

影响地震救灾效率的因素分析^{*}

——以汶川8.0级地震和玉树7.1级地震为例

周阿颖^{1,2}, 张朝^{1,2}, 史培军^{1,2}, 刘晓菲^{1,2}

(1. 北京师范大学地表过程与资源生态国家重点实验室, 北京 100875; 2. 民政部/教育部减灾与应急管理研究院, 北京 100875)

摘要:从地震报告死亡人数与震后时间关系的角度来定义救灾效率; 研究了近20年发生在世界各地的震级大、伤亡严重、破坏性极大的34个地震。采用多元素分析法, 探讨了地震救灾效率与死亡人数、地震震级、烈度、人均GDP、人口密度以及最大救灾效率发生的时刻等之间的关系。研究发现: 死亡人数是影响救灾效率的最主要的因素, 随着死亡人数的增加, 救灾效率会越低; 震级以及最大救灾效率发生时刻与救灾效率之间也存在显著的负相关; 而震区的经济水平和人口密度对救灾效率的影响并不显著。比较了2008年汶川8.0级地震和2010年玉树7.1级地震, 发现玉树地震的人均救灾效率较汶川地震有大幅度提升。

关键词:地震救灾效率; 多元素分析法; 死亡人数; 汶川8.0级地震; 玉树7.1级地震

中图分类号: P315.9 **文献标志码:** A **文章编号:** 1000-811X(2011)-04-0134-05

0 引言

近年来, 世界各地自然灾害频发, 在报道救灾过程中, 最受人们关注的一个数字就是灾害造成的死亡人数, 这体现了生命的宝贵和人们对于生命的尊重。无论是在地震救灾还是抗洪抢险中, “以人为本”“人命关天”的思想影响和指导着我国政府和军民在救灾过程中始终将救人作为第一要务。不少学者对地震死亡规律进行了多方面的探讨, 比如对决定地震最终死亡人数的主要因素, 包括地震发生时刻^[1]、震级^[2-3]、烈度^[3]和人口密度^[4]等。2005年E Gutierrez等^[5]通过分析全球近400个地震数据, 发现社会经济水平也是影响地震死亡人数的重要因素。另外, 高建国等^[6]对地震死亡人数的时程曲线进行了模型解析, 刘倬等^[7]对该模型进行了修正。同时, 大量文献分别定性探讨了影响地震紧急救灾效果^[8]、地震应急^[9]的主要因素, 但相对而言, 有关救灾效果定量分析和评估的研究并不多见。目前, 国内外就如何定量表征或评估地震救援的效率仍没有一个统一的标准。高建国等^[6]论证得出, 地震死亡人

数接近总数的报出时间越短, 表征救援能力越强, 该结论说明了救灾效率是可以死亡人数和震后时间的关系来度量的。刘倬等^[7]提出了以死亡人数的时变特征来衡量救灾效率的模型, 但是他们将某次地震的救灾效率看作是一个常数, 对影响救灾效率的主要因素并未深入探讨。正如一切研究地震死亡人数的变化的初衷都是为了降低死亡人数一样, 研究影响救灾效率的因素, 也正是为了能为各级抗震救灾指挥部提供救灾决策的参考, 从而提高地震救灾效率。

一场地震发生后, 各大媒体和有关机构会及时发布有关地震物理属性的参数, 诸如震级、地震烈度、震源地理位置和深度以及人员伤亡等数据。另外有关地震发生地区的人文经济和环境参数, 如该地区的人均GDP、人口密度、房屋抗震情况和交通状况等可以从联合国的相关社科文网站获得。此外相关媒体对救援的实际人员、物资等的投入也会有实时报道。研究这些数字, 既可以了解灾区的实际需求情况, 还能由此来表征地震救援的能力。本文试图建立一个地震救灾效率定量评价模型, 并对汶川8.0级地震和玉树7.1级地震进行实例分析。

