

王曦,周洪建,张弛.地震灾害死亡人口快速评估方法对比研究[J].地理科学,2018,38(2):314-320.[Wang Xi, Zhou Hongjian, Zhang Chi. Comparison Analysis of Rapid Assessment Methodology of Mortality due to Earthquake Disaster. Scientia Geographica Sinica, 2018, 38(2): 314-320.] doi: 10.13249/j.cnki.sgs.2018.02.019

地震灾害死亡人口快速评估方法对比研究

王曦,周洪建,张弛

(民政部国家减灾中心,北京100124)

摘要:中国是世界上地震活动最为频繁的国家之一,属于地震多发区。在收集分析国内外关于地震灾害死亡人口评估模型的基础上,选取10种模型以2000年以来中国典型地震灾害为案例验证其适用性。结果表明:①对于5.7级(含)以下地震,10种模型的评估结果基本都在合理范围内,可采用各评估结果的区间值来支撑应急决策;5.7~6.6级(含)地震,10种评估方法得到的结果表现出不同程度的偏差,可采用多数评估结果指向的死亡人口数量级来支撑应急决策;6.6级以上地震,则只能采用有特定适用范围的基于结构易损性的评估结果来支撑应急决策,且也存在较大的不确定性。②从地震灾害人员伤亡动态评估方法、地震—地质灾害死亡人口快速评估方法和快速评估软件系统方面进行了相关讨论。此研究可为地震灾害死亡人口快速评估模型的改进与发展提供借鉴。

关键词:死亡人口;快速评估;地震;灾害链

中图分类号:X43 **文献标识码:**A **文章编号:**1000-0690(2018)02-0314-07

中国是世界上自然灾害最为严重的国家之一,灾害种类多、分布地域广、发生频率高、灾害损失重。据统计,1978~2009年中国因自然灾害年均受灾人口3.6亿人次,死亡人口7 973人^[1];"十二五"时期,年均因灾死亡失踪1 500余人^[2]。近10 a,中国频繁发生的重特大自然灾害更是造成严重人员伤亡,2008年汶川特大地震造成69 227人遇难、17 923人失踪,2010年青海玉树地震造成2 698人遇难、270人失踪,甘肃舟曲特大山洪泥石流灾害造成1 481人死亡、284人失踪,2013年四川芦山地震灾害造成196人死亡、21人失踪,2014年云南鲁甸地震造成617人死亡、112人失踪。灾害造成的人员伤亡作为灾害社会影响的重要组成部分,一直受到社会公众的高度关注。

"死亡人口"作为灾害损失统计的重要指标,是指以自然灾害为直接原因导致死亡的人员数量(含非常住人口),受到诸多领域的关注。①中国自然灾害统计制度中,"死亡人口"是重要灾情统计指标,例如,《自然灾害情况统计制度》(民发

[2016]23号)《特别重大自然灾害损失统计制度》(民发[2016]100号)等均包括此指标。②中国现行的灾害领域应急预案中,《国家自然灾害救助应急预案》《国家地震应急预案》《国家突发地质灾害应急预案》《国家森林火灾应急预案》和《国家气象灾害应急预案》等5项预案的启动条件中都将"死亡人口"或死亡失踪人口列为重要指标。③"死亡人口"也是全球知名灾害损失评估系统的主要指标,分析全球10大主要灾害损失评估系统^[3]发现,其中7个评估系统涉及死亡人口评估。④全球知名的灾害风险评估系统中,也将"死亡人口"作为重要指标表达;例如,由联合国环境规划署(UNEP)全球资源信息数据库(GRZD)的专家小组提出的灾害风险指数系统(DRI),评估全球尺度的自然灾害死亡人口风险^[4];灾害风险热点地区研究计划(The Hotspots Projects)通过2.5 km人口空间网格、网格化的世界人口评价人口死亡风险^[5]。

中国位于环太平洋地震带与地中海—喜马拉雅地震带的交界处,是世界上地震活动最为强烈

收稿日期:2017-03-02;**修订日期:**2017-06-16

基金项目:国家重点研发计划课题(2016YFA0602403)资助。[Foundation: National Key Research and Development Program (2016YFA0602403).]

