

川藏公路南线典型冰湖及其溃决危险性评价

郭国和¹, 程尊兰², 吴国雄¹, 党超², 刘晶晶²

(1. 重庆交通大学 土木建筑学院, 重庆 400074; 2. 中国科学院 成都山地灾害与环境研究所, 成都 610041)

摘 要: 川藏公路南线(西藏境内)帕隆藏布流域内分布有大量的冰湖, 随着全球气候变暖和冰川退缩, 冰湖溃决及由此引发的其它次生灾害对西藏地区经济社会的可持续发展产生了很大的危害。在前人研究和分析 Landsat TM 卫星遥感资料的基础上, 再进行川藏公路南线典型冰湖现场调查、访问、勘测, 分析了典型冰湖的形态特征和影响冰湖溃决的主导因素, 重点探讨了典型冰湖的溢流状态、冰碛堤的稳定性、冰川的活动规律及其影响, 最后得出川藏公路南线典型冰湖溃决的危险性评价, 即光谢错溃决危险性较大, 一旦溃决将给下游地区带来巨大的灾难; 多依错溃决的危险性较小。基于危险性评价结果, 建议米堆沟下游采取相应的应对措施以减轻冰湖溃决泥石流的危害。

关键词: 川藏公路南线; 冰湖; 溃决; 危险性评价

中图分类号: X171.1; U412

文献标识码: A

文章编号: 1005-3409(2009)02-0050-06

Risk Assessment of Glacial Lake Outburst Along the South Section of Sichuan-Tibet Highway

GUO Guo-he¹, CHENG Zun-lan², WU Guo-xiong¹, DANG Chao², LIU Jing-jing²

(1. College of Civil Engineering and Architecture, Chongqing Jiaotong University, Chongqing 400074, China;

2. Institute of Mountain Hazards and Environment, Chinese Academy of Sciences, Chengdu 610041, China)

Abstract: There are a number of glacial lakes in Palongcangbu basin along the south section of the Sichuan-Tibet highway (in Tibet). Due to global warming and increasing melting of glaciers in recent decades, glacial lake outbursts and the resulting hazards have caused catastrophic disasters. Based on the previous researches, Landsat TM satellite remote sensing images, and field surveys, several typical glacial lakes have been studied in details. Focus is put on the major factors impacting the dam-break, including the geometric shape of the lake, the overflow regime, the stability of ice moraine-dam, and the activity of glaciers. It is concluded that Guangxie lake is of the highest potential of break to cause huge disaster, and Duoyi lake is the next. Based on the risk assessment, it is proposed to take countermeasures to mitigate the debris flow harm of Midui gully.

Key words: south section of Sichuan-Tibet highway; glacial lake; outburst; risk assessment

西藏是冰湖溃决的高危地区, 据统计, 喜马拉雅山地区近 50 a 来至少已有 20 余次较大的冰湖溃决事件, 并主要以终碛湖溃决为主^[1]。近 20 a 来, 川藏公路南线然乌至培龙段造成公路断道 20~270 d 的大规模冰湖溃决泥石流 4 次, 冰湖溃决后又形成泥石流坝溃决 3 次, 数量虽不多, 但由于其规模巨大, 不仅一次性危害非常惨重, 同时冰湖溃决泥石流堵江形成的堵塞坝再次溃决造成的强劲、高水头的溃决洪水(涌波), 不仅荡净了公路, 还破坏了山体稳定, 改变了河道主流流势。这样公路即使修复后, 内边坡的滑坡

(含崩塌、坍塌、溜沙和滚石)活动和路基水毁的危害便拉开了序幕, 这种“后遗症”长期严重影响着路段畅通, 所造成公路累积断道的天数并不少于冰湖溃决泥石流所造成的一次性断道。例如, 1988 年光谢错溃决^[2]的突发洪水激发了流量为 1 021.4 m³/s 的大型泥石流, 局部堵塞了河道形成高 7 m 左右的潜坝, 使对岸水位升高 10 m 多, 并沿河下泄捣毁路基 42 km, 其中 21.6 km 公路全毁, 中断交通 200 d。泥石流还冲毁了大小桥梁 18 座、民房 51 间, 死难 5 人, 总经济损失达亿元, 足见危害之严重。

