

郑通彦,文鑫涛,陈雅慧,等,2021. 中国大陆地震灾害时空分布特征及地形影响因素分析. 中国地震,37(3):599~609.

# 中国大陆地震灾害时空分布特征 及地形影响因素分析

郑通彦 文鑫涛 陈雅慧 李华玥

中国地震台网中心,北京 100045

**摘要** 基于 1990—2020 年地震灾害损失(包括经济损失、人员死亡和人员受伤)数据,分析了过去 30 年中国大陆地区地震灾害损失的时空分布特征。采用常规标准化方法分析了 1990—2019 年我国大陆地区地震灾害经济损失的时间分布,认为地震灾害在过去 30 年间逐渐由人身安全威胁向经济财产威胁转变。通过整理分析 2011—2020 年各省地震灾害的空间分布特征,认为有必要进一步强化四川、云南、甘肃的抗震设防工作,提升其抵御灾害地震风险的能力;在中东部经济较发达地区,应尤其关注地震造成的间接经济损失和人员受伤情况。通过各省的提取地形坡度因素,采用地统计方法定量计算地震损失与地形坡度因素间的空间相关性系数,认为在以自然条件为基础分析地震灾害的过程中,因震致死与地形的空间相关性不如经济损失和因震致伤高,结合过去 30 年地震灾害的时间分布特征,得出因震致死和因震致伤总体保持平稳,但经济损失急剧增长,且增长趋势越来越显著,这主要是由经济发展等社会人文因素导致。

**关键词:** 时空分布特征 常规标准化方法 地统计分析 空间相关系数

[文章编号] 1001-4683(2021)03-0599-11 [中图分类号] P315 [文献标识码] A

## 0 引言

地震灾害给人类社会造成了巨大的生命财产损失。伴随灾害性地震事件的发生,多种诱发地质灾害,如滑坡、泥石流、地裂缝、地面沉降等,往往造成严重的次生灾害损失(张春山等,2000;孙崇绍等,1997),仅 20 世纪有记录的地震滑坡灾害就已造成数万人丧生和数十亿美元的经济损失(李忠生,2003;郭芳芳等,2008)。我国是一个地震灾害多发国家,地震频发区域和滑坡等地质灾害频发区域空间重叠性较高。随着经济社会的高速发展,地震灾害及次生地质灾害对人民生命和财产安全的威胁不断升高。因此,有必要对地震灾害的时空分布特征做进一步分析;同时,结合地质背景条件,研究地震灾害和地形因子的空间相关性,为深入了解地震灾害的时间发展和空间分布规律、地震灾害与其他地质环境的关系提供理论基础和探索思路(王念秦,1991;龙永清等,2018;唐庆等,2017;姜健等,2018;汤国安等,2006;刘琨,2020;王媛媛,2019;郭佳等,2020)。

[收稿日期] 2021-03-03 [修定日期] 2021-05-17

[项目类别] 地震应急信息快速可视化技术研究项目(2018YFC1504506)资助

[作者简介] 郑通彦,女,1982 年生,高级工程师,主要从事地震应急技术与信息可视化研究。

E-mail: zhengtongyan@seis.ac.cn

以往对各类自然灾害时空分布特征的研究和应用较多,吴立新等(2014)根据卫星遥感火点数据、地基气溶胶监测数据及空气质量监测数据,进行时空统计分析,得出徐州市空气质量指数的日波动性与秸秆焚烧事件显著相关的结论。赵安周等(2016)基于 MODIS-NDVI 数据,辅以一元线性回归分析、Mann-Kendall 检验、Hurst 指数等方法,分析了 2000—2014 年黄土高原植被覆盖时空演变特征及其驱动因素。李文杰等(2012)依据 2001—2010 年的空气污染指数(API)日报数据和相应时段的地面气象要素数据,从季节平均和月平均、空气污染等级和空气污染过程分别研究了北京、天津和石家庄三市的空气污染指数(API)与气象要素之间的关系。叶敏等(2013)基于帕尔默干旱指数(Palmer Drought Severity Index, PDSI)中国数据库资料和中国 160 个站点的月降水资料,运用趋势分析、对比分析和 EOF 等方法,对 1961—2010 年间中国旱涝时空演化特征进行了分析。冯科等(2008)基于 1998—2005 年间 27 个省(自治区)和 4 个直辖市的土地经济密度数据,从宏观的角度探讨了与人口、交通区位、二三产业结构比例、城市化水平、市场化程度和科技进步等因素之间的潜在关系,并选择了天津市、辽宁省、江苏省、上海市、浙江省、福建省 6 个典型地区,试探性地应用库兹涅茨曲线模拟了土地经济密度的变化率与经济增长之间的内在规律。姚俊强等(2015)利用中国西北干旱区 122 个气象站点 1961—2011 年月降水量资料,运用线性趋势、Mann-Kendall 非参数趋势和突变检验法、Morlet 小波分析等方法研究了西北干旱区降水量空间分布及多时间尺度下的变化规律和趋势。上述研究为地震灾害时空分布研究提供了积极的借鉴意义。

