

DOI:10.7522/j.issn.1000-0240.2021.0116

WANG Shijin, WEI Yanqiang, NIU Chunhua, et al. Comprehensive risk management of multiple natural disasters on the Qinghai-Tibet Plateau [J]. Journal of Glaciology and Geocryology, 2021, 43(6):1848–1860. [王世金, 魏彦强, 牛春华, 等. 青藏高原多灾种自然灾害综合风险管理[J]. 冰川冻土, 2021, 43(6):1848–1860.]

青藏高原多灾种自然灾害综合风险管理

王世金^{1,2}, 魏彦强¹, 牛春华³, 张云飞⁴

(1. 中国科学院 西北生态环境资源研究院 冰冻圈科学国家重点实验室/玉龙雪山冰冻圈与可持续发展野外科学观测研究站, 甘肃 兰州 730000; 2. 中国科学院大学 资源环境学院, 北京 100049; 3. 兰州大学 管理学院, 甘肃 兰州 730000; 4. 兰州新区消防救援支队, 甘肃 兰州 730000)

摘要: 青藏高原是中国自然灾害多发、频发重点区域,区内地震、滑坡泥石流、冰湖溃决、雪灾等灾种广泛发育,其灾害分布较广,灾损及其影响巨大,已成为高原经济社会可持续、健康发展的一个重要制约因素。高原自然灾害风险等级具有明显的空间异质性。整体上,地震、滑坡泥石流、冰湖溃决灾害高危区位于高原南部和东部边缘大片区域,该区域也是高原多灾种频发地带,许多路网和管网均处于该频发地段,其潜在危害巨大。青藏高原地形地貌复杂、气候变化空间异质性较强、冰冻圈发育,交通等基础设施广布,经济条件较差,这些因素形成了多灾种自然灾害发育的主要致灾因子和孕灾环境。高原受多致灾因子共同影响,各灾种承灾体多有重叠之处,亟须加强多灾种自然灾害综合管控研究。综合风险管控主导思路是决策者利用多灾种成灾机理研究结果,通过工程和非工程措施,以及各部门联防联控理念,全过程防范、减缓或规避自然灾害综合风险。具体综合风险管控策略如实时监测/观测、信息共享、部委会商、群测群防、防灾教育培训、保险承担、灾前规划。

关键词: 青藏高原; 多灾种; 自然灾害; 风险管理

中图分类号: X43 **文献标志码:** A **文章编号:** 1000-0240(2021)06-1848-13

0 引言

自然灾害是由自然事件或力量为主因造成的生命伤亡和人类社会财产损失的事件^[1]。何谓自然灾害风险?因不同学科背景 and 不同研究角度存在一定差异,导致不同学者和机构对自然灾害风险内涵和表达产生了不同的理解和诠释,但大多数学者从灾害风险系统理论出发,认为自然灾害风险是致灾因子(hazard)、暴露性(exposure)和脆弱性(vulnerability)三者共同作用的结果^[2]。按发生区域,可分为陆地自然灾害与海洋自然灾害。按持续时间,可分为突发性自然灾害和缓发性自然灾害两大类。突发性自然灾害具有发生突然、历时短、爆发力强、成灾快、危害大特点,如地震、火山、崩塌、滑坡、泥石流灾害。缓发性自然灾害是逐步发展而产生的

灾害,其危害程度逐渐加重,涉及范围一般较广,对生态环境影响较大,但不会在瞬间摧毁建筑物和造成人员伤亡,如沙漠化、水土流失、生态灾害等^[3]。其中,部分灾害具有交叉性或链式效应,如降雨、融雪、冰凌、风暴潮等气象气候因素可引起洪流、积水、冰湖溃决、融雪洪水等水事件,进而造成洪涝水文灾害。洪涝水文灾害的发生又会促发滑坡、泥石流等地质灾害的发生^[4]。如灾害链(disaster chain)、级联效应(cascading effect)、多米诺效应(domino effect)、连锁反应(knock-on effect)、诱发效应(triggering effect),都在试图描述“一种灾害引发另一种灾害”的现象,即原生灾害诱发次生灾害的事件^[5]。

中国是世界上因自然灾害死亡人数最多、经济损失最为严重的国家之一^[6]。中国的自然灾害,特别是等级高、强度大的自然灾害,常常可诱发出一

收稿日期: 2020-07-20; 修订日期: 2020-10-13

基金项目: 国家社会科学基金项目“基于公众风险感知动态监测的应急响应信息沟通研究”(17BTQ056); 国家社会科学基金项目“青藏高原多灾种自然灾害综合风险评估及其管理研究”(14BGL137)资助

作者简介: 王世金,研究员,主要从事冰冻圈与可持续发展研究. E-mail: wangshijin@lzb.ac.cn

系列次生自然灾害,从而形成灾害链^[7-9],而青藏高原则是中国地质灾害的频发区和重灾区。青藏高原西起帕米尔高原,东至横断山脉,南自喜马拉雅山脉南缘,北迄昆仑山祁连山北侧,范围为 $25^{\circ}59'37''\sim 39^{\circ}49'33''\text{ N}$, $73^{\circ}29'56''\sim 104^{\circ}40'20''\text{ E}$,边界总长度为11 745.96 km,面积为 $254.23\times 10^4\text{ km}^2$ ^[10]。青藏高原地处亚欧板块和印度板块结合处,第一阶梯与第二阶梯交汇处地势突变,地质构造发育,地壳活动强烈,河流下切严重,山高谷深,干湿季节分明,为地质灾害的发生提供了有利条件,并且伴随着人口急剧增长,不当的生产生活和工程建设活动更是对环境的压力,地震、滑坡、泥石流、地面塌陷或沉降更是高原灾损最为严重的灾种。

总体而言,青藏高原生态脆弱、环境敏感、防灾减灾能力较弱,往往受多种致灾因子影响,各影响因子相互影响,相互促发,进而构成灾害群、灾害链,对高原社会经济系统可持续发展威胁极大。近几十年来,高原成为受全球变化影响最为显著的地区之一。自然变异与脆弱的社会适应性是造成青藏高原乃至中国自然灾害频发的两个主因。自然灾害不仅受控于致灾因子规模大小,而且与承灾区暴露性、脆弱性息息相关。致灾因子较难克服,但通过降低承灾体暴露性、减小承灾区脆弱性则可以减小或规避自然灾害风险或损失。鉴于此,亟须对青藏高原自然灾害孕灾环境进行系统分析,揭示多灾种自然灾害时空特征,进而提出高原多灾种自然灾害综合风险管控策略,以提升高原防灾减灾能力和促进高原经济社会可持续发展。

1 孕灾环境

孕灾环境是指孕育自然灾害的环境要素,包括地质构造背景、地形地貌、岩土性质、植被、气候等自然要素及其交通、基础设施、人口经济等社会要素。自然灾害灾种不同,孕灾环境不同,承灾体各异,危害程度和方式异不同。

青藏高原腹地为夷平面,主要发育多年冻土,其冻土灾害属缓发性自然灾害。喜马拉雅山、冈底斯山、念青唐古拉山、唐古拉山、横断山、昆仑山、喀喇昆仑山、祁连山横贯其中^[11]。青藏高原东南部经由横断山脉连结邻国缅甸和中国云南高原,并且与亚热带湿润的四川盆地比邻,其范围包括邛崃山、大雪山、沙鲁里山、高黎贡山等山脉,以及大渡河、雅砻江、金沙江、澜沧江、怒江等河谷,成为独特的

高山峡谷地貌^[12]。山大沟深的地形地貌,为青藏高原地质灾害发育提供了物源条件和动力条件。

进入21世纪,青藏高原经历了持续且更显著的变暖,而且气候变暖表现出明显的海拔依赖性^[13-15]。2000—2018年期间几乎每年的平均气温均高于1960—2000年间的最高年平均气温^[16-17]。1981—2006年间,高原降水则呈现出较为明显的年际间的波动性。2000—2018年间只有4年的降水量低于青藏高原的降水平均值,2010年之后的8年只有强厄尔尼诺的2015年低于平均值,2016—2018年的降水均远超平均值,达到1961年以来的最高值^[18]。夏季(6—8月)的降水较为集中,占年降水总量的一半以上^[16,18]。

青藏高原地表以发育大面积冰冻圈(地球表层连续分布且具一定厚度的负温圈层,圈内的水体一般处于冻结状态)为其主要特征,是中、低纬度地区冰川、积雪、多年冻土最发育地区^[19]。近些年,青藏高原冰冻圈消退极为显著。冰冻圈的快速变化为冰冻圈事件的发育和灾害的形成提供了物源和水源条件。近期的气候变暖加剧了冰川消融和冻土退化,使得冰湖和热融湖塘出现了数量增多、面积增大趋势。同时,降雨的增加,则加大了滑坡泥石流、冰湖溃决灾害、冻土灾害的发生概率^[20-30]。