* 收稿日期: 2008-07-15

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(40771024); 交通部西部交通建设科技项目(200631879284)

作者简介: 郭国和(1981-), 男, 河南南阳人, 硕士研究生, 主要从事道路灾害治理技术研究。E-mail: ggh401@126.com

为了避免或减轻冰湖溃决的危害, 本文试图从分析川藏公路南线然乌至培龙段典型冰湖形态特征入手, 揭示冰湖溃决的机理及其影响因素, 对冰湖溃决的危险性做出初步预测和建议, 为西藏地区今后公路整改及防灾减灾提供参考。

1 自然地理概况

川藏公路南线然乌至培龙段北依高耸的念青唐古拉山, 山上冰川发育, 冰湖棋布。据初步统计, 该路段有冰湖约 120 个(包括支流内的冰湖)。其所处的帕隆藏布流域是印度洋板块和亚欧板块碰撞挤压作用的接触地区, 地质构造复杂, 地层分布特殊, 新构造运动十分强烈, 地震活动频繁。流域内河流深切, 山坡陡峻, 相对高差在 2 000~ 3 000 m, 山坡坡度一般在 30° 以上, 最大可达 80°。该区域冰湖所处位置海拔高, 山坡和河谷比降大, 加之岩石破碎, 风化强烈, 松散堆积物尤其冰川和冰水堆积物厚度大, 分布广, 其灾害更易扩展。这为冰湖溃决泥石流流的形成提供了水源、较大的河流比降和沿途松散物质等条件。

同时, 帕隆藏布流域受印度洋季风影响, 波密一带年降水超过 900 mm, 然乌一带年降水超过 700 mm^[3]。充沛的降水使得局地性暴雨较多, 冰雪融

水丰沛。在索通以下年平均气温在 10~ 12℃ 以上, 由于帕隆藏布干流地势的变化, 越往下游, 温度越高; 反之, 随着海拔高度增高, 年平均气温降低。而整个流域内, 从出口至源头, 气候从暖温带逐渐过渡到寒温带, 最后到常年 0℃ 以下的高山冰雪区。海拔 4 100 m 左右是年平均气温 0℃ 等值线的通过带^[3]。流域内绝大部分山地常年处在寒冻风化剥蚀和冰雪作用之下。

帕隆藏布下游, 由于水热条件优越, 发育了河谷亚热带北缘的常绿阔叶林。在通麦至培龙乡一带为常绿通麦栎林。该路段所处的河谷下部为云南松、乔松和油松林, 上部多为云冷杉林。中坝及然乌湖一带的阳坡多高山栎林。分布面积最大的是各种高山灌丛草甸和草原稀疏植被。流域内河谷森林占全流域面积的 12. 2%; 现代冰川和高山灌丛草甸草原占 87. 4%; 农耕地仅占 0. 2%; 其余 0. 2% 为高山冰湖和泥石流堵塞河湖^[3]。

2 典型冰湖特征

鉴于川藏公路南线然乌至培龙段冰湖分布集中, 数量大, 溃决致灾影响严重, 笔者同课题组一道于 2007 年考察了该路段的一些典型冰湖, 现对典型冰湖进行了初步解译和分析研究(如表 1)。

表 1 典型冰湖初步解译(2007 年)

冰湖名称	下游沟道名称	经度	纬度	面积/km ²	冰舌距离/m	冰湖类型	沟长/m	流域纵比降/%	上游冰川类型	冰湖出口高程/m
光谢错	米堆沟	96° 30′ 08″	29° 26′ 05″	0. 200	0. 0	终碛湖	16. 77	166. 21	海洋性冰川	3 808
多依错	多依弄巴	96° 37′ 52″	29° 25′ 37″	0. 334	106. 7	终碛湖	11. 54	207. 23	海洋性冰川	3 944

