

长三角多机场系统与外部环境协调性分析

郭梦雨, 张 丽*, 杨益沁

上海工程技术大学航空运输学院, 上海

收稿日期: 2024年1月20日; 录用日期: 2024年3月28日; 发布日期: 2024年6月21日

摘 要

多机场系统与其外部环境之间有很多的交互和影响, 为全面评估两者之间的协调程度, 本文结合数据包络分析模型与模糊隶属, 构建了多机场系统和环境的协调性度量方法。然后, 以长三角多机场系统为实证对象, 筛选了关键指标, 并收集了相关数据, 对其进行了分析。然后根据结果, 提出了改进长三角多机场系统和环境协调性状态的一些建议。研究旨在为提升多机场系统的整体协调性提供理论支撑与实践指导, 进而促进区域多机场系统的协同发展。

关键词

多机场系统, 外部环境, 协调性, DEA, 模糊综合评价, 长三角区域

Analysis of the Coordination between the Multi-Airport System in the Yangtze River Delta and the External Environment

Mengyu Guo, Li Zhang*, Yiqin Yang

School of Air Transport, Shanghai University of Engineering Science, Shanghai

Received: Jan. 20th, 2024; accepted: Mar. 28th, 2024; published: Jun. 21st, 2024

Abstract

There are many interactions and impacts between the multi airport system and its external environment. To comprehensively evaluate the degree of coordination between the two, this paper combines a data envelopment analysis model and fuzzy membership to construct a coordination measurement method for the multi airport system and its environment. Then, taking the multi

*通讯作者。

文章引用: 郭梦雨, 张丽, 杨益沁. 长三角多机场系统与外部环境协调性分析[J]. 运筹与模糊学, 2024, 14(3): 373-383.
DOI: 10.12677/orf.2024.143275

airport system in the Yangtze River Delta as the empirical object, key indicators were screened and relevant data was collected for analysis. Then, based on the results, some suggestions were proposed to improve the coordination status of the Yangtze River Delta multi airport system and environment. The research aims to provide theoretical support and practical guidance for improving the overall coordination of multi airport systems, thereby promoting the coordinated development of regional multi airport systems.

Keywords

Multi-Airport System, External Environment, Coordination, DEA, Fuzzy Comprehensive Evaluation, Yangtze River Delta Region

Copyright © 2024 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

随着航空业的快速发展和旅客运输需求的增加，单一机场往往难以满足所有出行需求，在航空运输中，民航发展得非常迅猛。由于全球经济一体化、交易量不断增长、行业结构变更、国家民航经济与资源配置调整等[1]，多机场系统的研究越来越重要。基于此背景，研究多机场系统与外部环境的协调性程度变得至关重要。由于区位因素，社会经济因素等，多机场系统与区域环境密不可分，互相促进。多机场系统要融入外部环境，外部环境要推动多机场系统发展，需要多机场系统与外部环境处于协调状态才能实现两者的互相促进。国内外的研究重点主要集中在机场内部的协调性，而针对区域内多机场系统与外部环境的协调性的研究相对较少。

在以往学者的研究中，张蕾[2]指出若要建设与世界级城市群相配对的协调多机场系统是长三角区域一体化发展战略下主要共识与目标。随着民航与区域经济一体化的高速成长，我国已成形的多机场系统有京津冀、长三角和珠三角[3]。区域多机场系统发展不均衡是航空运输的长期问题，亟待解决，例如，长三角多机场系统中，上海机场容量近于饱和，机场延误频发；而盐城南洋机场等小型机场运力不足，出现资源严重闲置和浪费的问题，并且，这种现象随着长三角区域一体化进程的加快有可能进一步加剧[4]。孙继湖[5]等分析了京津冀区域内主要机场即首都机场吞吐量份额占到总吞吐量的90%，导致了区域内各机场间发展不均衡，必须优化区域内各机场的资源，来实现区域内多机场的协调运营。

本文从多机场系统与外部环境的协调性影响入手，设计多机场系统与外部环境协调性的研究模型。以长三角区域环境作为外部环境，多机场系统作为研究对象，来研究外部环境与多机场系统的协调状况相互关联情况。为了更全面探究多机场系统的协调情况，因为选择结合 DEA 评价模型与基于模糊隶属度的综合协调度，以进一步分析多机场系统与外部环境间的协调情况。由于多机场系统与外部环境属于不同系统，选择 DEA 模型结合模糊隶属协调度，使两者互为投入产出，分析得到多机场系统与外部环境整体的协调状态。通过结果分析，探讨影响多机场系统的原因，并对提升协调性提供进一步的探究理论，对提升长三角地区的多机场系统与外部环境的协调性提出改进意见。

