

中国城市集中的度量及其空间分异特征

——基于 DMSP-OLS 夜间灯光数据

沈洁¹

(国际关系学院 经济金融学院, 中国 北京 100091)

【摘要】: 以城市集中作为研究核心, 基于 1992—2013 年夜间灯光数据构建城市集中度衡量指标, 并在此基础上选择核密度估计和探索性空间数据分析方法考察不同区域范围内的城市集中空间分异特征。研究发现: (1) 我国城市体系总体上趋向于更加扁平化, 城市集中度在 1992—2003 年间断上升, 进入 21 世纪后开始波动下降, 且不同区域间城市规模分布情况存在显著差异。(2) 三大地区方面, 东部地区与全国发展趋势最为相似, 中部地区内部于 20 世纪末期开始出现差异化发展和波动, 西部地区城市集中指数仍在不断提高。(3) 典型城市群方面, 京津冀内部城市规模落差较大; 长三角东部业已形成相对成熟的连绵城市区, 但西部安徽境内城市间形成低—低聚类, 区域内存在断层; 珠三角城市群中核心城市与周边地区联系紧密, 灯光总量整体较高, 扩散效应显著。

【关键词】: 城市集中 城市规模分布 空间分异 夜间灯光数据

【中图分类号】: F291.1 **【文献标志码】:** A **【文章编号】:** 1000-8462 (2021) 05-0046-11

城市是集聚经济在空间中的具体表现, 是推动区域经济增长的核心动力所在。随着区域与城市经济学理论的不完善, 学术界对于城市的认知也在不断加深, 其中, 关于城市化与城市规模的探讨始终热度不减。城市化本质上包含两方面的内容: 一是传统意义上的城市化, 是指农村人口向城市转移, 通常用城市人口与地区总人口的比例来衡量城市化水平; 二是农村人口向哪些城市转移与城市人口的再分布, 体现的是城市人口的分布结构, 通常用城市(人口)集中度来体现。城市集中直译自英文 urban concentration, 通过中国知网直接搜索“城市集中”得到的结果较少, 说明城市集中一词在国内相关研究中的应用还不是很普遍。但是在国外文献中, 城市集中的意义非常明确, 与城市化一样是城市与区域经济学研究中的重要问题。Nitsch 在其研究中写道: “城市集中是指在一国中, 城市人口大规模地、不成比例地集中在一两个大都市区或特大城市, 造成城市规模结构扭曲的现象”^[1]。Bertinelli 等认为城市集中反映了不同城市间人口的分布情况, 其对应的衡量指标为城市集中度 (degree of urban concentration)^[2]。Wan 等的研究中则给出了更为明确的界定标准: 城市集中指的是常住人口达百万以上的大城市规模总和占经济体全部城市人口规模的比重^[3]。国内学者中, 周文将城市集中定义为“城市人口在不同城市之间的分配”, 认为城市集中度反映了一个国家或地区城市资源集中在几个大城市的程度^[4]。以上定义虽不能说完全相同, 但表达的内涵其实是一致的, 本文在归纳总结前人研究的基础上将城市集中定义为“一定区域范围内, 大规模的城市人口集中分布于极少数城市的现象”, 对应的城市集中度体现了该区域范围内城市人口集中在个别城市的程度, 当各城市容纳的人口规模完全相同时, 该指标值应等于 0; 当城市人口全部集中在单一城市时, 该指标值应等于 1。由此可见, 城市集中度直接反映城市人口要素的空间分布结构。

针对城市人口分布不平衡问题的探讨由来已久, 也积累了不少值得参考借鉴的成果, 其中最具影响力的当属 Henderson 发表的一系列论文^[5-7]。近年来, 关于城市集中的研究大多围绕三个方面展开: 城市集中发展变化遵循的规律、城市集中与经济发

作者简介: 沈洁 (1991-), 女, 内蒙古鄂尔多斯人, 博士, 讲师, 研究方向为区域经济学、世界经济。E-mail: beannyplay@126.com
基金项目: 国际关系学院“中央高校基本科研业务费项目”(3262019T03)

展的关系，以及影响城市集中的主要因素。

首先，城市集中的演化不外乎三种模式：第一种为收敛增长，即新城市不断涌现，相对小规模的城市不断追赶上较大规模城市，从而随着时间的推移，一个城市系统的规模分布更趋均衡^[8]；第二种为发散增长，即城市化过程中呈现相对大的城市规模膨胀快于小城市，这样，城市系统内的城市规模分布变得更趋集中^[9]；第三种则为平行增长，即城市系统中各种规模的城市的相对分布保持稳定^[10]。有趣的是，同样以我国城市为研究样本，以上三种结论均有实证证据支持。其次，人口的空间集聚有益于经济增长的观点得到了国内大部分相关领域学者的支持^[11]，但与此同时也有部分研究成果表明城市集中度的提高在超出一定规模和范围后，可能出现负相关的趋势^[12]。蔡寅寅等对 34 个特大城市的实证研究结果更是发现人口分散对经济增长具有显著促进作用^[13]，李佳洺等的研究结果则认为人口集聚与经济增长之间并没有表现出明显的规律性特征^[14]。最后，城市人口在空间上的不均衡分布往往是自然条件、经济社会、制度文化等综合因素共同作用的结果。其中，自然地理环境是城市人口分布格局的基础，传统的区位论和城市经济学理论解释了自然条件和交通便利性在经济集聚和城市形成过程中发挥的作用^[15]。社会经济发展因素是城市人口转移的推动力，安虎森等的研究强调起步优势、运输成本、本地市场规模对城市形成与发展的重要作用^[16]。微观层面，多数学者的研究结论认为期望收入、房价、就业机会、生活质量、教育和医疗等社会保障资源是促进城市规模非均衡分布的主要原因^[17]。此外，户籍制度、城市行政等级差异等也是影响城市人口集中程度的重要因素^[18]。

通过上述文献回顾，不难发现国内外关于城市集中的研究并不充分，尤其在演化规律和经济效应两方面尚存在广泛争议。造成这种矛盾的可能原因包括城市规模的衡量口径差异，如采用常住人口与户籍人口数据分析得到的结果显然会不同；研究时间、研究范围的波动；城市化水平度量方式和收敛性检验方法的不同等。现有研究大多直接采用 Hirschmann-Herfindahl 指数、帕累托系数或城市首位度（urban primacy）衡量人口在大城市的集聚程度。但这种方式直接应用于中国区域的研究会出现两方面问题：一是城市范围的界定问题；二是人口规模的测度问题。鉴于此，本文基于 DMSP-OLS 夜间灯光数据构建城市集中度衡量指标，对不同区域范围内城市人口分布结构的异质性和演化特征进行研究，以期吸引更多相关领域学者、工作人员关注城市集中问题，并为进一步开展研究奠定基础。

