

习聪望, 何少林, 陈文凯, 等. 面向地震应急的人口数据精度评价[J]. 华南地震, 2019, 39(2): 1-6. [XI Congwang, HE Shaolin, CHEN Wenkai, et al. Accuracy Evaluation of Population Data for Earthquake Emergency Response[J]. South China journal of seismology, 2019, 39(2): 1-6]

面向地震应急的人口数据精度评价

习聪望¹, 何少林², 陈文凯², 孙艳萍²

(1. 陕西省地震局, 西安 710068; 2. 中国地震局兰州地震研究所, 兰州 730000)

摘要: 人员伤亡评估是实际地震应急工作中最重要的内容之一, 而不同精度的人口数据对震后快速评估人员伤亡影响很大。以汶川地震为例, 研究甘肃陇南地区不同精度的人口数据, 基于 GIS 平台以高精度的居民地单元人口数据为参考, 比较居民点单元、行政村单元、乡镇单元、区县单元四种空间化方法人口数据, 对各种人口数据进行精度评价。研究结果表明: 随着烈度区面积的减小, 不同空间化方法获得的人口数据误差有变大的趋势, 人口数据中行政单元越大, 误差越大; 区县单元人口空间化与居民地人口空间化数据误差最大, 相对误差约为 144.78%; 居民点密度空间化人口数据误差最小, 相对误差为 15.38%。汶川地震甘肃陇南地区万人死亡率计算结果中, 区县单元人口空间化数据计算得到的万人死亡率与居民地人口数据误差最大, 绝对误差为 5.31, 居民点单元人口空间化数据计算得到的万人死亡率与居民地人口数据误差最小, 绝对误差为 0.70。

关键词: 地震应急; 人口; 精度; 陇南地区

中图分类号: P315; P609; X43

文献标志码: A

文章编号: 1001-8662(2019)02-0001-06

DOI: 10.13512/j.hndz.2019.02.001

Accuracy Evaluation of Population Data for Earthquake Emergency Response

XI Congwang¹, HE Shaolin², CHEN Wenkai², SUN Yanping²

(1. Shaanxi Earthquake Agency, Xi'an 710068, China; 2. Lanzhou Institute of Seismology, China Earthquake Administration, Lanzhou 730000, China)

Abstract: Casualty assessment is one of the most important contents in earthquake emergency, and the precision of population data has a great impact on the rapid assessment of casualties after earthquakes. Taking Wenchuan Earthquake as an example, different precision population data in Longnan area of Gansu Province is studied. Based on the GIS platform, the population data of high-precision residential units are taken as reference, and four spatial population data of residential units, administrative village units, township units and

收稿日期: 2018-07-19

基金项目: 国家重点研发计划(2017YFB0504104); 甘肃省科技支撑项目(1504FKCA065); 陕西省地震局启航与创新基金(QC201826)联合资助

作者简介: 习聪望(1991-), 女, 硕士, 研究方向为地震灾害评估。

E-mail: congwang1023@163.com.

通讯作者: 陈文凯(1983-), 男, 副研究员, 主要从事遥感和 GIS 技术应用研究。

E-mail: cwk2000@yeah.net.

district and county units are compared, and the accuracy of various population data is evaluated. The results show that with the decrease of intensity area, the error of population data obtained by different spatialization methods tends to increase. The larger the administrative unit in population data, the greater the error. The error of population spatialization data of district and county units and residential area is the largest, the relative error is about 144.78%. The error of population spatialization data of residential area density is the smallest, the relative error is 15.38%. Among the results of the death rate calculation of ten thousand people in Longnan area of Gansu Province after Wenchuan earthquake, the absolute error between the death rate of ten thousand people and the population data of residential areas calculated from the spatialized population data of district and county units is 5.31, and the error between the death rate of ten thousand people and the population data of residential areas calculated from the spatialized population data of residential areas is the smallest, and the absolute error is 0.70.

