

# 基于公共客运的东北地区城市陆路 网络联系与中心性分析

赵映慧, 姜博, 郭豪, 梁凡, 张雪松

(东北农业大学 资源与环境学院, 中国黑龙江 哈尔滨 150030)

**摘要:**从黑龙江、吉林和辽宁三省交通厅网站获得东北地区34个城市两两间的公路客运班次,从中国铁路客户服务中心(www.12306.cn)获得两两间铁路客运班次,建立34×34的公共客运(公路/铁路)发送—到达矩阵,采用社会网络分析方法中的Netdraw和中心性分析法,对34个主要城市的网络联系和中心性进行了分析。结果表明:①沈阳是公路客运联系最密切的城市,公路客运联系密切的城市主要分布在辽宁省,东北大多数城市公路客运联系集中于所在省内。②东北地区公路客运网络中沈阳、长春和哈尔滨3个省会城市的中心性处于前三。③铁路客运联系密切的城市主要分布在哈大(连)线和沈山线,哈尔滨、长春、四平、铁岭、沈阳、辽阳、鞍山、大连、锦州和葫芦岛相互间铁路客运联系密切。④铁路客运网络中哈尔滨的中介中心性最高,但是黑龙江省边缘城市更多。⑤铁路客运在东北地区公共客运交通网络中占主导地位。

**关键词:**公共客运;网络联系;中心性;社会网络分析;东北地区

**中图分类号:**U491 **文献标志码:**A **文章编号:**1000-8462(2016)02-0067-07

**DOI:**10.15957/j.cnki.jjdl.2016.02.009

## The Centrality and Network Connection of Cities in Northeast China Based on Public Passenger Transport

ZHAO Ying - hui, JIANG Bo, GUO Hao, LIANG Fan, ZHANG Xue - song

(College of Resource and Environment, Northeast Agricultural University, Harbin 150030, Heilongjiang, China)

**Abstract:** Based on the public passenger transport of the road and the railway network of 34 cities in Northeast China, the run numbers of intercity public road-bus are gotten from Communication Department of Liaoning province, Communication Department of Jilin province and Communication Department of Heilongjiang province. The run numbers of intercity public train are gotten from www.12306.cn. The 34×34 delivering-arriving matrix is built based on traffic run numbers. The network connection and the centrality are analyzed by Netdraw and Centrality measurement model of social network analysis (SNA). The conclusion is that: (1)Shenyang is the most closest city in road passenger connection. The close connection cities are primarily in Liaoning province and most cities which have road connection is in the same province. (2)The centrality of Shenyang, Changchun and Harbin are top 3 in the road passenger network of Northeast China. (3) The cities which have close railway passenger connection are primarily in Harbin-Dalian railway and Shenyang-Shanhaiguan railway. There are close railway connections between Harbin, Changchun, Siping, Tieling, Shenyang, Liaoyang, Anshan, Dalian, Jinzhou and Huludao. (4) The centrality of Harbin is most biggest in the railway passenger network of Northeast China. But the cities of smaller centrality are more in Heilongjiang province. (5)The public passenger transport of the railway is primary in the public passenger transport network of Northeast China.

**Key words:** public passenger transport; network connection; centrality; social network analysis (SNA); Northern China

交通联系是区域空间相互作用的体现,反映区域社会经济联系,社会经济联系越密切则交通联系越密切,交通联系中重要的是客运联系,因此国内外交通联系的研究中客运联系比较常见。客运联系

研究以可达性、交通网络、交通流等研究为主。我国大区间城市客运联系多为铁路交通,主要城市间则为航空交通,而大区内部城市客运联系以铁路交通和公路交通为主,水路交通很少。从交通运输相关

收稿时间:2015-09-29;修回时间:2015-12-23

基金项目:国家自然科学基金项目(41101153、41071109);教育部人文社会科学研究项目(12YJCZH305)

作者简介:赵映慧(1976—),男,四川广元人,博士,副教授。主要研究方向为城市地理与区域发展。E-mail:zhaoyhneau@163.com。

研究看,研究航空交通和铁路交通较多。周一星和金凤君利用航空交通数据较早研究我国航空网络和城市网络结构<sup>[1-2]</sup>。后来宋伟、于涛方等利用航空流对中国城市层级结构进行研究<sup>[3-4]</sup>。从全国看铁路交通联系的城市多于航空交通和公路交通联系的城市。王姣娥研究了我国铁路客运网络组织<sup>[5]</sup>。吴威、孟德友等分析了我国铁路网络可达性<sup>[6-7]</sup>。钟业喜从铁路网络视角研究我国城市等级体系<sup>[8]</sup>。相关研究表明航空和铁路客运流都对城市区域空间结构有明显影响。也有学者研究了公路交通联系,曹小曙和吴威分别研究了全国和长三角公路网络可达性<sup>[9-10]</sup>。罗震东、陈伟劲、刘正兵等利用公路客运流研究了城市空间结构<sup>[11-13]</sup>。近几年利用公路/铁路网络和客运班次数据研究区域空间结构、城市联系等更加深入,但是同时利用铁路和公路两种客运班次数据研究城市联系及中心性的并不多见。

