流域交通运输地理研究进展与展望

吴 威,梁双波,曹有挥*

(中国科学院流域地理学重点实验室,中国科学院南京地理与湖泊研究所,南京 210008)

摘 要:流域交通运输地理在区域交通运输地理的理论框架下,以流域或流域的部分区域为研究区开展交通运输组织及其发展规律研究。论文从交通网络、运输联系及区域效应3个方面梳理了流域交通运输地理的研究进展。

① 交通网络相关研究围绕综合交通发展水平与格局、网络连接特征与可达性、港口体系的空间结构与供应链等展开,多式联运正成为流域交通运输地理研究的新热点;② 运输联系主要研究客货运输联系规律和交通流,流域物流地理的研究重点正从物流产业布局与企业选址向物流网络与空间组织、物流供应链转移;③ 区域效应偏重于经济增长效应,资源环境生态效应研究较为薄弱。基于流域交通运输地理研究的侧重点,结合当前研究进展与流域发展需求,流域交通运输地理学未来应重视流域港口体系与水运发展,关注综合交通网络构建与运输组织以及多式联运,探究不同层级流域交通运输间的关联性,同时应加强流域交通运输的资源环境与生态效应研究。

关键词:流域交通运输地理;区域交通运输地理;交通网络;运输联系;区域效应

交通运输地理学是研究交通运输地域组织及其发展规律的地理学的子学科(陈航等, 2000)。根据研究地域,交通运输地理学包括区域和城市2个分支,其中区域交通运输地理主要分析世界、国家或者经济区域交通线网和客货流,以及区内经济结构的空間联系和区际物质联系的内在规律等(杨吾杨等, 1986)。长期以来,中国一直重视区域交通运输地理,理论研究和实践应用均有很大发展,目前交通运输地理学也主要以区域为核心进行理论构筑(王成金等, 2005)。流域指的是以分水岭为界限的一个由河流、湖泊或海洋等水系所覆盖的区域,以及由该水系构成的集水区,是一个以水系为纽带,具有要素的相对独立性和系统的完整性的人地系统,也是解决经济社会发展与资源环境矛盾最为理想的空間单元(陆玉麒等, 2017)。以流域为单元进行发展规划与管理起源于20世纪30年代的田纳西河流域开发计划,1949年以来,政府与相关学者

对流域开发与规划保持着持续的关注,改革开放后,流域综合规划成为关注热点(马仁峰等, 2010),作为流域发展基础支撑的流域交通运输,亦引起了政府和学界的重视。流域是一类特殊的区域类型,因此,流域交通运输地理以区域交通运输地理的理论体系为遵循,以不同层级流域或流域中的部分地域(比如河流三角洲地区)为研究区,以综合交通体系为研究对象开展交通运输地域组织与发展规律研究,与区域交通运输地理相比,在研究侧重点上有其独特性。流域以水系为纽带,其交通运输应重点关注水运与港口;流域具有相对独立性和系统完整性,其交通运输应重点关注连接具有不同自然地理条件与经济社会特征的上中下游地区的综合交通走廊(网络);流域具有层级性特征,其交通运输还应关注不同层级流域交通运输组织与规律及其间关联性。系统梳理流域交通运输地理学研究进展,结合流域交通运输特性及当前流域发展的现实需

收稿日期:2019-03-06;修订日期:2019-06-25。

基金项目:国家自然科学基金项目(41871122, 41771139, 41671132);中国科学院战略性先导科技专项(A类)子课题(XDA20010101)。[Foundation: National Natural Science Foundation of China, No. 41871122, 41771139 and 41671132; Strategic Priority Research Program of Chinese Academy of Sciences (Class A), No. XDA20010101.]

第一作者简介:吴威(1976—),男,安徽歙县人,博士,副研究员,从事区域发展与运输地理研究。E-mail: wwu@niglas.ac.cn

*通信作者简介:曹有挥(1959—),男,江苏邗江人,博士,研究员,从事区域发展与运输地理研究。E-mail: yhcao@niglas.ac.cn

引用格式:吴威,梁双波,曹有挥. 2019. 流域交通运输地理研究进展与展望[J]. 地理科学进展, 38(8): 1136-1149. [Wu W, Liang S B, Cao Y H. 2019. Progress and trend in research on watershed transport geography. Progress in Geography, 38(8): 1136-1149.]
DOI: 10.18306/dlkxjz.2019.08.003

求,展望流域交通运输地理未来研究方向,不仅将丰富交通运输地理学研究内容,也将为流域交通运输乃至流域发展提供一定的决策参考。

按照区域交通运输地理的理论体系以及流域交通运输地理关注的侧重点,本文从交通网络、运输联系、区域效应3个方面梳理相关研究进展,其中交通网络部分在阐述综合交通网络地域组织基础上,考虑到水系和港口水运在流域交通中的独特地位,介绍了港口体系及与之紧密关联的多式联运研究进展;运输联系部分在阐述运输联系与交通流基础上,考虑到近年来物流在流域经济发展中日益凸显的地位,介绍了物流地理研究进展;区域效应部分在阐述经济效应的同时,考虑到流域人地关系的敏感性以及当前对生态文明建设的高度重视,介绍了资源环境生态效应研究进展。相对于丰富的区域交通运输地理研究成果,对流域交通运输开展的专门研究总体较少,因此在文章组织上,首先针对以上各部分内容介绍了区域交通运输地理的关注重点,这也是流域交通运输地理相关研究开展的理论与方法支撑,进而梳理评述以流域为研究对象的研究进展,并在此基础上,展望了流域交通运输地理未来研究方向与前景。

1 流域交通网络

1.1 综合交通网络地域组织

1.1.1 构建指标体系分析流域交通发展水平与格局

流域具有系统完整性特征,将流域交通体系作为一个整体综合分析其发展状况,一直是交通运输地理学者关注的重点。为科学评价综合交通发展水平,考虑到交通系统的复杂性以及不同交通方式经济技术特征的差异,学者根据评价目标的不同,发展了各有侧重的评价指标体系和分析方法。交通网络密度为最常用的指标,比如Sylvie(2001)综合了铁路、公路和内河航道网络密度作为衡量交通发展水平的指标;亦有学者将交通网络指标与运输量乃至经济社会统计数据等相结合测算交通发展水平,比如杨令宾等(2008)采用国家铁路、内河航道及公路里程以及货运量、货运周转量等因子,通过主成分分析对综合交通发展水平的定量评价,石京等(2013)综合路网密度、客货运量与周转量、交通运输业投资及地区生产总值等开展的定量研究。流域交通实证层面,吕承超等(2016)分析了长

江经济带陆路交通网络密度,认为长江经济带陆路交通存在空间非均衡和空间极化特征,且铁路的极化特征更为突出;吴威等(2018)考虑不同空间尺度交通需求的差异,从国内交通和国际交通2个层面构建了区域综合交通发展水平评价指标体系,对比分析了京津冀、长三角、珠三角3大城市群综合交通发展水平。

考虑到交通基础设施对经济社会发展的支撑作用不能脱离区域经济社会发展背景,金凤君等(2008)提出了交通优势度的概念,认为区域交通优势度是该区域交通基础设施网络所反映的支持其经济社会活动的水平与状态,反映在“量”“质”和“势”3个方面,具有相对独立而具体的内涵,只有综合集成才能真正反映一个区域交通环境的优劣。据此,其他学者根据研究需要,对区域交通优势度模型进行了针对性的改进并应用于流域交通的实证分析中,比如吴威等(2011)通过公路网络密度、综合交通可达性以及关键节点联系便捷性3要素的综合集成,对长江三角洲地区交通优势度空间格局的探讨;周宁等(2012)采用路网密度、交通设施邻近度和区位优势度构建集成模型,对黄淮海平原交通优势度空间格局的分析。

1.1.2 借助网络与空间分析探究流域交通网络连接特征与通达水平

作为典型的网络型基础设施,交通网络的连通状况深刻影响其功能的发挥。因此,网络连接特征以及基于网络连通的可达性研究一直是交通网络研究的焦点。金凤君等(2004)通过网络连接程度、网络伸展程度和网络扩展潜力等指标研究了20世纪中国铁路网的扩展过程,莫辉辉等(2009)采用连通度指数对中国铁路网合理规模进行了测算;近年来,复杂网络理论与分析方法成为相关研究的主流(莫辉辉等,2008),在航空、水运、轨道、公路等领域得到了广泛应用。中国航空网络整体结构呈现“小世界网络”特点,随着航空运输的进一步发展,航空网络空间结构将日趋复杂化(王姣娥等,2009);中国航运集装箱网络整体结构亦呈“小世界网络”特点,长江港口体系中心性较低,但中转功能较强(杜超等,2016);Xu等(2018)采用多项复杂网络指标,对中国高铁网络发展过程与规律进行了分析,发现中国政府在高铁长远规划中采用的是均衡发展模式;基于复杂网络理论构建的中国高速铁路列车服务网络中,部分车站在可达性、枢纽影响力以及服务