2. 多机场系统与外部环境的协调发展的研究方法

由于区位因素、社会因素、经济因素等，多机场系统与区域环境密不可分，互相促进。多机场系统融入外部环境，外部环境推动多机场系统发展，都需要两者处于协调状态才能实现。本文通过数据包络

分析法模型结合模糊隶属度的动、静态综合协调度分析多机场系统与外部环境的协调状态，为提升多机场系统的总体协调性提供理论依据，以提高区域多机场系统的协调发展效率。

2.1. 模糊综合评价法

2.1.1. 模糊综合评价法介绍

模糊综合评价法是一种基于模糊数学的综合评价方法。该综合评价法依据模糊数学的隶属度理论把定性评价转化为定量评价，即用模糊数学对受到多种因素制约的事物或对象做出一个总体的评价。它具有结果明确，系统性强的特点。该方法能较好地解决模糊且难以量化之类的问题，尤其适用于各种非确定性问题。

2.1.2. 协调度分析

将模糊综合评价和隶属协调度模型与本文所研究的多机场系统相结合，进一步提出动静态综合协调度以更深入全面的分析多机场系统与外部环境间的协调程度。

静态协调度即反映系统间运行状态的指标。对于多机场系统与外部环境，在 DEA 模型中建立出评价多机场系统对外部环境的综合有效性的交叉投入产出表，其评价单元具有相同的目标与任务。令 AE 为外部环境投入对多机场系统产出的运行效率贡献，即 $AE_j = C_j(A, E)$ ，(j 指的是静态状态； d 指的是动态状态)同理，也可求得多机场系统投入对外部环境产出的运行效率贡献为 EA ，利用模糊隶属度得概念和方法，定义多机场系统与外部环境间静态协调效率 AE_j 的公式为：

$$AE_j = \frac{\min[AE, EA]}{\max[AE, EA]}, \quad 0 \leq AE \leq 1$$

当 AE_j 的值越与 1 靠拢，表明外部环境对多机场系统影响效力的作用越明显，协调情况越好。若 $AE_j = 0$ ，则指的是外部环境与多机场系统之间完全不协调。

动态协调度是为了反映系统之间或者系统内部子系统之间在发展过程中是否协调的程度，同时能够显示系统是否是由无序发展至有序的现象。静态协调度对动态协调度存在很直接的联动关系，若前者的浮动较小，则有助于后者维持平稳状态。系统间的动态协调度公式为：

$$AE_d = \frac{1}{T} \sum_{i=0}^{t-1} (AE_j)_{t-i}, \quad 0 \leq AE_j \leq 1$$

其中， $(AE_j)_1, (AE_j)_2, \dots, (AE_j)_t$ 分别是 1, 2, 3, ..., t 时期的静态协调度。如果 t 时期所对应的动态协调度 AE_d 大于等于 $t-1$ 时期所对应的动态协调度 $(AE_d)_{t-1}$ ，即 AE_d 维持不变，那么即可判断两个系统在这段时间内维持了动态协调的发展状态，相反，则判断两个系统在所选时段处于不协调状态。结合本章前一节对外部环境协调程度的分析，对于多机场系统与外部环境的综合协调，应选取外部环境相关指标与多机场系统相关指标进行综合分析。

2.2. DEA 模型

2.2.1. DEA 方法介绍

DEA (Data Envelopment Analysis)，即数据包络分析，是一种用于评估具有多个输入和多个输出的决策单元(DMU)相对效率的系统分析方法。该方法由美国著名运筹学家提出，并广泛应用于管理学、经济学等领域。DEA 模型的核心在于比较同类型可比单元和相对效率，即利用投入指标和产出指标，通过线性规划的方法进行数据分析。

数据包络分析法(DEA)首次提出是在上世纪七十年代，最初是 Charnes、Coopor 与 Rhodes 等人依据

相对效率理论作为基础研究的一种非参数效率评价手段[6]，用于判断多输入多输出的决策单元(DMU)的生产(管理)绩效。Farrel [7]在早期工作的基础上又提出了一种非参数方法。因为 DEA 算法不一定要有明确输入或输出的指定函数公式，故能够利用计算得到运行是否相对有效性来对存在繁复联系的决策单元给予评判和解析。DEA 非参数评判效率体系由于不受量纲束缚、投入产出数据可进行权重变量、内部形成有效前沿面等特点，因此得到的结论避免了主观性与操纵性。该模型通过长时间对此理论的使用与演化，在绩效技术评估、系统工程、决策分析、管理科学等方面已经得到了广泛的引用。