青藏铁路纵贯青海、西藏两省区,是沟通青藏高原与内地联系的具有战略意义的通道。然而,当前,除部分地区有铁路和航空外,大部分地区的经济发展基本依赖于公路运输方式,铁路仅联系青藏高原的极少部分地区。青藏高原现代交通体系尚未完善,基础设施总量不足,各种运输方式存在有效衔接,防灾减灾仍然受交通网络限制^[31]。青藏高原边缘地带,以及西藏自治区一江两河地带是人口、路网、农田、基建等承灾体分布最为密集的区域,这区域也是多灾种自然灾害频发区。

特别地,青藏高原地区因海拔较高、年平均温度较低、植被覆盖度低、地上生物量相对较小等,草地的产草量较小、草地承载力普遍较低,因而牲畜空间分布相对较为稀疏,是我国牲畜密度最低的牧区之一。青藏高原地区尤其是广大牧区对畜牧业的依赖度亦然很高。由于青藏高原地区的城市和城镇的数量和规模均比较小,城镇化率较低,畜牧业中对剩余劳动人口吸纳有限,因而其发展总体上处于经济起飞前的农业社会阶段^[32-33]。相对较低的经济社会水平,形成了较弱的自然灾害防范和减缓

能力。

2 灾害影响

青藏高原灾害分布地域广、灾损大,呈频发、群发、多发和并发趋势,因地方财政薄弱,抵御灾害能力极为有限,多灾种自然灾害严重影响至高原居民生命、财产安全,以及交通、基础设施、农牧业生产等,使高原经济社会遭受巨大破坏并潜伏多种威胁。

2.1 地震

地震灾害是中国自然灾害众灾之首,灾损巨大。地震也是滑坡泥石流乃至冰湖溃决灾害发生的重要诱因。青藏高原及其外围往往是地震频发区。1970-01-01—2020-12-31 期间,青藏高原及周

边(74.00°~108.00° E; 24.00°~40.00° N)共发生 ≥ 4.5 级地震事件183起。其中, ≥ 5.0 级地震事件73起,占 ≥ 4.5 级地震事件总数的39.89%。在省域尺度上,青藏高原各省区中, ≥ 5.0 级地震活动水平最高的西藏自治区35次,占青藏高原同震级总数的46.58%。四川省、新疆维吾尔自治区、青海省次之(数据来源于中国地震台网中心)。可以看出,近期青藏高原强震活动水平较高^[34],其频发区主要集中在喜马拉雅板块边界构造带和板内断块区及其次级断块的边界活动构造带^[35]。青藏高原最南部是印度板块与欧亚板块俯冲碰撞形成的喜马拉雅现代造山带,该沿线曾发生过多级8级和8级以上巨大地震,历史最高震级达里氏8.6级(1950年察隅地震)。

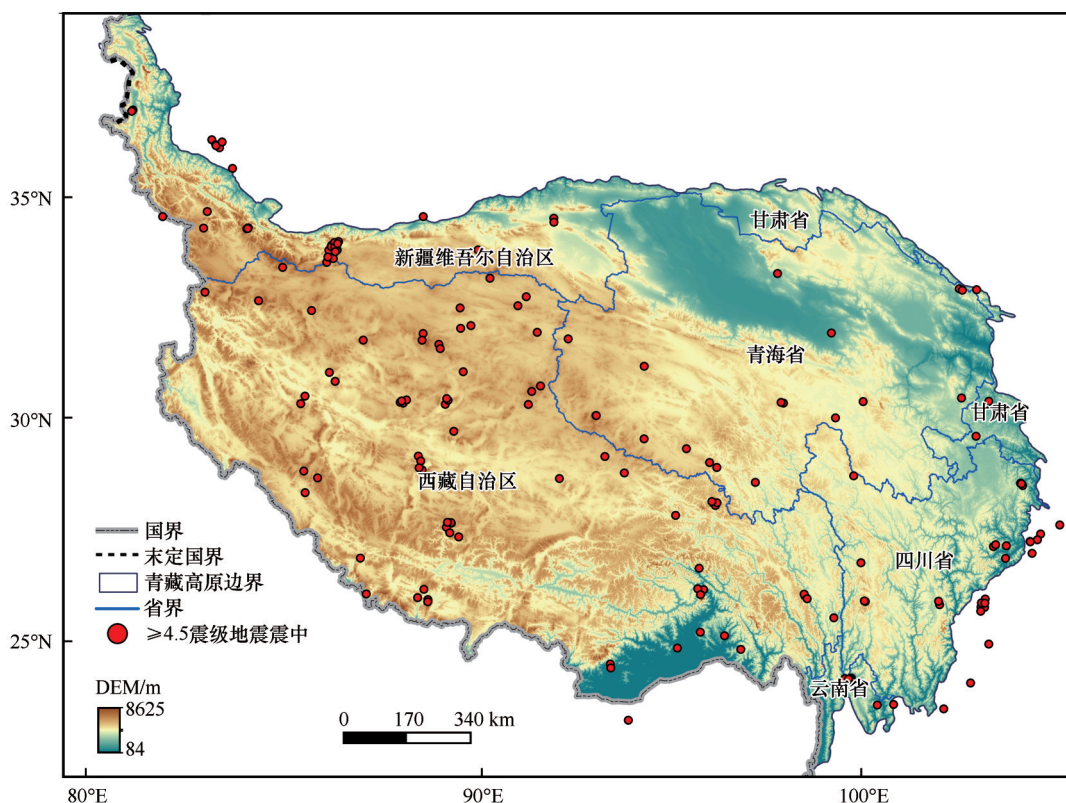


图1 1970-01-01—2020-12-31期间青藏高原及其周边 ≥ 4.5 震级地震震中空间分布(数据来源于中国地震台网中心)

Fig. 1 Spatial distribution of earthquake epicenter of ≥ 4.5 magnitude over the Qinghai-Tibet Plateau and the surrounding during 1970-07-01—2020-12-31 (Data from China Earthquake Networks Center)

2008年5月12日,四川省汶川县发生里氏8级地震,此后地震灾区还发生了上万次余震,最高震级达6.4级。此次地震属浅源地震,是新中国成立以来灾害性最为严重的地震,其伤亡人数仅次于1976年唐山7.8级地震,经济损失和救灾难度之大为历史罕见。2010年4月14日,青海省玉树藏族自治

州玉树市发生7.1级地震,造成2 220人遇难。2015年4月25日,青藏高原喜马拉雅山南坡尼泊尔境内发生里氏8.1级地震,共造成我国西藏自治区26人遇难,856人受伤,大量房屋等基础设施遭受损坏。2021年5月22日,青海果洛藏族自治州玛多县发生7.4级地震,震源深度17千米,是继2008年

“5·12”汶川地震之后、在我国发生震级最高的一次地震。强震地震活动空间分布特征为地震工作布局 and 确定监视预报及预防工作的重点地区提供了重要事实依据。

2.2 滑坡泥石流

滑坡泥石流的发生主要驱动力是强降雨、冰雪洪水和冰湖溃决等,是固态和液态物质共同作用下,在有一定海拔高差的沟谷或坡面形成的历时短,危害大的地质灾害,其类型主要包括沟谷型泥石流和坡面型泥石流,还可以细分为滑坡坝溃决、

工程弃碴溃决、尾矿坝溃决、冰湖坝溃决和堆积体滑塌侵蚀等类型^[36-37]。青藏高原藏东南、川西地区和青海东部地区,尤其是雅鲁藏布江中游地区、三江并流地区、横断山脉地区是滑坡泥石流的频发区,也是高风险区,而人类活动较少的羌塘高原和柴达木盆地等高原腹地滑坡泥石流发生极少,属低危险区(图2)。四川省、云南省和西藏自治区位于青藏高原外围,山体相对高差巨大、地壳活动频繁,加之,降雨集中且强度大,极易诱发山体滑坡灾害,其灾害往往规模大、数量多和影响范围广^[38-39]。

