引文格式:何建华,许澎,李亚静,等.城乡空间结构的非均衡性格局及其演变特征:以武汉市蔡甸区为例[J].武汉大学学报(信息科学版),2026,51(4):802-814.DOI:10.13203/j.whugis20240229

Citation: HE Jianhua, XU Peng, LI Yajing, et al. Unbalanced Pattern of Urban-Rural Spatial Structure and Its Evolution Characteristics: Taking Caidian District of Wuhan City as an Example[J]. Geomatics and Information Science of Wuhan University, 2026, 51(4):802-814.DOI:10.13203/j.whugis20240229

城乡空间结构的非均衡性格局及其演变特征:以武汉市蔡甸区为例

何建华[1] 许 澎[1] 李亚静[2] 张恒郡[1,3] 陈 飞[4,5]

1 武汉大学资源与环境科学学院,湖北 武汉,430079
2 广州南方测绘科技股份有限公司,广东 广州,510663
3 61363部队,陕西 西安,710054
4 广州市城市规划勘测设计研究院有限公司,广东 广州,510060
5 广州市资源规划和海洋科技协同创新中心,广东 广州,510060

摘 要:测度城乡差异、认知城乡发展规律是促进城乡均衡发展需要首先关注的科学问题。当前,已有的研究多围绕城乡收入差距、公共服务配置差异与城乡发展协调度展开,对城乡空间结构差异的关注较少。城乡空间结构反映着城乡系统的空间组织关系,测度城乡空间结构的非均衡性格局可以从空间视角认知城乡关系的演变规律与机制,对于促进城乡融合发展有重要意义。聚焦城乡空间结构的非均衡性格局,以武汉市蔡甸区为研究区,采用网络视角构建城乡空间结构,得到基于交通关联、企业关联以及耦合交通、企业关联与城乡属性要素的多元城乡网络。在此基础上,创建城乡网络结构均衡性测度体系:从局部视角,选取指标量化了各个节点在网络中的地位与作用;从整体视角,创建城乡网络结构均衡指数,结合网络分析指标构建了城乡网络结构均衡指数测度体系,测度了多元城乡网络结构的整体均衡程度。结果表明:①蔡甸区交通系统逐渐完善,连通效率逐年提高,城乡节点之间差距显著减小,城乡交通呈现明显的均衡发展态势。②蔡甸区城乡企业空间关系呈核心-边缘结构,蔡甸城关、奓山街、沌阳街、沌口街、军山街等工业条件优越的区域作为核心,对其他边缘区域起到了正向积极的带动作用,城乡企业联系呈现融合发展的趋势。③城乡综合互动呈现空间集散效应。随着经济发展,资源、要素不断集聚在蔡甸城关、沌阳街、沌口街等中心区域的同时开始向外扩散,至2020年城乡互动扩散至外围区域,城乡互动整体表现出多中心发展趋势。并结合城乡空间结构的非均衡性格局演变特征,提出了相应的政策建议,可为促进城乡空间均衡发展提供一定参考。

关键词:城乡空间结构;城乡关系;城乡网络;城乡网络结构均衡指数;非均衡格局;空间演变特征

中图分类号:P208;F323 **文献标识码**:A **收稿日期**:2025-01-10

DOI:10.13203/j.whugis20240229 **文章编号**:1671-8860(2026)04-0802-13

Unbalanced Pattern of Urban-Rural Spatial Structure and Its Evolution Characteristics: Taking Caidian District of Wuhan City as an Example

HE Jianhua[1] *XU Peng*[1] *LI Yajing*[2] *ZHANG Hengjun*[1,3] *CHEN Fei*[4,5]

1 School of Resources and Environmental Sciences, Wuhan University, Wuhan 430079, China
2 South Surveying & Mapping Technology Co., Ltd., Guangzhou 510663, China
3 Troops 61363, Xi'an, 710054, China
4 Guangzhou Urban Planning & Design Survey Research Institute Co., Ltd., Guangzhou 510060, China
5 Collaborative Innovation Center for Natural Resources Planning and Marine Technology of Guangzhou, Guangzhou 510060, China

Abstract: **Objectives**: To promote urban-rural balanced development, the primary scientific focus should be on measuring the urban-rural differences and recognizing the laws of urban-rural development. Currently, most of the existing studies focus on the urban-rural income gap, differences in public service allocation

基金项目:国家自然科学基金(42171260,42293271);广州市资源规划和海洋科技协同创新中心项目(2023B04J0301,2023B04J0326)。

第一作者:何建华,博士,教授,现从事城市网络化过程分析建模、空间优化研究。hjianh@whu.edu.cn

通信作者:李亚静,博士。leliyj@whu.edu.cn

and urban-rural development coordination, with less attention paid to differences in urban-rural spatial structures. The urban-rural spatial structure reflects the spatial organization of the urban-rural system. Measuring the unbalanced pattern of the urban-rural spatial structure can help to recognize the evolution laws and mechanisms of urban-rural relations from a spatial perspective, which is of great significance for promoting the integrated urban-rural development. **Methods:** We focus on the unbalanced pattern of urban-rural spatial structure, take Caidian District of Wuhan City as the study area, and adopt the network perspective to construct multiple urban-rural networks based on transportation relations, enterprise relations and urban-rural comprehensive interaction coupling traffic relations, enterprise relations and attribute elements. On this basis, from the local perspective, indicators are selected to quantify the status and role of each node in the network; from the overall perspective, we create a balance index of urban-rural network spatial structure, and combine the network analysis indicators to construct the measurement system of urban-rural network spatial structure balance index, which measures the overall degree of balance of the spatial structure of urban-rural networks. **Results:** The results show that : (1) The transportation system in Caidian District was gradually improved, the connectivity efficiency increased year by year, the gap between urban and rural nodes was significantly reduced, and urban-rural transportation showed an obvious balanced development trend. (2) The spatial relationship between urban and rural enterprises in Caidian District is characterized by a core-periphery structure. Caidian Chengguan, Xishan Street, Zhuanyang Street, Zhuankou Street, Junshan Street and other areas with superior industrial conditions serve as the core, which have played a positive and active role in promoting other peripheral areas. The urban-rural enterprise relation shows a trend of integrated development. (3) The comprehensive urban-rural interaction shows a spatial agglomeration and diffusion effect. With economic development, resources and factors continued to gather in the central urban areas such as Caidian Chengguan, Zhuanyang Street, and Zhuankou Street and began to diffuse outward. By 2020, urban-rural interaction had spread to peripheral areas, with urban-rural interaction as a whole showing a polycentric development trend. **Conclusions:** We put forward corresponding policy recommendations in combination with the characteristics of the evolution of the unbalanced pattern of urban-rural spatial structure, which can provide some reference for promoting urban-rural balanced development.

Key words: urban-rural spatial structure; urban-rural relations; urban-rural network; the balanced index of urban-rural network structure; unbalanced pattern; spatial evolution characteristics

改革开放以来,中国城乡二元分割的体制逐渐被打破,城乡关系逐渐走向融合[1],然而长期的城乡二元体制导致的城乡差距扩大、生产要素流通不畅等问题仍未消除[2]。促进城乡要素自由流动、平等交换,缩小城乡差距,促进城乡均衡发展成为新时代城乡融合发展的核心内容[3]。测度城乡差异,通过差异的量化识别城乡融合发展状态,进而认知城乡发展演变规律是探索城乡融合发展路径、促进城乡均衡发展的重要基础与前提,已成为学界重点关注的课题。

现有研究对城乡差异的测度重点包括了城乡收入差距剖析、公共服务资源分配差异测度以及城乡发展协调度的测度等方面。在城乡收入差距方面,文献[4-8]探究了人力资本、产业结构、数字经济发展等因素对城乡收入差距的作用,对城乡收入差距的时空演变规律进行了定量的测度分析;在公共服务资源分配差异方面,文献[9-12]采用多因素综合评价以及空间分析等方法测度了城乡教育、医疗、基础设施等基本公共服务设施的非均衡配置现状,并探索了其空间分布规律;在城乡发展协调度的测度方面,文献[13-16]选取指标量化了城乡在人口、经济、社会等多个维度的差异,综合测度了城乡发展的协调程度,并分析了其影响因素与变化规律。

