

第560次学术讨论会·丝绸之路经济带自然灾害与重大工程风险

丝绸之路经济带自然灾害与重大工程风险

崔鹏^{1,2*}, 胡凯衡¹, 陈华勇¹, 邹强¹

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

2. 中国科学院青藏高原地球科学卓越创新中心, 北京 100101

* 联系人, E-mail: pengcui@imde.ac.cn

2017-10-18 收稿, 2018-01-16 修回, 2018-01-17 接受, 2018-04-08 网络版发表

中国科学院国际合作局对外合作重点项目(131551KYSB20160002)资助

摘要 丝绸之路经济带穿越了地质结构复杂、构造运动活跃、气候条件多变的地区, 区域内各种原生和次生自然灾害频发。地震作为典型的原生自然灾害具有突发性强、危害范围广、破坏严重等特点, 并诱发一系列次生灾害。气象灾害具有种类多、空间分布广、时间跨度大等特点。山区地质灾害大多由地震、极端降雨等灾害诱发, 具有类型多样、分布广泛、危害严重等特点。该经济带沿线各类自然灾害风险严重影响沿线各国深入合作与交流, 制约着社会经济的快速发展。本文阐述了丝绸之路经济带上地震灾害、气象灾害和地质灾害等三类主要自然灾害特点及其发展趋势, 并针对丝绸之路经济带上的重大工程建设, 提出了5点应对策略: (1) 建立丝绸之路经济带孕灾背景和灾害数据库; (2) 集成现有的灾害防控技术, 研发减灾关键技术; (3) 发展空-天-地立体、全天候的监测预警方法; (4) 科学评估灾害风险; (5) 建立多国协调减灾和信息共享机制。

关键词 丝绸之路经济带, 自然灾害, 气候变化, 风险评估, 防灾减灾

“丝绸之路经济带”是在“古丝绸之路”概念基础上形成的一个以中亚为轴心的经济发展区域。该区由中国的东海岸出发, 途经哈萨克斯坦、俄罗斯、白俄罗斯、波兰、德国, 最终抵达地中海中岸、东岸。从地理位置上讲, 丝绸之路经济带沿线地质构造复杂、地震活动频繁、地形高差大、侵蚀营力活跃、工程地质条件差, 加之受季风气候控制, 降水高强度集中。因此, 该区地震、干旱、地质灾害等分布广泛、危害严重。这些灾害制约了该区基础设施建设、资源开发和社会经济发展, 严重威胁重大基础设施的建设和运营安全。相关研究表明: 丝绸之路经济带沿线国家所处位置是全球自然灾害最频繁、损失最严重的地区之一^[1]。为了顺利推行丝绸之路经济带建设, 建设欧亚大陆安全的陆上物资、能源、人员和经济文化交流廊道, 亟需开展丝绸之路经济带自然灾害与重大工

程风险的研究, 解决自然灾害对重大工程造成的安全问题。

1 丝绸之路经济带自然灾害及其发展趋势

1.1 自然灾害特征

丝绸之路经济带横贯欧亚大陆, 地貌整体以山地、盆地和高原为主, 从海拔最高的青藏高原到地中海, 高差达8000 m以上, 呈中间高两头低的地形格局。陆路区域跨越了亚热带、温带、寒温带和寒带等多个气候带, 分布森林、荒漠、草原等地理景观。区域地形地质条件复杂, 地震灾害、气象灾害及地质灾害频发、分布广泛, 是全球自然灾害的高风险区。从区内来看, 包括了中蒙俄、新亚欧大陆桥、中国-中亚-西亚、中国-中南半岛、中巴和孟中印缅六大经济

引用格式: 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. 科学通报, 2018, 63: 989-997

Cui P, Hu K H, Chen H Y, et al. Risks along the Silk Road Economic Belt owing to natural hazards and construction of major projects (in Chinese). Chin Sci Bull, 2018, 63: 989-997, doi: 10.1360/N972017-00867

走廊均受地震灾害的影响(图1); 中国-中亚-西亚、中国-中南半岛、中巴和孟中印缅等经济走廊主要受旱灾的影响(图2); 中国-中南半岛、中巴和孟中印缅等经济走廊主要受山区地质灾害的影响(图3). 沿线国

家中内陆国家8个, 且大部分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, 抵御自然灾害能力弱.