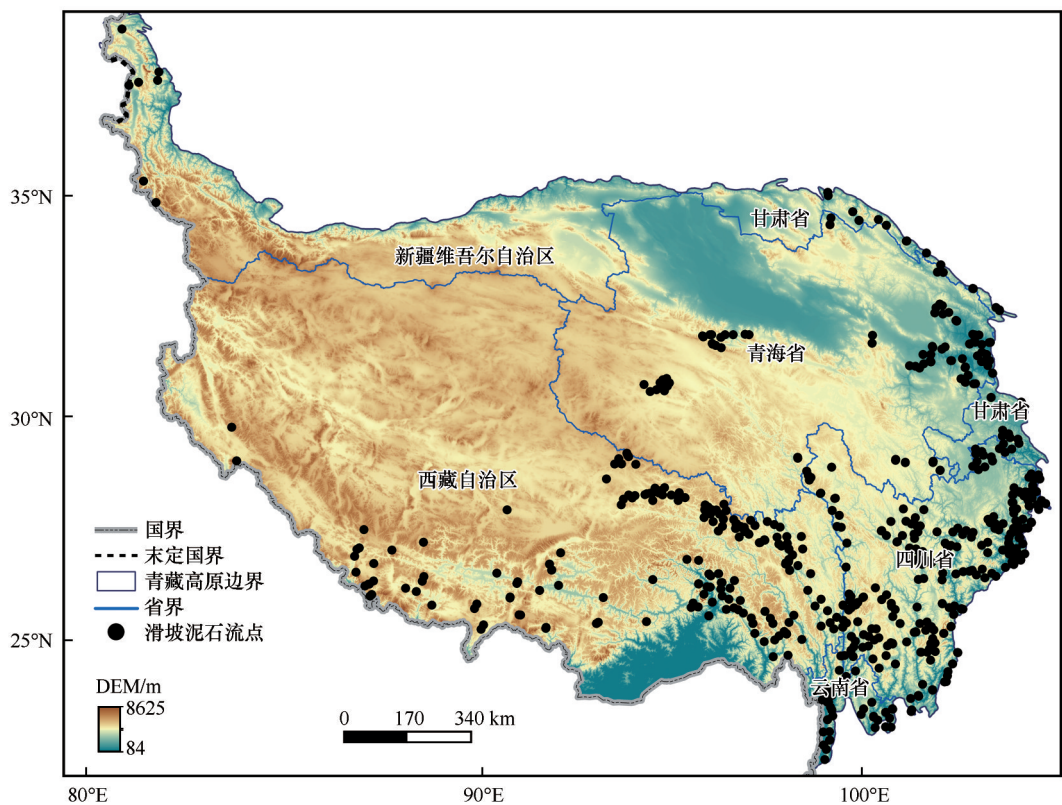


图2 青藏高原滑坡泥石流灾害点空间分布

Fig. 2 Spatial distribution of landslide and debris disaster sites flow in the Qinghai-Tibet Plateau

“青藏高原生态地质环境遥感调查与监测”项目(2003—2010年)在高原开展了261.5 km²地质灾害遥感调查。经分类统计,高原崩塌灾害共计418个,滑坡灾害663个,泥石流灾害2178个。结果表明,地质灾害主要分布于西藏自治区、青海省和四川省境内,其次为新疆自治区、甘肃省和云南省。其中,崩塌和滑坡主要分布在雅鲁藏布江中游地区、横断山脉地区和湟水河流域;而泥石流则主要分布于祁连山、昆仑山、喀喇昆仑山、喜马拉雅山冰雪分布较多区。崩塌和滑坡常发生在公路两侧和河流两岸,特别是河流侵蚀岸;而泥石流大多分布

于山谷与平原交界处谷口附近^[40]。2010年甘肃省舟曲泥石流、2013年四川省汶川七盘沟泥石流、2018年金沙江上游连续发生的白格“10·10”和“11·3”滑坡堵江事件即为典型案例。

2.3 冰湖溃决洪水

冰湖溃决灾害是指在冰川作用区,因冰湖区冰/雪崩、强降雨、冰川跃动、地震等外部或冰碛坝内死冰消融、堤坝管涌扩大等内部因素激发冰碛湖自身状态失衡而溃决,引发溃决洪水或泥石流,危及居民生命、财产、基础设施等经济社会系统,是高原频发灾种。1930s至今,高原发生40余次冰湖溃决灾

害。其中,近60%以上冰湖溃决灾害事件发生在喜马拉雅山东南坡亚热带山地季风气候区的吉隆、聂拉木、亚东南部区域,以及中东部海洋型与大陆型冰川分布交汇带的海洋型冰川区^[41](图3)。过渡带

上的冰碛湖坝体海拔较高,植被稀少。同时,冰川活动性较高,特别是在盛夏至晚秋,冰川常以冰崩或冰滑坡形式落入冰湖,从而激起涌浪,漫过冰碛坝,使堤坝溃决。

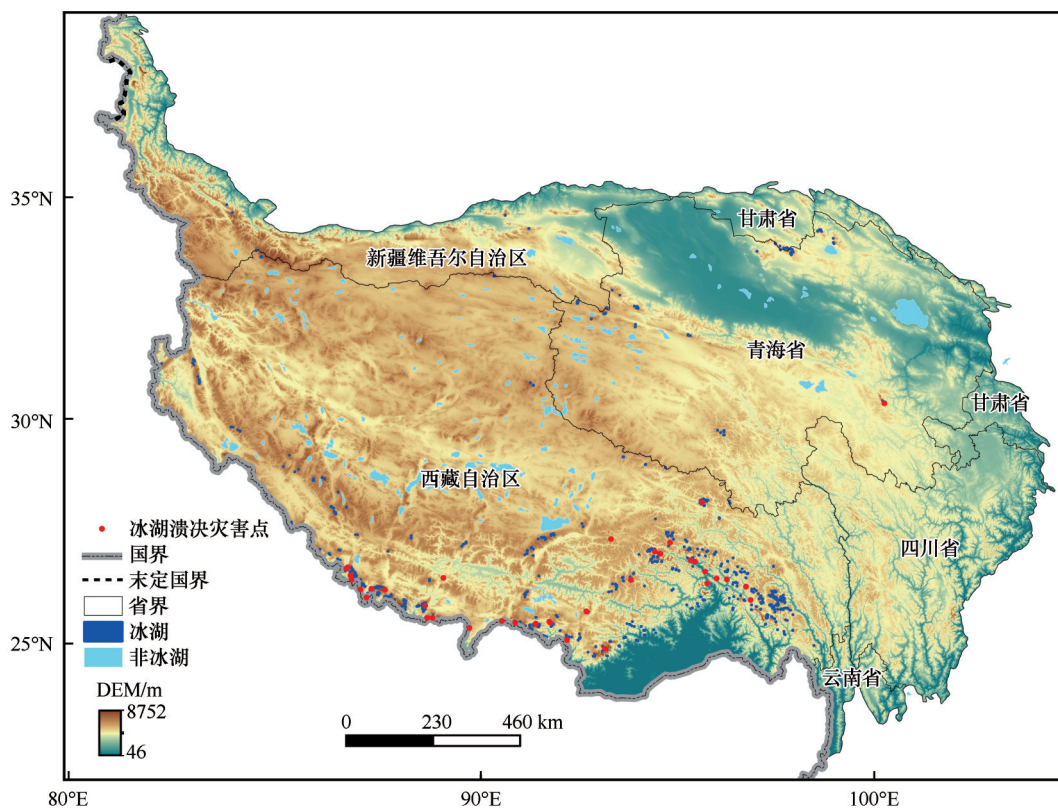


图3 青藏高原潜在危险性冰(碛)湖(蓝色)及其灾害点(红色)空间分布

Fig. 3 Potentially dangerous moraine lakes (blue mark) and disaster sites (red) on the Qinghai-Tibet Plateau

近10年,喜马拉雅山地区新增5次冰湖溃决灾害,分别是折麦错(2009-07-03)、嘎错(2009-07-29)、然则日阿错(2013-07-15)、贡巴通沙错(2016-07-05)、金乌错(2020-06-25)冰湖溃决灾害。其中,2013年7月15日,嘉黎县尼屋乡然则日阿错冰湖发生溃决,形成洪水与冰川泥石流灾害,致使下游14个行政村不同程度受灾,大片农田被淹、房屋冲毁、牲畜冲走,经济损失达2亿元^[26,41]。时隔7年,2020年6月25日嘉黎县尼屋乡金乌措(吉翁措)冰碛湖溃决,此次灾害淹没或冲毁农田382.43亩,从尼屋乡政府通往14村约43.9 km道路基本被冲毁,总投资840万元的已完工45%的依噶景区项目全部被淹没^[42]。自20世纪90年代以来,青藏高原冰川普遍快速退缩,冰湖逐年迅速扩张,一些高危冰湖溃决可能性在增加。可以说,在一定的外因作用下,青藏高原潜在危险性冰碛湖发生溃决洪水乃至泥石流灾害的可能性亦然很大^[43]。

2.4 牧区雪灾

雪灾是指降雪量过大、雪深过厚、积雪期及低温日数持续时间过长,且缺乏饲草料储备和应急状态之下,因饥寒、冷冻所引发人员、牲畜伤亡及其经济环境遭受损失的气象自然灾害。雪灾的发生不仅受降雪量、气温、雪深、积雪日数、草地类型、牧草高度等自然因素的影响,而且与畜群结构、饲草料储备、雪灾准备金、区域经济发展水平等社会因素息息相关^[44]。从高原地区的灾害发生历史来看,在过去的50多年间(1961—2015年),青藏高原规模以上记录的雪灾事件436起(以牲畜死亡60万作为大规模损失,60万以下作为小规模损失的标准),其中大规模的雪灾年份为6年,分别为1974年、1975年、1979年、1982年、1989年、1995年(图4)。近些年,青藏高原雪灾频次增加明显^[45]。从牲畜的死亡规模上来看,虽然近些年的灾害中以小规模灾害频发为主,但总的死亡数量在逐年增加。这也显

