

# 基于系统动力学的上海双机场协同发展研究

陈海鹏, 王超峰

(中国民用航空飞行学院机场学院, 四川 广汉 618307)

**摘要:** 上海作为中国重要的经济、金融和贸易中心之一,其航空运输体系在推动区域经济发展中发挥着至关重要的作用。随着浦东国际机场和虹桥国际机场的双机场格局逐渐成形,如何实现两大机场的高效协同发展成为一个重要的研究课题。为此,基于系统动力学的方法,探讨上海双机场与区域经济之间的互动机制,分析双机场协同发展对区域经济的促进作用,并提出相关的政策建议。收集 2012—2022 年的相关数据,利用 Vensim PLE 软件,建立系统动力学模型进行实证分析,探讨上海双机场协同发展路径,通过模型仿真分析优化上海双机场经济系统模型,得出提高上海双机场协同效应的政策建议。

**关键词:** 系统动力学; 多机场; 区域经济; 协同发展

**中图分类号:** V351 **文献标志码:** A **文章编号:** 1671-1807(2025)03-0176-07

上海作为中国的经济、金融和贸易中心,凭借其地理优势和国家战略地位,已经形成了以上海浦东国际机场和上海虹桥国际机场为核心的双机场运营格局,为推动上海的全球化进程和长三角区域经济一体化提供了重要支撑。上海双机场的格局不仅大幅提升了航空运输能力,也增强了上海在国际航空枢纽中的地位。然而,双机场的运营也面临一系列挑战,如功能定位不清、资源分配不均、基础设施建设压力大等问题。如何通过协同发展,最大化地发挥双机场对区域经济的推动作用,并在全球竞争中进一步提升上海的综合竞争力,是当前研究的重要课题。

关于双机场及多机场系统的研究较为成熟。欧美等发达国家的大都市多机场体系在交通疏导、航班分流和区域经济发展方面取得了显著成效。例如,伦敦、纽约、东京等城市的多机场布局有效缓解了单一机场的压力,提升了城市的航空运输效率,并促进了区域经济的协调发展。以伦敦为例,希思罗和盖特威克机场的双机场模式在协同发展方面具有较为成功的经验。研究表明,通过合理的功能分工和航线规划,双机场不仅可以避免资源重复建设,还能有效提升机场的整体吞吐能力。纽约的肯尼迪国际机场和拉瓜迪亚机场则依靠政策和运营模式的差异化实现了协调运营。东京成田机

场和羽田机场也是典型的双机场模式,通过功能互补和交通设施的协同发展,成功推动了城市航空运输网络的优化。因此,构建协同高效的双机场模式,提升虹桥机场和浦东机场的运行效率,用高质量航空发展推动上海经济圈建设等重大战略的落地实施。近年来,随着北京、上海、成都等城市多机场体系的逐步形成,相关研究逐渐增多。研究重点集中在双机场的功能划分、机场群之间的协调机制,以及机场对区域经济的带动作用等方面。

本文基于系统动力学理论,探讨上海浦东国际机场和上海虹桥国际机场的协同发展机制。通过构建系统动力学模型,分析双机场在运营过程中如何与区域经济互动,揭示机场功能、航空运输能力、基础设施建设等因素如何影响区域经济,并分析区域经济增长对机场运营的反馈作用。最后结合实证分析,证明该评价模型的有效性和可靠性,为双机场协同发展研究提供一种思路。

## 1 上海双机场系统动力学模型构建

### 1.1 双机场系统

“一市两场”系统的研究主要聚焦在同一城市内的两个机场的运行与协调。这类系统通常出现在航空需求大、航空枢纽功能强的大城市,如北京、上海、东京、伦敦等地。在双机场系统中,两个机场之间的功能分工与协作机制是研究的重点。不同

