

# 公路货运视角下城市群网络特征及绩效探讨

——以我国三大城市群为例

王启轩 程 遥



**提 要** 货运物流是区域城镇节点联系并形成网络的重要维度,是支撑城市群形成和发展的“骨架”,其高效运转是城市群和区域一体化发展的必要条件。利用互联网物流数据平台上各城市间的货运联系数据,对我国三大城市群的公路货运网络特征做分析,发现长三角、珠三角已经形成了相对成熟的多层次公路货运网络,分别以上海和广州为单核心;而京津冀的货运网络则以天津和北京为双核,网络结构相对简单,以核心城市向其它城市辐射的单向联系为主。进一步从货运网络的均衡性、稳定性、层次性三个角度对案例城市群的网络绩效进行评价,结果表明物流网络的空间结构特征并不必然导致城市群网络绩效的差异性;一个成本更低、更快捷、更安全的物流网络有赖于城市群内城镇节点的合理分工协作,有赖于城市网络的组织协调,也有赖于若干不同层次门户枢纽节点的建立。研究结论对我国城市群跨地域货运网络绩效的提升有所启示。

**关键词** 城市网络;公路货运;城市群;网络绩效

中图分类号 TU984 文献标识码 A  
DOI 10.16361/j.upf.202002004  
文章编号 1000-3363(2020)02-0032-08

## 作者简介

王启轩,同济大学建筑与城市规划学院,博士研究生, wqx3@qq.com  
程 遥,同济大学建筑与城市规划学院,高密度人居环境生态与节能教育部重点实验室,副教授,通讯作者, 15156@tongji.edu.cn

Characteristics and Performance of City Network from the Perspective of Highway Freight—The Case of Three Major Urban Agglomerations in China

WANG Qixuan, CHENG Yao

**Abstract:** Freight transport is an important dimension of regional urban connection and network formation, and its efficient operation is a necessary condition for the development of urban agglomeration and regional integration. Using the data of freight transport links between cities based on the Internet logistics platform, this paper analyses the characteristics of highway freight network in three major urban agglomerations. It is found that relatively speaking, YRD and PRD have multilayered road freight network hierarchy assuming Shanghai- and Guangzhou-based monocentric structure respectively, while the network of BTH is simple and dual-centric around Tianjin and Beijing. Furthermore, the paper evaluates the performance of the freight-based city network from the perspectives of balance, stability and hierarchy, and the results show that spatial structure of the network does not necessarily lead to the difference in network performance. A lower-cost, faster and safer logistics network depends on reasonable specialization and cooperation of urban nodes within the urban agglomeration, the organization and coordination of the city network, and the establishment of nodal hierarchy. The conclusion has implications for the improvement of the regional freight transport network of China's urban agglomerations.

**Keywords:** city network; highway freight; urban agglomeration; network performance

随着“物联网”时代的来临,城市间货物流动已成为影响区域空间格局的重要因素。实现区域物流一体化协同发展,不仅是物流业发展的客观需要,也是城市群一体化高效发展的重要支撑(梁红艳,2019;方创琳,2014)。物流在区域货物交换中承担着收储、运输、配送等职能,是实现货物从卖方至买方跨地域转移的必需步骤。货物运输有多种方式,其中公路货运量在我国货运总量中的占比接近80%;在城市群和省域层面,公路运输更是货物运输的主要方式。因此,公路货运网络是城市群内最具代表性的物流网络:一方面,公路货运在各类运输方式中占比高、且适应性强;另一方面,在城市群尺度下公路货运的运距优势凸显,是货物“点对点”运输及其他运输方式“接驳”的首选。本研究采用互联网物流数据平台提供的城际货运线路数量,构建我国三大城市群基于公路货运的城市网络,解析其特征并对网络结构绩效提升问题做探讨,以期对我国城市群和区域的协调发展有所裨益。

## 1 公路货运视角的城市网络研究概述

### 1.1 基于城际货运的区域城市网络研究

21世纪以来,“流动空间”(M. Castells, 1996)和“世界城市网络”(P. J. Taylor, G. Catalano, 等, 2002)概念逐渐被我国学者所熟知和运用,这类从城市功能联系和要素流动角度出发的区域研究,极大地扩展了传统从规模等级出发的研究视角。区域城市网络可由各类“流”来定义,其中“货运流”是要素流动的重要组成部分,相关研究主要可归纳为以下三类。

(1)以“引力模型”为方法,运用物流相关统计数据模拟区域物流网络结构特征,并分析城市在区域物流中承担的功能(戢晓峰,张雪,等,2016;刘荷,王健,2014;梁红艳,2019)。这类研究基于规模优势和空间邻近必然产生城镇相互联系的理论假设,使用属性数据和地理距离对城市间货流联系格局进行测度,并不能完全反映城镇之间实际发生的物流联系。

(2)基于实际货流数据,建立区域“城市网络”模型,研究航空货运网络(潘坤友,曹有挥,等,2007;杨扬,董红丹,等,2017)和港口货运网络(王成金,2008;王列辉,张圣,2018)。但由于航空、海运等物流联系的特征,该方法多运用于全球及国家城市网络的分析,较难反映城市群等区域尺度的物流组织。

(3)将Taylor和Alderson等人的企业组织网络分析方法(A. S. Alderson, J. Beckfield, 2004; P. J. Taylor, M. Hoyer, 等, 2010)加以拓展,以物流企业组织关系构建全国或区域的城市网络,从“总部——分支”视角出发研究区域物流空间格局(叶磊,段学军,2016;董琦,甄峰,2013;秦璐,高歌,2017)。然而,物流企业与Taylor等学者研究的高端生产性服务业存在差异,后者的联系多为服务等虚拟产品,而物流企业的联系基于实际商品的货运量。因此总部——分支联系仅能间接反映城镇之间是否存在物流联系的可能,而无法直接反映城市间的实际货运交流。

### 1.2 互联网平台数据出发的公路货运城市网络研究

城市群是城际公路货运服务的主要区域,又是区域网络化发展的重要承载地,公路货运流是研究城市群网络组织和效率的重要测度之一。随着互联网的普及和“物联网”的出现,互联网物流交易平台汇集了大量物流公司和实际货运联系的信息,为获取城市群内真实发生的物流数据提供了可能。