2.2.2. DEA 常见模型

DEA 包含多种模型，各个模型包含投入导向与产出导向两个部分。其中最常见的是 CCR 与 BCC 模型，Podinovski [8]分别建立了基于规模效益可变和规模效益不变假设的生产技术模型。而 CCR 模型是先设定规模效益不变的，再分析决策单元的规模有效与纯技术有效的整体效率。与此不同的是，BCC 模型是设定规模效益可变，得到只含技术的效率结果，再结合技术效率(TE)等于纯技术效率(PTE)和规模效率(SE)相乘。基于本文研究主题，选择 DEA 中的 CCR 线性规划模型及其对偶规划模型进行研究，通过模型，可以得到多机场系统与外部环境间的协调情况。除此之外，在此后研究中，许多学者也提出了不同的 DEA 模型，例如，基于全局视角的并行网络 DEA 模型[9]等。

结合研究对象，本文选择了 DEA 终的 CCR 线性规划模型及其对偶规划模型得到多机场系统与外部环境间的协调情况。

若存在 n 个决策单元 DMU，各个 DMU 都有 m 种投入，向量为 $x_j = (x_{1j}, x_{2j}, \dots, x_{mj})^T$ ， s 种产出，向量为 $y_j = (y_{1j}, y_{2j}, \dots, y_{sj})^T$ ， x_{ij} 表示第 j 个决策单元第 i 项投入， y_{rj} 表示第 j 个决策单元的第 r 项产出。令 $v = [v_1, v_2, \dots, v_m]^T$ ， $u = [u_1, u_2, \dots, u_s]^T$ 分别为投入产出的权向量。针对各个决策单元 DMU _{j} ($1 \leq j \leq n$) 都有对应的效率评价指数：

$$h_j = \frac{\sum_{r=1}^s u_r y_{rj}}{\sum_{i=1}^m v_i x_{ij}}, j = 1, 2, \dots, n$$

由于决策单元众多，且在系统内的作用与定位不经相同，故选择运用适当的取权系数 v 和 u ，使得 $h_j \leq 1, j = 1, \dots, n$ ，对 j_0 个决策单元进行效率评价，通常， h_{j_0} 越大，则 DMU _{j_0} 可以用相对较少的输入而得到相对较多的输出。如果对 DMU _{j_0} 作出评价，观察 DMU _{j_0} 在这 n 个 DMU 中是否为相对意义上的最佳。采集变化权重明确 h_{j_0} 的最大值到底为多少。若以第 j_0 个 DMU 的效率指数为目标，且所有决策单元的效率指数为约束，构成了如下的 CCR 模型：

$$\begin{aligned} \max h_{j_0} &= \frac{\sum_{r=1}^s u_r y_{rj_0}}{\sum_{i=1}^m v_i x_{ij_0}} \\ \text{s.t.} &\begin{cases} \frac{\sum_{r=1}^s u_r y_{rj}}{\sum_{i=1}^m v_i x_{ij}}, j = 1, 2, \dots, n \\ u \geq 0, v \geq 0 \end{cases} \end{aligned}$$

3. 多机场系统与外部环境的协调度结果分析

3.1. 决策单元选取

本文针对长三角区域的多机场系统与外部环境进行实证分析，采集了长三角区域的相关指标数据，

选取了长三角三省一市，即上海市(SH)、浙江省(ZJ)、江苏省(JS)和安徽省(AH)，再选取了吞吐量排名全国前 50 的长三角区域内的 8 个机场，即上海浦东国际机场(PD)、上海虹桥国际机场(HQ)、杭州萧山国际机场(XS)、南京禄口国际机场(LK)、宁波栎社国际机场(LS)、温州龙湾(永强)国际机场(LW)、合肥新桥(骆岗)国际机场(XQ)与苏南(无锡)硕放国际机场(SF)，通过 DEA 模型与协调复合模型，得到 2000 年至 2019 年的长三角多机场系统的具体协调情况。选择长三角区域作为主要分析对象，既具有代表性，可以代表国家发展现状，又具有参照性，为其他区域提高参考依据。

