

基于引力和客运联系的浙江省城镇网络特征^{*1}

葛浩然^{1, 2} 朱占峰^{2*} 钟昌标¹ 高立锋³ 赵威⁴ 康珍^{2, 5}

(1. 宁波大学商学院, 浙江宁波 315200;

2. 宁波工程学院经济与管理学院, 浙江宁波 315211;

3. 浙江大学公共管理学院, 浙江杭州 310027;

4. 河南大学环境与规划学院, 河南开封 475001;

5. 长安大学经济与管理学院, 陕西西安 710064)

【摘要】:根据浙江省城镇间相互引力和客运班次等数据分别构建了城镇联系网络, 利用复杂社会网络分析、比较分析等方法, 从点、线、网3个层面对网络特征进行了剖析。结果显示:杭州市辖区对外联系规模最大, 其次是宁波市辖区和温州市辖区, 各地对外联系规模的分级比较明显, 而节点间客运联系的规模分布较为均匀。基于两种方法的节点联系规模总体上呈现北高南低、中间凸显的分布态势。城镇间首位和次位联系空间分布均呈现中心—辐射式地域分割, 但两种方法的分割范围不同, 强联系多分布于区域中心节点与周边区域之间。浙江省城镇网络密度仍较低, 而杭州市辖区和宁波市辖区的控制能力较为稳定, 两种联系构成了不同地域形式的凝聚子群, 也显示出城镇网络的不完全协调状态。针对城镇网络的发展现状, 应着力优化城镇规模体系, 多角度拓宽沟通协作途径。

【关键词】:城镇网络; 空间联系; 网络特征; 浙江省

【中图分类号】:F129.9 **【文献标识码】:**A **【文章编号】:**1004-8227(2018)06-1186-12

DOI:10.11870/cjlyzyyhj201806002

城镇体系作为城镇化区域中社会经济系统的空间表达形式, 其发展模式和结构特征受到了广泛关注。随着资本全球化的推进, 社会分化和产业分工促使区域空间自组织突破“中心地发展”模式, 空间隔离现象随之减弱^[1]。随着交通设施不断完善、

¹ 收稿日期:2017-08-01; 修回日期:2017-09-14

基金项目:国家自然科学基金项目:《区域经济增长空间俱乐部趋同检验及影响因子研究》(41271144); 国家社科基金专项:《新时代兼顾公平与效率的区域协调发展战略研究》(18VSJ023); 浙江省自然科学基金项目:《跨境贸易电子商务与物流及通关资源协同机制研究》(LY16G020014)

作者简介:葛浩然(1993~), 男, 博士研究生, 主要研究方向为渔业经济管理、城乡规划与设计. E-mail:nbughaoran@126.com

***通讯作者** E-mail:Chinazzf@vip.163.com

信息技术不断普及以及发展模式不断创新,主导型空间形式由地方性向流动性转变^[2]。人口、资金、技术、信息等要素通过生产网络、交通网络和社会网络等媒介以流动形式累积于主体城市并从事生产和再生产活动,最终衍生出规模效应,中心外围、位序规模等静态体系结构也随之扩展和提高^[3]。随着地域性空间网络不断完善,作为控制附属地域的中心节点的城市将带动腹地参与并融入更大范围城镇网络,其网络控制力和影响力依赖于城镇联系所承载的生产要素汇聚和累积程度。因此,通过流量数据研究区域点轴组合状态是判定城镇体系发展水平的重要依据,同时也将为指导区域新型城镇化建设提供重要参考。

早期对于空间流量的研究多集中于以城镇质量和距离衰减为依据的引力模型^[4, 5]和回归分析^[6],但受地形分布、行政束缚和基础建设等多方面影响,区域实际发展路径与认知发展规律难免存在偏差。因此,更多学者寻求其他方式表现空间联系:有的学者从城市服务功能性出发研究城市对外服务输出^[7, 8],另有一些学者依据人口和经济增长的空间效应研究区域关联度^[9],其后更多学者倾向于对依托于要素联系媒介的直接流量进行分析,主要从基础设施、关联生产、企业运营等寻求数据,其中交通设施的运用最为广泛^[10, 11],大数据处理能力的提高也为空间效应研究提供了新工具^[12]。在空间整体网络分析方面,学者除了利用交通、物流等实体空间联系外,也融入复杂社会网络等分析方法^[13]。此类研究从动态流量的视角剖析城镇体系空间结构状况,有效地避免了静态因素对联系网络的误判。

总体而言,关于城镇网络评价的研究较为丰富。但关于静态和动态有效结合、点状和线状综合比较的研究相对较少。导致评价依据较为单一,难以以理论规律为依据对城镇空间网络状况进行有效分析。在我国分权化、地方化和市场化三重叠加背景下,区域城镇结构由城镇体系中基本构造单元间生产关系决定,而地方在“不平等发展”中的主导与从属分工与资本生产的空间组织建立了复杂的连接关系,因此地方性研究应嵌入在地方经济社会发展和区域要素运行系统中。随着经济全球化和以创新为核心的新经济崛起,不同地方和空间的相互依赖性大大提高,区域发展也被视为是地域化关系网络与地方化生产基础在变化的区域治理结构下进行复杂相互作用的动态结果。因此城镇发展规模与对外沟通能力理应建立长期有效的促进和耦合关系。从地域系统空间联系角度研究城市发展和城镇体系是了解城市地位的前提^[14],通过梳理对外联系规模能够反映其在城市—区域系统中的实际影响能力,因此,本文以浙江省为例,对空间引力作用的城镇静态网络和人口流动所反映的动态网络进行分析和比较,反映城镇发展和网络建设瓶颈与滞后项,这对于评价和优化省域城镇体系空间发展状况,有针对性地制定区域发展战略具有重要意义。

1 研究方法

1.1 修正的引力模型

在区域研究中应用引力模型来源于牛顿力学。Zipf 在 1942 年首次将其用于测量城镇体系空间作用评价中,其后众多学者从不同角度对模型进行修正处理,方式大致可以分为两种:一种是基于不同城市质量对于联系量影响的分异程度对其测度修正^[15, 16],另一种是基于距离衰减应遵循客观阻力和距离衰减规律而对距离系数进行修正^[17, 18]。传统引力模型可以表示为:

$$F_{ij} = K \frac{\sqrt{P_i G_i} \times \sqrt{P_j G_j}}{D_{ij}^2} \quad (1)$$

式中: F_{ij} 表示*i*、*j*两城市间的引力值; P_i 、 P_j 表示城市*i*、*j*的人口数; G_i 、 G_j 表示城市*i*、*j*的GDP; D_{ij} 表示两城市间空间欧氏距离; K 为引力常数。

本文考虑区域要素流动受到复杂因素影响,其中经济外部性与产业结构分布和产业功能互补两因素关系密切,人员沟通意愿和能力受自身岗位特征影响,通道建设状况是地区通达性的更直观体现,并考虑社会产出是需求导向下城市对外服务的主要

表现。因此，参考已有研究^[19]，使用复合人口、克鲁格曼指数、社会消费品零售总额和最短交通距离对模型进行适当修正。修正后的公式为：

$$F_{ij} = K_{ij} \frac{\sqrt[3]{M_i G_i S_i} \times \sqrt[3]{M_j G_j S_j}}{D_{ij}^2} \quad (2)$$

$$K_{ij} = \sum_{i=1}^n \left| \frac{G_{iq}}{G_i} - \frac{G_{jq}}{G_j} \right| \quad (3)$$

