

余思汗, 雷启云, 王银, 刘超, 杨顺, 王静, 2020. 高精度静态人口空间分布研究——以银川市西夏区为例. 震灾防御技术, 15 (4): 757—766. doi: 10.11899/zfy20200410

高精度静态人口空间分布研究 ——以银川市西夏区为例¹

余思汗 雷启云 王银 刘超 杨顺 王静

(宁夏回族自治区地震局, 银川 750001)

摘要 地震发生后, 人口空间分布密度是决定救援力量部署的重要依据。然而, 高精度人口空间分布数据存在获取和更新困难的问题, 缺少有效的解决途径。以银川市西夏区为例, 基于高空间分辨率遥感影像, 通过建筑物解译与实地调查相结合的方式获取住宅建筑物信息, 建立人口与住宅建筑物之间的关系模型, 得到更客观真实的人口空间分布情况。研究表明, 以高空间分辨率遥感影像解译住宅建筑物作为人口空间分布指示因子建模, 得到的总体预测人口误差率为 3.56%, 人口平均相对误差率为 9.19%, 研究结果具有较高的可靠性, 为震前灾害风险评估和震后灾情快速评估提供可靠的人口空间分布数据。

关键词: 高空间分辨率遥感影像 银川市西夏区 建筑物 人口分布 评估

引言

地震对人民群众生命财产造成严重威胁, 目前, 地震预报未取得关键性技术突破, 震前防御与震后应急救援仍是突发破坏性地震采取的必要措施, 震后应急救援效率取决于地震灾害快速评估结果(陈文凯等, 2008), 地震灾害评估离不开地震应急基础数据库的支持(聂高众等, 2002)。随着社会与经济的快速发展, 对地震应急救援工作提出了更高要求, 因此, 掌握详细的人口空间分布数据十分必要。

人作为震害的主要承灾体, 是地震应急基础数据库的重要数据之一, 精确的人口空间分布数据不仅影响地震灾害评估结果, 还对震后现场救援的重点目标具有指导意义(聂高众等, 2012)。人口数据在地震应急基础数据库中主要通过行政区划单元统计和公里格网数据反映, 这两类数据虽在一定程度上能表达人口空间分布特点, 但在精细化空间分布方面有所欠缺。为使人口空间分布数据表达的更详尽, 国内外学者从多方面进行了研究, 如袁长丰等(2004)利用第五次人口普查数据、统计年鉴数据和数字化地图建立数据库, 将人口和空间地图要素进行匹配关联, 分析了人口空间分布密度, 从而得到人口空间分布数据; Galeon(2008)通过目视解译方法提

1 基金项目 宁夏自然科学基金项目(2020AAC03439); 中国地震局星火项目(XH19047); 宁夏地震局科技创新团队(CX2019-1)

[收稿日期] 2020-07-07

[作者简介] 余思汗, 男, 生于 1992 年。助理工程师。主要从事地震应急与 GIS 技术应用研究。E-mail: 251400967@qq.com

取了 QuickBird 影像中的建筑物信息, 结合人口数据, 模拟了菲律宾大学人口空间分布情况; 郭山山等 (2016) 采用浙江省已有乡镇级行政区域面属性数据、乡镇级建筑物数据和灯光数据, 利用加权计算方法, 得到了浙江省 250m×250m 网格人口分布数据; 赵真等 (2019) 利用 2016 年四川省宝兴县乡镇人口数据及天地图中建筑物数据, 应用居民建筑人口密度方法得到宝兴县各乡镇居民建筑物尺度的人口分布矢量数据。上述方法虽能了解人口空间分布情况, 但存在一定局限性, 如人口空间分布数据精度不够、高精度建筑物信息提取效率低、对数据源过于依赖等, 限制了上述方法的推广应用, 亟需研究能够提供精细化人口空间分布数据, 且不受数据源限制的方法。为此, 本文利用高空间分辨率影像, 通过目视解译方法提取建筑物信息, 结合实地核查, 确定住宅建筑物类型, 建立人口与住宅建筑物之间的关系模型, 从而反演人口空间分布数据。

