

# Spatialization of Population Data for Earthquake Damage Assessment

## —Taking Yinchuan as an Example

Jing Wang, Dingjun Wei, Jin Cui

Ningxia Earthquake Administration, Yinchuan Ningxia  
Email: whuwangjing@163.com

Received: Jul. 8<sup>th</sup>, 2018; accepted: Jul. 24<sup>th</sup>, 2018; published: Jul. 31<sup>st</sup>, 2018

---

### Abstract

Taking Yinchuan as an example, based on the statistical population data of the street (township) level and the land use data of the kilometer grid, the multiple linear regression model is set up, the population data is spatialized, and the population map of the kilometer grid of Yinchuan is generated. Based on this, distribution of casualty in the day and night is calculated when the seismic intensity in Yinchuan is at 7, 8 and 9 degrees. The results show that the precision of the population spatial results is 26% and more reliable, and the assessment of earthquake casualties based on the kilometer grid breaks the boundary of the administrative division, and can reflect the casualty of the earthquake personnel as a whole, and can also reflect the casualty of the internal seismic personnel in the administrative units, thus for the earthquake emergency refuge. Site settings and post earthquake rescue provide more accurate data support.

### Keywords

Multiple Linear Regression, Population Data Spatialization, Earthquake Casualty Assessment

---

# 面向震害评估的人口数据空间化

## —以银川市为例

王 静, 卫定军, 崔 瑾

宁夏回族自治区地震局, 宁夏 银川  
Email: whuwangjing@163.com

收稿日期: 2018年7月8日; 录用日期: 2018年7月24日; 发布日期: 2018年7月31日

## 摘要

本文以银川市为例,基于街道(乡镇)级人口统计数据和公里格网土地利用数据,建立多元线性回归模型,进行人口数据空间化,生成公里格网银川市人口地图,并基于此,计算了银川市地震烈度为7度、8度、9度时白天和夜晚的人员伤亡地图。结果表明,本文的人口空间化结果精度为26%,较为可靠;基于公里格网进行地震人员伤亡评估,打破了行政区划界限,能从整体上反应地震人员伤亡情况,同时也能反映各行政单元内部地震人员伤亡情况,从而为地震应急避难场所设置及震后救援提供更精准的数据支持。

## 关键词

多元线性回归, 人口数据空间化, 地震人员伤亡评估

Copyright © 2018 by authors and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

## 1. 引言

我国地处世界两大地震带——欧亚地震带和环太平洋地震带包围之中,地震活动具有频度高、强度大、震源浅、分布广的特点,是地震灾害最严重的国家之一。据统计,上个世纪(1990年)以来,全球大陆7级以上的强震,我国约占35%,两次造成20万以上人口死亡的大震都在中国。破坏性地震发生后,如何对人员损失进行快速准确的评估,从而制定相应的应急救援方案,对争取救援时间,减少人员伤亡至关重要。而这些工作都离不开人口数据库的支持。一直以来,人员损失评估中广泛使用的人口数据为以行政区为单元的统计数据,这使得评估结果仅能反映行政单元之间的人员损失分布情况,难以反映行政单元内部的人员损失分布情况。