1 现有城市集中度算法存在的问题

1.1 城市规模的度量问题

城市区的界定和城市规模的度量是计算城市集中度的基础，因此应当格外谨慎。现有文献大多基于《中国城市统计年鉴》计算城市集中度，该年鉴囊括了我国城市发展的各项综合数据，是开展城市研究过程中最为权威的数据和资料来源。但需要注意的是，即便是官方发布的城市人口数据，由于口径调整等原因在长时间范围内也存在着诸多问题，如周文的研究发现，《中国城市统计年鉴》中 1997 年之前的市辖区是指全部 4 个级别城市的城区与郊区，但 1997 年（含）之后的市辖区是指地级及地级以上城市的城区和郊区^[4]。统计口径的变化直接导致了 1997 年前后我国城市首位度陡增。可见，统计口径的改变对于倚赖城市规模数据计算的城市集中度而言影响非同小可。

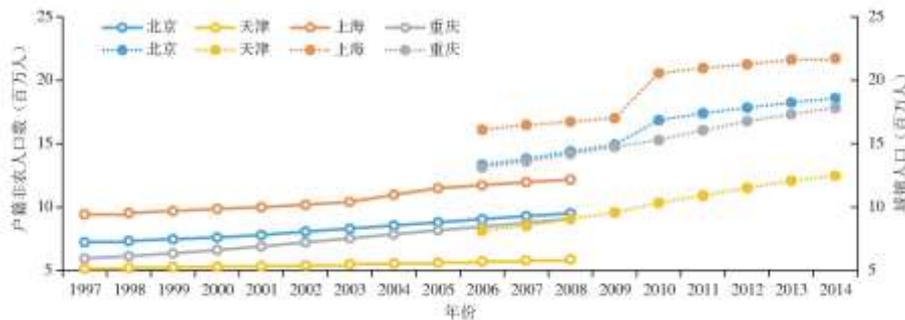


图 1 户籍非农人口与常住城镇人口的差异 (1997—2014 年)

注：1. 图中实线代表非农人口，虚线代表城镇人口；非农人口为户籍人口口径，城镇人口为常住人口口径。2. 非农人口数据来源于《中国城市统计年鉴》(1998—2009)，2009 年及以后年份的非农人口数据缺失；城镇人口数来源于《中国统计年鉴》(2006—2015) 分地区人口城乡构成。

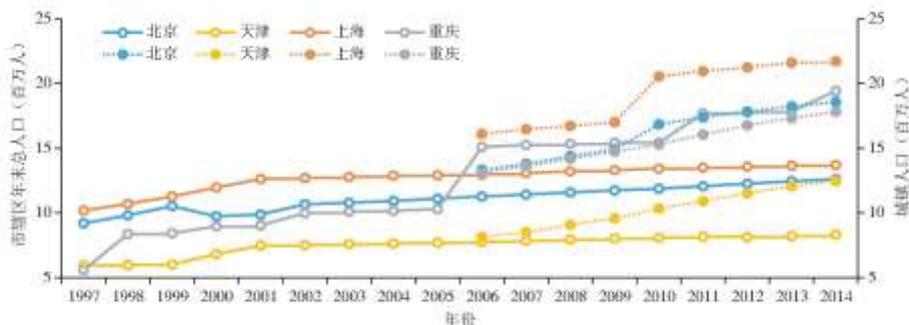


图 2 市辖区年末总人口与常住城镇人口的差异 (1997—2014 年)

注：1. 图中实线代表市辖区年末总人口，虚线代表城镇人口；市辖区年末总人口为户籍人口口径，城镇人口为常住人口口径。2. 市辖区年末总人口数据来源于《中国城市统计年鉴》(1998—2015)；城镇人口数来源于《中国统计年鉴》(2006—2015) 分地区人口城乡构成。

新中国成立以来，城市层级的统计数据时有调整，加之行政区划界线和管理层级的变化，准确地衡量城市规模并非易事。综合而言，相关研究中多采用以下几种统计数据：城市非农人口、市辖区年末总人口、城市非农就业人口、城市建成区面积、根据灯光数据阈值确定的城市人口或用地数据等，其中除灯光数据具备较强的稳定性和连续性以外，其余数据在较长时间内均经历过不同程度的口径调整。

图 1、图 2 给出了按照城市户籍非农人口、城市市辖区年末总人口 (户籍) 两种数据类型衡量的 4 个直辖市城市规模，与《中国统计年鉴》(2016) 中给出的各市城镇总人口数的对比分析。2005 年起《中国统计年鉴》中的各地区数据为常住人口口径，因而可以较为准确地反映城市人口规模，可以看出，不同数据间不论是在绝对量还是增长趋势方面都与实际情况存在较大出入。据此，探索借助灯光数据等其他方式反映城市规模的研究思路日益受到重视。

1.2 城市集中度的衡量方法选择

衡量城市集中的指标选择很大程度上决定了研究的准确性和可比性。较早期的研究中多采用单一指标反映城市规模分布，如 Wheaton 等研究了 38 个不同发展水平国家的城市集中情况，采用了 2 种测量方法——Hirschmann-Herfindahl 指数和城市首位度^[19]。除此之外最为常用的衡量方式还包括帕累托系数^[20]，该指标主要体现不同级别城市之间的规模差异。国内外研究中采用单一指标，或多个单一指标相结合的情况最为普遍。但是，单一指标的计算过程中存在着城市范围界定不统一、衡量城市规模的变量不一致、城市人口统计口径不尽相同等诸多问题，因此近年来也有不少学者致力于构建新的综合指标，例如 Uchida 等提出的集聚指数 (agglomeration index)，涵盖人口密度、中心区人口规模和通勤时间 3 个指标，是多元化评价体系的典型代表^[21]。集聚指数的主要优势在于突破了城市行政区划的限制，通过考察人口的实际分布和时空压缩效应考察城市的真实规模，但是该指数的应用明显受到相关数据可得性的约束，而且城市中心区人口规模和人口密度的计算同样涉及城市范围的界定，因此未必是最优选择。综合上述指标存在的不足，本文认为基于 DMSP/OLS 灯光影像数据构建城市集中度指标更为合理，一方面能

