEA模型进行相对效率计算,并考虑各子过程/子系统的相互联系从而获得整体效率^[6]。网络DEA模型的结

构有串联结构^[7](见图2)、并联结构^[8](见图3)和混联结构^[9](见图4),不同结构中子过程/子系统间的联系可根据实际情况通过在模型中加公式约束的方式来实现。

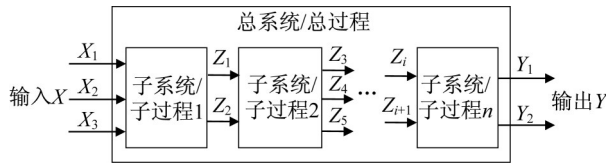


图2 串联网DEA模型结构

Fig.2 DEA model structure of series network

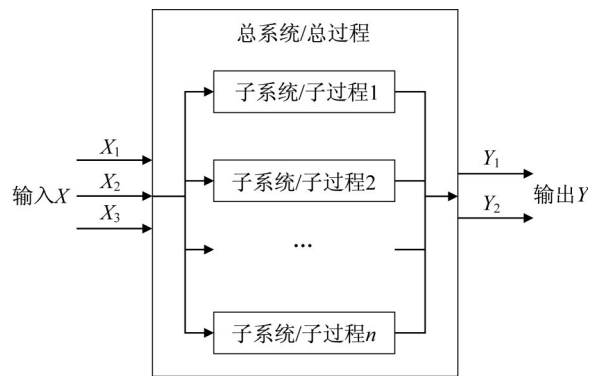


图3 并联网DEA模型结构

Fig.3 DEA model structure of parallel network

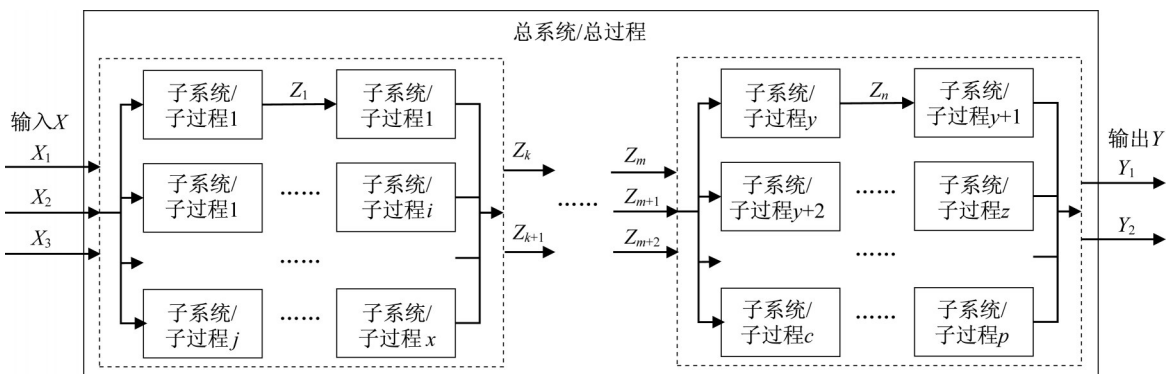


图4 混联网DEA模型结构

Fig.4 DEA model structure of parallel-series network

1.3 荟萃分析

荟萃分析(又称Meta分析)指在系统综述中运用统计学手段解读所纳入研究的结果的一种分析方法^[10],其主要目的是将以往的研究结果更为客观地综合反映出来,研究者并不进行原始的研究,而是将研究已获得的结果进行综合分析,多用于医学领域。荟萃分析的常规步骤包括:明确研究问题、文献检索和筛选、数据提取、发表性偏倚分析、选择固定效应模型或随机效应模型进行荟萃分析、结果说明和分析(包括偏倚性分析、异质性分析等结果)、讨论等。

