

青藏高原冰川冻土变化影响 分析与应对措施*

中国科学院学部

(北京 100864)

关键词 青藏高原,冰川冻土,变化,分析

青藏高原自然环境和生态系统十分独特,对高原区域经济社会发展起着基础保障作用,在我国乃至亚洲的生态与环境安全保障中具有不可替代的重要地位。近 30 年来,全球正经历着以气候变暖为主要特征的显著变化,对青藏高原冰冻圈的影响极为明显。气候变暖导致山地冰川加速消融退缩,引起冰湖溃决和泥石流、滑坡等山地灾害发生频率和危害程度加大,一些湖泊水位上升并淹没周边草场。温度上升也使青藏高原多年冻土发生不同程度的融化,对大型道路和工程建设产生了严重影响,进而对区域生态和环境产生潜在或直接的破坏作用。作为中低纬度最大的冰川冻土区,青藏高原冰川冻土加速退缩,不仅给高原本身的发展带来困难,而且还影响到更大范围的区域气候过程和大气环流运动及区域水循环、水资源条件。因此,采用科学有效的应对措施和策略是支持藏区发展、构建全国稳固的高原生态屏障、促进区域协调可持续发展的需要。

* 本文为咨询报告摘要。咨询项目专家组主要成员:孙鸿烈、施雅风、李文华、程国栋、郑度、袁道先、冯宗炜、秦大河、王浩、丁一汇、姚檀栋、武素功、崔鹏、欧阳华、赵新全、刘晓东、张德铨、王宁练、姚治君、鲁安新、赵林、林振耀、丁永建、康世昌、朱立平、刘时银、张宪洲、陈宁生、张雪芹、冯雪华、刘林山
收稿日期:2009 年 9 月 29 日

1 青藏高原冰川冻土及其变化趋势

以青藏高原为中心的冰川群是中国乃至整个高亚洲冰川的核心。最新中国冰川本底研究表明,青藏高原中国境内有现代冰川 36 793 条,冰川面积 49 873.44 平方公里,占中国冰川总条数的 79.5%,冰川总面积的 84%和冰储量的 81.6%。在高原南缘的喜马拉雅山、西部的喀喇昆仑山和北部的昆仑山西段等山系冰川分布最集中。在青藏高原内,西藏自治区冰川数量最多,有现代冰川 19 594 条、冰川面积 24 893 平方公里、冰储量约 2 142 立方公里。冰川集中分布在喜马拉雅山和念青唐古拉山等 5 座山系。

青藏高原的冰川分为海洋型冰川(占全国冰川面积的 22%)、亚大陆型或亚极地型冰川(占全国冰川面积的 46%)、极大陆型或极地型冰川(占全国冰川面积的 32%)等 3 类。由于全球变暖,青藏高原冰川自上世纪 90 年代以来呈全面、加速退缩趋势。由于高原各区域增温幅度和冰川消融过程的不同,藏东南、珠穆朗玛峰北坡、喀喇昆仑山等山地冰川退缩幅度最大,大陆性气候的青藏高原内陆地区冰川退缩幅度最小。例如 1987—2000 年,喜马拉雅山中段波曲流域冰川面积减少了 20%,冰湖面积增加了 47%。位于希夏邦马峰东侧的嘎龙错湖面积



中国科学院

增加了 104%。长江源各拉丹冬地区 1969—2000 年冰川总面积减少了 1.7%，而黄河阿尼玛卿山地区冰川面积减少了 13.8%，储量减少了 9.8%。

未来青藏高原冰川的消融情况将取决于该区的气温升高幅度。若 2030 年、2070 年和 2100 年气温平均上升分别为 0.8℃（各地区有所差异，升温在 0.4℃—1.2℃间）、2.0℃（1.2℃—2.7℃）和 3℃（2.1℃—4.0℃）的情景下，青藏高原冰川面积将分别减少 12%、28%和 45%。青藏高原东南部海洋性冰川的退缩幅度仍将远大于青藏高原西部的极大陆性冰川。

气候变暖引起青藏高原北部多年冻土面积的减少和冻土分布海拔下界升高，特别是在多年冻土边缘地带的岛状冻土区发生最明显的退化。20 世纪 60—90 年代，冻土下界分布高度平均上升约 70 米（40—80 米）。自 20 世纪 80 年以来，出现季节性冻结深度变浅、季节性冻土厚度变薄和冻结期缩短等退化现象，季节性冻土厚度平均减小 20 厘米。

