

黄明奎, 马璐. 试论异常气候事件对山区工程建设的影响[J]. 灾害学, 2016, 31(1): 17-21. [Huang Mingkui, Ma Lu. Influences of Unusual Climate Events on Mountain Project Construction [J]. Journal of Catastrophology, 2016, 31(1): 17-21.]

试论异常气候事件对山区工程建设的影响^{*}

黄明奎, 马璐

(重庆交通大学 土木工程学院, 重庆 400074)

摘要: 气候异常对山区工程建设与运营已造成严重影响, 同时也给山区工程建设与运营安全提出了新的挑战。分析了降雨、异常温度等异常气候对山区工程建设与运营环境造成的影响, 认为异常气候将改变工程材料的结构与力学参数, 以及工程的服役环境, 而且异常气候对工程的耐久性、受力性能等方面的影响也不可忽视。在此基础上, 从防灾、减灾等方面给出针对当前异常气候背景需要进一步研究的科学问题, 并指出工程建设在设计标准、结构物理力学参数、安全评估系统等应对气候变化方面的对策和建议。

关键词: 异常气候事件; 工程建设; 安全性

中图分类号: X43 **文献标志码:** A **文章编号:** 1000-811X(2016)01-0017-05

doi: 10.3969/j.issn.1000-811X.2016.01.004

随着《联合国气候变化框架公约》的制定完成和《京都协定书》的生效实施, 气候变化已成为各国共同面对的问题^[1]。气候变化使得气温异常波动、寒区冻融循环加剧以及极端气候现象频繁出现, 给工程建设和工程运营带来显著的影响。我国山区具有相对复杂的地质结构, 地质环境脆弱, 工程气候性灾害频发, 已受到国家、工程技术人员的广泛关注。气候变化引起地球表层系统结构的调整, 是工程建设灾害发生的外动力因子。受气候条件的影响, 工程灾害随降雨、温度等气候影响因子的变化发生强弱交替的周期性变化, 而且随着近年来人类工程活动的不断增强, 在强弱交替中工程气候性地质灾害也呈不断增强的趋势, 特别是在极端天气气候事件(异常降雨、异常温度)作用下, 范围更大、危害更为严重的滑坡、泥石流等工程地质灾害^[2]会被诱发。伴随着全球气候变化, “持续强降雨”、“极端强降雨”、“持续干旱后降雨”、“异常温度”等异常气候频繁出现, 由此诱发的工程气候性灾害给山区工程建设与运营带来了巨大的困难。如何应对异常气候变化及其诱发的工程地质灾害对山区工程建设与运营的影响, 已成为我国山区工程建设与运营亟需解决的问题^[3]。为了降低气候异常及气候性工程地质灾害给工程建设与运营造成的损失, 我国近年来特别是2008年南方发生极端冰雪灾害以来, 已投入了大量的人力、物力和财力, 进行了气候异常及气候性工程地质灾害的调查、监测、预警、防治等基础研究。本文针对近年来异常气候频繁出现的问题, 总结和分析了国内外异常气候对工程建

设及地质灾害影响的研究成果, 以此为基础, 分析了异常气候对山区工程建设与运营的影响, 并提出了应对气候异常所应进行的研究方向, 旨在为我国山区工程气候性地质灾害防灾减灾和工程建设与管养部门技术人员提供参考。

1 气候异常对工程建设影响的研究

气候是一个重要的全球性因素, 是决定工程建设及其病害的主要原因。极端气候事件是指在一定时期内, 某一区域或地点发生的出现频率较低或有相当强度的对人类社会有重要影响的天气气候事件^[4]。主要涉及异常温度和异常降雨。极端温度又称骤降或骤升温度, 是极端气候事件的一种情况, 主要指强冷(或强热)空气的侵袭作用。这种温度作用对于交通基础设施的影响有别于季节性长期温度作用, 其特点是持续时间短, 属于强对流性气候现象^[5]。在山区交通基础设施建设中, 当遭遇极端温度作用时, 公路路基以及边坡表面首先对温度变化产生响应, 而内部由于原有的保温性而保持原有特性, 进而在内外表面之间产生了明显的温度梯度。随着时间的推移及热传导的缓慢深入, 内外温差逐渐弱化, 直至路基填土或边坡土体达到静态热平衡。热传导过程造成了公路路基或边坡土体内外达到各自变温极值的“时间差”, 即热传导的“滞后性”。热传导的滞后效应及异常温度骤降或骤升温差的快速变化加大了填土结构及其力学性质变化的可能性, 增加了

