

蒙彦,雷明堂.岩溶塌陷研究现状及趋势分析[J].中国岩溶,2019,38(3):411-417.
DOI:10.11932/karst20190311

岩溶塌陷研究现状及趋势分析

蒙彦^{1,2},雷明堂²

(1. 中国地质大学(武汉),武汉 430074; 2. 中国地质科学院岩溶地质研究所/自然资源部、广西岩溶动力学
重点实验室/中国地质调查局岩溶塌陷防治重点实验室,广西 桂林 541004)

摘要:为全面掌握当前国际岩溶塌陷研究动态,促进岩溶塌陷综合防治水平提升,重点从成因机制、识别评价和监测预警三个方面总结了当前国内外岩溶塌陷研究现状,以此为基础,综合运用文献和项目数据对国内外岩溶塌陷研究趋势进行了分析。结果显示:人类工程活动与岩溶环境相互作用关系是当前国际岩溶塌陷研究的热点;成因机理定量化、隐患识别快速化、监测预警精细化和风险防控时效化将是未来的重点攻关方向。

关键词:岩溶塌陷;现状;趋势;大数据分析

中图分类号:P642.25

文献标识码:A

文章编号:1001-4810(2019)03-0411-07

开放科学(资源服务)标识码(OSID):



0 引 言

中国是岩溶大国,岩溶分布面积超过 340 万 km^2 ,约占国土面积的 36%^[1]。岩溶区蕴藏着丰富的矿产、地下水和旅游资源,同时也面临着岩溶塌陷、隧道涌水、干旱内涝、水土污染等严重的地质环境问题^[2]。

岩溶塌陷作为岩溶区最主要的地质环境问题之一,广泛分布于世界各国。据已有资料报道^[3-5],中国、美国、俄罗斯、意大利、法国、南斯拉夫、德国、波兰、南非、希腊、英国、比利时、土耳其、以色列、加拿大、西班牙、捷克、保加利亚和多米尼加共和国等均有岩溶塌陷发育。中国岩溶塌陷分布最广,类型最全,涉及 23 个省(市、自治区),塌坑总数超过 4 万个。美国岩溶塌陷数量最多,分布在印第安纳州、阿拉巴马州、佛罗里达州、佐治亚州、田纳西州和肯塔基州等 20 个州,其中印第安纳州在 500 km^2 范围内岩溶塌陷数量就已经超过 300 000 个^[6]。

人们对岩溶塌陷现象的认识最早起源于中国,中国著名地理学家徐霞客(1587—1641)在“粤西游记

四”中提到的“忽下陷为深坑^[7]”即是指岩溶塌陷。国外对岩溶塌陷的最早报道可见于 1771—1809 年苏联的刊物上^[8];到 1898 年,著名地质学家巴甫洛夫提出了潜蚀(管涌)概念^[9],由此奠定了近代岩溶塌陷研究的理论基础;1934 年,美国首次进行了岩溶塌陷分类,并逐步开始了岩溶塌陷的全面系统研究工作;1973 年,国际工程地质协会首次在德国汉诺威举行了“岩溶塌陷—沉陷与可溶岩有关的工程地质问题国际研讨会”^[10],标志着岩溶塌陷正式作为全球性工程地质和环境地质问题开始研究。

近年来,在人类工程活动和极端气候双重背景胁迫下,岩溶塌陷地质灾害呈高发频发态势,其时空分布、损失程度、影响深度和广度也出现了新变化,隐蔽性、突发性、反复性和难以预见性日显突出^[11]。纵观国内外的岩溶塌陷研究,“成因机制、识别评价、监测预警、应急处置和风险管理”五位一体的技术理论框架体系已基本形成,但到目前为止,“在哪塌,何时塌,如何塌”的问题依然没有很好解决,岩溶塌陷的防治依然是当前地球科学领域的一项世界级技术难题,主要表现在成因机制量化程度不够、隐患识别评价方法

基金项目:国家自然科学基金项目(41877300,41302255);中国地质调查项目(1212011220192,DD20160254,DD20190266)

