

“互联网+”背景下浙江省城际货运时空网络演化及驱动机制

黄音¹ 任天鸣^{1, 2} 黄淑敏¹ 刘润达¹ 毛莉莎¹ 盛思诗¹¹

(1. 中南林业科技大学 物流与交通学院, 中国湖南 长沙 410004;

2. 东华大学 旭日工商管理学院, 中国 上海 200051)

【摘要】: 基于专业货运信息平台上的货运大数据, 运用大数据分析 with 复杂网络分析, 对“互联网+”背景下浙江省城际货运时空网络演化规律及驱动机制进行研究。结果表明: ①宁波与舟山形成新的“双核心”网络。②点度中心度货运网络最能反映地理空间城市货运结构演化规律。③不断增加的长程联系是驱动时空网络演化的内部驱动力。④宁波和舟山在货运网络中形成日益突出的规模辐射效应, 成为推动网络联系不断增强的内部动力。⑤时空网络演化主要受经济驱动和人力资源因素的推动, 且具有较强的工业经济偏好依附机制, 但外部驱动因素影响总体呈现减弱趋势。⑥通过功能互补网络促进“飞地经济”体系形成, 优化城际货运网络布局。

【关键词】: 互联网+ 城际货运 货运网络 时空演化 驱动机制

【中图分类号】: F127; U692.3+2 **【文献标志码】:** A **【文章编号】:** 1000-8462 (2020) 06-0126-11

随着我国区域经济的不断发展, 区域现代化程度不断提高, 物流合作与区域间网络协作被提到新的高度, 国务院及相关部委、各省市自治区相继出台了推进物流互联互通建设的一系列规划和政策, 跨城市、跨区域物流网络布局建设无疑是其中的重中之重^[1]。如何通过物流节点和物流网络的合理布局, 推进城市间的物流合作与资源共享, 助力我国区域发展战略的实施, 实现我国城市间、区域间的联动发展, 是长期以来政界和学界急需探索的重要问题^[2,3]。互联网无疑是促进物流网络互联互通、完善物流网络布局、深化物流合作、加强区域间网络协同的“利器”^[4,5]。随着物流信息化的加快, 新型的物流业态不断涌现, 专业货运信息平台就是其中之一。这为我国货运市场带来了新的发展机遇, 也促使专业货运信息平台成为促进我国物流网络互联互通, 深化物流合作、加强区域间网络协同的“新通道”^[6,7]。互联网物流信息运营是专业货运信息平台的主要运营对象, 这种融合了物流、资金流、技术流和信息流的互联网物流信息, 形成了突破城市间、区域间空间阻碍的“流动空间”^[8,9,10]。国外有学者指出这种“流动空间”在诠释城市物流节点及其物流网络塑造城市网络体系中的价值^[11,12]。但总体来说, 基于“互联网+”的物流网络研究较少^[13]。“互联网+”背景下, 我国物流网络在城市地理空间结构上映射的时空演化特征及驱动因素尚不明确。

国内外许多学者致力于区域物流网络时空演化特征的研究。基于物流功能联系的城市网络结构研究是区域空间结构的重要议题^[14,15]。王海江、苗长虹、郭建科等运用 ArcGIS 软件, 对我国不同区域城际货运结构进行了深入探讨^[16,17,18]。于江霞等将空间计量经济学分析引入我国公路交通设施的空间相关性和收敛性分析, 探讨其与区域经济发展的关系^[19]。并进一步分析了

作者简介: 黄音 (1982-), 女, 湖南湘潭人, 博士, 博士后, 副教授。主要研究方向为大数据与智慧物流、区域物流、物流网络。E-mail: share0122@126.com。

基金项目: 国家自然科学基金项目 (71804200); 湖南省自然科学基金项目 (2019JJ50991); 中南林业科技大学青年科学基金项目 (2017QY001)。

1996—2011 年我国整体和四大经济地带的公路交通发展,以及区域经济发展空间差异及其相关关系^[20]。然而,在复杂多变的区域环境下,物流网络的复杂性、动态性、多模块特征日益彰显。其复杂的结构特征及其表示方式的过于繁琐,都成为物流网络结构动态演化分析的主要难题^[21]。随着我国区域合作的不断深入,物流网络化、动态化特征日趋明显,空间形态由地理空间向地理网络空间转换,许多网络呈现复杂网络的特性^[22]。为了更加深入探讨网络结构的演化及规律,需要引入复杂网络方法及模型进行探析^[23]。

由 Watts 等在 Nature 上发表的论文^[24],以及 Barabási 等在 Science 上发表的论文^[25],引发了各学科在复杂网络领域交叉研究的新浪潮。狄增如指出大量复杂系统个体之间的相互作用关系需要用网络结构来描述,而这些网络结构存在许多特殊的性质^[26],例如,度分布的测算等。复杂网络无疑为复杂物流网络结构的表示与分析提供了强大的分析工具^[27,28]。当前物流网络拓扑结构的研究主要集中于静态网络结构特征的分析^[22],物流复杂网络拓扑结构的研究缺乏对其动态演化特征的刻画^[22],因而,分析视角较为单一,无法深入诠释城市节点在复杂网络空间演化的动态规律。以区域宏观为视角,物流复杂网络时空演化与城市发展的耦合规律研究将成为未来区域发展管理的重点^[29],这急需将大数据技术与复杂网络分析相结合,为物流网络拓扑结构与城市发展的融合,提供源于方法论上的运用与创新,以更好地诠释物流复杂网络的动态演化过程,以及城市作为货运网络节点在复杂网络中的结构演化规律。

