

doi: 10.6046/gtzyyg.2019.03.02

引用格式: 肖东升,杨松. 基于夜间灯光数据的人口空间分布研究综述[J]. 国土资源遥感,2019,31(3):10–19. (Xiao D S, Yang S. A review of population spatial distribution based on nighttime light data[J]. Remote Sensing for Land and Resources, 2019, 31(3):10–19.)

基于夜间灯光数据的人口空间分布研究综述

肖东升^{1,2}, 杨 松¹

(1. 西南石油大学土木工程与建筑学院, 成都 610500; 2. 成都理工大学
地质灾害防治与地质环境保护国家重点实验室, 成都 610059)

摘要: 人口空间分布信息是地理学科、资源学科和社会学科等研究中的基础信息,在城市规划和应急救援等实际应用中具有十分重要的意义。利用自然地理和社会经济等多种辅助数据,可以很好地模拟人口分布情况。夜间灯光数据综合反映着人口分布活动情况,与传统遥感数据相比,具有数据获取方便、数据量小、覆盖范围广和数据更新快等优点。随着美国军事气象卫星计划搭载的线性扫描业务系统(defense meteorolgical satellite program – operational linescan system, DMSP – OLS)、美国国家极地轨道卫星搭载的新一代可见光及近红外辐射仪(national polar orbiting partnership – visible infrared imaging radiometer suite, NPP – VIIRS)及其他平台的发展,连续获取夜间灯光数据成为可能,基于这类数据的人口空间分布研究受到学者的重视,在区域尺度的人口估算和格网尺度的人口分布模拟方面取得了丰富的研究成果。但其中也存在着数据、尺度、模型方法及精度验证等方面的问题。因此,在详细阐述了夜间灯光数据特征及获取平台的基础上,对已有基于夜间灯光数据的人口空间分布研究方法及模型进行了对比总结,分析了研究中存在的各种问题及现有解决方法,并对未来的重点发展方向进行了探讨。

关键词: 夜间灯光; 人口分布; 数据校正; 格网尺度; 精度验证

中图法分类号: TP 79 **文献标志码:** A **文章编号:** 1001 – 070X(2019)03 – 0010 – 10

0 引言

人口空间分布是指某一时间点上人口在地理空间的分布情况,包括人口数量、密度及空间分布特征等^[1]。长期以来,人们主要从人口统计数据中获取人口分布信息。人口统计数据通常是以行政区划为单元,通过普查和抽样统计等方式逐级汇总获得^[2]。但该方法在实际应用中存在一系列问题:①调查数据不易获取,部分区域和年份数据不完整;②行政单元内部人口分布无法体现,且与地理单元数据难以融合等^[3–4]。利用辅助数据进行人口空间分布研究可以有效解决这些问题。研究主要包括区域人口估算和人口分布模拟 2 个方面,前者多用于宏观人口估算和统计分析,后者将人口数据格网化,以模拟格网尺度的人口空间分布。人口数据格网化,或称为人口数据空间化,基本思想是基于人口空

间分布模型或采用一定的计算方法,对人口统计数据离散化处理,发掘并展现其中隐含的空间信息,以便模拟或再现客观世界的人口地理分布^[5],从而获得人口空间分布特征。

人口的空间分布与自然地理和社会经济的多种因素相关,例如地形坡度、海拔、土地利用、城市发展、道路交通和河流水系等。反之,这些因子又是人口分布的指示器。基于不同的数据源、精度需求及研究思路,国内外学者提出了多种人口分布模拟方法,主要包括空间插值法、遥感特征反演和多源数据融合等^[1,6]。随着遥感技术的发展及遥感影像所具有的数据获取方便、覆盖范围广等优势,影像中土地利用类型、地形地貌和夜间灯光数据等都越来越多地被应用在人口空间分布研究中。

夜光遥感始于 20 世纪 70 年代的美国军事气象卫星计划(defense meteorolgical satellite program, DMSP),最初是用来探测云层对月光的反射以分析

收稿日期: 2018 – 08 – 03; 修订日期: 2018 – 11 – 01

基金项目: 国家自然科学基金项目“基于人类动力学的面向震后救援的人员在地理建筑空间的分布规律研究”(编号: 51774250)和成都理工大学地质灾害防治与地质环境保护国家重点实验室开放基金项目“5·12 汶川地震前后的震中地区建筑空间人员分布规律研究及反演”(编号: SKLGP2016K017)共同资助。

第一作者: 肖东升(1974 –),男,博士,教授,主要从事空间信息技术与防灾减灾方面的研究。Email: xiaodsxds@163.com。

通信作者: 杨 松(1992 –),男,硕士研究生,主要从事地理空间信息与人员分布方面的研究。Email: yangsurvey@126.com。

云层分布信息,其搭载的线性扫描业务系统(operational linescan system,OLS)传感器能够探测到无云情况下的城市灯光以及车流、渔船等发出的微弱灯光,其后主要用于获取地表夜间灯光以反映人类活动情况^[7]。早期影像数据以胶片形式保存,研究成果较少且以描述性分析为主。自 1992 年起,美国空军联合国家海洋和大气管理局(National Oceanic and Atmospheric Administration,NOAA)开始整理、校正和合成夜间灯光数据,并且在国家地球物理数据中心(National Geographical Data Center,NGDC)建立了数字格式文档^[8],影像数据覆盖年份为 1992—2013 年,大大促进了夜间灯光数据的研究应用。2011 年 10 月,美国国家极地轨道卫星(national polar orbiting partnership,NPP)卫星成功发射,其上搭载了新一代可见光及近红外辐射仪(visible infrared imaging radiometer suite,VIIRS),夜间灯光数据得到了进一步发展。由此 NGDC 地球观测小组将工作重心转移至 NPP-VIIRS 数据,学者也越来越多地利用 NPP-VIIRS 数据进行研究^[9-11]。

