

# 航空运输地理学研究进展与展望

王姣娥<sup>1</sup>, 莫辉辉<sup>2</sup>

(1. 中国科学院区域可持续发展分析与模拟重点实验室, 中国科学院地理科学与资源研究所, 北京 100101;

2. 中国交通运输协会, 北京 100053)

**摘 要:**航空地理学是交通地理学的重要组成部分,且是其最年轻的学科分支。本文以中国和欧美主流航空地理学研究为考察对象,从历史演进、技术变革和制度变迁的综合视角将近百年航空地理学的发展历程分为4个阶段:20世纪50年代前的学科起步发展阶段、50-70年代的基础体系建构阶段、80-90年代的理论框架完善阶段以及21世纪以来的理论与实践繁荣阶段。航空地理学传统研究主题包括史志与区域地理总图、机场格局与城镇关联体系、网络结构与组织效应及优化、航空布局与区域发展互动关系、机场布局规划及其影响因素、政策对航空业发展的影响等。近年来,国内外对航空运输地位与作用的重视程度与日俱增,加之航空数据可获得性不断提升,航空网络结构的复杂性、世界(中心)城市、机场体系与航空网络的演化规律与机理、航空系统的可持续发展等问题成为国际研究热点领域。早期,中国航空地理学研究与西方发达国家发展同步,但中期受历史原因的制约而大为滞后;近期,随着经济社会的快速发展,其研究任务与日俱增。国内学界不仅需要完成对20世纪50年代以来西方航空地理学基础理论的引入及实证研究,同时须建立航空地理学学科体系,并积极加入国际前沿性课题研究行列。

**关 键 词:**航空运输地理学;研究进展;国际动态;展望

## 1 引言

自古以来,翱翔天空一直是人类不懈的追求。18世纪的热气球、19世纪的飞艇与滑翔机等先后问世,激发了人类的航空热情。20世纪初,莱特兄弟成功试飞第一架飞机,开启了人类现代航空的序幕。受两次世界大战的影响,军事需要促进了航空技术的飞速发展。“二战”后,全球整体进入和平发展时代,军事航空技术快速转入民航领域,国家、地区及全球性航空运输增长十分迅速。航空运输作为现代运输方式之一,以其高效的优势而成为区域和国民经济社会发展的重要基础服务条件之一,尤其备受长距离旅客运输青睐。经历近百年的发展,现代航空运输成为交通规划学、经济学、地理学等学科的重要研究领域<sup>[1]</sup>。

航空(运输)地理学以航空运输地理分析为基础。航空运输地理是研究航空线路及航空港空间分布的交通运输部门地理,主要研究内容包括航空线路的起讫点和中途航空港的位置、功能和规模等级,即研究航空线路和航空港的布局<sup>[2]</sup>。航空地理学是围绕航空运输的人地关系、空间组织和区域结构建立的系统科学,它是交通地理学的重要组成部分

分,且是其最年轻的学科分支。本文以中国和欧美主流航空地理学研究为考察对象,力图梳理航空地理学的发展历程和研究范畴,归纳总结学科发展特征和规律,并考察其发展趋势,为该学科的建设与发展提供参考。

## 2 航空地理学发展回顾

航空地理学的起步源于现代航空运输的发展。尽管航空的设想早于铁路、轮船、公路等现代运输方式,但18-19世纪的近代航空并未受到地理学家的关注<sup>[3-4]</sup>。20世纪初,伴随现代航空的兴起,航空地理学在欧美国家开始构筑其学科基础。中国现代航空运输始于清末民初,略晚于西方国家,但作为中国“开眼看世界”近代科学的先行——地理学对航空业发展的关注与西方学界大体同步。根据国内外现代航空运输发展轨迹,从历史演进、技术变革和制度变迁的综合视角,结合交通运输地理学科的发展进程<sup>[5-6]</sup>,近百年航空地理学的研究历程大体可划分为4个阶段:①20世纪50年代前,学科起步发展阶段;②20世纪50-70年代,基础体系建构阶段;③20世纪80-90年代,理论框架完善阶段;

收稿日期:2011-01; 修订日期:2011-04.

基金项目:国家自然科学基金项目(41001082,40928001)。

作者简介:王姣娥(1981-),女,湖南涟源人,助理研究员,研究方向为交通运输地理与区域发展。E-mail: wangje@igsrr.ac.cn

③21世纪以来,理论与实践繁荣阶段。

## 2.1 学科起步发展阶段(20世纪50年代以前)

1920年, Major-Gen 在英国皇家地理学会作了一场关于“帝国航空网络”的演讲,设想建立一个完整的航空网将英国及其殖民地联系起来,可谓航空地理学发展的先声;其后,时代杂志以 Major-Gen 的设想为蓝本组织了自埃及开罗至南非开普敦的飞行竞赛,并利用航空的特殊视角(鹰眼)展开了人类历史上首次基于长途航空的地理科学考察<sup>[7]</sup>;航空运输继“大航海时代”之后,再次开启了人类“地理大发现”的新时代。1934年, Platt 在美国地理学家协会会刊(Annals of AAG)上发表论文“An air traverse of Central America”<sup>[8]</sup>,该研究是地理学关于现代航空的早期工作。1942年, Renner 为英美中学编写了全球首本航空地理学教材《Human Geography in the Air Age》,系统展现了地理学家关注航空运输与地理的相互作用关系<sup>[9-10]</sup>。1944年, Zandt 编写了该时期航空地理学的经典著作《The Geography of World Air Transport》,该书在讨论全球航空网络发展、国家地理关系、国际贸易区位等基础上,重申了“地理仍是控制性因素”的论断<sup>[11]</sup>。

在国内,中国地学会(中国地理学会前身)成立伊始,就开始关注航空运输。1910年在其会刊《地学杂志》上刊登了“飞行船之新计划(节录)”和“飞行器和空中领土(节录)”,1911年刊载了“欧美飞行事业”。20世纪20年代,受航空运输军事性质的影响,地理学者张资平(1924)仅论述了“此种交通机关为飞行机,立体的交通也。”<sup>[12]</sup>其后,地理学家白眉初(1928)、李宗武(1928)、张其昀(1929)等对航空均有专题研究<sup>[13-15]</sup>,而王益崖(1931)和傅角今(1944)则对世界航空进行了论述<sup>[16-17]</sup>。作为该时期交通地理学领域的集大成之作,葛绥成的《中国之交通》(1928)和盛叙功的《交通地理》(1931)对航空地理进行了较为深入的研究<sup>[18-19]</sup>。

此外,章勃的《日本对华之交通侵略》(1933)、余寄的《航空经济政策论》(1934)和龚学遂的《中国战时交通史》(1947)对早期认识航空地理的政治与经济作用具有重要学术和现实意义<sup>[20-22]</sup>。

## 2.2 基础体系建构阶段(20世纪50-70年代)

20世纪50-70年代,民航运输进入快速发展时期。运输服务技术水平突飞猛进,从50年代初的低速、低载量的飞机迅速发展到70年代的喷气式宽体运输机,民航运输尤其是旅客运输快速增长,