城市间客运交通联系构成相互交织的网络,客运流是网络节点相互作用的主要表现。Illenberger和César Ducruet等认为客运网络研究适合运用网络分析方法<sup>[14-15]</sup>,其中社会网络分析法是研究网络关系的重要方法。César Ducruet专门探讨了地理学和区域科学中的网络分析。由于欧美高速公路网络发达,城市间的客运主要是私家车,限于数据获取较难,关于公路客运交通网络的研究较少。John Steenbruggen提出利用移动电话的定位,作为交通参数来研究私人长途交通<sup>[16]</sup>。Caleb Van Nostrand建立模型研究美国长途假期旅行交通流<sup>[17]</sup>。

当前利用社会网络分析方法开展城市区域空间结构的研究趋势比较明显,李响等利用社会网络分析方法研究城市群经济联系网络结构<sup>[18]</sup>。甄峰、陈映雪等利用网络方法研究中国城市网络信息空间结构<sup>[19-20]</sup>。采用社会网络分析方法利用实际发生的公路客运数据进行城市联系研究很少,高鑫以重庆各区县高速公路交通流为基础,采用社会网络分析方法较全面深入地研究了区县交通网络关联<sup>[21]</sup>。

总之以往较少采用社会网络分析方法来研究城市网络联系,也较少采用陆路客运数据。陆路客运联系是东北地区重要的交通联系,因此利用两两城市间铁路和公路客运班次数据,采用社会网络分析方法研究东北地区城市网络联系和中心性具有一定价值。本文以辽宁省14市、吉林省8市和黑龙江省12市,一共34个城市为研究对象,运用社会网络分析方法中的网络可视化分析(Netdraw)、中心性分析对东北三省城市网络联系和中心性空间进

行研究,其探索性和创新性都比较明显。研究的主要目的是揭示东北城市在公路/铁路公共客运网络的相互作用及网络结构,为区域协调发展提供参考。

## 1 数据来源与研究方法

### 1.1 数据来源与处理

我国东北地区(不含内蒙古东部)现有34个城市。2014年12月1日~6日从辽、吉、黑三省交通厅网站查得城市两两间长途汽车客运班次;从中国铁路客户服务中心(<http://www.12306.cn>)获得34个城市两两间列车客运车次。由于列车客运分等级,有普通列车、快速列车、特快、直特、动车、高铁,它们对城市间联系影响程度不同。基于里程/时间、票价/里程、票价/时间三个主要指标,利用熵权法,对不同列车车次加权,得到城市间加权后的列车联系强度。在Excel中建立两个34市×34市的长途汽车班次和加权后列车联系强度的发送—到达矩阵。将矩阵导入到Ucinet6.0后进行社会网络分析的处理运算。

### 1.2 研究方法

社会网络分析(SNA)是研究社会关系的一种方法,能够对各种网络关系进行分析以便寻求其中的关系结构和模式。

1.2.1 Netdraw。社会网络分析软件Ucinet中可视化操作NetDraw是具有代表性的网络绘图方法。NetDraw的主要作用是根据研究者描述的网络节点信息,绘制出一张能够详细地直观地反映网络节点间关系的网络图,还可以根据中心性程度进行可视化分析,中心性大的点规模也大。NetDraw最大优势是形象直观,研究者可以通过所绘制的图直观了解网络关系和结构。本文NetDraw绘制网络图时依据34市×34市客运矩阵。

图1和图2分别是Netdraw根据城市公路和铁路客运联系对象的数量所绘制的网络关系。其中圆圈表示城市在公路/铁路客运网络中联系对象多少,联系对象越多,圆圈越大。一个城市联系其他城市数量越多,经过该城市中转越容易。线条粗细表示两个城市间公路/铁路客运联系量大小,越粗表明公路/铁路客运车次越多、联系量越大。

1.2.2 中心性分析法。测量中心性的指标包括度数中心性、中介中心性、接近中心性,在SNA中为degree centrality、betweenness centrality, closeness centrality。度数中心性,包括绝对中心性和相对中心性。前者即与给定节点直接相连节点的个数;后者