夜间灯光数据综合反映了人类活动情况,在城市建设与分析、社会经济因子估算、生态环境及自然灾害等方面都有大量研究^[12]。在人口分布方面,Elvidge 等^[13-14]和 Sutton 等^[15-16]研究发现 DMSP-OLS 夜间灯光数据与人口分布之间存在着显著的相关性,随后很多学者进行了大量的验证分析并将夜间灯光数据应用在人口分布模拟上。近年来,随着 NPP-VIIRS 数据的获取,高义等^[4]、Xie 等^[17]和胡云峰等^[18]对 DMSP-OLS 和 NPP-VIIRS 数据进行了对比分析,并揭示了 NPP-VIIRS 数据在人口空间分布研究中的巨大潜力。对于人口统计数据缺失的地区而言,夜间灯光数据为区域人口估算和人口空间分布模拟提供了新途径。随着数据的积累,基于夜间灯光数据的人口变化特征分析也逐渐增多,形成了丰富的研究成果。但其中也存在一些问题。基于此,本文对夜间灯光数据平台发展和人口空间分布模拟方法进行了总结,并且分析了数据、尺度、模型方法和精度验证等方面存在的问题,最后对未来的发展方向和研究重点进行了探讨。

1 夜间灯光数据源

1.1 DMSP-OLS 及 NPP-VIIRS 夜间灯光数据

DMSP-OLS 和 NPP-VIIRS 数据是目前应用最为广泛的 2 种夜间灯光数据,美国 NGDC 提供了相关数据产品^[19]。目前能够下载到 1992—2013 年

间 DMSP-OLS 的多种数据,其中使用最多的是第四版全球稳定夜间灯光数据,前几版已经不适用于定量分析。

DMSP-OLS 夜间灯光数据产品主要有 3 种:夜间灯光频率数据、辐射定标夜间灯光强度数据和非辐射定标夜间灯光强度数据^[20]。夜间灯光频率数据是对获取的一段时间内的连续观测数据,计算各像元在此期间内的发光频率,选定阈值,去除噪声,但是该数据并没有记录灯光的强度信息,早期文献多用此类数据;辐射定标夜间灯光强度数据,是 NGDC 进行的部分辐射定标实验,对传感器的增益进行了人为控制,虽然很好地解决了灯光影像的饱和问题,但需要关掉星载跟踪扫描放大跟踪算法和放大倍数自动修正功能^[14],所以只有部分时段数据可供下载;非辐射定标夜间灯光强度数据剔除了云层覆盖和不稳定光源的影响,记录了夜间灯光强度信息,其像元 DN 值范围为 [0,63],数值越高,表明亮度越大,这是目前应用最广泛的一类数据。

2011 年 10 月 28 日成功发射的 NPP 卫星上搭载的 VIIRS 传感器是高空间分辨率辐射仪(advanced very high resolution radiometer,AVHRR)和中等空间分辨率成像光谱仪(moderate-resolution imaging spectroradiometer,MODIS)系列以及 OLS 传感器的拓展改进。DNB(day/night band)波段是用于探测夜间灯光强度的主要波段^[21],能够灵敏地捕捉到地表亮度信息,空间分辨率更高,且进行了在轨辐射定标,不会出现灯光饱和现象。在 NPP-VIIRS 平台发射后,经历了相关技术及算法改进^[22-23],目前能够获取 2012 年至今部分日数据、月及年合成数据^[19]。月合成数据过滤掉了云、月光和杂散光等的影响,保留了渔船、火灾和极光等短暂性光源,但对于人口分布研究来说,仍需要剔除这些短暂性光源。年合成数据则去除了短暂性光源和背景值。表 1 为 DMSP-OLS 与 NPP-VIIRS 传感器主要参数对比情况^[9,21]。

表 1 DMSP-OLS 和 NPP-VIIRS 主要参数对比
Tab.1 Comparison of main parameters between DMSP-OLS and NPP-VIIRS

| 参数 | DMSP-OLS | NPP-VIIRS |
|---|----------|-----------|
| 条带宽度/km | 3 000 | 3 000 |
| 空间分辨率/(") | 30 | 15 |
| 夜间过境时间 | 19: 30 | 01: 30 |
| 微光成像波段(全色)/μm | 0.5~0.9 | 0.5~0.9 |
| 最低辐亮度/(W·cm ⁻² ·sr ⁻¹) | ~5E-10 | ~2E-11 |
| 定标与否 | 否 | 星上定标 |
| 量化等级/bit | 6 | 14 |
| 饱和情况 | 存在 | 不存在 |

1.2 其他夜间灯光数据

除 DMSP – OLS 和 NPP – VIIRS 之外,还有其他获取夜间灯光数据的平台。例如国际空间站拍摄的照片具有很高的空间分辨率,能详细地反映地表夜间灯光的分布情况,但 Anderson 等^[24]和 Liu 等^[25]发现其与人口分布的相关性一般,有待进一步研究。阿根廷 2001 年在 SAC – C (satélite de aplicaciones científicas – C) 卫星上搭载的 HSTC (high sensitivity technological camera) 传感器和 2012 年 SAC – D 卫星上搭载的 HSC (high sensitivity camera) 传感器、以色列 EROS – B (earth remote observation system – B) 卫星上搭载的全色波段传感器也都具有较高的空间分辨率^[12]。我国于 2018 年 6 月 2 日成功发射一颗专业的夜光遥感卫星“珞珈一号”,其搭载了高灵敏度夜光相机,地面空间分辨率达到 100 m 左右。这些传感器平台将为以后的研究提供更好的数据来源。

表 2 基于夜间灯光像元特征的主要方法
Tab.2 Main methods based on nighttime light pixel feature

| 特征参数 | 方法 | 模型 | 优缺点 |
|-----------------------|--|---------------|---|
| 灯光面积、灯光体积、像素均值、光面积百分比 | 在省、市、县尺度上选择显著参数进行人口与人口密度估算 ^[26] | 异速增长模型、线性回归模型 | 多空间尺度,多特征参数选择;缺点是不能反映精细尺度的人口空间分布情况,没有分区建模 |
| 灯光频率 | 利用灯光频率与人口密度的相关性 ^[27] | 传递函数和质量守恒算法 | 对全球数据集进行了改正;但灯光频率与人口密度模型粗糙,精度不高 |
| 灯光面积(像素数量) | 与城市人口数量进行回归分析 ^[28-29] | 线性回归 | 模型简单易于应用;缺点是精度不高,无法反映城市内部特征 |
| 灯光强度 | 在区县或城市尺度上与人口密度进行回归分析 ^[30-32] | 线性回归、三次多项式回归 | 模型简单易用;缺点是没有考虑灯光溢出和饱和问题 |
| 灯光体积 | 与城市人口数量进行回归分析 ^[33-34] | 线性回归 | 比灯光面积更能反映与人口分布的相关性,模型简单易于推广 |
| 光面积百分比 | 在区县或城市尺度上与人口密度进行回归分析 ^[33] | 线性回归 | 在区县或城市尺度上应用较为简单;但并不适用于精细尺度 |