20世纪90年代初,科学家提出了“人口数据空间化”的概念,即将以行政区为单元的人口数据展布到一定尺寸的地理格网上,此后,在遥感、GIS等技术的支持下,学者们发展出一系列具有代表性的方法。这些方法主要有两类:面插值法和统计建模法。面插值法是通过空间插值技术,实现人口数据从统计单元到规则空间单元的转换,生成精细网格人口表面。主要方法有phnophylatic插值[1]、面积权重法[2]、距离衰减法[3]、核心估计法[4]。统计建模方法是通过分析行政单元尺度上人口与其它因子的关系,将这种关系应用于格网尺度,反演格网人口,主要有三类:①通过建立遥感光谱和人口密度的关系进行人口密度模拟[5][6][7];②利用人口与土地利用的关系进行人口空间化建模[8]-[13];③在土地利用数据的基础上,引入与人口分布密切相关的水系、地形、道路、居民点等数据,建立多元数据融合模型[14][15]。随着人口数据空间化研究的深入,学者们已经开始基于格网数据进行人员损失评估研究的探索。丁文秀等(2011)[13]对湖北省人口数据进行了空间化,并将结果应用于巴东Ms5.1级地震灾情评估。韩贞辉等(2013)[16]建立了公里格网人口和房屋数据,对彝良地震进行了评估。但目前这种探索仅仅针对某一震例,并未大规模推广。目前有关银川市的人口数据空间化及震害损失评估研究,多是以县级数据为基础,与其它市级行政区一起建模,而不同区域人口空间分布的规律具有显著差异,这类模型较难反映银川市人口空间分布的个性化特征,从而降低了人口空间化的可靠性。本文拟基于市辖区(乡镇级)人口统计数据,利用土地利用与人口分布的关系,建立人口空间化模型,在此基础上,评估对不同烈度下银川市

受灾人口分布。

## 2. 人口数据空间化

### 2.1. 数据

本文所使用的数据格式、数据来源如表 1 所示。

### 2.2. 人口分区

银川市市辖兴庆区、西夏区、金凤区三区，永宁县、贺兰县两县，代管灵武市 1 个县级市。考虑到城区、乡镇人口分布的影响因素差异较大。对银川市分城区、乡镇两个区分别进行人口分布的影响因素分析及建模。其中，城区包括兴庆区、西夏区、金凤区和灵武市市辖区，乡镇包括永宁、贺兰两县城各乡镇。

### 2.3. 人口空间建模

#### 2.3.1. 建模因子选取

本文采用基于土地利用的人口空间建模方法进行人口空间建模。土地利用类型一级分类为 6 类，分别为耕地、林地、草地、水域、城乡工矿居民用地、未利用土地，二级分类 67 类，其中与人口分布密切相关的城乡工矿居民用地又可分为城镇居民点用地、农村居民点用地、其他城乡工矿用地三类。本文通过分析人口分布与土地利用中耕地、林地、草地、城镇居民地、农村居民地的相关性，确定人口空间建模因子。具体流程是：基于银川市 2010 年 1 km 分辨率土地利用数据，使用 ArcGIS 的区域统计功能统计，获得银川市各乡镇、街道耕地、林地、草地、城镇居民地、农村居民地、其他城镇用地面积；对城区、乡镇两个子分区，使用 SPSS 计算街道、乡镇人口总数与耕地、林地、草地、城镇居民地、农村居民地、其他城镇用地面积的相关系数，选取相关系数高的作为建模因子。如表 2 所示、对城区、人口总数与城镇居民地显著相关、相关系数达 0.698，城镇居民地为建模因子；对乡镇，人口总数与城镇居民地、农村居民地显著相关、相关系数分别为 0.455、0.6770、0.678，耕地、城镇居民地、农村居民地为建模因子。

Table 1. Basic data

表 1. 基础数据

名称	格式	来源
银川市 2010 年乡镇、街道人口统计数据	Excel	中国 2010 年人口普查分乡、镇、街道资料
银川市 2015 年人口统计数据	Excel	中国县域统计年鉴(2016)
银川市 2010、2015 年 1 km 分辨率土地利用数据	Grid	中国科学院地理科学与资源研究所
银川市乡镇级行政区划图	Shp	中国科学院地理科学与资源研究所

Table 2. Correlation of population and land use area

表 2. 人口总数与各土地利用类型面积相关系数

	耕地	林地	草地	城镇用地	农村用地	其他
人口总数(城区)	0.310	0.150	0.055	0.698**	0.396	-0.284
人口总数(乡镇)	0.455*	0.164	0.134	0.677**	0.678**	0.133

