

## 物联网技术在地质灾害防治中的应用

乔辉, 汪滔, 谢志远

(中移物联网有限公司解决方案中心, 重庆 401336)

**摘要:** 在中移物联网有限公司地质灾害在线监测预警项目的实践基础上, 综合国内外地质灾害防治的技术现状, 提出了基于物联网技术的地质灾害在线监测预警与指挥调度系统。该系统主要包含在线自动化监测、地质灾害预警、指挥决策、救援调度 4 个环节。该系统能够对地质灾害隐患点进行 24 h 不间断监测, 发现隐患点状态异常可以自动告警; 通过智能数据分析, 辅助指挥人员快速作出科学决策; 通过救援人员、设备、物资的物联网标签, 在地图上实时地可视化展示位置分布, 协助指挥人员调度救援力量以尽快到达现场。最后对地质灾害防治系统的几个关键技术应用进行了展望。

**关键词:** 地质灾害; 物联网; 监测预警; 指挥调度

**中图分类号:** TP393

**文献标识码:** A

**doi:** 10.11959/j.issn.2096-3750.2018.00069

## Application of IoT technology in the prevention of geological hazard

QIAO Hui, WANG Tao, XIE Zhiyuan

Center of Solution, China Mobile IoT Company Limited, Chongqing 401336, China

**Abstract:** A system of on-line monitoring, warning, command and dispatch of geological hazard based on the IoT was presented, which was based on the practice of the China Mobile IoT Company on-line monitoring and warning project of geological hazard, and the preventing techniques of geological hazard at home and abroad. The system mainly consisted of four links: online automatic monitoring, geological disaster warning, command and decision-making, rescue scheduling. The system could monitor the geological hazards for 24 hours uninterruptedly, automatically finding the anomaly of the geological hazard points and alarm automatically when abnormal state of the hidden danger points was found. Through the intelligent data analysis, the system could help commanders make the scientific decision quickly; through the IoT label on the rescue personnel, equipment and materials, the system could show them on the map in real time to help commanders dispatch rescue forces to arrive at the scene as soon as possible. Finally, several key technology applications of geological hazard preventing system were prospected.

**Key words:** geological hazard, IoT, monitoring and warning, command and dispatch

### 1 引言

地质灾害是在地球内动力、外动力或人为活动作用下, 引起的地质动力活动或者地质环境异常变化的自然灾害。常见的地质灾害主要指危害人民生命和财产安全的崩塌、滑坡、泥石流、地面塌陷、地裂缝共 5 种类型。我国因地质灾害造成的人员伤亡和经济损失较为严重, 其中, 西南、西北、山陕

等地最为严重<sup>[1]</sup>, 灾害隐患点约占全国总数的 75%。2010 年 8 月 7 日, 甘肃舟曲特大泥石流灾害, 造成 1 557 人遇难, 284 人失踪; 2017 年 6 月 24 日, 四川茂县发生山体滑坡, 造成 10 人死亡, 73 人失踪; 2017 年 8 月 28 日, 贵州纳雍发生山体崩塌, 造成 17 人死亡, 18 人失联。

为了进一步加强对地质灾害的防治, 保证人民生命财产安全, 国家在 2016 年 12 月发布了《全国

地质灾害防治“十三五”规划》，规划中明确提出要充分依靠科技进步和管理创新，加强统筹协调，提高防治效率，全面提升基层地质灾害防治能力，最大限度地避免和减少地质灾害造成的人员伤亡和财产损失，地质灾害自动化在线监测预警系统就是科学技术在地质灾害防治中的重要应用之一<sup>[2]</sup>。

地质灾害在线监测预警在国外已经成为近年来的研究热点。美国的滑坡实时监测系统采用地面倾斜仪、伸缩仪、地下水压力传感器、地声监测和雨量计等进行实时监测<sup>[3]</sup>，其传感器研发和制造一直处于领先水平。欧盟先后启动了基于物联网的滑坡实时监测计划，如 Winsoch 和 Slews 项目<sup>[4]</sup>。日本的滑坡泥石流实时监测系统包括雨量计、地面及地下的传感器和视频组成的传感网，临界雨量判据、预警模型和预警信息发布系统，实现对滑坡泥石流进行监控和预警<sup>[5]</sup>。