2.2 基于夜间灯光和土地利用数据

土地利用数据能够反映人类的主要活动范围,夜间灯光能够显示区域内部差异,将两者结合,能简单地模拟人口分布,并削弱灯光溢出影响。Briggs 等^[35]基于土地利用类型等级的 4 种策略将各区域各土地利用类型的灯光区面积、非灯光区面积和灯光亮度总和进行回归分析,制作了 200 m 和 1 km 空间分辨率的人口密度图;Bagan 等^[36]建立了普通最小二乘回归模型和地理加权回归模型,该模型考虑了人口分布的空间关系,但也存在多重共线性问题,还需要进一步研究;李翔等^[37]以上海市为例,基于城市详细土地利用数据,提取出商业和居住区的 NPP – VIIRS 灯光数据进行空间回归建模,减小了城市亮化区和路灯等影响,提高了模拟精度;胡云峰等^[18]分别利用 NPP – VIIRS 和 DMSP – OLS 数据,基于不同土地利用类

2 基于夜间灯光数据的人口空间分布研究方法及模型

2.1 基于夜间灯光像元特征

基于像元特征,学者们构建了许多特征参数,例如灯光面积、灯光体积、灯光强度和光面积百分比等,通过建立模型对人口空间分布进行模拟。基于夜间灯光像元特征的主要方法如表 2 所示。这些方法没有使用其他辅助数据,模型简单易于实现,但整体精度不高,不利于精细尺度的人口分布研究,且对农村地区表现不足。同时,多数研究忽略了 DMSP – OLS 数据中存在的灯光饱和及像元溢出等问题,即使 NPP – VIIRS 数据削弱了灯光饱和及溢出影响,由于模型方法的局限性,模拟精度也不高。

型,与县级人口统计数据进行逐步回归分析,结果表明 NPP – VIIRS 数据模拟精度更高。

2.3 基于多源数据融合

自然地理和社会经济因素都会影响人口分布,融合多种辅助数据有利于提高人口分布模拟精度。该方法可分为 2 类:①将各种辅助数据及夜间灯光数据作为人口分布的影响因子进行建模,不同的区域可采用不同的数据及方法;②利用夜间灯光数据进行常规方法建模,并利用辅助数据提高模拟精度。黄益修^[38]利用 NPP – VIIRS 数据进行人口空间模拟,并基于出租车全球定位系统(global positioning system, GPS)轨迹数据对模拟结果进行了校正。基于多源数据融合的方法虽然能够提高人口分布模拟精度,但也存在数据处理复杂、权重赋值主观性强以及模型适应性差等缺点。主要模型方法如表 3 所示。

表 3 基于多源数据融合的主要模型方法

Tab.3 Main model methods of multi – source data fusion

| 所需数据 ^① | 方法 | 模型 | 优缺点 |
|---|--|-----------------------------|--|
| 夜间灯光数据、归一化植被指数 (normalized difference vegetation index,NDVI) 和人口统计数据 | 按灯光斑块面积比例对县域分级,城镇地区采用灯光强度与人口密度的回归方法,乡村地区采用人口密度距离衰减模型和电场叠加理论,人口稀少地区采用平均分配方法 ^[31] | 灯光强度与人口密度的三次回归模型,人口密度距离衰减模型 | 在城乡地区分别采用不同的模型建模,是对中国区域人口格网化的早期探索;缺点是计算较为复杂,没有进行模型结果验证分析 |
| 夜间灯光数据、数字高程模型 (digital elevation model, DEM)、人口统计数据、路网密度和土地覆被数据 | 利用基础数据提取灯光强度、坡度、路网密度和高程等 13 个因子作为影响因子,基于随机森林模型建立人口密度与影响因子的关系 ^[2] | 随机森林模型 | 考虑因子较全面,能避免过度拟合,对异常值和噪声有很好的容忍度,能够度量影响因子的重要性;缺点是在人口密度较低和较高的地区模拟精度欠佳 |
| 夜间灯光数据、人口统计数据 and 建筑物数据 | 基于灯光数据和建筑物数据,通过空间分析方法求得格网单元权重,进行人口密度空间化 ^[39] | 多因子加权平均模型 | 考虑了建筑物分布,计算方便;但是模型相对粗糙,尺度精细,但精度一般 |
| 夜间灯光数据、人口统计数据、DEM、土地利用数据和河流路网数据 | 考虑夜间灯光、坡度、河流路网和土地利用等因子的影响,采用专家打分和层次分析法对因子赋权重 ^[40] | 多因子加权平均模型 | 考虑因子更为全面;但是计算复杂,权重打分主观性强,城市间精度差异大 |
| 夜间灯光数据、NDVI、增强植被指数 (enhanced vegetation index, EVI) 、DEM 和人口统计数据 | 在城市地区利用灯光数据与人口的显著相关性进行回归建模;在乡村地区,提出新方法进行建模 ^[41-42] | 多元回归模型 | 在城乡地区分别采用不同方法建模,削弱灯光饱和及溢出影响,模型适用性较强 |

综合上述方法可以看出,基于像元特征的方法模型简单,数据处理方便,但不适合精细尺度研究;结合土地利用数据的方法,即将不同土地利用类型与灯光强度信息结合起来,削弱灯光溢出影响,在一定程度上提高了模拟精度;基于多源数据融合的方法,学者利用各种辅助数据对人口分布进行了研究,理论上,利用辅助数据越多,越接近真实人口分布情况,但更多的辅助数据,可能带来数据融合方面的技术问题,导致模拟精度提高受限,另外,数据处理过程较为复杂,模型适用性不强等问题都有待进一步研究。

值得注意的是,由于区域差异,不同的方法模型有不同的适用范围,要提高人口分布模拟精度,进行分类分区分城乡建模是必要的。Sutton 等^[43]和 Zhang 等^[44]在研究区域内按照经济水平进行分类;Cheng 等^[30]在探讨灯光强度与人口密度的相关性时,将县域按照东西部差异、人口规模和城市化水平 3 种方法进行分区研究;Zeng 等^[45]利用夜间灯光图像聚类 and 最短路径进行了分区研究。

