

分类号

密级

UDC

编号 10741

兰州财经大学

LANZHOU UNIVERSITY OF FINANCE AND ECONOMICS

硕士学位论文

论文题目 西部陆海新通道物流枢纽发展路径研究  
—以兰州市为例

研究生姓名：季训霞

指导教师姓名、职称：曹晓军 教授

学科、专业名称：管理科学与工程

研究方向：物流与供应链管理

提交日期：2023年6月6日

## 独创性声明

本人声明所呈交的论文是我个人在导师指导下进行的研究工作及取得的研究成果。尽我所知，除了文中特别加以标注和致谢的地方外，论文中不包含其他人已经发表或撰写过的研究成果。与我一同工作的同志对本研究所做的任何贡献均已在论文中作了明确的说明并表示了谢意。

学位论文作者签名：季训霞 签字日期：2023.5.20

导师签名：常晓军 签字日期：2023.5.20

## 关于论文使用授权的说明

本人完全了解学校关于保留、使用学位论文的各项规定，同意（选择“同意”/“不同意”）以下事项：

1.学校有权保留本论文的复印件和磁盘，允许论文被查阅和借阅，可以采用影印、缩印或扫描等复制手段保存、汇编学位论文；

2.学校有权将本人的学位论文提交至清华大学“中国学术期刊（光盘版）电子杂志社”用于出版和编入CNKI《中国知识资源总库》或其他同类数据库，传播本学位论文的全部或部分内容。

学位论文作者签名：季训霞 签字日期：2023.5.20

导师签名：常晓军 签字日期：2023.5.20

# **Study on the Development Path of Logistics Hubs in the New Western Land and Sea Corridor-Lanzhou City as an example**

**Candidate : JI Xunxia**

**Supervisor: CAO Xiaojun**

## 摘要

西部陆海新通道是位于中国西部地区腹地一条重要的交通通道,其向北连接丝绸之路经济带,向南连接 21 世纪海上丝绸之路,同时与长江经济带协同发展,其物流网络的建设与优化对推动西部陆海新通道建设至关重要。物流枢纽作为物流体系的核心设施,是现代商贸流通体系的重要承载节点,其建设水平对区域物流业的集聚能力和服务水平有着重要影响。因此,研究西部陆海新通道中物流枢纽的发展路径,从复杂网络视角探究其发展的影响因素并明晰其作用机理,有助于给出物流枢纽建设的合理规划,推动西部物流业的发展。

本文研究内容有三个方面:

(1) 以西部陆海新通道中涉及的 132 个地级市的物流业为研究对象,研究了其物流网络的结构特性并遴选了物流枢纽。首先采用熵权法计算各城市的物流质量,通过辐射模型测度节点之间辐射强度,并利用真实路网数据进行裁剪得到西部陆海新通道物流网络;其次,采用复杂网络方法对该物流网络各节点城市的加权度数中心度、接近中心度和中介中心度等个体特征进行了分析;最后,综合考虑节点城市的物流质量和网络中心性两个因素,遴选出成都、重庆、西安、昆明等四个物流枢纽。

(2) 研究了影响物流枢纽发展的主要因素。对照《西部陆海新通道总体规划》文件中规划的物流枢纽,发现在复杂网络视角下,部分规划枢纽节点未能充分发挥枢纽作用,为明晰其原因,论文构建了面板数据回归模型,通过选取适当的解释变量和被解释变量进行深入研究,发现区域生产总值、物流相关从业人员数以及货运量等构成影响节点枢纽功能发挥的主要因素,并进一步研究了这些因素影响物流枢纽发展的作用机理。

(3) 研究了物流节点枢纽功能提升的路径。以兰州市为例,分析兰州市发展现状,找出兰州市与西部陆海新通道物流网络中遴选出的物流枢纽在区域生产总值、物流人才、货运量等方面存在的差距,并分别从提高物流人才培养质量、优化产业结构、加大交通基础设施建设力度等方面提出兰州市发挥物流枢纽功能的对策建议。

**关键词:** 西部陆海新通道 物流网络 复杂网络 物流枢纽 发展路径

## Abstract

The New Western Land and Sea Corridor is an important transportation corridor located in the hinterland of western China, connecting the Silk Road Economic Belt to the north and the 21st Century Maritime Silk Road to the south, as well as developing in synergy with the Yangtze River Economic Belt. The construction and optimisation of its logistics network is crucial to promoting the construction of the New Western Land and Sea Corridor. As a core facility of the logistics system and an important node of the modern trade circulation system, the construction level of logistics hubs has a significant impact on the agglomeration capacity and service level of the regional logistics industry. Therefore, studying the development path of logistics hubs in the new western land and sea corridor, exploring the influencing factors of their development and clarifying their mechanism of action from the perspective of complex networks, will help to give reasonable planning for the construction of logistics hubs and promote the development of western logistics industry.

The research in this paper covers three aspects:

(1) The logistics industry of 132 prefecture-level cities involved in the New Western Land and Sea Corridor is studied, and the structural characteristics of their logistics networks and the selection of logistics hubs are investigated. Firstly, the entropy weight method is used to calculate the logistics quality of each city, and the radiation intensity between the nodes is measured by the radiation model, and the real road network data is used to cut to obtain the logistics network of the Western Land and Sea New Corridor; secondly, the individual characteristics of each node city of the logistics network, such as weighted degree centrality, proximity centrality and intermediary centrality, are analysed using the

complex network method; finally, the logistics quality and network centrality of the node cities are considered comprehensively. Finally, four logistics hubs, including Chengdu, Chongqing, Xi'an and Kunming, were selected by taking into account the logistics quality and network centrality of the node cities.

(2) The main factors affecting the development of logistics hubs are studied. In order to clarify the reasons for this, the thesis constructs a panel data regression model and conducts an in-depth study by selecting appropriate explanatory and explanatory variables. The main factors influencing the function of nodal hubs are identified, and the mechanism by which these factors influence the development of logistics hubs is further investigated.

(3) Study the paths to enhance the functions of logistics hubs. Taking Lanzhou City as an example, the current development situation of Lanzhou City is analysed, and the gaps between Lanzhou City and the selected logistics hubs in the logistics network of the New Western Land and Sea Corridor in terms of regional gross domestic product, number of logistics-related employees and freight volume are identified, and countermeasures and suggestions for Lanzhou City to bring into play the functions of a logistics hub are proposed in terms of increasing infrastructure construction, optimising industrial structure and improving the quality of logistics personnel training.

**Keywords:** western land and sea new channel; logistics network; Complex Networks; logistics hub; Development path

# 目 录

<b>1 引言</b> .....	1
1.1 研究背景.....	1
1.2 研究意义.....	1
1.3 国内外研究现状.....	2
1.3.1 西部陆海新通道研究.....	2
1.3.2 物流网络相关研究.....	4
1.3.3 物流枢纽研究.....	5
1.3.4 文献述评.....	6
1.4 研究内容及结构.....	7
1.4.1 研究内容.....	7
1.4.2 论文结构.....	7
1.5 创新点.....	9
1.6 本章小结.....	9
<b>2 相关概念及理论基础</b> .....	10
2.1 西部陆海新通道战略.....	10
2.2 物流网络理论.....	10
2.2.1 物流网络.....	11
2.2.2 物流网络的功能效应.....	11
2.3 复杂网络理论.....	12
2.3.1 复杂网络的概念.....	12
2.3.2 复杂网络的部分统计特征.....	14
2.4 本章小结.....	16
<b>3 西部陆海新通道物流网络结构特征分析</b> .....	17
3.1 物流网络节点评价.....	17
3.1.1 指标选取.....	17
3.1.2 数据来源说明.....	19
3.1.3 物流节点评价指标体系.....	19

3.1.4 西部陆海新通道物流网络节点评价 .....	22
3.2 西部陆海新通道物流网络构建 .....	24
3.2.1 辐射模型 .....	24
3.2.2 西部陆海新通道物流网络 .....	25
3.3 西部陆海新通道物流网络的节点中心度 .....	26
3.3.1 加权度数中心度 .....	26
3.3.2 加权接近中心度 .....	27
3.3.3 加权中介中心度 .....	27
3.4 西部陆海新通道物流网络枢纽研究 .....	29
3.4.1 基于节点物流质量的枢纽节点选取 .....	29
3.4.2 基于节点中心性评价的枢纽节点遴选 .....	30
3.4.3 基于西部陆海新通道总体规划的枢纽对比研究 .....	31
3.5 本章小结 .....	32
<b>4 西部陆海新通道物流枢纽主要影响因素分析 .....</b>	<b>33</b>
4.1 面板数据相关理论 .....	33
4.2 回归模型构建 .....	34
4.2.1 变量选取 .....	34
4.2.2 描述性统计 .....	36
4.2.3 回归模型的选取 .....	37
4.3 基于固定效应模型的结果与分析 .....	38
4.3.1 物流质量的影响因素分析 .....	39
4.3.2 加权度数中心度的影响因素分析 .....	41
4.3.3 稳健性分析 .....	42
4.4 本章小结 .....	43
<b>5 枢纽节点发展路径研究—以兰州市为例 .....</b>	<b>44</b>
5.1 兰州市与物流枢纽对比研究 .....	44
5.1.1 区域生产总值对比研究 .....	44
5.1.2 物流人才对比研究 .....	45
5.1.3 货运量对比研究 .....	46

5.2 兰州市发挥枢纽功能的路径 .....	47
5.2.1 提高物流人才培养质量 .....	47
5.2.2 优化产业结构 .....	48
5.2.3 加大交通基础设施建设力度 .....	48
5.3 本章小结 .....	49
<b>6 总结与展望 .....</b>	<b>50</b>
6.1 主要结论 .....	50
6.2 未来展望 .....	50
<b>参考文献 .....</b>	<b>52</b>
<b>攻读硕士学位期间发表论文及科研情况 .....</b>	<b>58</b>
<b>致谢 .....</b>	<b>59</b>

# 1 引言

## 1.1 研究背景

西部陆海新通道连接了丝绸之路经济带和 21 世纪海上丝绸之路，并且与长江经济带协同衔接。该通道的建设对深化陆海双向开放，促进西部大开发形成新格局，推动区域经济高质量发展，实现区域协调发展，具有重要的战略意义<sup>[1]</sup>。

2018 年 9 月，国家发改委发布了《国家物流枢纽布局和建设规划》，旨在通过建设物流枢纽来优化物流资源配置和组织物流活动，提高物流服务质量。为实现这一目标，规划要求到 2020 年建设约 30 个具有辐射带动能力的国家物流枢纽，到 2025 年建设约 150 个国家物流枢纽，最终到 2035 年形成现代化经济体系相适应的国家物流枢纽网络。

此外，2019 年 8 月，国家发改委发布了《西部陆海新通道总体规划》，计划到 2025 年在西部陆海新通道范围内建设一批物流枢纽。该通道将有效解决既有通道存在的交通运输瓶颈制约、物流成本偏高、缺乏有效产业支撑以及通关便利化程度不足等问题<sup>[1]</sup>。

物流枢纽建设可以有效地提高货物的运输效率和降低运输成本，促进区域经济发展和城市化进程。为提高上述两个规划对物流枢纽空间布局优化和产业集聚的引导作用，需要建立一个高效的物流网络来整合不同地区的物流资源。物流网络作为物流一体化的核心，能将不同地区的物流枢纽、通道进行连接和整合，保证区域内物流活动的运转，为实现“通道+枢纽+网络”的有机融合提供有力支撑。

现实中，物流枢纽的形成是自然条件和社会环境共同作用的结果，当前一些物流枢纽尚未发挥辐射带动作用，需要探究制约这些物流枢纽发挥作用的因素，进而提出针对性的改进措施，为规划的落地实施提供参考和借鉴。

## 1.2 研究意义

本文利用复杂网络方法，研究西部陆海新通道物流枢纽的发展路径，旨在分析影响物流枢纽能力的因素，以深入理解物流枢纽建设的本质和作用，为促进节点城市及整个区域的物流发展提供政策建议。其研究意义包括理论和现实两个层面。

理论层面，丰富物流网络的研究成果，为西部陆海新通道物流网络研究提供借鉴。利用现实数据构建西部陆海新通道复杂物流网络模型，研究节点的复杂网

络特征，丰富了西部陆海新通道城市物流发展水平的研究成果。通过研究西部陆海新通道物流枢纽的发展路径，可以深入探讨物流枢纽的影响因素，为全国范围内物流枢纽的建设和发展提供理论依据。

现实层面，为节点城市枢纽建设提供决策参考。分析并发现影响物流节点发挥枢纽作用的主要因素，对于制定西部陆海新通道物流相关政策以及促进不同城市的物流发展至关重要，这些因素可以作为节点城市促进本地区物流发展、增强物流竞争力的政策抓手。

## 1.3 国内外研究现状

### 1.3.1 西部陆海新通道研究

西部陆海新通道是中国政府提出的一项重大战略，旨在加强西部地区与东南亚国家和欧洲国家的经济联系，推动西部地区的开发和合作。自被提出以来，学者们从不同的角度对西部陆海新通道进行了研究，主要涉及以下几个方面：一是西部陆海新通道中各参与省（市）受到的影响以及发展策略；二是西部陆海新通道的发展现状、内涵、路径研究以及外部通道对接。

#### （1）各参与省（市）所受影响及发展策略

学者们对西部陆海新通道各参与省（市）受到的影响进行了分析，探讨如何制定合理的发展策略。谭庆红<sup>[2]</sup>对广西在西部陆海新通道新形势下的成效和面临的问题进行了分析，提出了加强与沿线省份联系的新策略。这符合西部陆海新通道建设的初衷，强调了合作共赢的理念。通过加强与沿线省份之间的联系，可以促进广西在西部陆海新通道中的地位和作用，进一步推动广西的经济发展。郭秀娟等<sup>[3]</sup>使用了 SWOT 方法来分析北部湾的优劣势、发展机遇和挑战，并提出了一些策略性的建议，以促进北部湾港物流运输业的发展。宗会明<sup>[4]</sup>对重庆市的对外贸易发展进行演变分析，得出地理位置和交通、关税等是影响重庆市对外贸易的主要因素，对于加快西部陆海新通道建设具有重要意义。杨波等<sup>[5]</sup>针对成都和重庆在物流枢纽运营中遇到的竞争与合作问题，构建了两个城市的静动态竞合博弈模型，研究两者的竞合选择以及演化的趋势，得出两个城市应该从非合作向合作策略转变，促进西部陆海新通道的高质量发展。刘娴<sup>[6]</sup>提出了在区域协调、物流制度等方面不断完善，以进一步促进西部陆海新通道的建设和发展的建议。熊灵等<sup>[7]</sup>研究分析了西部陆海新通道在一带一路倡议背景下对中国西部部分地区的

影响，并提出增强物流基础设施能力等对策建议。温清等<sup>[8]</sup>的研究表明，对外贸易、交通能力和科技水平是影响西部陆海新通道沿线省（市）经济发展的主要因素。他们认为，针对这些主要影响因素，需要制定相应的政策和措施来促进沿线省（市）的经济发展，缩小经济差异。陈海燕等<sup>[9]</sup>利用空间计量模型等方法对西部陆海新通道的 19 个节点城市的创新空间差异及影响效应进行分析，以期对西部陆海新通道未来发展规划提供帮助。

综上所述，关于西部陆海新通道的研究主要集中在某个节点城市或部分城市的分析上，很少有学者对整个通道涉及的地级市进行全局研究。这种研究局限可能导致一些问题被忽略或未能全面考虑到，因此，有必要开展更全面、更系统的研究，以更好地推动西部陆海新通道的高质量发展。

## （2）整体发展现状、内涵及路径

学者们通过归纳总结西部陆海新通道的内涵、现状，提出通道目前存在的问题，并根据分析研究，提出相应的路径研究。杨耀源<sup>[10]</sup>为推进西部陆海新通道区域高质量发展，提出了要注重可持续发展等一些路径建议。王德占<sup>[11]</sup>发现西部陆海新通道存在交通设施相对落后、货源组织难、物流量小等问题，提出实现通关便利化、强化货源组织等对策建议。王景敏<sup>[12]</sup>在分析西部陆海新通道物流制度面对的主要挑战之后，提出从政策协调、物流一体化、外贸经济转型等方面提出对策建议。杨磊等<sup>[13]</sup>经过系统总结发现目前西部陆海新通道在运行过程中存在的问题，包括规模效益低和质量效益不高等。为了解决这些问题，他们提出应该将发展重心从规模效益转向质量效益，以提高通道的服务质量和运输效率，并加快通道的高质量发展。此外，他们还提出了其他的保障建议，以确保西部陆海新通道能够顺利发展。傅远佳<sup>[14]</sup>认为西部陆海新通道目前存在物流运输成本高、政策不健全、基础设施薄弱等问题，提出一体化建设合作、完善公路综合交通体系等对策建议。赵光辉等<sup>[15]</sup>认为西部陆海新通道建设只需充分发挥地理优势、提高合作水平等对策，便可发挥通道的独特优势。刘英奎等<sup>[16]</sup>通过从基础设施、区域合作等六方面将西部地区与中东部地区进行比较，发现西部地区开放型经济存在诸多短板，提出西部地区应该建设高素质人才队伍等措施。

综上所述，大多数学者主要关注的是整个通道或沿线城市的发展问题，相对较少关注物流枢纽的问题，但是物流枢纽的发展和改善对于整个物流业的发展非常重要，因此在未来的研究中，应该加强对物流枢纽的分析和研究，提出具体的

改善和优化方案。

### 1.3.2 物流网络相关研究

物流网络是由分布在特定区域的不同物流节点通过交通运输线路相互连接而形成的系统<sup>[17]</sup>。其构建和研究结构对于提升区域内的物流效率和整体竞争力具有重要意义。优化和合理规划物流节点和线路可以帮助有效配置物流资源,提高物流效率。同时,通过分析物流网络的结构特征,可以了解节点之间的联系和影响程度,为物流决策提供基础。因此,建立完善的物流网络和研究其结构特征是推进物流业发展的重要途径。