本文基于复杂网络理论,爬取专业货运信息平台上浙江省的 12041 条货运大数据信息,综合运用大数据分析 with 复杂网络分析,结合《中国城市统计年鉴》及相关城市规划文件,对“互联网+”背景下浙江省城际货运时空网络演化规律及其驱动机制进行研究,以揭示“互联网+”背景下,城市作为货运网络节点依附于复杂网络空间而存在、演化的规律,以及城市的货运功能、地位及其在网络中的位置所决定的规律性,并进一步分析驱动时空网络模型演化的主要机制,从而为货运网络和货运节点的合理布局,货运大通道的构建,城市间物流合作与资源共享的推进提供技术路径和实践依据,并为物流网络拓扑结构与城市发展的融合、复杂网络中货运网络拓扑结构的动态演化提供源于方法论的运用与创新。

1 研究数据与方法

1.1 数据来源与数据处理

1.1.1 “互联网+”背景下的货运大数据

本研究运用 Python 编辑爬虫程序,爬取了我国最大的互联网货运信息平台之一——好运物流网(<http://www.haoyun56.com/>) 2011—2018 年的货运大数据信息。该数据反映了“互联网+”背景下,城市间公路货运联系,货主根据客户的货物需求,为运输主体提供货运信息,即车找货、货找车。选取浙江省货运大数据信息作为研究对象,提取 2011、2014、2018 年的数据进行分析,选择起始城市、到达城市、货运量、时间 4 个参数,并将起始城市和到达城市之间的货运连接,形成城市间的 O-D (即起始城市—到达城市) 货运大数据,以构建城际货运复杂网络。

在数据处理过程中,对获取的货运大数据,运用 Python 编程对文本数据进行预处理。(1)通过文本去重和文本降维,去除每日数据更新过程中存在的重复货运信息,并通过人工整理,去除不完整的货物信息,以提取两个城市间的货运信息。(2)将部分起始城市和到达城市为县级行政区,或者为乡、镇、区的数据,统一为地级行政区。

1.1.2 《中国城市统计年鉴》数据

提取《中国城市统计年鉴》中 2011、2014、2018 年浙江省各城市公路货运总量、公路货物周转量、公路通车里程,以确定不同度分布(点度中心度、中介中心度、接近中心度)货运网络与地理上城市货运网络结构的相关性。选择 2011、2014、2018 年浙江省各城市年鉴数据中 4 项数据,即年末常住人口、GDP、规模以上工业总产值、交通仓储邮电业从业人员数,分析其与不

同度分布货运网络的相关性，探索促进货运网络形成的外部驱动机制。

1.2 研究方法

1.2.1 货运空间联系和核密度分析

研究运用 ArcGIS 绘制城际货运空间联系网络图，以分别可视化显示浙江省内货运量和频数网络输出、输入分布图。运用核密度分析，分别显示货运量输出、输入分布图，以从空间分布上探索浙江省城际货运服务功能联系网络中输出和输入货运量的总体分布走向、范围、向心力及离散程度。

1.2.2 城际货运网络度分布的测算与分析

度是复杂网络研究中最重要统计指标之一。研究运用复杂网络计算软件 Pajek，结合 Python 编程对城际货运网络度分布进行测算与分析。

2 浙江省城际货运网络总体格局分析

研究运用 ArcGIS 软件，运用货运空间联系和核密度分析，对 2011—2018 年城际货运网络总体格局进行分析。

2.1 城际货运空间联系分析

从浙江省内货运量和频数网络输出、输入分布图（图 1）来看，宁波的货运量和频数联系都位于所有城市之首（货运量占全省的 80.38%）。浙江省内城市货运量呈阶梯分级，宁波的货运量远大于第二梯队的杭州、金华、衢州、舟山、温州等城市。这与宁波舟山组合港世界第一的货物吞吐量高度相关。

2.2 城际货运量核密度分析

运用核密度分析对浙江省货运量分布进行空间分析，得到货运量输出和输入分布图（图 2），货运量输出核密度分布图上的分布范围相比货运量输入核密度分布图上的来说较小，这表明货运量输出向心力大，离散程度小。货运量输出分布图呈显著的单中心结构，宁波是货运量输出的主要城市。货运量输入分布图呈显著的多中心结构，杭州、台州、温州是输入量最大的省内城市，珠三角、京津冀和中部六省是输入量最大的省外地区。

3 浙江省城际货运时空网络演化分析

度分布是复杂网络最直接的刻画，也是复杂网络研究中最重要统计指标之一。以下从网络密度、点度中心度、中介中心度、接近中心度四个方面对城际货运网络度分布演化进行分析计算。

3.1 网络密度测算与分析

分别筛选出 2011、2014、2018 年度的货运联系数据，计算各年份网络密度。

网络密度总体呈上升趋势，表明浙江省和全国各城市之间的货运联系越来越密切、频繁。2011—2018 年，网络密度不断增加，而且 2014—2018 年的网络密度增量明显快于 2011—2014 年，2014 年相较 2011 年增长了 6.05%，2018 年相较 2014 年增长了