目前,已经有学者尝试运用互联网平台货运数据,如货运线路数量、货主发布信息等,对长江经济带以及全国的货运网络格局进行研究(宓泽锋,曾刚,2018;刘正兵,戴特奇,等,2017)。本文采用的数据来自我国最大的物流信息服务平台“菜鸟网络”(以下称“菜鸟”)<sup>①</sup>,相比为企业、电商提供专业物流服务的“第三方物流”,“菜鸟”是为超过1万家第三方物流企业提供大数据物流服务的“第四方数据平台”,可以采集到更为广泛的物流联系数据。

## 2 研究方法和内涵界定

### 2.1 基于区域公路货运的城市网络构建方法

以京津冀<sup>②</sup>、长三角<sup>③</sup>、珠三角<sup>④</sup>三个区域内城市间的公路货运线路数量为基础数据(抓取时间为2019年7月1日),整理得到各城市群内城市间的线路总数量分别为:京津冀9.77万条、长三角27.20万条、珠三角13.64万条。参考较为成熟的城市网络构建方法(A. S. Alderson, J. Beckfield, 2004; P. J. Taylor, 等, 2010),对主要基础指标“出度”“入度”“联系度”“中心度”等加以定义:出发地在*i*城市,目的地在*j*城市的货运联系(即线路数量)为 $T_{ij}$ ,反之为 $T_{ji}$ ,而两城市间的总公路货运联系度为 $V_{ij}$ (称“联系度”);同时, $T_{ij}$ 和 $T_{ji}$ 是有方向的,城市*i*的总外向联系(称“出度”)  $O_i$ 和总内向联系(称“入度”)  $I_i$ 分别代表了城市*i*在*r*个城市中的城市网络中的向外配送货物和吸收外来货物的能力,而城市*i*的合计总联系度(称“中心度”)  $C_i$ 则表达了其在该

城市网络中的地位。公式表达如下:

$$\textcircled{1} V_{ij} = V_{ji} = T_{ij} + T_{ji}$$

$$\textcircled{2} I_i = \sum_{j=1}^r T_{ij}$$

$$\textcircled{3} O_i = \sum_{j=1}^r T_{ji}$$

$$\textcircled{4} C_i = I_i + O_i$$

此基础上,采用社会网络分析(social network analysis, SNA)等方法探讨货运网络的特征。主要方法或指标包括:①“出入比(出度/入度)”即一个城市在网络中货运出发量“出度”与到达量“入度”的比值,表征该城市在区域中承担货运“出发地”和“目的地”职能的强弱;②网络中心势<sup>⑤</sup>,用以表征网络的整体中心性,判断各城市群货运网络的均匀分布情况;③多维标度分析(MDS模型)<sup>⑥</sup>,通过联系度大小决定节点间的距离,可构建无地理距离影响的网络结构;④网络稳定性<sup>⑦</sup>,指网络在多大程度上存在多余的连线,其有助于城市网络整体韧性的提升。

### 2.2 公路货运数据的内涵辨析

通过“菜鸟”平台可抓取到的数据有城市间的“公司数量”“线路数量”和“近期(90天)订单量”三类。对这些数据的内涵——其相互关系和特点等(图1)需要加以全面辨析:提供各城市间货运服务的公司的数量差异较小;较为“精细”的订单量则随时间存在大幅变动,且难以体现不同订单量间的实际价值差异。相比之下,“货运线路”作为由各公司根据实际市场“需求”而调整确定的“供给”,似更适合作为网络研究中的关系数据。

考虑到货运订单量具有偶然性、季节性和不稳定性,而物流公司根据市场供给所确定的线路则可以更稳定地反映制造业、零售业企业主导下的城际货物联系(余兴源,2018),即城市间的货运联系所蕴涵的“价值”。此外,通过对比三类数据中心度与各市相关统计指标,可发现货运线路数据与工业、零售业等经济社会水平的相关性高(表1)。因此,本研究从货运“质量”(线路数据)维度,而非“数量”(订单数据)维度,构建公路货运联系下的三大城市群内部网络。

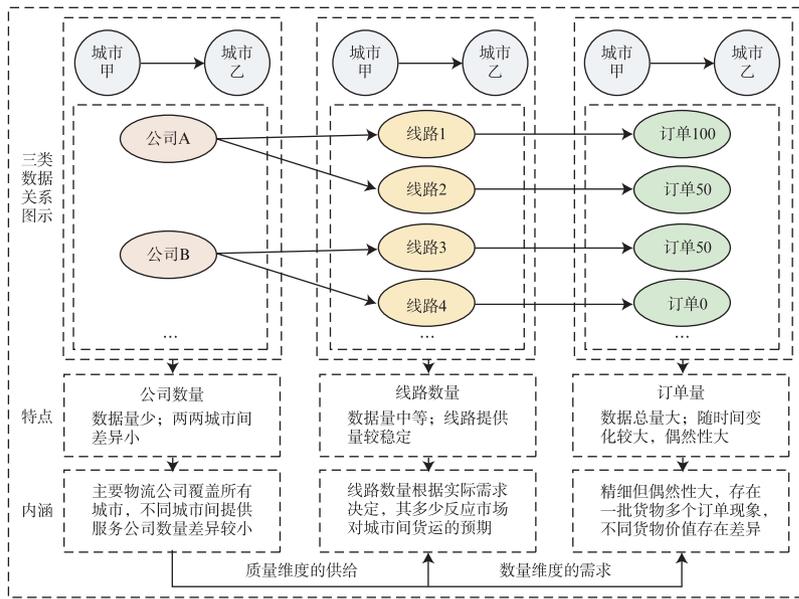


图1 互联网平台三类数据的关系和特点

Fig.1 The relationship, characteristics and connotation of three kinds of data on internet platform  
资料来源：作者自绘。

表1 互联网平台货运中心度与部分统计数据的相关性矩阵

Tab.1 The correlation matrix between the centrality of freight data and some statistical data