#### (1) 物流网络模型构建研究

在物流网络建设方面,学者们通常以轴辐理论为基础进行研究。主要是基于经济能力分析,从单个城市的角度来评估物流能力的框架,考察城市物流半径的大小,然后以一个真实的区域为例,对该区域的物流网络进行建模。刘艳等<sup>[18]</sup>通过引力模型构建京津冀物流网络,利用社会网络分析法测算网络的结构特征,得出京津冀区域物流发展水平出现两极分化的结论。梁晨等<sup>[19]</sup>根据京津冀中涉及的节点数量,构建多枢纽物流网络模型,并用遗传算法求解,确定保定、沧州等城市为物流枢纽。刘荷<sup>[20]</sup>为支撑海峡西岸经济区发展,构建此区域的物流网络,通过引力模型测算了辐射范围,将此经济区的 20 个城市分为枢纽点和辐射点。付江月等<sup>[21]</sup>以中国 248 个地级市为研究对象,构建城市物流网络演化模型,通过分析演化前后网络结构特征的改变,找到符合实际的演化机制。吴桐雨<sup>[22]</sup>构建物流企业、航空等主体的多层加权物流网络,利用 Gephi 软件分析物流网络的结构特性,试图揭示多层网络呈现无标度及小世界的复杂特性。曹炳汝等<sup>[23]</sup>为促进长三角区域物流业发展,以此区域的 16 个地级市为研究对象,构建此区域的物流网络,通过引力模型等方法,确定各城市的地位以及物流引力大小。李明芳<sup>[24]</sup>通过构建京津冀的物流网络,分析出此区域的轴点和辐点,从而提高区域的物流效率。王飞飞等<sup>[25]</sup>以京津冀为实证对象,通过最大覆盖等模型构建区域物流网络,探究出以唐山等为枢纽城市的物流圈,促进区域物流的协调性发展。

综上所述,目前,学者们在研究物流网络时,主要关注于东部或中部的发达地区,尤其是京津冀和长三角地区。相比之下,对中国西部地区的研究相对较少。因此,应该加强对中国西部地区物流网络的研究,深入了解其现状和发展趋势,

为促进西部地区经济发展和全国物流网络的协调发展提供更多的支持和建议。

## （2）物流网络结构特征研究

Genevieve 等<sup>[26]</sup>将加利福尼亚州的物流业进行量化,分析出洛杉矶等城市的物流资源出现由城市中心向边缘扩散的明显现象。Heitz A 等<sup>[27]</sup>等利用 2000-2012 年的数据对巴黎市的物流业进行了分析,并发现了该地区物流业发展的几个特征。具体而言,该地区的物流设施开始集中到一个中心点,然后逐渐扩散并增加数量。同时,这种扩散趋势是从城市中心向郊区逐渐扩展的。总的来说,这表明了物流业在该地区呈现出扩散的趋势。这种趋势的出现是由于城市化和经济发展的影响,以及物流需求的不断增长所导致的。徐秋艳等<sup>[28]</sup>利用我国 30 个省级行政区域 2006-2015 年的数据为样本,进行相关性分析,发现物流集聚水平整体不高,并在不同区域呈现出不同状态,即中部溢出效应最大,西部最小。张枢盛<sup>[29]</sup>基于区位熵的方法,利用最新的 A 级物流企业 2008-2016 年的数据对中国各省市产业集聚指数进行研究,发现江苏、广东等经济发达地区的物流产业集聚指数被低估,而辽宁的物流产业集聚现象较为明显。高康等<sup>[30]</sup>为研究长江经济带物流集聚的结构特征,利用 2006-2015 年的数据发现随着时间的推移,上游区域集聚水平逐渐上升,下游逐渐下降,而中游则呈现平稳状态。

综上所述,国外内学者主要是通过时间演化来分析物流业集聚以及扩散过程中体现的结构特征,较少学者使用复杂网络的方法对网络所表现出来的结构特征进行分析。

### 1.3.3 物流枢纽研究

物流枢纽是一个重要的公共物流节点,具备大规模专业物流设施和完善的信息网络,能够通过多种运输方式与外部交通运输网络便捷地连接,集中实现货物的集散、存储、分拨、转运等多种功能,并且辐射着广泛的物流网络<sup>[17]</sup>。目前关于物流枢纽的研究主要侧重于两个方面,即用不同方法评价物流枢纽以及分析影响物流枢纽发展的因素。

#### （1）物流枢纽评价

目前研究者们正在努力探索如何全面评估物流枢纽的实力。如 LEE<sup>[31]</sup>结合模糊层次分析法提出量化的 SWOT 分析法,评估了亚太地区不同类型物流枢纽之间的竞争关系。金凤花<sup>[32]</sup>借鉴物流场势模型,从物流的“势”与“位”等角度,

根据区域自身的物流特点,综合信息化、经济发展水平等五个方面构建评价指标体系,分析各区域提供物流服务能力。Wei<sup>[33]</sup>为分析陆港的物流质量以及辐射范围,运用主成分分析法以及物流引力等方法进行测算。戴德宝等<sup>[34]</sup>使用了多种方法对西部地区 12 省市的物流水平进行综合评价。刘思婧<sup>[35]</sup>结合使用水平集聚区位熵和区位熵两个指标全面反映中国所有地级市的物流集群空间演化过程,识别不同类型物流集群的发展模型;吴桐雨<sup>[22]</sup>运用聚类与 t-SNE 算法评估城市的发展水平并探索多层网络的结构性特征;刘进<sup>[36]</sup>使用时空消耗法来建立物流枢纽承载能力的测量模型,考虑了物流枢纽在不同时间和空间下的能力,并根据其不同的用途进行评估。马鸣晴等<sup>[37]</sup>运用动态因子分析法,探究 2014-2019 年我国 31 个省(市)的智慧物流发展水平,实现横向和纵向全面动态测评。

综上所述,目前已有的模型对于物流枢纽的评价仍然存在一些不够统一、全面的问题。

## (2) 物流枢纽影响因素

要提高物流发展水平,需要考虑影响物流枢纽的因素,并对物流枢纽进行调整和改革。例如 Raimbault<sup>[38]</sup>研究发现沿海港口与内陆地域的商贸引起物流枢纽的兴起,并且政府政策的引导是物流枢纽形成的关键因素。Sopadang<sup>[39]</sup>通过对文献的梳理,发现影响物流枢纽的五个主要因素为物流量、基础设施等。Seo<sup>[40]</sup>等从探究城市的角度出发,指出政治能力、交通基础设施等为影响枢纽城市发展的主要因素。杨山峰<sup>[41]</sup>运用灰关联分析法对影响因素进行关联度量化分析,指出货运吞吐量、物流专业人才等为影响空港物流枢纽的关键因素。曹允春等<sup>[42]</sup>使用 QAP 分析方法来探讨空港型物流枢纽的关联网络中,交通通达程度、对外开放程度、经济发展水平等因素对其发展的影响。蒋自然等<sup>[43]</sup>使用了 2001-2018 年面板数据,研究了中国陆港型物流枢纽的综合发展实力,并发现人口规模、教育水平和政府投资等因素对其发展具有重要的促进作用。

综上所述,目前对物流枢纽的因素分析主要集中在物流枢纽形成及选址方面,缺少对物流枢纽本身发展实力的影响因素考察。可以看到物流枢纽影响因素的研究还有很大的空间。

## 1.3.4 文献述评

前文从西部陆海新通道研究、物流网络研究和物流枢纽研究等三个维度进行

了文献综述，发现学者们取得了一定的研究成果，但是仍存在以下不足之处：

（1）现有文献中对于物流网络的研究，无论是物流网络的构建，还是对物流网络进行结构特征分析都主要集中于长三角、京津冀等经济发达地区，对西部地区的研究较少。

（2）现有文献中较少以物流枢纽为对象，研究西部陆海新通道物流建设遇到的难题及对策，并且对于物流枢纽的评价，多数文献仅考虑了单个节点城市的物流发展水平，忽略了节点城市在网络中的影响作用。

## **1.4 研究内容及结构**

### **1.4.1 研究内容**

针对目前学者在西部陆海新通道研究、物流网络研究和物流枢纽研究上的不足，本文研究的主要内容如下：

（1）以西部陆海新通道包含的 132 个城市的物流业为研究对象，建立西部陆海新通道物流网络，采用复杂网络的方法分析物流网络的结构特征。同时，基于物流枢纽概念，构造了一种节点质量—节点结构中心性的方法来评价物流枢纽，在这个评价过程中，考虑节点城市的物流质量和网络中心性两个方面，以便选择出合适的物流枢纽。

（2）基于面板数据对影响节点发挥物流枢纽功能的主要因素进行研究，分析这些因素影响物流枢纽发展的作用机理，并以兰州市为例，提出兰州市发挥枢纽功能的途径。

### **1.4.2 论文结构**

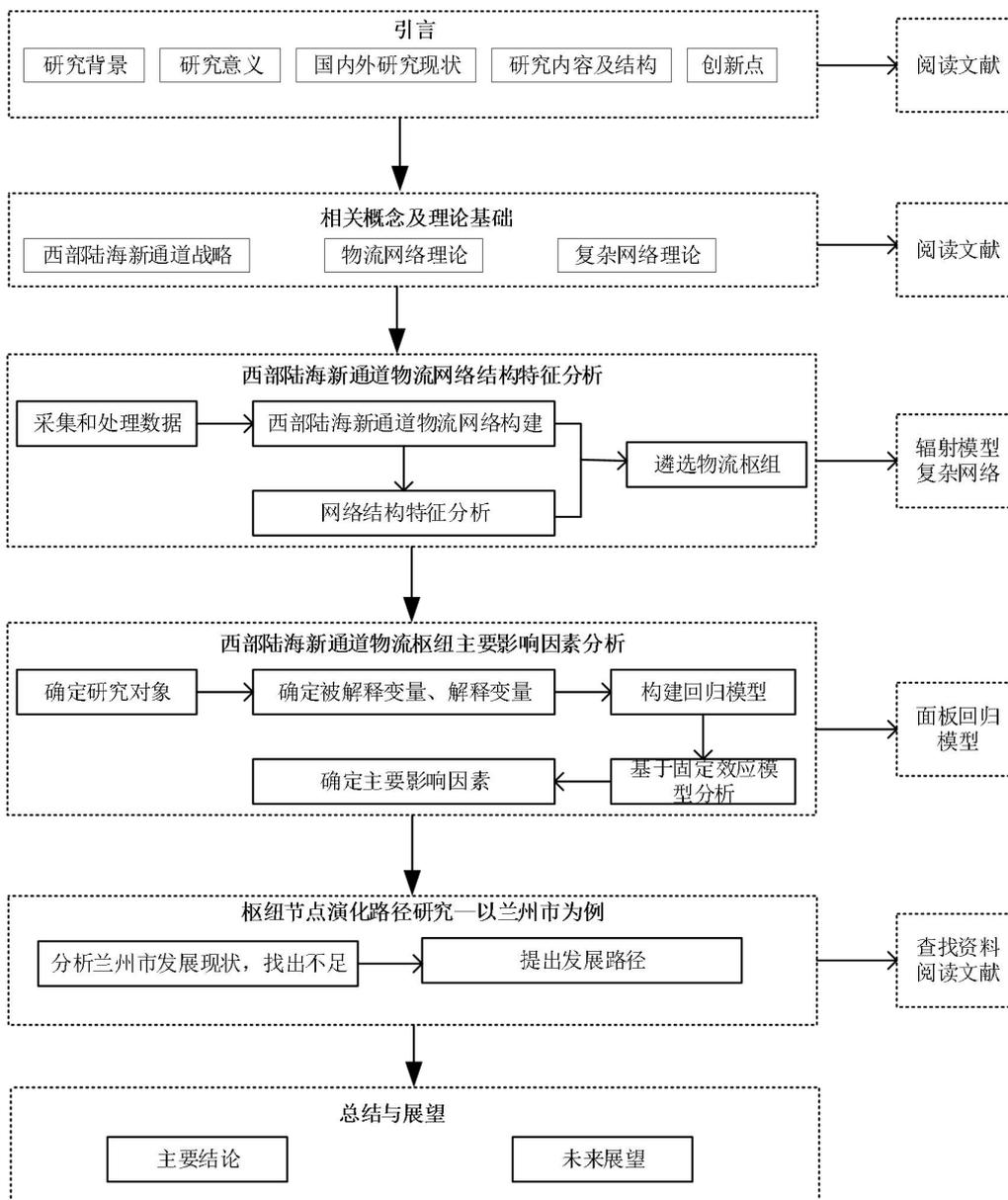


图 1.1 论文框架图

本文的研究结构总共分为六章，如图 1.1 所示。每一章的内容介绍如下：

第一章：引言。首先，明确文章的研究主体，说明研究背景及意义。其次，搜集查阅相关资料做好研究分析的基础准备，总结学者们对西部陆海新通道的研究范围、物流网络的构建及物流枢纽评价等方面的研究现状与内容，明确本文的主要研究内容。最后，对本次研究分析过程中的创新点进行说明。

第二章：相关理论。通过对西部陆海新通道的概念、物流网络的构造和功能效应以及复杂网络的理论进行阐述，为下文研究西部陆海新通道物流枢纽网络的研究奠定基础。

第三章：西部陆海新通道物流网络结构特征分析。首先，将西部陆海新通道

涉及的 132 个城市作为节点，城市间的物流联系作为连边，辐射模型计算出的辐射强度作为连边权重，构建 2019 年的西部陆海新通道物流网络；其次，用复杂网络的方法选取加权中心性指标分析西部陆海新通道物流网络的结构特征，全面了解西部陆海新通道目前物流发展状况；最后，通过构造节点质量—节点结构中心性的方法来选择物流网络中的物流枢纽，一步是考虑物流质量，另一步是考虑网络中心性。

第四章：西部陆海新通道物流枢纽主要影响因素分析。通过第三章得知有些节点未发挥枢纽作用，因此，本章利用面板数据模型的方法，找出区域生产总值、物流相关从业人员数、货运量为影响节点发挥物流枢纽功能的主要因素，并分析这三个主要因素影响物流枢纽发展的作用机理。

第五章：枢纽节点发展路径研究—以兰州市为例。通过分析兰州市发展现状，找出兰州市与遴选出的物流枢纽在区域生产总值、物流人才、货运量等方面存在的差距，分别从提高物流人才培养质量、优化产业结构、加大交通基础设施建设力度等方面提出兰州市发挥物流枢纽功能的对策建议。

第六章：结论与展望。总结了本文的研究结果，讨论了研究的局限性和不足，并对未来的研究进行展望。

## 1.5 创新点

(1) 给出一种基于现实数据的物流网络构建方法。基于熵权法计算节点城市的物流质量，通过辐射模型测度节点之间辐射强度，并利用真实路网数据进行裁剪得到西部陆海新通道的物流网络。

(2) 构造了一种节点质量—节点结构中心性的方法筛选出物流枢纽。首先，基于聚类分析选出物流质量高的城市为物流枢纽；其次，通过计算节点城市的网络中心性选择排名靠前的城市为物流枢纽。

## 1.6 本章小结

本章首先讨论了目前西部陆海新通道、物流网络和物流枢纽的研究现状，然后总结了主要的研究进展。在此基础上，提出了当前阶段需要解决的一些研究问题，如：学者们对于物流网络的研究主要集中于东部或中部发达地区，缺少对西部地区物流网络的研究等，说明了对西部陆海新通道物流网络及物流枢纽研究的必要性。最后，对论文内容及框架、创新点进行了详细描述。

## 2 相关概念及理论基础

本章将进一步介绍西部陆海新通道、复杂网络及物流网络的概念及内涵，界定研究对象的范围和属性；介绍物流网络的功能效应和复杂网络的结构特性，为后期研究提供可借鉴的研究方法与思路。

### 2.1 西部陆海新通道战略

西部陆海新通道是我国政府推出的一项重大国家战略，旨在推进西部地区的开放与发展。它是以中国西部陆路为主，以我国南方沿海地区为起点，经过云南、广西等省区，最终通过中南半岛，到达东南亚和南亚的海上通道。该通道的全国地理位置示意图如图 2.1 所示。这条通道，是中国推动“一带一路”建设的重要组成部分，也是中国与东南亚等地区加强经贸合作的重要桥梁<sup>[1]</sup>。

西部陆海新通道的建设，可以实现内陆地区与海洋经济区的无缝对接，极大地促进了西部地区的经济发展。在实现“一带一路”战略过程中，西部陆海新通道的建设将大大缩短中国与东南亚的距离，为地区经济的互补发展提供更好的条件。这条通道，不仅有利于中国的经济发展，也有利于东南亚等地区的发展。通过西部陆海新通道，东南亚地区可以更加便捷地进入中国内地市场，加强与中国的经贸往来，促进地区间的经济融合。



图 2.1 西部陆海新通道地理位置示意图（全国）<sup>[1]</sup>

### 2.2 物流网络理论

### 2.2.1 物流网络

物流网络是由许多节点和线路组成的网络结构,这些节点和线路互相连接在一起,形成了一个完整的物流网络体系,其中物流节点是物流网络中的关键要素,它们是实现物流运作的重要基础。物流节点包括物流中心、物流园区、仓库、配送中心等,在物流运作中起到了承接和转运物流货物、协调物流信息和资源等重要作用。

物流线路也是物流网络中的重要组成部分,是货物在物流网络中流动的路径,包括公路、铁路、水路、航空等多种运输方式。物流线路的设计和选择直接影响物流运输的成本、效率和质量,是物流网络中至关重要的一环。物流线路的优化可以通过选择最佳的运输方式、设计合理的运输路径、优化物流节点布局等方式来实现。

因此,物流节点和物流线路都是物流网络中不可或缺的基本元素,只有充分发挥节点和线路的作用,才能实现高效、便捷和安全的物流运作。

### 2.2.2 物流网络的功能效应

物流网络的功能效应可以从以下几个方面进行描述:

首先,物流网络的功能效应可以通过提高物流运作效率来体现。物流网络可以建立标准化的流程,优化物流配送路径和流程,使得物流运作更加高效和准确。同时,物流网络还可以通过物流信息化技术的应用,提高物流信息的透明度和可追溯性,从而提高物流运作的效率。