够弥补现有统计资料在准确性、连续性方面的缺陷，另一方面打破了行政藩篱对城市范围的界定，可以说是兼具客观性和可操作性的一种衡量方法。

2 城市集中度指标的构建

2.1 灯光数据的提取和应用

本文使用的全球夜间灯光数据是由美国国家海洋和大气管理局 (National Oceanic and Atmospheric Administration, NOAA) 地球物理数据中心在对多年 DMSP/OLS 数据资料进行处理的基础上合成得到的分辨率为 30s 弧度的每年至少一期的卫星存档数据¹。该数据集中的稳定灯光数据像元灰度值是在去除云层、火光等偶然因素的影响后获得的城市、乡村及其他稳定灯光所在地发出的年平均灯光强度值，在全球范围内每 30s×30s 的栅格单元上取值 1~63 的灯光强度，背景值为 0^[22]。该数据报告了各卫星观测到的全球不同地区在晚间 08:30~10:00 的灯光亮度，按照年度划分，操作方法严谨，结果具有较高的可信度。

NOAA 每年发布一次夜间灯光数据监测结果，目前可供使用的数据时间范围为 1992—2014 年。然而需要注意的是，NOAA 在 2013 年后更新了数据发布方式，由年度数据改为了月度数据，由于两种数据之间存在较为明显的不连续性，直接使用月度数据得到的量化结果与年度数据存在较大差异，因此本文将研究时段确定为 1992—2013 年。此外，针对同一年份不同卫星观测到的结果不完全一致的问题，根据 Liu 的方法进行内部校准、同年度合并处理，以尽可能降低测量误差^[23]。行政边界数据根据中国国家基础地理信息中心提供的 1:400 万行政区划矢量地图确定，并采用 ArcGIS 软件裁剪并进行投影转换后估算实际面积。

由于考察城市集中需要以一定的区域范围作为基础，本文以全国层面和省级层面为例对原始数据按照如下步骤进行处理：(1) 将灯光影像地图载入全国行政区划地图，并按照国界线裁剪。(2) 裁剪后进行全国灯光影响地图的投影变换，得到像元大小约为 1km² 的投影坐标地图²。(3) 接下来即可以栅格像元为单位进行像元统计分析 (cell statistics)，比如考察某一现象随时间的变化，也就是为纵向比较奠定基础。需要注意的是，像元统计输入数据集必须是来源于同一个地理区域，并且采用相同的坐标系统。(4) 根据分类图的属性表可查看不同灰度值对应数量并计算亮度面积。(5) 省级灯光数据的提取过程与全国相似，但需要首先按照省级图斑裁剪灯光数据后，再转换为投影坐标，因为不同省份的纬度存在差异，先投影后裁切容易产生误差，按照这种方式裁切计算的结果相对更精确，例如广东省的单位像元投影面积为 824.7×824.7m²，而西藏自治区的单位像元投影面积为 1224.8×1224.8m²。

2.2 灯光数据与人口分布的关系

尽管已有不少证据显示灯光数据较好地反映了城市人口分布情况^[24-25]，但是不同学者采用的检验方式较为多样化，得出的结论在细节方面也不尽相同^[26]。基于上述原因，同时考虑到本文的后续研究几乎都要建立在灯光数据构造的城市集中度指标基础之上，事先对灯光数据与城市人口分布的关系作一定量检验显得十分必要。

为了检验灯光数据反映城市人口分布的可行性，本文首先提取 1995—2013 年全国灯光灰度值总量、TIN 功能转化而来的全国灯光亮度表面积，以及全国灯光亮度体积，并分别利用以上三组时间序列数据与全国年末总人口做 Pearson 相关关系检验，同时考虑到人口集聚程度越高、经济越发达的地区可能灯光亮度更高，进一步选择城镇人口³、建成区面积和城市建设用地面积重复上述检验。

城市灯光亮度值与人口分布和城市建设情况存在显著的相关关系，所有检验系数结果均在 0.895 以上，且满足 0.01% 的显著性水平。首先，3 种灯光数据与年末总人口之间的相关关系最低，r 值分别为 0.895、0.924、0.899，说明相较于人口总量，灯光数据更适于拟合城镇人口的分布情况。其次，根据灯光亮度得到的三类数据中，灯光亮度表面积拟合程度略逊色于另外两种，但是更适合用于估计全国年末总人口 (r=0.924)。最后，灯光亮度体积、灯光灰度值与不同参数之间的相关性检验结果极

为相似。根据以上结果可以得出的简单结论是，灯光数据更适合于模拟我国的城镇人口分布和城市建设情况，其中灯光灰度值和亮度体积的拟合效果更好。

不过，考虑到不同省份之间可能存在的差异性，本文在现有基础上细分到省级层面。给出了基于分省面板数据得出的相关性检验结果，除灯光灰度值外，其余相关数据来源于中国经济社会发展统计数据库。其中因变量为各省域灯光灰度值。与全国层面的相关性检验结果相比，由于面板数据中包含样本量较大、差异性较强以及数据缺失较为严重等原因，灯光数据与城市人口、用地面积之间的相关系数出现了一定下滑。但不能否认的是，灯光数据与除城市建设用地面积以外的城市人口分布相关变量之间显著正相关，本文主要目的在于考察一定范围内的城市人口分布结构而非预测城市人口，因此相关系数值的大小对研究结果的影响有限。与全国层面的检验结果相类似，灯光数据显然更适合测度城市人口分布和演化情况，其与常住人口 4 之间的全样本相关系数低于 0.5，但与城镇人口、非农人口和城市建成区面积的相关关系明显更高。基于此，灯光数据结果较适宜用于城市人口规模和分布相关的进一步研究。

2.3 基于灯光数据构建的城市集中度指标

本文选用 NOAA 发布的稳定灯光数据计算城市人口集中度，该光源灰度值范围在 0~63 之间，区域的灯光亮度是其内部所有栅格亮度的总和。基于此，参考姚永玲提出的“密度空间基尼系数”构建以下城市集中度指标^[27]：

$$GINI = \left| \sum_{i=1}^n \left[\frac{L_i}{L_T} \cdot \frac{S_i}{S_T} \right] + 2 \sum_{i=1}^{n-1} \left\{ \frac{S_i}{S_T} \left[1 - \frac{V_i}{L_T} \right] \right\} - 1 \right| \quad (1)$$

