

李雯, 陈文凯, 周中红, 等. 中国大陆地震灾害生命损失时空特征分析[J]. 灾害学, 2019, 34(1): 222-228. [LI Wen, CHEN Wenkai, ZHOU Zhonghong, et al. Analysis of temporal-spatial distribution of life losses caused by earthquake hazards in Chinese mainland [J]. Journal of Catastrophology, 2019, 34(1): 222-228. doi: 10.3969/j.issn.1000-811X.2019.01.040.]

# 中国大陆地震灾害生命损失时空特征分析\*

李雯<sup>1</sup>, 陈文凯<sup>1</sup>, 周中红<sup>1</sup>, 高娜<sup>2</sup>, 陈晋<sup>1</sup>

(1. 中国地震局兰州地震研究所, 甘肃兰州 730000; 2. 中国地震应急搜救中心, 北京 100049)

**摘要:**以1966-2016年中国大陆地震灾害生命损失数据为研究对象,基于GIS平台定量分析中国大陆地震灾害生命损失时空分布特征。研究结果表明:①中国大陆造成生命损失的地震次数为143次,占成灾地震(有经济损失或人员伤亡的地震)的25%。成灾地震平均每年发生9.45次,而造成人员死亡的地震平均每年发生2.38次。②中国大陆致死性地震造成的死亡人数突出,重特大地震对累计地震死亡人数作用明显,地震灾害生命损失呈高度集中的特点。③中国大陆地震灾害分布广,大陆31个省市自治区中28个省份发生过成灾地震,因地震导致有人员死亡的省份有18个,其中河北省、四川省、云南省因地震灾害导致的累计人员死亡占全国的比例高达90%。地震灾害总体呈现中小地震在多震省份生命损失较小,在少震省份生命损失反而较大。④50年中国大陆地震灾害累计人员死亡高达34.66万人,其中城市直下型地震贡献率高达71%。⑤地震灾害生命损失分布受人口密度影响显著,以人口分界线“胡焕庸线”为界,呈现东高西低,与地震发生频次相反。

**关键词:**中国大陆;地震灾害;生命损失;时空特征

**中图分类号:** X43; P315.9 **文献标志码:** A **文章编号:** 1000-811X(2019)01-0222-07

**doi:** 10.3969/j.issn.1000-811X.2019.01.040

我国位于欧亚大陆的东南部,东受环太平洋地震带的影响,西南和西北都处于欧亚地震带上,自古以来就是一个多地震的国家,拥有长达3000多年的关于地震记载的史料。面对严重的地震灾害,尤其巨大的生命损失,世界各国一直都在探索减轻地震灾害生命损失的途径和对策。根据中国《自然灾害救助条例》,在自然灾害的救助工作中,“以人为本”是首要遵循的原则<sup>[1]</sup>。通过对已有震例的生命损失信息进行系统梳理,探讨其特征,对地震应急灾情快速识别与评估具有重大意义。傅征祥等<sup>[2]</sup>在1994年对地震灾害生命损失特征的时空强分布进行分析,发现其时间过程并不与地震活动水平同步变化,受人文和社会条件的制约;在2005年通过分省和分时间间隔对中国大陆百年(1991-2001年)地震生命损失回顾分析,得到地震生命损失空间分布时空特征<sup>[3]</sup>;T. L. Holzer<sup>[4]</sup>利用三种长期地震目录进行非稳态泊松过程模拟发现全球地震死亡人数受控于稳定的背景死亡率和大灾难性(死亡人数>10万人)地震;刘桂萍等<sup>[5]</sup>选取云南地区历史记录较为完整的地

震灾害数据,以红河断裂带为分界线,计算了云南地区地震生命损失的空间分布。近年我国地震部门对1966年以来成灾震例进行汇编,每个地震都有详细的灾害损失评估报告。本文以1966-2016年中国大陆地震生命损失历史资料为数据基础,基于GIS平台采用数理统计方法定量分析中国大陆地震灾害生命损失时空分布特征,得到近50年我国地震灾害生命损失特点,为定量分析生命损失影响因素、构建地震生命易损性模型提供科学依据。

## 1 数据来源与处理

### 1.1 数据来源

本研究所用数据主要来源于中国地震信息网(<http://www.csi.ac.cn/publish/main/813/5/index.html>),具体包括1966-2016年中国大陆3.4级以上地震的发震时间、震中经纬度、震级大小等要素的地

\* 收稿日期: 2018-05-29 修回日期: 2018-07-31

基金项目: 地震科技星火计划项目(XH18058); 甘肃省科技支撑项目(1504FKCA065)

第一作者简介: 李雯(1994-),女,安徽阜阳人,硕士研究生,主要从事地震灾害评估研究. E-mail: lw\_sunlight@163.com

通讯作者: 陈文凯(1983-),男,青海民和人,副研究员,主要从事GIS、遥感技术地震应急领域应用研究.