2 数据分析准备

2.1 文献检索

利用在 Web of Science、Ei Compendex、Wiley Online Library、中国科学引文数据库(CSCD)、中国知网(CNKI)、万方数据库进行搜索,入选时间为建库至2020年6月。中文关键词包括:数据包络分析、网络DEA、机场效率;英文关键词包括:data envelopment analysis、DEA、network data envelopment analysis、NDEA、airport performance、

airport efficiency,并追溯查阅文章所附的参考文献,并利用Endnote X9软件进行了整理。

2.2 文献筛选

因为研究目的是客观地评估传统DEA方法和网络DEA方法对机场运营相对无效判定结果的影响,本文设计了文献纳入标准和文献排除标准。其中,文献纳入标准为:①分别使用传统DEA方法/模型和网络DEA方法/模型对同一批机场的运营效率进行评价;②将效率评价的具体数值进行罗列和展示;③有具体的输入输出指标、模型公式和网络结构介绍展示;④研究结果中含所需的相关结局指标能从全文中提取到可靠数据,且为英文或中文。文献排除标准为:①系统评价、综述;②仅使用传统DEA方法或网络DEA方法中的一种方法;③所研究机场的相对有效率不能达到100%;④仅研究模型构建;结果数据不足的研究。

按照上述标准,筛选出4篇论文,共涉及60个机场,文献筛选流程如图5所示。

2.3 数据提取

对于最终纳入的文献,提取的研究基本特征信息包括:①作者;②论文发表时间;③涉及机场数目;

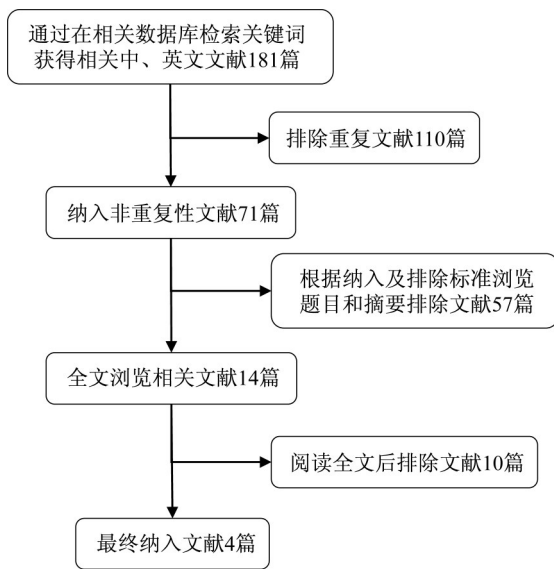


图 5 文献筛选流程

Fig.5 Literature screening process

表 1 纳入研究的基本特征

Tab.1 Basic characteristics of included studies

作者	发表时间	机场数目	所在国家/地区	数据时间
褚衍昌,等	2009年	8	中国(5个)、新加坡(1个)、韩国(1个)、日本(1个)	2007年
徐爱庆,等	2014年	7	中国	2010年
徐爱庆,等	2015年	7	中国	2006—2010年
Storto,等	2018年	38	意大利	2012年

④机场所在国家;⑤机场数据时间。纳入研究的基本特征见表1^[4,11-13]。

提取的研究方法和结果特征信息包括:输入指标;输出指标;具体模型;运营相对无效机场数目。纳入研究的方法和结果特征见表2^[4,11-13]。

2.4 异质性检验

所有纳入荟萃分析的文献一定是不同的,如研究中使用的具体模型、输入和输出指标等,这种差异称为异质性,消除或减小异质性是进行荟萃分析的关键。本文对纳入研究的统计学异质性采用 χ^2 检验进行异质性检验,根据 P 和 I^2 的值进行评估。其中,采用 P 值进行显著性检验,当 $P < 0.05$ 时有统计学差异; $P < 0.01$ 时有显著统计学差异; $P > 0.05$ 时无统计学差异。采用 I^2 定量判断异质性大小,如果 $I^2 > 50\%$,研究之间存在显著的异质性,只能用随机效应模型;如果 $I^2 \leq 50\%$,可认为异质性在可接受的范围内,可以用固定效应模型或随机效应模型^[14]。特别地,当 $I^2 \leq 50\%$,且 $P > 0.1$ 时,表明多个研究具有同质性,可选择固定效应模型;当 $I^2 > 50\%$,且 $P < 0.1$ 时,表明多个研究存在统计学异质性,则进

