

“一带一路”地区地质灾害时空分布特征及防治对策

杨冬冬^{1,2}, 邱海军^{1,2*}, 胡胜^{1,2}, 邹强³, 朱亚茹¹

1. 西北大学城市与环境学院, 西安 710127

2. 西北大学地表系统与灾害研究院, 西安 710127

3. 中国科学院·水利部成都山地灾害与环境研究所, 中国科学院山地灾害与地表过程重点实验室, 成都 610041

摘要 “一带一路”贯穿亚、欧、非大陆, 沿线地质构造复杂, 地形起伏剧烈, 是滑坡、崩塌、泥石流等地质灾害的高发区域, 各类地质灾害严重制约沿线各国社会经济发展和“一带一路”倡议的践行。根据 1922—2015 年“一带一路”区域地质灾害数据, 分析了地质灾害的时空分布特征及主要影响因素。研究结果表明: (1) “一带一路”地区地质灾害呈现出不规律的波动上升趋势, 地质灾害发生规模与影响程度呈上升趋势。(2) 印度是地质灾害发生频次最高的国家; 东南亚地区的缅甸、菲律宾、印度尼西亚、马来西亚、越南, 南亚地区的尼泊尔、巴基斯坦, 东亚地区的中国、日本等国家地质灾害发生频次明显高于其他国家和地区。(3) “一带一路”区域在 1922—2015 年的年均地质灾害发生频次为 82.3 次/年, 受伤人数 75 人/年, 死亡人数 292 人/年。(4) 中巴经济走廊、孟中印缅(孟加拉国、中国、印度和缅甸)经济走廊是地质灾害的高发区。在开展防灾减灾工作时, 应有针对性地对重点区域进行合理的危险性评价, 这有助于对有限的救灾资源进行合理分配; 鼓励无人机、三维激光扫描等先进技术在野外调查中的使用, 更加快捷、高效地获取详细的一手灾害调查数据; 沿线发展中国家的抗灾能力亟需提升, 以此降低地质灾害造成的人员伤亡和经济损失。

关键词 一带一路; 地质灾害; 时空分布

“一带一路”是“丝绸之路经济带”和“21 世纪海上丝绸之路”的简称, 是中国为推动经济全球化

深入发展而提出的国际区域经济合作新模式^[1]。其中, “丝绸之路经济带”横贯亚欧大陆, 区内分布

收稿日期: 2019-07-12; 修回日期: 2020-03-23

基金项目: 中国科学院国际合作局对外合作重点项目(131551KYBS20160002)

作者简介: 杨冬冬, 博士研究生, 研究方向为山地灾害, 电子信箱: ydd023@126.com; 邱海军(通信作者), 教授, 研究方向为山地灾害, 电子信箱: haijunqiu@nwu.edu.cn

引用格式: 杨冬冬, 邱海军, 胡胜, 等. “一带一路”地区地质灾害时空分布特征及防治对策[J]. 科技导报, 2020, 38(16): 45-52; doi: 10.3981/j.issn.1000-7857.2020.16.005

着平原、丘陵、高山、盆地等多种地貌类型。受复杂地质构造、频发地震活动以及日益剧烈的人类活动影响,该地区是全球滑坡、崩塌、泥石流等地质灾害频发,人员伤亡和财产损失最为严重的区域^[2-4]。此外,“21世纪海上丝绸之路”沿线国家多为发展中国家,经济发展水平低,抵御地质灾害能力弱,同样面临着严重的地质灾害威胁。地质灾害的发生严重制约着“一带一路”基础设施建设和沿线国家的社会经济发展,是“一带一路”践行过程中面临的最大问题和挑战^[5]。本研究以“一带一路”沿线国家和地区近百年地质灾害调查数据为基础,探究“一带一路”沿线地区地质灾害时空分布特征及其发展趋势。