为了定量地分析研究地震灾害与其他地形因素之间的空间相关关系,我们采用了空间统计分析方法,该方法广泛用于分析具有空间属性的数据之间存在的依赖关系、空间关联等统计工作。以往针对地形与其他空间数据相关性的研究较多,如吴常灿(2017)采用空间统计方法对天津市各区域经济发展与人口分布、区县面积等因素做了空间相关性分析;李笑莹等(2019)对地形和耕地空间分布格局的空间相关性进行了分析;陈霄燕等(2019)采用坡度、起伏度等 12 个地形因子,通过聚类分析及方差分析的多元统计分析方法,研究岩性和地形因子的关联性。这些空间相关性分析研究为进一步深入分析地震伤亡人数在空间分布上的自相关关系提供了借鉴,但其本质上是对 2 个(或多个)空间变量进行回归分析,然后在回归方程的基础上采用假设检验完成统计推断。常琼玉等(2016)在此基础上参照传统的相关性分析方法,提出了一种空间变量间相关性的测度方法,采用与 Pearson 相关系数类同的统计量来测度两个空间变量间的关系,并验证计算了 31 个省(自治区、直辖市)的 GDP、社会消费总额和进出口总额之间的空间相关性,应用效果较好,为本文计算地震灾害损失和地形坡度因素间的空间相关关系提供了理论依据。

基于以上研究,我们收集汇总了 1990—2020 年中国大陆地区地震灾害的各项损失数据,采用 CNM 常规标准化方法,分析我国大陆地区 30 年来的地震损失时间分布特征;分析地震损失空间分布特征;结合地形坡度因素,采用地统计分析方法计算地震损失和地形坡度因素之间的空间相关系数;最终获得我国地震灾害的时空分布特征,并进一步分析其空间影响因素。

## 1 研究方法

### 1.1 地震经济损失时间序列分析方法

由于通货膨胀、人口和财富的迁移分配等因素影响,时间跨度较大的地震灾害损失数据

存在一定程度的失真,在比较分析中需尽可能地剔除通货膨胀和人口迁移等影响因素,形成标准化损失值。温姗姗等(2017)在研究中国热带气旋的经济损失标准化过程中比较了3种计量方法:居民消费者物价指数(Consumer Price Index, CPI)方法、常规标准化方法(Conventional Normalization Method, CNM)和替代标准化方法(Alternative Normalization Method, ANM)。其中,CNM方法在美国飓风年度损失(1925—1995年)的比较应用中获得了良好的效果(Pielke et al,1998)。由于地震灾害的损失评估工作需汇总房屋破坏、居民家庭财产损失、产业损失、基础设施损失和公共服务系统损失等全社会、多行业的统计数据,在综合比较各种损失标准化方法后,我们采用能够剔除通货膨胀影响因素的CNM方法,以2019年为基准计算地震灾害经济损失的一致性时间序列

$$NL_{2019} = L_y \times I_y \quad (1)$$

式中, $NL_{2019}$ 指以2019年为基准的标准化损失, $L_y$ 为灾害发生当年的经济损失, $I_y$ 为通货膨胀因素。通货膨胀因素采用基准年居民消费价格指数(CPI)与灾害发生年的比值计算。

## 1.2 DEM地形因素分析方法

数字高程模型(Digital Elevation Model, DEM)可通过有限的高程数据实现对地形曲面的模拟,栅格数据系统经过数学变换可以得到具有特定含义的新系统,通常通过GIS软件可以提取出反映地形坡面形态的各类因子(高程、坡度、坡向、坡位),以及反映地形特性的统计特征因子(坡度变率、坡向变率、水平曲率、剖面曲率、地形起伏度、高程变异系数)(王媛媛,2019)。

根据经验,利用DEM提取出地形坡度因素,并进一步分析计算其与因震致死、致伤之间的关系(数据来源为国家青藏高原科学数据中心,空间分辨率1km)。在坡度提取分级工作中,以往关于坡度与地震致灾之间关系的研究,一般认为地震后最容易引发滑坡、崩塌等次生地质灾害的坡度大于30°(孙崇绍等,1997;李忠生,2003)。因此,选择临界坡度分级法,以30°为临界点对坡度进行分级聚类,提取地形坡度因子,并统计该区间坡度的总面积占比,结合坡度的极值、均值、标准差等统计指标,作为本研究中的该省区域地形坡度特征,参与地震灾害空间相关系数计算。