地理学家对航空运输的关注度有所增加。这一时期各国及全球的航空运输整体处于严格管制阶段,数据可获得性等原因致使地理学研究成果十分有限(图1)。根据 Siddal(1969)的交通地理学参考文献目录分析<sup>[23]</sup>,尽管年轻的航空地理学的研究成果明显少于水运(包括海运、港口和内河)、铁路、公路等部门交通地理学,但航空地理学作为独立于交通地理学(甚至经济地理学、人文地理学)的专门学科已经建立其基础体系,其研究成果明显多于前一阶段。同时,受数量革命的影响,基于“探索规律”的科学实证主义成为引导航空地理学发展的重要思想,统计学、经济学、社会物理学等方法被广泛运用于航空地理学的研究中。

该时期,国外航空地理学进入“数量革命”时代,研究领域不断拓展。Harvey(1951)率先采用相关性分析探讨影响美国旅客航空运输的因素,并建立了类引力模型<sup>[24]</sup>。美国地理学家 Taaffe 等关于机场体系与城镇关系的研究<sup>[25-27]</sup>是这一时期的典型代表,其系统化的成果成为交通地理学研究的重要参考<sup>[28]</sup>。Reed(1970)等开始关注航空网络的地域结构、Hebert 等(1971)、Cates(1978)分别研究了航空网络的长期和短期变化特征<sup>[29-31]</sup>, Borgstorm(1974)开展了航空出行行为等研究<sup>[32]</sup>。1957年, Sealy 出版了学术著作《The Geography of Air Transport》(至1966年再版两次)<sup>[33]</sup>,其影响十分深远,成为航空地理学奠基之作。此外,人地影响(如机场噪声)、运输政策、发展趋势等主题开始引起地理学家关注<sup>[1,23]</sup>。

新中国成立后,受美苏两大国际阵营“冷战”的影响,该时期国内与西方主流地理学交流几近中断。尽管国内学界对航空地理的作用、地位、意义等具有中肯的认识<sup>[34]</sup>,但该时期注重发展工业,忽视运输、商业等服务业的发展,经济社会流动受到抑制;加之航空运输受到严格的管制,航空地理学的相关研究成果十分有限。仅有刘再兴(1955)编写

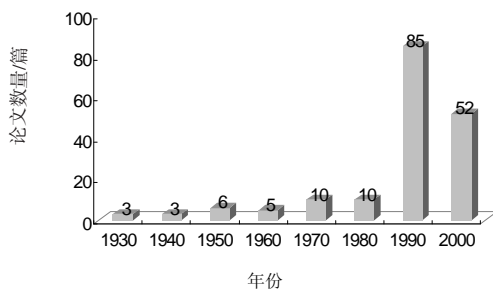


图1 欧美主要期刊航空地理学研究论文数(据文献[1]绘制)

Fig.1 Publications on air transport research in Europe and US

了有关中国航空地理的科普资料<sup>[35]</sup>,张国伍等(1965)编写的《中国经济地理总论(运输地理部分)》对航空运输地理进行了专题论述<sup>[36]</sup>。20世纪70年代末,北京经济学院(1979)编写了有关航空运输布局的《中国经济地理(工业与交通运输部分)》<sup>[37]</sup>。值得指出的是,1980年北京大学编写的《交通运输地理学讲义》阐述了“航空线的类型及其影响的气象条件”、“航空港的类型及其布局的地理条件”及“航空港布局与城市的关系”,这为国内航空地理学的发展奠定了重要基础<sup>[38]</sup>。

2.3 理论框架完善阶段(20世纪80-90年代)

20世纪80年代至20世纪末,全球航空业发生了巨大变化,航空运输放松管制、计算机订票等系统的广泛使用、常旅客计划的实施等迅速扩大了国内及国际航空运输联系<sup>[1]</sup>。地理学者及时把握这一历史变革,其研究成果呈现“井喷”现象(图1)。其中,90年代创刊的《Journal of Transport Geography》、《Journal of Air Transportation Management》等学术期刊为航空地理研究提供了重要的交流平台。以《Journal of Transport Geography》为例,自1993年创刊到2000年底,总计发表关于航空地理学的论文31篇(不含 Viewpoints 和 Reviews),年均发表3.9篇,占全部论文的16.7%(图2)。受放松管制引发的航空运输系统变革影响,这一时期航空运输组织结构转变备受关注。以O'Kelly代表的欧美地理学家展开了以“轴辐<sup>①</sup>网络”为中心的结构分析与优化的系统研究<sup>[39-41]</sup>,拓展了航空地理学的研究领域<sup>[42]</sup>。Graham(1995)的《Geography and Air Transport》是这一时期的代表作,政策、环境、公平等问题得到重视<sup>[43]</sup>。

国内学界受前一阶段的历史发展制约影响,航空地理的理论与实践研究中断了较长时间。进入20世纪80年代以来,总结新中国成立以来航空地理发展进程成为基础工作。王德荣和柴本澄(1986)对新中国成立以来中国航空运输布局做了初步总结<sup>[44]</sup>,其后陈航等(1993)对航空网络及其运输联系做了全面系统的总结<sup>[45]</sup>。值得一提的是,1980年代由孙敬之组织编写的《中国省市区经济地

理丛书》对省级区域的航空运输地理展开了大量研究。吴传钧(1998)、韩渊丰(2000)等地理学家的著作对航空地理也有一些涉猎<sup>[46-47]</sup>。此外,顾朝林(1992)关于航空网络的城镇关联体系<sup>[48]</sup>、朱剑如和王缉宪(1997)关于航空对世界城市建设的影响<sup>[49]</sup>、郭文炯和白英明(1997)的城市航空运输职能等级及航空联系特征<sup>[50]</sup>、彭语冰(2000)的“轴辐”网络设计<sup>[51]</sup>等研究是这一时期国内少有的与国际接轨的研究。这一时期出版了谭惠卓<sup>②</sup>主编的国内首部关于航空地理学的著作——《航空运输地理教程》<sup>[52]</sup>,该论著作为自考教材再版2次,对航空运输、交通地理等专业了解航空地理具有重要意义。

2.4 理论与实践繁荣阶段(21世纪以来)

进入21世纪以来,经济全球化和区域经济一体化进程加速,区际及国际客货交流迅速增长。随着技术的进步以及时间效率观念的增强,航空运输尤其是航空旅客运输成为区域间社会交流的重要载体,其在国际和地区经济社会发展中的地位与日俱增,国内外航空地理学领域汇聚了大量相关研究。从2001-2009年《Journal of Transport Geography》发表的航空地理论文情况分析(图2),论文总数达到42篇,占该时期论文总量的1/8强。研究的领域几乎涉及了传统交通运输地理学的所有领域,并涌现一系列关于低成本(Low-cost)航空、世界城市网络(World City Network)、气候变化与航空运输关系等新主题,而关于空港发展、航空物流、放松管制、航空运输多方式竞争等主题仍是研究热点。另

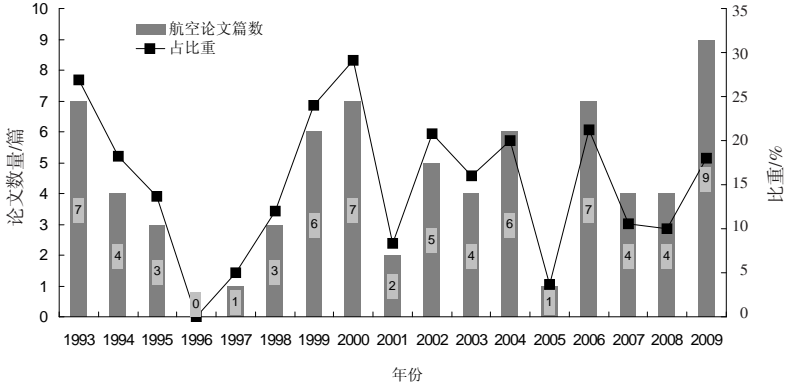


图2 1993-2009年《Journal of Transport Geography》上发表航空地理学文章情况<sup>[1]</sup>

Fig.2 Publications on air transport in Journal of Transport Geography, 1993-2009

①“轴辐(Hub-and-Spoke)译法最早由国内学者金凤君提出,并得到地理学等领域的认同。早期的译法包括:轮辐、枢纽辐射、中枢辐射、中轴辐式、集中星型、轮轴—辐条等。