Keywords: Earthquake emergency; Population; Precision; Longnan region

地震灾害主要表现为人员和财产的损失^[1-9]。人口作为地震灾害主要承灾体之一,高精度的人口空间数据是省地震局应急中心基础数据库的重要支撑,为震后人员伤亡快速评估提供重要依据。目前,一些学者采用与人口分布有关的影响因子进行人口数据空间化,其中包括廖顺宝和孙九林^[10]从海拔高度、土地利用、主要道路和河流水系出发,分析了人口密度与这些因子的相关性,并发现数据融合的人口密度与各县市实际人口密度具有很好的一致性;刘纪远等^[11]采用格点生成法,从运行净第一性生产力空间分布、数字高程、城市规模和交通基础设施出发模拟了人口密度的空间分布规律;叶宇等^[12]利用土地利用、居民地分布、高程、坡度、铁路分布、公路分布和河流分布因子确定了栅格的人口密度权重值。董南等^[13]采用居住空间属性因子(如居住建筑斑块面积、斑块内建筑面积比重、建筑物层数等)作为人口分布影响因素,构建线性模型得到了人口分布矢量数据。一些学者利用空间化方法(如多元回归方法^[14]、空间插值法^[15-16])进行人口数据空间化获取高精度的人口空间数据。

以上的研究相对比较复杂,震后不易进行人员伤亡快速评估。精确的人口数据很难获取,而精度较低的人口数据会造成震后人员伤亡快速评估结果存在误差、震害分布粗略^[17]。地震应急工作者通常采用居民点密度法将行政区划人口数据空间化为公里格网数据^[18-21],而基于这种数据估算的不同烈度区域人口空间信息与实际存在一定差异。随着高精度人口数据研究的不断深入^[23-25],居民地人口数据被广泛认可为高精度人口数据。

本文基于 GIS 平台,以陇南地区作为研究区域对居民地单元、乡镇单元、区县单元采用面积权重法进行人口数据空间化,对居民点单元采用

核密度法进行人口数据空间化。探讨在汶川地震烈度区划下甘肃陇南地区居民地单元、居民点单元、行政村单元、乡镇单元和区县单元空间化人口数据的精度误差和汶川地震中陇南地区万人死亡率的精度误差,对无高精度人口数据的区域进行人口总量统计和地震灾情盲估灾区死亡人数提供误差依据并提高了评估结果的准确度,为指挥部合理地部署地震应急救援力量提供一定的参考价值^[26-32],为防灾减灾事业^[33-40]和地震应急救援工作^[41-43]提供误差较小的人口空间数据支撑。

1 研究区概况与数据来源

甘肃省东南部的陇南地区($104^{\circ}1' \sim 106^{\circ}35'E$, $32^{\circ}38' \sim 34^{\circ}31'N$)地处中国大陆二级阶梯向三级阶梯的过渡地带,地形复杂,山脉众多,跨越了秦巴山区、青藏高原、黄土高原三大地形。据统计 2014 年陇南地区总人口 283.23 万人,常住人口 258.71 万人^[44],总面积 2.79 万 km^2 。2008 年汶川 8.0 级地震甘肃陇南地区的部分的乡镇处于重灾区,其最高烈度达 IX 度(图 1),地震共造成人员死亡 337 人,其中烈度 VI 度区死亡 11 人, VII 度区死亡 184 人, VIII 度区死亡 103 人, IX 度区死亡 39 人。陇南地区海拔在 550~4187 m 之间,区域内复杂的地形地貌等自然环境影响着人口分布^[45],以四川汶川地震为例研究陇南地区人口空间化精度误差对于地震应急工作具有一定的实际指导意义^[41-43]。

本文数据主要有 2008 年汶川 8.0 地震的烈度分布、四川汶川地震陇南地区震害数据、陇南地区人口数据(甘肃省卫生和计划生育委员会提供)、陇南地区自然村数据和陇南行政区划数据(甘肃省地震应急基础数据库提供),其中人口数据包括 2013 年乡镇人口面状矢量数据、区县人口面状矢