3 存在问题及解决方法

3.1 数据方面

夜间灯光数据应用广泛,但仍可能存在灯光饱和、灯光溢出、几何偏差以及时序影像不一致等问题。

3.1.1 灯光饱和

由于 OLS 传感器技术缺陷,获取到的夜间灯光数据 DN 值达到上限后,不再随地面灯光强度的增加而增大^[46]。故随后对 VIIRS 传感器进行了技术改进,消除了饱和和影响。但饱和问题的出现削弱了夜间灯光与人口分布的相关性,对于广泛使用的 DMSP – OLS 数据来说,灯光饱和校正是必要的。目前主要有 3 类校正方法:

1) 利用不饱和区灯光特征校正饱和灯光。Lettu 等^[47]在 2010 年利用建筑面积率与不饱和灯光强度的相关性,建立了三次回归方程对饱和区进行校正,在 2012 年又利用辐射定标数据与非辐射定标数据非饱和部分的线性回归方程对饱和部分进行校正^[48];He 等^[49]利用 NDVI 数据,建立了不饱和灯光样本的 DN 值与相应 NDVI 值之间的回归模型。这种方法能一定程度地削弱灯光饱和的影响,但精度不高。

2) 利用辐射定标夜间灯光数据去除灯光饱和的影响。Elvidge 等^[14]在 20 世纪 90 年代就进行了辐射定标研究;Ziskin 等^[50]改进方法制作了 2006 年的辐射定标数据;Hsu 等^[51]在上述研究的基础上进行了改进。辐射定标方法理论上较完善,精度较高,但是算法复杂,目前只有部分时段的辐射定标数据可供下载。

3) 利用 DMSP – OLS 数据和辅助数据构建指数模型。主要构建指数如表 4 所示。

表 4 主要构建指数及优缺点
Tab.4 Main index models and evaluation

| 构建指数 | 所需数据 | 优缺点 |
|--|------------------------|--|
| 基于植被调整的夜间灯光城市指数 VANUI ^[52] | NDVI 和夜间灯光数据 | 增强城市内部变化特征; 但不适合沙漠地区, 短期发展城市的表现欠佳 |
| 人类居住指数 HSI ^[53] | NDVI 和夜间灯光数据 | 削弱饱和和影响, 增强变化性; 但城市核心周边区域存在过分校正 |
| 植被温度灯光指数 VTLI ^[54] | 夜间灯光数据、NDVI 和地表温度数据 | 收敛速度快于 VANUI, 削弱灯光饱和和溢出影响; 但中小城市应用效果较差, 部分地区存在分类错误 |
| 基于温度和植被调整的夜间灯光城市指数 TVANUI ^[55] | NDVI、夜间灯光数据和地表温度数据 | 削弱灯光饱和和溢出影响, 增强城市特征, 提高了制图精度; 但计算略复杂 |
| 基于 EVI 调整的夜间灯光指数 EANTLI ^[46] | 夜间灯光数据和 EVI | 削弱城市内部灯光饱和和溢出影响; 但在水体附近表现不理想 |
| 基于高程调整的人类居住指数 EAHSI ^[41] | EVI、夜间灯光数据和 DEM | 削弱饱和和影响, 考虑高程因素, 适合于农村地区 |
| 基于蒙特卡罗模拟支持的 VANUI 指数 VANUMCS ^[56] | NDVI、夜间灯光数据、道路数据和居民点数据 | 采用多种数据, 削弱饱和, 提高了精度; 在不发达地区适用性欠佳, 数据量较大 |
| 去除水体的夜间灯光指数 RwNTLI ^[57] | 夜间灯光数据、NDVI 和水体数据 | 改善了 VANUI 在水体提取中的不足, 有效缓解饱和和影响, 增强地物识别能力 |

3.1.2 灯光溢出

灯光溢出是指影像获取的灯光范围比实际的范围大。造成这种现象的原因有多种^[58-59]：①影像的空间分辨率较低；②相邻像素的大量重叠；③合成过程中地理位置发生了偏差；④水体等造成的灯光反射及灯光的散射效果等。Bennett 等^[60]通过 DMSP - OLS 与 NPP - VIIRS 数据对比发现, VIIRS 传感器数据大大削弱了灯光溢出影响。灯光溢出效应会扩大灯光区范围, 影响人口分布模拟精度。阈值法是被广泛采用的一种校正方法, 通过对灯光数据设定阈值来缩小照明区域, 使其与实际情况更加匹配。由于区域差异, 不同地区需要设置不同的阈值, 过高或过低的阈值都达不到理想效果。Imhoff 等^[61]、Sutton 等^[43]和 Henderson 等^[62]通过实例对阈值法进行了研究。另外, Townsend 等^[63]提出了灯光溢出消除模型, 利用光源强度和灯光溢出部分距光源的距离关系, 建立缓冲区, 将灯光溢出部分逐步返回到光源区域。结合土地利用数据也可以削弱灯光溢出的影响。

3.1.3 相互校正

由于 DMSP - OLS 传感器缺乏星上校准, 传感器随着时间也会发生退化, 因此不同年份同一像元的 DN 值不连续, 同一年份不同传感器获取的 DN 值也不一致。影像 DN 值的不一致阻碍了利用长时间序列影像进行人口分布变化研究, 需要进行相互校正。Elvidge 等^[64]在 DMSP - OLS 年度序列影像研究中, 以意大利西西里岛作为不变区域、F121999 影像作为参考影像, 构建二阶回归方程进行相互校正, 成为夜间灯光数据相互校正的主要方法。此后,

Liu 等^[65-66]、Zhao 等^[67]和 Wu 等^[68]参考 Elvidge 方法, 选择相应不变区域和参考影像进行校正。然而, 不变区域的选择需要大量的统计分析和先验知识。因此, Li 等^[69]提出了简单迭代算法, 以便自动提取 2 幅影像中的不变区域; Tuttle 等^[70]提出可以尝试建立永久活动目标光源以进行影像间的相互校正; Stathakis^[71]提出了平行回归方法, 这种方法为时间序列中每一个像素建立单独的回归模型, 而不是为整个年度数据集建立单一的回归模型, 每个像素的 DN 值都是根据地理适应趋势进行校正的, 不需要指定不变区域和参考影像, 但缺点是计算量较大, 方法还需改进。NPP - VIIRS 平台由于建立时间较短, 存档数据不多, 目前对此问题研究较少。

