

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, 中国地震, 30(1), 118 ~ 131。

基于多源数据的云南人口空间分布模拟研究

曹彦波 李永强 李敏 李兆隆 吴艳梅 李智蓉

云南省地震局, 昆明市北市区北辰大道 650224

摘要 人口数据精度是提高地震灾情速判准确度的关键之一。本文基于多源数据融合思路, 以云南第 6 次人口普查数据为基础, 把居民地作为人口分布指示因子, 利用 GIS 软件工具, 分析了人口分布与地貌形态、坡度、地形起伏度以及土地利用之间的关系, 构建了人口影响因子的权重系数, 并采用城乡人口-面积统一模型对人口统计数据进行了网格化空间模拟及精度检验。以 2013 年 3 月 3 日云南洱源 5.5 级地震为例, 通过多种估算方法对灾区人口进行了计算及对比分析, 结果表明, 多源数据融合法生成的千米网格人口与实际人口的相关性均在 0.89 以上, 人口数据精度符合实际, 可为灾情速判提供可靠的数据基础。

关键词: 地震 人口数据 空间化 居民地 公里网格

[文章编号] 1001-4683(2014)01-118-14 [中图分类号] P315 [文献标识码] A

0 引言

地震是人类社会最主要的自然灾害之一, 云南地震活动频度高、震级大、分布广、灾害重, 从公元 1481 年至 20 世纪末的 500 余年间, 因地震造成的死亡人数达 6.5 万余人, 地震灾害严重威胁着人民群众生命财产安全(云南省地震灾害损失评定委员会等 2012)。人是重要的受灾体, 准确的人口空间分布信息是衡量地震灾情、开展抗震救灾工作的重要依据。尤其是大震发生后数小时的黑箱期内, 如何快速获取灾区人口信息是震后灾情速判的关键, 人口数据的精度会直接影响到评估结果的准确性(马宗晋等, 1991; 聂高众等, 2012)。目前, 云南省用于地震灾害快速评估的人口数据是国家“十五”期间建立的地震应急基础数据库, 在实际应用中存在不足: 一是人员伤亡评估模型所采用的人口信息是根据乡镇级行政区划的人口平均密度或面积权重法获取的, 人口数据精度与实际灾害调查结果差距大, 满足不了灾情速判需求; 二是把人口在行政区内的分布看作是均匀的, 这样的数据未体现人口空间分布特征, 并且与多源空间数据存在着尺度差异, 融合分析比较困难; 三是数据更新周期长, 全国人口普查每 10 年 1 次, 更新缓慢, 难以满足应急需要。

人口数据空间化为解决上述问题提供了便利。自上个世纪末以来, 将人口、资源、环境及其他经济社会信息融合进行综合分析一直是地理学家、社会学家研究的热点。目前人口

[收稿日期] 2013-06-17; [修定日期] 2013-12-14

[项目类别] 地震行业科研专项——西南地震应急对策新模式与关键技术研究(201108013)与中国地震局地震应急青年基金项目——云南人口公里网格修正方法研究(CEA_EDEM-201205)联合资助

[作者简介] 曹彦波, 男, 生于 1980 年, 工程师, 硕士, 主要从事地震应急技术、理论、方法研究及应用。

Email: 674714414@qq.com

数据网格化模型主要有负指数模型(Clark, 1951; Martin, 1989)、面积权重模型(范一大等, 2004)、核心估计模型(吕安民等, 2002、2003、2005)、城乡人口-面积统一模型(陈彦光等, 1999; 杜国明等, 2007; 陈振拓等, 2012)、土地利用类型影响模型(江东等, 2002; 田永中等, 2004; 杨小唤等, 2006)、重力模型(王英安等, 2004)、夜间灯光模型(Harvey, 2000; 卓莉等, 2005)、多源数据融合模型(刘纪远等, 2003; 廖顺宝等, 2003a、2003b; 王春菊等, 2004), 从研究尺度来看, 有全球尺度、全国尺度、省域尺度以及城市尺度, 从模型应用范例及验证结果来看, 就人口统计数据的网格化研究的精确性验证还需要做很多工作。随着遥感数据空间分辨率的提高, 高精度居民地信息提取技术日趋成熟, 基于居民地的人口数据空间化研究也开始受到学者们的关注。著名人口学家胡焕庸先生早年曾指出, 乡镇统计数据与居民地数据是绘制高精度人口密度图的两个必要条件, 居民地是人口分布最重要的指示因子(胡焕庸, 1983)。

因此, 本文以云南特殊的山地环境作为研究区, 选取地貌形态、土地利用、坡度和地形起伏度等自然环境因素作为云南人口分布影响因子, 以居民地作为人口分布的指示因子, 考虑到城市与农村的差异, 以多源空间数据融合思想实现了人口数据空间化, 为灾情快速评估提供可靠的人口数据。

1 研究思路

1.1 研究区概况

云南省地处中国西南边陲, 总面积约 $39.4 \times 10^4 \text{ km}^2$ 。根据第 6 次人口普查数据统计, 云南省下辖 16 个州市、129 个县区、1382 个乡镇, 总人口为 4596.65 万人。云南省地处我国第一级阶梯向第二级阶梯过渡地带, 青藏高原、横断山地、云贵高原 3 大地理单元在这里复合, 是我国山区分布集中和山地特征较为典型的一个地区, 山地和高原占全区面积的 94% 以上, 特殊多元化的地形地貌环境导致区域人口在空间和数量上分布不均衡, 人口密度差异较大, 人口空间化过程也较为复杂。

1.2 技术路线

在充分借鉴前人研究成果基础上, 本文以云南省第 6 次人口普查数据、云南地震应急基础数据库、卫星影像数据、DEM 数据、土地利用数据等为基础, 首先基于多源数据融合理论模型, 分析云南人口空间分布与坡度、地形地貌、地形起伏度、土地利用等自然环境因子的相关性, 采用层次分析法确定 4 项因子人口分布权重系数; 其次, 以城乡人口-面积统一模型为理论基础, 根据样本数据确定城市和农村居民地人口权重; 最后, 采用 GIS 软件对人口进行千米网格空间化模拟, 对结果进行修正, 并将模拟数据与真实数据进行对比验证, 完善模型, 如图 1 所示。

