

# 基于耦合因子的广东地区地震灾害 人员伤亡评估方法<sup>\*</sup>

何萍, 俞岗

(广东省地震局, 广东 广州 510070)

**摘要:**从地震灾害人员伤亡影响因素的角度进行震害伤亡人数快速评估方法的研究, 建立基于耦合因子的伤亡人数评估模型, 并以广东地区为例, 分析评估模型中地震灾害人员伤亡耦合因子的空间化及量化过程。以 ARC Engine 10.1 为平台进行地震快速评估与动态出图系统的研发, 并将其应用于广东地区历史强震的震害评估。结果表明: 该系统对同一震例可以用不同算法(基于耦合因子的算法模型及常规算法模型)进行伤亡人数评估计算, 基于耦合因子的算法模型所计算出的人员伤亡数量具有明显的地区差异性, 比较贴合实际情况。

**关键词:**地震灾害; 人员伤亡评估; 耦合因子; 广东地区

**中图分类号:** P315.94

**文献标识码:** A

**文章编号:** 1000-0666(2019)02-0280-08

## 0 引言

地震是对人类最具威胁的自然灾害之一, 具有突发性和难以预测性。在强地震动作用下, 可导致建筑物倒毁, 构筑物或基础设施破坏, 往往还伴随着次生和衍生灾害。地震带来的直接与间接灾害经常会造成严重的人员伤亡和经济损失。近年来, 随着我国城市经济的高速发展, 人口愈加集中, 城镇化进程加快, 地震成灾事件越来越多, 地震对人们的生命财产安全的威胁也越来越大。根据以往多震省份的地震应急实践经验, 地震发生后, 专业技术人员必须快速回应指挥部提出的关键问题, 如灾区社会经济与自然地理特点, 地震灾区范围及分布情况, 人员伤亡的数量及分布情况, 经济损失的大概规模, 次生地震灾害风险及空间分布, 应急响应的启动级别等。在这些问题的最核心的问题是人员伤亡规模以及灾区空间分布位置, 这也是应急响应启动、救灾部署的关键指标之一。为了能快速准确地回答这个问题, 近年来国内外许多专家学者都对地震灾害中的人员伤亡评估进行了深入的分析与研究。本文从地

震灾害伤亡人数影响因素的角度进行分析, 建立地震伤亡人数估算参数, 并以广东地区为例, 分析基于地震灾害人员伤亡耦合因子的评估方法, 进行比较分析。

## 1 地震灾害人员伤亡耦合因子分析

地震造成的人员伤亡有直接和间接2种: 直接人员伤亡主要是建构筑物损毁造成的人员被砸、被埋、被压或兼而有之导致的死亡、致伤、致残; 间接人员伤亡是地震引发的次生灾害造成的, 如房屋倒塌、生命线工程及设施破坏等引起的爆炸、火灾、水灾、环境污染、瘟疫流行等以及地震地质灾害崩塌、滑坡、泥石流等。地震造成的人员伤亡与灾区的自然环境和人文环境有关, 同等震级的地震, 由于灾区地理环境、经济发展不同造成的灾情也各不相同。在前人研究的基础上(肖光先, 1991; 尹之潜, 1991; 马玉宏, 谢礼立, 2000; 傅征祥, 1993; 程家喻, 杨喆, 1993; 王晓青等, 2009; 李永强等, 2007; 陈洪富等, 2011), 何萍(2018)分析了2001—2016年中国大陆地区发生的184次成灾地震事件(中国地震局震灾应

<sup>\*</sup> 收稿日期: 2018-12-05.

**基金项目:** 中国地震局星火计划攻关项目(XH16036)和中国地震局工程力学研究所基本科研业务费专项资助项目(2018QJGJ01)联合资助.

急救援司, 2010, 2015; 郑通彦, 郑毅, 2012, 2014, 2015; 陈通, 郑通彦, 2016; 文鑫涛, 郑通彦, 2018), 分别从震区烈度、发震时刻、人口密度、建筑物破坏程度、次生灾害等方面对地震中造成人员伤亡的主要因素进行了定性及定量的分析。分析结果表明, 建构筑物抗震性能、人口密度、城市发展程度及地震引发的次生灾害是地震中影响人员伤亡关键的耦合因子。因此, 本文所研究的人员伤亡快速评估方法主要是基于5个耦合因子来进行。

