

基于企业视角的中国集装箱运输组织网络

叶士琳^{1,2}, 曹有挥¹, 王佳韡³, 吴 威¹

(1. 中国科学院南京地理与湖泊研究所, 南京 210008; 2. 中国科学院大学, 北京 100049;

3. 福建师范大学地理科学学院, 福州 350007)

摘要: 货物运输集装箱化在全球资源要素配置和区域经济发展中的作用愈发突出, 集装箱运输组织网络研究已成为交通地理学的重要课题。本文基于微观企业视角, 选取 112 家企业和 119 座城市作为研究样本, 借鉴城市网络研究方法和复杂网络理论, 探讨了中国集装箱运输组织网络的等级体系、空间格局、网络联系和复杂性特征。研究结果表明: 网络节点城市的集装箱运输组织能力差距明显, 已形成由全国性、区域性、次区域性和地方性枢纽城市四个层级所构成的金字塔型等级结构; 集装箱运输组织能力在空间分布上表现出显著的非均衡性特征, 形成由 6 个核心区和 7 个集聚区所构成的“6+7”空间格局; 网络联系以全国性和区域性枢纽城市为主要空间指向, 联系网络总体呈现从东部沿海向中西部地区、从全国性枢纽城市向地方性枢纽城市逐渐拓展趋势; 同时, 整体网络结构表现出较强的集聚性、连通性和空间组织效率, 且复杂网络特征与节点城市集装箱运输组织能力具有显著相关性。

关键词: 企业网络; 集装箱运输; 组织网络; 空间结构; 复杂网络; 中国

DOI: 10.11821/dlxb201708014

1 引言

20 世纪 50 年代中期以后, 集装箱运输从陆上推至海上, 成为世界货运体系的一场重要技术革新, 极大地提高了长距离货物运输的灵活性和安全性, 使全球物流成本持续降低^[1]。进入 21 世纪, 伴随着全球生产网络和新国际劳动分工的深入发展, 生产要素和商品在全球范围内广泛流动, 推动了以集装箱运输为代表的现代物流的快速发展, 使其成为资源要素全球配置的重要载体, 对全球贸易、区域发展、货运空间组织等产生深远影响。以此为依托, 集装箱运输组织网络受到了国内外学者的持续关注, 已成为交通地理学研究的重要课题。

目前, 国内外相关研究主要集中于以下几个方面: 首先, 学者们对集装箱运输网络建设与优化展开了广泛探讨, 力图实现集装箱运输资源的优化配置, 提高集装箱运输系统运行效率, 相关议题主要涉及多式联运系统协调、运输线路优化、内陆场站布局、优化模型构建等内容^[2-3]。韩增林等^[1]在分析世界集装箱运输发展与网络构成的基础上, 基于 GIS 系统提出了中国集装箱港口、内陆中转站和主要运输通道的优化布局方案。Shintani 等^[4]认为集装箱航运网络设计应综合考虑船舶和集装箱部署, 并将其作为一个双阶段问

收稿日期: 2016-09-12; 修订日期: 2017-03-21

基金项目: 国家自然科学基金项目(41271136, 41271137) [Foundation: National Natural Science Foundation of China, No.41271136, No.41271137]

作者简介: 叶士琳(1991-), 男, 福建宁德人, 博士生, 研究方向为区域发展与交通地理。E-mail: yeshilin1990@163.com

通讯作者: 曹有挥(1959-), 男, 江苏扬州人, 研究员, 博士生导师, 主要研究方向为区域经济与运输地理。

E-mail: yhao@niglas.ac.cn

题,提出一种启发式遗传算法用以优化集装箱航运网络。其次,集装箱运输组织网络及其空间效应分析也是学者们长期关注的焦点,侧重于组织网络发展机制、航线网络组织模式与等级结构、及其对港口体系演化的空间效应等方面^[5-8]。Wilmsmeier等^[9]提出集装箱航运网络格局是市场规模与市场覆盖率之间战略权衡的结果,受港口设施、腹地可达性、市场参与者策略和政府政策等多种因素的影响。Notteboom^[10]指出航运公司转向采用轴辐系统组织全球集装箱运输,将改变全球枢纽港空间分布格局,促进东西向航线上新枢纽港的发展。值得一提的是,近年兴起的图论、复杂网络理论等分析方法为揭示集装箱运输网络拓扑结构特征提供了一种新的途径,被越来越多的学者所接受和应用^[11-12]。如Ducruet等^[13]基于1996年和2006年全球集装箱船队航行路径及其挂靠港口数据,运用复杂网络理论探讨了全球集装箱航运网络结构与演化特征。再次,随着供应链管理理念发展和运输管制的放松,市场主体对集装箱运输的影响愈发突出,有关集装箱运输链上的企业行为研究不断增多,尤其关注航运企业、码头企业、物流企业等在港口供应链整合过程中的行为及其对集装箱运输组织的影响^[14-16]。Cullinane等^[17]学者指出航运企业所实施的联盟、并购等横向整合战略及其对航线和挂靠港的决策将对全球集装箱运输网络、港口竞争力等产生深远影响。