3.1.4 几何偏差

Elvidge 等^[58]在 2004 年就对 DMSP 数据的灯光面积及位置精度进行了探讨; Tuttle 等^[72]设计了一组便携式灯, 通过 GPS 测量灯光位置与影像中灯光位置进行对比, 对影像的地理位置精度进行了评估; Zhao 等^[73]通过计算参考影像与其他影像 DN 值的最大相关系数, 发现部分影像之间存在像素级别的几何误差, 并进行了几何纠正。在 NPP - VIIRS 数据的早期研究中, 由于缺乏地理定位无法进行地形校正, 导致山区的地理定位误差可达几 km。随后, 美国宇航局地理定位小组进行了深入研究并提出了校正方案^[22]。

在实际利用时序影像进行研究的過程中, 往往灯光饱和校正、溢出校正、几何纠正和相互校正等都需要进行。当然, 不同的方法有不同的精度和适用范围, 适合人口空间分布研究的校正方法还需要进

一步探索。

3.2 尺度方面

尺度方面一般分为区域尺度和格网尺度 2 种。区域尺度多用在人口估算中,对区域内部情况则不做过多分析。格网尺度则更加精细和便于数据融合,多用在国家或省市范围内。鉴于夜间灯光影像空间分辨率及实际需求,1 km × 1 km 格网尺度应用比较广泛^[32,36]。当然,也有很多学者融合多种数据,对影像进行重采样,生成了更精细格网尺度的人口分布图^[41,47,74]。值得注意的是,简单重采样形成的精细格网尺度,其精度不一定高。同时,现有格网尺度的适宜性研究还很少^[75],部分研究也只是生成多种格网尺度进行对比分析。目前,还缺乏系统性的方法对格网尺度进行适宜性选择和评价。

3.3 模型方法

虽然夜间灯光数据与人口分布间存在着显著关系,但也存在不确定性^[35]。Bustos 等^[76]发现,人口的减少不一定会导致灯光面积的减少; Doll 等^[77]发现伦敦最亮的位置和最高的人口密度之间存在不匹配现象; Levin 等^[78]利用 NPP - VIIRS 数据对全球人口稠密地区夜间灯光进行了定量研究,并分析了造成灯光亮度差异的各种因素及季节性影响。因此,要想更加精确地模拟人口分布情况,需要详细分析夜间灯光与人口的对应关系及人口变化与灯光变化的特征规律,并结合各种辅助数据对人口分布的表征能力进行深入探讨。另外,经济结构、城市配置、建筑环境、交通设施和照明政策等都值得关注,以此探索新方法、新模型来提高利用夜间灯光数据模拟人口分布的精度。

3.4 精度验证

精度验证一直是人口分布研究中的困难之处。一般而言,学者多采用以下几种方法进行验证分析:①与已有研究成果对比;②与不同等级的人口统计数据对比验证;③实地抽样调查,多见于精细尺度研究中。然而目前系统性好、可靠性高、适用性强的精度验证方法还没有建立起来。随着技术发展,未来可以尝试综合其他方式获取人口数据,比如基于移动定位数据等来获取人口分布情况。研究易于获取并且精度较高的验证方法也很重要。

4 总结与展望

本文对基于夜间灯光数据的人口空间分布研究情况进行了综述。较详细地阐述了常用的 DMSP - OLS 和 NPP - VIIRS 传感器平台以及夜间灯光数据特征。总的来说,DMSP - OLS 数据有连续历史数据

存档,应用相当广泛。而 NPP - VIIRS 数据精度较高,在人口空间分布中的研究会越来越多。对于夜间灯光数据的人口空间分布研究方法,由于不同的精度要求、研究区域和数据来源等,研究成果非常丰富。有直接利用遥感特征进行反演的,也有结合土地利用数据以及融合多源数据进行人口空间分布模拟的。其中也存在着许多问题:如夜间灯光数据的饱和、连续性问题;模型方法的适用性问题;模拟尺度问题;结果的验证分析问题等。

未来研究应着重考虑以下几个方面:

1) 当前尺度适宜性及精度验证问题研究较少,部分人口分布模拟中,虽然格网尺度经过重采样变得更精细,但是精度并未提高。因此,探索不同条件下的格网尺度,形成系统的适宜尺度选择及评价方法是未来的研究重点之一。另外,精度验证一直是个难题,通常的统计分析及对比方法效果并不理想,实地调查的方法实施起来又较为困难。所以,在精度验证方面,融合多种数据源,研究易于推广的理想验证方法是今后努力的方向。

2) 高精度夜间灯光数据和其他辅助数据的获取,包括社会感知数据或移动定位数据等,可以提高人口分布模拟精度。随着传感器技术和通讯技术的发展,对人类活动数据的收集有了多种途径。在利用传统自然地理和社会经济数据的基础上,应该更多地考虑各种传感器网络及大数据的应用,有效提高人口分布模拟精度。

3) 在局部区域人口分布模拟中,需更加注重实效性和流动性,利用最新的泛在传感器网络获取的多源数据,结合人口的活动规律快速建立模型,实现局部区域动态人口分布的模拟,为防灾减灾等提供及时的人口分布信息。

4) 融合多源数据探究人口构成的分布情况,包括不同年龄阶段、不同民族和不同职业属性等,挖掘人口分布中蕴含着的丰富信息,实现模糊人口分布到精细人口分布研究的转变,更好为社会发展服务。

参考文献 (References):

[1] 董 南,杨小唤,蔡红艳. 人口数据空间化研究进展[J]. 地球信息科学报,2016,18(10):1295 - 1304.
Dong N, Yang X H, Cai H Y. Research progress and perspective on the spatialization of population data[J]. Journal of Geo - Information Science, 2016, 18(10):1295 - 1304.

[2] 谭 敏,刘 凯,柳 林,等. 基于随机森林模型的珠江三角洲 30 m 格网人口空间化[J]. 地理科学进展, 2017, 36(10):1304 - 1312.
Tan M, Liu K, Liu L, et al. Spatialization of population in the Pearl River Delta in 30 m grids using random forest model[J]. Progress in Geography, 2017, 36(10):1304 - 1312.