1 研究区概况与数据预处理

1.1 研究区概况

研究区为宁夏回族自治区银川市西夏区, 西夏区位于银川平原西部、贺兰山东麓, 区内管辖 6 个街道、2 个镇, 总面积 987.2km², 至 2018 年底, 共有户籍人口 231078 人。研究区内地貌类型由西向东依次为贺兰山山地地貌、山前洪积扇地貌及平原地貌。研究区位于南北地震带北段, 区内发育 2 条近南北走向的活动断裂, 分别为贺兰山东麓断裂和芦花台隐伏断裂, 其中贺兰山东麓断裂为 1739 年平罗 8 级地震的发震构造 (雷启云等, 2015), 因此区内面临的潜在地震危险性较高。

1.2 遥感影像数据预处理

遥感影像数据为 2018 年 12 月 10 日获取的高分二号, 空间分辨率为 0.8m。考虑遥感影像和所利用的地形图匹配精度问题, 需对遥感影像进行预处理, 以 RTK (real-time kinematic) 实地测量的地面控制点为基准, 利用二次多项式和双线性内插法对遥感影像进行几何校正 (陈云浩等, 2006), 重新选取检查点, 将影像精度误差控制在 1 个像元内, 校正后的遥感影像和地形图中城市道路套合情况如图 1 所示。



图 1 校正后的遥感影像和城市道路套合情况图

Fig. 1 The registration situation map of image and urban road

2 住宅建筑物识别

2.1 建筑物信息提取

利用 ArcGIS10.6 软件对高空间分辨率遥感影像通过目视解译的方法进行建筑物信息提取,根据研究区建筑物类型特征及调查数据,可将建筑物分为以下类型:1—3 层低层建筑物、4—6 层多层建筑物、7 层及以上高层建筑物。对于城市或乡村纹理相同的同类相邻建筑群,可采集为 1 个图斑,如果被道路、河流等分割,需采集为多个图斑,在包含相同数量建筑物的情况下,应尽可能保持范围最小(王晓青等,2004)。对于积聚程度较低、自然散乱分布、被其他类型分割的建筑物,将其归类为独立建筑物(李皓等,2018),独立建筑物按其纹理边界采集。市区局部建筑物采集指标如图 2 所示。



图 2 市区局部建筑物采集指标图

Fig. 2 The collection index diagram of local buildings in urban area

2.2 住宅建筑物核查

住宅建筑物指人类居住和进行社会活动的房屋建筑,不能完全将目视解译提取的建筑物判断为住宅建筑物,需通过外业核查的方式,剔除体育场馆、废弃建筑区和工矿企业厂房,提高住宅建筑物识别精确度。为提高外业核查效率,采用内业标注疑问图斑的方式。根据外业核查结果对内业解译数据进行修正,完成拓扑处理后,最终获取住宅建筑物图斑 3426 个,其中低层建筑物图斑 2760 个,多层建筑物图斑 511 个,高层建筑物图斑 155 个,数据格式为 shapefile 文件,地理坐标系为 CGCS_2000,将住宅建筑物矢量数据入库。西夏区住宅建筑物分布图如图 3 所示。

3 研究内容

3.1 建立人口密度模型

人口空间分布具有动态流动性,根据土地利用类型的人口空间分布模型(江东等,2002)

进行分析, 由于本文仅考虑静态人口空间分布情况, 因此仅保留与人口分布最具相关性的居住用地(杜国明, 2008), 即仅使研究区内人口分布在住宅建筑物上。人口空间化处理流程如图 4 所示。