综合来看,已有研究从不同视角和尺度揭示了集装箱运输网络特征,为本文的研究奠定了良好基础。但值得注意的是,虽然学者们已注意到企业行为在集装箱运输组织网络发展与演化中的重要作用^[14, 18-19],但更多的是关注海向集装箱航运组织,相关研究也多采用航运企业的集装箱班轮数据,使研究对象局限于港口城市,客观上忽视了非港口城市在集装箱运输组织网络中的重要作用。鉴于此,本文尝试以企业空间网络为切入点,借鉴世界城市网络研究方法和复杂网络理论,力求更加全面和客观地揭示中国集装箱运输组织网络的等级结构、空间格局、网络联系及复杂性特征,以期为中国集装箱运输组织网络布局与优化决策提供参考依据。

2 研究方法与数据来源

2.1 研究方法

2.1.1 网络联系测度方法 航运公司、货代、船代等物流企业是市场经济条件下集装箱货物全球跨区域流动的主要组织者。作为典型的多区位网络型组织,出于快速响应市场需求、提高空间网络服务效率、增强企业竞争力等考虑,物流企业大多倾向于在目标市场所能覆盖的城市设立不同等级的分支机构,负责承接和组织集装箱物流业务,形成遍布全国乃至全球众多大中小城市的企业空间网络^[16]。同时,通过企业间紧密的垂直性和水平性功能联系将众多节点城市紧密联系在一起,共同推动物质、资本、信息、技术等要素的融合与快速流动,从而实现在区域、国家、全球不同空间尺度上集装箱流的组织与协调。因此,从微观企业视角出发,集装箱运输组织网络可理解为众多物流企业空间网络及其内部功能联系的集合。

有关集装箱运输组织网络空间联系的量化,本文借鉴P.Taylor^[20]等提出,并在城市联系网络研究中广泛应用的方法,将企业*a*在城市*i*的得分值定义为企业*a*布局于该城市的分支机构在其集装箱运输组织网络中的重要程度,并具体用 v_{ia} 表示。则城市*i*和城市*j*间的组织联系度(r_{ij})可以表示为:

$$r_{ij} = \sum_a^m r_{ija}, \quad r_{ija} = v_{ia} \times v_{ja} \quad (1)$$

式中： r_{ij} 为城市*i*、*j*间的组织联系度； r_{ija} 为以企业*a*表示的城市*i*、*j*间的基本组织联系量；*m*为企业总数，则每个城市最多有*n*-1个这样的联系。

基于此，得到城市*i*在集装箱运输组织网络中的组织联系强度（ R_i ），可以表示为：

$$R_i = \sum_{j=1}^n r_{ij}, \quad i \neq j \quad (2)$$

组织联系强度是一个城市与网络中其他城市相互联系的总和，直观反映了该城市在整个网络中的对外联系状况。为更加综合的反映集装箱运输组织网络中各节点城市的组织枢纽功能，本文引入集装箱运输组织系数（COI）进行测度^[5]，计算公式为：

$$COI_i = \frac{R_i}{\left(\sum_{i=1}^n R_i \right) / n}, \quad i = 1, 2, \dots, n \quad (3)$$

式中： COI_i 是指集装箱运输组织网络城市*i*的组织联系强度（ R_i ）与网络内所有城市组织联系强度平均值的比值。 COI_i 值越大，说明城市*i*对外连通性和对物流资源的控制强度更高，集装箱运输组织与协调能力越强，在网络中的组织枢纽地位也越突出。

2.1.2 网络复杂性测度方法 复杂网络（Complex Network）是以复杂系统的实体及实体间的相互作用或联系构建网络，并利用物理学方法分析网络结构及其动力学特征，为网络结构复杂性研究提供了新的途径，近年来被广泛应用于交通运输网络和城市经济网络研究，取得了丰富成果^[21-22]。对于集装箱运输组织网络而言，最为重要也最为直接地反映网络结构复杂性特征的指标有度中心性、平均路径长度和聚类系数。本文将借助网络分析工具UCINET计算相关指标。

（1）度（Degree, *D*），用以测度网络中与城市*i*直接相连的其他城市的个数，反映该城市处于网络中心位置的程度。度值越大，城市中心性越高，拥有的网络资源也越多。

（2）平均路径长度（Average Path Length, *L*），用以测度网络中任意两城市间最短路径边数（拓扑最短距离）的平均值，反映网络的整体性质。计算公式为：

$$L = \frac{1}{\frac{1}{2}n(n-1)} \sum_{i>j} d_{ij} \quad (4)$$

式中： L 是平均路径长度；*n*为节点数； d_{ij} 为城市*i*和城市*j*间最短路径边数； L 越小，说明网络的连通性越好，网络空间组织性能和效率越高。

（3）聚类系数（Clustering Coefficient, *C*），用以测度网络的集团化程度，反映了网络中一个城市的邻接城市之间相互联系的紧密程度，是一种关于网络连接局部属性的指标。城市*i*的聚类系数 C_i 等于所有与城市*i*相连的城市之间实际存在的边数与理论最大边数的比值，计算公式为：

$$C_i = \frac{2E_i}{k_i(k_i-1)} \quad (5)$$

式中： C_i 为城市*i*的聚类系数； E_i 为城市*i*的邻接城市间实际存在的边数； k_i 为城市*i*的度数；显然 C_i 是一个介于0和1之间的数值， C_i 的值越大，城市*i*的邻接城市间联系越紧密。