其次,物流网络还可以通过缩短物流周期来提高效率。物流网络可以通过在物流配送中心的分拨和集中,缩短货物的运输时间和距离,从而减少了物流周期的时间和成本。这种优化可以大大提高物流的效率和运营成本。

此外,物流网络还可以提高物流服务水平,增强物流服务的可靠性和稳定性。物流网络可以通过建立物流配送体系,完善物流服务质量的管理,提高物流配送服务的质量和水平,进而提高客户的满意度和忠诚度。

最后,物流网络还可以促进区域经济的发展。物流网络可以通过改善物流配送的服务质量,提高物流运作的效率,降低物流成本,从而促进区域经济的发展 and 繁荣,促进社会的进步和发展。

综上所述,物流网络的功能效应主要包括提高物流运作效率、缩短物流周期、

提高物流服务水平和促进区域经济的发展等方面,这些效应对于物流企业和社会经济的发展都具有重要的意义和作用。

## 2.3 复杂网络理论

### 2.3.1 复杂网络的概念

复杂网络是由许多相互作用的节点和它们之间的连接组成的网络结构,这些节点和连接可以是物理实体、人、分子、社交媒体帐户、网络设备等。在现实生活中,有很多系统都可以用复杂网络来表示,例如互联网、人际关系网、交通路网等,对于任意一个存在逻辑关系的系统,都可将其表示为复杂网络模型。

复杂网络具有以下特点:(1)节点和边可以表示不同的实体或关系,这些实体和关系的多样性是复杂网络的一个显著特点;(2)节点和边之间的关系通常是非线性的,这意味着它们的行为不能简单地用线性关系描述;(3)节点和边的状态通常是动态的,即它们的状态会随着时间的推移而变化。根据不同的分类方式,复杂网络分为以下几种类型,如图 2.2 所示。

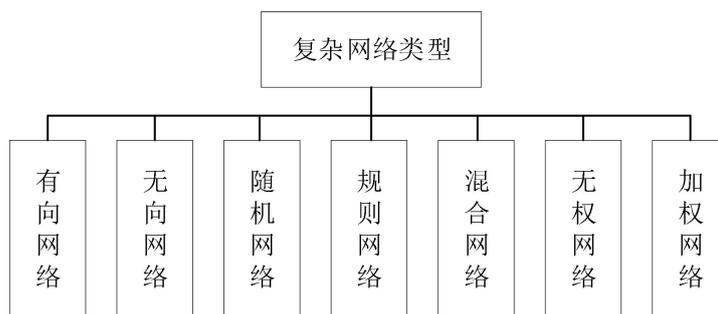


图 2.2 复杂网络类型

#### (1) 复杂网络的表示方式

##### 1) 图形表示

图形表示是最常见的一种方式,即通过图形展示节点和边之间的关系。在图形表示中,节点用圆圈或者其他图形表示,边用线条表示,边的颜色和粗细可以表示边的权重或者类型。图形表示可以直观地展示网络的结构,方便人们理解和分析网络的特性。

##### 2) 邻接矩阵表示

邻接矩阵是一个  $n \times n$  的矩阵,其中  $n$  是网络中节点的数量。邻接矩阵中的元素表示节点之间的连通性,即如果节点  $i$  和节点  $j$  之间存在一条边,则邻接矩阵中的  $a_{ij} = 1$ , 否则为 0。邻接矩阵可以用来描述网络的拓扑结构,方便进行基于矩

阵的计算和分析。

### 3) 关联矩阵表示

关联矩阵是一个  $n*m$  的矩阵, 其中  $n$  是网络中节点的数量,  $m$  是网络中边的数量。关联矩阵中的元素表示节点和边之间的关系, 即如果节点  $i$  与边  $j$  相连, 则关联矩阵中的  $b_{ij} = 1$ , 如果节点  $i$  是边  $j$  的终点, 则  $b_{ij} = -1$ , 否则为 0。关联矩阵可以用来描述网络的结构和拓扑特性, 同时也可以方便地进行基于矩阵的计算和分析。

### 4) 节点列表和边列表表示

节点列表和边列表表示是一种简单直观的表达方式, 即将节点和边分别列出来, 分别用编号或者名称进行标识。节点列表可以表示节点的属性信息, 例如节点的度、聚集系数等, 边列表可以表示边的权重、类型等属性信息。

以上几种方式都可以用来表示复杂网络, 具体应该选择哪种方式取决于具体的应用场景和问题需求。

## (2) 复杂网络的应用

复杂网络是一种数学工具, 用于研究由许多相互作用的个体组成的系统。这些个体可以是人、分子、电子等, 在现实生活中, 有许多问题可以通过复杂网络来解决或更好地理解。

1) 社交网络分析: 社交网络是复杂网络的一个重要应用领域。通过研究社交网络的结构和动态特性, 可以了解人类社会中的个体和群体之间的相互关系、信息传播机制、决策过程等, 这对于社会学、管理学等学科的研究具有重要意义。

2) 交通网络优化: 交通网络是一个复杂的系统, 由许多不同的因素影响, 如交通信号灯、道路拥堵等。通过建立交通网络模型, 可以分析交通流量、优化交通路线和规则城市交通。

3) 生物网络: 生物网络是指生命体系中由基因、蛋白质、细胞等生物单元组成的复杂系统, 研究生物网络可以帮助我们了解生命的本质和基本规律, 有助于研究药物开发、生物进化等方面。

4) 网络安全: 网络安全是当今社会中的一个重要问题, 复杂网络可以用于模拟和分析网络攻击、漏洞和防御机制, 这有助于提高网络安全防护能力, 保护个人隐私和信息安全。

### 2.3.2 复杂网络的部分统计特征

在分析复杂网络的功能特性时,通常会使用一些统计指标来帮助描述网络的性质,这些指标包括节点的度和度分布、平均路径长度、聚类系数、网络中心性等。其中,网络中心性用于描述网络中的某个节点所处的位置。鉴于本文的研究对象为物流枢纽,它是一个公共的物流节点,能够影响较广范围的物流网络。所以后文中主要利用中心性指标完成西部陆海新通道物流网络的结构分析。

#### (1) 节点度和度分布

节点的度是衡量节点在网络中重要性的一个重要指标。一般来说,度越大的节点与其他节点的联系越紧密,也更容易在信息传播、影响扩散等方面起到重要作用。节点度的计算可以通过遍历节点的所有邻居节点,并统计与这些邻居节点相连的边的数量来实现。

度分布是指不同节点的度值在网络中出现的频率分布情况。一般来说,度分布是衡量网络性质和行为的重要指标之一。

度分布的形状和特征反映了网络结构的重要特征,包括网络的连通性、鲁棒性、聚集性等。在许多复杂网络中,如社交网络、互联网、生物网络等,节点的度分布通常呈现出幂律分布的特征,即少数节点的度非常大,而大多数节点的度较小。这种幂律分布的特征表明了网络中存在少数高度集中的节点,这些节点通常被称为“中心节点”或“重要节点”,对网络的稳定性和功能起着重要作用。除了幂律分布之外,度分布还可以呈现出其他形式,如指数分布、高斯分布等。这些分布形式的不同也会导致网络性质和行为的不同,因此,度分布的分析和建模是复杂网络研究中非常重要的一部分。

#### (2) 平均路径长度

平均路径长度是指在一个网络中,从任意一个节点到达另一个节点所需的平均步数,其中步数指的是网络中的边数或者连接数。这个指标反映了网络中信息传播的效率和速度,以及节点之间的关联程度。具体来说,如果一个网络有  $N$  个节点,那么它的平均路径长度  $L$  可以用公式 (2.1) 计算:

$$L = (1 / N(N-1)) * \sum d(i, j) \quad (2.1)$$

其中,  $d(i, j)$  表示节点  $i$  和节点  $j$  之间的最短路径长度。

#### (3) 聚类系数

聚类系数是指一个节点的邻居节点之间实际存在的边数与可能存在的边数之间的比例。其衡量的是节点之间形成的“社团”或“团体”的程度，可以用来度量网络中的集聚现象。

#### (4) 网络中心性

网络中心性主要包括度数中心度、接近中心度、中介中心度等。

##### 1) 度数中心度

度数中心性是用来评估一个节点在网络中的重要性。它反映了网络中与一个节点直接相连的其他节点的数量。一个节点的度数越高，它与其他节点的联系越多，能够更快、更有效地传播信息。因此，度数中心性可以用来衡量一个节点在网络中的影响力和地位。具体计算公式如(2.2)所示：

$$DC = C_{di}^{\alpha} S_{di}^{1-\alpha} \quad (2.2)$$

其中， $\alpha$  为用于调整节点权重的参数，一般取 0.5。

##### 2) 接近中心度

接近中心度衡量了一个节点与其他节点之间的紧密程度，如果一个节点的接近中心度越高，则说明它在网络中更为集中，与其他节点的连接更紧密，更容易被其他节点访问和影响。其可以用于确定网络中最重要的节点，这些节点通常是信息传播、影响传递或资源分配等活动的重要枢纽。计算公式如(2.3)所示：

$$CC = \frac{1}{\sum_{j=1}^N d(i, j)} \quad (2.3)$$

其中， $d(i, j)$  表示节点  $i$  和节点  $j$  的联系数量。

##### 3) 中介中心度

中介中心度指的是一个节点在网络中作为中介者的程度，即该节点在网络中连接其他节点的路径上的出现次数。换句话说，中介中心度越高，该节点就越可能是连接网络中不同部分的关键节点。计算公式如(2.4)所示：

$$BC = \frac{g_{jk}^{\alpha}(i)}{g_{jk}^{\alpha}} \quad (2.4)$$

其中，节点  $i$  在网络中的中介程度可以用其作为中间节点时连接节点  $j$  和  $k$  的所有最短路径数  $g_{jk}^{\alpha}$  来衡量，即  $g_{jk}^{\alpha}(i)$  表示经过节点  $i$  的最短路径数。

上述的三个基础中心性指标只考虑了边的二元关系，忽略了边的权重大小对

于节点中心性的影响。由于本文研究对象物流网络是典型的加权网络<sup>[44]</sup>。因此，需要在原有指标的基础上考虑边的权重。

罗杭等<sup>[45]</sup>在评价国家在国际体系中的权力时，认为国际关系网络中各边的强弱相异，有必要全面考虑适用加权网络的中心性指标，因此考虑了加权度数中心性和加权特征向量中心性，得出中国逐渐走向国际体系的中心位置。李永奎等<sup>[46]</sup>考虑节点的连边权重，利用加权度数中心度和加权中介中心度分析研究高铁网络与城市群引力网络结构，得出了南京、上海等五个城市在网络中占据绝对优势，扮演重要角色。刘敏等<sup>[47]</sup>基于加权中心度分析各个经济体在全球数字贸易竞争关系和互补关系加权网络的中心位置，得出俄罗斯、加拿大等经济体在 2008-2018 年间排名均位于前列。王泽东等<sup>[48]</sup>采用有向加权网络的分析方法，对渤海通道中建设前后城市群物流网络的等级结构进行评估。赵志刚等<sup>[44]</sup>在分析复杂供应链网络时，综合了邻居节点的加权度数中心以及节点强度等指标构建了负载-容量模型。

综上所述，在后文研究西部陆海新通道物流网络中节点的中心性特征时，有必要考虑节点的加权度数中心度、加权接近中心度、加权中介中心度，更合理的分析物流网络的结构特性。

## 2.4 本章小结

本章首先对西部陆海新通道的概念进行详细阐述，其次介绍了物流网络的构造及功能效应，最后描述了复杂网络的概念以及基本统计特征中的节点度和度分布、平均路径长度、聚类系数和网络中心性，并对网络中心性中的度数中心度、接近中心度、中介中心度进行了详细阐述。为后文研究进行理论和方法准备。

### 3 西部陆海新通道物流网络结构特征分析

本章的主要工作是构建出西部陆海新通道物流网络、分析其结构特性并选取网络中的物流枢纽。首先通过熵权法计算每个节点城市的物流质量，并结合辐射模型等方法构建 2019 年的西部陆海新通道物流网络；其次基于复杂网络的理论分析物流网络的网络中心性；最后结合每个节点城市的物流质量和网络中心性遴选网络中的物流枢纽。

#### 3.1 物流网络节点评价

物流节点评价指标体系是节点物流综合能力评价的基础。首先，本节在阅读相关文献和了解西部陆海新通道物流发展情况的基础上，构建西部陆海新通道物流节点初步评价指标体系。之后，通过相关性分析方法并结合实际情况将相关性较高的指标进行删除，构建出物流网络节点评价指标体系。

##### 3.1.1 指标选取

物流网络节点初步评价指标体系应该是科学的、综合的、可行的，以确保对物流节点进行客观评价。综合梁晨等<sup>[19]</sup>、王飞飞等<sup>[25]</sup>、戴德宝<sup>[34]</sup>、海峰等<sup>[49]</sup>、宗会明<sup>[50]</sup>、刘晓航<sup>[51]</sup>、李勇辉等<sup>[52]</sup>、杨宏伟等<sup>[53]</sup>、李国俊等<sup>[54]</sup>、曹志强等<sup>[55]</sup>等文献，综合考虑了经济和社会发展程度、物流供应与需求情况、物流业发展规模和设施条件、物流数字化水平四方面的 17 个指标，对西部陆海新通道中 132 个地级市的物流业进行了评价。如表 3.1 所示。

(1) 经济和社会发展程度：该指标能够很好地反映出节点城市在区域中的竞争水平。高经济发展水平的节点城市还能够吸引更多的资本和人才，进一步提升物流业的规模 and 水平。本文选取区域生产总值、第一、二、三产业增加值、进出口贸易额等 5 个指标体现物流节点的经济和社会发展程度<sup>[56]</sup>。

(2) 物流业发展规模和设施条件：该指标是一个综合性指标，考虑了多个方面的因素，如物流活动效率、成本、基础设施等，用来评价物流节点的发展状况。随着物流基础设施的完善和物流业规模的增长，物流节点城市的发展水平将不断提高，这将促进整个物流行业的进一步发展。本文选取民用汽车保有量、公路里程、物流相关从业人员数、货运量、快递业务量、邮政营业网点个数等 6 个指标体现节点城市的物流业发展规模和设施条件<sup>[56]</sup>。

(3) 物流数字化水平：一个节点城市的数字化水平越高，越能够实现物流

活动的精细化和智能化,提高运作效率。此外,物流数字化水平的提升还可以增强物流服务的可追溯性和安全性,提高客户对物流服务的信任度,从而增强物流节点的市场竞争力。本文选取邮电业务总量、互联网用户数、移动电话用户数等 3 个指标来体现物流节点的物流数字化水平<sup>[56]</sup>。

(4) 物流供应与需求情况:这个指标对物流业的发展具有重要影响。如果物流供求状况不平衡,可能会导致物流业的发展不稳定,例如需求过大而供给不足时,物流服务质量可能会下降,物流成本可能会上升,从而降低物流节点的竞争力。因此,合理评估和掌握物流供求状况,制定科学的物流供应策略,对于物流节点的发展具有重要意义。本文选取规模以上工业企业数、农林牧渔业总产值、社会消费品零售总额等 3 个指标体现物流节点的物流供应与需求状况<sup>[56]</sup>。

表 3.1 西部陆海新通道物流节点初步评价指标体系

目标层	准则层	指标层	指标层参考文献	符号
西部陆海新通道物流节点初步评价指标体系	经济和社会 发展程度 <sup>[55]</sup>	区域生产总值(亿元)	梁晨等 <sup>[19]</sup> 、曹志强等 <sup>[55]</sup> 、戴德宝等 <sup>[34]</sup> 、	$X_1$
		第一产业增加值(亿元)	海峰等 <sup>[49]</sup> 、刘晓航 <sup>[51]</sup>	$X_2$
		第二产业增加值(亿元)	海峰等 <sup>[49]</sup> 、刘晓航 <sup>[51]</sup>	$X_3$
		第三产业增加值(亿元)	宗会明等 <sup>[50]</sup>	$X_4$
		进出口贸易总额(万元)	梁晨等 <sup>[19]</sup> 、曹炳汝等 <sup>[23]</sup> 、李国俊等 <sup>[54]</sup>	$X_5$
	物流业发展 规模和设施 条件 <sup>[54]</sup>	民用汽车保有量(万辆)	刘晓航 <sup>[51]</sup>	$X_6$
		公路里程(公里)	曹炳汝等 <sup>[23]</sup> 、杨宏伟 <sup>[53]</sup> 、曹志强等 <sup>[55]</sup>	$X_7$
		物流相关从业人员数(个)	李勇辉等 <sup>[52]</sup> 、戴德宝等 <sup>[34]</sup>	$X_8$
		货运量(万吨)	曹炳汝等 <sup>[23]</sup> 、曹志强等 <sup>[55]</sup>	$X_9$
		快递业务量(万件)	戴德宝等 <sup>[34]</sup>	$X_{10}$
		邮政营业网点个数(个)	刘晓航 <sup>[51]</sup>	$X_{11}$
	物流数字化 水平 <sup>[51]</sup>	邮电业务总量(亿元)	梁晨等 <sup>[19]</sup> 、杨宏伟 <sup>[53]</sup>	$X_{12}$
		互联网用户数(万户)	梁晨等 <sup>[19]</sup> 、李勇辉等 <sup>[52]</sup> 、曹志强等 <sup>[55]</sup>	$X_{13}$
		移动电话用户数(万户)	李勇辉等 <sup>[52]</sup> 、戴得宝等 <sup>[34]</sup> 、	$X_{14}$
	物流供应与 需求情况 <sup>[44]</sup>	规模以上工业企业数(个)	王飞飞等 <sup>[25]</sup> 、李勇辉等 <sup>[52]</sup>	$X_{15}$
		农林牧渔业总产值(万元)	曹志强等 <sup>[55]</sup> 、李国俊等 <sup>[54]</sup> 、戴德宝等 <sup>[34]</sup>	$X_{16}$
		社会消费品零售总额(万元)	梁晨 <sup>[19]</sup> 、李国俊等 <sup>[54]</sup> 、戴德宝等 <sup>[34]</sup>	$X_{17}$