若预测未来气候变化年增温 0.02℃，则青藏高原多年冻土 50 年后面积将缩小约 8.8%，100 年后将缩小 13.4%。如果升温率每年达 0.052℃，50 年后冻土面积将缩小 13.5%，100 年后缩小将达 46%。那时，青藏高原的多年冻土将仅存于羌塘高原与极高山地。

2 冰川冻土变化对生态与环境的影响及适应对策

青藏高原冰川、冻土退化引发了一系列山地灾害并对青藏高原的资源环境带来极大影响。

(1) 山地冰川消融加速，融水在冰川末端形成冰湖，随着冰融水不断增加，冰湖逐渐扩张，以至溃决，造成洪水和泥石流灾害，

直接威胁到下游地区人民的生命财产安全和交通。念青唐古拉山和喜马拉雅山东段以及川藏公路沿线是西藏境内冰川最为发育的地区，也是我国冰湖溃决最危险的地区。如 1981 年西藏聂拉木的章藏布次仁玛错冰湖溃决形成泥石流灾害，摧毁了 50 公里范围内的中尼公路等交通设施，诱发了多处大滑坡，冲毁曲乡附近的建筑及尼泊尔境内的逊科西水电站，导致尼泊尔 200 多人死亡。

应对措施：急需加强对冰湖的调查，对其安全性进行评估；对有严重溃决危险的冰湖进行监测和防治，可采取工程措施开挖溢洪道主动排水，防止冰川湖水漫顶溃坝造成灾害发生。

(2) 冰川退缩加剧，导致泥石流滑坡灾害进入一个新的活跃期。冰川退缩引发的泥石流滑坡往往构成灾害链，从高山山地到支流沟谷，再到人口密集的河谷，沿途逐级演化发展，灾害规模、破坏能力和危害范围不断扩大，造成巨大的损失。例如，2000 年 4 月 9 日，波密县易贡扎木弄巴发生巨型滑坡堵塞了易贡藏布河，6 月 11 日堰塞坝溃决，水位涨幅达 55.36 米，最大洪峰流量达到每秒 12.4 万立方米，冲毁下游帕隆藏布和雅鲁藏布江沿岸 40 多年来陆续建成的桥梁、道路、通信设施；严重冲刷易贡藏布和帕隆藏布河谷两岸坡脚，形成新的滑坡、崩塌灾害，毁坏大片森林；同时造成下游印度境内的灾害，损失重大。

应对措施：急需加强对泥石流滑坡的预防和治理，首先要开展冰川退缩对泥石流滑坡影响机制的研究，做出泥石流滑坡活动及其潜在灾害的预测。进行全区灾害普查，对重点城镇和基础设施实施灾害监测预警，建立灾害信息共享平台，制定综合减灾规划，研发适合高寒区的减灾技术。

(3) 高原湖面扩大淹没湖边分布的冬春

草场,加剧了高原本来就缺乏冬春草场的困境,致使当地牲畜冬瘦、春死情况加剧,进一步影响到畜牧业的发展。1970—2000年间,青藏高原冰川的退缩使得高原西北部地区的湖泊面积净增加约428.6平方公里,97个湖泊水位上升面积增大。如藏北草原上由冰川融水补给的蓬错湖,由于其源头念青唐古拉山的冰川加速融化,湖面面积增大了46.6平方公里,淹没接羔育幼防抗灾草场基地4处,淹没一般草场41.3平方公里,40户居民被迫搬迁,102户正面临搬迁威胁。又如,由于冰川融水的增加,色林错有可能同其北面的崩则错、纳江错,及其东面的班戈错等湖泊连为一体,进而将影响到拉萨—安多—阿里的交通。

应对措施:对青藏高原湖泊的潜在危害性进行科学评估并对其周围的生态与环境进行本底调查,建立湖泊灾害预警系统。同时,开展草场淹没的应急预案和上游导流工程措施的研究,并制订利用湖泊水资源方案,以有效减缓湖泊上涨带来的负面效应,并惠及当地群众的生产与生活。

(4)冰川退缩严重影响区域生态及社会经济发展。青藏高原分布着亚洲7条最重要的河流,其水资源的变化对下游有极为重要的影响。由于高原冰川融水量有所增加,7大江河源头径流量亦呈现出不稳定的变化。从趋势上看,短期内冰川的持续退缩将使河流水量呈增加态势,亦会加大以冰川融水补给为主河流的不稳定性,且因冰川融水多集中在汛期(消融期),冰川融水与汛期降水叠加将在一定程度地增加区域洪水灾害发生的过程与频率;从长期看,随着冰川的持续退缩,冰川融水将锐减,以冰川融水补给为主的河流将有可能面临逐渐干涸的危险,对区域的经济社会发展及生态与环境将产生严重影响。

