

# 面向地震应急的人口空间化方法研究<sup>\*</sup>

## ——以云南省大理白族自治州为例

贾召亮<sup>1</sup>, 郑川<sup>1</sup>, 李袁欣<sup>2</sup>, 许瑞杰<sup>1</sup>, 吴艳梅<sup>1</sup>, 毛振江<sup>1</sup>

(1. 云南省地震局, 云南昆明 650224; 2. 云南师范大学, 云南昆明 650500)

**摘要:** 为提高震后受灾人口估算精度和灾区人口空间分布可视化表达效果, 以云南省大理州为研究区, 结合 FROM - GLC10 地表覆盖数据和 NPP/VIIRS 夜间灯光数据, 基于乡镇人口统计数据, 展开人口空间化方法研究, 制作了大理州 50 m × 50 m 人口格网数据。使用相关系数、相对误差和平均相对误差对人口模拟结果进行了检验, 以漾濞 5.1 级地震和云龙 5.0 级地震为例对模拟结果进行了应用分析。结果表明: ①结合 FROM - GLC10 地表覆盖数据和 NPP/VIIRS 夜间灯光数据的人口空间化可以有效提取人口空间分布范围, 并区分人口空间分布的差异性; ②乡镇模拟人口与实际统计人口的相关系数  $R^2$  为 0.955, 平均相对误差为 14.306%, 82% 的乡镇相对误差在 ±20% 以内, 人口模拟数据精度较高; ③2 次地震的灾区人口模拟数据与实际统计数据的相对误差分别为 -1.67% 和 -2.27%, 人口空间分布模拟结果可以直观反映灾区人口分布情况, 研究成果可为震后辅助决策提供数据支持。

**关键词:** 地表覆盖; 夜间灯光; 人口空间化; 地震应急

**中图分类号:** P315.94

**文献标识码:** A

**文章编号:** 1000 - 0666(2020)04 - 0751 - 08

## 0 引言

云南是中国大陆遭受地震灾害最为严重的省份之一, 仅 20 世纪就发生 5 级以上地震 377 次, 造成 3 万余人死亡, 近 20 万人受伤 (皇甫岗等, 2000)。人口是地震灾害中的主要承灾体, 也是灾害发生后的第一救援对象。在地震发生后的黑箱期内, 快速、准确地获取灾区受灾人口数量和空间分布信息是合理做出救援决策、减少人员伤亡和经济损失的关键 (聂高众等, 2012)。目前, 地震应急工作所使用的人口数据主要源于全国人口普查和抽样调查, 这些人口统计数据以严谨的统计学理论和方法作为支撑, 具有权威、系统、规范等特点 (胡云锋等, 2011), 但以县乡行政区划为统计单元, 直观性差且更新速度较慢, 不能满足震后灾情快速评估对灾区人口估算精度和人口空间分布可视化表达等方面的需求。

人口数据空间化基于人口空间分布模型或采用一定的计算方法, 对人口统计数据进行离散化

处理, 发掘并展现其中隐含的空间信息, 模拟或再现客观世界的人口地理分布 (柏中强等, 2013)。人口数据空间化的研究和实现, 为震后灾区人口统计和人口空间分布可视化表达提供了解决方案。基于不同的研究需求和数据源, 国内外学者提出了多种人口数据空间化的方法, 如负指数模型 (冯健, 周一星, 2003; Clark, 1951)、核密度模型 (吕安民等, 2002; 闫庆武等, 2011)、多元回归模型 (卓莉等, 2005; 田永中等, 2004) 及多因素融合模型 (廖顺宝, 孙九林, 2003; Yue *et al.*, 2003) 等。随着遥感技术的发展, 遥感数据以其覆盖范围广、分辨率高以及蕴含信息丰富等优势被广泛应用到人口数据的空间化研究中, 并服务于地震应急工作。如陈振拓等 (2012) 将人口统计数据与高分辨率遥感数据相结合, 建立了人口空间分布的城乡人口 - 面积统一模型, 并应用于宁洱地震; 韩贞辉等 (2013) 基于土地利用和 DEM (数字高程模型) 数据, 并结合实地调查, 建立了 1 km 人口和房屋格网数据, 以彝良地震为例估算地震直接经济损失。

<sup>\*</sup> 收稿日期: 2019 - 12 - 03.