### 1.1 建筑物抗震性能

建筑物的抗震性能是地震时影响人员伤亡最显著的因子。地震会造成房屋建筑物的倒塌、破坏和使用功能的丧失, 还会导致严重的人员伤亡和经济损失, 何萍(2018)对2001—2016年中国大陆发生的184次成灾地震事件中的房屋中等以上破坏面积与该地震造成的人员伤亡人数进行相关性分析, 结果表明这2个变量之间的相关系数达到0.999, 显著相关。

### 1.2 人口密度及城市化程度

从历史地震灾害可以看出, 灾区的人口密度及城市发展程度同样也是地震灾害中影响人员伤亡的重要原因之一。城市化的进程, 使地震灾害的社会影响越来越呈现多样性的特点, 并深刻影响地震灾害中的人员伤亡及经济损失(伍国春, 2012)。1964年的日本新潟7.5级地震是城市化灾害的典型震例, 地震导致石油储油罐群发生火灾, 并引发了地震海啸致使灾害更为严重, 众多建筑因为场地发生液化倾倒毁坏。1995年日本阪神7.2级地震则是典型的城市直下型震例, 大阪是日本第二大都市, 地震造成5 438人死亡, 直接经济损失约1 000亿美元。引发震害最主要的原因一是发震断层穿城而过, 地震导致房屋倒塌、交通中断、城市瘫痪; 二是地震引发了非常严重的次生火灾, 主要由城市管道煤气的爆炸引发, 加剧了震害和伤亡(中国赴日地震考察团, 1995)。2011年3月11日, 日本9.0级特大地震是日本近年来人员伤亡及损失最为惨重的一次地震, 地震诱发海啸不仅摧毁了沿岸的村落, 更影响到东京等地的城市生活, 并且由于福岛核电站的处理问题演变为核安全危机。

### 1.3 地形地貌特征

震中的地形地貌特征很大程度决定了震后地震地质灾害发生的频度及强度, 而地震地质灾害的大小同样影响到灾后人员伤亡的数量。如我国的西南地区, 自然地理环境复杂, 地质构造多变, 岩石破碎, 山地面积大, 山高谷深, 地势高差大。近年来西南地区发生的大部分破坏性地震都诱发滑坡、泥石流等次生灾害, 从而加重了灾情。汶川8.0级地震引发地震地质灾害点达5 094处, 其中滑坡1 701处、崩塌1 866处、泥石流304处、不稳定斜坡1 093处、地面塌陷21处、地裂缝123处, 造成了大量人员伤亡(国土资源部地震救灾前线指挥部, 2008)。在云南昭通地区, 5.0级以上地震通常都会产生较大规模的崩滑次生灾害, 并造成严重人畜伤亡, 如2006年“7·22”盐津5.1级地震死亡22人, 其中因地震崩滑致死占死亡总数的81.82%; 2006年“8·25”盐津5.1级地震死亡2人, 均系地震崩滑而死, 占总数的100.00%; 2012年“9·7”彝良5.7、5.6级地震死亡81人, 因地震崩滑死亡60人, 占死亡总数的74.07%(白仙富等, 2013)。

### 1.4 局部场地条件

局部场地条件对地震动特性也有较大的影响, 表现为对地震动的放大或者缩小, 从而直接影响到地面建构筑物受灾的严重程度。在场地条件中主要是建设场址的土质类型, 土层厚度、地下水位以及微地形等因素对震害有明显影响, 一般软弱地基上的震害较坚硬地基上的震害重; 复杂场地较简单场地的震害重(胡聿贤等, 1980)。1976年唐山7.8级地震中, 由于场地效应, 天津近海地区塘沽及汉沽在震后处于Ⅷ度及Ⅸ度高烈度异常区, 震害明显增强(司明婧等, 2015)。人工回填和海湾软土场地放大灾害效应在美国1989年的洛马·普雷塔7.1级、1994年的北岭6.7级(黄玉龙等, 2000)以及日本1995年阪神7.2级地震(中国赴日地震考察团, 1995)中也都有明显的反映, 局部场地条件加剧了建构筑物的破坏, 从而加大了人员的伤亡。在2008年四川汶川8.0级地震中也发现地震对甘肃灾区局部场地的震害和地震动放大效应明显, 对远离震中的黄土地区造成了较为严重的破坏(王兰民, 吴志坚, 2010)。