Pearson相关性检验	GDP	常住人口	公路货运量	规模以上工业利润总额	消费品零售总额	城镇制造业从业人口	城镇批发零售业从业人口
货运线路中心度	0.784**	0.759**	0.550**	0.790**	0.813**	0.517**	0.673**
货运公司中心度	0.183	-0.058	-0.017	0.300*	0.168	0.371**	0.061
货运订单中心度	0.710**	0.560**	0.494**	0.766**	0.676**	0.749**	0.498**

\*\* 在 .01 水平（双侧）上显著相关。

\* 在 0.05 水平（双侧）上显著相关。

资料来源：根据中心度与统计数据（国家统计局，2018）相关性检验结果自绘。

### 3 公路货运视角的我国三大城市群网络建构和分析

#### 3.1 三大城市群的整体网络格局

根据公路货运线路数据，分别构建三大城市群内部的城市网络，其总体特征如下。

(1) 京津冀整体城市网络以京、津联系为底边，指向保定和石家庄等京广通道沿线城市，呈多层“倒三角”状（图2）。城市联系度方面，北京与天津、天津与石家庄、天津与保定排名前三，联系度最高的前九组城市均包含北京或天津。中心度方面（表2），天津以微弱优势超过北京，此发现与从物流企业布局视角出发的研究结论相一致（秦璐，

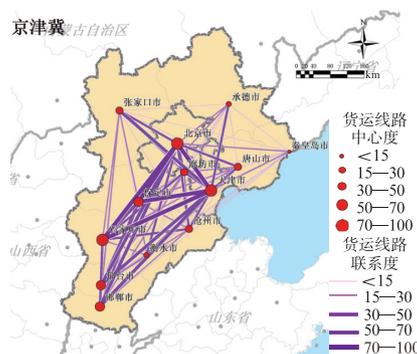


图2 京津冀公路货运网络整体格局（数值标准化至0—100）

Fig.2 Network structure of BJT based on high-way freight network  
资料来源：作者自绘。

高歌，2017)；同时，北京、天津共同处于第一层级，而北部的承德、秦皇岛

表2 京津冀公路货运网络中心度计算结果

Tab.2 Network centrality of BTH based on high-way freight network

城市	出度	入度	中心度	中心度相对值
天津市	22 795	7 479	30 274	100.00
北京市	21 897	6 947	28 844	95.28
石家庄市	10 874	11 041	21 915	72.39
保定市	7 223	11 590	18 813	62.14
邯郸市	6 401	9 543	15 944	52.67
邢台市	6 332	9 068	15 400	50.87
廊坊市	7 206	5 249	12 455	41.14
沧州市	2 570	8 270	10 840	35.81
唐山市	4 167	6 302	10 469	34.58
张家口市	2 005	7 814	9 819	32.43
衡水市	2 656	6 117	8 773	28.98
承德市	1 211	4 757	5 968	19.71
秦皇岛市	2 345	3 505	5 850	19.32

资料来源：据城市网络计算结果。

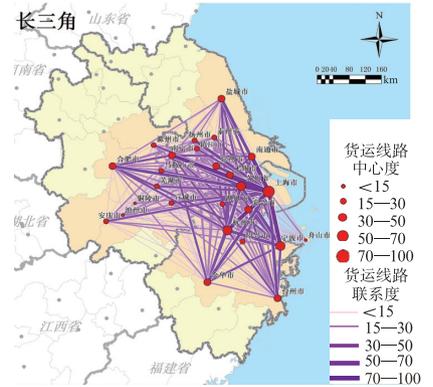


图3 长三角公路货运网络格局（数值标准化至0—100）

Fig.3 Network structure of YRD based on high-way freight network  
资料来源：作者自绘。

等市的排名靠后。

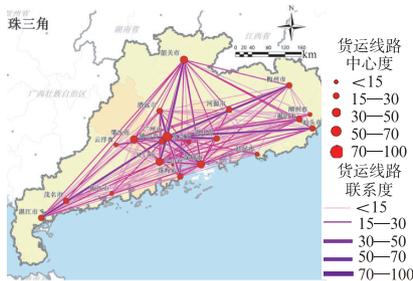
(2) 长三角整体城市网络以上海为单中心，向江、浙、徽三省城市扩展，网络主干与传统的“之字形”廊道相吻合，苏州、杭州、宁波等市以较高的中心度承担着物流副中心的职能（图3）。联系度方面，长三角排名前八位城市对联系皆为上海与其他城市的联系，最高值为上海与苏州的联系，足见上海在本区域内的支配地位。中心度方面（表3），上海遥遥领先，其他中心城市的差距不大；省际比较，安徽省大部分城市排名相对靠后。

(3) 珠三角整体城市网络以广州为单中心，深圳、江门、韶关、肇庆等为副中心，形成以“珠三角9市”链接粤

**表3 长三角公路货运网络中心度计算结果**  
Tab.3 Network centrality of YRD based on high-way freight network

城市	出度	入度	中心度	中心度相对值
上海市	40 278	19 294	59 572	100.00
杭州市	21 107	15 591	36 698	61.60
苏州市	21 964	14 332	36 296	60.93
宁波市	21 736	13 788	35 524	59.63
南京市	15 122	14 457	29 579	49.65
南通市	14 840	12 246	27 086	45.47
无锡市	15 716	10 550	26 266	44.09
金华市	11 337	12 708	24 045	40.36
合肥市	11 128	12 452	23 580	39.58
台州市	10 274	12 471	22 745	38.18
嘉兴市	11 764	10 515	22 279	37.40
常州市	11 920	8 967	20 887	35.06
盐城市	6 547	12 583	19 130	32.11
扬州市	8 357	9 249	17 606	29.55
绍兴市	8 964	8 613	17 577	29.51
镇江市	8 010	8 379	16 389	27.51
泰州市	7 504	8 533	16 037	26.92
湖州市	6 316	7 403	13 719	23.03
安庆市	1 847	11 171	13 018	21.85
滁州市	3 135	9 503	12 638	21.21
芜湖市	3 084	9 409	12 493	20.97
宣城市	2 283	8 672	10 955	18.39
马鞍山市	2 971	6 975	9 946	16.70
舟山市	3 297	4 277	7 574	12.71
池州市	1 363	5 231	6 594	11.07
铜陵市	1 109	4 604	5 713	9.59