1.3 数据来源

数据是进行空间分析、模型研究的基础, 本文研究所采用的数据如表 1 所示。

1.4 理论基础

对于人口空间化实现方法, 陈彦光提出城市人口-面积异速生长模型, 描述城市人口和建设用地面积之间具有异速生长关系和分形几何结构, 满足

$$A = a_1 P^{b_1}$$

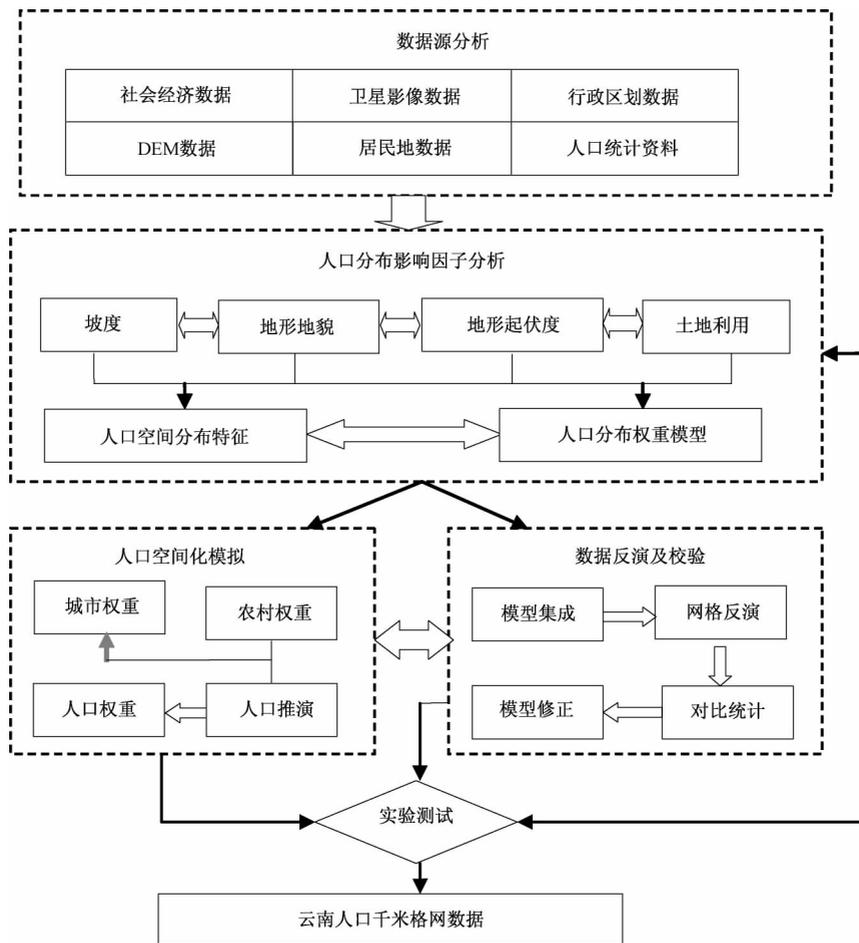


图 1 论文研究思路

表 1 数据信息描述

| 序号 | 数据内容 | 比例尺/分辨率 | 数据格式 | 几何特征 | 时效性 | 数据来源 |
|----|----------|---------|------|------|-------|--|
| 1 | 行政区划数据 | 1:5万 | 矢量 | 面状 | 2010年 | 云南地震应急基础数据库 |
| 2 | 居民地数据 | 1:5万 | 矢量 | 点状 | 2010年 | 云南省测绘局 |
| 3 | 乡镇人口统计数据 | — | 属性表 | — | 2010年 | 全国第六次人口普查数据 (国务院人口普查办公室等 2012) |
| 4 | 城区人口统计数据 | — | 属性表 | — | 2012年 | 2012中国建制镇统计资料 (国家统计局农村社会经济调查司 2013) |
| 5 | DEM | 30m | 栅格 | 栅格 | 2009年 | ASTER2009中国地形数据集 |
| 6 | 土地利用 | 1km | 栅格 | 栅格 | 2008年 | 中科院地理所 |
| 7 | 地貌类型 | 1km | 栅格 | 栅格 | 2008年 | 中科院地理所 |
| 8 | 坡度 | 30m | 栅格 | 栅格 | 2008年 | 中科院地理所 |

幂指数模型。该模型中 P 为城市人口数量, A 为城区面积, a_1 为常数, b_1 为指数。

该模型可以描述两类地理现象: ①相关增长的异速增长, 解释人口与城市随时间序列的非同速增长问题; ②表征人口规模-城市位序的关系, 描述城市人口-面积的统计分布。根据该模型几何意义和地理意义, 杜国明等(2007)、陈振拓等(2012)进行推广应用, 提出了城乡人口-面积统一模型, 即

$$P = a \sum_j A u_j^b + D_r \sum_i A_{ri}$$

式中 P 为一个区域内总人口数, A 为城区面积, a 为常数, b 为指数, D_r 为农村居民点人口密度, A_{ri} 为第 i 个农村居民点的面积。本文结合云南人口空间分布特征, 分城市和农村建模, 将城市分为省会城市、州市主城区和县城; 农村分为乡镇驻地、行政村、自然村, 对该模型进一步推导细化, 形成区域本地化人口空间化模型

$$P = M_i (P_r + P_u) \quad (1)$$

P 为某区域内总人口数, M_i 表示人口分布影响因子修正系数, P_u 、 P_r 分别表示该区域内城市和农村居民地人口总数。

其中, 农村居民地总人口表示为

$$P_r = D_{r1} \sum A_1 + D_{r2} \sum A_2 + D_{r3} \sum A_3 \quad (2)$$

式中 P_r 为农村居民地人口总数, $\sum A_1$ 、 $\sum A_2$ 、 $\sum A_3$ 分别为乡镇驻地、行政村、自然村居民地总面积, D_{r1} 、 D_{r2} 、 D_{r3} 分别为乡镇驻地、行政村、自然村居民地人口密度权重值。

城市居民地总人口表示为

$$P_u = \lambda \alpha \sum_j A_{uj}^b \quad (3)$$

式中 P_u 为城市居民地人口总数, λ 为人口密度权重系数, A 为城区面积, a 为常数, b 为指数。

2 人口分布影响因子分析

人口分布是指人口在特定时间内一定地理空间的集散程度, 人口密度、居民点密度、人口数量是反映区域人口分布的重要指标。通过综合分析, 结合云南特殊的山地环境, 选取地貌形态、坡度、地形起伏度、土地利用 4 个因子进行分析, 确定人口分布影响因子修正系数。

