

地震现场灾害损失调查与 评估系统的设计与实现

李海¹,王东明²,高永武²

(1. 广西壮族自治区地震局,广西 南宁 530022; 2. 中国地震灾害防御中心,北京 100029)

摘要:在地震灾害发生后,快速且准确地评估损失对于灾后救援与重建至关重要。该文针对地震现场灾害损失调查与评估常态化业务需求展开研究,通过建立统一的地震现场灾害损失调查与评估系统,优化地震现场信息传递流程,提高地震信息传递的时效性,实现调查数据采集、分析和管理扁平化。系统通过地震抽样点震害指数计算、烈度图综合评定以及半自动化产出评估报告这些功能的实现,提高地震灾害应对的效率和灾害损失评估的准确性,也给灾后重建提供有力的指导和依据。同时,地震现场损失调查与评估案例的积累和分析对于今后的应急处置和风险评估也起到参考作用。最后,该文还提出了进一步的研究思路与方法以便逐步完善该系统功能,使系统更具实用性和可持续性。

关键词:地震现场;灾害损失;调查与评估;系统;扁平化

中图分类号:P315.9

文献标志码:A

Design and realization of the earthquake on-site disaster loss investigation and assessment system

LI Hai¹, WANG Dongming², GAO Yongwu²

(1. Earthquake Agency of Guangxi Zhuang Autonomous Region, Nanning 530022, China;

2. China Earthquake Disaster Prevention Center, Beijing 100029, China)

Abstract: It is crucial to quickly and accurately assess the losses for post-disaster relief and reconstruction after earthquake disasters. This article focuses on the research of normalized business requirements for earthquake on-site disaster loss investigation and assessment. By establishing a unified earthquake on-site disaster loss investigation and assessment system, it optimizes the information transmission process at the earthquake on-site, improves the timeliness of earthquake information transmission, and achieves the flattening of survey data collection, analysis, and management. Through the implementation of functions such as calculating the earthquake damage index of sampling points, comprehensively evaluating the intensity map, and semi-automatically generating assessment reports, the system improves the efficiency of earthquake disaster response and the accuracy of disaster loss assessment, providing strong guidance and a basis for post-disaster reconstruction. At the same time, the accumulation and analysis of earthquake on-site loss investigation and assessment cases serve as a reference for future emergency response and risk assessment. Finally, this article also presents further research thoughts and methods to gradually improve the system's functionality, rendering it more practical and sustainable.

Key words: earthquake on-site; disaster loss; investigation and assessment; system; flattening

收稿日期:2023-12-06; 修回日期:2024-02-09

基金项目:国家自然科学基金项目(52278541);国家重点研发计划重大自然灾害防控与公共安全专项(2022YFC3006404)

作者简介:李海(1984—),女,工程师,硕士,主要从事震害预测、工程抗震等研究。E-mail:mlxsj126@126.com

通信作者:王东明(1977—),男,研究员,博士,主要从事地震灾害风险评估、情景构建及震害仿真等研究。E-mail:zf_wdm@163.com

0 引言

我国地震灾害具有破坏性大、波及范围广和损失严重等特点,破坏性地震发生后,会给社会经济及人民生命财产造成重大损失。因此,快速、系统、客观地对地震灾害进行损失调查和评估尤为重要。我国地震应急工作从1966年邢台地震开始^[1],经历了60多年的摸索、反思和总结,如今地震应急工作已经制度化、规范化和标准化,其中地震应急工作的重要内容之一——地震现场调查评估工作,已形成了比较成熟的现场调查标准和规范,如GB/T 18208.4—2011《地震现场工作 第4部分:灾害直接损失评估》^[2]、GB/T 18208.3—2011《地震现场工作 第3部分:调查规范》^[3]和GB/T 30352—2013《地震灾情应急评估》^[4]等。

随着信息化技术的发展,智能化的信息技术手段已成为保障地震现场工作高效有序开展的关键^[5]。借助移动网络以及智能终端等新兴技术,各个国家也纷纷开发出适合本国应用的灾害调查软件,使得地震现场工作的信息化水平持续提升。同时,随着地震灾害损失评估理论和方法的深入研究及计算机技术的快速发展,各种地震灾情损失评估软件也应运而生,显著提升了损失评估的效率^[6]。如美国地质调查局“你感觉到了吗?”系统从1999年上线,已经在美国运营了20多年,它可以从互联网用户的震动和损害报告中快速收集大地震强度数据,并在感觉到地震后立即生成强度图。日本最为完善的应急系统Phoenix管理系统(Phoenix Disaster Management System)经过多次大震实践,功能已经较为完备。意大利都灵理工大学(Politecnico di Torino)的地震工程研究所(Earthquake Engineering Research Institute, EERI)共同设计开发出地震灾害损失管理终端(earthquake damage assessment manager, EDAM),用以地震灾害调查和损失评估管理工作^[7]。国外已有的成熟软件系统虽能为我国相关系统功能开发提供参考,但因地震应急工作模式、地震现场调查标准和规范内容存在差异,并不能直接引入实际应用当中。本文构建的评估系统是注重多源数据的集成与融合,包括地震波数据、地质信息和社会经济数据等,确保评估结果的全面性和准确性;二是精细化评估与分类,提出了适用于我国的较为详细的、可扩展的建筑物分类方法,考虑了我国抗震规范的差异、结构抗震设防烈度等因素,使得评估结果更加贴近实际情况;三是用户友好性与可视化展示,采用直观易懂的图形化界面和报告形式,帮助用户更直观地了解灾害情况和评估结果,提高了系统的易用性和实用性。国内各省(区、市)地震局及地震研究机构也相继研发相关的灾情收集软件系统,如张翼等^[8]研发了基于个人数码助理(personal digital assistant, PDA)的灾情速报系统;刘军等^[9]研发了基于Android平台的灾情速报系统;胡晓荣等^[10]建设了基于SuperMap GIS的江苏省地震灾情应急采集系统;丁国章等^[11]利用ArcGIS Mobile技术基于PDA设计和开发了移动地震灾情速报系统;马磊等^[12]利用志愿者地理信息进行地震灾情速报系统开发;刘钦等^[13]、王琛等^[14]运用12322进行灾情收集的研究和系统开发;王斐斐等^[15]利用微信小程序采用开源GIS进行灾情收集工作;孙鸿博等^[16]在三网一员工作的基础上开发灾情速报系统。尽管这些系统已实现灾情快速收集及速报,但普遍存在功能单一的问题,无法系统开展综合性评估解析工作,如地震烈度评定、地震灾害损失评估及震后科学考察等。在地震灾情损失评估上,有李树桢等^[17]的震害评估软件;王晓青等^[18]开发了Map EDLES 2001 for Window;丁香等^[19]开发了地震巨灾风险评估系统EQRiskAsia;陈洪富^[20]研发了HAZ-China地震灾害损失评估系统;郑跃等^[21]开发了中国地震灾害损失评估系统;赵正贤等^[22]开发了本省本地化的精细化预评估平台,上述系统大多针对某个地区开发,在可扩展性和兼容性上存在着一定的局限性。相比国内其他系统,本系统的评估范围更加广泛,不仅适用于国家范围、城市区域的评估,还适用于重要单体的评估。通过对不同尺度和范围的评估,系统能够更全面地了解地震灾害的影响和损失情况,为决策提供更为全面的支持。在功能方面更加完善,包括震害评估与分析、专题图平台、查询统计和数据管理等多个模块。这些模块共同构成了一个完整的地震灾情损失快速评估系统,能够实现从数据收集、处理到评估结果输出的全过程自动化和智能化,提高了系统的效率和准确性。