### 2.3.2. 多元线性回归建模

假设研究区内同一土地利用类型内人口均匀分布, 以上述建模因子为自变量, 街道(乡镇)统计人口总数为因变量, 对城区、乡镇两个子分区, 分别建立回归模型, 模型的一般形式为[11]:

$$P_i = \sum_{j=1}^n a_j \times S_{ij} + b \quad (1)$$

其中,  $P_i$  为某地区第  $i$  个街道(乡镇)的统计人口数;  $a_j$  为  $j$  类土地利用的人口分布初始系数(人/km<sup>2</sup>);  $S_{ij}$  为  $i$  个街道(乡镇)  $j$  类土地利用的面积(km<sup>2</sup>);  $n$  代表各种土地利用类型, 对城区,  $n = 1$ , 为城镇居民用地, 对乡镇,  $n = 2$ , 分别为城镇、农村居民点用地。根据无土地则无人口的原则, 常数项  $b$  为 0。表 3 给出了城区、乡镇两个乡镇的建模结果。

### 2.3.3. 系数校正

模型是以假定某分区同一土地利用类型人口分布系数相同为前提的, 因此人口空间数据在总数与统计人口必然存在着一定的误差。为确保各街道(乡镇)内所有格网中的人口数据之和与实际统计人口相等, 通过平差对街道(乡镇)的人口分布初始系数  $a_j$  进行校正, 得到校正后的街道(乡镇)人口分布系数  $a_{ij}$ 。校正公式[11]:

$$a_{ij} = \frac{P_i}{P'_i} \times a_j \quad (2)$$

其中,  $a_{ij}$  表示  $i$  个街道(乡镇)  $j$  类土地利用的人口分布系数(人/km<sup>2</sup>), 校正系数为  $\frac{P_i}{P'_i}$ ,  $a_j$  为  $i$  个街道(乡镇)统计人口数据,  $P'_i$  为根据模型公式反算的  $i$  县人口数据由此, 得到街道(乡镇)城镇居民用地人口分布系数、农村居民点用地人口分布系数。

### 2.4. 1 km 人口格网生成

假设格网人口与乡镇(街道)级人口的具有相同的分布模式, 将乡镇(街道)级人口空间分布模型应用于格网尺度, 以耕地系数、耕地面积、城镇居民点系数、城镇居民点面积、农村居民点系数、农村居民点用地面积反算格网人口。其中、耕地面积、城镇居民点面积、农村居民点面积由 2015 年土地利用数据利用 ArcGIS 区域统计功能获得。格网人口计算公式如下[11]:

$$gridpop_i = a_{gi} \times S_{gi} + a_{ci} \times S_{ci} + a_{ni} \times S_{ni} \quad (3)$$

其中,  $gridpop_i$  为某栅格  $i$  上的人口值,  $a_{gi}, a_{ci}, a_{ni}$  分别为栅格  $i$  上的耕地系数、城镇居民点系数和农村居民点用地人口分布系数,  $S_{gi}, S_{ci}, S_{ni}$  分别为栅格  $i$  上的耕地面积、城镇居民点面积和农村居民点面积。

### 2.5. 精度检验

通过计算某市辖区(乡镇)系数校正前的模型人口和统计人口之间的误差以及各市辖区(乡镇)平均误

Table 3. Multiple linear regression modeling results

表 3. 多元线性回归建模结果

	耕地	城镇居民地系数	农村居民地系数	R
城区	0	7231.98	0	0.931
乡镇	138.57	5176.09	1998.72	0.932

差, 对人口空间化精度进行评价, 某市辖区(乡镇)误差计算公式如下[11]:

$$EOP_i = \frac{P_i - P'_i}{P_i} \times 100\%$$

各市辖区(乡镇)的平均误差计算公式如下[11]:

$$MAPE = \frac{\sum_{i=1}^n |P_i - P'_i| / P_i}{n}$$

其中,  $EOP_i$  表示某市辖区的误差、MAPE 表示平均误差,  $i$  表示银川市某市辖区(乡镇),  $P_i, P'_i$  分别为某市辖区(乡镇)的统计人口、模型人口,  $n$  为市辖区(乡镇)数量。经验证, 本文计算的  $EOP_i$  在 2%~60% 之间, MAPE 为 26%, 这样的误差结果与 Yang 等(2009)、韩贞辉等(2013) [12] [16] 的误差结果类似, 表明本文的人口空间化结果较为可靠。

