

地震灾区区域搜救优先级判定方法研究及应用*

吴新燕¹, 陈维锋², 郭红梅²

(1. 中国地震局地球物理研究所, 北京 100081; 2. 四川省地震局, 四川 成都 610041)

摘要: 针对震后快速反应与应急救援辅助决策的需要, 综合考虑灾区人口数量、人口密度、地形、交通、天气、烈度等因素, 建立了地震灾区区域搜救目标优先级的评判模型, 并以汶川地震为例进行了搜救目标优先级的划分, 结果表明该方法可以满足大灾区的区域搜救优先级评定需求。

关键词: 地震灾区; 搜救; 优先级; 汶川地震

中图分类号: P315.95

文献标识码: A

文章编号: 1000-0666(2013)02-0198-04

0 引言

国内外历次地震的救援行动案例表明, 对压埋人员抢救越快及时, 救活的可能性越大。据汶川地震某部门救援统计(安建等, 2009), 20分钟内挖出的人员存活率为98%, 30分钟内是90%, 1小时内为63%, 48小时内为36%。地震造成的压埋人员存活除受伤程度外还取决于挖出的时间, 挖出的时间越早, 人们生存的希望就越大。因此, 在救援时间极其有限的情况下, 合理地分析各个救援区域的优先级具有重要作用。自20世纪90年代起, 许多专家学者在地震灾害搜索救援的理论和方法上开展了相关探索和研究工作, 顾建华等(2003)对地震灾害现场的搜索策略和搜索方法等有关问题进行了讨论, 并就搜索分队的部署等提出了建议; 肖松雷(2006)以数学表达形式对地震灾害现场搜索与救援的优先级和指挥部署模型做了初步研究; 翟浩和曹泽文(2010)以概率的形式给出了建筑物搜索优先值; 郭红梅等(2008)设计开发了城市地震现场搜救指挥辅助决策系统; 雷秋霞等(2011)运用地理信息系统、全球定位系统技术和智能空间决策技术, 结合震害预测、地震灾情快速获取技术等, 建立了地震现场搜救力量部署辅助决策系统; 胡伟华等(2010)探讨了地震灾区分级和灾害程度排序的方法; 卢永坤等(2011)利用云南省的3次震例计

算了每个震例的受灾程度影响因子及综合灾害指数。本文主要考虑影响搜救优先级的因素, 建立区域搜救优先级评判模型, 进而确定区域现场搜救的优先级。

1 区域的定义

在本文中, “区域”指较大范围, 比如: 某个区县行政区、大型城镇等。在一次大规模地震救援行动中, 可以将整个灾区看成是若干个区域的组合, 在进行分区的基础上, 再划分若干个局部(图1)。无论是区域还是局部, 搜救目标优先级都是根据评判法则的计算结果而来的, 如果将搜救目标级别分成三个等级的话, 将“一级”定义为分数最高的级别, 即搜救优先级别最高的等级。

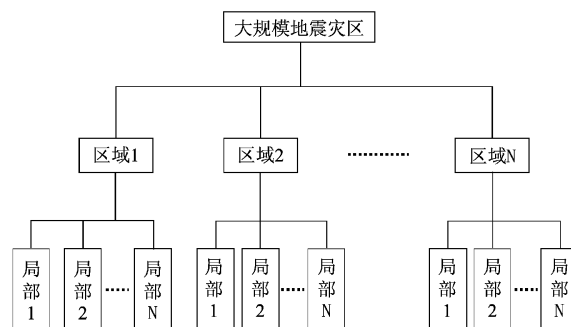


图1 大规模地震灾区分区示意图

Fig. 1 Division schematic diagram in a large earthquake disaster area

* 收稿日期: 2012-03-24.