作者简介:王曦(1983-),女,河北石家庄人,助理研究员,主要研究方向为灾害评估与应急管理。E-mail: wangxi@ndrcc.gov.cn

通讯作者:周洪建。E-mail: zhouhj_bnu@hotmail.com

的国家之一,属于地震多发区,地震具有频率高、分布广、强度大、震源浅、地区差异明显等特点,这些特征决定了中国地震的严重性和广泛性^[6]。1978~2009年中国因灾死亡人口中超过80%是由地震导致的^[1]。

本文以地震灾害死亡人口为研究对象,系统收集整理国内已有的地震灾害死亡人口评估模型,结合国际上较为流行的地震死亡人口评估理念,对地震灾害死亡人口快速评估模型进行分类,并结合中国近年来数次典型地震案例,对各评估方法进行对比分析,提出了各模型的使用方式并讨论了目前评估方法的问题及处理办法。

1 研究进展

国内外对地震灾害人员伤亡评估的研究较多,目前的评估方法大致可分为2类:一类是基于地震参数(主要是震级、烈度)的经验模型,主要是基于历史典型地震灾害死亡人口案例的回归分析得到的相关参数;另一类是建筑物倒塌或易损性的模型,基本按照地震造成人员死亡的原因分析思路构建模型,其中相关参数也是来源于典型地震倒损房屋和死亡人口数量的统计关系^[7]。

1.1 基于地震参数的经验模型

国内外已有大量研究成果。Samardjieva和Christoskov等^[8-10]先后对全球1900~1999年地震案例进行了研究,将人口密度划分25人/km²以下、25~50人/km²、50~100人/km²、100~200人/km²、200人/km²以上共5级,在此基础上得到了全球尺度下2个不同时段(1900~1950年、1950~1999年)地震死亡数与震级经验公式;Oike^[11]针对日本1890~1990年地震案例得到了日本地震灾害死亡人口快速评估公式。国内学者也针对中国案例开展相关研究,以人口密度为参数评估基于烈度的人员死亡率^[12],或以人均GDP为分类阈值拟合生命损失率与地震烈度的关系^[13,14],或建立了一个以震中烈度为主要参数,以震级和人口密度作为辅助参数进行修正的人员伤亡预测模型^[15]。通过现有研究可以发现,基于地震参数的经验模型开展地震死亡人口快速评估的时效性可以保证,但由于经验公式多采用某一地区或某一时间段内的典型地震灾害案例数据,将其得到的关键参数应用到其它地区或其它时间的时候可能会出现较大偏差。

1.2 基于房屋易损性的人员伤亡评估方法

目前,主要是基于历史资料和专家经验确定地震灾害房屋倒损矩阵和基于工程试验得到的房屋地震易损性曲线^[7]。前者是通过统计地震后不同类型房屋的倒损情况,并结合专家经验,给出每一类房屋在不同地震烈度下给同破坏状态的概率;其优点是开展评估快速简洁,对数据需求程度不高,而缺点是对房屋结构的类型划分较粗,评估结果的准确度不能很好把握。后者以地震动参数(如地面加速度峰值、地面速度峰值、地面位移峰值和反应谱值)作为房屋易损性工程试验的输入参数,然后采用建筑结构的数学模型(例如,能力谱方法)输出地震动参数下建筑物不同破坏程度的破坏概率^[16]。

可以发现,此方法的优点是充分考虑房屋结构类型、建设时间、抗震设防等级等参数的影响,对地震伤亡人数进行系统计算;缺点是模型对评估地区房屋结构类型的数据需求量大,所需现场工作量大,在短时间内难以达到目标。