- [3] 杜国明. 人口数据空间化方法与实践[M]. 北京: 中国农业出版社, 2008.
Du G M. Methods and Practice of Population Data Spatialization [M]. Benjing: China Agriculture Press, 2008.
- [4] 高 义, 王 辉, 王培涛, 等. 基于人口普查与多源夜间灯光数据的海岸带人口空间化分析[J]. 资源科学, 2013, 35(12): 2517 – 2523.
Gao Y, Wang H, Wang P T, et al. Population spatial processing for Chinese coastal zones based on census and multiple night light data [J]. Resources Science, 2013, 35(12): 2517 – 2523.
- [5] Robert H. Spatial Data Analysis: Theory and Practice [M]. Cambridge: Cambridge University Press, 2003.
- [6] 柏中强, 王卷乐, 杨 飞. 人口数据空间化研究综述[J]. 地理科学进展, 2013, 32(11): 1692 – 1702.
Bai Z Q, Wang J L, Yang F. Research progress in spatialization of population data[J]. Progress in Geography, 2013, 32(11): 1692 – 1702.
- [7] Croft A. Nighttime images of the earth from space[J]. Scientific American, 1978, 239(1): 86 – 98.
- [8] Elvidge C D, Baugh K E, Kihn E A, et al. Mapping of city lights using DMSP operational line – scan system data[J]. Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, 1997, 63: 727 – 734.
- [9] Elvidge C D, Baugh K E, Zhizhin M, et al. Why VIIRS data are superior to DMSP for mapping nighttime lights[C]//Proceedings of the Asia – Pacific Advanced Network, 2013, 35: 62 – 69.
- [10] Li X, Xu H, Chen X, et al. Potential of NPP – VIIRS nighttime light imagery for modeling the regional economy of China[J]. Remote Sensing, 2013, 5(6): 3057 – 3081.
- [11] Ma T, Zhou C H, Pei T, et al. Responses of Suomi – NPP VIIRS – derived nighttime lights to socioeconomic activity in China's cities [J]. Remote Sensing Letters, 2014, 5(2): 165 – 174.
- [12] 李德仁, 李 熙. 论夜光遥感数据挖掘[J]. 测绘学报, 2015, 44(6): 591 – 601.
Li D R, Li X. An overview on data mining of nighttime light remote sensing[J]. Acta Geodaetica et Cartographica Sinica, 2015, 44(6): 591 – 601.
- [13] Elvidge C D, Baugh K E, Kihn E A, et al. Relation between satellite observed visible – near infrared emissions, population, economic activity and electric power consumption[J]. International Journal of Remote Sensing, 1997, 18(6): 1373 – 1379.
- [14] Elvidge C D, Baugh K E, Dietz J B, et al. Radiance calibration of DMSP – OLS low – light imaging data of human settlements[J]. Remote Sensing of Environment, 1999, 68(1): 77 – 88.
- [15] Sutton P. Modeling population density with nighttime satellite imagery and GIS[J]. Computers, Environment, and Urban Systems, 1997, 21(3 – 4): 227 – 244.
- [16] Sutton P, Roberts D, Elvidge C D. A comparison of nighttime satellite imagery and population density for the continental United States [J]. Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, 1997, 63: 1303 – 1313.
- [17] Xie Y H, Weng Q H, Weng A. A comparative study of NPP – VIIRS and DMSP – OLS nighttime light imagery for derivation of urban demographic metrics [C]//Third International Workshop on Earth Observation and Remote Sensing Applications. Changsha: IEEE, 2014: 335 – 339.
- [18] 胡云锋, 赵冠华, 张千力. 基于夜间灯光与 LUC 数据的川渝地区人口空间化研究[J]. 地球信息科学学报, 2018, 20(1): 68 – 78.
Hu Y F, Zhao G H, Zhang Q L. Spatial distribution of population data based on nighttime light and LUC data in the Sichuan – Chongqing Region [J]. Journal of Geo – Information Science, 2018, 20(1): 68 – 78.
- [19] NOAA. Website of Earth Observation Group [EB/OL]. [2018 – 08 – 03]. <https://www.ngdc.noaa.gov/eog/index.html>.
- [20] 阴英超. 基于 DMSP/OLS 灯光数据的新疆天山北坡经济带城市化研究[D]. 乌鲁木齐: 新疆大学, 2010.
Yin Y C. Research on Northern Economic Zone of the Tianshan Mountains Urbanization in Xinjiang Based on DMSP/OLS Light Data [D]. Urumchi: Xinjiang University, 2010.
- [21] Miller S D, Straka W, Mills S P, et al. Illuminating the capabilities of the Suomi national polar – orbiting partnership (NPP) visible infrared imaging radiometer suite (VIIRS) day/night band [J]. Remote Sensing, 2013, 5(12): 6717 – 6766.
- [22] Cao C Y, Blonski S, Wang W H, et al. Overview of Suomi NPP VIIRS performance in the last 2.5 years [C]//SPIE Earth Observing Missions and Sensors: Development, Implementation, and Characterization III. International Society for Optics and Photonics, 2014.
- [23] Elvidge C D, Baugh K, Zhizhin M, et al. VIIRS night – time lights [J]. International Journal of Remote Sensing, 2017, 38(21): 5860 – 5879.
- [24] Anderson S J, Tuttle B T, Powell R L, et al. Characterizing relationships between population density and nighttime imagery for Denver, Colorado: Issues of scale and representation [J]. International Journal of Remote Sensing, 2010, 31(21): 5733 – 5746.
- [25] Liu Q, Sutton P C, Elvidge C D. Relationships between nighttime imagery and population density for Hong Kong [C]//Proceedings of the Asia – Pacific Advanced Network, 2011, 31: 79 – 90.
- [26] Lo C P. Modeling the population of China using DMSP operational linescan system nighttime data [J]. Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, 2001, 67(9): 1037 – 1047.
- [27] Pozzi F, Small C, Yetman G. Modeling the distribution of human population with nighttime satellite imagery and gridded population of the world [J]. Earth Observation Magazine, 2003, 12(4): 24 – 30.
- [28] Pranab K R C, Sandeep M, Vinay K D. Estimation of urban population in Indo – Gangetic Plains using night – time OLS data [J]. International Journal of Remote Sensing, 2012, 33(8): 2498 – 2515.
- [29] Amaral S, Monteiro A M V, Camara G, et al. DMSP/OLS night – time light imagery for urban population estimates in the Brazilian Amazon [J]. International Journal of Remote Sensing, 2006, 27(5): 855 – 870.
- [30] Cheng L, Zhou Y, Wang L, et al. An estimate of the city population in China using DMSP night – time satellite imagery [C]//2007 IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium. Barcelona: IEEE, 2007: 691 – 694.
- [31] Zhuo L, Ichinose T, Zheng J, et al. Modelling the population density of China at the pixel level based on DMSP/OLS non – radiance – calibrated night – time light images [J]. International Journal of Remote Sensing, 2009, 30(4): 1003 – 1018.
- [32] Yu S S, Zhang Z X, Liu F. Monitoring population evolution in China