但是从空间视角测度城乡空间结构差异的研究较少。空间结构是人类经济活动作用于一定地域范围所形成的组织形式,反映了区域经济系统中各个系统、各个要素之间的空间组织关系,包括相互位置、相互关联、相互作用、聚集程度、聚集规模以及地区的相对平衡关系等,是社会经济活动在地理空间上的投影[17]。城乡空间结构反映着城乡系统中要素的空间联系与相互作用关系,通过对城乡空间结构差异的测度,可以反映城乡系统中要素流动、资源分配的空间差

异,识别城乡空间结构的非均衡性格局,从空间角度揭示城乡融合发展状态。因此,亟需展开对城乡空间结构的非均衡性格局的测度。

在已有的针对城乡空间结构的研究中,学者们主要利用空间自相关、*k*-means聚类、地理探测器等方法构建城乡空间结构[18-19]。然而随着社会经济的快速发展,区域空间组织形式由等级性的中心地模式逐渐向多中心、扁平化、流动性的网络模式转变[20],得益于高速公路、铁路等交通系统的完善与人口、资金、技术等要素在城乡间的频繁流动,城乡空间结构也趋于网络化,传统理论与空间分析方法已不能很好地解释多元复杂的空间结构,需要引入网络化研究视角。

基于此,本文聚焦城乡空间结构的非均衡性格局,借鉴城市体系研究的网络范式[21],采用网络视角对城乡空间结构进行构建,提出城乡网络的构建与测度方法,构建多元城乡网络,测度多元城乡网络结构的均衡性,在此基础上分析多元城乡网络结构的时空演变,进而识别城乡空间结构的非均衡性格局及其演变特征,以期揭示城乡融合发展空间演变规律,并从空间角度为推进城乡融合发展与乡村振兴提供决策支持。

1 研究区与数据来源

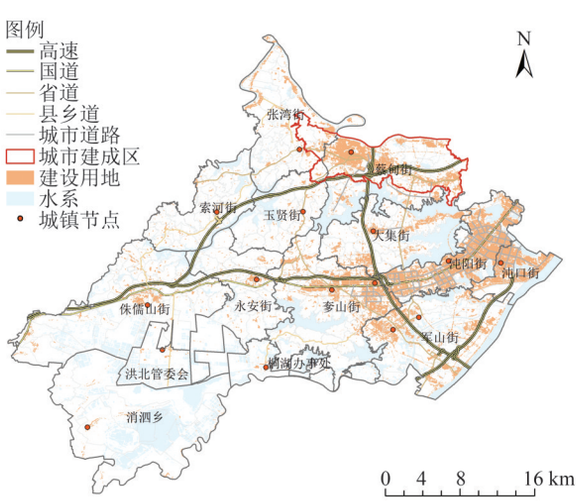
1.1 研究区

蔡甸区位于长江与汉江交汇的三角地带、江汉平原东部、武汉市西南部,地跨113°41′E—114°13′E、30°15′N—30°41′N之间,如图1所示。该区地处武汉市近郊、1 h通勤圈以内,交通便捷,作为武汉市四大副城之一的车谷副城的重要组成区域,以及武汉市的现代化产业新城,资金、技术、劳动力等要素在城乡之间流动频繁,政策制度以及发展战略等具有典型性。

改革开放至2000年以前的这段时期,蔡甸区先后被确立为湖北省对外开放县,并成立蔡甸经济开发区,凭借着良好的区位优势,蔡甸区的工业经济得以稳步发展,但城乡之间仍存在等级分异与发展乏力的问题。随着中部崛起战略的实施以及武汉“1+8”城市圈建设步伐的加快,蔡甸区作为武汉向江汉平原拓展的纽带,具有承接中心城区产业转移和周边城市产业对接的双重优势,全区产业加快转型,经济发展方式从外延式向内涵式转变,推动了城乡融合发展,促使空间结构不断优化调整。综合考量城乡发展的阶段政策、武汉市阶段发展目标、重大事件节点以及蔡甸区的基本情况,同时兼顾数据的可获取性与可比性,本文选择2000年、2010年与2020年这3个具有代表性的时间节点,实证分析城乡空间关系的演变。

1.2 数据来源

通过对原始数据的清洗、处理与修正,得到2000年、2010年、2020年蔡甸区交通路网矢量数据(OpenStreetMap平台、高德地图、武汉市电子地图、《中国交通地图集》)、街道与行政村劳动力人口数据(《蔡甸区国民经济和社会发展统计公报》、WorldPop数据集、第六次和第七次全国人口普查数据)、土地利用类型数据(蔡甸区年度土地调查数据、中国科学院资源环境科学数据中心、GlobeLand30数据),2000年有效企业565家、2010年企业3 755家、2020年企业27 870家(企查查网站)。由于各街道、行政村的国内生产总值(gross domestic product,GDP)无法直接获取,因此本文以蔡甸区总GDP(《武汉统计年鉴》《蔡甸区国民经济和社会发展统计公报》《蔡甸区国民经济和社会发展第十四个五年规划和二〇三五年远景目标纲要》)为依据,通过土地利用数据、夜间灯光数据(美国国家环境信息中心)对区域第一、二、三产业产值进行计算与综合修正,得到2000年、2010年、2020年蔡甸区各街道与行政村的GDP[22-24]。



注:底图来源于武汉市自然资源和规划局,行政界线未修改。

图1 研究区位图

Fig. 1 Location Map of the Study Area

2 研究方法

在城乡系统中,交通、企业、劳动力人口、用地等要素承载着重要的城乡交互信息。道路交通是城乡空间实体联系的基础与要素流通的路

径,反映了城乡联系的水平;企业联系是城乡经济联系的主要载体,承载着资金、技术、劳动力、信息等各类要素在城乡之间的流动与交换,企业间通过建立投资关系、设置分支机构等实现各类要素在城乡之间的转移与扩散,反映着城乡之间的经济互动关系;劳动力人口作为最基本的生产者和消费者,推动区域经济发展与调整,带动城乡之间的经济交流,而用地作为城乡活动的基本空间载体,往往表征区域发展状态,劳动力规模、用地等属性要素对城乡联系与相互作用具有重要的塑造作用[25-26]。

因此,本文选取交通要素、企业要素以及劳动力人口、用地等属性要素,采用网络化视角构建城乡空间结构,选取2000年、2010年、2020年3期数据,基于连锁网络模型、引力模型等,将各个城镇、社区、行政村抽象为节点(其中城镇、社区节点为城节点,行政村为乡村节点),不同节点间的不同互动关系为连接边,将节点间联系强弱的量化结果作为边的权重,将城乡之间的联系抽象、映射到网络之中,分别构建出基于路网拓扑结构的城乡交通关联网络、基于企业联系的城乡企业关联网络,以及耦合道路和企业网络特征、城乡节点属性的城乡综合互动网络。

在此基础上,结合社会网络分析方法构建城乡网络结构均衡性测度体系,测度城乡空间结构的非均衡性格局,识别其时空演变特征,揭示城乡融合发展的空间演变规律,并结合蔡甸区实际情况,提出城乡空间非均衡结构格局优化的政策建议,畅通城乡资源双向流动渠道,培育和发展增长中心及发展轴线,促进城乡空间均衡发展,助力形成城乡融合发展的空间格局[27]。整体技术路线如图2所示,其中存在两个关键技术问题,即多元城乡网络构建和城乡网络结构均衡性测度。