频率特征上具有不匹配性(张琦等, 2018);江苏省公路网络的复杂性分析表明,公路网络通达性较好,但面对选择性攻击的网络稳定性极差(马杰良等, 2011)。

交通可达性衡量交通网络中各节点相互作用机会的大小(Hansen, 1959),自该概念提出以来,其内涵及测度指标不断丰富,时间可达性、机会可达性以及经济潜能等可达性指标广泛应用于交通网络、交通区位的测度与评价(Gutiérrez et al, 1999),不同指标在研究中起到了相互补充的作用,规模尺度深刻影响可达性的均衡性(Gutiérrez, 2001),交通网络行车速度的设定对时间可达性产生显著影响(曹小曙等, 2005)。流域交通可达性的相关研究,相对集中于长江和珠江流域,以陆路交通为主,兼顾其他交通方式或综合交通。港珠澳大桥的建设将明显提升香港和澳门的时间可达性,而对珠三角其他中心城市影响较弱,同时减少香港和珠海往珠三角西岸和东岸的运输费用(吴旗韬等, 2012);综合空间距离、时间距离和经济潜能指标,珠三角公路网络可达性以广-佛都市区为核心向外围递减,随着路网的完善,整体可达性提升明显,等级差异趋于缩小(梅志熊等, 2014)。公路网络的逐步完善以及高速铁路的运营大幅优化了长三角地区城市可达性,前者引致了区域可达性的均衡化趋势(吴威, 2006),而后者带来的可达性差异化提升促进了区域空间格局的重塑和空间极化的加剧(姚兆钊等, 2018);在长江中游城市群,高速铁路的快速发展带来了显著的时间压缩效益,区域差异早期有所扩大,后期则逐渐弱化(梅琳等, 2018)。基于公路网络的普适性和铁路、水运、航空运输对港站的依赖性,吴威等(2007)构建了综合交通可达性模型对长三角地区进行了研究,发现综合交通可达性较好的区域大致沿交通主轴呈“Z”形。此外,曹小曙等(2018)从市域、县域、乡镇3个尺度分析了高铁对关中原城市群可达性影响的差异特征。

1.2 流域港口体系

流域以水系为纽带,水运在流域综合交通运输中具有独特的地位和作用,港口体系是流域对内对外交通联系的重要基础设施和运输系统。交通运输地理学对流域港口体系的研究主要从以下3个方面展开。

1.2.1 以流域陆向腹地为主要考量探索港口体系空间结构及其演进模型是早期研究的主流

Taaffe等(1963)在对尼日利亚沿海各港相互竞

争的考察中发现,随着陆向腹地交通网络的不断完善,在规模经济机制的作用下,港口体系内货流向具有初始优势的区域中心枢纽港集中,“中心化”现象应运而生,据此归纳出港口体系空间结构六阶段演进模型。此后,一系列实证研究都证实了Taaffe的假说(Rimmer, 1967; Hilling, 1977; Slack, 1990)。需要指出的是,Rimmer在对澳大利亚港口体系演进研究中,除了验证了Taaffe假说,还第一次发现了“集中化”进程进入一定阶段后会出现“分散化”或“去中心化”现象。1980年代初,Hayuth(1981)通过对美国沿海集装箱港口体系的研究,发现了Taaffe模型所揭示的类似规律,即随着陆向腹地交通网络的完善,在规模经济等机制的作用下,集装箱源逐步向某一具有先发优势的中心枢纽港集中,但随着规模不经济、岸线资源约束等限制性因素的加剧,箱源开始向枢纽中心港周围条件较好的边缘港口分流,即出现“边缘挑战现象”。中国长江沿岸港口体系以及珠江三角洲集装箱港口体系空间结构演进均呈现出集中化特征,进一步验证和丰富了Hayuth模型(曹有挥, 1999; Wang et al, 2000)。

1.2.2 把流域海向腹地纳入分析范畴探讨港口体系空间演进规律是后期研究的主要趋向

针对早期港口体系空间演进模型只考虑了陆向腹地的缺陷,地理学家逐步将海向腹地的各种因素纳入研究范畴。在继承Hayuth思想的基础上,Notteboom等(2005)充分考虑了陆向与海向腹地多种因素的相互影响特别是物流服务的影响,将离岸中转港纳入到Hayuth五阶段模型中,由此提出了“港口区域化”六阶段概念。尔后,Rodrigue等(2010)进一步研究了“港口区域化”,认为离岸中转枢纽、全球航运网络等一系列地理、技术和市场等因素是推动“港口区域化”的主要动力。2000年以来,国内学者综合考虑陆向和海向腹地,在Hayuth模型和Notteboom修正模型基础上,结合中国实际先后提出了改进型模型,如曹有挥等(2003)把中国沿海集装箱港口体系演化分为“低级均衡—非均衡—相对集中—非均衡高度集中—高级均衡”4个阶段;王成金等(2011)将长江三角洲集装箱港口体系演化分为“前集装箱化—技术试验—巩固集中化—枢纽港中心化—扩散化与离岸枢纽—港口区域化”6个阶段。这一时期另一项重要进展就是发现了港口体系的“多门户化”趋势,即单一门户港为多门户港所取代。Goulielmos等(2002)首先发现了多门户港

口区域的出现,此后 Notteboom(2007, 2009)的研究也发现了这一趋势。Notteboom(2010)进一步发现,大型船公司服务网络的扩展等是多门户港口出现的主要原因。与此同时,中国港口体系“多门户化”趋势也引起了学者关注,如王列辉(2007)在分析上海、宁波两港空间关系时,就观察到宁波港门户功能不断增强的趋势;Liu等(2013)通过解析珠三角集装箱港口体系由单一门户向三门户并存格局的转型过程,诠释了重塑港口体系空间格局的动力机制;Feng等(2013)以环渤海地区中小型港口的发展进程为案例,分析了中国多港门户区的边缘港挑战效应。

1.2.3 基于网络视角对流域港口体系供应链结构与功能研究渐成当前新的范式和热点

在全球化加深的背景下,基于全球价值链的港口体系供应链结构与功能的网络组织研究应运而生。UNCTAD(1992)根据集装箱化和多式联运背景,首次提出“港口代际理论”,尤其强调第三代港口的配送功能,认为配送和货流、信息流密不可分,是运输链中必不可少的环节,也是准时生产方式广受欢迎的重要原因。1999年,UNCTAD(1999)进一步提出第四代港口概念,认为它是一种“空间上相互分离、但通过共同的运营者或管理部门而联系在一起”的港(群)组织,实际上链接这些港口的一个重要纽带便是供应链管理。Robinson(2002)认为,在迅速全球化的市场环境里,随着全球供应链的建立,原先把港口作为海陆运输界面上节点的传统研究范式已不合时宜,而应将港口视为价值链系统的一个元素。Wang等(2010)以构筑多重贸易中心概念模型为依据,对中国香港港由货运枢纽向全球价值链中心转型的障碍因素、转型途径进行了分析,认为低价值的拆箱、拼箱、仓储等货流服务应向深圳、广州港转移,而高价值的金融、保险、现代物流等航运服务业应在香港港集聚。

随着全球物流网络发展和运输管制的放松,港口之间的竞争逐步演变为港口所参与的供应链之间的竞争,因而,港口(体系)供应链网络优化受到广泛关注。韩增林等(2002)在分析世界集装箱运输发展及集装箱网络构成的基础上,对中国国际集装箱运输网络的布局及优化进行了研究;Wang等(2011)对中国集装箱港口(体系)国际海向市场的地理连通性进行了模拟研究,认为轴辐式结构只部分适用于中国,据此提出一种淡化枢纽的替代性空间组织结

构。Zheng等(2016)根据中国长江航道特点及沿江区域经济“新常态”特征,从集装箱航线的规模经济视角,运用混合整数线性规划模型分析了影响船舶操作和集装箱处理的费用数据,认为轴辐模式适用于长江港口体系航线网络的结构设计。此外,梁双波等(2011)、曹有挥等(2017)以枢纽港口城市上海为例,从企业视角分别探讨了港口供应链后勤服务要素及港航服务业的区位择优与空间组织机理。

1.3 流域多式联运

多式联运能够充分利用不同运输方式的经济技术特长,降低运输成本和提升运输效率(Iannone, 2012),近年来已成为交通运输地理学者研究的热点,尤其是以港口水运为核心组织的多式联运。