由于本文研究的是从 2000 年~2019 年两个整体之间的协调性，因此选取的是年份作为决策单元。这个时间范围内的数据相对比较完整，涵盖了 20 年的数据，可以更全面地反映长三角区域多机场系统的发展和变化情况。并且，2000 年至 2019 年正是中国民航行业快速发展的关键阶段，特别是长三角地区的机场建设和发展也经历了重要变化，这段时间内的数据能够反映不同时期的发展情况，有助于深入研究多机场系统的协调效率。同时，取连续的时间段进行研究可以提高数据的可比性，便于比较不同年份的情况，更好地评估长三角区域多机场系统与外部环境的协调效率变化趋势，更有助于对长三角地区多机场系统的协调效率进行深入的分析 and 评估。

3.2. 建立指标体系

用 $C(E/A)$ 表示外部环境对多机场系统的协调发展效率，即外部环境指标作为投入指标，多机场系统指标作为产出指标； $C(A/E)$ 表示多机场系统对外部环境的协调发展效率，即多机场系统指标作为投入指标，外部环境指标作为产出指标。根据研究对象特性，选取直接反映多机场系统的民航三要素作为指标，即旅客吞吐量、货邮吞吐量和起降架次；外部环境指标选取第三产业生产总值、人均可支配收入、进出口总额与国内旅游人次。具体指标介绍如表 1 所示：

Table 1. Specific indicator description
表 1. 具体指标说明

指标名称	解释	单位	反映的含义
第三产业生产总值	是指一个国家或地区第三产业(服务业)的总产值，包括零售、金融、教育、医疗、旅游等服务领域的总产值。	通常为货币单位，如人民币、美元等。	反映了长三角地区总体发展水平和经济活力。
人均可支配收入	是指一个国家、地区或个人在一定时间内所获得的总收入减去用于支付税收后剩余的金额，即个人可支配用于个人消费和储蓄的收入。	单位通常为货币单位，如人民币、美元等。	反映了长三角地区的个体或群体在一定时期内实际可支配的经济资源和消费能力。
进出口总值	是指一个国家或地区在一定时间内的货物和服务的进口总额和出口总额之和。	单位通常为货币单位，如美元、欧元等。	反映了长三角地区与其他国家或地区之间的贸易活动总体规模 and 方向。
国内旅游人次	是指在一个国家或地区内进行旅游活动的人数总和。	单位通常是以人次的计算，即每一个旅游者算作一个人次。	反映了长三角地区旅游市场的规模和活跃程度，也可以间接反映出旅游业发展水平和对经济的贡献。

续表

多机场系统	旅客吞吐量	是指一个机场、车站、港口等交通枢纽在一定时间内通过旅客的总量。	单位通常是以人次计算。	反映了长三角地区的客流量和运营效率。
	货邮吞吐量	是指一个机场、港口或其他货运交通枢纽在一定时间内运输的货物和邮件的总量。	单位通常是以重量计算，如吨或千克。	货邮吞吐量反映了长三角地区货运业务的规模和活跃程度。
	起降架次	是指一个机场在一定时间内(通常是一天)所有起飞和降落的航班总次数。	单位通常是次数。	反映了一个机场的航班活动总量。

3.3. DEA 模型协调发展效率计算结果

将区域比作一个整体的系统，其社会活动与区域经济的集合就是与多机场系统相匹配的区域外部环境，选用数据包络分析法与综合协调度是为了更好得将指标不同但又相互影响的两方面更好的结合分析，区域的多机场系统与区域环境若只是定性的分析，不能找出相互影响的主要指标与原因，因此，需要通过定量分析，明确统一区域内系统与环境的相关程度。

由于 2020 年以后的几年内，有特殊时期的影响，为排除自然因素干扰，则数据只选用 2000 年~2019 年二十年间的数。运用 Dearun 软件分别计算长三角区域整体 2000 年~2019 年间，外部环境与多机场系统互为投入产出情况下的协调发展效率。

在分析数据时，从技术效率、纯技术效率、规模效率中，选择技术效率进行分析。主要是由于，技术效率综合考虑了生产要素的利用效率和生产过程中的技术水平，是最全面的效率评价指标，也反映了一个单位在给定生产要素下所能达到的最佳生产水平，可以提供更综合全面的评估结果。同时技术效率能够直接反映生产单位整体的生产绩效，对于决策者来说更具有指导意义。技术效率评价结果可以为管理者提供具体的改进建议和优化方案，帮助提高整体生产效率，且在综合考虑生产要素利用、技术水平和规模扩展等方面时，技术效率可以为决策者提供一个全面的视角，帮助他们进行综合性决策和资源配置。

