

Risk Assessment of People Trapped in Earthquakes Based on Km Grid: A Case Study in Zhaotong City, Yunnan, China

Benyong Wei¹, Xiang Dong², Yuling Ma³

¹Institute of Geology, China Earthquake Administration, Beijing 100029, China

²Shandong Earthquake Agency, Jinan 250014, China

³National disaster reduction center of the Ministry of civil affairs, Beijing 100124, China

基于公里格网的地震人员埋压风险评估—以云 南昭通市为例

魏本勇¹, 董翔², 马玉玲³

¹中国地震局地质研究所, 北京 100029, 中国

²山东省地震局, 济南 250014, 中国

³民政部国家减灾中心, 北京 100124, 中国

Abstract

Risk assessment of the trapped personnel location is the important basis for earthquake disaster risk preparation and emergency search and rescue in an earthquake. Using a constructed assessment model, we assessed the risk of people trapped in the collapsed buildings caused by an earthquake in Zhaotong city, Yunnan province, based on km grid data. Results showed that, the highest risk areas of trapped personnel distribution were mainly located in Zhaoyang district, Zhenxiong county and Weixin county. The higher the occupancy population density and the area of collapsed buildings are, the higher the risk level of people trapped. The grid-based assessment of people trapped in earthquakes, can meet the requirements of key search and rescue zone identification and rescue forces allocation in the early stage of earthquake emergency. In future, as the abundant and improvement of basic data, it is possible to

provide more information and suggestions for earthquake disaster risk preparation and emergency search and rescue by using grid-based risk assessment of trapped people in earthquakes.

Keywords: earthquake disaster; casualty; Km grid; risk assessment; Yunnan

摘要

地震灾区人员埋压风险的评估, 可以为政府针对性的防震减灾救援防范提供重要的科学依据。本文基于公里格网数据, 通过考虑建筑物倒塌率、在室率和自救互救率, 构建了地震埋压人员分布评估模型, 并对云南省昭通市的地震人员埋压风险进行了评估。结果表明, 昭通市总体的区域地震人员埋压高风险区主要位于昭阳区、镇雄县和威信县。全市人员埋压的高风险点域, 是地震发生时在室人口最为密集和建筑物倒塌面积最高的区域, 也是昭通市未来地震预防与减灾, 及震后地震应急救援的重点区域。未来, 随着基础数据的丰

富与完备, 基于公里格网的地震埋压人员风险评估, 可以为地震预防与应急救援工作提供更加准确和有效的参考。

关键词: 地震灾害; 人员伤亡; 公里格网; 风险评估; 云南

1. 引言

中国是一个地震灾害频发的国家。快速挽救生命, 最大限度地减少人员伤亡, 是震后应急救援工作的首要之重。加强对地震灾区人员埋压风险的评估研究, 不仅可以为政府进行震后应急救援力量和资源的合理调配提供重要的依据, 也可以最大限度地提高被埋压者的生存概率, 减少地震人员伤亡。

目前国内外关于地震灾害人员损失风险的评估研究, 主要集中于人员伤亡损失评估方面^[1-5]。近几年, 随着地震应急工作的需要, 也有一些研究开始关注地震灾害中的人员埋压风险^[6-7]。最近, 通过对地震人员埋压主要影响因素的梳理分析, 我们发现, 建筑物倒塌和人员在室, 是造成地震中建筑倒塌人员埋压的两个先决条件^[8]。通过综合考虑地震危险性、建筑物易损性、人口密度、在室率及自救互救等多个方面, 我们构建了一个针对建筑物倒塌引起的地震埋压人员分布评估模型^[9]。虽然目前已有的一些关于地震灾害中人员埋压风险的研究, 但仍需大量实证研究来完善其理论与应用方法体系。本文在前期研究的基础上, 基于公里格网数据, 对云南省昭通市设定地震影响下的人员埋压风险进行了评估, 以期为当地地震风险预防及应急救援策略的制定提供实证参考。