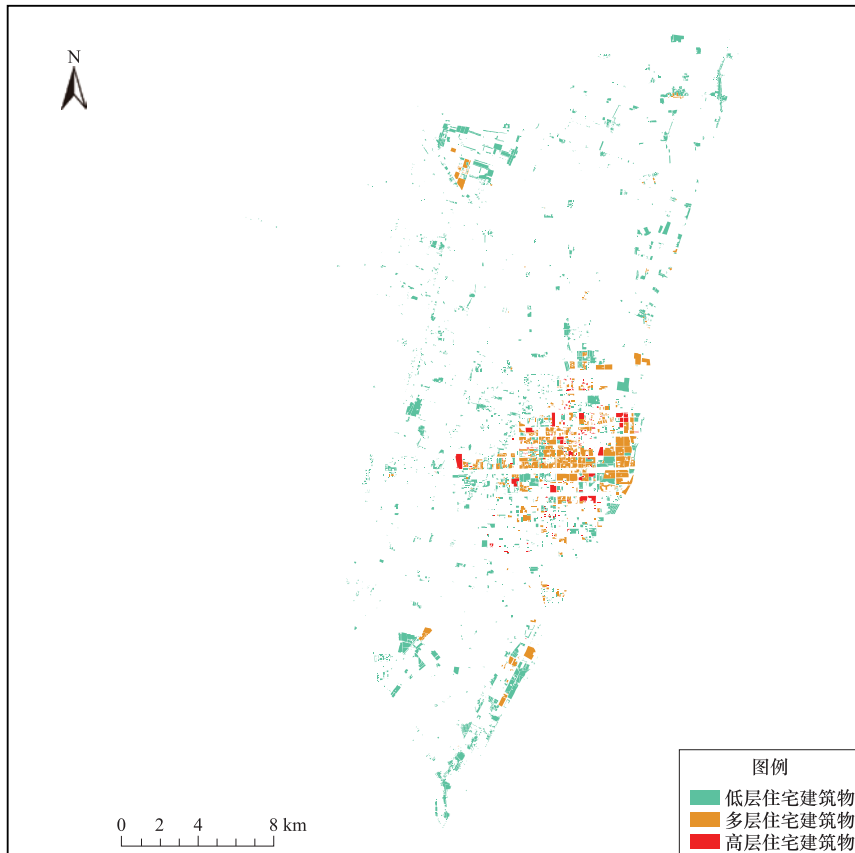


图 3 西夏区住宅建筑物分布图

Fig. 3 Distribution map of residential buildings in Xixia District

将同类住宅建筑物人口密度视为相等, 利用 ArcGIS10.6 软件中的裁剪功能, 将乡镇面与提取的住宅建筑物数据进行裁剪, 得到各乡镇(街道)区划内的各类住宅建筑物(图 5), 根据已知的乡镇户籍人口和各类住宅建筑物占地面积, 建立人口与住宅建筑物之间的关系模型, 其中人口总数可表示为:

$$y = A \sum_{i=1}^n X_{ai} + B \sum_{j=1}^m X_{bj} + C \sum_{s=1}^e X_{cs} \quad (1)$$

式中, y 为区域内人口总数; A 为低层建筑物容纳人口系数; n 为低层建筑物数量; X_{ai} 为第 i 个低层建筑物占地面积; B 为多层建筑物容纳人口系数; m 为多层建筑物数量; X_{bj} 为第 j 个多层建筑物占地面积; C 为高层建筑物容纳人口系数; e 为高层建筑物数量; X_{cs} 为第 s 个高层建筑物占地面积。