## 2.6. 小结

本文在人口分区的基础上, 基于 2010 年银川市街道(乡镇)人口统计数据、2010 银川市 1 km 格网尺度土地利用数据, 分城区、乡村建立多元线性回归模型, 基于该模型, 利用 2015 年银川市 1 km 格网尺度土地利用数据, 建立了 2015 年银川市 1 km 格网人口统计数据。通过分区建模、应用小尺度人口统计数据建模, 在一定程度上提高了人口格网数据的可靠性。

## 3. 基于公里格网的地震受灾人口预测

本文在人口数据空间化的基础上, 计算银川市烈度不同烈度下人员死亡数量, 人口死亡数量计算公式为:

$$\ln(N_{\text{日}}) = -22.73 + 10.6 \ln(I) + 0.34 \ln(\rho)$$

$$\ln(N_{\text{夜}}) = -11.35 + 5.77 \times \ln(I) + 0.36 \ln(\rho)$$

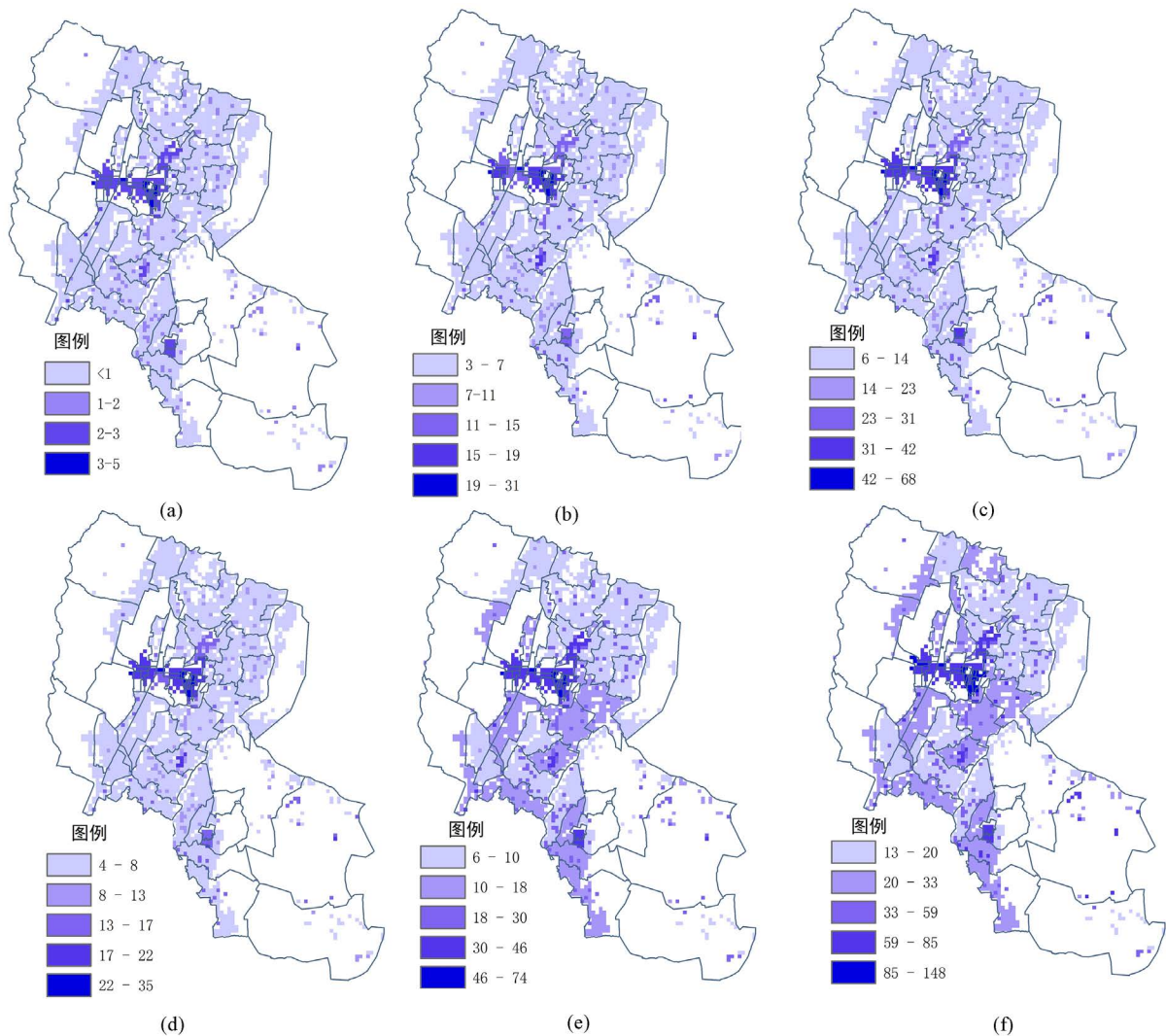
式中,  $N_{\text{日}}, N_{\text{夜}}$  分别为白天、夜间发震时的死亡人数;  $\rho$  为人口密度;  $I$  为地震烈度[17]。