**收稿日期:** 2024-09-06

**作者简介:** 陈海鹏(1999—),男,浙江宁波人,硕士研究生,研究方向为临空经济与产业;通信作者王超峰(1981—),男,四川成都人,博士,副教授,研究方向为航空机场网络、航空货运网络、临空经济。

的机场可以在航线类型、航班安排、客运和货运功能上进行分工,以最大化整体运营效率,如北京首都国际机场与大兴国际机场。首都机场主要承担国际航班和传统航空公司业务,而大兴机场则聚焦于低成本航空及部分国内航班。不同机场为不同航空公司提供了差异化的服务,有助于优化资源利用,提升系统效率。北京的双机场系统中,国航等星空联盟成员主要在首都机场,而南航等天合联盟成员在大兴机场,形成明确的航线分配和客户服务策略。政府和机场管理者通过航权分配,合理调配国际与国内航班、长途与短途航班,从而减少机场间的竞争,实现互补效应。双机场系统往往带来更大的经济效益,尤其是临空产业经济和区域经济的协同发展。双机场系统能够提升城市的国际竞争力,推动物流、旅游和商务服务等相关产业的发展,带动区域经济的整体提升。以北京为例,首都和大兴两场不仅服务航空运输需求,还促进了周边的物流、会展、商贸等临空经济的蓬勃发展。

## 1.2 系统边界确定

系统动力学认为,系统行为的性质取决于系统的内部结构,即系统边界内的反馈机制,故明确系统边界,是建模过程中的必备环节,确定上海双机场系统动力学模型边界,有利于确定主要变量。上海双机场系统包括航空运输、临空产业、经济环境3个子系统,并将航空客货运输吞吐量、区域生产总值等变量设置为研究对象,每个子系统在双机场协同发展中扮演着关键角色,并通过相互作用共同推动系统的整体运行与优化。

上海双机场系统模型里面有3个子系统(图1),这3个子系统通过相互作用形成了一个复杂的反馈系统。航空运输为临空产业提供核心支

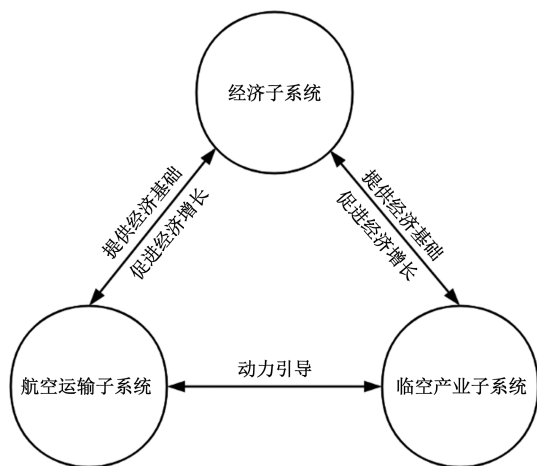


图1 系统关系结构

持,临空产业则推动机场效率的提升,而经济环境通过政策、市场需求等因素对整个系统产生宏观影响。通过这3个子系统的协同发展,上海双机场可以实现更高效的运营和区域经济的持续增长。

## 1.3 航空运输子系统

航空运输子系统是上海双机场航空枢纽经济系统的基础,主要涉及机场的核心运营,包括航线布局、航班数量、客运和货运能力等方面。该子系统决定了机场的吞吐量、服务质量和全球或区域内的航线覆盖范围。航空运输的运营效率和规模直接影响到机场的吞吐能力,而这些因素又受到其他子系统如临空产业和经济环境的支撑和反馈。航空运输子系统主要变量原因树如图2所示。

