

联合运输研究综述

贺竹馨, 孙林岩

(西安交通大学 管理学院, 陕西 西安 710049)

摘要: 联合运输是在能源危机、交通拥堵及环境污染约束下的一种理想运输模式。在对1935年以来的95篇文献研究的基础上, 对联合运输的研究内容进行整理及归类, 并从联合运输的市场范围、集散运输优化、枢纽选择、运输方式选择、运输链管理及联合运输规划与政策等6个方面对联合运输研究内容、方法及结论进行阐述和分析。最后, 提出联合运输领域有待于进一步研究的范围, 并对联合运输的发展前景做了初步展望。

关键词: 交通运输工程; 综合运输; 联合运输; 复合运输

中图分类号: U119.1 **文献标识码:** A **文章编号:** 1671-6248(2006)04-0032-05

Review of intermodal transport research

HE Zhu qing, SUN Lin yan

(School of Management, Xi'an Jiaotong University, Xi'an, 710049, Shaanxi, China)

Abstract: Intermodal transport is an ideal transport modal constrained by crisis of energy sources, traffic congestion and environment pollution. After reviewing 95 documents since 1935, the authors sort out the content of intermodal transport and divide them into six parts in this paper, including market area, drayage, terminal/hub location, modal choice, multi actor chain management, planning and policy of intermodal. Through analysis of them, the method and conclusion of every part and the recommendations are given for further research.

Key words: traffic and transportation engineering; multimodal transport; intermodal transport; combined transport

0 引言

联合运输由于综合了多种运输方式的特点, 除了降低运输费用、提高运输效率外, 还可以节约能源、减少交通拥堵和环境污染, 所以近年来受到很大关注, 成为交通运输领域的一个热点问题^[1]。此外, 从企业微观方面来讲, 单靠一种运输方式已难以满足货物运输多方面的要求, 尤其是长距离、国际货物的“门到门”运输。随着集装箱的出现, 由于运输效率高、效益好、服务质量优的特点使得联合运输得到迅猛发展。从1980年到1990年的10年间, 美国联合运输量净增长100%。

1 联合运输概念界定

联合运输在国际上有多种表述方式, 中国台湾地区将他们分别翻译为复合运输(multimodal transport)、综合运输(intermodal transport)、联合运输(combined transport)和一贯运输(through transport)。从国外相关文献看, 联合运输在国际商会中称为combined transport, 在美国称为intermodal transport, 在世界其他地区则称为multimodal transport。而比较认可的是欧洲运输部长会议(ECMT)的定义: 联合运输是指(intermodal transport)装在同样货柜里(如联运工具或集装箱)的货

收稿日期: 2006-04-21

基金项目: 国家自然科学基金项目(70433003); 国家“863”计划项目(2003AA413033)

作者简介: 贺竹馨(1976-), 男, 陕西神木人, 管理学博士研究生。

物至少经过两种运输方式运送,货物在转运过程中没有经过拼装和卸载,主要的运输行程是通过火车、内陆航运、海洋,运输起始和终到客户是通过尽可能短途的公路运输,实现多种运输方式联合的“门到门”运输。联合运输具有以下几个方面的特征:1)货物在“门到门”的运输过程中,必须装在标准化的货柜里,而且货物在转运过程中没有拼装和拆分货柜。2)必须是两种或两种以上不同运输方式的连贯运输。3)必须有一个多式联运经营人负责整个运输链的协调与管理。4)必须实行全程单一的运费费率,并由多式联运经营人以包干形式一次性向货主收取^[2]。

由于管理体制等原因,中国的联合运输发展非常缓慢。此外,从研究的角度来看,中国对联运的研究多局限于港口、铁路各自内部,个别涉及整个联运的研究也大多集中于国际集装箱联运在法律、制度等方面的缺陷,很少有人对联运理论进行研究,但建立综合运输体系是中国交通运输发展战略的重要内容,所以研究联合运输前沿理论,除了可以指导实际运输管理工作外,在现有理论分析的基础上,还可以找到有待于进一步研究的方向。