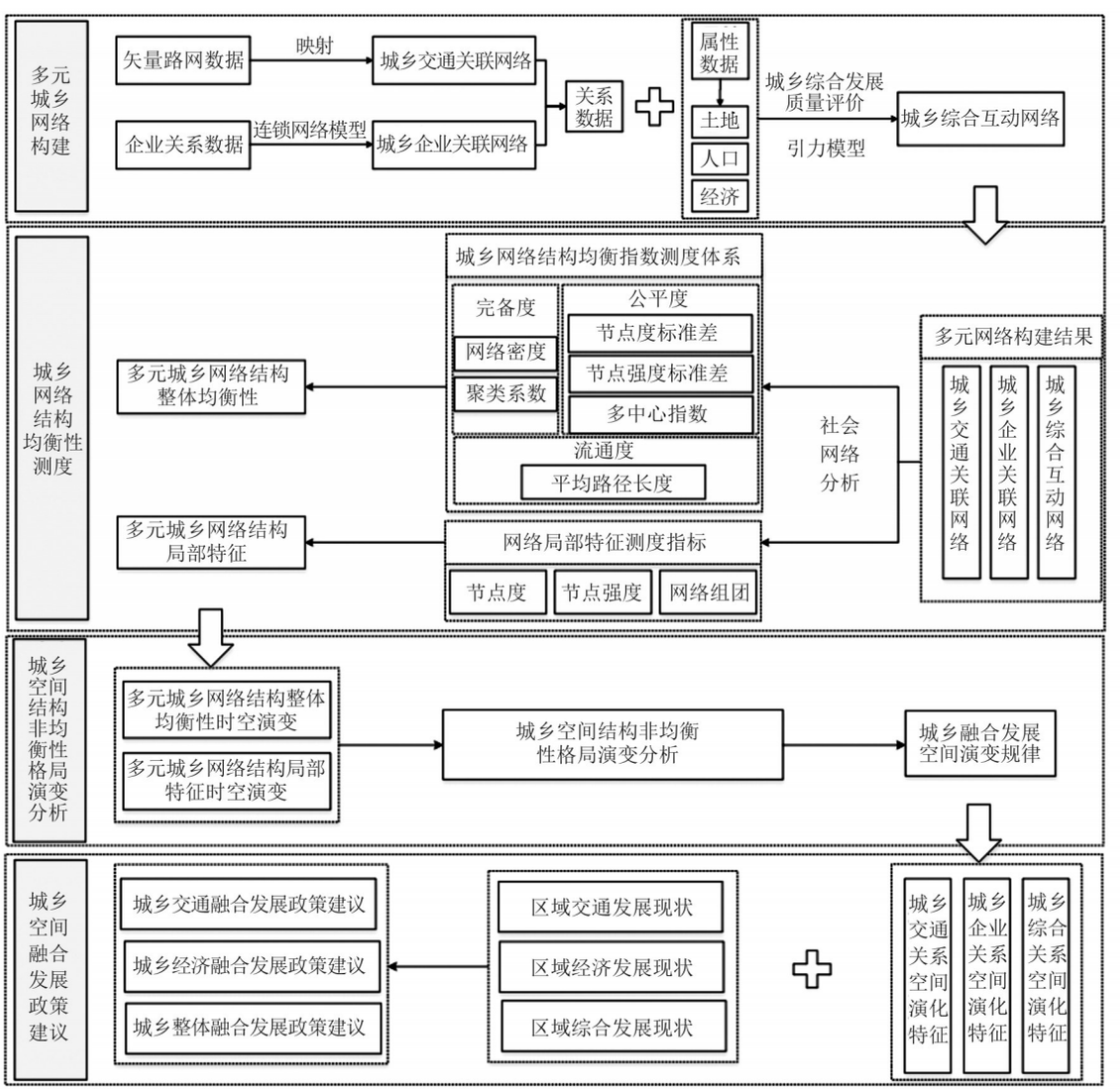


图2　技术路线图

Fig. 2　Technology Roadmap

2.1 多元城乡网络构建

2.1.1 城乡交通关联网络构建

借助图论分析,将实体网络抽象量化为数据模型,构建城乡道路网络[28]。将公路的交叉口抽象为节点,每条公路间实际的连通路段抽象为边,同一线路上实际相邻的两个节点之间才存在连接边,边的权重为不同路段之间最短通行时间的倒数,由节点之间的距离、公路等级、通行时间决定。如表1所示,依据《公路路线设计规范》(JTG D20—2017)、《公路工程技术标准》(JTG B01—2003)以及武汉市道路实际情况,对3个时间断面的不同等级公路的一般出行速度进行设定,形成无向加权的道路网络。

表1 等级公路一般设计时速/(km·h^{-1})

Table 1 General Design Speed of Grade Highway/(km·h^{-1})

公路等级	一般速度		
	2000年	2010年	2020年
高速公路	100	100	100
国道	70	80	80
省道	50	60	60
县乡道	25	30	40
城市道路	40	40	50

基于无向加权道路网络,使用SPACE-L(space lattice)建模方法将道路网络拓扑映射到城乡网络中[29]。依据道路网络与城乡节点的直接空间隶属关系进行转化,将街道、乡、行政村抽象为城乡网络节点,节点间道路拓扑连接关系抽象为边,并将道路的拓扑属性赋值给所属的行政区,最终转化为城乡网络,边的权重根据节点间最短路径时间的倒数确定。以2020年不同等级公路的一般出行速度为例,计算公式如下:

$$W_{ij}=1/\left(\frac{F_{ij}}{100}+\frac{N_{ij}}{80}+\frac{P_{ij}}{60}+\frac{U_{ij}}{50}+\frac{C_{ij}}{40}\right) \quad (1)$$

式中,W_{ij}为城乡节点之间公路连通的权重;F_{ij}、N_{ij}、P_{ij}、C_{ij}、U_{ij}分别为节点间高速公路、国道、省道、县乡道以及城市道路的路段长度。

2.1.2 城乡企业关联网络构建

基于连锁网络模型,通过企业与城市的空间隶属关系,将企业关系进行汇总,最终抽象为城乡节点之间的经济合作与信息、技术联系。

1)构建企业网络。将每个企业抽象为节点,将存在投资关系、分支机构与关联企业关系抽象为边。企业联系的权重一般通过投资额度、服务值等信息确定,但该类数据获取较难,因此,本文将企业联系数量作为权重,构建无向加权的企业联系网络。

2)借鉴连锁网络模型,构建基于企业网络的城乡企业关联网络。将城镇、社区、行政村抽象为城乡网络节点,企业关系抽象为边。根据企业所属的行政区,将企业节点的空间布局信息转化为企业在城乡节点间的关联关系矩阵,边的权重根据企业联系数量之和确定,最终形成城乡关联矩阵,即:

$$T_{ij}=\sum_{n}T_{ijx} \quad (2)$$

式中,T_{ij}表示城乡节点i与j之间企业联系的总强度;T_{ijx}表示城乡节点i与j之间通过企业x建立起的联系强度。T_{ij}值越大,代表城乡之间的互动越频繁。由此可建立一个$n\times n$阶城乡关联矩阵,基于该矩阵建立基于企业联系的城乡网络。

2.1.3 城乡综合互动网络构建

为了更加准确地反映城乡交互关系,考虑城乡节点自身对资源要素集聚的吸引力对城乡空间交互网络的影响,本文在空间关系数据的基础上增加城乡节点的基本属性数据,耦合道路与企业网络特征构建城乡综合发展质量评价体系,以评价结果为基础建立城乡综合互动网络。

1)城乡综合发展质量评价

考虑城乡节点属性,耦合道路与企业网络特征,采用层次分析法确定指标权重,构建城乡综合发展质量评价体系。其中,选取城乡交通关联网络度中心性表征城乡之间的要素流动的通达性,选取城乡企业关联网络的网络节点强度表征企业聚集强度和资源要素中介能力。同时,选取劳动力规模、建设用地规模、人均GDP等指标量化地区自身对资源要素的吸引力以及城乡交互能力的强弱,具体参数见表2。采用极差标准化法对数据进行处理,根据评价因子及其相应权重,通过定量模型计算城乡发展的综合分值。

表2 城乡综合发展质量评价指标体系

Table 2 Evaluation Index System of Urban-Rural Comprehensive Development Quality

准则层	指标层	权重	属性
要素流动	基于路网结构的城乡网络度中心性	0.168	+
	基于企业联系的城乡网络节点强度	0.174	+
自身属性	劳动力规模	0.141	+
	建设用地规模	0.139	+
	人均GDP	0.145	+
	平均可达性	0.120	−
	企业数量	0.112	+

2)网络构建

为了表征城乡之间的经济合作和空间交互

关系,本文从核心质量指标和时空距离两个方面对传统引力模型进行改进,以城乡发展综合质量代替传统参数,以公路为主要的通行方式,使用最短时空通行时间距离来代替传统的直线距离[30],得到以城乡为节点、企业联系为边、引力强度为边权重的综合互动网络。计算如下:

$$S_{ij}=a\frac{M_iM_j}{D_{ij}^b} \tag{3}$$

式中,S_{ij}为城乡节点i、j之间的关联强度值;a为比例常数,一般对结果无实质性影响,故取值为1;M_i和M_j分别为节点i和节点j的综合发展质量;D_{ij}为区域间的最短时空通行时间距离;b为摩擦系数,考虑到本研究需要涵盖城乡节点,空间尺度较小,故选择摩擦系数为2。