* 收稿日期: 2011-03-27

基金项目: 国家自然科学基金重大国际合作研究项目(40821140354); 中央高校基本科研业务专项资金

作者简介: 周阿颖(1991-), 女, 湖南人, 大学本科, 主要从事灾害风险评价, 地理环境和人类健康研究。

E-mail: zhangzhao@bnu.edu.cn

通讯作者: 张朝(1971-), 湖南人, 副教授, 主要从事灾害风险评价、地理环境和人类健康研究。E-mail: zhangzhao@bnu.edu.cn

1 数据来源与方法

1.1 数据来源

本文中选取的 34 个地震的相关数据主要分为两种类型, ①是地震发生地区的地理状况和地震参数, 如人均 GDP、人口密度、总死亡人数、震级和烈度等, 这大部分来自 USGS、维基百科等权威网站; ②是关于地震的实时救援情况, 如汶川地震和玉树地震的死亡人数、被救人数及救援中人员物资的情况等相关数据则主要从新浪网的实时新闻报道中摘录。我们使用同一媒体的连续报道的资料, 来保持数据来源的完整性和一致性, 但由于网络媒体报道有重复和前后不一致的现象, 所以对数据进行了选取。其余的地震实时救援情况大多来自参考文献中的记载, 如洪时中^[10]、高建国等^[6]。

1.2 死亡人数随时间变化与救灾效率之间的模型

大地震发生后, 一般会有多次余震, 滨海国家或许还有海啸, 因此我们可以将救援看作一个实时变化的过程, 救灾效率也就随着各种偶然因素处于一个动态的过程之中。尽管救灾进程会遭遇偶然因素的影响, 但从以往的研究来看, 地震死亡人数存在时变特征^[6-7, 10-12]: 虽然每场地震死亡人数与报道时间不尽相同, 但死亡人数的时程

曲线大体类似双曲线, 开始增长速率快, 越往后越趋近饱和。在这一经验基础上, 刘倬等^[7]提出了一个时变模型。设 N_0 为最终死亡人数, $(N_0 - N)$ 为尚未发现的死亡人数, 救灾效率为参量 α , 得到:

$$\Delta n / \Delta t = \alpha (N_0 - N), \quad (1)$$

式中: α 是救灾效率的一个量度。根据震后死亡人数的报道是每过一段时间就发布一次, 我们可以计算出这一段时间的实时救灾效率, 所以设 N_t 为 t 时刻发现的死亡人数, 则 $(N_0 - N_t)$ 为 t 时刻尚未发现的人数。于是有实时救灾效率 α 的计算方法:

$$\alpha = \Delta N / \Delta t / (N_0 - N_t). \quad (2)$$

2 研究结果与分析

2.1 累积灾效率的时变特征

将实时救灾效率按震后时间累加起来, 得到累积救灾效率随时间变化的关系图(图 1)。从图 1 中可以得出, 累积救灾效率也存在明显的时变特征——刚开始变化速率大, 越往后增长速率越缓慢, 越趋向饱和, 且速率变化最大的时间段大致为震后 10~75 h 内。这说明救灾是存在黄金时机的, 超过这个时间段, 救灾效率的增长减缓, 救灾效果就越差, 损失也会随之变大。