1 “一带一路”地区地质灾害时空分布特征

1.1 空间分布特征

“一带一路”地区地质构造复杂,高差剧烈,为滑坡、崩塌、泥石流等地质灾害的发育提供了良好

的孕灾环境。根据各灾害的影响范围和造成人员伤亡情况,可将地质灾害划分为特大规模(死亡和受伤人数>20或造成重大经济损失)、大规模(10<死亡和受伤人数<20)、中等规模(5<死亡和受伤人数<110)和小规模(死亡和受伤人数<5,或造成少量经济损失)。据 Emergency Database (EM-DAT) 不完全统计,1922—2015年,“一带一路”沿线国家和地区共发生 7727 起地质灾害(以滑坡、崩塌、泥石流为主)。其中,特大规模灾害性事件 87 起,大规模 636 起,中等规模 4652 起,小规模 2352 起,“一带一路”地区地质灾害具有区域分布不均,局部异常强烈的群发性等分布特征(图 1)。

从国家层面来看,东南亚地区的缅甸、菲律宾、印度尼西亚、马来西亚、越南,南亚地区的印度、尼泊尔、巴基斯坦,东亚地区的中国、日本等国家(表 1)地质灾害发生频次明显大于其他国家和地区。其中,印度境内地质灾害发生频次为 1598 起,占地质灾害发生频次总数的 20.7%,是“一带一路”沿线地质灾害发生最为频繁的国家。“一带一路”沿线的中巴(中国和巴基斯坦)和孟中印缅(孟加拉国、中

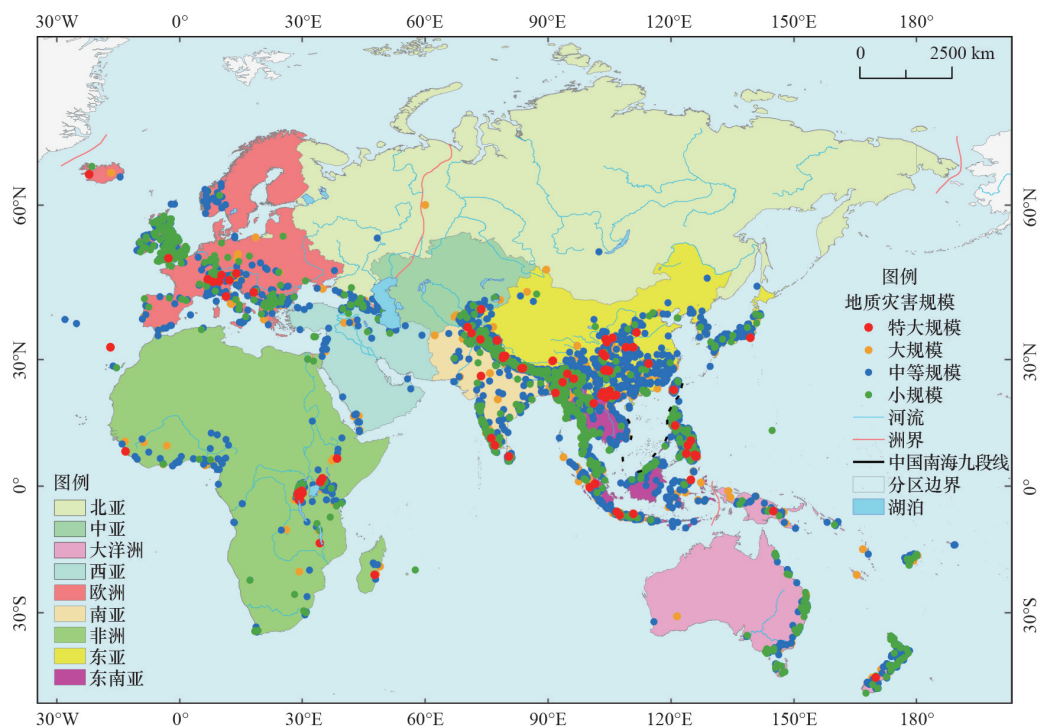


图1 “一带一路”地区地质灾害分布(1922—2015年)