2 联合运输的研究内容及进展

根据国际联合运输当前研究重点,本文将联合运输研究内容划分为6个领域,并从研究内容、研究方法及结论几个方面分别进行阐述。

2.1 市场范围

市场范围是指和别的运输方式相比较,联合运输在哪些市场领域更具有吸引力。联合运输市场范围的研究最早可追溯到 Palander,甚至可追溯到 Cheysson 提出一些联运的框架体系,但由于那时铁路运输在综合运输中占统治地位,运输方式之间的竞争很少,所以联合运输没有受到较多的关注。近年来,由于国际贸易的发展以及能源危机、交通拥挤的出现,联合运输受到广泛关注。Spasovic 研究认为联合运输的运距应当为 600 km 以外;Edward 通过对美国联运市场的实证研究显示,联合运输经济运距在 500 km ~ 700 km 之间,而保证服务水平的(惩罚率为 15%)的经济运距应在 700 km ~ 1000 km 之间^[3];Dimitrios 研究指出,联合运输主要在成本及可靠性方面优于其他运输模式,而且在国际贸易、危险、鲜活易腐货物的中、长途运输,高附加值货物的中长途运输(时效性),以及低附加值货物的中长途运输(成本)领域中具有竞争力;Konings 利用

实证的方法对英德之间开展内河-远洋联合运输进行研究,在比较公铁、近海驳船运输时间及各自的市场份额后,发现内河-远洋联运市场竞争力在于其廉价的成本,而港口的位置是决定联合运输覆盖范围的重要因素^[4]。

最早进行联运市场范围理论研究的学者是 Nieat,他从运输企业的角度出发,以成本最小化为目标获得联合运输的市场范围^[5],如图1所示。

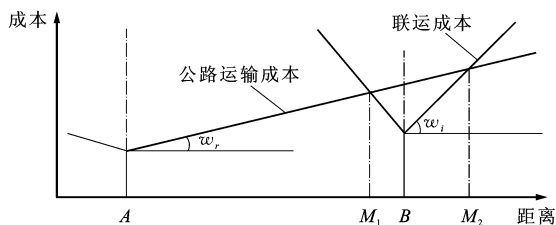


图1 联合运输市场范围

图1中A是货物起始点,B是联运终端, $C_i(B)$ 及 w_i 分别为联运中公路运输的固定成本及边际成本, $C_r(A)$ 及 w_r 是货车单独运输的固定成本及可变成本,则联运的市场范围可以通过式(1)表示

$$\overline{AM} - \frac{w_i}{w_r} \overline{BM} = \frac{C_i(B) - C_r(A)}{w_r \overline{AB}} \quad (1)$$

市场范围是指相对于目前占主导地位的货车运输,联合运输在哪些领域(市场)更具有竞争力。研究运输市场范围的隐含前提是运输规模经济效益,也就是大批量、长距离运输会降低运输成本。从规模经济效益的角度来看,联合运输的市场竞争力在于中长途运输的成本优势。近年来,随着航空运输的加入,联合运输的时效性得到很大程度的提高,使其市场覆盖面扩大到高附加值的长途运输。

2.2 拖运

拖运是联合运输链中公路运输部分,是指货物从始发站到转运站(枢纽站)以及从转运站到目的地之间的货车集散运输过程。联运中的拖运和单纯铁路运输中的集散运输活动区别在于货车运输距离,联运中的集散运输距离较短,但却占据整体运输成本的很大比例(20%~40%);高成本的集散运输影响着联运的经济性及市场范围。可见,提高联运集散能力、优化集散成本是提高联运市场竞争力的一个重要内容。Morlok 通过对美国公铁联运市场的实证研究指出,在同样情况下,通过集中拖运计划,不仅公铁联运的经济运距从 545 km 降低到 468 km,而且联运成本可以降低 30%。Morlok 和 Spasovic 的研究显示,通过集中拖运计划、优化空箱调度,大致可以节约 43% 到 60% 的集散运输成本^[6]。