## 1.3 空间相关性分析方法

地形条件是地震次生地质灾害的重要影响因素,往往是人员伤亡的关键诱发因素,因此采用空间统计分析方法对地形因子与人员伤亡进行空间关联度分析,有助于量化分析地形条件与因震致死、致伤情况的关系,从而更加深入地了解地震伤亡的成因。为了更直接地分析对比地形因素与因震致死、致伤人数间的空间相关性,设定2个空间变量的相关系数为

$$\rho = \frac{E[(X - \mathbf{W}X)^T(Y - \mathbf{W}Y)]}{\sqrt{E[(X - \mathbf{W}X)^T(X - \mathbf{W}X)]} \sqrt{E[(Y - \mathbf{W}Y)^T(Y - \mathbf{W}Y)]}} \quad (2)$$

式中, $\mathbf{W}$ 为空间权重矩阵。权重矩阵 $\mathbf{W}$ 的构建遵循Rook相邻规则,即把具有共同边界的两个地区视为相邻,主对角线元素为0,如果*i*地区与*j*地区相邻,则 $\mathbf{W}_{ij}$ 为1,否则为0。以此为规则,构建了中国大陆地区各省的空间权重矩阵。式中的 $X$ 、 $Y$ 为两个空间变量的样本向量, $X$ 为地形坡度因素的样本向量(如坡度均值), $Y$ 为地震损失的样本向量(如地震致伤人数)。在DEM数据提取的坡度分布特征基础上,定量分析计算其与各省份在2011—2020年地震灾害损失之间的空间相关性。

## 2 地震灾害时空分布特征

### 2.1 地震灾害时间分布特征(1990—2019 年)

采用 CNM 常规标准化计算方法,将 1990—2019 年各年地震灾害所造成的直接经济损失以 2019 年为基准进行标准化处理,重新得到 1990—2019 年地震灾害标准化经济损失。由于 2008 年汶川地震、2011 年芦山地震等造成的经济损失与其他年份数据差异较大,我们对原始经济损失数据和标准经济损失数据进行了对数转换,并提取各自的趋势线(图 1)。

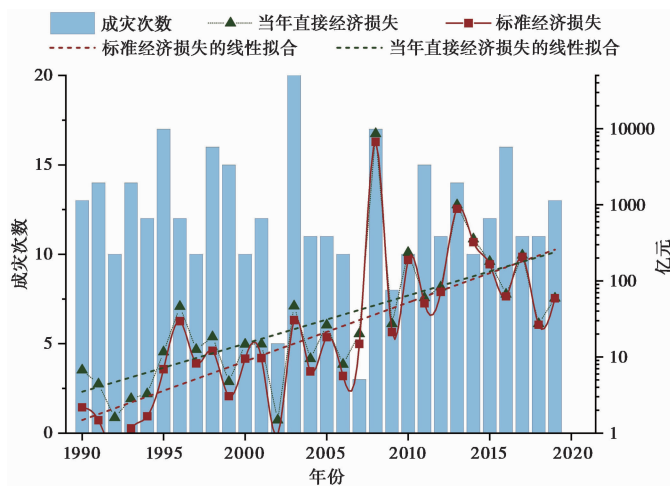


图 1 1990—2019 年地震频次和地震直接经济损失、标准经济损失分布

考虑到地震灾害损失评估工作在计算经济损失中使用的“房屋重置单价”、“房屋维修单价”等工程造价标准,以及各行业经济损失数据的评价方法,历年的地震灾害经济损失数据反映的是地震对经济活动的影响,随着社会经济发展水平日益提高,地震对经济的影响也显著增强(趋势线斜率 0.06323)。

在消除通货膨胀因素后,地震造成的标准经济损失增速较原始数据进一步提升(趋势线斜率 0.07723)。说明随着社会经济发展水平的提升,地震造成的财产损失增速加剧。

由于 2008 年汶川地震造成的人员伤亡数据与其他年份差距较大,同样对计算结果做了对数转换,并提取出 1990—2019 年人员死亡(失踪)与受伤人数的趋势线(图 2)。

结果表明,在过去 30 年中,我国大陆因地震造成的人员死亡(失踪)情况呈上升趋势(趋势线斜率 0.02508),但造成的受伤人数呈缓慢下降趋势(趋势线斜率 0.00973)。

分析原因不难发现,随着城镇化的进程,人员聚集程度提高,从而导致震后人员伤亡的概率提高,震后造成人员伤亡的可能性越来越大。另一方面,由于经济的增长,人们财富聚集后,开始在生活安全上增加投入,加之各级政府对安全问题的越来越重视,开始加大对地震多发区和重点地区的房屋和设施抗震能力的资金投入,地震多发区房屋设施抗震能力显著提高。此外,各地不断加强地震安全教育,每年利用防灾减灾日等进行防震减灾科普宣传和自救互救演练,提升了人们的震后应对灾害能力,并能有序开展自救互救,因震致伤人数呈现缓慢下降的趋势。