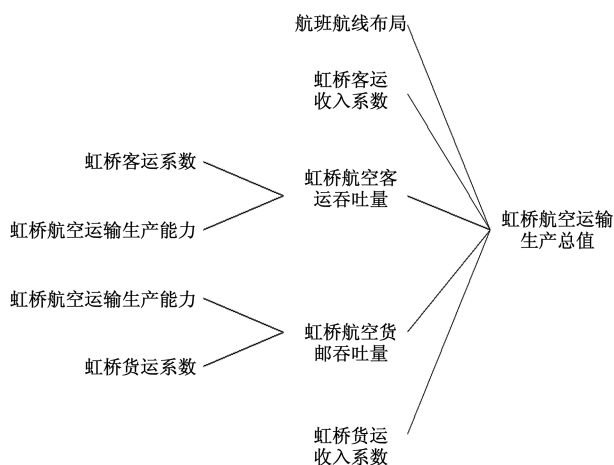


图2 航空运输子系统主要变量原因树

## 1.4 临空产业子系统

临空产业子系统涵盖了与机场周边区域密切相关的经济活动和产业集群,主要包括航空物流、跨境电商、航空维修、仓储配送、酒店餐饮、商业服务等产业。该子系统依托机场的航线网络与地理优势,通过提供与航空运输相关的服务和支撑,带动周边经济的发展。同时,临空产业的规模和结构对机场的运营效率和服务能力产生直接影响。临空产业子系统主要变量原因树如图3所示。

## 1.5 经济环境子系统

经济环境子系统反映了宏观经济背景、市场需求、政策环境以及社会发展状况等因素对机场系统的影响。它涵盖了区域经济的发展水平、政府的政策导向、国际贸易趋势、城市基础设施建设以及社会经济活动的活跃程度等方面。经济环境的变化会影响到机场的需求水平、航空运输的市场空间以及临空产业的结构调整。经济环境子系统主要变量原因树如图4所示。

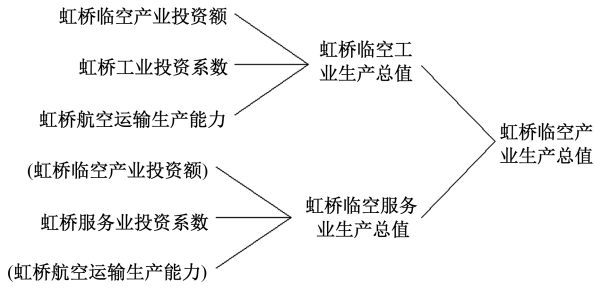


图 3 临空产业子系统主要变量原因树

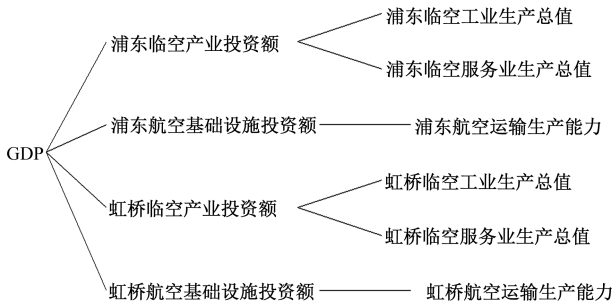


图 4 经济环境子系统主要变量原因树

1.6 上海双机场系统

上海双机场系统模型由临空产业子系统、航空运输子系统和经济环境子系统 3 个主要子系统构成。每个子系统在双机场协同发展中扮演着关键角色,并通过相互作用共同推动系统的整体运行与优化。上海双机场航空经济系统模型存量流量图如图 5 所示。

2 基于系统动力学的上海双机场协同发展仿真模拟

建立上海双机场协同发展仿真模型后,为确保模型的有效性,必须对模型进行历史性检验,以确保模型运行结果的有效性。历史性检验是通过将仿真模型的运算结果与过去的实际数据进行对比,评估模型在反映历史真实情况方面的准确性。选取模型仿真结果中 2012—2022 年这一时间段的模拟值与现实值做比较,通过模型运算,生成与历史数据相对应的仿真结果,将这些仿真结果与历史实际数据进行对比,变量选取航空货邮吞吐量、航空客运吞吐量、区域 GDP 得到历史数据进行对比,检验结果见表 1、表 2 和表 3。

通过表 1~表 3 可以看出,2020—2022 年,受疫情冲击的影响较为显著,导致较大的误差值,其中航空客运吞吐量受到的影响尤为明显。在其他时间段内,航空运输子系统、临空产业子系统以及经济环境子系统的主要变量模拟值与实际值之间的