国、印度和缅甸)经济走廊也是地质灾害的高发区域^[5-7](图1)。经济走廊涉及的国家大都为发展中国家和欠发达国家,经济发展水平低,基础设施薄弱,抵御地质灾害能力弱,地质灾害的发生往往造成巨大的经济损失和人员伤亡^[8]。地质灾害发生频次较低的国家主要分布在蒙古、哈萨克斯坦、乌

斯别克斯坦、土库曼斯坦、叙利亚等亚洲国家,苏丹、乍得、尼日尔等非洲国家。从分区来看,东南亚和南亚地区地质灾害发生频次显著高于其他区域,占有地质灾害的67.9%,地质灾害规模以中等规模和小规模为主。

表1 “一带一路”沿线地质灾害发生频次前20国家

排名	国家	频次	占比/%	排名	国家	频次	占比/%
1	印度	1598	20.7	11	澳大利亚	119	1.5
2	缅甸	1125	14.5	12	日本	108	1.4
3	菲律宾	758	9.5	13	乌干达	99	1.3
4	中国	616	8.0	14	孟加拉国	94	1.2
5	尼泊尔	587	7.6	15	斯里兰卡	94	1.2
6	印度尼西亚	466	6.0	16	泰国	82	1.1
7	马来西亚	213	2.8	17	意大利	82	1.1
8	巴基斯坦	191	2.5	18	刚果(金)	80	1.0
9	新西兰	152	2.0	19	肯尼亚	72	0.9
10	越南	140	1.8	20	吉尔吉斯斯坦	71	0.9

1922—2015年,发生在“一带一路”沿线国家和地区地质灾害共计造成7045人受伤和2.7410万人死亡,400.4367万人无家可归,经济损失高达62.7亿美元,平均每年受伤人数与死亡人数为75人和292人。其中,南亚地区因地质灾害造成的人员受伤和死亡是所有区域中最多的,北亚、中亚和西亚地区地质灾害发生频次较低,仅占有地质灾害的3.2%。其中非洲仅发生419起地质灾害,但是

却导致了4380人受伤和2822人死亡,平均一起地质灾害的发生导致10.5人受伤和6.7人死亡,是所有区域中单次地质灾害发生导致人员伤亡比例最高的区域(图2)。此外,“一带一路”地区地质灾害集中分布在地质构造复杂、降水强度大、地形起伏剧烈的阿尔卑斯山区、黄土高原、中巴经济走廊、长江中下游等区域(图3)。