②根据该书的第2版(2007年)前言部分及相关检索信息推断。



一方面,大量航空地理学著作面世,以放松管制、航空经济与管理、网络设计与规划等研究为主,标志航空地理学全面进入专项主题研究的全新时期。

国内航空地理学的发展取得了前所未有的成就。2001-2009年在主要地理类杂志上发表的航空地理类文章总数达到31篇(图3),研究主题包括航空地域系统、城镇关系体系、航空网络结构、机场运量预测、航空经济效应等主题。总体而言,与国际比较,其研究主题基本上与国外20世纪50-60年代建立的基础学科体系一致,绝大部分研究是对国内航空运输业的科学认识与实证研究。该时期国内出版的《航空运输地理》<sup>[53]</sup>所揽括的研究主题并未有增加,而译著《机场规划与管理》<sup>[54]</sup>、《航空公司战略联盟管理》<sup>[55]</sup>等对航空地理学的理论发展与实践研究大有裨益。

3 航空地理学的传统研究主题

随着人类文明的不断进步,航空地理学因其发展需要而不断扩大其研究领域。除对航空发展的经济自然基础进行分析外,早期的航空地理学研究主题主要围绕机场、航线和飞机来展开<sup>[28,56]</sup>,而目前的研究主题扩展为机场、航线、飞机、行业及其相关组合问题<sup>[1]</sup>,近百年来航空地理学研究的传统主题主要集中在以下6个方面(图4)。

3.1 史志与区域地理总图

“志”是地理学的历史源流,而区域研究则是近代地理学的重要传统主题之一。现代航空技术创新、航空新线路的开辟等早期描述可以追溯到20世纪初,如1908年《Nature》刊登的“航空进展(Progress in Aviation)”一文<sup>[57]</sup>。至30年代中后期,地理学专业杂志《Geographical Review》发表了有关全球航空运输旅行<sup>[58]</sup>和美国中部地区商业航空运输<sup>[59]</sup>的学术论文。此后,Zandt(1944)和Sealy(1966)的专著对全球、洲以及国家层面的航空运输发展和区域特征做了大量的记述,成为奠定学科发展的重要基础工作<sup>[11,33]</sup>。其后,地理学者对航空运输技术变革、制度创新、规划发展等进行较详细的历史总结<sup>[28,60-61]</sup>。在国内,早期地理学家主要是介绍国内外航空发展现状与历史进程<sup>[13-19]</sup>。此后,作为交通地理的重要组成部分,从历史和区域的视角对地理总图进行阐述成为一项基础研究工作<sup>[33-38]</sup>。国内早期交通史<sup>[62-65]</sup>及当代著作<sup>[66-69]</sup>对丰富航空地理史及区域研究提供了

重要参考。

3.2 机场格局与城镇关联体系

机场是航空运输的物质建构基础,也是现代城市对外交流的重要窗口。随着机场规模的增长,机场分布因经济格局、城镇特征、自然条件等差异出现空间分异,关注机场格局成为研究人文地表特征的重要内容。一方面从机场本体出发,以机场吞吐量、航线数量、地理区位等指标考察机场体系的集聚分散特征、服务水平、等级结构及其分类等,如研究表明中国航空体系不仅具有“鞍(Flyover)”型特征<sup>[70]</sup>,且形成以“京沪穗”为核心的“鼎”型空间系统<sup>[71]</sup>,及东中西大区域布置的非均衡格局<sup>[72]</sup>,而机场分类对未来航空运输体系的建设具有重要的意义<sup>[73-74]</sup>。近年,对全球尺度及多机场(Multi-airport)区域机场格局的关注度逐渐提升<sup>[75-76]</sup>,而多机场布局则成为大都市区的重要选择<sup>[77]</sup>。另一方面,大量研究集中于机场格局与城镇体系耦合的地理功能结构。早在20世纪中期,Taaffe就研究了机场旅客吞吐量与城镇人口之间的关联关系,并考察了基于机场吞吐量的城镇关联体系<sup>[25,27]</sup>,认识到机场格局更多的是反映上层(远程关联)结构,该研究范式及结论后来得到广泛实践和验证。其后,随着图论及

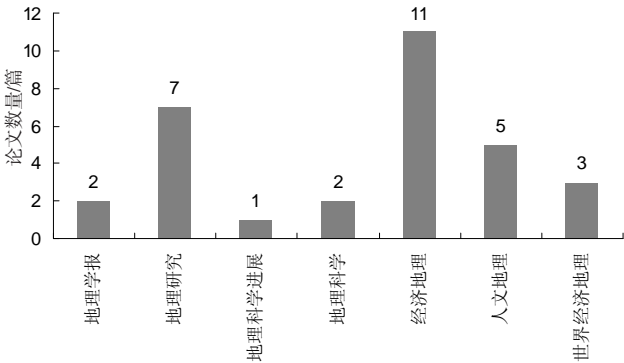


图3 2001-2009国内主要地理刊物以航空地理为主题的论文分布情况(不含遥感类)

Fig.3 Publications on air transportation in China's major geographic journals, 2001-2009

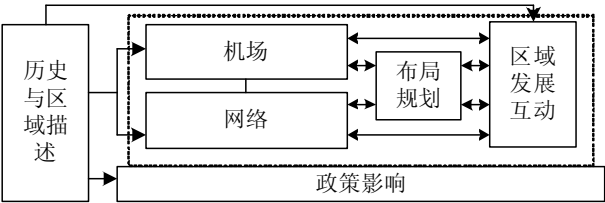


图4 航空地理学的传统研究主题

Fig.4 Research themes of air transportation

运输联系理论的发展<sup>[78-79]</sup>,基于航空流考察城镇关联体系成为研究的重要范式<sup>[28]</sup>,国内学者在该领域作了大量的实证研究<sup>[80-83]</sup>,其研究结论因时间截面及区域差异而大同小异。