### 1.5 天气条件

灾区天气条件也是地震灾害中造成人员伤亡的重要耦合因素。恶劣的天气条件不但会增大诱发地震次生灾害的风险,使灾情变重,还会给震后救援带来极大的影响。2018 年四川汶川 8.0 级地震后灾区普降大雨,致使重灾区中高山区发生多起泥石流灾害,累计造成人员伤亡或失踪 450 余人(吴微微, 2014)。2012 年云南彝良“震群型”地震虽然 2 次地震震级并不大,但是地震本身及震后的强降雨诱发了大规模次生地质灾害,引发滑坡 259 处,崩塌、滚石灾害 189 处(王东坡等, 2013)。

## 2 基于地震灾害人员伤亡耦合因子的评估方法

由于建筑物的易损性是影响人员伤亡最重要的影响因子,因此在算法模型中应充分体现其特点。在构建基于地震灾害人员伤亡耦合因子的评估方法时,本文选择尹之潜(1991)提出的基于建筑物易损性的人员伤亡计算模型,根据应急基础数据库的数据约束,对部分参数进行了修改,表示如下:

$$M_D(I) = \rho(A_1 r_{d1} + A_2 r_{d2} + A_3 r_{d3}) \quad (1)$$

$$M_H(I) = \rho(A_1 r_{h1} + A_2 r_{h2} + A_3 r_{h3}) \quad (2)$$

式中:  $M_D(I)$  和  $M_H(I)$  地震烈度为  $I$  时影响区的死亡人数和重伤人数;  $A_1, A_2, A_3$  分别为毁坏、严重破坏及中等破坏房屋的面积;  $\rho$  为地震时人员在室内的百分比;  $r_{d1}, r_{h1}$  分别是毁坏房屋内的死亡率和重伤率;  $r_{d2}, r_{h2}$  分别是严重破坏房屋内的死亡率和重伤率;  $r_{d3}, r_{h3}$  分别是中等破坏房屋内的死亡率和重伤率;

基于建筑物易损性的人员伤亡计算模型综合考虑了人口密度、房屋破坏率和发震时间 3 个因素,属于目前应用比较成熟经典的算法模型。在此基础上结合已有的数据内容,重新定义一些参数,并增加不同地震烈度影响场条件下伤亡耦合因子的修正系数,形成基于地震灾害人员伤亡耦合因子的评估算法:

$$M'_D = \sum_{I=5}^n [M_D(I) \cdot P(I) \cdot T(I) \cdot S(I)] \cdot C \quad (3)$$

$$M'_H = \sum_{I=5}^n [M_D(I) \cdot P(I) \cdot T(I) \cdot S(I)] \cdot C \quad (4)$$

式中:  $P(I)$  为当地震烈度为  $I$  时的人口密度及城市发展耦合因子修正系数;  $T(I)$  为当地震烈度为  $I$  时的地形因子修正系数;  $S(I)$  为地震烈度为  $I$  时的场地条件修正系数;  $C$  为灾时天气因素修正系数,不考虑不同地震烈度区的天气差异性,只考虑极震区天气;  $M'_D$  为地震影响范围内的死亡人数;  $M'_H$  为地震影响范围内的重伤人数。

## 3 广东地区孕灾环境特征

为了更好地说明基于耦合因子的地震灾害人员伤亡评估方法的应用与模型参数的选择,以广东地区为例,分析该地区的孕灾环境特征,为地震灾害人员伤亡耦合因子空间化及定量化做准备。

### 3.1 地形地貌特征

广东省地处中国大陆最南部,全省陆地面积为 17.98 万  $\text{km}^2$ 。其东邻福建,北接江西、湖南,西连广西,南临南海,珠江口东西两侧分别与香港、澳门特别行政区接壤,西南部雷州半岛隔琼州海峡与海南省相望。

广东地区地貌地势北高南低,地形复杂,以山地和丘陵为主。山地占全省面积 31.7%,丘陵占 28.5%,盆地占 16.1%,平原占 23.7%。境内的山地主要分布于粤北、粤东和粤西,多呈 NE-WS 走向;平原主要有河谷冲积平原和三角洲平原,河谷冲积平原在各大河流沿岸均有断续分布,三角洲平原主要有珠江三角洲和韩江三角洲平原;丘陵大都分布在山地周围,或零星散落于沿海平原与台地上,海拔高度一般为 200~500 m。

### 3.2 人口密度与区域经济发展特点

广东地区的地理地貌特征决定了当地的人口及经济发展存在显著的区域差异性。全省平均人口密度为 621 人/ $\text{km}^2$ ,位居全国第四。但人口分布密度差别较大,主要集中在珠江三角洲、潮汕平原、西南沿海,人口密度为 1 000 人/ $\text{km}^2$  以上,珠江三角洲及潮汕平原的局部人口密度可达上万人/ $\text{km}^2$ ,粤北的山区为 200~500 人/ $\text{km}^2$ 。经济发展水平同样存在严重的区域差异性:经济发展及城市工业化水平最高的是珠江三角洲地区,包含

