

区域交通发展对策研究

——2009年全国博士生学术论坛（交通运输工程学科）论文集

Development of Regional Transportation System

——Proceedings of Doctoral Forum of China 2009
(Transportation Engineering)

◎ 主编 徐瑞华 滕 靖



同济大学出版社
TONGJI UNIVERSITY PRESS

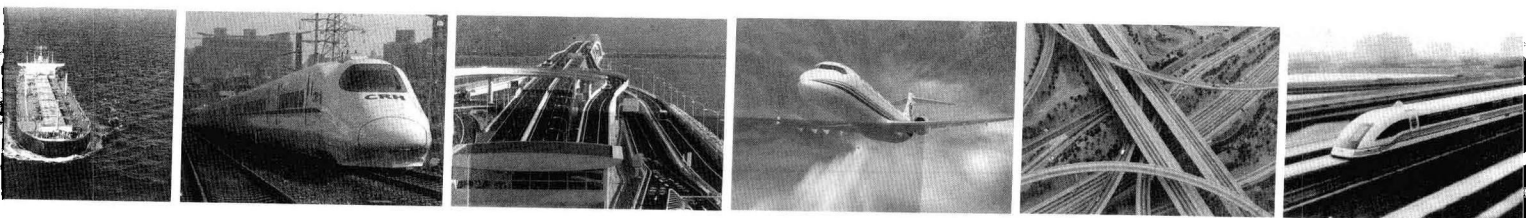
区域交通发展对策研究

——2009年全国博士生学术论坛（交通运输工程学科）论文集

Development of Regional Transportation System

——Proceedings of Doctoral Forum of China 2009
(Transportation Engineering)

◎主编 徐瑞华 滕靖



同济大学出版社
TONGJI UNIVERSITY PRESS

图书在版编目(CIP)数据

区域交通发展对策研究:2009年全国博士生学术论坛
(交通运输工程学科)论文集/徐瑞华,滕靖主编. —上
海:同济大学出版社,2009.10

ISBN 978-7-5608-4053-6

I. 区… II. ①徐…②滕… III. 交通工程—学术会议—
文集 IV. U-53

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2009)第 173770 号

区域交通发展对策研究——2009年全国博士生学术论坛(交通运输工程学科)论文集

主 编 徐瑞华 滕 靖

责任编辑 高晓辉 责任校对 杨江淮 封面设计 陈益平

出版发行 同济大学出版社 www.tongjipress.com.cn

(地址:上海市四平路 1239 号 邮编:200092 电话:021-65985622)

经 销 全国各地新华书店

印 刷 同济大学印刷厂

开 本 889mm×1194mm 1/16

印 张 18

印 数 1—500

字 数 576 000

版 次 2009年10月第1版 2009年10月第1次印刷

书 号 ISBN 978-7-5608-4053-6

定 价 54.00 元

本书若有印装质量问题,请向本社发行部调换 版权所有 侵权必究

前 言

建国 60 年来,我国的综合交通运输系统发生了翻天覆地的变化,尤其是改革开放 30 年来,铁路、公路、民航、水运等各主要运输装备的规模及现代化水平提高迅速,走出了一条中国特色的交通运输发展之路,为社会主义现代化建设提供了有力支撑。

铁路方面,全国铁路营业里程已达 8 万公里,2012 年将超过 11 万公里,并有 1.3 万公里客运专线及城际轨道交通线路投入运营。全路正在抓紧建设以“四纵四横”为骨架的全国快速客运专线网络,城市群区域的城际轨道交通网络,用于高附加值货物快速运输的 1.7 万公里的双层集装箱运输网络,以及横跨东西、纵贯南北的大能力货运通道。

公路方面,全国公路通车总里程达到 373 万公里,已建成总规模 3.5 万公里的“五纵七横”国道,超过 6 万公里的高速公路和 324 万公里的农村公路。2010 年全国将建成由 7 条首都放射线、9 条南北纵向线和 18 条东西横向线组成、总规模 8 万多公里的“7918”高速公路网络。

水运方面,全国港口生产性泊位 3.1 万个,万吨级以上深水泊位发展到 1416 个,亿吨大港达到 16 个。内河航道通航里程 12.3 万公里。海运船队跃居世界第 4 位,拥有轮驳船 18.4 万艘、1.24 亿载重吨。至 2010 年全国港口适应度接近 1:1,沿海集装箱专业化泊位数量达到 377 个,年通过能力 1.36 亿标箱。

航空方面,全国民航全行业机队规模达到 2038 架,其中航空运输飞机 1259 架。定期航线总数已达到 1532 条,其中国内航线 1235 条,港澳航线 49 条,国际航线 297 条。内地通航城市有 150 个,国际航线通航城市达 104 个。2010 年我国民航机场总数将增加到 190 个。

与此同时,以中心城市为龙头的城市群发展正日益促使区域资源更紧密整合与共享,经济与城市进入了新的发展机遇期,地区之间的经济竞争正逐步从简单地以行政区划为单元之间的竞争转向更大范围的经济区域以及城市群之间的竞争。在此过程中,交通运输成为区域合作和城市群发展的重要载体,区域综合交通网络系统不断向外延伸从而带动更大区域的发展。因此构建合理的区域综合交通运输系统对于促进区域发展具有极为重要的意义。

本次论坛即以推进我国区域综合交通运输发展为主旨,在展现区域交通运输研究成果的同时为博士研究生同学们提供一个学术交流的平台。论坛得到了全国区域综合运输领域的十余所高校大力支持,并邀请到来自国家有关部委和上海市的有关领导、交通运输工程领域的专家学者以及高校研究生教育和管理工作者共同出席本次论坛。