即为绝对中心性与图中最大可能的度数之比。本文中某节点(城市)的相对度数中心性=与节点有公路/铁路客运联系的城市个数/(n-1),n为网络的规模,即网络中城市个数。接近中心性可以用点与点之间的距离来测量,一个点的接近中心性是该点与图中其他所有点的最短距离(图论的距离)之和,反映了该节点在网络中的相对可达性。接近中心性

$$CC_i = \left[ \sum_{j=1, j \neq i}^n d_{ij} / (n-1) \right]^{-1}$$

$d_{ij}$ 是*i,j*两点之间的最短距离。

中介中心性是指所有点对之间的最短路径经过给定点的次数,亦即点B相对A和C的中介中心性就是经过点B且连接A和C的最短路径数与这两点间的最短路径总数之比。

## 2 公路客运网络的城市联系与中心性

### 2.1 辽宁省城市公路客运联系比吉黑二省的更密切

图1右半部分线条粗,交织往来密集,圆圈大。这说明辽宁省公路客运发达,城市间客运联系密切。一是其他城市与沈阳、大连的公路客运联系多而密,二是其他城市相互间联系多。中间下半部较细较疏,圆圈不大,这表明吉林省城市间公路客运联系不太密切,城市间长途汽车客流量不多。然而长春和吉林间的线条较粗,表明长吉公路客运联系较密,在吉林省两两城市间公路客运联系量中最大。此外,长春与四平、长春与辽源间联系量也较

大。图1左半部分连线细而稀疏,圆圈小。这表明黑龙江省公路客运欠发达,城市间联系最不密切。总体上黑龙江省城市经济发展水平较低,加之纬度高,冰雪天气多,城市间公路客运联系密切度不及辽宁、吉林。

### 2.2 沈阳在东北地区公路客运网络中对外联系最密切

由图1可知代表沈阳的圆圈最大,与其他城市之间的线条数量最多,表明与沈阳存在公路客运联系的城市最多。东北地区一共34个城市,任何一个城市公路客运联系数量最多为33个。沈阳与28个城市有长途汽车客运班次,公路客运联系的城市数量最多,包括辽宁其余13个城市、吉林全部8个城市和黑龙江7个城市,只有黑龙江省黑河等5个城市与沈阳没有直接的公路客运联系。东北地区公路客运网络中多数城市都可以经过沈阳中转到达其他城市。

长春和大连公路客运联系的城市数量分别为24个、22个,排第二和第三位。哈尔滨联系的城市数量为16个,从联系对象数量看,哈尔滨略低。从图1可看出哈尔滨与其他城市的联系没有沈阳、长春的密集,显然哈尔滨网络联系不及沈阳、长春。