- using time - series DMSP/OLS nightlight imagery [J]. Remote Sensing, 2018, 10(2): 1 - 21.
- [33] Tripathi B R, Tiwari V, Pandey V, et al. Estimation of urban population dynamics using DMSP - OLS night - time lights time series sensors data [J]. IEEE Sensors Journal, 2017, 17(4): 1013 - 1020.
- [34] Kumar P, Sajjad H, Alare R S, et al. Analysis of urban population dynamics - based on residential buildings volume in six provinces of Pakistan using operational linescan system sensors [J]. IEEE Sensors Journal, 2017, 17(6): 1656 - 1662.
- [35] Briggs D J, Gulliver J, Fecht D, et al. Dasymeric modelling of small - area population distribution using land cover and light emissions data [J]. Remote Sensing of Environment, 2007, 108(4): 451 - 466.
- [36] Bagan H, Yamagata Y. Analysis of urban growth and estimating population density using satellite images of nighttime lights and land - use and population data [J]. GIScience and Remote Sensing, 2015, 52(6): 765 - 780.
- [37] 李翔, 陈振杰, 吴洁璇, 等. 基于夜间灯光数据和空间回归模型的城市常住人口格网化方法研究 [J]. 地球信息科学学报, 2017, 19(10): 1298 - 1305.
- Li X, Chen Z J, Wu J X, et al. Gridding methods of city permanent population based on night light data and spatial regression models [J]. Journal of Geo - Information Science, 2017, 19(10): 1298 - 1305.
- [38] 黄益修. 基于夜间灯光遥感影像和社会感知数据的人口空间化研究 [D]. 上海: 华东师范大学, 2016.
- Huang Y X. Spatialization of Population Using Nighttime Light Remote Sensing Images and Social Sensing Data [D]. Shanghai: East China Normal University, 2016.
- [39] 郭山山, 龚俊, 尹晶飞. 基于 DMSP/OLS 的人口分布网格精细化研究 [J]. 地震研究, 2016, 39(2): 321 - 326.
- Guo S S, Gong J, Yin J F. Study on grid refinement for population distribution based on DMSP/OLS [J]. Journal of Seismological Research, 2016, 39(2): 321 - 326.
- [40] 吴健生, 许多, 谢舞丹, 等. 基于遥感影像的中尺度人口统计数据空间化——以京津冀地区为例 [J]. 北京大学学报(自然科学版), 2015, 51(4): 707 - 717.
- Wu J S, Xu D, Xie W D, et al. Spatialization of demographic data at medium scale based on remote sensing images: Regarding Beijing - Tianjin - Hebei as an example [J]. Acta Scientiarum Naturalium Universitatis Pekinensis, 2015, 51(4): 707 - 717.
- [41] Yang X C, Yue W Z, Gao D W. Spatial improvement of human population distribution based on multi - sensor remote - sensing data: An input for exposure assessment [J]. International Journal of Remote Sensing, 2013, 34(15): 5569 - 5583.
- [42] Sun W C, Zhang X, Wang N, et al. Estimating population density using DMSP - OLS night - time imagery and land cover data [J]. IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing, 2017, 10(6): 2674 - 2684.
- [43] Sutton P C, Roberts D, Elvidge C D, et al. Census from Heaven: An estimate of the global population using nighttime satellite imagery [J]. International Journal of Remote Sensing, 2001, 22(16): 3061 - 3076.
- [44] Zhang X Y, Zhang Z J, Chang Y G, et al. An estimation model of population in China using time series DMSP night - time satellite imagery from 2002—2010 [C]//International Conference on Intelligent Earth Observing and Applications. International Society for Optics and Photonics, 2015: 167 - 172.
- [45] Zeng C, Zhou Y, Wang S, et al. Population spatialization in China based on night - time imagery and land use data [J]. International Journal of Remote Sensing, 2011, 32(24): 9599 - 9620.
- [46] Zhuo L, Zheng J, Zhang X F, et al. An improved method of night - time light saturation reduction based on EVI [J]. International Journal of Remote Sensing, 2015, 36(16): 4114 - 4130.
- [47] Letu H, Hara M, Yagi H, et al. Estimating energy consumption from night - time DMPS/OLS imagery after correcting for saturation effects [J]. International Journal of Remote Sensing, 2010, 31(16): 4443 - 4458.
- [48] Letu H, Hara M, Tana G, et al. A saturated light correction method for DMSP/OLS nighttime satellite imagery [J]. IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, 2012, 50(2): 389 - 396.
- [49] He C, Ma Q, Liu Z, et al. Modeling the spatiotemporal dynamics of electric power consumption in mainland China using saturation - corrected DMSP/OLS nighttime stable light data [J]. International Journal of Digital Earth, 2014, 7(12): 993 - 1014.
- [50] Ziskin D, Baugh K, Hsu F C. Methods used for the 2006 radiance lights [C]//Proceedings of the Asia Pacific Advanced Network, 2010, 30: 131 - 142.
- [51] Hsu F C, Baugh K E, Ghosh T, et al. DMSP - OLS radiance calibrated nighttime lights time series with intercalibration [J]. Remote Sensing, 2015, 7(2): 1855 - 1876.
- [52] Zhang Q, Schaaf C, Seto K C. The vegetation adjusted NTL urban index: A new approach to reduce saturation and increase variation in nighttime luminosity [J]. Remote Sensing of Environment, 2013, 129: 32 - 41.
- [53] Lu D S, Tian H Q, Zhou G M, et al. Regional mapping of human settlements in southeastern China with multisensor remotely sensed data [J]. Remote Sensing of Environment, 2008, 112(9): 3668 - 3679.
- [54] Hao R, Yu D, Sun Y, et al. Integrating multiple source data to enhance variation and weaken the blooming effect of DMSP - OLS light [J]. Remote Sensing, 2015, 7(2): 1422 - 1440.
- [55] Zhang X, Li P. A temperature and vegetation adjusted NTL urban index for urban area mapping and analysis [J]. ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing, 2018, 135: 93 - 111.
- [56] Song G B, Yu M Q, Liu S L, et al. A dynamic model for population mapping: A methodology integrating a Monte Carlo simulation with vegetation - adjusted night - time light images [J]. International Journal of Remote Sensing, 2015, 36(15): 4054 - 4068.
- [57] 倪愿, 周小成, 江威. 结合 Landsat 数据的 DMSP/OLS 夜间灯光影像去饱和方法研究 [J]. 遥感技术与应用, 2017, 32(4): 721 - 727.
- Ni Y, Zhou X C, Jiang W. A reducing saturation method for DMSP/OLS nighttime light image combining Landsat data [J]. Remote Sensing Technology and Application, 2017, 32(4): 721 - 727.
- [58] Elvidge C D, Safran J, Nelson I L, et al. Area and position accuracy of DMSP nighttime lights data [J]. Remote Sensing and GIS Accuracy Assessment, 2004: 281 - 292.
- [59] Small C, Pozzi F, Elvidge C D. Spatial analysis of global urban ex-