论坛共收到博士研究生论文投稿 80 余篇,录用近 50 篇,研究对象覆盖铁路、公路、水运、航空等区域交通运输系统及城市交通系统。所出版的论文集涵盖了区域交通规划、建设、管理领域的主要方面,既有基础理论和方法的研究,也有大量结合工程实践背景的应用,其中有 15 篇获“优秀论文奖”。展现了我国交通运输学科博士研究生理性思考的智慧、创新探索的精神。现将入选论文汇编成册予以展示和交流,供高等学校师生及有关管理、技术人员参阅。

编 者
2009 年 10 月



目 录

前言

第一篇 区域交通与城市化、经济发展

- 基于系统动力学模型的货运系统与区域经济互动机理研究 何 明 过秀成 金 凌(3)
- 基于连续平衡模型的长三角航空客流分布研究 韦 薇 夏洪山(9)
- 西部地区高速公路建设费用分析及控制措施 刘 凯 王 芳 王选仓(17)
- 构建综合运输体系,促进北部湾物流经济发展 刘 鹏(25)
- 区域性交通项目建设的投资规模与效应分析——以芜湖市世行贷款项目三环路建设为例
..... 谢 辉 周海容 晏克非(30)
- 城际轨道对区域经济影响研究 刘金成 刘 鹏(35)
- 河南省交通运输与经济相关性和协调性定量分析 余 沛 郭 菁(39)
- 中国内河运输发展对策的探讨 顾伟红(45)
- 国外城市化背景下城市群交通特征研究 王艳丽 董 治 李林波 等(51)
- 中国“十二五”期间城镇群发展对交通发展的影响分析 董 治 王艳丽 李林波 等(57)
- 甘肃省综合交通结构分析与发展对策 吕 斌(63)

第二篇 区域交通运输系统规划与设计

- 城际铁路动车组运用计划模型及算法研究 曲思源 徐行方(71)
- 土地利用规划与交通规划的互动关系研究——以长沙市大河西先导区总部经济区为例
..... 唐子可 谢 辉 晏克非(78)
- 基于站点综合开发的区域综合客运枢纽设计方法研究 黎冬平 晏克非(84)
- 基于国际比较的上海内河航运系统评价 张 欣 李跃旗(92)
- 基于时空特性的高速公路网络交通分析——以山东省高速公路系统为例
..... 于晓桦 刘法胜 晏克非(97)
- 城市与区域一体化的出行需求分析 雷 磊 罗 霞 高世廉(104)
- 带状组团城市交通模式选择——以镇江市为例 叶 茂 李 星 过秀成 等(109)
- 沪宁通道多方式客运设施规划方案配置分析 张建旭 晏克非(115)
- 城际轨道交通与城市轨道交通的衔接协调研究 周 峰 高 佳(120)
- 基于泊位共享的新城区域停车需求预测 薛行健 欧心泉 晏克非(126)
- 区域城际轨道交通客流预测探讨 高 佳 李 锋 葛 红(131)
- 经济区国家公路运输枢纽协调规划研究 陈 坚 霍娅敏(136)
- 汶川震区交通系统的评估 王 斌 晏启鹏(141)
- 都市圈区域城际轨道交通的建设条件研究 李 璇 徐瑞华(149)
- 区域路网紧急事件危害度评价指标及评价方法研究 康国祥 方守恩(156)
- 区域路网交通事故宏观预测模型 代磊磊 裴玉龙 邱 卓(160)
- 城市道路交通系统容错能力及其可靠性研究 裴玉龙 胡立伟 刘 泽(165)

城际铁路车站设置 1 条到发线组织列车越行的研究 文 超 彭其渊 陈芋宏(172)

快速城市化背景下的都市区轨道交通线网规划探讨 朱 炜 徐瑞华(177)

多种速度等级列车共线运行的区域城际列车旅行速度计算方法研究 鲁工圆 彭其渊 向 睿(184)

技术站广义静态配流问题的模型与算法研究 赵 军 彭其渊(192)

交通运输网络能力限制路段分析及扩能优化研究 田志强 倪少权 宋 琦(198)

公路平曲线超高、反超高对车辆方向控制的影响 徐 进 彭其渊 张海涛 等(204)

城市物流规划区域背景分析方法研究 弓晋丽 陈 琛 陈 川(209)

组团型城市的公共交通枢纽发展研究——以中山为例 黄灿彬(214)

我国城市群区域城际轨道交通的功能定位及网络规划分析 洪 玲 徐瑞华(219)

第三篇 区域交通运输系统管理及信息技术

面向需求与供给的综合区域交通管理系统设计 马莹莹 杨晓光 曾 滢(227)

考虑交叉口延误的区域交通分配方法 曾 滢 杨晓光 马莹莹(232)

基于广域动态数据的城市道路交叉口高峰流量特征研究——以上海为例 钱良辉 陈小鸿(237)

基于 GIS-T 的城市区域交通网络的构建方法研究与应用 张欣环 江 玉 晏克非(242)

基于 RFID 技术的长江干线船舶交通流量检测方案的设计 张 笛 严新平 初秀民(250)

基于信息提取的突发事件下城市道路机动性研究 张 钊(256)

主干路路段行人信号设置临界流量研究 孙 迪 王殿海 郭伟伟(263)

主支路交叉口信号设置临界流量影响因素研究 马东方 王殿海 孙 迪(268)

区域轨道交通网络化运营条件下的应急管理体系研究 李 锋 徐瑞华 周 峰(273)

一种基于互联网的动态交通信息表示方法 林冬梅 刘 军 刘广志(278)

第一篇 区域交通与城市化、经济发展

基于系统动力学模型的货运系统与区域经济互动机理研究*

何明¹ 过秀成¹ 金陵²

(1. 东南大学交通学院, 南京 210096; 2. 江苏省交通厅, 南京 210004)

