

基于天地图高精度建筑物的 四川宝兴县人口估算^{*}

赵真, 郭红梅^{*}, 张莹, 申源

(四川省地震局, 四川 成都 610041)

摘要: 为了提高震前灾害风险评估和震后灾情快速评估工作中人口空间分布估计的准确性, 利用2016年四川宝兴县乡镇人口数据及天地图中的建筑物数据, 运用居住建筑人口密度方法得到四川宝兴县各乡镇居住建筑物尺度的人口分布矢量数据, 并利用实地调研获取的单体建筑物实际人口进行精度验证。实验结果表明: 以居住建筑物体积作为人口空间分布指示因子建模, 得到的拟合精度为0.902 7, 人口平均相对误差为15.23%, 结果具有可靠性, 可为震前灾害风险评估和震后灾情快速评估提供更为可靠的数据支撑。

关键词: 天地图; 居住建筑; 人口估算; 四川宝兴县

中图分类号: P315.94

文献标识码: A

文章编号: 1000-0666(2019)02-0204-06

0 引言

开展地震灾害风险评估工作, 有针对性地排除地震灾害风险隐患, 可提高震害防御能力; 震后快速评估地震灾害损失, 快速给出救援目标分布, 提高地震应急救援效率和能力, 是降低地震灾害损失的有效措施。这两项工作的开展离不开地震应急基础数据库的支持(聂高众等, 2002)。人作为地震灾害的主要受灾者, 是灾害风险管理、评估以及应急救援的主要目标, 准确的人口空间分布信息数据是开展救援工作的重要依据。因此人口空间分布数据精度决定着震前灾害风险评估、震后灾情快速评估结果的准确性以及现场重点救援的目标指向(聂高众等, 2012; 曹彦波等, 2014)。

目前, 地震应急基础数据库中的人口数据主要有两类: 一类是以行政区划为统计单元的人口, 利用平均人口密度反映人口空间分布的总体情况, 但由于人口空间分布的非均衡性致使该方法的精度较低; 另一类是人口公里格网数据, 主要是利用多源数据融合的方法生成公里格网人口, 该方法一定程

度上能反映人口空间分布特点, 但难以反映精细尺度上的人口空间分布情况。为反映精细尺度的人口空间分布, 已有学者开始转向基于建筑物尺度的人口空间分布研究。Galeond等(2008)通过目视解译的方法提取了QuickBird影像中的建筑物信息, 与人口数据结合成功模拟了菲律宾大学的人口分布; Wu等(2008)提出了基于建筑物体积的人口估算模型; 郭洪旭等(2013)对广州市天河区的遥感影像进行解译, 提取建筑物数据并对其进行分类, 再结合土地利用现状图进行修订, 参照土地利用密度法进行人口估算; 郭山山等(2016)利用夜间灯光数据(DMSP/OLS)、建筑物数据、行政区划数据和人口数据, 运用加权计算的方法得到了浙江省250 m × 250 m的格网人口数据。基于建筑物尺度的人口空间分布模型精度依赖于建筑物的精度, 但目前建筑物数据主要来源于遥感影像解译, 时效性低, 且遥感数据的获取受天气、重访周期等的限制。

针对上述问题, 本文采用测绘地理信息局发布的天地图中的建筑物数据, 通过现场实地采集的方式获取单体建筑物的属性信息, 构建建筑物用途与人口数量之间的相关关系, 模拟建筑物尺度上的人口空间分布。

^{*} 收稿日期: 2018-12-05.

基金项目: 国家重点研发计划项目(2017YFC1500905)和地震科技专项项目(LY1906)联合资助.

♣ 通讯作者: 郭红梅(1984-), 高级工程师, 主要从事地震应急处置和地震灾情信息处理. E-mail: 115453242@qq.com.