综上所述,此系统在与国外同类系统相比时,在数据集成、精细化评估、实时性和用户友好性等方面展现了本质上的改进和完善;与国内其他系统相比时,在评估方法、评估范围和系统功能等方面也实现了显著的改进。在目前还无法做到准确预报地震的情况下,地震发生后要最大限度地减轻地震灾害带来的损失,就要夯实震灾防御基础业务工作。地震现场灾害损失调查与评估作为震灾防御基础工作之一,是以技术标准为引领、以信息技术为手段,以产品服务为目标。因此,本文在已有研究基础上,设计并构建集地震现场灾害损失调查与评估为一体的统一系统,系统一方面应用云计算、大数据和人工智能等技术手段挖掘基础数据潜

力,充分考虑了实际需求,将地震灾害损失调查与评估成果实现扁平化展示;另一方面将地震现场工作整个流程融入系统中心,提高地震现场灾害损失调查与评估的工作效率,最终目标是能提供快速、精准和全面的地震现场灾害损失评估成果。

1 系统整体设计

1.1 系统设计需求分析

地震应急工作的基础是要迅速了解灾情,根据灾情实况制定对策,其中一个重要环节就是估计灾害的损失。本系统的建立和应用定位为服务地震现场灾害损失调查、地震烈度评定与损失评估等方面的常态化业务工作。从用户需求上,针对参与地震现场灾害损失评估工作的管理和工作人员对系统需求交互融合进行需求分析,系统用户包含国家级管理员、省级管理员、灾情信息员、现场调查员、损失上报员和普通用户六类,构建地震现场灾损评估管理体系,打通地震现场灾害损失评估工作基本末端覆盖。从业务需求上,对整个地震现场灾害损失调查与评估工作中所需求的基础信息数据、可能需要储存的其他现场调查数据进行收集、归类整理。设计围绕地震现场灾害损失调查与评估的实际,以形成“完善数据底座、整合数据资源、科学评估风险、有效识别隐患、精准风险治理”为目标,满足地震现场灾害损失评估工作功能齐全、计算速度快的需求,并将数据和成果呈现在可视化界面,并扩展至地震灾害风险服务中,为今后的地震灾害风险评估提供依据。地震现场灾害损失调查与评估技术与实施方案的开展具体见图1。

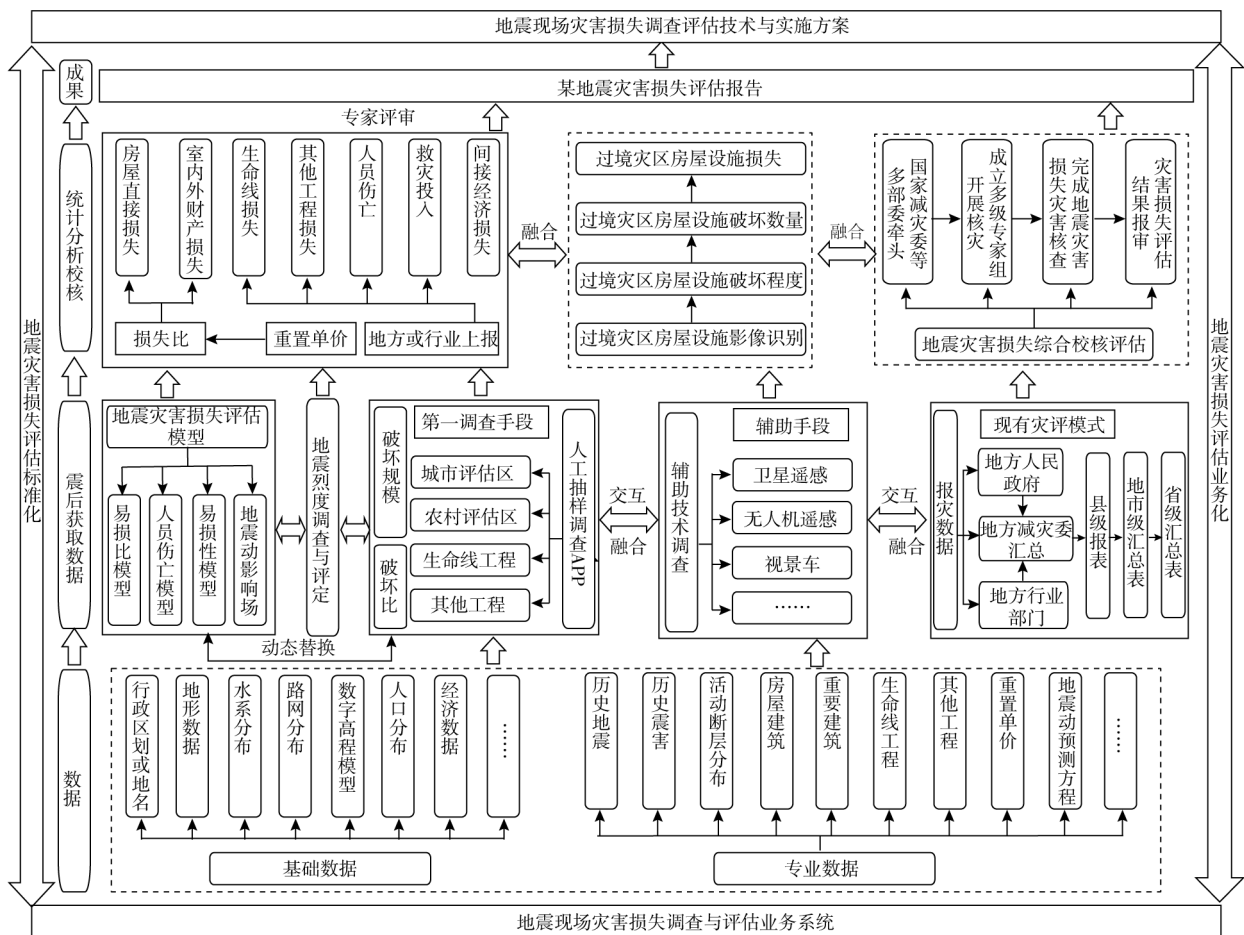


图1 系统实施方案

Fig. 1 System implementation plan

由图1可知:

1) 数据底座是地震发生前建立并完善地震现场灾害损失数据库。一部分为基础数据库包括行政区划库、人口分布库、经济数据库、地形数据库、路网分布和水系分布等,另一部分为专业数据库包括历史地震、历史震害、活动断层分布、房屋建筑库、生命线工程库、地震动预测方程等。数据底座为全业务环节提供便捷的数据检索接口。

2)震后获取数据是系统从各现场调查用户移动端获取地震现场实时数据,保障数据来源的准确和可追溯性,通过系统接口与多部门、多层级跨平台基础数据获取地震监测数据、卫星遥感数据等结合数据底座质检后进行汇总分析,系统将生成应用成果,如自动产出地震烈度图等,提供准确和有利的数据支持,为决策者提供强有力的辅助依据。

3)统计分析校核是系统将自动对提交后的调查数据及报表进行系统质检,各级管理员根据权限可对自己辖区内提交的调查数据报表进行检索、查看及审核管理。如发现表单信息不完整、数据项间逻辑矛盾等问题将会自动退回填报人,如无问题将进行统计分析计算,最终损失评估结果还要经过专家评审通过才正式发布。

4)成果运用是通过建设和运行统一的地震现场灾害损失调查与评估系统,实现地震现场灾害损失调查、评估信息数据的及时汇集、处理和服务,所产生的成果报告及统计数据为本地化承灾体易损性分析、损失预评估、地震灾害情景构建等研究工作提供了坚实的依据。通过平台的建立,还可以使地震现场灾害损失调查与评估业务建立起标准化的数据和成果表达模板,使业务工作流程更加标准化。获得的最终成果又迭代回原有的数据底层,使业务能够可持续性的发展。

1.2 系统整体架构

根据地震现场灾害损失调查与评估工作业务需求,设计系统架构包括“四层双体系”共六部分,其中功能模块层划分为:基础层、业务逻辑层、应用处理层和成果展现层;双体系包括:信息安全保障体系和系统运维保障体系。成果展现层涵盖用户与界面两大要素,通过手机端和电脑端为 5 种不同类型的用户提供互联互通的数据交互界面;应用处理层实现了评估分析的报告产出及决策分析模块;业务逻辑层则位于基础层和应用处理层之间,作为数据处理与功能实现的桥梁纽带;基础层中的数据、硬件资源以及接口软件等要素,构成了上述架构的核心关键,见图 2。双体系主要是保障系统的安全运行,防止非法用户入侵以及防病毒入侵和保障数据安全性等。

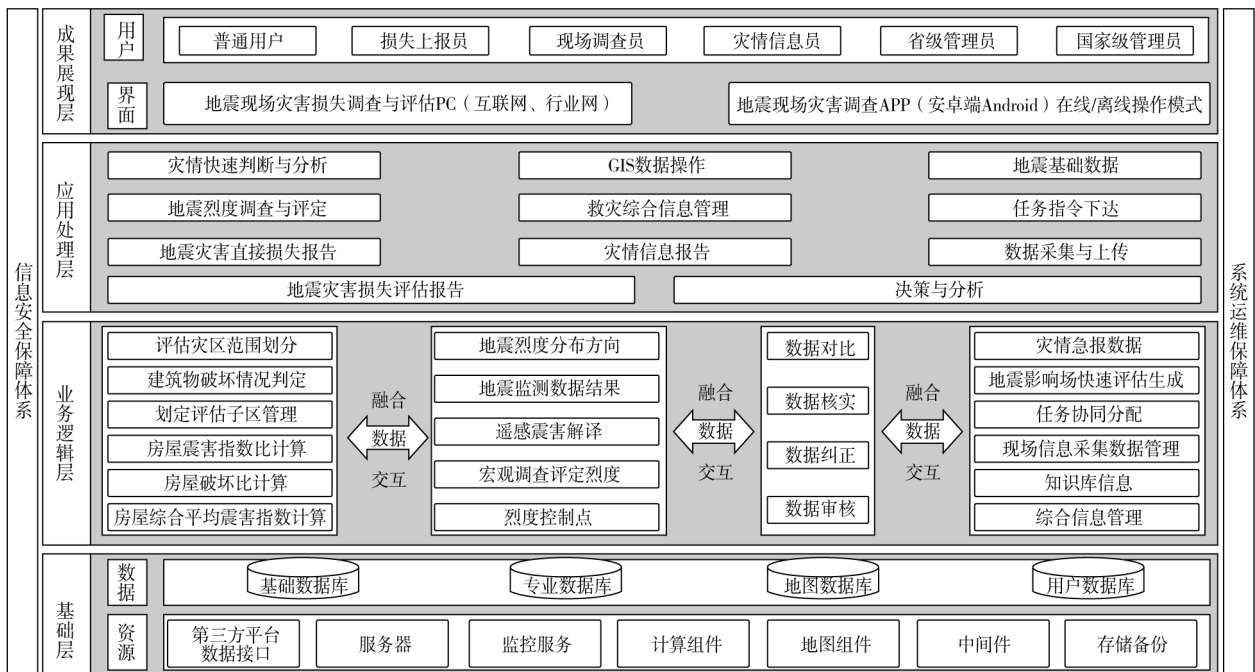


图 2 系统整体架构

Fig. 2 Overall architecture of the system

1.3 系统功能模块

依据 GB/T 18208.3—2011《地震现场工作 第 3 部分:调查规范》^[3] 的核心业务和实际应用需求开展系统功能设计见图 3。设计以期通过多元的通讯手段、完善的数据储备、成熟的技术条件和科学的灾害调查方式来辅助参与地震现场工作的人员通过移动端采集 APP 或 PC 端网页版,在地震发生后初期,现场调查数据未收集前,利用震级、衰减关系及相应的房屋震损模型等来进行损失预测,以便为应急响应和灾害管理提供及时的支持。这样可以在最短的时间内完成地震现场灾害损失调查、烈度评定和损失评估等工作,实现对现场调查数据及地震灾害损失报表管理、数据质检和统计分析,达到为开展地震现场灾害损失调查与评估业务工作提供可视化、信息化服务的目标。