^{*} 收稿日期: 2015-08-03 修回日期: 2015-09-12

基金项目: 重庆市教委基金项目资助(2019501129)

作者简介: 黄明奎(1975-), 男, 四川隆昌人, 博士(后), 教授, 主要从事隧道及岩土工程方面的教学研究工作。

E-mail: hmksmile@163.com

工程建设与运营的病害概率。随着极端气候事件的频繁出现,交通基础设施气候性灾害事故在实际工程建设与运营中将出现得越来越频繁。由此一部分科技工作者逐渐开始关注交通基础设施在服役期内抵抗短时温度骤变的耐久性问题。异常降雨指当某区域或某地的降雨严重偏离其平均值,或从统计意义上进行定义,当降雨量超过某个百分位值(目前常用的百分位有第90、95和第99个百分位),则认为这个降雨为该区域和该地的极端降雨^[6]。在正常的年月,旱涝的周期性变化会对山区工程地质灾害造成一定的影响;在气候异常的情况下,由于山区公路地质环境复杂,加之工程建设等人类活动对山体的扰动,为工程灾害频发埋下了潜在的条件。据统计,当日降雨量超过某一阈值,我国山区公路沿线潜在地质灾害将大规模爆发,灾变率大幅提升。因此,异常降雨诱发的工程地质灾害也已受到国内外的重视。

由此可见,环境气候对工程建设的设计、施工、运营已造成不容忽视的影响。如果在山区工程设计和施工中对气候环境异常重视不够,而采用常规的设计和施工方法,在当前异常气候频繁出现的条件下,必然导致工程修筑时和使用后出现质量问题甚至灾害事故,严重影响到施工安全和工程的正常运营,2008年我国南方的极端冰雪灾害就是一个较好的例子。因此,必须正确认识气候异常对山区工程建设的影响,改进山区工程建设的设计和施工方法^[7],积极应对气候异常所带来的问题是当前工程界急需研究和解决的课题。

1.1 异常气候对工程设计的影响研究

早在二十世纪九十年代初,新西兰就开始探讨了气候变化与建筑之间的关系,并讨论了极端气候对新西兰未来建筑性能、设计和标准产生的影响,同时提出了一些应对气候变化的措施,但大部分的研究在本质上是定性的,且研究的气候变化也是已经发生了的^[8];2003年以来,挪威学者总结统计了其气候特点,研究分析了建筑材料、工程结构与气候变化间的复杂关系,确定了气候变化对挪威建筑设计和施工的标准、规范有不可忽略的影响,指出在极端气候频繁出现的条件下,未来的工程建筑物的安全性可能降低^[9];Meloy-sund等^[10-11]分析了挪威现有工程对气候异常产生变化的荷载,提出应对气候变化而产生的异常气候事件,应对现有营运工程加强管养维护,对未来兴建工程提高工程设计安全系数,提高工程对气候变化的应变能力。Grossio等^[12]研究了气候变化所引起的冻融循环变化对已建结构的影响,指出应对异常气候工程建筑养护维修的对策与建议;2006年,Gibson Peters等^[13]研究分析了异常气候变化与工程结构荷载取值、工程结构设计方法之间的影响关系,指出异常气候事件将增大结构的设计荷载,建议改用耐久性设计思想进行设计,以提高现在和未来工程结构的安全性;C H Sanders等^[14]论述了气候变化对重要工程的设计、施工、运营的重要性,论述了洪水、风、暴雨等极端气候因子对工程结构产生的影响,给出了减少气候因子影响的措施,同时分析了政府、行业标准、