基金项目: 国家重点研发计划项目 (2018YFC1504500) 和中国地震局地震应急青年重点任务 CEA\_EDEM - 202018) 联合资助。

夜间灯光数据也与人口分布密切相关,是研究人口空间化较理想的数据源(卓莉等,2005)。新一代 NPP/VIIRS (National Polar-orbiting Partnership/Visible Infrared Imaging Radiometer Suite) 夜间灯光数据的出现弥补了 DMSP/OLS (Defense Meteorological Satellite Program/Operational Line Scan System) 夜间灯光数据在空间分辨率和灯光过饱和方面的缺点,可有效提高人口模拟精度(胡云锋等,2018)。土地利用和地表覆盖数据中包含了居民地、城镇用地、道路等与人类活动密切相关的信息,能有效反映人口的空间分布情况,是提取人口空间分布范围的可靠数据源(田永中等,2004;韩贞辉等,2013)。将土地利用数据与夜间灯光数据相结合,可以在获取人口分布范围的同时,区分人口空间分布的差异性,被众多学者应用于人口空间化研究(胡云锋等,2018;黄杰等,2015;李爽,赵翠薇,2019)。目前基于土地利用和夜间灯光数据的人口空间化多以百米或千米为研究尺度,以县级人口统计数据为基础进行人口空间化模拟,研究成果空间精度较低,在地震应急工作中的适用性验证也较少。

本文以云南省大理白族自治州(以下简称大理州)为研究区,基于 FROM-GLC10 地表覆盖数据和 NPP/VIIRS 夜间灯光数据,考虑了研究区人口分布特点和地震应急工作需求,制作了研究区 50 m×50 m 人口格网数据,为研究区地震应急工作提供数据支持。

## 1 研究区概况

大理州位于云贵高原和横断山脉交界地带(24°41′~26°42′N, 98°52′~101°03′E),总面积 29 459 km<sup>2</sup>,最高海拔 4 295 m,最低海拔 730 m,地势西北高东南低,地貌复杂多样,湖盆广布(图 1)。据《云南统计年鉴 2018》(云南省统计局,2018)统计,大理州 2017 年总人口 358.4 万,辖大理市、祥云县、弥渡县、宾川县、永平县、云龙县、洱源县、鹤庆县、剑川县、漾濞县、巍山县和南涧县共 12 个县 110 个乡镇(镇)。通过 Google 遥感影像目视分析,研究区居民地主要分布于山间河谷、湖泊周围、山间盆地和山地缓坡等区域,其人口空间分布具有云南人口空间分布的典型特征。

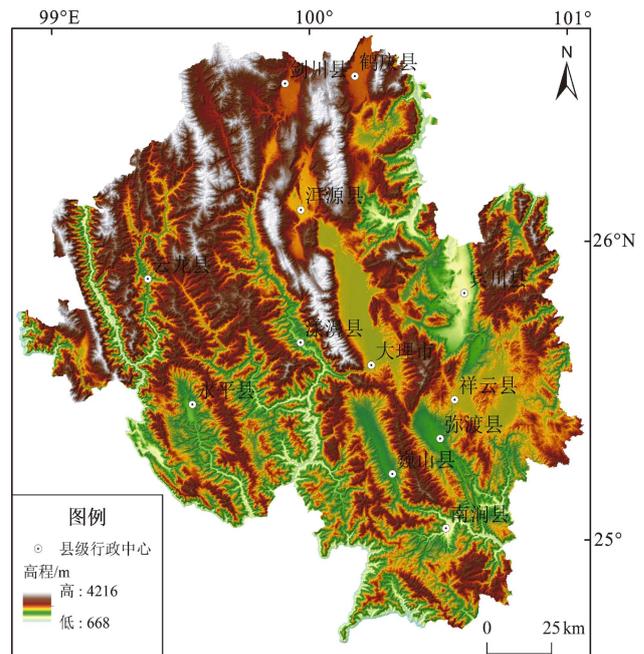


图 1 大理白族自治州地貌模拟图

Fig. 1 The geomorphological map of Dali Bai Autonomous Prefecture

大理州横跨滇中断块式抬升区和滇西北—滇西南掀斜式抬升区 2 个云南一级新构造运动分区,境内分布有维西—乔后断裂、程海—宾川断裂、兰坪—永平断裂和龙蟠—乔后断裂等一系列第四纪活动断裂,构造活动强烈,地震活动频度高(安晓文等,2018)。据统计,1900 年以来大理州共发生 5 级以上地震 30 余次。其中,1925 年在大理附近发生 7 级左右地震,造成 5 850 人死亡,7 950 人受伤(李永强,2009);2017 年 3 月 27 日大理州漾濞县发生 5.1 级地震,造成漾濞、洱源与云龙 3 个县共 6 个乡镇不同程度受灾。

鉴于大理州地形地貌、人口分布和地震活动特点的区域代表性,选择大理州作为人口空间化的研究区,可为大理州地震应急工作提供高分辨率人口空间分布数据,也可为云南全省人口空间化研究提供经验借鉴。