28.99%。这也反映浙江省城际货运整体网络密度提升迅速，城际货运联系日益密切。

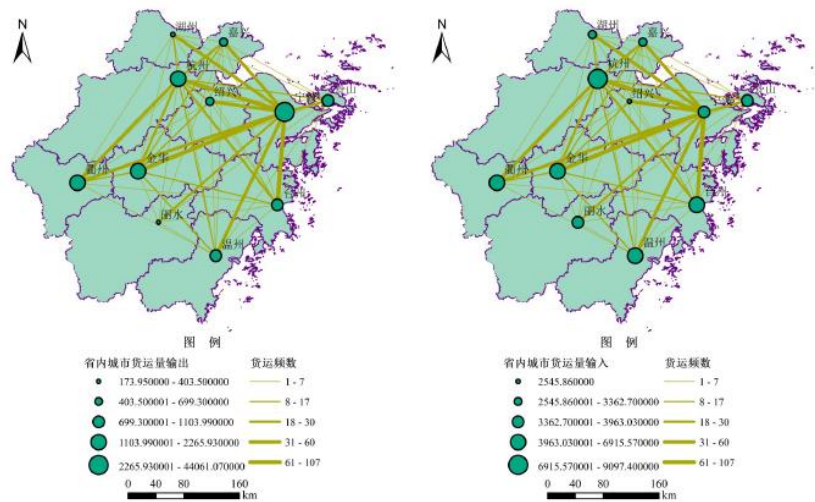


图1 浙江省内货运量和频数网络输出（左）/输入（右）分布图

注：用节点大小表示货运量大小，用线条粗细表示频数多少。

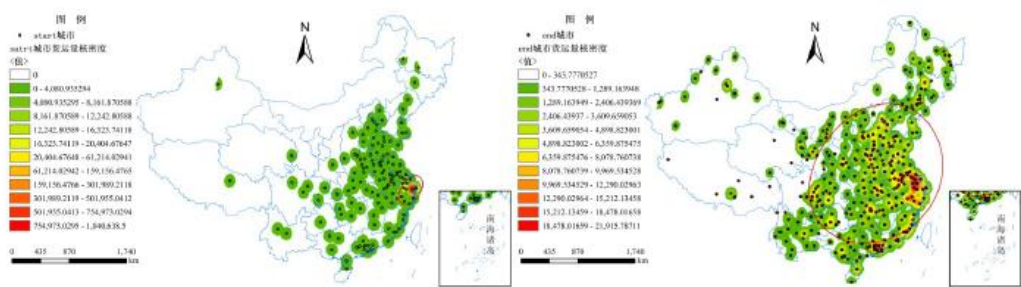


图2 货运量输出（左）/输入（右）核密度图

3.2 点度中心度测算与分析

分别筛选出 2011、2014、2018 年的货运联系数据，计算各年份城市点度中心度出度和入度。

点度中心度可以用来衡量货运网络中节点城市处于中心地位的程度。其中，节点城市点出度越大，说明该城市对其他城市的辐射影响力越强；相反，节点城市点入度越大，说明该城市受到周围核心城市的辐射影响力越大。从总体上来说，浙江省的点度中心度呈上升趋势。在“互联网+”背景下浙江省的城际货运网络中，2011—2018 年，宁波和舟山的点出度呈高度增长之势。舟山和宁波均为我国南北运输大通道重要节点城市。2016 年之前，由于舟山港口等运输资源尚未充分开发，各种货运联系偏少。2016 年，交通运输部和浙江省政府联合批准《宁波—舟山港总体规划（2014—2030 年）》。港口的发展不仅使货运量有所增长，也推动了城市间贸易的贸易往来，宁波—舟山货运大通道逐渐形成，宁波和舟山超越杭州，成为浙江省新的公路货运枢纽。杭州的点入度和点出度也比较大，增长速度也较快。但随着宁波—舟山港的发展，其货运枢纽的地位逐渐被超越，其定位也由货运枢纽向货物集散中心发展（点出度、点入度均较高，货物输出、输入均较多）。宁波、舟山是典型的货物输出型城市，而金华、

丽水、衢州则具有显著的外部输入特点（点出度逐渐下降，点入度逐渐增加），其中衢州变化最大，2011—2018 年，从货运输出型城市变为货物输入型城市。这表明金华、丽水和衢州在货运网络中受周围城市，例如宁波、杭州，舟山的辐射影响较大。湖州和绍兴的点出度较低，但是点入度相对较高，这表明这些城市对外影响力不强，但是接受辐射的能力较强，因此在整体城际货运网络中的重要性有限。

2011—2018 年的点度中心度城市个数的变化规律。点出度、点入度城市节点个数均有所增加，其中点出度城市节点小幅增长，点入度城市节点增加迅速，城市输入输出的总体覆盖范围增大。这表明浙江省与全国其他城市的货运、贸易往来越来越频繁，影响及被影响的范围都在逐渐变广，浙江省在全国的影响力逐渐增强。