我国在香港地区对滑坡或边坡也开展了基于多种通信手段的实时监测系统建设，对多种通信手段的应用做了总结<sup>[6]</sup>。我国台湾地区也开展了基于物联网的滑坡监测预警系统的实验系统研究<sup>[7]</sup>。重庆、云南、贵州、湖北、陕西等省份也在积极推进在线实时监测预警系统在地质灾害防治中的应用。笔者有幸参与了中移物联网有限公司和重庆市国土资源及房屋管理局的合作项目，该项目以物联网技术为基础，开发了地质灾害在线监测预警与指挥调度系统。

## 2 系统架构

基于物联网技术的地质灾害在线监测预警与指挥调度系统的架构主要包含监测传感器、传输网

络、指挥中心、救援力量 4 个部分，如图 1 所示。

监测传感器将隐患点的自然界状态变化转换为可以量化的模拟信号或者数字信号，通过数据采集模块，将所有信号都转化为统一的数字信号。

传输网络根据传感器配备的通信模块，可以通过 2G、3G、4G、NB-IoT、卫星通信等多种传输网络<sup>[2]</sup>，将监测数据传输到地质灾害防治指挥中心。

指挥中心将接收到的监测数据进行预警阈值对比，结合气象、群测群防等系统的数据分析模型进行综合分析，判断是否应该告警，如果告警，指挥中心还需要制定应对措施。

救援力量是指挥中心制定应对措施后，需要调动救援人员、救援设备、救援物质到达灾害现场，展开救灾处置工作。

## 3 系统总体方案设计

地质灾害在线监测预警技术是传感器技术、卫星定位技术、物联网技术、地理信息技术、数据分析技术等多种技术发展的综合应用<sup>[11]</sup>。利用安装在野外的各种针对性的地质灾害监测传感器，对隐患点状态进行 24 h 不间断监测；监测数据通过互联网、北斗卫星等传输到数据中心；数据中心对监测设备数据、其他监测数据进行数据综合分析，判断地质灾害点状态是否应该告警，告警信息可以通过多种渠道进行信息发布。

### 3.1 地质灾害监测设备

地质灾害监测设备的种类很多，有雨量计、裂缝计、表面位移计、深部位移计、液位计、水压力计、应力计、测斜仪等。需要根据地质灾害隐患点

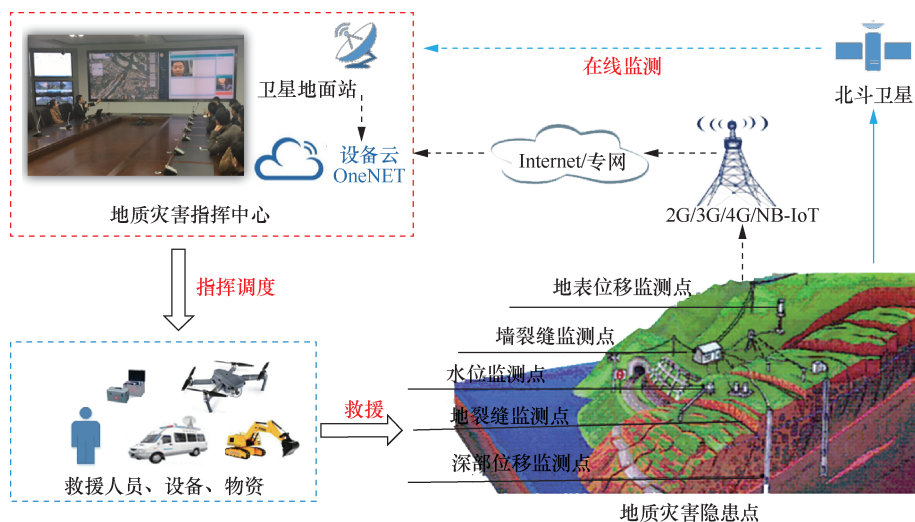


图 1 地质灾害在线监测预警与指挥调度系统架构

的类型和规模,选择合适的监测设备<sup>[9]</sup>。监测设备大多部署在野外,主要采用太阳能电池供电。网络信号不好的隐患点,可以通过定向天线增强信号。

和传感器配套的数据采集模块和通信模块,目前并没有统一的标准。不同厂商的数据采集模块输出的同一个数字量,可能代表不同的变化量,需要在服务器端配置不同厂商的解算程序处理才能使用,不同厂商的通信协议标准也多种多样,且多为单向通信。这增加了后期维护的难度,并且所有监测数据经过厂商处理后,才能到应用程序,数据的真实性难以保证。因此需要对采集模块和通信模块进行标准化,以保证数据真实性、降低运维难度。中移物联网有限公司根据这些现状开发出智能数据采集和通信终端,采用标准双向通信方式,并将厂商算法集成到前端数据采集模块,通信模块上传的数据直接给应用程序使用,已取得初步成果。