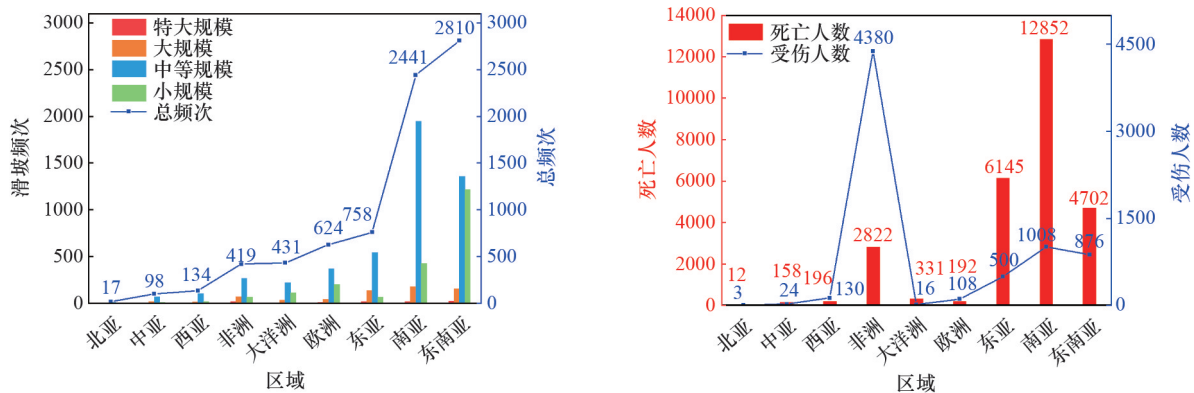


图2 9大区域地质灾害发生频次与伤亡人数分布

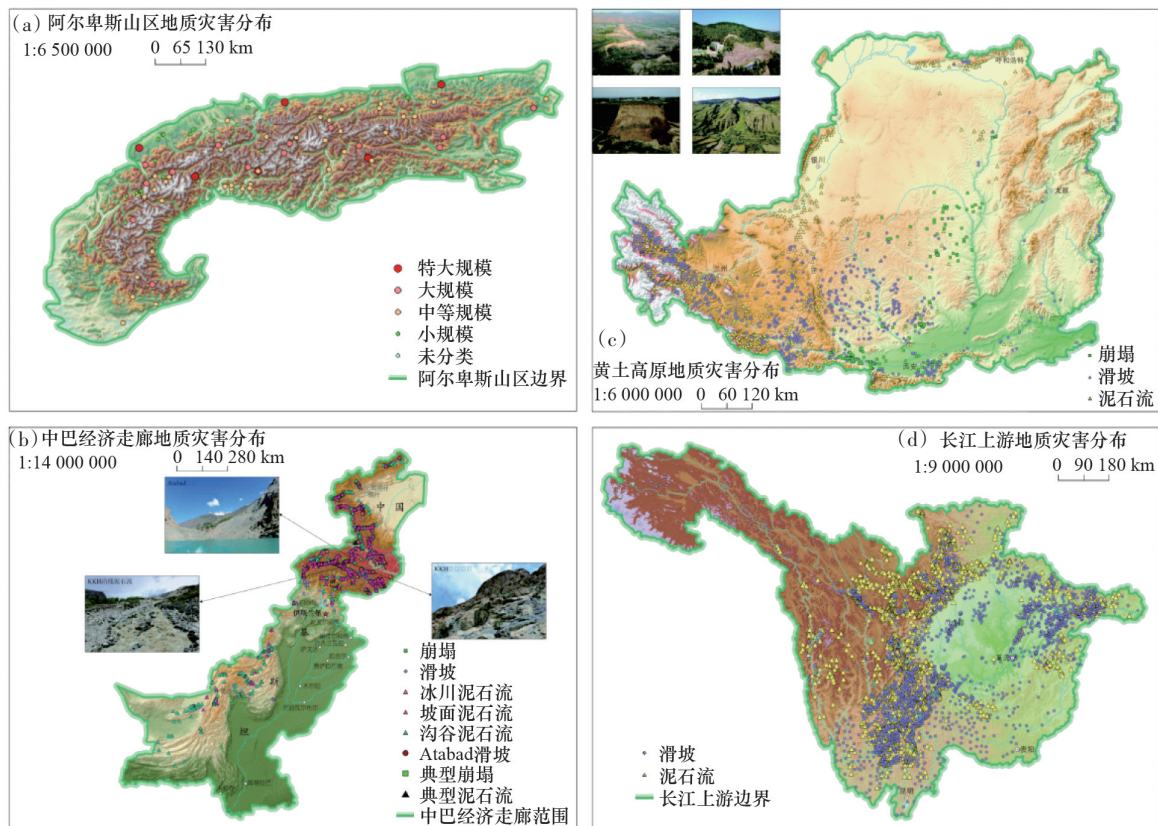


图3 “一带一路”典型区域地质灾害分布

1.2 时间分布特征

“一带一路”地区地质灾害发生频次大致呈现出不规律的波动上升趋势(1922—2015年),年均地质灾害发生频次为82.3次/年,发生地质灾害最多的年份是2010年,共计1224起。“一带一路”地区地质灾害发生频次大致可分为2个阶段:低频阶段(1922—2006年)和活跃阶段(2007—2015年)(图4),其中发生于活跃阶段的地质灾害共计7330起,占总体地质灾害发生频次的94.9%(图5),发生频次显著高于低频阶段。地质灾害活跃阶段共计造成2.3514万人死亡,3244人受伤。除了阶段性变化外,地质灾害发生频次还呈现不断升高的趋势(图5)。地质灾害主要诱发因素有地震、降雨和人类活动。波茨坦气候影响研究所(Potsdam Institute for Climate Impact Research and Climate Analytics)^[7]指出,全球气候变暖引起的极端降雨等天气是滑坡、泥石流的重要诱发因子。联合国政府间气候变化专门委员会(The Intergovernmental Panel on Cli-

mate Chang, IPCC)第5次评估报告指出,1800—2012年,全球海陆表面平均温度呈线性上升趋势,升高了0.85℃。受此影响,各种极端天气气候事件频发,因此诱发的地质灾害事件也相应迅速上升^[9-10]。