(i) 地震灾害. 丝绸之路经济带地处阿拉伯板

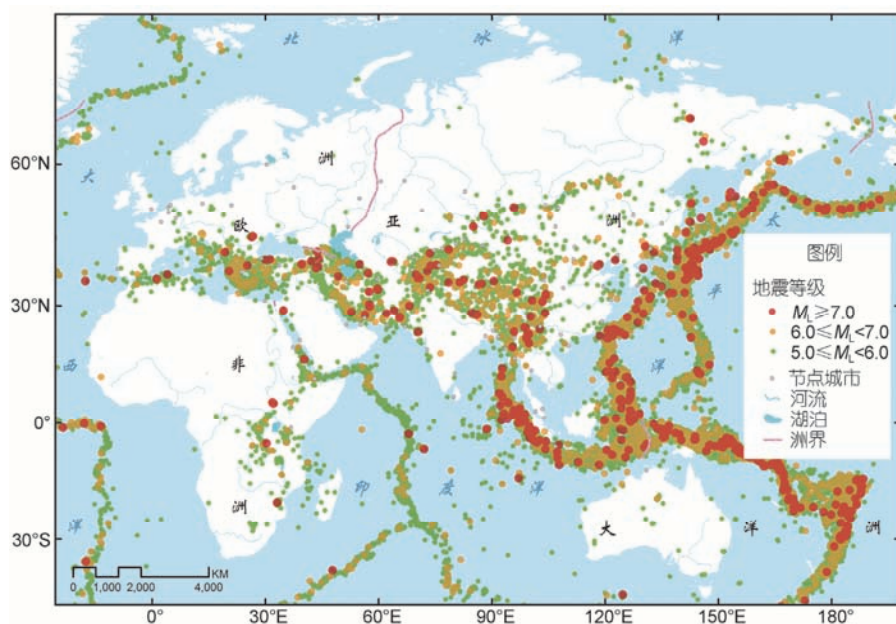


图1 丝绸之路经济带地震灾害分布图(底图来源于国家测绘地理信息局网站)

Figure 1 Distribution map of earthquake events along the silk road economic belt (the map is from the website of the National Geographic Information Bureau)

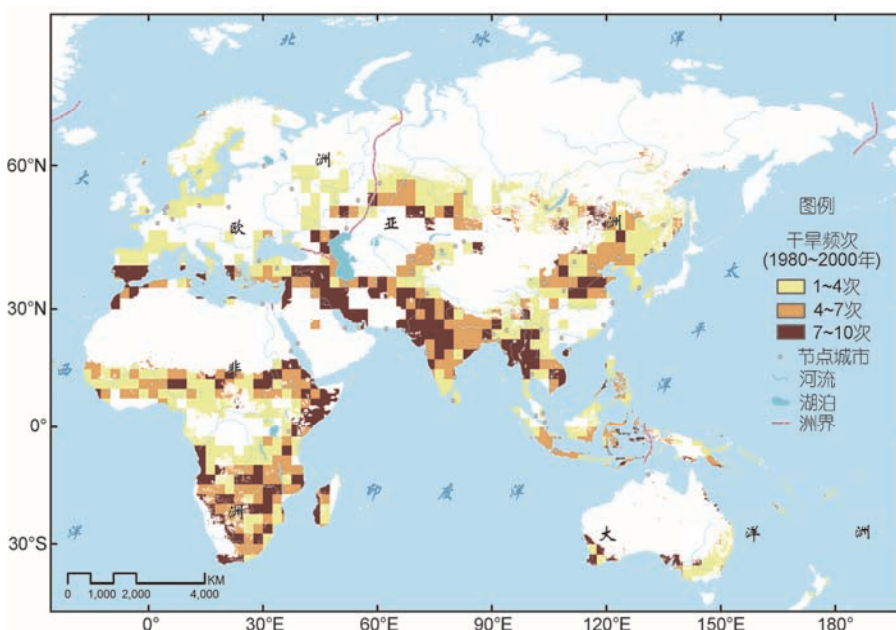


图2 丝绸之路经济带旱灾分布图(底图来源于国家测绘地理信息局网站)

Figure 2 Distribution map of drought along the silk road economic belt (the map is from the website of the National Geographic Information Bureau)

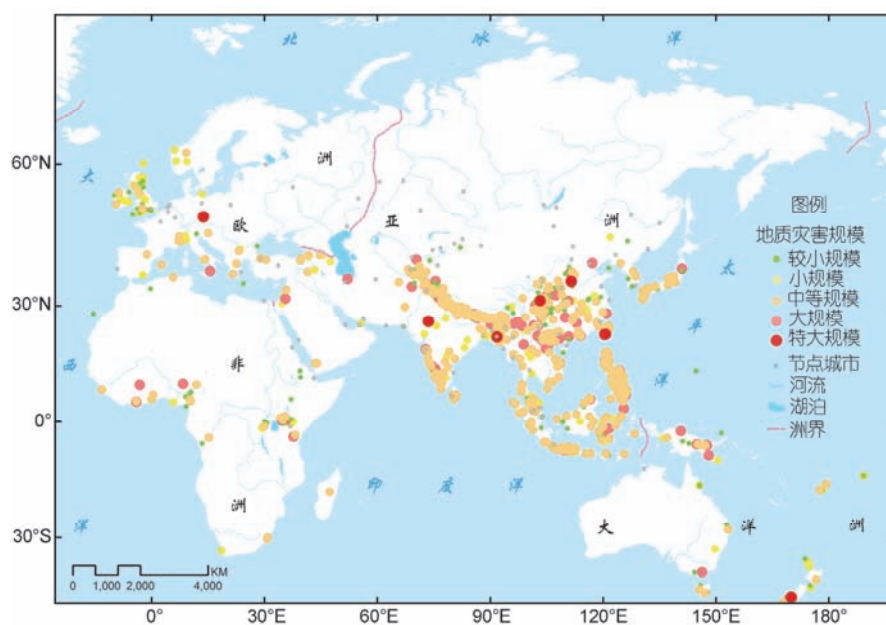


图3 丝绸之路经济带地质灾害分布图(底图来源于国家测绘地理信息局网站)

Figure 3 Distribution map of geo-hazards along the silk road economic belt (the map is from the website of the National Geographic Information Bureau)

