

地震现场倒塌建筑物的搜救策略研究¹

李亦纲¹⁾ 张媛¹⁾ 李志伟²⁾

1) 中国地震应急搜救中心, 北京 100049

2) 防灾技术学院, 河北 065201

摘要 与一般倒塌建筑物的搜救不同, 地震灾害现场的搜救将可能面对大量的、类型复杂、倒塌情况复杂的建筑物, 制定科学的搜救策略对于快速有效的营救被困人员十分重要。本文对近几年有关地震现场搜救策略的研究进展进行了综述和现状分析, 并在此基础上, 从搜救分区、搜救目标的优选、具体营救方案制定几个方面, 对如何根据现场情况进行科学的搜救策略制定进行了系统的阐述。

关键词: 地震现场 倒塌建筑 搜救策略

引言

1906年美国旧金山大地震之后, 美国提出了成立救援队到现场搜救并同意外国人参与救援的决议, 得到了积极的响应。此后各国逐渐建立了救援机构和队伍, 服务于灾害生命救援。1986年, 前苏联亚美尼亚地震后, 国际救援队伍逐渐壮大, 参与国际救援的国家也越来越多。中国地震灾害紧急救援队(对外称中国国际救援队)2001年成立以来, 陆续参加了阿尔及利亚、伊朗巴姆、印度洋地震海啸、南亚大地震、印尼日惹地震、海地地震的国际救援工作, 扩大了我国的国际影响并带动了我国应急救援的基础设施建设和科学研究的发展(陈虹等, 2004)。这些成果也在2008年汶川特大地震灾害的紧急救援工作中得到了体现。

在地震应急救援领域, 美国及作为欧盟成员国的瑞士、德国、荷兰、法国等国的技术设备建设和相关科研工作起步较早, 取得了一定进展。而我国在这一领域的起步较晚, 在地震灾害应急搜索与救援的科学研究方面, 尤其是针对搜救方案、搜救策略等, 开展的工作较少, 制约了地震搜救工作的发展。不论是1976年的唐山大地震, 还是2008年的汶川大地震, 我们面对的都是恶劣环境下的艰难救援。尤其是对汶川地震的救援总结可以看出, 建筑物在给我们提供舒适居住环境的同时也加大了我们救援的难度。建筑物倒塌后, 这些结构不易拆解或移动, 这样就有可能延长救援时间, 对埋压者造成更大的伤害。科学的搜救策略是有效开展救援, 尽量降低埋压人员死亡数量的重要途径。

1 基金项目 本文由国家科技支撑计划课题“重大地震灾害及其灾害链综合风险评估技术(2008BAK50803)”资助

[收稿日期] 2010-07-07

[作者简介] 李亦纲, 男, 生于1974年。博士, 副研究员, 联合国UNDAC灾害评估与协调组成员。主要从事地震灾害、灾害应急救援科研与实践, 多次到地震现场参加地震灾害评估。在地震危害性评价、震害预测与损失评估、现场调查与应急指挥技术系统等方面的基础理论和实际应用领域有比较深入的研究。E-mail: Liyig@263.net

1 研究进展综述

某一城市地震现场倒塌建筑物的数量大、种类多、破坏特点复杂，其搜救策略的制定不同于对单一倒塌建筑物的救援，涉及到搜救分区、搜救目标的分类评价与优选、具体搜救方案的制定等，这方面的研究实际上包括了科学的工作程序的制定、目标优选模型等内容。

地震倒塌建筑物的分类评价与目标选取是搜救工作中一项重要而具体的工作，它是制定搜救策略的基础。此项研究工作目前国际上也处于起步阶段，相关的研究工作也比较粗略。在 INSARGA、FEMA 的搜索与救援指导手册以及德国、荷兰等一些培训组织的培训教材中，针对此项内容的说明相对简单，仅给出一般的工作要求和初步的工作步骤，如德国培训机构给出的建筑物分类三步法等 (INSARAG, 1999; FEMA, 1998; 2001; MCDem, 2001; OFDA, 2002)。

Solveig (2003; 2004a; 2004b) 针对建筑物搜救目标的优选开展了较深入的研究工作，给出了建筑物分类的五步法和针对特定建筑物目标搜救的十步法，初步给出了现场倒塌建筑物科学分类评价和开展幸存者搜救的行动方案。如将某一搜救区域的建筑物分类工作分为五步进行，即灾害分区、建筑物分类、信息收集、倒塌建筑物评价、搜救目标优化选取；将针对某倒塌建筑物的搜救分为倒塌模式分析、残留空间确定、幸存者搜索、救援实施等十步。