量数据、行政村人口点状矢量数据;陇南地区自然村数据是自然村点状矢量数据;行政区划数据有陇南地区居民地面状矢量数据。

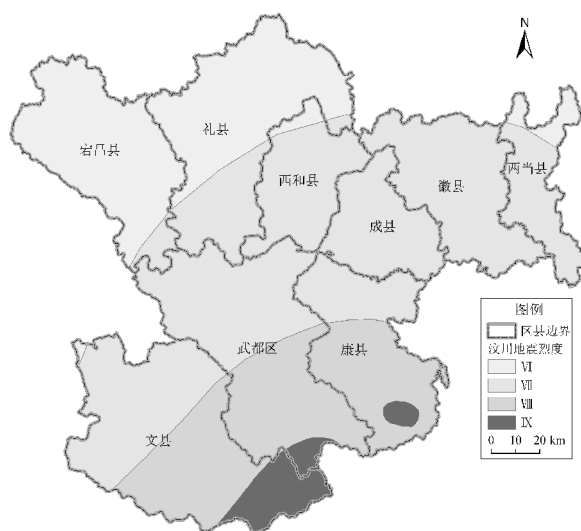


图1 2008年汶川8.0级地震甘肃陇南地区烈度分布图

Fig.1 The intensity distribution of the Wenchuan earthquake in Longnan region

2 不同研究单元

陇南地区2008年总人口272.62万人,2013年总人口281.46万人,2013年与2008年总人口相差8.84万人,约为2008年总人口的3.24%。由于2008年陇南地区乡镇人口数据无法获取,因此,可以以2013年乡镇人口来计算2008年汶川地震陇南地区死亡率。

2.1 居民地单元

由于一个行政村可能对应多个居民地,因此居民地与行政村之间的对应关系不明确;同时,行政村只有点数据,没有面状数据(行政边界)。因此,选择以乡镇实际居民地为研究单元,按照面积权重法将乡镇人口分配到居民地上,即

$$p_j = \frac{P_c}{S_c} * S_j \quad (1)$$

式(1)中, p_j 是居民地人口, P_c 是乡镇人口, S_c 是乡镇居民地总面积, S_j 是居民地面积。依据公式(1)可得到陇南地区居民地人口分布。然后,基于2008年四川汶川8.0级地震陇南地区烈度区得到不同烈度下人口总量并通过下面公式计算得到汶川地震陇南地区不同烈度下居民地单元的死亡率(表1):

$$D_{rl} = P_l / P_{rl} \quad (2)$$

式中: D_{rl} 是不同研究单元不同烈度下的汶川地震陇南地区人口死亡率; P_l 代表不同烈度下汶川地震陇南地区死亡人数; P_{rl} 代表不同研究单元不同烈度下人口总量; r 代表不同研究单元; l 代表不同烈度。

表1 汶川地震不同烈度下居民地单元人口总量及死亡率
Table 1 Unit population total and mortality rate of residential areas under different intensities of Wenchuan earthquake

地震烈度	人口总量/人	万人死亡率
VI	715 659	0.15
VII	1 697 220	1.11
VIII	277 302	3.59
IX	49 605	9.88

2.2 居民点单元

居民点单元采用核密度法进行人口数据空间化,是按照居民点密集程度对乡镇人口总量进行空间化。核密度法(Kernel density estimation),是一种用于估计概率密度函数的非参数方法,为独立同分布 F 的 n 个样本点,设其概率密度函数为 f ,核密度估计为以下:

$$\hat{f}_h(x) = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n K_h(x - x_i) = \frac{1}{nh} \sum_{i=1}^n K(x - x_i) \quad (3)$$

式(3)中, $K(\cdot)$ 为核密度方程, h 为阈值, n 为阈值范围内的点数。居民点密度分布在每个 x_i 点中心处最高,向外不断降低,当距离中心达到一定阈值 h 范围(窗口的边缘)处的密度为0。