2. 研究区概况

云南省昭通市位于云南省东北部, 地势西南高、东北低, 属典型的山地构造地形, 山高谷深。市内平均海拔 1685 m, 最高海拔 4040 m, 最低海拔 267m。2010 年末总人口约 521.3 万, 其中有苗、彝、回等 23 个少数民族 54.2 万人。全市将近 80% 的乡村居民点属于山区坡地聚落。由于地处乌蒙山贫困片区, 全市 11 个县/区中有 10 个县/区为国家重点扶贫县。

昭通是云南省地震灾害频发、灾害损失最为严重的区域之一。根据统计, 20 世纪以来, 昭通市共发生破坏性地震 19 次, 其中 Ms 5.5 级及以上地震 9 次, Ms 6.5 级及以上地震 3 次, 最大震级地震为 1974 年 5 月 11 日发生在昭通大关北的 Ms 7.1 级地震。在 1900—2012 年的 100 多年间, 昭通地区发生的地震分别占云南地区 Ms 5.0—5.9 级地震的 8.81%, Ms 6.0—6.9 级地震的 3.64%, Ms 7.0 级以上地震的 9.09%。

3. 方法与数据

3.1 数据资料

前期研究表明, 公里格网尺度的地震埋压人员分布评估结果, 更有助于对比区域差异, 判定重点搜救区域, 从而为地震灾害风险防范与震后应急救援提供更精确地指导。因此, 本文选择公里格网 (1km×1km) 尺度作为基本评估单元。基础数据资料包括公里格网的昭通市人口分布数据和不同结构的建筑物分布数据, 其中人口数据来自 2010 年六普人口普查数据, 建筑物数据是来自依据 2010 年住房普查及现场抽样调查分析的内部研究成果。

3.2 地震影响情景的确定

地震危险性程度是进行地震灾害风险评估的基础。通常用地震烈度、震级、震源深度、地震动加速度等参数来表征地震发生时的影响范围和破坏程度。由于地震烈度是目前对建筑物进行震前抗震设计与震后破坏程度调查的主要依据, 因而本文选择烈度来表征地震影响程度。另外, 根据前期研究^[9], 本文将主要评估地震烈度 IX 度和 VIII 度区影响下的昭通市地震埋压人员分布风险。

(1) 建筑物倒塌率的确定

为了准确地反映云南地区的建筑物震害破坏特点, 我们采用周光全等^[10]通过统计分析 1992—2003 年 50 次历史地震不同烈度区的破坏比、损失比和震害指数, 而给出的云南地区房屋建筑的震害矩阵。同时, 参考以往研究, 我们将震害等级分类中的毁坏率作为倒塌率分析 (表 1)。

表 1. 云南地区不同结构房屋建筑物倒塌率 (%)

地震烈度	结构类型			
	钢筋混凝土	多层砌体	单层民宅	其他
VI	0.00	0.00	0.02	0.01
VII	0.00	0.13	0.06	0.24
VIII	0.00	0.71	0.95	3.29
IX	0.00	9.20	10.26	11.84

(2) 人员在室率的确定

在一天当中的不同时间段内，建筑物内的人员在室率存在明显差异，而且这种差异受工作日和节假日的影响也表现出不同。因而，地震发生时间对于灾区人员损失程度有着重要的影响。本文假定地震发生在节假日的 16 时左右，参考前期研究^[6, 9, 11]，可以得到地震发生时当地居民的平均在室率约为 0.75。

(3) 灾民自救互救率的确定

灾民自救互救程度是影响震害中人员伤亡程度的重要因素。根据对以往震例的统计显示，震后通过自救互救而逃生的人员比例达到 85%—90%左右^[12-14]。考虑到区域差异性，本文保守性的将自救互救率设定在 85%的水平。