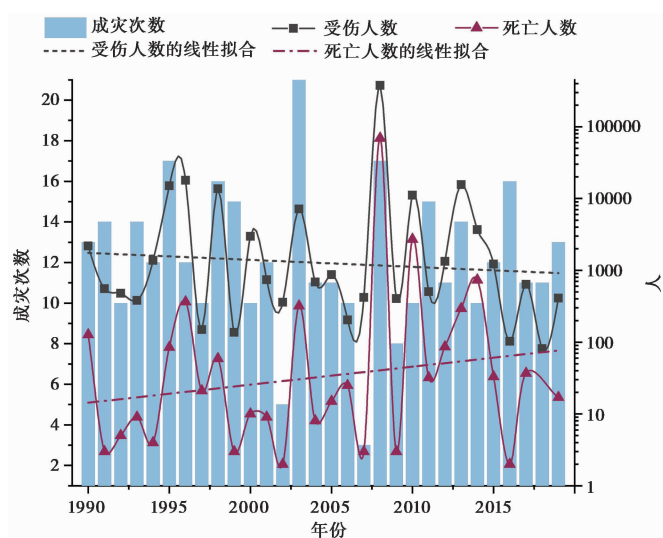


图2 1990—2019年地震频次和地震致死、致伤人数分布

综合分析以上两方面的因素,认为随着我国国民经济的发展,震后人员受伤的态势呈下降趋势,因震致死情况略有升高,但总体趋势并不显著;但地震造成的经济损失显著增高,对经济活动的影响显著增强,且趋势正逐渐加剧,地震灾害逐渐由人身安全威胁向经济财产威胁转变。

## 2.2 地震灾害空间分布特征(2011—2020年)

根据地质构造背景和地震活动的差异,将中国大陆东部划分为东北地区、华北地区、东南沿海地区和华南其他地区(尹晓菲,2020)。在过去10年中,我国地震灾害的分布特征总体表现为西部省份严重、中东部省份偏轻,但存在一定的差异性。从成灾地震发生频率看,新疆维吾尔自治区的成灾地震最多,其次为四川和云南;中东部成灾地震相对较多的为湖北和吉林。

从空间分布看,地震造成的经济损失和人员受伤表现出相对较强的一致性,其与地震造成的人员死亡(含失踪)存在明显差异。成灾地震最多的是新疆维吾尔自治区,但成灾地震造成经济损失和人员伤亡最严重的是四川省、云南省和甘肃省。除人口密度因素外,新疆的抗震安居工程也在降低财产损失和人员伤亡中起到了关键作用。因此,有必要进一步强化四川、云南、甘肃的抗震设防工作,提升其抵御灾害地震风险的能力(图3)。

另外,我国中东部地区成灾地震的损失主要表现在经济损失和人员受伤方面。吉林、山西、湖北、安徽、山东、江苏和浙江等省份在过去10年中均有成灾地震发生,在发震频率较低的前提下,造成的经济损失明显偏高,同时也不同程度地造成了人员受伤,但人员死亡情况罕有发生。

值得庆幸的是,改革开放以来,人口稠密且经济发达地区未发生过破坏性较大的地震。如果中心城市(群)发生7.5级以上强震,会对人民生命和财产安全构成巨大威胁,且有可能对国家综合发展和持续竞争力的提升带来一定负面影响,大震巨灾仍旧是当前我国应当高度关注的重大风险。