我国目前已开展的相关领域研究主要是在一般性综述、总体工作程序、队伍配备和装备配置及具体设备研发等方面 (顾建华等, 2003a; 2003b; 2003c; 杨建民等, 2004; 张连民等, 2004; 2004b; 许建东等, 2005; 张滨, 2005; 陈维锋等 2003)，对行动方案及一些关键性技术环节，如针对搜救的地震现场倒塌建筑物的分类、评定、搜索救援策略与工作程序等方面尚缺乏深入研究。此外，已开展的部分搜救策略研究工作，如在顾建华等开展的建筑物评估和标记研究、搜索策略研究中，主要给出了相对具体的搜救工作的一部分内容的技术方案，如标记规范、搜索策略等，没有给出综合考虑现场搜救涉及的相关因素、制订完善的搜救行动方案等内容。

2 搜救目标的分类评估与优选

2.1 城市地震现场的搜救分区

地震现场的搜救目标是倒塌的建筑物，对于城市地震灾害现场，搜救目标表现为灾害群体，因此，目标分类评估的前提是对倒塌建筑物的分区。搜救分区没有确定的标准，一般可由当地的应急机构，如现场指挥部来根据灾情和现场工作需要划分，通常是面对整个城市范围的较大区域，分区时可考虑以下因素：地震破坏的空间分布、失踪人数的空间分布、灾后的航空或卫星遥感影像判读结果、行政区划、所有救援队伍的基本情况、政治因素等。

对于某一救援队伍，也可能面临分区的工作需求，其主要目的是确定本队伍的工作区，明确工作范围，保持与其他队伍间的工作独立性。对于专业救援队伍，分区应考虑的因素包括：定义工作区界线；队伍的现场处置能力；队伍的后勤保障能力；队伍的救援能力等。

2.2 搜救目标的评估与优选

在搜救分区模型研究的基础上，需要综合考虑多种因素，对搜救目标进行评估和优选。对于建筑物的类型、倒塌特点等可基于专家的判断获取，对于幸存者的情况等信息则需要通

过问询获取。本文主要考虑建筑物倒塌情况、残存空间情况、幸存者情况、安全与进入条件 4 类因素，对倒塌建筑物进行分类评价。

Solveig (2003; 2004a; 2004b) 对上述因素进行了以下情况区分：建筑物的倒塌情况或稳定性（分为稳定、不稳定和濒临倒塌三类）、幸存者情况（可考虑分为确定有幸存者生存和不确定幸存者是否生存两种情况）、残存空间（可考虑分为大空隙和小空隙两种情况）。并在综合考虑上述因素分类的基础上，给出了倒塌建筑物目标优选表（表 1）。

表 1 倒塌建筑物搜救目标优选表（Solveig 版本）

Table 1 The priority of different SAR targets of collapsed buildings (Solveig version)

	稳 定	不 稳 定	濒 临 倒 塌
幸存者生存	1	1	6
不确定幸存者状态，大空间	2	3	7
不确定幸存者状态，小空间	4	5	7

Solveig 没有考虑建筑物的安全与可进入情况，本文增加了对这一因素的考虑，在划分为建筑物可进入和处理后才能进入这两种情况的基础上，给出了倒塌建筑物的搜救目标优选表的更新版本（表 2）。

表 2 倒塌建筑物搜救目标优选表（考虑是否可进入的情况）

Table 2 The priority of different SAR targets of collapsed buildings in consideration of accessibility

	稳 定		不 稳 定		濒 临 倒 塌	
	可进入	需处理	可进入	需处理	可进入	需处理
幸存者生存	1	2	1	2	5	6
不确定幸存者状态，大空间	2	3	3	4	6	7
不确定幸存者状态，小空间	5	6	7	8	8	9

在这里，建筑物的可进入行为可从以下几个方面考虑：

(1) 地震次生火灾

由于地震是突发事件，在地震时很可能存在火灾隐患引发火灾，因此在以上优化选择的基础上要优先选择没有火灾隐患的区域，对于存在火灾隐患的区域要采取一定措施才可进入。

(2) 有毒、有害气体

在地震中，家用煤气、化工厂等可能会出现有毒、有害气体的泄漏，因此在进入倒塌建筑物搜索之前要先了解该建筑物的功能和性质，如果存在有毒、有害气体则不宜优先进入，一定要在检查、排除此隐患后才可进入。