### 3.2 设备接入云平台

随着地质灾害在线监测技术的不断成熟,会有越来越多的在线监测设备接入系统,数据中心接入服务器的压力会不断增加,因此接入服务器必须具备弹性扩容能力。中移物联网有限公司将自研的设备云平台 OneNET 应用于地质灾害在线监测设备的接入,效果很好。OneNET 作为成熟的设备接入云平台,具有支持高带宽、高并发、多协议接口等特点,能够快速接入多厂商监测设备并且能够在线弹性扩容,接入设备的数量越多,则优势越明显。

### 3.3 地质灾害预警及发布

地质灾害预警是目前地质灾害防治相对薄弱的环节,每个地质灾害点的情况都不一样,每个隐患点的预警阈值也不一样,没有科学的预警模型,很难达到精确预警。中移物联网有限公司将气象风险数据、在线监测设备数据、群测群防系统数据等进行综合分析,从而判断是否达到预警条件。预警信息按照危害大小分为红、橙、黄、蓝 4 级预警,预警信息通过短信、语音、APP 等多种方式自动下发给相关人员。

## 4 地质灾害指挥调度

地质灾害指挥调度通常应用在发生地质灾害险情或者灾情的地方,指挥人员需要根据各方回传的信息,尽快制定科学的应急处置措施,并且尽快调集救援人员、救援设备、救援物资等到达现场,进行险情或者灾情的处置。

### 4.1 指挥决策

指挥决策的前提是充分了解现场情况,包括现场实时情况和历史情况。现场实时情况可通过现场视频设备、无人机设备、图传系统等,将现场的实时视频或者图片传输到指挥中心。历史情况可以调取该地区的历史调查资料,以了解该地区详细的情况。

决策分为技术辅助决策和集体决策,技术辅助决策是通过技术分析手段,对地质灾害进行灾害模拟或者三维建模,利用技术分析辅助指挥人员判断地质灾害的发展,以便做出应对措施。集体决策是指通过视频会议召集现场人员、地质灾害专家、指挥人员、区域负责人等多方人员进行集中商议,进行集体决策。

### 4.2 救援人员调度

救援人员包括地质灾害专家、专业救援队、片区负责人、群测群防员等多方面人员。给这些人员配备一个手持终端,实时了解人员的位置信息,并在地图上进行可视化展示,指挥人员通过地图上人员的分布情况,派遣就近的人员赶赴现场,还可以指定人员需要携带的救援设备,并且将派遣信息通过短信、语音、APP 信息等方式通知被派遣人员,能够快速地完成人员调度。

### 4.3 救援设备和物资调度

利用物联网技术为救援设备和救援物资配置物联网标签,可以记录设备和物资的位置,将这些位置信息在地图上进行标识<sup>[10]</sup>,指挥人员通过选定隐患点位置,系统可以自动根据隐患点周边的设备和物资分布以及到达隐患点的道路情况,智能选择能够快速到达隐患点的几个设备站和物资站,如图 2 所示。指挥人员可以根据实际情况选择到达时间最短的站点或者更合适的站点,从而快速科学地下达设备或物资的调度任务。

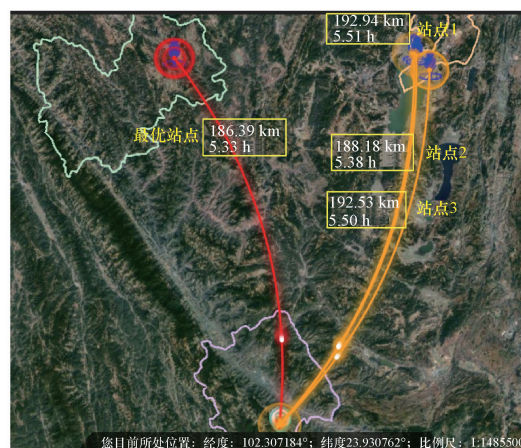


图 2 救援设备和物资智能调度

## 5 基于物联网技术的在线监测预警与指挥调度系统的特点

基于物联网技术的地质灾害在线监测预警与指挥调度系统，相比于传统的地质灾害监测系统，有以下几个特点。

1) 全时段不间断监测：地质灾害在线监测系统不需要监测人员到现场，实现了无人化全自动化监测，即使夜间也能进行不间断监测。并且监测频率可以根据隐患点需要，远程设置采集频率。