若对网络中所有城市的聚类系数取平均值，即为整体网络的聚类系数*C*，计算公式为：

$$C = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n C_i \quad (6)$$

式中： C 为网络平均聚类系数； C_i 为城市*i*的聚类系数；*n*为网络的城市总数； C 值越大，表示整个网络的局部连接越明显。

2.2 数据来源

集装箱运输的组织与参与者主要包括航运企业、货代企业、船代企业、集装箱租赁公司、集装箱堆场和货运站等,基于企业运营特征和数据完整性考虑,本文选取集装箱运输主要组织者航运企业和货代物流企业作为分析样本。参照2015年全球集装箱班轮公司100强排名(前50名)^①和2015年度中国货代物流企业百强排名^②,逐一对企业官网进行访问查询(数据收集时间为2016年6月),结合全国企业信息查询平台(www.tianyancha.com),将在中国大陆两个以上(含两个)城市设有分支机构的企业纳入研究名单中,进行机构分布数据采集。剔除信息不完整和未涉及集装箱业务的企业,最终获得33家航运企业和79家货代物流企业(本文将二者合称为物流企业),共计112家物流企业在全国176个城市的分布数据,包括马士基航运、地中海航运、达飞轮船、长荣海运、赫伯罗特、中远集运等航运企业和中国外运长航集团、中国物资储运、敦豪全球货运、厦门象屿速传、锦程国际物流集团等货代物流企业。样本企业在全国集装箱运输市场具有较大规模和影响力,代表性强,数据可有效反映中国集装箱运输组织网络情况。

企业数据具体说明为:①采集的企业数据不包括香港、澳门和台湾;②如物流企业在同一个城市拥有两个及以上分支机构,以高等级机构为准对城市进行赋值;③将外企在中国的最高统筹协调机构定义为在中国总部;④本文所指城市均为地级以上城市,县、市、区企业数据归并到地级市;⑤由于大型物流企业通常都开展综合物流服务,企业数据实际上涉及集装箱运输组织中航运、货代、船代、集装箱租赁等诸多方面情况。

然后,按照物流企业在各城市分支机构(总部、区域分公司、地方分公司和办事处)的等级规模分别赋值4、3、2、1和0分,如企业总部所在城市赋值为4分,未布局的城市则赋值为0分,以此类推。从而得到112家企业在全国176个城市分布的112×176初始矩阵,实现企业资料向矩阵数据转化。考虑到部分城市总得分较低,本研究选取总得分高于3的城市做进一步分析,共获得119个城市数据(图1)。

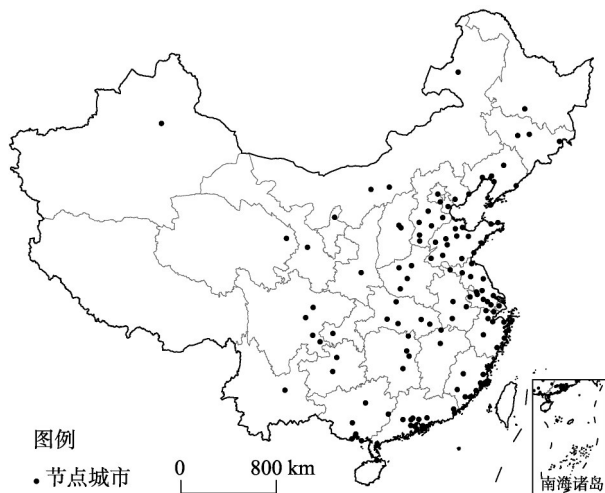


图1 中国集装箱运输组织网络节点城市分布
Fig. 1 Distribution of node-cities in Chinese container transportation organization network

3 中国集装箱运输组织网络分析

3.1 网络的等级结构特征

根据公式(1)~(3),计算得出119个节点城市的集装箱运输组织系数(COI),以此综合考察中国集装箱运输组织网络中各节点城市的组织枢纽功能。从计算结果可以直观的看出(图2),各城市的组织系数差距较大,呈现出明显的位序—规模递减趋势,组

① 航运界网: http://www.ship.sh/news_detail.php?nid=17100。

② 中国国际货运代理协会: <http://118.26.162.39:801/hdtz/hybtz/2016-07-01-2815.html>。

织系数超过1的城市仅有39个，占总数的32.78%，数量较少。基于组织系数，采用层次聚类分析法（组间连接）可将各节点城市划分为全国性枢纽城市、区域性枢纽城市、次区域性枢纽城市和地方性枢纽城市四种类型（表1）。全国性枢纽城市仅有上海，其组织系数高达5.08，远高于网络中的其他城市，处于组织网络的核心地位，国际化程度较高，深刻影响甚至主导着全国集装箱运输组织网络的运行。这可能要归因于上海凭借其国际

大都市和全国重要经济、金融、贸易和航运中心地位，以及全球吞吐量最大的上海港所形成的庞大集装箱运输市场，吸引了大量物流企业（特别是总部）集聚，成为众多物流企业空间网络的重要节点，进而使上海成为中国集装箱运输组织网络的组织核心。区域性枢纽城市包括天津（3.54）、青岛（3.45）和深圳（3.44）等8个城市，数量较少，主要承担各运营区或跨省级大区域的集装箱运输组织与协调职能，除北京外均为中国东部沿海重要枢纽港口城市。这些港口城市均为全球集装箱航运网络的主要挂靠港，是集装箱运输服务要素的天然聚集点，使其成为航运公司、货代等物流企业开展全球业务的理想区位。而北京作为中国政治、经济和文化中心，除了自身所拥有的广阔物流市场，还能够凭借“信息不对称”为企业大量提供政策信息与市场信息，对物流企业布局也具有极大的吸引力。次区域性枢纽城市包括南京（2.64）、武汉（2.54）和重庆（2.16）等24个城市，主要承担次区域或省内集装箱运输组织与协调职能，一般为省区级经济中心或重

