

基于夜光遥感影像与百度POI数据的中国城市群空间范围识别方法

梁 泽^{1,2}, 黄 姣^{1,2}, 韦飞黎^{1,2}, 申嘉澍^{1,2}, 李双成^{1,2}

(1. 北京大学城市与环境学院, 北京 100871;

2. 北京大学地表过程分析与模拟教育部重点实验室, 北京 100871)

摘要: 提出基于夜间灯光遥感影像、电子地图兴趣点和社会经济统计数据等,以经济地理学中的“点-轴”理论为基础,以“点-轴集聚区”的识别为核心,利用迭代自组织聚类、聚合分析、指标阈值筛选等方法,识别中国城市群及其空间范围的技术方法。通过该方法识别出中国14个城市群,其中8个城市群的空间范围与规划范围接近;与规划范围不一致的则表现为三种情况,分别揭示出规划中需要考虑的不同问题。研究结果表明,本文提出的方法能突破行政边界限制,科学反映城市群辐射范围,客观反映城市之间的社会经济联系强度,并基于“现状-动态”视角有利于深入发掘潜在的城市群对象。研究结果可以为城市群规划和管理提供参考。

关键词: 城市群;空间范围;点-轴理论;点-轴集聚区;现状-动态;ISO聚类

DOI: 10.11821/dlyj020181002

1 引言

关于“城市群”的研究由来已久,其概念的雏形甚至可以追溯到1898年Howard提出的“城镇群”(Town Cluster)^[1]。1957年Gottmann提出“大都市带”(Megalopolis)的概念用以描述多个大城市与周边城市通过紧密的交通和经济联系成为一个连续整体的重要现象^[2],随后逐渐演变出“城市群”(Urban Agglomeration)的概念,并得到越来越多的国内外学者基于核心城市数量、人口、经济和交通等方面对其提出相似却又各有侧重的定义标准^[3-9],满足这些标准的城市行政单元集合构成了城市群的空间范围。在经济全球化的背景下,城市群作为城市区域化发展到高级阶段的产物,被证明在激发国家经济活力、实现区域产业高效分工合作、支撑国家参与全球竞争等方面具有无可替代的重要作用。中国在十九大报告中明确强调“以城市群为主体构建大中小城市和小城镇协调发展的城镇格局”,近年来城市群规划迅速成为国内各领域的研究热点。

然而,中国的城市群规划一直存在两个亟待解决的重要难题:一是缺乏全国统一的城市群判别标准^[10];二是常常忽视城市之间的实际功能联系,使城市群的空间范围被盲目扩大^[11]。由于在指标选取和方法选择上的不同会造成城市群范围识别结果的巨大差异^[12,13],所以建立一套具备坚实理论基础、有定量依据和便于实践操作的城市群范围识别技术方法,具有突出的紧迫性和重要的现实意义。

收稿日期: 2018-09-14; 修订日期: 2018-11-27

基金项目: 国家自然科学基金项目(41590843)

作者简介: 梁泽(1990-),男,黑龙江哈尔滨人,博士研究生,主要从事城市化的生态与环境效应研究。

E-mail: liangze@pku.edu.cn

通讯作者: 李双成(1961-),男,河北平山人,博士,教授,主要从事土地利用与覆被变化的生态效益及政策研究。

E-mail: scl@urban.pku.edu.cn

目前国内外关于城市群空间范围划定的技术方法大致可以分为以下三类: 一是通过有效识别“中心-外围”关系, 基于社会经济指标判断各城市之间的联系程度, 并通过设定联系度的阈值对城市进行遴选^[14], 如胡序威对闽东南地区城市群的界定^[15]、宁越敏等对长江三角城市群的识别^[16]、代合治对全国城市群的判定等^[17]。二是建立“核心城市”影响模型, 如引力模型等, 基于模型计算结果将周边城市划入城市群范围之内^[18], 如Martin等基于人口和社会经济数据建立引力模型来确立都市区边界^[19], Fragkias等基于Hoshell-Kopelman算法在中国长江三角洲地区进行城市群对象的判别^[20]。第三类方法是基于多源数据运用GIS平台进行指标筛选与集成建模, 如张倩等利用地球信息系统平台建立交通、人口和经济等数据信息库, 通过构建算法快速划定城市群空间范围^[21]。

这些方法在不同程度上存在如下问题: ① 城市群中的城市或城镇多以抽象点的形式参与模型计算, 其间纷繁复杂的联系多用人流量或信息流量等要素流代替^[13], 而在一些城市连续成片的区域, 其特征多样的斑块在空间格局、形态密度等方面包含着极为丰富的信息, 对该类信息的忽略难以挖掘城市群深层次特征。② 所选用的指标大多针对城市发展现状, 缺乏以动态视角对城市群成长过程的审视。实际上, 在区域发展过程中, 城市的社会经济活力并非随时间不变, 不同城市之间的联系程度也常常存在此消彼长的动态变化。将区域发展的短长期动态纳入区域联系度的评判指标, 有助于深入发掘潜在的城市群。③ 在数据运用上的精细化程度有待提高, 如不作区分的使用各种类型的电子地图兴趣点数据(Point of Interest, 简称POI), 未单独考虑公司厂矿等社会生产要素的空间布局等。

针对以上问题, 本文尝试基于城市群概念中“多核心、强联系”的判定标准, 运用经济地理学中的“点-轴”系统理论, 通过夜光遥感影像、百度POI和城市社会经济统计指标等数据, 利用迭代自组织聚类、聚合分析、指标阈值筛选等方法对区域“点-轴”系统的特征进行深入分析, 识别城市群对象并划定其空间范围。文中提出的城市群识别与空间范围划定方法可以为中国城市群研究和实践工作提供参考。