2.2　城乡网络结构均衡性测度

社会网络分析始于社会学领域[31],能够表征复杂系统中的不同行为主体之间的组织结构和相互作用关系,是研究复杂网络结构的经典方法[32],现已被广泛应用于空间网络分析。由于目前缺乏借助网络结构量化城乡均衡与融合发展状态的测度体系,本文结合社会网络分析方法,采用局部与整体结合的视角构建城乡网络结构均衡性测度体系,对多元城乡网络的结构均衡性进行测度。

从局部视角,选取网络分析指标中的节点度、节点强度量化各个节点在城乡网络中的中心性和重要性[33-35],并采用Fast Unfolding算法识别网络内部的凝聚子群,识别出网络中具有相对紧密联系的节点,以此反映不同节点在网络中的关系位置,以及系统中子结构的状态[36]。从整体的视角,创建城乡网络结构均衡指数,结合城乡均衡发展的实际内涵,从完备度、公平度、流通度3个方面选取指标构建城乡网络结构均衡指数的测度体系。完备度代表城乡网络发育完全的程度,在既定区域,节点之间联系越多、越紧密,则城乡网络覆盖越广,发育程度越高、越完备;公平度指资源、要素在节点之间分配的均衡程度,资源、要素在节点之间分配的差异越小,则城乡网络越公平;流通度指要素在网络中的流通效率,流通效率越高,则网络的流通度越高。

采用熵权法计算指标权重,最终得到的城乡网络结构均衡指数测度体系如表3所示。其中网络密度反映网络整体发育程度以及覆盖广度;网络整体聚类系数用于描述网络中节点之间集结成团的程度,可以从整体衡量网络中节点间的紧密连接程度;节点度是指与单个节点相连接的边的数目,其标准差可以描述节点度分布的均匀程度,反映节点间资源、要素分配的均衡程度;节点强度即加权度中心性,是指与单个节点相连接的所有边的权重总和,其标准差描述节点强度分布的均匀程度,反映节点间资源、要素分配的均衡程度;多中心性指数通常指中心节点的重要性分布的均匀程度,反映系统多中心规模的平衡分布情况;平均路径长度指网络中任意两个节点之间最短距离的平均值,平均路径长度越小,节点间连通需要中转的次数越少,反映网络中信息、要素传递的效率。

采用极差法对数据进行标准化,最终计算得到各网络的城乡网络结构均衡指数为:

$$B=\sum_{j=1}^{n}Z_{ij}\times e_j \tag{4}$$

式中,B为城乡网络空间结构均衡指数;Z_{ij}为网络i指标j的值;e_j为指标j的权重。

3　结果与分析

基于2000年、2010年、2020年3期数据,构建得到了3个时间节点的城乡交通关联网络、城乡企业关联网络以及城乡综合互动网络,并对城乡网络的结构均衡性进行了测度,图3至图5为多元城乡网络构建结果。表4为3个时间节点各个网络的城乡网络结构均衡指数计算结果。

3.1　城乡交通关联网络空间格局演变

整体来看,城乡交通关联网络呈均衡发展趋势。2000—2020年,网络结构均衡指数呈上升趋势,网络密度、聚类系数明显上升,网络的完备度提高反映出城乡交通关联网络中关系数量增加、节点间联系逐渐紧密。节点度、节点强度标准差小幅上升,但多中心性指数增大,网络的总体公平度提升,节点间交通差距减小。平均路径长度显著下降,网络的流通度上升,网络整体的连通程度和传输效率显著提升。

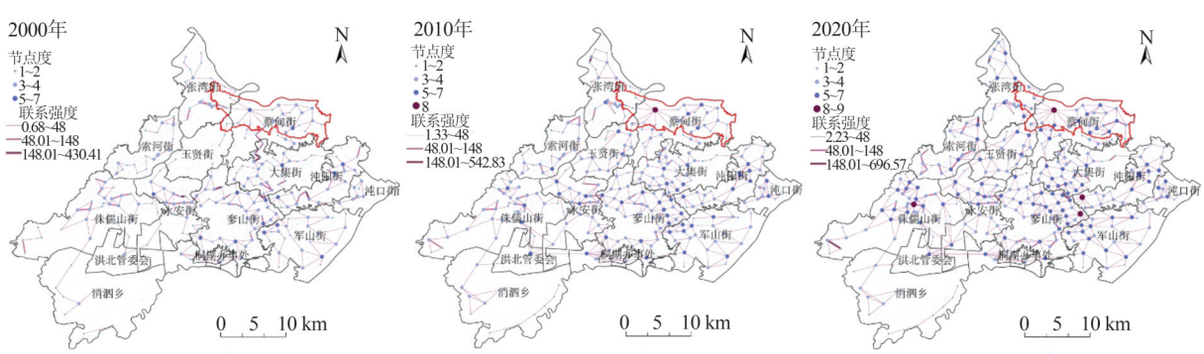
从局部细化的角度,城乡节点道路交通的发展速度与趋势相对均衡。除蔡甸城关在3个时间节点中持续保持核心地位外,其余城镇、社区节点不论在全县域或自身街道内部均未与乡村节点拉开差距。此外,2010年后,蔡甸城关以外新增枢纽节点多为乡村节点,说明城乡节点之间交通关系较为均衡。同时,各街道的平均节点度也呈现“圈层递增”的趋势,从图6可见各街道的交通发展速度也相对均衡。

对城乡交通网络的子群结构进行识别的结

表3 城乡网络结构均衡指数测度体系

Table 3 Measurement System of Urban-Rural Network Structure Balance Index

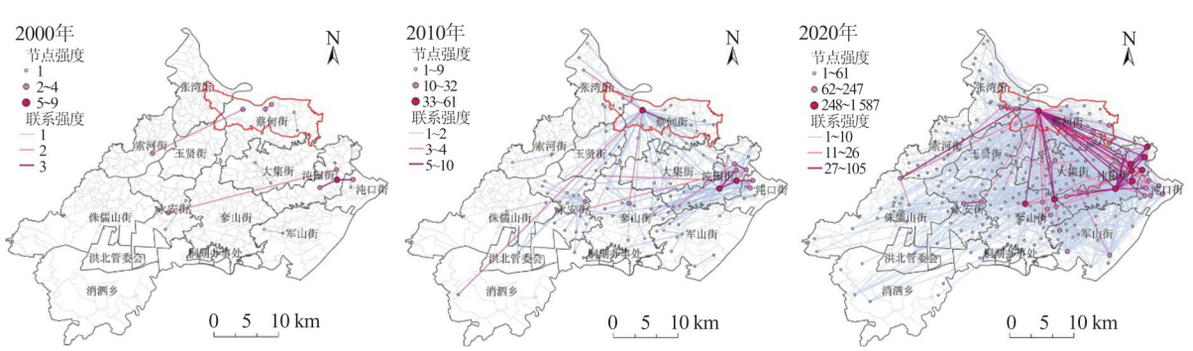
维度	指标层	权重	公式	说明
完备度	网络密度	0.086	$D=\frac{R}{N(N-1)}$	式中，D表示网络密度；R表示网络中实际存在的连接关系数量；N为节点数量；$N(N-1)$为网络包含的关系总数的理论最大值。
	聚类系数	0.236	$c=\frac{1}{N}\sum_{v_i\in V}c_i, c_i=\frac{E_i}{k_i(k_i-1)/2}$	式中，c为网络整体聚类系数；c_i为网络节点i的聚类系数；V表示网络中所有节点的集合；E_i为节点i具有的实际连接边数量；k_i为其邻接节点个数。
公平度	节点度标准差	0.100	$\sigma(\bar{K})=\sqrt{\sum_{i=1}^{n}(K_i-\bar{K})^2/N}$	式中，K_i表示节点度；N为节点数量。
	节点强度标准差	0.212	$\sigma(\bar{S})=\sqrt{\sum_{i=1}^{n}(S_i-\bar{S})^2/N}, S_i=\sum_{j}^{n}W_{ij}$	式中，S_i表示节点强度；W_{ij}表示节点i和j之间连接边的权重；N为节点数量。
	多中心性指数	0.217	$I=\frac{\sum(C_2+C_3+C_4+C_5)}{m\times C_1}$	式中，I为多中心性指数，本文借鉴相关研究来确定[37]；C_1、C_2、C_3、C_4、C_5分别表示排名前5位的中心性，当出现多个节点的中心性值相同时，并列排名计算；m为排名为第2～5的所有节点的数量。
流通度	平均路径长度	0.149	$L=\frac{1}{\frac{1}{2}N(N-1)}\sum_{i\geqslant j}d_{ij}$	式中，L为平均路径长度；N为节点数量；d_{ij}为节点i与j之间的最短路径长度。