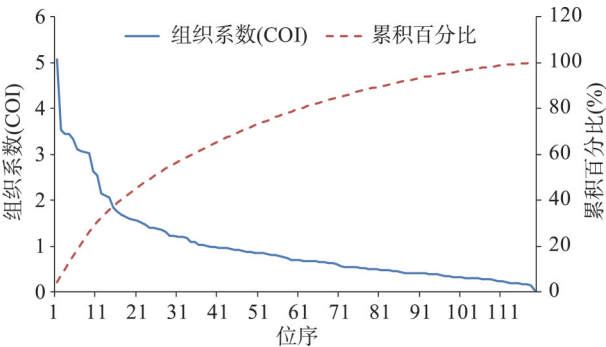


图2 中国集装箱运输组织网络组织系数分布
Fig. 2 Distribution of COI in Chinese container transportation organization network

表1 中国集装箱运输组织网络等级体系

Tab. 1 Hierarchy system of Chinese container transportation organization network

类型	城市	组织系数(COI)	均值	数量(个)	比重(%)
全国性枢纽城市	上海	5.08	5.08	1	0.84
区域性枢纽城市	天津、青岛、深圳、北京、厦门、大连、广州、宁波	3.02~3.54	3.26	8	6.72
次区域性枢纽城市	南京、武汉、重庆、福州、苏州、杭州、成都、连云港、郑州、西安、中山、烟台、东莞、合肥、南通、汕头、佛山、沈阳、昆明、长沙、嘉兴、无锡、南宁、珠海	1.19~2.64	1.63	24	20.17
地方性枢纽城市	石家庄、济南、南昌、哈尔滨、常州、温州、江门、淄博、湛江、海口、营口、秦皇岛、济宁、临沂、泉州、丹东、潍坊、惠州、唐山、威海、芜湖、太原、扬州、日照、吉林、呼和浩特、锦州、金华、贵阳、九江、镇江、长春、襄樊、洛阳、东营、保定、乌鲁木齐、防城港、廊坊、宜昌、徐州、绍兴、泰州、沧州、肇庆、兰州、包头、湖州、钦州、漳州、西宁、北海、莆田、银川、菏泽、南阳、延边、株洲、盐城、台州、安庆、荆州、邢台、聊城、岳阳、龙岩、黄石、柳州、梧州、衡阳、绵阳、泰安、邯郸、衡水、三明、宿迁、淮安、潮州、滨州、遵义、呼伦贝尔、泸州、晋中、平顶山、自贡、盘锦	0.05~1.09	0.57	86	72.27

要交通枢纽。地方性枢纽城市包括石家庄（1.09）、济南（1.09）和南昌（1.03）等86个城市，物流企业分支机构布局数量和对外联系相对较少，集装箱运输组织与协调能力最弱，处于整个组织网络的底层与边缘，服务于地方集装箱运输市场。4种类型枢纽城市的数量比例为0.84:6.72:20.17:72.27，且各类型的组织系数均值依次降低，即整体上呈现明显的金字塔型结构特征。

总体来看，众多物流企业市场组织行为及其空间集散过程的集合推动了中国集装箱运输组织网络中各节点城市集装箱运输组织能力的差异化发展，并形成较为明晰的规模等级结构。处于等级体系上层的少数枢纽城市集聚了大量企业分支机构，承担着全国主要的集装箱运输组织与协调职能，并具有影响和控制整个组织网络运行的能力。此外，虽然港口城市在高等级枢纽城市中占据较大比重，但随着等级降低，非港口城市（如北京、昆明、郑州等）所占比重表现出不断增长趋势。这也在一定程度上验证了非港口城市在中国集装箱运输组织网络中的重要地位与作用，是组织网络的不可或缺的组成部分。

3.2 网络组织能力的空间分异特征

在前文基础上，利用ArcGIS中的核密度估计方法验证中国集装箱运输组织网络的空间分异特征（图3）。中国集装箱运输组织能力空间分布非均衡性突出，区位倾向性特征明显，高密度区和较高密度区主要集中于东部沿海地区，而中西部地区除小面积较高密度区和中等密度区外皆为大面积低密度区，整体呈现出明显的东西地带性差异及向环渤海、长三角、东南沿海和珠三角地区集聚分布的特征。具体来看，围绕全国性枢纽城市和区域性枢纽城市，在区域层面上形成了6个连片的集装箱运输组织系数高值核心区：①辽东半岛核心区：以大连为组织核心，包括沈阳、锦州和营口等城市组成；②京津冀核心区：以天津和北京为组织核心，包括石家庄、秦皇岛和唐山等城市组成；③山东半岛核心区：以青岛为组织核心，包括连云港、烟台和潍坊等城市组成；④长三角核心区：以上海为组织核心，宁波为副核心，包括南京、苏州和杭州等城市组成，枢纽城市集聚程度最高，覆盖范围也最广；⑤东南沿海核心区：以厦门为组织核心，包括福州、泉州和漳州等城市组成；⑥珠三角核心区：以深圳和广州为组织核心，包括中山、东莞和汕头等城市组成。与此同时，围绕武汉、重庆、成都、郑州、西安、昆明、长沙和南宁次区域性枢纽城市，在中国中西部地区集聚形成7个相互“孤立”且覆盖范围不一的集聚区（重庆和成都联系紧密，共同构成一个集聚区）。虽然集聚区在集装箱运输组织能力方面远弱于核心区，但对促进广大中西部地区的集装箱运输和区域经济发展具有重要的辐射带动作用。