### 3.3 网络结构、组织效应及优化

航线是航空运输企业的核心资源,也是机场及航空业赖以生存与发展的基础。航线相互衔接形成的网络不仅体现航空运输系统空间服务能力和水平,也反映了区域的经济社会发展水平及其对外联系程度。以运力安排为基础,可定性将航空网络的拓扑形态分为点对点、线型、环型及轴辐4类,其中点对点结构与轴辐结构是航空运输组织的基本结构<sup>[68]</sup>,其空间关联体系、空间集聚与离散程度是研究网络结构特征的基本出发点<sup>[76,84-86]</sup>。不同组织模式的航空网络下,服务能力和服务质量乃至效率与效益有着较大的差异,这一领域的研究成果主要是围绕可达性、连通性的评价及其影响展开<sup>[30-31,87-88]</sup>。轴辐网络的组织效应——竞争优势<sup>[89]</sup>、规模经济效益<sup>[90]</sup>、利润正相关性<sup>[91-92]</sup>等成为焦点。有研究表明:轴辐网络的连接数量每增加1%,网络运营成本可下降1%<sup>[93]</sup>,且轴辐网络模式能把运输组织成本降至最低水平<sup>[94]</sup>。其后,复合航空网络的空间组织效应在理论和实践方面均受到关注,有研究表明轴辐网络并不是最佳的网络结构<sup>[95-97]</sup>,点对点网络和轴辐网络各具竞争优势<sup>[98]</sup>,这为网络优化及枢纽选择奠定了基础。自航空放松管制以来,基于系统思想的网络优化问题成为研究的热点,其主要研究成果集中在基于轴辐结构的网络优化,主要涉及网络分类与建模、算法设计<sup>[99-103]</sup>。此外,从企业视角探讨航空网络结构、组织效应及其对网络系统优化的影响有待进一步研究<sup>[104-106]</sup>,尤其是低成本航空企业的加入,将进一步推动航空网络组织体系的变革,从而在一定程度上影响整个行业的效率和效益。

### 3.4 航空与区域发展的互动关系

航空运输与区域发展的互动关系表现为两重性。一方面,航空运输需求源于其机场腹地内的经济社会需要;另一方面,航空运输提供便捷运输网络,为区域经济社会的发展提供了重要的基础设施保障体系及区位优势,有助于促进区域经济发展<sup>[107]</sup>,具体表现为对就业、投资、外向型产业以及生产性服务业如金融、保险、广告和区域总部功能、旅游等具有较大的带动作用<sup>[108-114]</sup>。此外,航空运输的基础——空港可以对城市和区域经济产生影

响<sup>[115-116]</sup>,并通过原生效益、次生效益、衍生效益和永久性效益4个层面得以体现:原生效应是指创建新的航空服务设施或者扩建现有航空服务设施所产生的直接即时的影响;次生效应是指运营机场所带来的长期的经济影响;衍生效应源自被机场吸引到本地建厂的个人和产业,尤其是高科技产业对地方经济的刺激和推动;永久性效应指航空运输促使当地经济具有自我持续的增长机制<sup>[117]</sup>。与此同时,航空服务连通性的改善可以促进总部经济和相关辅助功能及就业水平的提升<sup>[118]</sup>。因此,航空港逐渐成为越来越具有吸引力的商业区位和潜在的经济增长中心<sup>[119]</sup>,对城市和区域经济发展有巨大的促进作用。20世纪70年代末,源自美国随后波及全球的民航放松管制使得民航业朝向全球化、自由化的方向发展,航空企业通过合并与重组以提高航空服务水平和组织能力,增强市场竞争力,使得对城市和区域经济发展的影响更是与日俱增。反过来,区域发展或国家宏观政策对航空运输和机场发展也会产生一定的影响。区域社会经济发展以及区际间的空间相互作用支撑着航空运输联系的强弱。随着经济社会发展需求的快速增长,空港发展与区域经济互动成为研究的重要命题<sup>[120]</sup>。

### 3.5 机场布局规划及其影响因素

机场布局是民航发展规划的重要基础,布局规划不仅需要考虑经济、社会、政治等因素,还需从国家或区域尺度的机场体系对各机场进行系统定位。美欧等发达国家民航机场体系较为完善,规划着力于基于运输需求的技术改造,相关学术研究多关注枢纽机场布局规划<sup>[54,121]</sup>。相比而言,中国民航机场发展较为缓慢,加之严格的行业管理,规划重心倾向于技术设计<sup>[67]</sup>,而该领域的地理学研究与实践直到21世纪以来才有较大进展,如中科院地理资源所参与了“十一五”民航机场布局规划研究、2020年民航机场布局规划研究等。早期机场布局理论主要依据于影响因素分析与设计,如GDP、人口等,其后逐渐由单因素分析向多因素决策转向。近期,国内学者开始从系统学的视角出发,基于GIS技术构建机场布局的多目标优化模型<sup>[122]</sup>。与此同时,民航发展网络化、信息化、国际化等趋势成为各国乃至全球共同关注的重点主题,国际空港的区位分析及规划布局问题备受关注<sup>[123-124]</sup>,与多机场区域交织成为国内外研究的热点命题<sup>[75]</sup>。



### 3.6 政策对航空业发展的影响

自现代航空发展以来,航空业因其独特的技术经济特性(如速度快、空间障碍少)而在不同区域尺度受到发展政策和制度的影响<sup>[61]</sup>。20世纪70年代末,以美国和欧盟为代表的交通运输业放松管制(Deregulation)或自由化(Liberalization)给航空运输业的发展带来深远的影响,也成为多学科持续的研究领域<sup>[28,125]</sup>。从全球/国家层面上分析,政策主要影响空域分配、航权协议、价格制定、市场准入等,从而对运输需求、机场布局、市场格局等产生影响<sup>[126]</sup>。从企业层面分析,制度影响组织效率、运输效益、市场竞争等<sup>[127]</sup>。从客户层面分析,出行成本、网络覆盖、可达性等值得关注。值得指出的是,制度对航空业发展的量化研究是航空地理学重点领域,如机场集中度<sup>[128]</sup>、可达性<sup>[87,129]</sup>等。

## 4 近年来国际研究热点领域

### 4.1 航空网络结构复杂性

进入21世纪以来,随着以社会网络分析和统计物理学为基础的复杂网络理论的兴起,航空网络结构的复杂性成为多学科关注的焦点,也为重新认识航空网络提供了重要的定量分析方法<sup>[130]</sup>。对全球<sup>[131-132]</sup>和国家<sup>[133-136]</sup>尺度的航空网络分析表明:航空网络规模小到几十个节点,大到几千个节点,均表现一定程度的“小世界(Small-world)”特征。国内学者对全国<sup>[137]</sup>和地区网络<sup>[138]</sup>的分析也证实了航空网络的“小世界”特征,并具有逐渐向无标度(Scale-free)网络演化的趋势<sup>[139]</sup>。尽管如此,航空网络在不同尺度表现出的网络结构差异仍待进一步的分析,尽管在复杂网络分析方法中嵌入空间因素对辨识航空网络的结构取得了初步进展<sup>[139]</sup>,但空间、经济、社会等综合因素尚未能纳入分析范畴,而网络结构的“小世界”、“无标度”等特征对引导网络发展和规划的实践有待进一步探讨。

因此,结合经济社会、地理等要素,基于GIS的地理复杂网络分析方法将成为揭示航空网络空间组织复杂性的研究重点。同时,对航空网络的可靠性进行分析,注重自然灾害、恐怖袭击、流行病等突发事件对航空网络的影响。此外,随着“开放天空”的推进,国际航空市场进一步融合,航空联盟的出现与发展,使得运输网络在空间上呈现高度的叠置