保险业、建设方面对气候异常的响应。

在国内,随着近年来异常气候的频繁出现,特别是2008年我国南方极端冰雪灾害出现后,异常气候对工程建设的影响受到了有关政府和科技人员等的重视,工程建设与气候变化的研究工作陆续展开。黄朝迎^[15]等系统研究了气候异常对重大工程建设论证、设计、施工、规划等方面的影响,指出了在重大工程建设中因未考虑气候异常变化所带来的严重后果,提出我国未来重大工程建设项目在规划、设计方案、施工技术 etc 过程应充分考虑气候灾害带来的影响;王唐修等^[16]指出:公路、桥梁等寿命长的基础设施,在设计时必须将预计中的气候变化因素加以考虑,并权衡利弊进行研究分析;杨柳等^[17]研究分析了室外气候环境与室内舒适性的关系,提出了适应气候变化的工程设计方法;左力等^[18]系统的分析了建筑与气候变化的关系,从宏观、中观及微观方面分析气候变化对建筑等工程的影响,提出了工程设计应对气候变化的设计方法;刘晓妮^[19]则以气温、降水为气候变化特征,研究分析了气候变化与工程建设、工程建设与工程建设标准之间的相互作用关系,得出了工程建设标准应对气候变化的适应性变化规律。

由此可见,环境气候对山区工程的设计与施工会造成不容忽视的影响。在工程建设、施工以及运营过程中,必须引入气候异常评价因子,构建气候异常条件下工程安全性评价指标体系,改进山区工程的设计和施工方法,从源头上积极应对气候异常所带来的工程气候性灾害问题。

1.2 异常气候对山区工程灾害的影响研究

近年来,世界灾害性天气气候频繁出现,已给各国工程建设和营运带来了严重的影响。为了适应和减缓气候变化对工程建设和营运的灾害性影响,许多发达国家已开展大量的研究,提出了许多应对气候变化的行之有效的措施和政策框架。

美国由于极端寒冷的气候造成俄亥俄河上几个钢板梁桥和系杆拱桥连接处的焊缝出现裂纹,进而导致现场施工事故的发生,这引起了相关人士对极端气候的关注,并于2002年开展了极端气候对交通工程产生的潜在影响的研究^[20];2006年加拿大滑铁卢大学开展了路面结构设施性能与气候变化的关系研究,得到了路面损坏的频率、严重程度及持续时间与气候变化间的关系的部分经验指标,并应用于气候变化对路面结构潜在影响的评估^[21];2011年德国则进行了交通领域极端气候变化适应性对策研究,提出了不同地区交通领域应对气候变化的适应方法和适应性功能^[22];Brand等^[23]研究分析了气候异常对膨胀土填土路堤的影响,认为特大干旱引起土体水分强烈蒸发流失导致严重收缩开裂,造成膨胀土填土路堤不均匀沉降与破坏,并指出膨胀土区域土体的收缩变形大小,除与该区域旱季干燥温度(如气温、地温)的绝对值有关外,还与旱季干燥持续时间的长短、温差的大小有关。

