

手机信令支撑下的城镇体系结构测度 ——从流空间视角

俞 艳¹, 樊 建², 高昕欣¹, 何宇嘉¹, 徐雅馨¹

(1. 武汉理工大学 资源与环境工程学院 湖北 武汉 430070; 2. 中国人民解放军陆军边海防学院, 陕西 西安 710108)

摘要: 城镇体系结构是城镇协同与制约关系的空间呈现。通过立足城镇体系的“三结构”, 运用手机信令数据, 从流空间的视角构建多尺度的城镇体系结构测度框架, 对城镇等级规模结构和地域空间结构进行整合。测度过程中通过耦合联系流量和联系流向改进了城镇等级规模测度模型; 同时从城镇分布、联系及组合状态三个方面测度城镇地域空间结构。最后, 以宁波市乡镇为对象展开测度, 结果表明该市呈现“一主四副, 五轴四区”的空间格局, 据此完成了宁波市城市总体规划实施评估, 继而验证了该框架的可行性与科学性并提出了市域空间格局的优化建议。

关键词: 城镇体系结构; 手机信令; 乡镇

中图分类号: TU984

文献标志码: A

文章编号: 1006-7930(2024)01-0131-10

Research on urban system structure measurement supported by mobile signaling data: from the perspective of flow space

YU Yan¹, FAN Jian², GAO Xinxin¹, HE Yujia¹, XU Yaxin¹

(1. School of Resources and Environmental Engineering, Wuhan University of Technology, Wuhan 430070, China;

2. Army Border and Coastal Defense College, Xi'an 710108, China)

Abstract: The urban system structure is the spatial presentation of the relationship between urban coordination and restriction. In this study, based on the “three structures” of the urban system, using mobile phone signaling data, a multi-scale urban system structure measurement framework is constructed from the perspective of flow space, and the urban hierarchical scale structure and regional spatial structure are integrated. In the process of measurement, the measurement model of urban hierarchical scale is improved by coupling connection flow and connection flow. At the same time, the urban regional spatial structure is measured from three aspects: urban distribution, connection and combination state. Finally, the measurement is conducted on townships in Ningbo City, the results show that the city presents a spatial pattern of “One main-core, Four sub-core, Five axes and Four districts”. Accordingly, the implementation of General Urban Planning of Ningbo (2004-2020) is evaluated, the feasibility and scientificity of the framework are verified, and the suggestions for optimizing the urban spatial pattern are put forward.

Key words: the urban system structure; mobile phone signaling; townships

城镇是占据一定地域空间, 且与周围环境存在联系的居民聚集地。城镇在一定地域内基于自身特征和联通关系形成了彼此间既分工又协作的空间组织形式, 即城镇体系^[1]。城镇体系的概念源于美国地理学家邓肯及其同事合著的《大都会与区域》一书^[2], 该概念经与系统科学、区域科学、城市科学和地理科学等理论的融合, 衍生出以等级

规模结构、职能类型结构、地域空间结构、网络系统为主的诸多理论成果^[3]。对上述“三结构一网络”的合理规划, 有利于区域效益最大化, 实现城镇化健康运行^[4]。此外, 测度城镇体系结构并据此布局, 使其达到切实可行的理想状态是国土空间规划中统筹市域空间的重要内容^[5], 同时也契合国家十四五发展规划中“完善新型城镇化发展战略提

收稿日期: 2022-07-11

修回日期: 2023-02-01

基金项目: 国家自然科学基金项目(41871301, 52079101)

第一作者: 俞 艳(1976—), 女, 博士, 教授, 研究方向为土地资源管理及国土空间规划中大数据分析建模与应用研究。E-mail: yyhrose@whut.edu.cn

通信作者: 樊 建(1997—), 男, 硕士, 研究方向为多源大数据在构建城市空间协同安全格局中的应用研究。E-mail: FanJian@whut.edu.cn

升城镇化发展质量”的要求,即发展壮大城市群和都市圈,分类引导大中小城市发展方向和建设重点,形成疏密有致、分工协作、功能完善的城镇空间格局。

上述城镇体系结构测度研究多是在“场所空间”的视角下,运用首位律、位序-规模法则、区位商等“特性法”比较城镇自身的静态属性^[4,6]。但因其无法刻画城镇间的要素流动,导致未将城镇间的动态交互纳入城镇体系结构研究中。而自从Castells在空间研究中提出有别于“场所空间”的“流空间”后^[7],城镇体系结构研究开始衡量城镇之间的动态联系^[8]。在此背景下,以网络分析为支撑的“联系法”被广泛应用^[9-10],在弥补特性法不足的同时,拓宽了城镇体系结构研究的模式和视野^[4,11]。

然而,基于联系法的城镇体系结构研究多立足于以城市群或省域为研究范围的市级或县级尺度,少有研究能够细化到乡镇尺度,其原因很大程度在于传统的“流动性”联系数据最小仅能统计到县级,能反映乡镇联系的流动性数据获取较难^[12]。而乡镇是“十四五”乡村振兴的基础,也是国土空间规划不可或缺的一环。因此我们需要能同时表征市、县、乡镇等多尺度的城镇“流动性”数据,以便开展多尺度的城镇体系结构研究^[13]。手机信令因具备超高空间采样率和精细的时间粒度,已