式中： M_i 、 M_j 表示城市 i 、 j 的复合人口值； G_i 、 G_j 表示城市 i 、 j 的 GDP； S_i 、 S_j 表示城市 i 、 j 的社会消费品零售总额； D_{ij} 表示城市间最短公路距离； K_{ij} 是克鲁格曼修正系数； G_{iq} 、 G_{jq} 表示城市 i 、 j 中 q 产业就业人口数； G_i 、 G_j 表示两城市总的就业人员数。

复合人口公式为：

$$M_i = \sum_{n=1}^3 P_i \times C_n \times Q_n \quad (4)$$

式中： P_i 表示城市 i 的总人口数； C_n 、 Q_n 分别表示从事第 n 产业的人口比例和产业权重。本文以传统三大产业划分形式，根据各产业对区域联系影响不同，采用专家咨询方法对三大产业赋权分别为 0.2、0.4、0.4。

1.2 城市客运流分析

城市间流动要素复杂多样，人口流动作为城镇联系和其他要素沟通的主体，其构成的客运网络能够较好地反映城镇动态联系强弱。在市场经济发展环境下，客运班次在竞争和利润合理化过程中逐渐与客运需求达到平衡。因此，可采用规模—序列分析方法和 ArcGIS 中的点对连接方法对城市间客运流量进行分析。

点对连接分析可以通过建立涵盖所有城镇点的 OD 矩阵，通过点对连线的加权，将城市间联系进行可视化处理，以此表现联系量大小。通过筛选功能形成对特定节点的对外连接排序并显示指定位序连线，这有助于分析控制力和归属感。

1.3 复杂网络分析

社会网络分析是基于网络节点间联系能力来描述网络组织结构特征，并用于分析节点关系类型和关系影响程度等^[20]。城镇体系作为开放性的相对稳定系统，其空间网络可以看作是一个复杂网络系统，城市的辐射和集聚能力体现在复杂网络中节点的中心性上。因此，这是研究城镇网络运行状况的重要工具。

中心度是衡量节点在网络内部处于中心程度的指数，能够反映出某一参与者在特定区域和范围内的组织能力。本文主要选取中间中心度对网络进行测算，目的是为了反应某一城镇在其他任意两个非邻域城镇联系中的参与能力。即如果一个城镇处于更多城镇间的最短路径上，就说明该城镇在城镇网络中具有更高的组织和支配能力。中间中心度公式为：

$$C_{abi} = \sum_j^n \sum_k^n \left(\frac{g_{ik}(i)}{g_{ik}} \right) \quad (5)$$

式中: C_{abi} 表示中间中心度; g_{ik} 表示城市 j 和 k 间最短路径条数; $g_{ik}(i)/g_{ik}$ 表示城市 i 参与组织 j 和 k 联系的能力。

网络密度反映网络中各节点整体沟通程度,在城镇网络中体现城镇节点的总体联系水平。其公式为

$$D = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n \frac{d(n_i, n_j)}{n(n-1)} \quad (6)$$

式中: n 表示网络节点个数; d 表示判定节点间是否存在联系的判定函数,若存在联系则为 1,否则为 0;网络密度取值介于 0 和 1 之间,取值越大,表示的网络完备程度越高。

2 研究区域概况和数据来源

浙江省作为城镇化较为成熟的省份,宽领域、多层次的要素流动已有效破除了行政区划限制,要素流动充分发挥了对于空间发展路径的引导作用,全省现已基本形成了杭州、宁波、温州和金华—义乌四大组团区域。2016 年国务院批复《长江三角洲城市群发展规划》,将杭州都市圈和宁波都市圈纳入长三角区域重点发展范畴,并将浙江大部作为区域联动发展的一部分,这为区域新型城镇化发展提供了重大机遇。而作为政策制定和资源统筹的基本单元,浙江省全域城镇化仍面临着诸多突出矛盾。如城镇提升难度加大、空间利用效率提升趋缓、中心城市承载压力较大以及区域差异仍然突出等,其原因很大程度上归结于设计者缺乏对城镇体系完备性的整体判断,导致城市节点偏离正确发展定位。因此,从网络特征方面分析其城镇体系具有重大参考意义。

本文以浙江省各县(市)为基本研究单元(如图 1),考虑市区一体化联系状态,将各市市辖区作为统一整体,共归纳出 64 个评价单元,包括 11 个市辖区整体(简称市辖区)、34 个县和 19 个县级市(如图 1 所示)。基本数据来源于《2016 年浙江统计年鉴》、《2016 年中国城市统计年鉴》和《2016 年中国县域社会经济年鉴》,城镇间道路距离来源于百度地图及百度导航软件,本文依据已有研究,考虑到交通工具运载能力和载荷状态受内外多种条件影响,基于数据的可获取性,以公共汽车和火车客运班次反映城市间交通联系规模。本文是以人员沟通体现城镇实际联系,在运力整合趋于市场化运作的背景下,人员出行选择更加注重时效性与可达性,而城市对外运输载体的常态化配置多受经过的通道性质决定,因此公共汽车与铁路交通在运行方式与运载功能上互为补充,本文基于以上考虑,将公路与铁路交通视为同等地位,并将两者班次进行加总,各班次数据来源于各地汽车站售票网站、携程旅行网和 12306 火车票订票系统。



图1 研究单元分布图

Fig. 1 Profile of research unit

3 实证分析

3.1 浙江省城镇网络的节点联系规模

城镇规模和功能非均质化空间分布是城镇网络构建的基础，要素有向流动既是城镇节点差异化分工的直观体现，也反映出城镇在网络体系中的参与地位，因此在城镇空间关系矩阵基础上分析节点规模，是评价城镇网络整体现状的基础。分别通过修正的引力模型和客运班次计算浙江省内各城镇间的联系量，然后将各城镇对外联系量加总并进行归一化处理，最后使用 ArcGIS 中 Jenks 自然断裂点法将节点规模分为 5 个等级，结果如图 2 所示：