资料来源：据城市网络计算结果。



**图4 珠三角公路货运网络格局**  
(数值标准化至0—100)

Fig.4 Network structure of PRD based on high-way freight network  
资料来源：作者自绘。

东、粤西、粤北的格局(图4)。联系度方面，广州与其他城市的联系普遍较强；其中，广州与江门的联系超过了广州与韶关和广州与深圳间的联系。中心度方面(表4)，广州大幅领先于其他城市；东莞、中山等珠江口城市的中心度较小，可能与其水运条件较好有关，或是广、深分担了部分货运职能。

**表4 珠三角公路货运网络中心度计算结果**  
Tab.4 Network centrality of PRD based on high-way freight network

城市	出度	入度	中心度	中心度相对值
广州市	21 030	11 056	32 086	100.00
江门市	9 636	8 103	17 739	55.29
韶关市	7 472	10 210	17 682	55.11
深圳市	10 419	6 658	17 077	53.22
肇庆市	7 854	8 432	16 286	50.76
佛山市	8 089	6 084	14 173	44.17
湛江市	4 889	8 706	13 595	42.37
清远市	6 396	7 125	13 521	42.14
梅州市	4 963	8 410	13 373	41.68
惠州市	6 594	6 610	13 204	41.15
河源市	4 943	7 278	12 221	38.09
汕头市	4 954	6 846	11 800	36.78
揭阳市	5 503	5 634	11 137	34.71
珠海市	6 595	4 513	11 108	34.62
茂名市	4 381	6 653	11 034	34.39
云浮市	3 631	5 799	9 430	29.39
阳江市	3 677	5 294	8 971	27.96
潮州市	4 347	4 349	8 696	27.10
汕尾市	3 220	4 768	7 988	24.90
东莞市	4 841	1 983	6 824	21.27
中山市	3 010	1 933	4 943	15.41

资料来源：据城市网络计算结果。

### 3.2 三大城市群网络的内部联系特征

在认识公路物流视角下的网络总体特征基础上，再通过对货运联系的方向等的分析来进一步认知城市群网络的内部联系特征。以“出发—到达”关系为联系的方向，利用某城市在货运网络中的“出入比”，并结合“货运总量(中心度)”可综合判断各城市在货运网络中的角色。

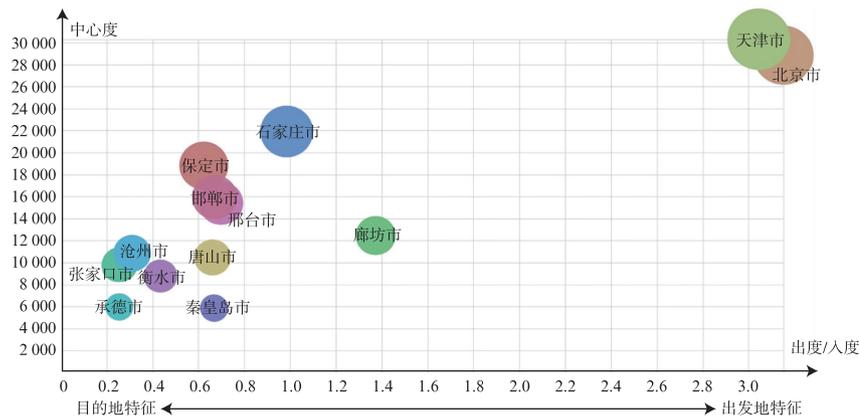
(1) 京津冀的天津和北京，其中心

度与货运“出入比”皆较大，起到“枢纽作用”，在城市群网络中处于支配地位。此外，廊坊的中心度虽较低，但具备一定“出发地”特征；其他城市在区域中都属于货运“目的地”，更多是依赖货运枢纽的货物转运(图5)。

(2) 长三角则有较多货运“出发地”特征的城市，且中心度与“出入比”存在较强正相关关系(决定系数  $R^2 = 0.76$ )。其中上海“出入比”超过2.0，外向联系功能很强，苏州、杭州、宁波等副中心也具有显著的“出发地”特征；中心度较低的城市则普遍可归于货运“目的地”城市(图6)。

(3) 珠三角大部分城市“出入比”集中于0.5—2.0之间，说明吸引和辐射货运联系的能力较均衡。作为制造业强市的东莞和货运中心广州是区域内“出发地”属性最强的两个城市；不同于京津冀和长三角，珠三角城市的中心度与“出入比”并无明显的相关性(图7)。

综合三大城市群货运网络的整体格局和联系方向分析，可认知不同城市群内部的城市功能分异和参与区域货运交流的方式差异。京津冀和长三角都是核心城市，有着最强的对外货运职能，说明两大城市群核心城市的生产、转运功能极为突出，城市群内部趋于极化发展。而珠三角货运组织则是相对均衡，其背后是众多制造业城市及专业化集聚，因而部分货运中心度较小的城市也可成为特定货物的主要发货城市。



**图5 京津冀各市货运方向特征**

Fig.5 Types of cities based on the direction of freight connections in the Beijing-Tianjin-Hebei Region  
资料来源：作者自绘。

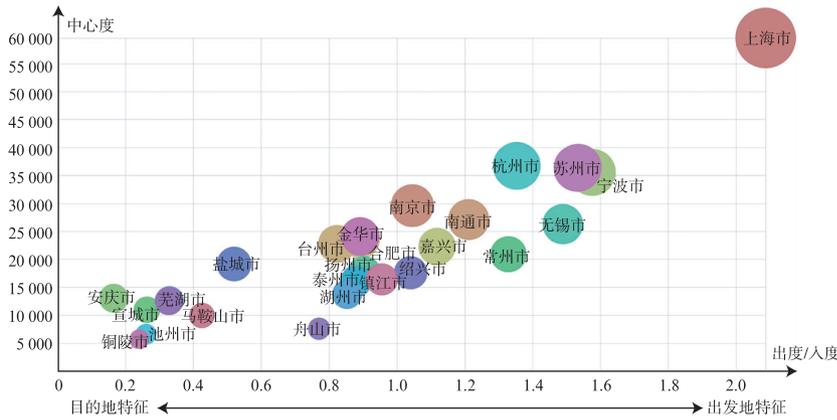


图6 长三角各市货运方向特征

Fig.6 Types of cities based on the direction of freight connections in the Yangtze River Delta