2 模型适用性检验

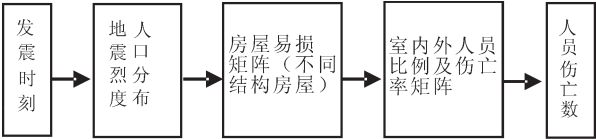
2.1 模型与数据来源

在收集整理截至目前学术界、地震行业所采用的地震死亡人口评估模型的研究成果发现,超过40个模型被不同程度应用,不同模型来源不同、所采用的模型表达方式不同、适用的空间范围和时间段也不同。本文在建立地震死亡人口评估模型集的基础上,遵循适用于中国大陆地震灾害死亡人口评估、所用参数易获取、评估结果明晰等原则,按照有无特定适用范围、适合于快速评估还是精细评估等,确定了10大类地震死亡人口评估模型(表1)。

本文中所用到的典型地震案例数据主要来自民政部国家减灾中心建立的地震参数数据库和地震灾情数据库。其中,地震参数数据库来源于中国地震局,记录建国以来发生在中国大陆地区的4.0级以上重大地震的参数,包括发震日期、发震时刻、经纬度坐标、震级和地理位置(精确到县级行政单元);地震灾情数据库包括地方上报灾情数据库、美国地质调查局(USGS)地震快速评估数据库。地方上报灾情数据主要包括受灾人口、因灾死亡失踪人口、紧急转移人口、农作物受灾面积、绝收面积、倒塌房屋、严重损坏房屋、一般损坏房屋和直接经济

表1 地震死亡人口评估模型

Table 1 Assessment models of mortality due to earthquake

序号	大类	类型	模型内容	文献来源
1	无特定适用范围	基于烈度的估算	$N_D = \sum_{j=6}^{I_{\max}} A_j \rho R_j$ N_D—死亡人数; $I_{\max}$—极震区烈度; A_j—第j烈度值分布面积, km^2; ρ—人口密度, 单位为人每平方千米; R_j—第j烈度值对应的死亡率, 计算公式如下: $\ln R_j = -44.365 + 7.516 I_j - 0.329 I_j^2$ 或 $\ln R_j = -44.466 + 14.331 \cdot I_j + 0.960 \ln \rho$	[17]
2		基于房屋倒塌率的估算	$N_D = RP$ N_D—死亡人数; P—灾区(VI度及以上烈度区)总人口; R—死亡率, 死亡率与房屋倒塌率(C)的关系如下: $\ln R = 12.479 C^{0.1} - 13.3$	[17]
3			$\log(RD) = -0.20251 + 0.01694 \cdot R_{bc}$ R_D—人员死亡率; R_{bc}—房屋倒塌率	[18]
4		基于房屋破坏情况的估算	$N_D = P \times \sum_{i=1}^5 \lambda_i \cdot R_i$ N_D—死亡人数; P—灾区总人口; R_i—第i种破坏对应的死亡率; λ_i—第i种破坏状态的加权系数, 即房屋建筑破坏初评估确定的破坏比。	[17]
5		基于房屋破坏比的估算	$\log RD = 12.479 RA^{0.1} - 13.3$ RD—人员死亡率, 即指人员死亡数与本地区总人数的比值, 在此表示白天和夜间发生地震时的平均死亡率; RA—房屋破坏比, 可采用房屋评估结果。	[19]
6		基于房屋倒塌数量的估算	$\log RD = 9.685[(NBD_c + 0.5NSD)/W]^{0.1} - 11.181$ RD—人员死亡率; NBD_c—房屋倒塌数; NSD—严重破坏(部分倒塌)的房屋数量; W—地震破坏区的房屋建筑总数。	[20]
7	有特定适用范围	基于烈度与人口密度的估算	$\ln(ND_{\text{day}}) = -22.73 + 10.6 \ln I_{MM} + 0.34 \ln \rho$ $\ln(ND_{\text{night}}) = -11.35 + 5.77 \times \ln I_{MM} + 0.36 \ln \rho$ ND_{day}—地震发生在白天的死亡人数; ND_{night}—地震发生在夜晚的死亡人数; ρ—人口密度; I_{MM}—烈度。	[12]
8		基于烈度与人口密度的估算	$\ln ND = -5.95 + 3.48 \ln I + 0.41 \ln \rho + 0.6 \ln(PPD/POP) - 1.7 \ln t$ ND—死亡人数; I—灾区遭受的地震烈度; ρ—人口密度; PPD/POP—个人财产损失值/人口总数; t—地震发生的时间, 夜晚$t=1$, 白天$t=2$。	[21]
9		基于烈度、建筑物破坏率和震发时间的估算	$RD = 0.000971 e^{0.5(I-7)} \cdot R_{sb} \text{ (白天)}$ $RD = 0.0126 \frac{I-4.76}{I+0.25} e^{0.75(I-7)} \cdot R_{sb} \text{ (晚上)}$ RD—死亡率; I—地震烈度; R_{sb}—建筑破坏率(倒塌率+1/2严重破坏率)。	[22]
10		基于不同结构房屋破坏不同程度和震发时间的估算	 *	