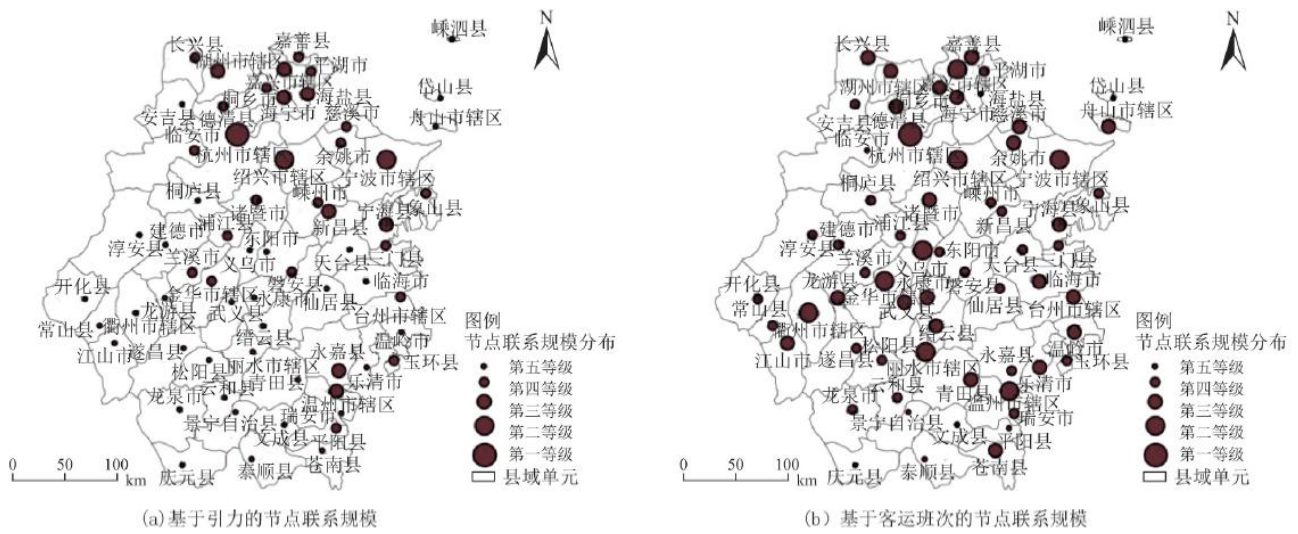


图2 基于引力联系和客运联系的城镇联系规模等级图

Fig. 2 Grade map of urban connection based on gravitation and traffic

3.1.1 基于引力模型的节点联系规模

从测算结果上看,杭州市辖区得分为1,且独处第一等级,距其较近的绍兴市辖区受其辐射力影响,联系规模为0.569,中心性紧随其后。杭州作为浙江省省会,人口和生产集聚形成规模效应,资源优先配置与关联要素内聚相互叠加使其职能结构趋于完善,同时增强了对周边地区的带动作用。除绍兴市辖区外,宁波市辖区联系规模为0.405,二地形成省域第二等级支撑点。第三等级包括温州市辖区、湖州市辖区、嘉兴市辖区、海盐县、海宁市、新昌县、永嘉县和宁海县,联系规模介于0.110~0.243之间,八地主要为城区所在地或经济实力较强县市,构成了城镇体系中区域性中心。第四等级共包含20个城市,联系规模为0.047~0.100,规模分布趋于集中,对外联系仍处于较低阶段,第五等级包含城镇最多,共34个,是由自身产出能力和中心城市辐射阻力双重限制造成,第三、第四等级数量反应出浙江城镇的引力联系规模层次不够突出。

从空间分布上看,杭州市辖区及其周边形成了高等级聚集区域,说明杭州市辖区在城镇网络中空间引导作用明显。宁波市辖区和温州市辖区也形成了一定的空间效应,表现为两地与其周边城镇形成了规模聚集现象,主要是因为两地县域经济发展强势,距离优势促进了小区域组团的形成。中部和西南部是低等级城镇的主要分布区域,与复杂地形分布相拟合,实际交通距离的拉长限制了当地经济社会发展,也使中心城市理论辐射作用大幅降低。各市辖区的联系规模在各自所属辖区中均为最大,城镇发展路径决定了中心区域占据相对优越的发展空间,但落后区域仍未形成比较成熟的规模序列,市辖区首位度落后导致控制力不足,区域整体易受外界空间组织影响。

3.1.2 基于客运班次的节点联系规模

基于客运班次联系的节点规模分布相对于引力联系较为分散,第一等级仍仅包含杭州市辖区,其对外联系班次达到6055班,是第二名宁波市辖区的2.15倍,随着交通通讯等基础设施不断完善,首位城镇网络控制力与自身建设水平已经达到良性循环。第二等级包括宁波市辖区、金华市辖区、义乌市、温州市辖区、嘉兴市辖区、绍兴市辖区、丽水市辖区和衢州市辖区等8个节点,市域交通网络中心布局一定程度上顺应城镇规模分布规律,市辖区所在地仍是参与空间组织的主要节点,这与前文结果相一致。第三等级共22个城镇,其对外联系班次在549和1417之间,主要为具有一定经济优势且基础建设较好的城镇。第四等级和第五等级城镇分别为24个和9个,相较于引力模型测算结果有所减少,主要由于人员沟通能力不仅受地区经济社会发展能力单方面影响,还涉及感情沟通、文化差异和地缘关系等多重因素。

从空间分布上看,浙江全域基本形成了数条高值带。具体表现为环杭州湾高值带、绍兴—衢州高值带、金华—温州高值带以及宁波—温州高值带,其分布趋势充分拟合交通干线走向,说明复合网络建设能够一定程度上弥补因规模落后限制的组织能力降低。低值节点主要分布于市域边界区域或远离交通干线的位置,体现了城镇布局和联系的“轴—幅”一般规律,也为提升落后地区网络参与能力提供了依据。

3.1.3 节点规模比较分析

由于各地自然条件和经济社会战略重点不同,实际节点联系与虚拟引力在不同单元表现出的作用方向及耦合状况也存在差别。但在块状经济背景下,资本要素流动方向与强度主要受交易成本 and 专业化间的非均衡力决定,在稳定制度条件下,交通基础设施的修建一方面可以通过降低距离成本来增加城市向心力,另一方面能扩大城市获取服务的范围,有利于促进城市规模扩张,在空间经济组织向多层次转变过程中,伴随着产业分工的深化与要素集聚的极化,高等级城市对于中间产品的多样化和规模化需求逐渐提升,需要配备更加完备的要素体系及运输载体才能形成内外有效联动,因此与引力模型相一致,城市规模与其实际参与区域联系的强度和范围也应存在正相关关系。人员流动作为城市对外沟通最直观体现,在保持城镇规模序列稳定的前提下,反映出对城市—区域系统的影响能力和支配水平。以引力联系规模为参照横向比较各城市实际对外客运联系,可以反映浙江各城镇在经济社会发展过程中与区域整体的相对协作关系。

首先从整体描述二者空间分布差异,借助 ArcGIS 统计分析中的趋势分析方法对规模趋势进行模拟(图 3)。两种结果的空间趋势均呈现北高南低、中间高东西低的状态。北部与中部形成高值对应,东部与南部形成低值对应,说明杭州市辖区及周边和省域西南部分别是高规模节点和低规模节点的聚集区域。南北向上基于客运班次的测算结果表现出更强的空间差异性,具体表现为下降断面集中于中部以南区域,并且降低坡度较大,说明联系规模差异在南部更为集中。东西方向上,基于引力模型结果的趋势线差异更低,说明相对较少的高值聚集尚无法支撑网络节点整体规模提高,而多中心控制的网络更易形成空间均衡分布。从结论上看,由引力规模模拟的趋势变化低于实际客运联系,一定程度上说明城镇体系尚未发挥城镇合作的叠加效果,区域发展重心应集中于提升节点通达性和增强节点规模效应上。

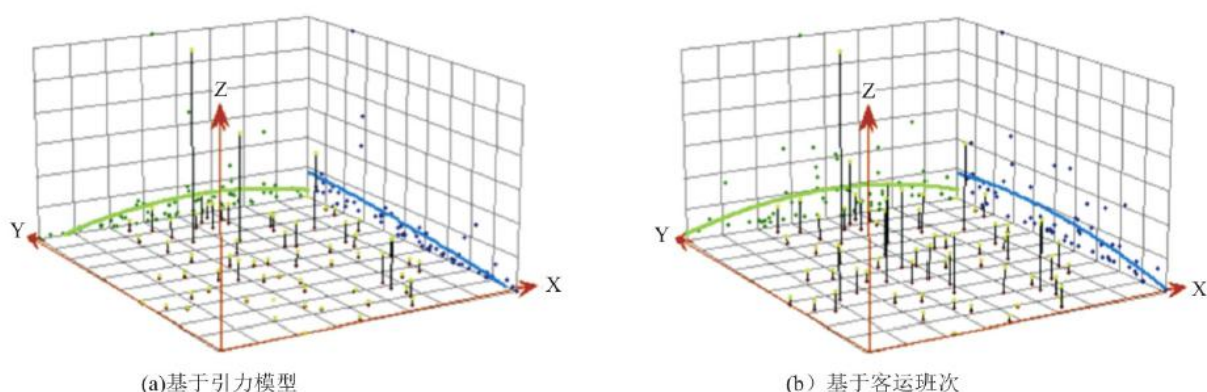


图 3 两种联系的规模分布趋势图

Fig. 3 Trend map of scale distribution based on two connection

其次进行省内横向对比,将基于引力模型和客运班次计算所得的各节点联系规模进行归一化处理,并借助 Pearson 系数分析二者相关性,结果显示为 0.799,并通过了显著性检验,说明浙江省整体城镇体系培育和发展过程中区域经济与对外联系形成了有效协调,也进一步验证了上文的理论推断。因此将基于经济社会状况计算的节点引力规模作为理想量,通过截面对比对外联系量,能够更好体现各城市在两种联系规模的相对差距及滞后项。为直观反映各节点相对差异,将各城镇的两种规模进行比