2.1 地貌形态与人口分布

地貌是自然地理环境的重要因素之一, 对地理环境及人类的生产和生活具有深刻的影响, 是影响人口空间分布的主要因素。本文将研究区地貌形态数据与居民点数据叠加, 统计各地貌形态类型面积、居民点数量、居民点密度, 各分区人口数量、人口密度以及占总人口的比例, 如图 2、表 2。

从表 2 可以看出, 在云南省 26 类地貌类型分区下, 地势较平缓的地区(如盆地、平原、丘陵以及台地等地貌形态)居民点分布数量较高, 均在 4000 个以上, 人口分布最多的是中起伏中山, 占全省总人口 38.2113%。这一特征与云南所处高原山地海拔一致, 云南大部分人口集中在中海拔(1000~3500m)区域内。高山、极高山地区人口仅占 0.02%, 几乎没有人口分布。

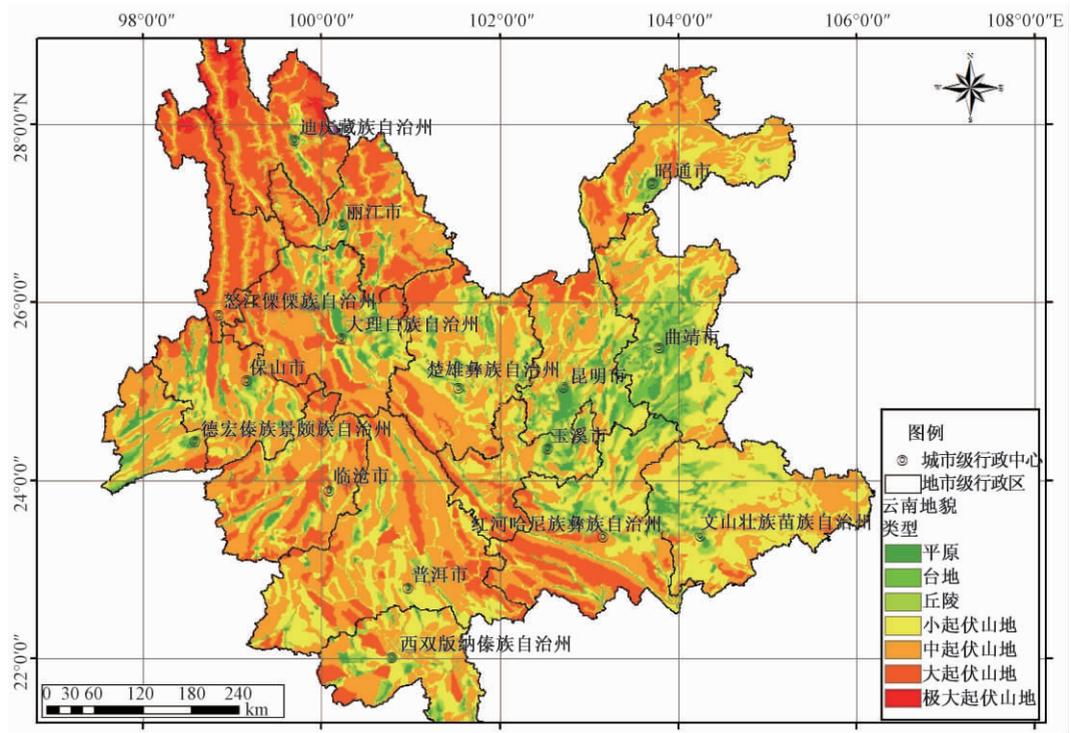


图 2 云南省地貌形态分区

表 2

居民点在各地貌形态分区中的分布

| 类型 | 编码 | 面积 (10^4 km^2) | 居民地数量 (个) | 居民地密度 (个/ 10^4 km^2) | 人口数量 (人) | 人口密度 (人/ km^2) | 人口比例 (%) |
|---------|----|-------------------------------|--------------|------------------------------------|-------------|-----------------------------|-------------|
| 低海拔平原 | 11 | 0.124752 | 895 | 7174 | 496673 | 398 | 1.1388 |
| 中海拔平原 | 12 | 0.959782 | 8565 | 8924 | 6397589 | 667 | 14.6686 |
| 高海拔平原 | 13 | 0.05759 | 430 | 7467 | 417387 | 725 | 0.957 |
| 极高海拔平原 | 14 | 0.066296 | 529 | 7979 | 485122 | 732 | 1.1123 |
| 低海拔台地 | 21 | 0.080034 | 423 | 5285 | 94551 | 118 | 0.2168 |
| 中海拔台地 | 22 | 0.474347 | 2505 | 5281 | 1996883 | 421 | 4.5785 |
| 高海拔台地 | 23 | 0.080999 | 462 | 5704 | 253574 | 313 | 0.5814 |
| 极高海拔台地 | 24 | 0.053124 | 282 | 5308 | 35483 | 67 | 0.0814 |
| 低海拔丘陵 | 31 | 0.190102 | 749 | 3940 | 532596 | 280 | 1.2211 |
| 中海拔丘陵 | 32 | 1.258775 | 5023 | 3990 | 2922401 | 232 | 6.7006 |
| 高海拔丘陵 | 33 | 0.132859 | 741 | 5577 | 111839 | 84 | 0.2564 |
| 极高海拔丘陵 | 34 | 0.067235 | 284 | 4224 | 37175 | 55 | 0.0852 |
| 小起伏低山 | 41 | 0.430807 | 1340 | 3110 | 277488 | 64 | 0.6362 |
| 小起伏中山 | 42 | 7.379683 | 35149 | 4763 | 8798335 | 119 | 20.1731 |
| 小起伏高山 | 43 | 0.417209 | 2131 | 5108 | 137752 | 33 | 0.3158 |
| 小起伏极高山 | 44 | 0.22264 | 1081 | 4855 | 244600 | 110 | 0.5608 |
| 中起伏低山 | 51 | 0.414914 | 1694 | 4083 | 625334 | 151 | 1.4338 |
| 中起伏中山 | 52 | 13.302969 | 56774 | 4268 | 16665610 | 125 | 38.2113 |
| 中起伏高山 | 53 | 0.335009 | 1024 | 3057 | 150683 | 45 | 0.3455 |
| 中起伏极高山 | 54 | 0.148584 | 452 | 3042 | 107435 | 72 | 0.2463 |
| 大起伏中山 | 62 | 4.707631 | 13959 | 2965 | 2707685 | 58 | 6.2083 |
| 大起伏高山 | 63 | 1.796032 | 438 | 244 | 90019 | 5 | 0.2064 |
| 大起伏极高山 | 64 | 0.049564 | 16 | 323 | 10024 | 20 | 0.023 |
| 极大起伏中山 | 72 | 0.013916 | 7 | 503 | 7639 | 55 | 0.0175 |
| 极大起伏高山 | 73 | 0.102804 | 16 | 156 | 8063 | 8 | 0.0185 |
| 极大起伏极高山 | 74 | 0.145331 | 8 | 55 | 2361 | 2 | 0.0054 |