E-mail: cwk2000@yeah.net

震信息 1 963 条。此外本文还系统收集了 1966 年以来中国大陆地震的灾害损失资料, 包括 1966 - 2016 年共 572 个灾害性地震的损失评估报告, 其中有死亡人数记录的地震 143 例<sup>[6-10]</sup>。这些资料统计的地震死亡人数通常指完整一次地震造成的总死亡人数, 即包括余震、地震滑坡等次生灾害所造成的人员死亡。

## 1.2 数据处理

本文利用 GIS 平台将上述收集到的发生地震灾害的相关数据信息与地理数据进行关联。基于 GIS 平台对历史地震、破坏性地震灾情进行空间分析, 结合数理统计方法, 得到中国大陆地震生命损失在时间和空间上的分布特征。利用 ArcGIS 软件绘制中国大陆 1966 - 2016 年系列地震图件。

## 2 地震灾害生命损失时空特征分析

### 2.1 生命损失时间分布特征

#### (1) 地震时间频度分析

考虑到 1966 - 2016 年成灾地震(指有经济损失或人员伤亡的地震)的记录中最小震级为 3.4 级, 本文对 3.4 级以上台网中心记录的地震灾害信息进行整理, 探讨中国大陆地震时间频度分布特征。由 1966 - 2016 年地震时间频度分布曲线(图 1)可知, 50 年来中国大陆地震具有明显的活跃和平静交替的周期性, 变化幅度较大。1966 年中国大陆地震活动处于明显活跃期(99 次), 之后波动起伏至 1976 年到达新的顶点(139), 其次经历显著下降开始了很长一段时间小范围的波动到 2008 年上升至 90 次, 之后趋于缓和。

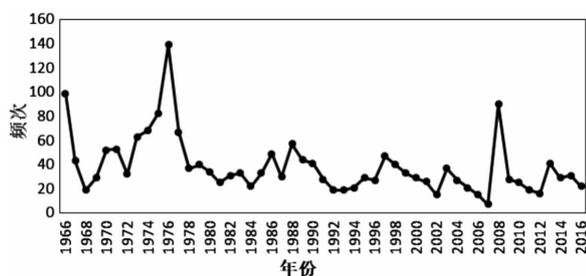


图 1 中国大陆地震时间频度分布图(M≥3.4)

不难发现 1966 年以来频次出现较大峰值的年份都有灾难性地震发生, 如 1966 年邢台 7.2 级地震、1976 年唐山 7.8 级地震、2008 年汶川 8.0 级地震, 分别造成人员死亡 8 064、242 000、69 227 人。总体而言中国大陆地震活动较为频繁, 频次变化幅度较大。

#### (2) 成灾地震时间频度分析

1966 - 2016 年中国大陆成灾地震共发生 572 例, 从成灾地震时间频度分布图(图 2)来看与图 1

波动差别较为明显, 成灾地震频度起伏波动更为剧烈, 平均 23 年出现小的峰值且峰值基本在 10 次以上。将 1966 年以来成灾地震以 10 年为单位间隔划分 5 个时段(1966 年并入第一个 10 年), 发现 5 ~ 6 级地震发生频次在各个时间段发生频次都最高; 5.0 级以下成灾地震频次较高; 7 级以上重特大地震在 1966 - 1976 年发生次数最多。

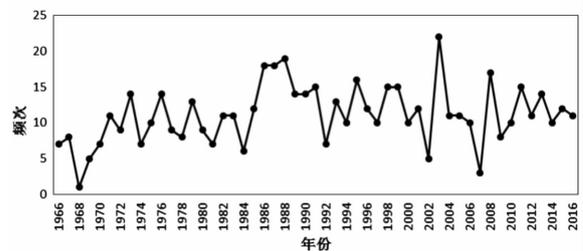


图 2 中国大陆成灾地震时间频度分布图(M≥3.4)