2 理论、数据与方法

2.1 “点-轴系统”、“点-轴集聚区”与城市群识别

“点-轴开发理论”吸收了增长极理论、中心地理论和生长轴理论的核心思想, 在中国深入开展全国性和地区性国土开发、深化宏观区域发展战略研究的背景下, 由中国经济地理学家提出^[22]。“点-轴”理论认为, 在区域经济发展过程中, 条件较好的几个地区将率先发展成为经济中心, 称为区域增长极, 呈现出一种点状的空间分布格局。随着经济中心空间范围与经济辐射范围不断变大, 与周边其它经济中心的联系不断增强, 经济中心点之间的服务、能源等需求日益增长, 部分社会生产要素逐渐沿着“点”之间的交通线分布形成轴线, 社会经济“流”沿着轴线向四周渐进式扩散。轴线对人口和产业的吸引不断增强, 引起部分社会经济要素在轴线附近聚集并产生新的增长点, 最终形成点轴聚集、社会经济要素分布连续和社会经济联系密切的区域。这种发展模式, 使区域在城市聚集度、城市间的社会经济联系以及内部城市中心性等方面与城市群的概念和内涵高度统一, 满足学术界普遍认可的“城市群”定义要求。

基于“点-轴”理论可将城市群的发育过程分为四个阶段: 第一阶段, 区域中城市个体处于分散孤立状态; 第二阶段, 由于集聚效应和规模效应, 个别城市逐渐发展成为区域的经济中心, 并和邻近的城市通过交通线、能源线等“基础设施束”构成轴线; 第三

阶段,部分社会经济要素如住宅小区、企业工厂等沿着“轴”线扩散分布形成新的聚集点,从而逐步形成“以点牵线、以线连点”的城市网络;第四阶段,随着区域经济的持续发展,点轴进一步快速发育,最终发展成为连续成片的“点-轴集聚区”,并通过强大的社会经济联系,发展为成熟的城市群。

在区域发展过程中,“点”与“轴”呈现出的时空变化,既是城市群发育的体现,也是确定城市群范围的现实基础,其中“轴”的时空变化尤其重要。一部分“轴”聚集了大量的社会经济要素,并呈现出蓬勃的发展态势,社会经济活动强度不断增强,成为快速发育的“发展轴”。相比交通用时反映的城市之间的联系度,“发展轴”更能表达城市斑块之间社会经济要素的空间邻接性。“发展轴”和核心城市(“点”)共同反映整个区域的社会经济要素集中度,构成“点-轴集聚区”,成为城市群系统的基本框架。本文基于对“点-轴集聚区”的有效识别,深入理解区域“点-轴”系统的发展动态,梳理区域发展演化进程,最终完成对城市群空间范围的划定。

2.2 技术路线与数据来源

本文的技术路线如图1,以“点-轴集聚区”的提取为技术核心进行城市群空间范围的判定。“点-轴集聚区”由多个城市及其间过渡区域中的发展区域构成。其中发展区域应具备以下两方面特征:一是具有较强的社会经济活动强度和密集的社会经济要素分布,尤其是以公司以及厂矿为代表的社会经济要素多;二是应处于“发展”的状态,表现为社会经济活动强度的显著提升,考虑到中国以五年为周期制定国民经济发展规划^[23],可将五年作为社会经济活动强度变化的考察时段。针对发展区域的特点,本文首先定义综合社会经济指数(CSEI)和社会经济活动强度变化指数,以分别用来表征社会经济活动强度和社会经济活动强度的变化程度。前者基于2015年夜间灯光指数和企业工厂POI

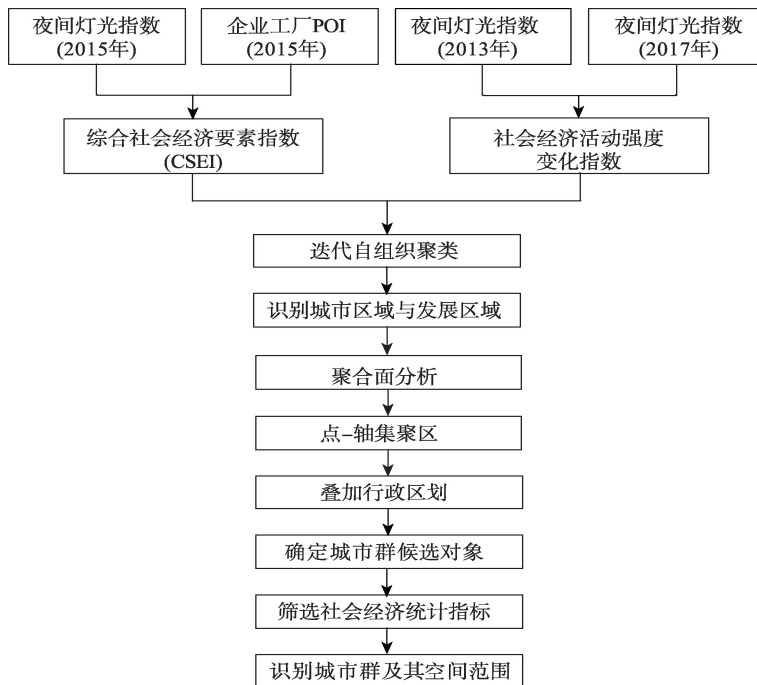


图1 城市群空间范围识别方法技术流程

Fig. 1 Flowchart for the identification method of the spatial extent of urban agglomeration.