示出雪灾在青藏高原地区的高风险性和破坏性。从各个省累计的牲畜总死亡数量来看,青海省历年牲畜死亡规模最大,占青藏高原牲畜死亡总数的67.80%,西藏自治区次之,占总数的25.30%。也就是说,青藏高原的雪灾主要发生在青海省,而四川、甘肃、新疆和云南的灾害损失较小(图4)。在规模以上灾害记载中(死亡1万头牲畜及以上),青海省海西地区的乌兰县发生雪灾次数最高,规模以上灾害有15次之多,另外青海省的玉树、达日、玛沁、那曲、西藏自治区的错美、隆子、错那等县都是雪灾的高发区,给当地的畜牧业造成了很大的

威胁^[45]。

3 综合风险管控

青藏高原对全球变暖贡献微乎其微,却受全球变暖影响极为严重。全球变暖将加剧自然灾害强度与频度,高原多灾种自然灾害受多致灾因子共同影响或作用,以及各灾种之间的相互关联性、链发性及其群发性影响,其单灾种风险管控措施不足以反映高原多灾种综合风险管控策略。高原受多致灾因子共同影响,各灾种承灾体多有重叠之处,亟须加强多灾种自然灾害综合风险管控。

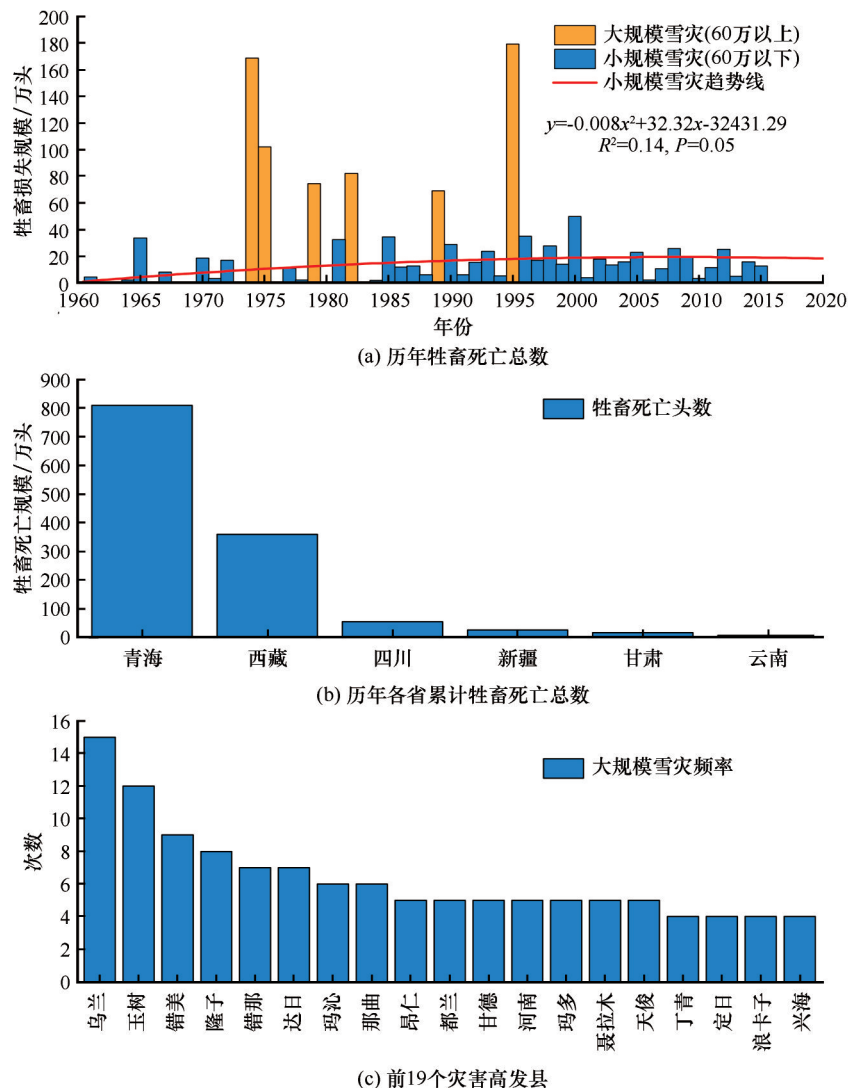


图4 1961—2015年间文献记录的青藏高原规模以上雪灾(有牲畜死亡记录)损失情况:历年牲畜死亡总数(红色为牲畜死亡60万头以上年份,蓝色为损失小于60万头年份)(a);历年各省累计牲畜死亡总数(b);以重大雪灾(死亡1万头牲畜及以上)次数统计的前19个灾害高发县(c)

Fig. 4 Losses caused by snow disaster (recorded with livestock deaths) in the Qinghai-Tibet Plateau during 1961—2015: the annual livestock losses and the trend, note the yellow (large-scale losses) is the annual losses above 600 000 and the blue (small-scale losses) is the annual losses below 600 000 (a); the total losses in each province from 1961 to 2015 (b); the heavy snow disaster (losses above 10 000) times of the top 19 counties from 1961 to 2015 (c)

3.1 管控思路

自然灾害风险管理是根据风险识别、评估结果,利用行政决策、战略、组织运行技能和能力去减缓、降低及处置自然和相关环境灾害影响的全过程,其目标在于以最小成本实现区域最大安全保障。按照灾害风险管理过程,总体上可以分为三部分:风险分析、风险评估、风险管控。其中,风险管控是规避和处置风险的主要方式。风险管控应立足预防,兼顾灾中应急管理。

多灾种自然灾害综合风险管控思路主要是决策者通过加强成灾机理研究,利用工程和非工程措施,进行防范、减缓或规避自然灾害风险的过程。其中,成灾机理研究是防灾减灾的基础,更是提升防灾减灾决策能力的关键。工程和非工程措施在

多灾种自然灾害中的应用则是减轻或消除灾害损失的具体措施^[46-47],二者在防灾减灾中往往相互补充。决策支持能力的提升将有效提高工程-非工程措施在防灾减灾的效应。其中,成灾机理包括致灾事件概率估算、灾害形成机制、灾害链演进过程等。工程措施如:地震灾害避难场所设置、滑坡-泥石流导流坝、防洪堤的修建或加固、冰湖坝体加固与泄洪槽修建、牧区牲畜暖棚修建等。非工程措施如多灾种致灾事件预警或预报、数据共享、多部门协商、群测群防、社区教育与培训、灾害保险、灾前预防与减缓规划等。防灾减灾决策能力包括:多灾种高风险研判能力、各部位或各级政府防灾减灾协同性及其效度、防灾减灾规划落地效果、灾害应急能力、灾后恢复能力等(图5)。

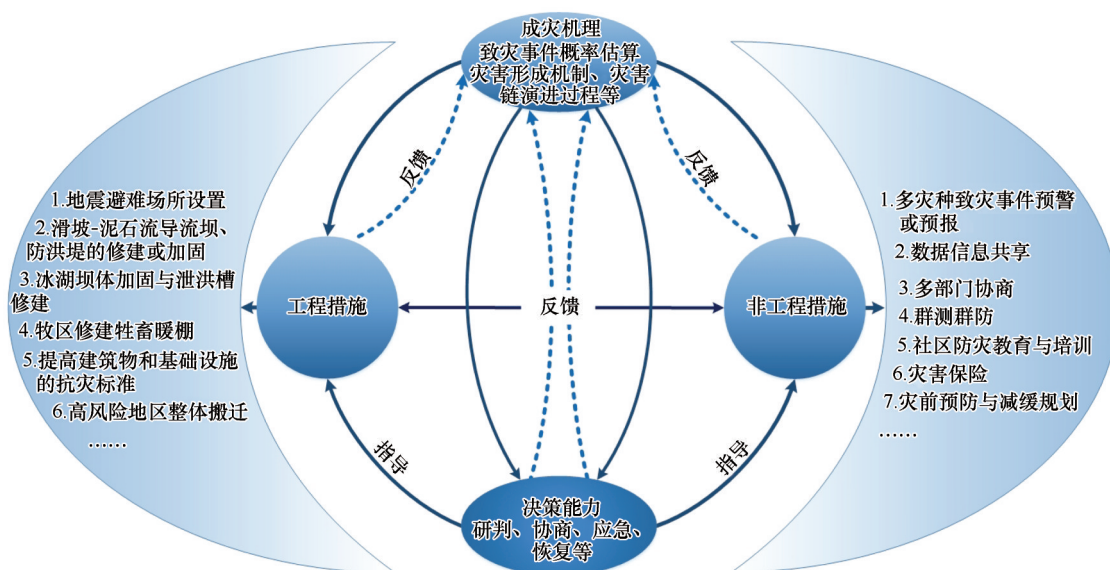


图5 多灾种自然灾害综合风险管控策略

Fig. 5 Comprehensive risk management and control strategies for multi-hazard natural disasters