### (3) 地震灾害生命损失时间分布特征

表 2 给出以 10 年为一个统计时间间隔, 中国大陆(1966 - 2016 年)地震死亡人数以及成灾地震次数和造成人员死亡地震灾害事件数随时间的统计表。根据统计表中国大陆造成生命损失的地震次数为 143 次, 占成灾地震(有经济损失或人员伤亡的地震)的 25%; 成灾地震平均每年发生 9.45 次, 而造成人员死亡的地震平均每年发生 2.38 次。此外除去两次较大地震唐山 7.8 级和汶川 8.0 级地震, 1966 - 1976 年死亡人数最多, 而且成灾地震次数(94 次)和造成人员死亡地震灾害事件数(26 次)较小, 在此阶段死亡人数多于 1 000 人的地震事件 6 起(表 3), 占 50 年来地震死亡 ≥ 1 000 人地震事件的 75%, 地震灾害生命损失在该阶段时间相对集中分布。

图 3 给出了 1966 - 2016 年中国大陆累计地震死亡人数变化图, 发现累计死亡人数曲线有两个明显的阶级, 分别由 1976 年 7 月唐山 7.8 级地震和 2008 年 5 月汶川 8.0 级地震贡献的, 这两次地震的死亡人数分别为 242 000 人和 69 227 人, 说明重特大地震对累计地震死亡人数作用明显。同时我国在 1966 - 2016 年间共发生造成人员死亡的地震事件 143 起, 其中, 死亡人数大于 10 000 人的地震事件仅有 3 次(1966 年邢台 7.2 级地震、1970 年通海 7.8 级地震、1976 年唐山 7.8 级地震), 占全部灾害事件的 2% 左右, 共死亡 32 万余人, 占全部死亡人数的 94%。此外发现地震死亡人数随着重大伤亡地震的出现而随时间上升, 剔除 1 000 人以上死亡的地震后, 剩余曲线变化幅度不大, 背景死亡人数大致保持不变, 除个别峰值外, 每年死亡人数在 0 ~ 150 人左右(图 4)。总体而言中国大陆地震灾害生命损失具有高度集中的特征。

表 1 中国大陆成灾地震次数分级统计(1966-2016)

时间段	$M \leq 4.9$		$5.0 \leq M \leq 5.9$		$6.0 \leq M \leq 6.9$		$M \geq 7.0$		总计
	次数/次	比例/%	次数/次	比例/%	次数/次	比例/%	次数/次	比例/%	
1966-1976	12	13	47	50	25	27	10	11	94
1977-1986	27	26	56	53	21	20	1	1	105
1987-1996	40	28	66	47	30	21	5	4	141
1997-2006	35	29	61	50	23	19	2	2	121
2007-2016	35	32	45	41	24	22	7	6	111
总计	149	26	275	48	123	22	25	4	572

表 2 中国大陆地震死亡人数随时间变化(1966-2016年)

时间段	1966-1976	1977-1986	1987-1996	1997-2006	2007-2016
成灾地震/次	94	105	141	121	111
死亡人数/人	271355	337	1373	471	73065
有人员死亡地震/次	26	17	32	40	28
死亡人数*/人	29355	337	1373	471	3838

注:\* 此死亡人数不含唐山 7.8 级和汶川 8.0 级地震的死亡人数。

表 3 中国大陆震例列表(死亡人数 &gt; 1 000 人)

序号	日期	时间	震级 M	经度/(°)	纬度/(°)	震中	最高烈度	死亡/人
1	1966	16: 19	7.2	115.1	37.5	河北邢台	X	8064
2	1970	01: 00	7.75	102.7	24	云南通海	X	15621
3	1973	18: 37	7.6	100.7	31.3	四川炉霍	X	2175
4	1974	03: 25	7.1	104.1	28.2	云南大关	IX	1423
5	1975	19: 36	7.3	122.8	40.65	辽宁海城	IX	1328
6	1976	03: 42	7.8	118	39.4	河北唐山	XI	242000
7	2008	14: 28	8	103.42	31.01	四川汶川	XI	69227*
8	2010	07: 49	7.1	96.60	33.20	青海玉树	IX	2698