假设一个区域总人口为 P ,该区域某级居民点总数为 N 个,如果某个网格 i 对应的居民点密度为 φ_i ,则该网格的人口密度 PD_i 计算公式为:

$$PD_i = P/N \times \varphi_i \quad (4)$$

利用各乡镇人口数据以及居民点点状矢量数据,采用核密度法生成网格大小为1000×1000 m的人口数据。然后,基于汶川地震陇南地区烈度的分布得到不同烈度下人口总量并通过公式2计算汶川地震陇南地区不同烈度下的死亡率(表2)

2.3 行政村单元

基于行政村矢量人口数据,统计汶川地震烈度区划下陇南地区人口,得到不同烈度下人口总量并通过公式2计算汶川地震陇南地区不同烈度下的死亡率(表3)。

2.4 乡镇单元

基于 ArcGIS 软件下 Split 工具按照面积权重

法, 利用下面公式计算统计出汶川地震乡镇单元不同烈度下的人口总量(表 4):

表 2 汶川地震不同烈度下居民点单元人口总量及死亡率
Table 2 Unit population total and mortality rate of residential settlements under different intensities of Wenchuan earthquake

地震烈度/度	人口总量/人	万人死亡率
VI	682 315	0.16
VII	1 704 981	1.08
VIII	281 948	3.65
IX	37 222	10.48

表 3 汶川地震不同烈度下行政村单元人口总量及死亡率
Table 3 Unit population total and mortality rate of administrative village under different intensities of Wenchuan earthquake

地震烈度/度	人口总量/人	万人死亡率
VI	701 022	0.16
VII	1 629 194	1.13
VIII	259 562	3.97
IX	41 468	9.40

$$P_v = \frac{P_c}{S_v} * S_l \quad (5)$$

式中, P_v 是乡镇单元不同烈度的人口, P_c 是乡镇总人口, S_v 是乡镇总面积, S_l 是不同烈度区域面积。

根据上述计算的结果, 利用公式 2 计算汶川地震陇南地区不同烈度下的死亡率(表 4)。

表 4 汶川地震不同烈度下乡镇单元人口总量及死亡率
Table 4 Unit population total and mortality rate of towns under different intensities of Wenchuan earthquake

地震烈度/度	人口总量/人	万人死亡率
VI	706 257	0.16
VII	1 690 699	1.09
VIII	282 305	3.65
IX	43 516	8.96

2.5 区县单元

基于 ArcGIS 软件下 Split 工具按照面积权重法, 利用下面公式计算统计出汶川地震区县单元不同烈度下的人口总量(表 5)。

$$P_k = \frac{P_d}{S_d} * S_l \quad (6)$$

式中, P_k 是区县单元不同烈度的人口, P_d 是区县总人口, S_d 是区县总面积。

根据上述计算的结果, 利用公式 (2) 计算汶川地震陇南地区不同烈度下的死亡率(表 5)。

表 5 汶川地震不同烈度区县单元人口总量及死亡率
Table 5 Unit population total and mortality rate of counties under different intensities of Wenchuan earthquake

地震烈度/度	人口总量/人	万人死亡率
VI	693 529	0.16
VII	1 535 084	1.20
VIII	501 981	2.05
IX	62 917	6.20

3 不同单元误差分析

依据上述单元人口数据空间化, 居民地单元人口空间化的方法是最接近实际情况。基于上述不同单元下人口数据空间化统计结果, 利用公式:

$$A_{ij} = \frac{|P_{ri} - P_{lj}|}{P_{lj}} \quad (7)$$

式中: A_{ij} 是不同研究单元与居民地单元精度误差; P_{ri} 是不同单元的人口总量; P_{lj} 是不同烈度下居民地人口总量, 计算区县单元、乡镇单元、行政村单元、居民点单元与居民地单元人口精度误差(表 6)。