基金项目: 中国地震局地球物理研究所基本科研业务专项“玉溪盆地震后人员伤亡快速评估研究(DQJB11C27)”资助。

2 区域搜救目标分级

区域搜救目标优先级是以区域作为搜救目标，研究区域之间的搜救优先级关系，也就是确定出哪个区域应该优先进行搜救工作。

2.1 影响因素的确定

影响区域搜救的因素很多（邓砚等，2005；苗崇刚，聂高众，2004），主要有两大方面，即：压埋人数与救援难度，而救援难度主要由地形、交通和天气三个方面影响。

2.1.1 压埋人数

压埋人数既是决定地震灾害损失大小的关键因素之一，也是灾区救助对象、保护对象、需要救灾人力物力数量等的决定因素，因此也是决定某次地震救援行动指挥与控制的基本影响因素之一。

2.1.2 地形

灾区地形影响着救援队伍行进方式、抵达灾区快捷顺利程度，地形不同也会产生不同的次生灾害。地形平坦的地区相对于地形复杂、山高沟深的地区，地震救援难度较低且能比较顺利进行。在考虑救援效率的前提下，本着先易后难的原则，在使用同等交通工具条件下，地形简单的地区应该优先救援。

2.1.3 交通

交通也是影响地震救援的又一关键因素。有的地区交通阻断，进而延迟了救援进度。所以，为了提高救援效率，同等条件下，交通好的地区可优先救援。

2.1.4 天气

在天气恶劣的情况下，救援难度增大。因此，同等条件下，天气好的地区可优先救援。

2.2 评判模型

2.2.1 数学模型的建立

通过以上各影响因素的分析，得到评判模型：

$$W = P_d \times \sum (A \times Y_m).$$
 (1)

其中：W 为区域搜救目标得分；P_d 为搜救成功概率；Y_m 为压埋率估计；A 为各烈度区人口总数。

2.2.2 模型参数的确定

(1) 搜救成功概率 P_d

假设在时间一定的前提下，救援队伍对于某个区域执行任务的成功概率为 P_d。则 P_d 为搜救难度 d 的函数，并在 0 ~ 1 的范围内变化，在搜救难度逐渐增大时，P_d 会逐渐变小，因此，我们利用函数 $P_d = 1 - e^{-\frac{1}{d}}$ 来描述成功执行任务的概率，搜救难度 d 由地形、交通、天气加权确定，在因素得分方面，地形为高原、交通完全阻断、雷雨天气的得分为最高（最难），地形为平原、交通通畅、天气晴朗的得分最低（最容易），三种因素的权重由专家来打分，公式（1）也可记为

$$W = (1 - e^{-\frac{1}{d}}) \times \sum (A \times Y_m).$$
 (2)

表 1 搜救难度影响因素的赋值
Tab. 1 Valuation on influencing factors of search and rescue difficulty

地形	交通	天气
平原（1）	畅通（1）	晴（1）
丘陵（2）	半通（2）	阴（2）
山地（3）	阻断（3）	小到中雨（3）
高原（4）		大雨（4）

注：表中括号内数字为赋值。

(2) Y_m 的确定

理论上的压埋率应该包括死亡率、受伤率和被压埋但未受伤率三部分。但根据以往地震救援经验，被压埋但未受伤的人员大多数都被周围居民通过自救互救的方式解救出来，专业救援队所营救受困者几乎都是伤员或罹难者，因此被压埋但未受伤的比例应当很小，暂时不作考虑，则压埋率即为伤亡率。可根据国家地震局震害防御司未来地震灾害损失预测研究组（1990）研究的地震伤亡率和烈度的关系，粗略给出伤亡率结果。

表 2 我国城乡地震伤亡率和烈度的关系（10⁻⁴）
Tab. 2 The relationship between earthquake casualty rate and intensity in urban and rural in China（10⁻⁴）

烈度	城市		乡镇		乡村	
	死亡率	受伤率	死亡率	受伤率	死亡率	受伤率
Ⅵ	0.14	5.4	0.2	3.6	0.06	0.38
Ⅶ	3.1	53	3.2	31	0.64	3.1
Ⅷ	48	460	40	260	6.8	27
Ⅸ	680	4000	480	2200	74	210

震后初期暂时无法得到地震动分布图时,式(2)中的烈度 I 由烈度衰减模型来确定(汪素云等, 2000), 其中, 中国东部的烈度衰减关系为

$$\begin{cases} I_a = 5.019 + 1.446M - 4.136\lg(R + 24) \\ I_b = 2.240 + 1.446M - 3.070\lg(R + 9) \end{cases} \sigma = 0.517. \quad (3)$$