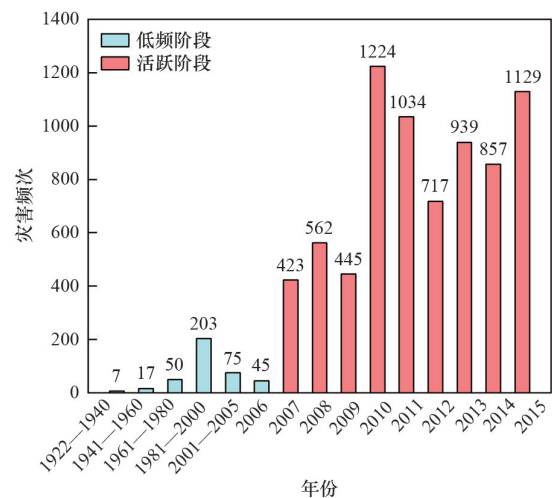


图4 “一带一路”地区地质灾害时间分布(1922—2015年)

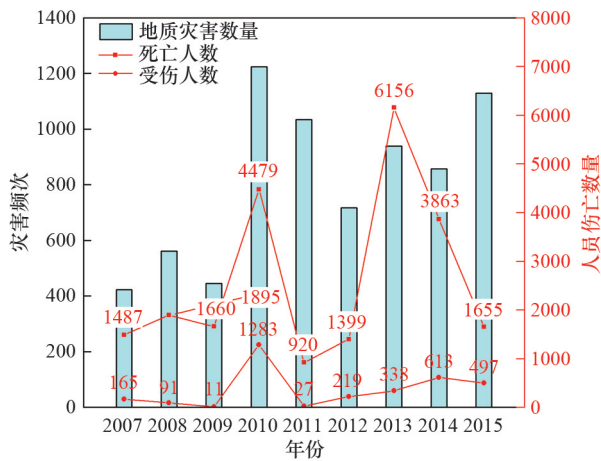


图5 “一带一路”地区地质灾害活跃阶段(2007—2015年)造成人员伤亡

2 “一带一路”地区地质灾害及其影响因素

2.1 地质灾害特征及发展趋势

“一带一路”贯穿亚洲、欧洲、非洲,区内地貌类型复杂、气候水文条件多变,地形起伏高差达8 km以上,使沿线国家多面临着严峻的地质灾害威胁。主要地质灾害类型包括滑坡、崩塌、泥石流、堰塞湖等。地震、极端降水、人类活动是导致地质灾害频发的主要诱发因素。受地震、极端天气事件和日益加强的人类活动影响,“一带一路”地区滑坡、泥石流、冰川消融、冰湖溃决等地质灾害发生频次缓慢增加,地质灾害规模也不断增加,造成巨大的财产损失与人员伤亡。特别是中国西北地区,东南亚地区的缅甸、菲律宾、印度尼西亚等国家及南亚地区的印度、尼泊尔、巴基斯坦等国家。以“8.8”舟曲特大泥石流为例,2010年8月8日,甘南藏族自治州舟曲县城突降特大暴雨,导致三眼峪、罗家峪发生特大泥石流,造成1557人遇难,284人失踪;2014年5月2日,阿富汗巴达赫尚省阿布巴利克村遭遇特大山体滑坡,造成近3000人遇难。此外,非洲等发展中国家由于社会经济水平低,较少的地质灾害往往造成大量的人员伤亡。