在国内,目前关于气候变化的影响主要集中在公路、铁路桥梁、水库大坝以及交通运输与安

全中。朱贝宝^[23]介绍了饶阳河特大桥承载在极端寒冷的气候条件下施工所应采取的技术措施; 王景红等^[25]分析了气象因素如降雨、降雪、积水对路基施工、路面施工、桥梁施工以及建成公路使用等方面的影响, 指出在公路设计中, 选线应尽量避免开易受气候变化诱发灾害的不良地质地段, 利用有针对性、及时的中长期天气预报信息, 趋利避害, 合理安排好公路施工时间与工期, 提高公路施工的管理效益并建立有效的气象预警系统, 及时调整施工作业程序或提前做好防范措施, 降低灾害性气候对公路建设造成的影响; 李云峰^[26]则研究了模拟极端环境条件下的混凝土早期特性、裂缝控制以及耐久性试验方法的关键技术, 提出了控制混凝土环境试验相关性能的技术性能指标, 为混凝土等材料在异常气候条件下性能的研究奠定了基础; 王元丰等^[27]分析了暴雨、大风、暴雪、极值气温和温度骤变等极端气候事件对桥梁材料和结构的影响, 得出极端气候事件可增大作用的强度和频度, 改变桥梁的服役环境, 影响桥梁的耐久性和动力性能, 以此为基础, 从桥梁工程材料、结构和地基基础等方面指出应对当前异常气候变化需要进一步研究的科学问题, 并指出桥梁工程在设计、施工和运营养护等应对气候变化方面的对策和建议。王之博等^[28]以全球气候变化为背景, 分析了气候异常引发的超标洪水、冰冻、暴雨等气候性灾害对高原水库大坝设计防洪标准、坝身安全以及坝身材料性能的影响, 提出了大坝在设计、施工、运行等方面应对异常气候的对策和建议。翟雅静等^[29]研究了各种灾害性气候对高速公路运输与安全的影响, 通过与国外交通气象服务的对比分析, 找到了我国交通气象服务存在的不足, 提出了应对灾害性气候的对策和建议; 苏志等^[31]考虑气候条件与重大工程项目的关系, 结合实际工程经验, 对重大工程项目气候可行性论证的内容和技术方法进行了分析和研究, 建立了一套科学的、可行的重大工程项目气候可行性论证的技术方法。李卓等^[32]结合三轴试验, 研究了极端气候条件下不同初始含水率南京附近黏土的冻融强度, 得到了黏土强度特性参数冻融演化特征, 总结了冻融循环冻土损伤特征; 陈静静等^[32]基于 1980-2007 年湖南省不同降雨与地质灾害相关信息的基础上, 引入合理的判别系数分析了致灾的不同降雨类型, 得到了不同降雨类型地质灾害的阈值。在灾害评估方面, 胡宝清等^[33]以孕灾环境、致灾因子、承灾体为基本评价指标, 在分析地质-生态环境系统及其演变的动力学机制的基础上, 通过聚类分析, 揭示了长江流域自然灾害形成机制及其分布规律, 利用图文信息可视化技术, 对长江流域进行了自然灾害分区; 薛凯喜等^[34]从研究山地公路地质灾害诱发因素等方面入手, 开展极端降雨条件西部山地公路地质灾害风险评价和区划工作, 构建了山地公路地质灾害风险评价指标体系。孙蕾等^[35]对沿海城市自然灾害脆弱性进行研究和评价, 构建了沿海城市自然灾害脆弱性评价指标体系, 利用 AHP 法对其权重进行了确定并建立了脆弱性模型; 樊运晓等^[36]

利用模糊综合评判对区域承灾体脆弱性进行综合分析, 建立了区域承灾体脆弱性模糊综合评判模型, 得出区域承灾体脆弱性等级; 王静爱等^[37]采用灰色预测和灾害风险评估相结合对灾害进行预测和评价, 提出了反映城市主要致灾因子的综合自然灾害强度指标, 建立了相应的预测数学模型和评价模型, 并编制了中国城市自然灾害风险评价图; 原国家科委、国家计委、国家经贸委、自然灾害综合研究组等相关部门, 从 1988 年起开展了全国自然灾害的综合研究, 已建成全国自然灾害信息系统, 为全面掌握我国自然灾害情况, 制定综合减灾对策提供了技术支撑^[38]; 北京师范大学对湖南省典型区域的土地利用格局进行了分析, 从孕灾环境、致灾因子和承灾体等方面分析了气候灾害的形成机制, 提出了适应研究区域实际情况的防灾减灾对策, 并建立了湖南省灾害风险评估系统^[39]。