注: *笔者单位自建模型, 内部使用。

损失等;USGS快速评估数据库记录美国地质调查局针对中国大陆地区发生的重大地震开展的快速评估产品, 包括评估报告、烈度图等。

2.2 结果分析

本文基于表1中列出的10种评估模型, 对2000年以来较大的16次地震的人口死亡情况进行评估, 在此基础上, 将评估结果与地震造成的实际人口死

亡数量(来自于国家减灾中心灾情数据库)比较(表2), 分析发现呈现如下3个较为明显的特点:

1) 对于5.7级(含)以下地震, 上述10种模型的评估结果基本都在合理范围内, 即: 10种模型评估结果中多数评估结果与实际结果的差异在1.5倍以内或属于一个数量级; 对于应急救助决策可以起到重要的支撑作用, 尤其是第2、5种模型的支

表2 2000年以来16次典型地震死亡人口数量对比

Table 2 Comparison of mortality due to earthquake between local report and models assessment

地震名称	发生日期	发生时间	实际死亡人口	模型编号									
				1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
新疆巴楚-伽师6.8级地震	2003-02-24	10:03	268	41	18	49	69	55	7	7	21	13	207
云南大姚6.2级地震	2003-07-21	23:16	16	9	9	16	18	26	6	20	16	3	121
江西九江、瑞昌5.7级地震	2005-11-26	8:49	13	40	7	59	74	8	1	1	34	2	32
青海玉树7.1级地震	2010-04-14	7:49	2698	61	7	5	33	18	4	10	12	7	169
云南盈江5.8级地震	2011-03-10	12:58	25	34	9	9	41	20	4	10	21	3	149
云南宁蒗、四川盐源交界5.7级地震	2012-06-24	15:59	4	1	2	3	2	7	1	0	13	1	16
江苏高邮、宝兴4.9级地震	2012-07-20	20:11	1	0	0	1	1	0	0	0	18	0	0
云南彝良、贵州威宁交界5.7级地震	2012-09-07	11:19	81	4	4	13	11	6	1	10	21	2	31
甘肃岷县、漳县6.6级地震	2013-07-22	7:45	95	153	42	49	147	112	20	8	26	27	729
云南鲁甸6.5级地震	2014-08-03	16:30	617	106	66	114	164	161	33	11	35	50	866
云南景谷6.6级地震	2014-10-07	21:49	1	37	20	29	53	61	10	6	21	8	271
四川康定6.3级地震	2014-11-22	16:55	5	5	3	6	8	8	2	3	10	2	38
云南景谷5.8级地震	2014-12-06	2:43	1	1	1	2	2	3	1	18	13	0	11
安徽阜阳4.3级地震	2015-03-14	14:13	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
甘肃定西4.5级地震	2015-04-15	15:08	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
尼泊尔8.1级地震西藏灾区	2015-04-25	14:11	26	23	6	8	20	25	4	7	9	7	89

撑效果最为明显。这在一定程度上说明,对于5.7级以下地震灾害死亡人口评估可直接采用没有特定适用范围的基于房屋易损性的评估模型,这既简单、可操作,又具备相对较高的精度,基本满足应急决策的需要。但个别案例不符合此规律,具体原因将在下文详细解释。