将数据输入到 Dearun 软件软件中，依据 CCR 模型得到的 C (E/A)结果如表 2 所示：

Table 2. CCR model-input oriented C (E/A) results
表 2. CCR 模型 - 投入导向 C (E/A)结果

年份	技术效率	纯技术效率	规模效率
2000	1.000	1.000	1.000
2001	1.000	1.000	1.000
2002	1.000	1.000	1.000
2003	0.952	0.998	0.954
2004	1.000	1.000	1.000
2005	1.000	1.000	1.000
2006	1.000	1.000	1.000

续表

2007	1.000	1.000	1.000
2008	0.940	0.996	0.943
2009	1.000	1.000	1.000
2010	0.967	1.000	0.967
2011	0.858	0.934	0.919
2012	0.831	0.887	0.937
2013	0.839	0.903	0.930
2014	0.877	0.952	0.922
2015	1.000	1.000	1.000
2016	0.989	1.000	0.989
2017	1.000	1.000	1.000
2018	1.000	1.000	1.000
2019	0.995	1.000	0.995
均值	0.962	0.983	0.978

根据表 2 结果可以看出, 长三角区域内多机场系统与外部环境 CCR 模型的 C (E/A) 发展较为平稳, 年均协调发展效率为 0.962, 在 2000 年~2002 年、2004 年~2007 年、2009 年、2015 年、2017~2018 年的几个阶段的协调发展效率为 1, 表明这几个阶段处于稳定状态。

将数据输入到 Dearun 软件软件中, 依据 CCR 模型得到的 C (A/E) 结果如表 3 所示:

Table 3. CCR model-input oriented C (A/E) results

表 3. CCR 模型 - 投入导向 C (A/E) 结果

年份	技术效率	纯技术效率	规模效率
2000	1.000	1.000	1.000
2001	1.000	1.000	1.000
2002	0.932	0.938	0.994
2003	1.000	1.000	1.000
2004	0.869	0.870	1.000
2005	0.862	0.862	1.000
2006	0.885	0.886	1.000
2007	0.904	0.904	1.000
2008	1.000	1.000	1.000
2009	0.885	0.904	0.979
2010	0.905	0.907	0.998
2011	1.000	1.000	1.000
2012	1.000	1.000	1.000
2013	1.000	1.000	1.000

续表

2014	1.000	1.000	1.000
2015	0.951	0.952	0.999
2016	1.000	1.000	1.000
2017	0.954	0.956	0.998
2018	0.990	1.000	0.990
2019	1.000	1.000	1.000
均值	0.957	0.959	0.998

根据表 4 结果可以看出，长三角区域内多机场系统与外部环境 CCR 模型的 C (A/E)发展较为平稳，年均协调发展效率为 0.957，在 2000 年~2001 年、2003 年、2008 年、2011 年~2014 年、2016 年、2019 年的几个阶段的协调发展效率为 1，表明这几个阶段处于稳定状态(图 1)。

Table 4. The efficiency of coordinated development between the Yangtze River Delta and the external environment

表 4. 长三角与外部环境的整体协调发展效率

年份	C (E/A)	C (A/E)
2000	1.000	1.000
2001	1.000	1.000
2002	1.000	0.932
2003	0.952	1.000
2004	1.000	0.869
2005	1.000	0.862
2006	1.000	0.885
2007	1.000	0.904
2008	0.940	1.000
2009	1.000	0.885
2010	0.971	0.905
2011	0.875	1.000
2012	0.835	1.000
2013	0.843	1.000
2014	0.877	1.000
2015	1.000	0.951
2016	0.989	1.000
2017	1.000	0.954
2018	1.000	0.990
2019	0.995	1.000