资料来源：作者自绘。

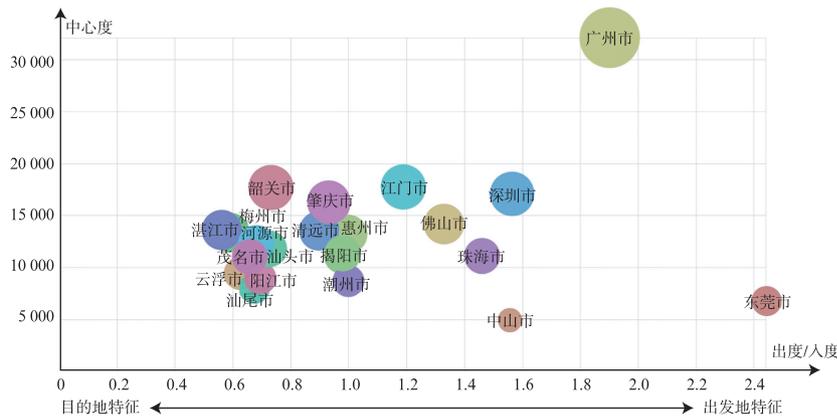


图7 珠三角各市货运方向特征

Fig.7 Types of cities based on the direction of freight connections in the Pearl River Delta

资料来源：作者自绘。

线路到达量分布较分散。在“核心——边缘”发展作为典型的城市群发展模型前提下，三大城市群货运网络出入度中心势的差异实属常态，但当多数货运线路的货运出发和到达量（出度、入度）存在较大“不对称”现象，则意味着货运成本的上升和效率的下降（如存在大量线路单程空车现象）。以三大城市群网络中心势为例，虽然京津冀的出度中心势在三个城市群中最低，但其入度与出度中心势差异在三个城市群中最大。这决定了京津冀不仅在货运网络联系上呈现出以北京、天津为绝对中心的空间结构，在联系方向上也表现出从中心城市向其它地区辐射的单向不匹配格局；相对的，珠三角的网络联系虽然在空间结构上也存在着极化现象，但其在联系方向上却更多地表现出核心与边缘城市的双向互动。由此可以推断，珠三角城市群物流网络的均衡性要好于京津冀和长三角。

#### 4.1.2 网络的稳定程度

“网络稳定性”指标可简单理解为网络的可靠性和韧性。例如，相较于核心——边缘二元化的网络而言，扁平化、多中心的网络韧性更佳，在某一物流线路无法畅行的情况下，存在替代线路可使整个网络得以顺畅运行。若以各城市群内货运联系均值为临界条件构建城市网络，可测算各城市网络的网络稳定性（表6）。分析表明，长三角和珠三角网络稳定性相似，而京津冀货运网络的稳定性偏弱，说明在长三角和珠三角货运网络中，城市间较强的联系“冗余”较多，使其城市网络在抵御风险方面更具韧性。

#### 4.1.3 网络的层次性

利用MDS模型方法进行测算，将各城市群城市网络中的城市根据联系矩阵

## 4 公路货运视角下的城市群网络绩效探讨

相较企业组织联系（程遥，张艺师，等，2016；张艺师，赵民，等，2018）、人口联系（王焱，钮心毅，等，2018）等其它网络测度，货运物流组织效率与城市群网络结构特征的关联性更加紧密。总结既有网络效率研究，网络密度、联系强度、中心性、稳定性等指标被广泛应用（H. Yang, W. S. Jung, 2016；李志刚，汤书昆，等，2007）。本文结合货运联系特征，从网络的均衡性、稳定性、层次性三方面研究公路货运视角下的案例城市群网络绩效，剖析城市群网络结构特征对公路货运组织效率的影响，并初步探讨其政策启示。

### 4.1 货运视角下的城市群网络绩效的评价

#### 4.1.1 网络的均衡程度

本文采用“网络中心势”来表征货物出发、到达情况在区域中的均质化程度（表5）。三大城市群的出度中心势均远大于入度中心势，说明三个城市群中货运线路出发量分布都较集中，而货运

表5 三大城市群“网络中心势”

Tab.5 Network centralization of three urban agglomerations

地区	网络中心势		入度出度中心势比
	出度中心势 (%)	入度中心势 (%)	
京津冀	45.85	12.23	0.27
长三角	49.58	14.69	0.30
珠三角	46.05	14.44	0.31

资料来源：作者基于Ucinet软件计算结果自理。

表6 三大城市群的货运视角下的网络稳定性

Tab.6 Network stability of three urban agglomerations

地区	联系度均值	多余系数	最大可能多余联系	网络稳定性
京津冀	626.16	38	66	0.575 7
长三角	418.42	212	300	0.706 7
珠三角	324.87	134	190	0.705 2

资料来源：作者基于Ucinet软件计算结果自绘。

分别转化为二维图，并以其中各城市横/纵坐标均值为中心，判断各城市在网络圈层中的位置（图8）<sup>⑧</sup>。从同一尺度看，京津冀的城市网络有两个圈层，北京、天津作为双核处于网络中部位置，周围为石家庄、廊坊等市，其他城市则居于外围圈层；长三角的城市网络有三个圈层，上海市处于中心并由苏州、杭州、宁波等次级中心城市围绕，处于中间圈层（10市）和外围圈层（9市）的城市数量相近；珠三角的城市网络亦存在三个圈层，但更加集中于中间圈层（14市），网络结构更加紧凑。