广州、深圳、珠海、佛山、惠州、东莞、中山、江门、肇庆等9个地级市；粤东和粤西处于中游，粤东包含汕头、汕尾、潮州、揭阳等4个地级市，粤西包括阳江、湛江、茂名等3个地级市；粤北山区包括河源、梅州、韶关、清远、云浮等5个地级市，其自然环境、资源状况、社会科技、基础设施等方面均属较落后地区，也是广东贫困人口较为集中的地区（图1）。

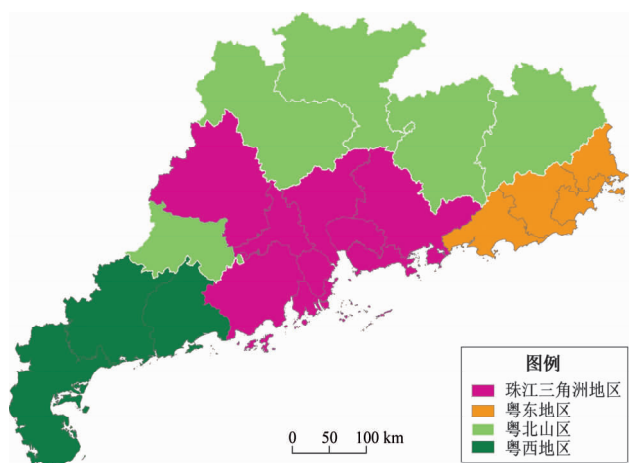


图1 广东省经济发展地区差异性空间分布示意图

Fig. 1 Diagram of spatial distribution of regional economic developing differences of Guangdong Province

## 4 地震灾害人口伤亡耦合因子的空间化及量化

广东地区复杂的孕灾环境特征表明用某一固定值来量化整个地区地震灾害人员伤亡耦合因子是不合理，也是不科学的，需对其耦合因子本身进行空间分区化，然后再进行量化。

### 4.1 建筑物震害易损性因子 $B$

由于各地的风俗习惯以及经济发展水平有很大的差异，建筑物的抗震能力也存在地区差异性。从式（1）可以看出，对于伤亡评估来说，建筑物的易损性矩阵是非常重要的计算参数，因此该矩阵的本地化非常重要。广东省已完成震害预测项目的只有7个城市：广州、深圳、东莞、中山、珠海、阳江以及惠州。通过这7个模型，根据当地的区位特性以及经济发展特点对未做过震害预测的城市进行匹配，如图2a所示。

### 4.2 人口密度及城市化发展程度影响因子 $P$

为了更好地定量化表达广东地区的人口密度及城市发展程度，将其按城市人口、经济及城市化的发展程度分为4类地区（图2b）：一线城市中心城区；以各地市中心城区以及一线城市非中心区为主；区县中心城区及城镇中心区；乡镇及农村地区。在对184个震例研究的基础上（中国地震局震灾应急救援，2010，2015；郑通彦，郑毅，2012，2014，2015；文鑫涛，郑通彦，2018；陈通，陈通彦，2016；何萍，2018），将人口密度及城市发展程度对地震灾害大小影响定量化，计算人员伤亡损失时将这4类地区赋以不同的权重（分别为3.0，2.0，1.0，0.6），以区别地震发生在该类地区时所造成的不同程度的影响。

### 4.3 场地条件影响因子 $S$

广东地区陆地地势北高南低，众多河川总体上均向南流入海域。由于温湿气候影响，陆壳岩屑的风化作用强烈，兼台风暴雨频频，更加强了地表剥蚀、侵蚀作用，也增强了流水的搬运作用，在沿海地区形成了深厚的泥砂堆积。这种地下水位较高的软弱地基是加剧震害的不利因素。根据《建筑抗震设计规范》（GB50011—2010），参考广东省地震局以往的研究成果，将现有场地粗略划分为4类（图2c），将场地类型对地震灾害大小影响定量化，计算人员伤亡损失时将不同的场地类型赋以不同的权重，影响因子  $S$  在不同场地条件下的取值分别为：0.5，1.0，1.2，1.5。