块、印度板块与欧亚板块交界处, 板块间的碰撞挤压, 导致区域内地震活动频繁, 构造运动强烈, 形成高山带与高原区, 阿拉伯板块与欧亚板块斜向汇聚, 形成扎格罗斯造山带和伊朗高原^[2]; 阿拉伯板块、印度板块与欧亚板块的俯冲、碰撞形成了现今最活跃的伊朗-青藏高原^[3,4]。据有关文献报道, 自有地震记录以来青藏高原发生8级及以上巨大地震18次, 7~7.9级地震更是达到了100余次^[5]。强烈的构造运动造成了重大的人员伤亡和经济财产损失, 如1556年1月23日陕西华县地震伤亡83万人; 1920年12月16日宁夏海原地震死亡24万人; 1927年5月23日甘肃古浪地震死亡4万人; 1999年8月17日土耳其伊兹米特地震死亡1.8万人^[6]; 2001年1月21日印度古杰拉特地震死亡2万人^[7]; 2004年12月26日印尼苏门答腊-安达曼地震死亡30万人^[8]; 2008年四川汶川Ms8.0级地震造成8万多人死亡, 8451亿元直接经济损失。

(ii) 气象灾害。在全球变暖的大背景下, 极端天气气候事件(极端降雨、雪灾、干旱等)的变化引起了学者的广泛关注。IPCC第5次评估报告指出, 1880~2012年, 全球海陆表面平均温度呈线性上升趋势, 升高了0.85℃; 2003~2012年平均温度比1850~1900年平均温度上升了0.78℃^[9]。受此影响, 各种极端天气气候事件频发, 对全球社会经济与人类的生

产生活带来了重要影响。“丝绸之路经济带”穿越多个高山区和高原区, 相关研究表明: 较低海拔区和高海拔区极端天气气候对全球变暖的响应更加敏感、更加强烈^[10,11]。

(1) 极端降雨。极端降雨事件是极端天气气候的一个重要表现, 极端降雨还可能引发洪水、泥石流、崩塌、滑坡等一系列次生灾害。丝绸之路经济带沿线许多国家和地区都发生过极端降雨事件, 并造成了严重的财产损失与人员伤亡。2012年10月31日, 印度金奈附近遭受暴雨袭击, 造成60000人受灾, 许多村庄被洪水淹没, 大量居民房屋被毁^[12]; 2010年8月7日, 中国甘肃舟曲县发生泥石流, 造成1248人遇难, 496人失踪^[13]; 2011年7月21日, 新疆阿勒泰地区自西向东出现不同程度的降水, 小时降水20 mm以上, 此次极端降水事件造成30000余亩农作物遭受不同程度损坏, 9000余人受灾, 多处山洪泥石流暴发, 直接经济损失近900万元^[14]。

(2) 雪灾。雪灾是指降雪天气过程后, 出现大范围积雪、强降温和大风天气, 对当地人民正常生产、生活造成严重危害的一种气象灾害^[15]。丝绸之路经济带沿线多国曾经遭受雪灾的影响。2008年1月中旬至3月8日, 青藏高原东北部(青海省)发生严重雪灾, 死亡牲畜65.6万头(只), 经济损失达19.1亿元^[16]。

2010年1月,新疆北部频现降雪,造成北疆地区积雪深度普遍在25 cm以上,塔城、阿勒泰积雪深度在30~90 cm;哈巴河、吉木乃等地最大积雪深度均突破冬季历史极值^[17]。2011年1月,印度大部分地区遭遇了寒潮天气,北部地区最低气温降至-23.6℃,高海拔地区近3 m的降雪造成当地交通瘫痪^[18]。

(3) 干旱。联合国教育、科学及文化组织绘制的全球干旱区分布图显示,现今世界上最严重的干旱区位于北非和包括我国西北在内的欧亚内陆,而这一地区正是丝绸之路经济带所穿越的区域,旱灾已成为制约国民经济发展的重要影响因素之一。据联合国的世界气象组织(World Meteorological Organization, WMO)估计,仅1967~1991年的25年间,干旱影响了全球28亿人,其中130万人因直接或间接地受干旱袭击而死亡^[19]。

(iii) 山区地质灾害。在全球气候变暖的趋势下,高山区的极端气温、极端降水表现出频率增加、强度增强的趋势。加之丝绸之路经济带环境脆弱,该带上各类次生自然灾害特别是山区地质灾害(滑坡、泥石流、堰塞湖、溃决洪水、冰川消融等),暴发频度增加,规模不断增大,往往带来巨大的财产损失与人员伤亡。以连接贯通西部丝绸之路南北的关键枢纽-中巴经济走廊为例,仅KKH段(中国新疆喀什到巴基斯坦北部城市塔科特全长1036 km)分布着灾害性崩塌滑坡56处、泥石流155条、雪崩21处、大型堰塞湖2处(Atabad滑坡堰塞湖和帕苏冰碛堰塞湖)以及10条大型冰川^[20]。

1.2 典型自然灾害发展趋势

(i) 地震灾害发展趋势。地震活动特点表现为时间分布上总体呈强(活跃)、弱(平静)交替的起伏波动性变化^[21],根据20年周期的地震活跃期和准300年地震活跃-平静期分析可知:在21世纪上半叶,地震活动仍然频繁;而21世纪的下半叶,地震活动将有可能进入一个比较缓和的平静期。而第39个准300年地震活跃-平静期的地震活跃期部分可能将于2120~2200年间开始^[22]。

(ii) 气象灾害发展趋势。

(1) 降水发展趋势。由于地形地貌、地理位置的不同,丝绸之路经济带上降水发展趋势存在较大的差异。陈发虎等人^[23]基于Climatic Research Unit(CRU)资料指出:在最近80年中,中亚干旱区受西风环流控