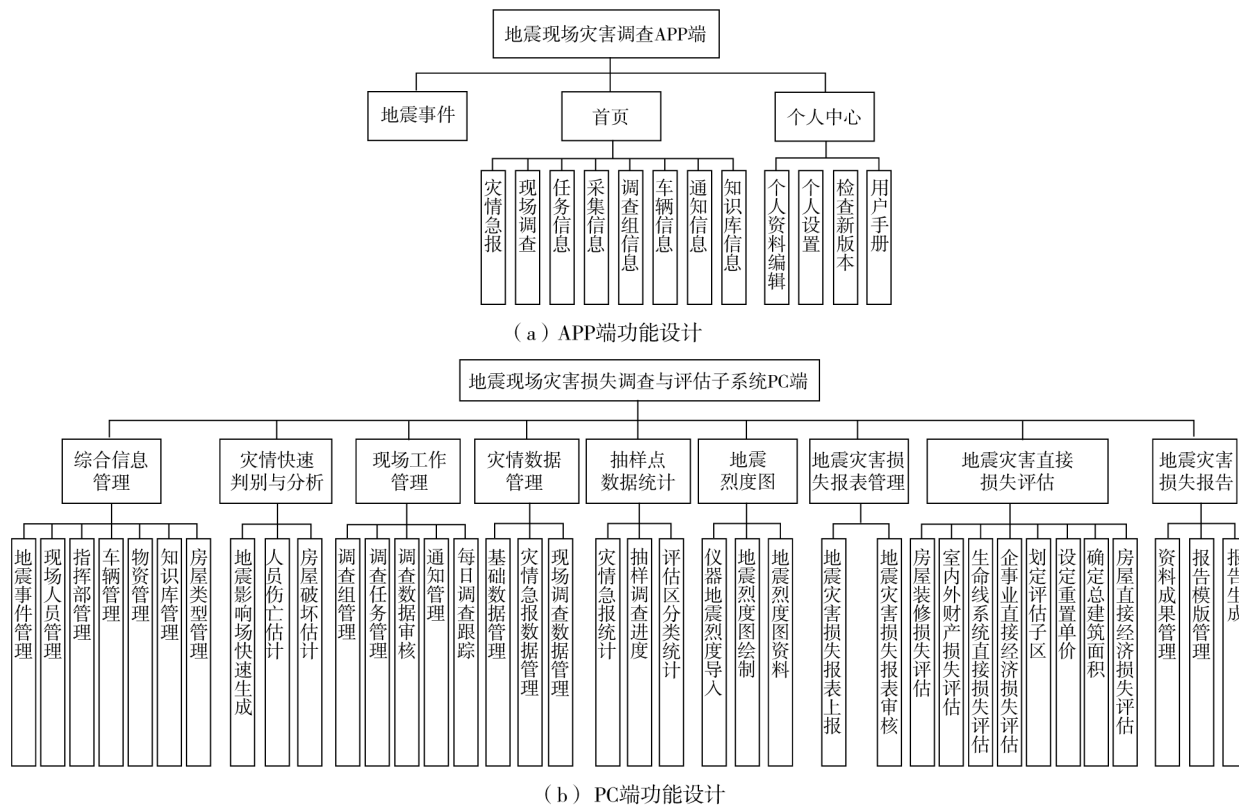


图 3 功能设计图

Fig. 3 Functional design diagram

1.3.1 地震现场调查

地震发生后,与中国地震台网系统实现对接,获取真实地震发生的地震信息,包括发震时间、震中位置、震级、震源深度、经度和纬度作为地震事件创建的输入信息。用户在基础数据库中选择匹配的地震衰减关系模型和地震破裂方向形成地震影响场,用以快速评估人员伤亡和房屋破坏情况,生成地震影响场快速生成图,为现场调查工作区划分和任务分配提供充分依据。经过任务分配后,直接在 PC 端地图上选择建筑物较集中的居民点作为抽样调查点进行调查,确保抽样点空间分布均匀且数目满足要求,具体工作流程见图 4。

系统设有辅助指挥部能实现调查人员、车辆及物资的合理调配管理。指挥部的每日调查跟踪模块可实现实时互动沟通、对前方调查实时追踪其行踪、检验现场工作人员的工作成果。现场调查工作采用移动终端 APP 进行数据采集和离线存储功能,数据采集见表 1。调查成果数据将提交到地震烈度图绘制模块实现地震现场烈度调查工作的信息化和规范化管理,调查信息和结果的实时计算传输,缩短上报数据的时间,使指挥部可以及时获得现场烈度调查信息,为工作人员提供便捷,有效提高了工作效率。

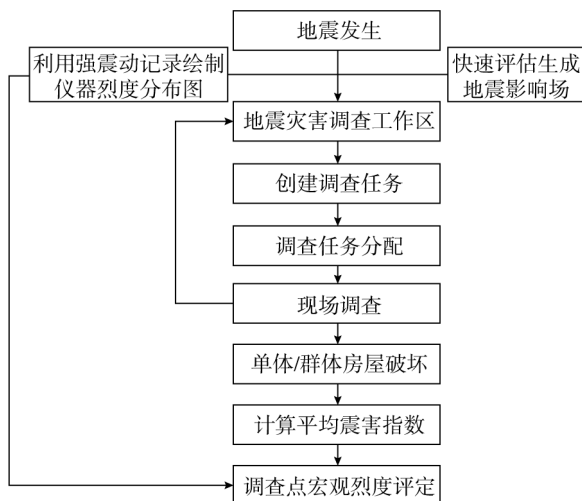


图 4 地震现场工作业务流程图

Fig. 4 Flow chart of earthquake site work

表 1 地震现场调查工作数据采集表

Table 1 Data collection form for earthquake field investigation work

分类	序号	数据项	获取方式	数据内容
抽样点房屋调查	1	基本信息	自动	所在地省(区、市)详细地址信息,抽样点名称、经纬度
	2	抽样点信息	手动填写	抽样点户数、户均房屋面积、抽样点人口
	3	房屋破坏情况	手动可选、手动上传	房屋破坏照片,各类房屋的 5 种破坏程度数据,并提供在线统计展示功能