摘要 本文将系统动力学理论应用于运输系统与区域经济的相互影响定量分析中,通过分析货运供需系统因果关系,建立系统流图,构建货运系统与区域经济互动关系系统动力学模型,分析了货运需求与区域经济之间的关系。最后以江苏省为实例,通过仿真实验,分析了运输投资比例、产业结构等与货运缺口之间的关系,验证了该模型的实用性和有效性。

关键词 系统动力学, 反馈, 系统供需, 有效性检验

Impact Analysis between the Transport System and Regional Economy Based on System Dynamics Model

HE Ming¹ GUO Xiucheng¹ JIN ling²

(1. College of Transportation, Southeast University, Nanjing 210096, China;

2. Communications Department of Jiangsu Province, Nanjing 210004, China)

Abstract System dynamics theory is applied to impact analysis between the transport system and regional economy in the paper, through analyzing the causal relationship between freight demand and supply system, the paper established established system flow diagram, builded up system dynamics model and analyze the relationship between freight demand and regional economy. At last taking Jiangsu Province for example, analyzed the relationship between the ratio of investment in transport, industrial structure and freight gaps through simulation experiments, verified the practicality and effectiveness of the model.

Keywords system dynamics, feedback, system demand and supply, validity check

1 引言

货运系统的有效发展是以区域经济发展的要求为基础的,经济发展带来运输需求,货运系统作为整个社会经济发展的要素,道路网、铁路网及港口等基础设施的建设会带来运输水平的提升,增加运输量,提高运输质量,完善服务水平,拉动经济发展,并刺激沿线潜在经济需求,即运输反过来促进区域经济发展。运输与区域经济协调发展是货运系统良性发展的基础和标准,货运系统良性发展又有利于完善、服务于区域经济,从而拉动经济的整体发展。

货运系统作为社会经济系统的重要组成部分并不是独立存在的,受到多种外部因素的制约,政策变化、产业结构等多种复杂因素在运输发展中起着不可忽视的作用。

系统动力学模型是一种结构—功能模拟,模型模拟可以分析研究信息反馈结构、功能与行为之间的动

* 基金项目:国家自然科学基金项目(50422283),江苏省交通科技项目(05R26)资助

作者简介:何明,男,1985年生,研究方向为城市交通规划与管理、道路安全等,E-mail:heming9302@163.com

态的辩证对立统一关系,主要通过仿真实验进行分析计算,能够处理高阶次、非线性、多重反馈的复杂时变系统的有关问题,因此这一模型可以有效地分析运输系统与经济系统间的相互作用和反馈,确定运输系统与经济系统间的均衡发展。

本文有效地利用系统动力学工具,定量地探讨货运系统与区域经济之间相互制约的规律,从需求供给与社会经济的关系方面来分析其基本的因果关系,最终提出有效控制运输缺口的政策建议,从而确定货运系统发展研究的基础。

2 货运系统与区域经济间系统动力学模型

2.1 系统反馈及因果关系

因果关系如图 1 所示,通过引入运输基础设施投资将国民经济发展、货运供给和货运缺口联系起来。

在本模型中,存在两条基本的反馈环路:

图 2 为负反馈环,表示经济发展将引起货运需求的增加,货运需求的增加将导致货运短缺的产生,从而将限制经济的进一步发展。

图 3 为正反馈环,表示经济的发展将增加财政收入,使得政府有可能增加对运输的投入,提高货运供给,从而减少运输能力短缺,最终将促进经济的进一步发展。同时这个正反馈环也说明了运输设施作为基础性设施,其社会效益比较大,因此需求政府在客观上对运输进行投资,以增加运输供给。

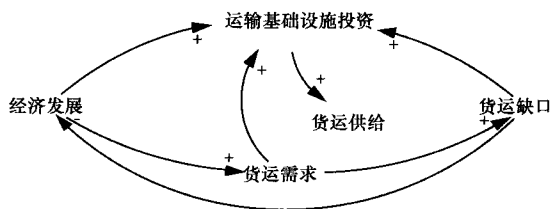


图 1 货运供需系统因果关系图

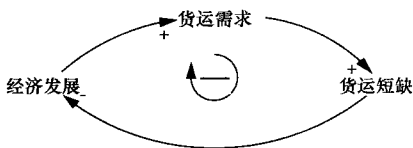


图 2 反馈环 1

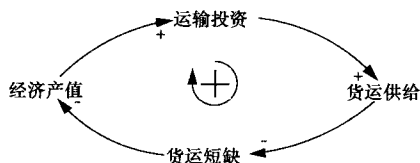


图 3 反馈环 2

2.2 系统流图

系统动力学把系统中物质和信息的运动想象成流体的运动,设计出一套特有的复合来描述系统。这种用符号描述系统的图称为流图,它介于因果关系图和数学模型之间,不仅能描述各部分之间以及各子系统内部的相互关系和反馈结构,而且能区分不同性质的量,具有直观、易懂的特点,其基本元素主要分为状态变量、速率变量和常量。

选取 GDP、水运固定资产投资、公路固定资产投资、铁路固定资产投资、港口吞吐能力、公路货运能力、铁路货运能力为主要状态变量;选取 GDP 增量、水运固定资产投资增量、公路固定资产投资增量、铁路固定资产投资增量、港口吞吐能力增量、公路货运能力增量、铁路货运能力增量为速率变量;选取三产占 GDP 比重、港口投资贡献率、公路投资贡献率、铁路投资贡献率、货运生成稀疏、GDP 增长率为常量。基于系统动力学模型建立系统流图如图 4 所示。