2. 1 米堆沟

米堆沟东距然乌 22 km, 西离波密县城 94 km, 属帕隆藏布上游左侧的一条支沟。流域发源于岗日嘎布山脉, 位于藏东南高山峡谷区, 向北于川藏公路南线 84 道班处汇入帕隆藏布。米堆沟流域面积 117. 5 km², 流域形态呈葫芦状。由表 1 可知, 流域源头高程 6 363 m, 沟口高程 3 576 m, 相对高差达 2 787 m, 主沟道长度 16. 768 km, 平均纵比降 166. 21‰, 山坡陡峻, 岸坡坡度多达 60° 以上, 沿主沟两侧宽坦古冰碛台地为农耕地和米堆、古勒、俄次 3 个藏民村落。米堆沟沟道弯曲, 沟岸山坡中上部较为陡直, 雪崩、岩崩及滚石常常发生, 坡脚处广泛分布的坡积裙则为这些残坡积、崩塌堆积物。此外, 流域内还有多条冲沟, 这些冲沟沟道相当狭窄、比降大、洪积物和雪崩锥随处可见。

2. 1. 1 贡扎冰川 贡扎冰川(图 1)位于藏东南冰川作用中心附近的米堆沟上游, 属活动的季风海洋性冰川^[4], 发育在冰斗槽谷中, 大致分为 3 支, 中支冰川即

贡扎主冰川, 面积 14. 4 km², 由粒雪盆、冰瀑布、冰舌组成。粒雪盆处于海拔 4 850 m 以上, 呈圈椅状, 面积 10. 5 km²。冰瀑布处于海拔 4 850~ 4 100 m, 宽 500~ 850 m, 长 2 000 m, 冰面坡度 25°~ 30°。东支冰川、西支冰川粒雪盆均处于海拔 5 300~ 5 200 m, 冰面坡度 10°~ 15°。西支冰川面积 8. 1 m², 其下部和贡扎主冰川相连。东支冰川面积 4. 2 km², 冰缘海拔 4 300 m, 北侧有一小冰湖(呈碗形, 前缘坡缓, 后壁坡陡, 周围为沙, 离冰川较远, 半径 50 m, 深 15 m)。冰舌处于海拔 4 100~ 3 800 m, 长 3 500 m, 宽 250~ 700 m, 一般厚 20~ 30 m, 最厚达 70 m, 冰面坡度 2°~ 5°。冰舌末端伸入冰湖, 冰舌体多冰崩、冰滑动痕迹, 冰臼、冰坑遍布, 裂缝深入冰体内数米至数十米, 有的长达百余米, 横断面呈楔形, 宽 20~ 50 cm。表层冰溪发育, 从冰舌中部位置开始演变为暗河, 汇入冰湖。表碛呈棕黄色, 以粒径在 3~ 10 cm 范围的风化花岗岩块碎石居多, 棱角状, 厚 50~ 80 cm, 最大尺寸 8. 0 m × 5. 0 m × 5. 0 m。

2.1.2 光谢错 光谢错(如图 2)位于米堆沟源头,是最后一次小冰期以来,冰川持续后退形成的冰川终碛湖,形成年代距今约 300 a^[4]。冰湖南岸为冰舌前缘陡坎,其余湖岸由终碛和侧碛堆积物构成。湖盆中部可见死冰及死冰消融沉陷坑及湖泊相沉积层次。冰湖已被冰碛物堵塞分为大小两个冰湖,总长 500~ 700 m,宽 200~ 400 m,面积 0.2 km²,水深约 15 m,蓄水量 1.0 × 10⁶ m³。湖出水口靠沟谷西侧,出口宽 10~ 30 m,水面高程 3 808 m,水面宽 8~ 9 m,流速为 2.49 m/s。冰湖出口处有花岗岩巨石约 7.0 m × 5.5 m × 5.0 m,说明冰川侵蚀和溃决洪水搬运能力之强大。冰湖西岸侧碛高 60~ 80 m,坡度