注:\* 为汶川地震人员死亡数, 不包含失踪 17923 人, 为了便于对比, 以下的研究涉及到汶川地震均不含其失踪人数。

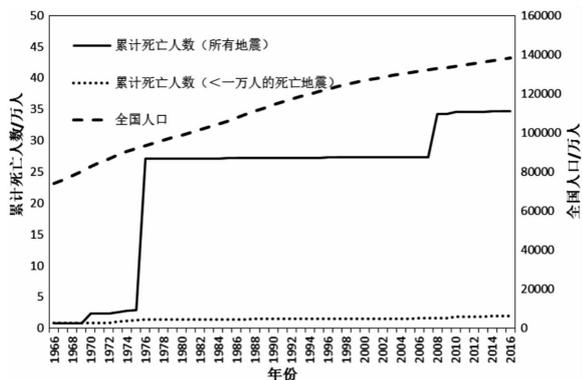


图 3 1966-2016 年中国大陆累计地震死亡人数

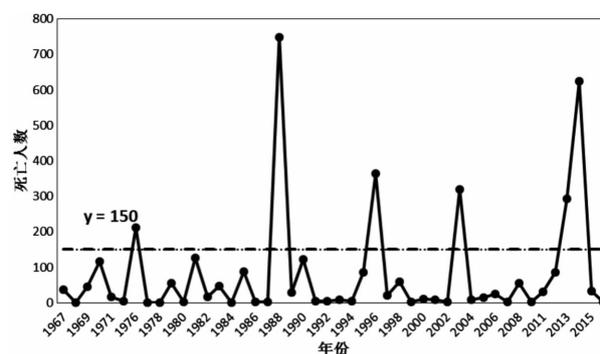


图 4 1966-2016 年中国大陆地震死亡人数 1 000 人以下分布图

## 2.2 生命损失空间分布特征

### (1) 行政区划空间特征分析

若以中国大陆省份为统计单元各省及地区生命损失统计图见图 5。从图 5 中可以得到 1966-2016 年间中国大陆地震灾害分布广, 大陆 31 个省市自治区中 28 个省份发生过成灾地震, 因地震导致有人员死亡的省份有 18 个, 成灾地震次数云南省最高, 其次是新疆、四川、青海等。河北省、四川省、云南省的地震死亡人数较多, 累计人员死亡占全国的比重高达 90%; 新疆省虽然成灾地震次数较多, 但造成生命损失没有河北、四川、云南等地严重; 福建、

海南、浙江省没有地震生命损失, 因此行政单元上地震灾害生命损失地区差异显著, 中小地震在多震省份生命损失较小, 在少震省份生命损失反而较大。

### (2) 地震带空间分布特征分析

将中国大陆成灾地震分四个震级档与地震带结合探讨成灾地震与地震带的空间特征, 统计表明(表 4) 中国大陆南天山地震带发生地震次数居首位, 且发生 6 级以上强震次数也最多, 地震在该地震带较为活跃; 其次为腾冲-澜沧带, 发生 7 级以上地震两次且 5.0~5.9 级地震次数最多, 虽然震级不高但是频次较高, 该地区呈现小震大灾的特点。

表 4 中国大陆成灾地震分级统计表(1966-2016)

地震带名称	$M \leq 4.9$	$5.0 \leq M \leq 5.9$	$6.0 \leq M \leq 6.9$	$M \geq 7$	总计
南天山带	1	22	18	2	43
腾冲-澜沧带	1	29	6	2	38
河西走廊带	1	15	1	2	19
武都-马边带	1	10	2	0	13
北天山带	0	11	2	0	13
滇西带	0	9	2	0	11
滇东带	1	7	2	1	11
康定-甘孜带	0	4	4	2	10
河北平原带	2	4	2	1	9
燕山带	1	5	1	1	8
塔里木南缘带	0	5	2	1	8
安宁河谷带	3	2	1	0	6
山西带	3	3	0	0	6
天水-兰州带	1	3	1	0	5
未命名	0	3	0	1	4
银川带	0	4	0	0	4
西藏中部带	0	1	3	0	4
郟城、庐江带	0	1	0	2	3
未命名	0	3	0	0	3
西藏察隅带	0	3	0	0	3
六盘山带	2	0	0	0	2
东南沿海带	1	0	0	0	1
渭河平原带	0	1	0	0	1
无地震带	67	194	76	10	347
总计	85	339	123	25	572