- tent from DMSP – OLS night lights [J]. Remote Sensing of Environment, 2005, 96(3–4): 277–291.
- [60] Bennett M M, Smith L C. Advances in using multitemporal night – time lights satellite imagery to detect, estimate, and monitor socioeconomic dynamics [J]. Remote Sensing of Environment, 2017, 192: 176–197.
- [61] Imhoff M L, Lawrence W T, Stutzer D C, et al. A technique for using composite DMSP/OLS “City Lights” satellite data to accurately map urban areas [J]. Remote Sensing of Environment, 1997, 61(3): 361–370.
- [62] Henderson M, Yeh E T, Gong P, et al. Validation of urban boundaries derived from global night – time satellite imagery [J]. International Journal of Remote Sensing, 2003, 24(3): 595–609.
- [63] Townsend A, Bruce D. The use of night – time lights satellite imagery as a measure of Australia’s regional electricity consumption and population distribution [J]. International Journal of Remote Sensing, 2010, 31(16): 4459–4480.
- [64] Elvidge C D, Ziskin D, Baugh K E, et al. A fifteen year record of global natural gas flaring derived from satellite data [J]. Energies, 2009, 2(3): 595–622.
- [65] Liu Z F, He C Y, Yang Y. Mapping urban areas by performing systematic correction for DMSP/OLS nighttime lights time series in China from 1992 to 2008 [C]//2011 IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium. Vancouver: IEEE, 2011: 1858–1861.
- [66] Liu Z F, He C Y, Zhang Q F, 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.
- [67] Zhao N Z, Ghosh T, Samson E L. Mapping spatio – temporal changes of Chinese electric power consumption using night – time imagery [J]. International Journal of Remote Sensing, 2012, 33(20): 6304–6320.
- [68] Wu J S, He S B, Peng J, et al. Intercalibration of DMSP – OLS night – time light data by the invariant region method [J]. International Journal of Remote Sensing, 2013, 34(20): 7356–7368.
- [69] Li X, Chen X L, Zhao Y S, et al. Automatic intercalibration of night – time light imagery using robust regression [J]. Remote Sensing Letters, 2013, 4(1): 45–54.
- [70] Tuttle B T, Anderson S, Elvidge C D, et al. Aladdi’s magic lamp: Active target calibration of the DMSP OLS [J]. Remote Sensing, 2014, 6(12): 12708–12722.
- [71] Stathakis D. Intercalibration of DMSP/OLS by parallel regressions [J]. IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters, 2016, 13(10): 1420–1424.
- [72] Tuttle B T, Anderson S J, Sutton P C, et al. It used to be dark here: Geolocation calibration of the defense meteorological satellite program operational linescan system [J]. Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, 2013, 79(3): 287–297.
- [73] Zhao N Z, Zhou Y Y, Samson E L. Correcting incompatible DN values and geometric errors in nighttime lights time – series images [J]. IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, 2015, 53(4): 2039–2049.
- [74] Bai Z Q, Wang J L. Generation of high resolution population distribution map in 2000 and 2010: A case study in the Loess Plateau, China [C]//2015 23rd International Conference on Geoinformatics. Wuhan: IEEE, 2016: 1–6.
- [75] 董 南, 杨小唤, 蔡红艳, 等. 人口密度网格尺度适宜性评价方法研究——以宣州区乡村区域为例 [J]. 地理学报, 2017, 72(12): 2310–2324.
- Dong N, Yang X H, Cai H Y, et al. Suitability evaluation of gridded population distribution: A case study in rural area of Xuanzhou District, China [J]. Acta Geographica Sinica, 2017, 72(12): 2310–2324.
- [76] Bustos M F A, Hall O, Andersson M. Nighttime lights and population changes in Europe 1992–2012 [J]. Ambio, 2015, 44(7): 653–665.
- [77] Doll C N H, Muller J P. An evaluation of global urban growth via comparison of DCW and DMSP – OLS satellite data [C]//1999 IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium. Hamburg: IEEE, 1999: 1134–1136.
- [78] Levin N, Zhang Q. A global analysis of factors controlling VIIRS nighttime light levels from densely populated areas [J]. Remote Sensing of Environment, 2017, 190: 366–382.

A review of population spatial distribution based on nighttime light data

XIAO Dongsheng^{1,2}, YANG Song¹

(1. School of Civil Engineering and Architecture, Southwest Petroleum University, Chengdu 610500, China; 2. State Key Laboratory of Geohazard Prevention and Geoenvironment Protection, Chengdu University of Technology, Chengdu 610059, China)

Abstract: Population spatial distribution information is the basic information in the study of geography, resources, sociology and other disciplines, and hence is of great significance in practical applications such as urban planning and emergency rescue. The population distribution can be well simulated by using the auxiliary data of physical geography and social economy data. Nighttime light data reflect the distribution of population comprehensively. Compared with traditional remote sensing data, it has the advantages of convenient data acquisition, small data volume, wide coverage and fast data update. With the development of DMSP – OLS, NPP – VIIRS and other

platforms, the study of population spatial distribution based on continuous archiving nighttime light data has attracted the attention of scholars, and a rich research result has been formed at regional – scale population estimates and grid – scale simulations of population distribution. Nevertheless, there are also problems in data correction, data fusion, scale selection and precision verification. Therefore, with the expectation of providing references for other researchers, this paper elaborates the nighttime light data characteristics and access platforms, summarizes the methods and models of population spatial distribution based on night lighting data, and analyzes the problems and solutions in the research. Finally, the important development directions in the future are discussed.

Keywords: nighttime light data; population distribution; data correction; grid scale; accuracy verification

(责任编辑: 陈 理)