逐步成为典型的“流动性”数据,可支撑多尺度城镇体系结构研究。

当前城镇体系结构测度研究虽已较为丰富,如钮心毅等构建了城镇体系规划技术框架,囊括了城镇空间结构、区域交通设施等四项内容,但其研究内容与经典城镇体系“三结构”不尽相同^[14]。鲜有研究运用手机信令数据,系统地立足经典城镇体系“三结构”的剖析测度,导致城镇体系“三结构”相互割裂,体系不清。鉴于此,本文立足城镇体系“三结构”,从流空间的视角构建了多尺度的城镇体系结构测度框架,通过手机信令数据测算城镇关联矩阵,并对城镇等级规模结构和地域空间结构的测度模型进行改进,用以明晰区域城镇体系结构当前现状,为整合城镇体系结构测度研究提供参考。本文对浙江宁波市乡镇展开实例分析,以验证该框架测度城镇体系结构的科学性。

1 城镇体系结构测度框架

本文基于手机信令数据构建了多尺度城镇体系结构测度框架,主要针对城镇体系“三结构”中的等级规模和地域空间进行测度,见图1。该框架分为三个步骤:城镇关联矩阵测算、城镇等级规模结构测度、城镇地域空间结构测度,本节将具体对这三个步骤展开阐述。

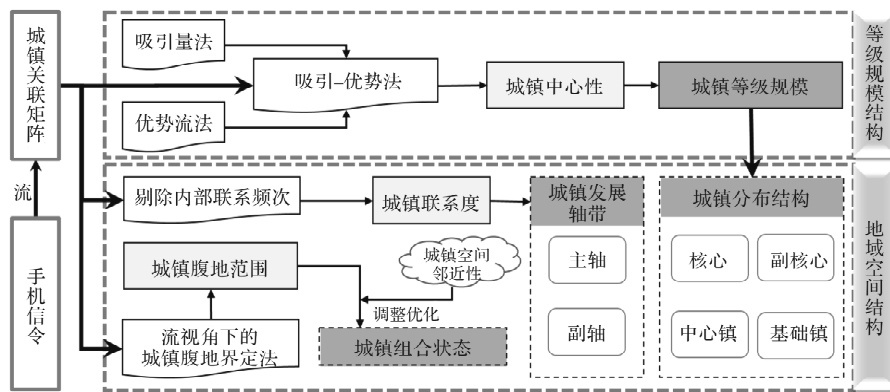


图1 手机信令支撑的城镇体系结构测度框架

Fig. 1 Measurement framework of urban architecture based on mobile signaling data

1.1 城镇关联矩阵测算

手机信令是当手机产生开关机、主被叫、收发短信、切换基站等活动时被记录的包括手机识别号、信令时间、位置信息等数据,是人口分布及出行轨迹的天然采集器,具有覆盖范围广、大样本、动态实时性和连续性的特点^[15]。该数据摒弃了以静态数据为基础,以抽样、测绘、遥感等为技术手段的传统模式,从“以人为本”的视角刻画了人口分布及出行特征,可为多尺度下的城镇

体系结构研究提供有力支撑^[7]。

当前,已有学者就如何运用手机信令得到城镇联系的方法或原则做出了讨论与验证^[12,14,16]。本文基于前人研究,结合研究区域的居民作息和出行特征,运用手机信令数据测算城镇关联矩阵,步骤如下:①对研究区域划分城镇单元;②确定基站所处的城镇单元,即将联通信令中的基站依据其经纬度属性映射到城镇单元;③识别居民常住城镇单元,即根据居民的作息特征,筛选其在

0:00—8:00、20:00—24:00期间停留时间最长,且超过一定天数阈值的城镇单元作为用户的常住城镇单元;④识别用户目的城镇单元,即将用户每日出行距离最远的城镇单元设定为当日出行的目的城镇单元;⑤清洗整理信令数据,构建包括研究时段内用户常住城镇、出行日期以及目的城镇的数据库;⑥测算城镇关联矩阵,将用户由常住城镇单元到目的城镇单元的1次出行视作1次联系,聚合分析数据库中的出行记录,测算得到城镇关联矩阵。

1.2 等级规模结构测度

城镇等级规模结构是大中小城市和建制镇在等级序列层次中的分布状况,取决于城镇要素(如人口)集中、分散的程度或对周围的吸引、辐射的效应^[6],该结构的测度是判断城镇分布层次是否合理、发展状态是否有序的前提。传统的等级规模研究方法常以城镇人口规模或基于统计数据计算所得的城镇中心性指数作为等级序列分布的划分依据^[6]。然而这些方法以城镇自身属性测度等级规模,并未充分表征城镇吸引或辐射效应特征,而从流空间的视角研究则可弥补这一不足。

从流空间的视角进行研究时,仍可运用城镇中心性指数来衡量城镇等级规模,但与传统方法不同的是,该指数通过汇总城镇之间的要素流来反映城镇对整个区域的影响力强弱^[17]。当城市间的联系类型为“人”时,可运用手机信令统计城镇汇集的人口,继而测算城镇中心性并划分等级^[15]。流视角下城镇中心性的测算方法主要有吸引量法和优势流法两种,前者统计以某城镇作为目的地的人流联系总量,见式(1),后者汇总从其他城镇流入目的城镇的优势流数量^[18],其相关研究常着眼于最大至第五大优势流汇集的情况^[19]。这两种方法分别从联系流量和联系流向两个维度较好地反映了城镇在空间相互作用中的地位,但因其测算的城镇中心性仅表征了城镇单个维度的状况,导致吸引量法测算结果无法区分吸引总量相当而吸引范围有差的城镇,优势流法测算结果无法体现城镇规模带来的吸引总量差异^[15]。