(Overlap),因而使得无论从微观(企业)还是从宏观(地域)层面对网络结构复杂性的研究都提出了新的挑战。

### 4.2 世界(中心)城市甄别

20世纪30年代,中心地理论的诞生为现代城镇体系研究奠定了重要理论基础。随着全球化进程加快,区域间尤其是城市间的联系不断增强。60年代,地理学家Peter Hall提出世界城市(World/Global City)的概念;80年代,Friedman以“世界城市假说”建立现代的世界城市基础理论。其后从全球或区域的网络视角对世界(中心)城市展开研究,世界城市网络这一研究热点应运而生,航空运输以其独特的网络组织关联系统被较早应用于世界城市网络分析。国外学者基于城市(都市)航空吞吐量、航线联系、航班密度、人均交通量等开展世界城市甄别研究<sup>[140-142]</sup>,但该研究一方面受到航空运输统计数据影响<sup>[143]</sup>,另一方面受航空运输组织轴辐结构影响,使得甄别结果有所偏差,提高数据可靠性及改善网络分析方法(如间接联系分析<sup>[29,78]</sup>)成为未来研究关键。值得指出的是,交通枢纽度(Hubbing)<sup>[104]</sup>、交通枢纽中心性(Centrality)与负荷中心(Load Center)<sup>[144]</sup>等理论为推进该研究的发展提供了重要理论基础。此外,国内学者基于社会网络分析方法展开的机场中心性研究<sup>[145-146]</sup>,对世界(中心)城市分析方法的完善和实证研究具有一定借鉴意义。随着城镇密集区多机场及一市多场布局越来越成为大都市地区必然的发展趋势,研究这些地区的机场布局、职能分工及航线组织也显得日益重要。

### 4.3 机场体系与航空网络演化

交通设施网络的地域组织规律及发生在该网络上之交通流的空间演化规律是交通地理学的核心研究对象<sup>[5]</sup>。从时间截面分析进入长时间尺度的演化规律分析及机理探讨是航空地理学研究的核心内容之一,机场体系与航空网络的演化在一定程度上表征了政治、经济、社会的演变。基于产业发展周期的思想和理论,并结合技术进步等因素进行定性的历史阶段划分在航空地理研究领域具有最悠久的历史和发展传统<sup>[33]</sup>。随着可利用数据的增加和分析手段的改进,拓扑形态分析被运用于演化分析<sup>[28,147]</sup>。近期,有关机场体系演化的定量研究取得了一定进展<sup>[148-149]</sup>。相比而言,有关演化机理的研究仍停滞不前,大部分研究均是基于引力模型或腹地效应及其相关影响因素的实证分析<sup>[28]</sup>。近年来,

迅速兴起的复杂网络理论为航空网络演化及其机理的研究提供了新的突破口<sup>[130-131]</sup>。

#### 4.4 航空运输市场的组织行为

航空发展取决于服务主体——运输市场,它形成由市场主体(航空公司)、客体(乘客和货物)、载体(飞机与网络)和管理组织所组成的市场体系。从研究对象来看,早期航空地理学侧重于市场化载体和客体即机场吞吐量和航线网络的研究,而忽视了市场主体<sup>[33]</sup>。随着航空放松管制和“开放天空”的融合,市场竞争更为激烈,航空企业通过重组、合并或联盟来适应市场需求<sup>[106,150]</sup>。近年来,全球及区域政治经济格局变化较大,航空运输市场主体格局变化剧烈,其在航空运输市场中扮演着日益重要的角色。企业的组织行为对运输网络、服务水平等产生深远的影响,因此航空企业成为未来航空地理学的重要研究对象。另一方面,航空市场客体对经济组织等具有深刻的影响<sup>[151]</sup>,这一领域的研究亟待进一步加强。

#### 4.5 航空系统可持续发展

可持续发展是行业追求的永恒主题,这一主题在20世纪80年代伴随资源、人口、环境等问题而备受关注<sup>[43]</sup>。航空业的可持续发展涉及3大主体:行业、企业及机场。从行业视角分析,交通运输发展进入综合运输时代,在土地、资源、环境、投资等约束下,充分发挥各种运输方式的技术经济优势,协调网络衔接、能力匹配、服务对接等成为各种运输方式发展的必然趋势,航空运输面临新时期的重大挑战,尤其是来自大规模高速铁路和高速公路系统的挑战。另一方面,航空运输的外部性(如噪声、气体排放)也成为影响其发展的重要因素。从企业视角分析,在航空放松管制、“开放天空”等政策的影响下,民航企业对航线、代码共享、组织等的控制能力成为决定企业发展的重要支撑<sup>[152]</sup>。从机场视角分析,拥挤、安全水平降低、误点率增加等严重影响机场服务效率,而机场定位、腹地经济结构、交通组织水平等成为影响空港决策的重要因素<sup>[153-154]</sup>。

### 5 结论与展望

近百年航空地理学的发展经历了学科起步、基础体系构筑、理论框架完善以及理论与实践繁荣发展4个阶段。从早期的交通史学和历史交通地理学中脱胎而出,融合经济地理学、交通规划学、系统

科学等形成了现代航空地理学,研究主题从传统的基础设施(机场)、运输工具(飞机)和航线网络3大基础不断拓展,制度、行为(企业与消费者)、可持续发展(行业、企业、机场)等在航空地理学中的关注度逐渐增加,航空网络结构的复杂性、世界(中心)城市、机场体系与航空网络的演化规律与机理、航空系统的可持续发展等问题成为国际研究的热点领域及未来研究的重点;与此同时,与传统关注航空客运体系相对应,航空货运(物流)系统研究的关注度将提升。

随着航空信息资料的不断增加以及航空资源对学术界开放程度的不断扩大,作为经济全球化和区域经济一体化重要支撑的航空运输将获得地理学者的更多关注。航空地理学的研究视角不断扩张,其研究方法和概念不断创新,并进一步加强人地关系思想与空间组织的理念,促进与相关学科的交叉合作,从而丰富并发展现代航空地理学。

自航空运输初现伊始,中国航空地理学发展紧随西方发达国家之后。然其后因历史原因,中国航空地理学错失了理论发展与实践的重要时期,直到20世纪末才步入系统的理论和实践研究阶段。随着经济社会快速发展所引发的航空运输需求与日俱增,中国航空地理学不仅需要完成对20世纪50年代以来西方航空地理学基础理论的引入及实证研究,同时须建立航空地理学研究的科学体系,积极加入国际前沿性课题的研究行列,并建立前沿性研究方向。此外,主导航空地理学研究的交通地理学学术团队、期刊、专著等亟需加强建设以满足学科发展的需要。

#### 参考文献

- [1] Vowles T M. Geographic perspective of air transportation. *The Professional Geographer*, 2006, 58(1): 12-19.
- [2] 崔功豪. 航空运输地理//中国大百科全书(地理学卷). 北京: 中国大百科全书出版社, 1995.
- [3] Martin E J, Ward E G. *Traffic Geography*. 4th ed. Chicago: The American Commerce Association, 1921.
- [4] 松尾俊朗. 交通地理学概论. 上海: 商务印书馆, 1937.
- [5] 王成金, 金凤君. 中国交通运输地理学的研究进展与展望. *地理科学进展*, 2005, 24(6): 66-78.
- [6] 金凤君, 王成金, 王姣娥, 等. 新中国交通运输地理学的发展与贡献. *经济地理*, 2009, 29(10): 1588-1593.
- [7] Johnston H H, Gregory J W. The flight from Cairo to the Cape. *Nature*, 1920, 104(2624): 632-635.
- [8] Platt R S. An air traverse of Central America. *AAAG*,