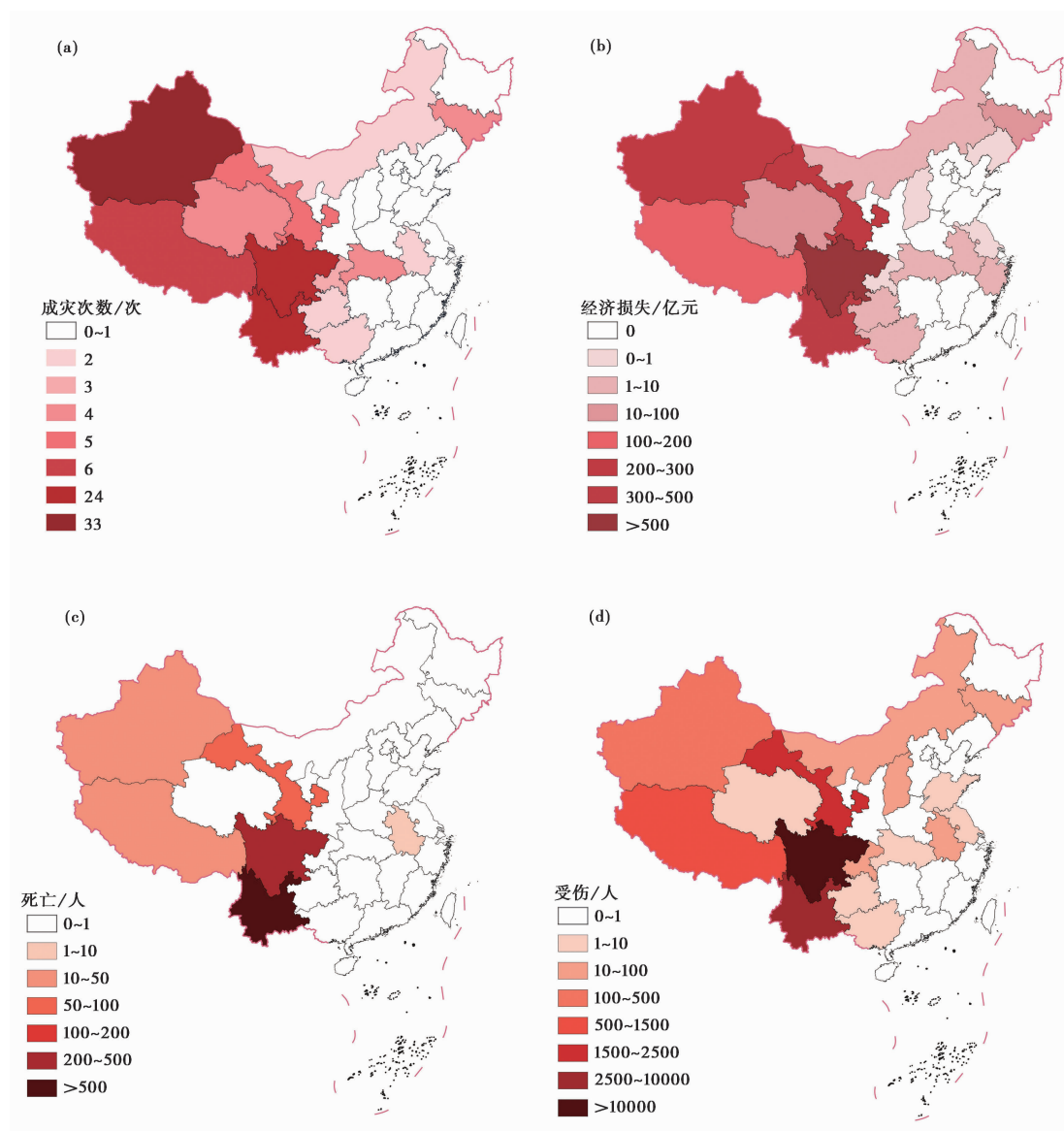


图 3 2011—2020 年地震灾害空间分布

(a) 成灾次数; (b) 经济损失; (c) 死亡人数; (d) 受伤人数

### 3 地震灾害地形坡度影响因素分析

#### 3.1 地形因素提取和分析

使用 ArcGIS 软件 3D Analysis Tools 的栅格数据分析工具,可以方便地提取出 DEM 数据的坡度属性,并进行相关地理统计计算。

本文以 1km 分辨率的 DEM 数据为基础进行坡度分析(图 4),并统计我国地形坡度分布

情况,结果表明:易引发地震滑坡、崩塌等地质灾害坡度(大于 30°)的土地面积约占全国总面积 0.26‰。该坡度范围分布最广的是西藏自治区(占比 1.13‰),其次为四川省(占比 0.83‰)。