为解决上述问题,本文基于手机信令所得的城镇关联矩阵,耦合了吸引量法和优势流法,提出吸引-优势法,见式(5),该法旨在兼顾联系流量和联系流向两个维度来测算城镇中心性,进而在更接近城镇真实状态的基础上测度城镇等级规模结构。其中,在联系流向维度,本文统计了汇总到城镇*i*的最大、第二大、第三大、第四大、第五

大优势流数量,综合前人研究经验与权重递减规律,将其比值设定为5:4:3:2:1,见式(2)。

$$A_i = \sum_{j=1}^n A_{ij} \quad (1)$$

$$D_i = D_{i,1} + 0.8 \times D_{i,2} + 0.6 \times D_{i,3} + 0.4 \times D_{i,4} + 0.2 \times D_{i,5} \quad (2)$$

$$Att_i = 100 \times (A_i - A_{\min}) / (A_{\max} - A_{\min}) \quad (3)$$

$$Dom_i = 100 \times (D_i - D_{\min}) / (D_{\max} - D_{\min}) \quad (4)$$

$$Con_i = \sqrt{Att_i \times Dom_i} \quad (5)$$

式中: A_i 表示城镇*i*吸引的人流总量; A_{ij} 表示由城镇*j*流入城镇*i*的人口; n 为城镇数量; D_i 为城镇*i*汇集的优势流量; $D_{i,1} \cdots D_{i,5}$ 为汇总到城镇*i*的最大至第五大的优势流数量; Att_i 、 Dom_i 分别表示吸引量因子和优势流因子; A_{\max} 、 A_{\min} 、 D_{\max} 、 D_{\min} 分别为吸引量法和优势流法测算结果的最大值、最小值; Con_i 为城镇*i*的城镇中心性指数。

1.3 地域空间结构测度

地域空间结构主要讨论城镇在空间上的分布、联系及组合状态等,对该结构的剖析是研究其演化过程和优化的基础^[20-21]。经国内外学者的研究实践,当前已形成了较为成熟的理论来表征地域空间结构,如中心地、增长极、核心-边缘、点-轴、圈层结构等^[22]。地域空间结构的研究方法主要包括断裂点公式法、空间句法^[23]、引力模型和分形理论等^[3,24]。与等级规模结构类似的是,这些方法也大多仅基于城镇自身属性开展研究,同样忽略了城镇之间的要素流动。相比之下,从流空间视角刻画城镇之间的联系更契合真实状况。

在流空间的视角下,地域空间结构的剖析需综合考虑城镇自身特性和对外联系强弱两个方面,前者即为城镇中心性,而城镇对外联系则表示为城镇联系度。当联系方式为“人”时,可基于手机信令所得的城镇关联矩阵统计城镇之间的人口流入和流出并测算城镇联系度,继而结合城镇中心性研究地域空间结构。当前对地域空间结构的研究重点着眼于城镇分布和城镇联系^[25-26];或将城镇组合状态的相关研究独立于地域空间结构^[14,27],导致对该结构的剖析不系统、相对割裂。因此本节拟从城镇层级分布结构(点)、城镇发展轴带(线)、城镇组合状态(面)三个角度完善地域空间结构的剖析过程。

城镇层级分布结构主要讨论体系内不同等级规模城镇的空间分布形态,是等级规模结构在空间的落实。该结构基于城镇的等级规模将城镇细化为核心、副核心、中心镇及一般镇四类。

城镇发展轴带是区域内社会经济发展较好,生产力集聚且具有较大发展潜力的线状地带,主要通过城镇联系度来识别。城镇联系度是在城镇关联矩阵的基础上,剔除城镇内部联系流量(即同一城镇内部的流动频次)并综合发送和接收的双向流量所得^[28]。若以 A_{ij} 、 A_{ji} 分别表示由 i 流向 j 和由 j 流向 i 的人流量,则运用公式(6)可得城镇联系度 $w(i, j)$ 。基于城镇联系度的多寡可将城镇发展轴带细化为主轴、副轴。

$$w(i, j) = A_{ij} + A_{ji}, (i \neq j) \quad (6)$$

城镇组合状态是研究城镇间、城镇与区域相互作用的重要内容,亦是确定城镇体系空间结构的重要依据,其通过衔接、协调区域空间资源与产业资源,促进区域资源效率的最大化。本文借鉴以往研究,通过划定城镇腹地范围来确定城镇组合状态^[29-30]。

城镇腹地范围是中心城镇周边与其有紧密联系的地域范围,一般而言,城镇等级规模越高,与其紧密联系的地域范围越明显。因此,划定城镇腹地范围时常将等级规模较高的城镇作为中心城市,其他城镇作为附属城镇。当前,在以流视角界定城镇腹地范围时,常以联系占比为50%作为阈值进行判断^[14]。本框架基于此划定了附属城镇的腹地归属,并通过整合中心城市与其腹地,形成了城镇组合状态的雏形,继而根据城镇空间邻近性,对飞地型腹地和腹地争夺区加以调整优化以形成契合当地现状的城镇组合状态。

2 研究区概况

宁波市位于中国海岸线中段,长江三角洲南翼,是我国东南沿海重要的港口城市,也是现代物流中心和交通枢纽,在近年来的发展中显示出巨大的活力和潜力。截至2018年末,宁波市下辖海曙、江北、镇海、北仑、瑾州、奉化6区和余姚、慈溪、宁海、象山4县(市),共计156个乡镇或街道,陆域面积9 816 km²。宁波市乡镇是促进宁波市可持续发展的重要载体,亦是宁波市域和宁波都市圈的重要拓展和深化的腹地,其自身的发展建设能够有效统筹城乡协调发展、推进城镇化发展。因此,认清宁波市乡镇自身定位,剖析其与所在区域的联通关系、组合关系是乡村振兴的基础,对其开展城镇体系结构研究有利于更合理地布局体系结构。此外,以宁波为研究对象也有助于验证城镇体系结构框架在乡镇尺度的可行性。