核密度两个指标计算得到, 后者用以2015年为中点的五年期(即2013—2017年)夜间灯光强度变化量表达。通过对CSEI和夜间灯光强度变化量进行迭代自组织聚类分析, 从聚类结果中提取得到城市区域和发展区域分布范围。进一步通过聚合面分析将紧密的城市及城市间发展连接起来, 得到点-轴集聚区。将点-轴集聚区叠加行政单元边界, 得到城市群候选对象。最后参考已有相关研究, 制定城市群遴选标准, 包括人口规模、核心城市数量、城市化率、道路网密度等指标阈值, 筛选得到城市群及其空间范围的识别结果。

文中用到的夜间灯光指数采用NPP-VIIRS夜间灯光数据, 由美国国家极轨卫星(Suomi-NPP)搭载的夜光传感器可见光近红外成像辐射传感器生产。夜间灯光遥感数据可以反应人类夜间经济活动强度, 被广泛应用于电力与能源消耗估算、城市发展评估等方面^[24-26]。相比DMSP-OLS(美国国防气象卫星计划搭载的线扫描系统)稳定夜间灯光指数而言, NPP-VIIRS数据具有更大的像素深度、更高的空间分辨率(500 m)、更合适的时间覆盖范围(自2011年至今), 以及有效弥补城市核心区域灯光指数饱和问题的不足。文中主要用到了2013年、2015年和2017年的日夜光波段(Day/Night Band)年度合成数据。

由于沿“轴”分布的社会经济要素中企业与工厂众多, 夜间停工等因素使部分工业区夜晚照明用光有限, 其聚集程度难以完全通过夜间灯光指数有效表征。因此, 综合社会经济要素指数的计算还使用了2015年的百度POI数据加以补充。POI密度与人类经济活动强度等有着密切的联系, 被逐渐应用于城市边界的提取等研究^[27], 该数据信息丰富, 可以通过提取企业工厂的位置信息等直接反应社会生产要素空间布局。

文中用于遴选城市群的面积、人口总量、城市化率等社会经济统计数据来自《中国城市统计年鉴2016》, 道路网数据来自高德导航数据, 选取县道及以上级别的道路数据用于计算道路网密度。

2.3 研究方法

2.3.1 基于夜光遥感与百度POI数据分析区域社会经济活动强度及变化 首先通过提取POI中公司和厂矿两个二级类别, 得到全国范围内共计130394条公司和厂矿的位置信息。再通过ArcGIS 10.5的加权核密度分析工具, 计算得到企业和厂矿POI的归一化核密度(Normalized Kernel Density), 然后定义综合社会经济要素指数(Comprehensive Social and Economic Index, CSEI)如公式(1)所示, 结合稳定夜间灯光指数, 计算得到全国的CSEI空间分布格局:

$$CSEI = DN_{NPP-VIIRS} \times KDP_{normalized} \quad (1)$$

式中: CSEI为综合社会经济要素指数; $DN_{NPP-VIIRS}$ 表示为NPP-VIIRS的稳定夜间灯光指数; $KDP_{normalized}$ 为企业和厂矿POI的归一化核密度。

最后, 计算2017年与2013年的NPP-VIIRS稳定夜间灯光指数的差值, 作为以2015年为中点的五年期社会经济活动强度变化分布图。

2.3.2 基于ISO聚类方法识别“点-轴集聚区” 基于综合社会经济要素指数(CSEI)和社会经济活动强度变化指数两个指标, 进行迭代自组织(Iterative self-organization, ISO)聚类分析。ISO算法在输入波段的多维空间中将所有像元分隔成指定数量的不同单峰组, 并通过改进的迁移平均值法进行迭代, 得到统计值相似的聚类类别, 然后对邻近的聚类进行合并, 调整得到最终聚类数目。该方法被广泛应用于地区和全球尺度的城市化发展动态研究中^[28], 取得了良好的结果。通过设置最大聚类数为20, 经过足够的迭代, 得到最终聚类数目为7。分类结果中的各类别分别代表具有相似发展现状和发展趋势的区域。统计得到每种类别的CSEI和社会经济强度变化指数均值, 分析其社会经济活动强

度及变化特征,识别出发展区域。有研究显示,在步行出行距离超过1 km时,出行者选择由步行转为其他交通方式出行最多^[29],相距1 km之内的不同发展区域很容易通过居民步行建立直接联系。所以本文设置1 km为阈值,使用聚合面分析方法将彼此邻近的城市区域或发展区域进行合并,得到大规模连续度较高的聚合区域,即为“点-轴集聚区”。

2.3.3 基于社会经济指标识别城市群 再将识别出的“点-轴集聚区”叠加地级市行政边界,形成城市群候选对象集。这些候选对象初步吻合了城市群概念最重要的三个方面:① 具有较高的社会经济要素聚集度;② 具备较为密切的社会经济联系;③ 具有较强的空间邻接性与交通联系。

在此基础上,参考已有研究中关于城市群判定的社会经济指标设计及其阈值设定^[10,30],构建城市群遴选标准如表1所示。该标准包括能反映城市首位度、规模、城市化程度和交通联系度等四个方面的5个指标,认为满足以下5个要求的城市群候选对象可以被确定为城市群:① 至少包含三个人口数量大于200万的大城市,其中至少包括一个人口超过500万的超大城市;② 面积不小于1万km²;③ 人口总量不低于2000万;④ 非农业人口比例大于50%;⑤ 道路(公路)网密度不小于2500 km/万km²。