制,年降水量整体上表现出增加趋势,其中冬季降水增加趋势明显,达到0.7 mm/10 a,并将其划分为5个降水变化区域:Ⅰ-哈萨克斯坦西区,Ⅱ-哈萨克斯坦东区,Ⅲ-中亚平原区,Ⅳ-吉尔吉斯斯坦区,Ⅴ-伊朗高原区。民政部救灾司在《气候变化国家评估报告:中国气候变化的历史和未来趋势》中指出,近100年和近50年中国年降水量变化趋势不显著,但年代际波动较大。未来南方的大雨日数将显著增加,暴雨天气可能会增多^[24]。全球气候变暖将导致未来50年中国年平均降水量呈增加趋势,预计到2020年,全国年平均降水量将增加2%~3%,到2050年可能增加5%~7%^[25]。

(2) 雪灾发展趋势。相关研究表明:在欧洲一些地方,尽管存在冬季变暖的现象,但是发生严重暴风雪的频次没有降低,极端天气事件在整个冬季仍然时有发生^[26]。中国雪灾分布比较集中,全国有399个雪灾县,在丝绸之路经济带穿越的内蒙古、新疆、青海和西藏4省区,形成3个雪灾多发区,即内蒙古中部、新疆天山以北以及青藏高原东北部。雪灾年际变化波幅大,总体呈增长趋势^[27]。

(3) 干旱发展趋势。丝绸之路经济带沿线国家干旱发展趋势存在较明显差异。青藏高原地区的降水主要来自印度洋的西南季风,湿润季节为5~9月,干旱季节为10月到次年4月,80%以上的降水量集中在5~9月。因此,青藏高原经常会发生大面积的干旱。近年来,受全球气候暖化影响,青藏高原地区干旱日趋严重,给地方经济发展和脆弱的生态平衡系统带来严重危害^[28]。在中亚一些地区如塔吉克斯坦,受全球气候暖化影响,干旱灾害频发,对农业及食品安全造成一定冲击。而其他一些地方如欧洲东部,干旱现象不仅没有增强,反而呈现出减弱的趋势^[29]。

(iii) 山区地质灾害发展趋势。地震与全球气候暖化引起的极端天气气候是导致系列次生自然灾害(冰川消融、泥石流、滑坡等)频繁发生的主要诱因。据波茨坦气候影响研究所(The Potsdam Institute for Climate Impact Research)的报告,如果2050年全球平均温度比工业革命前升高2℃,加速融化的冰川和雪山将导致印度河与雅鲁藏布江的早春径流增大75%^[30]。强烈的地震活动诱发大量的崩塌滑坡,超强降雨、降雪、冰川融水也是滑坡、泥石流的重要诱发因子。所以,随着极端天气气候事件的增加,洪水、滑坡、泥石流、冰湖溃决等次生自然灾害的暴发频率

也会有所增加。

1.3 自然灾害链

灾害链是指原生灾害及其引起的一种或多种次生灾害所形成的灾害系列。在全球气候暖化、地震、极端降水等多因素综合作用下,自然灾害的发生发展过程变得更加复杂、灾害规模越来越大,破坏能力越来越强。丝绸之路经济带上复杂的地形、多变的气候条件形成各种不同类型的灾害链:滑坡-碎屑流-堰塞湖-溃决洪水(2000年发生在中国西藏的易贡滑坡^[31])、滑坡-堰塞湖-溃决洪水(2010年发生在巴基斯坦的Atabad大滑坡^[32])、冰川消融-泥石流-堰塞湖-溃决洪水(1953年发生在中国西藏的古乡沟泥石流^[33])等。灾害链在时间和空间上扩大了危害范围,增加了灾害损失,往往导致巨灾甚至跨境灾害,增加了防灾、救灾的复杂性。

2 重大工程风险

丝绸之路经济带多数工程廊道穿越年轻山系,这里地质构造复杂,地震活跃,地形大幅抬升,高差大且坡度陡,降雨丰沛,冰雪消融明显,发育着多种类型的自然灾害,是自然灾害的集中发育区和高风险区。近年来,气候变化导致的极端天气气候事件频度和强度趋于增加,升温导致的冰雪消融会增大滑坡、泥石流和冰湖溃决风险;强地震趋于活跃,高强度激发灾害链的概率增大;另外,大规模工程建设会改变孕灾环境诱发灾害。在多种因素的共同作用下,未来丝绸之路经济带的灾害风险、特别是重大工程(公路铁路、油气管道、水电工程)的灾害风险将会呈现增大的趋势。

2.1 公路和铁路灾害风险

丝绸之路经济带在建和拟建欧亚、中亚、中巴经济走廊等多条跨境公路和铁路线路。

(i) 欧亚高铁。欧亚高铁规划线路:从伦敦出发,经巴黎、柏林、华沙、基辅,过莫斯科后分成两支,一支入哈萨克斯坦,另一支遥指远东的哈巴罗夫斯克,之后进入中国境内的满洲里。目前,国内段已经开工,境外线路仍在谈判。欧亚高铁地处东欧平原中部,气候属温和大陆性气候,沿线广泛分布季节性冻土,深度范围0.5~2.0 m。寒冷气候造成地基土的反复冻融变形过程,形成冻胀融沉灾害,对铁路的施

工和运营会产生严重危害。

(ii) 中亚高铁。中亚高铁规划线路:从乌鲁木齐出发,经由哈萨克斯坦、乌兹别克斯坦、土库曼斯坦、伊朗、土耳其等国家,最终到达德国。中亚高铁地处欧亚大陆腹地,气候干旱,土壤荒漠化,面临广泛分布的盐碱土、砾石戈壁、沙漠、流动沙丘等灾害,也面临强风、强降雨、大温差等气候灾害。

