

徐兰声.基于 GIS 系统的城市震灾评估和救灾应急的研究[J].地震工程学报,2019,41(2):507-512.doi:10.3969/j.issn.1000-0844.2019.02.507

XU Lansheng,Urban Earthquake Disaster Assessment and Emergency Response Based on a GIS System[J].China Earthquake Engineering Journal,2019,41(2):507-512.doi:10.3969/j.issn.1000-0844.2019.02.507

基于 GIS 系统的城市震灾评估和救灾应急的研究

徐兰声

(滇西科技师范学院,云南 临沧 677000)

摘要:地震防灾减灾能力是国家的重点需求,针对当前城市抗震应急存在的灵活性差问题,在过去研究的基础上,将 GIS 系统应用至城市抗震救灾应急响应中,建立的 GIS 系统利用地震灾害评估模块、数据库管理模块、地震应急响应和指挥决策模块构成城市抗震救灾应急响应框架,完成城市 GIS 系统的应用分析。地震灾害评估模块中计算震害总体损失、经济损失和生命损失,实现地震灾害评估信息数据的精确性采集;数据库管理模块中的抗灾救灾应急响应数据库主要利用矢量数据、数字正射影像数据和其他专题数据构成,完成一致性访问各种类型数据,提高城市抗震救灾应急响应灵活性;在响应与决策模块中利用核心服务器实现数据信息的上传下达,实现快速救援响应。研究中对这套 GIS 系统与当前方法做对比,进行抗震救灾过程灵活性、救援数据精准性的比较实验。实验对比结果表明,所提研究成果提供的救援数据精确性强,且运行过程中灵活系数等部分指标高于当前研究。

关键词: GIS 系统;抗震救灾;应急响应;数字正射影像;震害损失

中图分类号: P315.9

文献标志码: A

文章编号: 1000-0844(2019)02-0507-06

DOI:10.3969/j.issn.1000-0844.2019.02.507

Urban Earthquake Disaster Assessment and Emergency Response Based on a GIS System

XU Lansheng

(West Yunnan University, Lincang 677000, Yunnan, China)

Abstract: Earthquake prevention and mitigation are key demands of our country. To address the problem of poor flexibility currently existing in our urban seismic response, we applied, in this paper, a GIS system to the urban earthquake emergency and disaster relief response. The established GIS system made use of an earthquake disaster assessment module, database management module, and earthquake emergency response and command decision module to constitute the emergency response framework for urban earthquake disaster relief. This system completed the application analysis of the urban GIS system. In the seismic disaster assessment module, total loss, economic loss, and loss of life caused by earthquake damage were calculated, and satisfacto-

收稿日期:2018-08-03

基金项目:云南省教育厅基金项目(2015Y578)

作者简介:徐兰声(1985-),女,云南临沧人,硕士研究生,讲师,主要研究领域为地图制图学与地理信息工程(城市空间信息)。

E-mail:15887995708xu@sina.com。

ry accuracy in seismic disaster assessment information data was realized. The disaster relief emergency response database in the database management module mainly used vector data, digital orthophoto map data, and other special data to improve the flexibility of the urban emergency response to earthquake relief. In the response and decision-making module, the core server was used to transmit the data information and realize the rapid rescue response. In the study, the GIS system was compared with current methods, and a comparative experiment was carried out on the flexibility of the earthquake relief process and the precision of rescue data. The experimental results showed that the rescue data provided by the proposed system are accurate, and some indices used in the operation process are superior to those of the current research.