3.2 管控策略

综合风险工程措施相对具体,本研究主要侧重于非工程策略的提出。其中,非工程防灾减灾策略在一定意义上可以指导工程措施的设置和修建,同时可以提升工程措施的抗灾标准。

3.2.1 实时监测/观测

面对多种自然灾害的预防,最重要的是做好前期风险评估与预测、预报和预警工作,而自然灾害预测、预报和预警的前提则是自然灾害实时监测/观测战略的实施。有效的灾害预报系统包含四个要素:风险知识库、监测预警服务、信息传播与交流功能及响应能力,在许多国家这四个要素均需加

强^[48]。虽然完全避免灾害造成的损失在目前技术水平下几乎是不可能的,但借助遥感卫星、无人机、雷达、通讯等高新技术,通过实时监测/观测战略,建立灾害预警系统则可以降低这方面的损失^[49]。同时,多灾种致灾事件实时监测/观测也是灾害概率、致灾体规模程度估算的基础。

例如,在强降水过程中,要组织气象、水利、国土、交通部门,每周开展雨情分析,根据可能降水的区域、频次、强度,提前做好应对和预防工作,特别要注意大雨、暴雨天气和降雨常发生区域山洪、滑坡、坍塌、泥石流灾害的研判分析和应对。要加快建立天气信息发布和预警体系,把极端天气情况通

过手机、网络、广播电视等及时通告到各部门、各县、各乡镇领导及各村、组干部,并督促他们及时组织群众,采取防范措施。

3.2.2 信息共享

数据信息共享是自然灾害防治及应急工作在政府、非政府、科研部门、社区不同层面的基础性保障。数据包括灾种及其防灾减灾相关资料、信息、知识等,数据共享是灾害风险信息共享的基础,是进行及时、合理防灾减灾的前提,是政府、科研单位和社区共同协作的基础,是一个全方位战略。灾害风险降低工作中要优先考虑数据、信息与工具的共享,以提升风险降低的能力。灾害风险评估的有关数据必须做到全方位共享,以便相关人员制定政策、提升防灾减灾意识^[23]。特别地,灾害风险的降低工作往往需要国家级数据库作为支撑,而这一数据库的建立必须从最基层的行政单位开始完善,且小区域的数据库需要与省级数据库匹配,各省级数据库又必须与国家级数据库相匹配^[48-49]。国家级的数据库为各级行政部门的灾害数据管理工作提供了参考,且高效的信息收集、共享系统有助于人们获取有关灾害影响与可用救灾资源的实时数据。同时,要加强各利益相关者的协作与力量整合,就必须在二者之间建立良好的交流机制,加强真实信息的有效共享。例如,要建立组织有序的跨部门、一体化的自然灾害管理信息系统,就需要有真实有效灾害信息的共享与交流^[50]。

总体上,多灾种自然灾害防灾减灾需要通过各种形式的交流活动在决策者和专家之间、各国和地区之间共同分享,实现资源共享,才能提升多灾种自然灾害风险管理能力。

3.2.3 部委会商

部委会商贯穿于灾害风险防范及其灾害管理的全过程,该过程对于预警预报、数据共享及其应急预案和备灾准备战略的实施具有决定性作用,只有各类灾种自然灾害相关部委达成防灾减灾及其灾害管理一致性意见,其其他战略才能逐一落实或实施^[51]。部委会商其目的在于通过各部门的实时沟通,以明晰多灾种自然灾害的风险源及其风险演变过程。更进一步,部委会商需要一个临时的专门的灾害管理部门,因多灾种自然灾害风险管理相关政策的制定、实施需要一个权威机构在国家层面进行调控,发挥政策协同效应以保证政策有效实行。兵库行动框架也指出须确保灾害风险降低工作在

国家及地方层面的政策优先性,这就势必要求政府部门之间加强沟通交流。

多灾种性质决定了灾害分部门管理造成的职能分散、职能交叉问题严重。因此,相关涉灾部门亟需建立多灾种自然灾情会商制度,发挥本部门的专业资源优势,并同时吸纳其他部门在数据信息资源方面的优势。中国自然灾害管理实施自上而下的行业垂直管理模式。例如,干旱、洪涝、洪水灾害隶属于水利部,热带气旋、低温冷冻雨雪、雪灾、冰雹等属于气象局,风暴潮、海冰、海潮、海浪和海雾灾害属于海洋局,地震、火山喷发灾害属于地震局,滑坡、泥石流、山崩、地陷、地裂等灾害属于自然资源部,农业病虫害属于农业农村部,而林火灾害则属于国家林业和草原局。尽管当前成立了应急管理部,但一些灾害具有链式作用,仍然分属不同部门管理。例如,强降雨属于气象局、引发洪水属于水利部,洪水导致滑坡泥石流则隶属于自然资源部,当成灾时则隶属于应急管理部。这种灾害管理模式优点是有利于发挥各部门专业优势,弊端是造成职能分散与职能交叉使各部门灾害管理方式各异,缺乏横向联系,合作与交流困难^[52]。

因此,仍然有必要强化多灾种自然灾害部委会商机制,使多灾种自然灾害在统一管理、运行体系下得以防范与治理。

3.2.4 群测群防

群测群防是指发动社区群众参与自然灾害的监测、预防、预报工作的一种途径,是中国当前山地灾害社区风险管理的“雏型”。多灾种自然灾害特点决定了村级社区是防御的前沿和主体,如何发挥社区群众力量是防御多灾种自然灾害的关键。要加强自然灾害风险管理决策支持系统与灾害防治计划的建设实施,需通过决策支持系统提升政府、学者与公众间的协作程度。联合国国际减灾战略(UNISDR)(2010—2015)强调“要以组织与协作的角度来理解与减轻灾害风险”,而这种组织与协作是基于公民组织与民间团体的。要建立起当地的联合性组织,各部门要理解自己在防灾减灾工作中的角色。高效的灾害应急响应工作需要通过多级、多维、多部门的协作来完成^[51,53]。

群测群防是多灾种自然灾害有效的监测预报方式,是防灾减灾的最好途径。群测群防体系能对大范围多灾种自然灾害隐患点实施监测和预警。群测群防能进行超前预报,及时发现险情,进行预

警自救,最大限度地减少人员伤亡和灾害损失。根据“属地管理,分级负责”的原则,各县(市)、乡人民政府要进一步完善辖区内多灾种自然灾害群测群防网络。一是加强群众性监测工作,对每一处地质灾害隐患点,均要落实专人进行监测,签订监测责任书^[26]。二是对多灾种自然灾害危险点,要设立警戒标志,划定范围禁止人员通行。三是制定每个隐患点的具体防灾预案,监测中一旦发现险情,及时启动防灾预案。为保证群测群防体系的顺利实施正常运行,提高广大干部群众参与灾害群测群防的积极性,地方财政部门要安排一定的专项经费和灾害监测设备。

3.2.5 防灾教育培训

社区是多灾种自然灾害发生的最前沿阵地,也是多灾种自然灾害风险管理的对象。2003年,联合国人类住区规划署在莫桑比克部分地区开展了名为“学会与洪水共存”的教育训练计划,致力于向社会各界教授诸如“洪水的诱因、洪水灾害风险的种类、防灾减灾技术、应急计划、社区自组织、灾害响应”等方面的知识教育与培训。社区风险管理包括社区全过程参与管理及其社区的防灾减灾、应急处理的宣教与培训。社区的广泛参与有助于政府灾害管理行动实施,也有助于社区对灾害管理措施达成共识。2020年底,共有个3 463社区入选“全国综合减灾示范社区”名录。其中,青藏高原入选85社区。

防灾意识淡薄比灾害更可怕。社区灾前准备工作的充分与否及居民对抗灾装备的熟悉程度对具体的防灾减灾救灾工作有巨大的影响。要充分利用各种手段,运用现有知识、创新能力与教育手段,宣传普及多灾种自然灾害防范知识,增强群众防灾减灾意识;学校、医院、车站、电站及村庄,要组织开展避灾演习,约定逃生号令,明确逃生路线;要加强对村庄灾害预报员的知识培训,明确工作要求,落实待遇,严格奖惩,督促他们积极有效地开展工作;要设立灾害报告电话和网站,鼓励群众发现异常,主动、迅速报告,对报告有功的人员,要给予表扬和奖励。

3.2.6 保险承担

保险是系统性降低自然灾害风险的有效手段之一,当然,保险仅转移了自然灾害灾损,并未降低或消除自然灾害损失。在高收入国家,自然灾害造成的损失中有30%可以得到保险补偿,而在低收入