## 2 数据选取及处理

### 2.1 数据源

本文研究采用的数据主要包括人口统计数据、行政区划边界数据、地表覆盖数据和夜间灯光数据。

(1) 人口统计数据:大理州乡镇人口统计数

据来源于《云南省行政区划简册 2018》<sup>①</sup>，统计人口为常住人口，数据时效为 2017 年。

(2) 行政区划边界数据：本文使用的研究区行政区划边界矢量数据包含州、县和乡 3 级，数据来源于云南省地震局地震应急基础数据库，数据时效为 2017 年。

(3) 地表覆盖数据：2017 年全球 10 m 分辨率 FROM - GLC10 地表覆盖数据由清华大学宫鹏教授研究团队开发并面向全球公开，数据总体精度为 72.76%<sup>②</sup> (Gong *et al.*, 2019)。该数据包含了耕地、森林、草地、灌木、湿地、水域、苔原、不透水面、裸地和冰雪 10 种地表覆盖类型；其中，不透水面是指如屋顶、沥青、水泥道路等具有不透水性的地表面，与透水性的植被和土壤地表面相对 (Arnold, Gibbons, 1996)，其空间范围是常住人口的主要活动空间。

(4) 夜间灯光数据：2017 年 12 个月的 NPP/VIIRS 月度合成夜间灯光数据下载自美国国家海洋和大气管理局的环境信息中心网站<sup>③</sup>，所提供的月度合成产品分辨率为 500 m，数据剔除了云层影响，但保留了渔船、火灾和极光等短暂性光源，同时存在大量背景噪声。

## 2.2 数据预处理

本文将研究区矢量和栅格数据统一转换为 WGS1984 地理坐标和 Albers 等积圆锥投影。

通过对地表覆盖数据进行裁剪获取研究区地表覆盖数据，为减小不透水面中道路对人口分布的影响，并尽量保留小面积的居民地数据，将裁剪后的地表覆盖数据重采样为 50 m × 50 m。

通过对月度夜间灯光数据进行裁剪，获取研究区 2017 年 12 个月的月度夜间灯光数据，采用平均值法对其求平均值来消除偶然误差，结果作为研究区 2017 年年度灯光数据。本文结合前人研究方法 (李峰等, 2016)，采用阈值法消除夜间灯光数据的背景噪声和异常值。假设湖泊水面的夜间灯光值为零，在研究区水域分布区域随机选择若干个点的灯光值并求平均值作为最小阈值，选择大理市城区的最高夜间灯光值为最大阈值，将灯光值小于最小阈值的区域赋值为零，大于最大阈值的区域赋值为最大阈值。为方便统计，将处理后的年度灯光数据重采样为 50 m × 50 m。

## 3 人口空间化方法

### 3.1 建模依据

人口的空间分布具有一定的规律性，如人口主要分布在城镇和农村居民点，而在水域、沼泽、林地等区域几乎无人居住，借助土地利用或地表覆盖数据可以提取出人口分布的空间范围。随着城镇化的发展，城市内部人口分布的空间差异性越来越大，特别是高层住宅楼和办公楼的建设，使小面积的土地上可以聚集大量的人口。夜间稳定灯光主要为家庭照明灯光和路灯灯光等，灯光亮度与人的活动密切相关，夜间灯光亮度值的大小可以直观反映人口密度的大小。

通过与 Google 遥感影像对比，大理州高层住宅主要分布在县级行政中心等经济发展较好的少数乡 (镇)，其他乡 (镇) 则以独户独院式低层住宅为主。本文将存在高层住宅的乡划分为城镇地区，将其他乡划分为乡村地区，分别建立数学模型。由图 2a, b 可看出，城镇地区乡镇统计人口与灯光总亮度值的相关系数  $R^2$  为 0.929 8，与不透水面面积的相关系数  $R^2$  为 0.801 2，表明城镇地区人口数量与夜间灯光值和不透水面面积存在明显的线性相关性。由图 2c 可看出，乡村地区乡镇统计人口与不透水面面积的相关系数  $R^2$  为 0.760 1，表明乡村地区人口数量与不透水面面积存在线性相关性，相关系数较低的原因主要是各乡镇之间不透水面上的人口密度差异较大。

为优化乡村地区人口模拟效果，本文采用自然断点法将划分为乡村地区的乡镇按照不透水面上的人口密度 (式 1) 大小划分为 5 个分区，对各分区分别建立了数学模型。

$$\rho_i = \frac{P_i}{S_{Fi}} \quad (1)$$

式中： $\rho_i$  为第  $i$  个乡镇不透水面上的人口密度； $P_i$  为第  $i$  个乡镇的统计人口； $S_{Fi}$  为第  $i$  个乡镇不透水面总面积。

① 云南省民政厅，云南省行政区划与地名学会. 2018. 云南省行政区划简册 2018.

② 数据下载地址为 <http://data.ess.tsinghua.edu.cn>.

③ 数据下载地址为 [https://www.ngdc.noaa.gov/eog/viirs/download\\_dnd\\_composites.html](https://www.ngdc.noaa.gov/eog/viirs/download_dnd_composites.html).