2) 对于5.7~6.6级(含)地震,10种评估方法得到的结果均表现出不同程度的偏差,主要表现为:有些案例评估结果与实际结果较为一致,有些案例的多数评估结果与实际结果基本不属于一个数量级,差异明显,即发生此区间内的地震,10种评估模型得到的评估结果波动较大。基于上述结果,可在10种评估结果的基础上,综合对比分析提出初步结论,支撑应急救助决策。例如,本研究中将死亡人口分为0人、1~9人、10~49人、50~99人、100~199人、200~299人、≥300人7个等级,统计10种方法评估结果的出现频率,进而给出初步结论,可在一定程度上支撑决策,但不同案例间的差异也较大。

3) 对于6.6级以上地震,采用有特定适用范围的基于结构易损性的评估模型可得到相对理想的结果。本研究中,第10种模型的评估结果虽然与实际结果也存在较大差异,相比之下,评估结果

与实际结果的差异最小,但也存在明显的偶然性。因此,对于6.6级以上地震,在确定采用的评估模型的基础上,需要对评估区域的自然地理、社会经济、特定风俗等方面可能存在的明显特征进行分析,在模型评估结果的基础上综合专家经验综合判断给出评估结论。

3 结论与讨论

3.1 讨论

本文中涉及到的多个地震灾害死亡人口评估模型基本属于“确定性的经验公式方法”,包括:人员伤亡与房屋毁坏比的关系,人员伤亡数与房屋破坏比、烈度、人口密度的关系,人员伤亡率与烈度、建筑物的破坏率及震发时间之间的关系,地震人员死亡数与房屋毁坏面积的关系等;这些关系主要来源于历史案例拟合,有一定的地域局限性或案例局限性,难免出现评估结果与实际结果的不同差异。例如,大震发生前频发的小震,可能对提升受灾地区居民风险意识有较大帮助,人们提前采取居住在临时板房、帐篷等多样措施应对,因此地震造成的死亡人口明显减小;部分区域房屋结构特殊、生活习惯特殊造成了实际死亡人口与评估结果的较大差异;分析2014年8月3日云南鲁

甸6.5级地震、10月7日云南景谷6.6级地震死亡人口数量分析发现,景谷6.6级地震灾区较大比例的其他结构房屋中多数为抗震性能较好的木结构,震后出现严重破坏但未倒塌的情况,造成室内人员死亡数量明显少。

当然,地震造成死亡人口的因素众多且复杂,要综合考虑地震造成死亡人口的机理、快速评估的时效性要求等因素,从以下方面持续开展深入研究:①人的生命损失机制与结构破坏的机制存在着本质差异,人身伤残程度变化的结果与初始伤残程度、灾后环境状况和自身的身体素质有关,可以用人员伤亡状态函数来描述^[23],是一个动态评估的过程,很明显,基于目前地震灾害死亡人口的相关数据和资料储备,要实现人员伤亡动态评估尚需较大努力。②研究地震—地质灾害死亡人口快速评估模型可在很大程度上完善现有的地震灾害死亡人口快速评估方法体系,其中,地震—地质灾害易发概率的研究已相对成熟^[24],地质灾害造成的人员死亡的快速模型问题是未来需要迫切解决的。③建立地震灾害死亡人口快速评估软件系统保障评估时效性,通过在软件系统中输入地震基本参数信息(震级、震中位置、震源深度),快速启动评估工作,并在几分钟至几十分钟内给出评估结果及其可信度是开展地震灾害死亡人口快速评估业务的重要目标。④与国际地震灾害损失快速评估系统接轨也将是下一步需要认真研究开展的。PAGER (the Prompt Assessment of Global Earthquakes for Response,地震影响快速评估系统)由美国地质调查局(USGS)开发建设,是一个产出全世界重要地震影响评估结果的自动化系统,可在地震发生后的数分钟至十几分钟内向应急响应人员、政府和救助机构以及新闻媒体提供潜在灾害的范围^[25]。PAGER通过把处于每一地震烈度水平的人口与基于全世界每个国家或地区历史地震的经济和人员损失模型进行比较,快速估计地震动分布、严重地震动地区的人口和财产数量以及可能的人员伤亡和经济损失范围;根据评估结果,发布不同等级的警报和建议的响应等级,分别为无必要响应(绿色)、地方/地区响应(黄色)、国家响应(橙色)或国际响应(红色)^[26]。可以看出,PAGER有如下3个优势值得我们学习和借鉴:(A)评估结果中给出人口死亡数量区间及其概率,而不是一个确定的数字,这样就提供了必要的不确