由此可见，中国集装箱运输组织能力空间分异特征同全国区域经济发展格局和综合交通网络布局表现出较高的空间耦合性。改革开放以来中国外向型经济实现快速发展，东部沿海地区（尤其是环渤

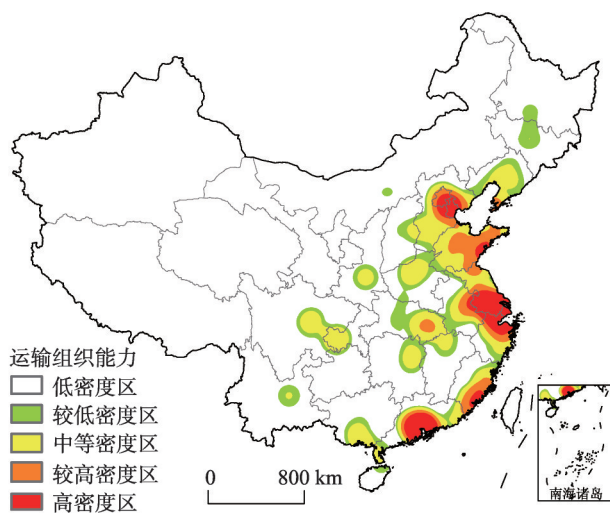


图3 中国集装箱运输组织能力空间分异
Fig. 3 Spatial differentiation of the organizational ability of container transportation in China

海、长三角和珠三角地区)和长江沿岸地区作为中国对外贸易的主要发生地,进出口货物贸易繁荣,逐步发展成为全球最重要的集装箱货源地和目的地,集装箱运输市场广阔,吸引大量物流企业在此布局,促进了沿海沿江集装箱运输组织网络的发育。同时,由于物流企业对大型交通设施和交通区位强烈的依附性^[23],使重大交通干线节点城市和多式联运枢纽城市成为物流企业集聚的重要区位,特别是作为海陆多种运输方式交汇地的沿海沿江港口城市,正发展成为集装卸、运输、仓储、包装、加工、信息处理等多种物流功能为一体的综合物流中心和物流产业集群发展的重要载体,吸引众多航运公司、货代等企业集聚,从而影响全国集装箱运输组织能力的空间分异。

3.3 网络联系的空间结构特征

为进一步揭示中国集装箱运输组织网络联系的空间结构特征,按网络中各节点城市间的组织联系度从高到低排序,分别提取前0.1%、0.1%~0.5%、0.5%~2.5%和2.5%~10% 4种网络联系城市对,从而简化密集的联系网络以便于分析。然后,借助 ArcGIS 软件分别绘制成图(图4)。

图4中,前0.1%联系网络共有7组城市对(图4a),组织联系度处于360~486之间,涉及上海、天津、青岛和深圳等8个城市,均为网络中的全国性枢纽城市和区域性枢纽城市。网络联系主要发生在上海—天津(486)、上海—青岛(458)、上海—深圳(457)等城市间,表现出明显的以上海为空间联系指向核心的特征。前0.1%~0.5%联系网络共有27组城市对(图4b),组织联系度处于213~350之间,在已有节点城市的基础上加入了大连、南京、武汉和重庆,使城市数量增加到12个。联系网络除分别增加了南京、武

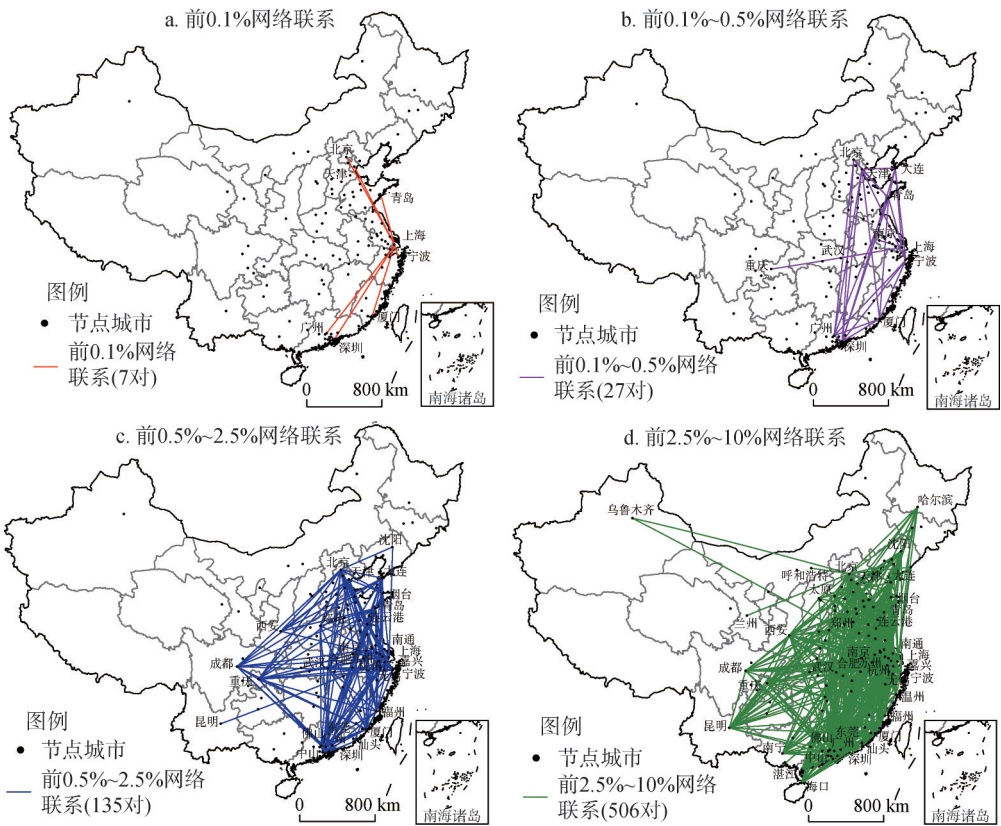


图4 中国集装箱运输组织网络空间联系结构(前10%)