国外学者的相关研究,主要集中于多式联运发展的影响因素与竞争力、多式联运网络设计与路径优化等方面。欧洲内陆多式联运及公路运输的比较研究表明,与公路运输相比,多式联运是保证北欧海港运量绝对值和相对值进一步增长的唯一方法,其前提是联运价格必须低于公路运输价格(Antoine et al, 2010);但在多式联运中,仅仅考虑货币成本的降低远远不够,还要考虑客户满意度及运输过程中的环境问题、运输时间的不确定性等,这是影响多式联运可靠性的最关键因素(Demir et al, 2015);Larranaga等(2016)、Marino等(2017)验证了这一结论,认为托运人在运输模式选择时受到多种因素影响,其中货币成本和运输时间是最重要的考虑因素,仅靠降低成本很难实现运输模式的转移,提升多式联运备选方案的可靠性更为有效。由于多式联运链中时间价值的重要性,使得货物的价值对多式联运市场产生着明显的影响,在货物价值很高的情况下,多式联运就没有市场(Pekin et al, 2013)。内河运输和码头运营的规模经济影响着多式联运成本,采用集装箱作业方式将提高内河多式联运的竞争力,而码头规模小则将降低其竞争力(Wiegmanns et al, 2015),因而提升中小码头的吞吐规模在降低成本中的作用明显(Smid et al, 2016)。内陆港口与沿海港口在发展多式联运合作的主动性上存在差别,内陆港口往往在公共机构的干预下寻求与沿海港口的整合,而沿海港口则有意地利用内陆节点作为海港参与者,以扩大其腹地并获取可自由支配的货物(Wilmsmeier et al, 2011)。Sugawara(2017)认为即便在美国,建立从港口到内陆地区有效的多式联运走廊也面临着众多障碍。多式

联运网络设计与路径优化模拟领域,Meng等(2011)、Konings等(2013)探讨了轴辐式多式联运网络设计;Wang等(2017)研究了具有规模经济、拥挤效应和运营者路径选择行为3个显著特征的离散式多式联运问题;Cedillo-Campos等(2017)则构建了用于对多式联运货物运输组合的供应链流动性进行建模和预测的数学框架。尽管欧美国家在多式联运领域已作了大量探索,但目前在以内河运输整合多式联运供应链的相关研究中还存在诸多挑战,内河多式联运的战略合作、有效运作、管理决策以及外部成本等仍需进一步关注(Caris et al, 2014)。

中国对于多式联运的系统研究起步较晚。2016年底,经国务院同意,交通运输部等18部委联合印发了《关于进一步鼓励开展多式联运工作的通知》,多式联运发展逐渐引起学者的关注,随后大量成果公开发表,但仍以概念内涵阐释、政策解读及对策建议等为主,部分学者开展了多式联运网络与路径设计的定量研究,但从流域综合视角,以港口水运为核心开展的多式联运理论探讨与实证研究仍较为缺乏。许奇等(2018)认为中国铁路集装箱多式联运在运输价格、运输时效、联运机制以及联运设施等方面均存在一定问题,并从明确联运发展重点、多元化合作策略、多式联运组织与技术、服务产品定价策略、物流化发展等方面提出了对策建议;万杰等(2019)综合考虑运输成本、运输时间以及物流服务质量等多目标,设计了遗传算法和蚁群算法相结合的混合整数规划模型,以期解决客户需求侧重点不同情况下多式联运路径选择问题。

2 流域运输联系与物流地理

2.1 运输联系与交通流

空间运输联系指的是在自然、社会、经济诸要素综合作用下,区域间通过运输网络、运输设施进行旅客和货物交流产生的相互联系与作用(金凤君, 1993)。交通网络通过空间运输联系支撑区域经济社会发展,空间运输联系是影响区域经济社会发展的更为直接的因素,一直是交通运输地理学者研究的重点,近年来随着地理学领域对“流空间”的关注,采用交通流数据分析交通网络的结构与功能成为新的热点。张文尝等较早开展了相关研究,分析了中国客运联系规律,系统阐述了空间运输联系的概念、特征、研究方法,揭示了运输联系生成、增

长、分布、交流等基本规律(张文尝等, 1988; 张文尝等, 1992)。金凤君等(1991)通过构建了区域联系强度对省际铁路货运联系进行了系统研究,并深层次分析了运输联系与经济联系两个概念之间的依存关系和差异(金凤君等, 1993)。

客流数据直观反映了运输联系的强弱,但获取难度较大,为此,构建区域客流分布模型用以模拟和预测区域间的客流联系引起了学者的关注(杨齐, 1990)。同时,客货流的替代性指标也广泛应用于运输联系的相关研究中,由于客运班次数据较易获取,且在一定程度上反映了客流大小,故成为最为常见的替代性指标,尤其是高铁班次数据,已成为近年来客流联系研究的关键性替代指标。李平华等(2005)采用城市客、货运量分析了长江三角洲空间运输联系的时空演化过程与特征,发现客运量的廊道效应逐渐显著,而货运量极化效应减弱;罗震东等(2011)分析了长三角地区公路和高铁客运班次数据,认为南北两翼的城市间联系网络相对独立,随着高铁的发展,城市间联系呈“等级+网络”的演化趋势,随后采用客车载客量修正公路班次数据,探讨了安徽省城市间公路客流联系的强度与结构特征(2012);通过对高铁客运班次数据的分析,韦胜等(2019)阐释了长三角高铁网络的空间分布特征及形成机制。此外,亦有学者通过问卷调查获取城际高铁客流信息,进而从微观个体角度研究基于城际高铁的跨城流动特征。京津城际高铁流具有显著的空间极化特征,城际高铁某种程度上缩短了时空距离,但对居住地点和工作空间的迁移改变有限,客流以商务出行和休闲旅游出行为主(吴康等, 2013),长三角地区城际高铁流也呈现相似的特征,上海、南京、杭州、宁波跨城客流密集,休闲活动异城市化逐步兴起,但居住或工作仍以本地化为主导(武前波等, 2018)。

2.2 流域物流地理

随着流域生产、消费网络发育,流域物流空间加速重构、功能不断重组,物流空间组织在流域资源优化配置中的作用日益凸显。从物流空间转型的视角看,国内外学者的相关研究主要体现在以下3个方面。

2.2.1 基于“交通区位”的流域物流产业布局与企业区位选择

流域中心城市和门户枢纽城市由于具有良好的物流基础设施条件,往往成为物流区位选择的

“热点”地区。如O'Connor(2010)对全球城市区域物流活动区位的分析认为,物流功能区由于靠近流域门户区位且能提供柔性化的物流服务,在吸引3PL、4PL企业集聚过程中表现出明显优势。首尔等流域门户城市由于在市场规模与增长潜力、地理区位和市场可达性、交通设施与政治稳定性、劳动力资源保障水平以及柔性化管理等方面的优势,对欧洲和北美跨国公司区域物流配送中心布局具有较强的吸引力(Oum et al, 2004)。但物流业态的集聚不仅需要基础设施的供给,更需要城市拥有综合性的物流服务能力(Rodrigue et al, 2007),流域/城市内部物流业发展与物流区位差异等开始受到关注。如Ciddell(2010)采用基尼系数法对美国部分大都市运输仓储等物流活动空间分布的研究显示,不同物流职能的空间分布呈分散态势,物流活动有向郊区和内陆配送中心集中的趋势。van den Heuvel等(2013)、Vidal Vieira等(2015)分别对荷兰北布拉班特省、圣保罗都市区的物流设施、物流企业的区位变迁、货运分配等进行了研究。在国内,王成金(2008)对物流企业空间组织网络进行了研究,分析了不同职能部门的空间取向;曹卫东(2011)、梁双波等(2013)分别对苏州、上海等流域中心城市物流企业布局进行了分析。

2.2.2 基于“流空间”的流域物流网络与空间组织

伴随信息技术的发展和多源数据融合的加速,“流”成为影响流域物流空间重构的重要因素(王姣娥等, 2018)。利用物流企业数据、货运联系数据,通过研究物流企业职能分工、流域中心城市与其他城市“总部-分支机构”联系强度、城市间货流联系,进而对物流网络与空间组织展开研究受到关注。如O'Connor等(2015)以第三方物流企业为对象,分析了物流企业总部及分公司的区域分布及其对全球物流功能的影响;宗会明等(2015)以腾邦物流为案例,研究了全球化下地方综合服务型物流企业的空间网络组织,认为企业空间网络呈“核心-边缘”模式。流域视角的相关研究相对集中于长江流域,宓泽锋等(2018)运用水路货运、公路货运、铁路货运、航空货运OD数据,分析了长江经济带物流联系格局;Liang等(2019)采用国际货代总部-子公司联系数据,测度了长三角国际货代网络演化过程。此外,基于物流数据的流域城市网络空间组织模式也受到关注,如叶磊等(2016)以全国百强物流企业的总部-分支机构为基础数据,研究了长三角城市网络结构。

2.2.3 基于全球生产网络的流域物流供应链管理

全球贸易网络的变化加快了供应链网络集成(Seoane et al, 2013),围绕流域大型门户枢纽(港口、机场)物流组织展开的供应链中心相关研究应运而生。如Horst等(2008)从企业组织结构视角探讨了船公司、码头运营商、货代等在港口腹地供应链发展中的相互作用。Notteboom等(2008)、Rodrigue等(2010)在港口区域化的相关研究开始关注腹地的供应链管理问题;Clott等(2016)以芝加哥都市区为案例,分析了港口陆向腹地的供应链整合。在国内,肖作鹏等(2015)研究了网络零售对物流供应链的重组效应及其空间影响;梁双波等(2017)借助复杂网络等方法,探究了长三角物流供应链时空演化及影响因素。