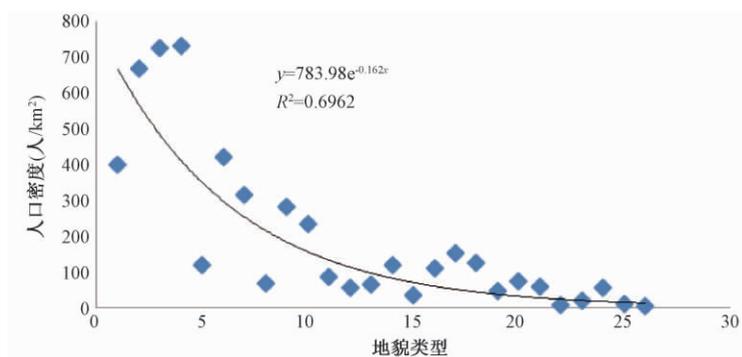


图3 人口密度与地貌类型关系

y 为该地貌类型下的居民地人口密度, R 表示相关系数

从上图可知,随着海拔的升高,各地貌类型分区人口密度呈下降趋势,两者呈明显的负相关性,地貌形态对人口分布相关性显著。

2.2 坡度与人口分布

坡度是地表单元陡缓的程度,影响自然因子的分异,特别是对太阳辐射、温度、水分和植被的影响明显。人类活动对坡度有较强的选择性。本文将研究区坡度数据与居民点分布数据叠加,统计各类型坡度的面积、居民点数量、居民点密度,各分区人口数量、人口密度以及占总人口的比例,如图4和表3。

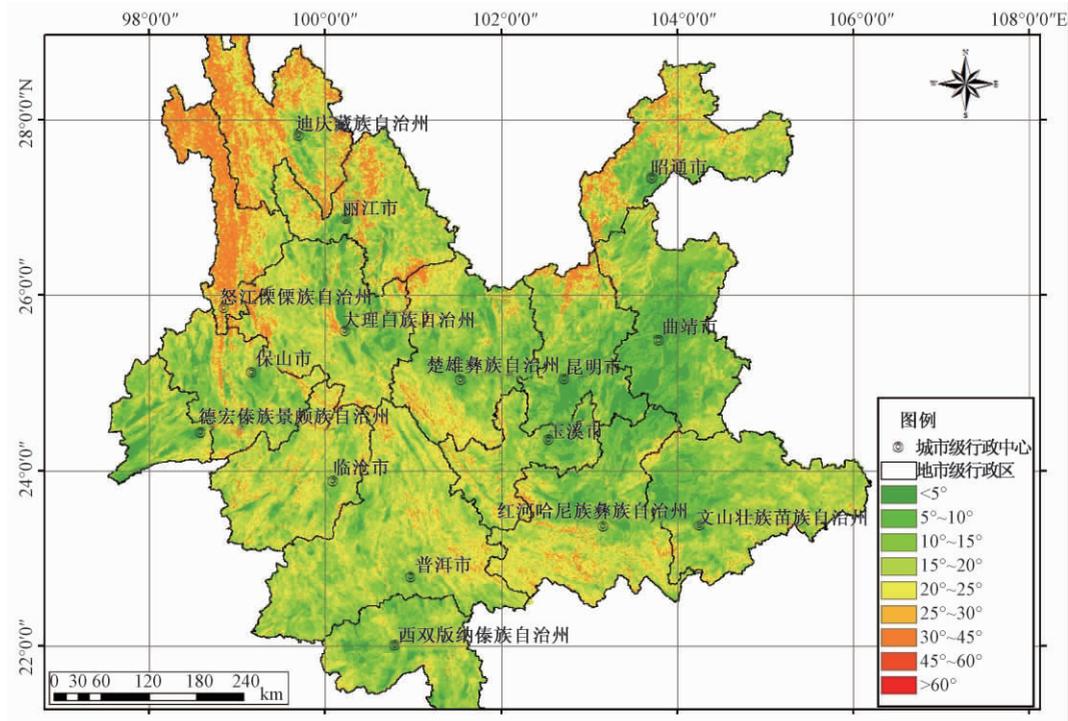


图4 云南省坡度类型分布图

表 3 居民点在各坡度类型中的分布

| 坡度范围 | 坡度类型 | 面积 (10^4 km^2) | 居民地数量 (个) | 居民地密度 (个/ 10^4 km^2) | 人口数量 (人) | 人口密度 (人/ km^2) | 人口比例 (%) |
|---------|------|-------------------------------|--------------|------------------------------------|-------------|-----------------------------|-------------|
| <5° | 1 | 10.13119382 | 57894 | 5714 | 21593119 | 213 | 47.0267 |
| 5°~10° | 2 | 4.681811376 | 20891 | 4462 | 7346675 | 157 | 16 |
| 10°~15° | 3 | 6.1451848 | 26002 | 4231 | 5895282 | 96 | 12.8391 |
| 15°~20° | 4 | 6.336333948 | 24883 | 3927 | 4555808 | 72 | 9.9219 |
| 20°~25° | 5 | 4.865733767 | 17092 | 3513 | 3392482 | 70 | 7.3883 |
| 25°~30° | 6 | 3.052198708 | 8570 | 2808 | 1658066 | 54 | 3.611 |
| 30°~45° | 7 | 3.051071715 | 5642 | 1849 | 1460237 | 48 | 3.1802 |
| 45°~60° | 8 | 0.152132899 | 108 | 710 | 15065 | 10 | 0.0328 |
| >60° | 9 | 0.001520421 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |

从表 3 可以看出,在云南 9 个坡度分区中,地势较平缓的地区($0^\circ \sim 30^\circ$) 范围内居民点分布数量高,人口分布最多,人口数量占总人口 60% 以上,其中,小于 5° 的坡度面积约 $10 \times 10^4 \text{ km}^2$,人口为 21593119 人,占总人口 47.0267%,人口分布较为密集。而坡度大于 30° 以上的地区人口数不到总人口的 4%,大于 60° 以上区域几乎没有人口分布。