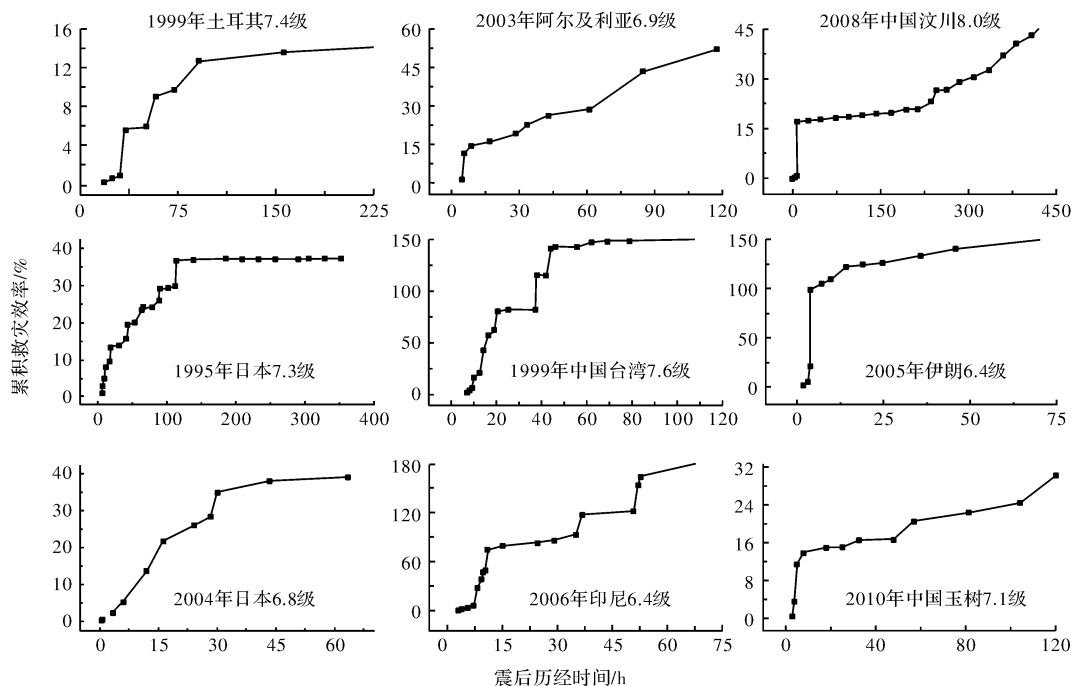


图1 累积救灾效率随时间变化曲线

(注: 其中 2010 年 4 月 14 日中国玉树 7.1 级地震的数据统计截至 2010 年 4 月 19 日 20 时)

2.2 影响救灾效率的相关因素

我们根据 α 的实时变化的特征, 提取出平均

效率、实时累积效率、最大效率及其出现的时间 4 个参数与地震死亡人数、震级以及人均 GDP 进行

相关性分析(表1),从中可以看出,总死亡人数、震级、最大救灾效率出现时间都与平均救灾效率成负相关,其中总死亡人数最为显著。这就说明当震级越高,总死亡人数越多,救灾难度也相应提高,最大救灾效率出现的时间距离地震发生的时间就越长,救灾进程也会因此受到延阻。而最有效的救援

时间是在地震发生后的第1 d里,1976年中国唐山7.8级地震和1995年日本阪神7.3级地震资料显示第1 d救出者存活率为81.1%,而第2 d所救出的人员存活率只有31.1%,第4 d所救出的人员存活率只有13.0%^[13]。且现有专家研究得出救援的黄金时段是震后72 h内,100 h后生还可能性极低。

表1 救灾效率与研究变量之间的皮尔逊相关系数及对应的P值

	平均效率	累积效率	最大效率	最大效率时	死亡人数	震级	烈度	人均GDP	人口密度
平均效率		0.904 **	0.968 **	-0.381 *	-0.683 **	-0.422 *	-0.089	-0.117	-0.085
累积效率	<0.001		0.941 **	-0.321	-0.577 **	-0.369 *	-0.047	0.073	-0.048
最大效率	<0.001	<0.001		-0.350 *	-0.589 **	-0.332	-0.088	-0.118	-0.123
最大效率时	0.026	0.064	0.042		0.452 **	0.484 **	-0.140	-0.008	0.462 **
死亡人数	<0.001	<0.001	<0.001	0.007		0.424 *	0.149	-0.140	0.145
震级	0.013	0.032	0.055	0.004	0.012		-0.098	-0.108	-0.132
烈度	0.618	0.791	0.621	0.430	0.400	0.581		0.135	-0.052
人均GDP	0.510	0.682	0.507	0.964	0.430	0.544	0.446		0.096
人口密度	0.633	0.788	0.489	0.006	0.413	0.458	0.772	0.591	

注:表左下为皮尔逊相关系数;表右上为对应的P值;“**”指 $P < 0.01$;“*”为 $P < 0.05$ 。

如果救灾过程受到延阻,最终死亡人数就会增加,根据式(2),又必然降低平均救灾效率(图2)。相反,如果救灾过程安排得井然有序,救援人员和物资合理调配,灾区得到充分的外援,可以赢得更多的时间来抢救受灾人员,那么最终死亡人数就会减少,平均救灾效率便会得到提升。