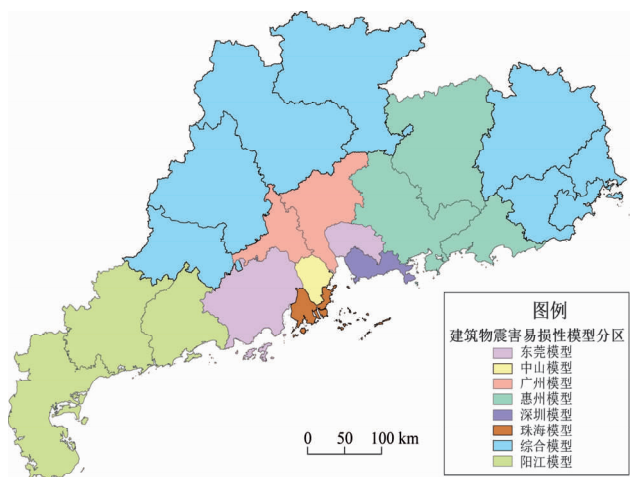
### 4.4 地形影响因子 $T$

广东山丘台地多为厚层风化壳，虽然海拔不高，但若震中在山区，也会引发小型的滑坡、塌方。如1962年河源6.1级地震后曾出现“山剥皮”现象，也可能加重山区地震的灾情，因此有必要对现有的广东地区地形影响因子进行分区（图2d）。根据广东地区的数字高程图提取广东山地与平地的分区，以供在计算中应用。但是广东地区的地震滑坡大多是小型或小区域滑坡，不会发生像西南地区那样具有一定规模、影响巨大的滑坡，而且震后的滑坡受天气影响更大，因此还要考虑强降雨时滑坡可能性问题。结合何萍（2018）对184个震例的研究， $T$ 在山区取值为1.1（强降雨时增加至1.5），平地取值为1.0。

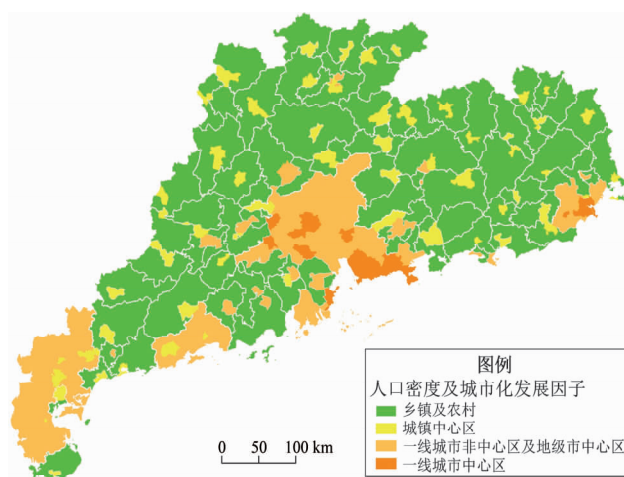
#### 4.5 天气影响因子 C

气象灾害是广东最常见的自然灾害,发生灾害的时限较长,每年遭受的损失占全部损失的 90% 以上。历史震例表明,地震的发生往往伴随着极端的天气,恶劣天气会使地震灾害扩大化,增加诱发地震次生灾害的风险,致使人员伤亡、经济损失成倍

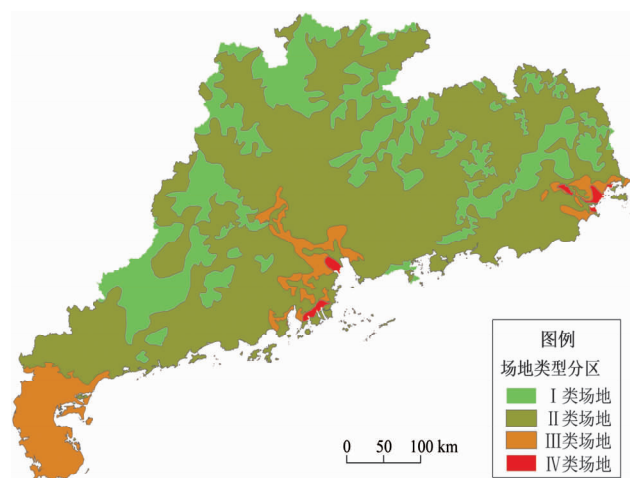
增长,因此灾害发生时还要随时关注灾区的天气情况。但根据目前掌握的地震事件资料,很难收集到因天气条件不同,遭受相同震级地震受灾情况的定量对比震例,很难将天气影响取值定量化。因此在新研发评估软件时,天气影响因子仅作为额外输入变量来体现,并不作为常态参量。