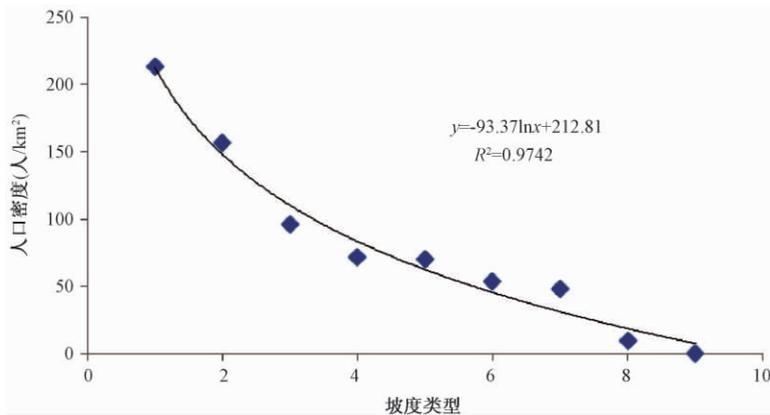


图 5 人口密度与坡度类型的关系

y 和 R 的意义同图 3

从图 5 可知,随着坡度的增加,人口密度逐渐降低,两者呈明显的负相关性,坡度对人口分布的影响较为显著。

2.3 地形起伏度与人口分布

地形起伏度是指在一个特定的区域内,最高点海拔高度与最低点海拔高度的差值。它是描述区域地形特征的宏观性指标,可以较好地反映区域地形地貌特征,是影响云南人口分布的重要因素之一(封志明等 2007)。本文利用 ArcGIS 空间分析工具,根据 DEM 数据获取的最佳地形起伏度数据,将云南地形按起伏度分成 11 个分区,与研究区居民点数据进行叠加,统计各地形起伏度分区的面积、居民点数量、居民点密度,各分区人口数量、人口密度以及占总人口比例,如图 6 和表 4。

从表 4 可以看出,在云南省 11 个地形起伏度分区中,地形起伏度小于 500m 的范围内

居民点分布数量高,人口分布最多,人口数量占总人口 60% 以上,而地形起伏度大于 1000m 以上的地区人口数不到总人口的 10%,大于 2500m 以上区域几乎没有人口分布。

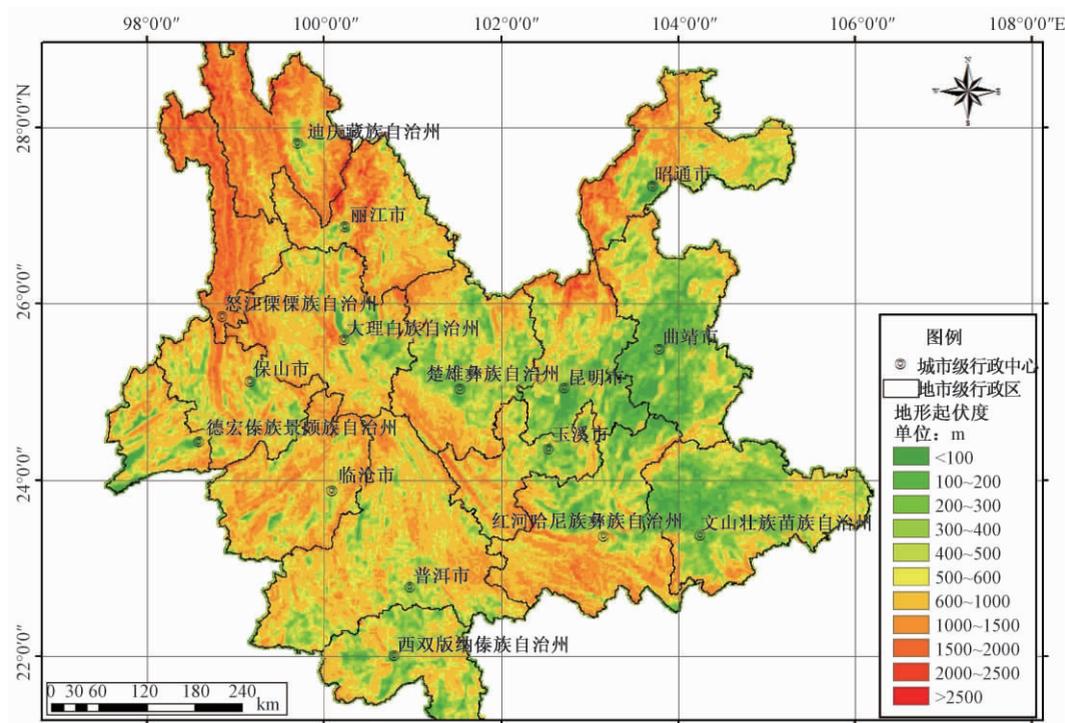


图 6 云南省地形起伏度分区的分布图

表 4

居民点在各地形起伏度分区中的分布

| 起伏度 范围(m) | 起伏度 分区 | 面积 (10^4 km^2) | 居民地数量 (个) | 居民地密度 (个/ 10^4 km^2) | 人口数量 (人) | 人口密度 (人/ km^2) | 人口比例 (%) |
|--------------|-----------|-------------------------------|--------------|------------------------------------|-------------|-----------------------------|-------------|
| < 100 | 1 | 1.098897 | 5146 | 4683 | 9558997 | 870 | 20.7923 |
| 100 ~ 200 | 2 | 1.970994 | 8652 | 4390 | 6364375 | 323 | 13.8435 |
| 200 ~ 300 | 3 | 2.92028 | 13691 | 4688 | 4987279 | 171 | 10.8481 |
| 300 ~ 400 | 4 | 3.599602 | 16302 | 4529 | 5206284 | 145 | 11.3245 |
| 400 ~ 500 | 5 | 4.104653 | 17561 | 4278 | 4887002 | 119 | 10.63 |
| 500 ~ 600 | 6 | 4.294183 | 17474 | 4069 | 4199741 | 98 | 9.1351 |
| 600 ~ 1000 | 7 | 13.527477 | 53049 | 3922 | 5906023 | 44 | 12.8465 |
| 1000 ~ 1500 | 8 | 6.466778 | 24372 | 3769 | 4079635 | 63 | 8.8739 |
| 1500 ~ 2000 | 9 | 1.827298 | 4421 | 2419 | 775585 | 42 | 1.687 |
| 2000 ~ 2500 | 10 | 0.262596 | 440 | 1676 | 7868 | 3 | 0.0171 |
| > 2500 | 11 | 0.018116 | 10 | 552 | 865 | 5 | 0.0019 |