定性测度,留给了用户判断警报被高估或者低估的“可能性”。(B)PAGER是一个交互式的系统,普通民众也可以将各自感受到的地震动的情况实时反馈到系统中,修正并产生更准确的地面震动图,进而给出修正后的灾区人口估计,如果必要则发布新的警报。(C)除了直接的警报通知外,PAGER还提供重要的补充信息,包括受地震影响地区易损建筑物主要类型描述的说明、历史上附近地区财产损失和人员死亡报告、相关次生灾害情况(例如地震引起的滑坡、海啸和沙土液化等),基本建立了地震灾害链的影响评估系统。

3.2 结论

中国是世界上地震活动最为频繁的国家之一,属于地震多发区。地震造成的人员伤亡一直是政府和社会公众关注的焦点,解决地震死亡人口快速评估并明确结果的可信度是一个非常具有科研价值和现实意义的课题。本文以地震灾害死亡人口快速评估方法对比为研究内容,主要结论如下:

1) 国内外对地震灾害人员伤亡的评估方法大致可分为基于地震参数(震级、烈度)的经验模型和基于建筑物易损性的(类)机理模型等2类,多数研究仅给出1~2种具体评估方法,且研究结果存在明显的地域性或输入条件的限制性。本文在全面梳理相关研究成果,按照适用于中国大陆地区、所用参数可获取、评估结果明晰的原则,提出了10大类地震死亡人口评估模型,是对以往研究成果的全新总结。

2) 基于10大类评估模型,对2000年以来较大的16次地震的人口死亡情况进行评估,并将评估结果与地震造成的实际人口死亡数量比较表明:①对于5.7级(含)以下地震,上述10种模型的评估结果基本都在合理范围内,即:对于5.7级以下地震灾害死亡人口评估可直接采用没有特定适用范围的基于房屋易损性的评估模型,简单可操作,也具备相对较高的精度,可采用各评估结果的区间值来支撑应急决策。②对于5.7~6.6级(含)地震,10种评估方法得到的结果表现出不同程度的偏差,采用多数评估结果共同指向的死亡人口数量级来支撑应急决策。③对于6.6级以上地震,在采用有特定适用范围的基于结构易损性的评估模型的基础上,需对评估区域的自然地理、社会经济、特定风俗等方面可能存在的明显特征进行分

析得到综合评估结果来支撑应急决策,且这其中也存在较大的不确定性。

参考文献(References):