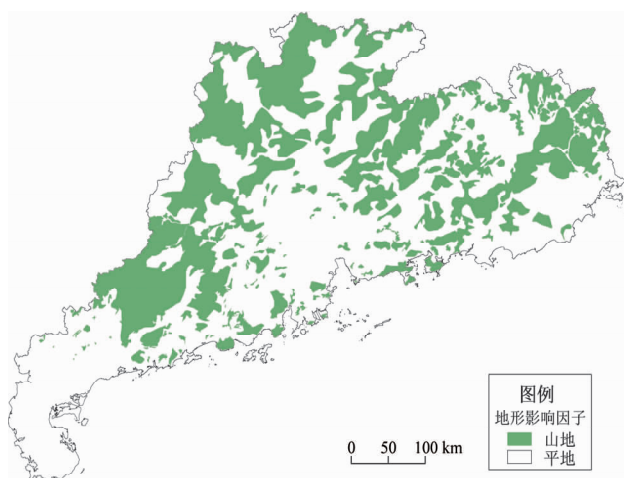
(a) 建筑物震害易损性模型应用分区



(b) 人口密度及城市化发展影响因子空间分区



(c) 场地条件影响因子空间分区



(d) 地形影响因子空间分区

图2 广东地区地震灾害人口伤亡耦合因子定量化示意图

Fig. 2 Sketch map of quantification casualty coupling factors in earthquake disasters in Guangdong area

## 5 算法实现

本文系统开发采用 Microsoft 的集成开发环境 Visual Studio 2010, 该系统提供了一个高效率的集成化的开发环境, 可以在一个统一的环境中进行设计、编码、调试和测试工作。开发语言采用 C#, 界面开发采用 Microsoft 的 WPF + Ribbon, 该控件

可使界面功能有组织的存放, 丰富的命令布局更容易帮助用户找到所需功能 (何萍等, 2017)。GIS 平台采用 ESRI 的 ArcEngine 10.1, ArcEngine 10.1 是一个完全组件化的 GIS 平台, 提供了功能丰富、强大的底层开发接口, 如数据处理、空间分析、地图浏览和制图等接口。

在实际计算中, 将上述 5 个耦合因子的空间及属性数据保存成参数数据库, 以便在应用中能

直接调用赋值，实现算法的实际应用。在软件设计中考虑了震害的预评估计算以及相关报告的产出，同时也给出了目前应用较多的专题图件自动产出模块，方便用户使用，图 3 给出了系统总体架构。

为了更好地对比预评估结果，在输入地震参数窗口中给出了是否采用基于人员耦合因素伤亡算法的选择勾选，一般默认为基于建筑物易损性的算法模型，建筑物的易损性矩阵全省应用统一

值；勾选后则可以按照基于耦合因子的人员伤亡算法进行预评估（图 4）。2 种算法均可得到评估报告，方便用户的比对。本文基于建筑物易损性算法（算法 1）及使用基于人员耦合因素伤亡算法（算法 2）分别对广东地区历史上的 5 次中强地震进行了震害评估计算，计算结果如表 1 所示。从表中可看出，基于算法 2 的人员伤亡评估数带有明显的地区差异性，震级相似的地震，由于灾区背景不同，造成的人员伤亡量有较大区别。

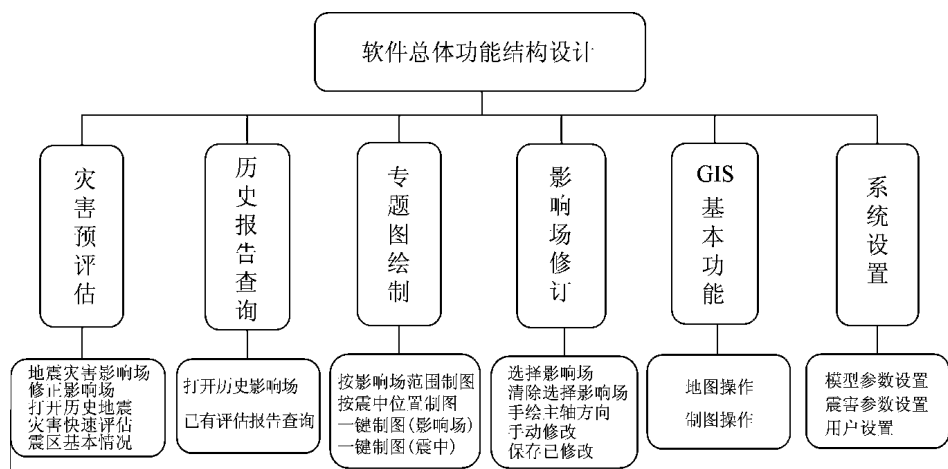


图 3 地震快速评估与动态出图系统总体功能设计框架图

Fig. 3 Overall functional structure design of earthquake rapid assessment and dynamic drawing system