(3) 二次坍塌危险

二次坍塌主要是由于余震和破拆工作等造成的，因此对于本身较稳定，但震动后可能发生再次坍塌的区域不宜作为优先选择的区域，应当首先采取支撑等措施，再行进入。

3 针对特定目标的搜救行动方案

确定了搜救目标并制定了人员分配方案后，就需要制定针对特定倒塌建筑物的行动方

案, Solveig 将特定建筑物的搜救行动还分为十步, 或十个方面, 依次是: 了解建筑物基本情况、倒塌形式分析、破坏定位、确认残存空间、行动方案制定、人员搜索、人员营救、支撑防护、撤离出幸存者、监控与预警。本文根据这一划分及其他研究成果, 给出如下的一般搜救行动程序或方案。

3.1 了解目标基本情况

对目标基本情况的了解, 在前文的目标选取等环节中实际已有所涉及, 针对具体的救援小组而言, 主要应该关注以下方面: 建筑物结构类型与用途、倒塌特点、可能的幸存者分布区域等。具体可根据不同建筑物的功能和性质, 初步判断该建筑物的布置、人员数量及人员分布等情况。如幸存者可能的分布区域或残存空间可参考以下区域: 预制板之间; 被困在预制板下面的车辆里(如立式停车场); 极有可能使人幸免于难的可避难区域; 倒塌的墙下; 地下室及其他地下场所; 坍塌地板下的空隙; 楼梯下及楼梯间里; 结实家具中的空间; 保险柜、洗衣机、书桌旁等。信息的可靠程度或可信度参考表 3。此外, 还可以参考表 4, 根据倒塌特点确定可能的幸存者分布位置。




表 3 信息来源信度分级

Table 3 Credit classification of information with different sources



信息来源	可信度	评级
其他救援队	非常可信	1
当地政府	比较可信	2
志愿者	基本可信	3
邻居等附近人员	可信	4
屋主的亲友	需确认	5

表 4 建筑物倒塌空间类型及受灾者可能位置

Table 4 Relation between the possible location for trapped victims and collapsed types

空间类型	形成原因	幸存者位置	示例照片
V 型倒塌	重型载荷使建筑物楼板中部不堪重负, 发生断裂、塌落形成的, 这种废墟的两端高于中间。	上方居住者的生死视其上方倒塌方式, 下方居住者一般在地板下被撑住的空间。	
悬臂型倒塌	发生在当地板或天花板的一端被吊于墙的一部分, 另一端则由下方支撑物支撑而自由悬挂。	幸存者位于下方被撑住的空间内。	
倾斜支撑型倒塌	往往出现在某一支撑墙倒塌或地板连接处一端断裂的情况, 有较大的空间。	幸存者位于被支撑的空间内。	

续表

空间类型	形成原因	幸存者位置	示例照片
夹层型倒塌	由于建筑上层支撑墙和柱不够结实, 使过多的荷载施加在下层构件上, 因此所有的上层构件都落到了下层, 形成堆状倒塌。	幸存者位于由家具或部分墙体支撑的空间内。	
复合型倒塌	上述集中倒塌类型的组合, 最接近严重损害的城市倒塌。	幸存者位于由各种物件支撑所形成的空间内, 幸存者数量相对其它倒塌方式会少许多。	

3.2 搜救行动方案的制定

搜救行动方案的制定, 包括了搜索方案和营救方案的制定。实际上, 在搜索完成之前, 并不能形成确定的营救方案, 所以最早给出的营救方案应根据搜索结果及后续其他变化进一步完善。搜索方案的制定首先是根据对基本情况的了解确定主要的搜索区域, 其次是根据建筑倒塌特点和现场情况确定搜索方式和顺序, 如可依次采用人工搜索、犬搜索、声波和光学设备搜索等。营救方案的制定首先是营救路线的确定, 进入倒塌建筑物时可能有多条路线, 此时应当以可安全进入直至接近目标并能安全转移出埋压者的路线为最佳路线, 当然同时要考虑在时间和路程上最短的路线; 其次是根据营救区域的大小和难易程度, 进行人员和工具分配, 有些区域可以使用大型的起重设备, 但是有些区域只适合短小精悍的操作工具, 一定要有计划的配备人员和工具。