图 1 贡扎冰川

2.2 多依弄巴

多依弄巴位于川藏公路南线 82 道班以西 2 km,沟口正对然乌湖出口处,该沟自帕隆藏布左岸汇入,公路沿河谷右岸穿行。由表 1 可知,流域源头高程 6 302 m,沟口高程 3 911 m,相对高差达 2 391 m,主沟道长度 11.538 km,平均纵比降 207.23%。冰湖以下沟道较为平坦,附近有宽阔的牧场。多依弄巴全流域内岩崩、雪崩十分发育,冰碛物质储备量丰富。沟谷右岸有数处支流汇入,使主沟流量沿程递增。

2.2.1 多依冰川 多依冰川(图 3)位于多依弄巴上游,亦属海洋性冰川,发育在冰川槽谷中,处于海拔 4 100 m 以上,大致由东西两支冰川组成。西支为主冰川,距离冰湖 106.7 m,由粒雪盆、冰瀑布、冰舌组成。现场考察表明,主冰体至少有 5 道 15~ 20 m 高的冰陡坎,冰川表面裂隙一直从冰舌发育到 5 300 m 高程左右。粒雪盆处于海拔 4 800 m 以上,冰瀑布处于海拔 4 800~ 4 250 m,宽 300~ 500 m,长 2 300 m,厚 50 m,冰面坡度 10°~ 30°。冰舌体表面发育着薄层红棕色表碛(主要是冰碛体含有大量

达 70°~ 80°,侧碛成分以紫红色砂岩、粉砂岩冰碛物为主,粒径粗大,结构疏松,抗风化强度低,透水性较强。东岸侧碛高 20~ 50 m,顶宽 30 m,一直绵延至终碛堤以下,物质成分以花岗岩、大理岩和灰岩为主,粒径大,结构紧密,透水性较弱。

冰湖北岸即终碛堤,顶宽 70~ 80 m,长约 250~ 300 m,西高东低,高出水面 50~ 60 m,堤上游坡度 30°~ 70°,下游坡度 11°~ 45°,堤接近南北走向。两端较为低洼,成为冰湖排泄口,东端渗水常流,西端为冰湖出口。坝体组成物质大颗粒含量较多,20~ 150 cm,黏粒含量较少,部分有次生林覆盖;坝体渗透能力极强,岸坡崩塌非常发育。



图 2 光谢错

的矿物质 Fe³⁺),粒径多在 3~ 10 cm。冰舌末端坡度较陡,约 5°~ 15°。冰川总面积约 5.8 km²。从冰体结构来看,有较大的冰崩痕迹,冰坎、裂隙纵横交错,冰川下段表面有弧拱构造。冰体下暗河使部分冰体处于悬空状态,说明冰川底部温度较高,冰川消融强烈。东支冰川处于海拔 4 150 m 以上,冰面坡度 5°~ 20°,面积 6.7 km²,厚 20~ 50 m。冰舌不明显,末端冰碛垄接着冰湖。

2.2.2 多依错 多依错(如图 4)位于多依弄巴源头。冰湖长约 850 m,宽 350~ 500 m,面积 0.334 km²,水为蓝绿色,深 25~ 30 m,蓄水量 3.34 × 10⁶ m³。北岸为紧邻的 3 道较松散的终碛垄,顶宽 200~ 500 m,高约 50 m,上游坡度约 10°,背水坡较缓,为 8°~ 10°,堤顶高出湖面 5~ 10 m。这些堆积物质,具有一定胶结程度,较为松散混杂,颗粒组成大小不一,从黏粒至数米巨石均有。磨圆度很差,堆积体无层理构造。冰湖西岸冰碛物,呈棕黄色,棱角完好,无分选。因冰碛物沉积时温度很低,化学风化作用表现很弱,在沉积后所经历的间冰期短,未经过强度的淋溶和磨蚀作用,有机物亦不发育,因而冰碛中

缺乏有机质(泥炭、腐殖质等),且由于融化冰水的矿化程度极弱,细小物质不能凝结,冰碛物结构疏松,透水性极强,整体性和稳定性很差。冰湖西岸有长约 130 m 的侧碛斜向上下游延伸,最大巨石达 5.0