反馈环在上述基本因果关系图中,存在如下反馈环:

反馈环 1:GDP 增长→+三产总值提高→+货运生成总量提高→+货运缺口增加→-GDP 增长率下降→+GDP 总量下降。此反馈环为负反馈环,反映了区域经济和货运需求之间的因果反馈关系。

反馈环 2:GDP 增长→+运输投资比例增加→+固定资产投资增加→+货运能力增加→-货运缺口减小→+GDP 增长率提高→+GDP 增长。此反馈环为正反馈环,反映了货运通过能力与区域经济之间的相互作用机理。

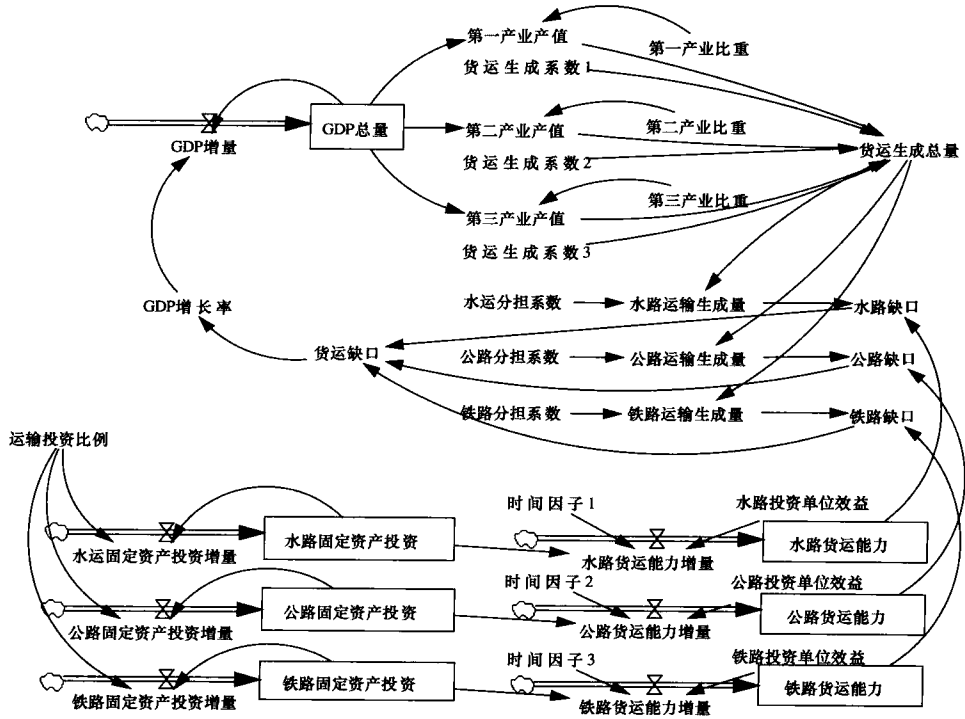


图 4 货运供需系统流图

2.3 系统仿真

系统动力学是对系统分析者和决策者提供对社会系统进行仿真实验的手段,具体步骤如图 5 所示。

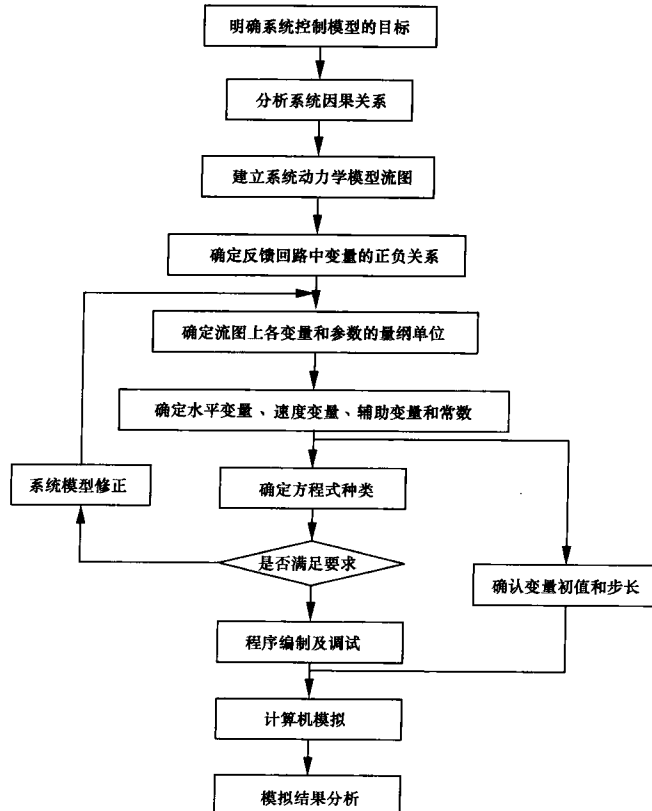


图 5 系统动力学仿真过程

3 实例分析:江苏省货运系统与区域经济互动关系分析

3.1 参数估计

1) 货运生成系数

货运生成系数表示第一、二、三产业产值对货运量的贡献度,根据各产业产值与货运量的曲线关系,建立三元线性回归模型:

$$FR = a_0 + a_1x_1 + a_2x_2 + a_3x_3 \tag{1}$$

式中,FR 表示货运量; a_1, a_2, a_3 表示货运生成系数; x_1, x_2, x_3 表示第一、二、三产业值。

利用 SPSS 软件进行参数估计,得到货运生成系数为 $a_1 = 76.1, a_2 = 12.1, a_3 = 11.8$ 。

2) 各种运输方式分担系数

运输方式分担系数按历年运输方式分担系数取中位数来确定(图 6),确定运输方式比例分别为 4.7%, 66.5%, 27.2%。

3) 三产比重

三产比重按上述方法确定三产比重为 10 : 55 : 35。

4) 其他参数确定

GDP 增长率取规划增长率 10.5%,时间因子 1,2,3 分别代表投资对货运量增长的滞后期限,均设为 2 年;水路投资贡献率、公路投资贡献率和铁路投资贡献率分别为 150 万吨/亿元、1100 万吨/亿元和 120 万吨/亿元,运输投资比例为 11%。