Keywords: GIS system; earthquake rescue; emergency response; digital orthophoto map; earthquake damage loss

0 引言

中国的陆地面积占据世界总陆地面积的 $\frac{1}{4}$, 强地震发生概率占据世界总强震发生概率的 $\frac{1}{3}$, 是世界强地震最多的国家之一^[1-2]。如何借助当前应用较为广泛的信息技术, 将地震带来的损失降到最低, 及时进行抗震救灾应急响应和实现恢复重建, 是抗震救灾工作亟待解决的问题。随着科学技术不断进步, 出现了很多优秀成果^[3]。以下列研究方法为例, 分析目前研究进展。

文献[4]针对近几年国内外地震灾害带来的危害, 将互联网地震相关信息当作应急响应和救援的支撑。过程中, 基于互联网地震数据信息处理, 给出了地震事件和网页对象等一系列相关模型, 通过极限法设置 Web 信息收敛性, 描述了互联网地震信息传播特性。依据地震灾情相关数据的实时性, 提出基于支持动态收敛性的地震灾情 Web 信息数据抽取算法, 实现地震信息提取。依据上述分析, 根据时间变化对地震灾害数据进行时序统计, 并形成地震信息数据统计报告, 将其作为地震救援决策基础, 设计并实现了城市地震响应系统。文献[5]以云南地震救援应急响应系统为对象进行分析, 将层次分析法当作基础, 以系统中设施构成和功能特性为主, 描述了各个层次之间的关联以及系统内部的制约指标。计算各个级别的制约指标所占权重, 获取实现总目标的重要性指标, 同时分析决策模型计算结果, 将上述研究成果应用至实例中, 可保障云南地震现场应急通信技术。文献[6]以山西省省运城市盐湖区作为研究对象, 采用 C/S 体系结构, 提出基于网格结构的地震灾害快速评估, 并依据专家意见和初步获取的灾情判断震区的人员损伤或建筑损毁状况, 实验发现该系统具有较高的精度和较快评估速

度, 但其较为依赖专家意见和初步灾情, 由于专家意见主观性较强, 且在初步灾情掌握不准的情况下, 应急响应精度可能无法保障, 且对专家的依赖导致方法本身的灵活性受到限制。文献[7]提出基于千米格网技术的地震应急灾情预评估方法, 为地震应急指挥和救援提供参考。所提预评估数据主要包括致灾因子、承灾体数据。以 2 次实际地震作为研究案例, 发现该方法具有较快的评估速度, 可较为准确展示灾情的分布状况, 评估精度相对较高。

为进一步提高城市震灾评估准确性以及增加救灾应急的灵活性, 将 GIS 系统应用至城市抗震救灾应急响应中, 实现准确评估城市震灾的同时, 高效响应救灾应急调度, 提高应急的灵活性。

1 城市 GIS 系统应用分析

城市抗震救灾应急响应需要利用网络技术与数据库技术, 在获取灾区基础信息数据库的基础上, 依据抗震救灾整体需要, 将抗震救灾的实时性和安全性作为应急响应框架设计目标。经以往经验可知, 城市抗震救灾应急响应需要具有信息数据更新性能, 还要具备迅速和方便的索引功能。依据抗震救灾应急响应总体目标和用户需求, 利用开放式的架构, 实现城市抗震救灾应急响应研究。城市抗震救灾应急响应整体框架如图 1 所示。

从图 1 中可以看出基于城市 GIS 系统的城市抗震救灾应急响应框架主要由地震灾害评估模块、数据库管理模块(包括信息录入模块、信息查询模块、数据库模块)以及地震应急响应和智慧决策组成。各个模块相结合, 相辅相成可高效完成抗震救灾应急响应。

下面对城市抗震救灾应急响应关键功能模块进

行分析。

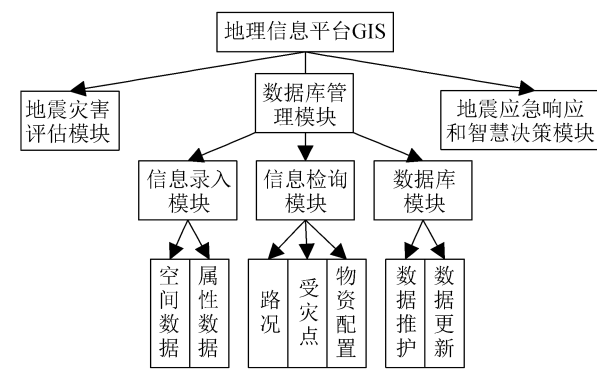


图 1 基于城市 GIS 系统的城市抗震救灾应急响应框架

Fig.1 Emergency response framework for urban earthquake disaster relief based on urban GIS system