虽然点度中心度分布网络节点日益增加，连接日趋紧密、频繁，但是点出度、点入度分布网络的演化趋势却不尽相同。点出度分布网络由以宁波、衢州为中心的双核网络向以宁波、舟山为中心的双核网络发展，点入度分布网络由以杭州为中心的单核网络向多核网络发展（图略）。

3.3 中介中心度测算与分析

分别筛选出 2011、2014、2018 年度的货运联系数据，计算各年份城市中介中心度。

中介中心度用于衡量货运网络中节点城市作为其他城市联系桥梁的作用。中介中心度越高，节点城市在网络中越处于桥梁的位置，对其他城市之间的联系与沟通产生的影响越大，对整个货运网络的资源控制力也越强。中介中心度总体呈整体下滑趋势，部分城市，如衢州、绍兴、台州、温州，下滑明显，表明这些城市对资源的控制程度在不断弱化，这些城市在货运网络权力格局中逐渐处于边缘位置。

2011 年，杭州的中介中心度远高于其它城市，这表明其在货物流动中转枢纽方面优势明显，是浙江省城际公路货运的中转站。2014 年，浙江省内部区域货运联系逐渐形成“双中心—外围”发展模式，各城市之间的经济联系除受宁波、杭州两个货运枢纽城市的影响外，其他城市之间的货运发展较为均匀，相互之间的中介作用不明显，城市的转运能力不强。2018 年，宁波“一城独大”，成为浙江省城际公路货运新的中转中心，并逐渐超越杭州。2011—2018 年，浙江省城市中介中心度分布网络密度日益增加，网络节点大幅增加，网络连接日益密集、频繁（图 3）。

但浙江省所有城市的中介中心度均不高，这表明城市间的公路货运衔接不够顺畅。虽然省内各种交通运输方式门类齐全，路网密集，但各种交通运输方式之间缺乏有效衔接的问题比较明显，货运中转不够流畅。

3.4 接近中心度测算与分析

分别筛选出 2011、2014、2018 年度的货运联系数据，计算各年份城市接近中心度。

接近中心度是衡量城市间货运通达性的重要指标。接近中心度高的货运网络更有利于城市间的交流与协调，能够使货运网络中的城市得到更多的物流资源与政府支持。2011—2018 年，杭州的接近中心度缓慢下降，宁波和舟山的接近中心度迅速增加。这表明宁波和舟山到其它城市的通达性良好。它们的存在对城际货运网络中其它城市的货物流动起着至关重要的连通作用。截至 2018 年，其他城市的接近中心度均大于 0.5。宁波与舟山一衣带水，作为世界第一大港，它们获得的物流资源与政府支持也较多，在浙江省的城际货运网络中承担着资源“连通器”的作用。嘉兴、丽水、绍兴、台州的接近中心度亦有小幅提升。这些城市在地理上临近上海、杭州、宁波等一线城市，是沪杭、苏杭交通干线的中枢，可以获得许多来自这些城市的物流和商贸资源。

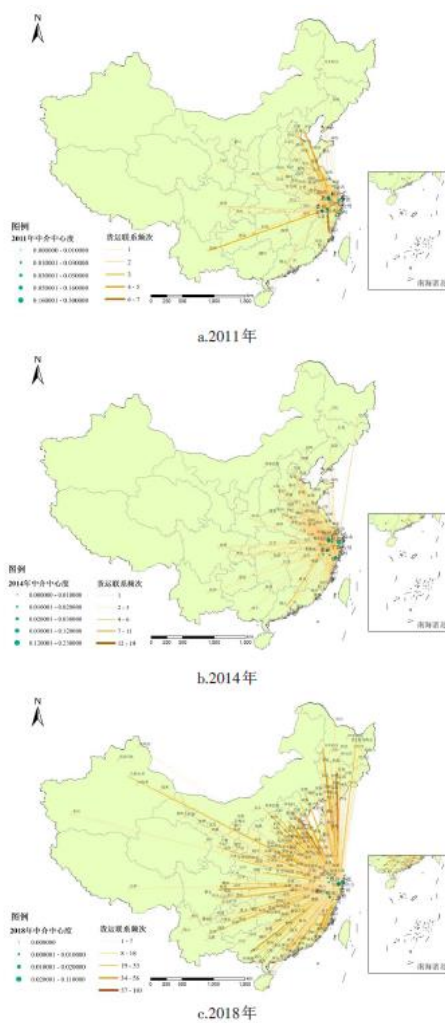


图 3 浙江省城际货运中介中心度网络分布演化图

如图 4 所示，2011 年，杭州的接近中心度高于其它城市，这表明其获得的物流资源与政府支持最多，与其他城市的通达性较高。2014 年，杭州与宁波形成“双核”网络结构。2018 年，舟山后来居上，与宁波形成新的“双核”网络结构。2011—2018 年，浙江省城市接近中心度分布网络密度日益增加，网络节点大幅增加，网络连接增加迅速，联系强度加大。

总体来看，浙江省所有城市的接近中心度均较高，这表明城市间的公路货运通达性良好，也表明浙江省 11 个城市获得的物流资源与政府支持比较均匀。

4 浙江省城际货运时空网络演化驱动机制

4.1 时空网络演化内部驱动因素分析

4.1.1 长程联系和局域联系

公路货运网络中 500km 是重要的货运距离门槛，长途与短途货运主要集中于该距离区间内^[26]。距离衰减对城际货运网络影响显著，这也导致了货运时空网络的形成与演化。以 500km 为距离门槛，以当年地图查询里程为准，对浙江省城际货运里程进