Fig. 4 Linkages of Chinese container transportation organization network (Top 10%)

汉、重庆3个次区域性枢纽城市同上海间的联系外,其余均为包括新增加的大连在内的全国性枢纽城市和区域性枢纽城市间相互联系的进一步加密,特别是宁波、广州和深圳等对外联系数量增加明显。前0.5%~2.5%联系网络共有135组城市对(图4c),组织联系度处于79~210之间,城市对主要包括上海—苏州(210)、上海—福州(204)、重庆—天津(161)、福州—深圳(159)等,在原有网络基础上进一步接入了成都、福州、杭州、连云港、苏州和中山等次区域性枢纽城市。同前两类联系网络相比,前0.5%~2.5%联系网络主要是次区域性枢纽城市同全国性枢纽城市和区域性枢纽城市之间联系的建立,具有强烈的东部沿海地区空间指向性,网络联系向沿海6大核心区集聚的趋势开始显现。前2.5%~10%联系网络共有506组城市对(图4d),涉及全国性、区域性、次区域性和地方性枢纽城市四类共69个城市,组织联系度处于30~78之间,整体联系度水平相对较低。这部分网络联系空间分布情况表现出与前0.5%~2.5%联系网络相类似特征,在继续加密东部节点城市间联系网络的基础上,覆盖范围进一步向中西部地区地方性枢纽城市(如南宁、乌鲁木齐、哈尔滨等城市)拓展,使网络联系空间结构更加复杂和稠密。

综合来看,上海、天津、青岛、深圳等全国性枢纽城市和区域性枢纽城市间拥有相对较高的组织联系度,彼此联系十分紧密,构成了中国集装箱运输组织网络联系的核心与基本框架。而数量众多的次区域性枢纽城市和地方性枢纽城市则倾向于通过与高等级枢纽城市建立联系,进而融入全国集装箱运输组织网络,但其组织联系度要明显弱于高等级枢纽城市之间的组织联系度。同时,由于具有强烈的空间指向性,网络联系更容易建立在东部沿海城市之间,中西部地区城市间联系较弱且在联系网络中所占比重相对较低,从而形成中国集装箱运输组织网络联系东部地区稠密、中西部地区相对稀疏的基本空间格局。

3.4 网络结构的复杂性特征

利用UCINET软件分别测算网络的度中心性、平均路径长度和聚类系数,以便更为直观地揭示中国集装箱运输组织网络的空间联系特征、网络发育程度及其服务水平。从度中心性计算结果可以发现,中国集装箱运输组织网络节点城市的度值普遍较高,整体网络平均度值达113.41,即每个城市平均与其他113个城市有直接联系。其中,有27个城市的度值达118,占城市总数的22.69%。说明组织网络节点城市间连接紧密,对外直接联系便捷,对邻近城市的依赖性较低。从网络连通性来看,平均路径长度达1.04,即组织网络中任意城市对之间最少通过1.04条边就可以建立组织联系,略高于同等规模的随机网络最短路径理论值($L_{ER} \propto \ln N / \ln \langle k \rangle \approx 1.01$),其中有96%的城市之间存在直接联系。可见中国集装箱运输组织网络节点城市间具有相对较高的连通性和空间组织效率,信息传递十分便捷。从网络的集团化程度考察,组织网络的聚类系数达0.98,略高于随机网络聚类系数理论值($C_{ER} = k/n \approx 0.95$),表现出较强的集聚性,反映出中国集装箱运输组织网络节点城市之间形成紧密组织联系的可能性较大。

在此基础上,基于节点城市的组织系数、度和聚类系数3个指标数据,分析网络结构复杂性特征与节点城市集装箱运输组织枢纽功能的内部关联性。相关性分析结果显示,节点城市的组织系数与度值呈显著正相关,相关系数为0.343(显著性水平达0.01),即度值越高的城市,其组织系数也越高。随着对外直接联系数量的增加,节点城市越发靠近网络的中心位置,其所能掌握的物流资源、信息和在网络中的话语权不断增加,对集装箱运输的组织和协调能力得到持续增强。同时,节点城市的组织系数与聚类系数的相关系数为-0.676(显著性水平达0.01),呈显著负相关。这主要是因为一般来说聚类系数低的城市对外开放程度较高,对外直接联系的城市数目普遍较多^[24],所集聚的

企业分支机构数量和等级规模也优于聚类系数较高的城市,使其在集装箱运输网络中拥有相对较大的组织能力,即更高的组织系数。可见,集装箱运输组织网络拓扑结构特征对网络节点城市的组织能力具有重要影响。