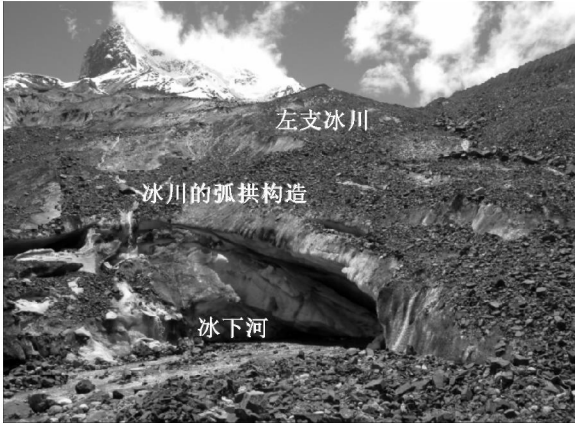


图 3 多依冰川

3 冰川终碛湖溃决判别指标的确定

3.1 冰湖溃决影响因素分析

徐道明^[1]认为历史上发生溃决的和具有潜在危险的主要是近 100 a 来小冰期最后一次冰退所形成的终碛湖。危险终碛湖具有封闭性良好的湖盆地形和陡峻的终碛堤。实测危险终碛湖的终碛堤高度均在 80 m 以上,堤顶宽度小于 50 m,背水坡坡度大于 23°。崔鹏^[5]认为冰湖规模适中(面积 10⁵ m² 量级)最易溃决,冰滑坡是重要的激发条件。程尊兰^[6]提出了终碛湖溃决应具备以下条件:(1)应当是现代冰川终碛阻塞湖;(2)终碛湖距现代冰川较近;(3)冰川规模较大,活动强烈,易发生快速前进跃动或崩坠入湖而形成涌浪,其波涌压力冲击终碛堤;(4)冰碛湖规模相对较大;(5)高温多雨。陈储军^[7]用美国气象局的土石坝失事缺口侵蚀模型(BREA CH)估算白湖溃决湖水量时,认识到最敏感的计算参数是终碛堤的背水坡坡度。通过现场考察,笔者赞同文献[6-7]的观点,即冰湖溃决受到多种因素的制约,主要是现代冰川积雪面积、冰湖、冰碛堤特征、气候因素及其相互作用关系。

3.2 冰川终碛湖溃决判别指标

文献[7]归纳了 7 项判别指标(如表 1),它反映了促使冰湖发生溃决的动力条件和冰湖本身的边界条件。促使冰湖溃决的直接原因是气候波动,当气候由湿冷转向湿热或干热时,一旦夏季持续高温多雨,冰川强烈消融,具备上述条件的冰湖就可能发生冰溜滑、崩塌,从而导致冰湖溃决,因此可按这些指标判别分析冰湖是否具有溃决危险。

m×3.5 m×2.5 m,说明冰川侵蚀作用十分强烈。

冰湖水流从冰碛堤东侧流出,过流口宽 5~25 m,深 8~10 m。冰湖下游 3 200 m 处有支沟朵果弄巴汇入主沟。



图 4 多依错

表 2 西藏冰川终碛湖溃决的判别指标

指 标	已溃决冰湖 指标变化范围	最有利于冰湖 溃决的数量指标
补给冰湖的现代冰川、 积雪面积/km ²	2~ 30	> 20
冰川积雪区平均坡度/(°)	7~ 12	> 7
邻近冰湖冰舌段坡度/(°)	3~ 20	> 8
冰舌与冰湖的距离/m	0~ 500	< 500
冰湖储水量/10 ⁶ m ³	3~ 250	> 1
终碛垄堤顶宽度/m	3~ 1000	< 60
终碛垄背水坡坡度/(°)	25~ 33	> 20

4 典型冰湖溃决致灾危险性评价

4.1 光谢错溃决危险性分析

据实地访问、调查,1988 年光谢错溃决以前近 40 a 间,米堆沟内未发生过最大洪水。光谢错原湖面高程 3 840 m,宽 550 m,长 950 m,水深 31 m,容积 640 万 m³[4]。1988 年溃决后,冰湖面积仅剩余原湖的 1/3,水位下降 20 m,从而消除了原湖的集中落差。从 20 世纪 70 年代航测图上测量光谢错面积约为 0.32 km²,2007 年由航片测量冰湖面积为 0.20 km²。如图 5(部分数据引用文献[8])所示,现在冰湖面积及储水量自 1988 年溃决后的 0.085 km² 呈显著增加的趋势。2001—2007 年这 6 a 间,冰湖面积扩大百分比高达 23.4%,年均增长 3.9%。