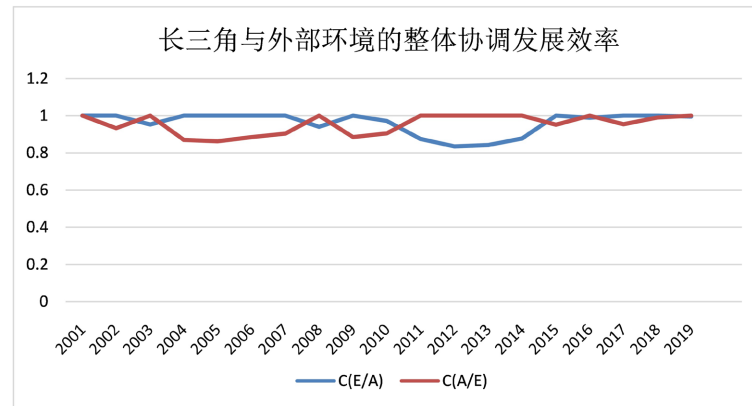


Figure 1. Curve of overall coordinated development efficiency between the Yangtze River Delta and the external environment

图 1. 长三角与外部环境的整体协调发展效率变化曲线图

从整体分析来看,根据表中的数据显示,在2000年~2019年的二十年间,长三角区域中多机场系统与其外部环境协调效率较高,整体处于平稳的同步协调状态,处于DEA有效状态,且各年度的协调效率值都较高。整体的协调效率都处于0.8以上,并且两组协调发展效率几乎都有半数以上的年份处于最高水平1。该结果说明长三角区域经济与社会活动的投入能够获得相应的航空运输产出。同理,在航空运输方面的投入也可以获得与之相对匹配的经济与社会活动产出。整体处于协调情况,但同时也产生了小幅的波动,之所以出现小幅波动,是因为2003年~2008年间,我国长三角区域经济蓬勃发展,同时期,北京奥运会的申办加强了对运力的要求,促进了京津冀区域与珠三角区域对航空运输能力的提升,与此同时,长三角多机场系统的运力跟不上社会经济的发展速度,使其承载能力受到限制。由于2008年受到全球金融危机的影响,导致中国经济受到了严重打击,进一步影响了2015年的发展情况。

3.4. 长三角区域综合协调度分析

结合DEA模型计算得到的协调发展效率,用 $C(E/A)$ 与 $C(A/E)$ 进一步计算静态综合协调度与动态综合协调度。 AE_j 表示外部环境与多机场系统间的静态综合协调度; AE_d 表示外部环境与多机场系统间的动态综合协调度。得到的静态综合协调度与动态综合协调度结果如表5和图2所示。

Table 5. Comprehensive coordinated scheduling in the Yangtze River Delta region

表 5. 长三角区域综合协调度

年份	AE_j	AE_d
2000	1.000	1.000
2001	1.000	1.000
2002	0.932	0.977
2003	0.952	0.971
2004	0.869	0.951
2005	0.862	0.936
2006	0.885	0.929
2007	0.904	0.926

续表

2008	0.940	0.927
2009	0.885	0.923
2010	0.932	0.924
2011	0.875	0.920
2012	0.835	0.913
2013	0.843	0.908
2014	0.877	0.906
2015	0.951	0.909
2016	0.989	0.914
2017	0.954	0.916
2018	0.990	0.920
2019	0.995	0.924

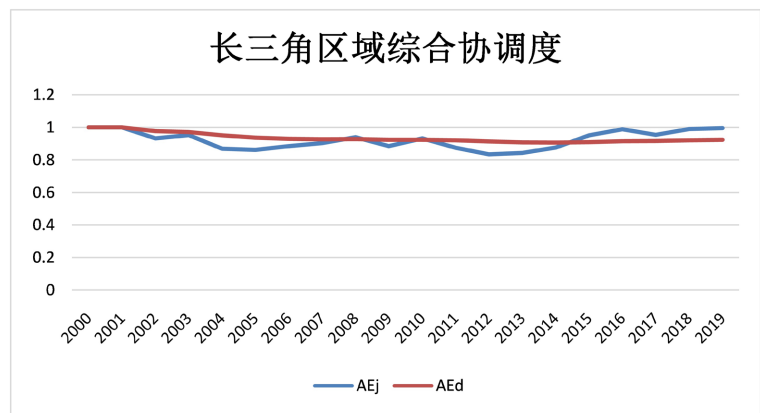


Figure 2. Curve of comprehensive coordinated scheduling changes in the Yangtze River Delta region
图 2. 长三角区域综合协调度变化曲线图