2.2 影响因素

1) 地形条件。由一定的地形条件构成的基本孕灾背景环境,是地质灾害发生的基础,也是决定

地质灾害发生与否的主控因素。其中坡度和地形起伏度的大小直接影响着地质灾害发生的频次与规模。统计结果表明,坡度小、地形起伏度低的区域内(中国境内的长江中下游平原、陕西的关中盆地,非洲的刚果盆地、撒哈拉沙漠等)地质灾害发生频次显著低于坡度大、地形起伏度剧烈的区域(黄土高原、青藏高原等)^[11-12]。“一带一路”区域地形起伏度大,特别是中国-中南半岛、中巴和孟中印缅等经济走廊^[13],是地质灾害的频发区域。

2) 气候变化。联合国政府间气候变化专门委员会预测,2016—2035年全球平均气温相较于1986—2005年可能增温0.3~0.7℃^[14],受全球气候变暖影响,中国的年平均降水量将在2020年增加2%~3%^[15],且多以暴雨形式发生。作为最主要的地质灾害诱发因子,高山区极端气温、极端降水频次增加将会进一步诱发大量的滑坡与泥石流。

3) 地震。“一带一路”地区内主要分布有环太平洋地震带与喜马拉雅地震带,频发的地震对山体的稳定性造成影响,并由此诱发滑坡、崩塌、泥石流、地面塌陷等次生地质灾害,造成不同程度的人员伤亡。

4) 人类活动。“一带一路”的推行过程中将兴建多条跨境公路和铁路(例如欧亚高铁、中亚高铁、中巴铁路、中巴公路等),以及水电工程、油气管线等多项重大工程,沿线地质构造复杂,且需要跨过陡峭的山区。各类地质灾害对公路的基础设施会造成严重破坏。在修建过程中由于开挖边坡等活动,对边坡稳定性造成影响,进一步诱发地质灾害,导致重大工程的灾害风险增加。

3 地质灾害减灾对策与建议

1) 历史时期地质灾害特征参数识别和提取。以历史时期发生地质灾害时间为轴线,利用Google Earth历史影像、RS卫星遥感影像、高分辨率遥感影像识别大尺度空间范围内滑坡、崩塌、泥石流等地质灾害的分布规律,依次提取地质灾害的关键特征参数(周长、宽度、长度等),建立已知地质灾害特征参数详细数据库。研究地质灾害的时空

分布特征、地质灾害发生的数量、位置、规模量级等参数的变化规律;通过对大量基础数据的分析,得到不同类型地质灾害在不同地貌单元、不同斜坡条件下的时空分布特征。为后续精准风险评估提供科学依据。

2) 重点区域地质灾害危险性评估。合理、科学、准确的地质灾害危险性评价结果能够对有限的救灾资源进行合理的分配,同时能够有效地降低防灾减灾和灾害风险管理的成本。在以往的危险性评价研究中,人类活动(人口密度、道路建设等)往往被认为是重要的地质灾害诱发因素之一,然而,不具备孕灾能力的“安全区域”(坡度较小、地形起伏度小的区域)通常存在大量的人类活动,导致许多“安全区域”被错误地划分为地质灾害的中等甚至高危险区域。因此,首先根据坡度和地形起伏度对评价区域进行分割,对不具备孕灾能力的“安全区域”与地形复杂的地质灾害高发区域进行识别,能够很好地提高评价结果的准确性和科学性^[11]。特别是在“一带一路”沿线地区的重要区域进行危险性评价时,例如关中经济区、中巴经济走廊、孟中印缅等经济走廊等,划分“安全区域”与地质灾害高发区,有针对性地对地质灾害高发区进行重点评估,能够最大限度地防范和抵御地质灾害带来的不利影响,促进“一带一路”沿线国家和地区灾害科学防治。

3) 建立跨境重大防灾信息共享和减灾联动机制。强烈的地震、大型的冰湖溃决会进一步诱发滑坡、泥石流等一系列次生地质灾害,形成灾害链。地质灾害常造成跨国境灾害,由于各国家之间在文化、经济、发展水平、承灾能力等方面存在差异,使得灾害发生后不能得到快速、准确、有效的灾后救助,只有建立跨境重大防灾消息共享和减灾联动机制,促进减灾技术交流,加强信息共享,才能将“一带一路”区域地质灾害影响降到最低,提高抵御灾害能力。