本文分别对宁波市中心城区、4个县城城区内的街道予以合并,将各乡、镇单独作为1个城镇单元,最终将全域划分为88个城镇单元,见图2,并基于此测算城镇关联矩阵,以探索宁波乡镇尺度的城镇体系结构。



图2 宁波市域88个城镇单元分布情况

Fig. 2 Distribution of 88 urban units in Ningbo

3 结果分析

3.1 宁波市城镇关联矩阵测算

本文采用2019年12月共计31 d的中国联通的匿名手机信令数据测算宁波市88个城镇单元的关联矩阵。根据第1.1节测算步骤,设16 d为阈值,识别出宁波市域内使用联通的常住人口有2 158 971人,识别率约为86.36%(官方统计2019年宁波联通用户日均250万),识别结果较好。2019年12月常住人口中存在1 972 929个用户的43 794 264次跨城镇出行,每人月均出行(最远出行)约22次。聚合分析用户出行记录,得到6 613项城镇关联对。

3.2 宁波市等级规模结构测度

城镇等级规模结构反映了城镇的等级序列,常借助城镇中心性进行表征。在第3.1节城镇关联矩阵的基础上,根据公式(1, 2)得到宁波市各城镇单元在2019年12月的吸引人流总量及汇集优势流的数量。以宁波市区为例,可统计出该单元共吸引2 177.52万人次,包括来源于市区外的355.42万人次;汇总到此单元的最大到第五大优势流的数量分别为24、10、13、10、10。对各城镇单元吸引人流总量及汇集优势流数量归一化后

根据公式(5)计算其中心性指数, 见表 1(仅列出前 18 项及后 5 项).

表 1 宁波市各城镇单元中心性指数
Tab. 1 Centrality index of urban units in Ningbo

城镇单元	中心性	城镇单元	中心性	城镇单元	中心性	城镇单元	中心性
宁波市区	100.00	古林镇	6.02	邱隘镇	3.85	……	……
余姚城区	21.01	高桥镇	4.94	姜山镇	3.71	泗洲头镇	0.12
宁海城区	13.54	观海卫镇	4.60	石浦镇	3.61	大堰镇	0.10
慈溪城区	13.53	集士港镇	4.02	龙山镇	3.54	大隐镇	0.00
象山城区	11.62	东钱湖镇	3.99	周巷镇	3.51	胡陈乡	0.00
庵东镇	8.94	泗门镇	3.89	慈城镇	3.20	鹿亭乡	0.00

由表 1 可知, 宁波市区的中心性指数为 100, 远超出区域内其他城镇单元, 区域中心地位突出; 余姚、宁海、慈溪、象山四个城区的中心性指数也超过 10; 大堰镇、大隐镇、鹿亭乡的中心性为 0, 原因在于此三城镇并未汇集优势流; 其余城镇单元的中心性指数在 0~10 之间. 将城镇单元中心性指数按自然断点法分为 5 级, 结果见图 3.

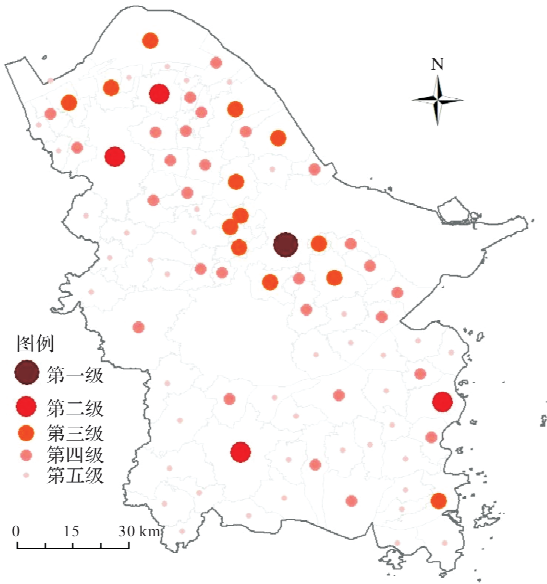


图 3 城镇等级规模结构
Fig. 3 Urban hierarchical scale structure

由图 3 可知, 宁波市区是全域唯一的一级城镇, 其吸收的人流量以及汇集的优势流数量都具有绝对优势. 余姚城区、慈溪城区、宁海城区、象山城区吸引的流量和汇集的流向处于第二梯度, 是区域的二级城镇. 区域内三级城镇有 13 个, 其大多分布在宁波北部, 且较集中地环绕着宁波市区, 如古林镇、高桥镇、姜山镇、集士港镇等, 这些城镇毗邻市区, 更易产生人员驻留. 区域内四、五级城镇分别有 28、42 个.

此外, 宁波北翼的城镇主要为三级或四级, 而南翼城镇大多为五级, 说明北翼的城镇中心性高于南翼, 究其原因在于北翼地区濒临杭州湾,

更接近杭州都市圈与上海大都市圈的核心处, 人员流动更为频繁, 其中属庵东镇最为典型. 由表 1 可知, 庵东镇中心性仅次于市县城区, 是北翼发展新亮点. 南翼仅有石浦镇一个中心镇, 整体而言并未形成汇集人口停驻的条件或优势.