- [1] 邹铭,袁艺,廖永丰,等.综合风险防范:中国自然灾害救助体系[J].北京:科学出版社,2012. [Zou Ming, Yuan Yi, Liao Yongfeng et al. Integrated risk governance: Natural disaster relief system in China. Beijing: Science Press, 2012.]
- [2] 国家减灾委员会办公室.“十二五”时期中国的减灾行动[EB/OL].<http://www.mca.gov.cn/article/zwgk/tzl/201610/20161000002055.shtml>. [General Office of China National Commission for Disaster Reduction. China's Actions for Disaster Reduction during the Period of the 12th Five-year Plan [EB/OL].<http://www.mca.gov.cn/article/zwgk/tzl/201610/20161000002055.shtml>.]
- [3] 周洪建.中国灾害评估系统建设框架与发展思路——基于尼泊尔实地调查的分析[J].灾害学,2017, 32(1):166-171. [Zhou Hongjian. Framework and development of disaster assessment system: Analysis based on the field survey in Nepal. Journal of Catastrophology, 2017, 32(1): 166-171.]
- [4] United Nations Development Program (UNDP). Reducing disaster risk- A challenge for development [EB/OL]. A Global Report, UNDP-Bureau for Crisis Prevention and Recovery (BRCP), New York. Available at: <http://www.undp.org/bepr/disred/rdr.htm>. [2004].
- [5] Dille M. Setting priorities: global patterns of disaster risk[R]. Paper of the Scientific Discussion on Extreme Natural Hazards, Royal Society, 26-27 Oct, 2005, London.
- [6] 李善邦.中国地震[M].北京:地震出版社,1981. [Li Shanbang. Earthquake in China. Beijing: Earthquake Press, 1981.]
- [7] 李媛媛,苏国峰,翁文国,等.地震人员伤亡评估方法研究[J].灾害学, 2014, 29(2):223-227. [Li Yuanyuan, Su Guofeng, Weng Wenguo et al. A review of researches on seismic casualty estimation. Journal of Catastrophology, 2014, 29(2): 223-227.]
- [8] Christoskov L, Samardjieva E. An approach for estimation of the possible number of casualties during strong earthquakes[J]. Bulg Geophys, 1984, 4: 94-106.
- [9] Samardjieva E, Badal J. Estimation of the expected number of casualties caused by strong earthquakes [J]. Bull Seismol Soc Am, 2002, 92(6): 2310-2322.
- [10] Samardjieva E, Oike K. Modeling the number of casualties from earthquakes [J]. Nat Disaster Sciences, 1992, 1: 17-28.
- [11] Oike K. A discussion on the relation between the magnitude and the number of the dead by earthquakes[C]. Proc of the International Seminar on Earthquake. Prediction and Hazard Mitigation Technology. Tsukuba, 1991: 333-341.
- [12] 肖光先.地震工程中的经济问题[J].世界地震工程,1986,(1): 3-10. [Xiao Xianguang. Economic problems in earthquake engineering. World Information on Earthquake Engineering. 1986, (1): 3-10.]
- [13] 陈颢,刘杰,陈棋福,等.地震危险性分析和震害预测[M].北京:地震出版社,1999. [Chen Yong, Liu Jie, Chen Qifu et al. Analysis of earthquake hazard and forecast of earthquake disaster. Beijing: Earthquake Press, 1999.]
- [14] 刘吉夫,陈颢,史培军,等.中国大陆地震风险分析模型研究(II): 生命易损性模型[J].北京师范大学学报(自然科学版),2009,45(4): 404-407. [Liu Jifu, Chen Yong, Shi Peijun et al. A study on seismic risk assessment in mainland China (II): Life vulnerability model. Journal of Beijing Normal University (Natural Science), 2009, 45(4): 404-407.]
- [15] 刘金龙,林均岐.基于震中烈度的地震人员伤亡评估方法研究[J].自然灾害学报,2012,21(5):113-119. [Liu Jinlong, Lin Junqi. Study on assessment method for earthquake casualty based on epicentral intensity. Journal of Natural Disasters, 2012, 21(5): 113-119.]
- [16] 马玉宏,赵桂峰.地震灾害风险分析及管理.北京:科学出版社,2008. [Ma Yuhong, Zhao Guifeng. Analysis and management of seismic risk. Beijing: Science Press, 2008.]
- [17] 中国地震局.GB/T 30352-2013 地震灾情应急评估[S]. 北京:中国标准出版社,2014. [China Earthquake Administration. GB/T 30352-2013 Assessment of earthquake disaster situation in emergency period. Beijing: China Standard Press, 2014.]
- [18] 程家喻,杨喆.唐山地震人员震亡率与房屋倒塌率的相关分析[J].地震地质,1993,15(1):82-86. [Cheng Jiayu, Yang Zhe. Regression analysis of mortality and the ratio of collapsing housed by Tangshan earthquake. Seismology and Geology, 1993, 15(1): 82-86.]
- [19] 尹之潜.地震灾害损失预测研究[J].地震工程与工程振动, 1991,11(4):87-96. [Yin Zhiqian. A study for predicting earthquake disaster loss. Earthquake Engineering and Engineering Vibration, 1991, 11(4): 87-96.]
- [20] 李刚,程耿东.基于性能的结构抗震设计——理论、方法与应用[M].北京:科学出版社,2004. [Li Gang, Cheng Gengdong. Studies on performance-based seismic design of frame structures: Theory, Methodology and Practice. Beijing: Science Press, 2004.]
- [21] 傅征祥,李革平.地震生命损失研究[M].北京:地震出版社, 1993. [Fu Zhengxiang, Li Geping. Life loss of earthquake. Beijing: Earthquake Press, 1993.]
- [22] 尹之潜.地震灾害损失预测方法[M].北京:地震出版社,1996. [Yin Zhiqian. A study for predicting earthquake disaster loss. Beijing, Earthquake Press, 1996.]
- [23] 马玉宏,赵桂峰.地震灾害风险分析及管理[M].北京:科学出版社,2008. [Ma Yuhong, Zhao Guifeng. Analysis and management of seismic risk. Beijing: Science Press, 2008.]
- [24] Zhou H, Wang X, Yuan Y. Risk assessment of disaster chain: Experience from Wenchuan Earthquake-induced landslides in China[J]. Journal of Mountain Science, 2015, 12(5): 1169-1180.
- [25] Jaiswal K S, Wald D J. Strategies for rapid global earthquake impact estimation: the Prompt Assessment of Global Earthquakes for Response (PAGER) system[C]. In: Handbook of