值处理，并将结果进行断裂点分级(图 4)。

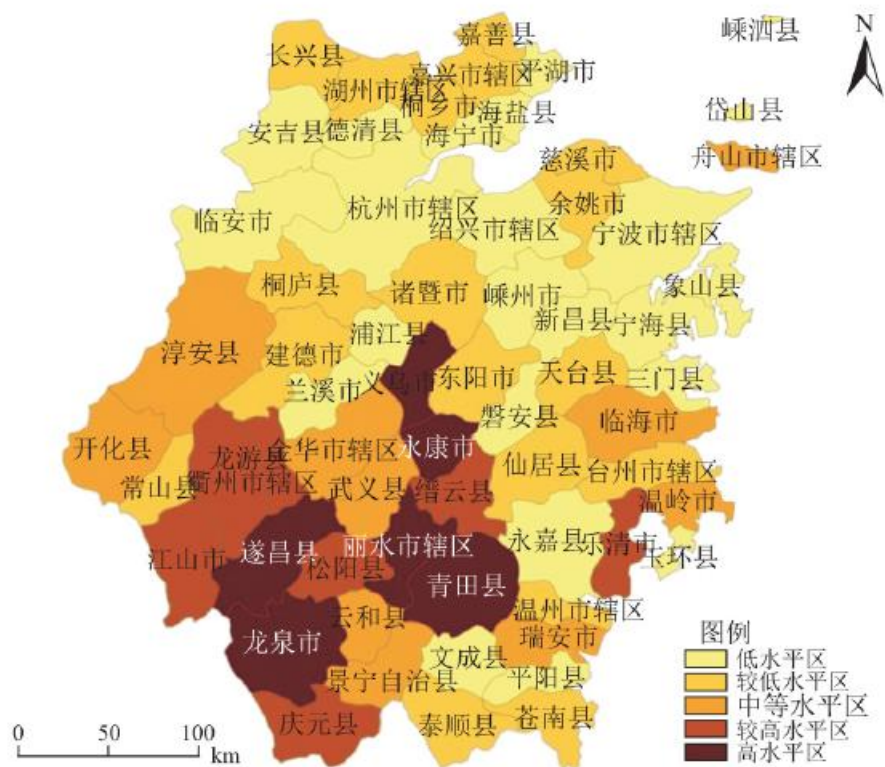


图 4 城镇联系规模的发展状况分级图
Fig. 4 Grade map of development based on urban connection scale

由分级结果可以看出，高水平区和低水平区分布较为集中，以城镇引力规模为基准的南部区域实际要素流通状况相对好于北部区域，城镇间联系状况随地区发展条件的改善在不断优化，其结构变化的总体趋势是高等级联系的支配作用逐渐增强。虽然基于规模和距离测算的城镇引力规模易向空间重心偏移，但与各城镇经济社会规模相比，北部城镇的实际影响能力反而较低，一方面说明浙江省城镇的规模序列分布较为离散，另一方面也更能体现要素资源配置和流通载体建设的南北不协调。义乌市、永康市、遂昌县、龙泉县、青田县和丽水市辖区五地属于高水平区，表现出交通对外联系相对领先于基于规模和距离效应所推导的引力规模，究其原因：这类地区受限于较为复杂的地理环境，此类节点多扮演中介和转运角色。再加上与发达地区的现有发展差距一定程度上产生虹吸效应，资金、人才和信息等先进生产要素受离心力作用很难形成有效堆积，规模要素支撑和自组织能力较弱。在省内节点横向比较中，北部杭州市辖区、宁波市辖区和绍兴市辖区等中心城镇引力规模节点对外实际沟通能力相对滞后，说明空间阻力对“中心—腹地”结构的抑制作用较强，网络建设能力未能满足资源要素流动需求，规模化发展的同时更应注重市场化和地方化的均衡。低水平区主要分布在杭州与宁波之间，说明此类城市实际影响力尚低于需求规模，经济重心的偏移尚未形成对更大区域的整合能力，更应加强杭甬通道及省域南北通道建设。