(a) 2000年 (b) 2010年 (c) 2020年

图3 城乡交通关联网络结构

Fig. 3 Network Spatial Structure of Urban-Rural Transportation Relations



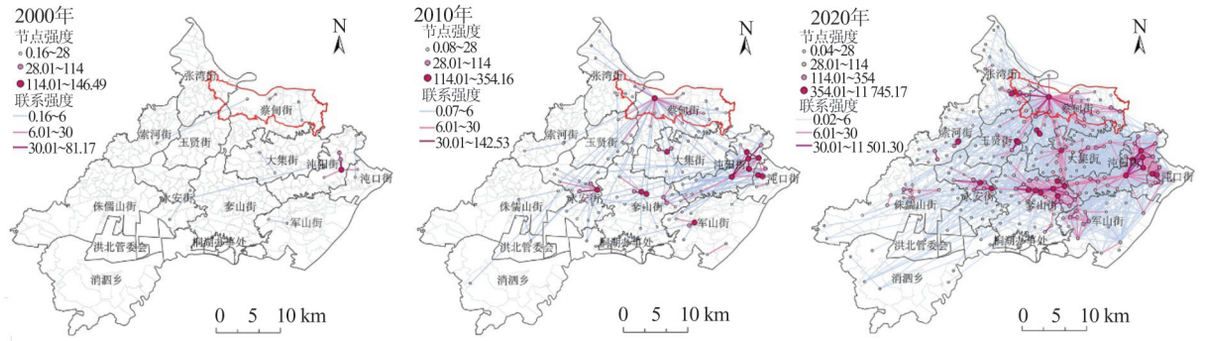
(a) 2000年 (b) 2010年 (c) 2020年

图4 城乡企业关联网络结构

Fig. 4 Network Spatial Structure of Urban-Rural Enterprise Relations

果如图7所示，社团数量的减少、规模的扩大反映出各城乡节点之间的联系逐渐紧密，社团形成了基本不存在交叉和模块重叠的局面，网络间的联系路径较为清晰，空间破碎化程度有所缓解，结构更为均衡。

蔡甸交通关联网络由最初的节点阻隔到形成以蔡甸城关、沌阳街、侏儒山街、豹山街为中心的四核引领网络格局，城乡交通呈发展均衡态势。其动



(a) 2000年　(b) 2010年　(c) 2020年

图 5　城乡综合互动网络结构

Fig. 5　Network Spatial Structure of Urban-Rural Comprehensive Interaction

表 4　城乡网络结构均衡指数测度结果

Table 4　Measurement Results of Urban-Rural Network Structure Balance Index

年份	交通关联网络	企业关联网络	综合互动网络
2000 年	0.422	0.461	0.459
2010 年	0.529	0.573	0.566
2020 年	0.563	0.543	0.357

因在于蔡甸区对城乡综合交通体系的大力构建:对区域骨干路网,通过 318 国道快速高架、S105 蔡城线改扩建、琴川大道等重大项目的建设以及城市主干道、次干道、支路节点的衔接与延伸不断完善;对农村公路,全面推进农村道路提档升级建设,实现农村公路通组达户,实施永桐线、百曲线、曲杨线等道路改造工程,使得城乡交通均衡发展,形成了内外联通、串联城乡的交通体系。

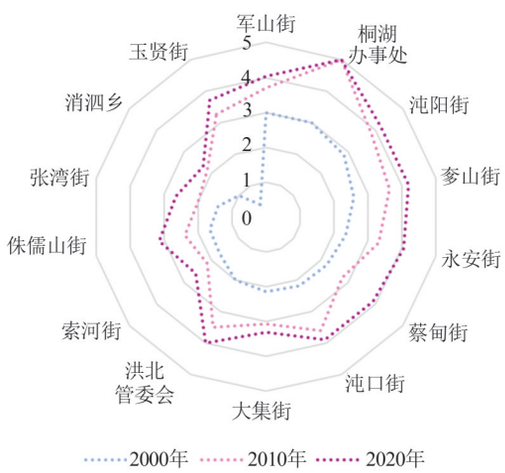
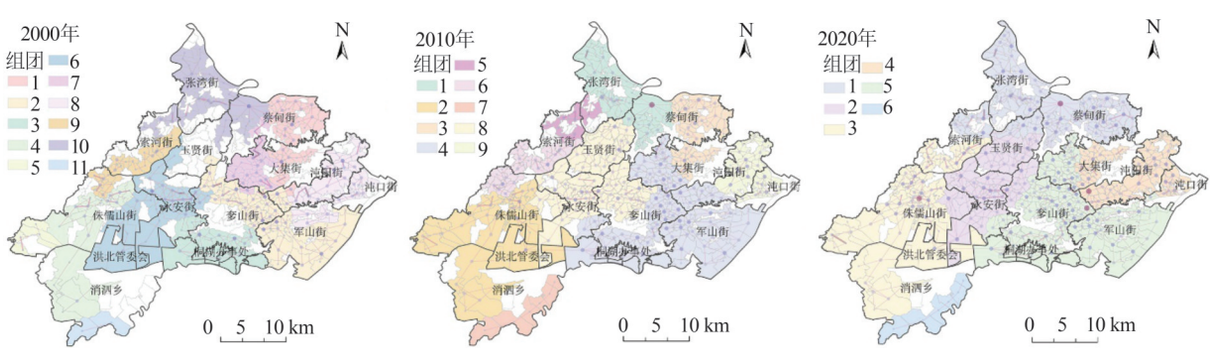


图 6　各街道平均度变化特征

Fig. 6　Characteristics of Average Degree Change by Street



(a) 2000年　(b) 2010年　(c) 2020年

图 7　城乡交通关联网络子群结构

Fig. 7　Network Subgroup Structure of Urban-Rural Transportation Relations

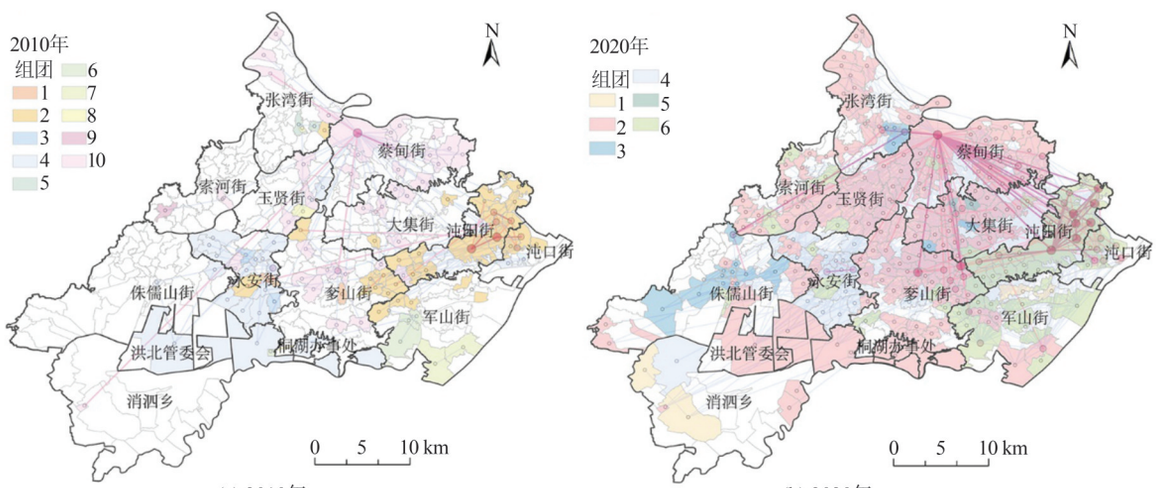
3.2　城乡企业关联网络空间格局演变

从整体的角度,城乡企业关联网络中,节点联系更加广泛和紧密,网络呈现多中心发展趋势,但目前仍呈现非均衡性格局。3 个时间节点,城乡企业关联网络的网络结构均衡指数经历了先升后降的过程。其中,网络密度、聚类系数持续增大,网络的完备度显著提升,平均路径长度减小,流通度上升,多中心性指数持续上升,网络的多中心趋势增强,但节点度、节点强度的标准差逐年增大,拉低了网络公平度,使得网络整体的公平度先升后降,表明城乡节点之间的资源分配差异增大,因而整体均衡性降低。