3 流域交通运输效应

交通运输效应的研究成果非常丰富,交通运输地理学侧重于发展效应的探讨,近年来资源环境生态效应逐渐进入了学者的视野。

3.1 流域交通运输的经济效应

交通运输发展的经济增长效应历来是相关研究的热点。生产要素的流动是塑造全球经济结构并驱动其演化的主要因素(殷洁等, 2018),交通发展使得生产要素和产品在一个更广的市场范围内流通,拓展了市场范围,使产业布局在更大范围内扩展成为可能,有利于产业结构调整升级及生产地域分工格局的形成(Marazzo et al, 2010)。交通发展在推进城镇化进程,引导、优化区域城镇布局上起着积极的作用,长江经济带陆路交通综合可达性与城镇化耦合协调度总体较高(汪德根等, 2018)。交通网络构成了城市群的骨架,对城市群地域结构和经济发展空间起着优化作用,是塑造城市群空间形态与结构的关键性因素(Kim, 2000; 金凤君, 2012)。交通网络格局影响着城市群空间运输联系格局以及要素流动,对居民出行行为以及企业区位、居民居住和就业区位等均产生深刻影响(Padeiro, 2013; Guirao et al, 2018)。随着高速铁路的快速发展,近年来其区域效应引起了广泛关注。高速铁路建设对区域经济发展、产业与人口集聚等产生积极影响,将进一步加剧人口和产业的集聚,带动沿线经济的发展(王姣娥等, 2014),显著改变经济活动的空间再分配(Li et al, 2016),推动城市郊区化(于涛等, 2012),拓展城市市场潜力(张萌萌等, 2014),深刻影

响城市旅游联系格局及旅游流空间结构(汪德根等, 2016)。中国高速铁路的建设缩小了地方经济差距, 促进了区域经济的一体化(Cheng et al, 2015; Chen et al, 2017), 但西北欧地区的实证研究发现高速铁路的修建设没有达到缩小区域不平衡的目标(Vickerman, 2015), 高铁的开通促进了后工业化地区核心区域, 而非其周边次区域经济发展(Chen et al, 2012), 由此将加剧区域不平衡。

3.2 流域交通运输的资源环境生态效应

在资源利用方面, 研究成果相对集中于土地资源, 部分学者对交通网络建设中土地资源的集约利用, 土地利用变化的特征规律和生态效应, 以及有效整合土地利用和交通网络的方法等进行了探讨(张兵, 2007; 唐秀美等, 2016)。交通系统对环境产生的污染主要包括大气污染、水污染、噪声污染、振动以及电磁干扰等, 其中大气污染、噪声污染以及城市轨道交通的振动污染受到了较多的关注, 研究尺度涵盖宏观层面的国家、区域交通, 微观层面的城市道路及轨道交通, 以及枢纽节点等(梁对对等, 2016; Centobelli et al, 2017; Saidi et al, 2017)。交通运输是仅次于能源和工业的第三大CO₂排放部门, 交通运输业的碳排放测度、特征分析以及影响因素和减排途径受到了学界的广泛关注(Li et al, 2017; Lu et al, 2017)。流域是人地关系敏感而复杂的地域单元, 交通对流域资源环境生态产生着明显影响, 但总体而言, 从流域的整体性出发探究交通运输发展对资源环境生态影响的研究仍较少。

4 结论与展望

4.1 研究结论

流域交通运输地理以区域交通运输地理学的理论框架为基本遵循, 以多层级流域或流域的部分区域为研究区, 以综合交通体系为研究对象开展交通运输地域组织与发展规律研究。按照区域交通运输地理的理论体系以及流域交通运输特征, 文章从交通网络、运输联系及区域效应等3个方面梳理了相关研究进展。① 交通网络主要探讨综合交通网络发展水平与格局、网络连接特征与可达性等; 流域港口体系的研究重点正从空间结构及演进向供应链结构与功能转移; 多式联运成为流域交通运输地理研究的新热点, 重点关注多式联运发展的影响因素与竞争力、多式联运网络设计与路径优化等

方面, 但中国相关研究仍以概念内涵阐释、政策解读及对策建议等为主。② 运输联系主要研究客货运输联系规律, 近年来通过交通流数据分析交通网络的结构与功能成为新热点, 其中客运班次作为交通流的替代性指标被广泛应用于相关研究中; 流域物流地理的研究重点, 正从基于“交通区位”分析的物流产业布局与企业选址向基于“流空间”范式的物流网络与空间组织, 以及基于全球生产网络的供应链相关研究转移。③ 区域效应偏重于经济增长效应, 交通运输对拓展市场范围、促进生产地域分工格局形成、推进城镇化进程、塑造城市群空间形态与结构以及居民出行行为等方面均产生着深刻的影响; 流域交通的资源环境生态效应主要关注土地资源集约利用、土地利用变化的生态效应、交通系统的污染效应及CO₂排放效应等方面。

总体而言, 区域交通运输地理丰富的研究成果为流域交通运输地理研究提供了相关理论与方法支撑, 以流域为研究区的实证研究成果也日益增多。但流域作为独特的一类区域类型, 其以水系为纽带, 具有要素独立性与系统整体性等特征, 在相关研究中未能得到足够的重视, 针对流域交通运输地理的研究范式仍未建立, 需重点关注的研究领域仍需相关学者进一步聚焦。

4.2 研究展望与前景

流域交通运输地理关注的侧重点包括港口体系与水运发展, 流域综合交通走廊(网络)构建及其运输组织, 不同层级流域交通运输组织、规律及其间关联性等。从当前研究现状来看, 对于港口体系的研究, 无论国外还是国内, 均以海港体系与航运网络为重点, 对内河水运研究的重视不够, 这与中国内河水运优势远未发挥以及当前大力发展内河水运的现实需求不相符; 对于综合交通运输组织, 无论是理论研究还是发展实践, 中国在多式联运上与欧美发达国家均存在着明显差距, 这与中国联运水平低以及当前大力推进多式联运的现实需求不相符; 对于流域交通运输的层级性特征, 无论是大尺度还是小尺度视角, 对不同层级流域交通运输间的关联性和依赖性关注不多, 这与中国大江大河流域层级复杂以及当前大力推进流域综合发展规划的现实需求不相符; 此外, 从交通运输的区域效应上, 关注重点仍在经济发展效应, 对于资源环境与生态效应关注不多, 这与中国资源环境约束紧以及当前大力推进生态文明建设的现实需求不相符。

为此,流域交通运输地理学未来应加强以下4个方面的研究:①将内河港口与海港纳入统一的分析框架,加强流域港口航运体系地域组织、流域港口体系供应链结构与功能研究;②通过理论、方法引进与创新,加强重点流域多式联运发展的实证研究,分析多式联运发展的影响因素,明确存在问题,开展多式联运网络设计与路径优化等模拟;③通过多尺度、多层次流域交通运输组织与发展规律的理论研究与实证研究,探讨不同层级流域间交通运输组织的关联性;④立足生态文明建设要求,加强流域交通运输的资源环境与生态效应研究。

当前,以流域为单元开展的发展规划已成为中国区域发展战略中的重要组成部分,如经中共中央政治局审议通过的《长江经济带发展规划纲要》,经国务院批准的《淮河生态经济带发展规划》等,从本质上说,长江经济带和淮河生态经济带均是流域经济区。长江经济带是中国发展的战略性和导向性的重点区域,推动长江经济带发展应以三级流域为基本单元,谋划经济社会和资源环境的协调发展(陆玉麒等,2017);在交通运输支撑上,应着力提升长江航运通过能力,强化水陆联运,优化综合交通网络格局和运输组织(刘毅等,2015),这就需要从多层次流域视角开展交通运输组织与规律的研究。为此,从中国经济社会发展需求看,基于不同层级流域交通运输的不同特性,加强流域交通运输地理研究,能为新时期提升综合交通运能、促进中国区域协调发展提供理论支撑和实证参考,具有良好的研究前景。

参考文献(References)

曹卫东. 2011. 城市物流企业区位分布的空间格局及其演化:以苏州市为例[J]. 地理研究, 30(11): 1997-2007. [Cao W D. Spatial pattern and location evolution of urban logistics enterprises: Taking Suzhou as an example. *Geographical Research*, 30(11): 1997-2007.]

曹小曙, 薛德升, 闫小培. 2005. 中国干线公路网络联结的城市通达性[J]. 地理学报, 60(6): 903-910. [Cao X S, Xue D S, Yan X P. 2005. A study on the urban accessibility of national trunk highway system in China. *Acta Geographica Sinica*, 60(6): 903-910.]

曹小曙, 郑慧玲, 李涛, 等. 2018. 高铁对关中平原城市群可达性影响的多尺度分析[J]. 经济地理, 38(12): 60-67. [Cao X S, Zheng H L, Li T, et al. 2018. Multi-scale analysis of the effect of high-speed railway on accessibility of Guanzhong Plain urban agglomeration. *Economic Geogra-*

phy, 38(12): 60-67.]