表 1 浦东机场客邮仿真结果历史检验

年份	浦东机场航空货邮吞 吐量/万 t			浦东机场航空客运吞 吐量/万人		
	现实值	模拟值	误差	现实值	模拟值	误差
2012	293.82	291.35	-0.84	4 488.02	4 358.51	-2.89
2013	292.85	295.23	0.81	4 718.98	4 718.54	-0.01
2014	318.17	328.56	3.27	5 168.79	4 951.15	-4.21
2015	327.52	331.52	1.22	6 009.81	5 812.25	-3.29
2016	344.03	338.23	-1.69	6 600.24	6 552.26	-0.73
2017	382.43	359.23	-6.07	7 000.12	7 325.26	4.64
2018	376.86	363.32	-3.59	7 400.63	7 632.15	3.13
2019	363.42	378.15	4.05	7 615.35	8 213.15	7.85
2020	368.66	386.37	4.80	3 047.65	8 432.15	176.68
2021	398.26	406.25	2.01	3 220.68	8 626.12	167.84
2022	311.72	415.12	33.17	1 417.84	9 132.62	544.12

表 2 虹桥机场客邮仿真结果历史检验

年份	虹桥机场航空货邮吞 吐量/万 t			虹桥机场航空客运吞 吐量/万人		
	现实值	模拟值	误差	现实值	模拟值	误差
2012	42.98	41.85	-2.63	3 382.87	3 486.23	3.06
2013	43.51	42.65	-1.98	3 559.96	3 548.23	-0.33
2014	43.22	42.98	-0.56	3 797.11	3 638.15	-4.19
2015	43.35	43.12	-0.53	3 909.09	3 851.26	-1.48
2016	42.89	43.35	1.07	4 046.01	3 951.26	-2.34
2017	40.75	43.86	7.63	4 188.41	4 126.29	-1.48
2018	40.72	44.01	8.08	4 362.80	4 325.26	-0.86
2019	42.36	44.42	4.86	4 563.79	4 632.25	1.50
2020	33.86	45.21	33.52	3 116.56	4 751.23	52.45
2021	38.34	45.35	18.28	3 320.73	4 851.23	46.09
2022	18.45	45.68	147.59	1 471.16	4 932.15	235.26

表 3 上海生产总值仿真结果历史检验

年份	生产总值/万亿元		误差/%
	现实值	模拟值	
2012	2.13	2.03	-4.69
2013	2.43	2.36	-2.88
2014	2.53	2.47	-2.37
2015	2.69	2.56	-4.83
2016	2.99	2.84	-5.02
2017	3.29	3.39	3.04
2018	3.6	3.74	3.89
2019	3.8	3.95	3.95
2020	3.9	4.13	5.90
2021	4.37	4.52	3.43
2022	4.48	4.78	6.70

误差率均控制在 7% 以内。经过误差分析和特殊事件的考虑后,如果模型在大多数年份能够较为准确地反映历史实际数据,误差率较小且具有合理解释,模型的历史有效性检验结果较为理想,表明其仿真拟合度较高。因此,该模型具备良好的可靠性,可用于进一步仿真。