3.2 浙江省城镇网络空间联系格局

点对连接作为网络中城市联系的最直观表现，可以避免区位因素导致的规模分布重心偏差，体现城镇体系中心节点主要影

响能力和方向，通过 ArcGIS 将引力联系和客运联系中各城市的首位联系量和次位联系量进行筛选，然后进行 Jenks 自然断裂点分级并可视化，如图 5 所示。

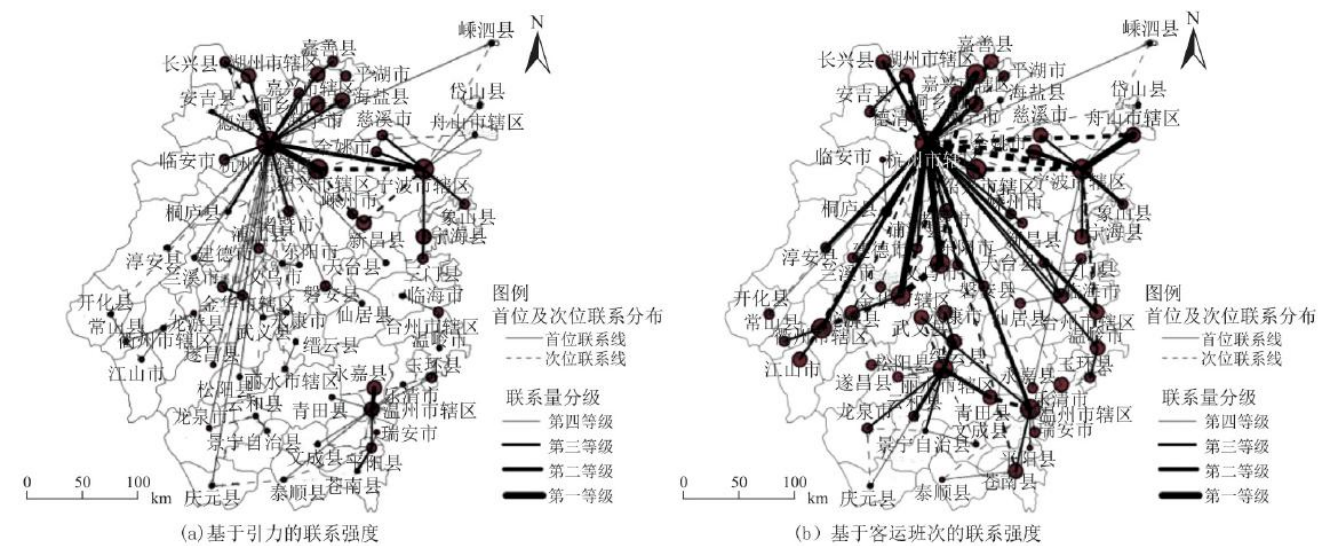


图 5 首位和次位联系规模分布图

Fig.5 Scale distribution map of the first and second connection

3. 2. 1 基于引力模型的空间联系

根据首位联系和次位联系结果，杭州市辖区参与前位联系最多，其中作为首位联系 22 条，作为次位联系 13 条，分别高于第二名 15 条和 6 条，其中绍兴市辖区与其互为首位联系。宁波市辖区和温州市辖区参与前位联系次之，宁波市辖区作为首位联系和次位联系分别为 6 条和 5 条，温州为 7 条和 2 条。结合前文分析结果，说明前位联系对城镇联系总规模作用较大。绍兴市辖区和金华市辖区作为次位联系数较多，分别为 7 次和 5 次，说明二市在区域自组织过程中易受大城市影响，空间辅助功能较强。衢州市辖区被 3 个城镇作为首位联系，嘉兴市辖区、台州市辖区和常山县被两次作为首位联系，15 个城镇被一个城镇作为首位联系，这类联系均保持在市域行政单元内部或邻域城镇关系中，是构成小区域组团的表现。

从空间分布上看，首位联系和次位联系均表现出较强的向心性和跳跃性。杭州市辖区、宁波市辖区和温州市辖区形成了“一主两副”的中心分布格局。其中与杭州市辖区形成联系的城镇主要分布在省域西半部，西南部丽水和金华市域内的部分城镇存在跳过临近节点并直接与杭州市辖区形成联系的现象，说明浙江具有联系规模在宏观层面极化明显和中微观层面重心欠缺的矛盾，跳跃结构一定程度上限制了资源要素合理流动。宁波市辖区和温州市辖区在东北部和东南部与邻域城镇联系密切。受地缘因素影响，杭州与宁波两放射区联系密切，温州区域较为孤立。从联系分级上看，第一到第四等级联系数量分别为 1、4、23、78 条，其中首位联系分别为 1、3、20、32 条，次位联系分别为 0、1、3、46 条，说明联系的强度分布较为集中，联系网络存在均质化发展现象。第一等级联系在杭州市辖区和绍兴市辖区之间。第二等级联系分别为杭州市辖区—德清县、杭州市辖区—宁波市辖区、温州市辖区—永嘉县和宁波市辖区—绍兴市辖区，这为杭州—绍兴—宁波呈带状一体化发展提供了依据。第三等级较多存在于杭州、宁波和温州三节点与周边城镇之间，说明浙江省主体适合建设沿带状组团发展的城镇体系。第四等级多为偏远地区与杭州市辖区等规模较大城镇的联系，证明中心城镇辐射作用仍受距离阻碍和行政分割，这与要素按区域整合形成对应，表明需要适当培育增长极以匹配区域发展模式。

3. 2. 2 基于客运班次的空间联系

杭州市辖区的网络控制能力仍最强，共有 25 个和 32 个城镇将其作为首位和次位联系，相对于引力联系数量增加较多，说明在保证地域交通完备的基础上，交通距离衰减对于腹地范围的限制作用随规模效应增强而减弱。丽水市辖区和宁波市辖区作为首位联系次数分别为 8 次和 7 次，作为次位联系的次数为 3 次和 4 次，明显高于基于引力模型的测算结果，且前位联系区域已突破市域范围，形成区域性要素集聚中心，主要归结于区域发展一定程度上遵循空间自相关性规律，文化等因素也促使相近地域人员往来更加频繁，省域边界区域中心作用更易显现，具有更大发展潜力。温州市辖区分别被 3 个和 4 个节点作为首位联系和次位联系，与引力模型结果相比参与的首位联系较少，说明基础交通建设落后于空间发展需求，腹地控制能力受高等级城市影响无法建立稳定的权利分割，要素流失风险较大。金华市辖区和缙云县为两个节点的首位联系，主要是作为周边城镇对外沟通的枢纽，但从引力联系上看规模效应不突出，更应在周转功能的基础上提升资本的集聚和容纳水平。另有 10 个城镇被作为首位联系一次，多为距离相近节点。

从空间分布上看，网络联系仍呈现中心—辐射态势，前位联系分布与引力模型测算结果区别较大。在省域层面上客运联系形成较为明显的网络骨干，区域中心间的联系更为均衡，由于引力模型隐含了无差异化地理条件和无竞争性流通要素，而城镇体系具有层级式网络组织能力，且行政边界、文化归属等因素在不同对象间的边界效应不尽相同，高强度交通联系更易在设施交汇地中转，因此在引力测算过程中分权化和地方化现象被掩盖。杭州市辖区前位联系范围较广，且集中于省域西北部和东南部，主要是由于温州和台州地区首位联系较少，引力强度形成的地域分割在客运联系中尚未显现，东南部未形成相对集中的运输网络。东北部和西南部形成了以宁波市辖区和丽水市辖区为中心的放射状联系格局，且与引力联系相比更加突出，说明此类区域对周边城镇的引力滞后，中心地发展受交通设施影响较为显著，距离阻碍作用能够帮助地区性资源集聚中心形成，但区域整体协调需要多层次中心的支撑，更应以做大规模来提升对周边城镇的引领水平。

从分级的比较上看，客运联系第一到第四等级联系分别为 7、22、38 和 49 条，其中首位联系分别为 5、14、23 和 18 条，次位联系分别为 2、8、15 和 31 条，前三等级数量分布相较于引力联系明显增多，说明区域间实际联系较为分散，中心区实际控制能力更加均衡，在不考虑边界效应和交通优化配置的情况下，单以产业规模和距离成本算得的城镇引力更易向更高等级城市便宜。第一等级中杭州市辖区参与联系最多，共 5 条，多为周边地区市辖区，第二等级多为杭州市辖区、宁波市辖区、衢州市辖区和丽水市辖区参与，与引力联系相比，与杭州市辖区形成较强联系节点的联系规模更大，说明交通网络遵从层级构建原则，杭州市辖区的省域控制核心地位更为凸显。第三、第四等级联系集中于中心节点对外辐射补充和周边节点联系，且分割趋势更为明显为次级网络构建提供了重要依据。

3.3 城镇网络整体特征分析

由于城镇网络构建遵循由一维到二维、由局部到整体、由低密度到高密度的一般发展规律，因此，需要在节点规模和点对点连线基础上研究网络整体发展阶段及特征，以便为城镇体系优化提供有效理论支撑。

3.3.1 网络密度和中心度分析

首先使用 Ucinet 对网络整体密度和节点中间中心度进行测算，考虑到研究方法的适用性，借鉴已有研究成果对联系矩阵进行二值化处理^[21]，将引力数据进行规模识别，联系量超过 1 认定为存在联系，小于 1 认定为联系不存在。客运联系根据实际沟通状况进行二元赋值。

网络密度值反映了城镇网络节点间联系渠道的多样性，密度越大说明城镇间平均联系能力较强，基于客运联系的网络密度为 0.4865，而基于引力模型的联系密度为 0.4129，两者数值较低，说明浙江省整体城镇间仍处于弱联系状态，反映出中心城市对城镇体系整体控制力仍不足，各节点间缺乏强力沟通。客运联系密度相对较高，除数据处理方法影响外，也反映出区域实际联系体系更为健全。