2) 监测设备远程管理：利用智能数据采集和通信终端，实现了数据的双向通信<sup>[14]</sup>，不仅可以将监测数据上传到指挥中心，指挥中心也可以将配置数据下发到监测设备，不用到现场进行配置，实现了监测设备的远程管理，极大地降低了设备管理的难度和成本。

3) 可靠的数据传输：支持现有的各种有线和无线通信方式，还支持北斗卫星通信<sup>[12]</sup>，能够有效保证地质灾害监测数据的实时性和可靠性。

4) 传感器的设备云接入：利用物联网设备云平台，提供多种接入协议，支持不同厂商的设备快速接入。设备云平台可以根据接入传感器的数量进行弹性扩容，能够适应不同规模的地质灾害监测组网。

5) 监测数据的规模化与标准化：通过海量数据的集中，可以为基于地质灾害的数据分析、挖掘和科学研究提供数据基础。通过数据的集中化、标准化及归一化，提供统一的数据访问接口<sup>[13]</sup>，实现各种地质灾害监测预警应用的快速无缝接入，为应用扩展及升级提供便捷通道。

6) 基于软件权限的层级化管理：通过为不同层级的管理部门分配软件权限，实现省—市—县的分级管理。

7) 完善的安全体系：采用从物理安全、网络安全、数据安全到应用安全的全方位、一体化的安全体系<sup>[12]</sup>，保证了地质灾害监测预警与指挥调度系统的安全可靠。

## 6 物联网技术在重庆地质灾害防治中的应用实践

重庆市是全国地质灾害重灾区，也是我国地质灾害易发重点防范区。2010年排查结果显示，全市40个区县已发现地质灾害隐患点17 223处（不含库区塌岸），其中三峡库区5 026处，非三峡库区

12 197处。地质灾害类型以滑坡、危岩崩塌和不稳定斜坡为主，占总数的98.3%，受威胁居民约100万人，地质灾害防治工作严峻、任务繁重。重庆市国土局联合重庆市地质矿产研究院、中移物联网有限公司，利用物联网技术构建了重庆市地质灾害防治指挥系统，建设成果获得中国地质环境监测院的高度认可。

重庆地质灾害防治指挥系统包括自动化监测系统、群测群防系统、工程治理系统、信息发布系统、指挥调度系统等多个业务子系统。

自动化监测系统在全市范围内部署了众多的自动化监测设备，通过各种传感器对地质灾害点进行24 h不间断监测。通过物联网通信网络将监测数据实时传回数据中心，一旦某个设备的监测数据发生异常，自动化监测系统将自动发出预警信息给相关责任人，以便及时安排人员处理。自动化监测系统实现了对地质灾害点不间断的自动化监测和预警。在重庆全市40个区县总部署了2 800多台地质灾害专业监测设备，包括雨量计、地表位移计、裂缝计、测斜仪、土壤含水率计、次声、地声等。

群测群防系统给每一个群测群防员配发一个手持物联网终端，群测群防员采集监测数据时，自动上传采集地点的经纬度，并与监测地质灾害点的经纬度进行对比，必须在误差范围内才是有效监测数据，否则就是无效数据，并以不同的颜色标识，同时系统能自动判断群测群防员是否按照规定的频率进行了监测。群测群防系统实现了对群测群防员的自动化、精细化管理。重庆全市给每一个群测群防员发放了群测群防终端，共计17 000多台。

指挥调度系统利用分配给人员和设备的物联网标签，能够在地图上看到人员和物资的分布情况，当发生地质灾害险情或者灾情时，系统能够快速罗列地质灾害点周边的救援人员和救援物资，同时能自动规划前往的路线。还可以通过会议会商系统将灾害现场的照片和实时视频传回指挥中心，为决策指挥提供依据，指挥调度系统实现地质灾害的快速科学响应。

重庆地质灾害防治指挥系统建成后，重庆市地质灾害防治能力得到显著提升，不仅实现了地质灾害防治人员和设备的信息化管理，还能对地质灾害点进行不间断监测，发现监测数据异常及时进行处置，最大限度地减少地质灾害带来的人员和财产损失。2018年6月18日，重庆地质灾害防治指挥系

统成功预警巫峡镇白泉村 5 社马垭口滑坡, 县国土房管局、巫峡镇政府接到预警信息后, 在当日 19 时完成 10 户 34 人的紧急撤离, 4 h 后滑坡体发生滑塌, 滑塌方量约 30 000 m<sup>3</sup>, 掩埋一栋 5 层楼房屋 (2 户 6 人提前撤离), 损毁一栋 4 层楼房屋 (3 户 15 人提前撤离), 成功避免 5 户 21 人伤亡事件的发生。