此外, Tisa 建立了 logit 需求模型和物流成本最小化模型, 通过平衡集散运输流的方法来提高公铁联运服务价格和服务水平, 从而实现提高联运市场范围的目的。

联运主要是通过集装箱来装载物资, 通过对集装箱的优化装箱、集中调度来提高拖运效率是多数专家的共识, 但太长的计划会限制联运的灵活性, 在确定计划周期方面却难以达成共识: Sook 建立集装箱空箱调度的整数规划模型, 其结论是通过长期规划来鼓励利用成本比较低、运输速度慢的运输方式(如驳船运输)^[7]; Florez 建立了集装箱空箱调度的利润优化模型, 并测算了计划周期对利润的敏感性, 通过实证研究他发现计划周期的长短对联运获利影响较少^[8]; Dejax 的集装箱 货车联合路径模型显示较长计划周期(7 d~8 d)可以达到降低运输成本的目的^[9]; 而 Crainic 建议计划周期应该在 10 d~20 d 之间。Cheung 通过比较两阶段动态模型和两阶段确定性模型, 发现长周期计划在有些时候并不比短周期计划有利^[10]; Holmberg 研究显示计划周期一定要长于运输时间^[11]; Newman 和 Yano 建立模型来决定通过枢纽中心顺行和逆行的行车调度计划, 以及对车辆的集装箱分配, 可以实现整体利益的优化^[12]。

降低货车集散运输成本、提高集散效率是提高联合运输效率的重点。目前集散运输方面专业人士普遍认识到通过整合车辆调度方案可以降低运输费用, 但也降低了联运的柔性和及时响应性, 所以如何确定计划周期, 如何进行空箱分配一直是拖运研究的重点, 也是争论的焦点。

2.3 枢纽选择

联运枢纽起着不同运输方式转换的功能。枢纽站的布局影响联合运输的市场范围及竞争力。枢纽站的选择包括规模选择和位置选择两个方面。

运输枢纽的规模是联合运输网络的主要组成部分。大量研究结果显示, 在个体规模大但数量少的枢纽站布局模式与个体规模小但数量多的枢纽站布局模式之间, 到底那种布局模式更为有效是不明确的, 争论也比较多; Slack 认为, 为了实现规模效益, 大量的小规模货运站应该被关闭, 货流应该被集中在少数运输通道和运输枢纽站上。9 年后, Slack 面对日益拥挤的货运中转枢纽, 他又建议建立一些卫星站来代替日益拥挤的大站, 他认为货运枢纽站不存在规模经济, 所以他建议通过扩大货运站的数量和密度来扩大联合运输的市场覆盖率^[13]。

除了场站的数量外, 枢纽站的选址也是一个重要问题。该问题是在一定的目标(最小运输流成本、最大场站效益、最小集散距离及成本)下, 选择运输网络中最优建站位置, 或在有限的可供选择点中找到最理想的建站地点。许多文献涉及到连续的、离散的联运枢纽站的选址问题: Rutten 建立了以吸引货流为目标的货运枢纽选择模型, 并且研究了在现有运输网络中增加新枢纽站对整体网络货流吸引力的影响; Van 考虑了托运人、货运站、代理人、收货人及承运人各自的理想场站位置, 综合了他们各自的观点和目标, 从战略和战术上分别建立了相应的模型来寻找理想的建站位置(在战略上, 从运输网络角度出发, 通过线性规划模型确定枢纽站的数量及规模; 在战术层次上, 利用财务方法确定可行区域内具体的场站位置)^[14]; Meinert 研究了在一个已有 3 个站的一个区域内新增货站的位置, 考虑了新增货运站对货物集散距离及时间的影响; 此外, Arnold、Groothede、Nagy 分别以最小化运输成本、最小化普通成本、最小化外部成本以及车辆路径相结合的模式来确定枢纽站最优建站位置; Racunica 对轴辐式联运网络中选址问题进行研究, 建立了凹成本函数的非线性规划选址模型, 并通过两阶段启发式算法予以求解^[15]。