续表

分类	序号	数据项	获取方式	数据内容	
房屋单体样本调查	4	人员伤亡情况	手动可选	死亡人数、失踪人数、重伤人数、轻伤人数	
	5	宏观信息	手动可选	地形地貌、人员震感情况、器皿反应情况、宏观描述、大范围照片、大范围视频	
	6	宏观异常现象	手动可选	地下水异常、生物异常、气象异常、地声异常、地光异常、地气异常、地动异常、地鼓异常、地磁异常、无异常	
	7	地质灾害	手动可选	地面破坏和变化情况、震害描述	
	8	烈度拟定	手动可选	VI~X度可选	
	9	其他	手动上传	现场视频、音频、相册等	
	10	基本信息	自动	所在地省(区、市)详细地址信息、经纬度	
	11	房屋信息	手动可选	用途、结构类型、设防情况	
	12	房屋面积	手动填写	房屋建筑面积	
	13	房屋破坏情况	手动可选、手动上传	房屋破坏照片、破坏类型、是否为典型房屋、是否为中高档装修	
	14	房屋损失情况	手动填写	损失值(房屋为典型房屋时必须填)损失、室内外财产损失比	
	15	基本信息	自动	所在地省(区、市)详细地址信息、经纬度	
	生命线工程调查	16	生命线类型	手动可选	生命线工程设备、交通系统、供水系统、输油系统、燃气系统、电力系统、通信系统、水利工程
		17	破坏情况	手动可选	I~V级可选
		18	推测烈度	手动可选	VI~X度可选
19		破坏具体情况描述	手动填写		

1.3.2 地震烈度评定

地震烈度评定业务流程见图 5。系统将地震烈度分布方向(包括活断层分布、震源机制解、余震序列分布和破裂方向)、烈度控制点两方面信息进行整合作为绘制地震烈度图的主要依据,多数据融合增强了地震烈度图的准确性。同时,还设置了工具可对绘制烈度图的曲线进行美化、修正和导出,以便全面快速地辅助指挥部完成烈度评定。

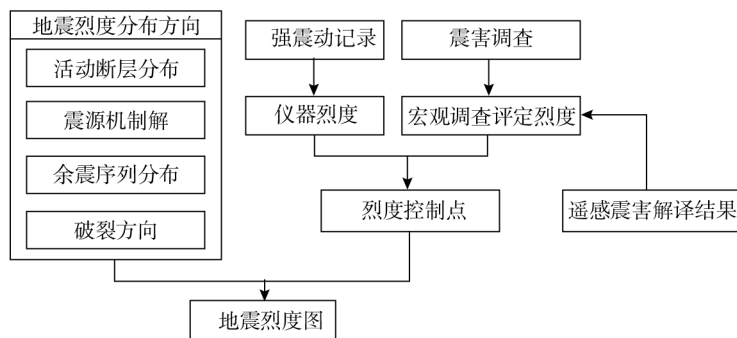


图 5 地震烈度评定业务流程图

Fig. 5 Flow chart of earthquake intensity assessment operations

1.3.3 地震灾害损失评估

基于统计分析、数值模拟和机器学习等技术对房屋建筑结构的直接经济损失、室内外生命财产、间接经济损失和人员伤亡等进行评估并将分析结果可视化显示,自动绘制地震烈度图、损伤程度图,最终生成灾害评估报告,见图 6。

1) 房屋直接经济损失计算

房屋建筑破坏造成的经济损失为灾区各类结构、各种破坏等级造成的损失之和。评估子区各类房屋在某种破坏下的损失 L_h ^[2],其表达式为

$$L_h = S_h \times R_h \times D_h \times P_h \quad (1)$$

式中: S_h 为该评估子区同类房屋总建筑面积; R_h 为该评估子区同类房屋某种破坏等级的破坏比; D_h 为该评估子区同类房屋某种破坏等级的损失比; P_h 为该评估子区同类房屋重置单价。

将所有破坏等级的房屋损失相加,得到该评估区该类房屋破坏的损失;将所有房屋类型的损失相加,得到该评估区房屋损失;将所有评估区的房屋损失相加,得出整个灾区的房屋损失。

房屋破坏比根据抽样点的房屋破坏面积计算出不同结构每个破坏等级的破坏比。房屋损失比根据

GB/T 18208.4—2011《地震现场工作 第4部分:灾害直接损失评估》^[2]系统默认给出中值,也可以手动修改符合现场情况的取值。

根据调查结果以及上述计算原理和方法,以当地政府部门提供的房屋建筑数据为基础,对房屋经济损失进行评估计算。

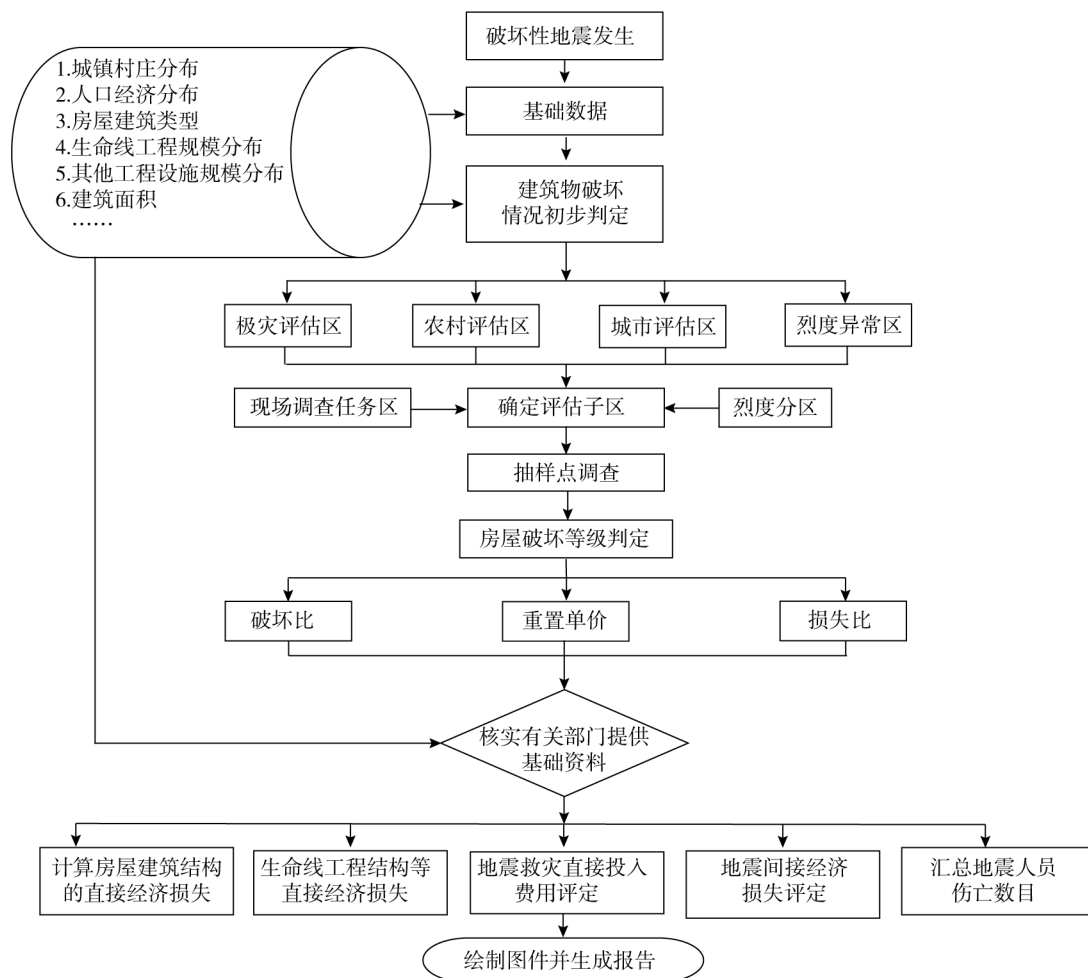


图6 地震灾害损失评估业务流程图

Fig. 6 Workflow diagram for earthquake disaster loss assessment operations

2) 生命线系统直接损失评估

生命线系统种类多,情况比较复杂,系统设置的生命线系统工程结构损失是由有关企业或主管部门会同逐个评定。并由有关企业或主管部门调查后填写上报,上报表单为地震灾害损失上报中的生命线地震损失报表,根据填写上报的结果汇总,得到灾区生命线系统直接损失。