铁路、公路等基础线性工程是山区工程建设的重要工程, 也是关系一个国家或地区国计民生的生命线工程, 其建设和规划要根据当地的气候条件来进行设计和建设。当异常天气气候事件发生后, 能否成灾主要看工程承载体及其附属工程的抗灾能力、承受能力。目前我国在常规的交通基础设施设计、施工、处治病害(包括北方的基础建设的抗冻害、融沉)等方面取得了可喜的成绩, 而且在实际工程中也有许多成功的工程实践与经验, 以青藏铁路、青藏公路等重要寒区工程为依托, 对低温条件下的寒区公路工程进行了系统的研究, 取得了许多重要的成果, 但对异常气候带来的全国特别是南方工程建设灾害问题目前研究较少, 有待于深入研究。在寒区等特殊区域, 刘永智等^[40]通过对现场实体工程的长期监测资料和路基破坏机理分析研究, 讨论了高温多年冻土地区冻土路基的变形特征以及冻土路基变形与工程地质条件的关系, 给出了寒区路基随地温变化而产生的变形过程; 王绍令等^[41]研究了不同冻土类型路段沥青路面下热量收支状况及路基热量年周转率, 找出了导致路基沉陷及产生融化核的根本原因, 并开展了路基内融化核形成演化及其稳定性分析; 程爱君等^[42]在分析了多年冻土区铁路路基冻害的主要类型及其形成的主要原因的基础上, 提出了多年冻土区铁路路基病害综合防治措施; 赵林等^[43]基于过去多年的研究成果, 考虑气候变化影响下青藏公路运营所面临的冻土退化、冻害等问题, 针对不同路段提出路基的初步处理措施; 霍明等^[44]引入模糊数学理论建立了全球气候变暖和人类工程活动影响下的青藏公路多年冻土区病害预警系统; 吴青柏等^[45]利用长期以来积累的研究成果, 提出了主动冷却路基、降低多年冻土温度的寒区筑路工程技术新的设计理念与思想, 以达到降低多年冻土温度、适应气候变化的目的; Huang M K 等^[46]借助现场载荷实验, 研究分析了多年冻土区路基填土的相关力学性质, 为寒区路基工程设计、施工提供新资料。从以上研究分析可知, 目前国内外针对特殊气候条件下在交通基础设施设计、施工、处治病害等方面取得了可喜

的成绩,但气候异常对工程建设的影响研究仅有一定的分散工作,还没有系统研究总结气候异常对山区工程建设、施工、运营以及灾害等方面的影响,需要予以更多的关注和研究。

2 结论与建议

气候的异常变化给工程建设带来了极大的影响,也给已运营工程带来了巨大的考验。随着近年来异常气候频繁出现,在工程建设的设计、施工、运营及养护等过程中我们不能照搬常规条件下现有工程结构的设计、施工、运营和养护经验,也不能仿照我国三北地区低温等特殊气候环境下的工程设计等相关经验,必须寻求针对当前异常气候环境下的新的设计、施工、运营和养护规则。值得关注的笔者认为主要有如下一些问题:

(1) 气候异常条件下工程结构材料物理、力学性能的研究及相关试验方法的制定与完善。

在气候异常条件下,工程材料将受到不同程度的影响。与常规气候条件相比,在异常气候条件下,如持续的高温或低温、持续降雨、高低温交替作用,交通基础设施材料结构及其力学性能将有较大的变化,必然影响工程结构的安全稳定性。以路基结构为例,在山区交通工程中,作为公路、铁路承载体路基是以土体作为填料,目前主要由人工或机械填筑,并压实到现有规范要求的密实度,以承托线路和运输设备动荷载的土工结构物。填土路堤的变形与稳定除受填筑土体的土质结构特性以及填筑条件影响外,还受外界气候环境的影响。对于山区路堤土体,一般为三面临空,极易受到降雨、蒸发和温度等外界环境气候因子的作用,由此形成以路面为顶、两侧路基边坡为腰的同心梯形外界环境气候影响的分布带,填土天然含水率则呈现出由低到高再逐渐降低,容重、饱和度逐渐增大,孔隙比逐渐减小,抗剪强度逐渐增大等特征^[47],反映出外界气候因子对路基填土的影响规律为由表及里、由强到弱,引起路堤和两侧边坡的变形集中在环境气候的强影响层范围内。另外由于路堤填土块径相差较大,土体在异常气候影响下风化和崩解加大路堤结构变化造成力学性质的变化及变形的不均匀,导致路基和两侧边坡难以保持平顺,进而引起填土裂隙增加,在降雨或地表径流渗入等气象环境作用下,路堤土体吸水软化,强度降低,同时水充填裂隙产生的静、动水压力,进一步加大路堤填土裂隙扩展而导致路堤和边坡失稳破坏^[48]。因此开展异常气候条件下工程材料内部结构、物理、力学性能的研究分析对研究分析工程结构的安全与稳定至关重要。