表 2 纳入研究的方法和结果特征

Tab.2 Methods and results of inclusion studies

研究人员	输入指标	输出指标	传统DEA方法		网络DEA方法	
			模型	运营相对无效机场数目	模型	运营相对无效机场数目
褚衍昌,等	跑道数、机场占地面积、航站楼占地面积	年旅客吞吐量、年货邮吞吐量、年飞机起降架次	CCR模型	4	两阶段CCR模型	8
徐爱庆,等	候机楼面积、货站面积、跑道长度	年旅客吞吐量、年货邮吞吐量、年飞机起降架次	SBM模型	1	SBM—NDEA模型	5
徐爱庆,等	总成本	航空收入、非航空收入	加权BCC模型	3	加权网络BCC模型	6
Storto,等	软运营支出、人工成本支出	航空收入、非航空收入	SBM模型	30	SBM—NDEA模型	35

一步分析异质性来源,若仍无法消除异质性的资料,可选择随机效应模型进行荟萃分析^[15]。

3 结果分析

3.1 发表性偏倚分析

根据纳入本研究的文献数据,进行机场运营效率评价时,以各研究的比值比(为使用传统DEA方法判定的运营相对无效机场数目与相对有效机场数目的比值除以使用网络DEA方法判定的运营相对无效机场数目与相对有效机场数目的比值,用 R 表示)为横坐标,比值比取对数($\lg R$)后的标准误为纵坐标,采用Cochrane协作网专用软件Revman5.3软件绘制成漏斗图(见图6)。

由图6可知,所选用文献对应的漏斗图大致类

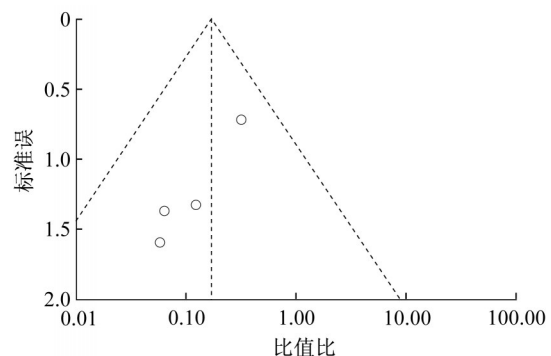


图 6 纳入文献偏倚性分析漏斗图

Fig.6 Funnel plot of bias analysis of included literature

似倒置漏斗,研究偏倚影响较小,因此纳入的文献可以进行荟萃分析,并且分析所得结果较为真实可靠。

3.2 荟萃分析

对最终纳入的4篇文献中的数据进行处理,得

到传统DEA方法和网络DEA方法的相对无效率指标,采用Revman5.3软件进行荟萃分析,分析结果见表3。

表3 荟萃分析结果

Tab.3 Results of meta-analysis

研究	传统DEA方法		网络DEA方法		权重/%	比值比		比值比森林图	
	相对无效数	总数	相对无效数	总数		合并效应值	95%置信区间	传统DEA方法	网络DEA方法
Storto(2018)	30	38	35	38	38.1	0.32	[0.08,1.32]		
徐爱庆(2014)	1	7	5	7	22.2	0.07	[0.00,0.97]		
徐爱庆(2015)	3	7	6	7	17.7	0.13	[0.01,1.67]		
褚衍昌(2009)	4	8	8	8	22.0	0.06	[0.00,1.36]		
总计	38	60	54	60	100.0	0.17	[0.06,0.49]		