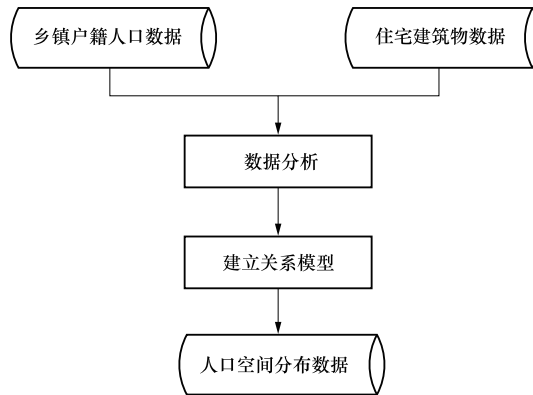


图 4 人口空间化处理流程图

Fig. 4 Flow chart of population spatialization

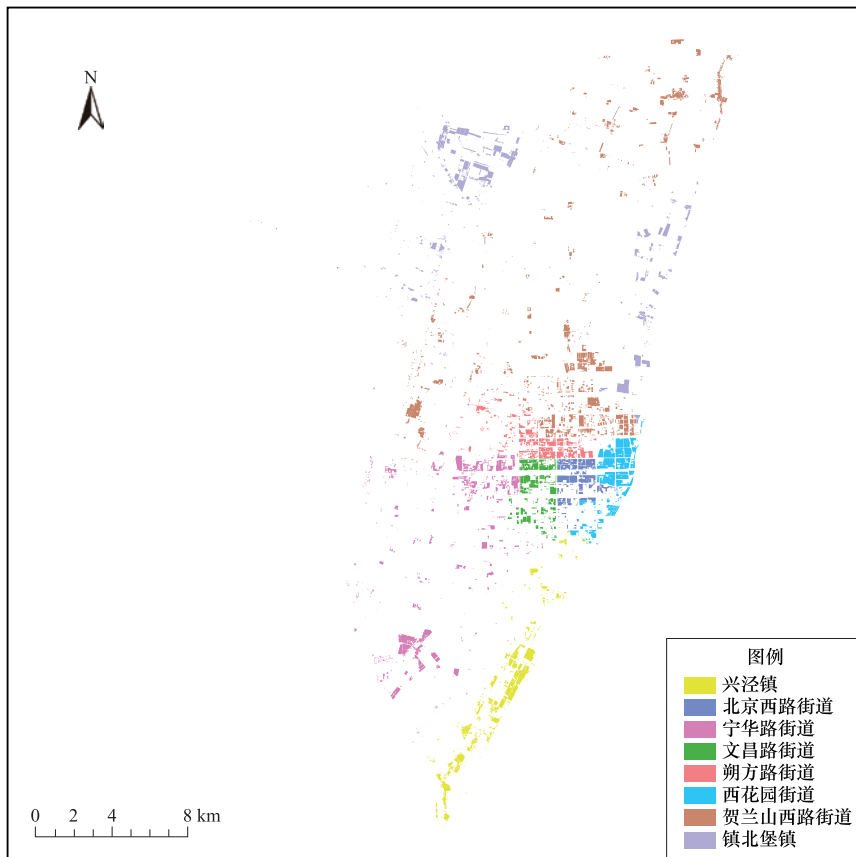


图 5 各乡镇住宅建筑物分布图

Fig. 5 The distribution map of residential buildings in each towns

3.2 模型分析

将各乡镇户籍人口与各类住宅建筑物面积进行拟合,得到相应系数。根据 ArcGIS10.6 软件统计的各乡镇区划内各类住宅建筑物总面积,利用 matlab 软件建立矩阵进行计算,得到低层建筑物容纳人口系数 A 为 1/492 人/m²,多层建筑物容纳人口系数 B 为 1/79 人/m²,高层建筑物容纳人口系数 C 为 1/37 人/m²。

3.3 人口空间分布预测

为得到人口在空间上的精细化分布,根据高空间分辨率遥感影像提取的住宅建筑物数据及本研究得到的人口空间模型系数,利用 ArcGIS10.6 软件字段计算器功能进行赋值运算,从而得到各住宅建筑物图斑人口预测值,将预测值取整后得到整个西夏区人口空间分布图(图 6)。