Seismic Risk Analysis and Management of Civil Infrastructure Systems, A volume in Woodhead Publishing Series in Civil and Structural Engineering, 2013, 839-866.

[26] 许忠淮. PAGER——地震影响的快速评估(USGS情况说明书第2010-3036号)[J]. 国际地震动态, 2013,(1):4-7.

Comparison Analysis of Rapid Assessment Methodology of Mortality due to Earthquake Disaster

Wang Xi, Zhou Hongjian, Zhang Chi

(National Disaster Reduction Center of China, Ministry of Civil Affairs of the People's Republic of China, Beijing 100124, China)

Abstract: China is one of the countries with high frequency of seismic activity in the world, located in the earthquake prone zone. In 1978-2009, about 80 percent of mortality of natural disaster was caused by seismic activities. "Mortality" is the focus of the work of disaster information statistics, emergency relief and risk assessment. On the basis of collecting and analyzing the domestic and international evaluation model of the death toll of earthquake disaster, 10 models are selected to validate their applicability by the typical earthquake disaster cases in China since 2000. The results showed that: 1) For the seismic with magnitude of below Ms 5.7 (inclusive), the evaluation results of the 10 models are basically in a reasonable range and the range of results could support the emergency decision of earthquake disaster relief (EDR); for Ms 5.7-6.6 (inclusive) seismic activities, the results from 10 kinds of assessment methods showed varying degrees of error and the level of most results could support the emergency decision of EDR; for seismic with Ms 6.6 and above, the evaluation by structural vulnerability model can get relatively ideal results in a certain extent based on the specific scope of application. 2) Most models in this article basically belong to the "deterministic formula methodology", including: the relationship between casualties and building damage ratio, and intensity, population density, and the destruction of housing area. The limitations of certain areas or cases will inevitably lead to the large differences between evaluation results and the actual results. The main reasons of large differences include: the number of mortality often was caused by the earthquake disaster chain, not a single shake. The special housing structure and living habits in some areas also lead to great differences between the actual death population and the evaluation results. 3) Three aspects were proposed to improve the earthquake mortality rapid assessment, including the establishment of dynamic assessment method of seismic, and seismic-geologic disaster death method, the establishment of earthquake disaster death population rapid assessment software system. It can be used for reference of the improvement and development of the rapid assessment model of earthquake disaster.

Key words: mortality; rapid assessment; earthquake; disaster chain