4 结论与讨论

4.1 结论

本文尝试利用企业空间网络数据刻画中国集装箱运输组织网络拓扑结构,使网络不仅仅局限于班轮航线所联系的港口城市,而是覆盖到经济中心、政治中心、交通枢纽等多种具备集装箱运输组织与协调功能的城市,为了解市场经济条件下中国集装箱流空间组织特征提供了有益信息。主要研究结论为:① 中国集装箱运输组织网络中各节点城市的集装箱运输组织能力存在显著差异,基于组织系数可将节点城市划分为全国性枢纽城市、区域性枢纽城市、次区域性枢纽城市和地方性枢纽城市四种类型,总体上呈现出明显的金字塔型等级结构特征,等级越高,节点城市数量越少。② 以节点城市为空间载体的中国集装箱运输组织能力在空间分布上表现出十分显著的非均衡性特征,具有明显的东西地带性差异及向环渤海、长三角、东南沿海和珠三角地区集聚的特点,大体形成由东部沿海6个核心区和中西部7个集聚区所构成的“6+7”空间分布格局,这可能与全国区域经济发展格局和综合交通网络布局以及集装箱运输业自身特点等具有密切关系。③ 中国集装箱运输组织网络中的全国性枢纽城市和区域性枢纽城市间具有紧密而广泛的网络联系,成为众多节点城市空间联系指向的核心。同时,东部地区网络联系密度要显著高于中西部地区,联系网络整体呈现从东部沿海向中西部地区、从全国性枢纽城市向地方性枢纽城市逐渐拓展的趋势。④ 基于企业功能联系的中国集装箱运输组织网络中的节点城市间联系紧密,集聚性特征明显,网络结构具有相对较高的连通性和空间组织效率,网络结构复杂性特征与节点城市集装箱运输组织协调能力具有显著相关性。

4.2 讨论

综合来看,集装箱运输组织网络是区域经济发展格局与众多物流企业市场组织行为长期耦合作用的结果,节点城市在网络中的地位与对外连通性不仅与自身发展条件密切相关,众多物流企业空间网络设置所引起的城市间分支机构等级与集聚数量差异更是塑造节点城市集装箱运输组织能力和集装箱运输组织网络结构特征的关键力量。因此,物流企业空间网络布局与选址为优化中国集装箱运输组织网络结构、扩大覆盖范围和提高节点城市集装箱运输组织能力提供了一条重要途径。整体而言,不仅要进一步加强节点城市交通基础设施、物流园区、集装箱物流中心等硬件设施的规划与建设,增强基础设施支撑保障能力,还应在财政、金融、税收和土地供应等方面制定相应的优惠扶持政策,营造良好的市场环境,从而有效促进物流企业集聚与发展。就不同区域而言,要积极引导和鼓励大型物流企业(特别是骨干物流企业)向组织网络相对稀疏的中西部地区布局,提高网络覆盖范围和密度;而东部沿海沿江港口城市要特别重视对大型航运公司的吸引,以提高港口城市对外连通性和在全球航运网络中的枢纽地位。

须注意的是,拓扑网络并非真实网络的简单投影,两者仍存在一定差距^[22]。本文基于112家航运企业和货代物流企业的数据也难以完全反映中国集装箱运输组织网络的全貌,且对样本城市的筛选也可能影响网络复杂性特征的精确性。今后将进一步补充企业数据,从组织网络形成与演化机制、枢纽城市竞合关系、城市内部企业组织网络特征等方面对中国集装箱运输组织网络进行更加深入的研究。

参考文献(References)