### 3.1.2 数据来源说明

本文研究的是西部陆海新通道涉及到的 132 个地级市的物流业情况，数据来源包括各城市的统计年鉴和国家经济发展统计公报等。由于疫情影响，研究数据只覆盖到 2019 年，并且部分城市的统计年鉴数据存在缺失。为了弥补数据缺失对研究结果的影响，采用了不同的填充方法，以保证数据的准确性和可靠性。缺失率较低的指标使用邻近点平均值填充，而缺失率较高的指标则采用 EM 算法进行填充<sup>[57]</sup>。

### 3.1.3 物流节点评价指标体系

西部陆海新通道的物流节点评价指标体系包含 17 个初始选取的指标，但其中可能存在相关性较大的指标。为了确保评价结果的科学性和准确性，可以根据实际情况采用相关系数分析的方法来筛选和优化指标。

#### (1) 数据标准化

在指标分析中，不同指标的度量单位和数值范围可能不同，这可能会导致某些指标在分析结果中的权重过高或过低，从而影响问题的理解和决策。为了消除这种影响，需要对原始数据进行标准化处理，将所有指标转换为相同的无量纲标准值，使它们在统计分析中具有可比性。

本文利用 z-score 标准化方法处理原始数据，标准化后的值为公式 (3.1) 所示：

$$z_{ij} = (x_{ij} - \bar{x}) / s_i \quad (3.1)$$

其中， $x_{ij}$  为原始指标值， $\bar{x}$  为算术平均值， $s_i$  为标准差。

#### (2) 相关性分析

通过对选取的指标进行相关性分析，可以识别出具有高度重复信息的指标，并且可以消除重复信息，从而提高指标体系的效率和简洁性。在这个过程中，使用 Pearson 相关系数可以帮助分析两个连续型随机变量之间的线性关系的强度和方向。指标间的 Pearson 相关系数  $r$  的计算公式是：

$$r = \frac{\sum (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sqrt{\sum (x_i - \bar{x})^2} \sqrt{\sum (y_i - \bar{y})^2}} = \frac{n \sum (x_i y_i) - \sum x_i \sum y_i}{\sqrt{n \sum x_i^2 - (\sum x_i)^2} \sqrt{n \sum y_i^2 - (\sum y_i)^2}} \quad (3.2)$$

将公式 (3-1) 得到的标准值代入公式 3.2，得到相关系数矩阵（见表 3.2）。为了排除指标间的高度相关性，本文对大于 0.90 的指标进行观察以及删除<sup>[58]</sup>。

根据表 3.2 所示，相关系数大于 0.90 指标主要有以下指标对：

(1) 物流相关从业人员数与快递业务量存在高度相关性，随着我国物流业与电商业的蓬勃发展，快递业务量飞速增长，需要配备的物流业从业人员也因此增多，如 2019 年时快递业务量超 600 亿件，为稳增长做出积极贡献，物流业从业人员超 300 万，两者高度相关。但快递业务量只能体现物流的一方面，而物流相关从业人员数更能反映物流业的整体情况，因为物流业从业人员包括了从事快递、物流、仓储等方面的人员，能更全面地反映物流业的规模和发展情况。因此，保留物流相关从业人员数，剔除快递业务量这个指标是有助于提高指标体系的准确性和可靠性的。

(2) 邮电业务总量、邮政营业网点个数、互联网用户数、移动电话用户数四个指标间存在着高度相关性，邮电业务总量是一个全面反映邮电行业运营情况的重要指标，它可以反映出邮政、电信和互联网行业的整体发展水平和运营情况。邮政营业网点个数、互联网用户数、移动电话用户数等指标也是反映邮电行业发展情况的重要指标，但它们更多地反映出邮政、电信和互联网行业的基础设施建设、用户规模和覆盖面等方面的情况。与邮电业务总量相比，这些指标的代表性和权威性相对较低。因此，在四个指标中保留邮电业务总量。

(3) 第一产业增加值、农林牧渔业总产值存在高度相关性，但是对于农林牧渔业物流量的反映作用上，农林牧渔业总产值更能全面反映农林牧渔业的经济规模和生产水平，而且农林牧渔业是物流业的重要支撑产业，两者之间存在着互相促进和共同发展的关系。因此，保留农林牧渔业总产值，剔除第一产业增加值。

(4) 第二产业增加值、第三产业增加值、社会消费品零售总额、规模以上工业企业个数四个指标之间存在着高度相关性，其中第二产业增加值和第三产业增加值以及社会消费品零售总额都与工业企业的发展紧密相关。工业是物流业的重要组成部分，其蓬勃发展是推动物流业进步的重要动力。因此删除第二、三产业增加值和社会消费品零售总额这三个指标。

表 3.2 相关系数矩阵

	$X_1$	$X_2$	$X_3$	$X_4$	$X_5$	$X_6$	$X_7$	$X_8$	$X_9$	$X_{10}$	$X_{11}$	$X_{12}$	$X_{13}$	$X_{14}$	$X_{15}$	$X_{16}$	$X_{17}$
$X_1$	1	0.788	0.974	0.985	0.907	0.960	0.734	0.854	0.646	0.842	0.927	0.910	0.933	0.972	0.955	0.778	0.984
$X_2$	0.788	1	0.785	0.737	0.638	0.720	0.788	0.498	0.623	0.531	0.804	0.741	0.810	0.830	0.841	0.985	0.766
$X_3$	0.974	0.785	1	0.933	0.845	0.918	0.780	0.765	0.678	0.746	0.893	0.855	0.901	0.927	0.960	0.772	0.945
$X_4$	0.985	0.737	0.933	1	0.931	0.966	0.662	0.912	0.592	0.899	0.918	0.912	0.922	0.970	0.918	0.727	0.986
$X_5$	0.907	0.638	0.845	0.931	1	0.898	0.591	0.892	0.435	0.895	0.840	0.878	0.841	0.876	0.850	0.625	0.921
$X_6$	0.960	0.720	0.918	0.966	0.898	1	0.698	0.869	0.585	0.847	0.898	0.902	0.903	0.945	0.906	0.709	0.967
$X_7$	0.734	0.788	0.780	0.662	0.591	0.698	1	0.426	0.589	0.367	0.715	0.697	0.738	0.716	0.795	0.762	0.706
$X_8$	0.854	0.498	0.765	0.912	0.892	0.869	0.426	1	0.421	0.942	0.801	0.804	0.779	0.835	0.738	0.493	0.862
$X_9$	0.646	0.623	0.678	0.592	0.435	0.585	0.589	0.421	1	0.375	0.592	0.536	0.576	0.642	0.622	0.616	0.575
$X_{10}$	0.842	0.531	0.746	0.899	0.895	0.847	0.367	0.942	0.375	1	0.797	0.803	0.756	0.829	0.742	0.532	0.858
$X_{11}$	0.927	0.804	0.893	0.918	0.840	0.898	0.715	0.801	0.592	0.797	1	0.871	0.927	0.924	0.914	0.804	0.922
$X_{12}$	0.910	0.741	0.855	0.912	0.878	0.902	0.697	0.804	0.536	0.803	0.871	1	0.882	0.919	0.879	0.735	0.924
$X_{13}$	0.933	0.810	0.901	0.922	0.841	0.903	0.738	0.779	0.576	0.756	0.927	0.882	1	0.938	0.917	0.791	0.939
$X_{14}$	0.972	0.830	0.927	0.970	0.876	0.945	0.716	0.835	0.642	0.829	0.924	0.919	0.938	1	0.933	0.823	0.970
$X_{15}$	0.955	0.841	0.960	0.918	0.850	0.906	0.795	0.738	0.622	0.742	0.914	0.879	0.917	0.933	1	0.833	0.946
$X_{16}$	0.778	0.985	0.772	0.727	0.625	0.709	0.762	0.493	0.616	0.532	0.804	0.735	0.791	0.823	0.833	1	0.757
$X_{17}$	0.984	0.766	0.945	0.986	0.921	0.967	0.706	0.862	0.575	0.858	0.922	0.924	0.939	0.970	0.946	0.757	1

通过以上分析,剔除第一、二、三产业增加值、快递业务量、互联网用户数、移动电话用户数、邮政营业网点个数、社会消费品零售总额等八项指标,保留其他九项指标,得到西部陆海新通道物流节点评价指标体系,如表 3.3 所示。

表 3.3 西部陆海新通道物流节点评价指标体系

目标层	准则层	指标层	符号
西部陆海新通道物流节点评价指标体系	经济和社会发展程度	区域生产总值(亿元)	$X_1$
		进出口贸易总额(万元)	$X_5$
	物流业发展规模和设施条件	民用汽车保有量(万辆)	$X_6$
		公路里程(公里)	$X_7$
		物流相关从业人员数(个)	$X_8$
		货运量(万吨)	$X_9$
	物流数字化水平	邮电业务总量(亿元)	$X_{12}$
	物流供应与需求情况	规模以上工业企业数(个)	$X_{15}$
		农林牧渔业总产值(万元)	$X_{16}$

### 3.1.4 西部陆海新通道物流网络节点评价

物流节点评价指标体系的建立是遴选物流枢纽的重要基础,进行定性以及定量分析可以判别出物流节点的发展实力,从而更好地选择合适的物流枢纽。刘艳等<sup>[18]</sup>在构建京津冀区域物流业综合发展情况的评价指标体系基础上,利用熵权法在区域内的 13 个城市中找出物流质量高的城市。刘荷等<sup>[20]</sup>采用了主成分分析法判定海峡西岸经济区的枢纽节点城市。曹炳汝等<sup>[23]</sup>在建立长三角区域物流发展评价指标体系之后,采用因子分析的方法判断节点城市的等级状况。王飞飞等<sup>[25]</sup>运用主成分分析的方法对京津冀城市群的现代物流业发展情况进行定量评价。戴德宝等<sup>[34]</sup>综合熵权法、灰色关联分析法、主成分分析法对西部地区 12 省市的物流业发展水平进行评价。

综上所述,学者们采用不同的方法对物流节点进行评价,包括主成分分析法、灰色关联分析法、熵权法等。然而,与其他方法相比,熵权法具有更高的精确度和更强的客观性,能够更好地解释物流发展水平<sup>[59]</sup>。因此在后文评价西部陆海新通道中 132 个节点城市的物流发展水平时采用了熵权法。

在物流网络中,需要区分主次要节点城市,以便更好地规划物流路线和选择物流枢纽。因此本文根据筛选出的九个指标,利用熵权法计算各节点城市物流发展水平,遴选物流枢纽。

熵权法是一种用于确定指标权重的方法。它考虑了各指标的离散程度，并通过计算和修改信息熵来确定各指标的权重。熵权法的计算步骤如下：

(1) 数据标准化：将评价指标的数据进行标准化处理，使得每个指标的评价值在 0-1 之间，并转换为概率分布。具体而言，可以采用公式 3.3-3.7：

$$Y_{ij} = \frac{X_{ij} - \min(X_i)}{\max(X_i) - \min(X_i)} \quad (3.3)$$

其中， $i$  为节点城市， $j$  为指标。

(2) 计算比值：求出各个指标在各方案下的比值  $p_{ij}$ ，公式如下

$$p_{ij} = \frac{r_{ij}}{\sum_{i=1}^m r_{ij}} \quad (3.4)$$

其中， $r_{ij}$  为  $i$  节点下第  $j$  个指标的评价值。

(3) 计算信息熵：计算每个指标的信息熵  $e_j$ ，公式如下：

$$e_j = -k \sum_{i=1}^m p_{ij} \cdot \ln p_{ij}, \quad \text{其中 } k = 1/\ln m \quad (3.5)$$

(4) 计算熵权：计算每个指标的熵权  $w_j$ ：

$$w_j = \frac{(1 - e_j)}{\sum_{j=1}^n (1 - e_j)} \quad (3.6)$$

(5) 计算每个节点的综合得分  $F_i$ ：

$$F_i = \sum_{j=1}^m w_j r_{ij} \quad (3.7)$$

综合熵权法的计算结果，我们得出西部陆海新通道中各节点城市的物流综合发展水平排名。排名第一的是重庆，第二是成都，紧随其后的是西安、昆明等城市；那曲、林芝、阿里地区等城市的物流综合发展水平排名靠后，具体排名见表 3.4。

表 3.4 各节点物流质量排名

排序	城市	物流质量
1	重庆	0.93118
2	成都	0.74183
3	西安	0.42146
4	昆明	0.20850
5	南宁	0.20804
6	贵阳	0.20071
7	遵义	0.15186
8	乌鲁木齐	0.14259
⋮	⋮	⋮
130	那曲	0.01365
131	林芝	0.013504
132	阿里地区	0.011144

## 3.2 西部陆海新通道物流网络构建

物流网络是在规划物流系统和合理配置物流资源过程中的关键步骤。本节利用西部陆海新通道涉及的 132 个城市作为物流节点，利用辐射模型以及交通路网，计算节点之间的连边权重，构建西部陆海新通道物流网络。

### 3.2.1 辐射模型

辐射模型 (Radiation Model) 是一种用于预测城市间通勤和迁移流量的模型，它最初由 Simini 等人于 2012 年提出，后来得到了广泛应用和发展。辐射模型基于城市间的迁移决策随机过程，通过数学公式建立城市间交通流量与城市规模、距离等因素之间的关系，能够模拟具有方向的空间相互作用，具有较高的模拟精度和研究价值<sup>[60]</sup>。侯贺平等<sup>[61]</sup>提出了基于空间可达性的辐射模型，并与重力模型相比较，分析这两种模型在大治市空间相互作用中的应用，将两种模型得出的结果与实测数据相比，辐射模型的模拟效果优于重力模型。崔大树等<sup>[62]</sup>总结出引力模型和 VAR 模型都降低了网络结构特征的精确性，而辐射模型弥补了两者的缺陷，因此在研究长三角城市群空间组织结构时，利用辐射模型确定信息网络关系。王宁宁等<sup>[63]</sup>在分析城市信息空间联系网络结构时，利用辐射模型计算了城市间信息辐射力的大小，为建立城市信息空间联系奠定了基础。李秋萍等<sup>[64]</sup>使用了辐射模型预测城市间货运联系的强度，结果表明这种方法是有效的，可以为城市规划和道路建设提供重要的参考数据。

综上所述，我们发现学者们将辐射模型模拟出的值与其他模型模拟出的值或

者真实数据相比时，都得出了较好的结果。因此结合本文的研究对象，在缺乏实际观测到的起点和终点之间流量数据的情况下，利用辐射模型计算出的辐射强度作为节点之间的连边权重。辐射模型的公式为（3.8）所示：

$$T_{ij} = T_i \frac{F_j F_i}{(F_i + s_{ij}) (F_i + F_j + s_{ij})} \quad (3.8)$$

$T_{ij}$  为节点  $i$  和  $j$  之间的物流量， $T_i$  为节点  $i$  的货物运输量。 $F_i$  和  $F_j$  是节点  $i$  和  $j$  的物流质量； $s_{ij}$  表示以节点  $i$  和  $j$  之间的距离为半径，在该半径内除了节点  $i$  和  $j$  的所有物流节点的物流质量之和。在本文中，使用的距离是通过节点城市的经纬度在 Arcgis 软件中求得的欧式距离。

### 3.2.2 西部陆海新通道物流网络

节点之间的辐射强度是单向的，但在物流联系方面，两个城市之间的联系是双向的，因此需要将有向的辐射量矩阵转化为无向的物流联系矩阵。为了实现这一目的，可以采用对称化处理的方法，将每个矩阵元素替换为该元素与其对称元素的最大值，从而消除方向性，使得任何有物流往来的两个城市之间的联系都被视为双向的<sup>[65]</sup>。这样处理后，物流联系矩阵能够更准确地反映城市之间的实际联系情况。

在实际应用中，辐射模型得到的辐射量矩阵通常会比较大，包含大量的节点和边，这样的全连通网络不符合实际物流网络的特征。因此，在进行后续分析时，需要对全连通网络进行简化，以更好地反映实际情况。

可以利用交通路网的信息进行简化，只保留直接有物流运输方式联系的节点之间的边，而将没有直接联系的节点之间的边权值设为 0。这种简化方式更符合实际的物流运输情况，能够更准确地反映节点之间的物流运输能力和关系，并且减少了网络的复杂度，提高了网络的可解释性和可应用性。最终，我们得到了一个由 132 个城市表示的物流节点和 561 条边组成的西部陆海新通道物流网络。

本文利用 Arcgis 软件可视化西部陆海新通道物流网络，将线段根据辐射强度的大小分为 5 类，使用不同的颜色表示，如图 3.1 所示。通过这种方式，可以更直观地展现物流网络的结构和特征，帮助我们更好地理解和分析物流网络。

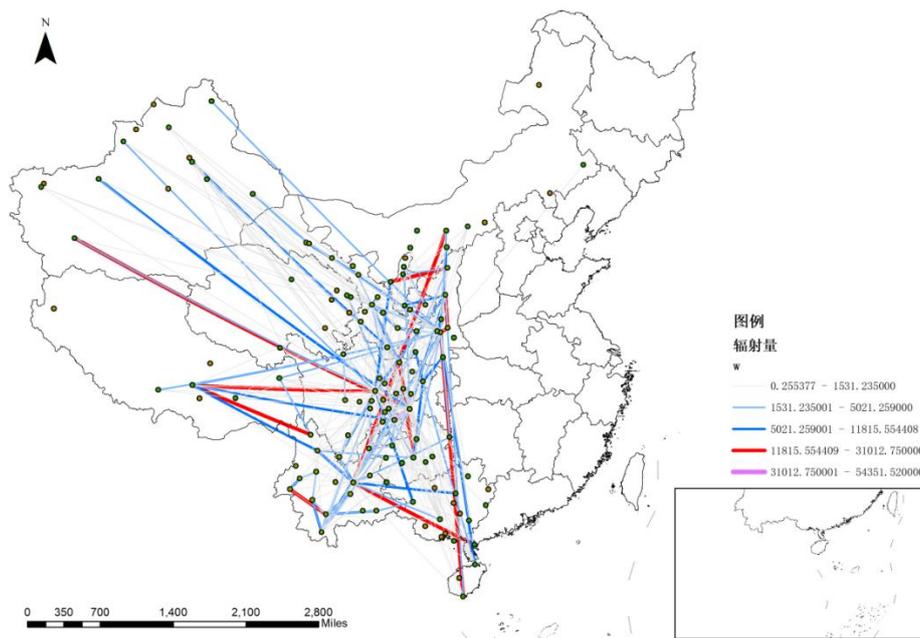


图 3.1 2019 年的西部陆海新通道物流网络

### 3.3 西部陆海新通道物流网络的节点中心度

本节将通过加权度数中心度、加权接近中心度、加权中介中心度等三个指标来描述西部陆海新通道的物流网络特征。其中，加权度数中心度用于衡量节点在网络中的重要程度，加权接近中心度用于评估节点在物流网络中的独立性，加权中介中心度则用于衡量节点在网络中的桥梁和中介作用。通过这三个中心性指标对物流网络进行客观评估，旨在更清晰地了解西部陆海新通道物流网络的发展现状。