表1 城市群遴选标准

Tab. 1 Urban agglomeration selection criteria

遴选指标	标准	指标意义
城市数量	至少包含三个人口数量大于200万的大城市,至少包括一个人口超过500万的超大城市	首位度,中心度
城市群面积	面积不小于1万km ²	规模大小
人口总量	人口规模不低于2000万	规模大小
城市化率	城市人口比例不低于50%	城市化程度
路网密度	公路网(县道及以上级别)密度大于2500 km/万km ²	交通联系度

3 研究结果

3.1 区域社会经济活动强度及变化的空间格局

计算得到全国综合社会经济指数(CSEI)的空间分布格局,以北京及其周边地区为例,如图2所示。通过对比夜间灯光指数(图2a)、企业与厂矿POI分布(图2b)和CSEI(图2c),发现CSEI指数可以更精细、更充分的反应出区域“点-轴”系统的综合社会经济活动强度、社会经济要素集中度和城市间的社会经济联系等信息。通过夜间灯光强度差值计算得到社会经济活动强度变化指数,如图3所示,该指数可以清晰显示出北京郊区和天津郊区社会经济活动强度的不断增强和两城市之间过渡地带社会经济联系的增强。

3.2 “点-轴集聚区”的空间分布格局

ISO聚类分析得到了社会经济活动强度及其变化量相对一致的7个类别,各类别相关指标的特征统计如表2所示。结果显示,第6类具备极高的社会经济活动强度,与成熟的都市区域的特征一致。而第1类同时满足了“发展区域”的两个条件,即较高的社会经济活动强度和较为显著的社会经济活动增强趋势,可以识别为“发展区域”。第1类和第6类共同构成城市群发育的基本骨架。通过聚合面分析得到多个城市区域与发展区域聚合而成的点-轴集聚区,可以反映出不同发展阶段的城市群空间特征。图4(见第98页)

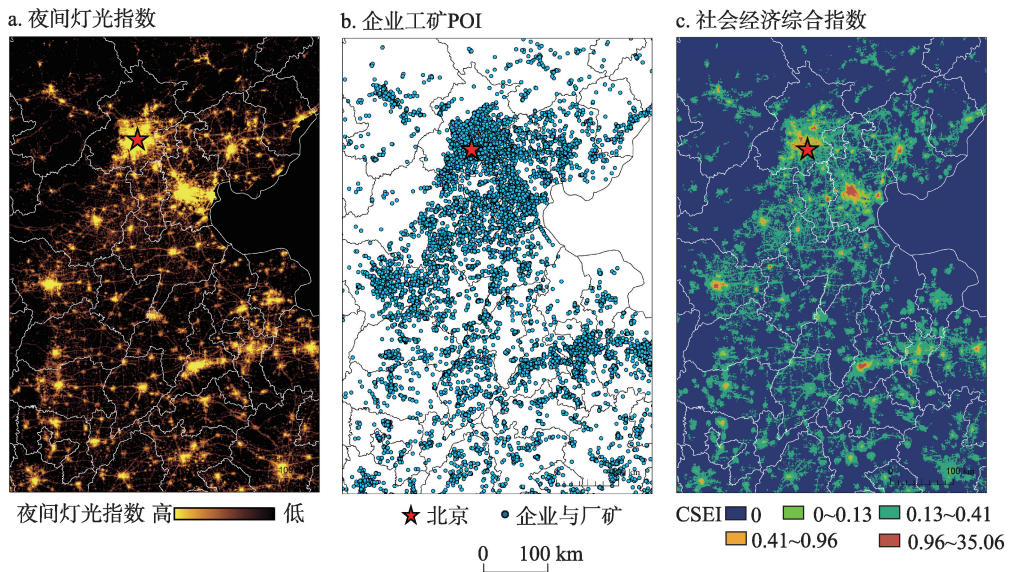


图2 2015年北京及其周边地区夜间灯光指数(a)、POI密度(b)与CSEI(c)的空间分布格局

Fig. 2 Spatial pattern of night light index, POI density and CSEI in Beijing and its surrounding areas in 2015

分别表示了发达的北京及周边地区(图4a)、较为发达的山东地区(图4b)和位于中国西部的次发达的关中平原地区(图4c)以及兰州-西宁地区(图4d),从图4中可以看出,发育较为成熟的区域内部,城市区域和发展区域聚合为巨大的“点-轴集聚区”,城市之间可以通过“点-轴集聚区”内的多个发展轴彼此建立联系。而发达程度相对较低的地区则难以聚合为“点-轴集聚区”,且发展区域分布松散,难以使不同城市之间建立发展轴以及紧密的社会经济联系。结果表明,该方法识别出的“点-轴集聚区”格局足够清晰,为下一步科学筛选城市群对象并划定其空间范围提供了保证。

3.3 城市群识别结果及其特征

根据城市群遴选标准中的五项要求,最终识别出14个城市群,如图5所示,各城市群的社会经济特征统计如表3(见第99页)所示。

综合图5和表3的结果可知,筛选出的城市群主要分布于中国东部,符合中国发展实情;经济发达程度较高,其中10个城市群的人均国内生产总值远远高于2015年全国平均水平(50300元/年),只有4个城市群略低于全国平均水平。

3.4 城市群识别结果与规划结果的比较

中国国民经济和社会发展“十三五”规划

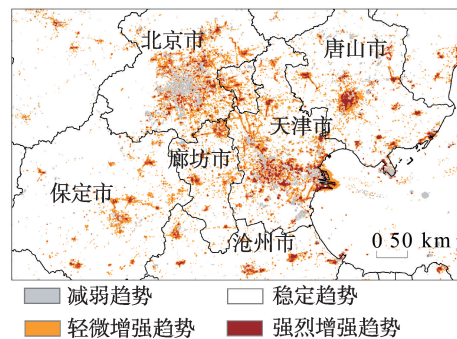


图3 2015年前后北京及其周边地区社会经济活动强度变化的空间格局

Fig. 3 Spatial pattern of changes in the intensity of socio-economic activities in Beijing and its surrounding areas around 2015