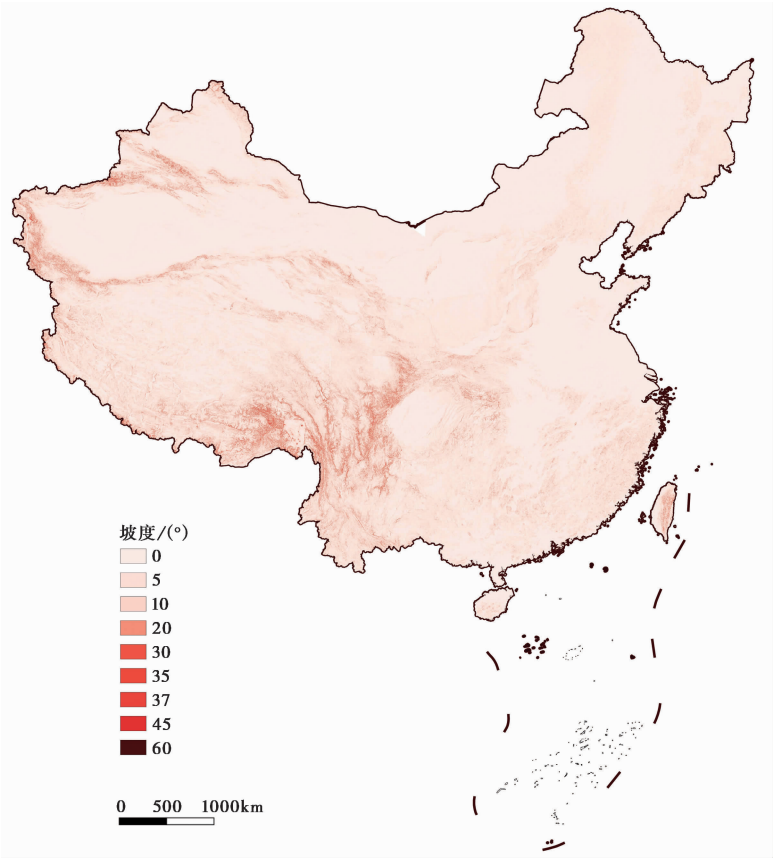


图 4 基于 1km 分辨率 DEM 的全国地形坡度分布

此外,对全国的坡度统计特征进行了提取分析。分别统计了中国大陆地区的坡度最大值、坡度平均值和坡度标准差(图 5)。其中,坡度最大值的是西藏自治区,为 52.50°。坡度平均值最高的是四川省,其平均坡度为 6.83°,其次为云南省,其平均坡度为 6.50°。我们认为坡度的标准差指标可以在一定程度上反映出地形起伏差异程度,坡度标准差越大,代表坡度值分布越离散,地形破碎程度和粗糙程度越高。一般情况下,这样的地形地貌环境也意味着地震易发性较高。结果表明,坡度标准差最大的为四川,其次为西藏和云南。

地形坡度的各项统计特征与地震灾害的空间吻合度较高,总体表现为西部各省份高程落差大、地形起伏度高,尤其是四川、云南、西藏、新疆等省(自治区、直辖市),其地形坡度因素与地震各项损失的空间分布高度一致。为了进一步定量分析他们之间的空间相关性,采用空间相关系数定量分析其关系。

3.2 空间相关系数分析(2011—2020 年)