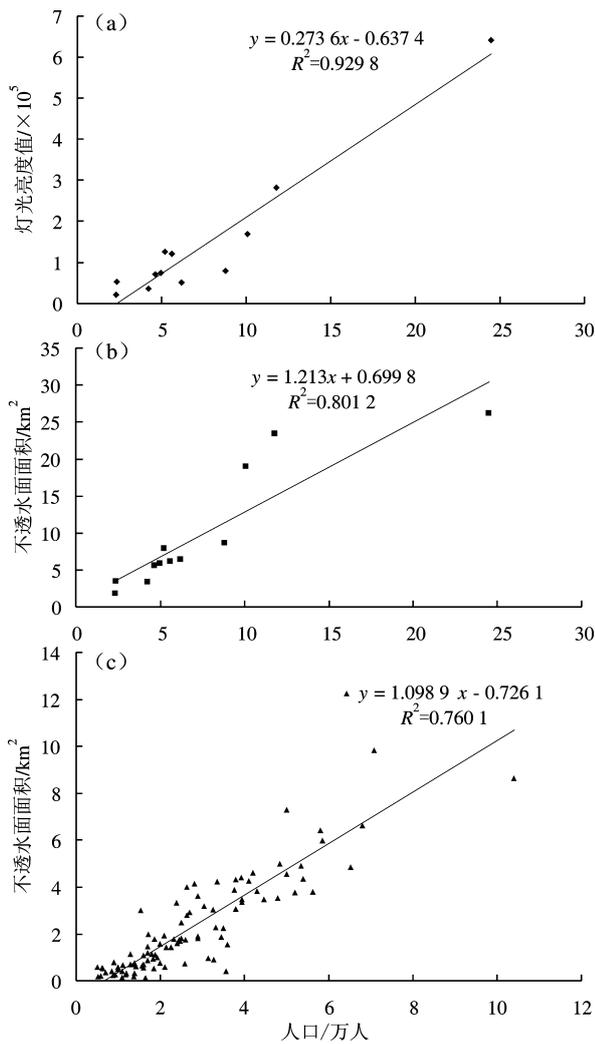


图2 城镇地区乡镇统计人口与灯光亮度值 (a), 不透水面面积 (b) 关系图, 及乡村地区乡镇统计人口与不透水面面积 (c) 关系

Fig. 2 The correlation between population and lighting intensity (a), between population and the area of impervious surface (b) in urban areas, and the correlation between population and the area of impervious surface in rural areas (c)

### 3.2 城镇建模

为区分城镇地区内部人口分布的空间差异性, 以地表覆盖数据中的不透水面作为常住人口活动的空间范围, 以夜间灯光数据值的大小区分人口分布的空间差异性, 建立乡镇统计人口与不透水面上灯光亮度值的回归模型:

$$P_i = a \times F_{D_{Ni}} + b \quad (2)$$

式中:  $P_i$  为第  $i$  个乡镇的统计人口;  $F_{D_{Ni}}$  为第  $i$  个

乡镇不透水面上的灯光总亮度值;  $a$  为回归系数;  $b$  为常数。

### 3.3 乡村建模

在乡村地区, 居民住宅以独户独院式为主, 假设人口在不透水面范围内呈均匀分布, 建立乡镇统计人口与不透水面面积的回归模型:

$$P_i = a \times S_{Fi} + b \quad (3)$$

式中:  $P_i$  为第  $i$  个乡镇的统计人口;  $S_{Fi}$  为第  $i$  个乡镇不透水面总面积;  $a$  为回归系数;  $b$  为常数。

## 4 人口空间化结果及精度评价

### 4.1 精度评价方法

为检验模拟人口数据的精度, 本文选取皮尔逊相关系数 ( $R$ )、相对误差 (Relative Error,  $RE$ ) 和平均相对误差 (Mean Relative Error,  $MRE$ ) 对模拟结果进行精度评价:

$$R = \frac{\sum_{i=1}^n (P_i - \bar{P})(P_i^s - \bar{P}^s)}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (P_i - \bar{P})^2} \sqrt{\sum_{i=1}^n (P_i^s - \bar{P}^s)^2}} \quad (4)$$

$$RE_i = \frac{P_i^s - P_i}{P_i} \times 100\% \quad (5)$$

$$MRE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{|P_i^s - P_i|}{P_i} \times 100\% \quad (6)$$

式中:  $P_i$  为第  $i$  个乡镇的统计人口数;  $P_i^s$  为第  $i$  个乡镇的模拟人口数;  $\bar{P}$  为统计人口平均值;  $\bar{P}^s$  为模拟人口平均值;  $n$  为乡镇个数。

### 4.2 人口空间化结果

本文使用 Arcgis10.2 软件建立了大理州 50 m  $\times$  50 m 的格网数据, 为每个网格赋值地表覆盖类型、所属乡镇和灯光亮度值, 统计了各乡镇不透水面上的灯光总亮度值和不透水面面积。基于上述模型使用 SPSS 软件对各分区的乡镇进行回归分析, 得到各分区模型参数 (表 1), 得到的 6 个模型的相关系数  $R^2$  均在 0.8 以上, 表明各模型的可靠度较高。