第一作者简介:蒙彦(1978—),男,副研究员,在职博士研究生,研究方向:岩溶地质灾害防治。E-mail: sinkhole@163.com。

收稿日期:2019-01-09

精度不足、监测预警阈值难于获取等方面。

本文在总结国内外岩溶塌陷研究现状的基础上,运用大数据分析等手段,着重从成因、评价和预警三个方面对当前岩溶塌陷的研究趋势进行了分析,指出了当前阶段的研究热点和主攻方向,以期为全面掌控国内外研究动态和开展下一步工作提供参考。

1 研究现状

1.1 成因机制

岩溶塌陷形成需具备岩溶空间、一定厚度的盖层和触发因素三个基本条件^[12]。盖层是塌陷的主体,岩溶洞隙为塌落物提供存储运移空间,在一定程度上决定了塌陷发生的位置,触发因素则是塌陷发生的动力条件,三者之间存在着应力传递和物质运输,综合表现为“岩—土—水”的相互作用^[13],其中水是至关重要的,地下水位升降、流速、流量的变化会产生潜蚀^[14]、溶蚀^[15]、吸蚀^[16-17]和水击^[18]等多种力学效应,从而引起岩土体变形破坏,最终形成塌陷。除地下水外,重力^[19]、动荷载^[20-21]等也是常见致塌因素。

20 世纪 70 至 90 年代,徐卫国、陈国亮、康彦仁等人分别对采矿区、铁路沿线以及南方岩溶塌陷进行了分析研究,将我国岩溶塌陷形成机制归纳为重力、潜蚀、吸蚀、冲爆、振动、荷载、溶蚀、根蚀、压强差等 10 种模式^[12],形成了我国岩溶塌陷研究的基本理论。后人在此基础上,结合各自研究区特点,借助数学^[22-23]、力学^[24]和数值模拟^[25-26]等手段在机理定量化表达和特殊致塌因素分析等方面进行了深入研究,特别是极限平衡拱理论^[27-28]的引入使得土洞型岩溶塌陷临界条件的量化研究有了明显提升。

国外对岩溶塌陷的成因机理研究较为关注的是水的潜蚀和侵蚀作用,影响因素包括暴雨、抽水、地表径流、下水管道渗漏等^[29],对其他因素的研究主要集中在钻探^[30]、爆破和地震^[31-34]等方面。在技术方法方面,除了运用数学、力学、数值模拟等手段外,通过离心机模拟试验^[35-36]研究非固结砂层岩溶塌陷的临界条件较为有特色。

1.2 识别评价

岩溶塌陷隐患识别一般分为区域和场地两个尺度。在区域尺度上,随着卫星影像分辨率的不断提高和激光雷达^[37](LIDAR)、合成孔径雷达^[38](INSAR)等新型航空技术的发展,遥感已成为一种主要的技术方法,其在塌陷坑现状调查描述以及发展趋势对比分析等方面具有覆盖范围广、识别快速等优点。在场地

尺度上,物探是一种常用、有效的技术手段。最近几年,随着电法—地震^[39-40]等联合物探技术的发展,其在岩溶塌陷探测精度和深度上都有了明显的提升,如地面地质雷达^[41](GPR)、电阻率成像^[42](ERT)、地震折射(SRFR)和微重力^[43](Microgravity)等不同方法的综合运用,有效地解决了不同深度的探测问题。同时,跨孔 CT、钻孔雷达等技术方法的运用也有效解决了由粗到细的精度刻画问题。

岩溶塌陷评价分为易发性、危险性和风险性三个层次。易发性评价是对岩溶塌陷形成的地质背景进行评价,危险性评价是在易发性评价的基础上,研究岩溶塌陷在触发因素作用下的稳定性,而风险评价则需要综合考虑危险性和人员、财产等风险损失。对岩溶塌陷的评价研究,关键是建立评价模型和确定各个因子权重及相互联系,常用的方法包括决策树^[44]、逐步回归分析^[45]、层次分析^[46]、模糊数学^[47]和神经网络^[48]等,不同方法各有优缺点,结果准确性关键取决于对岩溶塌陷成因机制的认知和量化程度。