行计算,将大于 500km 的视为长程联系,将小于 500km 的视为局域联系。2011—2018 年,局域联系的占比由 52.11%下降为 24.42%,局域联系大幅下降;长程联系的占比由 47.89%上升到 75.58%,长程联系大幅增加。长程联系随时间推进,逐渐增强,成为驱动浙江省城际货运时空网络演化的重要驱动力。

4.1.2 规模辐射和功能互补

规模辐射效应是城市间货运网络联系增强的主要原因。宁波与舟山的点出度都远大于点入度,且远高于其它城市,在对外辐射中占据核心地位。两座城市在浙江省城际货运网络中形成规模辐射效应,且其效应日益突出,其通过规模辐射发挥明显的货运网络空间集聚效应。辐射效应是推动城际货运网络联系不断增强、聚集的主要动力。

由图 3、图 4 可知,2011、2014 年的城际货运网络联系比较松散。2018 年的城际货运网络联系较为紧密,其中浙江省和长江中上游地区的货运频数联系占到总量 21.03%。这是因为 2017 年国家发改委颁布了《关于支持“飞地经济”发展的指导意见》,鼓励浙江省等发达地区到长江中上游地区共建产业园区,加强区域合作,浙江省与钢铁资源、有色金属资源丰富的长江中上游地区形成了产业优势互补的功能互补网络,也建立起多层次的经济合作网络。浙江省的城际货运网络具有较强的工业指向性,其工业发展需要高新技术的支持。浙江省与高新技术实力雄厚的东南沿海地区的货运频数联系占到总量的 22.5%。浙江省与东南沿海沿海地区形成了技术优势互补的功能网络,也建立起多维度的技术合作网络。这种功能互补网络促使货运网络联系日趋紧密。

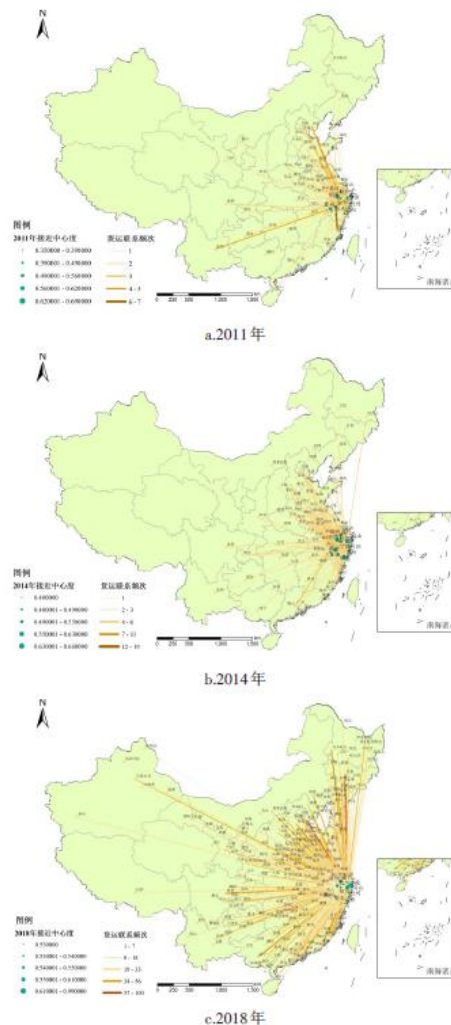


图 4 浙江省城际货运接近中心度网络分布演化图

4.2 时空网络演化外部驱动因素分析

研究运用 Pearson 相关系数分析法分析“互联网+”背景下浙江省城际货运时空网络点度中心度、中介中心度和接近中心度与 3 年浙江省各城市年鉴数据中 3 项数据，即公路货运总量、公路货物周转量、公路通车里程的相关性，以确定度分布货运网络与地理空间城市网络结构的相关性。运用 Pearson 相关系数分析“互联网+”背景下浙江省城际货运时空网络点度中心度、中介中心度和接近中心度与 3 年浙江省各城市年鉴数据中 4 项数据，即年末常住人口、GDP、规模以上工业总产值、交通仓储邮电业从业人员数，的相关性。通过 t 检验，以确定浙江省城际货运时空网络演化的外部驱动机制。计算公式如下：

$$r = \frac{\sum_{j=1}^n (X_j - \bar{X})(Y_j - \bar{Y})}{\sqrt{\sum_{j=1}^n (X_j - \bar{X})^2} \sqrt{\sum_{j=1}^n (Y_j - \bar{Y})^2}} \quad (1)$$

4.2.1 点度中心度货运网络

2011—2018 年，浙江省城际货运时空网络点度中心度与公路货运总量、公路货物周转量高度相关。这表明在“互联网+”背景下，点度中心度货运网络与地理上城市货运网络结构相互映射，具有较高的相关性，能够较好地反映其空间网络结构的演化规律。