表2 聚类结果各类别相关指标统计

Tab. 2 Statistical table of various related indicators of clustering results

类别序号	社会经济活动强度现状	社会经济活动强度变化量
1	1.66	0.56
2	0.55	0.30
3	0.03	4.73
4	0.00	-3.17
5	0.04	0.08
6	12.24	2.13
7	0.00	0.16

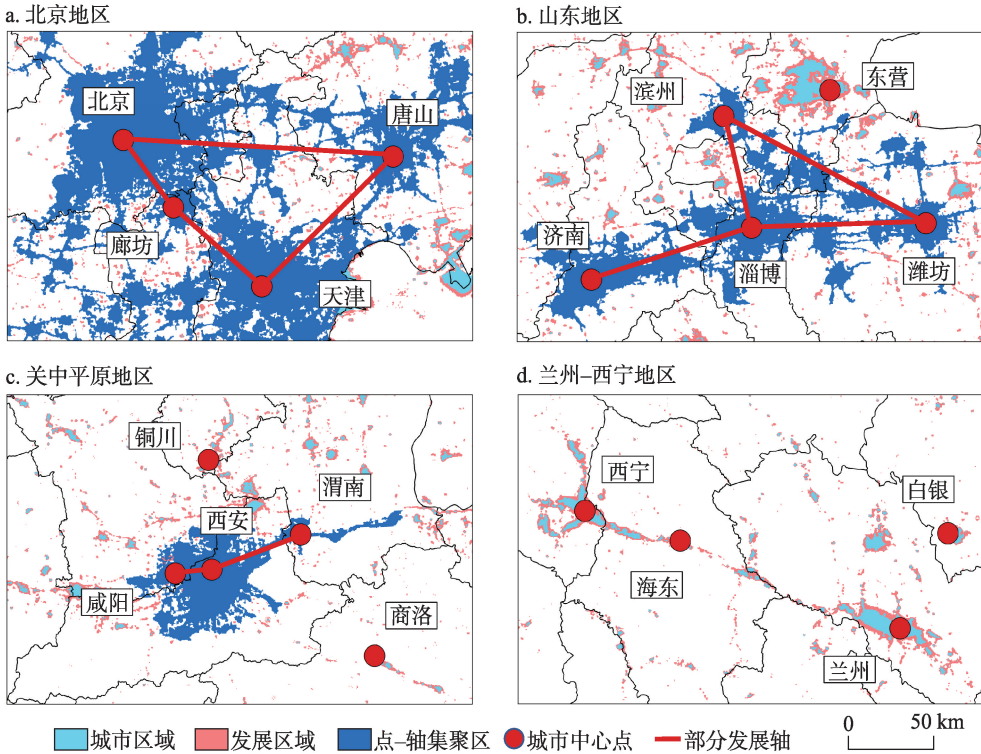


图4 不同区域“点-轴集聚区”空间分布

Fig. 4 Spatial distribution of the "development axis" in different areas

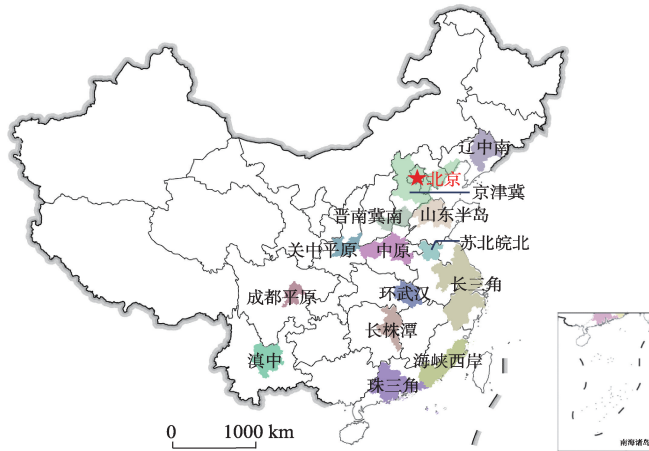


图5 城市群遴选结果

Fig. 5 Result of the urban agglomeration identification

注：该图基于国家测绘地理信息局标准地图（审图号为GS(2019)1823号）绘制，底图无修改。

中提出在全国范围内建设19个城市群，本文识别出的14个城市群均能在该规划中找到对应的城市群，其中，8个城市群与规划范围较为接近，包括长三角城市群、京津冀城市群、珠三角城市群、中原城市群、关中平原城市群、辽中南城市群、海峡西岸城市群和