其次基于引力联系和客运联系计算节点中间中心度(表 1)，并使用 Jenks 自然断裂点法进行分级(图 6)。两种测算结果中各节点中间中心度的平均值分别为 0.549 和 1.596，中间中心度为零的节点分别为 2 个和 16 个，说明虽然城镇在实际客运网络中参与更多中转行为，但节点间差距较大，城镇体系明显受少数节点的绝对支配，也进一步证明了要素流动受层级特征和边界效应影响。随着地域空间范围扩大，接受辐射较弱的地区未能形成整合机制，具有构建小范围网络的需求。

表 1 基于两种联系的城镇中间中心度排序

排名	基于引力联系中间中心度		基于客运联系中间中心度		排名	基于引力联系中间中心度		基于客运联系中间中心度	
1	杭州市辖区	4.367	杭州市辖区	20.469	33	青田县	0.319	缙云县	0.065
2	宁波市辖区	3.940	绍兴市辖区	10.809	34	长兴县	0.313	常山县	0.064
3	瑞安市	1.915	宁波市辖区	10.474	35	江山市	0.287	建德市	0.061
4	义乌市	1.779	温州市辖区	7.254	36	武义县	0.269	天台县	0.059
5	温州市辖区	1.621	金华市辖区	3.524	37	云和县	0.235	长兴县	0.039
6	金华市	1.549	永嘉县	2.463	38	龙泉市	0.233	嘉善县	0.039
7	宁海县	1.327	泰顺县	2.147	39	德清县	0.233	德清县	0.034
8	嘉兴市辖区	1.290	台州市辖区	1.919	40	新昌县	0.232	东阳市	0.029
9	衢州市辖区	1.272	磐安县	1.827	41	余姚市	0.226	桐乡市	0.020
10	丽水市辖区	1.263	新昌县	1.256	42	临安市	0.206	安吉县	0.020
11	永康市	1.198	湖州市辖区	0.875	43	安吉县	0.205	平湖市	0.016
12	绍兴市辖区	1.181	云和县	0.833	44	常山县	0.187	义乌市	0.016
13	东阳市	1.160	宁海县	0.810	45	遂昌县	0.170	文成县	0.012
14	龙游县	1.047	平阳县	0.792	46	玉环县	0.153	临安市	0.010
15	诸暨市	1.013	海盐县	0.535	47	开化县	0.140	仙居县	0.009
16	湖州市辖区	1.003	衢州市辖区	0.530	48	天台县	0.129	临海市	0.004
17	临海市	0.890	嘉兴市辖区	0.512	49	平湖市	0.122	开化县	0
18	台州市辖区	0.748	玉环县	0.456	50	松阳县	0.116	嵊泗县	0
19	缙云县	0.725	兰溪市	0.435	51	三门县	0.106	淳安县	0
20	舟 P 市辖区	0.672	诸暨市	0.384	52	淳安县	0.094	龙游县	0
21	建德市	0.610	海宁市	0.262	53	象山县	0.082	瑞安市	0
22	乐清市	0.605	嵊州市	0.258	54	景宁自治县	0.077	温岭市	0
23	桐乡市	0.594	浦江县	0.248	55	庆元县	0.073	岱山县	0

24	慈溪市	0.533	苍南县	0.244	56	永嘉县	0.066	永康市	0
25	桐庐县	0.388	余姚市	0.168	57	磐安县	0.059	青田县	0
26	仙居县	0.379	武义县	0.153	58	平阳县	0.048	乐清市	0
27	嵊州市	0.366	象山县	0.149	59	海盐县	0.042	遂昌县	0
28	兰溪市	0.363	慈溪市	0.127	60	泰顺县	0.034	松阳县	0
29	海宁市	0.347	桐庐县	0.127	61	浦江县	0.032	江山市	0
30	温岭市	0.343	舟山市辖区	0.123	62	文成县	0.030	庆元县	0
31	嘉善县	0.339	丽水市辖区	0.116	63	岱山县	0	景宁自治县	0
32	苍南县	0.337	三门县	0.103	64	嵊泗县	0	龙泉市	0

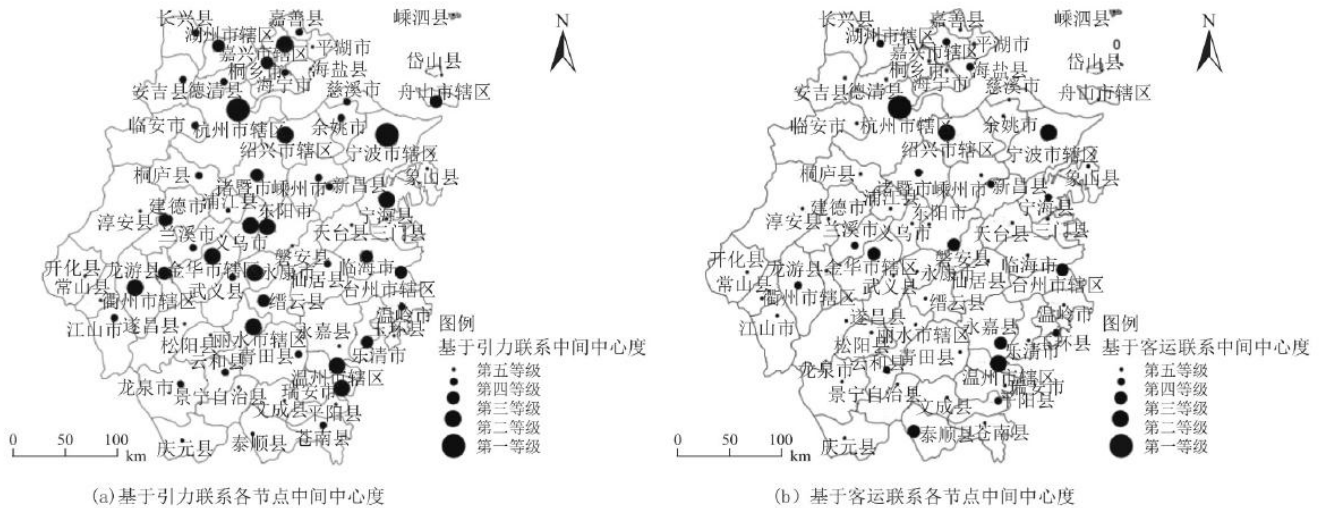


图 6 基于两种联系的城镇中间中心度分级

Fig. 6 Grade of urban center centrality based on two connections

从各节点得分和分级上看，基于客运联系的节点中间中心度两级分化明显，其中第一到第五分别有 1 个、3 个、5 个、11 个和 45 个，说明小区域受高等级虹吸效应影响缺乏实际支配中心。基于引力联系的节点中间中心度在第一到第五等级分别为 2 个、11 个、10 个、20 个和 21 个，较客运联系分布更为均衡。杭州市辖区在两种测算结果中均处于第一等级，其中引力联系的中间中心度是第二名的 1.11 倍，而客运联系为 1.89 倍，说明杭州市辖区在网络资源的资源控制力较为明显，其客运中间中心度为 20.469，是引力中心度的 4.69 倍，说明在实际客运网络中具有更强的中介能力。宁波市辖区和温州市辖区在引力联系和客运联系中的中间中心度排名较高，但客运得分分别是引力得分的 2.66 倍和 4.48 倍，说明其经济社会建设与实际中转能力尚未均衡，但绝对实力决定其理应作为省域副中心城市。绍兴市辖区客运联系中间中心度相比引力联系等级较高，主要是由于其位于两大中心节点的中间位置，要素流动的中介作用较为明显，而距离较近将有助于区域一体化的形成。其他城市市辖区在两种联系网络中的中间中心度得分较小，且两者差距较小，说明在自身建设还未达到区域辐射要求，网络自组织能力受外界限制较大。