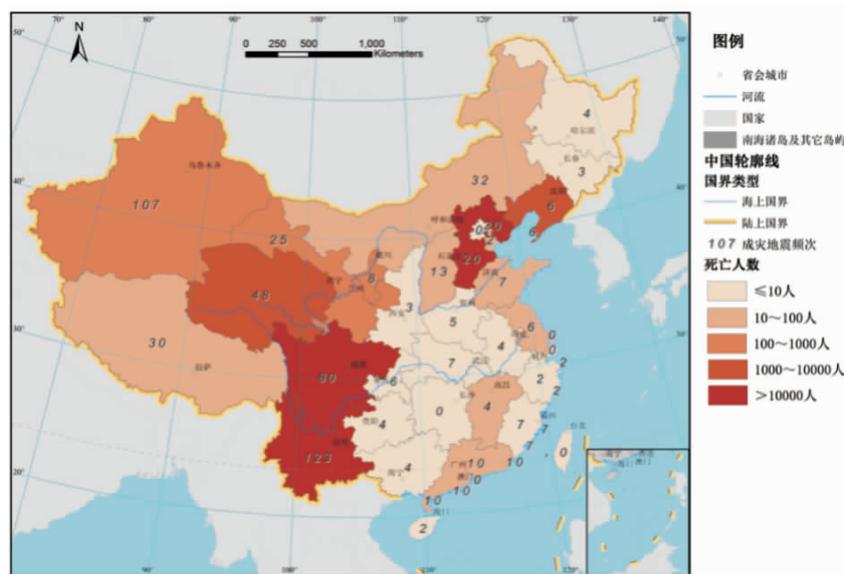


图 5 中国大陆分省地震死亡人数统计图(1966-2016)

### 3 不同震级的生命损失特征

对地震震级与人员死亡进行统计, 得到中国大陆 1966-2016 年不同震级档与地震人员死亡的统计表(死亡人数为该震级档最大值), 并尝试对不同震级档死亡人数进行分级(表 5)。不同震级档与生命损失有

如下关系: 一般地震灾害会导致个别人死亡; 较大地震灾害会导致数人至数十人死亡; 重大地震灾害则导致数十人至数百人死亡; 特别重大地震导致数百人至数万人死亡。通过对实际历史震例整理中发现, 存在个别地震因地震发生地点不同而生命损失有所不同, 主要影响因素可能与人口密度、地理环境、建筑物结构有关。表中在一般地震灾害  $\leq 5$  级震级档中, 死亡

人数最大值为2010年贵州3.4级地震造成人员死亡6人,该地震震级为中国大陆60年来造成地震人员死亡的最小震级,但由于该地震特殊的山区环境,引发地震次生灾害较为严重,共造成6人死亡。特殊的地理环境会放大地震次生灾害的危害效应,震级不大的地震也有可能造成地震灾害生命损失。此外在5.6~6.0震级档中个别震级死亡人数超出分级范围,如1970年宁夏西吉5.5级地震和2012年云南彝良5.7级地震,死亡人数分布为117人和81人。宁夏西吉地震发生在半夜,由于居民主要住在抗震性极差的土坯拱窑里,因而造成了严重的灾害<sup>[11]</sup>,云南彝良地震除建筑条件较差原因<sup>[12]</sup>外,灾区人口密度大而且多为山区地形易造成次生灾害<sup>[13]</sup>,再加上两次地震叠加导致生命损失惨重。

表5 中国大陆不同震级与人员死亡对应关系

地震灾害分级	震级范围	死亡人数分级
一般地震灾害	≤4.9	个别人
较大地震灾害	5.0~5.5	数人至数十人
	5.6~5.9	
重大地震灾害	6.0~6.5	数十人至数百人
	6.6~6.9	
特别重大地震灾害	7.0~7.5	数百人至数千人
	≥7.6	数万人

虽然本文从数量级上对不同震级的地震人员死亡数进行分级,但还是有较大偏差。其中1976年河北唐山7.8级地震,震级大于7.5级,死亡人数24.2万人,不止数万人。这是因为此次地震是典型的城市直下型地震,造成的人员死亡数字远大于一般地震。城市直下型地震指震源位于城市市区或邻近市区地下的浅源地震,烈度高、破坏性最大,会造成灾难性后果<sup>[14-15]</sup>。1966-2016年

间造成生命损失的典型直下型地震还有1996年丽江7级地震、1996年包头6.4级地震、2010年玉树7.1级地震、2011年盈江5.8级地震,地震死亡人数突出,共计245 058人,约占近50年中国大陆地震死亡人数的71%,地震灾害生命损失受地震类型,尤其是城市直下型地震影响较大。

#### 4 地震灾害生命损失与“胡焕庸线”

1935年胡焕庸教授发表的题为《中国人口之分布》<sup>[16]</sup>的论文中,第一次明确地以定量分析的结果指出中国人口分布不平衡这一特点,其中“胡焕庸线”,即为划分我国人口密度的对比线。经历近一个世纪的实践验证,虽然我国人口分布有了一定程度的变化,但胡焕庸先生提出的人口分界线依然是中国人口分布差异的基线。本文尝试将“胡焕庸线”与中国大陆地震灾害生命损失分布图叠加,发现生命损失分布规律同样符合“胡焕庸线”(图6)。在胡焕庸线以东出现有生命损失的地震次数较多也较为集中,而胡焕庸线以西虽然地震次数较多但是生命损失情况较轻(表6)。在所有震例中,胡焕庸线以东死亡人数为34万人左右,比例高达98%,远远大于胡焕庸线以西的死亡人数;成灾地震次数东西相差不大,但震级在5~7级之间的地震次数及占比胡焕庸线以西大于胡焕庸线以东,震级在5级以下的地震次数胡焕庸线以东大于胡焕庸线以西。在仅有人员死亡的震例中,胡焕庸线以东造成生命损失的地震集中在5级地震以上,而胡焕庸线以西造成生命损失的地震集中在6级以上。