### 2.3 沈阳、长春和哈尔滨在公路客运网络的中心性高

从表1可知总体看沈阳、长春和哈尔滨在公路

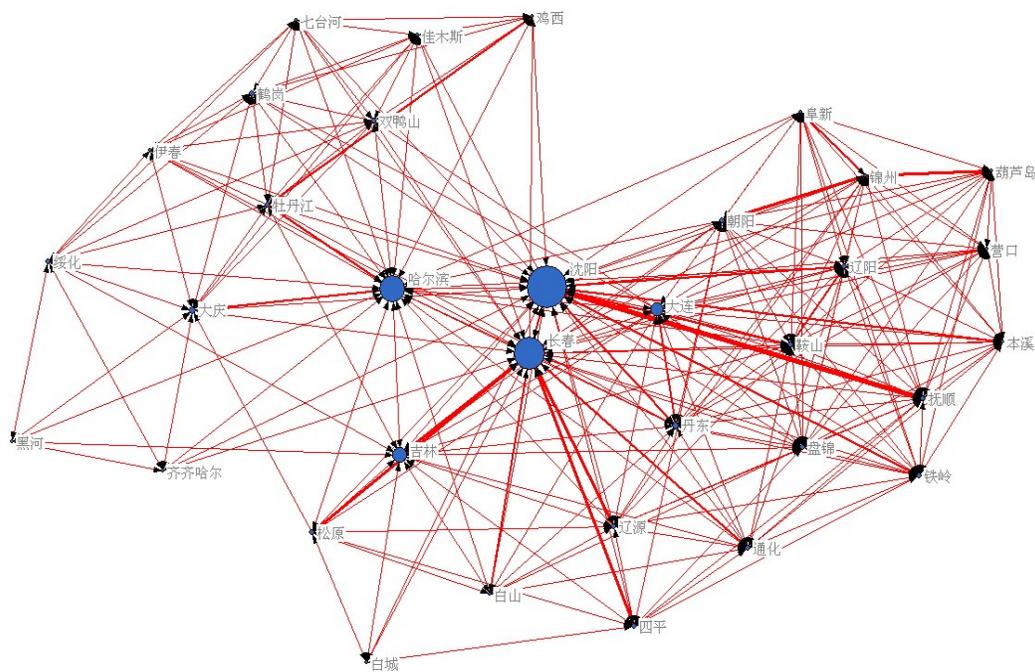


图1 东北城市的公路客运网络联系示意图

Fig.1 The city connection in the road network in Northeast China

表1 东北城市在公路客运网络的中心性

Tab.1 The city centrality in the road network in Northeast China

城市	度数中心性	接近中心性	中介中心性	城市	度数中心性	接近中心性	中介中心性	城市	度数中心性	接近中心性	中介中心性
沈阳	90.909	91.667	16.757	辽源	45.455	64.706	0.758	伊春	30.303	58.929	0.228
长春	81.818	84.615	12.278	抚顺	51.525	64.706	0.629	锦州	42.424	61.111	0.207
哈尔滨	72.727	78.571	10.283	通化	42.424	63.462	0.578	本溪	42.424	61.111	0.206
大连	66.667	75.000	4.583	四平	33.333	60.000	0.577	佳木斯	30.303	58.929	0.131
吉林	51.515	67.347	4.850	双鸭山	33.333	60.000	0.536	白山	30.303	58.929	0.110
鞍山	54.545	68.750	0.925	松原	30.303	58.929	0.533	营口	39.394	60.000	0.081
丹东	54.545	68.750	1.755	鹤岗	33.333	60.000	0.522	葫芦岛	36.364	58.929	0.045
盘锦	54.545	68.750	1.176	辽阳	48.485	66.000	0.493	鸡西	24.242	56.897	0.059
大庆	36.364	61.111	1.375	铁岭	45.455	62.264	0.461	黑河	15.152	49.254	0.065
牡丹江	36.364	61.111	0.918	齐齐哈尔	18.182	55.000	0.320	白城	15.152	54.098	0.000
朝阳	48.485	66.000	0.833	阜新	39.394	62.264	0.300				
绥化	30.303	53.226	0.795	七台河	30.303	58.929	0.269				

网络中的中心性排前三,它们是省会,也是交通中心城市,故其公路对外交通联系密切,中心性很高。公路客运网络中沈阳三种中心性都最高,说明它是东北公路客运网络的核心城市。沈阳发送和接收的公路客运车次一共1250次,遥遥领先长春的980次和哈尔滨的564次。除了与七台河、鸡西、双鸭山、绥化和黑河5个城市没有直接的公路客运车次,沈阳与其余28个城市都有。长春与24个城市、哈尔滨与16个城市有直接的公路客运联系。无论是从城市间公路客运联系总量看,还是从联系对象数量看,沈阳具有更高的中心性。从表1可知长春、哈尔滨的中心性明显比其他城市高,总之,沈阳、长春和哈尔滨是东北地区公路客运网络中心性最高的三个城市。

#### 2.4 重要港口城市和工业城市在公路客运网络的中心性高

大连是东北重要港口城市,吉林、大庆、鞍山是重要的工业城市。大连度数中心性和接近中心性高,仅次于3个省会城市,排第四,但其中介中心性不如吉林市,说明大连在东北地区公路客运交通网的中介桥梁作用不如吉林市。大连位于东北地区南端,吉林位于东北地区中部,从交通区位看吉林的中介桥梁作用优于大连。从表1可知鞍山度数中心性和接近中心性也高,在全部34个城市中并列第五,只是其中介中心性较低,因为鞍山的近邻沈阳具有很高的中介中心性,很多城市公路客运都可通过沈阳中转。大庆是另外一个不容忽视的城市,虽然其GDP低于沈阳,但近年与哈尔滨、长春不相上下,然而其度数中心性和接近中心性低于鞍山和吉林,大庆的公路客运联系与经济发展水平还不匹配。吉林市度数中心性和接近中心性略低于鞍山,

但中介中心性更高。表明吉林在联系吉林省中部与东部、黑龙江东部与辽宁东部方面都有较强的中介作用。

#### 2.5 公路客运网络中的边缘城市

图1和表1都显示在公路客运网络中黑河和白城的边缘性非常明显,与其他城市公路客运交通联系少,对外联系的城市数量也少。从图1看黑河、白城距离网络中心最远,联系城市数量少,只与5个城市有公路客运班次,与大多数城市之间没有班次。较差的交通区位条件和较低经济发展水平是重要原因。度数中心性最低的三个城市是黑河、白城和齐齐哈尔,表明与它们有直接公路客运联系的城市数量少。接近中心性最低的三个城市是黑河、绥化和白城,这三个城市经济发展水平低,人口规模小,在公路客运网络中相对可达性低。中介中心性最低的是白城、葫芦岛和鸡西。葫芦岛虽地处辽西走廊,铁路交通的中介性较强,但从公路客运交通看就很低。总体而言白城和黑河中心性最低,在东北城市体系中处于边缘地位。