1.1 地震灾害评估模块

在城市抗震救灾应急响应中,给出地震下已经存在的建筑潜在破坏和地表破裂统一算法,针对实际地震情况,基于 GIS 系统可以准确反映震灾现场状况,可以在地震发生之后实时给出真实损失状况。其中,震害总体损失计算采用的计算表达式为:

$$P[D_j]=\sum_j P[D_j]/P[I]^2 \tag{1}$$

式中: D_j 为表征结构被破坏严重性的震害指数矩阵; $P[D_j]$ 代表利用概率模式表征的结构易损矩阵; $P[I]$ 代表地震威胁性矩阵; j 表示地震级别。

上述为震后总体损失计算,下面分别对地震造成的经济损失与生命损失进行计算。其中,经济损失中包含直接性经济损失与间接性经济损失。当前对于间接损失的计算难以实现,在此主要考虑直接经济损失下的评估。

直接经济损失中包含由于地震带来的房屋建筑和设备破坏修复成本及室内财产损失,计算表达式为:

$$L[I]=\sum_j \sum_s B_s(j) + \sum_j \sum_s Q_s(j) \cdot W_s(j) + \alpha NF(t) \tag{2}$$

式中: $L[I]$ 代表地震造成 I 地域直接经济损失; $B_s(j)$ 代表发生 j 级地震后 s 类型的建筑结构重建总成本; $Q_s(j)$ 代表 s 类型建筑物在 j 级破坏下室内财产与设备损失比重; $W_s(j)$ 代表 j 级破坏下 s 类型建筑物室内修复总成本。 α 代表减产因子, N 代表日净产值, $F(t)$ 代表减产恢复函数。

一次地震带来的人员伤亡和地震时间、抢救工作是否及时均有着紧密关系。在此,一次地震带来

的伤亡数量 N_D 计算表达式为:

$$N_D=(A_1R_1+A_2R_2+A_3R_3)\lambda \tag{3}$$

式中: A_1 代表建筑物被毁坏的总面积; A_2 代表建筑物被严重破坏的总面积; A_3 代表建筑物被中等破坏的总面积; R_1 代表被毁坏建筑物中死亡率; R_2 代表建筑物被严重破坏时人员死亡率; R_3 代表建筑物被中等破坏时人员死亡率; λ 代表建筑物范围内人员密度。

地震灾害评估模块中,分别计算了震害总体损失、经济损失和生命损失,初步提升了数据评估采集精确性。

1.2 数据库管理模块

数据是实际信息的载体,也是信息的表征形式,抗震救灾相关数据必须依据一定方式完成组织及存储。城市抗震救灾应急响应数据库是比较复杂的数据体系,其涉及的方面比较多。通常情况下,抗震救灾应急响应相关数据可分为数据项、信息数据记录、数据文件与数据库四个级别。城市抗震救灾应急响应数据库作为统一存储的数据集合,是构成 GIS 的关键部分,处于 GIS 核心位置。数据库能够实现系统化的信息采集、查询和分析,还可以提供多方面的检索功能,为不同模块提供需要的数据信息,为抗震救灾应急决策提供可信依据^[8]。其中,数据库中所采集的震害数据主要包括:受灾人员位置、受灾时间、当地震感强度、灾区现场状况信息等。将对该类数据的存储和管理对象设置为地震属性数据与空间数据,能够十分精确地描述数据特性,使数据之间存在信息记录和记录间的关联逻辑关系。数据间存在的逻辑关联可分为:一对一关联,一对多关联,多对多关联。

由此,将震害数据划分为以下几种存储形式,如图 2 所示。

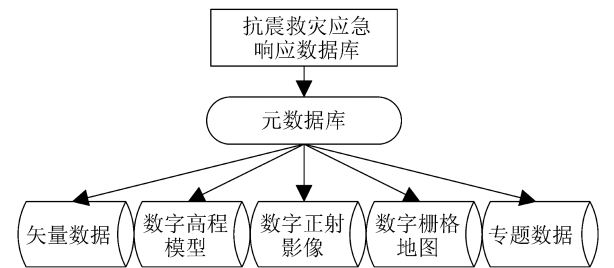


图 2 城市抗震救灾应急响应数据库

Fig.2 Emergency response database for urban earthquake disaster relief

城市抗震救灾应急响应数据具备固有特性,单纯的数据管理方式难以支持数据运行。基于此,需

要引入先进技术满足抗震救灾应急响应数据管理需求。管理方式如下所示:

将目前的关系型数据库作为依据,以复杂数据类型为对象存储至关系型数据库中,同时对城市抗震救灾应急响应功能进行扩展,对地理信息数据实施一体化管理,利用简单的机制完成数据一系列操作。地震救灾应急响应相关数据存储通过二进制数据块完成,此种扩展之后的信息数据库即为关系型数据库。

针对当前的数据库技术进行基本改造与完善,构建面向抗震救灾应急响应数据库^[9-10]。利用定义抽象的信息数据类型增添空间数据种类的支持,同时允许定义对于几何体的一系列基础操作,完成一致性访问各种类型数据,增强城市抗震救灾应急响应灵活性。

1.3 地震应急响应和指挥决策模块

基于城市 GIS 系统的城市抗震救灾应急响应会根据各种类型信息数据库,定义应急对策和指挥命令,同时将指挥命令及对策信息快速传输至核心服务器,利用核心服务器实现数据信息的上传下达,进而使地震救灾应急安全指挥中心可以调用合理救援队伍以及物资,科学开展救援指挥。

基于城市 GIS 系统的地震应急响应和指挥决策模块具备下列功能:

- (1) 针对突发性地震具有迅速响应功能;
- (2) 具有应急指挥命令功能;
- (3) 具有应急辅助决策功能;
- (4) 具有向上级相关部门和市级领导生成实时信息报告功能;
- (5) 具有向公众媒体发布信息功能;
- (6) 具备可结合地震速报,实现迅速评估、动态跟踪和现场应急指挥等功能。

通过以上基于城市 GIS 系统的城市抗震救灾应急响应框架构建,能够清晰地了解该结构所包含的方面,有助于以后更深一步的分析。通过对城市抗震救灾应急响应关键功能模块进行分析,反映出在这一套系统结构中的核心模块构成。

2 实验结果与分析

以验证所设计系统的性能为目的,进行一次实验。实验中,将 PC ArcView 当作 GIS 开发平台,选择 Avenue 语言与 VB 语言实现研究成果。在以下方面验证研究成果,但限于篇幅,对具体的细节不在这里一一描述,留待今后专题论述:

(1) 救援数据精准性

因为在震害中,首要救援的对象为人,所以按照所需救援的人员位置,评价救援数据的精准性。具体公式为:

$$\text{精准性} = \frac{\text{采集数据中的人员位置坐标}}{\text{实际人员位置坐标}} \times 100\% \quad (4)$$

(2) 抗震救灾过程灵活性

从应对震灾区域救援响应角度出发,以系统响应震区救灾应急和智慧决策的时间作为衡量系统当前状态下灵活性的量化指标。构建灵活性目标函数,确定灵活系数,其中,目标函数的值越大,即灵活系数越大,说明系统的应对能力越强,抗震救灾的灵活性越佳。

$$Obj: \sum_{i=1}^n \frac{\Delta P_i t_i}{t_s} \quad (5)$$

式中: n 是需救援的震灾地区个数; ΔP_i 是不同需救援区域的待救援人员数,不小于 0; t_s 代表系统响应时间尺度; t_i 代表第 i 个震区救灾应急和智慧决策的所需时间。

本文方法与基于网格数据的地震应急响应方法(文献[6]方法)、基于千米格网方法(文献[7]方法)的救援数据精确性对比实验结果如图 3 所示。

分析图 3 可知,文献中的两种研究成果救援数据精准度基本低于 90%,可靠性较差。而本文研究成果救援数据精准度整体较高,可控制在 90% 以上,具有良好的实际应用性。以上数据证明,所提方法的研究成果数据可靠,这主要是由于该成果研究运行过程中对震害总体损失、经济损失和生命损失评估为提升救援数据精准度奠定了基础,抗震救灾应急响应数据库的存储和管理对象为属性数据与空间数据,进而可以比较准确地表现救援数据特性,以此进一步提升了数据精准度。同时,本文研究成果的优异性能证明在地震受灾地区,本文方法可以准确高效地确定待救援人员的位置。在之后的研究中,可以通过改变救援目标,分析本文研究成果的广泛应用性。