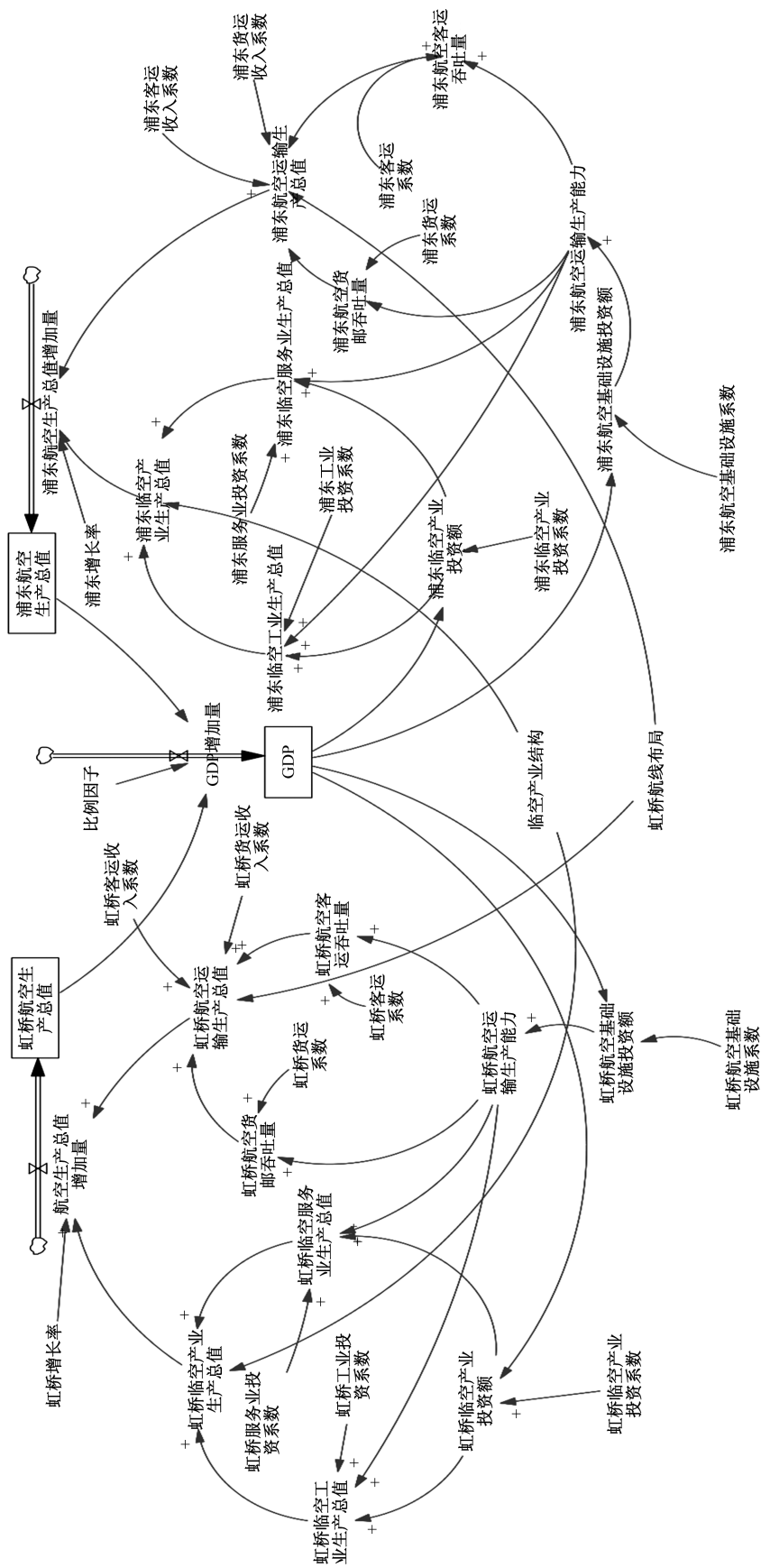


图 5 上海双机场航空经济系统模型存量流量图

### 3 情景仿真模拟

旅客吞吐量和货邮吞吐量是衡量机场协同效应的关键指标,机场协同效应的提升通常伴随着这两项指标的增加。因此,在后续的仿真分析中,旅客吞吐量和货邮吞吐量的增长将作为评估上海双机场协同效应提升的主要依据,进而进行协同优化研究。

上海双机场的航线航班布局以及临空产业结构的协同发展对机场的客货运吞吐量有直接的影响。航线航班布局的合理性和临空产业的有序调整对区域机场的经济环境也至关重要。目前上海双机场在这些方面的协同尚显不足。通过优化航线航班布局和临空产业结构的协同,来研究对上海双机场产生的影响。以下情景模拟中分别将上海的航线航班布局和临空产业结构协同权重进行优化得出结果。

根据仿真模拟结果,在优化航班航线和优化临空产业结构下,2012—2032年,上海双机场的客货运吞吐量呈现逐步增加的趋势(图6、图7)。在优化航班航线情景中,到2032年,上海双机场的客运吞吐量分别达到了18603.8万人和6847.81万人,相比基准模拟值,分别增加了238.4万人和89.59万人,增幅分别为1.29%和1.31%。在优化临空产业中,上海双机场的旅客吞吐量增幅分别为1.22%和1.27%。