式中： L_i 表示区域中某一灰度值 i 对应的灯光亮度值总和； L_T 对应灯光亮度加总值； S_i 表示城市体系中灰度值等于 i 的区域范围面积； S_T 代表区域总面积； n 为像元个数； $V_i = \sum_{j=1}^i L_j$ 是指将全部 S_j 按照从小到大的顺序排列后， L_1 到 S_i 的累积加总，该项的加入使得指标得分更能体现城市之间规模差异的程度。两种指标值都介于 0~1 之间，指标值为 0 表示城市人口绝对均匀分布；随着指标得分的增加，空间不均衡分布程度提高，当指标值等于 1 时，区域内城市人口呈绝对集中分布。图 3 中绘出了基于全国数据计算得到的城市集中度指数 GINI 随时间变化的情况结果，图 4 中同时给出灯光密度：

$$DENSITY = \left(\sum_{i=1}^n L_i \right) / \left(\sum_{i=1}^n S_i \right) \quad (2)$$

与城市集中情况作对比，式（2）中的各符号含义与式（1）相同。对比两幅图可以发现城市集中度与城市人口密度之间的差异，城市人口总体密度增加的同时，城市集中度可能存在下降趋势。

根据图 3 可见，我国城市规模分布表现为不稳定性与趋势性并存，其中不稳定性体现在不同年份间城市集中度存在剧烈波动，而趋势性的意思是研究时段内仍然可以观察到城市人口的分布由初始阶段的集中向后续时期的相对扩散转变。另外，通过与图 3 中灯光密度随时间变化趋势的对比可以发现，城市集中度与城市人口密度完全是两个概念。

随着我国城镇化进程的不断推进，城市人口密度相较于 20 世纪初期已经有了大幅提高，灯光密度值由 1993 年的 7.322 跃升至 2013 年的 15.786，并且仍然有不断上升的空间。相较之下，城市集中度则在近些年显著回落，这种趋势可能是我国中小规模城市的发展容纳了更多城市人口所致，也有可能反映了“农民工回流”现象对于缓解超大城市人口负担作出的贡献，更有可能是城市体系发展较为成熟后形成的多中心空间结构带来的影响。当然，城市规模的形成机制和影响因素还有待研究，至此能够得出的结论是我国的城市体系总体上趋向于更加扁平化，城市集中度在 1992—2003 年间断上升，进入 21 世纪后开始波动下

降。

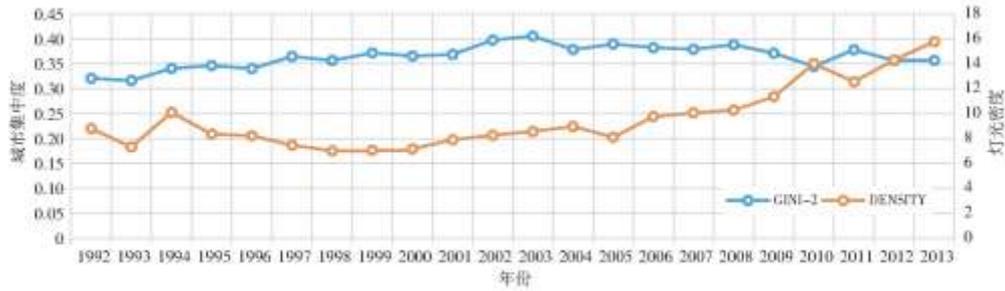


图 3 中国城市集中度和灯光密度变化趋势 (1992—2013 年)

3 城市集中度的空间分异特征

除了估计城市人口规模和计算城市集中度指数，灯光数据还可通过空间统计分析和可视化的结果输出直观地反映中国城市体系的规模分布特征和空间联系，并通过叠加时间趋势实现动态演化过程的追踪。综合对比现有方法的适用性和可操作性的基础上，选择相关研究中应用最为广泛的核密度估计和探索性空间数据分析方法，对我国不同层级区域范围内的城市集中空间分异特征进行深入分析。

3.1 研究方法

3.1.1 核密度估计

核密度估计是一种统计方法，属于非参数密度估计的一类。在传统城市和区域分析中，核密度方法主要是作为一种可视化工具，描述地理现象特征分布的一阶基本属性^[28]，通过对密度计算结果的二维灰度表达或三维曲面表达，可以简单直观地获取点群的聚集或离散等分布特征。本文采用两种核密度估计方法分析全国范围内及分地区的城市集中程度：一是 ArcGIS 中自带的空间统计分析工具，二是在提取灯光灰度值计算得出城市集中度的基础上，使用 Stata 软件计算城市集中的核密度分布并可视化，探讨城市集中度的地区差异和演化趋势。在后者的估计过程中，选择最常用的高斯核函数进行估计。

3.1.2 探索性空间数据分析

探索性空间数据分析是一种数据驱动的分析方法，通过对地理要素的空间分布模式、趋势和空间关联分析，进而了解地理分布的空间过程，具体又分为全局空间自相关分析和局部空间自相关分析。Moran 指数 (Moran' sI) 作为空间自相关的基本测度，实际上来源于统计学中的 Pearson 相关系数，其本质是标准化的空间自协方差^[29]。

全局空间自相关用于研究整个区域之间的空间关联模式，I 的取值区间为 $[-1, 1]$ ， $I > 0$ 表示空间正相关，即灯光亮度较高的点在空间上显著集聚； $I < 0$ 表示空间负相关，即该区域与周边区域的灯光亮度存在空间差异； $I = 0$ 表示空间不相关，即灯光数据代表的城市人口在空间上随机分布。全局 Moran' sI 的计算方法为：

$$I = \frac{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n w_{ij} (y_i - y^*) (y_j - y^*)}{\left[\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n w_{ij} \right] \sum_{j=1}^n (y_j - y^*)^2} \quad (3)$$

局部空间自相关则略有不同，主要用于揭示空间参考单元属性值之间的相似性或相关性，局部 Moran' s I 的表达式为：

$$I = \frac{y_j - y^*}{s^2} \sum_{j=1}^n w_{ij} (y_j - y^*) \quad (4)$$

式中：n 为参与分析的空间栅格总数； w_{ij} 为空间权重矩阵； y_i 、 y_j 分别代表 i 和 j 单元的灯光灰度值； y^* 代表所有单元的灯光灰度平均值； s^2 为 y_j 的离散方差值。在空间计量分析中，空间权重矩阵的构建是关键一步，通常 $n \times n$ 维的矩阵 W 表示 n 个样本点的区位或者所属区域的邻近关系，其基本形式如下：

$$W = \begin{bmatrix} w_{11} & w_{12} & \cdots & w_{1n} \\ w_{21} & w_{22} & \cdots & w_{2n} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ w_{n1} & w_{n2} & \cdots & w_{nn} \end{bmatrix} \quad (5)$$