从局部细化看,城乡节点之间存在一定差距,2010 年后蔡甸城关作为核心节点的地位逐渐

稳固,至2020年与其他节点均拉开较大差距,其余城镇节点也大多发展为本街道内部甚至全域的高值节点。街道之间发展差距明显,东部整体快于西部,蔡甸、沌阳、豹山、沌口发展迅速,节点强度呈现高值局部聚集特征,至2020年,在空间上初步形成以蔡甸街、沌阳街、豹山街为主的三中心发展格局,并在豹山街、沌口街和沌阳街出现多个次中心节点。

图8为对城乡企业关联网络子群结构识别的结果。2000年不存在子群结构,2010—2020年,社团数量减少,结构变紧密,并在局部形成了差异化的产业组团,呈现出多中心、组团式的特征。



(a) 2010年 (b) 2020年

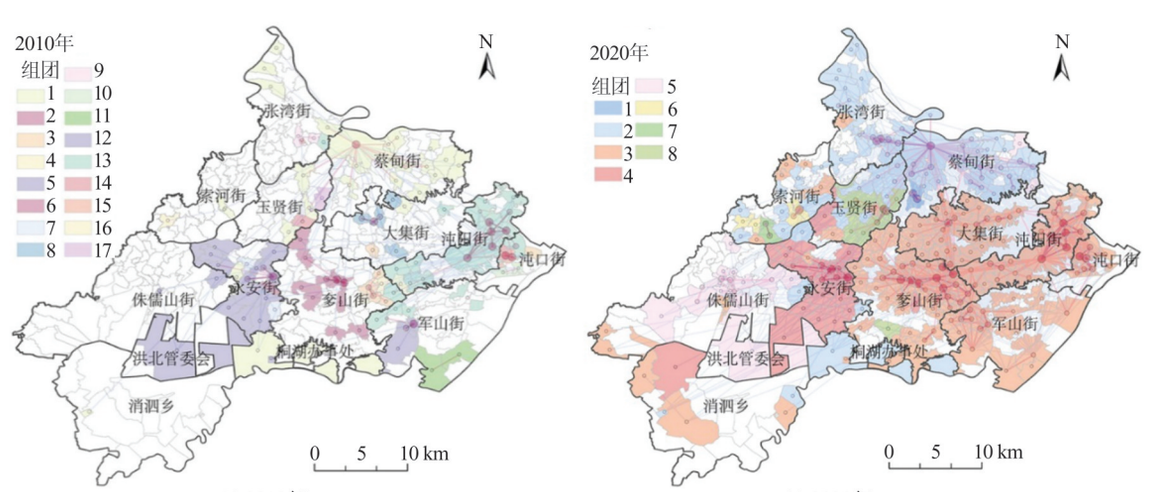
图8 城乡企业关联网络子群结构

Fig. 8 Network Subgroup Structure of Urban-Rural Enterprise Relations

2000—2020年,蔡甸区企业关联网络发展至三中心引领、网络化发展,在空间上呈现显著倒V型结构的发展格局,核心节点与其他一般节点的垂直联系增强,一般节点之间水平联系增加,经济发展呈现东强西弱的特征。3个中心中,蔡甸城关位于中心城区,豹山街属于蔡甸经济开发区,沌阳街与沌口街、军山街被划入武汉经济技术开发区,均具良好的工业基础与优越的投资环境,产业发展迅速,并建成中法武汉生态示范城和中德国际产业园,因而成为企业关联网络的发展中心,与其他节点形成核心-边缘结构。因此,城乡企业关联网络的非均衡性发展格局是蔡甸区域经济发展的自然结果,由于当前核心地区仍处于发展的前期阶段,故与边缘地区拉开差距,但是随着时间的推移,资源要素会在核心和边缘地区进行交换和重新配置,进而带动边缘地区发展。

3.3 城乡综合互动网络空间格局演变

城乡综合互动网络空间结构如图9所示,整体来看,3个时间节点城乡综合互动网络的网络结构均衡指数先升后降,其中,网络密度与聚类系数



(a) 2010年 (b) 2020年

图9 城乡综合互动网络空间结构

Fig. 9 Network Subgroup Structure of Urban-Rural Comprehensive Interaction

大幅上升,表明网络的完备度提升,平均路径长度减小,流通度上升,多中心性指数呈现明显上升趋势,网络向着多中心的趋势演化,但同时网络内部节点之间的节点度标准差、节点强度标准差大幅增大,使得网络整体的公平度下降,均衡性有待提升。

从局部细化看,城乡节点之间,蔡甸城关的引领地位逐渐显著,其余城镇节点均发展迅速,至2020年,大多数城镇节点均在其街道内发展为核心高值节点,与乡村节点拉开一定差距。同时,各街道的平均节点强度由东高西低逐渐发展为东西均衡,至2020年,索河街、玉贤街平均节点强度赶超沌阳街、沌口街等东部街道,网络组织结构呈现明显的多中心引领格局。

从组团结构看,2010—2020年,社团数量减少,规模增大,网络组团结构打破了城乡等级和行政区划的限制,并在东部地区形成了相对完整、规模较大的两大子群。

2000—2020年,城乡综合互动网络演化出多中心引领和强节点集聚的格局,空间形态由层次性向多中心演化。可以看到,最初中心节点集中于以蔡甸城关、沌阳街、沌口街为代表的具有良好基础条件的区域内,而随着地区经济发展,人口、资本、技术等要素不断聚集的同时逐渐向外扩散,出现资源要素的空间集散效应,中心节点、次级中心节点随之由东至西扩散至外围区域,从而形成了多中心的发展格局,城乡之间的经济联系更加频繁、紧密。

4　结语与展望

本文聚焦城乡空间结构的非均衡性格局,采用网络分析视角构建城乡空间结构,以2000年、2010年、2020年为研究节点,基于道路拓扑结构、企业联系、耦合道路、企业网络特征及城乡属性要素的城乡综合互动构建了蔡甸区多元城乡网络;设计了一套局部与整体结合的城乡网络结构均衡性测度方法:从局部视角选取了网络分析指标对节点在网络中的中心性、重要性等进行了测度;从整体的视角,创建了城乡网络结构均衡指数衡量城乡网络结构的整体均衡性。利用该方法对多元城乡网络空间结构均衡性特征进行了测度,测度结果较好地揭示了城乡空间结构的时空演变特征和城乡融合发展的部分空间演变规律,充分支撑了政策建议的提出,体现出方法的科学性与实用性。

4.1　城乡空间结构发展演化特征总结

1)城乡交通差距明显减小,可达性显著增加。城乡交通关联网络由局部“破碎化”“树枝状”向整体“网络状”的结构转变,网络空间形态东密西疏现象有所缓解,社团的数量减少、规模扩大,逐步呈现出以交通枢纽为核心的多中心组团发展模式。随着基础设施建设的逐步推进,更多的城乡节点参与到道路交通网络中,通过公路连通成环线,城乡交通差距明显减小,同时,各街道以相对均衡的速度稳步提升交通可达性,城乡全域呈现均衡发展的态势,迈向空间可达性一体化。

2)城乡企业联系具有核心-边缘结构,但呈融合发展态势。2000—2020年,中心节点、大多数次级中心节点始终局限于蔡甸城关、奓山街、沌阳街等少数街道,强联系仍局限在少数中心节点之间,中心节点与其他节点形成了核心-边缘结构,边缘区域的城乡节点在发展上依赖于核心节点。随着时间的推移,城乡企业关联网络中核心节点与其他节点的垂直联系的强度显著提升,一般节点之间的水平联系数量显著增加,城乡之间经济联系更加紧密、频繁。故可以判断蔡甸区城乡企业经济联系虽然呈现核心-边缘结构,但核心区域对边缘区域的影响已逐渐表现出积极的带动作用,城乡企业联系呈现融合发展的趋势。