1 研究区概况及数据预处理

1.1 研究区概况

宝兴县位于四川省西部，东邻芦山，南毗天全，西连康定，北接小金，东北与汶川交界，距成都 200 km，地处四川盆地西部边缘，是成都平原与川西高原的过渡带。全县境内褶皱密集，断裂发育，形成以高山为主的地形地貌，地势呈从西北向东南逐渐降低的态势，主要分布有金汤弧形断裂系、NE 向龙门山断裂带，且县内存在较多的地质灾害隐患点，易发生滑坡、泥石流等次生灾害，造成交通堵塞。宝兴县境内有 3 镇、5 乡和 1 民族乡，截至 2016 年底，全县共有 21 508 户 58 732 人，人口密度为 19 人/km²，其中非农业人口 16 781 人，农业人口 41 951 人，汉族人口占 81.83%，少数民族人口占 18.17%，而少数民族人口中又以藏族人口为主，占 18% 左右。各乡镇人口分布如图 1 所示。

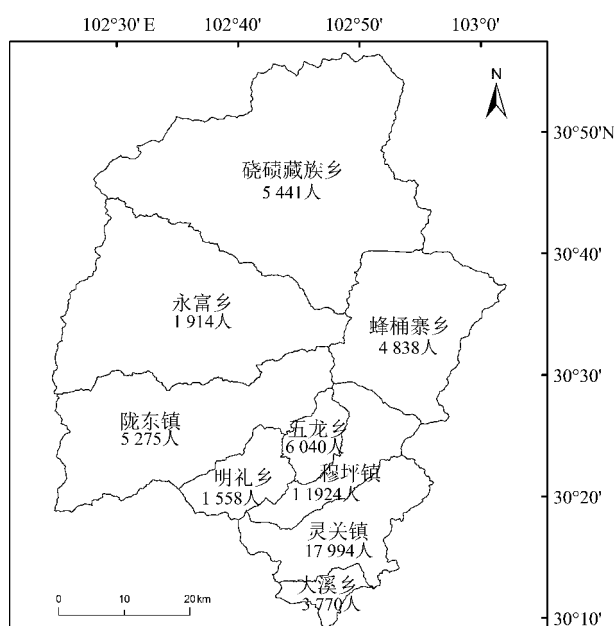


图 1 四川宝兴县各乡镇人口分布图

Fig. 1 Population distribution map of towns in Baoxing County in Sichuan Province

1.2 数据源与数据预处理

地理基础数据是进行空间分析和数据建模的前提，也是绘制专题图的基础，本文通过分析研究区内人口数量与建筑物用途、体积等建筑物属性之间的相关关系，模拟宝兴县各乡镇人口空间

分布格局。因此所需的基础地理数据主要有：人口统计数据、行政区划数据以及建筑物数据。

(1) 人口统计数据：人口统计数据源于《宝兴县统计年鉴 2017》（宝兴县统计局，2017），以表格的形式进行存储，其属性字段包含行政区划代码、行政区划名称以及常住人口数量。

(2) 行政区划数据：行政区划数据来源于 2017 年四川省地震局应急基础数据库，主要分为地市级、县（区）级和乡镇级数据。这 3 类数据包含了四川省 21 个地级市、183 个县（区）、4 634 个乡镇、街道办事处，属性数据表中包含行政区划代码、行政区划名称、行政区划面积等。通过 ArcGIS 软件中的裁剪工具获取宝兴县的行政区划数据，包含 8 个乡镇，其数据格式为 shapefile 文件，地理坐标系为 GCS_Xian_1980。利用行政区划代码将空间数据和属性数据关联在一起。

(3) 建筑物数据：建筑物数据来源于四川省测绘地理信息局在天地图网站上发布的建筑物外轮廓矢量数据。该数据在农村地区基本上是 1:50 000 数字线划地图，少数能达到 1:10 000。故在某些地区可能存在一个村庄综合为一个单体多边形的问题，这时需将这个单体多边形进行删除，再调用天地图的影像服务作为底图，采用目视解译的方式进行补充。利用基于微信公众号平台开发的建筑物信息采集系统采集建筑物的建筑年代、建筑用途、建筑物层数等属性信息，以专题图的形式展示建筑物用途，如图 2 所示。根据建筑物用途属性剔除空地、水塘、公路等建筑物。

2 研究方法

2.1 基于居住建筑物的人口密度模型

由基于土地利用的人口密度模型（江东等，2002；杨小唤等，2002，2006）可知，人口空间分布数量与土地利用类型具有线性关系，其中居住用地是土地利用类型中最直接反映人口分布的指示因子（杜国明，2008；刘焕金，2012）。鉴于人口空间分布是动态流动的，其他土地利用类型如耕地、森林、草地等在某一时间段也可能存在一定的人口，但相对于居住用地的人口数量可忽略不计，因此，在探索静态人口空间分布时认为其他土地利用类型无人分布，即人口只分布在居住建筑上。