### 3 铁路客运网络的城市联系与中心性

#### 3.1 哈大(连)线和沈山线的城市铁路客运联系紧密

从图2可知,铁路网络联系与公路网络联系格局不同。图中锦州、葫芦岛、辽阳、鞍山、沈阳、大连、四平、长春、铁岭和哈尔滨这十个城市相互间的连线很密集,而且线条粗,特别是葫芦岛—锦州—沈阳—四平—铁岭—长春—哈尔滨的联系特别粗,表明东北铁路客运联系集中于东北地区重要的铁路线——哈大(连)线和沈山线沈阳—葫芦岛段,该线上的城市发送和到达的列车车次非常多,客流量非常大,这说明城市间客运联系非常紧密。东北地区

绝大多数客流都经过哈大(连)线和沈山线。

### 3.2 辽宁城市铁路客运联系量比吉林和黑龙江的高

从图2可知辽宁城市间连线密集,吉林城市间比较密集,黑龙江城市间稀疏,说明辽宁城市间列车车次更多,客流联系更密切。辽宁14个城市发送本省城市的列车车次为1 889次,平均每个城市发送134.93次,到达亦然。吉林8个城市发送本省城市为407次,平均每市发送为50.88次;黑龙江省12个城市发送本省城市为461次,平均每市发送为38.42次。辽宁省城市发送和到达的列车车次比吉、黑二省之和还多。

图2表明总体上辽宁城市对外连线多,吉林次之,黑龙江最少,表明辽宁城市通过铁路客运对外

联系城市数量多。实际上东北三省一共34个城市,在东北内部一个城市最多与33个城市有直达的列车车次,联系对象最多为33个,辽吉黑三省平均每个城市联系对象分别为19.8个、17.5个和13.5个,显然黑龙江城市铁路客运联系对象少。

### 3.3 哈尔滨铁路客运中介中心性最高

沈阳是东北地区的交通中心,与沈阳有直接客运联系的城市数量也多达27个。在对城市间客运车次加权处理后,沈阳与其他城市间联系强度最大,因此沈阳度数中心性和接近中心性都最高。然而从表2可知哈尔滨中介中心性最高,特别突出。尽管黑龙江省城市的铁路客运联系对象少,但是与哈尔滨有直接联系的城市为27个,只有6个城市与