综合上文均衡型、稳定性（抗风险性）和层次性三项指标，可基本判断公路货运联系下，珠三角的网络的效率相对较高，长三角次之，京津冀则相对较低。

#### 4.2 货运视角下城市群网络绩效的提升路径

公路货运网络是城市群内部货物实体交换的重要环节，是支撑城市群内要素高效流动和区域一体化的关键，对于城市群空间规划具有重要意义。结合上

文三大城市群网络绩效的评价，笔者认为从物流组织的角度，城市群网络结构优化和绩效提升可从以下三点着眼。

##### 4.2.1 优化货运网络均衡性

核心是在合理确定大中小城市货运规模的同时较好地实现货运出发、达到的“匹配”（图9）。三大城市群是我国发达地区城市群的代表，也是城际产业分工与协同水平最高的地区，重视产品在城市间的互动关系，避免出现大城市延续其作为低附加值商品产地，而小城市却难以承接相关产业的现象。未来中心城市应该追求高附加值提升，针对性地将制造业等转移至城市群外围城市，已经实践的案例如2008年开始广东省面对金融危机倒逼，珠三角城市与外围部分城市在“双转移”政策<sup>⑨</sup>框架下签订“结对帮扶”协议，将相关城市的部分产业园区整合起来，并给予足够的政策支持以实现共建“产业转移园”。

##### 4.2.2 增强货运网络稳定性

货运网络既要追求网络的扁平化联系，更要追求高值联系尽可能覆盖各城市节点，而非仅由中心城市组织区域网

络结构（图10）。网络中心城市所属联系一般较强，而中小城市容易成为城市网络受到冲击或阻滞（如交通廊道出现拥堵等）时被孤立的节点，所以小城市间应该在发展中结合自身特色寻求承担部分区域职能，从而增强其在区域城市网络中的网络地位，实现网络外围城市间相互形成“可靠”联系，进而增强网络的韧性。

##### 4.2.3 提升货运网络层次性

货运网络需积极打造次区域的物流中心城市，以此为节点增加中小城市间货运联系，促进网络边缘城市向网络中心聚拢，货运网络亦将逐步形成紧凑的多层级结构（图11）。另外，在城市群实际发展中，公路货运是内部城际货运的主力，但是在口岸城市对接外部地区时，公路货运还承担重要的“接驳”功能，若能与海运、航空形成货运网络的“水路联运”“空铁（陆）联运”，将使得口岸城市成长为对外、对内的枢纽，并丰富区域货运网络层级。

此外，高效的货运网络构建离不开物流网络的多层次组织和不同层级物流枢纽的建设。一方面，就城市群内部的



图8 基于MDS模型的三大城市群层次划分

Fig.8 Compactness based on MDS-model of the three networks

资料来源：作者基于Ucinet软件计算结果自绘。

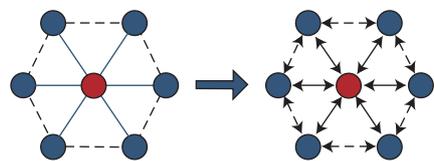


图9 货运网络货运方向均衡示意图

Fig.9 Diagram of freight direction balance of network

资料来源：作者自绘。

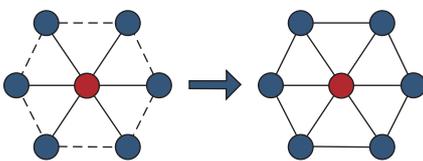


图10 货运网络韧性稳定示意图

Fig.10 Diagram of resilience and stability of a network

资料来源：作者自绘。

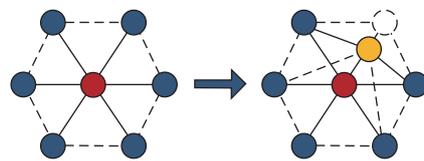


图11 货运网络层次性提升示意图

Fig.11 Diagram of hierarchy promotion of a network

资料来源：作者自绘。

物流组织而言,分析结果显示长三角、珠三角的网络层次关系较京津冀更为复杂,区域内部的网络层次关系和不同层次枢纽使得货运的高效组织和中转成为可能;另一方面,从更大的尺度来看,物流枢纽的存在也使得城市群更高效地联入全国物流网络。根据2018年发布的《国家物流枢纽布局和建设规划》,京津冀、长三角、珠三角三大城市群中分别有8个、12个、7个城市入选“国家物流枢纽布局承载城市”,覆盖了除“边境口岸”外的各类型;其中,天津、上海、宁波—舟山(宁波—舟山港口为一个枢纽)、南京、金华(义乌)、广州、深圳8个城市入选了2019年国家物流枢纽建设名单。意味着上述城市在全国乃至全球的货运网络中承担着外向联系门户和内向服务枢纽的“双扇面”角色。在区域物流、交通相关规划中,需要有意地匹配和引导实现多层次“货运网络——货运枢纽”的分区建设,大区域或者国家间由高等级货运枢纽连接,城市群内部则需提升次级枢纽的商品生产和转运能力,才能有助于大中小城市充分融入区域货运网络,实现区域货运网络绩效的提升。

未来一段时间内,京津冀要着力解决外围城市承担的区域货物生产、运输职能较弱,且与中心城市的差异过大等问题,提升次级货运网络的完善程度;而珠三角、长三角已有“中心城市——副中心城市——中小城市”多层次支撑的公路货运网络,城市群内可通过优化物流产业布局,积极探索货运方面的多模式联运,促使城市群发展向成熟期过渡。

## 5 结论

在迈向世界级城市群的过程中,构建完善的区域货运网络是必不可少的一环。公路货运视角所构建的城市网络主要表征了市场化机制下,货运公司根据实际需求为城际货物运输提供的供给状态;主要运输对象是制造业、零售业产品,说明该网络对城市群内部制造业分工合作和产品交换的格局有较好的解释力度。在物联网时代,我国物流网络的

智能化、信息化建设加快,基于互联网平台的公路货运网络研究有着可重复性好、实用性强等特点,为城市群货运网络化发展的特征解读与趋势探讨提供新的视角。

三大城市群的货运网络空间具有不同特征,这与城市群的经济社会联系结构是相关联的。但这并不必然造成货运网络效率的差异——实际造成物流网络效率差异的并非单中心还是多中心的组织关系,而是网络联系方向的均衡性、稳定性和层次性——一个成本相对更低、组织更为高效、安全系数更高的物流网络,对应着双向联系量相对平衡、抗风险韧性较好、层次组织逻辑合理等网络指标特征。据本文分析结果,长三角、珠三角城市群的物流联系虽然也存在着显著的强中心,但得益于多层次网络的成熟发育,货运网络的效率相对更高;而京津冀货运网络虽然存在北京、天津区域双核,但结构较简单,其它城市与核心城市为单向联系,相对地,货运网络绩效较低。在区域货运网络的构建过程中,要基于经济社会联系结构,建立区域内城市的紧密分工协作关系,消减货运网络的不均衡状态,加强网络的联系“冗余”和“层次”,促进区域货运网络绩效的提升。