(iii) 中巴铁路和中巴公路。中巴铁路和中巴公路起点在中国新疆的喀什,终点在巴基斯坦西南港口城市瓜达尔,穿越中巴经济走廊。线路多次穿越印度洋板块与欧亚板块碰撞的板块结合带、次生断裂带、逆冲推覆断层,区域内地质构造复杂,新构造活动剧烈。加之地形陡峭、河谷深切、水流湍急,中巴经济走廊是工程地质条件最差的区域之一,各种灾害最为发育,对现有的中巴公路造成严重损毁,也是未来的中巴铁路的巨大风险。

2.2 油气管线灾害风险

我国西北能源通道已建的有中哈原油管道和中亚ABC输气管道,拟建的有中亚D线。中亚管道在塔吉克斯坦、吉尔吉斯斯坦和中国境内的路由位于欧亚板块与印度板块碰撞形成的帕米尔构造结附近,区域构造变形强烈,地震对管道工程安全和工程造价的影响十分明显。中亚地区的气候条件干旱少雨,部分地区处于高寒区和沙漠区,植被的恢复难度很大。管道工程的建设活动引发的水力侵蚀、风力侵蚀造成扰动区产生大量土体流失,导致管道暴露影响生产安全。特别是拟建的D线,长距离穿越灾害发育区,灾害风险是影响工程投资和工程安全的重要因素。

2.3 水电工程灾害风险

丝绸之路经济带穿越众多高山峡谷区,其主要特点是河谷狭窄、河谷纵坡大、水流湍急、水能资源丰富,蕴藏着巨大的水能资源。但是,高山峡谷区的地质条件复杂、构造活跃、区域性大断裂发育;同时气候恶劣、昼夜温差大、冻融交替循环,受崩塌、滑坡、泥石流等地质灾害的影响非常严重,给水电工程的建设带来巨大的困难。比如,2017年5月,中国和巴基斯坦签署了水电开发的合作协议,在印度河上游修建迪阿莫-巴沙大坝(Diamer-Bhasha Dam)、邦基(Bunji)等5个水电站,总投资额达500亿美元。而印度河上游区内发育大量的巨型滑坡、崩塌、泥石流和山

洪等灾害,冰川泥石流、暴雨泥石流成群分布.这些灾害将是水电开发中面临的主要威胁.

3 重大工程减灾对策与关键科学技术问题

3.1 重大工程的减灾对策

针对丝绸之路经济带广泛存在的自然灾害,中国在重大工程建设过程中需要重视减灾对策.

(1) 开展全面的本底调查,建立丝绸之路经济带孕灾背景和灾害数据库.通过开展丝绸之路经济带自然灾害本底调查与资料收集,分析典型自然灾害形成的气候、水文、地形地貌、地质等环境背景因子,获得经济带上灾害的类型、分布规律、活动特征等,建立灾害数据库.我国科学家建立的中亚地质数据库和中巴喀喇国际公路沿线地质灾害数据库,为整个丝绸之路经济带孕灾背景和灾害数据库建立奠定了一定的基础.

(2) 集成现有的灾害防控技术,研发减灾关键技术.针对丝绸之路经济带上典型的自然灾害活动规律及危害特征,吸收并改进已有的灾害防治对策与技术方法,充分考虑各国在灾害工程治理中防治标准和规范差异性,研发适用于当地实际情况的防灾减灾关键技术.在中巴经济走廊地区,中巴双方科学家对中巴喀喇公路地质灾害风险防控与灾害治理开展了长期的合作研究.已有的灾害防治关键技术可为中巴经济走廊的防灾减灾提供重要的技术支持.

(3) 发展空-天-地立体、全天候的监测预警方法.结合灾害要素及灾情信息获取对多源传感器空-天-地立体协同观测技术的需求,突破国产遥感卫星(GF-1/2/3, ZY-3等)与国外遥感卫星(TerraSAR-X, TanDEM-X, PAZ等)的组网技术和交叉校正技术、导航定位卫星系统的协同技术、多源遥感卫星数据融合技术,构建基于卫星遥感、无人机和地面监测的立体协同观测网络,发展空-天-地立体、全天候的监测预警方法.

(4) 开展全面的灾害风险评估.分析灾害动力演化特性,开展灾害动力演化过程的情景模拟,预测潜在灾害动力学特征、危害方式、影响范围和程度等关键参数,结合承灾体空间分布数据,建立易损性评价方法,进而建立不同时空尺度风险评估技术体系.如中蒙科学家在中蒙跨境地区取得的关于火灾、干旱、荒漠化等灾害的风险评估成果可以为中-蒙-俄经济

走廊的主要自然灾害风险评估提供重要参考.

3.2 重大工程建设中的关键科学技术问题

要做好重大工程建设风险防范,还需要关注以下几个关键科学技术问题.

(1) 重大自然灾害孕育成灾机理.丝绸之路经济带沿线自然灾害类型多样,不同灾种的孕灾环境、成灾条件存在显著差异,深入研究重大自然灾害孕育成灾机理,有助于提升重大自然灾害孕灾与成灾机理认知水平,可为丝绸之路经济带沿线重大工程建设提供理论支撑.