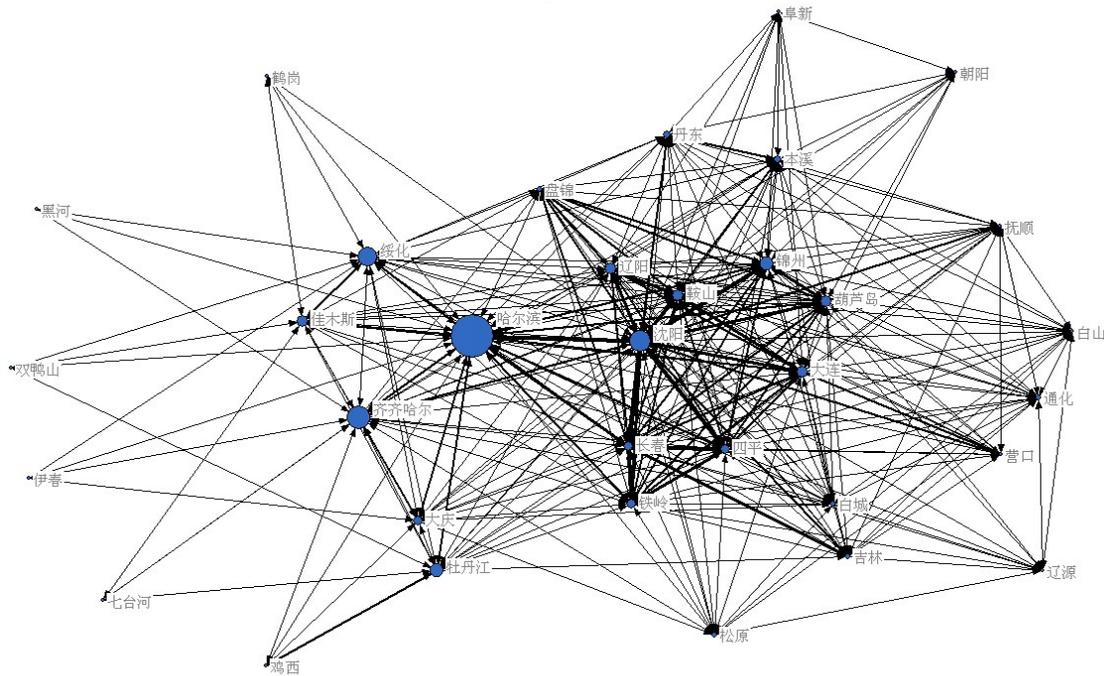


图2 东北城市的铁路客运(车次加权后)网络联系示意图

Fig.2 The city connection in the railway network in Northeast China

表2 东北城市在铁路客运网络的中心性

Tab.2 The city centrality in the railway network in Northeast China

城市	度数中心性	接近中心性	中介中心性	城市	度数中心性	接近中心性	中介中心性	城市	度数中心性	接近中心性	中介中心性
哈尔滨	81.818	84.615	11.430	本溪	57.576	70.213	1.085	营口	39.394	62.264	0.035
沈阳	84.848	86.842	5.315	丹东	57.576	70.213	1.085	辽源	33.333	55.000	0.085
锦州	78.788	82.500	2.811	白城	57.576	70.213	0.661	朝阳	27.273	53.226	0.021
鞍山	78.788	82.500	2.530	盘锦	57.576	70.213	0.411	阜新	27.273	53.226	0.021
辽阳	78.788	82.500	2.530	牡丹江	54.545	68.750	2.877	鹤岗	12.121	53.226	0.000
葫芦岛	75.758	80.488	2.472	佳木斯	54.545	68.750	2.455	鸡西	12.121	48.529	0.000
长春	75.758	80.488	1.781	大庆	54.545	68.750	1.983	双鸭山	12.121	48.529	0.000
四平	75.758	80.488	1.781	吉林	51.515	67.347	0.561	伊春	12.121	48.529	0.000
大连	72.727	78.571	2.314	通化	51.515	61.111	0.319	七台河	12.121	48.529	0.000
铁岭	72.727	78.571	1.496	抚顺	48.485	60.000	0.178	黑河	9.091	47.826	0.000
齐齐哈尔	69.697	76.744	5.974	白山	45.455	58.929	0.278				
绥化	63.636	73.333	4.682	松原	42.424	63.462	0.405				

哈尔滨没有直达列车。黑龙江省城市都能通过哈尔滨与吉林省、辽宁省城市联系,也就是说东北北部城市与东北南部城市的联系主要依靠哈尔滨作为中转站。东北北部一些城市不能直接经过沈阳中转就一步到达,对东北北部一些城市而言,沈阳的通过作用更明显,而非中介作用,对这些城市而言哈尔滨的中介作用更强。例如伊春和锦州之间无直达列车,伊春不能经过沈阳一次中转到达锦州,因为伊春没有直达沈阳的列车。但是伊春能够经过哈尔滨中转到达锦州,伊春—哈尔滨、哈尔滨—锦州都有直达列车。

### 3.4 铁路客运网络中黑龙江省边缘城市多

从图2和表1可知,从铁路客运联系城市数量和城市间联系总量看,黑河、七台河的中心性都很低,它们通过铁路客运直接联系的城市数量只有3个。七台河只与哈尔滨、佳木斯、牡丹江直接联系;黑河仅与哈尔滨、齐齐哈尔、绥化直接联系。七台河、黑河发送接收的列车车次总量分别为12次、10次,在全部34个城市中排最后两位。此外,鹤岗、鸡西、双鸭山、伊春的联系对象也少,联系量也低。总之,东北地区铁路客运网络中边缘城市以黑龙江省最多。

### 3.5 铁路与公路客运网络联系比较

从图1和图2对比可知,东北城市间铁路客运联系更密切,铁路联系比公路联系更普遍。此外由于东北冬半年比较长,不利于公路客运联系,而且公路客运费比铁路高,一次载客量也小,因此铁路客运在东北地区客运交通网络中占主导地位。

两种网络的中心性最高城市也不同,沈阳在公路客运联系网络中是核心城市,而哈尔滨则是铁路客运联系网络中的核心城市。公路客运网络中沈阳三种中心性都比哈尔滨高。铁路客运网络中哈尔滨和沈阳的度数中心性、接近中心性相差小,但是哈尔滨的中介中心性比沈阳明显高很多,是沈阳的2倍,因此图2中哈尔滨的圆圈比沈阳大很多。在东北铁路客运网络中哈尔滨具有最强的中介作用。