1.3 监测预警

岩溶塌陷具有隐蔽性、突发性等特点,对其监测预警需采取从地表到地下,从塌陷主体到触发因素的全方位、多参数监测^[49]。

在地表,一般运用激光雷达、合成孔径雷达、热红外(TI)、全球定位系统(GPS)和地面地质雷达等航空遥感及物探方法进行定期扫描监测。航空遥感具有覆盖面广、速度快等优点,多用于已发生塌陷点的调查、核实及描述,同时也可利用不同期次卫星影像的对比分析实现对岩溶塌陷的发育趋势预测。地面地质雷达是常用于岩溶塌陷监测预警的物探方法,国内外有许多在铁路、公路、机场^[50-51]等场地工程成功运用的案例,其对于浅层土洞发育区的岩溶塌陷监测预警效果较好,但对于未形成土洞的岩溶塌陷,特别是当土层较厚,且含水率较高或者有砂层存在时,效果并不理想。

在地下,监测预警方法可分为塌陷主体和触发因素两类。塌陷主体监测主要是对上覆盖层土体的物理力学性质进行监测,包括应力应变监测、土壤含水率监测等。近年来,光纤传感^[52](BOTDR)等分布式岩土体变形监测技术逐渐被应用到岩溶塌陷监测预警上来,该方法理论上可以知道埋设光纤土层内任何一点的变形位置和变形量,但由于光纤需要后期埋设,其在光纤与岩土体同步变形、光纤应变温度补偿等方面存在许多难点和不足^[53]。地下水动力条件监测^[54]是常用的地下预警方法,具有易推广、成本低等

优点,其难点在于预警判据的获取,目前包括两种方法,一种是基于土体渗透变形临界水力坡度的室内试验法,当野外监测的水力坡度大于实验室的临界值时则进行塌陷预警;另一种是基于异常监测数据的统计分析法,该方法通过建立监测数据异常值与塌陷的对应关系实现预警,其难点是有效异常值的获取,同时需要有大量的监测数据支撑^[55]。在其他触发因素监测预警方面,许多学者也进行了有益的尝试和探索,如土洞异常气体监测法、地下水化学特征监测法和爆破振动监测法^[56]等。

2 研究趋势分析

纵观国内外岩溶塌陷的研究现状,对比中国和欧美等国家岩溶塌陷的研究特色,我们面临着机遇和挑战。岩溶塌陷研究趋势分析,至少得考虑两方面内容:一是学科内部发展,包括岩溶塌陷自身特点、遵循的规律和国际研究对中国的影响;二是学科外部影响,如社会发展、国家政策导向和项目资金支持等。需要指出的是,趋势分析具有一定的阶段性且与实际存在一定的差距。

近年来,随着云计算、物联网等新一代信息技术的快速发展与应用,使得运用互联网文献和资助项目等大数据来分析岩溶塌陷研究趋势成为可能。通过对近 5 年(2014—2018)中国知网(CNKI)收录的 363

篇岩溶塌陷相关文献进行分析可知,当前中国岩溶塌陷的研究热点主要集中在 4 个方面(图 1):一是路基及地下空间工程触发的岩溶塌陷问题;二是地理信息系统(GIS)技术在岩溶塌陷评价及空间分析方面的运用;三是岩溶塌陷应急处理;四是典型地区岩溶塌陷案例分析,如广州大坦沙地区的岩溶塌陷问题等。分析相同时段美国科学网(WOS)收录的 199 篇岩溶塌陷相关文献,当前欧美国家岩溶塌陷的研究热点也主要集中在 4 个方面(图 2):一是与岩溶塌陷风险相关的自然和公共社会资源,包括地下水、房屋建筑、道路工程和生命财产等;二是岩溶塌陷预报;三是岩溶塌陷探测技术方法,如地质雷达、电阻率成像(ERT)等;四是典型地区岩溶塌陷案例分析,如死海海岸带的岩溶塌陷问题等。

从研究区域上来看,近 5 年国际上对于岩溶塌陷的研究主要集中在意大利、美国、中国、西班牙和以色列等国家,其中意大利关注度最高,其次为中国和美国(图 3)。在项目支持方面,意大利资金主要来源于民防部项目和政府防灾基金,美国资金主要来源于地质调查项目,中国资金主要来自国家自然科学基金和中国地质调查局地质调查项目,所占比例分别为 43% 和 39%,其他为地方基金项目 and 高校博士专项基金,另外,国家重点基础研究发展计划(973)、国家高新技术研究发展计划(863)和国家科技支撑计划等国家重大科研项目也对岩溶塌陷研究进行了支持(图 4)。