枢纽站选择问题大多是从托运人及联运经营人的角度出发来建立数学模型, 而有的学者从区域经济的角度出发, 以最小运输成本及最大市场覆盖范围为目标建立数学规划模型, 并采用不同的启发式算法予以求解。

2.4 运输方式选择

运输方式选择作为联运研究的重点, 国外大量的学者对此展开研究: Nalin 研究说明运输频率或服务频率对运输方式的选择影响最大^[16]; Morash 对美国货运市场研究发现制造产品更多接受驼背及集装箱运输方式联运^[17]; Nierat 以运输成本最小确定公路运输及公铁联运的市场范围及其影响因素^[18]; Zlatoper 研究了在运价和运输质量变化时运输方式选择的敏感性^[19]; Harper 等从托运人的角度出发, 得出不同成本/质量是公铁联运及其他多式联运方式选择的决定因素^[20]; Kjetil 从拥挤成本的角度出发建立承运人选择运输方式的博弈模型^[21]; Kapro 等研究显示那些完全根据价格标准的决策者对联运较高的评价, 而对于那些根据质量和成本来决策的参与者而言, 联运是他们总体运输中较小的部分; Evers 测算了参与人对运输方式的映像对于

方式选择的影响, 他研究显示对于运输服务有着较稳定的映像, 反而较少采用联运的方式^[22]; Beier 研究了汽车托运人愿意转到驼背运输的条件(对于托运人来讲, 运用联运造成的质量损失只有在联运能提供大量折扣的条件下才是可接受的)^[23]; Van 等研究了交通阻塞对公路运输向联运转换的影响, 他研究显示大多数荷兰运输企业不会转向联合运输, 而更倾向于别的解决方式, 例如夜间行驶和走便道; Dimitrios 通过实证的方法研究得出联运的经济性和适应物流发展的特点是其优于公路运输的主要因素, 如图 2 所示。

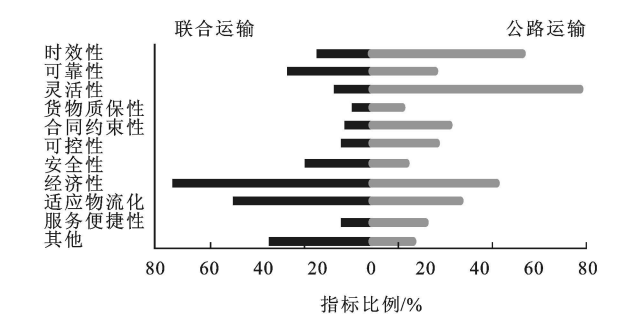


图 2 运输方式选择的决定因素

运输方式选择是一个多目标决策问题。对于不同类别的物资, 其选择的依据不同, 因为它只是针对某些数据、某类物资, 或在某些地理范围而言的, 太多的假定限制了模型的应用, 所以其结论不具有普遍适用性。

2.5 运输链管理

联合运输链是以一定运输目的而联合起来的虚拟企业, 是基于各运输企业核心能力的一种外部资源的优化整合。可见, 运输链之间能否相互配合、优势互补, 是联合运输能否快速响应客户、降低运输成本, 获得竞争优势的关键所在。

(1) 运输合作链的运作机制。运输合作链是多主体的运输联盟关系, 必须有一个主导企业作为联运的主导方来组织和协调承运各方的行为, 而这个主导方通常就是多式联运经营人。关于多式联运经营人的责任及法律规范, 国内有许多人进行研究, 本文就不予介绍。在联运中, 市场机遇的发现者、运输资源丰富的企业是联运的发起者, 是联运的主导企业(联运经营人), 而处于辅助地位的运输企业则是跟随企业。Woxenius 和 Taylor 调查过不同类型运输企业在联运中的市场权力, 他们发现, 在国际联运中, 海洋运输企业是联运的主导企业, 是联运经营人, 而在内陆联运中, 没有通常意义上的联运主导者, 可能是运输代理人或者某个运输企业^[24]。