中国西部的烈度衰减关系为

$$\begin{cases} I_a = 5.253 + 1.398M - 4.164\lg(R + 26) \\ I_b = 2.019 + 1.398M - 2.943\lg(R + 8) \end{cases} \sigma = 0.632. \quad (4)$$

其中, I_a 和 I_b 分别是长、短轴方向的烈度, M 是震级, R 为距离, 单位是 km, σ 是标准差。得到地震动分布图后, 可及时修正烈度分布, 并据此重新计算搜救目标优先级。

2.3 搜救目标分级

归一化是一种简化计算的方式, 也就是将有量纲的表达式经过变换, 化为无量纲的表达式, 成为纯量。归一化方法有很多种, 这里采用如下方法:

$$X'_i = \frac{X_i - X_{\min}}{X_{\max} - X_{\min}} \times 100 \quad i = 1, 2, \dots, n. \quad (5)$$

当 $30 < X'_i \leq 100$ 时, 设定搜救目标优先级为一级;
当 $10 < X'_i \leq 30$ 时, 设定搜救目标优先级为二级;
当 $X'_i \leq 10$ 时, 设定搜救目标优先级为三级。

3 应用实例

3.1 汶川地震部分灾区(县市)受灾信息

2008 年 5 月 12 日 14 时 28 分, 四川省汶川县发生 8.0 级地震, 地震灾区涉及四川、甘肃、陕西、重庆、云南、宁夏 6 个省(市、自治区), 近 30 个省有震感, 据民政部报告, 截至 2008 年 9 月 25 日 12 时, 四川汶川地震已确认 69 227 人遇难, 374 643 人受伤, 失踪 17 923 人(国务院新闻办公室, 2008)。其中四川省造成遇难 62 161 人, 受伤 347 401 人, 灾区主要涉及阿坝、绵阳、德阳、成都、广元等 20 个州(市), 140 个县(市、区)。表 3 给出了汶川地震中部分灾区影响因素搜救目标优先级的因素。

表 3 汶川地震部分灾区搜救目标优先级影响因素

Tab. 3 Influencing factors of search and rescue target priority in partial disaster areas of Wenchuan M8.0 earthquake

县区名称	所属市	总人口/万人	人口密度	烈度	估计死亡人数	估计受伤人数	地形	交通	天气
汶川县	阿坝州	10.40	10.5	8~11	19 718	47 902	高原	阻断	晴
北川县	绵阳市	15.40	56.0	8~11	12 012	35 882	山地	阻断	晴
什邡市	德阳市	43.30	499.0	8~9	9 569	51 614	山地	阻断	晴
平武县	绵阳市	18.60	31.0	7~11	6 417	13 504	山地	阻断	晴
青川县	广元市	24.60	76.0	8~9	5 437	29 323	山地	阻断	晴
茂县	阿坝州	10.90	27.0	7~10	3 854	15 715	高原	阻断	晴
江油市	绵阳市	88.30	323.0	8	2 790	21 987	丘陵	阻断	晴
盐亭县	绵阳市	60.90	370.5	7	195	1 888	山地	阻断	晴
理县	阿坝州	4.60	10.0	7~8	78	639	山地	阻断	晴
黑水县	阿坝州	6.01	14.0	7	4	19	高原	半通	晴
金川县	阿坝州	7.20	14.2	6	1	3	高原	半通	晴
松潘县	阿坝州	7.30	8.0	6~8	18	74	高原	阻断	晴
九寨沟县	阿坝州	6.50	12.5	6	1	2	高原	阻断	晴
小金县	阿坝州	8.00	14.0	7	5	25	高原	半通	晴
红原县	阿坝州	4.24	5.4	6	1	2	高原	畅通	晴

3.2 模型与实际结果的比较

表 4 分别显示了根据模型得到的部分灾区搜救目标优先级别划分与灾害损失评估报告中的分区,

结果显示模型基本能够反映受灾程度, 并结合了当地的交通、天气、地形等因素, 指挥部可参考此模型给出相应的力量派遣优先级别。

表 4 汶川地震部分灾区搜救目标优先级别与灾评结果比较
Tab. 4 The comparison between judgment result of search and rescue target priority and disaster assessment results in partial disaster areas of Wenchuan M8.0 earthquake