烈度 VI 度下, 区县单元、乡镇单元、行政村单元、居民点单元统计的人口总量与居民地单元相差不大, 这是由于烈度 VI 度区域大, 很大程度上囊括了整个区县, 与居民地单元精度误差最小的是乡镇单元, 约为 1.46%; 烈度 VII 度下, 与居民地单元精度误差最小的是行政村单元, 约为 1.39%; 烈度 VIII 度下, 与居民地单元精度误差最小的是乡镇单元, 约为 1.54%; 烈度 IX 度, 在与居民地单元精度误差最大的是行政村单元, 约为 5.05%。总体上看, 随着烈度区面积的减小, 不同空间化方法获得的人口数据误差有变大的趋势, 人口数据中行政单元越大, 误差越大。在上述四种人口空间单元中乡镇单元是与居民地单元精度误差最大, 相对误差约为 144.78%, 居民点单元是误差最小的, 相对误差约为 15.38%。因此很多学者采用居民点核密度法计算的人口公里网格数据作为人口空间数据^[46-47]。

基于上述不同单元下人口数据空间化统计结果, 利用公式:

$$A_{rj} = |D_{ri} - D_{lj}| \quad (8)$$

式中: A_{rj} 是不同研究单元与居民地单元不同烈度下万人死亡率之差; D_{ri} 是不同烈度下研究单元的死亡率; D_{lj} 是不同烈度下居民地死亡率, 基于上述不同单元下汶川地震陇南地区不同烈度下死亡率统计结果, 计算出区县单元、乡镇单元、

行政村单元、居民点单元万人死亡率与居民地单元万人死亡率精度误差 (表 7)对比可以看出,在烈度Ⅵ度下区县单元和居民点单元万人死亡率与居民地单元绝对误差为 0.01,乡镇单元和行政村单元万人死亡率与居民地单元绝对误差为 0.00;在烈度Ⅶ度下区县单元与居民地单元万人死亡率精度误差最大,绝对误差为 0.08,行政村单元最小,绝对误差为 0.02;在烈度Ⅷ度下区县单元与居民地单元万人死亡率精度误差最大,绝对误差为 1.54,乡镇单元和居民点单元误差最小,绝对误差为 0.06;在烈度Ⅸ度下区县单元与居民地单元万人死亡率相差最大,绝对误差为 3.68,行政村精度误差最小,绝对误差为 0.47。总体上看,在上述四种单元人口空间化中由区县单元人口空间化计算得到的万人死亡率与居民地误差最大,绝对误差为 5.31;而居民点单元是最小的,绝对误差为 0.70。

表 6 对比不同单元与居民地单元误差
Table 6 Error comparison of different units and residential units

地震烈度/度	区县单元误差/%	乡镇单元误差/%	行政村误差/%	居民点误差/%
Ⅵ	3.24	1.46	2.19	4.80
Ⅶ	7.08	2.34	1.39	3.20
Ⅷ	75.08	1.54	9.47	1.66
Ⅸ	59.38	10.23	5.05	5.71
总计	144.78	15.57	18.09	15.38

表 7 对比不同单元与居民地单元万人死亡率误差
Table 7 Error comparison of mortality rate of ten thousand people in different units and residential units

地震烈度	区县单元误差/%	乡镇单元误差/%	行政村误差/%	居民点误差/%
Ⅵ	0.01	0.00	0.00	0.01
Ⅶ	0.08	0.03	0.02	0.03
Ⅷ	1.54	0.06	0.38	0.06
Ⅸ	3.68	0.92	0.47	0.60
总计	5.31	1.00	0.87	0.70

4 结语

本文考虑地震人员伤亡快速评估时人口数据获取的局限性,以四川汶川 8.0 级地震为实例,基于 GIS 平台对乡镇单元、区县单元、居民地单元采用面积权重法进行人口数据空间化处理,居民点单元采用核密度法进行人口数据空间化处理,以高精度的居民地单元人口为参考,探讨了陇南地区乡镇单元、区县单元、行政村单元、居民点单元与居民地单元人口精度误差以及计算统计汶川地震不同烈度下不同研究单元死亡率差异。