国家这一比例仅为1%。在运用保险手段降低自然灾害风险时,还需考虑使用相关资金时的机会成本^[54],因为自然灾害保险业具有以下劣势:1)风险区财产所有人很少能够按照自己面临的风险程度来支付保费;2)社区私人保险在灾害高危区有时难以获得;3)尽管一些地区商业灾害保险服务已经开展,但自愿购买率较低;4)在一些环境下保险可以起到降低损失的作用,但是道德风险,即指参与合同的一方所面临的对方可能改变行为而损害到本方利益的风险的存在被认为会增加损失。

保险已成为全球重要的防灾减灾管理方法。公私合作是保险交付和利益相关者能力建设的重要手段。政府要通过合适的政策发挥推动作用,通过适当的监督和评价过程起管理作用,鼓励跨越传统保险效力考虑灾害风险减少和适应的保险效益^[55]。对于贫困社区,非政府组织(NGOs)则可以为保险服务提供和加强以社区为基础的保险方法提供有效手段。当然,国家在制定保险政策时可以为学校、医院等公益性设施的灾后重建提供优惠,当贫困人群无法支付保险费用时,小额信贷和其他一些社会基金可以发挥同等作用^[47]。自1964年新潟发生7.5级地震后,日本即刻颁布了地震保险法,该保险体系建立在政府支持下的再保险,并经历了多次改进和细化,包括修订保险费率^[56]。

3.2.7 灾前规划

灾前规划是防灾减灾的第一道防线,也是预防未来自然灾害风险的纲领性指导方针。在青藏高原,承灾区多处于河谷低洼地带,这一区域往往是居民点、农田耕地、交通通信网络、水利电力工程、城镇村落的集聚区域,也是多灾种自然灾害潜在风险区。当前,亟需开展灾前在建、拟建、改建、扩建工程灾评规划,规划中应标明工程所处地理环境、灾害发生概率、设防标准等,明确哪些区域属于禁止开发区、哪些区域可以进行建筑物建造及工程活动。在此基础上,要提升传统建筑标准、建筑防洪标准、防震设计标准,以应对自然灾害对其的破坏。

灾前规划的前提则是对自然灾害风险进行系统评估。风险评估有助于政策制定者因地制宜地明确风险管理与树立减轻脆弱性的目标^[55]。在灾害风险评价工作中,可以借鉴当前较为成熟的定量、半定量和定性评估方法体系,提升灾害风险识别和评估能力,最大程度地服务于区域防灾减灾规划^[56]。风险评估结果可作为区域发展规划、决策的

基础性参考资料。同时,灾前规划还需结合其他城市规划、土地利用规划、旅游规划等,使多规合一。为使多灾种自然灾害风险管理具有较高有效性,国家有关降低自然灾害风险的规划必须融入分地区、分部门的整体发展规划之中。另外,灾前规划还需考虑社区民众的参与。尽管一些区域做出了有关城市、村镇发展与扩张的总体规划,但是由于制定规划过程中缺乏与村民及一些相关团体的讨论与沟通,在规划具体实施过程中往往不能取得理想的效果^[49]。

4 结论

青藏高原地形、气候条件特殊,其灾害类型具有明显地域特性。喜马拉雅山、念青唐古拉山东中段南部地区以冰湖溃决/泥石流灾害为主,川西阿坝州、甘孜州、甘肃省陇南市、甘南州南部大部分区域以滑坡泥石流灾害为主,成都以北汶川-九寨沟一带则以地震灾害为主,而三江源地区、那曲地区、海北州则以牧区雪灾风险为主,青藏铁路-公路沿线以冻土灾害为主。青藏高原断裂构造十分发育,新构造活动强烈,地层岩性复杂多变,风化剥蚀作用极强,岩体破碎,水汽交换强烈,为自然灾害提供了良好的孕灾条件。高原自然灾害总体上点多面广,表现出了高强度与高频率、突发性、季节性、周期性、群发性和链生性等特点^[57]。高原灾种多样,本文主要论述范围较为广泛的灾种,其他灾种如干旱、洪涝、冰/雪崩、冰川洪水/泥石流、冰雹、风灾、道路结冰、冻土灾害等(从略)^[58-60]。高原自然灾害频发,灾情严重,其潜在危害巨大,应未雨绸缪,及早防范。

面对多种自然灾害综合风险,最重要的是做好前期风险评估与预测、预报和预警工作,而自然灾害预测、预报和预警的前提则是自然灾害实时监测/观测战略的实施。数据信息共享是自然灾害防治及应急工作在政府、非政府、科研部门、社区不同层面的基础性保障。灾害风险降低工作中要优先考虑数据、信息与工具的共享,以提升风险降低能力。多灾种性质决定了灾害分部门管理造成的职能分散、职能交叉等问题。建立多灾种自然灾害灾情会商制度,可发挥多部门、多信息源、多技术与方法优势。多灾种自然灾害特点决定了村级社区是防御的前沿和主体,发挥社区群众力量进行群测群防是防御多灾种自然灾害的关键。同时,需强化防灾减灾

灾基础知识的社区宣传和普及,增强其防灾、避灾、减灾意识和自我保护能力。社区的广泛参与有助于政府灾害管理行动实施,也有助于社区对灾害管理措施达成共识。灾前规划是主动应对和防范自然灾害的措施,做好在建、拟建、改建、扩建工程灾评规划,趋利避害,可提升基础设施防灾减灾标准。多灾种自然灾害具有群发、链发、并发特点,不可能全部预测或预防,而保险承担措施便是灾害风险防范的最后一道防线,该措施旨在最大限度地减小自然灾害风险程度^[61]。

参考文献(References):

- [1] Huang Chongfu. A discussion on basic definition of natural disaster[J]. *Journal of Natural Disasters*, 2009, 18(5): 41-50. [黄崇福. 自然灾害基本定义的探讨[J]. 自然灾害学报, 2009, 18(5): 41-50.]
- [2] Okada N, Tatano H, Hagihara Y, et al. Integrated research on methodological development of urban diagnosis for disaster risk and its applications[J]. *Disaster Prevention Research Institute Annuals*, 2004, 47(C): 1-8.
- [3] Guha-Sapir D, Below R, Hoyois P. EM-DAT: international disaster database[J]. *Catholic University of Louvain: Brussels, Belgium*, 2015, 27: 57-58.
- [4] Chen Yong, Shi Peijun. *Natural disasters*[M]. 2nd. Beijing: Beijing Normal University Press, 2008. [陈颢, 史培军. 自然灾害[M]. 2版. 北京: 北京师范大学出版社, 2008.]
- [5] Shi Peijun, Lü Lili, Wang Ming, et al. Disaster system: disaster cluster, disaster chain and disaster compound[J]. *Journal of Natural Disasters*, 2014, 23(6): 1-12. [史培军, 吕丽莉, 汪明, 等. 灾害系统: 灾害群、灾害链、灾害遭遇[J]. 自然灾害学报, 2014, 23(6): 1-12.]
- [6] Shi Peijun. *Natural disasters in China*[M]. BNUP and Springer Press, 2016.
- [7] Liao Yongfeng, Zhao Fei, Wang Zhiqiang, et al. Spatial pattern analysis of natural disasters in China from 2000 to 2011[J]. *Journal of Catastrophology*, 2013, 28(4): 55-60. [廖永丰, 赵飞, 王志强, 等. 2000—2011年中国自然灾害灾情空间分布格局分析[J]. 灾害学, 2013, 28(4): 55-60.]
- [8] Wu Jidong, Fu Yu, Zhang Jie, et al. Meteorological disaster trend analysis in China: 1949-2013[J]. *Journal of Natural Resources*, 2014, 29(9): 1520-1530. [吴吉东, 傅宇, 张洁, 等. 1949—2013年中国气象灾害灾情变化趋势分析[J]. 自然资源学报, 2014, 29(9): 1520-1530.]
- [9] Guan Yinghui, Zheng Fenli, Zhang Peng, et al. Spatial and temporal changes of meteorological disasters in China during 1950-2013[J]. *Natural Hazards*, 2015, 75(3): 2607-2623.
- [10] Zhang Yili, Li Bingyuan, Zheng Du. Database boundary and area of the Tibetan Plateau (DBATP) [EB/OL]. Global Change Scientific Research Data Publishing System, 2014. DOI: 10.3974/geodb.2014.01.12.V1. [张懿锂, 李炳元, 郑度. 青藏高原范围与界线地理信息系统数据(DBATP)[EB/OL]. 全球变化科学研究数据出版系统, 2014. DOI: 10.3974/geodb.2014.01.12.V1.]
- [11] Zhang Jicheng. Study on comprehensive assessment of eco-environment based on RS/GIS in the Qinghai-Tibet plateau[D]. Changchun: Jilin University, 2008. [张继承. 基于RS/GIS的青藏高原生态环境综合评价研究[D]. 长春: 吉林大学,