3.3 评估模型

在前期研究中，我们基于关键影响因素分析，给出了一种评估地震埋压人员分布的方法和模型。该模型不仅考虑了不同建筑物结构在特定地震烈度下的倒塌率，还考虑了地震发生时毁坏建筑物内的在室率以及灾民的自救互救率。对 2014 年云南鲁甸 6.5 级地震的评估验证表明，模型评估得到的鲁甸地震人员埋压分布与实际调查结果基本一致；模型评估结果能够满足地震初期应急管理部门对于地震应急救援需求和资源调配的需要^[9]。因而，本文将以前期构建的模型方法为基础，对研究区内的地震人员埋压风险进行评估。其具体评估模型如下：

$$B_{peop} = (1 - \delta) \times R_d \times P(t) \times \sum \sum B_s \times L_s(t) \quad (1)$$

其中， B_{peop} 为评估单元内的埋压人数； R_d 为评估单元内单位建筑面积的平均人口

密度； $P(t)$ 为地震发生 t 时刻，评估单元内倒塌建筑物的平均人员在室率； B_s 为评估单元内 s 类建筑物的总面积； $L_s(I)$ 表示在烈度 I 下评估单元内 s 类建筑物的倒塌率； δ 代表地震后的自救互救率。

4. 结果分析

4.1 建筑物倒塌风险分布

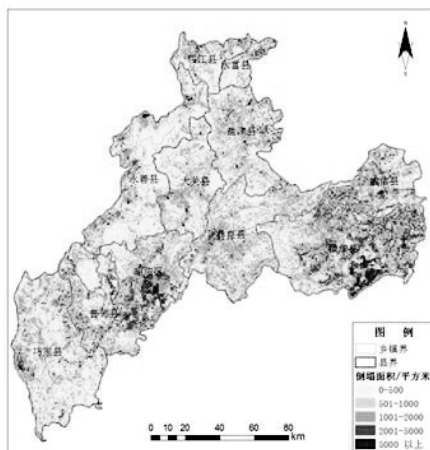
图 1 展示了地震情景下云南昭通市房屋建筑物的倒塌风险分布。从图中可以看出，在地震烈度 VIII 度影响下，昭通市总体的建筑物倒塌风险较低，平均每平方公里的建筑物倒塌面积在 500 m² 以下。相对倒塌风险较高的区域主要集中于昭阳区凤凰街道中西部、旧圃镇，镇雄县泼机镇、中屯乡、塘房镇，鲁甸县文屏镇北部和茨院乡南部的交接地区，总体上建筑物的抗倒塌水平较高（图 1(a)）。然而，当地震烈度达到 IX 度区影响时，昭通市总体的建筑物倒塌风险显著升高（图 1(b)），除少数乡镇外，大部分乡镇平均每平方公里的建筑物倒塌面积都在 1000 m² 以上。尤其昭阳区中南的凤凰街道、旧圃镇、永丰镇、守望乡，镇雄县东南的泼机镇、中屯乡、乌峰镇、塘房镇，鲁甸县东北的文屏镇、茨院乡、桃源乡等，是建筑物倒塌风险最高的地区。从中也可以看出，昭通市昭阳区中南部、鲁甸县东北部、镇雄县及威信县是建筑物倒塌风险相对较高的区域，尤其是在面临 IX 度及以上烈度水平的地震冲击时更容易造成大范围的房屋倒塌或毁坏。

4.2 震时在室人口分布

图 2 展示了设定地震发生时昭通市的在室人口分布。从中可以看出，昭通市各地区的人口分布并不均匀，其中，昭阳区中南的凤凰街道、旧圃镇、永丰镇、守望乡，镇雄县东南的泼机镇、中屯乡、乌峰镇、塘房镇，鲁甸县东北的文屏镇、茨院乡、桃源乡，彝良县角奎镇和威信县扎西镇是单位在室人口密度相对最高的地区。这也意味着如果这些地区发生建筑物倒塌，其埋压的在室人口也将最多。