4) 重大工程区域变形监测与灾害风险精准评估。利用无人机(unmanned aerial vehicles, UAVs)摄影测量配合三维建模(structure from motion, SfM)获取重点区域厘米级精度的数字高程模型

DEM(digital elevation model)数据;利用三维激光扫描仪获取重点区域毫米级精度的DEM。利用这些先进的技术可以对重大工程区域开展多次测量,获取多期高精度DEM数据,并在此基础上进行重大工程区变形识别,及时有效地获取变形量,识别潜在变形区;其次,提取区域范围内地质灾害的几何特征、形态特征、高程分布、地形起伏、规模大小、滑动方向、内部和外部结构、空间分布特征和滑坡运动情况等详细参数,对地质灾害特征进行量化、精细化研究。在此基础上,对重大工程变形量进行的长时间和大尺度动态监测和精准风险评估,能够最大限度地降低地质灾害对重大工程的影响和破坏,确保工程的安全运行。

5) 提升沿线发展中国家抗灾能力。“一带一路”沿线国家多为发展中国家,面临着严重的地质灾害风险。将已有的成熟防灾减灾技术推广至发展中国家,培养专业减灾技术管理人员,有助于提升发展中国家的抗灾能力;举行以“一带一路”地质灾害防治为主题的国际会议,邀请国际知名学者进行汇报,分享和解析最新防灾减灾技术与动态,以提高跨境灾害防范能力。

4 结论

在1922—2015年“一带一路”沿线国家和地区地质灾害调查数据的基础上,探究了地质灾害时空分布特征。结果表明,1922—2015年地质灾害平均频次为82.3次/年,发生于2010年的地质灾害数量最多。2007年以来,地质灾害发生频次明显增多。从地质灾害空间分布上来看,印度为“一带一路”沿线地质灾害发生最为频繁的国家;东南亚地区部分国家(缅甸、菲律宾、印度尼西亚、马来西亚、越南)和东亚地区部分国家(中国、日本等)地质灾害发生频次明显大于其他国家和地区;此外,中巴经济走廊、孟中印缅(孟加拉国、中国、印度和缅甸)等经济走廊也是地质灾害的高发区。在发展中国家中,较少的地质灾害往往造成大量人员伤亡。

在“一带一路”沿线国家和地区开展防灾减灾工作时应注意以下几点:(1) 对重点区域进行危险

性评价,对有限的物资进行合理分配;(2) 地质灾害详查数据是基础,应及时更新地质灾害信息,为后续工作的开展提供科学依据;(3) 发展中国家的抗灾能力不足,缺乏防灾减灾知识和主动性;介绍成功的防灾减灾经验和案例,能够有效地降低发展中国家人员伤亡和经济损失;(4) 以科学研讨会等形式促进国际间防灾减灾工作经验和最新动态交流,加强政府间和民间合作,提高跨境巨灾的防范能力。

参考文献(References)