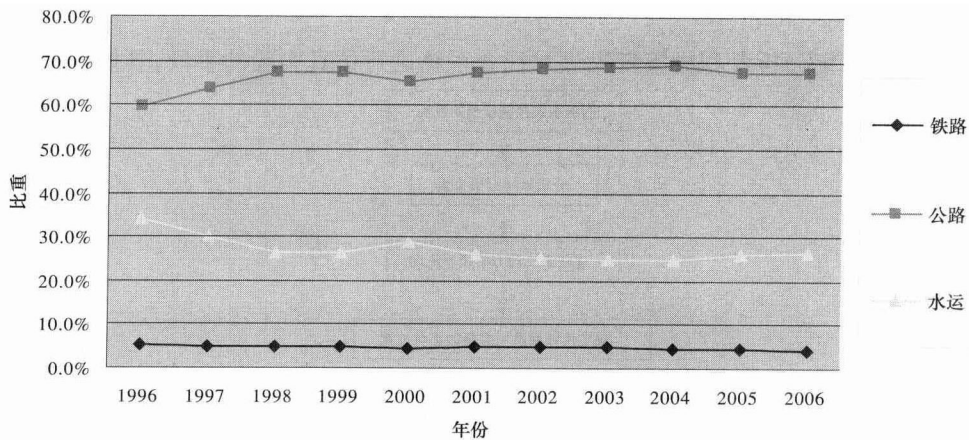


图 6 运输方式分担比例变化图

3.2 有效性检验

1) 运输投资比例与货运缺口的关系检验

运输基础设施是运输得以发展的物质基础,是与区域经济互动发展的关键因素。江苏省东临黄海、地处富饶和充满活力的长江三角洲地区,已初步形成了铁、公、水、空、管道 5 种运输方式齐全,综合配套的交通网络。随着江苏省未来社会经济的发展,对运输需求旺盛,并将呈现持续增长趋势,因此加大对运输设施的投资,可以有力控制不断扩大的供需缺口。

设计运输投资比例增长 15%, 20%, 25% 三个方案,分析其对货运缺口及 GDP 的影响,运行结果如图 7、图 8 所示。

运输的需求和供给在未来将保持持续增长,提高运输投资的比例,极大地改善了运输供给的不足,货运缺口减小趋势更加明显;货运缺口的减小对经济增长具有一定推动作用,随着运输投资比例的提高,经