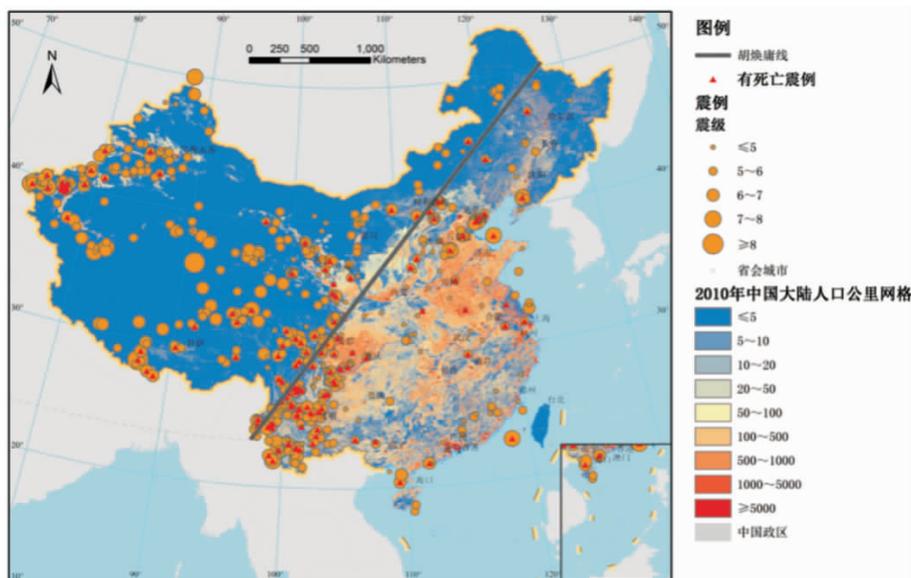


图6 中国大陆地震灾害生命损失与“胡焕庸线”(1966-2016年)

表 6 中国大陆地震次数及生命损失事件次数分区统计(成灾地震)(1966-2016)

地震/次	死亡/人	$M \leq 4.9$		$5.0 \leq M \leq 5.9$		$6.0 \leq M \leq 6.9$		$M \geq 7.0$		
		次数/次	比例/%	次数/次	比例/%	次数/次	比例/%	次数/次	比例/%	
胡焕庸线以东	278	340618	67	24	162	58	36	13	13	5
胡焕庸线以西	294	5983	19	6	176	61	87	28	12	4

表 7 中国大陆地震次数及生命损失事件次数分区统计(有人员死亡的地震)(1966-2016)

地震/次	死亡/人	$M \leq 4.9$		$5.0 \leq M \leq 5.9$		$6.0 \leq M \leq 6.9$		$M \geq 7.0$		
		次数/次	比例/%	次数/次	比例/%	次数/次	比例/%	次数/次	比例/%	
胡焕庸线以东	85	340618	7	8	40	47	25	29	13	15
胡焕庸线以西	58	5983	2	5	19	35	32	53	5	7

表 8 中国大陆地震有人员死亡地震次数占比

死亡震例	$M \leq 4.9$		$5.0 \leq M \leq 5.9$		$6.0 \leq M \leq 6.9$		$M \geq 7.0$	
	次数/次	比例/%	次数/次	比例/%	次数/次	比例/%	次数/次	比例/%
胡焕庸线以东	7	10	40	25	25	69	13	100
胡焕庸线以西	2	11	19	11	32	37	5	42

此外从中国大陆有人员死亡的地震次数统计结果来看(表 8)线划分中国大陆结果差异较为明显。胡焕庸线以东 6 级以上地震有人员死亡地震次数占该震级范围所有地震次数的比例明显, 比如唐山地震和汶川地震生命损失惨重。相反胡焕庸线以西, 发生 7 级以上地震共有 12 次但造成生命损失的地震只有 5 次, 且生命损失情况远不如胡焕庸线以东严重。