表3 城市群社会经济指标统计

Tab. 3 Summary of the socio-economic indicators of urban agglomerations

序号	年末总人口 (万人)	I级城市 数量	II级城市 数量	人均GDP (万元/人)	道路网密度 (km/万km ²)	行政区总面积 (万km ²)	城市群 名称	城市 名称
1	13022.30	10	11	11.36	76854.53	24.03	长三角	上海, 南京, 杭州等
2	7456.63	5	4	8.74	41767.91	23.62	京津冀	北京, 天津, 保定等
3	6655.52	4	7	15.03	26803.05	10.22	珠三角	广州, 深圳, 东莞等
4	4510.45	4	5	5.58	19333.06	8.15	海峡西岸	福州, 厦门, 泉州等
5	3254.29	3	3	7.69	20552.02	8.91	鲁中	济南, 德州, 潍坊等
6	4836.52	4	5	4.26	21222.25	10.40	中原	郑州, 许昌, 洛阳等
7	2071.97	1	3	7.16	15509.60	10.68	辽中南	沈阳, 鞍山, 铁岭等
8	1929.37	3	0	4.96	8281.89	4.92	关中平原	西安, 咸阳, 渭南等
9	2013.00	2	1	2.82	10387.46	5.98	晋南冀南	邯郸, 邢台, 长治等
10	2487.25	2	2	6.42	10174.00	5.55	环武汉	武汉, 鄂州, 孝感等
11	2117.81	1	2	6.83	8965.56	3.39	成都平原	成都, 德阳, 眉山等
12	1960.52	2	2	7.97	11460.51	5.51	长株潭	长沙, 株洲, 湘潭等
13	1172.26	1	2	6.76	11850.48	7.85	滇中	昆明, 楚雄, 玉溪等
14	1640.80	2	1	3.86	8521.92	3.47	苏北皖北	徐州, 淮北, 宿州等

注: I级城市为人口大于500万的城市; II级城市为人口在200万到500万之间的城市。

滇中城市群。将规划范围已较为明确的6个城市群(其中已批复的仅长三角城市群、中原城市群与关中平原城市群)的规划面积与本文识别的结果进行比较, 结果如图6所示, 发现在发达地区识别的城市群范围普遍大于规划范围, 如长三角城市群和珠三角城市群, 在次发达地区识别的城市群范围普遍小于规划范围, 如中原城市群和关中平原城市群等。

第二种情况是由于核心城市间交通跨度过大或实际社会经济联系不足等原因, 识别出的城市群仅为规划城市群的一部分。如成都平原城市群, 未包括重庆及其周边地区; 规划的长江中游城市群以长株潭城市群和环武汉城市群两个独立城市群呈现; 山东省内由于青岛、威海等地区具有一定的中心性, 但其与以济南为中心的城市集团之间的经济联系尚不足以形成规划中的山东半岛城市群, 故本文仅识别出了鲁中城市群。

第三种情况是识别出了由于受行政区划限制而未能在规划中合理体现的城市群, 如晋南冀南城市群和苏北皖北城市群。前者说明山西南部 and 河北南部的城市之间有密切的联系, 但由于行政区划的原因和京津冀城市群的特殊地位, 这种跨省间的联系难以得到重视。苏北皖北城市群的识别说明该区域在人口和经济规模、城市间社会经济联系等方面均达到较高水平, 且具有一定的独立性, 但由于行政区划的限制, 很难在规划中得到充分关注。

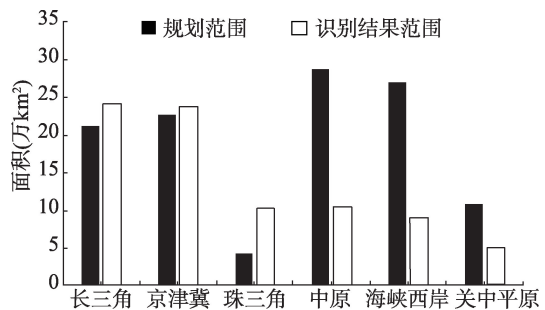


图6 识别出的城市群范围与规划的
城市群范围面积对比

Fig. 6 Comparison between the identified and
planned area of the urban agglomerations

最后,规划中准备引导发展的北部湾、黔中、兰州-西宁和天山北坡等城市群都未在本文的研究中识别出来,说明其目前的社会经济活动的强度和规模都未能达到城市群的水平。

4 结论与讨论

论文提出以经济地理学中的“点-轴”理论为基础,以“点-轴集聚区”的提取为核心,通过夜间灯光遥感影像、电子地图兴趣点和社会经济统计数据等,进行“城市群”及其空间范围识别的技术方法。研究结果识别出中国14个城市群,其中大部分空间范围与规划范围接近,说明这些城市群的规划比较符合区域的社会经济发展状况;与规划范围不一致的三种情况则分别反映出相应区域需要重点考虑的一些问题。

本文具有以下几方面的研究价值:首先,本文提出的城市群识别方法可以突破省级行政边界的限制,客观反映城市群的辐射范围,避免不考虑现实基础、盲目扩大城市群边界的情况发生。其次,通过“发展轴”来反映城市之间的社会经济联系,相比通勤时间或人员流动而言,在反映实际社会经济联系方面具有优势。使用通勤数据的分析,依赖于起止地点的选择和交通手段的选取,具有很大的不确定性,而交通“流”则由于驱动因素复杂难以完全直接表征城市联系,如异地就业、远途中转等带来的人员流动并不直接表征城市之间的功能联系。“点-轴集聚区”的提取建立在客观的社会生产要素分布和社会经济活动强度监测基础上,其与城市社会经济联系的对应关系可以为“流”数据的分析提供重要的补充。最后,本文的方法基于“现状-动态”的视角识别“点-轴集聚区”,既可以提供可靠的城市群候选对象,也为发掘潜在城市群提供了可能,如本文识别的“苏北皖北城市群”等,可以为城市群范围的宏观规划和内部的细化管理提供参考。

区域发展中的“点-轴”理论能否客观全面的反应城市群的发展过程有待更多的实际检验,政府对建成区范围的规划和对社会生产要素分布的政策性管控为区域“点-轴”系统的形态变化带来不确定因素。在技术方法上,本文采用的数据对人员流动状况考虑不足、对远距离城市间的联系反映有限。如何充分应用遥感大数据和手机信令等定位数据用于城市之间人员交流联系的度量,是下一步研究突破的重点。另一方面,由于缺乏对城市群概念和标准的统一认识,本文制定的城市群遴选标准和选取的指标阈值需要后续研究加以完善。未来应密切关注城市群最新理论和规划实践成果,尝试运用更精细的遥感数据产品和海量的移动大数据等实现对城市群特征的深层次提取,推动城市群范围的科学划定,为中国城市群的健康发展助力。