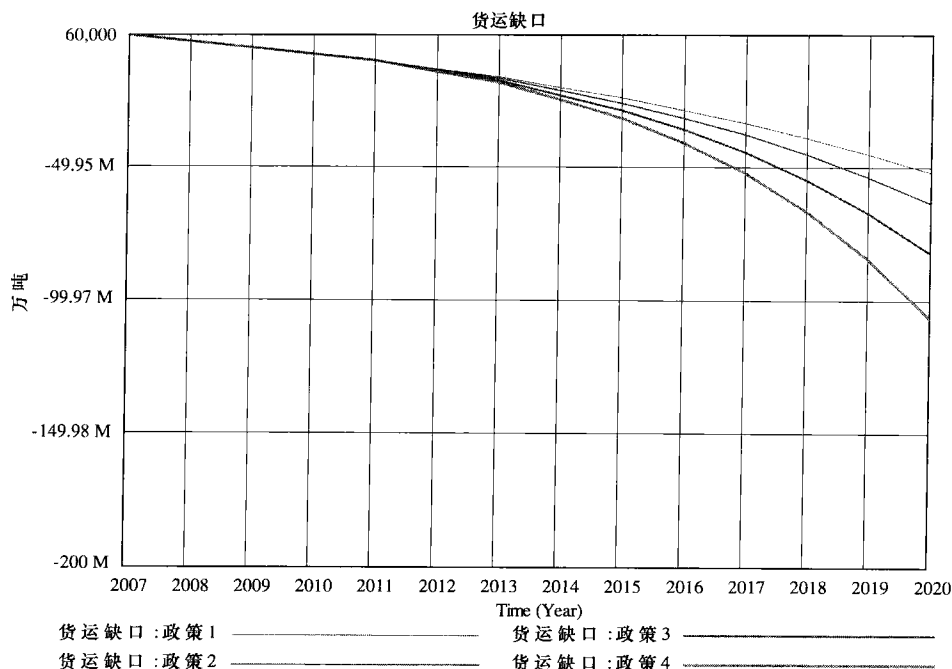


图 7 不同运输投资增长方案货运缺口对比图

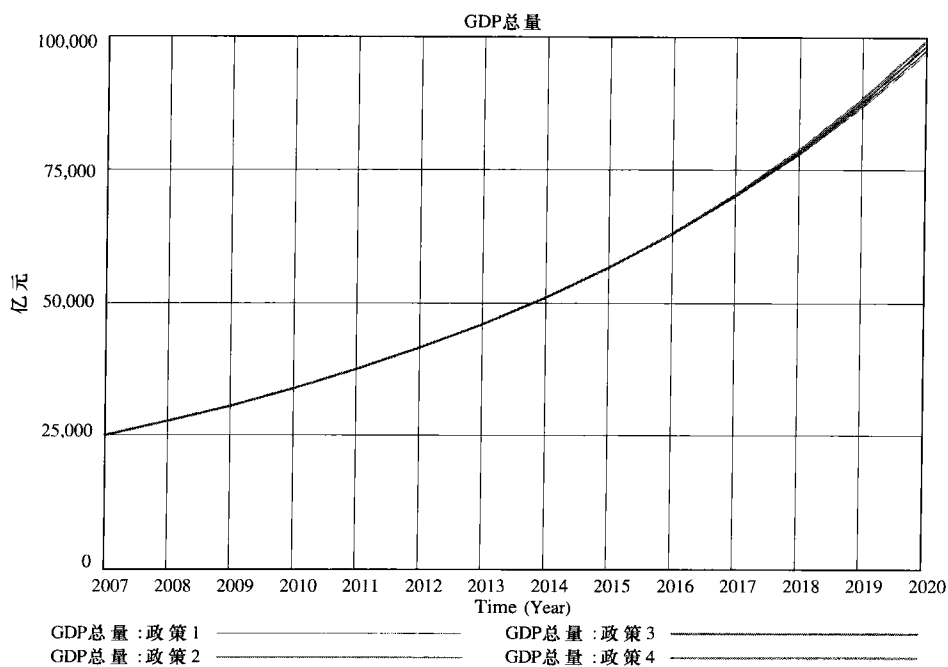


图 8 不同运输投资增长方案 GDP 总量对比图

济总量有小幅的提高。

2) 产业结构与货运缺口的关系检验

产业结构政策是政府制定的通过影响产业结构转换和促进经济增长的产业政策。不同产业对运输需求各不相同,不同产业结构对运输系统发展产生相应的影响。因此可以通过调整江苏省产业结构,使运输发展与经济发展相协调。设计产业结构调整方案(提高第一产业比例)与初始方案对比,分析其对货运缺口的影响,如图 9 所示。

由模拟结果可知,第一产业比例的增加会在一定程度上增大货运缺口,第二产业和第三产业对运输量

的贡献较大,适当调整第二第三产业的比重,能促进运输系统的和谐发展。

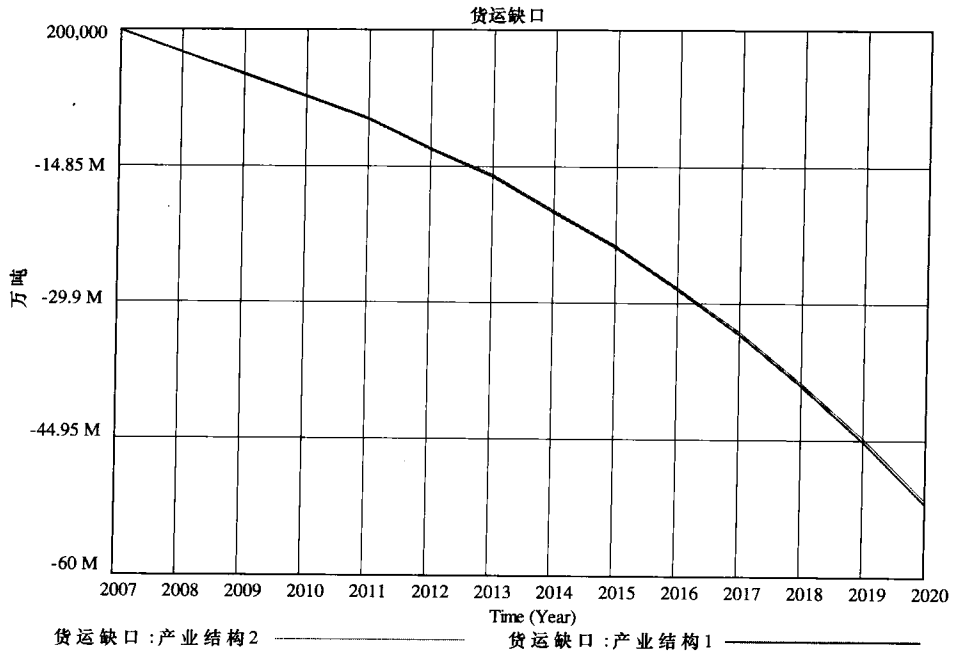


图 9 不同产业结构货运缺口对比图

4 结 语

本文将系统动力学应用货运系统与区域经济的相互影响定量分析中,建立系统动力学模型,并以江苏省作为实例,通过仿真分析,验证了该模型的实用性和有效性。货物运输作为一个系统,其发展变化受社会政策变化、运输产业结构和经济布局的调整等因素的影响,并反作用于这些因素。因此,分析货运系统和区域经济的互动发展,而不局限于运输系统的某一环节,有利于解决货运系统存在的问题,制定相应的货物运输决策,提高货运系统与区域经济间的和谐发展。

参考文献

- [1] Ole Kveiborg, Mogens Fosgerau. Decomposing the Decoupling of Danish Road Freight Traffic Growth and Economic Growth[J]. Transport Policy, 2007(14) : 39-48.
- [2] Milan Janic. Modelling the Full Costs of an Intermodal and Road Freight Transport Network[J]. Transportation Research Part D, 2007 (12) : 33-44.
- [3] Nalin Shinghal, Tony Fowkes. Freight Mode Choice and Adaptive Stated Preferences[J]. Transportation Research Part E, 2002(38) : 367-378.
- [4] 姚志刚,王元庆,周伟. 城市货运规划理论框架[J]. 综合运输, 2004(4), 68-70.
- [5] 张务栋. 交通运输布局概论[M]. 上海:华东师范大学出版社, 1993.
- [6] 周伟, SZYLLOWICZ J S. 迈向可持续发展的未来——中国交通运输发展若干问题研究[M]. 北京:人民交通出版社, 2005.