表 1 2 种评估算法的算例对比

Tab. 1 Comparisons of two evaluation algorithms

地震事件	震级	$\varphi_N/$ (°)	$\lambda_E/$ (°)	历史震害 (广东省地方史志编纂委员会, 2001)	算法 1		算法 2	
					死亡人数	重伤人数	死亡人数	重伤人数
北宋治平四年 潮州一带	6.8	23.65	116.6	震中烈度为Ⅸ度的地震, 人员伤亡、财产损失严重	1 680	7 150	1 135	4 814
1908 年南澳 地震	7.3	23.5	117.2	震中区域在泉州至汕头一带, 地裂土崩, 海水腾涌, 房舍倾覆, 死亡者以数百计	310	1 453	756	3 436
揭阳	6.0	23.5	116.5	崩塌城垣 49 丈 6 尺, 瓦房 1059 间, 死亡 55 人, 受伤 14 人	170	751	314	1 376
1961 年河源 地震	6.2	23.73	114.67	极震区死亡 2 人, 重伤 11 人, 轻伤 29 人。如将受灾较重的城关镇、东 3 埔、仙塘和埔前 4 个公社合计, 毁损房屋 20 448 间, 死亡 5 人, 受伤 60 人	145	667	33	324
1969 年阳江 地震	6.4	21.7	114.7	死亡 33 人, 受伤 1 000 人, 地震造成地裂缝、喷砂、冒水及山石崩落等现象, 并呈规律分布	110	1 863	130	1 156

输入地震参数

东经:  度

北纬:  度

地震震级:  级

主轴方向:  度

震源深度:  千米

发生时间: 2019 年 4 月 2 日  
19 时 21 分 29 秒

天气条件:

☒ 是否采用基于人员耦合因素的伤亡算法

☐ 是否模拟

图4 地震快速评估与动态出图系统中算法选择示意

Fig. 4 Diagrammatic Sketch of Algorithmic Selection in Software

## 6 结论与讨论

本文以地震中影响人员伤亡的5个耦合因子作为重要参数,建立了基于多耦合因子的地震灾害人员伤亡评估模型,并以广东历史上发生的5次地震为例,进行地震伤亡人数的估算。通过算例实践,证明这种评估模型计算出的人员伤亡数量具有明显的地区差异性,计算结果和实际情况比较吻合。但在实际算法实践中,同样也存在以下问题,笔者也将在以后研究中进一步细化完善:

(1) 由于技术限制,目前在软件中选择耦合因子的定量值,是根据地震烈度影响场与耦合因子空间分布的叠加分析确定的,所占比重的大小决定了耦合因子的具体参量。因此很难避免同一烈度下存在不同耦合因子值的误差。

(2) 从算例的对比结果来看,利用本文模型评估的人员伤亡数带有明显的地区差异性,同一震级的地震,由于灾区的背景不同,造成的人员伤亡有显著区别。但是由于广东地区历史地震发生年代久远,很多历史地震的定位不太准确,难以用历史震害的特征与当前的孕灾环境进行对比,

因此很难验证算法的精度及可靠性。今后设计算法模型时应以多震区为例进行示范算例研究,更为科学。

(3) 耦合因子的取值合理性还有待于深入的分析研究。虽然从历史震例中,宏观上可以得出影响人员伤亡的具体耦合因子,但是耦合因子具体取值的准确度要求震例的精准分析,受限于目前的资料缺乏,很难达到精准的要求,只有不断调试,才能给出一个较为合理化的取值。