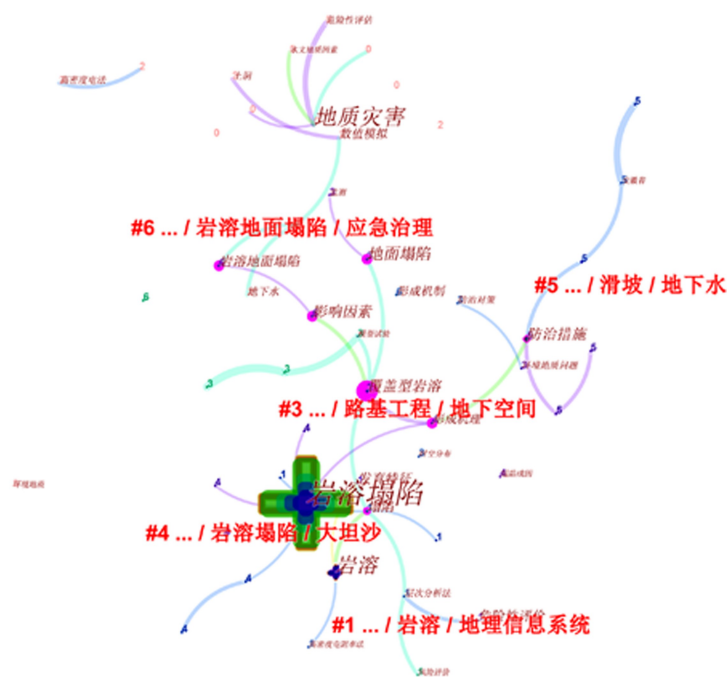


图 1 基于 CNKI 数据库的岩溶塌陷文献分析图谱(2014—2018 年)

Fig. 1 Literature analysis map of sinkhole collapse based on CNKI database(2014—2018)

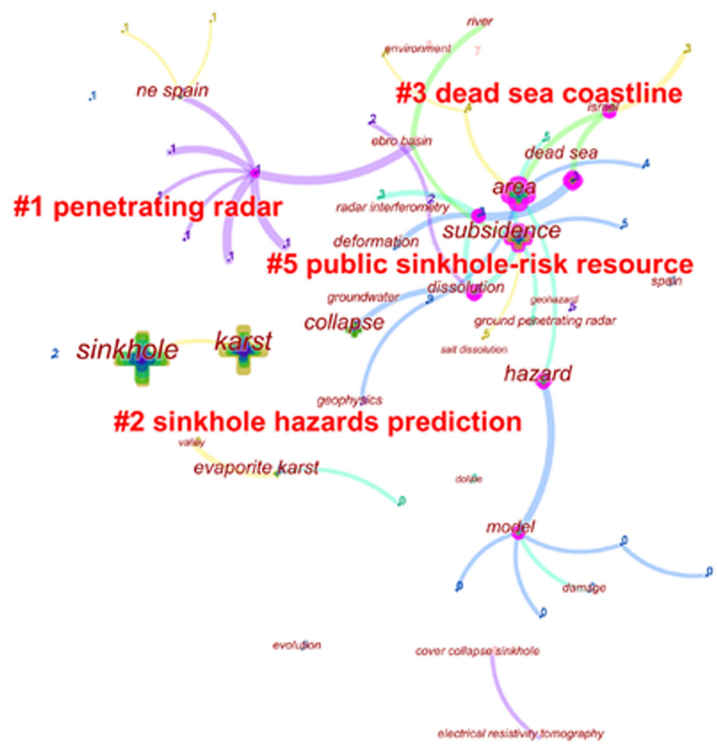


图 2 基于 WOS 数据库的岩溶塌陷文献分析图谱(2014—2018 年)

Fig. 2 Literature analysis map of sinkhole collapse based on WOS database(2014—2018)