基于连续平衡模型的长三角航空客流分布研究*

韦 薇 夏洪山

(南京航空航天大学民航学院, 南京 210016)

摘 要 本文旨在科学分析长江三角洲多机场区域内航空客流的分布规律。首先,运用连续函数的处理方法,建立了连续型的区域交通体系模型;其次,采用综合出行代价的概念衡量机场对出行者的吸引力,本文突破传统研究的局限性,引入了旅客心理因素,构造出机场对旅客的引力函数;最后,结合经济学供需平衡理论,建立了基于最小出行代价的航空旅客空间连续平衡选择模型,并运用有限元算法对模型求解。预测结果显示,客流集中分布在枢纽机场周围,使得各机场呈现出“马太效应”。该研究结果为制定促进多机场之间协调发展的宏观政策提供了理论依据。

关键词 长江三角洲, 客流分布, 旅客心理, 连续平衡模型, 有限元算法, 马太效应

Continuous Equilibrium Model Based Air Passenger Flow Distribution in Yangtze River Delta

WEI Wei XIA Hongshan

(College of Civil Aviation, Nanjing University of Aeronautics and Astronautics, Nanjing 210016, China)

Abstract This paper aims to scientific analysis of the air passenger flow distribution in the multi-airport region of Yangtze River Delta. Firstly, this paper applied the equilibrium approach in modeling the regional transportation system. Secondly, the attractiveness of airport to the travelers was measured by the generalized travel costs. To break with the traditional study limitations, the passengers' psychological was introduced as an attraction indicator in the gravitational function of airport. Finally, based on the supply and demand balanced theory, the air travelers' continuous equilibrium model based the minimum cost was presented and solved with the finite element method. The results show that the air passenger flow concentrated around the hub airport and all the airports in the region become "Matthew Effect". In future applications, the results provide a theoretical basis for policy in promoting the coordinated development of multi-airport.

Keywords Yangtze River Delta, air passenger distribution, passengers' psychology, continuous equilibrium model, finite element method, Matthew effect

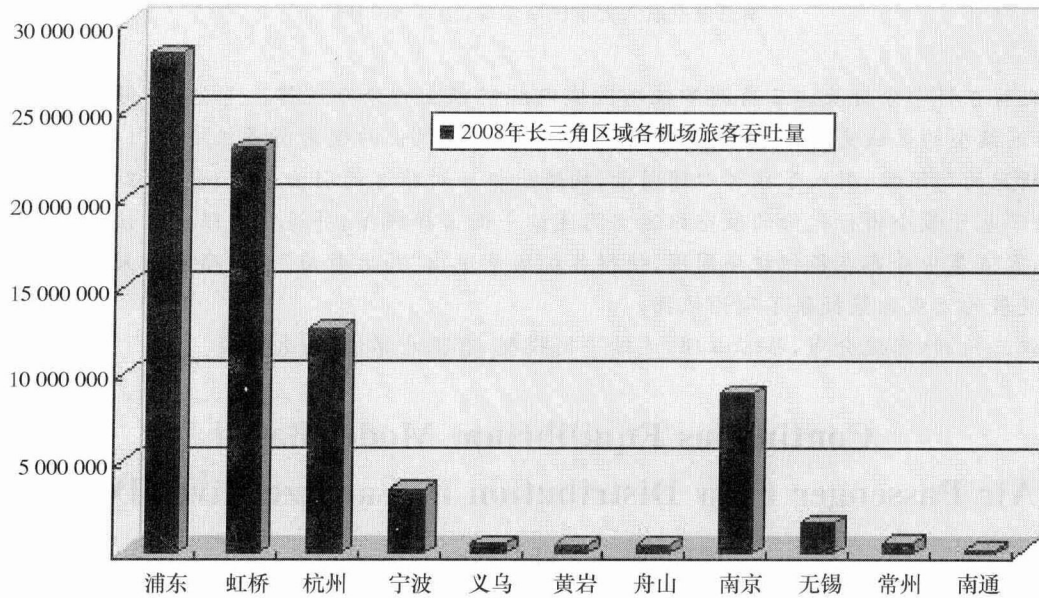
1 引 言

随着经济的发展,城市化进程中出现了一种新的城市空间组织形式——都市圈,它是高级阶段的城市化^[1]。它的发展,将淡化行政区划色彩,强化经济区域功能,依托便利的交通设施条件,以大城市为核心引领带动周边地区及城市的发展,最终形成一个巨大的功能性都市区域。

* 基金项目:基于枢纽机场的机场群协作运行关键理论、方法和政策研究(2008GXQ6B141)

作者简介:韦薇,女,1983年生,研究方向:航空运输系统建模与优化,导师夏洪山,E-mail:WWnuaa2008@yahoo.com.cn

长江三角洲都市圈是继“世界五大都市圈”后的第六大新兴都市圈。受历史原因的影响和经济发展的驱动,目前该都市圈内共坐落了 11 个机场(含军民合用),在西方国家文献中^[2],将该现象描述为“Multi-airport Region”,根据其含义,本文意译为“多机场区域”。依托快速和高效的地面交通,航空旅客出行有了更多的机场选择机会。但是受机场管理体制和经济利益等多重因素的影响,机场管理各自为政,区域内各机场争夺航空旅客的竞争越来越激烈,从图 1 可直观看出各机场旅客分布两极分化的现象,这已经严重阻碍了区域经济的均衡和谐发展。



注:数据来源《2008年中国民航机场生产统计公报》。

图 1 2008 年长三角区域各机场旅客吞吐量比较

因此,科学分析区域内航空客流分布机理,对合理规划运力和航线,有效开拓航空旅客运输市场,科学制定航班计划,促进我国区域航空运输业科学健康地发展,具有非常重要的现实意义。