在公路货运视角下,城市群内部合理的城市分工同样也是促进城镇组织绩效的因素之一:部分枢纽城市,在网络中承担着外向联系和内向辐射与组织的中心职能,且这一职能是分层次的。以长三角为例,上海是国际、全国物流网络联系长三角的门户;苏州、宁波、杭州等副中心则更多地联系全国;而常州、南京等城市则是区域性的联系门户。对于中小城市而言,通过承担部分核心城市的制造业溢出,并借助较为成熟的交通体系(城市群内部以高速公路为主),主动融入区域货运网络。需要说明的是,对于这些中小城市,融入网络并不等同于与城市群中心城市直接取得紧密的物流联系(在大多数情况下,由于中小城市的物流需求有限,直接建立物流线路往往意味着更高的成本),而是寻求联入自己所在的物流网络分层

次,与所在层次的枢纽建立紧密联系。为此需要优化区域综合交通组织,为货物的多方式联运创造条件,为城市群一体化协调发展打好坚实基础。

感谢同济大学建筑与城市规划学院赵民教授的指导与帮助,以及审稿专家的建议。

## 注释

- ① “菜鸟网络”是中国最大的电商平台阿里巴巴旗下的大数据物流服务平台,汇集了“三通一达(申通、圆通、中通、韵达)”、顺丰等一批快递公司,以及德邦物流、天地华宇等专业物流供应商的物流数据;旗下“菜鸟运输市场”网站,整合了超过1万家物流商的货运服务。
- ② “京津冀城市群”参考《京津冀协同发展规划纲要》,以及《北京市城市总体规划(2016—2035)》中第七章“深入推进京津冀协同发展,建设以首都为核心的世界级城市群”,包括北京市、天津市和河北省11个地级市。
- ③ 最新的《长江三角洲区域一体化发展规划纲要》包含的“三省一市”包含区域面积相对过大;本研究对象为《长江三角洲城市群发展规划(2016—2020)》规划范围所包括的26市。
- ④ “珠三角城市群”若以传统9市为对象,区域尺度过小、可比性不强。综合考虑选择广东省域21市。
- ⑤ 中心势则是指网络的整体中心性。中心势的取值在0—1之间,数值越低表示网络相对均匀分布,数值接近1则表示网络中权利集中,网络结构趋于不均衡化;分出度中心势和入度中心势。标准公式为: 
$$c = \frac{\sum_{i=1}^k (C_{i\max} - C_i)}{\max \sum_{i=1}^k (C_{i\max} - C_i)}$$
,  $C_i$  是网络中某一城市的中心度。
- ⑥ 多维标度法(multidimensional scaling, MDS)是在低维空间去展示高维多元数据的一种可视化方法。本研究以迭代的度量型多维尺度变换方法,以各城市间货运联系矩阵作为“强度”,使图中货运联系越强的城市节点间距离更小,联系越弱的城市节点间距离更大,可确定网络中各节点坐标值来反映区域内货运城市网络的结构和各城市间的关系。
- ⑦ 网络稳定性,指网络中存在多余连线的程度,计算公式为:网络稳定性  $S = M / \max(M)$ ,其中  $M$  为实际多余联系数,  $\max(M)$  为最大可能的多余联系数量,即节点间溢出联系越多,网络越稳定。
- ⑧ 具体方法为利用Ucinet软件的迭代MDS模型(见注释6),以三大城市群货运网络矩阵确定二维图中各城市节点的纵横

坐标;各节点坐标绝对值无意义,但各网络中所有节点相对距离与货运联系呈反相关,且网络核心城市更趋向于中心位置。本研究以各网络中城市节点在二维图中的相互关系,选择0.5、1、1.5半径划分三个圈层。

- ⑨ “双转移”即产业和劳动力的转移。《中共广东省委广东省人民政府关于推进产业转移和劳动力转移的决定(粤发[2008]4号)》提出,广东省要将“珠三角”地区附加值较低的“劳动密集型”产业及劳动力转移到粤东、西、北欠发达地区;文件明确指出建设“产业转移园”是重要的手段。