(a) VIII度区覆盖



(b) IX度区覆盖

图1 云南昭通市建筑物倒塌风险分布

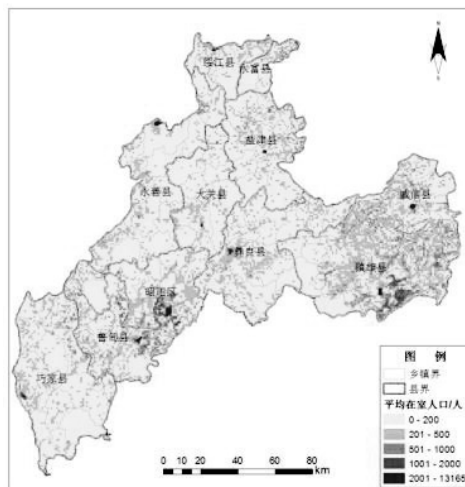


图2 设定地震发生时昭通市在室人口分布

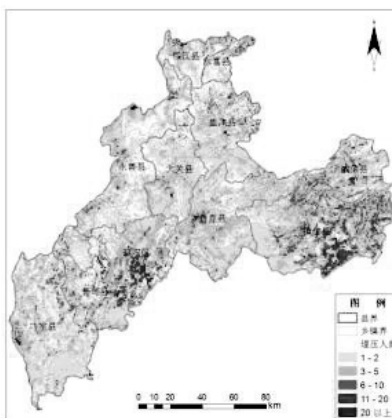
4.3 地震人员埋压风险

图 3 展示了在设定的地震影响区下，云南昭通市由于房屋建筑物倒塌而引起的人员埋压风险分布情况。在地震烈度Ⅷ度影响下（图 3(a)），首先从区县层级来看，昭阳区和镇雄县是人员埋压风险相对较高的地区；而从乡镇角度看，昭阳区凤凰街道西中部、镇雄县乌峰镇中部、彝良县角奎镇北西部、鲁甸县文屏镇北部地区、威信县扎西镇中北部、永善县溪洛渡镇北西部、绥江县中城镇北中部、盐津县盐井镇中东部，是全市人员埋压的高风险点。在烈度Ⅸ度区影响下（图 3(b)），昭通市总体的区域人员埋压风险与Ⅷ度影响下的风险

分布是基本一致的，但是其风险程度显著高于Ⅷ度影响下的风险水平。从区县层级来看，昭阳区、镇雄县和威信县是地震人员埋压风险相对最高的区域；从乡镇角度看，昭阳区凤凰街道西中部、旧圃镇大部、守望乡中北部，镇雄县泼机镇大部、中屯乡大部、乌峰镇中部、塘房镇南部，彝良县角奎镇中西部，鲁甸县文屏镇西北部、茨院乡南部、桃源乡西部、龙树乡中部（南北条带状），威信县扎西镇中北部，永善县溪洛渡镇北西部，绥江县中城镇北中部，巧家县白鹤滩镇西南部，盐津县盐井镇中东部等，是全市人员埋压的高风险点域，也是未来地震预防与减灾，及震后地震应急救援的重点区域。



(a) Ⅷ度区覆盖



(b) Ⅸ度区覆盖

图 3 云南昭通市地震人员埋压风险分布

5. 结论与讨论

本文基于公里格网数据,利用构建的地震埋压人员风险评估模型,对云南省昭通市的地震人员埋压风险进行了评估。结果表明,无论是在烈度IX度区,还是VIII度区影响下,昭通市总体的区域人员埋压风险分布是基本一致的,但是烈度IX度区影响下的风险程度显著高于VIII度影响下的风险水平。总体看,昭阳区、镇雄县和威信县是地震人员埋压风险相对最高的区域。从乡镇角度看,昭阳区凤凰街道西中部、旧圃镇大部、守望乡中北部,镇雄县泼机镇大部、中屯乡大部、乌峰镇中部、塘房镇南部,彝良县角奎镇中西部,鲁甸县文屏镇西北部、茨院乡南部、桃源乡西部、龙树乡中部,威信县扎西镇中北部等,是全市人员埋压的高风险点域。通过文中分析也可以看出,这些高风险点域也是地震发生时在室人口最为密集和建筑物倒塌面积最高的区域。因而,这些区域也应该是昭通市未来地震预防与减灾,及震后地震应急救援的重点区域。