- [1] Han Zenglin, An Xiaopeng, Wang Li, et al. Distribution and optimization of container transportation network in China. *Acta Geographica Sinica*, 2002, 57(4): 479-488. [韩增林, 安筱鹏, 王利, 等. 中国国际集装箱运输网络的布局与优化. *地理学报*, 2002, 57(4): 479-488.]
- [2] Chang T S. Best routes selection in international intermodal networks. *Computers & Operations Research*, 2008, 35(9): 2877-2891.
- [3] Taylor G D, Broadstreet F, Meinert T S, et al. An analysis of intermodal ramp selection methods. *Transportation Research Part E: Logistics & Transportation Review*, 2002, 38(2): 117-134.
- [4] Shintani K, Imai A, Nishimura E, et al. The container shipping network design problem with empty container repositioning. *Transportation Research Part E*, 2007, 43(1): 39-59.
- [5] Wang Chengjin, Jin Fengjun. Organization networks of Chinese marine container transportation. *Scientia Geographica Sinica*, 2006, 26(4): 392-401. [王成金, 金凤君. 中国海上集装箱运输的组织网络研究. *地理科学*, 2006, 26(4): 392-401.]
- [6] Baird A J. Optimising the container transshipment hub location in northern Europe. *Journal of Transport Geography*, 2006, 14(3): 195-214.
- [7] Lam J S L, Wei Y Y. Dynamics of liner shipping network and port connectivity in supply chain systems: Analysis on East Asia. *Journal of Transport Geography*, 2011, 19(6): 1272-1281.
- [8] Rodrigue J P, Notteboom T. Containerized freight distribution in North America and Europe//*Handbook of Global Logistics*. New York: Springer, 2013: 219-246.
- [9] Wilmsmeier G, Notteboom T. Determinants of liner shipping network configuration: A two-region comparison. *GeoJournal*, 2011, 76(3): 213-228.
- [10] Notteboom T. Container shipping and ports: An overview. *Review of Network Economics*, 2004, 3(2): 1-21.
- [11] Laxe F G, Seoane M J F, Montes C P. Maritime degree, centrality and vulnerability: Port hierarchies and emerging areas in containerized transport (2008-2010). *Journal of Transport Geography*, 2012, 24(3): 33-44.
- [12] Wang Liehui, Hong Yan. Spatial structure of container port systems across the Taiwan Straits under the direct shipping policy: A complex network system approach. *Acta Geographica Sinica*, 2016, 71(4): 605-620. [王列辉, 洪彦. 直航背景下海峡两岸集装箱港口体系空间结构: 基于复杂网络的视角. *地理学报*, 2016, 71(4): 605-620.]
- [13] Ducruet C, Notteboom T. The worldwide maritime network of container shipping: Spatial structure and regional dynamics. *Global Networks*, 2012, 12(3): 395-423.
- [14] Ridolfi G. Containerisation in the Mediterranean: Between global ocean routeways and feeder services. *GeoJournal*, 1999, 48(1): 29-34.
- [15] Song D W. Regional container port competition and co-operation: The case of Hong Kong and South China. *Journal of Transport Geography*, 2002, 10(2): 99-110.
- [16] Wang Chengjin. Spatial organizational network of logistics company in China. *Acta Geographica Sinica*, 2008, 63(2): 135-146. [王成金. 中国物流企业的空间组织网络. *地理学报*, 2008, 63(2): 135-146.]
- [17] Cullinane K, Fei W T, Cullinane S. Container terminal development in Mainland China and its impact on the competitiveness of the port of Hong Kong. *Transport Reviews*, 2004, 24(1): 33-56.
- [18] Rodrigue J P, Comtois C, Slack B. Transportation and spatial cycles: Evidence from maritime systems. *Journal of Transport Geography*, 1997, 5(2): 87-98.
- [19] Slack B. Across the pond: Container shipping on the North Atlantic in the era of globalisation. *GeoJournal*, 1999, 48(1): 9-14.
- [20] Taylor P J. Specification of the world city network. *Geographical analysis*, 2001, 33(2): 181-194.
- [21] Wang Xiaofan, Li Xiang, Chen Guanrong. *Complex Network: Theory and Application*. Beijing: Tsinghua University Press, 2006. [汪小帆, 李翔, 陈关荣. 复杂网络理论及其应用. 北京: 清华大学出版社, 2006.]
- [22] Mo Huihui, Wang Jiao'e, Jin Fengjun. Complexity perspectives on transportation network. *Progress in Geography*, 2008, 27(6): 112-120. [莫辉辉, 王皎娥, 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.]
- [23] Wang Chengjin, Zhang Mengtian. Spatial pattern and its mechanism of modern logistics companies in China. *Progress in Geography*, 2014, 33(1): 134-144. [王成金, 张梦天. 中国物流企业的布局特征与形成机制. *地理科学进展*, 2014, 33(1): 134-144.]
- [24] Wang Jiao'e, Mo Huihui, Jin Fengjun. Spatial structural characteristics of Chinese aviation network based on complex network theory. *Acta Geographica Sinica*, 2009, 64(8): 899-910. [王皎娥, 莫辉辉, 金凤君. 中国航空网络空间结构的复杂性. *地理学报*, 2009, 64(8): 899-910.]

Organization network of Chinese container transportation from the perspective of enterprises

YE Shilin^{1,2}, CAO Youhui¹, WANG Jiawei³, WU Wei¹

(1. Nanjing Institute of Geography and Limnology, CAS, Nanjing 210008, China;

2. University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China;

3. School of Geographical Sciences, Fujian Normal University, Fuzhou 350007, China)

Abstract: Containerization, which is an important technical innovation in global freight system, has a profound and lasting impact on global trade, regional development, and freight spatial organization. At present, container transportation has become an important carrier of global production factors and commodity flows. Thus, research on the organization network of container transportation has attracted considerable attention from researchers. Literature relevant to this area also continues to grow. In this study, we selected 112 typical container shipping lines and freight forwarders, which are the main organizers of the inter-regional flows of container cargo around the world in the context of market economy. A total of 119 cities, where these shipping lines and freight forwarders are located, are taken as study objects. The hierarchical structure, spatial pattern, network connection, and complexity features of China's container transportation organization network are analyzed based on the theory and research method concerning urban network and complex network. Our study revealed that: (1) Gaps exist in the organizational ability of container transportation in each node-city in China's organization network for container transportation. This network can be divided into four types, namely, national hub city, regional hub city, sub-regional hub city, and local hub city. This network is characterised by a typical pyramidal hierarchical structure. (2) The spatial distribution of the organizational ability of container transportation in China is significantly imbalanced. Significant zonal differences and agglomeration can be observed in the Bohai Rim, the Yangtze River Delta, the south-eastern coastal areas, and the Pearl River Delta. In terms of spatial distribution, the "6+7" spatial structure system, which is composed of six core areas and seven agglomeration areas of the organizational ability, presents the current structure of organization network of container transportation. (3) The linkages between the national hub cities and the regional hub cities are close and extensive, which constitutes the basic framework of linkages network and the main direction of linkages among node-cities. The density of the network linkages in the eastern region is significantly higher than that of the central and western regions. By contrast, network linkages generally tend to expand from the eastern coast area to the central and western regions and from the national hub cities to the local hub cities. (4) The results of complex network analysis show that China's container transportation organization network has strong spatial concentration, connectivity, and spatial organization efficiency. Furthermore, we found that a significant correlation exists between the complexity of the network structure and the container transportation organizational ability of a node city.

Keywords: enterprise network; container transportation; organization network; spatial structure; complex network; China