曹有挥. 1999. 长江沿岸港口体系空间结构研究[J]. 地理学报, 54(3): 233-240. [Cao Y H. 1999. On the spatial structure of Changjiang River port system. *Acta Geographica Sinica*, 54(3): 233-240.]

曹有挥, 曹卫东, 金世胜, 等. 2003. 中国沿海集装箱港口体系的形成演化机理[J]. 地理学报, 58(3): 424-432. [Cao Y H, Cao W D, Jin S S, et al. 2003. The evolution mechanism of the costal container port system of China. *Acta Geographica Sinica*, 58(3): 424-432.]

曹有挥, 梁双波, 吴威, 等. 2017. 枢纽港口城市港航服务业空间组织机理:以上海市为例[J]. 地理学报, 72(12): 2226-2240. [Cao Y H, Liang S B, Wu W, et al. 2017. Spatial organizational mechanism of port and shipping service industry in a hub port city: A case study of Shanghai. *Acta Geographica Sinica*, 72(12): 2226-2240.]

陈航, 张文尝, 金凤君, 等. 2000. 中国交通地理[M]. 北京: 科学出版社. [Chen H, Zhang W C, Jin F J. et al. 2000. *Transportation geography of China*. Beijing, China: Science Press.]

杜超, 王姣娥, 莫辉辉. 2016. 中国集装箱航运网络空间格局及复杂性研究[J]. 长江流域资源与环境, 25(2): 190-198. [Du C, Wang J E, Mo H H. 2016. Spatial pattern analysis of China container shipping network on complex theory. *Resources and Environment in the Yangtze Basin*, 25(2): 190-198.]

韩增林, 安筱鹏, 王利, 等. 2002. 中国国际集装箱运输网络的布局与优化[J]. 地理学报, 57(4): 479-488. [Han Z L, An X P, Wang L, et al. 2002. Distribution and optimization of container transportation network in China. *Acta Geographica Sinica*, 57(4): 479-488.]

金凤君. 1993. 运输联系与经济联系共存发展研究[J]. 经济地理, 13(1): 76-80. [Jin F J. 1993. A study of coexistent development of transport and economic connection. *Economic Geography*, 13(1): 76-80.]

金凤君. 2012. 基础设施与经济社会空间组织[M]. 北京: 科学出版社. [Jin F J. 2012. *Spatial organization of infrastructure, economy and society*. Beijing, China: Science Press.]

金凤君, 王成金, 李秀伟. 2008. 中国区域交通优势的甄别方法及应用分析[J]. 地理学报, 63(8): 787-798. [Jin F J, Wang C J, Li X W. 2008. Discrimination method and its application analysis of regional transport superiority. *Acta Geographica Sinica*, 63(8): 787-798.]

金凤君, 王姣娥. 2004. 20世纪中国铁路网扩展及其空间通达性[J]. 地理学报, 59(2): 293-302. [Jin F J, Wang J E. 2004. Railway network expansion and spatial accessibility analysis in China: 1906-2000. *Acta Geographica Sinica*, 59(2): 293-302.]

金凤君, 张文尝. 1991. 省级区域铁路货运联系的系统研究

- [J]. 地理科学, 11(1): 19-29. [Jing F J, Zhang W C. 1991. Research on interprovincial transport linkage in railway freight system. *Scientia Geographica Sinica*, 11(1): 19-29.]
- 李平华, 陆玉麒. 2005. 长江三角洲空间运输联系与经济结构的时空演化特征分析 [J]. 中国人口·资源与环境, 15(1): 15-20. [Li P H, Lu Y Q. 2005. Study on time-spatial revolution characteristics of spatial linkage and economic structure. *China Population, Resources and Environment*, 15(1): 15-20.]
- 梁对对, 孙永海, 曹罡, 等. 2016. 面向城市规划管理的交通环境影响分析研究 [J]. 城市规划, 40(7): 32-37. [Liang D D, Sun Y H, Cao G, et al. 2016. Analysis on traffic environmental impacts oriented at urban planning administration. *City Planning Review*, 40(7): 32-37.]
- 梁双波, 曹有挥, 吴威. 2011. 港口后勤区域形成演化机理: 以上海港为例 [J]. 地理研究, 30(12): 2150-2162. [Liang S B, Cao Y H, Wu W. 2011. Evolutionary mechanism of port backup area: A case study of Shanghai. *Geographical Research*, 30(12): 2150-2162.]
- 梁双波, 曹有挥, 吴威. 2013. 上海大都市区港口物流企业的空间格局演化 [J]. 地理研究, 32(8): 1448-1456. [Liang S B, Cao Y H, Wu W. 2013. Spatial pattern evolution of port logistics enterprises in Shanghai metropolitan area. *Geographical Research*, 32(8): 1448-1456.]
- 梁双波, 曹有挥, 吴威. 2017. 长江三角洲地区物流供应链时空演化及其影响因素: 基于国际货代企业数据的分析 [J]. 地理研究, 36(11): 2156-2170. [Liang S B, Cao Y H, Wu W. 2017. Spatial-temporal evolution and influencing factors of Logistics supply chain in the Yangtze River Delta: Based on international freight forwarding enterprises data. *Geographical Research*, 36(11): 2156-2170.]
- 刘毅, 周成虎, 王传胜, 等. 2015. 长江经济带建设的若干问题与建议 [J]. 地理科学进展, 34(11): 1345-1355. [Liu Y, Zhou C H, Wang C S, et al. 2015. Issues and suggestions on the construction of the Yangtze River Economic Belt. *Progress in Geography*, 34(11): 1345-1355.]
- 陆玉麒, 董平. 2017. 新时期推进长江经济带发展的三大新思路 [J]. 地理研究, 36(4): 605-615. [Lu Y Q, Dong P. 2017. Three innovation thoughts on promoting the development of Yangtze River Economic Belt in the new era. *Geographical Research*, 36(4): 605-615.]
- 罗震东, 何鹤鸣, 耿磊. 2011. 基于客运交通流的长江三角洲功能多中心结构研究 [J]. 城市规划学刊, (2): 16-23. [Luo Z D, He H M, Geng L. 2011. Analysis of the polycentric structure of Yangtze River Delta based on passenger traffic flow. *Urban Planning Forum*, (2): 16-23.]
- 罗震东, 何鹤鸣, 韦江绿. 2012. 基于公路客流趋势的省域城市间关系与结构研究: 以安徽省为例 [J]. 地理科学, 32(10): 1193-1199. [Luo Z D, He H M, Wei J L. 2012. Inter-city relationship and structure of Anhui province from the perspective of passenger flow of coach travel. *Scientia Geographica Sinica*, 32(10): 1193-1199.]
- 吕承超, 宫攀. 2016. 长江经济带交通基础设施空间均衡度研究 [J]. 人文地理, 31(6): 137-144, 160. [Lv C C, Gong P. 2016. Research on spatial equilibrium of transport infrastructure in the Yangtze River Economic Belt. *Human Geography*, 31(6): 137-144, 160.]
- 马杰良, 曹祥, 周旭辉. 2011. 江苏省公路网络复杂性分析 [J]. 南京信息工程大学学报(自然科学版), 3(2): 158-163. [Ma J L, Cao X, Zhou X H. 2011. Complexity analysis of Jiangsu road network. *Journal of Nanjing University of Information Science and Technology (Natural Science Edition)*, 3(2): 158-163.]
- 马仁锋, 沈玉芳, 王筱春, 等. 2010. “移民-产业-环境”共生型流域规划方法研究: 以金沙江中游为例 [J]. 长江流域资源与环境, 19(5): 493-499. [Ma R F, Shen Y F, Wang X C, et al. 2010. On the method of "immigrant-industry-environment" symbiosis watershed planning in the middle reach of the Jinsha River. *Resources and Environment in the Yangtze Basin*, 19(5): 493-499.]
- 梅琳, 黄柏石, 敖荣军, 等. 2018. 长江中游城市群高速铁路可达性格局及演变 [J]. 经济地理, 38(6): 62-68. [Mei L, Huang B S, Ao R J, et al. 2018. The spatial pattern and evolution of high-speed railways accessibility of the urban agglomeration in the middle reaches of the Yangtze River. *Economic Geography*, 38(6): 62-68.]
- 梅志雄, 徐颂军, 欧阳军. 2014. 珠三角公路网络可达性空间格局及其演化 [J]. 热带地理, 34(1): 27-33, 103. [Mei Z X, Xu S J, Ouyang J. 2014. Spatial pattern and evolution of road network accessibility in the Pearl River Delta. *Tropical Geography*, 34(1): 27-33, 103.]
- 宓泽锋, 曾刚. 2018. 不同尺度下长江经济带物流联系格局、特征及影响因素研究 [J]. 地理科学, 38(7): 1079-1088. [Mi Z F, Zeng G. 2018. Logistics linkage pattern, characteristics and influencing factors of the Yangtze River Economic Belt under different scales. *Scientia Geographica Sinica*, 38(7): 1079-1088.]
- 莫辉辉, 金凤君, 王姣娥. 2009. 铁路网规模测算方法体系与实证分析 [J]. 地理研究, 29(4): 901-910. [Mo H H, Jin F J, Wang J E. 2009. Methodology of estimating railway network scale: A case study of China. *Geographical Research*, 29(4): 901-910.]
- 莫辉辉, 王姣娥, 金凤君. 2008. 交通运输网络的复杂性研究 [J]. 地理科学进展, 27(6): 112-120. [Mo H H, Wang J E, Jin F J. 2008. Complexity perspectives on transportation network. *Progress in Geography*, 27(6): 112-120.]