依据 Rook 相邻规则,构建全国 31 个省(自治区、直辖市,不含香港特别行政区、澳门特

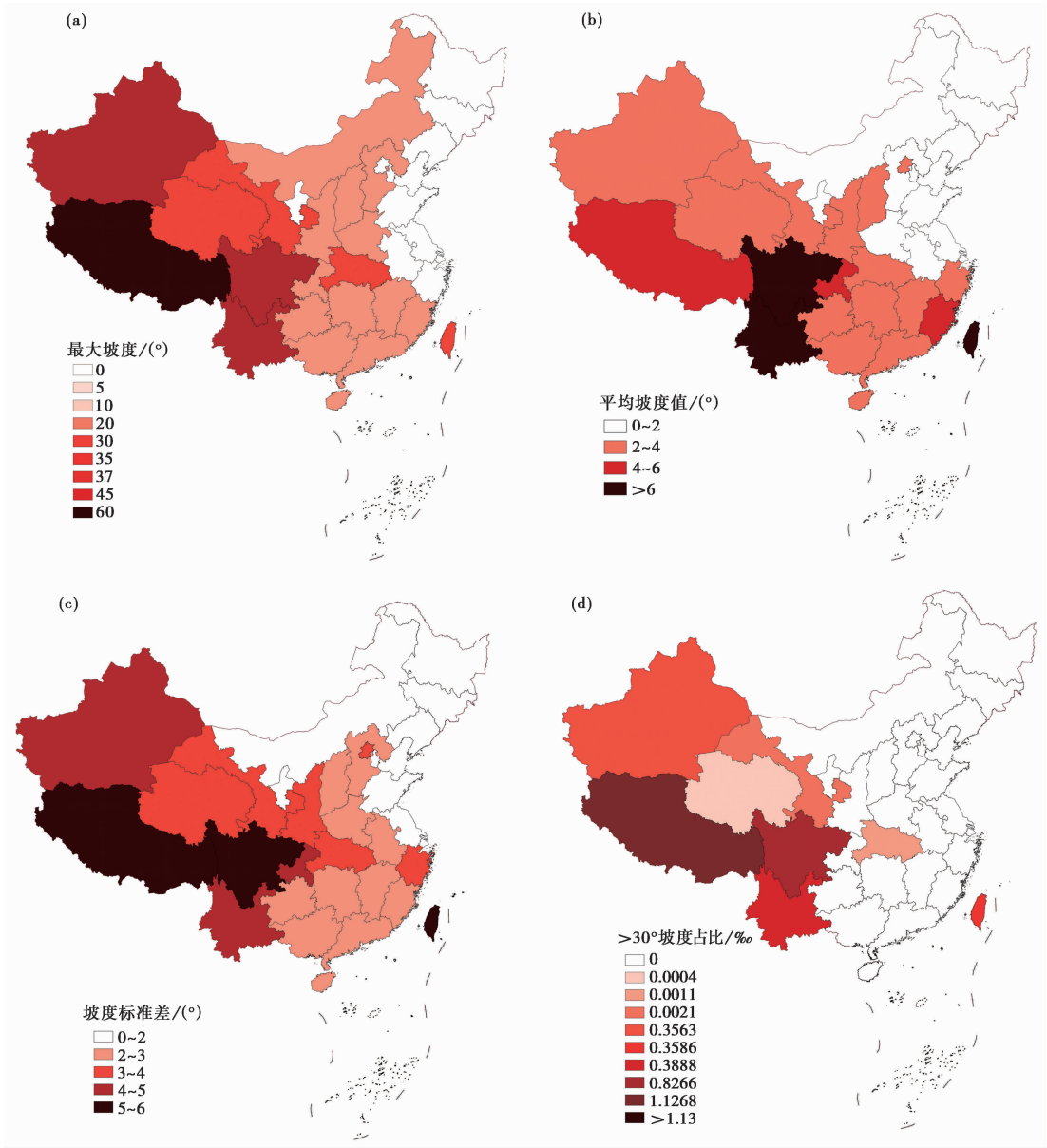


图 5 坡度统计指标分布情况  
(a)坡度最大值;(b)坡度平均值;(c)坡度标准差;(d)大于 30°坡度地形占比

别行政区和中国台湾地区)的空间权重矩阵。计算省域范围内最大坡度、坡度均值、坡度标准差、大于 30°坡度占比等地形因素指标与 2011—2020 年地震灾害损失(成灾地震频次、经济损失、人员死亡数(含失踪)、人员受伤数)之间的空间相关性,得到空间相关系数(表 1)。

按照本文空间相关关系计算方法,发现灾害地震的发生频率和地形坡度因素相关性较高,尤其是大于 30°坡度占比情况,说明在这个坡度范围占比较高的区域,灾害地震的发生风





表 1 地形因素指标与地震灾害空间相关系数

| 空间相关系数     | 成灾地震频次     | 经济损失/亿元    | 人员死亡数/人    | 人员受伤数/人    |
|------------|------------|------------|------------|------------|
| 最高坡度       | 0.71118074 | 0.66782557 | 0.57348669 | 0.62619595 |
| 坡度均值       | 0.72506148 | 0.68949861 | 0.61588796 | 0.65254094 |
| 坡度标准差      | 0.71480541 | 0.67850798 | 0.5759591  | 0.64124968 |
| 大于 30°坡度占比 | 0.74941394 | 0.85673061 | 0.48754045 | 0.82302867 |

险普遍偏高,因此该坡度范围也容易引发次生地质灾害。

另外,地形坡度因素与经济损失和人员死亡(含失踪)情况的相关性相对较低,但大于 30°坡度占比因素和经济损失、人员受伤情况的空间相关性异常高,与人员死亡(含失踪)却相对较低。说明大于 30°坡度占比因素(地震引发滑坡的易发性)能相对映射出破坏性地震的经济损失及人员受伤情况,但地震引起的次生地质灾害风险高,并不完全意味着因震致死的风险高。

综合来看,成灾地震的发生频次与地形坡度因素的相关性最高,说明成灾地震发生的区域同时也是地形复杂区域;与地形坡度因素次要相关的是经济损失和人员受伤因素,说明地形越复杂的区域,成灾地震造成的经济损失和人员受伤也越高,特别是大于 30°坡度占比较高的区域,地震引起的次生滑坡灾害往往是经济损失和人员伤亡的重要因素;相对的,地震致死(含失踪)与坡度的各项统计指标的相关性较低,说明灾害地震的致死情况并不主要来自于次生地质灾害,而是由其他因素造成,如房屋倒塌等地震直接影响。

## 4 结论与讨论

(1)通过本文研究分析,地震灾害(人员伤亡、经济损失)主要归为两类:一类为地震造成的人员死亡(含失踪)和人员受伤;另一类为地震造成的经济损失。其中人员死亡(含失踪)的特点是损失的突发性,持续时间较短,一般在地震发生后的瞬间造成,如果考虑到应急救援时间,至多不会超过 72h。大部分地震致死情况影响因素更为直接,更多的与房屋抗震性能和当地地震烈度相关,而与其他如地形、天气等影响因素的关系不如经济损失的关系紧密。

(2)地震造成的经济损失影响因素较多,除了当次地震的地震学相关参数外,还与当地的地形条件密切相关。这就意味着地震的次生灾害主要由地质灾害引起,特别是滑坡因素,将直接影响到地震造成的经济损失。

从过去 30 年时间序列看,地震造成的经济损失呈上升趋势,但因震致死和因震致伤情况则总体保持平稳;在除去通货膨胀因素的影响后,标准地震经济损失增速更加显著。综合来看,地震造成的人员死亡呈略微上升趋势,说明我国在过去 30 年中地震强度有所升高、地震直接经济损失显著增长,但地震致伤的威胁缓慢下降,随着经济社会的高速发展和群众抗震自救意识的提高,地震灾害对经济损失的威胁尤其值得关注。

## 参考文献

常琼玉,窦剑军,2016. 两个空间变量空间相关性的分析. 统计学与应用,5(4):397~403.