使用表 1 中的模型参数为每个网格赋值人口数据并统计了各乡镇模拟人口数, 使用相关系数、相对误差、平均相对误差对模拟人口精度进行检验。

表1 人口空间化模型参数统计

Tab. 1 Statistics of parameters of population spatial discretization model

序号	分区	模型	相关系数 $R^2$
1	城镇	$P_i = 0.631F_{DVi} + 37\,978.94$	0.933
2	乡村	$P_i = 14.306S_{Fi} + 7\,915.386$	0.852
3	乡村	$P_i = 1.058S_{Fi} + 35.212$	0.964
4	乡村	$P_i = 32.125S_{Fi} + 4\,519.444$	0.959
5	乡村	$P_i = 1.038S_{Fi} + 623.247$	0.919
6	乡村	$P_i = 168.362S_{Fi} + 5\,177.352$	0.835

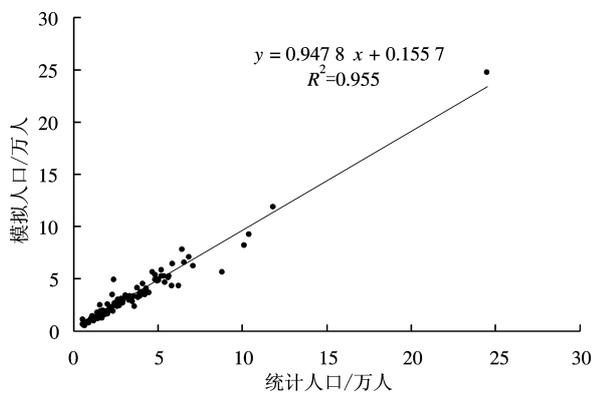


图3 统计人口与模拟人口关系

Fig. 3 The correlation between statistical population and simulated population

本文模拟得到的大理州人口为 360.66 万人，与实际统计人口 358.4 万人较为接近，乡镇模拟人口与实际统计人口的相关系数  $R^2$  为 0.955 (图 3)，平均相对误差为 14.306%，82% 的乡镇相对误差在  $\pm 20\%$  以内，表明所得到的人口模拟数据精度较高。

### 4.3 人口空间分布图

为使各乡镇模拟人口数与实际统计人口数保持一致，建立了修正公式 (7) 对各个网格的模拟人口数进行修正，使用修正后的格网数据制作了大理州人口空间分布图 (图 4)：

$$P_{ij}^r = \frac{P_{ij}^s}{P_i^s} \times P_i \quad (7)$$

式中： $P_{ij}^r$  为第  $i$  个乡镇第  $j$  个网格最终人口数； $P_i$  为第  $i$  个乡镇的统计人口数； $P_{ij}^s$  为第  $i$  个乡镇第  $j$  个网格的初始模拟人口数； $P_i^s$  为第  $i$  个乡镇的初始模拟人口数。

对比图 4a 和图 1 可以看出，模拟的大理州人口主要分布在山间河谷、洱海周围、山间盆地等区域，城镇地区人口分布集中，乡村地区人口分布分散，城区人口密度由市中心向郊区递减，与大理州实际人口空间分布情况较一致。大理市内人口高密度区主要分布在西洱河两侧，河流和公