(2) 气候异常条件下工程建设的安全性评估系统。

工程结构安全性评估是对工程结构系统承载能力或强度所存在的潜在危险进行定性或定量分析,判断结构发生危险的可能性及其程度,以确定结构的安全状况。而安全性指标评估体系则是评估的重要基础,异常气候不仅对工程结构材料

内在结构、物理、力学性能影响较大,而且对工程结构的受力状态和变形产生重要影响,而现有的工程建设安全性评估指标或方法是基于常规气候条件下获得的,已不能反映异常气候条件下工程结构内在的承载状况,其评价结果的适用性有待于进一步商榷。因此,开展异常气候条件下工程结构的安全性评估,对异常气候诱发的工程灾害进行风险评价具有重要的现实意义。

(3) 工程建设标准的研究与制订。

工程建设标准(如规范或规程)作为工程建设的技术依据,是规范和引导工程建设及其结果的规范性文件,也必然受到异常气候变化的影响。常规的相关工程建设设计、施工、养护规范(或规程)虽在工程建设设计、施工和养护过程中发挥了重要作用,但当前大量的交通基础设施建设针对异常灾害性气候的危害程度估计不足,灾害风险意识和防灾减灾能力不够,在近年来异常气候条件下已造成了较为严重的问题,受到广泛关注。而当前针对异常气候条件的工程建设相关标准和规范尚未面世,已不能满足气候异常对工程建设带来的气候性灾害影响。以温度对路基影响为例,在正常年份,受到环境温度周期性变化的作用,在大气风化营力作用深度范围内,温度对路基的影响自地表向下逐渐减弱,而在温度异常时,温度的影响深度往往超过了原来的设计标准,改变影响深度范围内材料的内在结构和物理力学性质,给路基、路堑边坡的稳定性带来极大的影响,导致严重的工程问题或事故。因此,急需研究目前气候变化的现状和发展趋势,分析总结异常气候对工程建设与运营的影响,正确评判气候异常条件下山区工程材料、结构的稳定性与危险等级,制定或建立能满足气候异常变化的工程建设标准,为未来应对气候变化发展的工程建设提供技术支撑。

参考文献:

- [1] Climate change 2007, synthesis report [R]. IPCC, 2007.
- [2] 陈剑, 李晓, 杨志法. 三峡库区滑坡的时空分布特征与成因探讨[J]. 工程地质学报, 2005, 13(3): 305-309.
- [3] 殷志强, 孟徽, 连建发, 等. 基于不同时间尺度的地质灾害对气候变化响应研究[J]. 地质论评, 2013, 59(6): 1110-1117.
- [4] 黄丹青, 钱永甫. 我国极端温度事件的定义和趋势分析[J]. 中山大学学报: 自然科学版, 2008, 47(3): 112-116.
- [5] 赵娟, 陈淮, 李天. 极端温差对超长高层建筑的影响[J]. 低温建筑技术, 2004(2): 14-16.
- [6] 张宁. 中国极端气温和降水趋势变化研究[D]. 南京: 南京信息工程大学, 2007.
- [7] 陈度礼. 膨胀土地区公路、构造物、路面病害防治措施简介[J]. 云南交通科技, 1999, 15(2): 11-16.
- [8] Michael Camilleri, Roman Jaques, Nigel Isaacs. Impacts of climate change on building performance in New Zealand [J]. Build Research & Information, 2001, 29(6): 440-450.
- [9] Kim Robert Liso, Guro Aandahi, Siri Eriksen, et al. Preparing for climate change impacts in Norway's built environment [J]. Build Research & Information, 2003, 31(3/4): 200-209.
- [10] Meloyund V L. Increased snow loads and wind actions on existing buildings: reliability of the Norwegian building stock [J]. Journal of structural engineering, 2006, 32: 1813-1820.
- [11] Meloyund, V L, Siem K R, J, et al. Investigation of Snow loads