2011—2018 年，浙江省城际货运时空网络点度中心度与规模以上工业总产值均呈显著正相关。但整体相关性在 2014 年达到高峰，之后逐渐下滑。2014 年的点度中心度与 GDP 相关性最高。这表明浙江省城际货运网络中节点城市的中心地位和辐射能力在 2014 年，受外部经济因素（即 GDP）的影响最大。其中心城市节点在货运网络中的形成与发展，受经济驱动的影响较大。点度中心度与规模以上工业生产总产值高度相关，这表明浙江省城际货运的服务对象主要是工业企业。杭州与宁波在规模以上工业总产值方面一直高居榜首，其工业经济的集聚性显然与城际货运的集聚性形成了耦合关系。2011—2014 年，浙江省城际货运时空网络中心城市节点的形成与发展主要受经济因素的影响和驱动，并具有工业指向性。2014—2018 年，经济驱动的影响逐渐减弱，但一直受到工业布局的影响。

4.2.2 中介中心度货运网络

2011—2018 年，浙江省城际货运时空网络中介中心度与公路货物周转量高度相关。这表明“互联网+”背景下，中介中心度货运网络与地理空间城市货运网络结构相互映射，具有一定的相关性，在一定程度上能够反映其空间结构演化规律，但弱于点度中心度货运网络。

2011—2018 年，浙江省城际货运时空网络中介中心度与规模以上工业总产值呈显著正相关。但整体相关性在 2014 年达到高峰，之后逐渐下滑。2014 年的中介中心度与 GDP、交通仓储邮电业从业人员相关性最高，均大于 0.85。这表明浙江省城际货运网络中节点城市的桥梁作用和对整个货运网络的资源控制力在 2014 年受经济驱动和人力资源驱动的影响最大。其“桥梁”节点在货运网络中的形成与发展，受这些外部驱动因素的影响较大。2011—2014 年，浙江省城际货运时空网络“桥梁”节点城市的形成与发展主要受经济驱动和从业人数因素影响。到 2018 年，中介中心度呈现与城市经济实力（GDP）不相匹配的低水平状态。2018 年中介中心度整体偏低，与 GDP 相关性大幅减弱。随着物流从业人数逐渐趋于饱和，中介中心度与从业人数的相关性也逐渐削弱。但与规模以上工业生产总产值依然相关，工业指向性依然明显。

4.2.3 接近中心度货运网络

2011 年的接近中心度与公路货运量相关性较高，此后逐渐减弱。这表明“互联网+”背景下，接近中心度货运网络与地理上城市货运网络结构相关性在度分布网络中最弱。

浙江省城际货运网络中节点城市的通达性和资源获得在 2011 年受经济（GDP）因素的影响最大。其通达性在货运网络中的形成与发展，主要受经济因素的驱动。2014 年，浙江省城际货运时空网络通达性的形成与发展主要受 GDP 和年末常住人口的驱动和影响，即浙江省城际货运网络中通达性的形成与发展主要受经济因素的驱动和地区人口因素的影响。但 2011—2018 年，外部驱动因素的影响逐渐减弱。

综上所述，“互联网+”背景下，浙江省城际货运时空网络演化主要受经济驱动和人力资源因素的推动，并受到工业企业布局的影响。但外部驱动因素的影响总体呈现减弱的趋势。

4.3 驱动机制探讨

4.3.1 优先连接机制

随着网络节点的不断增加，网络规模的不断扩大，由于网络节点的优先连接特性，网络中的节点更倾向于与那些具有较高连接度的“大”节点相连接，如宁波。货运网络中的节点与其他节点的连接具有差异性，影响力越大的节点优先获得其他节点连接的概率也越大，变得越来越强，表现为同向匹配特征，类似于“富者愈富”现象。从省内城际货运时空网络演化来看，从 2011—2018 年，湖州、嘉兴、绍兴、衢州的点入度不断增加，表明这 4 个城市受中心城市杭州的辐射影响力较大。以杭州为中心，连接湖州、嘉兴、绍兴、衢州的杭州都市圈逐渐形成。而舟山的货运网络和货运量一直受到宁波的辐射影响，与之形成货运大通道。浙江省城际货运联系频数呈阶梯分布，宁波、杭州、舟山与其他城市货运联系较为频繁，可以说处于浙江省货运网络的中心地位。其次是温州、金华、台州，其它城市间货运联系较少。浙江省各城市中介能力普遍较弱，绝大部分城市受宁波的辐射影响，对货运网络的控制力不高。浙江省城际货运时空网络呈现出非均衡性显著，以杭州、宁波“双核心辐射”为主的，基于枢纽式辐射的多层级、阶梯式货运网络。但随着舟山的崛起，宁波、舟山构建了新的“双中心”辐射网络。

从省外城际货运时空网络演化来看，城际货运联系网络的优先连接机制也较为突出。经济发达、交通便利的广东省，占据总货运频次联系的 9.61%，而经济相对落后的西部地区，如四川省货运联系仅占 3.4%，贵州货运联系仅占 2.13%，西藏自治区货运联系仅占 0.32%；青海省货运联系仅占 0.51%。城际货运联系网络呈现从东部沿海到中部内陆，再到西部地区逐渐减弱的趋势。优先连接机制体现了货运网络中不同城市节点之间的不平等性和竞争性。