3.3 实施搜索与营救

在对搜救建筑物情况全面了解并科学的制定施救方案后, 就进入关键的具体搜救实施阶段。在搜救开始前, 首先要设置安全员, 对救援过程实施全程的安全监控, 保证救援队员和被救人员的安全, 防止余震、二次倒塌等造成的伤害。同时, 医疗处置也应贯穿于救援全过程, 即对确定的被困人员要尽可能地进行医疗监控, 并采取措施保证其生命体征的维持, 如采取输液等方式保证其生命状态的维持。在救出被困人员后, 要及时地采取医疗处置, 避免因为其他原因造成死亡, 汶川地震不止一次的教训告诉我们, 这一点是十分重要的。对救援现场要进行合理份额分区和管理, 预先计划好伤员转出后的紧急安置位置和输出线路, 设置必要的警戒线防止民众涌入, 干扰救援工作的进行。在救出所有发现的幸存者后, 一般要再进行一次全面的搜索, 以确保再无生还人员, 才能撤离现场。

4 结语

地震现场搜索与救援策略的研究是科学救援不可缺少的部分, 而我国在这方面的研究刚刚起步, 还有不少空白存在。应积极地探索搜索救援理论并不断地深入研究, 同时还要借鉴国外的成功经验, 结合我国国情和实际情况, 建立符合我国特点的搜救理论, 为地震现场救援提供行动指南。本文的研究工作在参考以往研究成果的基础上, 从理论上初步探讨了倒塌建筑物的搜救策略, 希望能为现场搜救工作提供参考, 并推动此领域研究工作的进一步开展。

参考文献

- 陈虹, 王志秋, 周敏, 孙文欣, 2004. 伊朗巴姆地震中的国际救援情况. 国际地震动态, (5): 6—12.
- 陈维锋, 彭晋川, 顾建华等, 2003. 地震救助生命搜索与定位技术研究进展. 地震地磁观测与研究, (12): 15—19.
- 顾建华, 邹其嘉, 卢寿德, 2003. 紧急救援有关问题的探讨与思考. 国际地震动态, (3): 17—23.
- 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. 国际地震动态, (6): 6—12.
- 顾建华, 王云基, 陈维锋等, 2003. 搜索理论与建筑物评估和标记问题的讨论. 国际地震动态, (7): 5—12.
- 许建东, 黄建发, 2005. 地震紧急救援数据库与指挥决策系统现状综述. 国际地震动态, (3): 8—12.
- 杨建民, 李春孝, 张玉升, 2004. 浅谈大型建(构)筑物倒塌事故的救援程序、措施与组织指挥. 消防科学与技术, 23 (5): 485—487.
- 张滨, 2005. 建筑物垮塌事故救援行动简析. 建筑安全, (11): 35—36.
- 张连民, 孙冬梅, 2004. 我国建筑物坍塌事故救援中的问题及对策. 武警学院学报, 20 (4): 26—28.
- 张连民, 2004. 建筑物倒塌事故救援对策研究. 安防科技, (8): 10—12.
- Federal Emergency Management, 1998. Agency of Urban Search and Rescue Response System. Training Structural Collapse Technician Course-student Manual.
- Federal Emergency Management, 2001. Agency of Urban Search and Rescue Response System. Field Operations Guide. 93561 1- FG 2001
- International Search and Rescue Advisory Group, 1999. Office for the Coordination of Humanitarian Affairs. UN Guidelines for International Search and Rescue Response1 Advance Copy.
- Ministry of Civil Defense & Emergency Management (MCDEM), 2001. General Rescue Manual.
- Office of U.S. Foreign Disaster Assistance (OFDA), 2002. Miami Dade Fire Rescue Department. Collapsed Structure Search and Rescue Course2 Instructorps Workbook 1 Rev..
- Sólveig Thorvaldsdóttir, 2003. Decision Making Based on Damage Evaluation for Search and Rescue Operations. www.rainrace.com.
- Sólveig Thorvaldsdóttir, 2004. Structural Triage: The Five Step Approach. www.rainrace.com.
- Sólveig Thorvaldsdóttir, 2004. Tactical Planning: The Ten Step Approach. www.rainrace.com.

Research of Search and Rescue Plan for Collapsed Buildings on Earthquake Disaster Site

Li Yigang¹⁾, Zhang Yuan¹⁾ and Li Zhiwei²⁾

1) National Earthquake Response Support Service, Beijing 100049, China

2) Institute of Disaster Prevention, Yanjiao 065201, Hebei Province, China

Abstract Being different from the common search and rescue (SAR) in collapsed buildings, the SAR of earthquake disaster site usually deals with large amounts of buildings which in complicated types and different collapsed conditions. Therefore, it is very important to make SAR plans with scientific base to conduct rescue missions rapidly and efficiently. In this paper discussion of that how we can make plans scientifically for the SAR according to the site condition in SAR partitions, preference of the SAR objectives and the specific strategies of the SAR, has been made systematically.

Key words: Earthquake on-site; Collapsed building; the SAR Plans