2 研究方法介绍

目前研究航空客流分布问题的方法较多,绝大多数采用离散模型,主要分析基于航空旅客选择行为的航空客流节点分布问题^[3-9]。然而在实际应用中,离散模型的解算需要大量的数据,同时也无法对交通网络的空间因素影响加以考虑,通常假设每一个机场都具有明确固定的市场区域,每一个市场区域都是一个单一机场地区。得出的结果使得“不同的机场服务区重叠在一个共同区域让人感到不寻常,而在预测过程中考虑这种重叠市场区域更不寻常”^[2],因此,分析效率和分析效果都不尽如人意。

本文采用连续平衡模型的处理方法。其中,交通平衡分析模型借用经济学供需平衡理论,寻求不同环境下交通系统提供的服务和需求之间的平衡关系。当交通网络中的出行者不能通过改变路径而缩短其出行时间时,交通网络上的交通流就达到平衡状态;连续型交通模型将路网系统抽象为平面二维区域,假设交通网络属性的变化是微小的、逐步过渡的,因此属性函数可以用光滑的连续函数表示;同时,区域内交通需求连续分布产生,简化了参数要求,提高了计算效率,计算结果更为直观。因此,将它们组合成连续平衡模型,可应用于预测一个多机场区域内航空客流的分布情况,而且机场的市场区域无需预先界定,其范围及形状也因不同的条件而改变。

3 数学模型表述

本文所研究的连续平衡模型基于 Wong 和 Yang^[10] 的研究,在二维连续区域空间的基础上,以最小出行代价为约束条件,建立了确定型航空旅客空间平衡选择模型。模型引入了机场对旅客的引力函数,考虑了机场服务特性、旅客心理因素对机场吸引力的影响。

3.1 多机场区域交通系统基本假设

广布的区域空间被抽象为二维平面体系,标记为 Ω ;区域边界标记为 Γ 。在这样的区域内,存在 n 个机场被抽象表示为一个点,标记为 $Q_i, i=1,2,\dots,n$ 。航空旅客的需求位置遍布整个地区,这些机场为了吸引他们而相互竞争,旅客从他们的需求位置经连续区到达并使用其中一个机场。

相关的假设条件如下:

(1) 弹性交通需求函数。弹性交通需求函数指交通需求的产生量随出行代价的变化而变化,是确定交通出行量最为常用的函数之一。从连续区域 Ω 中的任意点 (x,y) 到任一机场 O_i 的交通需求函数可表示为

$$q(x,y)=D(x,y,u(x,y)) \quad (1)$$

式中, $u(x,y)$ 为出行代价函数; $q(x,y)$ 为连续区域内每个单位面积的总需求。

(2) 交通流。研究区域 Ω 中交通流量用向量 $f(x,y)$ 表示,记作 $f(x,y)=[f_x(x,y),f_y(x,y)]$ 。其中 $f_x(x,y)$ 和 $f_y(x,y)$ 分别是 x 和 y 方向的流量;向量的模表示该点交通流的密度,表示为

$$|f(x,y)|=\sqrt{f_x(x,y)^2+f_y(x,y)^2} \quad (2)$$

(3) 地面运输代价函数。从位置 (x,y) 到任一机场 O_i ,所需的地面运输代价假定取决于地方流量密度和道路网结构,而不是方向,现采用美国联邦公路局(BPR)非线性路阻函数公式的变形公式:

$$c(x,y,f)=a(x,y)+b(x,y)|f(x,y)|^{\gamma(x,y)} \quad (3)$$

它作为连续区域内,旅客位于 $(x,y) \in \Omega$ 的地面运输代价; $a(x,y)$ 是向前移动一个单位距离的地面运输成本; $b(x,y)|f(x,y)|^{\gamma(x,y)}$ 表示拥挤程度; $\gamma(x,y)$ 表示运输代价相对于交通流密度的敏感程度。

1952 年 Wardrop 提出用户平衡原理^[11],在多机场区域综合交通体系中,可以表述为从任意点 D 到机场 O_i 所有选用路径的路阻都是相等的,且小于其他没有被选用的路径的路阻。因此,旅客总是采用最佳路面线路,或选择最小地面运输代价 $C[D(x,y),O_i]$ 的机场。假设路径 s 是 D 点到机场 O_i 的可选路径,则最小地面运输代价表示为

$$C_s[D(x,y),O_i]=\lim_{\delta \rightarrow 0} \int_{\delta} c(x,y,f) ds \quad (4)$$

同时,

$$C_s[D(x,y),O_i] \leq C_s[D(x,y),O_i] \quad (5)$$

(4) 流量守恒原理。在研究区域(的范围内,流向量和航空旅客的需求必须满足流量守恒原理。这一等价条件的证明已有完整的论证^[12,13]。表示为

$$\nabla f(x,y)+q(x,y)=0, \quad \forall (x,y) \in \Omega \quad (6)$$

式中, $\nabla f(x,y)=\frac{\partial f_x}{\partial x}+\frac{\partial f_y}{\partial y}$ 为出行流量的梯度函数。为了简化讨论,我们假定没有流量越过研究区域范围,则有:

$$f=0, \quad \forall (x,y) \in \Gamma \quad (7)$$

为了避免在机场 O_i 处出现奇异,假设 O_i 被半径很小的顺时针方向的圆形边界 $\Gamma_{\sigma_i}, i=1,2,\dots,n$ 所围绕。 Ω_i 表示机场 i 的市场区域。则使用机场 i 的航空旅客数为

$$Q_i = \iint_{\Omega_i} q(x,y) d\Omega, \quad i=1,2,\dots,n \quad (8)$$