式中： w_{ij} 反映区域 i 与区域 j 的相邻程度，这里的相邻程度可以根据邻接标准或距离标准度量，也有不少研究采用经济距离与地理距离相结合的方式确定空间权重矩阵^[30]。鉴于本文这一部分主要考察灯光数据代表的城市人口规模实际分布情况和空间联系，因此选择邻接关系构建权重矩阵。

3.2 研究结果与分析

3.2.1 全国层面

由图 4 可见，1992—2013 年，我国灯光亮度总值呈显著性增长，全境灯光灰度值加总由 6868683 提高到 26479247，增长 2.86 倍。20 世纪初，我国的灯光亮区主要分布在东南沿海地区，尤以环渤海地区和江浙一带总体灯光亮度较高，个别超大城市如北京、上海、深圳虽然已经呈现出高亮状态，但影响范围较窄。到 2012 年，我国灯光总量明显增加，覆盖范围扩大，其中长三角、珠三角两大城市群业已形成连绵态势，并不断向内陆城市推进。此外，中西部地区的发展进程不容小觑，内蒙古、甘肃、新疆、陕西、四川、云南等省份灯光数量和密度明显增加。总体而言，全国范围内灯光总量增加，灯光分布密度提高，东西部地区灯光亮度差异仍然颇为显著。

不过，仅仅依靠比较不同年份的灯光数据只能对我国城市集群的分布和规模有大致粗略的了解，在此基础上通过其他空间统计分析手段对灯光数据代表的城市人口分布情况做更深入的分析是十分必要的。如图 5 所示，在 ArcGIS 中将原有的栅格数据转点后，通过对点赋值灯光灰度，可以运用核密度估计方法计算人口分布密度，进而以此为依据判断我国灯光集聚区数量的变化。观察图 5 可知，研究时段初期灯光集聚区数量较少，主要的人口密集区出现在京津两市、长三角、珠三角和台湾地区；到研究时段末期，我国灯光集聚区数量明显增加，伴随着集聚区内灯光密度的提高：东北三省、关中地区、长江中游、成渝、海峽西岸，以及广东省、安徽省全境灯光核密度值达到 6 以上，而原有发展较快的集群中灯光密度显著提升，包括长三角、珠三

角、京津冀三大城市群核密度值超过 21，山东半岛和中原地区灯光密度约为 12~15。此外一个有趣的发现是，台湾的灯光密集程度 20 年来没有发生显著变化，结合台湾经济发展现状，或许可以找到原因。

最后，基于 2013 年全国 288 个地级及以上城市灯光总量和灯光密度，利用全局自相关 Moran' sI 统计量检验城市灯光亮度与灯光总量是否存在显著的空间自相关特征。灯光总量分布对应的全局 Moran' sI 指数等于 0.26, z 得分为 23.97, 即随机产生该聚类模式的可能性小于 1%, 存在显著的空间自相关特征。与之类似地，全局 Moran' sI 统计量检验结果显示，采用灯光总量/城市土地面积计算得出的灯光密度分布之间同样存在显著的空间相关性，对应的 Moran' sI 结果和 z 得分分别为 0.31 和 32.69, 分布模式显著区别于随机分布和离散分布。也就是说，城市灯光总量、灯光密度之间呈现高一高，低一低聚集的空间接近性和相关性，那么以灯光亮度表征的城市规模之间必然也存在显著的空间相关关系，而且这种关系在去除行政区土地面积影响后表现得更为明显。不过，考虑到我国地域辽阔，不同区域之间的城市集中情况可能存在显著差异，将研究区域范围进一步缩小到东、中、西三大地区和京津冀、长三角、珠三角三大典型城市群。