参考文献 (References)

- [1] Howard E. Garden Cities of Tomorrow. London: Swan Sonnenschein, 1898.
- [2] Gottmann J. Megalopolis or the urbanization of the Northeastern Seaboard. *Economic Geography*, 1957, 33(3): 189-200.
- [3] Kanemoto Y, Tokuko K. Proposal for the standards of metropolitan areas of Japan. *Journal of Applied Regional Science*, 2002, 7: 1-15.
- [4] 史育龙,周一星.关于大都市带(都市连绵区)研究的论争及近今进展述评. *国际城市规划*, 2009, (S1): 160-166. [Shi Yulong, Zhou Yixing. The discussion and commentary on the study of megalopolis (metropolitan interlocking region). *Urban Planning International*, 2009, (S1): 160-166.]
- [5] 吴启焰.城市密集区空间结构特征及演变机制:从城市群到大都市带. *人文地理*, 1999, 14(1): 11-16. [Wu Qiyang. On the characteristic of structure of urban dense region and its developing mechanism: From urban cluster to megalopolis. *Human Geography*, 1999, 14(1): 11-16.]
- [6] Daniels P W. Urban challenges: The formal and informal economies in mega-cities. *Cities*, 2004, 21(6): 501-511.
- [7] 姚士谋,陈爽,陈振光.关于城市群基本概念的新认识. *现代城市研究*, 1998, (6): 15-17. [Yao Shimou, Chen Shuang, Chen Zhenguang. New recognition on city group basic concept. *Urban Research*, 1998, (6): 15-17.]

- [8] 黄征学. 城市群的概念及特征分析. 区域经济评论, 2014, (4): 141-146. [Huang Zhengxue. Analysis of the concept and characteristics of urban agglomeration. *Regional Economic Review*, 2014, (4): 141-146.]
- [9] 方创琳. 如何定义和界定城市群. 区域经济评论, 2017, (5): 5-6. [Fang Chuanglin. How to define and determine city groups. *Regional Economic Review*, 2017, (5): 5-6.]
- [10] 方创琳. 城市群空间范围识别标准的研究进展与基本判断. 城市规划学刊, 2009, (3): 1-5. [Fang Chuanglin. Progress and basic judgments in identifying the spatial extent of urban agglomeration. *Urban Planning Forum*, 2009, (3): 1-5.]
- [11] 陈守强, 黄金川. 城市群空间发育范围识别方法综述. 地理科学进展, 2015, 34(3): 313-320. [Chen Shouqiang, Huang Jinchuan. Review of range recognition research on urban agglomerations. *Progress in Geography*, 2015, 34(3): 313-320.]
- [12] Fang C, Yu D. Urban agglomeration: An evolving concept of an emerging phenomenon. *Landscape and Urban Planning*, 2017, 162: 126-136.
- [13] 高晓路, 许泽宁, 牛方曲. 基于“点-轴系统”理论的城市群边界识别. 地理科学进展, 2015, 34(3): 280-289. [Gao Xiaolu, Xu Zening, Niu Fangqu. Delineating the scope of urban agglomerations based upon the Pole-Axis theory. *Progress in Geography*, 2015, 34(3): 280-289.]
- [14] 宁越敏. 中国都市区和大城市群的界定: 兼论大城市群在区域经济发展中的作用. 地理科学, 2011, (3): 257-263. [Ning Yuemin. Definition of Chinese metropolitan areas and large urban agglomerations: Role of large urban agglomerations in regional development. *Scientia Geographica Sinica*, 2011, (3): 257-263.]
- [15] 胡序威. 中国沿海城镇密集地区空间集聚与扩散研究. 城市规划, 1998, 22 (6): 22-28. [Hu Xuwei. On the spatial agglomeration and dispersion in coastal regions. *City Planning Review*, 1998, 22 (6): 22-28.]
- [16] 宁越敏, 施倩, 查志强. 长江三角洲都市连绵区形成机制与跨区域规划研究. 上海城市规划, 1999, (6): 2-9. [Ning Minyue, Shi Qian, Cha Zhiqiang. Study on formation mechanism and cross-regional planning of urban continuous area in the Yangtze River Delta. *Shanghai Urban Planning*, 1999, (6): 2-9.]
- [17] 代合治. 中国城市群的界定及其分布研究. 地域研究与开发, 1998, 17(2): 40-43. [Dai Hezhi. A study on urban agglomeration determination and distribution in China. *Areal Research and Development*, 1998, 17(2): 40-43.]
- [18] 陈群元, 宋玉祥. 城市群空间范围的综合界定方法研究: 以长株潭城市群为例. 地理科学, 2010, 30(5): 660-666. [Chen Qunyuan, Song Yuxiang. Methods of dividing the boundary of urban agglomerations: Chang-Zhu-Tan urban agglomeration as a case. *Scientia Geographica Sinica*, 2010, 30 (5): 660-666.]
- [19] Martin D. Automatic neighbourhood identification from population surfaces. *Computers Environment and Urban Systems*, 1998, 22(2): 107-120.
- [20] Michail Fragkias, Karen C. Seto. Evolving rank-size distributions of intra-metropolitan urban clusters in South China. *Computers, Environment and Urban Systems*, 2009, 33(3): 189-199.
- [21] 张倩, 胡云锋, 刘纪远, 等. 基于交通、人口和经济的中国城市群识别. 地理学报, 2011, 66(6): 761-770. [Zhang Qian, Hu Yunfeng, Liu Jiyan, et al. Identification of urban clusters in China based on assessment of transportation accessibility and socio-economic indicators. *Acta Geographica Sinica*, 2011, 66(6): 761-770.]
- [22] 陆大道. 工业的点轴开发模式与长江流域经济发展. 学习与实践, 1985, (2): 37-39. [Lu Dadao. Industrial point-axis development model and economic development in the Yangtze River basin. *Learning and Practice*, 1985, (2): 37-39.]
- [23] 范鹏. 新世纪以来中国五年计划研究述评. 中共党史研究, 2015, (7): 114-122. [Fan Peng. A review of China's Five-Year Plan research since the new century. *Studies on the History of the Communist Party of China*, 2015, (7): 114-122.]
- [24] 潘竞虎, 李俊峰. 基于夜间灯光影像的中国电力消耗量估算及时空动态. 地理研究, 2016, 35(4): 627-638. [Pan Jinghu, Li Junfeng. Estimate and spatio-temporal dynamics of electricity consumption in China based on DMSP/OLS images. *Geographical Research*, 2016, 35(4): 627-638.]
- [25] 杨眉, 王世新, 周艺, 等. DMSP/OLS夜间灯光数据应用研究综述. 遥感技术与应用, 2011, 26(1): 45-51. [Yang Mei, Wang Shixin, Zhou Yi, et al. Review of DMSP/OLS night light data application research. *Remote Sensing Technology and Application*, 2011, 26(1): 45-51.]
- [26] 陈昕, 彭建, 刘焱序, 等. 基于DMSP/OLS夜间灯光数据的京津冀地区城市空间扩展与空间关联测度. 地理研究, 2018, 37(5): 898-909. [Chen Xin, Peng Jian, Liu Yanxu, et al. Measuring spatial expansion and correlations of cities in Beijing-Tianjin-Hebei urban agglomeration using DMSP/OLS nighttime light data. *Geographical Research*, 2018, 37(5): 898-909.]
- [27] 许泽宁, 高晓路. 基于电子地图兴趣点的城市建成区边界识别方法. 地理学报, 2016, 71(6): 928-939. [Xu Zening, Gao Xiaolu. A novel method for identifying the boundary of urban built-up areas with POI data. *Acta Geographica Sinica*, 2016, 71(6): 928-939.]
- [28] Zhang Q, Seto K C. Mapping urbanization dynamics at regional and global scales using multi-temporal DMSP/OLS nighttime light data. *Remote Sensing of Environment*, 2011, 115(9): 2320-2329.
- [29] 王浩. 基于SP调查的居民短距离出行方式选择分析: 以长春市居民出行为例. 城市建设理论研究(电子版), 2014,