3) 失去住所人数

失去住所人数是指因地震失去住所而在室外避难的人数。失去住所人数(T)按式(2)^[2]统计计算:

$$T = \frac{c+d+e/2}{a} \times b - f \quad (2)$$

式中: a 为户均居住面积; b 为户均人口; c 为所有住宅房屋的毁坏面积; d 为非简易房屋的严重破坏面积; e 为非简易房屋中等破坏面积与简易房屋破坏面积的一半之和; f 为死亡人数。参数 a 、 b 、 c 、 d 、 e 、 f 由统计或灾害损失评估计算得到。

4) 地震救灾投入计算

地震救灾投入费用按下列方法估计,6级以下(不含6级)地震取地震直接经济损失的1.5%;6~7级(不含7级)地震取地震直接经济损失的3.5%;7级以上(含7级)地震取地震直接经济损失的6.0%。根据以上估计方法即可自动计算出地震救灾投入费用。

最后系统根据以上的计算结果自动产生灾评报告,下载自动生成的报告后可以进行编辑修改通过审核后再上传到系统进行保存。

2 系统实现及应用

本系统充分总结过去地震现场灾害损失与评估的经验教训,将之从直接的经验升华为普遍的理论,然后再应用到业务化、标准化的调查与评估工作中去。

系统将 1990—2020 年以来开展过地震灾害损失评估的 300 多次地震数据录入到系统数据库并进行展示和分析。地震灾害损失按时间和震级分布情况见图 7。2008 年 5 月 12 日四川汶川 8.1 级地震是破坏性强、波及范围广、人员伤亡严重、经济损失严重的一次特大地震,而且基于能量的主余震影响下遭受的损失更加严重^[23]。各省(区、市)在开展地震现场灾害损失调查与评估工作以来,积累了很多经验,当这些数据集聚到系统中就能发挥更大的作用。

历年开展地震灾害损失评估数据见图 8,排名前 5 的省份是发生地震较多,震级也较大的省份。四川省累计地震灾害损失值最大,达到 86%,是由于统计了 2008 年四川汶川 8.1 级地震,见图 8(a)。如不统计汶川地震,四川省累计地震灾害损失值降到 37%,见图 8(b)。除了排名前 5 的省份外,其他省份的累计地震灾害损失值之和没有超过前 5 的省份,各省(区、市)开展地震灾害损失评估数的统计图见图 9。按照地震发生的时间顺序将几个 6 级地震的地震灾害各类损失数据进行对比,可以看出房屋损失占了最大的比例基本在 80%左右,见图 10。

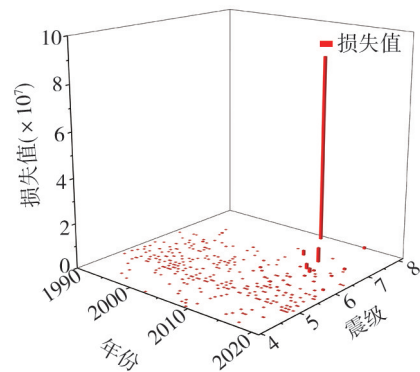


图 7 1990—2020 年地震损失评估统计图

Fig. 7 Statistical graph of earthquake loss assessment from 1990 to 2020

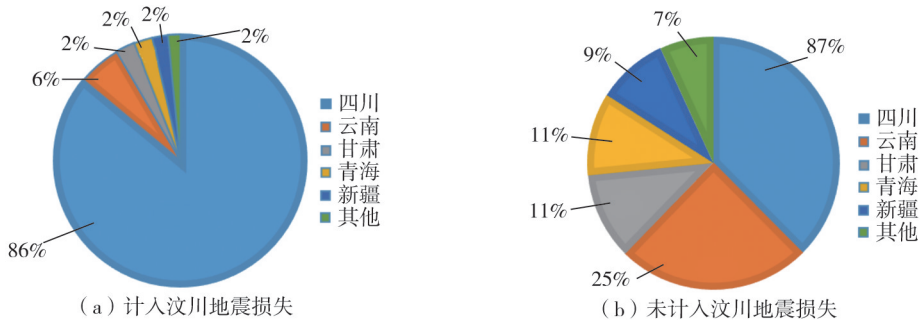


图 8 地震灾害损失评估统计对比图

Fig. 8 Statistical comparison chart of earthquake damage assessment

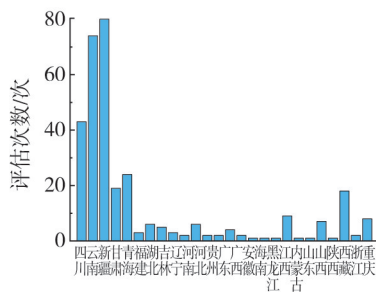


图 9 研究区地震灾害损失评估数统计图

Fig. 9 Statistical graph of the number of earthquake disaster loss assessment

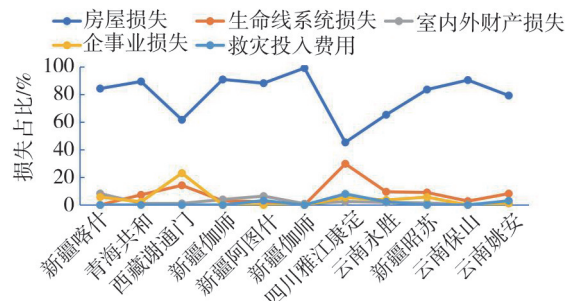


图 10 6 级地震灾害各类损失占比图

Fig. 10 Proportion of all kinds of losses in magnitude 6 earthquake disaster

通过这些地震灾害损失评估数据,可以总结出一些地震灾害损失的相关因子,从而验证系统计算的合理性。一般来说,震级越大,损失也越重,如果地震震级接近,但地震发生的空间位置不同,灾害损失的严重程度也不相同,这些就是考虑发生的地方房屋建筑情况、生命线系统的情况,如果发生的地方房屋建筑不密集、也不存在生命线系统,则震级虽然大但地震灾害损失程度低。