Wiegman 等研究表明物流中心往往容易成为联运的主导者^[25]。

(2) 利益分配策略。组建运输联盟的关键在于能否建立一套各方都满意的利益分配方案。Horn 和 Yan 评价了铁路长途运输为主导的联运中几种可代替的价格分配策略^[26]。Spsovic 研究了集散运输企业为主导的几种利益分配策略^[27]。Tsai 研究了多种价格定价策略, 包括联运服务定价策略及运输链内部定价策略。这些利益分配策略都是在跟随企业利润约束下最大化主导运输企业自身利益为目标的方法, 大多从博弈论的角度予以分析求解。

2.6 联运规划及政策

联合运输规划主要研究运输服务网络, 包括联运网络由哪些运输线路组成, 服务哪些区域, 物流终端(联运终端)的选择及新终端的选址等问题。而对于货运中心的选择及其布局规划, 主要从区域经济的角度出发。大量的文献关于枢纽的选址及评价在后文作了介绍。联运网络规划中大多采用空间价格均衡模型和网络平衡模型, 由于一般的网络模型只能处理一种运输方式的货流, 所以 D'Este、Jourquin、Southworth 等分别扩展了网络模型进行多式联运规划, 此类模型可以处理多种运输方式的货流^[28]。Boile 利用供需平衡理论建立了可以预测交通流的城间联运网络规划的供需平衡模型^[29]。Loureiro 建立了多式联运通道内各种运输方式基础设施投入的最佳选择模型并通过遗传算法予以求解, 该模型是在资金约束下, 在用户和环境影响下的以运输成本最小化为目的来规划区域联运网络的布局^[30]。

世界各国都经历了从运输管制到放松运输管制的阶段。20 世纪 70 年代欧美国家开始放宽对运输的管制, 并对国有运输企业进行民营化改革。正是这种放宽运输管制的政策, 推动了现代综合运输的发展。近年来, 由于欧盟允许私人进入铁路运输领域, 所以联合运输在欧洲得到较快的发展。而在美国, 联运政策则主要是如何协调国家、州、地方政府的政策。Eatough 建议地方政府制定区域联运政策及规划来协调各种运输方式; Anderson 建议设立政府基金来优先建立联合运输转运中心; Clarke 研究显示如果美国能将公路为主导的运输模式转移到联合运输上, 除了美国将从联合运输的规模经济中获益外, 交通安全也会得以提高(可以降低 1% 的交通事故)^[31]。

政策研究的困难在于政策目标的难以量化性,

例如联合运输对于交通拥挤、环境污染、提高安全及区域经济的优势难以用数学模型准确地表达。

3 结 语

总结联合运输的现有研究后发现, 尽管联合运输受到广泛的重视与参与, 但从整体上而言还处于实证研究阶段, 有些领域还有待于进一步研究, 主要包括: 1) 联合运输成本计算及合理分配。合理的利益分配机制是协调运输链的主要因素, 对联运各个环节成本的计算则是利益分配、制定价格策略的依据, 而对运输链经营、协调机制的研究很少。2) 联合运输对宏观经济的影响。联合运输具有节约能源、缓解交通拥挤的社会功能, 但很少有文献对此类问题进行理论研究。3) 多数涉及的联运主要是公路—铁路联运, 公路—海洋联运, 主要从经济性的角度去研究联运, 而相关文献很少涉及公路—航空联运的研究, 对联运时效性方面研究则更少。随着需求个性化的发展、产品生命周期的缩短, 运输的时效性将会在运输方式选择过程中占据重要的地位, 所以研究航空联运可以为联运研究提供新的思路及方向。4) 有效的联运政策, 如财政支持等。

联合运输由于集成多种运输方式的优势, 不仅在缓解能源危机、交通拥挤, 而且在适应物流发展, 提供个性物流方面有很强的优势, 所以不论从政府的角度, 还是从市场的角度都具有很大的潜力可挖。随着交通基础设施网络的完善、转运技术的发展, 以及全球经济一体化带来的世界贸易量增加, 联合运输的市场范围也必将进一步扩大, 其市场竞争力也会进一步增强, 不仅国际多式联运会显得越来越重要, 而且在国内的中长途运输也必将有较大的发展, 逐渐会成为交通运输的主导力量。