分析图 4 可知,基于网格数据方法研究成果抗震救灾过程灵活系数曲线较为平稳,整体约在 0.6 至 0.89 间波动。基于千米格网的方法研究成果抗震救灾过程灵活系数曲线整体约在 0.78 至 0.95 间波动,代表千米格网方法具有较好的灵活性,在抗震救灾过程中可以较好地响应。本文研究成果运行过程灵活系数约在 0.85 至 1.0 间波动。所提研究成果通过定义抽象的信息数据类型增添空间数据种类的

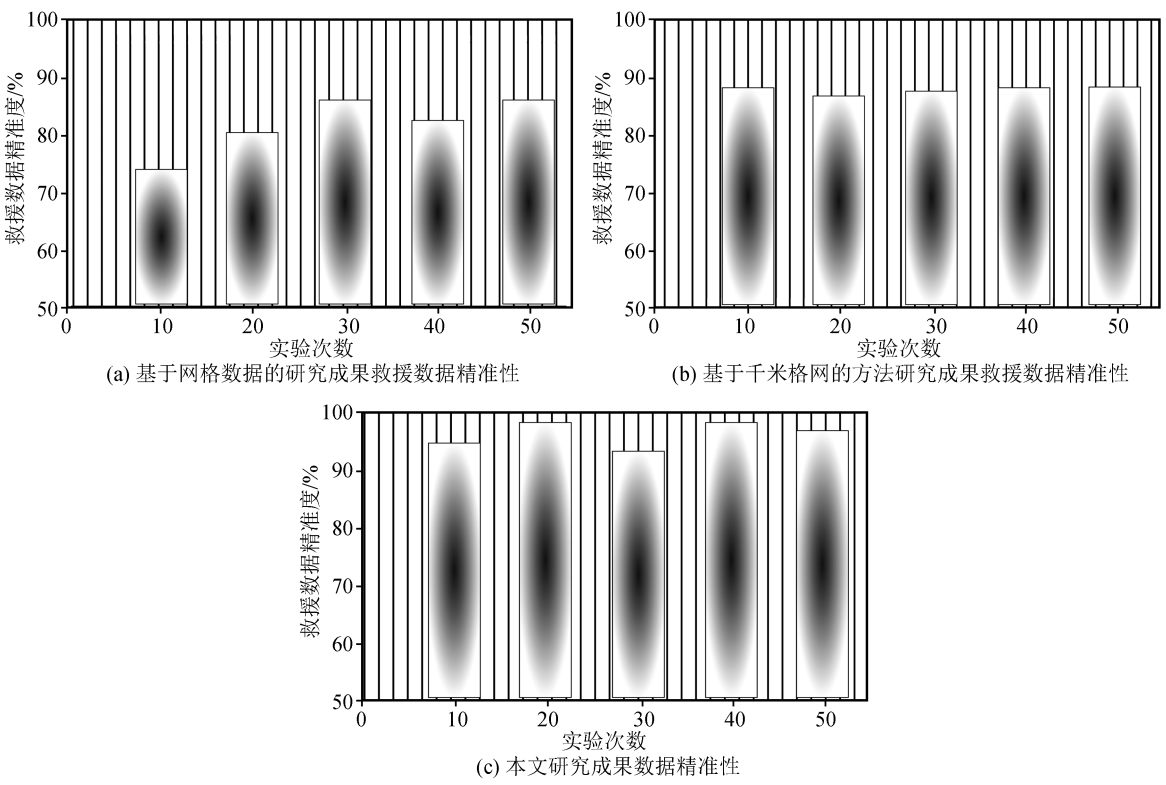


图 3 不同研究成果救援数据精准性对比

Fig.3 Comparison between the accuracy of rescue data from different research results