造成这种明显差异的结果可能很大原因是由于人口的集中, 增加了地震中生命损失的可能性。图 6 中包含有 1 km 空间分辨率为基本单元的 2010 年中国公里网格人口分布数据和 1966-2016 年所有地震震中分布数据等, 发现有人员死亡的地震发生在人口相对较多的地区, 大部分集中在胡焕庸线以东, 证明了人口集中对地震生命损失的影响。“胡焕庸线”东南半壁用占全国约 2/5 的国土, 生产 90% 以上的 GDP, 居住 90% 以上的人口<sup>[16]</sup>, 多年来并无太大改变。人口向东南沿海和大城市集中, 这是经济发展的规律, 难以改变, 同时人口的集中又伴随着城市的增多和扩大。这使得一旦发生地震, 其附近会有更多的人处于灾害风险之中, 增大人员伤亡的可能性。如果人口不集中, 地震发生时人员伤亡的可能性就会降低。

## 5 结论

本文通过对中国大陆 1966-2016 年地震灾害生命损失的整理和统计分析, 基于 GIS 软件平台, 分时间尺度和空间尺度综合探讨了我国地震灾害生命损失的时空分布特征, 研究结果表明:

(1) 中国大陆造成生命损失的地震次数为 143 次, 占成灾地震(有经济损失或人员伤亡的地震)的 25%。成灾地震平均每年发生 9.45 次, 而造成人员伤亡的地震平均每年发生 2.38 次。

(2) 近 50 年中国大陆成灾地震死亡人数变化

波动显著, 灾难性地震在 1970 年代前后较为活跃, 1966-1976 年间地震总体频度不高但是死亡人数突出, 地震灾害生命损失在该阶段相对集中。同时致死性地震造成的死亡人数突出, 重大伤亡地震对累计地震死亡人数作用明显, 地震灾害生命损失高度集中。剔除 1 000 人以上死亡的地震后, 背景死亡人数上升趋势不明显, 除个别峰值外, 每年因地震死亡人数在 0~150 人左右。

(3) 空间分布格局来看, 1966-2016 年中国大陆地震灾害活动空间较广但分布不均匀, 大陆 31 个省市自治区中 28 个省份发生过成灾地震, 因地震导致有人员死亡的省份 18 个, 河北省、四川省、云南省的地震死亡人数较多, 占全部地震死亡人数 90% 以上, 地震生命损失具有明显的区域性; 行政单元上地震灾害生命损失地区差异显著, 中小地震在多震省份生命损失较小, 在少震省份生命损失反而较大。

(4) 不同震级档与生命损失有如下关系: 一般地震灾害会导致个别人死亡; 较大地震灾害会导致数人至数十人死亡; 重大地震灾害则导致数十人至数百人死亡; 特别重大地震导致数百人至数万人死亡。通过对实际历史震例整理中发现, 存在个别地震因发生地点不同而生命损失有所不同, 主要影响因素与人口密度、地理环境、建筑物结构有关, 同时需要考虑城市直下型地震特殊情况。1966-2016 年间中国大陆城市直下型地震死亡人数突出, 约占地震总死亡人数的 71%, 地震灾害生命损失受地震类型, 尤其是城市直下型地震影响巨大。

(5) 地震生命损失分布受人口密度影响显著, 以人口分界线“胡焕庸线”切割中国大陆, 发现胡焕庸线东西地震灾害生命损失差异明显。胡焕庸线以东出现有生命损失的地震次数较多也较为集中且地震人员伤亡数较多, 占比 98% 左右, 而胡焕庸线以西虽然地震次数较多但是生命损失较轻。此外胡焕

庸线以东造成生命损失的地震集中在 5 级地震以上, 而胡焕庸线以西造成生命损失的地震集中在 6 级以上。因此地震灾害生命损失一般分布在人口相对较多的地区, 人口集中对地震灾害生命损失影响巨大。

本文针对 1966 - 2016 年我国大陆地震数据进行了梳理和回顾, 从不同层面对地震生命损失数据进行了分析, 可以较好的反应出中国大陆地震生命损失时空分布特征, 在今后研究中增加造成地震灾害生命损失的影响因素分析, 与相关评估模型相结合, 定量评估区域地震生命易损性, 为地震应急与防震减灾提供科学的理论支撑。