现将 10 个开展过地震灾害损失评估的 6 级地震损失情况进行比较,见图 10。显而易见,房屋损失占比排在首位。所以房屋损失调查工作一直是地震现场工作中的重中之重。随着经济发展和城市化进程的加快,基

基础设施也不断的加大建设,地震引起生命线系统损失也逐渐占据一定比例,如2021年5月22日青海玛多7.4级地震造成了共玉高速玛多县境内的野马滩1号桥和野马滩2号桥坍塌,2022年1月8日青海门源6.9级地震导致兰新高铁受损停运。同时随着人民生活水平的不断提高,在近10a发生的地震,相对于10a前发生的地震灾害损失更重,房屋破坏的直接灾害损失仍然占很大一部分,而房屋装修造成的损失也愈发凸显,不容忽视。

3 结语

本文构建了一个全面且高效的震灾损失评估系统,该系统在多个方面相较于国内现有的评估系统展现出了显著的优势。首先,本系统在确保数据全面性和综合性的同时,也极大地提升了评估结果的可靠性和准确性。其次,本系统具备实时性和快速响应能力。在地震发生后,系统能够迅速收集和分析数据,生成损失评估报告,为决策层提供及时的灾害应对依据。这种快速响应能力对于减少灾害损失、优化资源配置具有重要意义。此外,本系统还注重用户友好性和可视化展示。通过直观易懂的图形化界面和报告形式,系统降低了使用门槛,使得非专业人士也能轻松理解和使用。同时,丰富的可视化工具如地图展示、动态模拟等,帮助用户更直观地了解灾害情况和评估结果。最后,本系统在设计上具备灵活性和可扩展性。系统可根据不同地区和灾害特点进行定制和优化,满足不同用户的需求。同时,系统能够方便地集成新的评估方法和数据资源,保持其先进性和适用性。

4 展望

地震现场灾害损失调查与评估系统具有完备的业务工作流程,完整的功能模块,便捷的使用体验,以期成为地震现场灾害损失调查与评估的信息化技术好帮手。可以把后续系统的优化提升工作重心放在以下几点:

1) 扩展自动化和智能化功能。未来在积累更多地震现场实例样本量后,增加自动化数据采集、自动调配合理人员与装备、模型自动构建及报告自动生成等功能,以减轻人工工作负担,加快灾害评估和应急响应的速度。

2) 整合完善地震现场灾害数据。在数据采集与传输上通过移动设备来获取更准确、实时的地震现场灾害数据,以及更高效的数据传输方式将数据传输到系统中,提高数据的可靠性和实时性。通过整合多源数据的方法,包括地震数据、地理信息数据、遥感数据和社交媒体数据等,以增加对地震影响范围和灾情的全面性和多样性的认知。

3) 优化提升数据处理及分析算法。依托深度学习、机器学习和人工智能等技术,持续迭代与更新灾害评估模型,将更多因素考虑进系统中,如不同区域的本地化特征等,提高对地震数据和建筑物信息的分析能力,更加准确地评估地震对建筑物的影响及灾害评估。

4) 融合多灾种损失评估。我国自然灾害类型多,地震灾害只是其中一部分,系统也将考虑多个自然灾害类型的交互作用,使其具备扩展性和灵活性,以应对不同区域、不同时间尺度、不同数据需求的多样性。

综上所述,未来国家地震现场灾害损失调查与评估系统可以通过数据采集与传输的优化、数据处理与分析的创新、灾害评估模型的完善、多源数据的整合、自动化与智能化的应用以及与各省(自治区、直辖市)震灾防御基础数据库、多灾种情景模拟等的交互融合,实现更精确、全面、快速的灾害评估与应对能力。

参考文献:

- [1] 吴劲松,任雪. 1975年海城7.3级地震应急工作述评[J]. 防灾减灾学报, 2013, 29(1): 79-82.
WU Jinsong, REN Xue. Review of earthquake emergency response of Haicheng *M*7.3 earthquake in 1975[J]. Journal of Disaster Prevention and Reduction, 2013, 29(1): 79-82. (in Chinese)
- [2] GB/T 18208.4—2011 地震现场工作 第4部分: 灾害直接损失评估[S]. 北京: 中国标准出版社, 2012.
GB/T 18208.4—2011 Post-earthquake field works-Part 4: Assessment of direct loss [S]. Beijing: Standards Press of China, 2012. (in Chinese)
- [3] GB/T 18208.3—2011 地震现场工作 第3部分: 调查规范[S]. 北京: 中国标准出版社, 2012.
GB/T 18208.3—2011 Post-earthquake field works-Part 3: Code for field survey[S]. Beijing: Standards Press of China, 2012. (in Chinese)
- [4] GB/T 30352—2013 地震灾情应急评估[S]. 北京: 中国标准出版社, 2014.
GB/T 30352—2013 Assessment of earthquake disaster situation in emergency period [S]. Beijing: Standards Press of China, 2014. (in Chinese)
- [5] 郑史雄,雷川鹤,贾宏宇,等. 人工智能技术在桥梁抗震领域的应用综述[J]. 地震工程与工程振动, 2023, 43(4): 1-13.