两种网络中客运联系密切的城市空间分布有差异。公路客运联系密切的城市集中于辽宁省,铁路客运联系密切的城市集中分布在哈大铁路线和沈山铁路线。

## 4 结论与讨论

东北地区整体性强,内部联系紧密,由于东北地区城市间距离不是很大,城市间航空联系很少。

东北地区虽然有浑河和松花江、嫩江等,但城市间的内河航运几乎没有,城市间主要是陆路联系,本文基于公共客运对东北地区城市陆路(公路和铁路)网络联系与中心性进行了研究。

### 4.1 主要结论

4.1.1 省会城市在公路客运网络中具有很高的中心性。辽宁省内部以沈阳为核心的辽中城市群内部公路客运联系最密切。沈阳对外的公路客运联系城市数量和联系总量不仅在辽宁省最高,而且在东北地区最高,毫无疑问沈阳是东北地区公路客运网络的核心城市。

长春和哈尔滨分别是吉林和黑龙江省公路客运网络中心性最高的城市。尽管长春和哈尔滨在东北地区公路客运网络中联系城市数量和客运联系总量都不及沈阳,但是作为省会,是全省政治、经济和交通中心,因此在本省公路客运网络中的中心性很高。长春主要与吉林省城市存在公路客运联系,而与辽宁省西部、黑龙江东部和北部的城市公路客运联系少。哈尔滨与吉林省和辽宁省大部分城市都没有公路客运车次,哈尔滨的公路客运联系城市主要分布在黑龙江省。

4.1.2 铁路客运联系紧密的城市主要分布在哈大(连)线和沈山线。哈尔滨、长春、四平、铁岭、沈阳、鞍山、辽阳、大连是哈大(连)铁路线上主要城市,相互间铁路车次多。东北地区对外铁路客运联系及内部客运联系多经过哈大(连)线。沈阳、锦州和葫芦岛是沈山线上主要城市,东北地区绝大多数城市对其他地区的联系都需要经过沈山线,因此三个城市间的客运车次非常多,当然三个城市联系非常便利。总之,东北地区绝大多数客流都经过哈大(连)线和沈山线。

4.1.3 铁路客运网络里中心性高的城市和边缘城市空间分布差异明显。铁路客运网络里中心性高的城市主要分布在辽宁省,哈尔滨的中介中心性在铁路客运网络里最高。从表2可知,从三种中心性之和看,前十名的城市中辽宁省有7个,吉林省有2个,黑龙江省只有1个哈尔滨。总体而言辽宁省城市在铁路客运网络里中心性更高些。中心性排最后十名的城市中黑龙江省有6个,这6个城市也是最后六名。总之,辽宁省中心性高的城市较多,黑龙江省边缘城市更多,中心性最高十个城市正好是哈大(连)线和沈山线上的十个城市。

4.1.4 铁路客运在东北地区客运交通网络中占主导地位。东北地区铁路网和公路网都发达,但是东

北北部和南部的铁路客运联系更方便,交通成本更低,铁路车次比公路车次明显多,铁路出行更便利。此外,东北冬半年冰雪天气多,也不利于公路客运,所以铁路客运在东北地区客运交通网络中占主导地位。

#### 4.2 研究中的不足

虽然获取了东北地区城市间公路/铁路客运联系数据,并对铁路客运车次按照列车等级利用熵值法进行加权处理,但是未能获得货运联系数据,因此仅以客运还不能完全揭示城市间的联系和城市中心性。此外,公路/铁路客运联系数据为2014年12月份的,没有以往年份和月份的数据,未能研究客运联系的发展演变。

#### 参考文献:

- [1] 周一星,胡智勇.从航空运输看中国城市体系的空间网络结构[J].地理研究,2002,21(3):276-286.
- [2] 金凤君.我国航空客流网络发展及其地域系统研究[J].地理研究,2001,20(1):31-39.
- [3] 宋伟,李秀伟,修春亮.基于航空客流的的中国城市层级结构分析[J].地理研究,2008,27(4):917-926.
- [4] 于涛方,顾朝林,李志刚.1995年以来中国城市体系格局与演变[J].地理研究,2008,27(6):1407-1418.
- [5] 王姣娥,金凤君.中国铁路客运网络组织与空间服务系统优化[J].地理学报,2005,60(3):371-380.
- [6] 吴威,曹有挥,梁双波,等.中国铁路客运网络可达性空间格局[J].地理研究,2009,28(5):1389-1400.
- [7] 孟德友,陆玉麒.基于铁路客运网络的省际可达性及经济联系格局[J].地理研究,2012,31(1):107-122.
- [8] 钟业喜,陆玉麒.基于铁路网络的中国城市等级体系与分布格局[J].地理研究,2011,30(5):785-794.
- [9] 曹小曙,薛德升,阎小培.中国干线公路网络联结的城市通达

性[J].地理学报,2005,60(6):903-910.