- 1934, 24(1): 29-39.
- [9] Renner G T. Human Geography in the Air Age. New York: The Macmillan Company, 1942.
- [10] MacDonald D C. Air Age Human Geography: Well Written, Instructive Book[N]. The Montreal Gazette, 1943, 6, 18.
- [11] Zandt J. The Geography of World Air Transport. Washington D.C.: The Brookings Institution, 1944.
- [12] 张资平. 人文地理学. 上海: 商务印书馆, 1924.
- [13] 白眉初. 中国人文地理. 北平: 中央地学社, 1928.
- [14] 李宗武. 人文地理ABC. 上海: 世界书局, 1929.
- [15] 张其昀. 中国经济地理. 上海: 商务印书馆, 1929.
- [16] 王益崖. 地理学. 上海: 世界书局, 1931.
- [17] 傅角今. 世界经济地理. 4版. 上海: 商务印书馆, 1944.
- [18] 葛绥成. 中国之交通. 上海: 中华书局, 1928.
- [19] 盛叙功. 交通地理. 上海: 上海印书馆, 1931.
- [20] 章勃. 日本对华之交通侵略. 上海: 商务印书馆, 1933.
- [21] 余寄. 航空经济政策论. 上海: 商务印书馆, 1934.
- [22] 龚学遂. 中国战时交通史. 上海: 商务印书馆, 1947.
- [23] Siddal M R. Transportation Geography: A Bibliography 3rd ed. Manhattan: Kansas State University Library, 1969.
- [24] Harvey D. Airline passenger traffic pattern within the United States. Journal of Air Law and Commerce, 1951, 18: 157-165.
- [25] Taaffe E J. Air transportation and United States urban distribution. Geographical Review, 1956, 46(2): 219-238.
- [26] Taaffe E J. Trends in airline passenger traffic: A geographic case study. AAAG, 1959, 49(4): 393-408.
- [27] Taaffe E J. The urban hierarchy: An air passenger definition. Economic Geography, 1962, 38(1): 1-14.
- [28] Taaffe E J, Gauthoer H L, O' Kelly M E. Geography of Transportation. 2nd ed. New Jersey: Prentice Hall, 1996.
- [29] Reed W E. Indirect connectivity and hierarchies of urban dominance. Annals of the Association of American Geographers, 1970, 60(4): 770-785.
- [30] Hebert B, Murphy E. Evolution of accessibility surface: The case of the domestic United States air transport network. Proceedings of the Association of American Geographers, 1971, 2: 75-80.
- [31] Cates. Short-run structural change in an airline network of declining connectivity. The Professional Geographer, 1978, 30(1): 9-13.
- [32] Borgstorm R E. Air travel: Toward a behavioral geography of discretionary travel//Eliot Hurst M E. Transportation Geography: Comments and Readings. New York: McGraw-Hill Book Company, 1974: 314-326.
- [33] Sealy K R. The Geography of Air Transport. Rev. ed. London: Hutchinson University Library, 1966.
- [34] 人大经济地理教研室. 中国经济地理讲义(初稿)上册. 北京: 中国人民大学, 1958.
- [35] 刘再兴. 我国的运输地理. 北京: 中华全国科学技术普及协会出版, 1955.
- [36] 张国伍, 等. 中国经济地理总论(运输地理部分). 北京: 科学出版社, 1965.
- [37] 北京经济学院. 中国经济地理(工业与交通运输部分), 1979.
- [38] 北京大学地理系经济地理教研室. 交通运输地理学讲义, 1980.
- [39] O'Kelly K E. Activity levels at hub facilities in interacting networks. Geographical Analysis, 1986, 18(4): 343-356.
- [40] O'Kelly K E, Miller H J. The hub network design problem: A review and synthesis. Journal of Transport Geography, 1994, 2(1): 31-40.
- [41] O'Kelly K E. A geographer's analysis of hub-and-spoke networks. Journal of Transport Geography, 1998, 6(3): 171-186.
- [42] Bryan D L, O'Kelly K E. Hub and spoke network in air transportation: An analytical review. Journal of Regional Science, 1999, 39(2): 275-295.
- [43] Graham B. Geography and Air Transport. New York: John Wiley & Sons, 1995.
- [44] 王德荣, 柴本澄. 中国运输布局. 北京: 科学出版社, 1986.
- [45] 陈航, 张文尝, 金凤君, 等. 中国交通运输地理. 北京: 科学出版社, 1993.
- [46] 吴传钧. 中国经济地理. 北京: 科学出版社, 1998.
- [47] 韩渊丰. 中国区域地理. 广州: 广东高等教育出版社, 2000.
- [48] 顾朝林. 中国城镇体系: 历史、现状、展望. 北京: 商务印书馆, 1992.
- [49] 朱剑如, 王缉宪. 世界城市的空间性与香港的交通建设. 地理学报, 1997, 52(s): 62-70.
- [50] 郭文炯, 白明英. 中国城市航空运输职能等级及航空联系特征的实证研究. 人文地理, 1999, 14(2): 27-31.
- [51] 彭语冰. 关于在中国发展中枢辐射航线的探讨. 中国民航学院学报, 2000, 18(5): 1-8.
- [52] 谭惠卓. 航空运输地理教程. 北京: 中国民航出版社, 2007.
- [53] 万青. 航空运输地理. 北京: 中国民航出版社, 2006.
- [54] 亚历山大. T. 韦尔斯. 机场规划与管理. 赵洪元, 译. 北京: 中国民航出版社, 2004.
- [55] 勃格特. 克莱曼, 汉努. 塞利斯特. 李勇, 孙燕平, 译. 航空公司战略联盟管理. 北京: 中国民航出版社, 2008.
- [56] Vowles T M. Aviation//Kitchin R, Thrift N. International Encyclopedia of Human Geography. Amsterdam: Elsevier, 2009: 257-264.
- [57] Bryan G H. Progress in aviation. Nature, 1908, 78(2035): 668-672.
- [58] Light R. Cruising by airplane: Narrative of a journey around the world. Geographical Review, 1935, 25(4): 565-600.