参考文献:

- [1] Bontekoning Y M, Macharis C. Is a new applied transportation research field emerging: A review of intermodal rail truck freight[J]. *Transportation Research: Part A*, 2004, 38(12): 1-34.
- [2] Macharis C, Bontekoning Y M. Opportunities for OR in intermodal freight transport research[J]. *European Journal of Operational Research*, 2004, 153(2): 400-416.
- [3] Spasovic L N. Planning intermodal drayage network operations[D]. Michigan: University of Pennsylvania, 1990.
- [4] Rob Konings, Marcel Ludema. Competitiveness of the

river sea transport system: Market perspectives on the United Kingdom Germany corridor[J]. *Journal of Transport Geography*, 2000, 8(3): 221-228.

- [5] Nierat P. Market area of rail truck terminal: Pertinence of the spatial theory[J]. *Transportation Research: Part C*, 1997, 31(2): 109-127.
- [6] Morlok E K, Spasovic L N. Redesigning rail truck in termodal drayage operations for enhanced service and cost performance[J]. *Journal of Transportation Research Forum*, 1994, 34(1): 16-31.
- [7] Sook Tying Choong, Michael H Cole, Erhan Kutanoğlu. Empty container management for intermodal transportation network[J]. *Transportation Research: Part E*, 2002, 38(6): 423-438.
- [8] Florez H. Empty Container Repositioning and Leasing: An optimization model[D]. New York: Polytechnic Institute of New York, 1986.
- [9] Dejax P J, Cranic T G. Review of empty flows and fleet management models in freight transportation[J]. *Transportation Science*, 1987, 21(3): 227-247.
- [10] Cheung R K, Chen C. A two stage stochastic network model and solution methods for the dynamic empty container allocation problem[J]. *Transportation Science*, 1988, 32(2): 142-162.
- [11] Holmberg K, Joborn M, Lundgren J T. Improved empty freight car distribution[J]. *Transportation Science*, 1998, 32(2): 163-173.
- [12] Newman A M, Yano C A. Scheduling direct and indirect trains and containers in an intermodal setting[J]. *Transportation Science*, 2000, 34(3): 256-270.
- [13] Slack B. Intermodal transportation in North America and the development of inland load centers[J]. *Professional Geographer*, 1990, 42(1), 72-83.
- [14] Van Duin R, Van Ham H. Three stage modeling approach for the design and organization of intermodal transportation services[C]. // San Diego. Proceedings of the IEEE International Conference on Systems. New York: CA Press, 1998.
- [15] Illia Racunica, Laura Wynter. Optimal location of intermodal freight hubs[J]. *Transportation Research: Part B*, 2005, 39(6): 453-447.
- [16] Nalin Shinghal, Tony Fowkes. Freight mode choice and adaptive stated preferences[J]. *Transportation Research: Part E*, 2002, 38(5): 367-378.
- [17] Morash E A, Hille S J, Bruning E R. Marketing rail piggyback services[J]. *Transportation Journal*, 1977, 17(1): 40-50.

(下转第 41 页)

线方案。比如,强迫拉萨到西宁的直通航线绕到西安显然是得不偿失的做法。

4 结 语

随着现代物流技术的发展,中枢航线网络成为国内外航空运输业的重要竞争手段。本文在研究中枢网络主要特点的基础上,评估中国中枢航线网络的规模效益与建站数量,然后通过多分配枢纽站中位模型计算中国航空枢纽港选址问题,最后文章说明了中枢网络设计中的路线选择问题。从计算结果中可以发现,北京、上海、广州、深圳、昆明的枢纽港地位十分明显,而重庆、武汉、西安、大连、沈阳、乌鲁木齐、海口等城市也在不同情形下频繁地出现在选择方案中。最后,得出中枢航线网络每年可以为国内航空客运节约至少几十亿运营费用的结论。然而,由于本文只能对规模效益与建站数量做大致估计,未来的研究方向应该关注包括规模效益、建站数量、枢纽港选址3个问题的整合优化设计模型。

参考文献:

[1] 袁玉玲. 中国物流的现状与发展趋势[J]. 长安大学学

报: 社会科学版, 2006, 8(2): 6-13.