3)城乡综合互动呈现空间集散效应与多中心发展趋势。随着中心节点地区经济快速发展,资源要素聚集的同时开始向外扩散,带动周边区域的发展,外围区域节点逐渐发展成为区域内的中心节点、次级中心节点,城乡之间经济联系更加频繁、紧密,网络多中心性增强,城乡综合互动在空间上呈现多中心发展的态势,打破了由单一增长极带动区域发展的规律。网络中的核心节点与村庄的垂直联系强度逐渐加深,村之间的水平联系在空间上呈现“邻近性”和跨越行政界限的“跳跃式”扩张并存的特点,城乡空间形态呈现出由“单中心、层级化、破碎化”向“多中心、均衡化、网络化”演化的趋势,城乡发展协调性增强。

4.2　政策建议

1)持续完善交通网络,推进农村公路串点成线。加快推进高快速路蔡甸段改扩建、公共交通以及村湾公路提档升级,通过新建与加密等级公路、延伸断头路,强化城乡节点之间的联系,缩短城乡之间的时间距离。加快改善交通关联网络东密西疏现状,完善城乡交通网络的结构与布

局,提升西部地区的交通网络密度,提高城乡交通运输效率和乡村地区交通通达深度,促进城乡要素自由流动,保障城乡发展有序推进。

持续推进农村公路建设,实现农村公路由线成网、由窄变宽、由通到畅,促进城乡交通均衡发展。同时,结合蔡甸发展乡村旅游的实际需求,在农村公路建设时有意识地与产业、文化旅游资源相融合,打通农产品城乡流通通道,并串联起各类乡村旅游资源,串点成线,内外连通,助力乡村旅游发展,深化城乡互动,以交通发展助力城乡融合发展。

2)加强增长极培育,巩固增长极优势。对现有发展核心要积极推进产业的集群升级,通过推动蔡甸经济开发区与武汉经济技术开发区联动发展、深度对接,助力蔡甸区现有汽车零部件、智能装备等产业向中高端升级,打造富有竞争力的产业集群。以中法武汉生态示范城和中德国际产业园为主体,构建现代化产业体系,提升产业发展能级,持续带动蔡甸经济发展。

充分发挥增长极作用,带动全域城乡融合发展。蔡甸街、奓山街、沌阳街等内的核心节点作为发展核心对边缘节点发挥着积极的带动作用,以蔡甸城关-沌阳街与蔡甸城关-奓山街为主导的两条发展轴对周边区域产生了较多的经济辐射作用。应继续发挥区域增长极的经济优势与资源优势,吸收增长极与发展轴线优势,沿发展轴线可布局发展特色小镇,如以永安街为主体的九真文化小镇、以玉贤街为主体的国家园艺小镇、以桐湖为主体的现代农业小镇,推动城乡产业协同发展。

3)顺应多中心发展趋势,推动城乡治理模式向网络化转变。应对城乡空间联系由“单中心、层级化、破碎化”向“多中心、均衡化、网络化”的演变趋势,需要建立与之相适应的新型城乡治理模式。要充分发挥政府主导作用,加强基层组织之间的交流合作,打破行政壁垒、强化政策协同、推进要素市场化改革,促进资本、技术、土地要素城乡流动,满足多中心、网络化的空间发展要求。随着城乡网络逐渐发育成熟,不同等级与职能的城、镇、村节点开始形成功能互补、分工协作的良性互动关系,区域层面也形成了多中心的空间结构,需要将传统的以城-镇-村为主的等级化治理模式转变为以城-镇-村、城-镇、村-镇、镇-镇、城-村、村-村为主要模式的水平化和垂直化相结合的网络化的治理体系。

4.3 研究展望

本文选取的要素在全面描述城乡联系方面还存在一定局限性,后续研究需要综合考量城市与乡村发展的多样性、差异性、动态性,将信息、政策等多种要素纳入研究范畴,从而更加准确、全面地刻画城乡关系。

参 考 文 献

[1] 张海鹏. 中国城乡关系演变70年:从分割到融合[J]. 中国农村经济, 2019(3): 2-18.
ZHANG Haipeng. The Evolution of China's Urban-Rural Relations in the Past Seven Decades: From Separation to Integration[J]. *Chinese Rural Economy*, 2019(3): 2-18.

[2] 方创琳. 城乡融合发展机理与演进规律的理论解析[J]. 地理学报, 2022, 77(4): 759-776.
FANG Chuanglin. Theoretical Analysis on the Mechanism and Evolution Law of Urban-Rural Integration Development[J]. *Acta Geographica Sinica*, 2022, 77(4): 759-776.

[3] 刘彦随. 中国新时代城乡融合与乡村振兴[J]. 地理学报, 2018, 73(4): 637-650.
LIU Yansui. Research on the Urban-Rural Integration and Rural Revitalization in the New Era in China[J]. *Acta Geographica Sinica*, 2018, 73(4): 637-650.

[4] WANG Z L, ZHENG X Z, WANG Y Y, et al. A Multidimensional Investigation on Spatiotemporal Characteristics and Influencing Factors of China's Urban-Rural Income Gap (URIG) Since the 21st Century[J]. *Cities*, 2024, 148: 104920.

[5] YUAN Y, WANG M S, ZHU Y, et al. Urbanization's Effects on the Urban-Rural Income Gap in China: A Meta-Regression Analysis[J]. *Land Use Policy*, 2020, 99: 104995.

[6] 周国富, 陈菡彬. 产业结构升级对城乡收入差距的门槛效应分析[J]. 统计研究, 2021, 38(2): 15-28.
ZHOU Guofu, CHEN Hanbin. Analysis on the Threshold Effect of Industrial Structure Upgrading on Urban-Rural Income Gap[J]. *Statistical Research*, 2021, 38(2): 15-28.

[7] 陈文, 吴赢. 数字经济发展、数字鸿沟与城乡居民收入差距[J]. 南方经济, 2021(11): 1-17.
CHEN Wen, WU Ying. Digital Economy's Development, Digital Divide and the Income Gap Between Urban and Rural Residents[J]. *South China Journal of Economics*, 2021(11): 1-17.

[8] LUO H T, HU Q. A Re-Examination of the Influence

of Human Capital on Urban-Rural Income Gap in China: College Enrollment Expansion, Digital Economy and Spatial Spillover[J]. *Economic Analysis and Policy*, 2024, 81: 494-519.

[9] 韩增林, 李彬, 张坤领. 中国城乡基本公共服务均等化及其空间格局分析[J]. 地理研究, 2015, 34(11): 2035-2048.
HAN Zenglin, LI Bin, ZHANG Kunling. Evaluation and Spatial Analysis of the Equalization of Basic Public Service in Urban and Rural Areas in China[J]. *Geographical Research*, 2015, 34(11): 2035-2048.

[10] 文军, 顾楚丹. 基础教育资源分配的城乡差异及其社会后果: 基于中国教育统计数据的分析[J]. 华东师范大学学报(教育科学版), 2017, 35(2): 33-42.
WEN Jun, GU Chudan. The Rural-Urban Differences in Resources Allocation of Basic Education and Its Social Consequence: Base on the Analysis of China's Education Statistics[J]. *Journal of East China Normal University* (*Educational Sciences*), 2017, 35(2): 33-42.

[11] 杨林, 李思赟. 城乡医疗资源非均衡配置的影响因素与改进[J]. 经济学动态, 2016(9): 57-68.
YANG Lin, LI Siyun. Influencing Factors and Improvement of Unbalanced Allocation of Medical Resources in Urban and Rural Areas[J]. *Economic Perspectives*, 2016(9): 57-68.

[12] 宗晓华, 杨素红, 秦玉友. 追求公平而有质量的教育: 新时期城乡义务教育质量差距的影响因素与均衡策略[J]. 清华大学教育研究, 2018, 39(6): 47-57.
ZONG Xiaohua, YANG Suhong, QIN Yuyou. Aspiring for Education with Fairness and Quality: Factors Affecting the Urban-Rural Quality Gap of Compulsory Education and the Balancing Strategies in the New Era[J]. *Tsinghua Journal of Education*, 2018, 39(6): 47-57.

[13] 周佳宁, 秦富仓, 刘佳, 等. 多维视域下中国城乡融合水平测度、时空演变与影响机制[J]. 中国人口·资源与环境, 2019, 29(9): 166-176.
ZHOU Jianing, QIN Fucang, LIU Jia, et al. Measurement, Spatial-Temporal Evolution and Influencing Mechanism of Urban-Rural Integration Level in China from a Multidimensional Perspective[J]. *China Population, Resources and Environment*, 2019, 29(9): 166-176.