3.3.2 凝聚子群分析

基于城镇节点联系的凝聚子群分析通过比较整体与群体内部节点联系强度，体现出一定范围节点紧密性，反映出中心城市对网络整体的实际控制范围和能力，借助 Ucinet 角色位置分析中的 CONCOR 结构分析对基于引力和客运两种模型进行测算，结果如图 5 所示。

由引力联系所得的结果将杭州市辖区与嘉兴、绍兴、宁波和舟山等省东北部地区共 19 个单元归为一群。而温州市辖区及省东南部区域共 12 个单元构成一个子群，两子群中间区域的 7 个单元为第三个子群，中部及西部大部分地区为第四个子群。结合上文的联系空间分布可以推出，由节点规模构成的空间网络中缺乏地区性控制中心，联系规模较大的节点构成了各自的凝聚子群，而偏远地区受中心节点影响的强度尚无法将自身纳入网络核心层次，根据引力模型测算原理，区域差异是造成联系分割的主要因素。

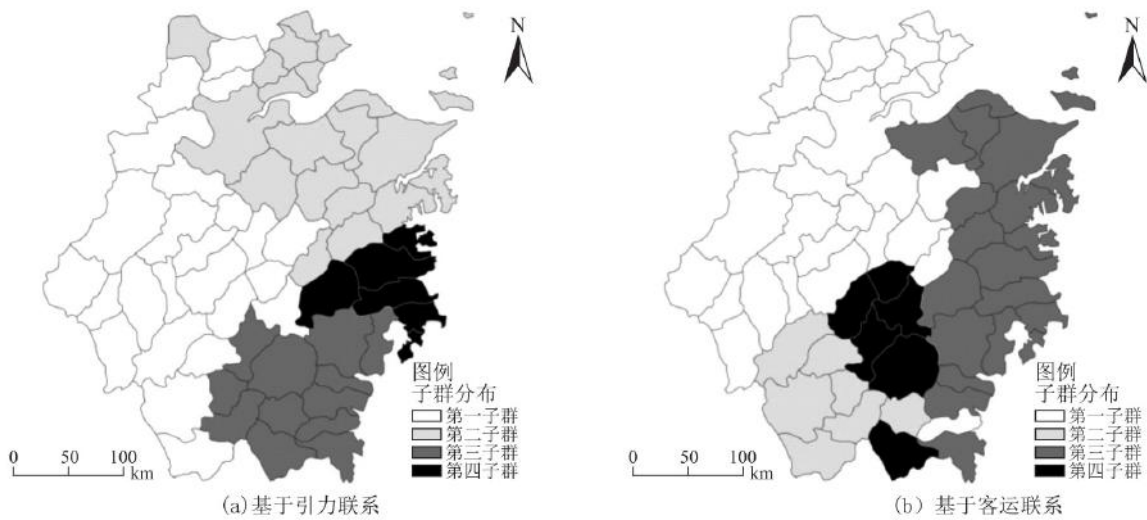


图 7 基于两种联系的城镇凝聚子群分布图

Fig. 7 Distribution map of urban coherent subgroup based on two connections

由客运联系构成的凝聚子群与引力联系存在较大差异(图 7)，引力联系构成的北部组团被分割，杭州市辖区联系密集区转为嘉兴、湖州、金华、衢州等西北部地区，共 27 个单元。而宁波区域与舟山、台州、温州等 22 个东部沿海城市归为一群，南部节点丽水市辖区与周边地区等 6 个单元为第 3 子群，第 4 个子群主要分布于西南部区域。从数量分布上看，中心节点交通影响腹地相对更大，区域经济社会差异性为节点联系奠定了基础，但高规模节点并未像引力子群形成一体化空间集聚，核心城市整合需要更为通畅的流通媒介。落后地区因服务能力和职能结构单一，人口等要素资源受中心城市内聚力和落后城市离心力叠加影响更强。当要素价值超出要素流动和需求成本时，联系意愿将逐步消失，因此落后地区客运联系更多表现出小范围凝聚。在完善城镇网络时，对于不同地域间空间联系应采取相应的扶持措施。

4 结论与讨论

本文针对城镇体系评价中存在系统性视角欠缺、地方发展基础与城镇生产关系二元分离现象，基于节点间引力联系和客运联系现状，从点、线、网 3 个维度，对浙江省城镇联系网络的发展现状进行比较和分析。

(1) 基于引力模型的节点联系规模分化明显，杭州市辖区、宁波市辖区和温州市辖区与周边区域形成规模集聚，中部和西南部尚未形成成熟规模序列。基于客运班次的节点联系规模等级分布更为分散，杭州市辖区单处第一等级，高等级节点分布拟合交通干线。从两者比较上看，节点规模分布均满足北高南低、中间高东西低趋势，南北方向上客运联系空间差异性更大，东西

方向上引力联系的趋势线更平缓,规模分布尚未发挥城镇合作的叠加效果。北部城镇的网络参与能力仍需加强,区域整合需要通道建设拉动,南部城镇客运联系规模相对领先,应着重加大规模要素支撑和自组织能力。

(2)对各节点参与首位和次位联系筛选并分级,两种联系中杭州市辖区参与最多,但对接范围不同,引力联系中宁波市辖区和温州市辖区空间作用明显,其他地区有形成区域组团趋势。客运联系中丽水市辖区和宁波市辖区对周边腹地组织能力较强,温州市辖区受外界干扰参与前位联系较少,其他节点参与前位联系较为零散。从对比上看,引力联系等级分布更为集中,联系网络存在均质化现象,客运联系区域中心更为明显和均衡,空间分布遵循中心—辐射态势,层级式和跳跃式分割现象明显。

(3)浙江省城镇联系网络密度仍较低,客运联系节点平均中间中心度明显高于引力联系,但存在两极分化,杭州市辖区、宁波市辖区和温州市辖区的实际网络控制优势明显,其他市辖区受虹吸效应影响尚未形成腹地支撑。根据两种联系量的网络节点均分为4个凝聚子群,但二者空间分布差异较大,引力联系凝聚子群表现出大规模节点一体化倾向,而客运联系方面形成发达地区分割与落后地区小范围凝聚的局面。基于以上结论,城镇依赖导向下的联系网络构建不能脱离于地方经济社会发展实际,网络结构和组织能力的改善应在多角度比较的基础上促进要素分配的空间相对均衡。

基于网络节点不同发展阶段和特点,应发挥顶层设计的引导作用,重视城镇网络的多层次发展需求,合理优化城镇等级结构和规模分布:杭州、宁波、温州等北部和东部中心城市应着重提升城市—区域协作水平,在保证城市职能稳固的同时重点提升对腹地网络的组织和支配能力,增加技术密集型和资金密集型产业比重,以产业提升全要素流通水平,同时应发挥城市与区域的互动和引领作用,外延式增加腹地网络的运转规模。构建涉及全省的产业体系和联系机制,以区域专业化分工和产业梯度转移促进各层次资源在省内合理布局,加大对丽水等中部和西南部落后地区中心节点基础设施支持力度,降低沟通成本、拉动边际效用增加。明晰偏远地区城镇化建设路径,提升要素内聚与承载能力,发挥资源比较优势,积极融入发达地区产业链条,形成资源流动的双向均衡,以改善要素流失导致的联系规模停滞。