图 3 国际岩溶塌陷研究热点区域分布情况(2014—2018 年)

Fig. 3 Regional distribution of hotspots of in international karst sinkhole collapse research(2014—2018)

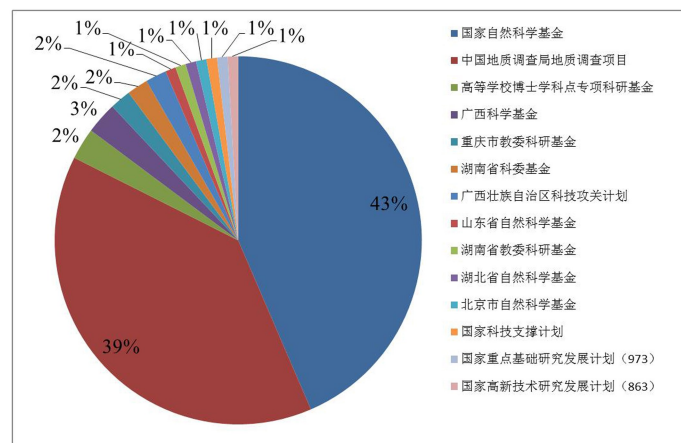


图4 中国岩溶塌陷研究项目支撑情况(2014—2018年)

Fig.4 Support situation of sinkhole collapse research project in China (2014—2018)

3 结 论

分析近5年来国内外岩溶塌陷的研究现状及趋势,得出如下结论:(1)国际岩溶塌陷的研究热点聚焦在人类工程活动与岩溶环境之间的相互作用关系上,具体表现在预测预报、风险管理和应急处理等方面;(2)国际上岩溶塌陷的研究区域主要集中在意大利、美国、中国和西班牙等地区,其中意大利关注度最高,中国应加强研究和成果宣传;(3)中国对岩溶塌陷研究的项目资金支持主要来源于国家自然科学基金和地质调查项目,目前国家自然科学基金所占比重最大,为43%,地质调查类项目占39%,且有增加的趋势;(4)未来岩溶塌陷研究应加强成因机理量化、隐患识别快速化、监测预警精细化和风险控制时效化等方面的科技攻关工作。

参考文献

- [1] 李大通,罗雁. 中国碳酸盐岩分布面积测量[J]. 中国岩溶, 1983, 2(2):147-150.
- [2] 袁道先. 岩溶地区的地质环境和水文生态问题[J]. 南方国土资源, 2003(1):22-25.
- [3] María Asunción Soriano. Sinkhole[M]. Encyclopedia of Natural Hazards. Part of the series Encyclopedia of Earth Sciences Series, 2013.
- [4] Henrik Hargitai, Ákos Kereszturi. Sinkhole[M]. Encyclopedia of Planetary Landforms, 2015.
- [5] Tony Waltham, Fred G Bell, Martin G Culshaw. Sinkholes and Subsidence[M]. Part of the Karst and Cavernous Rocks in Engineering and Const book series, 2005.
- [6] Malott C A. Significant features of the Indiana karst[J]. Proceedings of the Academy of Sciences of the Indiana, 1944, 54: 8-24.
- [7] 徐霞客. 徐霞客游记[M]. 沈阳:万卷出版公司, 2009.
- [8] 万志清. 抽水引起岩溶塌陷的机理及非线性预测研究[D]. 北京:中科院地质与地球物理研究所, 2004.
- [9] 王思敬. 堤坝下的机械潜蚀及其防止方法[J]. 水文地质工程地质, 1957(9):43-46.
- [10] 王建秀. 铁路覆盖型岩溶发育地区工程岩土体塌陷稳定性研究及可视化专家系统[D]. 成都:西南交通大学, 1999.
- [11] Mingtang Lei, Yongli Gao, Xiaozhen Jiang. Current Status and Strategic Planning of Sinkhole Collapses in China[J]. Engineering Geology for Society and Territory, 2015, 5:529-533.
- [12] 康彦仁. 岩溶塌陷的形成机制[J]. 广西地质, 1989, 2(2):83-90.
- [13] 王建秀, 杨立中, 何静. 岩溶塌陷演化过程中的水-土-岩相互作用分析[J]. 西南交通大学学报, 2001, 36(3):314-317.
- [14] 杜正民, 吴光明, 洪亮. 潜蚀作用导致岩溶塌陷地质灾害的实例分析[J]. 水文地质与工程地质, 2007, 34(3):89-92.
- [15] Lucha P, Cardona F, Gutiérrez F, et al. Natural and human-induced dissolution and subsidence processes in the salt outcrop of the Cardona Diapir (NE Spain) [J]. Environmental Geology, 2008, 53(5): 1023-1035.
- [16] 徐卫国. 试论岩溶矿区地面塌陷的真空吸蚀作用[J]. 地质论评, 1981, 27(2):12-15.
- [17] Rinaldi M, Casagli N. Stability of streambanks in partially saturated soils and effects of negative pore water pressures: the Sieve River[J]. Geomorphology, 1999, 26(4): 253-277.
- [18] T Tharp. Poroelastic analysis of cover-collapse sinkhole formation by piezometric surface drawdown[J]. Environmental Geology, 2002, 42(5):447-456.
- [19] Fares M Howari, Raed Aldouri, Abdulali Sadiq. Gravity investigations of recent sinkholes and karst pits of Dahal Al-Hamam, State of Qatar[J]. Environmental Earth Sciences, 2016, 75(5):440.
- [20] Yan Meng, Ming-Tang Lei, Yu-Shan Lin, et al. Models and mechanisms of drilling-induced sinkhole in China[J]. Environmental Earth Sciences, 2012, 67(7):1961-1969.
- [21] Zhanfei Gu, Qi Liu, Yaoru Lu, et al. Analysis and prevention