3.3 宁波市地域空间结构测度
3.3.1 城镇层级分布结构

城镇层级分布结构是不同等级规模的城镇所呈现的空间分布形态, 是等级规模结构在空间的落实. 因此由宁波市城镇等级规模结构(图 3)可得以下结论: ①宁波市区中心地位突出, 是区域的主导核心; ②余姚城区、宁海城区、慈溪城区、象山城区作为各自县域的集大成者, 是区域的副核心; ③三级城镇是区域发展的重要节点, 担任着承上启下的作用, 是区域的中心镇; ④四、五级城镇中心性偏小, 对外影响弱, 在区域中属于基础单元, 即一般镇. 综上, 宁波市域呈现“一主四副”的基本格局, 具体表现为“1+4+13+70”的“金字塔”型层级结构, 见图 4.

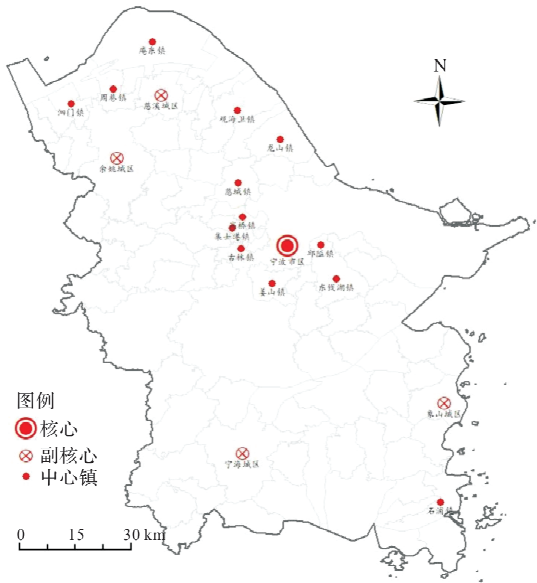


图 4 城镇层级结构
Fig. 4 Urban hierarchy

3.3.2 城镇发展轴带识别

城镇发展轴带主要依据城镇彼此交互量的多寡(即城镇联系度)来探求城镇联系的亲疏性,城镇联系度越大,则城镇间往来人流越频繁,城镇联系越亲密,该项联系也极有可能属于城镇发展轴带。故为识别城镇发展轴带,本文将第3.1节所得的城镇关联矩阵,剔除城镇单元内部联系流量后运用公式(6)得城镇联系度,城镇联系度和弦图见图5(为增强可读性,仅绘出大于1万人次的城镇联系度),图5中共有3546项城镇联系度,其中古林镇与宁波城区之间的联系度最大,为75.85万人次。将城镇联系度按自然断点法分为5级,见图6。

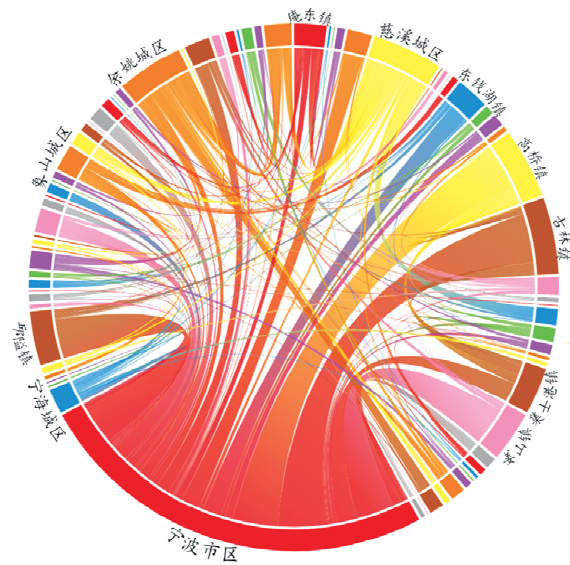


图5 城镇联系度和弦图

Fig. 5 Chord diagram of urban connection degree

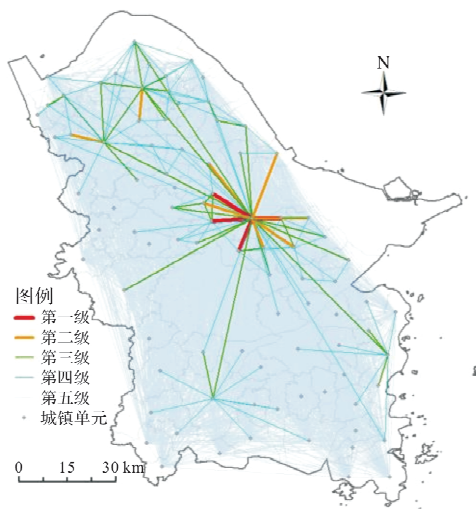


图6 城镇联系度分级

Fig. 6 Classification of urban connection degree

由图6可知,宁波市域城镇联系度整体呈烟花

状,且宁波市区、宁海城区、象山城区明显形成了局部范围的放射形态,而余姚和慈溪两城区与所辖乡镇的城镇联系明显形成了紧密联系的城镇团。具体而言,宁波市区对外联系的亲疏性可分为两大梯度:第一梯度为环市区的城镇,联系度大多为第一、二级,其凭地缘优势频繁地与市区产生交互;第二梯度为市县城区,即是区域核心与副核心间的交互,联系度大多为第三级。而余姚、慈溪与周边城镇的联系度大多为三级,宁海、象山与周边城镇的联系度大多为四级。宁波北部城镇间的联系相较南部级别更高,说明来往人流更为频繁,城镇联系更为密切。