异质性检验: $I^2=0, P=0.63$
 显著性检验: $Z=3.32, P=0.0009$

根据表3所示的荟萃分析结果,进行异质性检验时, $I^2=0\%$,且 $P=0.63$,说明纳入本文的4项研究文献质量较好,研究结果较为一致,具有同质性,异质性可能不重要,可选择固定效应模型进行结果评估。通过采用固定效应模型进行分析,使用传统DEA方法和网络DEA方法在进行机场运营效率评价时,因 $P=0.0009 < 0.01$,传统DEA方法和网络DEA方法的判定结果差异有统计学意义。4项研究中比值比的合并效应值为0.17,比值比的95%置信区间为[0.06,0.49],因此,使用传统DEA方法得到的运营相对无效机场数与相对有效机场数之比仅为使用网络DEA方法的0.17倍,使用网络DEA方法进行机场运营相对无效的判定相较于传统DEA方法更加可靠。由于涉及机场总数为60,属于大样本,故对纳入研究的统计学显著性使用Z检验,根据荟萃分析结果, $Z=3.32$,对应的 $P=0.0009 < 0.01$,说明纳入本文的4项研究在99%的置信水平上具有显著的统计学差异,因而具有统计学意义。

3.3 综合分析

荟萃分析结果显示,在对机场运营是否相对无效的判定方面,使用网络DEA方法比使用传统DEA方法更加真实和准确。学者们认为,使用网络DEA方法进行效率评价通常会使得效率值偏低^{[7][9]},因此,本研究在一定程度上是在实际应用领域对这种观点的证明和量化。

DEA方法是评价若干决策单元相对有效性的非参数方法,进行评价时必定有决策单元落在效率前沿面上^[16],理论上一批机场中最为有效的机场只有一个,并且该机场的效率评价指数为1,其余机场

则相对该机场无效。使用网络DEA方法进行机场运营效率评价时,由于网络DEA模型中更多实际约束条件的限制使得机场运营效率评价指数降低^[10],导致参与评价的一批机场中的相对无效率增高,所以其对机场运营相对无效的判定更为准确。因此,荟萃分析结果显示的“使用网络DEA方法进行机场运营相对无效的判定相较于传统DEA方法更为有效”这一结论就得到了合理的解释。而随着研究人员对网络DEA方法的重视和研究,未来通过结构更加复杂、子系统连接更符合实际的网络DEA模型,对机场运营效率的评价和机场有效性的判断将会更加合理。

4 结语

为客观地分析使用传统DEA方法和网络DEA方法对机场运营是否相对无效判定结果的影响,本研究使用荟萃分析方法研究了传统DEA方法和网络DEA方法对同一批机场的判定结果,并通过固定效应模型、漏斗图、森林图以及异质性检验方法确定了所纳入研究的统计学意义和两种方法判定结果的关系。荟萃分析和综合分析结果表明,使用传统DEA方法和网络DEA方法对运营相对无效的机场判定差异有统计学意义,将所选论文中判定结果的数据合并后,使用传统DEA方法得到的运营相对无效机场数与相对有效机场数之比仅为使用网络DEA方法的0.17倍,由于网络DEA使用时需要考虑机场运营过程内部的子过程及其联系,增加了更多的约束条件,使得用网络DEA方法进行机场运营

是否相对无效的判定更加真实、准确、有效。本研究是荟萃分析的思想和方法在有关DEA和机场运营效率评价领域的首次尝试,受纳入研究的数量、样本量的限制,只考虑了DEA模型的类别,并且分析对象是二分类变量(机场是否被判定为运营相对无效),后续可考虑其他影响因素,并对连续变量(如:机场的相对效率值大小)展开研究,使得针对传统DEA方法和网络DEA方法对机场相对效率的评价结果更符合实际。

作者贡献说明:

袁捷:论文选题与设计,实施研究,分析解释数据;
李一凡:实施研究,起草文章;
张家科:对文章的知识性内容作批评性审阅,论文修改;
凌建明:论文指导,支持性贡献。

参考文献:

- [1] 朱新华. DEA方法在我国民用机场评价中的应用研究[D]. 天津:中国民航大学,2007.
ZHU Xinhua. Application of the DEA method to measurement of the efficiency of Chinese commercial airports [D]. Tianjin: Civil Aviation University of China, 2007.
- [2] 李琦. 机场运营效率评价方法研究[D]. 南京:南京航空航天大学,2008.
LI Qi. Evaluation of airports operation efficiency [D]. Nanjing: Nanjing University of Aeronautics and Astronautics, 2008.
- [3] GILLEN David, LALL Ashish. 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.
- [4] 褚衍昌. 机场运营效率评价与改善研究[D]. 天津:天津大学,2009.
CHU Yanchang. Research on airport operation efficiency evaluation and improvement [D]. Tianjin: Tianjin University, 2009.
- [5] 孙婷. 基于数据包络分析的城市土地利用效率评价研究[D]. 成都:西南大学,2007.
SUN Ting. Study on the evaluation of the urban land-using base on the DEA method [D]. Chengdu: Southwest University, 2007.
- [6] FARE R, GROSSKOPF S. Network DEA [J]. *Socio-Economic Planning Sciences*, 2000, 34(1): 35.
- [7] KAO Chiang, HWANG Shiuhan. Efficiency measurement for network systems: IT impact on firm performance [J]. *Decision Support Systems*, 2010, 48(3): 437.
- [8] ZUO Kairui, Guan Jiancheng. Measuring the R&D Efficiency of Regions by a Parallel DEA Game Model [J]. *Scientometrics*, 2017, 112(2): 1.
- [9] 夏琼,杨锋,梁樑,等. 多阶段混联生产系统的DEA效率评价[J]. *系统工程理论与实践*, 2011, 31(2): 291.
XIA Qiong, YANG Feng, LIANG Liang, *et al.* DEA efficiency evaluation to multi-stage parallel-series production systems [J]. *System Engineering Theory and Practice*, 2011, 31(2): 291.
- [10] DAVID Moher, ALESSANDRO Liberati, JENNIFEI Tetzlaff, *et al.* Preferred reporting items for systematic reviews and meta-analyses: the PRISMA statement [J]. *Physical Therapy*, 2009, 89(9): 873.
- [11] 徐爱庆,陈欣,朱金福. 基于网络DEA改进模型的长三角机场效率研究[J]. *交通运输系统工程与信息*, 2014, 14(1): 88.
XU Aiqing, CHEN Xin, ZHU Jinfu. Analysis of airport efficiency in the Yangtze River delta based on an improved network DEA model [J]. *Journal of Transportation Systems Engineering and Information Technology*, 2014, 14(1): 88.
- [12] 徐爱庆,陈欣,朱金福. 基于动态网络DEA模型的机场绩效研究[J]. *数学的实践与认识*, 2015, 45(22): 65.
XU Aiqing, CHEN Xin, ZHU Jinfu. Analysis of airport efficiency based on dynamic network DEA model [J]. *Journal of Mathematics in Practice and Theory*, 2015, 45(22): 65.
- [13] CORRADO L S. 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.
- [14] 钟昊,王玲,马万经. 基于荟萃分析的智能网联车技术避碰效益分析[C]//中国智能交通协会. 第十四届中国智能交通年会论文集. 北京:电子工业出版社,2019: 584-599.
ZHONG Hao, WANG Ling, MA Wanqing. Safety benefit analysis of connected and autonomous vehicle technologies based on meta-analysis [C]// China Intelligent Transportation Systems Association. Papers collection of the 14th annual conference on intelligent transportation in China. Beijing: Publishing House of Electronics Industry, 2019: 584-599.
- [15] 孙长蛟,吴厦,杜瑞勇,等. 氨甲环酸口服和静脉给药在全髋关节置换术中疗效对比的Meta分析[J]. *中国骨与关节杂志*, 2020, 9(5): 394.
SUN Changjiao, WU Sha, DU Ruiyong, *et al.* Oral tranexamic acid versus intravenous tranexamic acid in total hip arthroplasty: a Meta-analysis [J]. *Chinese Journal of Bone and Joint*, 2020, 9(5): 394.
- [16] 樊辉,初睿. 网络DEA模型应用综述[J]. *价值工程*, 2018, 37(5): 77.
FAN Hui, CHU Rui. A review about the application of DEA Model in network [J]. *Value Engineering*, 2018, 37(5): 77.