#### 3.3.1 加权度数中心度

加权度数中心度指标考虑了节点的强度值，是对度数中心度进行加权处理后的指标，可以更全面地衡量节点在网络中的重要性。根据表 3.5 所示，可以看出重庆、成都、西安、昆明等城市的加权度数中心度排名靠前，表明这些城市在西部陆海新通道物流网络中具有较高的重要性，与其他城市的直接联系较多，物流流量较大，具有较强的物流辐射能力；阿里地区、怒江州等地的加权度数中心度较小，与其他节点城市的直接联系较少，物流辐射能力较弱。

表 3.5 2019 年西部陆海新通道城市加权度数中心度排名

排序	城市	加权度数中心度
1	重庆	77728.12
2	成都	63199.85
3	西安	59377.04
4	昆明	47099.07
5	遵义	44277.77
6	包头	43494.34
7	鄂尔多斯	42362.22
8	贵阳	35986.38
∴	∴	∴
130	果洛州	80.188
131	阿里地区	46.6408
132	怒江州	10.129

### 3.3.2 加权接近中心度

加权接近中心度可以用来评估网络中节点之间的接近程度,反映节点与其他节点之间的联系密切程度。加权接近中心度较低的城市,在网络中与其他城市的距离总和较小,相对易受其他城市的影响和控制;而加权接近中心度较高的城市则更容易获取网络中的信息,对中间渠道的依赖度较低。从表 3.6 中可以看出,成都、重庆、西安、昆明等城市的加权接近中心度比较高,表明这些城市与其他城市的物流联系比较紧密,对外部的影响和控制作用也比较强,相对而言不太依赖其他城市。

表 3.6 2019 年西部陆海新通道城市加权接近中心度排名

排序	城市	加权接近中心度
1	成都	64.53202
2	重庆	60.93023
3	西安	59.27602
4	昆明	58.7444
5	兰州	58.2222
6	贵阳	53.6885
7	南宁	53.2520
8	乌鲁木齐	52.6104
∴	∴	∴
130	怒江州	29.9771
131	黄南州	27.6371
132	防城港	26.1477

### 3.3.3 加权中介中心度

加权中介中心度是一种衡量节点在网络中充当中介角色的指标,它考虑了节点之间的联系强度,更加客观准确地刻画了节点在网络中的中介作用。在物流网

络中，节点的加权中介中心度越高，表明它在信息传递和物流流通中的中介作用越强，对网络的控制力也更强。根据表 3.7 的数据，成都、西安、重庆、昆明等城市的加权中介中心度较高，这表明这些城市在西部陆海新通道物流网络中扮演着重要的角色，是连接其他城市的桥梁。这些城市是其他节点城市完成物流联系的关键中转城市，对其他城市间的物流合作与交流产生了一定的影响。同时，这些城市的物流业发展水平较高，在西部陆海新通道节点城市中名列前茅，拥有良好的产业基础和交通条件，能够为中转运输提供良好的基础设施和服务。

表 3.7 2019 年西部陆海新通道城市加权中介中心度排名

排序	城市	加权中介中心度
1	成都	4135.326
2	西安	2528.677
3	重庆	2431.091
4	昆明	2278.046
5	兰州	2060.828
6	南宁	1308.08
7	西宁	961.2501
8	乌鲁木齐	925.208
∴	∴	∴
130	石嘴山	0
131	山南	0
132	儋州	0

从表 3.5、3.6、3.7 可以看出，重庆、成都、西安、昆明这四个城市处于多核心的交界处，它们在西部陆海新通道物流网络中的地位十分重要。无论是加权度数中心度、加权接近中心度还是加权中介中心度的排名，这几个城市都处于西部陆海新通道节点城市中的最前列，表明它们在物流网络中具有重要的地位和影响力。

对于其他节点城市而言，加强与重庆、成都、西安、昆明等城市的物流沟通联系，可以获得更多的物流资源和信息，从而提高物流综合发展水平。同时，与这几个城市建立更紧密的合作关系，不仅有助于推动物流业的发展，还有助于推动区域经济的发展。同时，这几个城市的物流业发展水平较高，拥有更为完善的物流设施和服务体系，可以为其他节点城市提供更优质的物流服务，进一步提高整个网络的物流效率和竞争力。因此，在西部陆海新通道物流网络中，加强与这些城市的合作，对于其他节点城市来说具有重要的意义。

### 3.4 西部陆海新通道物流网络枢纽研究

遴选物流枢纽可以提高物流网络的运作效率,从而提高整个物流系统的效率和竞争力。基于物流枢纽的概念,本节介绍了两种方法来选择网络中的物流枢纽,即物流质量以及网络中心性。首先,根据物流质量指标来选取物流枢纽,具体包括经济和社会发展水平、物流信息化水平等多个方面的指标。通过对这些指标进行分类,可以选择物流质量较高的节点城市作为物流枢纽。其次,网络中心性是基于节点在网络中的位置和连接性来选取物流枢纽,主要包括加权度数中心度、加权接近中心度、加权中介中心度等指标。这些指标可以反映节点在网络中的重要程度和控制力,从而选择出物流枢纽。综合以上两种方法的选择结果,遴选出网络中的物流枢纽。最后对网络中的物流枢纽进行对比分析,以确定它们是否符合《西部陆海新通道总体规划》中规划的物流枢纽要求。

#### 3.4.1 基于节点物流质量的枢纽节点选取

刘荷等<sup>[20]</sup>在研究海峡西岸经济区时,首先计算每个节点城市物流发展水平,其次利用聚类分析根据每个城市的综合得分,将区域内 20 个城市分成 3 个层次,并将位于第一层次的福州等四个城市选为轴心城市。戴德宝等<sup>[34]</sup>为更好的研究西部地区物流业发展水平的特征及趋势,借助构建的评价指标体系以及聚类分析的方法,将西部地区的 12 省市划分成了四类,并将前两类选为物流枢纽,描述各省市发展水平之间存在的差异性。张林等<sup>[66]</sup>基于国家物流枢纽城市的面板数据,利用聚类分析法从物流业增加值和城市 GDP 两方面对 23 个枢纽城市进行归纳分析,发现多数城市的物流业发展仍然处于起步阶段。才加让等<sup>[67]</sup>为了促进甘青川滇藏区域的物流业发展,对区域内各城市的物流产业竞争力进行聚类分析,选出物流中心城市,提升物流辐射能力。

综上所述,使用聚类分析对物流枢纽进行分类,可以反映现实物流系统的情况,确定特定地区的物流枢纽,促进整个区域的物流业发展。

在第 3.1.4 章节中已通过熵权法计算每个城市的物流质量,下面我们将利用 k-means 方法对西部陆海新通道涉及的城市进行聚类,以便根据其物流质量确定物流枢纽,并将其分为三个层次。

第一层次为物流质量等于或高于 0.74183。在此范围内,重庆和成都两个城市表现最为出色。重庆的地理位置使得它成为了一个连接西南地区和中西部地区

的重要枢纽，同时也是中国内陆地区与东南亚之间的重要通道。成都是中国西部地区的另一个重要城市，也是西部区域的交通枢纽。成都的经济发展和对外开放水平都很高，因此它在西部地区有着很大的影响力。成都还是中国西南地区的一个重要科技中心，有着很多高科技企业和研究机构。这些因素使得成都在物流领域也具有很大的优势。

第二层次为物流质量在 0.2085 到 0.74183 范围之内。在该层次的为西安、昆明。西安是中国中部地区的一个城市，具备承东启西的地位优势。它位于中西部地区的交汇处，是一个重要的物流流通集散地。西安的物流优势使得它对西部地区的城市经济发展具有很强的辐射功能。昆明是云南省的省会城市，也是一个重要的经济和物流中心。它在云南省经济、物流、资金流的集中，具有很强的辐射功能。由于其地理位置和资源优势，昆明在中国西南地区的物流领域具有很大的潜力和发展空间。

第三层次物流质量小于 0.2085。剩余的城市都处于这个层次中，没有达到较高的物流质量水平。

根据先前的研究表明，在无交通拥堵的理想情况下，物流网络最好选择 4-5 个枢纽节点<sup>[68]</sup>。基于对西部陆海新通道涉及 132 个城市在 2019 年区域物流发展水平的综合评价和聚类分析结果，本文初步选择了四个城市作为物流枢纽，这四个城市是重庆、成都、西安和昆明。这些城市的综合评价较高，且聚类分析结果排在前两层。

### 3.4.2 基于节点中心性评价的枢纽节点遴选

唐澜等<sup>[69]</sup>采用中介性和程度中心性作为网络节点中心性评价指标，分析入境商务旅游网络中节点的中心程度，得出广州、上海等地作为核心城市。杜超等<sup>[70]</sup>借助节点中心性评价指标，对中国集装箱航运网络的结构进行分析，发现上海和广州为全国性枢纽港。陈芙蓉等<sup>[71]</sup>借助节点中心性指标揭示丝绸之路沿线港口分布特征，发现新加坡、巴生港等地的中心性值最高，可以作为港口发展的核心区域。刘婵娟等<sup>[72]</sup>借助网络的中间中心性、度中心性、接近中心性等中心性指标评价海运网络空间格局时，发现新加坡港的三种中心度都最大，在网络中处于绝对核心地位，符合现实情况。

综上所述，学者们在分析网络中重要节点时，通常会利用节点中心性作为评

价指标，测算网络中节点的中心程度，分析网络结构。通过学者们采用中心性作为节点评价指标时，发现分析结果都符合实际情况。因此，在后文中我们也借助节点中心性的评价方法遴选出物流网络中的物流枢纽。

首先从表 3.5、3.6、3.7 三个表中可以发现成都、西安、重庆以及昆明在加权度数中心度、加权接近中心度、加权中介中心度三个指标上的排名均位于前列，即在整個物流网络中对其他节点城市会产生重要影响，因此选择这四个城市为物流枢纽，其次结合章节 3.5.1 中将成都、西安、重庆、昆明选择为物流枢纽。最后基于物流枢纽的概念，遴选这四个城市为西部陆海新通道物流网络中的物流枢纽。

在图 3.1 的基础上，突出西安、成都、重庆、昆明等物流枢纽，如图 3.2 所示。这样做有助于更好地理解和分析物流网络中各节点的作用和重要性，方便我们在网络中寻找关键节点并对其进行优化和管理。

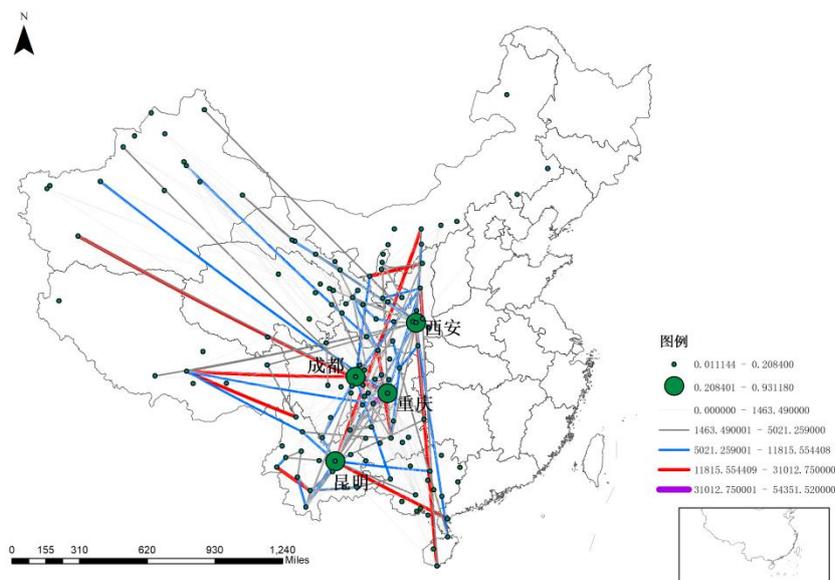


图 3.2 2019 年的西部陆海新通道物流网络（有物流枢纽）

### 3.4.3 基于西部陆海新通道总体规划的枢纽对比研究

基于现实数据构建的 2019 年的西部陆海新通道物流网络遴选的物流枢纽为重庆、成都、西安、昆明等 4 个城市。

《西部陆海新通道总体规划》文件中规划的物流枢纽有：重庆、成都、防城港、钦州、北海、儋州、南宁、昆明、西安、贵阳、兰州、乌鲁木齐、呼和浩特、银川、西宁、湛江、遵义、柳州、崇左、德宏州、西双版纳、红河哈尼族彝族自

治州 22 个城市。

两者比较发现，南宁、贵阳、乌鲁木齐、兰州、防城港、钦州、北海、儋州、呼和浩特、银川、西宁、湛江、遵义、柳州、崇左、德宏州、西双版纳、红河哈尼族彝族自治州 18 个城市在《西部陆海新通道总体规划》文件中被规划为物流枢纽，但在构建的物流网络中未被选为物流枢纽，即这 18 个城市未发挥物流枢纽的作用。

物流枢纽是物流运输中非常重要的节点，其建设和运营的效率直接关系到物流运输的效率和成本，从而影响到整个经济系统的运行效率和竞争力。因此有必要分析影响这 18 个城市发挥物流枢纽作用的主要因素，为城市物流发展以及规划顺利实现提出建议。

### 3.5 本章小结

本章以西部陆海新通道涉及的 132 个地级市的物流业为研究对象，首先采用熵权法计算各城市的物流质量，基于辐射模型测算节点辐射强度，并利用真实路网数据进行裁剪得到西部陆海新通道物流网络；其次，采用复杂网络方法对该物流网络的加权度数中心度、加权接近中心度、加权中介中心度等个体性特征进行了分析；最后，综合考虑节点城市的物流质量和网络中心性两个因素，遴选出成都、重庆、西安、昆明等四个城市为网络中的物流枢纽。通过对照发现《西部陆海新通道总体规划》，发现 18 个城市未发挥物流枢纽功能。因此有必要分析影响这些城市发挥物流枢纽作用的主要因素，为城市物流发展以及规划顺利实现提出建议。

## 4 西部陆海新通道物流枢纽主要影响因素分析

基于前文发现部分物流节点未发挥枢纽的作用,为了探究影响节点发挥物流枢纽功能的主要因素以及发展路径,需要通过面板数据模型进行实证检验。本章通过前文筛选出的评价指标体系,找出影响节点成为物流枢纽的主要因素,构建2010-2019年间的面板数据模型,在对面板数据进行各项检验之后,再选用合适的面板数据回归模型来对影响节点发挥物流枢纽功能的主要因素进行回归分析,最后通过更换解释变量的方法检验回归结果的稳健性。

### 4.1 面板数据相关理论

阮素梅等<sup>[73]</sup>利用面板数据模型讨论了股权制衡对公司价值创造能力产生的不同影响,得出前者对后者的影响为先减后增的倒U型。杜浩然等<sup>[74]</sup>运用中国30个省份18年的面板数据,分析产权结构的变化对经济增长的影响,得出前者对后者具有显著正向作用。王风云等<sup>[75]</sup>通过面板数据模型分析京津冀区域中能源消费结构的影响因素,得出经济增长对京津冀能源消费结构具有明显的正向作用。王维国等<sup>[76]</sup>利用多种面板数据模型分析老龄化对收入不平等产生的影响,发现老龄化与多数新兴经济体国家的收入不平等之间是U型关系,即具有很强的抑制作用。

综上所述,在描述跨时间和跨个体数据时,多数学者会采用面板数据模型,并且面板数据模型可以被应用于不同的领域。因为其可以利用同一样本在不同时间点上的变化,更全面准确的描述数据关系,因此在后文使用面板数据模型分析影响物流枢纽主要因素。

面板数据用于描述多个单位在多个时间点上的观测值,被视为是在横向和纵向上都进行了扩散的数据集。面板数据模型是一种用于分析面板数据的统计模型,通常使用两个或更多的变量来解释观测单位的变化。其中用来解释观测单位的变量称为解释变量,解释变量可以包括多个变量;观测单位则称为被解释变量,通常是一个时间序列变量,它是观测单位在不同时间点上的变化。在面板数据模型中,解释变量和被解释变量之间的关系可以用回归分析等方法进行建模和分析。

面板数据模型的基本步骤为:

(1) 确定数据结构: 面板数据由观察到的变量、时间和实体组成。确定数据结构包括确定变量、时间和实体的定义和分类方式。

(2) 数据清洗：对数据进行清洗和预处理，包括处理缺失数据、异常值和离群值等。

(3) 描述性统计分析：对面板数据进行描述性统计分析，包括统计指标、分布和相关性等。

(4) 固定效应模型：使用固定效应模型进行面板数据分析。这种模型控制了实体固定的影响因素，例如实体特征和未观察到的影响因素。

(5) 随机效应模型：使用随机效应模型进行面板数据分析。这种模型不仅考虑实体固定的影响因素，还考虑实体的随机效应因素，例如个体特征和未观察到的影响因素。

(6) 假设检验和推断分析：对固定效应模型和随机效应模型进行假设检验和推断分析，以确定模型的准确性和显著性。

(7) 模型评价：对模型进行评价和比较，选择最优模型并解释模型结果

(8) 结论和建议：根据面板数据分析结果，得出结论和建议，以指导实践应用。

## 4.2 回归模型构建

### 4.2.1 变量选取

表 3.2 中的 9 个变量作为解释变量（此 9 个变量本文均选取 2010-2019 年 10 年的 18 个城市的数据）。

基于物流枢纽的概念，被解释变量为物流质量以及网络中心性，因此本章节分别构建两个回归模型。

第一个回归模型以研究物流质量作为被解释变量，利用表 3.2 中的解释变量进行回归分析，选取面板数据模型，初步构建线性模型。根据面板数据检验各个因素对物流质量的影响。

$$Y_{it} = \beta_0 + \beta_1 X_{1it} + \dots + \beta_m X_{mit} + \varepsilon \quad (4.1)$$

公式 4.1 中， $i$  和  $t$  分别表示个体和时间； $Y_{it}$  是物流质量（被解释变量）； $X_{mit}$  是解释变量； $\beta_m$  为待估参数； $\beta_0$  为常数项； $\varepsilon$  随机误差项。

第二个回归模型以网络中心性作为被解释变量，但通过比较如表 4.1、4.2、4.3 的 2010-2019 年网络中心性中加权度数中心度、加权接近中心度、加权中介

中心度这三个指标，发现加权接近中心度和加权中介中心度的数值在 10 年中未发生明显变化，都在一个范围内呈现小幅度的变动，由于本章是研究 10 年内影响节点的主要因素，相对于较平稳的数据，选取每年波动范围较大数据作为被解释变量，结果会更加明显。因此将加权度数中心度作为第二个回归模型的被解释变量。根据面板数据模型检验各个因素对加权度数中心度的影响。

表 4.1 18 个城市 2010-2019 年加权度数中心度

城市	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
重庆	51560	61084	65937	60775	60228	63877	68459	76389	86023	77728.1
成都	39472	42801	47147	56302	47293	33443	53433	56314	60744	63199.8
西安	32866	36508	41927	46610	41182	44524	37934	44243	45480	59377
昆明	38123	35655	39866	53003	33441	35720	35954	39113	42609	47099.1
遵义	7442.8	8536	9983	12708	16152	23442	29265	34797	46429	44277.8
包头	32805	34201	35823	37467	35117	27981	33126	36590	42195	43494.3
鄂尔多斯	18218	18786	23922	26839	26810	26465	25777	29397	34833	42362.2
贵阳	12939	16238	20608	39658	27346	33143	39201	48434	53796	35986.4
∴	∴	∴	∴	∴	∴	∴	∴	∴	∴	∴
果洛州	95.63	138	150.07	172.44	121.6	146.1	135.9	141.3	131.5	80.188
阿里地区	0.43	7.6	10.41	11.754	19.73	22.16	25.64	31.68	42.18	46.6408
怒江州	5.26	16.93	14.91	31.2	44.24	30.49	31.6	30.1	33.51	10.129

表 4.2 18 个城市 2010-2019 年加权接近中心度

城市	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
成都	62.322	62.63	63.01	63.21	63.34	63.5	63.63	63.82	64.24	64.532
重庆	58.21	58.36	58.52	58.63	58.91	59.31	59.52	59.63	60.53	60.93
西安	57.32	57.37	57.53	57.62	57.82	57.83	58.13	58.42	58.61	59.28
昆明	56.67	56.72	56.76	56.81	56.85	56.91	57.42	57.539	58.531	58.744
兰州	56.42	56.42	56.44	56.65	56.83	56.85	56.90	57.322	57.562	58.222
贵阳	51.831	51.85	52.14	52.26	52.35	52.56	52.731	52.803	53.094	53.688
南宁	51.642	51.72	51.92	52.01	52.23	52.42	52.53	52.731	52.821	53.25
乌鲁木齐	51.321	51.53	51.63	51.71	51.80	52.23	52.342	52.452	52.572	52.61
∴	∴	∴	∴	∴	∴	∴	∴	∴	∴	∴
怒江州	27.981	28.03	28.13	28.16	28.23	28.87	29.673	29.721	29.832	29.977
黄南州	26.321	26.43	26.74	26.83	27.24	27.36	27.46	27.53	27.61	27.637
防城港	25.62	25.73	25.76	25.82	25.91	26.02	26.09	26.11	26.127	26.148

表 4.3 18 个城市 2010-2019 年加权中介中心度

城市	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
成都	4096.3	4102	4110	4118	4121	4125	4130.4	4132.6	4135.3	4135.3
西安	2452.3	2469	2492	2503	2513	2521	2523.6	2526.6	2528.7	2528.7
重庆	2412.1	2418	2421	2426	2427	2429	2430.1	2430.9	2431.1	2431.1
昆明	2193	2201	2225	2239	2247	2253	2262	2274	2278	2278
兰州	2049.5	2051	2054	2055	2058	2058	2059.4	2060.2	2060.8	2060.8
南宁	1305.6	1307	1307	1307	1308	1308	1307.9	1308.	1308.1	1308.1
西宁	956.8	957.3	958.3	958.4	959	959.6	960.43	960.89	961.25	961.25
乌鲁木齐	923.87	924.1	924.7	924.7	925	925.1	925.13	925.18	925.21	925.2
∴	∴	∴	∴	∴	∴	∴	∴	∴	∴	∴
石嘴山	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
山南	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
儋州	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

$$W_{it} = \alpha_0 + \alpha_1 X_{it} + \dots + \alpha_m X_{mit} + \mu \quad (4.2) [73]$$

公式 4.2 中,  $i$  和  $t$  分别表示个体和时间;  $W_{it}$  是加权度数中心度;  $X_{mit}$  是解释变量;  $\alpha_m$  为待估参数;  $\alpha_0$  为常数项;  $\mu$  为随机误差项。

## 4.2.2 描述性统计

本节的研究对象为未发挥物流枢纽作用的 18 个地级市。主要工作是对解释变量以及被解释变量进行描述性统计, 以便直观地了解样本数据的基本信息。研究期为 2010-2019 年, 故本文有 180 个观测值。均值表现为观测样本的平均数, 标准误差表示观测数据的离散程度, 最小值和最大值反映观测值的跨度。具体数据如表 4.4 所示。

表 4.4 变量的描述性统计

变量	符号	观测值个数	均值	标准差	最小值	最大值
区域生产总值	X1	180	1511.777	1045.33	132.9	4506.56
进出口贸易总额	X5	180	2815209	2727780	25622	18933911
民用汽车保有量	X6	180	44.84733	36.19868	0.56	225.2
公路里程	X7	180	9687.891	7542.716	1811	40015
物流相关从业人员数	X8	180	22749.64	26191.78	1100	123824
货运量	X9	180	15476.04	18079.81	224	123824
邮电业务总量	X12	180	80.36578	116.1558	0.36	781.34
规模以上工业企业数	X15	180	385.8283	294.5547	16	1236
农林牧渔业总产值	X16	180	2419857	1923238	273161	9379007
物流质量	Y	180	0.0972574	0.049188	0.0166462	0.2531585
加权度数中心度	W	180	13509.51	10766.66	411.1974	59377.04

### 4.2.3 回归模型的选取

由于解释变量是在上一章节对表 3.1 进行相关性分析筛选出的，因此认为解释变量之间相互独立，可以进行回归分析。

理论上，针对面板数据，有三种可供选择的估计模型，分别是混合效应回归模型（POLS）、固定效应回归模型（FE）和随机效应回归模型（RE）。第一，混合效应回归模型。其基本思想是将多个不同的回归模型加权组合起来，以得到更准确的预测结果。第二，固定效应回归模型。其是一种用于估计面板数据中个体固定效应的统计模型，可以帮助我们更准确地估计个体之间的差异，得到更准确的参数估计结果。第三，随机效应回归模型。其是一种用于估计面板数据中个体随机效应的统计模型，不需要引入个体虚拟变量，具有较强的灵活性。为了能够准确地探究影响物流节点发挥枢纽功能的主要因素，正确选择分析的模型非常重要。实际使用过程中，利用 STATA17 软件，进行  $F$  检验，检验是使用混合回归模型还是固定效应模型；进行 Hausman 检验，检验使用随机效应模型和固定效应哪个更好，最后综合考虑才能最终确定使用哪种回归模型<sup>[77]</sup>。

（1）对物流质量为被解释变量进行检验

$F$  检验的原假设为“POLS 模型更优”，在进行  $F$  检验时，需要将计算出的  $F$  统计量与  $F$  分布进行比较，以判断 POLS 模型和 FE 模型哪一个更优。

被解释变量为物流质量的回归模型  $F$  检验结果为： $F$  test that all  $u_i = 0$  :

$F(17,153) = 10.33$  ;  $prob > F = 0$  。  $p$  值为 0，小于 0.05，表示拒绝原假设，不适合选择混合回归模型，应选择固定效应模型

Hausman 检验是用于比较随机效应模型和固定效应模型哪一个更适合的一种假设检验。对样本进行 Hausman 检验（结果如表 4.5 所示），回归模型的卡方检测值  $\chi^2(7)$  值为 45.09， $p$  值为 0，远小于 0.05，说明此模型整体显著性很高，拒绝了适用随机效应模型的原假设。因此，应选择适用固定效应模型，以更好地解释样本数据。

表 4.5 被解释变量为物流质量的 Hausman 检验结果

	FE(b)	RE(B)	(b)-(B)difference	Sqrt(diag(V_b-V_B))S.E.
X1	0.0000646	5.98e-07	0.000017002	6.36e-06
X5	2.03e-07	2.86e-08	1.744e-7	9.17e-08
X6	0.0000479	0.000082	-0.0000341	0.0000888
X7	6.33e-07	6.49e-08	5.681e-7	1.41e-06
X8	0.0000176	0.0000901	-0.0000255	0.0000226
X9	3.16e-09	3.46e-09	-3e-10	8.08e-10
X12	0.0000188	0.0000266	-7.8e-6	0.0000108
X15	3.58e-07	8.30e-07	-4.72e-7	1.79e-07
X16	6.06e-09	5.43e-09	6.3e-10	3.36e-09
Chi2(7)=(b-B)'[V_b-V_B]^(-1)](b-B)=45.09				Prob>chi2=0

(2) 对加权度数中心度为被解释变量进行检验

被解释变量为加权度数中心度的回归模型  $F$  检验结果为：

$F$  test that all  $u_i = 0$ :  $F(17,153) = 14.47$ ;  $prob > F = 0$ 。  $p$  值为 0，表明应选择固定效应模型。

对样本进行 Hausman 检验（结果如表 4.6 所示），回归模型的卡方检测值  $chi2(5)$  的值为 19.71， $p$  值为 0.0014，远小于 0.05。说明此模型整体显著性很高，拒绝了适用随机效应模型的原假设。因此，应选择适用固定效应模型，以更好地解释样本数据。

表 4.6 被解释变量为加权度数中心度的 Hausman 检验结果

	FE(b)	RE(B)	(b)-(B)difference	Sqrt(diag(V_b-V_B))S.E.
X1	0.0002146	0.0002023	0.0000123	0.0000261
X5	4.00e-09	3.56e-09	4.41e-10	2.77e-09
X6	0.0006318	0.0003479	-0.0009797	0.0002851
X7	4.51e-06	4.61e-06	9.48e-08	7.45e-06
X8	0.0003462	0.0003483	-2.1e-6	0.0000364
X9	0.0003753	0.0002522	0.0001231	0.000108
X12	1.72e-06	8.75e-08	1.63e-06	7.20e-07
X15	1.87e-06	3.24e-06	-1.37e-6	3.79e-07
X16	2.48e-08	1.85e-09	2.67e-08	1.45e-08
Chi2(5)=(b-B)'[V_b-V_B]^(-1)](b-B)=19.71				Prob>chi2=0.0014

### 4.3 基于固定效应模型的结果与分析

根据进行的  $F$  检验和 Hausman 检验的结果，可以得出结论：面板数据的特征适合使用个体固定效应模型进行回归分析。因此，本文使用 STATA17 软件对

面板数据进行了个体固定效应模型分析，具体的结果可以参考表 4.7 和 4.8。

### 4.3.1 物流质量的影响因素分析

以物流质量为被解释变量，进行面板回归结果如表 4.7 所示，模型  $p$  值为 0，说明模型的拟合程度良好。区域生产总值、物流相关从业人员数、货运量都在 1% 的水平上显著，表明这三个变量对物流质量的正向作用最大；规模以上工业企业个数系数在 5% 水平上显著，说明这个变量对物流质量存在较为显著的正向作用；其他变量均未通过显著性检验，说明它们对物流质量的提高不存在明显作用。具体到各个变量有关结论如下：

区域生产总值的回归系数为正，说明在 1% 的水平上显著，即区域生产总值与节点的物流质量成正相关关系，即当区域生产总值增加时，物流质量也会相应提高。因为随着区域经济的发展，物流需求也会随之增加，从而促进了物流业的发展和提升。同时，政府在经济发展过程中会加大基础设施建设的力度，这也有助于物流质量的提高。从模型结果来看提升区域生产总值是提升物流质量最为有效的途径。

物流相关从业人员数的回归系数为正，说明在 1% 的水平上显著，物流相关从业人员数的提高对节点的物流质量有显著的正向作用。当物流相关从业人员的数量增加时，可以更好地满足节点城市物流业的发展需求，提高物流效率和服务质量，促进物流业的快速发展。因此，加强对物流从业人员的培养和招聘，不仅是企业的需求，也是物流业发展的必要条件之一。

货运量回归系数在 1% 水平上显著，表明货运量对物流质量的提高有显著作用。货运量是物流业的重要指标，它可以反映出—个地区或国家的经济发展水平、生产活动水平以及物流需求的大小。增加货运量可以促进物流运营效率的提高，增加物流服务的覆盖范围，提高物流运输的速度和准确度，从而带来物流业的腾飞。同时，物流业八大功能的实现也需要依靠货运量的提高来支撑。只有通过增加货运量，才能够更好地完成各项物流流程，实现物流业八大功能的协同作用，提高物流服务质量 and 水平。因此，提高货运量对于促进物流业的发展和提升节点物流质量有着重要的作用。

规模以上工业企业个数系数在 5% 水平上显著，说明这个因素与物流质量存在较为显著的正向作用。工业化进程的推进是物流业发展的重要基础，因为工业

企业的生产活动需要依赖物流运输服务，以完成原材料采购、生产加工、成品销售等各个环节。因此，工业企业的数量增加，将会带来更多的物流运输需求，推动物流业的发展和提高物流服务质量。在西部地区，由于交通优势不明显、人力资源优势不突出、用地资源紧缺等问题，工业化进程发展较为缓慢。这也会导致该地区物流业的滞后与缓慢。因此，增加工业企业数量是促进物流业发展和提高节点物流质量的重要手段之一，特别是在一些工业化进程较为缓慢的地区，需要加强政策引导和扶持，加快工业化进程，推动物流业的快速发展。

进出口贸易总额、民用汽车保有量、公路里程、邮电业务总量、农林牧渔业总产值均未通过显著性检验，原因可能是样本容量不够，导致其回归结果不够显著。

表 4.7 基于物流质量的固定效应模型回归分析结果

变量	(1) 物流质量
X1	6.46e-05*** (1.78e-05)
X5	2.03e-07 (1.17e-07)
X6	4.79e-05 (8.83e-05)
X7	6.33e-07 (1.04e-06)
X8	1.76e-05*** (5.44e-06)
X9	3.16e-09*** (7.38e-10)
X12	1.88e-05 (1.59e-05)
X15	3.58e-07** (1.48e-07)
X16	6.06e-09 (2.65e-09)
Constant	0.0586*** (0.00856)
Observations	180
Number of id	18
R-squared	0.818

Standard errors in parentheses

\*\*\* p<0.01, \*\* p<0.05, \* p<0.1

### 4.3.2 加权重数中心度的影响因素分析

以加权重数中心度为被解释变量,进行面板回归,结果如表4.8所示。模型  $p$  值为0.0014,说明模型的拟合程度良好。区域生产总值、物流相关从业人员数、货运量回归系数在1%水平上显著,说明这三个因素与加权重数中心度存在显著性的正向作用。规模以上工业企业个数系数在5%水平上显著,说明这个因素与加权重数中心度存在较为显著的正向作用,其余因素与加权重数中心度不存在显著性关系。具体到各个变量有关结论如下:

区域生产总值的回归系数为正,说明在1%的水平上显著,即区域生产总值与节点的加权重数中心度成正相关关系,即各城市的经济发展水平越高,区域物流联系量越高,即加权重数中心度越大。这种现象可以解释为以下两点原因:一方面,随着经济的发展和居民生活水平的提高,人们对物流流转效率的要求也越来越高,因此高经济发展水平的地区更注重物流服务,从而增加了区域物流联系量,提高了加权重数中心度;另一方面,随着不同地区的经济发展水平差距扩大,市场机制的作用进一步强化,这也使得区域经济的势能差更加明显,物流网络的节点会更加集中在经济发展较为发达的地区。综上所述,经济发展的区域差异对物流关联网络有着重要的影响。

物流相关从业人员数的回归系数为正,说明在1%的水平上显著,物流相关从业人员数的提高对节点的加权重数中心度有显著的正向作用。随着物流行业的快速发展,市场对于物流从业人员的需求也越来越高,特别是对于一些高端物流人才的需求更加迫切。高素质的物流人才可以提高物流行业的效率和服务质量,促进物流企业的创新发展,从而推动整个物流行业的升级和发展。此外,物流行业的人才优势也会影响到城市的地位和影响力,进而影响到城市的物流联系。因此,提高物流从业人员数量和素质,是实现物流行业可持续发展和提升物流联系的重要手段之一。