县区名称	所属市	实际伤亡/人	优先等级	灾评结果
汶川县	阿坝州	50 524	一级	极灾区
北川县	绵阳市	42 561	一级	极灾区
什邡市	德阳市	37 914	一级	极灾区
平武县	绵阳市	33 691	一级	极灾区
青川县	广元市	20 148	一级	极灾区
茂县	阿坝州	12 116	一级	极灾区
江油市	绵阳市	9 877	一级	极灾区
盐亭县	绵阳市	1 946	二级	重灾区
理县	阿坝州	1 715	三级	严重灾区
黑水县	阿坝州	90	三级	重灾区
金川县	阿坝州	58	三级	受灾区
松潘县	阿坝州	42	三级	严重灾区
九寨沟县	阿坝州	41	三级	重灾区
小金县	阿坝州	40	三级	严重灾区
红原县	阿坝州	11	三级	受灾区

4 结论

笔者用定量的方式确定了地震救援优先级，并以汶川地震为例，进行了实例计算，结果表明，该评判模型可以给出比较科学的优先级判定依据，从而能为更加救援力量部署提供参考，对地震现

场救援具有实际意义。

参考文献：

安建,张穹,刘玉辰. 2009. 中华人民共和国防震减灾法释义[M]. 北京:法律出版社.

邓砚,聂高众,苏桂武. 2005. 地震应急的影响因素分析[J]. 灾害学, 20(2):27-33.

顾建华,陈维锋,郝清源. 2003. 地震灾害现场救援搜索策略与搜索方法有关问题的讨论[J]. 国际地震动态, (6):6-12.

郭红梅,黄丁发,陈维锋,等. 2008. 城市地震现场搜救指挥辅助决策系统的设计与开发[J]. 地震研究,31(1):83-88.

国家地震局震害防御司未来地震灾害损失预测研究组. 1990. 中国地震灾害损失预测研究[M]. 北京:地震出版社.

国务院新闻办公室. (2008-09-25) [2012-03-24]. http://www.gov.cn/jrzq/2008-09/25/content_1105677.htm

胡伟华,宋立军,苗崇刚,等. 2010. 地震灾区分级和灾害程序排序方法研究——以汶川 8.0 级地震为例[J]. 灾害学, 25(2):30-35.

雷秋霞,陈维锋,黄丁发,等. 2011. 地震现场搜救力量部署辅助决策系统研究[J]. 地震研究,34(3):384-388.

卢永坤,代博洋,庞卫东. 2011. 基于云南 3 次震例对地震灾害区域等级评估方法的探讨[J]. 地震研究,34(2):214-221.

苗崇刚,聂高众. 2004. 地震应急指挥模式探讨[J]. 自然灾害学报, 13(5):48-54.

汪素云,俞言祥,高阿甲,等. 2000. 中国分区地震动衰减关系的确定[J]. 中国地震,16(2):99-106.

肖松雷. 2006. 救援力量现场搜救行动指挥与部署模型的初步研究[D]. 北京:中国地震局地球物理研究所.

翟浩,曹泽文. 2010. 地震灾害搜索救援区域优先级分析[J]. 人力资源管理, (8):65-66.

Research on Judgment Methods for Regional Search and Rescue Priority in Earthquake Disaster Areas and its Application
——Taking Wenchuan M8.0 Earthquake as an Example

WU Xin-yan¹, CHEN Wei-feng², GUO Hong-mei²

(1. Institute of Geophysics, CEA, Beijing 100081, China)

(2. Earthquake Administration of Sichuan Province, Chengdu 610041, Sichuan, China)

Abstract

To meet the demand of fast response and emergency assistant decision making, considering population quantity, population density, terrain, traffic, weather, intensity and other factors in earthquake disaster area, we build the judgment model of regional search and rescue target priority in earthquake disaster areas. Then taking Wenchuan M8.0 earthquake as an example, we give the priority classification of search and rescue target. The result shows that this method could meet judgment need of regional search and rescue target priority in the large disaster area.

Key words: earthquake disaster area; search and rescue; priority; Wenchuan M8.0 earthquake