更重要的是,贡扎冰川属季风性海洋冰川,是藏东南地区迄今发现的为数不多的跃动性冰川,跃动周期为 60 a 左右^[3]。据 2007 年航片判读,从冰川的形

态及冰弧的形状分析,其上游的贡扎冰川处于发展阶段,特别是汇入主冰川的东支冰川有明显前进的特征。根据现场冰湖勘测、计算分析,目前,冰湖末端的冰川仍很发育,两条巨大的悬空冰舌深入湖内,在冰川末端的冰川构造显示出横过冰流的张性大裂隙,易发生快速前进跃动或冰崩坠入湖中而形成涌浪冲击终碛堤,山体在地质动力作用下的崩积物堵塞狭窄的冰湖出口,继而造成水位骤涨、浸润终碛堤,险情增大。同时,大量冰川融水通过冰川裂隙、冰内水道渗入冰床,会对冰川运动起到润滑作用,从而增大冰川的活动性。再者,冰湖的湖底和湖岸内都有死冰体^[4],其一般消融缓慢,但遇持续高温时,容易被渗水的潜热消融,继而坝体下部管涌引起塌陷,这是冰湖溃决的隐患。另外,虽然冰碛堤溃决口底部接近沟床底部,湖水位升高受到限制,但贡扎冰川 45 a 降水平均值为 1 106.2 mm,米堆沟流域平均气温 8.6℃^[3],持续强降雨可能引发湖溯源侵蚀加剧,导致侧碛崩塌,加速冰舌末端的退缩,冰湖迅速扩大,在目前西藏东南部气温上升的背景下,这种情况在川藏公路南线然乌至培龙段表现十分明显。

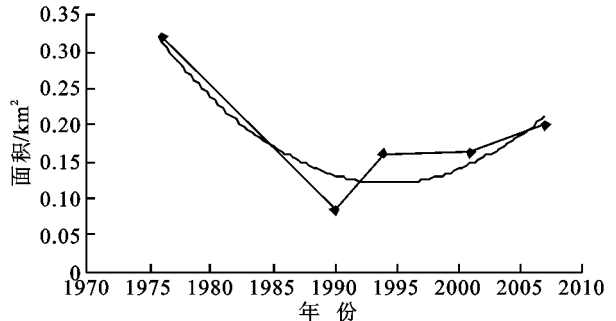


图 5 光谢错面积年际变化

由表 3 可知,在 7 项判别指标中,光谢错满足 5 项判别指标。考虑到冰川跃动阶段已过,在短期内不会发生类似 1988 年那种大规模的冰湖溃决灾害。但光谢错仍具有引发溃决的潜在因素,随着全球气候变暖和光谢错上游贡扎冰川的加速融化,冰湖的水量将随之增加,加之冰湖出口处左岸岸坡坡度在 50°~ 80° 以上,易产生崩塌,极可能堵塞狭窄的冰湖出口,湖水位迅速上涨,冰湖湖水面积进一步增大,其溃决的危险性将越来越大。同时,沿途沟岸强烈寒冻风化作用提供极为丰富的崩滑体和冰碛物质,

是泥石流固体物质补给区,也是充足水源的蓄积地,一旦光谢错溃决,米堆沟可能再次形成泥石流,将对下游造成极大的危害。且下游村庄已重建,贡扎冰川又被开发为旅游观光点,人口众多,一旦泥石流暴发,必将对旅游景点、下游村庄、农田和川藏公路造成巨大损失,故需要加强重视和防范。