## 参考文献:

- [1] 人民出版社法律编辑室. 自然灾害救助条例[M]. 北京: 人民出版社, 2010.
- [2] 傅征祥, 姜立新, 李格平. 地震灾害生命损失的时空强分布特征分析[J]. 地震, 1994(2): 1 - 10.
- [3] 傅征祥, 刘桂萍, 邵辉成, 等. 中国大陆百年(1901 - 2001 年)浅源强震活动及生命损失回顾与分析[J]. 地震学报, 2005, 27(4): 367 - 376.
- [4] T. L. Holzer, J. C. Savage, 郎从, 等. 全球地震死亡人数与人口[J]. 世界地震译丛, 2013(2): 29 - 45.
- [5] 刘桂萍, 李纲, 张小涛, 等. 云南省地震生命损失的区域特征研究[J]. 震灾防御技术, 2015, 10(1): 25 - 38.
- [6] 中国地震局监测预报司. 中国大陆地震灾害损失评估汇编: 1996 - 2000[M]. 北京: 地震出版社, 2001.
- [7] 国家地震局, 国家统计局. 中国大陆地震灾害损失评估汇编(1990 - 1995 年)[M]. 北京: 地震出版社, 1996.
- [8] 楼宝棠. 中国古今地震灾情总汇[M]. 北京: 地震出版社, 1996.
- [9] 中国地震局震灾应急救援司. 2006 - 2010 年中国大陆地震灾害损失评估汇编[M]. 北京: 地震出版社, 2015.
- [10] 中国地震局震灾应急救援司. 1966 - 1989 年中国大陆地震灾害损失资料汇编[M]. 北京: 地震出版社, 2015.
- [11] 袁丽侠. 宁夏西吉县低角高速远程黄土滑坡及其形成机理分析[J]. 防灾减灾工程学报, 2006, 26(2): 219 - 223.
- [12] 赵书锋, 马志刚. 云南彝良地震村镇房屋震害启示及减灾对策[J]. 世界地震工程, 2013, 29(1): 152 - 159.
- [13] 张杰, 王宇, 张红兵, 等. 云南彝良 9·07 地震次生地质灾害特征分析[J]. 工程地质学报, 2014, 22(2): 280 - 291.
- [14] 单修政. 城市直下型地震初探[J]. 国际地震动态, 1989(10): 12 - 16.
- [15] 朱刚, 高孟潭, 任雪梅. 中国城市直下型地震危险性分析研究[J]. 中国地震, 2007, 23(2): 124 - 130.
- [16] 郭华东, 王心源, 吴炳方, 等. 基于空间信息认知人口密度分界线——“胡焕庸线”[J]. 中国科学院院刊, 2016, 31(12): 1385 - 1394.

## Analysis of Temporal-spatial Distribution of Life Losses Caused by Earthquake Hazards in Chinese Mainland

LI Wen<sup>1</sup>, CHEN Wenkai<sup>1</sup>, ZHOU Zhonghong<sup>1</sup>, GAO Na<sup>2</sup> and CHEN Jin<sup>1</sup>

(1. Lanzhou Institute of Seismology, CEA, Lanzhou 730000, China;

2. National Earthquake Response Support Service, Beijing 100049, China)

**Abstract:** Based on the historical data of life losses caused by earthquake hazards Chinese mainland from 1966 to 2016, based on the GIS platform and using mathematical statistics, a database on the life-loss of earthquake-disaster was established, and the temporal-spatial distribution characteristics of life losses in Chinese mainland were quantitatively calculated. The results show that: (1) The number of earthquakes that caused loss of life in mainland China was 143 times, accounting for 25% of the earthquake disasters (earthquake with economic losses or casualties). Earthquake disasters occur on average 9.45 times per year, and the number of earthquakes causing human deaths averages 2.38 times per year; (2) The number of deaths caused by fatal earthquakes in mainland China is outstanding. The massive earthquakes have a significant effect on the cumulative number of earthquake deaths. The loss of life from earthquakes is highly concentrated. (3) Earthquakes in China have been widely distributed. In the 28 provinces of 31 provinces and autonomous regions in China, there have been earthquake disasters, and 18 provinces have died due to earthquakes, In Hebei, Sichuan and Yunnan Province, the cumulative number of deaths caused by earthquake disasters accounted for 90% of the country's total. The overall presentation of small and medium earthquakes in the more earthquake-prone provinces has a smaller loss of life, and in the less earthquake-prone provinces the loss of life is rather large; (4) In the past 50 years, the cumulative number of earthquake victims in China's mainland reached 346, 600, of which the contribution rate of urban direct earthquakes was as high as 71%. (5) The distribution of life loss of earthquake disasters is significantly affected by the population density. It is bounded by the demarcation line Hu Huanyong Line, which shows that the east is high and the west is low, which is contrary to the frequency of earthquakes.

**Key words:** Chinese mainland; earthquake hazards; life losses; temporal-spatial distribution