- [1] 刘卫东. “一带一路”战略的科学内涵与科学问题[J]. 地理科学进展, 2015, 34(5): 538-544.
- [2] Petley D. Global patterns of loss of life from landslides[J]. *Geology*, 2012, 40(10): 927-930.
- [3] 高中华. “一带一路”发展战略与国际减灾合作[J]. 中国减灾, 2015, 9(17): 22-23.
- [4] Nadim F, Kjekstad O, Peduzzi P, et al. Global landslide and avalanche hotspots[J]. *Landslides*, 2006, 3(2): 159-273.
- [5] 崔鹏, 胡凯衡, 陈华勇, 等. 丝绸之路经济带自然灾害与重大工程风险[J]. 科学通报, 2018(63): 989-997.
- [6] 毛星竹, 刘建红, 李同昇, 等. “一带一路”沿线国家自然灾害时空分布特征分析[J]. 自然灾害学报, 2018, 27(1): 1-8.
- [7] 裴艳茜, 邱海军, 胡胜, 等. 中巴经济走廊地质灾害敏感性分析[J]. 第四纪研究, 2018, 38(6): 1369-1383.
- [8] Irasema A. Geomorphology, natural hazards, vulnerability and prevention of natural disasters in developing countries[J]. *Geomorphology*, 2002, 47(2): 107-124.
- [9] 崔鹏, 苏凤环. 国产高分辨率卫星在“一带一路”自然灾害风险管理中的应用[J]. 卫星应用, 2016(10): 8-11.
- [10] 郭华东, 肖函. “一带一路”的空间观测与“数字丝路”构建[J]. 中国科学院院刊, 2016, 31(5): 535-541.
- [11] 杨冬冬, 胡胜, 邱海军, 等. 基于模糊层次分析法对“一带一路”重要区域地质灾害危险性评价——以关中经济区为例[J]. 第四纪研究, 2017, 37(3): 633-644.
- [12] 裴艳茜, 邱海军, 胡胜, 等. “一带一路”地区滑坡灾害风险评估[J]. 干旱区地理, 2018, 41(6): 1225-1240.
- [13] 崔鹏, 邹强. “一带一路”自然灾害风险与综合减灾[J]. 中国科学院院刊, 2018, 33(2): 38-43.
- [14] 沈永平, 王国亚. IPCC第一工作组第五次评估报告对全球气候变化认知的最新科学要点[J]. 冰川冻土, 2013, 35(5): 1068-1076.
- [15] 矫勇. 气候变化与我国水安全——流域综合规划修编中应考虑的气候变化问题[J]. 中国水利: 2008(2): 10-13.

Temporal and spatial distributions of geo-hazards along the Belt and Road and policy recommendations for disaster prevention

YANG Dongdong^{1,2}, QIU Haijun^{1,2*}, HU Sheng^{1,2}, ZOU Qiang³, ZHU Yaru¹

1. College of Urban and Environmental Sciences, Northwest University, Xi'an 710127, China

2. Institute of Earth Surface System and Hazards, Northwest University, Xi'an 710127, China

3. Key Laboratory of Mountain Hazards and Earth Surface Processes, Institute of Mountain Hazards and Environment, Chinese Academy of Sciences, Chengdu 610041, China

Abstract The Belt and Road Initiative covers an area across the Asia, the Europe and the Africa, characterized by complex geological structures and extremely undulating terrains. As a result, different kinds of geo-hazards, such as the landslide, the collapse and the debris flow, seriously hamper the socioeconomic development and the implementation of the Belt and Road Initiative. It is the scientific basis for understanding the regional distribution pattern and the disaster mechanism of geo-hazards to identify the spatiotemporal distribution characteristics of geo-hazards in the historical period in the Belt and Road regions. In this paper, based on the statistics of geo-hazards during 1922–2015 along the Belt and Road regions, the spatiotemporal characteristic and the influence factors are discussed. The statistical results show that (1) the geo-hazards along the Belt and Road regions show an irregular fluctuation trend, and the scale and the influence degree of geo-hazards are gradually increased; (2) India is the country with the highest frequency of geo-hazards. Furthermore, the frequencies of geo-hazards in the Southeast Asia, for example, Myanmar, Philippines, India, Malaysia, Vietnam, South Asia, India, Nepal, Pakistan, and in the East Asia, for example, China, Japan, are significantly greater than in other countries; (3) in the studied period, one sees a frequency of 82.3 events and an average of 75 injurers and 292 deaths every year; (4) the China–Pakistan Economic Corridor (CPEC) and the Bangladesh–China–India–Burma Economic Corridor are the regions of a higher frequency of geo-hazards. The reasonable results of the risk assessment of geo-hazards conducted on the key regions along the Belt and Road can help better distribute the limited relief resource. The technologies of the Unmanned Aerial Vehicle and Terrestrial Laser Scanning in the field investigation help to acquire high-precision data and provide the basic information for subsequent researches.

Keywords the Belt and Road; geo-hazards; spatiotemporal distribution ●



(责任编辑 徐丽娇)