4.2 多依错溃决危险性评价

多依弄巴沟口堆积扇发育,宽阔,显然规模巨大的崩积体对然乌湖曾有堵塞作用。通过现场考察、调查和资料计算分析,认为多依弄巴冰川末端 5 号冰湖有曾溃决的迹象。但现场未发现有泥石流痕迹,说明近些年来没有泥石流灾害发生。地形图表明原湖较现在湖面大 1/3 左右,新冰期侧碛垄堤顶高出湖面 130 m 左右,估计该湖曾有过溃决^[9]。1980 年的卫片资料表明冰川略有退缩,可能是终碛湖排泄条件良好,冰湖未见明显变化。

由表 3 可知,在 7 项判别指标中,多依错满足 4 项判别指标。表面上看,影响溃决流量的最敏感的参数——冰碛堤顶宽较大,背水坡坡度较缓,冰湖本身溃决的可能性相对较小。实际上,多依冰川属季风性海洋冰川,冰川表面坡度很陡,悬空冰体裂隙发育。从图 4 中可以明显地看出冰川后退所形成的冰碛垄,可以判断多依冰川原来为一整体冰川,由于气温的上升,冰川消融后退逐渐形成两个小冰川。可见,冰川消融加剧,很容易在跃动中发生冰舌断裂崩坠入湖,冲击松散的终碛堤,导致冰湖溃决。由此看来,不排除冰川前进入湖,造成溃决的可能性。并且然乌一带年降水超过 700 mm,一旦持续高温和强降雨可能引发西侧碛崩塌,这也是冰湖溃决的重要诱因。

同时,20.723%的陡峻平均纵坡提供了较大的位势能量,有利于泥石流的发生。多依错以下沟谷宽展,冰湖距沟口 7 km,排泄洪水条件较好。该湖一旦溃决,洪水冲扩冰湖出口,挟裹松散冰碛物及两岸松散物质下泄,在沟口处冰碛物堵塞沟道,甚至有可能堵塞主河道,从而引起上游水位上涨,达到一定高度后发生二次溃决事件。由于沟口正对着然乌湖出口,并且主河床已堆积大量巨石,如果发生类似米堆沟的冰湖溃决,将对多依弄巴中下游的牧场造成巨大的损失,势必对公路造成严重危害。

表 3 冰湖形态特征及其溃决危险性判别

冰湖名称	湖面面积/km ²	冰湖储水量/10 ⁶ m ³	现代冰川、积雪面积/km ²	冰川积雪区平均坡度/(°)	冰舌段坡度/(°)	冰舌与冰湖距离/m	终碛垄堤顶宽度/m	终碛垄背水坡坡度/(°)	下游可起动松散物质	下游居民和设施状况	危险程度
光谢错	0.200	2.05	26.7	10~30	2~5	0	70~80	11~45	丰富	居民设施	高
多依错	0.334	12.00 ^[9]	12.5	10~20	5~15	106.7	200~500	8~10	较丰富	居民	较高

5 结论与防治建议

综上所述, 受全球气候变暖的影响^[4], 川藏公路南线公路两岸冰川都处于退缩阶段, 冰川进退使冰川末端及其终碛之间具有更多的蓄水条件。随着降水的增加, 气温的升高, 地震的频繁发生, 该区域冰湖溃决危险性存在加剧的趋势。通过对所考察的川藏公路南线典型冰湖形态特征及其溃决危险性的分析, 结合冰川终碛湖溃决判别指标, 初步判别光谢错溃决危险性较大, 一旦溃决将给下游地区带来巨大的灾难; 多依错溃决的危险性较小。

同时, 本路段也是整个西藏冰湖和现代冰川分布最广的地区之一, 其独特而又脆弱的自然环境使本路段成为目前川藏公路冰湖溃决泥石流最发育、危害最严重的路段。因此, 应加强这方面的研究, 针对冰湖溃决洪水(泥石流)灾害提出以下建议: (1) 在现在危险性评价的基础上, 针对危险冰湖制定相应的临灾预案, 包括冰湖和下游地区帕隆藏布主河流域, 一旦出现险情, 采取相应的预案来解决, 避免或减轻灾害造成的损失; (2) 设置冰湖监测预警和下游

主河监测预警系统; (3) 大力宣传、推广相关科普、教育, 提高领导和群众的防灾意识。

参考文献:

[1] 徐道明, 冯清华. 西藏喜马拉雅山区危险冰湖及其溃决特征[J]. 地理学报, 1989, 44(3): 343-352.