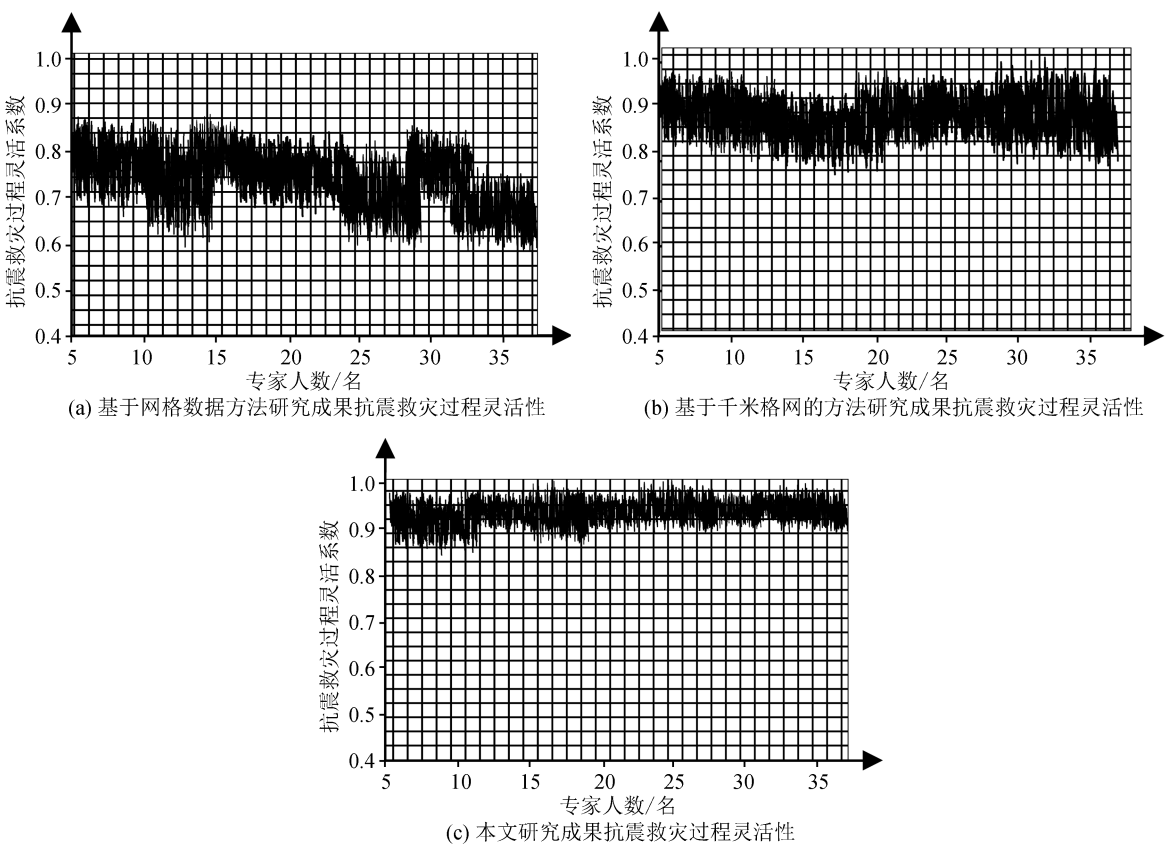


图 4 不同研究成果抗震救灾过程灵活性对比

Fig.4 Comparison between the flexibility of earthquake relief process in different research results

支持,以此实现各种类型抗震救灾数据一致性访问,进而减少抗震救灾与智能决策的响应时间,增强城市抗震救灾应急响应灵活性。

三种不同方法救灾过程的灵活性对比实验结果如图 4 所示。

3 结束语

本文构建了基于 GIS 系统的城市震灾评估和救灾应急,运用地震灾害评估模块分析地震受灾损失状况,采集受灾区域基本信息数据。运用数据库管理模块提高整体地震救援响应速度,提高抗震救灾应急响应的灵活性。运用核心服务器上传下达数据信息,在响应与决策模块中实现快速救援响应。将救援的精准性以及抗震救灾的灵活性作为性能的量化考察指标,分析本文研究成果与文献中研究成果的性能。实验发现,本文研究成果具有较高的救援数据精确性,且灵活系数较高,说明其具有一定的实际应用性,为地震救灾提供一定的方法借鉴。