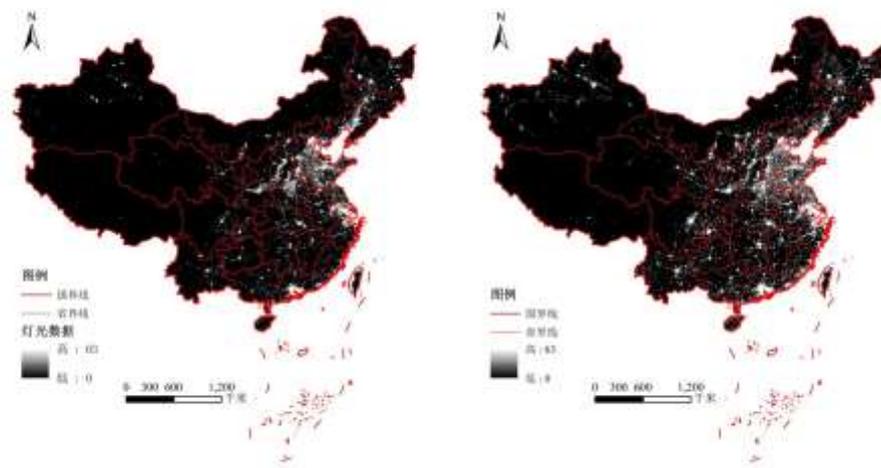


图 4 全国灯光投影地图（左图：1992 年；右图：2012 年）

注：本文地图全部基于审图号为 GS(2019)1815 号标准地图制作。

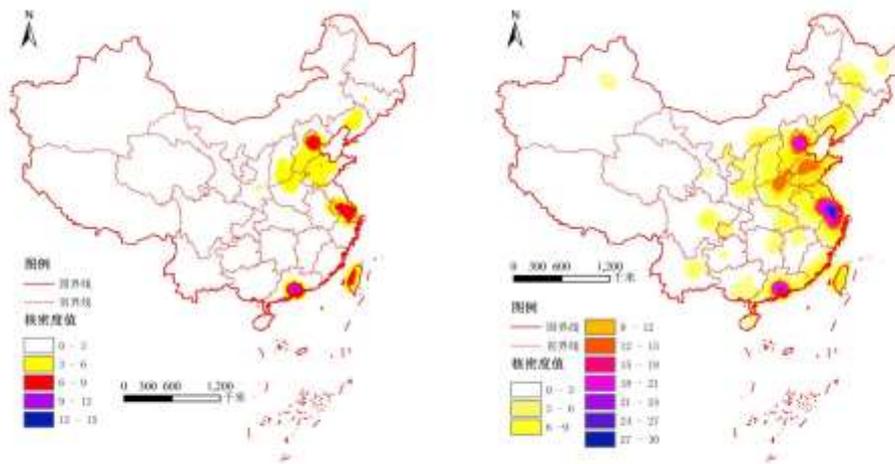


图 5 全国灯光亮度核密度分布地图（左图：1992 年；右图：2012 年）

3.2.2 地区层面

基于本文构建的城市集中度指数,为了更好地观察地区间城市分布情况差异随时间变动的趋势,本文选择1992、1997、2002、2007、2012年作为研究时点,考察均等时间段内的城市集中度核密度曲线变动情况。图6左上图显示了全国层面城镇体系的集中分布情况及其变化,可以看到,1992—2012年城市集中度的核密度中心呈现出先向右后向左移动的趋势,其中1992—1997年移动幅度最大,说明这一时期我国的城市集中指数迅速提高,2002—2007年城市集中度有所回落,但此后一段时间城市人口再度向大城市集中,证明近年来城市人口的规模分布情况波动较大。另外,不同时间段内,核密度曲线的形状和扁平程度也不尽相同,其中1997—2007年省份间城市集中度差异较小,表现为核密度曲线相对平坦,而研究时段初期和末期,核密度曲线变得格外陡峭,意味着近年来我国地区间城市规模分布情况存在显著差异,仅仅依靠全国城镇体系规模分布情况难以准确辨识不同地区的实际发展。

图6右上、左下、右下图分别对应东、中、西三大地区在1992—2012年的城市集中度核密度分布情况,最为明显的一点即我国地区城市规模分布差异较大,并且随时间变化趋势并不一致。具体而言,东部地区对应核密度曲线整体较为陡峭,在研究时段内核密度峰值变化趋势与全国较为相似,城市集中度在经过10年增长后开始逐渐下调,1992、1997年呈现两个波峰,体现区域内部可能存在多极化、差异化发展的现象,但到后10年基本稳定在一个波峰。中部地区城市集中度在不同年份核密度分布波动剧烈,其中,1992—1997年核密度曲线极为平坦,证明整个中部地区城镇体系分布情况较为相似,并且这一阶段城市集中度相对较低,各城市规模没有拉开差距。不过,这一情形在2007年前后发生了明显的变化,核密度曲线变得陡峭,省份间差异扩大。最后,不同于东、中部地区,西部地区城市集中度近年来仍在增长,也就是说大城市规模扩张更快,城市之间的规模差距在不断拉大的过程中,这一趋势与西部地区近年来逐步加快的经济增长步伐相吻合。换句话说,大城市的增长是带动区域经济发展的最重要驱动力之一,一定时期内城市发展差距的拉大是提高效率的必经之路。在西部地区现有条件下,积极整合资源、促进集聚经济发挥作用,是拉动相对落后区域经济增长率,进而推进区域间协调发展的重要手段。

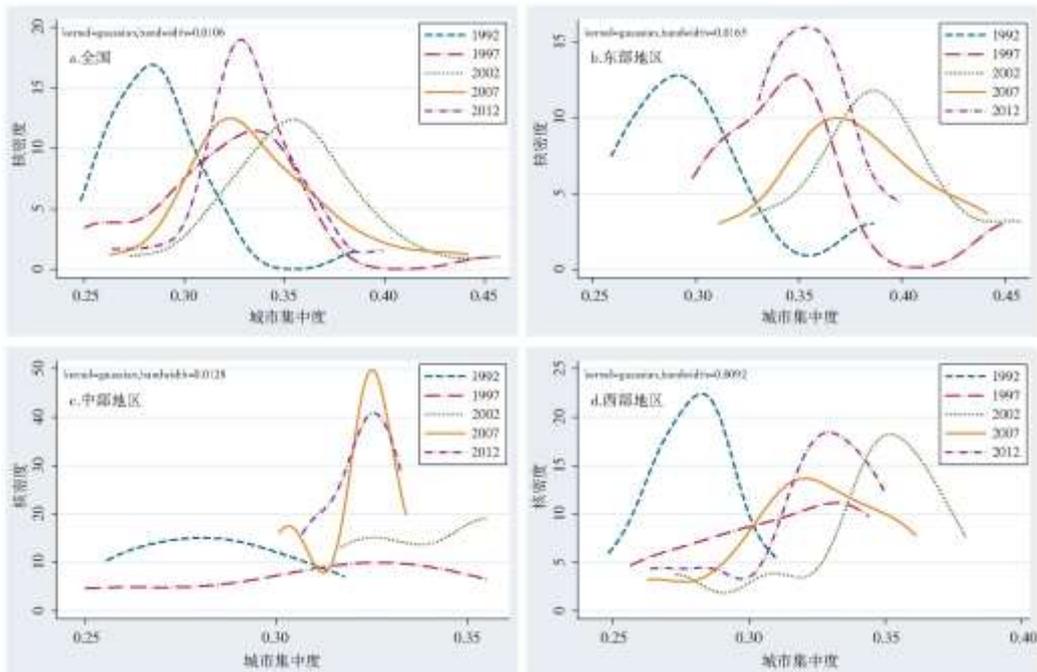


图6 全国及地区城市集中度演进趋势

总体而言,全国城镇规模差异在1992年市场化后逐步拉大,但近年来出现缩小趋势;不同地区之间城市集中度差异较大,

其中东部地区与全国发展趋势最为相似，中部地区在经历过一段时间的整体平稳发展后，于 20 世纪末期区域内开始出现差异化发展和波动，西部地区城市集中指数仍在波动中提高。

3.2.3 典型城市群层面

2013 年京津冀、长三角、珠三角城市群灯光总量地理分布的空间自相关 Moran's I 计算结果表明，京津冀城市体系规模分布和集聚情况显著不同于长三角、珠三角城市群。其中，长三角、珠三角两大城市群表现出显著的空间正向相关关系，即灯光总量较高、人口规模较大的城市趋向于形成集群，而灯光总量较低、人口规模偏少的城市在空间分布上较为集中，对应 Moran's I 统计值分别为 0.364 和 0.210。相比之下，京津冀城市群对应的 Moran's I 统计量结果为-0.027，并且空间相关关系显著性不高，也就是说京津冀城市群尚未形成有效的空间集聚，目前呈现出的仍是落后地区包围发达地区的中心—外围分布模式。

为进一步测度城市体系中局部空间结构特征及变动，需要进行城市规模的空间关联局域指标 LISA(Local indicators of Spatial association) 分析，以更准确地反映城市群内部的空间依赖关系或空间分异特征。图 7 左右两图分别为 2013 年三大城市群基于局部 Moran's I 散点图得出的城市空间集聚地图和显著性地图，对比可以发现三大城市群灯光总量空间分布的局域特征和显著差异。