从图 6 得知,随着地形起伏度的增加,人口密度呈下降趋势,当起伏度 > 2500m 时,人口密度仅为 5 人/ km^2 ,表明两者呈明显的负相关,地形起伏度对人口分布的影响较为显著。

2.4 土地利用与人口分布

土地利用类型是指土地利用方式相同的土地资源单元,是人类在生产生活中把土地用

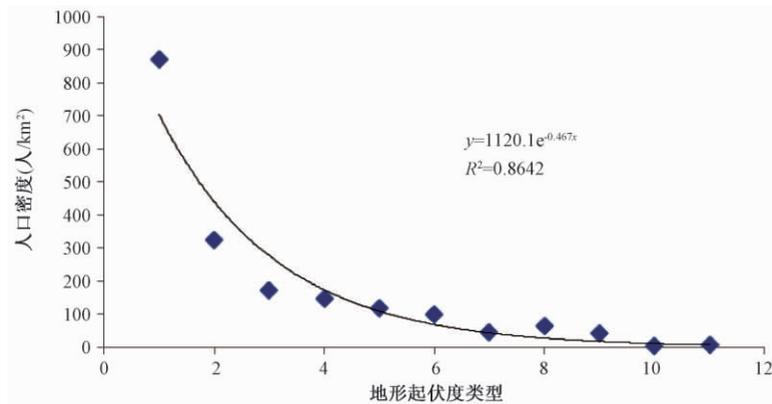


图7 人口密度与地形起伏度关系

y 和 R 的意义同图 3

于不同方向的土地利用类别,土地利用(特别是居民地、城镇用地和耕地)是人口分布的直接体现,对人口分布有重要影响。本文将研究区土地利用类型数据与居民点数据叠加,利用 ArcGIS 空间分析工具统计各土地利用类型面积、居民点数量、居民点密度,各类型人口数量、人口密度以及占总人口比例,如表 5。

表 5 各土地利用类型中的人口分布

| 类型 | 土地利用 类型编号 | 面积 (10^4 km^2) | 居民地 数量(个) | 居民地密度 (个/ 10^4 km^2) | 人口数量 (人) | 人口密度 (人/ km^2) | 人口比例 (%) |
|----------|----------------|-------------------------------|--------------|------------------------------------|-------------|-----------------------------|-------------|
| 耕地 | 11、12 | 6.173211 | 54862 | 9810 | 9696926 | 212 | 21.6235 |
| 有林地 | 21 | 7.513518 | 13078 | 1741 | 4537263 | 60 | 10.1178 |
| 灌木林 | 22 | 7.845554 | 29113 | 3711 | 4916429 | 63 | 10.9633 |
| 疏林地及其他 | 23、24 | 4.176212 | 15066 | 3608 | 3626033 | 87 | 8.0858 |
| 高覆盖度草地 | 31 | 5.044992 | 22616 | 4483 | 4184080 | 83 | 9.3302 |
| 中覆盖度草地 | 32 | 2.648744 | 10396 | 3925 | 3073452 | 116 | 6.8536 |
| 低覆盖度草地 | 33 | 0.253195 | 446 | 1761 | 239892 | 95 | 0.5349 |
| 水域及滩地 | 41、42、43、44、46 | 0.253786 | 628 | 2475 | 9638 | 4 | 0.0215 |
| 居民地及城镇用地 | 51、52、53 | 0.181579 | 14652 | 38293 | 14531013 | 6014 | 32.4032 |
| 其他未利用土地 | 64、65、66 | 0.195426 | 83 | 425 | 29725 | 15 | 0.0663 |

从表 5 可以看出,居民地及城镇用地的人口数量最多,在不足 2000 km^2 的土地上,却居住着 14531013 人,约占全省总人口 32%,人口密度也是最高的,达到 $6014 \text{ 人}/\text{km}^2$,其余在耕地、林地等与人类活动相关的区域人口分布也较为广泛。人口最低的为水域、滩地以及其他未利用土地,占总人口不到 0.08%。

2.5 人口分布修正系数

通过对云南人口分布影响因子分析,采用层次分析法确定影响因子权重值,对各级指标进行归一化处理,得到因地貌形态、坡度、地形起伏度、土地利用等而影响人口分布的权重系数(W_1 即一级指标)分别为 0.2741、0.2179、0.1937 和 0.3143,把上述各因子作用下的人口比例作为二级指标权重值(W_2),构建影响因子修正系数 M_i

$$M_i = \sum_{i=1}^n W_1 W_2$$

M_i 表示人口分布影响因子修正系数。 W_1 和 W_2 则分别为一级和二级指标权重值。

3 人口网格空间化模拟

对于人口千米网格的模拟实现,本文主要采用城市人口分布密度衰减模型和城乡人口-面积统一模型,分别确定云南城市和农村居民地人口权重,对人口统计数据进行空间化处理,形成区域本地化千米人口网格数据。

3.1 城市人口密度权重

用 Clark(1951)提出的城市人口分布密度衰减模型 $\rho(r) = \rho_0 e^{-r/r_0}$ 确定云南城市居民地人口密度权重系数(λ)。

模型中的 $\rho(r)$ 为人口密度, ρ_0 为城市特征半径内的人口密度, r 为距城市特征中心的距离, r_0 为城市特征半径。

根据研究需要,笔者采集了省会城市城区、16州市主城区和129个县城城区特征半径,通过人口统计数据以及城区半径,基于城市人口分布密度衰减规律,考虑到人口分布的连续性与渐变性、流动性以及城区的辐射作用,确定各级城区的缓冲区半径,按照其对人口分布的辐射范围及强弱,根据城市级别确定各自缓冲区的比例,分别赋其人口密度权重系数(表6),得到城市居民地人口密度权重。

表6 城市居民地人口密度权重系数(λ)

| 序号 | 缓冲区类型 | 距离权重系数(R) | 人口密度权重系数(D) |
|----|-------|---------------|-----------------|
| 1 | 核心区 | 0.25 | 0.5 |
| 2 | 次级缓冲区 | 0.25 | 0.25 |
| 3 | 3级缓冲区 | 0.5 | 0.25 |