- (23). [Wang Hao. Analysis of residents' short-distance travel mode selection based on SP survey: A case study of Changchun city residents' behavior. *City Construction Theory (Electronic Edition)*, 2014, (23).]
- [30] 周一星, 张莉. 改革开放条件下的中国城市经济区. *地理学报*, 2003, 58(2): 271-284. [Zhou Yixing, Zhang Li. China's urban economic region in the open context. *Acta Geographica Sinica*, 2003, 58(2): 271-284.]

Identifying the spatial range of urban agglomerations in China based on night light remote sensing and POI data

LIANG Ze^{1,2}, HUANG Jiao^{1,2}, WEI Feili^{1,2}, SHEN Jiashu^{1,2}, LI Shuangcheng^{1,2}

(1 College of Urban and Environmental Sciences, Peking University, Beijing 100871, China; 2 Key Laboratory for Earth Surface Processes of the Ministry of Education, Peking University, Beijing 100871, China)

Abstract: Urban agglomeration, as an emerging phenomenon in many urbanized areas worldwide, is considered as a highly developed spatial form of integrated cities. Cities are highly linked within an urban agglomeration, which renders the agglomeration one of the most important carriers for global economic development. In recent years, the study of urban agglomeration has become an important agenda both for urban planning and urban sustainable development. However, in the research community, there is still a lack of a consensus with regard to how to delineate the urban agglomerations in geographic space. Particularly, in many urban planning cases, functional links among cities are often neglected, resulting in overestimated spatial ranges of the planned urban agglomerations. The aim of this paper is to develop a method for the identification of the spatial range of urban agglomerations by using night-light remote sensing data, digitally mapped points of interest (POI) and the "point-axis" theory in economic geography. Firstly, based on a review of the "point-axis" theory in economic geography, we developed a concept of "developing axis" with two basic characteristics and used the concept to describe the four development stages of urban agglomerations. Then, we calculated two indexes to quantify the intensity and its changes in socio-economic activities by combining nighttime light remote sensing images and POI data. After that, we conducted a clustering analysis on the two indexes to identify and extract the "point-axis cluster", and overlaid it with the administrative boundaries to obtain a set of candidate urban agglomerations. Finally, we used socio-economic statistic data and formulated criteria based on previous studies to select urban agglomerations. Using this method, a total of 14 urban agglomerations in China are identified. Among which, eight have spatial ranges match their planning documents. As for the mismatching urban agglomerations, three different types of mismatch are distinguished, which indicate that different types of problems need to be considered in the planning. The results show that the proposed method can overcome the restriction of administrative boundaries in the identification of the spatial range of urban agglomerations, objectively reflect the strength of social and economic links among cities, and help to identify potential urban agglomerations with a dynamic perspective. This research can provide useful implications and suggestions for urban agglomeration planning and management.

Keywords: urban agglomeration; spatial range; point-axis theory; point-axis cluster; status-dynamic perspective; ISO clustering method