首先，正如 Moran's I 指数结果显示的，京津冀区域内直至 2013 年仍未形成明显的城市集聚态势，根据图 7 左图结果可看出，北京、天津与周边地区相关关系为低—高聚类，而且这种聚类的显著性较低，也就是该区域内相邻城市灯光总量落差较大，相应地城市灯光分布缺乏空间联系，城市人口大量集中于单个城市，未能形成发育完善的连绵城市群。相反地，长三角、珠三角地区均已形成较为成熟的、具备一定规模的城市连绵区，在该区域范围内多个城市灯光总量相近，相应地人口规模分布相对均匀，城市集中度较低。

其次，长三角、珠三角内部的城市集聚模式又有所区别，长三角东部几大城市包括上海、苏州、嘉兴、南通、泰州等地空间结构和空间范围基本稳定，城市群内部各城市空间联系紧密，大致呈现平行增长态势，已进入都市连绵化阶段。但长三角西部、安徽境内部分城市灯光亮度明显下降，并且形成低—低聚类，具体包括安庆、池州、铜陵和芜湖等地。可以看到地理上的“隔离”对于城市发展确实存在显著影响，长三角区域范围内的“东高西低”态势一定程度上反映了我国内陆城市较之于沿海城市发展较慢的基本形态，但是与京津冀城市群明显不同的是，长三角城市体系内部存在显著的“溢出效应”，相邻城市的规模变化呈正相关关系。

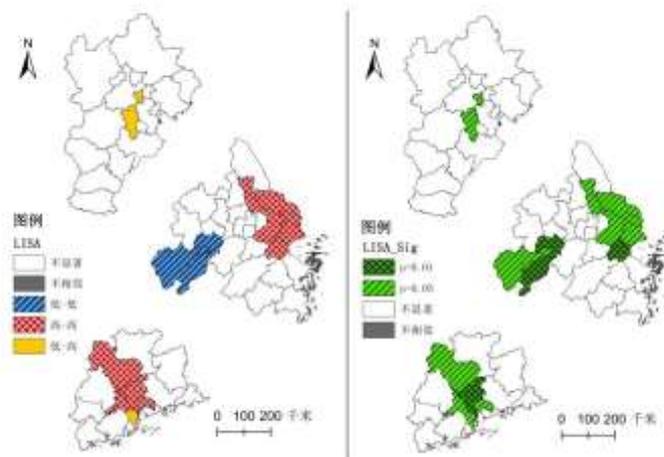


图 7 2013 年城市灯光空间集聚 LISA 图（左：集聚模式地图；右：显著性地图）

注：此图基于中国科学院地理科学与资源所 2015 年中国地市行政边界数据图制作。

最后，根据图 7 左图的结果来看，珠三角城市群目前的发展态势最为乐观，以广州市为核心，加上东莞、佛山、清远 3 市，灯光总量整体较高，城市体系规模扩张速度稳健。

总体而言，根据夜间灯光数据衡量的城市规模分布关系可以看出，尽管同样是发展较快的城市群，其内部城市规模分布情况和空间联系存在很大差异。就本文目前涉及的京津冀、长三角、珠三角三大城市群而言，京津冀内部城市规模落差较大，北京、天津两极更多地表现为吸引人口流入，而非向周边地区输送资源，导致城市集中度较高。相反地，长三角东部业已形成相对成熟的连绵城市区，城市人口规模分布较为均匀，并且呈现出平行发展趋势。但由于地理条件、空间距离、发展阶段等因素的影响，安徽境内几个规模较小的城市出现“抱团取暖”的情况，长三角东西部地区之间尚未形成稳定的空间联系，“距离衰减效应”在这里体现得颇为明显。相较之下，珠三角城市群在两大核心城市广州、深圳的带动和香港、澳门的辐射下发展趋势向好，城市体系内部灯光整体亮度较高。珠三角地区可以说是我国起步最早的城市群，目前核心城市与周边地区联系紧密，扩散效应显著，区域范围内城市发展落差不大，可谓是全国范围内发展现状和演化趋势较为理想的城市体系样本。

4 结论与讨论

城市集中作为城镇化的另一面，得到的关注相对较少，但这种情况正在逐渐发生变化。现有研究中存在的不一致性主要来自于两方面：一是区域范围的选择和城市规模的确定；二是衡量指标的构建。本文在对比现有研究方法的基础上，提出运用灯光数据衡量城市规模和集中度的优势所在。谨慎起见，在构建指标之前，本文先后采用典型案例对比和实证检验两种方式，考察灯光亮度是否能够真实体现城市人口的分布情况。检验结果显示，全国的城市灯光亮度值与人口分布和城市建设情况存在显著的相关关系，所有检验系数结果均在 0.895 以上，且满足 0.01% 的显著性水平。分地区面板回归结果显示，灯光数据与除城市建设用地面积以外的城市人口分布相关变量显著正相关，因此灯光数据结果较适宜用于度量城市人口分布结构。在此基础上，本文提出了基于灯光数据的城市集中度指标的构建方法，并计算得出不同区域范围对应的城市人口分布集中度指数。

结果发现：(1)我国城市体系总体上趋向于更加扁平化，城市集中度在 1992—2003 年间断上升，进入 20 世纪后开始波动下降。此外，近年来核密度曲线变得格外陡峭，意味着我国地区间城市规模分布情况开始出现显著差异，需要有针对性地调控人口空间分布。(2)就东、中、西三大地区而言，基于核密度曲线的分析发现，东部地区与全国发展趋势最为相似，中部地区在经历过一段时间的整体平稳发展后，于 20 世纪末期区域内开始出现差异化发展和波动，西部地区城市集中度仍在波动中提高。(3)就三大典型城市群而言，京津冀内部城市规模落差较大，北京、天津与周边地区相关关系为低—高聚类，而且这种聚类的显著性较低。相反地，长三角东部业已形成相对成熟的连绵城市区，城市人口规模分布较为均匀，并且呈现出平行发展趋势。但长三角东西部地区之间尚未形成稳定的空间联系，西部安徽境内城市间形成低—低聚类。相较之下，珠三角城市群中核心城市与周边地区联系紧密，灯光总量整体较高，表现出较为明显的扩散效应，发展趋势向好。