货运量回归系数为正,说明在1%的水平上显著,货运量对加权重数中心度的提高有显著作用。货运量是衡量交通基础设施发展的重要指标之一,同时也是物流业发展的重要体现之一。货运量的增加可以促进物流业的良性发展,形成更加完善、高效的物流网络体系,提高加权重数中心度,进而推动区域经济的发展。因此,货运量的提高对于加权重数中心度的提升具有重要作用。

规模以上工业企业个数系数在5%水平上显著，说明这个因素与加权度数中心度存在较为显著的正向作用。规模以上工业企业的数量是衡量工业发展水平的重要指标之一，而工业是物流服务的主要需求方，因此，工业发展水平的提高将直接促进物流服务的需求和物流活动的增加。此外，高度发展的工业还可以提供更多的就业机会和创造更多的财富，从而进一步促进物流联系。

进出口贸易总额、民用汽车保有量、公路里程、邮电业务总量、农林牧渔业总产值均未通过显著性检验。

表4.8 基于加权度数中心度的固定效应模型回归分析结果

变量	(2) 加权度数中心度
X1	0.000215*** (4.05e-05)
X5	4.00e-09 (5.49e-09)
X6	0.000632 (0.000657)
X7	4.51e-06 (7.74e-06)
X8	0.000346*** (0.000118)
X9	0.000375*** (0.000132)
X12	1.72e-06 (1.10e-06)
X15	1.87e-06** (8.71e-07)
X16	2.48e-08 (1.97e-08)
Constant	0.0889 (0.0637)
Observations	180
Number of id	18
R-squared	0.813

Standard errors in parentheses

\*\*\* p<0.01, \*\* p<0.05, \* p<0.1

### 4.3.3 稳健性分析

进行稳健性检验对于验证研究结果的可信度和可靠性非常重要。本文采用将

区域生产总值替换为社会消费品零售总额的方式进行稳健性分析。通过对比原模型和替换解释变量后的模型的结果,发现两个模型的整体拟合效果和各变量回归系数的正负号和显著性都保持一致,这说明所得结论具有较好的稳健性。如表 4.9 所示。

表 4.9 基于物流质量（加权度数中心度）的稳健性检验结果

变量	(1) 物流质量	变量	(2) 加权度数中心度
X17	2.43e-08*** (3.18e-09)	X17	0.0000131*** (0.36)
X5	2.85e-09 (1.74e-09)	X5	1.11e-08 (3.07)
X6	0.00136 (0.000294)	X6	0.000534 (1.01)
X7	3.61e-06 (2.51e-06)	X7	0.00000343 (0.61)
X8	0.000138*** (4.90e-05)	X8	0.00000251*** (1.75)
X9	3.94e-06*** (5.15e-07)	X9	0.0000110*** (10.10)
X12	4.23e-05 (5.75e-05)	X12	0.000138 (1.34)
X15	1.65e-06** (6.73e-07)	X15	0.000304* (2.59)
X16	7.04e-09 (7.21e-09)	X16	2.11e-08 1.24
Constant	0.308*** (0.0219)	Constant	0.0590 (1.24)
Observations	180	Observations	180
Number of id	18	Number of id	18
R-squared	0.809	R-squared	0.825

Standard errors in parentheses

\*\*\* p<0.01, \*\* p<0.05, \* p<0.1

#### 4.4 本章小结

本章利用面板回归模型对影响物流节点发挥枢纽作用的主要因素进行了研究,发现影响节点成为物流枢纽的主要因素包括区域生产总值、物流相关从业人员数、货运量,规模以上工业企业数,其中,前三者对物流节点的影响有显著的正相关关系,规模以上工业企业数与物流节点的正相关关系与前三者产生的影响相比较弱。

## 5 枢纽节点发展路径研究—以兰州市为例

兰州市是中国西北地区的重要城市和甘肃省的省会，近年来在西部大开发政策的带动下发展迅速。但是，兰州市在物流领域的发展还比较滞后，尚未发挥物流枢纽功能效应。本章将分析兰州市与西部陆海新通道物流网络遴选出的物流枢纽发展中存在的差距，并对兰州市发挥物流枢纽功能的路径进行研究，探讨如何加快兰州市物流业的发展。

### 5.1 兰州市与物流枢纽对比研究

《西部陆海新通道总体规划》和《国家物流枢纽布局和建设规划》均提出了兰州市在西部陆海新通道中的重要地位。但兰州在基于现实数据构建的 2019 年西部陆海新通道物流网络中未被选为物流枢纽，这一现象引起了我们的关注，需要仔细探究。对此，需要明确的是，物流枢纽的建设并非一蹴而就的事情，需要长期规划和实施。一个城市能否发挥物流枢纽功能，需要考虑多方面的因素，下面我们将详细了解兰州市目前的发展状况，找到兰州与西安、成都、重庆、西安等城市发展中存在的差距，提出兰州市发挥枢纽功能的主要路径。

#### 5.1.1 区域生产总值对比研究

兰州市作为甘肃的省会城市，改革开放初期，兰州市曾经是西北地区的重要工业基地，尤其是化工、机械、食品等行业在国内外享有盛誉，兰州市也因此成为西北地区经济发展的重要引擎之一。然而，随着时间的推移，兰州市的经济实力和发展潜力逐渐被其他城市超越。尤其是近年来，西安等城市在国家“一带一路”战略的带动下迅速崛起，大量的投资和人才涌入，进一步促进了这些城市的经济发展。相比之下，兰州市的经济增长相对缓慢，发展动力不足。2019 年，兰州市的 GDP 为 2837.36 亿元，重庆市的 GDP 为 23606 亿元，比兰州高出 8 倍多；成都市的 GDP 为 17013 亿元，比兰州市高出约 6 倍，昆明市的 GDP 为 6476 亿元，比兰州市高出约 2.28 倍，西安市的 GDP 为 9321 亿元，比兰州市高出约 3.28 倍，从以上数据可以看出，兰州市的经济总量与物流网络中遴选出的物流枢纽相比存在明显的差距。综合来看，兰州市的经济实力相对较弱，根据相关部门发布的城市综合经济实力排行榜和按 GDP 计算的全国百强市排名都可以看出这一点。

### 5.1.2 物流人才对比研究

兰州市是中国西北地区的重要城市，作为甘肃省的省会，它在物流业方面具有重要的地位和作用。然而，近年来，兰州市物流业在快速发展的同时，也暴露出了物流人才短缺的问题。相比较于重庆、成都、西安、昆明等城市，兰州市的物流人才短缺问题更加突出。

首先，兰州市物流人才总量不足。根据统计数据显示，截至 2019 年，兰州市物流业总人数只有 3 万人左右，而在同等级别的城市，如重庆和成都等，物流人才总数都在 10 万以上。兰州市物流业的规模相对较小，其吸纳物流人才的能力也比较有限，因此，物流人才总量不足成为了兰州市物流业发展的一个瓶颈。

其次，兰州市物流人才结构不合理。当前，兰州市物流业人才大多数集中在基层，而高层次、高技能的物流人才相对较少。这一现象导致了物流企业管理层面的不足，也影响了物流业的创新和发展。相比较而言，成都、西安、昆明等城市的物流人才结构更为完善，高层次、高技能的物流人才数量相对较多，这也为这些城市的物流业创新提供了坚实的人才基础。

再次，兰州市物流人才培养不足。目前，兰州市没有专门的物流人才培养机构，物流专业相关的高等院校数量也相对较少，这导致了物流人才培养的不足。与之相比，重庆、成都、西安、昆明等城市都有多所物流专业的高等院校，并且有着完善的物流人才培养体系，能够为物流企业提供更加优秀的人才。

最后，兰州市物流人才缺乏竞争力。兰州市的物流行业发展相对较晚，人才队伍整体水平相对较低，这也导致了物流人才在竞争中处于劣势。相比较而言，成都、西安、昆明等城市的物流业发展比较早，物流人才队伍相对更为成熟，这使得这些城市的物流人才在竞争中更具优势。例如，成都作为西南地区的重要物流中心，其物流产业已经形成了完整的产业链，同时拥有多所知名高校，为成都的物流人才培养提供了更为广阔的平台和机会。西安则以其丰富的历史文化和科技产业为支撑，发展出了具有地域特色的物流业，同时还与多家知名企业建立了深入合作关系，为西安的物流人才提供了更多的实践机会和就业机会。昆明则以其独特的地理位置和多元化的经济发展为基础，发展出了具有特色的物流业，同时在高校物流专业的建设和物流人才的培养上也做出了积极的努力。

### 5.1.3 货运量对比研究

根据数据显示,2019年,兰州市的货运量为14122万吨,而成都市的货运量为31377万吨,比兰州市高出了2倍多;重庆市的货运量为112765万吨,比兰州市高出了8倍左右。昆明市的货运量为35187万吨,比兰州市高出了2.5倍;西安市的货运量为27426万吨,比兰州市高出了约1.94倍。通过上述数据,可以看出与西安、昆明、重庆、成都等城市相比,兰州市的货运量存在明显的差距。这可能与兰州市的地理位置、产业结构、交通基础设施建设等因素有关。

#### (1) 地理位置相对偏远

西安市是陕西省的省会,地处中西部地区,经济发展水平较高,物流设施完善,是连接中西部地区的重要枢纽城市。昆明市是云南省的省会,地处中国西南地区,是中国对外开放的重要窗口城市,其区位优势 and 交通条件优越,使得货物运输方便快捷。重庆市位于长江上游,是中国内陆最大的直辖市,拥有丰富的自然资源和发展潜力,其交通运输优势也是其他城市难以比拟的。成都市是四川省的省会,地处西南地区,物流设施完备,是连接中国西南地区和中东部、华南地区的重要节点城市。相比之下,兰州市位于甘肃省中部,地理位置相对偏远,交通不太方便,加之自然资源匮乏,经济发展相对滞后,导致其货运量较低。

#### (2) 产业结构单一

产业结构是一个城市经济的基础,是制定城市发展战略的重要依据。一个城市的产业结构对于物流运输和货运量有着重要的影响。不同的产业结构会带来不同的物流需求和货运量。兰州市的产业结构相对单一,以资源型产业为主。其中,能源、化工、有色金属等行业是兰州的支柱产业。但这些产业具有周期性和波动性,因此其货运量的稳定性相对较差。相比之下,西安、昆明、重庆、成都这些城市的产业结构相对更加多元化。这些城市拥有制造业、服务业、科技产业等多个行业的发展,且这些行业所涉及的物流需求也更为多样化,因此货运量的需求也更加稳定。在制造业方面,西安是国家级高新技术产业基地,拥有航空航天、电子信息等高科技制造业,昆明以装备制造业和食品加工业为主,重庆以汽车制造、电子信息等行业为主,成都以IT产业和新材料产业为主。除此之外,这些城市还具有比较发达的服务业,如金融、商贸、物流等行业,这些行业的发展也带动了城市物流需求的不断增长,进而促进了货运量的增长。

总之,相对单一的资源型产业结构使得兰州在物流运输和货运量方面受到了限制。而西安、昆明、重庆、成都这些城市拥有多元化的产业结构,不仅带来了更加多样化的物流需求,同时也提高了货运量的稳定性和增长潜力。

### (3) 交通基础设施建设薄弱

就交通基础设施方面而言,西安、昆明、重庆、成都相对于兰州都处于更为发达的阶段。例如,西安地理位置优越,铁路、公路、航空等交通条件十分便利。昆明除了具备良好的交通网络,还拥有较为完善的海运、水运港口,与东南亚和南亚等地的贸易往来十分便利。重庆和成都作为重要的中西部城市,交通条件也得到了极大的改善和发展。这些城市都拥有现代化的铁路网、公路网、机场和港口,因此货运量得以快速增长。与之相比,兰州的交通基础设施建设则相对滞后。兰州的交通网络较为单一,主要依赖公路和铁路运输。公路贯穿城市,而铁路也是连接西北和内地的重要交通通道,但缺乏直达国外港口和海运运输的优势。

## 5.2 兰州市发挥枢纽功能的路径

### 5.2.1 提高物流人才培养质量

为了解决兰州市物流人才稀缺的问题,可以从以下几个方面考虑:

首先,加强合作。一方面,可以加强对国际贸易、口岸物流等方面的培养,提高物流人才的综合素质;另一方面,可以与周边城市建立交流合作,借鉴西安、成都等城市的物流人才培养经验,共同提高人才培养水平。

其次,注重行业实践与技能培养。物流人才培养应该注重实践能力的培养,特别是技能方面的培养。兰州市可以借鉴西安市的经验,加强对学生的行业实践和技能培养。通过与物流企业合作,建立实践基地,提供实践机会和技能培训,让学生在实践中学习,真正掌握实际操作技能。

再次,开展行业人才培养与交流活动。兰州市可以借鉴昆明市的经验,开展行业人才培养和交流活动。通过邀请行业专家和企业高管进行讲座和培训,让学生了解最新的物流行业趋势和技术,提高学生的专业水平和行业认识。同时,开展学生与企业的交流活动,让学生了解企业的真实需求,提高对行业的认识和应用能力。

最后,建立物流人才引进和激励机制。兰州市可以借鉴重庆市的经验,建立物流人才引进和激励机制。通过制定引进优秀人才的政策和奖励措施,吸引更多

优秀人才来到兰州从事物流行业。同时，建立激励机制，通过职称评定、绩效考核等方式激励和鼓励物流行业人才的发展和进步。此外，可以加强与高校的合作，开展物流行业的人才培养和交流，为行业培养更多的高素质人才。同时，可以建立物流行业人才信息平台，方便企业招聘和人才求职，组织物流行业人才交流活动和研讨会，促进行业内部的学习和交流，提高物流行业的整体素质和水平。

### 5.2.2 优化产业结构

兰州的产业结构相对单一，以资源型产业为主导，存在着很多问题和挑战。要改善这种状况，需要从多个方面入手，实现货运量的增长。

首先，加强创新。创新是推动经济发展的核心驱动力，也是解决产业结构单一问题的关键。兰州需要加强科技创新和产业创新，鼓励企业进行研发，提高技术含量和附加值。政府可以出台相关政策，鼓励企业将科技成果转化为实际产业，并提供相关的优惠政策和扶持措施，支持企业进行市场推广。

其次，拓展服务业。随着经济的不断发展，服务业已经成为了经济的支柱产业。兰州应该通过发展旅游业、文化产业等服务业，来增加城市的文化魅力和吸引力。此外，兰州还可以发展现代物流、金融、信息技术等服务业，来满足人们日益增长的生活需求。

再次，发展新兴产业。新兴产业是未来经济的主要增长点，兰州需要通过发展新兴产业来改善产业结构单一的问题。兰州可以发展生物制药、光电子、复合材料等新兴产业，提高产业结构的多样性和韧性。

最后，由于像成都、重庆、西安、昆明等城市都是在与周边城市的合作中逐步崛起的。因此，兰州也可以加强与周边城市的联系，共同发展。可以加强与周边城市如陇南、定西、天水等城市的合作和联系。这些城市的经济发展与兰州密切相关，通过资源共享和优势互补，共同推进产业结构的优化。

### 5.2.3 加大交通基础设施建设力度

为了进一步提高兰州的货运量，需要加大交通基础设施建设力度。

首先，应该加快铁路建设。目前，兰州已经形成了以兰州铁路局为核心的铁路交通网络，但由于铁路线路有限，货运能力也较低，需要继续扩建铁路线路，提高铁路货运能力。此外，应该加强铁路物流配套设施建设，增加货物集散中心和物流园区的数量，提高物流效率，满足市场需求。

其次，应该加快公路建设。公路是连接城市和周边地区的主要交通方式，也是货运的重要通道。兰州应该加快公路建设的速度，提高公路的通行能力和安全性，同时建设更多的物流园区和货运中心，为货物的集散和运输提供便利。

再次，应该加强水路交通建设。兰州地处黄河流域，应充分利用黄河的水路运输优势，加快航运设施建设，扩大水路运输能力，增加港口的数量，提高货物的运输效率和安全性。

最后，应该加强信息化建设。在交通运输领域，信息化建设已经成为不可或缺的一部分。兰州应该积极推进信息化建设，建设物流信息平台，提高物流信息的透明度和实时性，为货物的运输提供更加精准的服务。

综上所述，加大交通基础设施建设力度是提高兰州货运量的关键所在，需要加快铁路、公路、水路交通建设的速度，同时加强信息化建设，以满足市场需求，推动经济发展。

### 5.3 本章小结

本章根据第四章找出的影响节点发挥物流枢纽功能的三个主要因素，以兰州市为例，分析兰州市发展现状，找出兰州市与遴选出的物流枢纽存在的差距，分别从提高物流人才培养质量、优化产业结构、加大交通基础设施建设力度等三方面对兰州发挥物流枢纽功能提出对策建议。

## 6 总结与展望

### 6.1 主要结论

物流枢纽是现代物流网络中的重要节点，它是物流流通的交汇点和物流资源的集散地，承担着物流集散、转运、配送等重要功能。物流枢纽的建设和发展不仅有利于提高物流效率和降低物流成本，也对优化物流产业布局、促进区域经济发展、提升国家物流水平具有重要意义。本文以西部陆海新通道、物流网络、复杂网络等相关理论为指导，在分析国内外学者研究成果的基础上，研究西部陆海新通道物流枢纽网络的相关问题。研究的主要结论为：

(1) 使用了物流网络建模方法，将西部陆海新通道涉及的 132 个节点城市抽象为单个物流节点，用于周转物流资源；将节点之间的连线抽象为物流联系，用于物流运输。由于缺乏节点间实测数据，使用辐射模型计算节点间的边权值，构建了一个加权物流网络模型，并使用 ArcGIS 软件进行可视化。可视化结果表明，经济发达城市位于物流网络的密集区域，而经济欠发达城市则位于物流网络的稀疏区域，与实际情况相符。这证明了本文所采用的物流网络建模方法的可行性。

(2) 基于节点质量—节点结构中心性的方法遴选出西部陆海新通道中的物流枢纽。首先，基于聚类分析选出物流质量高的城市为物流枢纽；其次，根据节点城市的网络中心性排名选择物流枢纽；最后综合两个选择结果，遴选出成都、重庆、西安、昆明等四个城市为物流枢纽。