- 石京, 周念, 吴照章. 2013. 中国区域综合交通体系发展水平量化分析 [J]. 铁道工程学报, (5): 1-6. [Shi J, Zhou N, Wu Z Z. 2013. Quantitative analysis of development level of regional comprehensive transportation system in China. *Journal of Railway Engineering Society*, (5): 1-6.]
- 唐秀美, 刘玉, 任艳敏, 等. 2016. 高速公路沿线土地利用及生态系统服务价值变化研究 [J]. 中国农业大学学报, (2): 132-139. [Tang X M, Liu Y, Ren Y M, et al. 2016. Land use and ecosystem service value change along expressway. *Journal of China Agricultural University*, (2): 132-139.]
- 万杰, 魏爽. 2019. 基于混合算法的多目标多式联运路径选择问题研究 [J]. 天津大学学报(自然科学与工程技术版), 52(3): 285-292. [Wan J, Wei S. 2019. Multi-objective multimodal transportation path selection based on hybrid algorithm. *Journal of Tianjin University (Science and Technology)*, 52(3): 285-292.]
- 汪德根, 钱佳, 牛玉. 2016. 高铁网络化下中国城市旅游场强空间格局及演化 [J]. 地理学报, 71(10): 1784-1800. [Wang D G, Qian J, Niu Y. 2016. Evolution and spatial characteristics of tourism field strength of cities under high speed rail network in China. *Acta Geographica Sinica*, 71(10): 1784-1800.]
- 汪德根, 孙枫. 2018. 长江经济带陆路交通可达性与城镇化空间耦合协调度 [J]. 地理科学, 38(7): 1089-1097. [Wang D G, Sun F. 2018. Geographic patterns and coupling-coordination between urbanization and land transportation accessibility in the Yangtze River Economic Zone. *Scientia Geographica Sinica*, 38(7): 1089-1097.]
- 王成金. 2008. 中国物流企业的空间组织网络 [J]. 地理学报, 63(2): 135-146. [Wang C J. 2008. Spatial organizational network of logistics company in China. *Acta Geographica Sinica*, 63(2): 135-146.]
- 王成金, Ducruet C. 2011. 现代集装箱港口体系演进理论与实证 [J]. 地理研究, 30(3): 397-409. [Wang C J, Ducruet C. 2011. Theoretical model of container port system and its empirical research in Yangtze River Delta. *Geographical Research*, 30(3): 397-409.]
- 王成金, 金凤君. 2005. 中国交通运输地理学的研究进展与展望 [J]. 地理科学进展, 24(6): 66-78. [Wang C J, Jin F J. 2005. Research history and developing trend about geography of transportation in China. *Progress in Geography*, 24(6): 66-78.]
- 王姣娥, 焦敬娟, 黄洁, 等. 2018. 交通发展区位测度的理论与方法 [J]. 地理学报, 73(4): 666-676. [Wang J E, Jiao J J, Huang J, et al. 2018. Theory and methodology of transportation development and location measures. *Acta Geographica Sinica*, 73(4): 666-676.]
- 王姣娥, 焦敬娟, 金凤君. 2014. 高速铁路对中国城市空间相互作用强度的影响 [J]. 地理学报, 69(12): 1833-1846. [Wang J E, Jiao J J, Jin F J. 2014. Spatial effects of high-speed rails on interurban economic linkages in China. *Acta Geographica Sinica*, 69(12): 1833-1846.]
- 王姣娥, 莫辉辉, 金凤君. 2009. 中国航空网络空间结构的复杂性 [J]. 地理学报, 64(8): 899-910. [Wang J E, Mo H H, Jin F J. 2009. Spatial structural characteristics of Chinese aviation network based on complex network theory. *Acta Geographica Sinica*, 64(8): 899-910.]
- 王列辉. 2007. 上海宁波两港空间关系研究 [J]. 地理研究, 26(6): 1209-1220. [Wang L H. 2007. The port spatial relationship between Shanghai and Ningbo. *Geographical Research*, 26(6): 1209-1220.]
- 韦胜, 徐建刚, 马海涛. 2019. 长三角高铁网络结构特征及形成机制 [J]. 长江流域资源与环境, 28(4): 739-746. [Wei S, Xu J G, Ma H T. 2019. Structural characteristics and formation mechanism of high-speed rail network in Yangtze River Delta. *Resources and Environment in the Yangtze Basin*, 28(4): 739-746.]
- 吴康, 方创琳, 赵渺希, 等. 2013. 京津城际高速铁路影响下的跨城流动空间特征 [J]. 地理学报, 68(2): 159-174. [Wu K, Fang C L, Zhao M X, et al. 2013. The intercity space of flow influenced by high-speed rail: A case study for the rail transit passenger behavior between Beijing and Tianjin. *Acta Geographica Sinica*, 68(2): 159-174.]
- 吴旗韬, 张虹鸥, 叶玉瑶, 等. 2012. 基于交通可达性的港珠澳大桥时空压缩效应 [J]. 地理学报, 67(6): 723-732. [Wu Q T, Zhang H O, Ye Y Y, et al. 2012. The impact of Hong Kong-Zhuhai-Macao Bridge on the traffic pattern of Pearl River Delta. *Acta Geographica Sinica*, 67(6): 723-732.]
- 吴威, 曹有挥, 曹卫东, 等. 2006. 长江三角洲公路网络的可达性空间格局及其演化 [J]. 地理学报, 61(10): 1065-1074. [Wu W, Cao Y H, Cao W D, et al. 2006. Spatial structure and evolution of highway accessibility in the Yangtze River Delta. *Acta Geographica Sinica*, 61(10): 1065-1074.]
- 吴威, 曹有挥, 曹卫东, 等. 2007. 开放条件下长江三角洲区域的综合交通可达性空间格局 [J]. 地理研究, 26(2): 391-402. [Wu W, Cao Y H, Cao W D, et al. 2007. On the patterns of integrated transportation accessibility in the Yangtze River Delta under opening conditions. *Geographical Research*, 26(2): 391-402.]
- 吴威, 曹有挥, 曹卫东, 等. 2011. 长三角地区交通优势度的空间格局分析 [J]. 地理研究, 30(12): 2199-2208. [Wu W, Cao Y H, Cao W D, et al. 2011. The pattern of transportation superiority in Yangtze River Delta. *Geographical Research*, 30(12): 2199-2208.]