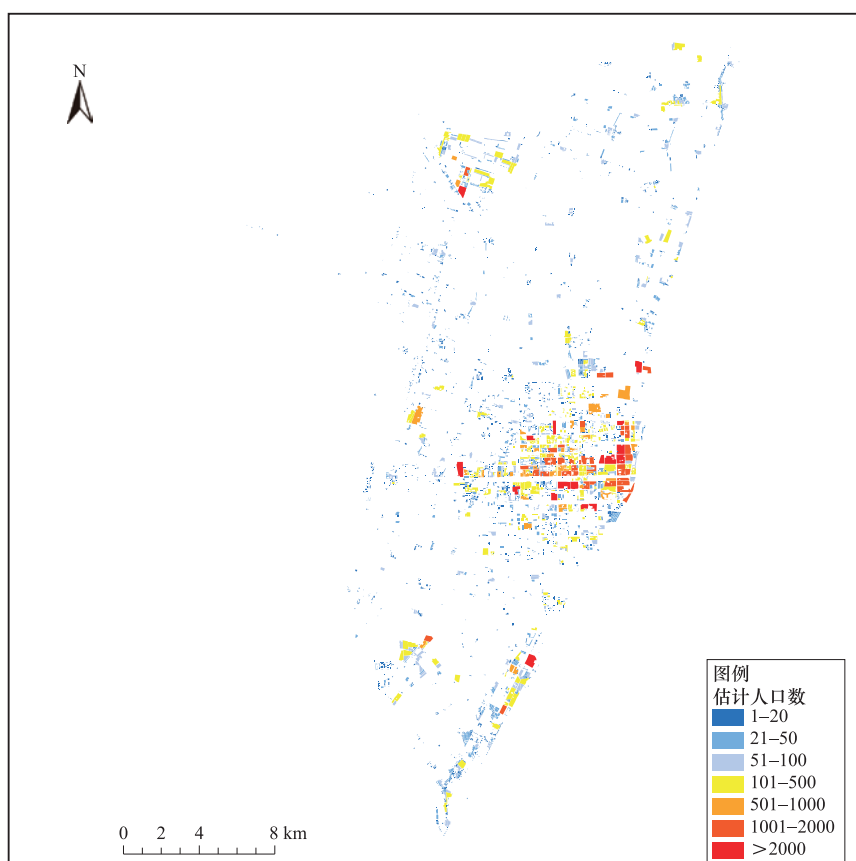


图 6 西夏区人口空间分布图

Fig. 6 The spatial distribution map of population on the scale of residential buildings in Xixia district

4 模型精度检验与分析

从以下方面检验本文建立的模型精度:

- (1) 对比研究区人口总数与根据模型预测人口总数;
- (2) 对比居民小区或村庄常住人口实地调查数据与预测数据。

首先对比研究区人口总数与预测人口总数。至 2018 年底，西夏区户籍人口总数为 231078 人，根据本文建立的模型计算得到预测人口总数为 239310 人，二者误差为 3.56%，表明本文建立的模型预测精度较高。

人口空间分布精度对于验证本文建立的模型精度尤为重要，是判断模型是否合理的关键。验证人口空间分布误差时，采用抽样调查的方式，选取样本时考虑各类住宅建筑物差异、城乡差异及其他因素的影响，均匀选取 18 个小区和村庄，确保样本覆盖所有乡镇，且包含各类住宅建筑物。确定样本合理性后，进行实地常住人口调查。将常住人口调查数据与模型预测数据进行对比，计算得到每组数据误差率（表 1），用于验证模型人口预测精度。由表 1 可知，超过 75% 的样本误差率在 15% 以下，平均相对误差率为 9.19%，表明总体误差率较低，预测结果与实际人口空间分布情况相符。产生误差的主要原因是本文采用了均值化处理，虽符合大部分区域人口分布现状，但仍会造成局部地区预测误差偏大。为进一步研究不同区域预测误差情况，标记出人口高估样本点与低估样本点，如图 7 所示。由图 7 可知，以 500m 尺度的人口栅格图为底图时，高估样本点主要分布在人口稀疏的城乡结合部和农村地区，低估样本点集中在人口密集的市区内，这与研究区人口分布现状相符。由于外出务工、求学等原因，导致农村人口流向城市，这也是造成本文模型预测结果存在误差的主要原因。