2008.]
- [12] You Lianyuan, Yang Jingchun. *Geomorphology of China*[M]. Beijing: Science Press, 2013. [尤联元, 杨景春. 中国地貌[M]. 北京: 科学出版社, 2013.]
- [13] Pepin N, Bradley R S, Diaz H F, et al. Elevation-dependent warming in mountain regions of the world[J]. *Nature Climate Change*, 2015, 5(5): 424-430.
- [14] Liu Xiaodong, Cheng Zhigang, Yan Libin, et al. Elevation dependency of recent and future minimum surface air temperature trends in the Tibetan Plateau and its surroundings[J]. *Global and Planetary Change*, 2009, 68(3): 164-174.
- [15] Wei Yanqiang, Lu Haiyan, Wang Jinniu, et al. Responses of vegetation zones, in the Qinghai-Tibetan Plateau, to climate change and anthropogenic influences over the last 35 years[J]. *Pratacultural Science*, 2019, 36(4): 1163-1176, 927. [魏彦强, 芦海燕, 王金牛, 等. 近35年青藏高原植被带变化对气候变化及人类活动的响应[J]. 草业科学, 2019, 36(4): 1163-1176, 927.]
- [16] Deng Haijun, Pepin N C, Chen Yaning. Changes of snowfall under warming in the Tibetan Plateau[J]. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 2017, 122(14): 7323-7341.
- [17] Climate Change Center, China Meteorological Administration. *Blue book on climate change in China (2019)*[M]. Beijing: Science Press, 2019. [中国气象局气候变化中心. 中国气候变化蓝皮书(2019)[M]. 北京: 科学出版社, 2019.]
- [18] Xu Jianwei, Gao Yanhong, Peng Baofa, et al. Change characteristics of precipitation and its cause during 1979-2016 over the Qinghai-Tibetan Plateau[J]. *Plateau Meteorology*, 2020, 39(2): 234-244. [许建伟, 高艳红, 彭保发, 等. 1979—2016年青藏高原降水的变化特征及成因分析[J]. 高原气象, 2020, 39(2): 234-244.]
- [19] Qin Dahe. *Introduction to Cryosphere Science (revised edition)* [M]. Beijing: Science Press, 2018. [秦大河. 冰冻圈科学概论(修订版)[M]. 北京: 科学出版社, 2018.]
- [20] Yao Tandong, Thompson L, Yang Wei, et al. Different glacier status with atmospheric circulations in Tibetan Plateau and surroundings[J]. *Nature Climate Change*, 2012, 2(9): 663-667.
- [21] Wang Kang, Zhang Tingjun, Mu Cuicui, et al. From the Third Pole to the Arctic: changes and impacts of the climate and cryosphere[J]. *Journal of Glaciology and Geocryology*, 2020, 42(1): 104-123. [王康, 张廷军, 牟翠翠, 等. 从第三极到北极: 气候与冰冻圈变化及其影响[J]. 冰川冻土, 2020, 42(1): 104-123.]
- [22] Ye Qinghua, Cheng Weiming, Zhao Yongli, et al. A review on the research of glacier changes on the Tibetan Plateau by remote sensing technologies[J]. *Journal of Geo-Information Science*, 2016, 18(7): 920-930. [叶庆华, 程维明, 赵永利, 等. 青藏高原冰川变化遥感监测研究综述[J]. 地球信息科学学报, 2016, 18(7): 920-930.]
- [23] Wang Shijin, Wang Zhoufeng. *Comprehensive risk assessment and management of glacial lake outburst flood disaster: a case study of the Himalayas of China* [M]. Beijing: China Social Sciences Press, 2017. [王世金, 汪宙峰. 冰湖溃决灾害综合风险评估与管控: 以中国喜马拉雅山区为例[M]. 北京: 中国社会科学出版社, 2017.]
- [24] Che Tao, Hao Xiaohua, Dai Liyun, et al. Snow cover variation and its impacts over the Qinghai-Tibet plateau[J]. *Bulletin of Chinese Academy of Sciences*, 2019, 34(11): 1247-1253. [车涛, 郝晓华, 戴礼云, 等. 青藏高原积雪变化及其影响[J]. 中国科学院院刊, 2019, 34(11): 1247-1253.]
- [25] Bai Shuying, Shi Jianqiao, Gao Jixi, et al. Analysis of spatial-temporal variations of snow depth over the Qinghai-Tibetan Plateau during 1979—2010[J]. *Journal of Geo-Information Science*, 2014, 16(4): 628-637. [白淑英, 史建桥, 高吉喜, 等. 1979—2010年青藏高原积雪深度时空变化遥感分析[J]. 地球信息科学学报, 2014, 16(4): 628-637.]
- [26] Duan Anmin, Xiao Zhixiang, Wu Guoxiong. Characteristics of climate change over the Tibetan Plateau under the global warming during 1979-2014[J]. *Climate Change Research*, 2016, 12(5): 374-381. [段安民, 肖志祥, 吴国雄. 1979—2014年全球变暖背景下青藏高原气候变化特征[J]. 气候变化研究进展, 2016, 12(5): 374-381.]
- [27] Zhao Lin, Cheng Guodong, Ding Yongjian. Studies on frozen ground of China[J]. *Journal of Geographical Sciences*, 2004, 14(4): 411-416.
- [28] Wu Tonghua, Li Shuxun, Cheng Guodong, et al. Using ground-penetrating radar to detect permafrost degradation in the northern limit of permafrost on the Tibetan Plateau[J]. *Cold Regions Science and Technology*, 2005, 41(3): 211-219.
- [29] Ran Youhua, Li Xin, Cheng Guodong. Climate warming over the past half century has led to thermal degradation of permafrost on the Qinghai - Tibet Plateau[J]. *The Cryosphere*, 2018, 12(2): 595-608.
- [30] Zhao Lin, Hu Guojie, Zou Defu, et al. Permafrost changes and its effects on hydrological processes on Qinghai-Tibet plateau[J]. *Bulletin of Chinese Academy of Sciences*, 2019, 34(11): 1233-1246. [赵林, 胡国杰, 邹德富, 等. 青藏高原多年冻土变化对水文过程的影响[J]. 中国科学院院刊, 2019, 34(11): 1233-1246.]
- [31] Jin Fengjun, Liu Yi. Threshold study on transportation and industrial development in Qinghai-Tibet Plateau[J]. *Journal of Natural Resources*, 2000, 15(4): 363-368. [金凤君, 刘毅. 青藏高原产业发展的交通运输门槛研究[J]. 自然资源学报, 2000, 15(4): 363-368.]
- [32] Development and Reform Commission of Tibet Autonomous Region. *Compilation of national economic and social development plans of Tibet Autonomous Region during the 12th Five Year Plan Period*[M]. Tibet: Development and Reform Commission of Tibet Autonomous Region, 2012. [西藏自治区发展和改革委员会. 西藏自治区“十二五”时期国民经济和社会发展规划汇编[M]. 西藏: 西藏自治区发展和改革委员会, 2012.]
- [33] Zhang Shoucheng. *Compilation of the 12th Five Year Plan for national economic and social development of Qinghai Province* [M]. Xi'ning: Qinghai People's Publishing House, 2012. [张守成. 青海省国民经济和社会发展第十二个五年规划汇编[M]. 西宁: 青海人民出版社, 2012.]
- [34] Deng Qidong, Zhang Peizheng, Ran Yongkang, et al. Basic characteristics of active tectonics in China[J]. *Science in China (D Series)*, 2002, 32(11): 1020-1030. [邓起东, 张培震, 冉勇康, 等. 中国活动构造基本特征[J]. 中国科学(D辑), 2002, 32(11): 1020-1030.]
- [35] Deng Qidong, Cheng Shaoping, Ma Ji, et al. Seismic activities and earthquake potential in the Tibetan Plateau[J]. *Chinese Journal of Geophysics*, 2014, 57(7): 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[J]. 地球物理学报, 2014, 57(7): 2025-2042.]
- [36] Iverson R M. The physics of debris flows[J]. *Reviews of Geophysics*, 1997, 35(3): 245-296.
- [37] Liu Chuanzheng. Genetic types of landslide and debris flow disasters in China[J]. *Geological Review*, 2014, 60(4): 858-