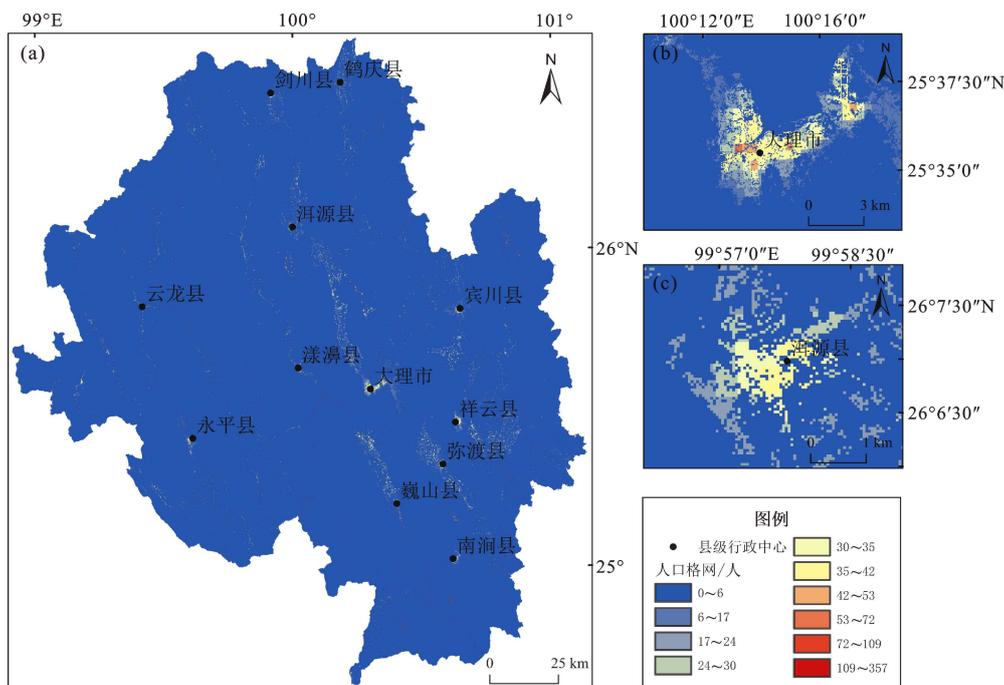


图4 大理州 (a)、大理市 (b) 和洱源县 (c) 人口空间分布模拟图

Fig. 4 Spatial distribution of population in Dali prefecture (a), Dali city (b) and Eryuan county (c)

园内没有人口分布 (图 4b); 洱源县城区人口密度大, 周围村庄人口密度小 (图 4c)。模拟结果可以有效区分人口空间分布的差异性。

### 5 成果应用分析

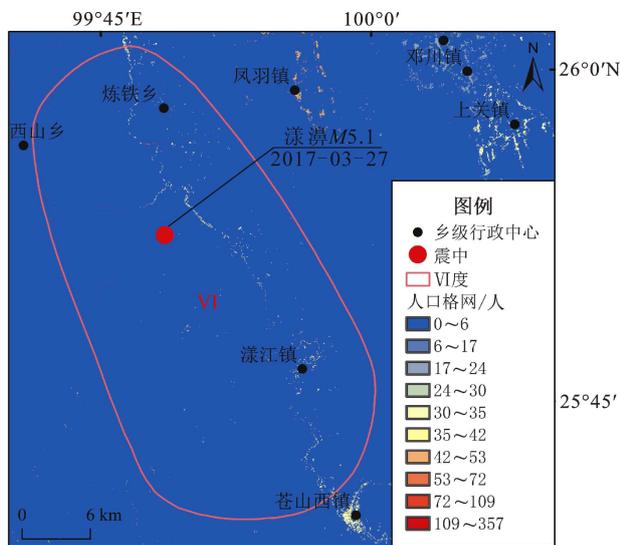
以 2017 年 3 月 27 日漾濞 5.1 级地震和 2016 年 5 月 18 日云龙 5.0 级地震为例, 将 2 次地震的烈度图与本文研究产出的大理州 50 m × 50 m 人口分布格网数据叠加 (图 5), 统计了漾濞地震和云龙地震 VI 度烈度区的模拟人口数据 (表 2)。

表 2 漾濞地震和云龙地震灾区人口统计

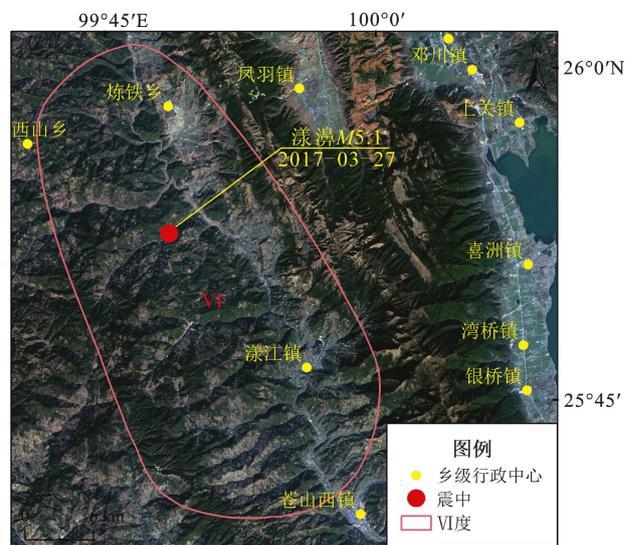
Tab. 2 Population statistics in earthquake disaster regions of Yangbi earthquake and Yunlong earthquake

地震	灾害损失评估统计人口数	本文产出格网统计人口数	相对误差 (%)
漾濞地震	47 211	46 421	-1.67
云龙地震	34 590	33 804	-2.27

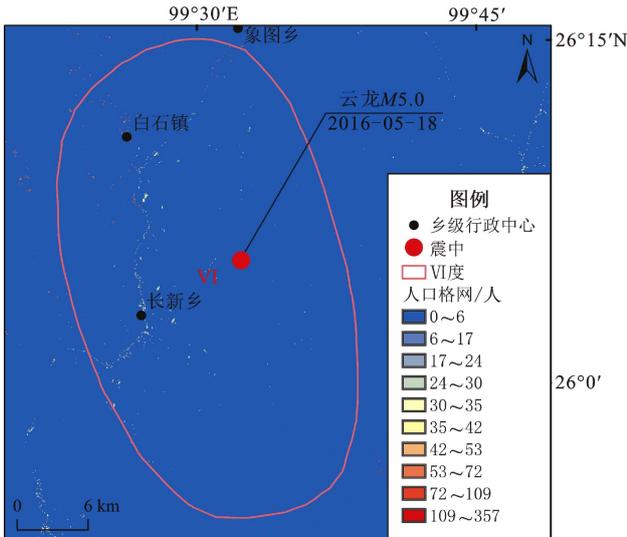
注: 灾害损失评估统计人口数据来源于云南省地震局编制的《2017 年 3 月 27 日云南漾濞 5.1 级地震灾害直接经济损失评估报告》和《2016 年 5 月 18 日云南云龙 5.0 级地震灾害直接经济损失评估报告》。