在优化航班航线下,到2032年,上海双机场的货邮吞吐量分别达到了498.1万t和53.78万t,相比基准模拟值,分别增加了9.63万t和1.52万t,增幅分别为1.95%和2.31%。在优化临空产业情景中,货邮吞吐量的增幅分别为1.83%和2.12%。这表明,通过不同的情景优化,上海双机场的客货运吞吐量均呈现出显著的增长趋势。

上海地区GDP在优化航班航线和优化临空产业结构模拟下,2012—2032年均呈现持续上升趋势(图8),优化航班航线模拟中地区生产总值均不同程度高出基础模拟,优化临空产业结构增长趋势比较平稳,而临空产业结构对地区GDP的促进作用相对较低。可见基于本文的模型和情景模拟,临空产业优化、航班航线优化均不同程度拉动地区GDP,其中航班航线优化对地区经济发展的影响比优化临空产业结构要显著。

通过以上仿真可知,上海双机场可以通过优化航班航线布局和优化临空产业结构,促进上海浦东国际机场和上海虹桥国际机场客货邮吞吐量的增

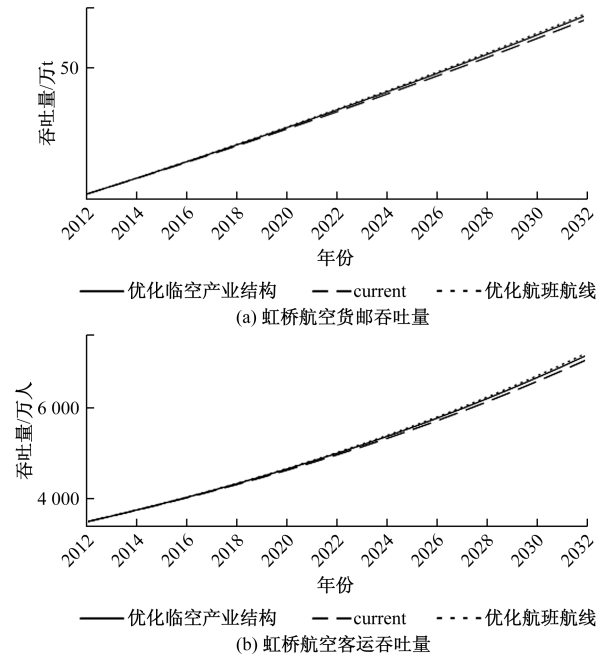


图6 航班航线和临空产业结构对虹桥机场旅客、货邮吞吐量的影响

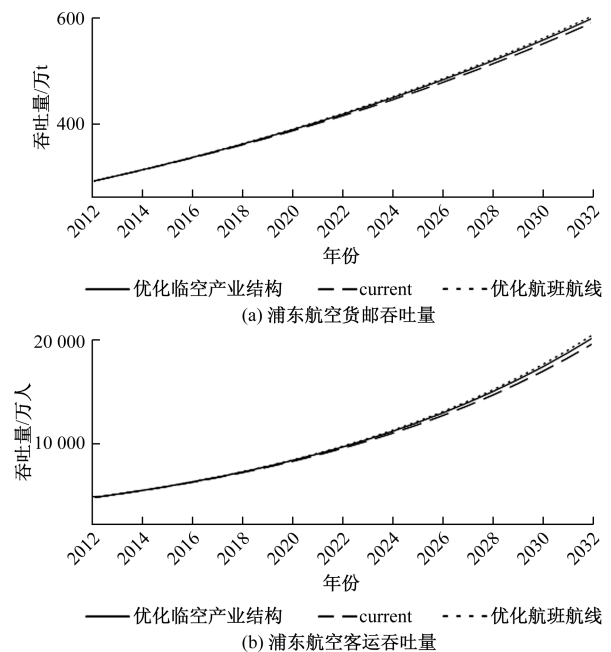


图7 航班航线和临空产业结构对浦东机场旅客、货邮吞吐量的影响

加,进而提高上海航空运输的经济水平。优化航班航线网络能够使上海双机场——浦东国际机场和虹桥国际机场的航班资源配置更加合理,减少航线的重复性和竞争性。上海双机场航班航线和临空产业结构协同的权重越高,上海浦东国际机场和虹桥国际机场旅客和货邮吞吐量增加越明显,同时对上海经济水平产生的影响越大。