(1)基于 GIS 平台以高精度的居民地单元人口数据为参考,对居民点单元、行政村单元、乡镇单元、区县单元四种人口空间化数据精度对比发现,总体上随着烈度区面积的减小,不同空间化方法获得的人口数据误差有变大的趋势,人口数据中行政单元越大,误差越大;区县单元人口空间化与居民地人口空间化数据精度误差最大,相对误差为 144.78%;居民点密度空间化精度误差最小,相对误差为 15.38%。

(2)以汶川地震为例计算不同烈度下陇南地区

万人死亡率发现,在区县单元、乡镇单元、行政村单元、居民点单元人口空间化方法中区县单元人口空间化数据计算得到的万人死亡率与居民地人口数据误差最大,绝对误差为 5.31;居民点单元人口空间化数据计算得到的万人死亡率与居民地人口数据误差最小,绝对误差约 0.70,上述结果可以提高低精度人口数据进行震后快速评估人员伤亡结果的准确度。

(3)本文以居民地单元人口空间化数据的作为实际参考,而居民地单元空间化计算的人口并不能完全符合实际情况,因此在计算人口总量和死亡率时存在一定的误差。

参考文献:

[1] 魏本勇,聂高众,苏桂武,等. 地震压埋人员评估的研究进展[J]. 灾害学,2017,32(1):155-159.
[2] 周洪建. 我国灾害评估系统建设框架与发展思路——基于尼泊尔实地调查的分析[J]. 灾害学,2017,32(1):166-171.
[3] 陈升,李兆洋,张建. 汶川地震、芦山地震对灾民影响差异性比较研究[J]. 灾害学,2017,32(3):150-158.