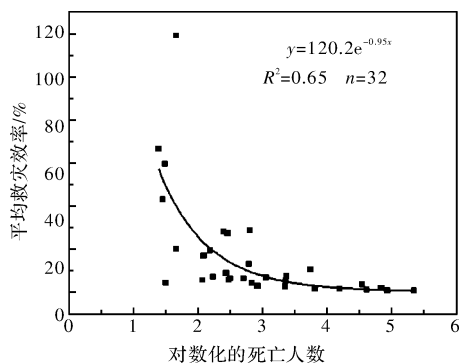


图2 总死亡人数对平均救灾效率的影响(不包括2007年秘鲁中部近海7.8级地震和2002年阿富汗7级地震)

2.3 计算地震救灾效率的方程模型

平均救灾效率与各研究变量之间的相关性较累积效率和最大救灾效率而言更大,所以在平均值、累加值和最大值三者之中,选取平均救灾效率作为救灾效率的参考变量是较为合理的。以上标示的、可量化的数据都影响着平均救灾效率。如果将在地震救援过程中Log转化后的平均救灾效率设为 Q ,则 Q 与Log转化后的最大效率出现的时间(T)、死亡人数(R)、震级(M)、人均GDP(G)、人口密度(D)和地震烈度(I)的关系曲线可以用六

元一次方程式进行较好的模拟。由于个别数据偏差太大,我们对数据进行了逐步过滤筛选,当过滤掉4组数据(2001年的秘鲁莫克瓜7.9级地震,2004年的日本新潟6.8级地震,2002年阿富汗7级地震,2007年秘鲁中部近海7.8级地震)后,利用30个地震样本数据,我们用SPSS17.0统计软件计算,得到模拟方程为:

$$Q = 0.03T - 0.388R - 3.476M - 0.044D - 0.15G - 0.398I + 5.936 \quad (3)$$

式(3)中的多变量对救灾效率的解释能力高达82%,说明我们选择的解释变量还是非常具有代表意义。如果利用34个地震样本数据,得到的模拟方程解释能力只有54%。由图3也可以看出,过滤后的数据模型比过滤前与实际值更吻合。

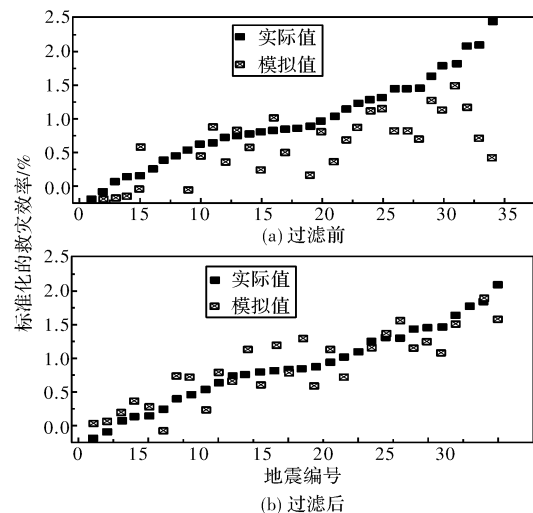


图3 过滤前(a)和过滤后(b)的模拟值与实际值的对比图

3 汶川地震和玉树地震的比较

我们将汶川地震震后每过一段时间报道的从废墟中救出的人数占最终从废墟中救出来的总人数的比例与同时时间段的累计救灾效率做 Pearson 相关性分析($n=7$), 最终得出 p 值为 0.82。而前者直接反映了救灾的进程, 两者呈现较高的相关性证明本文提出的救灾效率是可以作为一种评价地震救灾效果的指标的。利用本文提到的式(2)可以算出, 汶川地震中的平均救灾效率为 1.77%, 玉树地震中的平均救灾效率为 2.51%, 玉树地震较汶川地震救灾效率有了提升。