## 参考文献:

- 白仙富,戴雨发,戴靖,等. 2013. 昭通地区地震灾害区域性特征分析[J]. 地震研究,36(4):514-524.
- 陈洪富,戴君武,孙柏涛,等. 2011. 玉树7.1级地震人员伤亡影响因素调查与初步分析[J]. 地震工程与工程振动,31(4):18-25.
- 陈通,郑通彦. 2016. 2015年中国大陆地震灾害损失述评[J]. 灾害学,31(3):133-137.
- 程家喻,杨喆. 1993. 唐山地震人员伤亡率与房屋倒塌率的相关分析[J]. 地震地质,(1):82-87.
- 傅征祥. 1993. 建立生命的地震易损性概率矩阵初探[J]. 中国地震,9(3):205-210.
- 广东省地方志编纂委员会. 2001. 广东省省志·自然灾害志[M]. 广州:广东人民出版社.
- 国土资源部地震救灾前线指挥部. 2008. 四川省5.12地震灾区地质灾害应急排查总结报告[R].
- 何萍,陈修吾,何霆. 2017. 基于GIS的东莞市地震灾害评估系统的设计与实现[J]. 华南地震,37(3):9-17.
- 何萍. 2018. 地震灾害人口伤亡耦合因子特征分析研究[J]. 华南地震,38(增刊1):9-17.
- 胡聿贤,孙平善,章在墉,等. 1980. 场地条件对震害和地震动的影响[J]. 地震工程与工程振动,(1):34-41.
- 黄玉龙,周锦添,郭迅,等. 2000. 软泥夹层对香港软土地震反应的影响[J]. 自然灾害学报,9(1):109-116.
- 李永强,杨杰英,曹刻,等. 2007. 云南相似大震人员伤亡差异因素分析[J]. 灾害学,22(1):40-43.
- 马玉宏,谢礼立. 2000. 地震人员伤亡估算方法研究[J]. 地震工程与工程振动,20(4):140-147.
- 司明婧,常素萍,陈国兴. 2015. 唐山大地震中京津唐地区水利工程的震害现象与特征[J]. 防灾减灾工程学报,35(6):839-846.
- 王东坡,何思明,葛胜锦,等. 2013. “9·07”彝良地震诱发次生山地灾害调查及减灾建议[J]. 山地学报,31(1):101-107.
- 王兰民,吴志坚. 2010. 汶川地震场地条件对地震动放大效应的影响[J]. 土木建筑与环境工程,32(增刊2):175-178.
- 王晓青,丁香,王龙,等. 2009. 四川汶川8级大地震灾害损失快速评估研究[J]. 地震学报,31(2):205-211.
- 文鑫涛,郑通彦. 2018. 2016年中国大陆地震灾害损失述评[J]. 灾害学,33(3):141-144.

- 吴微微. 2014. 西南省域地震灾害耦合因素分析[J]. 地震地磁观测与研究, 35(1/2): 92–96.
- 伍国春. 2012. 日本近现代地震及其次生灾害的社会影响[J]. 地震学报, 34(3): 408–414.
- 肖光先. 1991. 震后灾害损失快速评估[J]. 灾害学, 6(4): 12–17.
- 尹之潜. 1991. 地震灾害损失预测研究[J]. 地震工程与工程振动, (4): 87–96.
- 郑通彦, 郑毅. 2012. 2011 年中国大陆地震灾害损失述评[J]. 自然灾害学报, 21(5): 88–97.
- 郑通彦, 郑毅. 2014. 2012 年中国大陆地震灾害损失述评[J]. 自然灾害学报, 23(3): 166–169.
- 郑通彦, 郑毅. 2015. 2014 年中国大陆地震灾害损失述评[J]. 世界地震工程, 24(1): 239–245.
- 中国地震局震灾应急救援司. 2010. 2001–2015 年中国大陆地震灾害损失评估汇编[M]. 北京: 地震出版社, 1–549.
- 中国地震局震灾应急救援司. 2015. 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, 1–696.
- 中国赴日地震考察团. 1995. 日本阪神大地震考察[M]. 北京: 地震出版社.
- GB50011—2010, 建筑抗震设计规范[S].

## Evaluation Method of Injuries and Deaths of Earthquake Disasters in Guangdong Area Based on Coupling Factor

HE Ping, YU Gang

(Guangdong Earthquake Agency, Guangzhou 510070, Guangdong, China)

### Abstract

From the point of view of influencing factors of casualties in earthquake disasters, we construct the rapid assessment method of casualties in earthquake disasters, and establish a more scientific and reasonable algorithm model for estimating casualties in earthquake disasters based on coupling factor. Then taking Guangdong area as an example, we analyze the spatialization and quantification of coupling factors of casualties in detail. Finally, we develop a rapid seismic assessment and dynamic mapping system based on the ARC Engine 10.1 platform, and applied it to the earthquake damage assessment of historical strong earthquakes in Guangdong area. The results indicate that the system can evaluate the casualties of the same earthquake case with different algorithms (the algorithm model based on coupling factor and the conventional algorithm model). The casualties calculated by the algorithm model based on coupling factor have obvious regional differences and are more suitable for the actual situation.

**Keywords:** earthquake disaster; casualty assessment; coupling factor; Guangdong area