物商业用途和居住用途的层数，根据研究区的实际情况，一般是一楼为商业用途。因此，本文在计算时，均认为商业用途楼层数为 1，其余楼层均为居住用途，再利用式（1）计算得到居住建筑物体积。

完成单体建筑物居住建筑物体积计算后，利用 ArcGIS10.2 软件分区统计各乡镇总居住建筑物体积，并对各乡镇总居住建筑物体积和总人口数量进行归一化处理得到图 3。

从图 3 可以看出，两条折线具有较高的相似性，

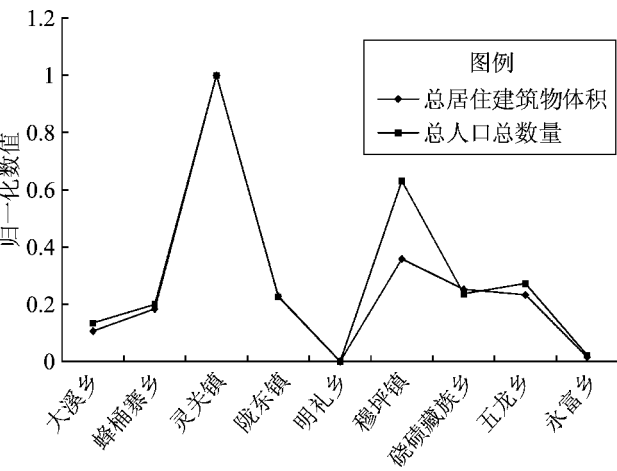


图 3 总居住建筑物体积和总人口数量归一化分布图
Fig. 3 Normalized distribution of total residential building volume and total population

3.2 误差分析与精度检验

根据本文模型，利用各乡镇总居住建筑物体积和相应的居住建筑的人口空间系数计算得到各乡镇人口估计值，利用式（3）计算各乡镇的人口相对误差（表 1）。产生误差的主要原因在于本文采用的是普通线性回归模型对参数进行拟合，得到的结果实际是一种均值估计，只能尽可能多的符合大部分地区，但对于人口数量明显较多或较少的地区易造成较大误差。

验证模型的可靠性，参照 2.2 节的模型检验方法。利用单体建筑物居住体积和相应的居住建筑物的人口空间系数计算得到单体建筑物的人口估计值。考虑到人口均为非负整数，对估计人口进行取整，最终得到宝兴县各乡镇居住建筑物尺度的人口空间分布，如图 5 所示。根据建筑物信息采集系统实地抽样采集的 1 113 栋单体建筑物真实居住人口数量，与估计人口进行对比分析，计算人

表明总居住建筑物体积和总人口数量在一定程度上是成正比的。绘制总居住建筑物体积和总人口数之间的散点图（图 4），可以发现总居住建筑物体积与总人口数量之间呈线性关系，故以各乡镇的人口统计数据为因变量，各乡镇总居住建筑物体积为自变量，利用式（2）构建回归模型为：

$$y = 88.612x \tag{5}$$

式中：y 代表各乡镇总人口数量；x 代表各乡镇总居住建筑物体积。

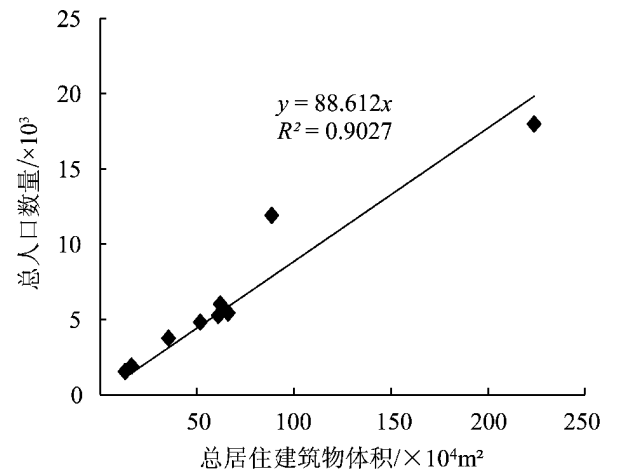


图 4 总居住建筑物体积与总人口数量之间的散点图
Fig. 4 Scatter plot between the total residential building volume and the total population