## 7 地质灾害防治系统关键应用技术展望

基于物联网技术的地质灾害在线监测预警与指挥调度系统在实际项目应用中取得了初步成效, 具有良好的推广应用前景。但还需要在地质灾害防治基础研究和关键技术方面进行不断深化研究和攻关。

### 7.1 传感器研发

根据不同类型地质灾害的特点, 研究更加有针对性的传感器。传感器要适应实时监测要求, 在智能化采集、分布式组网、低功耗和产品稳定性等方面都对传感器的研发、材料的选材和生产工艺提出了更高的要求<sup>[12]</sup>。为了应对区域大规模传感器组网要求, 需要在传感器的轻量化和经济性方面做进一步的研究和探索。

### 7.2 地质灾害预警模型研究

针对滑坡、崩塌、泥石流等常见的地质灾害类型, 需要进一步研究这些地质灾害形成与地质条件、地形地貌、降雨量、监测数据变化趋势之间的关系, 不断优化地质灾害监测预警分析模型<sup>[14]</sup>, 这是精确预警的基础<sup>[12]</sup>。研究地质灾害的形成机理并建立相应的预测预报判据和模型仍然是今后理论和方法研究的重点方向之一。

### 7.3 大数据分析技术在地质灾害方面的应用研究

随着在线监测设备的规模化部署, 监测数据也将呈规模化增加, 实时监测数据和历史监测数据将会是宝贵的地质灾害基础数据库之一, 要从这些海量的监测数据中获取有用的信息, 需要利用大数据分析技术<sup>[15]</sup>, 将地质灾害监测数据进行清洗、转换、分析<sup>[16]</sup>, 监测数据越多则分析结果越有价值, 这是解决精确预警问题的另一个重要途径。

### 7.4 灾害动态模拟技术研究

灾害动态模拟在地理信息三维模型的基础上, 叠加基础测绘数据、监测数据、高精度地形数据, 结合模拟区域的岩性、构造等复杂地质数据, 采用数值流体的运动理论, 建立合理的三维动态数值分

析方法<sup>[17]</sup>, 预测地质灾害的发生、流动、泛滥的动态发展过程<sup>[18]</sup>。辅助指挥人员判断决策, 并提前制定应对措施。

### 7.5 技术标准统一

尽管我国出台了滑坡崩塌的监测行业标准, 但仅限于人工监测技术。基于物联网技术的地质灾害监测预警系统并适应野外环境的传感器选取和生产、数据采集仪器的功能和接口、通信组网和网关制造要求等均缺乏相应的技术标准, 应尽快建立我国地质灾害在线监测预警的系列标准, 为大规模推广应用提供保障<sup>[12]</sup>。大量标准验证、测试和仿真也需要建立标准服务平台, 加快关键标准的制定、实施和应用。

## 8 结束语

本文设计了基于物联网技术的地质灾害在线监测预警与指挥调度系统, 通过集成运用传感器技术、物联网技术、卫星通信、地理信息技术、云计算等多种应用技术, 构建了自动化的地质灾害在线监测预警和智能可视化的指挥调度系统。后续随着地质灾害传感器的标准化、规模化, 传感器成本会逐渐降低, 地质灾害在线监测将更加普及。随着地质灾害防治基础研究和关键技术的研究和应用, 基于物联网技术的地质在线监测预警和指挥调度系统将会更加标准化和智能化, 在地质灾害防治中起到更加重要的作用。

### 参考文献:

- [1] 黄健, 巨能攀, 何朝阳, 等. 基于新一代信息技术的地质灾害监测预警系统建设[J]. 工程地质学报, 2015, 23(1):140-147.  
HUANG J, JU N P, HE C Y, et al. Construction of geological hazard monitoring and early warning system based on new generation information technology[J]. Journal of Engineering Geology, 2015, 23(1): 140-147.
- [2] 黄虎, 吴一, 杨丁, 等. 基于移动通信技术的地质灾害监测系统[J]. 计算机与现代化, 2016(6):16-18.  
HUANG H, WU Y, YANG D, et al. Geological hazard monitoring system based on mobile communication technology[J]. Computer and Modernization, 2016(6):16-18.
- [3] REID M E, LAHUSEN R G. Real-time monitoring of active landslides along highway 50. El Dorado County, California Geology[J]. 1998, 51(3):17-20.
- [4] ARNHARDT C, FERNÁNDEZSTEEGER T M, AZZAM R. Monitoring of slope-instabilities and deformations with micro-electro-mechanical-systems(MEMS) in wireless Ad hoc sensor networks[J]. Egu General Assembly, 2009, 11:6048.
- [5] 周平根. 地灾监测预警传感器网络技术应用现状及发展建议[J].