- and wind actions on existing buildings in Norway[J]. *Snow Engineering*, 2004, 5(2): 113–127.
- [12] Grossi C M, Brimblecombe P, Harris I. Prediction long term freeze-thaw risks on Europe built heritage and archaeological sites in a changing climate[J]. *Science of the total Environment*, 2007, 377(2/3): 273–281.
- [13] Peters G, DiGioia A M, Hendrickson J C, et al. Transmission line reliability: climate change and extreme weather [EB/OL]. [2015–03–08]. www.cmu.edu/electricity.
- [14] Sanders C H, and Phillison M C. UK adaptation strategy and technical measures: the impacts of climate change on buildings [J]. *Build Research & Information*, 2003, 31 (3/4): 210–221.
- [15] 黄朝迎, 孙冷. 试论气候异常对重大工程建设的影响[J]. *地理学报*, 2000, 55(Supp. 1): 5–10.
- [16] 王唐修, 姜鑫民. 谈气候变化影响及对策[J]. *中国能源*, 2002, (12): 38–40.
- [17] 杨柳. 建筑气候分析与设计策略研究[D]. 西安: 西安建筑科技大学, 2003.
- [18] 左力. 适应气候的建筑设计策略及方法研究[D]. 重庆: 重庆大学, 2003.
- [19] 刘晓妮. 气候变化对工程建设标准的影响研究[D]. 哈尔滨: 哈尔滨工业大学, 2011.
- [20] 王毅娟. 从桥梁事故分析中得到的警示[J]. *北京建筑工程学院学报*, 2003, 19(3): 50–54.
- [21] Brian Mills, Susan Tighe, Jean Andrey, et al. Climate change and the performance of pavement infrastructure in southern Canada: Context and case study[C]// *EIC Climate Change Technology*. IEEE, 2006.
- [22] Detlef Van Vuuren, Morna Isaac, Zbigniew W Kundzewicz, et al. The use of scenarios as the basis for combined assessment of climate change mitigation and adaptation[J]. *Global Environmental Change*, 2011(21): 575–591.
- [23] Brand E W. Keynote Paper: Slope instability in tropical areas [C]//Bell. *Proceedings of Sixth International Symposium on Landslides*, 10–14 February 1992. Christchurch: A A Balkema, Rotterdam, 1995: 2031–2051.
- [24] 朱贝宝. 秦沈客运专线饶阳河特大桥承台冬季施工技术[J]. *建筑施工*, 2003, 25(2): 123–125.
- [25] 王景红, 王照泰. 气象因素对公路建设的影响与对策[J]. *陕西气象*, 2004 (3): 42–43.
- [26] 李云峰, 吴胜兴. 现代混凝土结构环境模拟试验室技术[J]. *中国工程科学*, 2005, 7(2): 81–85.
- [27] 王元丰, 韩冰. 极端气候事件对桥梁安全性的影响分析[J]. *土木工程学报*, 2009, 42(3): 76–80.
- [28] 王之博, 张洪海, 袁昆, 等. 极端气候对高原山区水库大坝的安全性影响[J]. *水利科技与经济*, 2014, 20(2): 83–85.
- [29] 翟雅静, 李兴华. 灾害性天气影响下的交通气象服务进展研究[J]. *灾害学*, 2015, 30(2): 144–147.
- [30] 苏志, 李秀存, 周绍毅. 重大建设工程项目气候可行性论证方法研究[J]. *气象研究与应用*, 2009, 30(1): 37–39.
- [31] 李卓, 刘斯宏, 王柳江, 等. 极端气候条件下南京附近黏土冻融强度试验[J]. *河海大学学报: 自然科学版*, 2014, 42(1): 40–44.
- [32] 陈静静, 姚蓉, 文强, 等. 湖南省降雨型地质灾害致灾雨量阈值分析[J]. *灾害学*, 2014, 29(2): 42–47.
- [33] 胡宝清, 刘顺生, 张洪恩, 等. 长江流域地质—生态环境的演化机制及综合自然灾害区划[J]. *自然灾害学报*, 2001, 10(3): 13–19.
- [34] 薛凯喜. 极端降雨诱发山地公路地质灾害风险评价及应用研究[D]. 重庆: 重庆大学, 2011.