3.2 农村人口密度权重

对于云南农村居民地人口密度权重的确定,笔者采集了云南48县的样本数据作为构建云南农村居民地人口密度权重模型的基础数据,根据公式(1)和48组样本数据,构建48组方程,基于统计分析软件 Matlab,采用最小二乘法计算得到乡镇驻地、行政村居民地和自然村居民地人口密度权重值分别为 $D_{r1} = 6832.16$, $D_{r2} = 3832.24$ 和 $D_{r3} = 1174.27$ 。

3.3 人口网格化实现

根据公式(1)、(2)和(3),采用 ArcGIS 分城市和农村实现人口数据千米网格空间化。对农村区域,首先获取每个居民地面积,根据农村人口密度权重值计算各居民地的人口数量;其次将该数据与千米网格数据进行空间叠加;最后依据面积权重法,将居民地的人口分配到千米网格中,实现人口密度的网格化。对于城市区域,首先计算城市居民地的人口密度,其次依据城市人口密度权重系数对城市总人口进行修正,最后网格化实现,方法同上,如图8。

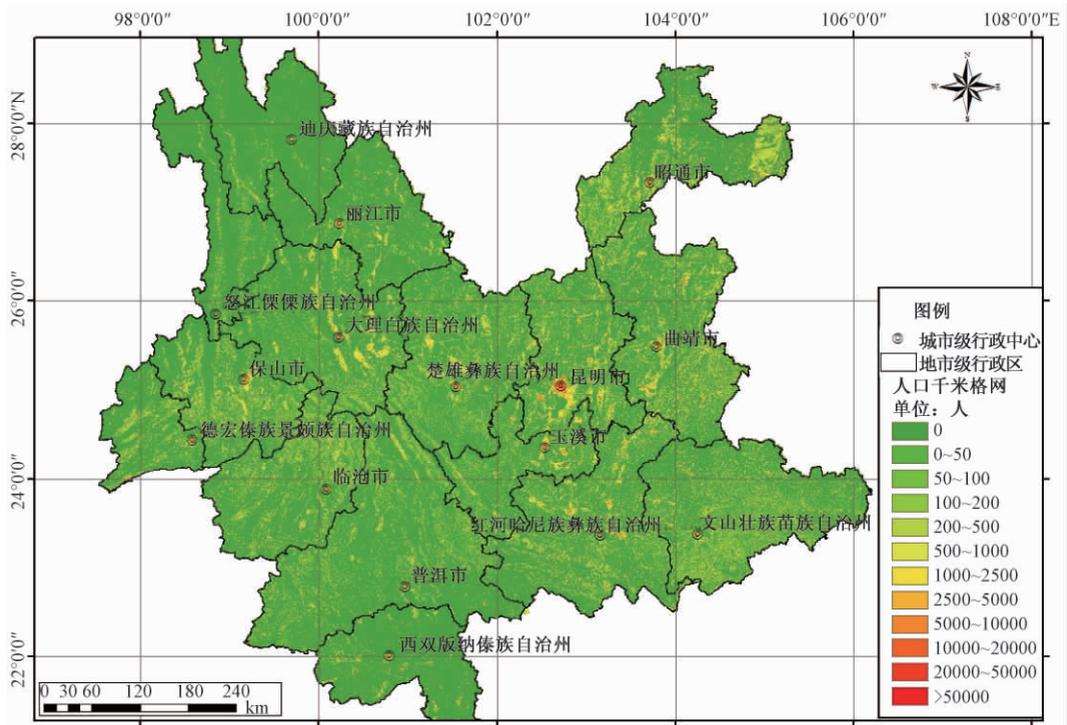


图8 云南省人口千米格网密度图

4 应用分析

在完成人口数据空间化的基础上,笔者以2013年3月3日云南省洱源县5.5级地震为例,将网格数据和地震烈度分布图进行空间叠加,通过ArcGIS空间分析统计工具获得受灾人口的估算结果,将结果与基于平均人口密度方法、土地利用方法估算结果和实际灾害损失评估结果进行对比,得到表7和图9。

表7 洱源5.5级地震灾区人口估算对比

| 烈度 | 方法 | 基于平均人口密度法统计 | 基于土地利用方法统计 | 基于本文研究方法统计 | 灾害损失评估结果* |
|----------|----|-------------|------------|------------|-----------|
| VII | | 26410 | 17414 | 22819 | 24885 |
| VI | | 171000 | 81432 | 98457 | 116703 |
| 合计 | | 197410 | 98846 | 126276 | 141588 |
| 占实际比例(%) | | 139.43 | 69.81 | 89.19 | — |

* 表中灾区实际人口评估数据来源于云南省地震局编制的《2013年3月3日洱源5.5级地震灾害直接经济损失评估报告》

从估算结果来看,基于平均人口密度方法估算值远远大于实际,基于土地利用方法估算值明显偏小,本文研究方法估算值与评估结果基本一致,估算人口占评估人口的89.19%,更接近评估的地震灾情,人口估算准确率满足灾情速判要求。