同一(县级)行政区内的城镇联系展现了因地缘邻近而形成的城镇抱团现象,但因这种联系并未拓展至全域,故即使二者联系度处于较高级别,却也不能认为是区域的城镇发展轴,如宁波市区与环市区城镇间的联系。因此本文识别宁波市域城镇发展轴带兼顾了城镇联系重要性和跨越行政区两个特征,具体着眼于前三级别且跨县级行政区划的城镇联系。经筛选,发现符合条件的城镇联系有8条,分别是余姚城区-周巷镇、宁波市区-余姚城区、宁波市区-庵东镇、余姚城区-慈溪城区、宁波市区-宁海城区、宁波市区-龙山镇、宁波市区-象山城区、宁波市区-慈溪城区,其联系度分别是14.91、13.17、11.69、9.71、9.12、7.66、6.58、6.53万人次。

由上述分析可知,轴带强度差异明显,本文以10万人次为界,将城镇发展轴分为三条主轴和两条副轴,见图7。

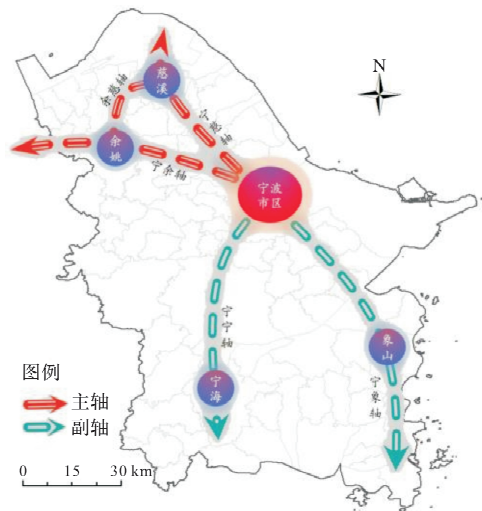


图7 城镇发展轴带

Fig. 7 Urban development axis

其中,主轴分别为宁波市区串联余姚城区并

延伸向省会杭州的宁余轴;宁波市区串连慈溪城区、庵东镇并延伸向上海的宁慈轴;余姚城区串连周巷镇、慈溪城区并延伸向庵东镇的余慈轴.两条副轴分别为宁波市区串连宁海城区并延伸向丽温(丽水、温州)地区的宁宁轴;宁波市区串连象山城区并延伸向台温(台州、温州)地区的宁象轴.由图7可知,五条城镇发展轴呈现倒“y”型,且该布局结构与宁波高速走向基本一致,推动宁波向内陆和杭州湾方向延伸发展.

3.3.3 城镇组合划定

城镇组合是研究城镇体系空间结构的重要内容,主要基于城镇腹地加以确定.本文重点关注宁波市域内附属城镇(包括中心镇、一般镇)与核心、副核心共5个中心城镇的联系,进而明晰各附属城镇的腹地归属.本文基于城镇关联矩阵,计算出各附属城镇与中心城镇的联系比例,并据此划定宁波市域内中心城镇的腹地范围,见图8.

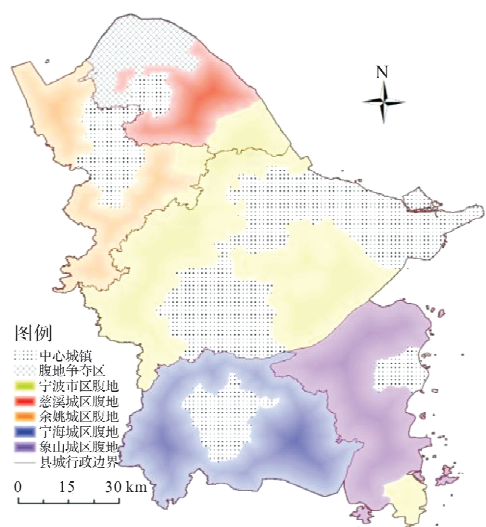


图8 中心城镇腹地范围

Fig.8 Hinterland of central units

由图8可知,宁波市区的腹地范围在行政范围的基础上兼并了慈溪的龙山镇、掌起镇以及余姚的三七市镇、大隐镇,且还有飞地型腹地鹤浦镇,该范围再次印证了宁波市区的辐射影响远超其边界界限.因为宁波市区腹地范围的渗透,余姚、慈溪、象山三个城区的腹地范围均局限于自身行政区划且出现收缩,而宁海城区的腹地范围与行政范围一致.周巷镇和庵东镇两处腹地争夺区均分布在慈溪,且受宁波市区、余姚城区的影响较大,导致慈溪城区的腹地范围收缩明显.

为确定契合宁波市域现状的城镇组合状态,本文在城镇腹地范围结果的基础上加以调整:①余姚和慈溪城区空间邻近,且所辖城镇之间联

系紧密(见图6),彼此间有余慈主轴贯通(见图7),其组合形态已有规模,因此合为余慈组团.②因周巷镇被余姚城区和慈溪城区所争夺,故将其整合到余慈组团中.③庵东镇被宁波市区和慈溪城区所争夺,但该镇在空间上与慈溪城区更为邻近,故将其整合到余慈组团中.④飞地型腹地鹤浦镇与宁波市区在空间上不连续,组合状态不佳.因该镇与石浦镇(中心镇)空间邻近且联系紧密,而石浦镇已与象山城区整合,故将鹤浦镇也与象山城区整合.经优化后,最终形成了契合宁波市城镇发展的四大组团:余慈组团、中心组、宁海组团、象山组团,见图9.