表 1 宝兴县各乡镇人口相对误差统计表
Tab. 1 Statistic of relative errors of population of villages and towns in Baoxing Country

乡镇名	误差
大溪乡	17.05%
蜂桶寨乡	5.43%
灵关镇	10.18%
陇东镇	2.36%
明礼乡	26.32%
穆坪镇	34.25%
硃碛藏族乡	7.55%
五龙乡	9.09%
永富乡	24.85%
平均误差	15.23%

口相对误差，并对其进行分级统计得到表 2。从表中可以发现较准确估计的建筑物有 452 栋，占整体

的 40.64%，严重高估或低估的比例均不超过 7%，说明本文模型整体具有较高的精度。同时，一般低估和一般高估、严重低估与严重高估的整体比例相当。

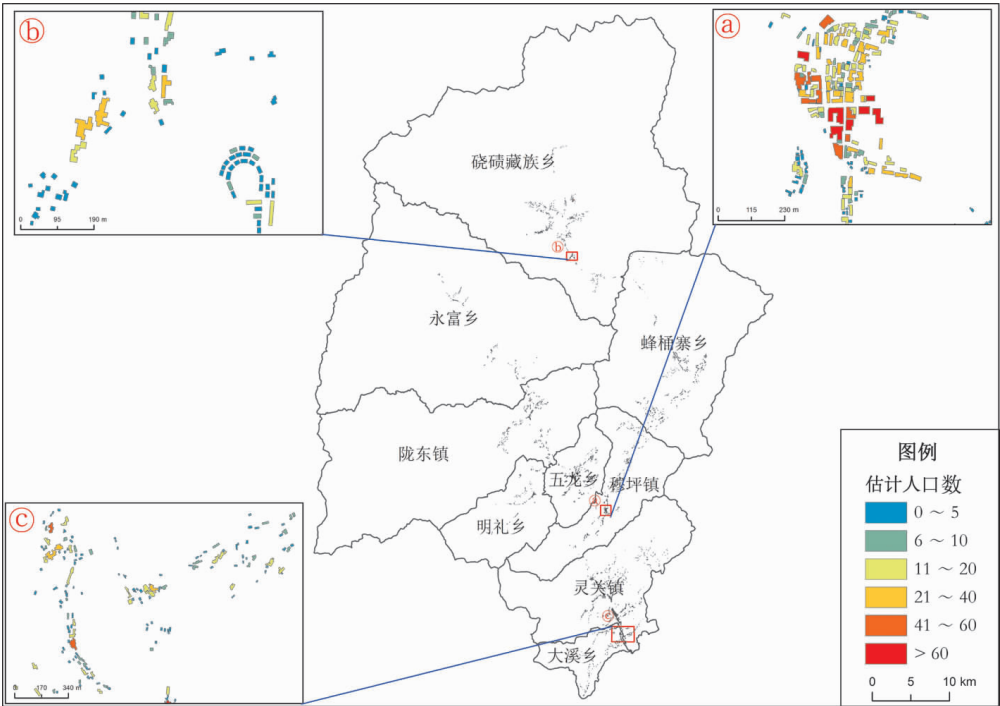


图 5 宝兴县各乡镇居住建筑物尺度人口空间分布图

Fig. 5 Spatial distribution map of population at the scale of residential buildings of towns in Baoxing County

表 2 宝兴县建筑物的相对误差分级统计
Tab. 2 Relative error classification statistics
of buildings in Baoxing County

分级	数目	比例
严重低估 (- 100% , - 50%)	65	5.84%
一般低估 [- 50% , - 20%)	270	24.26%
较准确估计 [- 20% , 20%]	452	40.64%
一般高估 (20% , 50%]	252	22.64%
严重高估 (50% , 100%)	74	6.65%

分析误差偏高的建筑物数据发现：一是建筑物数据自身的误差，主要表现在某些建筑物不是全部用于居住，如涵盖偏房、厂带房等，会造成估计人口偏高；二是明显低估或高估地区的人口可能受其他因素影响，如地形、气候、经济等，而本文未对其加以考虑，简化了模型。