应对措施:加强对水资源的保护,逐步建立包括冰川变化、冰川径流、河川径流、湖泊面积与水位以及气候因子等内容的观测网络,采取自动监测和远程数据采集系统相结合的方法,对以不同冰川类型补给为主导的重点河流、湖泊进行系统的、连续性的观测,并逐步形成数据的网络化管理和数据共享机制。同时,借助遥感监测等手段,结合实地观测,对重点湖泊及有可能发生突发性冰川退缩事件的流域进行长期动态监测,建立有效的预警机制,提高应对冰川退缩引发水资源问题的科学决策能力;通过科学规划,有步骤地采取植树、种草、控制放牧等措施,逐步改善以冰川补给为主导的流域的生态系统功能,增加流域的水源涵养能力。

(5)冰川退缩加大了高原特色旅游资源保护与利用的难度。青藏高原山地冰川是大自然赐予人类的珍稀旅游资源,作为我国后备旅游资源,将成为青藏高原新的社会经济增长点。冰川退缩对冰川旅游资源影响突出表现为:一方面,气候变暖导致冰川消融,将降低冰川资源的质量;另一方面,冰川消融引起的灾害,将破坏旅游设施、威胁游客人身安全,造成损失。如位于珠穆朗玛峰北坡的绒布冰川消融呈现加强趋势,加大了自然保护区的生态脆弱性。特别是冰川融水再加上强降雨,将会导致自然保护区雨季突发性洪涝灾害。

应对措施:高度重视绒布冰川的变化趋势,积极防范冰川持续消融可能带来的灾害,科学制定旅游规划,综合评估冰川消融对冰川终碛堤、登山营地和旅游点可能造成的影响。对其它冰川旅游资源也应开展监测和预警,并切实加强冰川的保护。

(6)冻土退化严重影响重大工程效能的发挥,特别危害到青藏高原上的道路。如青藏公路1990年调查结果表明,格尔木—拉



中国科学院

萨段穿越多年冻土区 520 多公里路基、路面破坏累计达 343 公里,病害率高达 66%。1991—2001 年,10 年间青藏公路大多数路段沥青混凝土路面下多年冻土上限都在下降,特别是高温下高含冰量路段,下降幅度达 4 米左右。冻土路基变形还与土体年平均地温和冻土工程条件有关,年平均地温高于 -1.5°C ,路基变形随年平均地温升高而剧烈变化,冻土路基变形主要发生于高含冰量路段,含冰量越大,融化下沉变形量也越大。未来 100 年内,若气温持续上升,稳定带冻土将向不稳定带转变,分界线将向高海拔地带迁移,青藏公路等道路工程病害将会更加严重。

应对措施:考虑到气候变暖和人类工程活动影响的加强,为保障青藏公路的畅通,对公路沿线不同类型路段的多年冻土路基应采取不同处理方式。在基本稳定路段,应在路基下铺设隔热层以减小地表能量的向下传输,或铺设沙石路面以增大地面反射和地面蒸发散热;在准稳定路段,应采用片石通风路基、碎片石护道,以有效降低路基地温,保护下伏的多年冻土;在不稳定路段,采用对路基进行强迫冷却或采用陆面桥的形

式进行道路建设;在极不稳定路段,对于冻土厚度相对较薄的地区,应在路基填筑前对冻土进行融化并清干冻土融化的水份,然后进行道路施工,对于多年冻土厚度相对较大(>10 米)的地段,宜采用旱桥架空的方式以确保路基稳定。

为有效应对冰川和冻土退化导致的山地灾害和社会经济负面影响,支撑和保障上述措施得到有力实施,建议国家增大对青藏高原有关省区(尤其是西藏自治区)在人力、物力和财力等方面的支持力度,以建立和完善冰湖、泥石流滑坡和冻土退化的灾害实时综合监测预警系统。主要包括:对全区冰川冻土退化灾害进行详查,分析评估灾害的类别和程度,确定重点监测区域、制定监测预警标准及统一监测预警技术方法;购置监测预警系统相关的硬件设施,科学合理地设置与安装,发挥监测功能;招募监测预警系统工作人员,进行专业培训,正常运行监测预警系统;建立监测预警系统管理体制,并制定相关的法律确保监测预警系统的有效运行。同时,对冰湖、泥石流滑坡和冻土退化导致的灾害防治措施开展研究并做出示范。