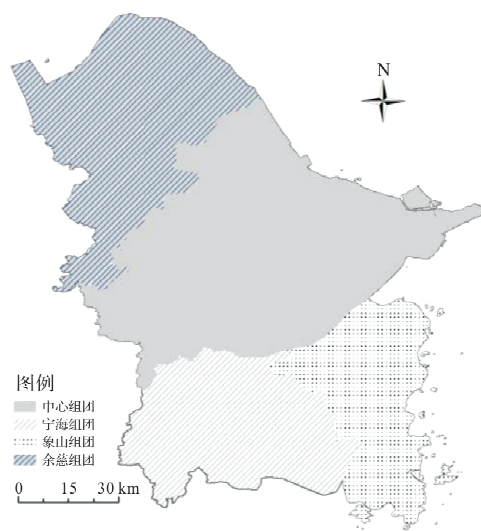


图9 城镇组合分区

Fig.9 Urban combination zoning

3.4 宁波市城市总体规划概要实施评估

对宁波市开展城镇体系结构测度后发现,宁波市域结构呈现“一主四副,五轴四区”的空间格局,将其与《宁波市城市总体规划概要(2004-2020)》(下称《概要》)内容进行对比,以评估宁波市城市总体规划的实施情况,并根据对比相似性验证城镇体系测度框架的科学性.

《概要》中宁波城镇层级分布结构呈现“一主五副”的格局,包括宁波市区一个核心,慈溪、余姚、宁海、象山、奉化城区五个副核心.该格局与本文测度的“一主四副”城镇层级分布结构基本吻合.缘于奉化城区与市区联系紧密,奉化于2016年撤市设区,所辖街道并入市区,故原格局“一主五副”与测度结果“一主四副”一致.《概要》中规划有13个中心镇,对比本文测度结果可发现,除莼湖撤镇设街并入市区外,泗门、周巷、观海卫、慈城、集士港、石浦六镇在十余年的发展中达到规划预期,已发展为宁波市的中心镇,而梁

- [3] 易斌, 翟国方. 我国城镇体系规划与研究的发展历程、现实困境和展望[J]. 规划师, 2013(5): 81-85.
YI Bin, ZHAI Guofang. Urban system planning evolution, problems, and future [J]. Planner, 2013(5): 81-85.
- [4] 顾朝林, 张勤. 新时期城镇体系规划理论与方法[J]. 城市规划学刊, 1997(2): 14-26, 65.
GU Chaolin, ZHANG Qin. Theory and method of urban system planning in the new era[J]. Urban Planning Forum, 1997(2): 14-26, 65.
- [5] 秦萧, 甄峰, 李亚奇, 等. 国土空间规划大数据应用方法框架探讨[J]. 自然资源学报, 2019(10): 2134-2149.
QIN Xiao, ZHEN Feng, LI Yaqi, et al. Discussion on the application method framework of big data in land spatial planning [J]. Journal of Natural Resources, 2019(10): 2134-2149.
- [6] 杜明军. 区域城镇体系等级规模结构协调发展: 判定方法与路径选择[J]. 区域经济评论, 2013(5): 153-160.
DU Mingjun. Coordinated development of hierarchical scale structure of regional urban system: Judgment method and path selection[J]. Regional Economic Review, 2013(5): 153-160.
- [7] WANG T, YUE W, YE X, et al. Re-evaluating polycentric urban structure: A functional linkage perspective[J]. Cities, 2020, 101: 102672.
- [8] 杨永春, 冷炳荣, 谭一洺, 等. 世界城市网络研究理论与方法及其对城市体系研究的启示[J]. 地理研究, 2011(6): 1009-1020.
YANG Yongchun, LENG Bingrong, TAN Yiming, et al. Theory and methods of world urban network research and its implications for urban system research [J]. Geographical Research, 2011(6): 1009-1020.
- [9] WU Cai, DUNCAN S, WANG Mingshu. Simulating the urban spatial structure with spatial interaction: A case study of urban polycentricity under different scenarios[J]. Computers, Environment Urban Systems, 2021, 89(Sep.): 101677. 1-101677, 13.
- [10] JULIA L, THOMAS S, GLEN S, et al. The distribution of national urban hierarchies of connectivity within global city networks [J]. Global Networks, 2022(2): 274-291.
- [11] ZHANG Wenjia, FANG Chenyu, ZHOU Lin, et al. Measuring megaregional structure in the Pearl River Delta by mobile phone signaling data: A complex network approach [J]. Cities, 2020(104): 102809. 1-102809, 12.
- [12] 张洋, 马宁, 郭远智. 基于手机信令数据的县域城镇体系识别——以江西省鄱阳县为例[J]. 地域研究与开发, 2021(1): 90-95.
ZHANG Yang, MA Ning, GUO Yuanzhi. County-level town system identification based on mobile phone signaling data: A case study of Poyang County, Jiangxi Province [J]. Areal Research and Development, 2021(1): 90-95.
- [13] 龙奋杰, 石朗, 郑龙飞, 等. 多源大数据视角下的贵州省城镇体系空间分异特征[J]. 城市问题, 2017(12): 26-32.
LONG Fenjie, SHI Lang, ZHENG Longfei, et al. Spatial differentiation characteristics of urban system in Guizhou Province from the perspective of multi-source big data [J]. Urban Problems, 2017(12): 26-32.
- [14] 钮心毅, 康宁, 王垚, 等. 手机信令数据支持城镇体系规划的技术框架[J]. 地理信息世界, 2019(1): 18-24.
NIU Xinyi, KANG Ning, WANG Yao, et al. A technical framework for urban system planning using mobile phone signaling data [J]. Geomatics World, 2019(1): 18-24.
- [15] 钮心毅, 王垚, 丁亮. 利用手机信令数据测度城镇体系的等级结构[J]. 规划师, 2017(1): 50-56.
NIU Xinyi, WANG Yao, DING Liang. Measuring urban system hierarchy with cellphone signaling [J]. Planner, 2017(1): 50-56.
- [16] SHI Fei, ZHU Le. Analysis of trip generation rates in residential commuting based on mobile phone signaling data[J]. JTLU, 2019(1): 201-220.
- [17] XIE Haijun, WANG Wei. A study on development scale and spatial economic structure of the urban agglomerations of Shandong Province[C]//International Conference on Cultivating Undergraduate Entrepreneurship and Management Engineering: CUEME 2015. Chongqing: CUEME 2015: 109-114.
- [18] ZHOU Jizhe, HOU Quanhua, FAN Xiaoyang, et al. Village-town system in suburban areas based on cellphone signaling mining and network hierarchy structure analysis[J]. IEEE, 2019(7): 128579-128592.
- [19] 董超, 修春亮, 魏冶. 基于通信流的吉林省流空间网络格局[J]. 地理学报, 2014(4): 510-519.
DONG Chao, XIU Chunliang, WEI Ye. Spatial network pattern of Jilin Province based on communication flow[J]. Acta Geographica Sinica, 2014(4): 510-519.
- [20] 李震, 顾朝林, 姚士媒. 当代中国城镇体系地域空间结构类型定量研究[J]. 地理科学, 2006(5): 5544-5550.
LI Zhen, GU Chaolin, YAO Shimei. A quantitative study on the types of regional spatial structure of ur-