表 1 模型估算误差率统计表

Table 1 The statistical table of model estimation error rate

序号	抽样点	调查人口/人	预测人口/人	误差率/%
1	澳海澜庭	6500	6290	-3.23
2	常春藤	3300	3168	-4.00
3	富明雅居	1900	2003	5.42
4	盛世宁馨嘉园	1040	930	-10.58
5	芦花洲小区	2938	2706	-7.90
6	银西社区	1066	1102	3.38
7	泾华园	1413	1743	23.35
8	泾华村惠台组	699	751	7.44
9	银北家园 A 区	1350	1316	-2.52
10	绿地国际花都	3100	2799	-9.71
11	西夏万达华宅	2950	2771	-6.07
12	西萃芳庭	2450	2326	-5.06
13	学知园	1480	1433	-3.18
14	怡祥小区	1400	1303	-6.93
15	共享家园	4100	3367	-17.88
16	镇北堡村	1201	1385	15.32
17	新华村 1 组	281	319	13.52
18	南梁社区	3039	3646	19.97

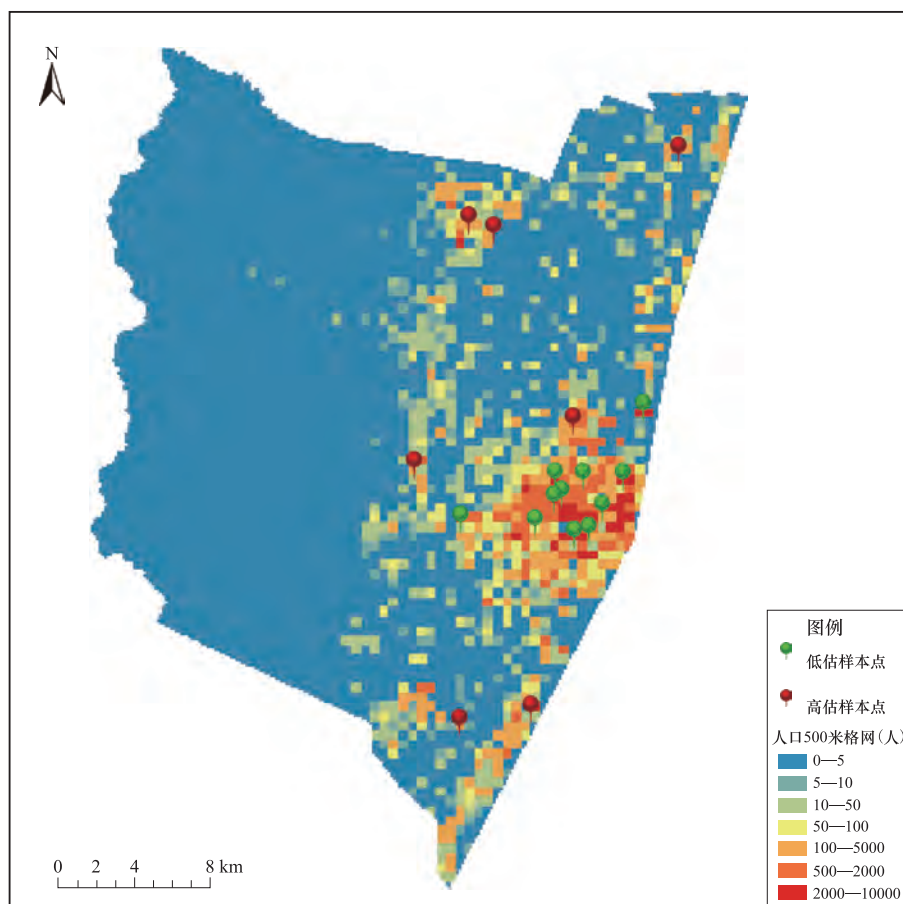


图7 人口高估样本点与低估样本点空间分布图

Fig. 7 Spatial distribution map of sample points with overestimation and underestimation of model population

5 结论

本文利用西夏区乡镇户籍人口和高空间分辨率遥感影像解译的住宅建筑物数据,通过建立人口与住宅建筑物关系模型,解算出各类住宅建筑物容纳人口系数,利用 ArcGIS10.6 软件进行空间人口赋值,得到各类住宅建筑物人口空间分布图,通过对比研究区人口总数与根据模型预测人口总数、居民小区或村庄常住人口实地调查数据与预测数据,对研究模型精度进行检验。研究表明,本模型具有较高的可行性和可靠性,预测结果可为震前灾害风险评估和震后灾情快速评估提供可靠的人口空间分布数据。