- [10] 吴威,曹有挥,曹卫东,等.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,2006,61(10):1066-1074.
- [11] 罗震东,何鹤鸣,耿磊.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,2011(2):16-23.
- [12] 陈伟劲,马学广,蔡莉丽,等.珠三角城市联系的空间格局特征研究——基于城际客运交通流的分析[J].经济地理,2013,33(4):48-55.
- [13] 刘正兵,刘静玉,何孝沛,等.中原经济区城市空间联系及其网络格局分析——基于城际客运流[J].经济地理,2014,34(7):58-66.
- [14] Illenberger J, Nagel K, Flötteröd G. The role of spatial interaction in social networks[J]. Networks and Spatial Economics, 2013, 13(3):255-282.
- [15] César Ducruet, Laurent Beauguitte. Spatial Science and Network Science: Review and Outcomes of a Complex Relationship. Networks and Spatial Economics[R]. Published online: 23 December 2013.
- [16] John Steenbruggen, Maria Teresa Borzacchiello, Peter Nijkamp, Henk Scholten. Mobile phone data from GSM networks for traffic parameter and urban spatial pattern assessment: a review of applications and opportunities[J]. GeoJournal, 2013(78):223-243.
- [17] Caleb Van Nostrand, Vijayaraghavan Sivaraman, Abdul Ra-woof Pinjari. Analysis of long-distance vacation travel demand in the United States: a multiple discrete-continuous choice framework[J]. Transportation, 2013(40):151-171.
- [18] 李响.基于社会网络分析的长三角城市群网络结构研究[J].城市发展研究,2011,18(12):80-85.
- [19] 甄峰,王波,陈映雪.基于网络社会空间的中国城市网络特征[J].地理学报,2012,67(8):1031-1043.
- [20] 陈映雪,甄峰,王波,等.基于社会网络分析的中国城市网络信息空间结构[J].经济地理,2013,33(4):56-63.
- [21] 高鑫.基于交通流的重庆市各区县关联网络研究[D].长春:东北师范大学,2014.

#### (上接第52页)

- 价格的影响[J].地理科学进展,2007,26(6):78-85.
- [13] 魏立华,丛艳国.城际快速列车对大都市区通达性空间格局的影响机制分析:以京津唐大都市区为例[J].经济地理,2004,24(6):834-837.
- [14] Bruinsma F. The accessibility of European cities[J]. Environment and Planning A, 1998, 30(3):499-521.
- [15] Marije H, Taede T, Joseph S, et al. Residential satisfaction close to highways: The impact of accessibility, nuisances and highway adjustment projects[J]. Transportation Research Part A, 2014, 59:106-121.
- [16] Michael J, Steven F, Tijns N. Spatiotemporal accessibility to supermarkets using public transit: an interaction potential approach in Cincinnati, Ohio [J]. Journal of Transport Geography, 2015, 42:72-83.
- [17] 金凤君,王姣娥.20世纪中国铁路网扩展及其空间通达性[J].地理学报,2004,59(2):293-302.
- [18] 刘海隆,包安明,陈曦,等.新疆交通可达性对区域经济的影

响分析[J].地理学报,2008,63(4):428-436.

- [19] 刘承良,余瑞林,熊剑平,等.武汉都市圈路网空间通达性分析[J].地理学报,2009,64(12):1488-1498.
- [20] 李沛权,曹小曙.广佛都市圈公路网络通达性及其空间格局[J].经济地理,2011,31(3):371-378.
- [21] 杨家文,周一星.通达性:概念,度量及应用[J].地理学与国土研究,1999,15(2):61-66.
- [22] 刘锐,胡伟平,王红亮,等.基于核密度估计的广佛都市圈路网演变分析[J].地理科学,2011,31(1):81-86.
- [23] 刘承良,丁明军,张贞冰,等.武汉都市圈城际联系通达性的测度与分析[J].地理科学进展,2007,26(6):96-108.
- [24] 张维阳,李慧,段学军.城市轨道交通对住宅价格的影响研究——以北京市地铁一号线为例[J].经济地理,2012,32(2):46-51.
- [25] 冯长春,李维瑄,赵蕃蕃.轨道交通对其沿线商品住宅价格的影响分析——以北京地铁5号线为例[J].地理学报,2011,66(8):1055-1062.