- [35] 孙蕾. 沿海城市自然灾害脆弱性评价研究[D]. 上海: 华东师范大学, 2007.
- [36] 樊运晓, 高朋会, 王红娟. 模糊综合评判区域承灾体脆弱性的理论模型[J]. *灾害学*, 2003, 18(3): 20–23.
- [37] 王静爱, 史培军, 王瑛, 等. 基于灾害系统论的《中国自然灾害系统地图集》编制[J]. *自然灾害学报*, 2003, 12(4): 1–8.
- [38] 国家科委国家计委国家经贸委自然灾害综合研究组. 中国自然灾害综合研究的进展[M]. 北京: 气象出版社, 2009.
- [39] 魏华. 灾害信息多元空间数据管理研究[D]. 北京: 中国科学院研究生院, 2006.
- [40] 刘永智, 吴青柏, 张建明, 等. 青藏高原多年冻土地区公路路基变形[J]. *公路*, 2002, 24(1): 10–15.
- [41] 王绍令, 赵林, 李述训, 等. 青藏公路对多年冻土段沥青路面热量平衡及路基稳定性研究[J]. *冰川冻土*, 2001, 23(2): 111–118.
- [42] 程爱君, 叶阳升. 多年冻土地区路基冻害分析及防治措施[J]. *铁道建筑*, 2006(7): 60–61.
- [43] 赵林, 程国栋, 俞祁浩, 等. 气候变化下青藏公路重点路段的冻土危害及其治理对策[J]. *自然杂志*, 2010, 32(1): 9–12.
- [44] 霍明, 陈建兵, 朱东鹏, 等. 青藏公路多年冻土区预警系统研究[J]. *岩土力学*, 2010, 31(1): 331–336.
- [45] 吴青柏, 程国栋, 马巍, 等. 青藏铁路适应气候变化的筑路工程技术[J]. *气候变化研究进展*, 2007, 3(6): 315–321.
- [46] Huang Mingkui. Study on in-situ test on mechanical properties of the particle improved roadbed in permafrost[J]. *Cold Regions Science and Technology*, 2010 (61): 132–135.
- [47] Markus Tuller, Dani Or. Hydraulic functions for swelling soils: pore scale considerations[J]. *Journal of Hydrology*, 2003, 272(1/4): 50–71.
- [48] Thomas H R, Cleall P J. Inclusion of expansive clay behaviour in coupled thermo-hydraulic mechanical models[J]. *Engineering Geology*, 1999, 54(1/2): 93–108.

Influences of Unusual Climate Events on Mountain Project Construction

Huang Mingkui and Ma Lu

(College of Civil Engineering, Chongqing Jiaotong University, Chongqing 400074, China)

Abstract: Unusual climate events have induced severe influences on mountain project construction and operation, and also constitute new challenges to security of mountain project construction and operation. The effects of rainfall, unusual temperatures on environments of mountain project construction and operation are analyzed, and it is concluded that none of these unusual climate events should be ignored in durability and bearing properties because the unusual climate events should change the structure and mechanical parameters of engineering materials, and also change the active environment mountain engineering. Based on the above analysis, to deal with the unusual climate events, the further research scientific problems are put forward from the disaster prevention and mitigation, and countermeasures are proposed for design standards, mechanical parameters, safety evaluation system mountain project construction and operation.

Key words: unusual climate events; project construction; security