(2) 全球气候变化下丝绸之路经济带区域自然灾害发展趋势和预判.随着全球气候的不断变化,丝绸之路经济带沿线许多次生自然灾害触发条件、暴发规模与频率都发生变化,导致次生自然灾害的影响范围与破坏程度增加.分析和预测全球气候变化下丝绸之路经济带区域自然灾害发展趋势可为重大工程的规划、设计及施工建设提供安全保障.

(3) 内外动力耦合作用下巨灾动力演化过程和风险定量评估.丝绸之路经济带沿线地质构造活跃,气候变化复杂,在内外动力耦合作用下自然灾害的破坏力惊人.研究内外动力耦合作用下巨灾动力演化过程,定量评估灾害风险,划分灾害风险等级,减小自然灾害对重大工程建设的影响,有效降低工程投资风险.

(4) 丝绸之路经济带重大工程风险综合防控机制与关键技术.建立一套适合丝绸之路经济带沿线国情的重大工程风险综合防控机制,包括风险判识和评估方法、风险调控措施、风险管理模式、风险条件下的重大工程安全保障预案,提出重大工程风险综合防控关键技术,有效服务于丝绸之路经济带重大工程建设与安全运营.

(5) 多国协调的巨灾风险防控信息共享与减灾联动机制.灾害的风险管理、治理和救灾涉及不同社会、经济、文化和宗教背景,需要建立多国协调减灾和信息共享机制.同时考虑丝绸之路经济带沿线各国减灾需求与民众减灾意愿的融合,激发民众减灾的主动性和提高防灾减灾意识.构建多国协调的巨灾风险防控信息共享与减灾联动机制,能够有力保障重大工程的海外投资安全.

4 结语

丝绸之路经济带是中国政府在古丝绸之路文化

内涵基础上提出的贯穿欧亚非大陆的国际区域经济合作战略规划。复杂的自然环境使得该区成为地震、洪旱、山地等自然灾害的多发区,丝绸之路经济带建设面临着严峻的自然灾害风险问题。本文在概述丝

绸之路经济带典型自然灾害与发展趋势基础上,分析了重大工程可能遇到的自然灾害风险,提出了防灾减灾的对策与重大工程建设中需要关注的关键科学技术问题。

致谢 本文地图的审图号为:GS(2018)1412号。

参考文献

- Gao Z H. The belt and road development strategy and international disaster reduction cooperation (in Chinese). *Disaster Reduction China*, 2015, (17): 23 [高中华, “一带一路”发展战略与国际减灾合作. 中国减灾, 2015, (17): 23]
- Zhang H G, Hou Z Q. Pattern and process of continent-continent collision orogeny: A case study of the Tethys collisional orogen (in Chinese). *Acta Geol Sin*, 2015, 89: 1539–1559 [张洪瑞, 侯增谦. 大陆碰撞造山样式与过程: 来自特提斯碰撞造山带的实例. 地质学报, 2015, 89: 1539–1559]
- Pan G, Wang L, Li R, et al. Tectonic evolution of the Qinghai-Tibet Plateau. *J Asian Earth Sci*, 2012, 53: 3–14
- Liao Q A, Li D W, Lu L, et al. Paleoproterozoic granitic gneisses of the Dinggye and LhagoiKangri areas from the higher and northern Himalaya, Tibet: Geochronology and implications. *Sci China Ser D-Earth Sci*, 2008, 51: 240–248
- Deng Q D, Cheng S P, Ma J, et al. Seismic activities and earthquake potential in the Tibetan Plateau (in Chinese). *Chin J Geophys*, 2014, 57: 2025–2042 [邓起东, 程绍平, 马冀, 等. 青藏高原地震活动特征及当前地震活动形势. 地球物理学报, 2014, 57: 2025–2042]
- İsmail K, Okamura M, Matsuoka H, et al. Seafloor gas seeps and sediment failures triggered by the August 17, 1999 earthquake in the Eastern part of the Gulf of İzmit, Sea of Marmara, NW Turkey. *Mar Geol*, 2005, 215: 193–214
- Rodkin M V, Mandal P. A possible physical mechanism for the unusually long sequence of seismic activity following the 2001 Bhuj *Mw* 7.7 earthquake, Gujarat, India. *Tectonophysics*, 2012, s536-s537: 101–109
- Stein S, Okal E A. The 2004 Sumatra earthquake and Indian Ocean tsunami: What happened and why? *Visual Geosci*, 2004, 10: 21–26
- Core Writing Team, Pachauri R K, Meyer L A. IPCC, 2014: Climate Change 2014: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Geneva: Intergovernmental Panel on Climate Change, 2014. 151
- Wang Q X, Fan X H, Wang M B. Recent warming amplification over high elevation regions across the globe. *Clim Dyn*, 2014, 43: 87–101
- Li L H. Climate change and its effect on vegetation phenology over the Tibetan Plateau (in Chinese). Master Dissertation. Nanchang: Jiangxi Normal University, 2015. 1–7 [李兰晖. 青藏高原气候变化及其对植被物候的影响. 硕士学位论文. 南昌: 江西师范大学, 2015. 1–7]
- Korup O, Clague J J. Natural hazards, extreme events, and mountain topography. *Quat Sci Rev*, 2009, 28: 977–990
- Hu K H, Ge Y G, Cui P, et al. Preliminary analysis of extra-large-scale debris flow disaster in Zhouqu County of Gansu Province (in Chinese). *J Mount Sci*, 2010, 28: 628–635 [胡凯衡, 葛永刚, 崔鹏, 等. 对甘肃舟曲特大泥石流灾害的初步认识. 山地学报, 2010, 28: 628–635]
- Zhang L M. Study on summer extreme precipitation event in Xinjiang Aletai region in last 50 a (in Chinese). Master Dissertation. Lanzhou: Lanzhou University, 2014. 1–4 [张林梅. 近 50 a 新疆阿勒泰地区夏季极端降水事件的研究. 硕士学位论文. 兰州: 兰州大学, 2014. 1–4]
- Wen K G, Liu G X. China Meteorological Disaster Ceremony (Tibet Volume) (in Chinese). Beijing: China Meteorological Press, 2008 [温克刚, 刘光轩. 中国气象灾害大典(西藏卷). 北京: 气象出版社, 2008]
- Guo X N, Li L, Liu C H, et al. Spatio-temporal distribution of snow disaster in Qinghai Plateau during 1961–2008 (in Chinese). *Adv Clim Change Res*, 2010, 6: 332–337 [郭晓宁, 李林, 刘彩红, 等. 青海高原 1961–2008 年雪灾时空分布特征. 气候变化研究进展, 2010, 6: 332–337]
- Chen H B, Fan X H. Some extreme events of weather, climate and related phenomena in 2010 (in Chinese). *Clim Environ Res*, 2011, 16: 789–804 [陈洪滨, 范学花. 2010 年极端天气和气候事件及其他相关事件的概要回顾. 气候与环境研究, 2011, 16: 789–804]
- Chen H B, Fan X H. Some extreme events of weather, climate and related phenomena in 2011 (in Chinese). *Clim Environ Res*, 2012, 17: 365–380 [陈洪滨, 范学花. 2011 年极端天气和气候事件及其他相关事件的概要回顾. 气候与环境研究, 2012, 17: 365–380]
- Liu X D, Li L, An Z S. Tibetan Plateau uplift and drying in Eurasian interior and northern Africa (in Chinese). *Quat Sci*, 2001, 21: 114–122 [刘晓东, 李力, 安芷生. 青藏高原隆升与欧亚内陆及北非的干旱化. 第四纪研究, 2001, 21: 114–122]