- [59] Pollog C. Commercial aviation in the American Mediterranean. *Geographical Review*, 1937, 27(2): 255-268.
- [60] Brooks P W. The development of air transport. *Journal of Transport Economics and Policy*, 1967, 1(2): 164-183.
- [61] Garrison W L, Levinson D M. *The Transportation Experience: Policy, Planning, and Deployment*. Oxford: Oxford University Press, 2006.
- [62] 谢彬. 中国邮电航空史. 上海: 中华书局, 1928.
- [63] 张心澄. 中国现代交通史. 上海: 良友图书印刷公司, 1931.
- [64] 金家凤. 中国交通之发展及其趋向. 上海: 正中书局, 1937.
- [65] 白寿彝. 中国交通史. 上海: 商务印书馆, 1937.
- [66] 姜长英. 中国航空史(中国航空史料·中国近代航空史稿). 西安: 西北工业大学出版社, 1987.
- [67] 刘功仕. 航空运输经济手册. 北京: 中国民航出版社, 1994.
- [68] 刘得一. 民航概论. 北京: 中国民航出版社, 2000.
- [69] 欧阳杰. 中国近代机场建设史(1910-1949). 北京: 航空工业出版社, 2008.
- [70] Jin Fengjun, Wang Fahui, Liu Yu. Geographic patterns of air passenger transport in China 1980-1998: Imprints of economic growth, regional inequality, and network development. *The Professional Geographer*, 2004, 56(4): 471-487.
- [71] 王姣娥, 金凤君, 孙炜, 等. 中国机场体系的空间格局及其服务水平. *地理学报*, 2006, 61(8): 829-838.
- [72] 杨秀云. 中国民用机场竞争优势的空间分布特征. *人文地理*, 2007, 6: 42-46.
- [73] 杨英宝, 钟山. 中国民航运输机场分类问题的初步探讨. *中国民用航空*, 2004, 47(11): 39-42.
- [74] 金凤君, 王成金. 轴-辐侍服理念下的中国航空网络模式构筑. *地理研究*, 2005, 24(5): 774-784.
- [75] 王姣娥, 莫辉辉, 金凤君. 世界机场空间格局及对中国的启示. *世界地理研究*, 2008, 17(3): 8-18.
- [76] Derudder B, Devriendt L, Witlox F. A spatial analysis of multiple airport cities. *Journal of Transport Geography*, 2010, 18(3): 345-353.
- [77] Bonnefoy P A, Hansman R J Jr. Scalability and Evolutionary Dynamics of Air Transportation Networks in the United States. *American Institute of Aeronautics and Astronautics*, 2007.
- [78] Nystuen J D, Dacey M F. A graph theory interpretation of nodal regions. *Papers and Proceedings of the Regional Science Association*, 1961, 7(1): 29-42.
- [79] 张文尝, 金凤君, 荣朝和, 等. 空间运输联系: 理论研究. 实证分析. 预测方法. 北京: 中国铁道出版社, 1992.
- [80] 周一星, 胡智勇. 从航空运输看中国城市体系的空间网络结构. *地理研究*, 2002, 21(3): 276-286.
- [81] 薛俊菲. 基于航空网络的中国城市体系等级结构与分布格局. *地理研究*, 2008, 27(1): 23-31.
- [82] 宋伟, 李秀伟, 修春亮. 基于城际航空客流的中国城市层级分析. *地理研究*, 2008, 27(4): 917-926.
- [83] 于涛方, 顾朝林, 李志刚. 1995年以来中国城市体系格局与演变: 基于航空流视角. *地理研究*, 2008, 27(6): 1407-1418.
- [84] Holsman A J. The structure of Australian air networks. *Australian Geographical Studies*, 1977, 15(1): 53-65.
- [85] Burghouwt G, Hakfoort H, Eck J R V. The spatial configuration of airline networks in Europe. *Journal of Air Transport Management*, 2003, 9(5): 309-323.
- [86] 潘坤友, 曹有挥, 魏鸿雁, 等. 我国航空货运网络结构研究. *经济地理*, 2007, 27(4): 653-656.
- [87] Thomas M, Thomas F Jr. Changes in the interurban accessibility of Ohio cities in the era of airline deregulation. *The Professional Geographer*, 1993, 45(4): 389-398.
- [88] 徐涛, 王黎明, 张大泉. 中国民用航空机场的可达性研究. *地理与地理信息科学*, 2008, 24(4): 88-91.
- [89] Nero G. A note on the competitive advantage of hub-and-spoke networks. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 1999, 35(4): 225-239.
- [90] Horner M W, O' Kelly M.E. Embedding economies of scale concepts for hub network design. *Journal of Transport Geography*, 2001, 9(4): 225-265.
- [91] Toh R S, Higgins R G. The impact of hub and spoke network centralization and route monopoly on domestic airline profitability. *Transportation Journal*, 1985, 24(4): 16-27.
- [92] Bazargan M, Vasigh B. Size versus efficiency: A case study of US commercial airports. *Journal of Air Transport Management*, 2003, 9(3): 187-193.
- [93] Mcshan W S, Windle R. The implication of hub and spoke routing for airline costs and competitiveness. *Logistics and Transportation Review*, 1989, 25(3): 209-230.
- [94] Jaillet P, Song G, Yu G. Airline network design and hub location problems. *Location Science*, 1996, 4(3): 195-212.
- [95] Pels E, Nijkamp P, Rietveld P. A note on the optimality of airline networks. *Economics Letters*, 2000, 69(3): 429-434.
- [96] Wojahn O W. Airline network structure and the gravity model. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 2001, 37(4): 267-279.
- [97] Kuby M J, Gray R G. The hub network design problem with stopovers and feeders: The case of federal express. *Transportation Research Part A*, 1993, 27(1): 1-12.
- [98] Yetiskul E, Matsushima K, Kobayashi K. Airline network structure with thick market externality. *Research in Transportation Economics*, 2005, 13(1): 143-163.
- [99] O'Kelly M E. Activity levels at hub facilities in interacting networks. *Geographical Analysis*, 1986, 18(4): 343-356.