近年来，随着城市人口规模数据口径的调整和统计方式的优化，目前地级市层面的常住人口数据在可得性和准确性方面都得到了显著改善，对于时间跨度不长、范围较大的研究而言可直接通过常住人口规模计算城市集中度。但基于夜间灯光数据构建的城市集中度指标仍具备其优势：(1)灯光数据可根据研究需求自行裁剪，突破了传统统计方式对城市行政区划界限的倚赖，可用于处理非标准区划视角下的城市人口分布问题。(2)考虑到目前我国地级市以下层级的人口规模数据仍较难获取，夜间灯光数据亦可用于分析城市内部的人口分布结构，为更加微观层面的研究提供技术支持。此外，夜间灯光数据还可与其他高分辨率遥感数据相结合，形成新的演算方法，甚至打破现有行政区划藩篱，重新定义城市范围与规模。考虑到夜间灯光数据目前已更新为月度数据，未来可参考本文构建的城市集中度指标形成城市人口分布结构的月度变化数据库，在此基础上探讨城市规模分布及演进遵循的规律、产生的经济效益以及形成机制和影响因素等内容。

参考文献：

-
- [1]Nitsch V. Trade openness and urban concentration:New evidence[J]. Journal of Economic Integration, 2006, 21(2) : 340-362.
- [2]Bertinelli L, Strobl E. Urbanisation, urban concentration and economic development[J]. Urban Studies, 2007, 44(13) :2499-2510.
- [3]Wan G, Yang D, Zhang Y. Why Asia and China have lower urban concentration and urban primacy[J]. Journal of the Asia Pacific Economy, 2017, 22(1) :90-105.
- [4]周文. 城市集中度对经济发展的影响研究[M]. 北京: 中国人民大学出版社, 2016.
- [5]Henderson J V, Wang H G. Urbanization and city growth:The role of institutions[J]. Regional Science and Urban Economics, 2007, 37(3) :283-313.
- [6]Henderson J V. How urban concentration affects economic growth[R]. Policy Research Working Paper, 2000, No. 2326.
- [7]Henderson J V. The urbanization process and economic growth:The so-what question[J]. Journal of Economic Growth, 2003, 8(1) :47-71.
- [8]马卫, 白永平, 张雍华, 等. 2002-2011 年中国新型城市化空间格局与收敛性分析[J]. 经济地理, 2015, 35(2) :62-70.
- [9]徐伟平, 夏思维. 我国城镇化水平收敛性——理论假说与实证研究[J]. 人口与经济, 2016(1) :1-9.
- [10]江曼琦, 王振坡, 王丽艳. 中国城市规模分布演进的实证研究及对城市发展方针的反思[J]. 上海经济研究, 2006(6) :29-35.
- [11]肖文, 王平. 外部规模经济、拥挤效应与城市发展: 一个新经济地理学城市模型[J]. 浙江大学学报: 人文社会科学版, 2011, 41(2) :94-105.
- [12]孙浦阳, 武力超, 张伯伟. 空间集聚是否总能促进经济增长: 不同假定条件下的思考[J]. 世界经济, 2011(10) :3-20.
- [13]蔡寅寅, 孙斌栋. 城市人口空间分散与经济增长——基于特大城市的实证分析[J]. 城市观察, 2013, 27(5) :94-101.
- [14]李佳泓, 张文忠, 孙铁山, 等. 中国城市群集聚特征与经济绩效[J]. 地理学报, 2014, 69(4) :474-484.
- [15]陆铭, 向宽虎, 陈钊. 中国的城市化和城市体系调整: 基于文献的评论[J]. 世界经济, 2011(6) :3-25.
- [16]安虎森. 新经济地理学原理[M]. 北京: 经济科学出版社, 2009.
- [17]董玉芬, 马艳林. 城市人口空间分布格局影响因素研究——以北京为例[J]. 北京社会科学, 2016(1) :89-97.
- [18]王焱, 王春华, 洪俊杰, 等. 自然条件、行政等级与中国城市发展[J]. 管理世界, 2015(1) :41-50.

-
- [19]Wheaton W C, Shishido H. Urban concentration, agglomeration economies, and the level of economic development[J]. Economic Development and Cultural Change, 1981, 30(1):17-30.
- [20]Rosen K T, Resnick M. The size distribution of cities:an examination of the Pareto law and primacy[J]. Journal of Urban Economics, 1980, 8(2):165-186.
- [21]Uchida H, Nelson A. Agglomeration index:towards a new measure of urban concentration[J]. World Institute for Development Economics Research Working Paper, 2010, No. 2010/29.
- [22]Henderson J V, Storeygard A, Weil D N. Measuring economic growth from outer space[J]. The American Economic Review, 2012, 102(2):994-1028.
- [23]Liu Z, He C, Zhang Q, et al. Extracting the dynamics of urban expansion in China using DMSP-OLS nighttime light data from 1992 to 2008[J]. Landscape and Urban Planning, 2012, 106(1):62-72.
- [24]Lo C P. Urban Indicators of China from Radiance-Calibrated Digital DMSP-OLS Nighttime Images[J]. Annals of the Association of American Geographers, 2002, 92(2):225-240.
- [25]程砾瑜. 基于 DMSP/OLS 夜间灯光数据的中国人口分布时空变化研究[D]. 北京: 中国科学院遥感应用研究所, 2008.
- [26]王慧娟, 兰宗敏, 金浩, 等. 基于夜间灯光数据的长江中游城市群城镇体系空间演化研究[J]. 经济问题探索, 2017(3):107-114.
- [27]姚永玲. 北京郊区化进程中的“超非均衡”空间结构[J]. 经济地理, 2011, 31(9):1458-1462.
- [28]陈斐, 杜道生. 空间统计分析 with GIS 在区域经济分析中的应用[J]. 武汉大学学报: 信息科学版, 2002, 27(4):391-396.
- [29]陈彦光. 基于 Moran 统计量的空间自相关理论发展和方法改进[J]. 地理研究, 2009, 28(6):1449-1463.
- [30]张可云, 王裕瑾, 王婧. 空间权重矩阵的设定方法研究[J]. 区域经济评论, 2017(1):19-25.

注释:

1 美国 NOAA 网站提供的数据下载地址:<https://www.ngdc.noaa.gov/eog/dmsp/downloadV4composites.html>

2 每个像元的实际大小为 $1\ 009.58 \times 1\ 009.58\ \text{m}^2$ 。

3 中国统计年鉴中提供的全国城镇人口总量自 1982 年起为常住人口口径统计数。

4 此处的常住人口既包括城镇人口, 也包括区域范围内居住在农村的人口。