图 1 给出了不同烈度下, 白天和夜晚地震人员死亡分布图。从图中可以看出, 夜晚地震人员伤亡明显高于白天、且随着地震烈度的增加, 差异越来越大。不同烈度下, 白天和夜晚, 地震人员死亡总体分布特征基本一致, 但在细节上有差异。银川市西侧为贺兰山、东部为黄河和沙漠, 中部为银川平原, 银川市人口主要分布在中部平原, 西部和东部人口稀少, 地震人员死亡分布与人口分布基本一致, 主要集中在中部平原地区的城区, 兴庆区玉皇北街、凤凰北街、胜利街中南部、西夏区满城北街南部为地震人员伤亡最大的区域; 其次为贺兰山西路、上海西路、丽景街南部、文昌路、北京西路、黄河东路北部, 朔方路东部、银古路西部, 北京中路、前进街、富宁街、新华街; 银川市乡镇内部地震人员伤亡整体较低、但乡镇内部也存在一些地震人员伤亡较高的斑块, 如永宁县杨和镇中部、贺兰县习岗震中部、灵武市东塔镇东南角。

## 4. 讨论

本文采用基于土地利用的多元线性回归建模对银川市进行了人口空间化, 并在此基础上计算了不同烈度下, 银川市地震人员伤亡情况, 结果表明, 基于公里格网进行地震人员伤亡评估, 打破了行政区划界限, 能从整体上反应地震人员伤亡情况, 同时也能反映各行政单元内部地震人员伤亡情况, 从而为地震应急避难场所设置及震后救援提供更精准的数据支持。目前, 国内外学者所获得的人口数据空间化结果大多在 30% 左右, 这在一定程度上制约了人口数据空间化在震害评估中的应用。土地利用的解译误差





**Figure 1.** The death distribution map of the earthquake personnel under different intensity ((a), (b), (c) is the number of casualties during the day of 7, 8, 9, respectively; (d), (e) and (f) are the number of casualties at night when the earthquake intensity is 7, 8 and 9, respectively)

**图 1.** 不同烈度下地震人员伤亡分布图((a)、(b)、(c)分别为地震烈度为 7 度、8 度、9 度时白天地震人员伤亡数量;(d)、(e)、(f)分别为地震烈度为 7 度、8 度、9 度时夜晚地震人员伤亡数量)

是人口数据空间化的主要误差源, 利用高分辨率的遥感影像, 进行建筑物提取, 并基于建筑物提取结果进行人口数据空间化, 是提高人口数据空间化精度的重要途径。

## 基金项目

宁夏自然科学基金项目——基于公里格网的银川市震害损失预测评估(NZ16203)。

## 参考文献

- [1] Tobler, W.R. (1979) Smooth Pycnophylactic Interpolation for Geographical Regions. *Journal of the American Statistical Association*, **74**, 519-530. <https://doi.org/10.1080/01621459.1979.10481647>
- [2] Martin, D. (1989) Mapping Population Data from Zone Centroid Locations. *Transactions of the Institute of British Geographers*, **14**, 90-97. <https://doi.org/10.2307/622344>