综合协调度会代表多机场系统整体与外部环境的协调状态情况，其步骤是将两者互为投入产出时的两个协调效率值进行比较，它们间的差异水平越小，系统间就越协调。通过对 2000 年~2019 年的长三角区域多机场系统与外部环境间的动态综合协调度发现，这二十年间，多机场系统与外部环境处于的关系处于较协调的状态，只有个别年份协调度降低，产生波动，这表明整个航空运输产业与区域经济和社会活动的交叉投入产出的差异较小，两者的总协调性较好。

总体来看，多机场系统与区域的外部环境整体协调，从多机场系统内部看，江浙皖在综合程度上较弱于上海，安徽比起江浙也有一定的差距，但整体均处于缓慢上升的态势。上海在 2002 年至 2007 年由于其他区域的在进出口上的分流，航空运输产业增速减慢；2008 年又由于全球的金融危机，对以经济金融为发展要点的上海造成了发展阻碍，直至 2015 年才有所好转。加之国内生活质量都在提升，上海虽作为旅游城市，吸引力还是会受到了其他省市分摊的影响。但这些对于长三角整体是有意的，只有区域产良性的竞合关系，才能加剧区域整体的竞争力，促进区域的均衡与综合协调的提升。

4. 结论与展望

由长三角区域多机场系统与外部环境的协调性分析可得,长三角于 2000 年起便一直处于中度协调状态,虽然一直在提升,但不断产生波动,最终于 2019 年上升至良好协调状态,因此在区域空间上的相关性方面仍需提高,特别是提升区域内的地级市间的空间相关程度,以此可以减小城乡差异。

通过对长三角区域多机场系统与外部环境的协调性分析可知,多机场系统的外部环境直接影响着多机场系统的运营效率 and 安全性,因此,分析并促进多机场系统与外部环境的协调,对于提高航空运输系统的整体效率、减少延误、提升安全性具有重要意义。以此推动多机场系统的高效运行,促进地区间的经济往来和人员流动,推动地区经济的繁荣和发展。

通过实证分析,一是验证多机场系统的协调复合模型的可行性;二是通过对其的协调程度判断,对于相应协调程度提出改进意见或提升举措;三是将一种全面的定量与定性相结合的模型延用至其他区域的多机场系统,为推动全国多机场系统与航空运输产业发展的提供有利于据的分析依据。

以往的研究中计算协调效率时,仅将几组指标作为投入指标,另几组作为产出指标,分析单组数据之间的协调效率。本文与之不同的是,将多机场系统整体作为,以多机场系统与外部环境两者互为投入产出指标计算协调发展效率,得出的结果则是两个整体之间的协调发展效率,对研究整体之间的效率更具有直观的分析意义。

本文在指标选取中参考了大多学者的筛选原则,其实外部环境中还有许多与民航、与航空运输相关的指标,进一步可以通过筛选出更多的指标,完善指标评价体系。在今后的研究中,将更加关注于在指标体系的完善,进一步更新模型,以便能够更加精确的分析多机场系统与外部环境的协调度关系,从而可以为多机场系统的安全、高校、经济和可持续发展提供重要支持以及保障。

参考文献

- [1] 芮茂雨. 航空运输集装箱生命周期 Petri 网验证模型[J]. 物流技术, 2021, 40(8): 56-60.
- [2] 张蕾, 孙伟. 长三角城市群与美国东北走廊地区的机场群比较: 密度空间与功能分工[J]. 上海城市规划, 2020(4): 9-14.
- [3] 曹维. 京津冀机场民航运输协同发展建议[J]. 港口经济, 2016(11): 58-60.
- [4] 徐爱庆. 区域多机场协调性及其旅客行为选择策略研究[D]: [博士学位论文]. 南京: 南京航空航天大学, 2018.
- [5] 孙继湖, 谭康华, 梁京. 京津冀区域多机场协调发展探索[J]. 中国民用航空, 2013(11): 50-51.
- [6] 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)
- [7] Farrell, M.J. (1957) The Measurement of Productive Efficiency. *Journal of the Royal Statistical Society*, 120, 253-290. <https://doi.org/10.2307/2343100>
- [8] Podinovski, V.V. (2022) Variable and Constant Returns-to-Scale Production Technologies with Component Processes. *Operations Research*, 70, 1238-1258. <https://doi.org/10.1287/opre.2021.2103>
- [9] 马占新, 张传哲. 一种基于全局视角的并行网络 DEA 模型[J/OL]. 系统工程理论与实践: 1-26. <http://kns.cnki.net/kcms/detail/11.2267.n.20240204.1614.024.html>, 2024-02-06.