构建以交通设施为引导的多层次沟通协作体系,以破解不同城镇参与网络组织面临的困境,根据分析结果,一应针对低规模联系节点相对滞后的自然和经济基础,构建贯穿组团内部的交通连接网络,以提升区域中心节点对资本要素的可达和中转能力,形成空间集聚和规模效应。二应针对城镇子群南北分割和规模差距,重点推进南北向运输通道建设,弱化边缘地区参与联系组织的自然空间劣势,以便捷发展轴打破行政束缚,引导不同等级和空间节点间的要素与生产互动,实现网络参与能力相对均衡。三应丰富大规模联系节点间协作途径,在各子群核心节点间构建更加高效便捷的资源运转载体,打破流通成本对腹地要素内聚与生产职能分工的限制,丰富产业融合渠道,逐步增强骨干联系对省域网络辐射带动能力。并协作参与全国交通互联、产业互补和人才互通,共同提升在国家城市体系和国际产业合作中作用。

参考文献:

- [1] 石恩明,刘望保,唐艺窈. 国内外对社会空间分异测度研究综述[J]. 地理科学进展, 2015, 34(7): 818—829.
- SHI EN M, LIU W B, TANG Y Y. A review of social spatial segregation measurements [J]. Progress in Geography, 2015, 34(7): 818—829.
- [2] 马学光,李贵才. 西方城市网络研究进展和应用实践[J]. 国际城市规划, 2012, 27(4): 65—71.
- MA G X, LI G C. Progress and application practice in western city network studies[J]. Urban Planning International, 2012, 27(4): 65—71.
- [3] 王世君,冯章献,刘大平,等. 中心地理论创新与发展的基本视角和框架[J]. 地理科学进展, 2012, 31(10): 1256

WANG S J, FENG ZH X, LIU D P, et al. Basic perspective and preliminary framework for the theoretical innovation and development of central place theory in new times [J]. Progress in Geography, 2012, 31(10) : 1256—1263.

[4] 顾朝林, 庞海峰. 基于重力模型的中国城市体系空间联系与层域划分 [J]. 地理研究, 2008, 27(1) : 1—12.

GU CH L, PANG H F. Study on spatial relations of Chinese urban system: gravity model approach [J]. Geographical Research, 2008, 27(1) : 1—12.

[5] JORG S, SCHMIDT A, FRANK A. Towards the multimodal transport of people and freight: inter-connective net-works in the Rhein Ruhr Metropolis [J]. Journal of Transport Geography, 2003, 11: 193—203.

[6] 张虹鸥, 叶玉瑶, 罗晓云, 等. 珠江三角洲城市群城市流强度研究 [J]. 地域研究与开发, 2004, 23(6) : 52—56.

ZHANG H OU, YE Y Y, LUO X Y, et al. Research on the degree of the urban flow of pearl river delta [J]. Areal Research and Development, 2004, 23(6) : 52—56.

[7] 徐慧超, 韩增林, 赵林, 等. 中原经济区城市经济联系时空变化分析——基于城市流强度的视角 [J]. 经济地理, 2013, 33(6) : 53—58.

XU H C, HAN Z L, ZHAO L, et al. Analysis on the temporal and spatial changes of central plains economic region—from the perspective of urban flow intensity [J]. Economic Geography, 2013, 33(6) : 53—58.

[8] 葛浩然, 朱占峰, 赵威. 中部地区对外服务特征及服务网络结构评价 [J]. 现代城市研究, 2016, 31(11) : 124—132.

GE H R, ZHU Z F, ZHAO W. The characteristics of external service and the evaluation of service network structure in central China [J]. Modern Urban Research, 2016, 31(11) : 124—132.

[9] 张燕, 徐建华, 吴玉鸣. 地理空间效应视角下的后发经济区趋同研究——以北部湾经济区为例 [J]. 经济地理, 2011, 31(12) : 1981—1987.

ZHANG Y, XU J H, WU Y M. The study of convergence of late-developing region with geographical spatial effects perspective: a case study of beibu gulf economic zone [J]. Economic Geography, 2011, 31(12) : 1981—1987.

[10] 刘正兵, 刘静玉, 何孝沛, 等. 中原经济区城市空间联系及其网络格局分析——基于城际客运流 [J]. 经济地理, 2014, 34(7) : 58—65.

LIU ZH B, LIU J Y, HE X P, et al. The spatial connection and network feature of Zhongyuan economic district base on intercity traffic flow [J]. Economic Geography, 2014, 34 (7) : 58 —65.

-
- [11] 金凤君. 我国航空客流网络发展及其地域系统研究 [J]. 地理研究, 2001, 20(1) : 31—39.
- JIN F J. A study on network of domestic air passenger flow in China. [J]. Geographical Research, 2001, 20(1) : 31—39.
- [12] 刘望保, 石恩名. 基于 ICI 的中国城市间人口日常流动空间格局——以百度迁徙为例 [J]. 地理学报, 2016, 71(10) : 1667—1679.
- LIU W B, SHI EN M. Spatial pattern of population daily flow among cities based on ICT: a case study of “Baidu Migration” [J]. Acta Geographica Sinica, 2016, 71(10) : 1667—1679.
- [13] LILLENBERGER J, NAGEL K, FLETTER D G. The role of spatial interaction in Social Network [J]. Networks and Spatial Economics, 2012: 1—28.
- [14] 严重敏. 区域开发中城镇体系的理论与实践 [J]. 地理学与国土研究, 1985, 1(2) : 7—11.
- YAN CH M. The theory and practice of urban system in Regional Development [J]. Geography and Geo-Information Science, 1985, 1(2) : 7—11.
- [15] RUSSON M G, VAKIL F. Population, convenience and distance decay in a short-haul model of united states air transportation [J]. Journal of Transport Geography, 1995, 3 (3) :179—185.
- [16] 王德忠, 庄仁兴. 区域经济联系定量分析初探——以上海与苏锡常地区经济联系为例 [J]. 地理科学, 1996, 16(1) : 51—57.
- WANG D Z, ZHUANG R X. The preliminary probe into the quantitative analysis of regional economic links—a case study on economic links between Su-Xi-Chang and Shanghai [J]. Scientia Geographica Sinica, 1996, 16 (1) : 51—57.
- [17] 孟德友, 陆玉麒. 基于引力模型的江苏区域经济联系强度与方向 [J]. 地理科学进展, 2009, 28(5) : 697—703.
- MENG D Y, LU Y Q. Strength and direction of regional economic linkage in Jiangsu Province Based on Gravity Model [J]. Progress in Geography, 2009, 28(5) : 697—703.
- [18] 顾朝林, 庞海峰. 基于重力模型的中国城市体系空间联系与层域划分 [J]. 地理研究, 2008, 27(1) : 2—8.
- GU CH L, PANG H F. Study on spatial relations of Chinese urban system: gravity model approach [J]. Geographical Research, 2008, 27(1) : 2—8.
- [19] 赵雪雁, 江进德, 张丽, 等. 皖江城市带城市经济联系与中心城市辐射范围分析 [J]. 经济地理, 2011, 31(2) : 219—223.
- ZHAO X Y, JIANG J D, ZHANG L, et al. The economic links between the cities in Wanjiang urban belt and the radiation

scope of the central city [J]. Economic Geography, 2011, 31(2) : 219—223.

[20] 刘军. 社会网络分析导论 [M]. 北京: 社会科学文献出版社, 2004: 98—255.

LIU J. An introduction to social network analysis [M]. Beijing: Social Sciences Academic Press. 2004: 98—255.

[21] 侯贇慧, 刘志彪, 岳中刚. 长三角区域经济一体化进程的社会网络分析 [J]. 中国软科学, 2009, (12) : 90—101.

HOU Y H, LIU ZH B, YUE ZH G. Social network analysis over the process of economic integration in the Yangtze River Delta [J]. China Soft Science, 2009, (12) : 90—101.