4.3.2 网络邻近效应

传统地理学的理论中，物理上的邻近是促成各种地理现象及人产生空间聚合的关键，是形成区域空间联系的重要前提。空间距离是影响城市货运联系的重要因素。在省内城际货运网络中，宁波在城际货运网络中的辐射能力、桥梁作用和通达性都很高，舟山毗邻宁波，依赖临近优势，获得了许多宁波的物流资源与经济支持。在省外城际货运网络中，城际货运联系网络的地理邻近效应较为明显。与浙江省货运联系最密切的省份是与之接壤的江苏省，占总货运频次联系的 11.02%。货运频次联系分布与地理分布相关，货运频次联系强度呈现以浙江省为中心，向周边扩散的趋势。依据地理邻近效应，越近的省份/城市，联系强度越大。

4.3.3 偏好依附机制

产品价值链某个区段一旦选择布局在特定城市，集聚经济的微观机制就开始发挥作用。集聚经济构成了城际货运时空网络演化的主要推动力，在集聚经济的作用下城际货运时空网络演化呈现出偏好依附的驱动机制。例如，工业经济的集聚性与城际货运网络的集聚性产生了耦合关系。浙江省城际货运时空网络度参数除了与 GDP 和人力资本（如年末常住人口和交通仓储邮电业从业人员数）相关之外，还具有较强的工业指向性。这表明其网络布局与工业企业的分布有着密切的关联性，浙江省城际货运时空演化具有较强的工业经济偏好依附机制。工业物流网络有货运量大、货运联系稳定、增长迅速等特点，两座城市之间的工业一旦达成合作关系，会直接增加两座城市之间的货运联系。

5 结论及建议

“互联网+”背景下货运信息，更加直观地刻画了城市间物流、资金流、信息流的流动与融合，形成了突破城市间、区域间空间阻碍的“流动空间”。研究结果表明，浙江省城际货运时空网络呈现联系逐渐紧密、强度逐渐增大的趋势。不同度分布刻画不同城市的货运功能、地位及其在货运网络中的地位。通过不同中心度货运网络对比发现，点度中心度货运网络最能反映城市地理空间上的城际货运网络结构演化规律。

城际货运网络联系可以进一步区分为长程联系和局域联系，货运网络可以进一步区分为规模辐射网络及城市功能互补网络。一些中心度比较高的城市，长程联系和局域联系都比较多，例如宁波。这种城市网络利用其路径长、点度大、辐射能力强的优势，充分发挥其规模辐射优势，吸纳其他城市，例如舟山，与其共建货运大通道和货运网络，形成“强强联合”的“双中心”网络。优先连接机制促使浙江省各个城市更易于与资源丰富、技术先进的城市形成功能互补网络，形成资源、技术互补的“飞地经济”网络体系。2011—2018 年，内部驱动力不断增强，外部驱动力（经济驱动+人力资源因素推动+工业企业布局）不断减弱。通过以上研究，可总结出优化浙江省城际货运网络的政策启示如下：

5.1 提高城市货运的衔接能力，提升城市的物流效率

浙江省所有城市的点度中心度和接近中心度都比较高，且稳步上升。但中介中心度均不高，处于整体下滑的状态。这表明浙江省各城市需要提高货运的有效衔接能力，提升城市的物流效率，促使货运中转流畅运行。通过构建城际、市域、城市的综合交通/物流体系，实现城市空间发展和综合交通/物流网络的一体化；打造骨干运输网络和城市配送网络高效衔接的一体化、开放式物流服务平台，以促进城市间货物运输的高效流转，优化城际货运网络结构。

5.2 立足城市的异质性，搭建“强强联合”的“飞地经济”共同体

不同城市具有不同的城市功能，其异质性导致了城市间势能的差异。城际货运的优先连接机制促使城市基于自身优势，积极寻找与自身功能匹配、互补的城市伙伴，优势互补，联合共享，形成突破城市间、区域间空间阻碍的“飞地经济”共同体。例如：将浙江省的物流、技术、信息优势与贵州、四川等西部省份的土地、气候优势相结合（比如浙江省丝绸产业的供给原料转移到气候宜人、资源丰富的川贵地区），积极推进多层次、多领域的东西部合作，促进浙江省与西部地区的城际货运联系，扩大其货运合作网络范围，以积极推进“飞地经济”的发展，与不同功能的城市形成互补网络，优化城际货运网络布局，推进城市间、区域间的协调发展。

5.3 发挥核心城市的涓滴效应，优化整体货运网络布局

优先发展起来的宁波、杭州等货运中心，充分发挥城市的涓滴效应，通过物流、贸易、就业等方面惠及其他城市，带动其他城市平衡发展。积极促进宁波、杭州与周边城市的货运经济联系，实现城市间的优势互补。加快构建杭州、宁波、温州、金华—义乌四大都市区，改善两城独大的现状，并解决核心城市与周边城市之间的断层问题，增加城市货运中心数目，提升货运网络的通达能力，以优化浙江省城际货运网络。具体来说：一方面，积极建设浙江省的复合通道，构建甬沪南、甬嘉苏、甬台

温的沿海链接通道，接轨上海，融入沿海大通道；优化与建设甬舟沪、甬绍杭通道等沿湾链接通道；加快推动甬义金内陆链接通道的建设。另一方面，积极推动浙江四大都市圈建设，形成以杭州、宁波、温州、金义四大都市区核心区为中心带动，以环杭州湾、甬台温、杭金衢、金丽温四大城市连绵带为轴线延伸，以四大都市经济圈为辐射拓展的“四核、四带、四圈”网络型城市群空间格局。加快中心城市间、中心城市与周边节点城市间的高速货运通道，打造城市群中心城市与周边重要城镇间的快速货运通道。