- ban systems in contemporary China[J]. *Scientia Geographica Sinica*, 2006(5): 5544-5550
- [21] 王树声,李欣鹏. 太谷现代城市空间形态演变及其规律探析[J]. *西安建筑科技大学学报:自然科学版*, 2016(6):887-894.
- WANG Shusheng, LI Xinpeng. Evolution of modern urban spatial form and its laws in Taigu [J]. *J. of Xi'an Univ. of Arch. & Tech. (Natural Science Edition)*, 2016(6): 887-894.
- [22] 崔元浩. 省域城镇体系空间结构规划实施评估研究——以山东省为例[D]. 济南. 山东建筑大学. 2020.
- CUI Yuanhao. Research on the implementation evaluation of spatial structure planning of provincial urban system: A case study of Shandong Province[D] Jinan: Shandong Jianzhu University. 2020.
- [23] 黄嘉颖,李莹. 句法解析下的商洛市规划实施评估与空间优化[J]. *西安建筑科技大学学报:自然科学版*, 2018(3): 402-409.
- HUANG Jiaying, LI Ying. Planning implementation evaluation and spatial optimization of Shangluo City under syntactic analysis [J]. *J. of Xi'an Univ. of Arch. & Tech. (Natural Science Edition)*, 2018(3): 402-409.
- [24] 周庆华,高元. 两千年来陕北城镇空间演化与组织的分形特征研究[J]. *西安建筑科技大学学报:自然科学版*, 2015(1):92-96.
- ZHOU Qinghua, GAO Yuan. Fractal characteristics of spatial evolution and organization of cities and towns in northern Shaanxi over two thousand years[J]. *J. of Xi'an Univ. of Arch. & Tech. (Natural Science Edition)*, 2015(1): 92-96.
- [25] 陈婧,朱东风. 基于城市中心性与城市流的苏北地区空间关系测度[J]. *城市发展研究*, 2018(3):125-132.
- CHEN Jing, ZHU Dongfeng. Spatial relationship measurement of urban centrality and urban flow in northern Jiangsu [J]. *Urban Development Studies*, 2018(3): 125-132.
- [26] WANG Lili, XIAO Wenwen, WANG Chengwei. Evolution of hierarchical structure and spatial pattern of coastal cities in China - based on the data of distribution of marine-related enterprises[J]. *Polish Maritime Research*, 2017(24): 58-64.
- [27] PAN Jinhui, LIU Weisheng. Quantitative delimitation of urban influential hinterland in China[J]. *Journal of Urban Planning Development*, 2014, 141(4): 04014033.
- [28] 赵映慧,高鑫,姜博. 东北三省城市百度指数的网络联系层级结构[J]. *经济地理*, 2015(5):32-37.
- ZHAO Yinghui, GAO Xin, JIANG Bo. The urban network connection of three provinces in Northeast China based on baidu index[J]. *Economic Geography*, 2015(5): 32-37.
- [29] 邱岳,韦素琼,陈进栋. 基于场强模型的海西区地级及以上城市影响腹地的空间格局[J]. *地理研究*, 2011(5): 795-803.
- QIU Yue, WEI Suqiong, CHEN Jindong. Spatial pattern of urban hinterlands of cities at prefecture level or above in the Economic Zone on the Western Coast of the Taiwan Straits based on field-strength model[J]. *Geographical Research*, 2011(5): 795-803.
- [30] 刘静玉,丁志伟,孙方,等. 中原经济区城镇空间结构优化重组研究[J]. *经济地理*, 2014(10):53-61,110.
- LIU Jingyu, DING Zhiwei, SUN Fang, et al. Reconstruction of urban spatial structure in central plains economic region[J]. *Economic Geography*, 2014(10): 53-61,110.

(编辑 郑晓龙 沈 波)