震后影响建筑物倒塌埋压人员的因素是多方面的,且具有一定的不确定性。房屋倒塌和人员在室是其中两个关键的先决条件。除此之外,灾区民众的自救互救能力、人口流动性等因素也是影响人员实际埋压程度的重要因素。因此,严格强调压埋人员数量的精确性并不现实,且必要性也不大。根据前文研究,人口分布和建筑物数据的详细与准确程度,将直接影响着评估结果的准确性。一般来说,高空间分辨率的埋压人员分布评估结果,将更有利于震后应急救援力量和资源的目标性调配。然而,高空间分辨率的评估,需要高精度的基础数据,而这在实际应用中往往难以获得。依据我们的研究,公里格网尺度的空间分辨率,已能够满足对地震灾害埋压人员高风险区的判断需求,可以为地震灾害风险防范及震后应急救援提供方向性指导^[9]。

最后,由于基础数据限制,本研究在评估过程中也存在一些不足及需要进一步完善的地方。首先,地震发生时的地区平

均在室率,与各评估单元实际的人口流动情况存在一定差别。其次,地震灾害中建筑物毁坏率并不完全等同于倒塌率,尤其对于钢筋混凝土结构的建筑物。另外,在研究中,受基础数据的限制,我们对于人口和建筑物分布没有区分农村和城市的差别,这也将对最终评估结果的准确性产生影响。未来,随着基础数据的丰富与完备,基于公里格网的地震埋压人员风险评估,将可以为区域震害风险防范与震后的应急救援响应提供更加准确的指导与参考。

致谢

本研究得到了中国地震局灾情获取与高精度评估创新团队项目(JH-16-49)、大中城市地震灾害情景构建重点专项项目(2016QJGJ13)和中国地震局地质研究所基本科研业务专项(IGCEA1406)的共同资助。

参考文献

- [1] 马玉宏,谢礼立.地震人员伤亡估算方法研究.地震工程与工程振动,2000,9(3):140-147.
- [2] Feng TN, Hong ZH, Wu HJ, et al. Estimation of earthquake casualties using high-resolution remote sensing: a case study of Dujiangyan city in the May 2008 Wenchuan earthquake. *Natural Hazards*, 2013, 69,1577-1595.
- [3] 李媛媛,苏国峰,翁文国等.地震人员伤亡评估方法研究.灾害学,2014,29(2):23-227.
- [4] Park JH, Shin M, Cho GH. A dynamic estimation of casualties from an earthquake based on a time-use survey: applying HAZUS-MH software to Ulsan, Korea. *Natural Hazards*, 2016, 81,289-306.
- [5] Corbane C, Hancilar U, Ehrlich D, et al. Pan-European seismic risk assessment: a proof of concept using the earthquake loss estimation routine. *Bulletin of Earthquake Engineering*, 2017, 15, 1057-1083.

- [6] 肖东升,黄丁发,陈维锋. 基于地震埋压率的在室率先验性研究.自然灾害学报, 2009, 18(4):92—97.
- [7] 余世舟,张令心,杨明儒.地震埋压人员分布评估方法初探.地震工程与工程振动, 2015, 35(2):138—143.
- [8] 魏本勇, 聂高众, 苏桂武等.地震灾害埋压人员评估的研究进展.灾害学, 2017, 32(1): 155—159.
- [9] Wei BY, Nie GZ, Su GW, et al. Risk assessment of people trapped in earthquake based on km grid: a case study of the 2014 Ludian earthquake, China. Geomatics, Natural Hazards and Risk,2017, 8(2): 1289-1305.
- [10] 周光全,谭文红,施伟华等. 云南地区房屋建筑的震害矩阵. 中国地震, 2007, 23(2): 115-123.
- [11] 田丽莉. 地震灾害人员伤亡影响因素分析及人员伤亡估算公式. 北京: 首都经济贸易大学, 2012.
- [12] 修济刚. 防灾减灾教育宣传要注重实效. 城市与减灾, 2004, (4):2-3.
- [13] 李平. 从九江地震谈减灾应对. 城市与减灾, 2006,8(2):9-12.
- [14] 曲国胜, 黄建发. 汶川特大地震灾害救援与我国救援体系建设的思考. 四川行政学院学报, 2010, (3): 44-46.