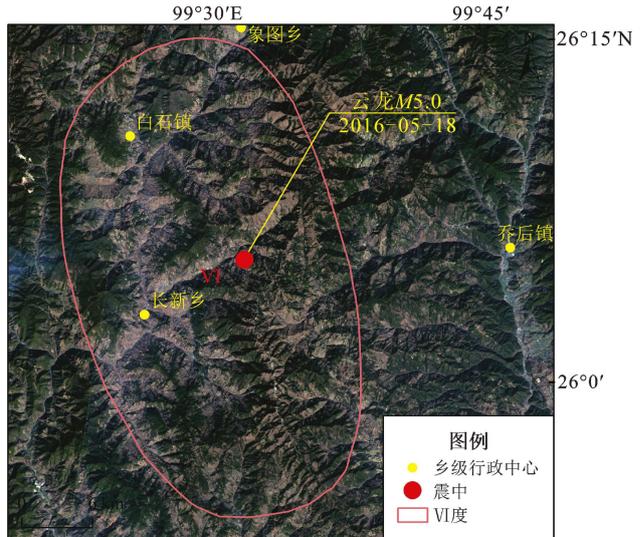
(a) 漾濞地震灾区人口分布图



(b) 漾濞地震灾区遥感影像图



(c) 云龙地震灾区人口分布图



(d) 云龙地震灾区遥感影像图

图 5 漾濞地震和云龙地震灾区人口分布和遥感影像图

Fig. 5 Distribution of population and remote sensing image in earthquake disaster region of Yangbi earthquake and Yunlong earthquake

由表2可以看出,大理州50 m × 50 m 人口格网数据统计的漾濞5.1级地震、云龙5.0级地震灾区人口与灾害损失评估统计结果的相对误差分别为-1.67%和-2.27%,数据精度可以满足地震应急工作需要。

通过图5可以看出,漾濞5.1级地震灾区人口主要分布在震中以东的山间河谷地区,沿NW向呈线状分布,其他区域人口零星分布;云龙5.0级地震灾区人口主要分布在震中以西的山间河谷地区,沿NS向呈线状分布,其他区域人口零星分布。人口空间分布模拟结果可以直观反映出地震灾区的人口空间分布状况,可作为地震应急工作中的辅助方法。

## 6 结论

人口空间化可以有效提高地震灾区受灾人口估算精度、优化灾区人口空间分布可视化表达效果。本文以大理州为研究区,结合地表覆盖数据和夜间灯光数据,以乡镇统计人口为基础进行了人口空间化方法研究,得出的主要结论如下:

(1) 使用本文研究方法得到的漾濞5.1级地震和云龙5.0级地震灾区人口估算数据与实际人口统计数据较接近,人口空间分布模拟结果可以直观反映地震灾区人口空间分布情况,研究成果可以满足地震应急工作需要。

(2) 在基于地表覆盖数据和夜间灯光数据的人口空间化中,人口空间分布范围的提取精度取决于地表覆盖数据的精度。本文采用了10 m分辨率的FROM-GLC10地表覆盖数据,该数据空间分辨率高,地表覆盖类型中的不透水面包含了大量居民地信息,是高精度人口空间化研究的良好数据源。

(3) 在人口空间化研究中引入NPP/VIIRS夜间灯光数据可以有效区分人口分布的空间差异性,但该数据在人口数量少、居住地分散、经济发展水平较低的山区农村等地对人口的区分能力不足。本文仅在经济发展水平较高的城镇地区使用该数据对人口分布的空间差异性进行区分,在一定程度上避免了NPP/VIIRS夜间灯光数据的不足。