[14] 张海朋, 何仁伟, 李立娜, 等. 环首都地区城乡融合水平时空分异及乡村振兴路径[J]. 自然资源学报, 2021, 36(10): 2652-2671.
ZHANG Haipeng, HE Renwei, LI Li'na, et al. Spatiotemporal Differentiation of Urban-Rural Integration Level and Rural Revitalization Path in the Capital Region[J]. *Journal of Natural Resources*, 2021, 36(10): 2652-2671.

[15] YANG Y Y, BAO W K, WANG Y S, et al. Measurement of Urban-Rural Integration Level and Its Spatial Differentiation in China in the New Century[J]. *Habitat International*, 2021, 117: 102420.

[16] 郑瑜晗, 龙花楼. 中国城乡融合发展测度评价及其时空格局[J]. 地理学报, 2023, 78(8): 1869-1887.
ZHENG Yuhan, LONG Hualou. Measurement and Spatiotemporal Pattern of Urban-Rural Integrated Development in China[J]. *Acta Geographica Sinica*, 2023, 78(8): 1869-1887.

[17] 陆玉麒. 区域发展中的空间结构研究[M]. 南京: 南京师范大学出版社, 1998: 39-46.
LU Yuqi. Study on Spatial Structure in Regional Development[M]. Nanjing: Nanjing Normal University Press, 1998: 39-46.

[18] 钟洋, 李嘉奇, 孙铭悦, 等. 城乡融合区乡村地域系统的空间结构识别与优化路径分析: 以湖南省长沙县为例[J]. 自然资源学报, 2023, 38(8): 2076-2096.
ZHONG Yang, LI Jiaqi, SUN Mingyue, et al. Spatial Structure Identification and Optimization Path of Rural Regional System in Urban-Rural Integration Area: A Case Study of Changsha County in Hunan Province[J]. *Journal of Natural Resources*, 2023, 38(8): 2076-2096.

[19] HE Y H, ZHOU G H, TANG C L, et al. The Spatial Organization Pattern of Urban-Rural Integration in Urban Agglomerations in China: An Agglomeration-Diffusion Analysis of the Population and Firms[J]. *Habitat International*, 2019, 87: 54-65.

[20] 吴康, 方创琳, 赵渺希. 中国城市网络的空间组织及其复杂性结构特征[J]. 地理研究, 2015, 34(4): 711-728.
WU Kang, FANG Chuanglin, ZHAO Miaoxi. The Spatial Organization and Structure Complexity of Chinese Intercity Networks[J]. *Geographical Research*, 2015, 34(4): 711-728.

[21] 胡国建, 陈传明, 金星星, 等. 中国城市体系网络化研究[J]. 地理学报, 2019, 74(4): 681-693.
HU Guojian, CHEN Chuanming, JIN Xingxing, et al. Research Progress of Networking of Urban Systems in China[J]. *Acta Geographica Sinica*, 2019, 74(4): 681-693.

[22] 韩向娣, 周艺, 王世新, 等. 夜间灯光遥感数据的GDP空间化处理方法[J]. 地球信息科学学报, 2012, 14(1): 128-136.

HAN Xiangdi, ZHOU Yi, WANG Shixin, et al. GDP Spatialization in China Based on Nighttime Imagery[J]. *Journal of Geo-Information Science*, 2012, 14(1): 128-136.

[23] 杨洋, 黄庆旭, 章立玲. 基于DMSP/OLS夜间灯光数据的土地城镇化水平时空测度研究: 以环渤海地区为例[J]. 经济地理, 2015, 35(2): 141-148.
YANG Yang, HUANG Qingxu, ZHANG Liling. The Spatial-Temporal Measurement on the Land Urbanization Level Using DMSP/OLS Nighttime Light Data—A Case Study of Bohai Rim[J]. *Economic Geography*, 2015, 35(2): 141-148.

[24] 徐慧敏, 胡守庚. 夜光遥感视角下的中国城市规模的时空演变[J]. 武汉大学学报(信息科学版), 2021, 46(1): 40-49.
XU Huimin, HU Shougeng. Chinese City Size Evolution Under Perspective of Nighttime Light Remote Sensing[J]. *Geomatics and Information Science of Wuhan University*, 2021, 46(1): 40-49.

[25] ZHE X Y, AI Y. Institutional Logics and Practice of the Evolution of Urban-Rural Relationships[M]. Singapore: Springer, 2020.

[26] 宁志中, 张琦. 乡村优先发展背景下城乡要素流动与优化配置[J]. 地理研究, 2020, 39(10): 2201-2213.
NING Zhizhong, ZHANG Qi. Urban and Rural Element Mobility and Allocation Optimization Under the Background of Rural Priority Development[J]. *Geographical Research*, 2020, 39(10): 2201-2213.

[27] 何仁伟. 城乡融合与乡村振兴: 理论探讨、机理阐释与实现路径[J]. 地理研究, 2018, 37(11): 2127-2140.
HE Renwei. Urban-Rural Integration and Rural Revitalization: Theory, Mechanism and Implementation[J]. *Geographical Research*, 2018, 37(11): 2127-2140.

[28] 田晶, 宋子寒, 艾廷华. 运用图论进行道路网网格模式提取[J]. 武汉大学学报(信息科学版), 2012, 37(6): 724-727.
TIAN Jing, SONG Zihan, AI Tinghua. Grid Pattern Extraction in Road Networks with Graph[J]. *Geomatics and Information Science of Wuhan University*, 2012, 37(6): 724-727.

[29] 王立夫, 关博飞, 郭戈, 等. 基于改进公交网络模型的路段重要度评估[J]. 中国公路学报, 2022, 35(3): 191-204.
WANG Lifu, GUAN Bofei, GUO Ge, et al. Bus Section Importance Evaluation Based on Improved Bus Network Model[J]. *China Journal of Highway and Transport*, 2022, 35(3): 191-204.

[30] KRINGS G, CALABRESE F, RATTI C, et al. Urban Gravity: A Model for Inter-City Telecommunication Flows[J]. *Journal of Statistical Mechanics: Theory and Experiment*, 2009, 2009(07): L07003.

[31] Stokman F N. Networks: Social[M]. Oxford: Pergamon Press, 2001.

[32] 徐宜青. 网络视角下长三角城市群协同创新的发展探究: 基于城市间合作专利数据[D]. 上海: 华东师范大学, 2019.
XU Yiqing. A Study on the Collaborative Innovation of the Yangtze River Delta Urban Agglomerations from the Perspective of Network -Based on the Cross-City Cooperation-Patent Data [D]. Shanghai: East China Normal University, 2019.

[33] FREEMAN L C. Centrality in Social Networks Conceptual Clarification [J]. *Social Networks*, 1978, 1(3): 215-239.

[34] 王映雪, 李少梅, 任丽秋, 等. 面向特征的网络空间点群要素自动综合方法[J]. 武汉大学学报(信息科学版), 2021, 46(3): 427-433.
WANG Yingxue, LI Shaomei, REN Liqiu, et al. Automatic Generalization Methods of Cyberspace Point Cluster Features Considering Characteristics [J]. *Geomatics and Information Science of Wuhan University*, 2021, 46(3): 427-433.

[35] 何建华, 覃荣诺, 丁愫, 等. 基于乡村宜居性和人口流动网络特征的农村居民点重构[J]. 武汉大学学报(信息科学版), 2021, 46(3): 402-409.
HE Jianhua, QIN Rongnuo, DING Su, et al. Reconstruction of Rural Settlement Based on the Characteristics of Livability and Population Flow Network [J]. *Geomatics and Information Science of Wuhan University*, 2021, 46(3): 402-409.

[36] ERTEM Z, VEREMYEV A, BUTENKO S. Detecting Large Cohesive Subgroups with High Clustering Coefficients in Social Networks[J]. *Social Networks*, 2016, 46: 1-10.

[37] TAYLOR P J, EVANS D M, PAIN K. Application of the Interlocking Network Model to Mega-City-Regions: Measuring Polycentricity Within and Beyond City-Regions[J]. *Regional Studies*, 2008, 42(8): 1079-1093.