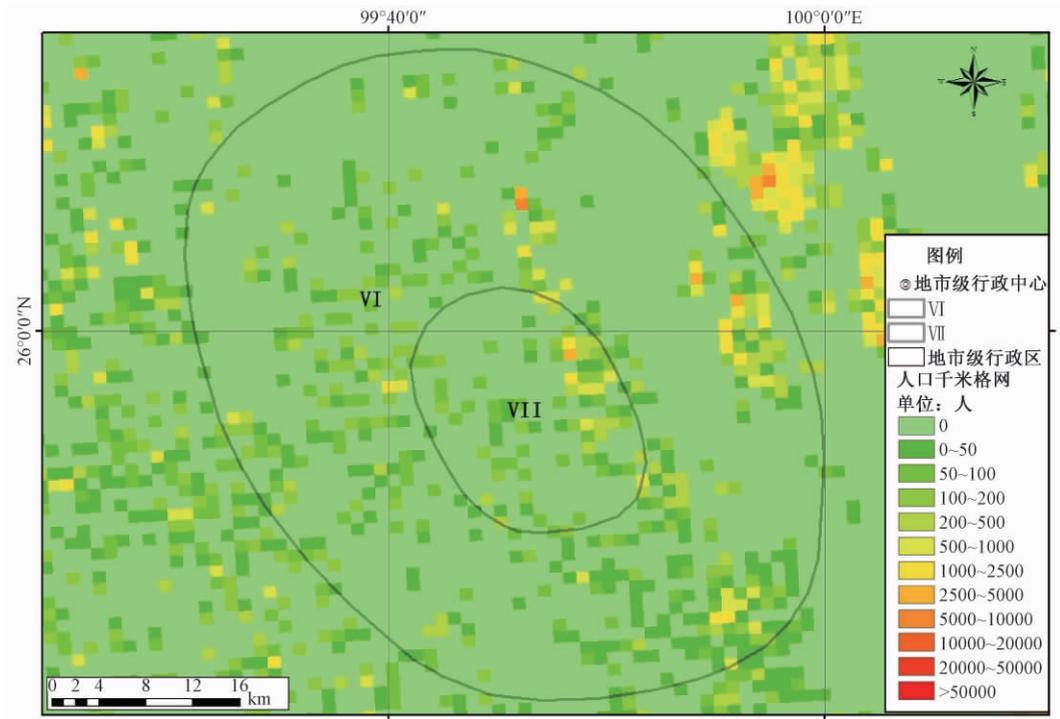


图9 2013年3月3日洱源5.5级地震灾区人口分布估算图

5 认识与讨论

本文在借鉴前人研究的基础上,结合多源数据融合理论和人口数据网格化模型研究方法,开展了云南省人口千米网格修正方法研究,有如下几点认识:

(1) 在人口分布影响因子分析方面,结合云南山地自然环境特征,利用GIS空间分析技术,选取合理的人口分布影响因子组合,对影响云南人口分布的地貌形态、坡度、地形起伏度、土地利用方向4个影响因子进行相关性分析,采用层次分析法确定影响因子权重系数,为后续千米网格模拟人口修正提供理论基础。

(2) 在人口网格化模拟方面,基于城市人口分布密度的衰减模型、城乡人口-面积统一模型,对云南人口统计数据进行空间化处理,形成区域本地化千米人口网格数据,对成果进行了精度检验分析,并以2013年3月3日云南洱源5.5级地震灾区人口分布估算为例,对几种模型估算结果与实际灾害损失评估结果进行了对比分析,结果表明,该方法估算结果与实际结果比较符合。

(3) 人口分布受地形、地貌、坡度、水系、气候等自然环境和交通、经济等社会环境因素共同作用,本文从理论研究和空间化实现两方面探讨了山地特征比较明显的云南人口分布状况,由于研究方法和数据源的限制,文中针对不同区域对人口分布影响未作充分研究,这些将对研究成果的推广应用产生一定的影响,有待进一步研究和完善。

参考文献

- 陈彦光、徐秋红,1999,区域城市人口一面积异速生长关系的分形几何模型——对 Nordbee1-Dutton 城市体系异速生长关系的理论修正与发展,《信阳师范学院学报(自然科学版)》,12(2),198~203。
- 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,《震灾防御技术》,7(3),273~284。
- 杜国明、张树文,2007,面向防洪救灾的人口统计数据空间化研究——以扶余县为例,《长江流域资源与环境》,16(2),265~268。
- 范一大、史培军,2004,行政单元数据向网格单元转化的技术方法,《地理科学》,24(1),105~108。
- 封志明、唐焰、杨艳昭等,2007,中国地形起伏度及其与人口分布的相关性,《地理学报》,62(10),1074~1082。
- 国务院人口普查办公室、国家统计局人口和就业统计司,2012,《中国 2010 年人口普查分乡、镇、街道资料》,北京:中国统计出版社。
- 国家统计局农村社会经济调查司,2013,《2012 中国建制镇统计年鉴》,北京:中国统计出版社。
- 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。
- 胡焕庸,1983,《论中国人口之分布》,北京:科学出版社。
- 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,《武汉大学学报(信息科学版)》,27(6),301~305。
- 吕安民、李成名、林宗坚等,2003,人口密度的空间连续分布模型,《测绘学报》,32(4),344~348。
- 吕安民、李成名、林宗坚等,2005,基于 GIS 的人口信息提取,《清华大学学报(自然科学版)》,45(9),1189~1192。
- 刘纪远、岳天祥、王英安,2003,中国人口密度数字模拟,《地理学报》,58(1),17~24。
- 廖顺宝、孙九林,2003a,基于 GIS 的青藏高原人口统计数据空间化,《地理学报》,58(1),25~33。
- 廖顺宝、孙九林,2003b,青藏高原人口分布与环境关系的定量研究,《中国人口·资源与环境》,13(3),62~67。
- 马宗晋、赵阿兴,1991,中国的地震灾害概况和减灾对策建议,《中国地震》,7(1),89~94。
- 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),783~791。
- 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,《地理学报》,59(2),283~292。
- 王春菊、汤小华,2004,基于 GIS 的福建省人口统计数据空间化,《地理与地理信息科学》,20(4),71~74。
- 王英安、岳天祥,2004,基于格网生成方法的山东省人口密度空间分布模拟,《曲阜师范大学学报》,30(3),91~93。
- 云南省地震灾害损失评定委员会、云南省地震局,2012,《云南地震灾害损失评估及研究(1992~2010)》,昆明:云南科技出版社。
- 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,《地理科学进展》,25(3),62~69。
- 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,《地理学报》,60(2),266~276。
- Clark C,1951,Urban population densities,《Journal of the Royal Statistical Society Series A (General)》,114(4),490~496。
- Harvey J T,2000,Small area population estimation using satellite imagery,《Statistical Transition》,4(4),611~633。
- Martin D,1989,Mapping population data from zone centroid locations,《Transactions of the Institute of British Geographers》,14,90~97。

Simulation of spatial distribution of the population of Yunnan based on the integration of multi-resource data

Cao Yanbo Li Yongqiang Li Min Li Zhaolong Wu Yanmei Li Zhirong

Earthquake Administration of Yunnan Province , Kunming 650224 , China

Abstract According to the theory of integration of multi-resource data , we refer to the demographic data of Yunnan Province released in 2011 after the Sixth National Population Census , to set the residential area as an indicator of population distribution in Yunnan. Then by using GIS to analyze the relation between the population distribution and the factors such as landform , topographic slope , amplitude of landform relief , and land-use , we get the weighing coefficient of the impact factor of population. Finally , we use the unified model of population and area to estimate the earthquake-affected population by way of kilometer-grid transformation and check the precision of the result. To test the practicability of our estimation , we calculate with various methods the population of the disaster area of the Eryuan , Yunnan , *M*5.5 earthquake on March 3 , 2013. By comparing the results from these methods , we find that the estimated population through the kilometer-grid transformation is highly-related with the real population; the correlation coefficient is over 0.89. So , the estimated population is reliable for the quick judgment of the disaster condition.

Key words: Earthquake Demographic data Space-based transformation Residential area Kilometer grid