(4) 本文采用的数据时效均为2017年,研究成果仅在短时间内适用,在后续研究中应考虑城

市扩张和人口自然增长等因素的影响,可以有效延长数据服务年限。

## 参考文献:

- 安晓文,常祖峰,陈宇军,等.2018.云南第四纪活动断裂[M].北京:地震出版社.
- 柏中强,王卷乐,杨飞.2013.人口数据空间化研究综述[J].地理科学进展,32(11):1692-1702.
- 陈振拓,李志强,丁文秀,等.2012.面向防震减灾的人口数据空间化研究——以2007年宁洱地震灾区为例[J].震灾防御技术,7(3):273-284.
- 冯健,周一星.2003.近20年来北京都市区人口增长与分布[J].地理学报,58(6):903-916.
- 韩贞辉,李志强,陈振拓,等.2013.人口、房屋数据空间化及其在震灾快速评估中的应用——以彝良地震为例[J].地震地质,35(4):894-906.
- 胡云锋,王倩倩,刘越,等.2011.国家尺度社会经济数据格网化原理和方法[J].地球信息科学学报,13(5):573-578.
- 胡云锋,赵冠华,张千力.2018.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,20(1):68-78.
- 皇甫岗,石绍先,苏有锦.2000.20世纪云南地震活动研究[J].地震研究,23(1):1-9.
- 黄杰,闫庆武,刘永伟.2015.基于DMSP/OLS与土地利用的江苏省人口数据空间化研究[J].长江流域资源与环境,24(5):735-741.
- 李峰,卫爱霞,米晓楠,等.2016.基于NPP-VIIRS夜间灯光数据的河北省GDP空间化方法[J].信阳师范学院学报(自然科学版),29(1):152-156.
- 李爽,赵翠薇.2019.基于土地利用和DMSP/OLS夜间灯光数据的河南省人口空间化研究[J].湖南师范大学自然科学学报,42(2):9-15.
- 李永强.2009.云南人员震亡研究[D].合肥:中国科学技术大学.
- 廖顺宝,孙九林.2003.基于GIS的青藏高原人口统计数据空间化[J].地理学报,58(1):25-33.
- 吕安民,李成名,林宗坚,等.2002.人口统计数据的空间分布化研究[J].武汉大学学报(信息科学版),27(3):301-305.
- 聂高众,安基文,邓砚.2012.地震应急灾情服务进展[J].地震地质,34(4):782-791.
- 田永中,陈述彭,岳天祥,等.2004.基于土地利用的中国人口密度模拟[J].地理学报,59(2):283-292.
- 闫庆武,卞正富,张萍,等.2011.基于居民点密度的人口密度空间化[J].地理与地理信息科学,27(5):95-98.
- 卓莉,陈晋,史培军,等.2005.基于夜间灯光数据的中国人口密度模拟[J].地理学报,60(2):266-276.
- 云南省统计局.2018.云南统计年鉴2018[M].北京:中国统计出版社.
- Arnold C L, Gibbons C J. 1996. Impervious surface coverage; The emergence of a key environmental indicator[J]. Journal of the American Planning Association, 62(2):243-258.
- Clark C. 1951. Urban population densities[J]. Journal of the Royal Statis-

- tical Society Series A (General), 114(4):490–496.
- Gong P, Liu H, Zhang M N, *et al.* 2019. Stable classification with limited sample; transferring a 30-m resolution sample set collected in 2015 to mapping 10-m resolution global land cover in 2017 [J]. Science Bulletin, 64(6):370–373.
- Yue T X, Wang Y A, Chen S P, *et al.* 2003. Numerical simulation of population distribution in China [J]. Population and Environment, 25(2):141–163.

## Study on Spatialization of Demographic Data for Earthquake Emergency: A Case Study in Dali Bai Autonomous Prefecture of Yunnan Province

JIA Zhaoliang<sup>1</sup>, ZHENG Chuan<sup>1</sup>, LI Yuanxin<sup>2</sup>, XU Ruijie<sup>1</sup>, WU Yanmei<sup>1</sup>, MAO Zhenjiang<sup>1</sup>

(1. Yunnan Earthquake Agency, Kunming 650224, Yunnan, China)

(2. Yunnan Normal University, Kunming 650500, Yunnan, China)

### Abstract

In order to improve the accuracy of population estimation and the visual effects of population spatial distribution in earthquake disaster region, the method of population spatialization of Dali prefecture is studied based on the FROM – GLC10 land cover data and the NPP/VIIRS night-time light data and the demographic data of towns. And the grid data of population of 50 m × 50 m in Dali prefecture is made. The correlation coefficient, relative error and average relative error are used to test the simulated results. And the application analysis of the simulated results are made by Yangbi  $M_s5.1$  earthquake and Yunlong  $M_s5.0$  earthquake. The results show that the spatial distribution of population can be effectively extracted and the differences of spatial distribution of population can be distinguished by the land cover data and night-time light data. The correlation coefficient  $R^2$  between simulated population and actual population is 0.955, and the average relative error between simulated population and actual population is 14.306%, and the relative error of 82% villages is within  $\pm 20\%$ . It shows that the data of simulated population has high precision. The relative errors between the data of simulated population and the data of actual population of the two earthquakes are  $-1.67\%$  and  $-2.27\%$ , respectively, and the simulation results of population spatial distribution can directly reflect the population distribution of the disaster area. The research results can provide data support for earthquake emergency.

**Keywords:** land cover; night-time light; spatialization of population; earthquake emergency