- 南方国土资源, 2011(10):12-14.
- ZHOU P G. The technical situation and development suggestions of sensor network used for geological hazard monitoring and warning[J]. Southern Land and resources, 2011(10):12-14.
- [6] TANG C S C, CHEUNG S P Y. Review of real-time data transmission systems for slope instrumentation[C]//GEO Report N0.262. 2009.
- [7] HONG Y M, LIN H C, KAN Y C. Using wireless sensor network on real-time remote monitoring of the load cell for landslide[J]. Sensor Letters, 2011, 9(5):1911-1915.
- [8] 贾进科, 马辉, 蔡习文, 等. 基于物联网三维 GIS 的地质灾害监测管理系统研究[J]. 长江科学院院报, 2016, 33(7):142-144.
- JIA J K, MA H, CAI X W, et al. Research on geological hazard monitoring and management system based on three dimensional GIS of Internet of things[J]. Journal of Yangtze River Scientific Research Institute, 2016, 33(7):142-144.
- [9] ZHONG M H, MENG C, LIU M T, et al. A monitoring system for mountain flood geological hazard based on Internet of things[J]. Sensors & Transducers, 2014.
- [10] 杜金星, 夏燕秋, 马金辉. 基于物联网技术的白龙江流域地质灾害监测预警系统的设计与实现[J]. 兰州大学学报(自然科学版), 2014, 50(5):757-764.
- DU J X, XIA Y Q, MA J H. Design and implementation of geological disaster monitoring and early warning system based on Internet of things in the white Longjiang Basin[J]. Journal of Lanzhou University(Natural Sciences), 2014, 50(5):757-764.
- [11] QI Q, JU Y W. Study on rainfall-induced loess geological hazards characteristics and preventive measures in Shaanxi province[J]. Applied Mechanics and Materials, 2015, 744-746:1741-1744.
- [12] 周平根, 李昂, 张艳玲, 等. 基于物联网技术的地质灾害监测预警系统结构和功能[J]. 工程地质学报, 2012(20):708-712.
- ZHOU P G, LI A, ZHANG Y L, et al. Schema and function of geological hazard monitoring and warning system based on Internet of things[J]. Journal of Engineering Geology, 2012(20):708-712.
- [13] 黄露, 谢忠, 罗显刚. 地质灾害监测预警信息共享机制研究[J]. 测绘科学, 2016, 41(5):55-59.
- HUANG L, XIE Z, LUO X G. Research on information sharing mechanism of geological hazard monitoring and early warning[J]. Science of Surveying and Mapping, 2016, 41(5):55-59.
- [14] LI T. The risk evaluation of Shandong geological hazards based on hierarchical fuzzy theory[J]. Journal of Discrete Mathematical Sciences and Cryptography, 2017, 20(5).
- [15] LIU M, HE Y D, WANG J X, et al. Hybrid intelligent algorithm and its application in geological hazard risk assessment[J]. Neurocomputing, 2015, 149(PB):847-853.
- [16] 何朝阳, 巨能攀, 黄健. 地质灾害海量监测数据处理方法研究[J]. 安全与环境工程, 2014, 21(5):115-120.
- HE C Y, JU N P, HUANG J. Research on data processing method for massive geological hazards monitoring[J]. Safety and Environmental Engineering, 2014, 21(5):115-120.
- [17] LIU J Q, HUANG X B, WU C L, et al. From the area to the point-study on the key technology of 3D geological hazard modeling in three gorges reservoir area[J]. Journal of Earth Science, 2012, 23(2):199-206.
- [18] CHEN L W, WANG W H, ZHANG W J. Risk evaluation of regional collapses geological hazard based on D-S evidence theory a case study of Haiyuan active fault belt in Ningxia province[J]. Energy Procedia, 2012, 16:371-376.

## [作者简介]



乔辉 (1971-), 男, 中移物联网有限公司总经理, 主要研究方向为物联网应用。



汪滔 (1969-), 男, 中移物联网有限公司解决方案中心总经理, 主要研究方向为物联网的行业应用。



谢志远 (1970-), 男, 中移物联网有限公司综合部总经理, 主要研究方向为物联网应用。