- of sinkhole collapses during the reconstruction and extension of Guang-Qing freeway, china [J]. *Environmental Earth Sciences*, 2016, 75(9):788.
- [22] 王建秀,杨立中,刘丹. 覆盖型岩溶区土体塌陷典型数学模型的研究[J]. *中国地质灾害与防治学报*,1998,9(3):53-59.
- [23] 程星,黄润秋,徐佩华. 岩溶气爆塌陷的数学模型探讨[J]. *成都理工学院学报*,2002,29(6):686-689.
- [24] 王滨,李治广,董昕,等. 岩溶塌陷的致塌力学模型研究:以泰安市东羊娄岩溶塌陷为例[J]. *自然灾害学报*,2011,20(4):119-125.
- [25] 贾龙,蒙彦,管振德. 岩溶土洞演化及其数值模拟分析[J]. *中国岩溶*,2014,33(3):294-298.
- [26] 金晓文,陈植华,曾斌,等. 岩溶塌陷机理定量研究的初步思考[J]. *中国岩溶*,2013,32(4):437-446.
- [27] 王滨,贺可强. 岩溶塌陷临界土洞的极限平衡高度公式[J]. *岩土力学*,2006,27(3):458-462.
- [28] Yan Meng, Ming-Tang, Lei Yu-Shan, et al. Models and mechanisms of drilling-induced sinkhole in China[J]. *Environmental Earth Sciences*,2012,67(7):1961-1969.
- [29] Richard C Benson, Lynn B Yuhr. *Triggering Mechanisms for Sinkholes*[M]. Site Characterization in Karst and Pseudokarst Terraines, Springer, Dordrecht, 2016.
- [30] Tihansky A B. Sinkholes, west-central Florida[M]. In:Galloway Det al (eds) *Land subsidence in the United States*. USGS Circular1182, Reston, Virginia, 1999.
- [31] Hunt R E. *Geotechnical engineering investigation handbook*, Second edition[J]. *Environmental&Engineering Geoscience*, 2006,12(1):84-85.
- [32] Giampaolo V, Capozzoli L, Grimaldi S, et al. Sinkhole risk assessment by ERT: The case study of Sirino Lake(Basilicate, Italy)[J]. *Geomorphology*,2016,253:1-9.
- [33] Tihansky A B. Sinkholes, west-central Florida. In: Galloway D, Jones DR, Ingebritsen SE (eds) *Land subsidence in the United States*. US Geol Surv Circ 1182, 1999:121-140.
- [34] Eve L Kuniansky1, David J Weary, James E Kaufmann. The current status of mapping karst areas and availability of public sinkhole-risk resources in karst terrains of the United States [J]. *Hydrogeology Journal*,2016,24(3):613-624.
- [35] Waleed A Abdulla, Deborah J Goodings. Modeling of Sinkholes in Weakly Cemented Sand[J]. *Journal of Geotechnical Engineering*, 1996, 122(22):988-997.
- [36] C Van Dyk, S W Jacobsz. The behaviour of a reinforced soil mattress spanning a cavity modelled in a geotechnical centrifuge[J]. *Geotechnical and Geological Engineering*, 2016, 34(5):1345-1358.
- [37] Qiusheng Wu, Chengbin Deng, Zuoqi Chen. Automated delineation of karst sinkholes from LiDAR-derived digital elevation models[J]. *Geomorphology*, 2016, 266:1-10.
- [38] Emanuele Intrieri, Giovanni Gigli, Massimiliano Nocentini, et al. Sinkhole monitoring and early warning: An experimental and successful GB-InSAR application [J]. *Geomorphology*, 2015, 241(15):304-314.