- [2] O'Kelly M. A quadratic integer program for the location of interacting hub facilities[J]. European Journal of Operational Research, 1987, 32(3): 393-404.
- [3] Campbell J F. Integer programming formulations of discrete hub location problems[J]. European Journal of Operational Research, 1994, 72(2): 387-405.
- [4] Jaillet P, Gao S, Gang Y. Airline network design and hub location problems[J]. Location Science, 1996, 4(3): 195-212.
- [5] Sasaki M, Suzuki M, Drezner Z. On the selection of hub airports for an airline hub and spoke system[J]. Computers and Operations Research, 1999, 26(4): 1411-1422.
- [6] 张孟坤, 李婷婷. 中枢辐射航线网络结构设计[J]. 中国民用航空, 2006, 23(3): 42-44.
- [7] 姜涛, 朱金福. 航空公司选址枢纽机场的鲁棒优化方法[J]. 系统工程, 2006, 24(6): 13-17.
- [8] 段生虎. 云南枢纽辐射式航空网络的构建[J]. 航空制造技术, 2005, 23(2): 53-55.
- [9] 秦岩, 马天山, 吴群琪. 航空快递性分析及其在中国发展的设想[J]. 长安大学学报: 社会科学版, 2005, 7(3): 26-29.

(上接第36页)

- [18] Pattic Nierat. Market area of rail truck terminals: Pertinence of the spatial theory[J]. Transportation Research: Part A, 1997, 31(2): 109-127.
- [19] Zlatoper T J, Austrian A. Freight transportation demand: A survey of recent economic studies[J]. Transportation Journal, 1989, 16(1): 27-46.
- [20] Harper D V, Evers P T. Competitive issues in intermodal railroad truck services[J]. Transportation Journal, 1993, 32(3): 31-45.
- [21] Kjetil K, Haugen, Arild Hervik. A game theoretic "mode choice" model for freight transportation[J]. Transportation Research: Part E, 2002, 38(2): 1-15.
- [22] Evers P T, Harper D V, Needham P M. The determinants of shipper perceptions of modes[J]. Transportation Journal, 1996, 36(2): 13-25.
- [23] Beier F J, Frick S W. The limits of piggyback: Light at the end of the tunnel[J]. Transportation Journal, 1978, 18(2): 12-18.
- [24] Taylor J C, Jackson G C. Conflict, power, and evolution in the intermodal transportation industry's channel of distribution[J]. Transportation Journal, 2000, 39(3): 5-17.
- [25] Wiegman B W, Masurel E, Nijkamp P. Intermodal

freight terminals: An analysis of the terminal market[J]. Transportation Planning and Technology, 1999, 23(9): 105-128.

- [26] Horn K. Pricing of rail intermodal service: A case study of institutional myopia[J]. Transportation Journal, 1981, 21(1): 63-78.
- [27] Spasovic L N, Morlok E K. Using marginal costs to evaluate drayage rates in rail truck intermodal service[J]. Transportation Research: Part E, 1983, 38(3): 8-16.
- [28] Tsai J F. Models for optimal price and level of service positioning of intermodal service in competition with truck service[D]. Pennsylvania: University of Pennsylvania, 1994.
- [29] Southworth F, Peterson B E. Intermodal and international freight network modeling[J]. Transportation Research: Part C, 2000, 8(2): 147-166.
- [30] Boile Baria. Intermodal commuter network planning[D]. New Jersey: New Jersey Institute of Technology, 1995.
- [31] Loureiro, Carlos Felipe, Grangeiro. Modeling investment options for multimodal transportation networks[D]. New Jersey: Tennessee University of Technology, 1994.

[25] Wiegman B W, Masurel E, Nijkamp P. Intermodal