- [3] Deichmann, U., Balk, D. and Yetman, J. (2001) Transforming Population Data for Interdisciplinary Usages: From Census to Grid. <http://sedac.ciesin.columbia.edu/gpw-v2/GPWdocumentation.pdf>
- [4] 吕安民, 李成名, 林宗坚. 面积内插算法初探[J]. 测绘通报, 2002, 20(1): 44-46.
- [5] Lo, C.P. (1995) Automated Population and Dwelling Unit Estimation from High-Resolution Satellite Images: A GIS Approach. *International Journal of Remote Sensing*, **16**, 17-34. <https://doi.org/10.1080/01431169508954369>
- [6] Lo, C. (2008) Population Estimation Using Geographically Weighted Regression. *GIScience & Remote Sensing*, **45**, 131-148. <https://doi.org/10.2747/1548-1603.45.2.131>
- [7] 卓莉, 陈晋, 史培军. 基于夜间灯光数据的中国人口密度模拟[J]. 地理学报, 2005, 60(2): 266-276.
- [8] Langford, M. and Harvey, J.T. (2002) The Use of Remotely Sensed Data for Spatial Disaggregation of Published Census Population Counts. *IEEE/ISPRS Joint Workshop on Remote Sensing and Data Fusion over Urban Areas*, Rome, 8-9 November 2001, 260-264.
- [9] Lo, C. and Choi, J. (2004) A Hybrid Approach to Urban Land Use Cover Mapping Using Landsat 7 Enhanced Thematic Mapper Plus ETM+ Images. *International Journal of Remote Sensing*, **25**, 2687-2700. <https://doi.org/10.1080/01431160310001618428>
- [10] 杨小唤, 刘业森, 江东, 等. 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, 2006, 25(3): 62-69.
- [11] 杨小唤, 江东, 王乃斌, 等. 人口数据空间化的处理方法[J]. 地理学报, 2002, 57(增刊): 70-75.
- [12] Yang, X., Huang, Y., Dong, P., et al. (2009) An Updating System for the Gridded Population Database of China Based on Remote Sensing, GIS and Spatial Database Technologies. *Sensors*, **9**, 1128-1140. <https://doi.org/10.3390/s90201128>
- [13] 丁文秀, 张亦梅, 陈振拓, 等. 湖北省人口数据空间化及在巴东 Ms5.1 地震灾情盲估中的应用[J]. 大地测量与地球动力学, 2014, 34(3): 28-30.
- [14] 廖顺宝, 孙九林. 基于 GIS 的青藏高原人口统计数据空间化[J]. 地理学报, 2003, 58(1): 25-33.
- [15] 杜国明, 宋戈, 王红梅, 等. 面向防洪救灾的人口空间分布模拟——以大安市为例[J]. 自然灾害学报, 2007, 16(5): 100-105.
- [16] 韩贞辉, 李志强, 陈振拓, 等. 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, 2013, 35(4): 894-906.
- [17] 马玉宏, 谢礼立. 地震人员伤亡估算方法研究[J]. 地震工程与工程振动, 2000, 20(4): 140-147.

#### 知网检索的两种方式:

1. 打开知网页面 <http://kns.cnki.net/kns/brief/result.aspx?dbPrefix=WWJD>  
下拉列表框选择: [ISSN], 输入期刊 ISSN: 2163-3967, 即可查询
2. 打开知网首页 <http://cnki.net/>  
左侧“国际文献总库”进入, 输入文章标题, 即可查询

投稿请点击: <http://www.hanspub.org/Submission.aspx>  
期刊邮箱: [ag@hanspub.org](mailto:ag@hanspub.org)