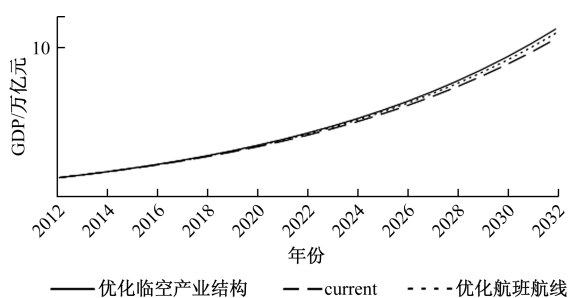


图8 航班航线和临空产业结构对上海GDP的影响

## 4 结论和政策建议

### 4.1 结论

基于系统动力学模型,利用 Vensim 软件对上海双机场的协同发展进行了仿真分析。结果显示,航班航线和临空产业结构的协同度对双机场的整体运营效益具有显著影响。当协同度越高时,双机场的客货运输能力显著增强,机场之间的功能分工更加明确,从而有效提升了上海航空运输体系的效率。同时,临空产业的协调发展促进了相关产业链的扩展与升级,进一步带动了区域经济增长。仿真结果表明,双机场的协同发展不仅能够增加客货吞吐量,还能够通过推动临空经济圈的发展对上海的整体经济水平产生深远的积极影响。因此,加强航班航线的统筹规划以及优化临空产业结构,将成为提升上海双机场协同效益、实现区域经济可持续发展的关键策略。

### 4.2 政策建议

(1)明确双机场差异化功能定位。上海浦东国际机场与虹桥国际机场在功能上应进一步明确分工。浦东国际机场作为国际航空枢纽,应着力发展国际航空运输、跨境电商、高端物流、航空金融、国际会展等面向全球市场的产业。虹桥机场作为国内航空枢纽,临空产业应更多聚焦于国内物流、区域商务、会议服务和消费服务等国内及区域性的业务,从而实现两大机场产业布局的差异化与互补性。这不仅有助于避免重复建设,还能提升临空产业链的协同效应,优化资源配置。

(2)优化临空产业空间布局,提升协同效应。基于其国际和国内市场的双重功能定位,采取差异化发展策略。在优化产业结构、合理空间布局、基础设施共享、提升枢纽功能的基础上,培育有针对性的市场需求,推动上下游产业协同和创新发展。浦东国际机场应以全球航空货运和商务市场为主要目标,虹桥机场则应继续服务国内航班网络,结合长三角地区的经济需求发展区域市场。通过精

准的市场定位,可以提高上海双机场的服务水平,满足多层次市场的需求。推动双机场周边的产业链上下游企业加强合作,建立以航空运输、仓储、制造、物流等为核心的完整产业生态圈。浦东机场应加强与国际物流、航空制造和高端服务业的协同,虹桥机场则应着重促进商务服务、会展经济与区域物流的合作。

(3)加强航线网络的精准分工与布局优化。双机场航线应在国际与国内、远程与短途、货运与客运之间进行明确分工。浦东机场应继续扩大国际航线网络,重点拓展“一带一路”沿线国家、欧美和亚太地区的直飞航线,增强其国际航空枢纽功能。虹桥机场应着力提升国内航线的覆盖率,特别是连接国内二、三线城市的航线,增强其作为国内枢纽机场的角色定位。此外,针对货运业务,可以加强浦东机场作为全球货运中心的地位,并将虹桥机场的货运功能适当弱化,以提升两大机场的整体运行效率。避免航班集中在特定时段造成的资源拥堵和空域紧张,政府应推动建立双机场之间的航班时刻协调机制。可以通过错峰安排高峰时段的航班起降时间,避免同一时间段的航班过于集中。同时,在高需求航线和高峰时段,政府可以鼓励航空公司引入大容量机型,以减少航班起降次数,提升乘客运送效率。