- 吴威, 曹有挥, 张璐璐, 等. 2018. 基于供给侧的区域交通发展水平综合评价: 以中国三大城市群为例[J]. 地理科学, 38(4): 495-503. [Wu W, Cao Y H, Zhang L L, et al. 2018. Comprehensive evaluation of regional integrated transportation development level based on supply-front perspective: Taking three major urban agglomerations in China as examples. *Scientia Geographica Sinica*, 38(4): 495-503.]
- 武前波, 陶娇娇, 吴康, 等. 2018. 长江三角洲高铁日常通勤行为特征研究: 以沪杭、宁杭、杭甬线为例[J]. 城市规划, 42(8): 90-97, 122. [Wu Q B, Tao J J, Wu K, et al. 2018. Daily commuting behavior characteristics of high speed rail passengers in the Yangtze River Delta Region: A case study of Shanghai- Hangzhou, Nanjing- Hangzhou, and Hangzhou-Ningbo Lines. *City Planning Review*, 42(8): 90-97, 122.]
- 肖作鹏, 王缉宪, 孙永海. 2015. 网络零售对物流供应链的重组效应及其空间影响[J]. 经济地理, 35(12): 98-104. [Xiao Z P, Wang J X, Sun Y M. 2015. The geographical impact of e-retailing and supply chain reconfiguration. *Economic Geography*, 35(12): 98-104.]
- 许奇, 何天建, 毛保华. 2018. 我国铁路集装箱多式联运现状与发展[J]. 交通运输系统工程与信息, 18(6): 194-200. [Xu Q, He T J, Mao B H. 2018. The development and current status of railway container intermodal transport in China. *Journal of Transportation Systems Engineering and Information Technology*, 18(6): 194-200.]
- 杨令宾, 邹滨, 黄宇萍, 等. 2008. 中国省际综合交通发展水平的定量分析[J]. 经济地理, 28(2): 279-282. [Yang L B, Zou B, Huang Y P et al. 2008. The quantitative analysis of the synthetically degree of traffic development among different provinces in China. *Economic Geography*, 28(2): 279-282.]
- 杨齐. 1990. 区域客流分布模型的研究[J]. 地理学报, 45(3): 264-274. [Yang Q. 1990. A model for interregional trip distribution. *Acta Geographica Sinica*, 45(3): 264-274.]
- 杨吾扬, 张国伍, 张文尝, 等. 1986. 交通运输地理学[M]. 北京: 商务印书馆. [Yang W Y, Zhang G W, Zhang W C, et al. 1986. *Transportation geography*. Beijing, China: Commercial Press.]
- 姚兆钊, 曹卫东, 岳洋, 等. 2018. 高铁对泛长三角地区可达性格局影响[J]. 长江流域资源与环境, 27(10): 2182-2193. [Yao Z Z, Cao W D, Yue Y, et al. 2018. Study on the influence of high-speed railway on the accessibility pattern in Pan- Yangtze River Delta Region. *Resources and Environment in the Yangtze Basin*, 27(10): 2182-2193.]
- 叶磊, 段学军. 2016. 基于物流企业的长三角地区城市网络结构[J]. 地理科学进展, 35(5): 622-631. [Ye L, Duan X J. 2016. City network structure of the Yangtze River Delta region based on logistics enterprise network. *Progress in Geography*, 35(5): 622-631.]
- 殷洁, 罗小龙, 肖菲. 2018. 国家级新区的空间生产与治理尺度建构[J]. 人文地理, 33(3): 89-96. [Yin J, Luo X L, Xiao F. 2018. The space production and governance rescaling of state-level areas. *Human Geography*, 33(3): 89-96.]
- 于涛, 陈昭, 朱鹏宇. 2012. 高铁驱动中国城市郊区化的特征与机制研究: 以京沪高铁为例[J]. 地理科学, 32(9): 1041-1046. [Yu T, Chen Z, Zhu P Y. 2012. Characteristics and mechanism of high speed rail-driven suburbanization in china: A case study of Beijing- Shanghai high- speed rail. *Scientia Geographica Sinica*, 32(9): 1041-1046.]
- 张兵. 2007. 陆路快速交通的区域效应研究[D]. 北京: 中国科学院地理科学与资源研究所. [Zhang B. 2007. *Research on the regional effect of land rapid transportation*. Beijing, China: Graduate University of Chinese Academy of Sciences.]
- 张萌萌, 孟晓晨. 2014. 高速铁路对中国城市市场潜力的影响: 基于铁路客运可达性的分析[J]. 地理科学进展, 33(12): 1650-1658. [Zhang M M, Meng X C. 2014. Impact of high-speed railway on market potential of Chinese cities: Analyses based on railway passenger transport accessibility. *Progress in Geography*, 33(12): 1650-1658.]
- 张琦, 马艳. 2018. 基于复杂网络的高速铁路列车服务网络特征[J]. 铁道科学与工程学报, 15(3): 559-566. [Zhang Q, Ma Y. 2018. High-speed train service network features based on complex network. *Journal of Railway Science and Engineering*, 15(3): 559-566.]
- 张文尝. 1988. 我国客流的影响因素及其地区差异研究[J]. 地理学报, 43(3): 191-200. [Zhang W C. 1988. Spatial differentiation of passenger traffic and its determining factors in China. *Acta Geographica Sinica*, 43(3): 191-200.]
- 张文尝, 金凤君, 荣朝和, 等. 1992. 空间运输联系: 理论研究, 实证分析, 预测方法[M]. 北京: 中国铁道出版社. [Zhang W C, Jin F J, Rong C H, et al. 1992. *Spatial transportation linkage: Theoretical study, experimental analysis and forecasting methods*. Beijing, China: China Railway Press.]
- 周宁, 郝晋珉, 邢婷婷, 等. 2012. 黄淮海平原地区交通优势度的空间格局[J]. 经济地理, 32(8): 91-96. [Zhou N, Hao J M, Xing T T, et al. 2012. The spatial configuration of transport superiority in Huang- Huai- Hai Plain. *Economic Geography*, 32(8): 91-96.]
- 宗会明, 周素红, 闫小培. 2015. 全球化下地方综合服务型物流企业的空间网络组织: 以腾邦物流为案例. 地理研究, 34(5): 944-952. [Zong H M, Zhou S H, Yan X P. 2015. Research on the spatial network of local comprehensive third-party logistics company under globalization: Taking Teng-

- bang Logistics Company as a case. *Geographical Research*, 34(5): 944-952.]
- Antoine F, Franc P. 2010. Hinterland transportation in Europe: Combined transport versus road transport [J]. *Journal of Transport Geography*, 18(4): 548-556.
- Caris A, Limbourg S, Macharis C, et al. 2014. Integration of inland waterway transport in the intermodal supply chain: A taxonomy of research challenges [J]. *Journal of Transport Geography*, 41: 126-136.
- Cedillo-Campos M G, Lizarraga-Lizarraga G, Martner-Peyrelongue C D. 2017. MiF3 method: Modeling intermodal fluidity freight flows [J]. *Research in Transportation Economics*, 61: 15-24.
- Centobelli P, Cerchione R, Esposito E. 2017. Environmental sustainability in the service industry of transportation and logistics service providers: Systematic literature review and research directions [J]. *Transportation Research Part D: Transport & Environment*, 53: 454-470.
- Chen C L, Hall P. 2012. The wider spatial-economic impacts of high-speed trains: A comparative case study of Manchester and Lille sub-regions [J]. *Journal of Transport Geography*, 24: 89-110.
- Chen Z, Haynes K E. 2017. Impact of high-speed rail on regional economic disparity in China [J]. *Journal of Transport Geography*, 65: 80-91.
- Cheng Y, Loo B P Y, Vickerman R. 2015. High-speed rail networks, economic integration and regional specialisation in China and Europe [J]. *Travel Behaviour and Society*, 2(1): 1-14.
- Cidell J. 2010. Concentration and decentralization: The new geography of freight distribution in US metropolitan areas [J]. *Journal of Transport Geography*, 18(3): 363-371.
- Clott C, Hartman B C. 2016. Supply chain integration, land-side operations and port accessibility in metropolitan Chicago [J]. *Journal of Transport Geography*, 51: 130-139.
- Demir E, Burgholzer W, Hrušovský M, et al. 2015. A green intermodal service network design problem with travel time uncertainty [J]. *Transportation Research Part B: Methodological*, 93(7): 789-807.
- Feng L, Notteboom T. 2013. Peripheral challenge by small and medium sized ports (SMPs) in multi-port gateway regions: The case study of northeast of China [J]. *Polish Maritime Research*, 20(S1): 55-66.
- Goulielmos A M, Pardali A I. 2002. Container ports in Mediterranean Sea: A supply and demand analysis in the age of globalization [J]. *International Journal of Transport Economics*, 29(1): 91-117.
- Guirao B, Campa J L, Casado-Sanz N. 2018. Labour mobility between cities and metropolitan integration: The role of high speed rail commuting in Spain [J]. *Cities*, 78: 140-154.
- Gutiérrez J, Gómez G. 1999. The impact of orbital motorways on intra-metropolitan accessibility: The case of Madrid's M-40 [J]. *Journal of Transport Geography*, 7(1): 1-15.
- Gutiérrez J. 2001. Location, economic potential and daily accessibility: An analysis of the accessibility impact of the high-speed line Madrid-Barcelona-French border [J]. *Journal of Transport Geography*, 9(4): 229-242.
- Hansen W G. 1959. How accessibility shapes land-use [J]. *Journal of the American Institute of Planners*, 25: 73-76.
- Hayuth Y. 1981. Containerization and the load center concept [J]. *Economic Geography*, 57(2): 160-176.
- Hilling D. 1977. The evolution of a port system: The case of Ghana [J]. *Geography*, 62(2): 97-105.
- Horst V, Langen D. 2008. Coordination in hinterland transport chains: A major challenge for the seaport community [J]. *Journal of Maritime Economics & Logistics*, 10: 108-129.
- Iannone F. 2012. The private and social cost efficiency of port hinterland container distribution through a regional logistics system [J]. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 46(9): 1424-1448.
- Kim K S. 2000. High-speed rail developments and spatial restructuring: A case study of the capital region in South Korea [J]. *Cities*, 17(4): 251-262.
- Konings R, Kreutzberger E, Maraš V. 2013. Major considerations in developing a hub-and-spoke network to improve the cost performance of container barge transport in the hinterland: The case of the port of Rotterdam [J]. *Journal of Transport Geography*, 29: 63-73.
- Larranaga A M, Arellana J, Senna L A. 2016. Encouraging intermodality: A stated preference analysis of freight mode choice in Rio Grande do Sul [J]. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 102: 202-211.
- Li X, Huang B, Li R, et al. 2016. Exploring the impact of high speed railways on the spatial redistribution of economic activities: Yangtze River Delta urban agglomeration as a case study [J]. *Journal of Transport Geography*, 57: 194-206.
- Li X, Fan Y, Wu L. 2017. CO₂ emissions and expansion of railway, road, airline and in-land waterway networks over the 1985–2013 period in China: A time series analysis [J]. *Transportation Research Part D: Transport & Environment*, 57: 130-140.
- Liang S B, Cao Y H, Wu W, et al. 2019. International freight forwarding services network in the Yangtze River Delta, 2005–2015: Patterns and mechanisms [J]. *Chinese Geographical Science*, 29(1): 112-126.
- Liu L, Wang K Y, Yip T L. 2013. Development of a container