- 陈霄燕,潘军,邢立新,等,2019. 桂林-阳朔地区 DEM 地形特征与岩性相关性分析及分类研究. 地球信息科学学报, **21**(12):1867~1876.
- 冯科,吴次芳,陆张维,等,2008. 中国土地经济密度分布的时空特征及规律——来自省际面板数据的分析. 经济地理, **28**(5):817~820.
- 郭芳芳,杨农,孟晖,等,2008. 地形起伏度和坡度分析在区域滑坡灾害评价中的应用. 中国地质, **35**(1):131~143.
- 郭佳,李晋东,刘艳祯,2020. 基于不同水平分辨率 DEM 的数字地形分析研究. 测绘与空间地理信息, **43**(12):214~216.
- 姜健,李阳,王永澍,2018. 基于 DEM 的 6 种坡度提取算法的比较分析——以山东省青岛市为例. 测绘与空间地理信息, **41**(2):195~199,206.
- 李文杰,张时煌,高庆先,等,2012. 京津石三市空气污染指数(API)的时空分布特征及其与气象要素的关系. 资源科学, **34**(8):1392~1400.
- 李笑莹,张学雷,任圆圆,2019. 河南典型样区地形对耕地动态变化空间分布多样性的影响及相关性分析. 河南大学学报(自然科学版), **49**(3):271~281.
- 李忠生,2003. 国内外地震滑坡灾害研究综述. 灾害学, **18**(4):64~70.
- 刘琨,2020. 降雨影响下黄土斜坡的地震失稳机制及其稳定性评价. 博士学位论文. 兰州:兰州大学.
- 龙永清,张旭,董梦洁,等,2018. 基于不同方向参考系 DEM 提取坡度的差异性分析. 山地学报, **36**(3):462~469.
- 孙崇绍,蔡红卫,1997. 我国历史地震时滑坡崩塌的发育及分布特征. 自然灾害学报, **6**(1):25~30.
- 汤国安,宋佳,2006. 基于 DEM 坡度图制图中坡度分级方法的比较研究. 水土保持学报, **20**(2):157~160,192.
- 唐庆,贺春明,陈伟华,等,2017. 基于 DEM 的合川区地形因子分析. 安徽农学通报, **23**(12):162~164.
- 王念秦,1991. 坡度图在滑坡研究中的应用. 灾害学, **6**(3):66~70.
- 王媛媛,2019. 基于 DEM 的陕北黄土高原地形因子的提取与分析. 西部大开发(土地开发工程研究), **4**(12):28~36.
- 温姗姗,翟建青,Thomas F, et al,2017. 1984—2014 年影响中国热带气旋的经济损失标准化及其变化特征. 热带气象学报, **33**(4):478~487.
- 吴常灿,2017. 基于空间统计的天津市 GDP 空间相关性分析. 测绘, **40**(3):111~114.
- 吴立新,吕鑫,秦凯,等,2014. 秸秆焚烧期间徐州市空气污染物时空分布特征分析. 地理与地理信息科学, **30**(1):18~22, 31.
- 姚俊强,杨青,刘志辉,等,2015. 中国西北干旱区降水时空分布特征. 生态学报, **35**(17):5846~5855.
- 叶敏,钱忠华,吴永萍,2013. 中国旱涝时空分布特征分析. 物理学报, **62**(13):573~585.
- 张春山,张业成,胡景江,等,2000. 中国地质灾害时空分布特征与形成条件. 第四纪研究, **20**(6):559~566.
- 赵安周,刘宪锋,朱秀芳,等,2016. 2000—2014 年黄土高原植被覆盖时空变化特征及其归因. 中国环境科学, **36**(5):1568~1578.
- 尹晓菲,邵志刚,王武星,等,2020. 中国大陆东部强震活动特征. 中国地震, **36**(3):427~441.

## Analysis of the Spatial and Temporal Distribution Characteristics of Earthquake Hazards and Topographic Influences in Chinese Mainland

Zheng Tongyan Wen Xintao Chen Yahui Li Huayue

China Earthquake Networks Center, Beijing 100045, China

**Abstract** In this paper, we analyze the spatial and temporal distribution characteristics of earthquake hazards in Chinese mainland over the past 30 years based on data on earthquake disaster losses (including economic losses, human casualties and injuries) from 1990 to 2020. After analyzing the temporal distribution of economic losses from earthquake disasters in Chinese mainland between 1990—2019 by using conventional standardized methods, and combining with the original data on economic losses, human casualties (including missing persons), and human injuries during this time interval, we believed that earthquake disasters are gradually changing from threats to physical safety to economic property over the past 30 years. Through compiling and analyzing the spatial distribution characteristics of earthquake hazards by province during the 10-year period 2011—2020, we concluded that it is necessary to further strengthen the earthquake precaution in Sichuan, Yunnan, and Gansu to enhance their ability to withstand the seismic risk of disasters. In the more economically developed regions in the central-east, we should raise the attention on the indirect economic losses and human injuries caused by earthquakes, since the social impacts of earthquake hazards are the main consequences. By extracting the topographic slope factors by province and using geostatistical methods to quantify the spatial correlation coefficients between earthquake losses and topographic slope factors, we found that correlation of deaths due to earthquakes with topography is not as high as that of indirect losses. the spatial correlation between direct losses and topography is not as high as that of indirect losses because of the rapid economic development recently.

**Keywords:** Spatial and temporal distribution characteristics; Conventional standardized methods; Geostatistical analysis; Spatial correlation coefficient