### 参考文献

- [1] 张蕾,孙伟,宋彦.世界级机场群航空网络时空演化特征与模式[J].地理学报,2024,79(6):1540-1555.
- [2] 何行,王杰.成渝地区双城经济圈多机场辐射范围研究[J].郑州航空工业管理学院学报,2023,41(6):34-39.
- [3] 王琼.枢纽经济视域下成渝机场群协同效应评价与优化研究[D].重庆:重庆交通大学,2023.
- [4] 严力群,余运九.绿色金融的产业增长效应系统动力学模拟[J].科技和产业,2023,23(3):52-61.
- [5] 罗凤娥,甘琦,舒傲霜,等.双城经济圈建设背景下的成渝机场群协同发展研究[J].科技和产业,2023,23(22):162-168.
- [6] BING Z, HAO W. A system dynamics model of multi-airport logistics system under the impact of COVID-19: a case of Jing-Jin-Ji multi-airport system in China[J]. Sustainability, 2022, 14(19): 12823-12823.
- [7] 张瑞,高鑫,张海川.基于系统动力学的重庆临空产业生态圈政策仿真研究[J].江苏商论,2022(9):92-97.
- [8] 杨远源,王超峰,文亚森.临空经济区产业选择研究:以重庆渝北区为例[J].科技和产业,2022,22(4):194-198.
- [9] 宋函.基于系统动力学的机场可持续发展研究[D].广汉:中国民用航空飞行学院,2022.
- [10] 顾灵君.机场航空业务发展对区域经济的影响研究[D].

- 南京：南京航空航天大学，2021.
- [11] 杨焕霞. 郑州航空港物流业与腹地经济协同发展关系研究：基于系统动力学[J]. 物流工程与管理，2020，42(12)：28-31.
- [12] 朱贝贝. 京津地区临空产业协同发展研究[D]. 天津：中国民航大学，2020.
- [13] 张婷. 机场运营对区域经济贡献度测评模型研究[D]. 广汉：中国民用航空飞行学院，2016.
- [14] 田延. 基于 DEA 的京津冀多机场协同发展研究[D]. 天津：中国民航大学，2015.
- [15] 胡赵征. 临空产业与空间协同规划研究[D]. 北京：清华大学，2014.
- [16] 彭瑛. 多机场群运行评估与优化研究[D]. 南京：南京航空航天大学，2014.
- [17] 韦薇. 基于枢纽机场的长三角机场群协调运行管理关键理论与方法研究[D]. 南京：南京航空航天大学，2014.
- [18] 夏玉中. 北京市多机场协同发展模式研究[D]. 北京：北京交通大学，2014.
- [19] 张明莉. 系统视角下的临空产业集群研究[D]. 秦皇岛：燕山大学，2012.

## Research on the Collaborative Development of Shanghai Dual Airports Based on System Dynamics

CHEN Haipeng, WANG Chaofeng

(Airport College, Civil Aviation Flight University of China, Guanghan 618307, Sichuan, China)

**Abstract:** As one of the most important economic, financial, and trade centers in China, Shanghai's air transportation system plays a crucial role in promoting regional economic development. As the dual airport pattern of Pudong International Airport and Hongqiao International Airport gradually takes shape, how to achieve efficient and coordinated development of these two airports has become an important research topic. Therefore, the interactive mechanism between Shanghai's dual airports and regional economy was explored based on system dynamics, the promoting effect of coordinated development of dual airports on regional economy was analyzed. Relevant policy recommendations are proposed. Selecting relevant data from 2012 to 2022, Vensim PLE software was used to establish a system dynamics model for empirical analysis, in order to explore the coordinated development path of Shanghai's dual airports. Through model simulation analysis, the economic system model of Shanghai's dual airports is optimized, and policy recommendations are obtained to improve the synergy effect of Shanghai's dual airports.

**Keywords:** system dynamics; multiple airports; regional economy; collaborative development