## 参考文献 (References)

- [1] ALDERSON A S, BECKFIELD J. Power and position in the world city system[J]. *American Journal of Sociology*, 2004, 109(4): 811-851.
- [2] CASTELLS M. The rise of the network society [M]. Wiley-Blackwell, 1996: 389-414.
- [3] 程遥,张艺帅,赵民.长三角城市群的空间组织特征与规划取向探讨——基于企业联系的实证研究[J]. *城市规划学刊*, 2016(4): 22-29. (CHENG Yao, ZHANG Yishuai, ZHAO Min. The spatial self-organization and planning agendas of the Yangtze River Delta's city cluster: spatial analysis based on enterprise connectivity[J]. *Urban Planning Forum*, 2016(4): 22-29.)
- [4] 董琦,甄峰.基于物流企业网络的中国城市网络空间结构特征研究[J]. *人文地理*, 2013. (4): 71-76. (DONG Qi, ZHEN Feng. The study on spatial structure characteristics of China's city network based on the logistics enterprise network[J]. *Human Geography*, 2013(4): 71-76.)
- [5] 方创琳,张永姣.中国城市一体化地区形成机制、空间组织模式与格局[J]. *城市规划学刊*, 2014(6): 5-12. (FANG Chuanglin, ZHANG Yongjiao. Dynamic mechanism, spatial organization patterns and structure of integrated urbanization areas in China[J]. *Urban Planning Forum*, 2014(6): 5-12.)
- [6] 国家统计局.中国城市统计年鉴[M].中国统计出版社,2018. (National Bureau of Statistics of the People's Republic of China. *China city statistical yearbook*[M]. China Statistics Press, 2018.)
- [7] 耿晓峰,张雪,陈方,等.基于多源数据的区域物流与经济发展关联特性分析——以云南省为例[J]. *经济地理*, 2016, 36(1): 39-45. (JI Xiaofeng, ZHANG Xue, CHEN Fang, et al. Associated characteristics analysis of regional logistics and economic development based on multi-source data: the case of Yunnan province[J]. *Economic Geography*, 2016, 36(1): 39-45.)
- [8] 李志刚,汤书昆,梁晓艳,等.产业集群网络结构与企业创新绩效关系研究[J]. *科学学*, 2007, 25(4): 777-782. (LI Zhigang, TANG Shukun, LIANG Xiaoyan, et al. An empirical study on the relationship between industry cluster's network structure and enterprises' innovation performance[J]. *Studies in Science of Science*, 2007, 25(4): 777-782.)
- [9] 梁红艳.我国五大城市群物流业发展的空间网络结构及其运行效应[J]. *中国流通经济*, 2019, 33(3): 50-61. (LIANG Hongyan. Spatial network structure of logistics development and its operating effect in China's five urban clusters[J]. *China Business and Market*, 2019, 33(3): 50-61.)
- [10] 刘荷,王健.基于轴辐理论的区域物流网络构建及实证研究[J]. *经济地理*, 2014, 34(2): 108-113. (LIU He, WANG Jian. The construction of regional logistics networks and its empirical research based on hub-and-spoke theory[J]. *Economic Geography*, 2014, 34(2): 108-113.)
- [11] 刘正兵,戴特奇,廖聪,等.中国城际公路货运空间网络特征——基于“第一物流”网站数据[J]. *经济地理*, 2017, 37(6): 28-35. (LIU Zhengbing, DAI Teqi, LIAO Cong, et al. The characters of intercity freight transport networks in China—a case study on "first cargo" platform[J]. *Economic Geography*, 2017, 37(6): 28-35.)
- [12] 宓泽锋,曾刚.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*, 2018, 38(7): 1079-1088. (MI Zefeng, ZENG Gang. Logistics linkage pattern, characteristics and influencing factors of the Yangtze River economic belt under different scales[J]. *Scientia Geographica Sinica*, 2018, 38(7): 1079-1088.)
- [13] 潘坤友,曹有挥,魏鸿雁,等.我国航空货运网络结构研究[J]. *经济地理*, 2007, 27(4): 653-657. (PAN Kunyou, CAO Youhui, WEI Hongyan, et al. The study on distributing pattern and network structure of air freight airports in China[J]. *Economic Geography*, 2007, 27(4): 653-657.)
- [14] 秦璐,高歌.中国物流运营网络中的城市节点层级分析[J]. *经济地理*, 2017, 37(5): 101-109. (QIN Lu, GAO Ge. Study on hierarchy of city nodes in logistics operation network in China[J]. *Economic Geography*, 2017, 37(5): 101-109.)
- [15] TAYLOR P J, CATALANO G, WALKER D R F. Measurement of the world city network[J]. *Urban Studies*, 2002, 39(13): 2367-2376.
- [16] TAYLOR P J, HOYLER M, VERBRUGGEN R. External urban relational process: introducing central flow theory to complement central place theory[J]. *Urban Studies*, 2010, 47(13): 2803-2818.
- [17] 王成金.全球集装箱航运的空间组织网络[J]. *地理研究*, 2008, 27(3): 636-648. (WANG Chengjin. Spatial organization networks of world marine container transportation[J]. *Geographical Research*, 2008, 27(3): 636-648.)
- [18] 王列辉,张圣.长江沿岸港口城市网络结构——基于航运服务业视角[J]. *城市规划学刊*, 2018(2): 19-28. (WANG Liehui, ZHANG Shen. The network structure of port cities along Yangtze River: in view of shipping services[J]. *Urban Planning Forum*, 2018(2): 19-28.)
- [19] 王焱,钮心毅,宋小冬,等.人流联系和经济联系视角下区域城市关联比较——基于手机信令数据和企业关联数据的研究[J]. *人文地理*, 2018, 33(2): 84-91, 146. (WANG Yao, NIU Xinyi, SONG Xiaodong, et al. The comparison of regional urban relations between people flow and capital flow—a study based on mobile phone signaling data and firm interlock data[J]. *Human Geography*, 2018, 33(2): 84-91, 146.)
- [20] YANG H, JUNG W S. Structural efficiency to manipulate public research institution networks [J]. *Technological Forecasting & Social Change*, 2016, 110: 21-32.
- [21] 杨扬,董红丹,谭慧芳.基于SNA的区域航空物流网络空间结构研究[J]. *公路交通科技*, 2017, 34(9): 138-145. (YANG Yang, DONG Hongdan, TAN Hui芳. A SNA-based study of spatial structure of regional aviation logistics network[J]. *Journal of Highway and Transportation Research and Development*, 2017, 34(9): 138-145.)
- [22] 叶磊,段学军.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*, 2016, 35(5): 622-631. (YE Lei, DUAN Xuejun. City network structure of the Yangtze River Delta region based on logistics enterprise network[J]. *Progress in Geography*, 2016, 35(5): 622-631.)
- [23] 余兴源.公路零担货运网络形态演进的经济学分析[D].北京交通大学博士学位论文,2018. (YU Xingyuan. Economic study of the LTL industry network morphology evolving [M]. The Dissertation for Doctor Degree of Beijing Jiaotong University, 2018.)
- [24] 张艺帅,赵民,王启轩,程遥.“场所空间”与“流动空间”双重视角的“大湾区”发展研究——以粤港澳大湾区为例[J]. *城市规划学刊*, 2018(4): 24-33. (ZHANG Yishuai, ZHAO Min, WANG Qixuan, CHENG Yao. On the development of "great bay area" from the perspective of "space of place" and "space of flow": case study of Guangdong, Hong Kong and Macao bay area[J]. *Urban Planning Forum*, 2018(4): 24-33.)

修回: 2020-02