868. [刘传正. 中国崩塌滑坡泥石流灾害成因类型[J]. 地质论评, 2014, 60(4): 858-868.]
- [38] Zhou Fujun. Early intelligence identification methods of stability and fuzzy synthetic prediction of hazard for landslides in rimian hydropower station reservoir[D]. Changchun: Jilin University, 2013. [周福军. 日冕水电站库区滑坡稳定性早期智能判别及危害模糊综合预测研究[D]. 长春: 吉林大学, 2013.]
- [39] Shan Bo. Reservoir bank geological disaster susceptibility assessment and study on zoning of disaster risk in benzilan water-source reservoir area based on 3S technology[D]. Changchun: Jilin University, 2014. [单博. 基于 3S 技术的奔子栏水源地库区岸线地质灾害易发性评价及灾害风险性区划研究[D]. 长春: 吉林大学, 2014.]
- [40] China Aero Geophysical Survey and Remote Sensing Center for Land and Resources. Distribution characteristics of geological hazards in the Qinghai Tibetan Plateau [EB/OL]. <http://www.cgs.gov.cn/xwtzgg/cgkx/28262.htm>, 2014. [中国地调局航遥中心. 青藏高原地质灾害分布特征[EB/OL]. <http://www.cgs.gov.cn/xwtzgg/cgkx/28262.htm>, 2014.]
- [41] Wang Shijin, Qin Dahe, Xiao Cunde. Moraine-dammed lake distribution and outburst flood risk in the Chinese Himalaya [J]. Journal of Glaciology, 2015, 61(225): 115-126.
- [42] Wang Shijin, Yang Yuande, Gong Wenyu, et al. Reason analysis of the Jiwenco glacial lake outburst flood (GLOF) and potential hazard on the Qinghai-Tibetan Plateau[J]. Remote Sensing, 2021, 13(16): 3114.
- [43] Wang Shijin, Che Yanjun, Ma Xinggang. Integrated risk assessment of glacier lake outburst flood (GLOF) disaster over the Qinghai-Tibetan Plateau (QTP)[J]. Landslides, 2020, 17(12): 2849-2863.
- [44] Wang Shijin, Wei Yanqiang, Fang Miao. Integrated risk assessment of snow disaster in the Three Rivers Source Region, China[J]. Acta Prataculturae Sinica, 2014, 23(2): 108-116. [王世金, 魏彦强, 方苗. 青海省三江源牧区雪灾综合风险评估[J]. 草业学报, 2014, 23(2): 108-116.]
- [45] Wang Shijin, Zhou Lanyue, Wei Yanqiang. Integrated risk assessment of snow disaster over the Qinghai-Tibet Plateau [J]. Geomatics, Natural Hazards and Risk, 2019, 10(1): 740-757.
- [46] Wen Jiahong, Shi Yong, Du Shiqiang. Natural disaster risk [M]. Beijing: Science Press, 2018. [温家洪, 石勇, 杜士强. 自然灾害风险分析与管理导论[M]. 北京: 科学出版社, 2018.]
- [47] Wen Jiahong, Wang Shijin. Cryosphere disaster science [M]. Beijing: Science Press, 2020. [温家洪, 王世金. 冰冻圈灾害学[M]. 北京: 科学出版社, 2020.]
- [48] Committee I. A. S. Disaster risk reduction strategies and risk management practices: critical elements for adaptation to climate change [J]. Inter-Agency, 2008: 1-15.
- [49] Pareta K. and Pareta U. Developing a national database framework for natural disaster risk management [C]//Proceedings in ESRI International User Conference, San Diego, California, 2011.
- [50] Wang Qian. Studies on China's natural disaster management system and disaster information sharing model [D]. Beijing: China University of Geosciences, 2010. [王倩. 我国自然灾害管理体制与灾害信息共享模型研究[D]. 北京: 中国地质大学(北京), 2010.]
- [51] Wang Xiujuan. A comparing research on natural disaster management system at home and abroad [D]. Lanzhou: Lanzhou University, 2008. [王秀娟. 国内外自然灾害管理体制比较研究[D]. 兰州: 兰州大学, 2008.]
- [52] Zhang Yongli. Research on the multi-disaster integrated prediction & pre-warning and decision support system [D]. Beijing: Tsinghua University, 2010. [张永利. 多灾种综合预测预警与决策支持系统研究[D]. 北京: 清华大学, 2010.]
- [53] Zhang Jiquan, Okada Norio, Tatano Hirokazu. Integrated natural disaster risk management: comprehensive and integrated model and Chinese strategy choice [J]. Journal of Natural Disasters, 2006, 15(1): 29-37. [张继权, 冈田宪夫, 多多纳裕一. 综合自然灾害风险管理——全面整合的模式与中国的战略选择[J]. 自然灾害学报, 2006, 15(1): 29-37]
- [54] Freeman P, Martin L, Linnerooth-Bayer J, et al. Disaster risk management: national systems for the comprehensive management of disaster risk financial strategies for natural disaster reconstruction [R]. Washington, D. C: Inter-American Development Bank, 2003.
- [55] Prabhakar S, Pereira J, Pulhin J, et al. Effectiveness of insurance for disaster risk reduction and climate change adaptation: Challenges and opportunities [R]. IGES Research Report, Publisher: IGES, 2014.
- [56] Cardona O. Indicators of disaster risk and risk management: Summary report [R]. Washington, D. C: Inter-American Development Bank, 2005.
- [57] Cui Peng, Jia Yang, Su Fenghuan, et al. Natural hazards in Tibetan Plateau and key issue for feature research [J]. Bulletin of Chinese Academy of Sciences, 2017, 32(9): 985-992. [崔鹏, 贾洋, 苏凤环, 等. 青藏高原自然灾害发育现状与未来关注的科学问题[J]. 中国科学院院刊, 2017, 32(9): 985-992.]
- [58] Niu Fujun, Ma Wei, Wu Qingbai. Thermal stability of roadbeds of the Qinghai-Tibet Railway in permafrost regions and the main freezing-thawing hazards [J]. Journal of Earth Sciences and Environment, 2011, 33(2): 196-206. [牛富俊, 马巍, 吴青柏. 青藏铁路主要冻土路基工程热稳定性及主要冻融灾害[J]. 地球科学与环境学报, 2011, 33(2): 196-206.]
- [59] Luo Jing, Niu Fujun, Lin Zhanju, et al. Recent acceleration of thaw slumping in permafrost terrain of Qinghai-Tibet Plateau: an example from the Beiluhe region [J]. Geomorphology, 2019, 341: 79-85.
- [60] Wu Guangjian, Yao Tandong, Wang Weicai, et al. Glacial hazards on Tibetan Plateau and surrounding alpine [J]. Bulletin of the Chinese Academy of Sciences, 2019, 34(11): 1285-1292. [邬光剑, 姚檀栋, 王伟财, 等. 青藏高原及周边地区的冰川灾害[J]. 中国科学院院刊, 2019, 34(11): 1285-1292.]
- [61] Wang Shijin. Comprehensive risk assessment and control of multiple natural disasters in Qinghai-Tibet Plateau [M]. Beijing: Science Press, 2021. [王世金. 青藏高原多灾种自然灾害综合风险评估与管控[M]. 北京: 科学出版社, 2021.]

Comprehensive risk management of multiple natural disasters on the Qinghai-Tibet Plateau

WANG Shijin^{1,2}, WEI Yanqiang¹, NIU Chunhua³, ZHANG Yunfei⁴

(1. State Key Laboratory of Cryospheric Sciences / Yulong Snow Mountain Cryosphere and Sustainable Development Field Science Observation and Research Station, Northwest Institute of Eco-Environment and Resources, Chinese Academy of Sciences, Lanzhou 730000, China; 2. College of Resources and Environment, University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China; 3. School of Management, Lanzhou University, Lanzhou 730000, China; 4. Fire and Rescue Detachment of Lanzhou New Area, Lanzhou 730000, China)

Abstract: The Qinghai-Tibet Plateau (QTP) is a key region with diverse and frequent natural disasters in China. Earthquakes, landslides, mud-rock flows, glacial lake outburst, and snow disasters are widely developed in the region, which have a wide distribution of disasters and huge damage and impact, and have become an important constraint to the sustainable and healthy development of the plateau's economy and society. The risk levels of natural disasters on the QTP have obvious spatial heterogeneity. The high-risk areas for earthquakes, landslides, mudslides, and glacial lake outbursts generally located in a large area on the southern and eastern edge of the QTP as a whole, which is also the area where multiple disasters occur frequently. Many road networks and pipe networks are located in this area, which has great potential hazards. The QTP has complex topography and landforms, strong spatial heterogeneity of climate change, developed cryosphere, extensive transportation and other infrastructures, and poor economic conditions. These factors have formed the main hazard factors and disaster-generating environment for the development of multi-natural disasters. The QTP is affected by multiple disaster-causing factors, and the multi-disaster-bearing bodies overlap. It is urgent to strengthen the comprehensive management and control of multi-natural disaster risks. The dominant idea of comprehensive risk control is that decision makers use the research results of multiple disasters mechanisms to prevent, mitigate or avoid comprehensive risks of multi-natural disasters through engineering and non-engineering measures with the help of the concept of joint prevention and control of various departments. Specific comprehensive risk management and control strategies include real-time monitoring/observation, information sharing, multi-ministerial consultation, mass observation and mass preparedness, education and training of disaster prevention, disaster insurance, and pre-disaster planning.

Key words: Qinghai-Tibet Plateau; multiple natural disasters; natural disasters; risk management

(责任编辑: 方一平; 编辑: 周成林)