- port system in Pearl River Delta: Path to multi-gateway ports [J]. *Journal of Transport Geography*, 28: 30-38.
- Lu S, Jiang H, Liu Y, et al. 2017. Regional disparities and influencing factors of average CO₂ emissions from transportation industry in Yangtze River Economic Belt [J]. *Transportation Research Part D: Transport & Environment*, 57: 112-123.
- Marazzo M, Scherre R, Fernandes E. 2010. Air transport demand and economic growth in Brazil: A time series analysis [J]. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 46(2): 261-269.
- Marino L, Alessandro F, Denise O, et al. 2017. The capability of motorways of the sea of being competitive against road transport: The case of the Italian mainland and Sicily [J]. *Journal of Transport Geography*, 58: 9-21.
- Meng Q, Wang X. 2011. Intermodal hub-and-spoke network design: Incorporating multiple stakeholders and multi-type containers [J]. *Transportation Research Part B: Methodological*, 45(4): 724-742.
- Notteboom T E. 2007. Spatial dynamics in the container load centers of the Le Havre-Hamburg range [J]. *Zeitschrift Für Wirtschaftsgeographie*, 51(1): 108-123.
- Notteboom T E. 2009. Complementarity and substitutability among adjacent gateway ports [J]. *Environment and Planning A: Economy and Space*, 41(3): 743-762.
- Notteboom T E. 2010. Concentration and the formation of multi-port gateway regions in the European container port system: An update [J]. *Journal of Transport Geography*, 18: 567-583.
- Notteboom T E, Rodrigue J P. 2005. Port regionalization: Towards a new phase in port development [J]. *Maritime Policy and Management*, 32(3): 297-313.
- Notteboom T E, Rodrigue J P. 2008. The terminalization of supply chains: Assessing terminals within freight distribution systems [C]// A Presentation at Annual Conference of the Association of American Geographers. Boston, USA.
- O'Connor K. 2010. Global city regions and the location of logistics activity [J]. *Journal of Transport Geography*, 18(1): 354-162.
- O'Connor K, Derudder B, Witlox F. 2015. Logistics services: Global functions and global cities [J]. *Growth & Change*, 47(4): 481-496.
- Oum T H, Park J H. 2004. Multinational firm's location preference for regional distribution centers: Focus on the North-east Asian region [J]. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 40: 101-121.
- Padeiro M. 2013. Transport infrastructure and employment growth in the Paris Metropolitan Margins [J]. *Journal of Transport Geography*, 31: 44-53.
- Pekin E, Macharis C, Meers D, et al. 2013. Location analysis model for Belgian intermodal terminals: Importance of the value of time in the intermodal transport chain [J]. *Computers in Industry*, 64(2): 113-120.
- Rimmer P J. 1967. The search for spatial regularities in the development of Australian seaports 1861-1961/2 [J]. *Geografiska Annaler Series B: Human Geography*, 49(1): 42-54.
- Robinson R. 2002. Ports as elements in value-driven chain systems: The new paradigm [J]. *Maritime Policy and Management*, 29(3): 241-255.
- Rodrigue J P, Hesse M. 2007. Globalized trade and logistics: North American perspectives [M]// Leinbach T R, Capineri C. *Globalised freight transport: Intermodality, e-commerce, logistics and sustainability*. Cheltenham, UK: Edward Elgar: 103-134.
- Rodrigue J P, Notteboom T. 2010. Foreland-based regionalization: Integrating intermediate hubs with port hinterlands [J]. *Research in Transportation Economics*, 27(1): 19-29.
- Saidi S, Hammami S. 2017. Modeling the causal linkages between transport, economic growth and environmental degradation for 75 countries [J]. *Transportation Research Part D: Transport & Environment*, 53: 415-427.
- Seoane M J F, Laxe F G, Montes C P. 2013. Foreland determination for containership and general cargo ports in Europe (2007-2011) [J]. *Journal of Transport Geography*, 30: 56-67.
- Slack B. 1990. Intermodal transportation in North America and the development of inland load centers [J]. *Professional Geographer*, 42(1): 72-83.
- Smid M, Dekker S, Wiegman B. 2016. Modeling the cost sensitivity of intermodal inland waterway terminals: A scenario based approach [J]. *Transportation Research Part A: Policy & Practice*, 85: 112-122.
- Sugawara J. 2017. Port and hinterland network: A case study of the Crescent Corridor intermodal freight program in the US [J]. *Transportation Research Procedia*, 25: 916-927.
- Sylvie D. 2001. Infrastructure development and economic growth: An explanation for regional disparities in China [J]. *Journal of Comparative Economics*, 29(1): 95-117.
- Taaffe E J, Morrill R L, Gould P R. 1963. Transport expansion in underdeveloped countries: A comparative analysis [J]. *Geographical Review*, 53(4): 503-529.
- UNCTAD. 1992. Port marketing and challenge of the third generation port [R]. Geneva, Swiss: United Nations Pubns.
- UNCTAD. 1999. Technical note: Fourth generation port [R]. Geneva, Swiss: United Nations Pubns.
- van den Heuvel F P, de Langen P W, van Donselaar K H, et al.

2013. Spatial concentration and location dynamics in logistics: The case of a Dutch Province [J]. *Journal of Transport Geography*, 28: 39-48.
- Vickerman R. 2015. High-speed rail and regional development: The case of intermediate stations [J]. *Journal of Transport Geography*, 42: 157-165.
- Vidal Vieira J G, Fransoo J C, Carvalho C D. 2015. Freight distribution in megacities: Perspectives of shippers, logistics service providers and carriers [J]. *Journal of Transport Geography*, 46: 46-54.
- Wang J J, Cheng M C. 2010. From a hub port city to a global supply chain management center: A case study of Hong Kong [J]. *Journal of Transport Geography*, 18(1): 104-115.
- Wang J J, Ng A K Y. 2011. The geographical connectedness of Chinese seaports with foreland markets: A new trend? [J]. *Tijdschrift voor Economische en Sociale Geografie*, 102(2): 188-204.
- Wang J J, Slack B. 2000. The evolution of a regional container port system: The Pearl River Delta [J]. *Journal of Transport Geography*, 8(4): 263-275.
- Wang X, Meng Q. 2017. Discrete intermodal freight transportation network design with route choice behavior of intermodal operators [J]. *Transportation Research Part B: Methodological*, 95: 76-104.
- Wiegman B, Konings R. 2015. Intermodal inland waterway transport: Modelling conditions influencing its cost competitiveness [J]. *The Asian Journal of Shipping and Logistics*, 31(2): 273-294.
- Wilmsmeier G, Monios J, Lambert B. 2011. The directional development of intermodal freight corridors in relation to inland terminals [J]. *Journal of Transport Geography*, 19: 1379-1386.
- Xu W T, Zhou J P, Qiu G. 2018. China's high-speed rail network construction and planning over time: A network analysis [J]. *Journal of Transport Geography*, 70: 40-54.
- Zheng J, Yang D. 2016. Hub-and-spoke network design for container shipping along the Yangtze River [J]. *Journal of Transport Geography*, 55: 51-57.

Progress and trend in research on watershed transport geography

WU Wei, LIANG Shuangbo, CAO Youhui*

(Key Laboratory of Watershed Geographic Sciences, Nanjing Institute of Geography and Limnology, CAS, Nanjing 210008, China)

Abstract: Based on the theoretical framework of regional transport geography, watershed transport geography focuses on the research of transport organization and its development using watershed or part of a watershed as research area. This article reviewed pertinent literature of watershed transport geography from three aspects: transport network, transport connection, and regional effect. 1) Related work of transport network mainly focuses on the level and pattern of comprehensive transport development, network connection characteristics and accessibility, as well as the spatial structure and supply chain of the port system. Multimodal transport is becoming a new hotspot in the study of watershed transport geography. 2) Transport connection studies focus on traffic flow and the pattern of connection between passenger and cargo transport. The research focus of watershed logistics geography is shifting from logistics industry layout and enterprise location to logistics network and spatial organization, logistics supply chain. 3) Regional effects are biased towards economic growth effects, with less attention on resource, environmental, and ecological effects. Based on the research focus of watershed transport geography while taking current research progress and basin development needs into consideration, we suggest that watershed transport geography should put emphasis on the development of basin port system and water transport. It is necessary not only to pay close attention to the construction of integrated transport networks, organizations, and multimodal transport, but also to explore the association between watershed transports at different levels of the hierarchy. At the same time, research on the natural resources and environment effects of watershed transport should also be emphasized.

Keywords: watershed transport geography; regional transport geography; transport network; transport connection; regional effect