5.4 加强公路港建设，优化货运网络结构

公路港相当于网络货运枢纽，是一种发展线上物流平台与线下公路网络的“互联网+货运”的运营方式，构建了线上“互联网货运平台”与线下“公路港实体网络”的公路货运网络运营系统。通过建设公路港物流中心专用通道，有效分流公路港物流中心的各类进出车辆，提高国内公路港物流中心的通行能力。通过专业货运信息平台发布的“车找货，货找车”的信息，在传统信息互通功能的基础上，实现“车找货，货找车”信息的及时匹配。并基于车货大数据信息的分析与挖掘，实现物流业务的全程管控，以提升公路货运效率，优化货运网络，打造公路货运新生态。基于货运大数据信息，将大数据技术与复杂网络技术相结合，为各级政府构建货运大通道，推进城市间物流合作与资源共享提供实践依据。

参考文献:

- [1] 葛金田. 跨区域物流网络体系构建与物流大通道建设研究[J]. 东岳论丛, 2017, 38(12):102-107.
- [2] 徐杰, 鞠颂东. 区域经济的发展对地区物流需求的影响——长江经济区发展对安徽地区物流需求影响的实证研究[J]. 数量经济技术经济研究, 2003(4):130-133.
- [3] 丁明磊, 刘秉镰. 基于复杂系统观的区域物流协同创新与演化[J]. 科技管理研究, 2010(4):176-178.
- [4] 孙笑, 刘春延, 张池军, 等. “互联网+”背景下敏捷物流管理信息共享机制研究[J]. 情报科学, 2017(5):157-159.
- [5] 姚国章, 余星. “互联网+”与物流业的融合发展研究[J]. 南京邮电大学学报: 自然科学版, 2017, 37(2):57-67.
- [6] 董千里. 区域物流信息平台与资源整合[J]. 交通运输工程学报, 2002, 2(4):58-62.
- [7] 翁心刚. 区域性国际物流信息平台构建研究[J]. 中国流通经济, 2011, 25(12):26-30.
- [8] 沈丽珍, 顾朝林, 甄锋. 流动空间结构模式研究[J]. 城市规划学刊, 2010(5):26-32.
- [9] Taylor P J. World City Network:A global urban analysis[M]. London:Routledge, 2004.
- [10] Taylor P J, Derudder B. World city network:a global urban analysis[M]. London:Routledge, 2015.
- [11] Goetz A R. Air Passenger Transportation and Growth in the U. S. Urban System, 1950-1987[J]. Growth & Change, 1992, 23(2):217-238.
- [12] Shin K H. World cities in Asia:cliques, centrality and connectedness[J]. Urban Studies, 2000, 37(12):2 257-2 285.

-
- [13]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.
- [14]王成金.试论现代物流的地理学研究及发展趋势[J].人文地理,2006,21(6):22-26.
- [15]王成金.物流企业的空间网络模式与组织机理[M].北京:科学出版社,2014.
- [16]王海江,苗长虹,茹乐峰,等.我国省域经济联系的空间格局及其变化[J].经济地理,2012,32(7):18-23.
- [17]王海江,苗长虹,牛海鹏,等.中国中心城市公路客运联系及其空间格局[J].地理研究,2016,35(4):745-756.
- [18]郭建科,韩增林,王利.我国中心城市货运外向服务功能空间体系[J].地理研究,2012,31(10):1 849-1 860.
- [19]于江霞,海猛,韩少华.公路交通与经济发展空间相关性及其收敛性分析[J].交通运输系统工程与信息,2015,15(4):31-37.
- [20]于江霞.中国公路交通与经济发展空间差异及其相关性分析[J].交通运输系统工程与信息,2015,15(1):11-16.
- [21]李靖,张永安.复杂网络理论在物流网络研究中的应用[J].中国流通经济,2011,25(5):38-42.
- [22]安海忠,陈玉蓉,方伟,等.国际石油贸易网络的演化规律研究:基于复杂网络理论[J].数学的实践与认识,2013,43(22):57-64.
- [23]程开明,庄燕杰.长三角城市体系特征测度与演进解析[M].浙江:浙江工商大学出版社,2015.
- [24]Watts D J,Strogatz S H. Collective dynamics of 'smallworld' networks[J]. Nature,1998,393:440-442.
- [25]Barabási L A,Albert R. Emergence of scaling in random networks[J]. Science,1999,286:509-512.
- [26]狄增如.系统科学视角下的复杂网络研究[J].上海理工大学学报,2011,33(2):111-116.
- [27]Thadakamalla H P,Raghavan U N,Kumara S,et al. Survivability of multiagent-based supply networks:a topological perspective[J]. IEEE Intelligent Systems,2005,19(5):24-31.
- [28]熊杰,冯春,张怡.基于复杂网络的灾难救援物流网络鲁棒性分析[J].系统仿真学报,2013,25(7):1 639-1 645.
- [29]郭建科,韩增林,仇培宏.中国城市群物流研究述评[J].地域研究与开发,2011,30(1):51-54.