本文虽取得一定研究成果,但仍存在不足之处,如未分别建立城市低层建筑物与农村低层建筑物模型,导致城乡结合部地区和农村地区产生了 23.35%、19.97% 的误差率;未考虑住宅建筑物实际居住比例,影响了模型精度;未引入动态人口时空分布数据,由于不同时间内人口空间分布情况存在较大差异,需引入多时段人口热力图等进行进一步研究,得到不同时段人口空间流动特征,并建立人口与住宅建筑物关系模型,进而反演出不同时段人口空间分布情况。

参考文献

- 陈文凯, 何少林, 张景发等, 2008. 利用遥感技术提取震害信息方法的研究进展. 西北地震学报, **30** (1): 88—93.
- 陈云浩, 冯通, 史培军等, 2006. 基于面向对象和规则的遥感影像分类研究. 武汉大学学报·信息科学版, **31** (4): 316—320.
- 杜国明, 2008. 人口数据空间化方法与实践. 北京: 中国农业出版社.
- 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. 地震研究, **39** (2): 321—326.
- 江东, 杨小唤, 王乃斌等, 2002. 基于 RS、GIS 的人口空间分布研究. 地球科学进展, **17** (5): 734—738.
- 雷启云, 柴焯章, 杜鹏等, 2015. 1739 年平罗 8 级地震发震构造. 地震地质, **37** (2): 413—429.
- 李皓, 张合, 吕国军, 2018. 基于遥感影像的建筑数据构建研究. 震灾防御技术, **13** (1): 168—176.
- 聂高众, 陈建英, 李志强等, 2002. 地震应急基础数据库建设. 地震, **22** (3): 105—112.
- 聂高众, 安基文, 邓砚, 2012. 地震应急灾情服务进展. 地震地质, **34** (4): 782—791.
- 王晓青, 丁香, 2004. 基于 GIS 的地震现场灾害损失评估系统. 自然灾害学报, **13** (1): 118—125.
- 袁长丰, 刘德钦, 崔先国等, 2004. 基于人口 GIS 的北京市人口密度空间分布分析. 测绘科学, **29** (4): 40—42.
- 赵真, 郭红梅, 张莹等, 2019. 基于天地图高精度建筑物的四川宝兴县人口估算. 地震研究, **42** (2): 204—209.
- Galeon F. A., 2008. Estimation of population in informal settlement communities using high resolution satellite image. The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences. **37** (B4): 1377—1382.

Study on High-precision Static Population Spatial Distribution in Xixia District, Yinchuan

Yu Sihan, Lei Qiyun, Wang Yin, Liu Chao, Yang Shun and Wang Jing

(Earthquake Administration of Ningxia Hui Autonomous Region, Ningxia Yinchuan 750001)

Abstract After the earthquake, the spatial distribution density of population is an important basis for the deployment of rescue forces. However, it is difficult to obtain and update high-precision population spatial distribution data, and there is a lack of effective ways to solve this problem, which leads to a lack of reliable basis for post-earthquake research. In this paper, taking Xixia District, Yinchuan as an example, based on high spatial resolution remote sensing images, obtaining residential buildings information by combining interpretation of buildings with on-the-spot investigation, the relationship model between the census population data and the building of residential buildings is established, and the more objective and real data of the population spatial distribution is obtained. The results show that the overall prediction error rate is 3.56% and the average relative error rate is 9.19% when the residential buildings are used as the indicator factor of population spatial distribution, which demonstrates the results are reliable and this method can provide reliable data of population spatial distribution for earthquake risk assessment and rapid post-earthquake loss assessment.

Key words: High-resolution remote sensing image; Buildings; Population; Xixia district, Yinchuan city; Assessment