根据实时报道的在汶川 8.0 级地震中和玉树 7.1 级地震中的救援人数的投入, 我们可以得到累计救援人数, 然后由同一时刻的累计救灾效率和累计救援人数之比得到实时人均救灾效率(图 4)。在图 4 中, 汶川地震(a)和玉树地震(b)的人均救灾效率最大值都出现在震后 24 h 之内, 救援人员要从四面八方调入, 赶到受灾地区进行救援的人员有限, 而此时的累积救灾效率从图 1 可以得出正处于急速升高的时段。24 h 之后, 越来越多的救灾人员赶往现场, 图 1 中显示 24 h 之后, 累积救灾效率增长幅度变小, 所以个人救灾效率在达到最大值之后呈下降趋势。

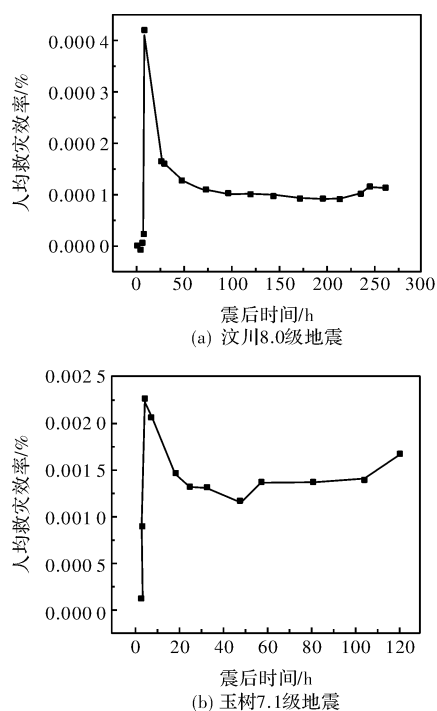


图4 汶川 8.0 级地震和玉树 7.1 级地震中人均救灾效率随时间的变化

从对比方面来说, 汶川 8.0 级地震中的最大人均救灾效率为 0.000 4%, 玉树 7.1 级地震中的最大人均救灾效率为 0.002 3%, 很明显玉树 7.1 级地震的人均救灾效率整体上较汶川 8.0 级地震有显著的提高。原因有二, ①我国的救灾水平得到了提升, 政府统筹和资源调配有序合理, 救灾经验也比先前丰富; ②汶川地震和玉树地震在受灾情况和救灾环境上有差异^[14-16], 在受灾情况方面玉树地震波及范围约 3 万 km^2 , 共 12 个乡镇约 10 万人受灾, 重灾区面积约 4 000 km^2 , 而汶川地震的影响范围包括震中 50 km 范围内的县城和 200 km 范围内的大中城市, 影响范围较玉树地震大; 在救灾环境上, 震区的交通和通讯条件不同。玉树地震 24 h 交通通讯基本恢复, 机场运行有效, 汶川地震后 79 h 首条生命通道才贯通, 省会城市成都通讯曾一度中断。

4 讨论和结论

研究地震的救灾效率是为评估地震的救援情况提供一个指标。总死亡人数是影响救灾效率的主要因素, 因此要提高救灾效率, 首先要做的就是把握时机抢救人员; 救灾效率也会影响死亡人数, 救灾效率无法提高, 救灾难度也就越大, 导致总死亡人数增加。

通过对 34 个地震数据的筛选, 我们利用过滤后的 30 个地震数据模拟出了利用影响因素计算救灾效率的方程。从模拟值与实际值之间的相对误差来看, 拟合的结果还是很好的。如果能掌握更多的地震数据和更详细的相关因素数据, 则可以更精确地对地震救灾效率进行计算。

从汶川 8.0 级地震和玉树 7.1 级地震的比较分析中发现, 玉树地震的救灾效率明显提高, 这和人员物资的合理调配是分不开的。通过对两次地震的比较我们发现, 利用本文的救灾效率进行评估是很有实际意义的。

当然, 如果要对救灾效率进行更为准确的计算, 除了文中列出的已经进行研究的因素之外, 还应地震发生的时间、房屋破坏状况、政府应对能力、灾区的交通环境等自然因素和社会因素进行探究。

参考文献:

- [1] Lomnitz C. Casualties and behavior of populations during earth-

- quakes[J]. Bull Seism Soc Amer, 1970, 60: 1309–1313.
- [2] 傅征祥, 李革平. 地震生命损失研究[M]. 北京: 地震出版社, 1993: 48.
- [3] 王景来. 云南地震死亡人数定量估算[J]. 灾害学, 1994, 9(4): 55–58.
- [4] Christoskov L, Samardjieva E. An approach for estimation of the possible number of casualties during strong earthquakes[J]. Bulg Geophys, 1984, 4: 94–106.
- [5] Gutierrez E, Taucer F, De Groeve T, et al. Analysis of worldwide earthquake mortality using multivariate demographic and seismic data [J]. American Journal of Epidemiology, 2005, 161(12): 1151–1158.
- [6] 高建国, 贾燕. 地震救援能力的一项指标——地震灾害发布时间的研究[J]. 灾害学, 2005, 20(1): 31–35.
- [7] 刘倬, 吴忠良. 地震和地震海啸中报道死亡人数随时间变化的一个简单模型[J]. 中国地震, 2005, 21(4): 526–529.
- [8] 姚清林, 高建国. 制约地震紧急救灾效果的关键因素与改进途径[J]. 灾害学, 2005, 20(3): 48–52.
- [9] 邓砚, 聂高众, 苏桂武. 地震应急的影响因素分析[J]. 灾害学, 2005, 20(2): 27–33.
- [10] 洪时中. 对日本兵库县南部地震震灾统计时程曲线的初步分析[J]. 国际地震动态, 1995(5): 10–14.
- [11] 王景来, 杨子汉. 地震灾害时间进程法[J]. 地震研究, 1997, 20(4): 424–430.
- [12] 吴新燕, 顾建华, 吴昊昱. 地震报道死亡人数随时间变化的修正指数模型[J]. 地震学报, 2009, 31(4): 457–463.
- [13] 高建国. 地震应急期的分期[J]. 灾害学, 2004, 19(1): 11–15.
- [14] 姜洁, 李幼平, 王觅也, 等. 玉树与汶川地震医疗救援比较[J]. 中国循证医学杂志, 2010, 10(5): 550–554.
- [15] 郑通彦, 李泽, 侯建盛, 等. 2008 年中国大陆地震灾害损失述评[J]. 灾害学, 2010, 25(2): 112–118.
- [16] 秦松涛, 李智敏, 谭明, 等. 青海玉树 7.1 级地震震害特点分析及启示[J]. 灾害学, 2010, 25(3): 65–70.

Analysis of the Factors Affecting the Efficiency of Earthquake Disaster Relief

——A case study on Wenchuan M8.0 earthquake and Yushu M7.1 earthquake

Zhou Aying^{1,2}, Zhang Zhao^{1,2}, Shi Peijun^{1,2} and Liu Xiaofei^{1,2}

(1. State Key Laboratory of Earth Surface Processes and Resource Ecology, Beijing 100875, China; 2. Academy of Disaster Reduction and Emergency Management, Beijing Normal University, Beijing 100875, China)

Abstract: The relief efficiency is defined as an increasing death toll relative to missing persons during a certain period after an earthquake. A series of death toll of 34 significant earthquakes all over the world in recent 20 years are collected, and the correlations between relief efficiency and death toll, magnitude, intensity, per capita GDP, population density and time at maximum relief efficiency, are analyzed. We found that death toll in earthquake is the main factor controlling the relief efficiency, and the significantly negative correlations between relief efficiency and earthquake magnitude, and occurring time of maximum efficiency are shown, implying that the rapid emergence response of a government after a catastrophe will increase disaster relief efficiency. A simulation equation ($r^2=0.82$) to calculate the relief efficiency is figured out by filtering and reducing noise. Finally, the relief efficiency of two catastrophes, Wenchuan M8.0 earthquake in 2008 and Yushu M7.1 Earthquake in 2010, is compared. It shows that the per capita relief efficiency of Yushu Earthquake is greatly improved relative to that of the Wenchuan earthquake.

Key words: earthquake relief efficiency; multi-element analysis; death toll; Wenchuan M8.0 earthquake; Yushu M7.1 Earthquake