- [39] Dobecki T L, Upchurch S B. Applications to detect sinkholes and ground subsidence[J]. *Lead Edge*, 2006, 25(3):336-341.
- [40] G Ezersky, L V Eppelbaum, A Al-Zoubi, et al. Geophysical prediction and following development sinkholes in two Dead Sea areas, Israel and Jordan[J]. *Environmental Earth Sciences*, 2013, 70(4):1463-1478.
- [41] Awni T Batayneh, Abdelruhman A Abueladas, Khaled A Moumani. Use of ground-penetrating radar for assessment of potential sinkhole conditions; an example from Ghor al Haditha area, Jordan[J]. *Environmental Geology*, 2002, 41(8):977-983.
- [42] M G Ezersky, L V Eppelbaum, A Al-Zoubi, et al. Geophysical prediction and following development sinkholes in two Dead Sea areas, Israel and Jordan[J]. *Environmental Earth Sciences*, 2013, 70(4):1463-1478.
- [43] Andrzej Kotyrba, Lukasz Kortas. Sinkhole hazard assessment in the area of abandoned mining shaft basing on microgravity survey and modelling—Case study from the Upper Silesia Coal Basin in Poland [J]. *Journal of Applied Geophysics*, 2016, 130:62-70.
- [44] Yongli Gao, E C Alexander. Sinkhole hazard assessment in Minnesota using a decision tree model[J]. *Environmental Geology*,2007,54(5):945-956.
- [45] Adnan Ozdemir. Sinkhole susceptibility mapping using logistic regression in Karapınar (Konya, Turkey) [J]. *Bulletin of Engineering Geology & the Environment*,2015,75(2):681-707.
- [46] Kamal Taheria, Francisco Gutiérrez, Hassan Mohseni, et al. Sinkhole susceptibility mapping using the analytical hierarchy process (AHP) and magnitude-frequency relationships: A case study in Hamadan province, Iran[J]. *Geomorphology*, 2015, 234:64-79.
- [47] 包惠明,胡长顺. 岩溶塌陷两级模糊综合评判[J]. *水文地质工程地质*, 2001, 44(3):49-52.
- [48] 朱庆杰,苏幼坡,刘廷全. 唐山市岩溶塌陷安全评价[J]. *中国安全科学学报*, 2004,14(2):94-97.
- [49] 高宗军,张富中,鲁峰. 山东泰安岩溶地面塌陷前兆及其预测预报[J]. *中国地质灾害与防治学报*,2004,15(3):149-151.
- [50] Benson R C, Yuhr L B. Assessment and long term monitoring of localized subsidence using ground penetrating radar[J]. *Land Subsidence*,1987.
- [51] Francisco Gutiérrez, Jorge Pedro Galve, Pedro Lucha, et al. Integrating geomorphological mapping, trenching, InSAR and GPR for the identification and characterization of sinkholes: A review and application in the mantled evaporite karst of the Ebro Valley (NE Spain)[J]. *Geomorphology*, 2011,134(1-2):144-156.
- [52] Xiaozhen Jiang, Yongli Gao, Yuanbin Wu, et al. Use of Brillouin optical time domain reflectometry to monitor soil-cave and sinkhole formation [J]. *Environmental Earth Sciences*, 2016, 75(3):225.
- [53] 蒙彦,管振德. 应用光纤传感技术进行岩溶塌陷监测预报的关键问题探讨[J]. *中国岩溶*,2011,30(2):187-192.