- [4] 章熙海,万群,吴珍云,等.地震应急救援能力城乡差异性评价指标研究[J].灾害学,2017,32(3):164-170.
- [5] 陈升,李兆洋,张建.汶川地震、芦山地震对灾民影响差异性比较研究[J].灾害学,2017,32(3):150-158.
- [6] 戴胜利,李迎春.东日本9级大地震次生灾害的传导机理及管理优化研究[J].灾害学,2017,32(4):162-168.
- [7] 吴义满.自然灾害救援过程中生命体征变化趋势分析仿真[J].灾害学,2018,33(3):175-178.
- [8] 吴义满.生命探测信号在强震作用下的波动特性分离[J].灾害学,2018,33(2):19-21, 44.
- [9] 肖龙.我国要援助者信息收集、保存与共享的可行性探析——基于区域防灾减灾信息管理的视角[J].灾害学,2018,33(2):160-164.
- [10] 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.
- [11] 刘纪远,岳天祥,王英安,等.中国人口密度数字模拟[J].地理学报,2003,58(1):17-24.
- [12] 叶宇,刘高焕,冯险峰.人口数据空间化表达与应用[J].地球信息科学,2006,8(2):59-65.
- [13] 董南,杨小唤,蔡红艳.基于居住空间属性的人口数据空间化方法研究[J].地理科学进展,2016,35(11):1317-1328.
- [14] M Langford, J T Harvey. The Use of Remotely Sensed Data for Spatial Disaggregation of Published Census Population Counts [C]//Remote Sensing and Data Fusion Over Urban Areas, IEEE/ISPRS Joint Workshop,2001:260-264.
- [15] 吕安民,李成名,林宗坚,等.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),2002,27(3):301-305.
- [16] 范一大,史培军,辜智慧,等.行政单元数据向网格单元转化的技术方法[J].地理科学,2004,24(1):105-108.
- [17] 安基文,徐敬海,聂高众,等.高精度承灾体数据支撑的地震灾情快速评估[J].地震地质,2015,37(4):290-306.
- [18] 闫庆武,卞正富,张萍,等.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,2011,27(5):95-98.
- [19] 江辉仙,聂名萱,吴娟,等.基于避灾人口预测的城市综合体应急疏散仿真试验[J].灾害学,2017,32(4):184-188.
- [20] 邓砚,孙磊,郭永,等.震后应急期生命线工程抢修人员优化调配模型——以通讯设施抢修为例[J].灾害学,2018,33(2):181-187.
- [21] 马云佳,赵秀娟,秦连杰,等.多约束多目标的灾害避难所选址优化研究——以海南省文昌市为例[J].灾害学,2018,33(1):218-224.
- [22] 张宝军.2003-2013年汶川地震极重灾区夜间灯光年际变化分析[J].灾害学,2018,33(1):12-18, 22.
- [23] 李金香,李亚芳,李帅,等.面向地震应急准备的居民地遥感提取及量化分析[J].地理科学,2016,36(11):1743-1750.
- [24] 陈振拓,李志强,丁文秀,等.面向防震减灾的人口数据空间化研究——以2007年宁夏地震灾区为例[J].震灾防御技术,2012,7(3):273-284.
- [25] 蔡宗文,危福泉,方瑞峰,等.基于居民地分布的震害快速评估方法[J].中国地震,2007,23(4):410-415.
- [26] 周德红,李文,冯豪,等.地震应急管理行为模式及其绩效评估[J].灾害学,2017,32(1):172-176.
- [27] 孙佰清,朱晓鑫,洪鑫磊.基于合作博弈理论的应急物流协同机制研究[J].灾害学,2017,32(2):181-184.
- [28] 张永领,马娇.混沌粒子群算法在应急资源调度中的应用[J].灾害学,2017,32(2):185-189.
- [29] 王之乐,张纪海.基于多灾种视角的应急物资需求紧迫性分级研究——以地震灾害链全过程应急管理为例[J].灾害学,2017,32(2):190-195.
- [30] 武文霞,吴超,李孜军.城市群应急资源共享的基础性问题研究[J].灾害学,2017,32(4):230-234.
- [31] 张磊.面向地震灾情时序变化的应急救援物资需求动态预测研究[J].灾害学,2018,33(3):161-164.
- [32] 徐爱慧,陈虹,王巍.美国突发事件搜救队伍分类分级及其对我国救援队伍建设的启示[J].灾害学,2018,33(1):168-174.
- [33] 钱洪伟.城市应急避难场所灾时运营研究进展与展望[J].灾害学,2017,32(1):160-165.
- [34] 杨桂英.应急避难场所灾时运营中的灾民分类管理探讨[J].灾害学,2017,32(3):176-182.
- [35] 杨桂英.应急避难场所灾时运营中的灾民注册管理研究[J].灾害学,2017,32(4):179-183.
- [36] 马运佳,赵秀娟,秦连杰,等.地震应急避难所选址单目标与层次模型对比研究——以山东荣成市为例[J].灾害学,2017,32(4):189-194.
- [37] 胡睿,叶涛,张云霞.中央级自然灾害生活救助资金标准估算研究[J].灾害学,2018,33(3):165-174.
- [38] 刘丽云.考虑自然灾害的房地产物业管理应急疏散模型设计[J].灾害学,2018,33(3):179-183.
- [39] 张孝奎.防灾减灾视角下的城市空间布局规划研究——以唐山市为例[J].灾害学,2018,33(1):89-95.
- [40] 王丹丹,徐伟.自然灾害应急安置点设置模式初探[J].灾害学,2018,33(1):190-195.
- [41] 张裕彬.应急指挥体系风险管控与体系完善研究[J].灾害学,2018,33(3):184-189.
- [42] 郑航.云计算技术在地震受灾区域的紧急通信应用研究[J].灾害学,2018,33(3):190-193,200.
- [43] 吴超,黄淋妃.城市应急研究综述[J].灾害学,2017,32(4):138-145.
- [44] 甘肃发展年鉴编委会.甘肃发展年鉴2015[M].北京:中国统计出版社,2015.
- [45] 周亮,徐建刚,林蔚,等.秦巴山连片特困区地形起伏与人口及经济关系[J].山地学报,2015,33(6):742-750.
- [46] 刘艳,马劲松.核密度估计法在西藏人口空间分布研究中的应用[J].西藏科技,2007,168(4):8-9,27.
- [47] 裴惠娟,周中红,孙艳萍,等.甘肃省人口空间分布特征分析[J].西北师范大学学报(自然科学版),2016,52(5):95-100.