- ZHENG Shixiong, LEI Chuanhe, JIA Hongyu, et al. Application overview of artificial intelligence technology in bridge seismic field [J]. *Earthquake Engineering and Engineering Dynamics*, 2023, 43(4): 1-13. (in Chinese)
- [6] 王东明, 陈华静, 陈敬一, 等. 国家地震灾害风险防治业务平台功能设计与展望[J]. *自然灾害学报*, 2021, 30(2): 60-70.
WANG Dongming, CHEN Huajing, CHEN Jingyi, et al. Function design and prospect of platform of national earthquake disaster risk prevention and control[J]. *Journal of Natural Disasters*, 2021, 30(2): 60-70. (in Chinese)
- [7] 胡寒冰. 基于微信小程序平台的地震现场灾害调查信息系统设计及初步实现[D]. 哈尔滨: 中国地震局工程力学研究所, 2019.
HU Hanbing. Design and preliminary realization of earthquake field disaster investigation information system based on mini program[D]. Harbin: Institute of Engineering Mechanics, 2019. (in Chinese)
- [8] 张翼, 郭红梅, 胡斌, 等. 基于 PDA 的四川灾情速报系统[J]. *华南地震*, 2014, 34(4): 55-60.
ZHANG Yi, GUO Hongmei, HU Bin, et al. Earthquake disaster rapid reporting system of Sichuan Province based on PDA[J]. *South China Journal of Seismology*, 2014, 34(4): 55-60. (in Chinese)
- [9] 刘军, 宋立军, 兰陵, 等. 基于 Android 平台的地震灾情速报系统的设计与实现[J]. *内陆地震*, 2014, 28(4): 366-371.
LIU Jun, SONG Lijun, LAN Ling, et al. Design and implementation of earthquake quick-report system based on Android platform[J]. *Inland Earthquake*, 2014, 28(4): 366-371. (in Chinese)
- [10] 胡晓荣, 赵萍, 毕雪梅. 基于 SuperMap GIS 的江苏省地震灾情应急采集系统构建研究[J]. *测绘与空间地理信息*, 2013, 36(增刊 1): 215-217.
HU Xiaorong, ZHAO Ping, BI Xuemei. Research on the construction of Jiangsu earthquake disaster information collection system based on SuperMap[J]. *Geomatics & Spatial Information Technology*, 2013, 36(Sup. 1): 215-217. (in Chinese)
- [11] 丁国章, 徐敬海, 张云鹏. 利用 ArcGIS Mobile 的地震灾情速报系统设计与实现[J]. *测绘科学*, 2012, 37(5): 167-169, 186.
DING Guozhang, XU Jinghai, ZHANG Yunpeng. Design and realization of earthquake disaster report system based on ArcGIS Mobile[J]. *Science of Surveying and Mapping*, 2012, 37(5): 167-169, 186. (in Chinese)
- [12] 马磊, 陈秀万, 隋建波, 等. 基于 VGI 的地震灾情速报系统设计与实现[J]. *测绘通报*, 2015(4): 97-100.
MA Lei, CHEN Xiuwan, SUI Jianbo, et al. Design and implementation of the VGI-based earthquake disaster quick report system[J]. *Bulletin of Surveying and Mapping*, 2015(4): 97-100. (in Chinese)
- [13] 刘钦, 董翔, 杨斌. 基于移动终端的 12322 地震灾情上报处理系统设计与实现[J]. *震灾防御技术*, 2015, 10(3): 673-681.
LIU Qin, DONG Xiang, YANG Bin. Mobile terminal based 12322 disaster report processing system[J]. *Technology for Earthquake Disaster Prevention*, 2015, 10(3): 673-681. (in Chinese)
- [14] 王琛, 章熙海, 肖飞, 等. 基于 12322 平台的江苏省地震应急灾情速报系统的设计与应用[J]. *震灾防御技术*, 2018, 13(2): 471-479.
WANG Chen, ZHANG Xihai, XIAO Fei, et al. Design and application of Jiangsu earthquake emergency disaster information reporting system based on 12322 platform[J]. *Technology for Earthquake Disaster Prevention*, 2018, 13(2): 471-479. (in Chinese)
- [15] 王斐斐, 韩贞辉, 樊华, 等. 基于开源 GIS 的地震灾情速报信息收集与处置研究——以河南省地震局为例[J]. *震灾防御技术*, 2022, 17(1): 188-196.
WANG Feifei, HAN Zhenhui, FAN Hua, et al. Research on earthquake disaster information collection and disposal based on open source GIS: A case study of Henan earthquake agency[J]. *Technology for Earthquake Disaster Prevention*, 2022, 17(1): 188-196. (in Chinese)
- [16] 孙鸿博, 孙艺, 赵楠, 等. 基于“三网一员”的震后灾情速报系统设计与应用[J]. *华北地震科学*, 2023, 41(2): 1-7.
SUN Hongbo, SUN Yi, ZHAO Nan, et al. Design and application of post-earthquake disaster quick report system based on “three networks and one member” [J]. *North China Earthquake Sciences*, 2023, 41(2): 1-7. (in Chinese)
- [17] 李树桢, 贾相玉, 朱玉莲. 震害评估软件 EDEP-93 及其在普洱地震中的应用[J]. *自然灾害学报*, 1995, 4(1): 39-46.
LI Shuzhen, JIA Xiangyu, ZHU Yulian. Earthquake damage evaluation software EDEP-93 and its use in Puer earthquake[J]. *Journal of Natural Disasters*, 1995, 4(1): 39-46. (in Chinese)
- [18] 王晓青, 丁香. 基于 GIS 的地震现场灾害损失评估系统[J]. *自然灾害学报*, 2004, 13(1): 118-125.
WANG Xiaoqing, DING Xiang. Estimation system of disastrous losses in seismic site based on GIS[J]. *Journal of Natural Disasters*, 2004, 13(1): 118-125. (in Chinese)
- [19] 丁香, 王晓青, 王龙, 等. 地震巨灾风险评估系统的研制与应用[J]. *震灾防御技术*, 2011, 6(4): 454-460.
DING Xiang, WANG Xiaoqing, WANG Long, et al. The development and application of catastrophe earthquake risk estimation system [J]. *Technology for Earthquake Disaster Prevention*, 2011, 6(4): 454-460. (in Chinese)
- [20] 陈洪富, 孙柏涛, 陈相兆, 等. HAZ-China 地震灾害损失评估系统研究[J]. *土木工程学报*, 2013, 46(增刊 2): 294-300.
CHEN Hongfu, SUN Baitao, CHEN Xiangzhao, et al. HAZ-China earthquake disaster loss estimation system [J]. *China Civil Engineering Journal*, 2013, 46(Sup. 2): 294-300. (in Chinese)
- [21] 郑跃, 贺金川, 郑山锁, 等. 中国地震灾害损失评估系统研究[J]. *自然灾害学报*, 2020, 29(4): 34-42.
ZHENG Yue, HE Jinchuan, ZHENG Shansuo, et al. Study on China earthquake disaster loss assessment system[J]. *Journal of Natural Disasters*, 2020, 29(4): 34-42. (in Chinese)
- [22] 赵正贤, 张方浩, 曹彦波, 等. 地震灾害损失精细化预评估成果集成及可视化应用研究[J]. *华南地震*, 2023, 43(3): 122-129.
ZHAO Zhengxian, ZHANG Fanghao, CAO Yanbo, et al. Research on integration and visualization application of refined pre-assessment results of earthquake disaster loss[J]. *South China Journal of Seismology*, 2023, 43(3): 122-129. (in Chinese)
- [23] 陈涛, 马高, 基于能量的主余震作用下 RC 框架损伤与震后性能评估[J]. *地震工程与工程振动*, 2023, 43(04): 161-170.
CHEN Tao, MA Gao, Post-earthquake performance and damage evaluation of RC frames under mainshock-aftershock sequence based on energy concept[J]. *Earthquake Engineering and Engineering Dynamics*, 2023, 43(4): 161-170. (in Chinese)