- [54] Yan Meng, Feng Ji, Long Jia, et al. A new approach for forecasting the appearance of sinkholes near the Jinshazhou tunnel [J]. *Environmental Earth Sciences*, 2014, 71(8):3339-3347.
- [55] 蒙彦, 黄健民, 贾龙. 基于地下水动力特征监测的岩溶塌陷预警阈值探索:以广州金沙洲岩溶塌陷为例[J]. *中国岩溶*, 2018, 37(3):408-414.
- [56] Ground investigation in sinkhole terrains[M]. Springer International Publishing, Sinkholes and Subsidence, 2005.

Analysis of situation and trend of sinkhole collapse

MENG Yan^{1,2}, LEI Mingtang²

(1. China University of Geosciences(Wuhan), Wuhan, Hubei 430074, China;

2. Institute of Karst Geology, CAGS/Key Laboratory of Karst Dynamics, MNR & GZAR/Key Laboratory of Karst Collapse Prevention, CGS, Guilin, Guangxi 541004, China)

Abstract The karst area is more than 3.4 million km² in China, accounting for about 36% of the country's land area, in which sinkhole collapse and associated disaster frequently occur. A comprehensive and systematic analysis of current situation and research trend of sinkhole collapse at home and abroad is of great significance to accurately grasp the current hot topics, and to carry out scientific and effective work towards the disaster prevention and reduction. In this paper, we analyzed current research status and trend in the field of sinkhole collapse at home and abroad using big data tool on three aspects, namely, genesis mechanism, identification and evaluation, as well as monitoring and early warning, based on the CNKI database, WOS database and China karst collapse investigation and research project database. The results show that in the past five years, the international research hotspot areas in relation to sinkhole collapse are mainly concentrated in Italy, the United States, China and Spain, among them Italy is the most concerned. Foreign countries pay more attention to the erosion and corrosion of groundwater to the genetic mechanism of sinkhole collapse, and the main factors considered include rainstorm, pumping, surface runoff and sewer leakage. Among them the use of advanced equipment such as centrifuge to study the causes of karst collapse is more distinctive. Domestic studies on the causes of karst collapse can be summarized into 10 models, including gravity, erosion, suction corrosion, blasting, vibration, load, dissolution, root corrosion, pressure difference and etc. Meanwhile, mechanical and mathematical methods, such as soil arch theory and numerical simulation, have been used to gradually improve the quantification study. In terms of early identification and evaluation, remote sensing and aerial geophysical exploration methods, such as geological radar, drilling radar and Light Detection and Ranging (LiDAR), have been widely used at home and abroad. In respect of the sinkhole monitoring and early-warning, geological radars are frequently used to scan regularly in foreign countries, while in China, groundwater dynamic and chemical conditions are mainly monitored. There have been successful cases at home and abroad such as optical fiber sensing, aerial geophysical prospecting and other new technologies and methods. In terms of research trends, the current international research hotspot of sinkhole collapse mainly focuses on the interaction between human engineering activities and karst environment, which is reflected in forecasting, risk management and emergency response. In terms of project support, the largest proportion of project financial support for sinkhole collapse research mainly comes from the National Natural Science Foundation of China (NSFC) and Geological Survey Project (GSP). At present, the NSFC accounts for the largest proportion at 43%, and GSP account for 39%, showing an increasing trend in GSP.

To sum up, we should combine with human engineering activities and ecological environmental protection of the study of the karst collapse closely, pay close attention to hotspots area, and focus on scientific and technological research work in the aspects of quantitative genetic mechanisms, rapid identification of hidden hazards, fine monitoring and early warning, and aging of risk prevention and control.

Key words sinkhole collapse, current situation, trend, big data analysis

(编辑 黄晨晖)