(3) 《西部陆海新通道总体规划》文件中规划出 22 个物流枢纽，本文基于现实数据构建出的西部陆海新通道物流网络中遴选出 4 个物流枢纽，因此我们构建面板数据模型辨析出区域生产总值、物流相关从业人员数、货运量等为影响 18 个物流节点发挥物流枢纽作用的主要因素。

(4) 以兰州市为例，分别从提高物流人才培养质量、优化产业结构、加大交通基础设施建设力度等方面提出兰州市发挥物流枢纽功能的对策建议。

### 6.2 未来展望

本文虽然对西部陆海新通道物流网络构建和结构性特征、物流枢纽主要影响因素进行了系统性的研究分析，但是仍然存在如下问题需要进一步展开深入研究：

(1) 物流节点的评价指标体系建设尚有待深入研究。目前, 对于物流节点评价方面的研究尚不深入, 既有区域物流节点评价指标尚未形成系统性, 很难对物流节点进行全面有效的评价, 影响对物流枢纽的规划, 需要进行必要的研究和探索。

(2) 本文最终通过面板回归模型找出影响节点发挥物流枢纽功能的主要因素, 并且提出物流节点发展的建议, 但是现实中怎样具体进行物流枢纽的布局规划, 还有待结合具体实际情况进行具体分析。

## 参考文献

- [1] 中华人民共和国国家发展和改革委员会.《西部陆海新通道总体规划》[EB/OL]. (2019-08-15). [http://www.ndrc.gov.cn/xxgk/zcfb/ghwb/201908/t20190815\\_962256.html](http://www.ndrc.gov.cn/xxgk/zcfb/ghwb/201908/t20190815_962256.html).
- [2] 谭庆红. 西部陆海新通道建设的机遇、问题及路径[J]. 社会科学家, 2022(08):88-95+103.
- [3] 郭秀娟, 陈清琪, 刘哲芸. 北部湾港集装箱运输发展策略分析[J]. 水运工程, 2022(10):44-47+89.
- [4] 宗会明.“一带一路”背景下中国内陆城市对外贸易格局演变及影响因素分析——以重庆市为例[J]. 学术论坛, 2020, 43(01):99-108.
- [5] 杨波, 陈园园. 西部陆海新通道成渝物流枢纽建设的竞合博弈策略研究[J]. 铁道运输与经济, 2022, 44(08):1-8.
- [6] 刘娴. 建设西部陆海新通道：中国广西的现状、问题及对策[J]. 东南亚纵横, 2019(06):67-76.
- [7] 熊灵, 徐俊俊. 南向通道建设的“一带一路”联动效应: 影响与挑战[J]. 边界与海洋研究, 2019, 4(01):38-53.
- [8] 温清, 马海霞. 西部陆海新通道沿线地区经济发展时空差异及影响因素研究[J]. 新疆师范大学学报(自然科学版), 2021, 40(02):44-51.
- [9] 陈海燕, 董秦男. 西部陆海新通道节点城市创新空间差异及影响分析[J]. 重庆理工大学学报(社会科学), 2021, 35(05):58-67.
- [10] 杨耀源.“双循环”新发展格局下推进西部陆海贸易新通道高质量发展的关键路径[J]. 商业经济研究, 2021(07):145-150.
- [11] 王德占. 加快西部陆海新通道建设的研究[J]. 综合运输, 2022, 44(08):116-119+133.
- [12] 王景敏.“西部陆海新通道”物流系统建设面临的挑战与应对之策[J]. 对外经贸实务, 2019(05):83-85.
- [13] 杨磊, 汉霞, 吴云云. 西部陆海新通道高质量发展研究[J]. 铁道货运, 2021, 39(07):35-40.
- [14] 傅远佳. 中国西部陆海新通道高水平建设研究[J]. 区域经济评

- 论,2019(04):70-77.
- [15]赵光辉,谢柱军,任书玉.西部陆海新通道枢纽经济效益分析[J].东南亚纵横,2020(02):94-102.
- [16]刘英奎,任国萍,张文娅.中国西部地区开放型经济发展对策研究[J].区域经济评论,2021(05):99-105.
- [17]GB/T 18354-2021,物流术语[S].北京:中国标准出版社,2021.
- [18]刘艳,王小臣.京津冀物流空间联系研究——基于引力模型[J].商业经济研究,2019(15):105-108.
- [19]梁晨,刘小娟,龚艳侠,赵琨,温卫娟.京津冀多枢纽混合轴辐式物流网络的构建[J].中国流通经济,2019,33(06):118-126.
- [20]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(02):108-113.
- [21]付江月,张锦,熊杰,陈以衡.城市物流网络空间结构加权局域世界演化模型研究[J].复杂系统与复杂性科学,2015,12(03):38-44.
- [22]吴桐雨,王健.基于多层复杂网络的物流枢纽城市多尺度分析及发育评价[J].交通运输系统工程与信息,2019,19(01):33-39.
- [23]曹炳汝,尹娣.基于轴-辐式理论的长三角区域物流网络的构建研究[J].地理与地理信息科学,2016,32(02):105-110.
- [24]李明芳,薛景梅.京津冀轴辐式区域物流网络的构建与对策[J].中国流通经济,2015,29(01):106-111.
- [25]王飞飞,侯云先.京津冀城市群现代物流网络构建实证研究[J].华南理工大学学报(社会科学版),2016,18(06):8-13.
- [26]Giuliano G, Kang S. Spatial dynamics of the logistics industry: Evidence from California[J]. Journal of Transport Geography, 2018, 66: 248-258.
- [27]Heitz A, Dablanc L, Olsson J, et al. Spatial patterns of logistics facilities in Gothenburg, Sweden[J]. Journal of Transport Geography, 2020, 88: 102191.
- [28]徐秋艳,房胜飞.物流产业集聚的经济溢出效应及空间异质性研究——基于省际数据的空间计量分析[J].工业技术经济,2018,37(02):58-65.
- [29]张枢盛.新常态下分省物流产业空间集聚变革——基于物流 A 级企业的对比

- 研究[J].中国流通经济,2019,33(02):11-19.
- [30]高康,王茂春,张步阔.长江经济带物流业集聚的时空格局与影响因素研究[J].资源开发与市场,2018,34(09):1296-1303.
- [31]Lee K L, Huang W C, Teng J Y. Locating the competitive relation of globallogistics hub using quantitative SWOT analytical method[J]. Quality & Quantity,2009, 43(1): 87-107.
- [32]金凤花,李全喜,孙磐石.基于场论的区域物流发展水平评价及聚类分析[J].经济地理,2010,30(07):1138-1143.
- [33]Wei H, Sheng Z, Lee P T W. The role of dry port in hub-and-spoke network under Belt and Road Initiative[J]. Maritime Policy & Management, 2018, 45(3): 370-387.
- [34]戴德宝,范体军,安琪.西部地区物流综合评价与协调发展研究[J].中国软科学,2018(01):90-99.
- [35]刘思婧,李国旗,金凤君.中国物流集群的量化甄别与发育程度评价[J].地理学报,2018,73(08):1540-1555.
- [36]刘进.基于时空消耗法的区域物流枢纽承载能力研究[J].物流工程与管理,2019,41(01):53-55.
- [37]马鸣晴,李从东,杨卫明.智慧物流发展水平的动态测评——基于中国省际面板数据的实证研究[J].科技管理研究,2022,42(13):189-198.
- [38]Raimbault N, Jacobs W, Van Dongen F. Port regionalisation from a relational perspective: the rise of Venlo as Dutch international logistics hub[J]. Tijdschrift voor economische en sociale geografie, 2016, 107(1): 16-32.
- [39]Sopadang A, Banomyong R. Combining AHP and TOPSIS method for logistics hub selection[J]. International Journal of Management and Decision Making, 2016, 15(2): 134-153.
- [40]Seo J K, Cho M, Skelton T. “Dynamic Busan”: Envisioning a global hub city in Korea[J]. Cities, 2015, 46: 26-34.
- [41]杨山峰.“一带一路”下我国物流枢纽建设实证研究——以郑州空港为例[J].商业经济研究,2021(12):107-109.

- [42] 曹允春, 罗雨. 空港型国家物流枢纽承载城市航空物流关联程度及其网络结构研究[J]. 技术经济, 2020, 39(08): 174-182+190.
- [43] 蒋自然, 雷丽萍, 金环环, 张建珍. 中国陆港型物流枢纽时空演化及其驱动因素[J]. 地理科学, 2022, 42(11): 1857-1866.
- [44] 赵志刚, 周根贵, 杜辉. 复杂加权供应链网络级联抗毁性研究[J]. 小型微型计算机系统, 2019, 40(12): 2591-2596.
- [45] 罗杭, 李博轩. 国际结构分析与国家权力测量——基于大数据的网络分析[J]. 世界经济与政治, 2021(06): 48-82+157-158.
- [46] 李永奎, 常诚, 郭英, 李彪. 高铁网络与城市关联的时空演化与相关性分析[J]. 华东经济管理, 2019, 33(03): 5-11+2.
- [47] 刘敏, 薛伟贤, 赵璟. 全球数字贸易中的竞争互补关系及其演化——基于社会网络分析方法[J]. 国际经贸探索, 2021, 37(10): 54-69.
- [48] 王泽东, 张小林, 孙东琪, 孙海燕. 渤海海峡跨海通道建设前后区际城市群物流网络结构的时空演变[J]. 地理研究, 2020, 39(03): 585-600.
- [49] 海峰, 阎欣, 丁灿, 邵校. 基于轴辐理论的现代区域物流网络节点选择[J]. 计算机集成制造系统, 2012, 18(06): 1299-1305.
- [50] 宗会明, 蔡冰洁, 冶建辉. 物流发展与新型城镇化耦合指标体系的构建及应用[J]. 西南大学学报(自然科学版), 2017, 39(06): 100-106.
- [51] 刘晓航. 甘肃物流网络及其集散能力研究[D]. 兰州财经大学, 2019.
- [52] 李勇辉, 白利鹏, 王莉. 中国城市物流绩效评价与竞争力实证研究[J]. 河南社会科学, 2020, 28(03): 65-75.
- [53] 杨宏伟, 郑洁, 程中海. “一带一路”沿线物流业影响因素的空间计量分析[J]. 工业技术经济, 2019, 38(05): 112-120.
- [54] 李国俊, 付青叶. 西部地区物流发展水平的评价与实证[J]. 统计与决策, 2016(03): 73-76.
- [55] 曹志强, 杨箐, 叶子瑜. “陆海新通道”下区域物流系统综合评价与轴辐网络构建研究——以广西为例[J/OL]. 系统科学学报, 2022(01): 119-124.
- [56] 曹晓军, 季训霞, 马娇, 彭会萍. 西部陆海新通道的物流网络研究[J]. 商学研究, 2022, 29(03): 85-95.

- [57] 邓银燕. 缺失数据的填充方法研究及实证分析[D]. 西北大学, 2010.
- [58] 石震, 李战江, 刘丹. 基于灰关联-秩相关的绿色经济评价指标体系构建[J]. 统计与决策, 2018, 34(11): 28-32.
- [59] Ogowang T, Cho D I. Olympic rankings based on objective weighting schemes[J]. *Journal of Applied Statistics*, 2021, 48(3): 573-582.
- [60] Simini F, González M C, Maritan A, et al. A universal model for mobility and migration patterns [J]. *Nature*, 2012, 484(7392): 96-100.
- [61] 侯贺平, 刘艳芳, 李纪伟, 贺三维. 不同模型在镇域空间相互作用中的应用与比较分析——以湖北省大冶市为例[J]. 人文地理, 2014, 29(05): 63-68+7.
- [62] 崔大树, 袁璐. “互联网+”背景下长三角城市群空间组织重构——基于复杂网络结构的视角[J]. 财经论丛, 2016(11): 20-28.
- [63] 王宁宁, 赵宇, 陈锐. 基于辐射模型的城市信息空间关联复杂网络研究[J]. 经济地理, 2015, 35(04): 76-83.
- [64] 李秋萍, 贾靖楠, 张云菲, 栾学晨, 马若飞. 基于货运轨迹数据的城市间货物流动特征分析[J]. 测绘地理信息, 2022, 47(05): 84-88.
- [65] 李瑞龙, 周永根, 陈锐, 赵宇. 基于复杂网络的城市间创新关联与空间格局[J]. 系统工程, 2017, 35(10): 105-113.
- [66] 张林, 姚进才, 王钦, 孙永权. 发展物流产业助推区域经济增长的协同凝聚研究——基于国家物流枢纽城市面板数据[J]. 城市发展研究, 2021, 28(05): 1-6.
- [67] 才让加, 高边玛草. 甘青川滇藏区物流产业竞争力水平及其提升研究[J]. 西北民族大学学报(哲学社会科学版), 2020(03): 36-43.
- [68] Matsubayashi N, Umezawa M, Masuda Y, et al. A cost allocation problem arising in hub-spoke network systems[J]. *European Journal of Operational Research*, 2005, 160(3): 821-838.
- [69] 唐澜, 吴晋峰, 王金莹, 杨新菊. 中国入境商务旅游流空间分布特征及流动规律研究[J]. 经济地理, 2012, 32(09): 149-155.
- [70] 杜超, 王姣娥, 莫辉辉. 中国集装箱航运网络空间格局及复杂性研究[J]. 长江流域资源与环境, 2016, 25(02): 190-198.
- [71] 陈芙蓉, 胡志华. 海上丝绸之路东南亚航运网络空间格局研究[J]. 大连海事大学

- 学报,2016,42(04):91-96+104.
- [72]刘婵娟,胡志华.“21世纪海上丝绸之路”海运网络空间格局及其复杂性研究[J].世界地理研究,2018,27(03):11-18.
- [73]阮素梅,丁忠明,刘银国,杨善林.股权制衡与公司价值创造能力“倒U型”假说检验——基于面板数据模型的实证[J].中国管理科学,2014,22(02):119-128.
- [74]杜浩然,黄桂田.产权结构变动对经济增长的影响分析——基于中国30省份1995—2013年面板数据的实证研究[J].经济科学,2015(03):20-31.
- [75]王风云,苏焯琴.京津冀能源消费结构变化及其影响因素[J].城市问题,2018(08):59-67.
- [76]王维国,付裕,刘丰.老龄化对收入不平等的非线性影响:跨国面板数据的经验[J].系统工程理论与实践,2022,42(06):1497-1510.
- [77]周强.我国农产品流通效率及其提升路径研究[D].北京交通大学,2019.

## 攻读硕士学位期间发表论文及科研情况

发表论文:

[1]曹晓军,季训霞,马娇,彭会萍.西部陆海新通道的物流网络研究[J].商学研究,2022,29(03):85-95.

[2]参与撰写《中国智慧物流》，出版时间，2022.3，出版社：中国财政经济出版社.

参与课题:

甘肃省科技厅自科项目：基于复杂网络的区域物流效率研究(20JR5RA205)；

甘肃省科技厅软科学课题：丝绸之路背景下甘肃物流集散能力研究(20CX4ZA059)；

甘肃省电子商务技术与应用重点实验室，甘肃特色农产品跨境电商物流问题研究(2018GSDZSW63A12)。

## 致谢

行文至此，意味着我的学生生涯即将画上句号。在这三年的时间里，感谢在学生生活最后一程中遇到的每一个人。

首先，我想先向我的导师曹晓军教授表示由衷的感谢。在每周一次的组会中曹老师都会对我汇报的方式以及内容提出宝贵的意见，让我能够及时对自己的学习方式进行调整。曹老师严谨的学术态度和深刻的学术见解时常感染到我，印象最深刻的一次是对于开题报告文字的修改，由于我匮乏的文字功底，导致开题报告的书写一直停滞不前，此时的曹老师会坐在电脑桌前不厌其烦的教我每一句话该如何修改，现在想来，这样的场景在三年来一直在出现，我的导师亲身给我示范了如何学习，如何认真的去对待工作，也真的教会了我不管在现在的学习还是今后的工作中，都要以一个认真负责的态度去面对。曹老师不仅在学术上对我给予了帮助，在生活上也是呵护备至，每次遇到疫情封校的时候，他都会打电话给我们给予宽慰，在健康码被赋黄码时让我不要害怕。

其次，我要感谢同实验组的彭会萍老师，在这三年来不管是每周汇报还是在论文的定题，彭老师都会悉心的给予我意见并帮助我一次次进行修改，正因为有了彭老师的帮助才最终敲定了我论文的选题。彭老师让我们在这个大家庭中感受到温暖和归属感，犹记得那年盛夏，彭老师总会大包小包的给我们带来各种水果，让我们品尝兰州独特的美味。同样，也要感谢实验组的张克宏老师、王国兴老师以及张明军老师在组会上的指导以及在学习和生活上的帮助，让我可以顺利地完成任务。

还要感谢这三年在他乡遇到了志同道合的小伙伴们。感谢三个师姐、师兄、师弟们，在这三年来带给我的温暖、支持和帮助，我们共同度过了这段难忘的时光；同门是最独一无二的称呼，感谢我的同门这三年来的陪伴，每每在我觉得很难的时候，身边一定都会有她，会告诉我没关系，会给我买好吃的，会尽她所能的帮我。她是我这三年身处异地陪我左右的家人，感觉在每个不被注意的缩影里面都有我两在一起的身影，一起学习、一起吃饭、一起玩耍，甚至会一起去医院，在每个需要与被需要的时候，我两从来都有对方；感谢我的两个舍友，能让我在宿舍感受到放松与宽慰，其实我们三能同时出现在宿舍的机会大部分只有晚上，但我们每次都会在回到宿舍的时候倾听大家的心事并给予开导，在学习上互相督

促，一起进步。

父母是我生命中最重要导师和支持者，他们默默地为我付出，给予我无私的关爱和支持。正是因为有了他们的支持和鼓励，我能够在学业和生活中克服各种困难和挑战。我会永远珍惜他们给我带来的温暖和力量，感激他们无私的爱和奉献。

最后，我想跟自己说一声谢谢，谢谢你在前行的路上从未放弃过，希望在以后，你可以一直坚持自己的想法，永葆初心，一直快乐！