4 结论

本文利用以宝兴县乡镇行政区划为统计单元

的人口数据和天地图中建筑物分布数据，运用居住建筑的人口密度方法获取居住建筑的人口空间系数，从而得到单体建筑物的人口空间分布图，通过统计分析得到各乡镇估算人口，并与真实人口统计值对比进行精度检验。结果表明：模型具有可行性，拟合精度 R^2 为 0.902 7，人口平均相对误差为 15.23%。同时在全县范围内随机抽样调查单体建筑物的真实人口，将其与估算人口进行对比分析，实验结果表明较准确估计占 40.64%，一般低估或高估约占 22%，说明该模型具有较高的可靠性。

本文在研究过程中虽取得一定的研究成果，但仍有不足，如在建模时未考虑居住建筑物的实际居住比例，导致求得的居住体积有偏差，影响模型的精度。在后续的研究中，将重点区分居住建筑物中实际居住比例的，以期进一步提高模型的精度。目前探讨的人口分布是静态人口，未考虑人口空间分布的时间属性，未来可依据人类日常活动的空间位移规律构建人口数量与建筑物用途之间的关系，模拟人口的时空分布。

参考文献：

- 宝兴县统计局. 2017. 宝兴年鉴(2017)[M]. 北京:群言出版社.
- 曹彦波,李永强,李敏,等. 2014. 基于多源数据的云南人口空间分布模拟研究[J]. 中国地震,30(1):118-131.
- 杜国明. 2008. 人口数据空间化方法与实践[M]. 北京:中国农业出版社.
- 郭洪旭,黄莹,赵黛青. 2013. 城市居住人口空间分布的模拟研究——以广州市天河区为例[J]. 热带地理,33(1):81-87.
- 郭山山,龚俊,尹晶飞. 2016. 基于 DMSP/OLS 的人口分布网格精细化研究[J]. 地震研究,39(2):321-326.
- 黄耀欢,杨小唤,刘业森. 2007. 人口区划及其在人口空间化中的 GIS 分析应用——以山东省为例[J]. 地球信息科学学报,9(2):49-54.
- 江东,杨小唤,王乃斌,等. 2002. 基于 RS、GIS 的人口空间分布研究[J]. 地球科学进展,17(5):734-738.
- 刘焕金. 2012. 基于多源数据的太湖流域人口空间化研究[D]. 南京:南京农业大学.
- 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.
- 聂高众,陈建英,李志强,等. 2002. 地震应急基础数据库建设[J]. 地震,22(3):105-112.
- 杨小唤,江东,王乃斌,等. 2002. 人口数据空间化的处理方法[J]. 地理学报,57(增刊1):70-75.
- 杨小唤,刘业森,江东,等. 2006. 一种改进人口数据空间化的方法:农村居住地重分类[J]. 地理科学进展,25(3):62-69.
- Galeon F A. 2008. Estimation of Population in informal settlement communities using high resolution satellite image[J]. The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences,137(B4):112-114.
- Wu S S, Wang L, Qiu X M. 2008. Incorporating GIS Building Data and Census Housing Statistics for Sub-Block-Level Population Estimation [J]. Professional Geographer,60(1):121-135.

Population Estimation of Sichuan Baoxing County Based on High Precision Buildings in Tianditu

ZHAO Zhen, GUO Hongmei, ZHANG Ying, SHEN Yuan
(Sichuan Earthquake Agency, Chengdu 610041, Sichuan, China)

Abstract

In order to improve the accuracy of pre-earthquake disaster risk assessment and estimate the population spatial distribution in post-earthquake disaster rapid assessment, based on the population data of villages and towns surveyed in Sichuan Baoxing County in 2016 and the building data in Tianditu, we use the method of population density of residential buildings to obtain the vector data of population distribution at the scale of residential buildings in villages and towns of Baoxing County, and verify the accuracy of the actual population of individual building through field investigation. The experimental results show that taking the volume of residential buildings as the indicator of population spatial distribution, the fitting accuracy is 0.902 7, and the average relative error of population is 15.23%, which provides more reliable data support for pre-earthquake disaster risk assessment and post-earthquake disaster rapid assessment.

Keywords: Tianditu; residential buildings; population estimation; Sichuan Baoxing County