- 20 Zhu Y Y, Yang Z Q, Steve Z, et al. Glacier geo-hazards along China-Pakistan international Karakoram highway (in Chinese). *J Highway Transport Res Devel*, 2014, 31: 51–59 [朱颖彦, 杨志全, Steve Z, 等. 中巴喀喇昆仑公路冰川灾害. *公路交通科技*, 2014, 31: 51–59]
- 21 Liu D F. The prospect of China earthquake disaster and future earthquake trend and countermeasures (in Chinese). In: *China's Disaster Reduction and New Century Development Strategy—The First “China Advanced Seminar on Safety Disaster Reduction and Sustainable Development Strategy in 21st Century”*. Beijing: China Meteorological Press, 1998. 29–31 [刘德富. 我国地震灾害及未来震情趋势与对策展望. 见: 中国减灾与新世纪发展战略——首届“中国 21 世纪安全减灾与可持续发展战略高级研讨会”论文集. 北京: 气象出版社, 1998. 29–31]
- 22 Nie G Z, Gao J G. The natural disasters of China in the 21st century: Earthquake, drought and flood (in Chinese). *Quat Sci*, 2001, 21: 249–261 [聂高众, 高建国. 21 世纪中国的自然灾害发展趋势——以地震和旱涝灾害为例. *第四纪研究*, 2001, 21: 249–261]
- 23 Chen F H, Huang W, Jin L Y, et al. Spatio temporal precipitation variations in the arid Central Asia in the context of global warming. *Sci China Earth Sci*, 2011, 54: 1812–1821 [陈发虎, 黄伟, 靳立亚, 等. 全球变暖背景下中亚干旱区降水变化特征及其空间差异. *中国科学: 地球科学*, 2011, 41: 1647–1657]
- 24 Ding Y H, Ren G Y, Shi G Y, et al. National assessment report of climate change (I): Climate change in China and its future trend (in Chinese). *Adv Clim Change Res*, 2006, 2: 3–8 [丁一汇, 任国玉, 石广玉, 等. 气候变化国家评估报告(I): 中国气候变化的历史和未来趋势. *气候变化研究进展*, 2006, 2: 3–8]
- 25 Jiao Y. Global warming and water security in China (in Chinese). *China Water Resour*, 2008, (2): 10–14 [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. *中国水利*, 2008, (2): 10–14]
- 26 Bednorz E. Synoptic conditions of heavy snowfalls in Europe. *Geogr Ann*, 2013, 95: 67–78
- 27 Hao L, Wang J A, Man S E, et al. Spatio-temporal change of snow disaster and analysis of vulnerability of animal husbandry in China (in Chinese). *J Nat Disaster*, 2002, (4): 42–48 [郝璐, 王静爱, 满苏尔, 等. 中国雪灾时空变化及畜牧业脆弱性分析. *自然灾害学报*, 2002, (4): 42–48]
- 28 Gao M F, Qiu J J. Characteristics and distribution law of major natural disasters in Tibetan Plateau (in Chinese). *J Arid Land Resour Environ*, 2011, 25: 101–106 [高懋芳, 邱建军. 青藏高原主要自然灾害特点及分布规律研究. *干旱区资源与环境*, 2011, 25: 101–106]
- 29 Damberg L, Aghakouchak A. Global trends and patterns of drought from space. *Theor Appl Climatol*, 2014, 117: 441–448
- 30 The Potsdam Institute for Climate Impact Research and Climate Analytics. Turn Down the Heat: Climate Extremes, Regional Impacts, and the Case for Resilience. Washington: The World Bank, 2013. 108
- 31 Yin Y P. Rapid huge landslide characteristics and risk reduction research in Bomi, Yi Gong, Tibet (in Chinese). *Hydrogeol Eng Geol*, 2000, (4): 8–12 [殷跃平. 西藏波密贡高速巨型滑坡特征及减灾研究. *水文地质工程地质*, 2000, (4): 8–12]
- 32 Wang T, Wu S R, Shi J S, et al. A comparative study of typical engineering landslide disasters both in China and abroad (in Chinese). *Geol Bull China*, 2013, 32: 1881–1899 [王涛, 吴树仁, 石菊松, 等. 国内外典型工程滑坡灾害比较. *地质通报*, 2013, 32: 1881–1899]
- 33 Lu A X, Deng X F, Zhao S X, et al. Cause of debris flow in Guxiang Valley in Bomi, Tibet Autonomous Region, 2005 (in Chinese). *J Glaciol Geocryol*, 2006, 28: 956–965 [鲁安新, 邓晓峰, 赵尚学, 等. 2005 年西藏波密古乡沟泥石流暴发成因分析. *冰川冻土*, 2006, 28: 956–965]