参考文献(References)

[1] 张俊,谢强.高速铁路接触网系统地震响应分析[J].铁道标准设计,2017,61(4):140-146.
ZHANG Jun, XIE Qiang. Analysis of Seismic Response of High-speed Railway Catenary System[J]. Railway Standard Design, 2017, 61(4): 140-146.

[2] 石钰磊,成世杰,宋启杰.基于大数据的震灾应急物资需求预测方法研究[J].军民两用技术与产品,2017(19):58-61.
ZHANG Yilei, CHENG Shijie, SONG Qijie. Research on Forecast Method of Earthquake Disaster Emergency Materials Demand Based on Big Data[J]. Dual Use Technologies & Products, 2017(19): 58-61.

[3] 梁艳仙,蔡逢春.弯头地震非线性响应及抗震设计规范保守性研究[J].原子能科学技术,2017,51(1):145-149.
LIANG Yanxian, CAI Fengchun. Study on Nonlinear Seismic Response of Elbow and Margin of Seismic Design Criteria[J]. Atomic Energy Science and Technology, 2017, 51(1): 145-149.

[4] 宋建功,王之欣,李勤勇,等.面向地震应急响应的互联网信息处理[J].北京航空航天大学学报,2017,43(6):1155-1164.
SONG Jiangong, WANG Zhixin, LI Qinyong, et al. Internet Information Processing for Earthquake Emergency Response[J]. Journal of Beijing University of Aeronautics and Astronautics, 2017, 43(6): 1155-1164.

[5] 邓树荣,曹彦波,张方浩,等.基于 AHP 方法的云南地震现场通信技术系统应急响应模式研究[J].地震研究,2017,40(2):277-285.
DENG Shurong, CAO Yanbo, ZHANG Fanghao, et al. Study of the Response Mode of the System of Yunnan Earthquake-site Emergency Communications Based on the Analytic Hierarchy Process[J]. Journal of Seismological Research, 2017, 40(2): 277-285.

[6] 赵杰,马朝晖.基于网格数据的地震应急响应系统设计与实现[J].地理空间信息,2017,15(11):53-56.
ZHAO Jie, MA Zhaohui. Design and Implementation of the Earthquake Emergency Response System Based on Grid Data[J]. Geospatial Information, 2017, 15(11): 53-56.

[7] 徐敬海,安基文,聂高众.基于千米格网的地震应急灾情预评估数据开发[J].地震地质,2016,38(3):760-772.
XU Jinghai, AN Jiwen, NIE Gaozhong. Development of Earthquake Emergency Disaster Information Pre-evaluation Data Based on km Grid[J]. Seismology and Geology, 2016, 38(3): 760-772.

[8] 王志涛,郭小东.城市抗震防灾应急供水保障对策研究[J].工业建筑,2016,46(6):8-11.
WANG Zhitao, GUO Xiaodong. Research on Emergency Water Supply Countermeasures for Urban Earthquake Disaster Prevention[J]. Industrial Construction, 2016, 46(6): 8-11.

[9] 李文豪,赵东升,毛常学.基于 Agent 的抗震救灾伤病员医疗后送建模研究[J].军事医学,2016,40(9):746-750.
LI Wenhao, ZHAO Dongsheng, MAO Changxue. Agent-based Modeling of Medical Evacuation of the Wounded During Earthquake Relief[J]. Military Medical Sciences, 2016, 40(9): 746-750.

[10] 胡服全,朱翊洲,高文军,等.钢制电缆桥架结构抗震动力响应影响因素分析[J].钢结构,2016,31(11):15-18.
HU Fuquan, ZHU Yuzhou, GAO Wenjun, et al. Analysis of the Dynamic Response Influence Factors of Steel Cable Bridge Structure[J]. Steel Construction, 2016, 31(11): 15-18.