- [100]Aykin T. On the location of hub facilities. *Transportation Science*, 1988, 22(2): 155-157.
- [101]O'Kelly M E. A quadratic integer program for the location of interacting hub facilities. *European Journal of Operational Research*, 1987, 32(3): 393-404.
- [102]O'Kelly M E, Miller H J. The hub network design problem: A review and synthesis. *Journal of Transport Geography*, 1994, 2(1): 31-40.
- [103]Daskin M S, Panayotopoulos N D. A Lagrangian relaxation approach to assigning aircraft to routes in hub and spoke networks. *Transportations Science*, 1989, 23(2): 91-99.
- [104]Shaw S L. Hub structures of major US passenger airlines. *Journal of Transport Geography*, 1993, 1(1): 47-58.
- [105]Lee J, Chen L G, Shaw S L. A method for the exploratory analysis of airline networks. *The Professional Geographer*, 1994, 46(4): 468-477.
- [106]金凤君, 孙炜, 萧世伦. 我国航空公司重组及其对航空网络结构的影响. *地理科学进展*, 2005, 24(2): 59-68.
- [107]Tam R, Hansman R. Impact of air transportation on regional economic and social connectivity in the United States. *American Institute of Aeronautics and Astronautics*, 2002.
- [108]Air Transport Action Group (ATAG). *The Economic and Social Benefits of Air Transport*[R]. Geneva, Switzerland, 2005.
- [109]Button K, Lall S, Stough R. High-technology employment and hub airports. *Journal of Air Transport Management*, 1999, 5(1): 53-59.
- [110]Button, K, Taylor S. International air transportation and economic development. *Journal of Air Transport Management*, 2000, 6(4): 209-222.
- [111]Irwin M D, Kasarda J D. Air passenger linkages and employment growth in U. S. metropolitan areas. *American Sociological Review*, 1991, 56(4): 524-537.
- [112]曹允春. 中枢机场在区域经济发展中的作用. *经济地理*, 2001, 21(2): 240-243.
- [113]周蓓, 孙华程. 我国民航运输机场格局与旅游资源分布状况初探. *中国民航飞行学院学报*, 2002, 16(3): 32-35.
- [114]周平德. 穗、深、港港口和航空物流对经济增长的作用. *经济地理*, 2009, 29(6): 946-951.
- [115]Bowen J. Airline hubs in Southeast Asia: national economic development and nodal accessibility. *Journal of Transport Geography*, 2000, 8(1): 25-41.
- [116]Park Y. An analysis for the competitive strength of Asian major airports. *Journal of Air Transport Management*, 2003, 9(6): 353-360.
- [117]宋伟, 杨卡. 民用航空机场对城市和区域经济发展的影响. *地理科学*, 2006, 26(6): 649-657.
- [118]Ivy R L, Fik T J, Malecki E J. Changes in air service connectivity and employment. *Environment and Planning A*, 1995, 27(2): 165-179.
- [119]Berg L, Klink H, Pol P. Airports as centres of economic growth. *Transport Reviews*, 1996, 16(1): 55-65.
- [120]吕斌, 彭立维. 我国空港都市区的形成条件与趋势研究. *地域研究与开发*, 2007, 26(2): 11-15.
- [121]Caves R E, Gosling G D. *Strategic Airport Planning*. Pergamon: Oxford, 1999.
- [122]王姣娥, 莫辉辉. 民航机场布局方法探讨. *中国民航飞行学院学报*, 2009, 20(6): 7-10.
- [123]王晓川. 国际航空港近邻区域发展分析与借鉴. *城市规划汇刊*, 2003, 3: 65-68.
- [124]姚士谋, 陈彩虹, 王书国, 等. 国际空港的大区位及其规划布局问题. *人文地理*, 2006, 21(1): 56-59.
- [125]Goetz A R, Sutton C. The geography of deregulation in the U.S. airline industry. *Annals of the Association of American Geographers*, 1997, 87(2): 238-263.
- [126]Belobaba P, Odoni A, Barnhart C. *The Global Airline Industry*. Chichester: John Wiley & Sons, 2009.
- [127]Cento A. *The Airline Industry: Challenges in the 21st Century*. Alemania: Physica-Verlag Heidelberg, 2009.
- [128]Aisling J. Reynolds-Feighan. The impact of U.S. airline deregulation on airport traffic patterns. *Geographical Analysis*, 1998, 30(3): 234-253.
- [129]Chou Y H. Nodal accessibility of air transportation in the United States. *Transportation Planning and Technology*, 1993, 17(1): 1985-1989.
- [130]莫辉辉, 王姣娥, 金凤君. 交通运输网络的复杂性研究. *地理科学进展*, 2008, 27(6): 112-120.
- [131]Amaral L A N, Scala A, Barthélemy M, et al. Classes of small-world networks. *PNAS*, 2000, 97(21): 11149-11152.
- [132]Guimerá R, Mossa S, Turttschi A, et al. The worldwide air transportation network: Anomalous centrality, community structure, and cities global roles. *PNAS*, 2005, 102(22): 7794-7799.
- [133]Chi L P, Wang R, Su H, et al. Structural properties of US freight network. *CHIN. PHYS. LETT*, 2003, 20(8): 1393-1396.
- [134]He Y, Zhu X Y, He D R. Statistics and developing model of Chinese skyway network. *International Journal of Modern Physics B*, 2004, 18(17/19): 2595-2598.
- [135]Li W, Cai X. Empirical analysis of a scale-free railway network in China. *Physica A*, 2007, 382(2): 693-703.
- [136]Bagler G. Analysis of the airport network of India as a complex weighted network. *Physica A*, 2008, 387(12): 2972-2980.
- [137]刘宏鲲, 周涛. 中国城市航空网络的实证研究与分析. *物理学报*, 2007, 56(1): 106-112.
- [138]周蓓. 四川省民用航空网络的拓扑结构特征及其演化机制. *经济地理*, 2006, 26(4): 577-580.
- [139]王姣娥, 莫辉辉, 金凤君. 中国航空网络空间结构的复杂性研究. *地理学报*, 2009, 64(8): 899-909.
- [140]Cattan N. Attractivity and internationalisation of major

- European cities: The example of air traffic. *Urban Studies*, 1995, 32(2): 303-312.
- [141] Keeling D J. Transport and the World City paradigm// Knox P L, Taylor P J. *World cities in a World-system*. Cambridge: Cambridge University Press, 1995: 115-131.
- [142] Rimmer P J. International transport and communications interactions between Pacific Asia's emerging world cities//Lo Fu-chen, Yeung Yue-man. *Emerging World Cities in Pacific Asia*. Tokyo: United Nations University Press, 1996.
- [143] Derudder B, Witlox F. Mapping world city networks through airline flows: Context, relevance, and problems. *Journal of Transport Geography*, 2008, 16(5): 305-312.
- [144] Fleming D K, Hayuth Y. Spatial characteristics of transportation hubs: Centrality and intermediacy. *Journal of Transport Geography*, 1994, 2(1): 3-18.
- [145] 周蓓. 四川省航空旅游网络空间特征及其结构优化研究. *地理与地理信息科学*, 2008, 24(1): 100-104.
- [146] 莫辉辉, 金凤君, 刘毅, 等. 机场系统中心性的网络分析方法与实证. *地理科学*, 2010, 30(2): 204-212.
- [147] Holsman A J, Crawford S A. Air transport growth in under-developed regions. *Australian Geographer*, 1975, 13(2): 79-90.
- [148] Goetz A R. Air passenger transportation and growth in the US urban system, 1950-1987. *Growth and Change*, 1992, Spring: 217-238.
- [149] 管驰明. 50多年来中国空港布局演变及其影响因素. *经济地理*, 2008, 28(3): 445-449, 474.
- [150] 陆锋, 萧世伦, 陈洁, 等. 中国民航客运(国内)空间格局与竞争态势分析. *地球信息科学*, 2005, 7(4): 43-49.
- [151] Neal, Z. Refining the air traffic approach to city networks. *Urban Studies*, 2010, 47(10): 2195-2215.
- [152] 王新安, 杨秀云. 基于资源观的民航企业可持续竞争优势的培育. *人文地理*, 2005, 20(1): 99-102.
- [153] 黄天元. 宁波航空港的区位优势及其可持续发展战略研究. *人文地理*, 1999, 14(2): 66-69.
- [154] 薛凤旋, 郑艳婷. 国际航空货运枢纽港: 以航空物流为新竞争优势. *国际城市规划*, 2007, 22(1): 48-57.

## Geography of Air Transportation: Retrospect & Prospect

WANG Jiao'e<sup>1</sup>, MO Huihui<sup>2</sup>

(1. Key Laboratory of Regional Sustainable Development Modeling, Institute of Geographic Sciences and Natural Resources Research, Beijing 100101, China; 2. China Communications and Transportation Association, Beijing 100053, China)

**Abstract:** Geography of air transportation is an important part and also a young branch of transportation geography. Based on the study of air transportation in China, Europe and the US, this paper divided the air transportation research into four stages in terms of evolution process, technique innovation, and institutional change: (1) initial stage before the 1950s, (2) theory foundation stage from the 1950s to the 1970s, (3) theory improvement stage from the 1980s to the 1990s, and (4) theory and practice prosperity stage since the 21st century. The research theme of air transportation geography includes several aspects as follows: history records and regional geography study, airport distribution and urban system, network structure and organization effect, the relationship between air transportation organization and regional development, airport planning and its influencing factors, and influence of policies on air industry. Recently, geographers have paid more attention to the development of air transportation as related data are available to the public. The complexity of air transportation network, world (central) city, evolution of the airport system and air transportation network and their development mechanism, and sustainable development of the air transport system are gradually becoming research focuses of international research. In the early stage, China's air transportation research almost kept in the same pace with developed countries but unfortunately lagged behind greatly in the middle stage because of the historical reasons. Recently, more and more scholars have focused in this field with the rapid socio-economic development. Today, Chinese scholars need not only to introduce the fundamental theories since the 1950s and perform case studies, but also to construct the systematic frame of air transportation research. Besides, Chinese scholars are encouraged to constitute the academic framework of air transportation geography and to join in international cooperation.

**Key words:** geography of air transportation; research progress; international trends; prospect

本文引用格式:

王姣娥, 莫辉辉. 航空运输地理学研究进展与展望. *地理科学进展*, 2011, 30(6): 670-680.