Summary for “丝绸之路经济带自然灾害与重大工程风险”

Risks along the Silk Road Economic Belt owing to natural hazards and construction of major projects

Peng Cui^{1,2*}, Kaiheng Hu¹, Huayong Chen¹ & Qiang Zou¹

¹ Key Laboratory of Mountain Hazards and Land Surface Processes, Institute of Mountain Hazards and Environment, Chinese Academy of Sciences, Chengdu 610041, China;

² Chinese Academy of Sciences Center for Excellence in Tibetan Plateau Earth Sciences, Beijing 100101, China

* Corresponding author, E-mail: pengcui@imde.ac.cn

The Belt and Road Initiative was first proposed by Chinese President Xi Jinping during his visit to Kazakhstan in 2013 in order to strengthen economic ties, deepen mutual cooperation, and widen the field of development. The Silk Road Economic Belt has cultural connotations of the ancient Silk Road, a regional cooperation strategy between the Asian and African continents. This belt is important for the promotion of the Chinese economy and the development of economic and trade cooperation between China and countries located along the route. However, the Silk Road Economic Belt passes through the harshest geographical and climatic conditions in the world. The region contains complex geological structures, and is characterized by frequent earthquake activity, large differences in terrain elevation, poor engineering geological conditions, as well as intensive rainfall caused by a monsoon climate. As a result, different kinds of natural disasters, such as earthquakes, geo-hazards, floods, droughts, and dammed lakes, seriously hinder in-depth cooperation and communication between countries located along the Silk Road Economic Belt. This paper presents research on the Silk Road Economic Belt. Primary and secondary natural hazards related to geological events and climate change, such as earthquakes, climatic hazards, and geo-hazards triggered by earthquakes and extreme climatic changes, are analyzed. According to the inventory map of earthquakes, droughts, and geo-hazards, the earthquake-prone areas in this region include Central and Western Asia, the Sino-Pakistan Economic Corridor, the Sino-Mongol-Russia Junction Belt, and the New Euro-Asian Continental Bridge. The flood-prone region is located mainly in Southeastern Asia, in countries such as India, Bangladesh, and Myanmar, while the drought-prone region is located primarily in Inner Asia. The region most susceptible to geo-hazards is the mountainous area around the Tibet Plateau. The tendency of frequent natural hazards to develop and their effects on major projects along the Silk Road Economic Belt are discussed in detail. The results show that seismic activity is likely to be high until approximately 2050 and will become relatively quiescent in the second half of the 21st century. Precipitation will increase by 2%–3% until 2020, and by 5%–7% until 2050. Three high-frequency snow hazard regions are formed, including the central area of Inner Mongolia, the northern region of the Xinjiang Tianshan Range, and the Northeastern Tibet Plateau. Although the inter-annual variability of snow hazards changes significantly, the general trend shows an increase. Drought hazards have become more severe in the Qinghai-Tibet Plateau and have expanded in recent years due to global climate change and other factors. Secondary natural hazards have increased due to the rise in earthquake activity and extreme climatic changes. Strategies for disaster mitigation and natural hazards risk analysis are proposed for major projects such as high-speed railways, oil and gas pipelines, and water and electricity infrastructure. In order to reduce the risk of natural hazards and major construction, six countermeasures are proposed: (1) to perform detailed field investigations and build a database of hazards and related data, including climatic, hydrological, topographical, and geological settings; (2) to integrate engineering protection techniques against natural hazards and develop new mitigation techniques; (3) to develop a space-, sky-, and earth-based real-time monitoring and early warning system; and (4) to comprehensively assess the risk of natural hazards and major project construction. In addition, we face five key scientific and administration challenges regarding the safety of major project construction along the Silk Road Economic Belt: (1) formation mechanisms of large-scale natural hazards; (2) trend and forecast of natural hazards along the Silk Road Economic Belt in the context of climatic change; (3) dynamic and quantitative risk assessment of mega-hazards triggered by the coupling of endogenic and exogenic forces; (4) key techniques and an integrated system for risk reduction for major projects; and (5) coordination mechanism for information sharing and mitigation against mega-hazards among multiple countries.

Silk Road Economic Belt, natural hazards, climate change, risk assessment, disaster prevention and mitigation

doi: 10.1360/N972017-00867