[2] 吕儒仁, 唐邦兴, 朱平一. 西藏泥石流与环境[M]. 成都: 成都科技大学出版社, 1999: 69-77.

[3] 朱平一, 何子文, 汪阳春, 等. 川藏公路典型山地灾害研究[M]. 成都: 成都科技大学出版社, 1999: 1-53.

[4] 李德基, 游勇. 西藏波密米堆冰湖溃决浅议[J]. 山地研究, 1992, 10(4): 219-224.

[5] 崔鹏, 马东涛, 陈宁生, 等. 冰湖溃决泥石流的形成、演化与减灾对策[J]. 第四纪研究, 2003, 23(6): 621-628.

[6] 程尊兰, 朱平一, 宫怡文. 典型冰湖溃决泥石流的形成机制分析[J]. 山地学报, 2003, 21(6): 716-720.

[7] 陈储军, 刘明, 张帆. 西藏年楚河冰川终碛湖溃决条件及洪水估算[J]. 冰川冻土, 1996, 18(4): 348-352.

[8] 汪阳春, 梁光模, 舒斌. 西藏公路水毁研究[M]. 成都: 四川科学技术出版社, 2001: 74-82.

[9] 罗德富, 毛济周. 川藏公路南线(西藏境内)山地灾害及防治对策[M]. 北京: 科学出版社, 1995: 139-145.

(上接第 49 页)

[14] 于贵瑞, 李海涛, 王绍强, 等. 全球变化与陆地生态系统碳循环与碳蓄积[M]. 北京: 气象出版社, 2003: 119-123.

[15] 陈泮勤, 黄耀, 于贵瑞, 等. 地球系统碳循环[M]. 北京: 科学出版社, 2004: 214-215.

[16] 杨玉盛, 郭剑芬, 陈银秀, 等. 福建柏和柳杉人工林凋落物分解及养分动态的比较[J]. 林业科学, 2004, 40(3): 19-25.

[17] 骆士寿, 陈步峰, 陈永富, 等. 海南岛霸王岭热带山地雨林采伐经营初期土壤碳氮储量[J]. 林业科学研究, 2000, 13(2): 123-128.

[18] 王效科, 冯宗炜, 欧阳志云. 中国森林生态系统的植物碳储量和碳密度研究[J]. 应用生态学报, 2001, 12(1): 13-16.

[19] 李红梅, 马友鑫, 郭宗峰, 等. 西双版纳森林植被的碳储量及影响因素分析[J]. 福建林学院学报, 2005, 25(4): 368-372.

[21] Lenton T M, Huntingford C. Global terrestrial carbon storage and uncertainties in its temperature sensitivity examined with a simple model[J]. Global Change Biology, 2003, 9: 1333-1352.

[21] Luo Y Q, Wan S Q, Hui D F, et al. Acclimatization of soil respiration to warming in a tall grass prairie[J]. Nature, 2001, 413: 622-625.

[22] Loehle C, Leblanc D. Model-based assessments of climate change effect on forests[J]. Ecological Modelling, 1996, 90: 1-31.

[23] Brown S, Lugo A E. Biomass of tropical forests: a new estimate based on forest volumes[J]. Science, 1984, 223: 1290-1293.

[24] 周涛, 史培军, 王绍强. 气候变化及人类活动对中国土壤有机碳的影响[J]. 地理学报, 2003, 58(5): 727-734.

[25] 赵敏, 周广胜. 中国森林生态系统植被碳储量及其影响因子分析[J]. 地理科学, 2004, 24(1): 50-54.

[26] 孙丽英, 李惠民, 董文娟, 等. 在我国开展林业碳汇项目的利弊分析[J]. 生态科学, 2005, 24(1): 42-45.

[27] 胡建忠. 黄河上游退耕地人工林的碳储量研究[J]. 北京林业大学学报, 2005, 27(6): 1-8.

[28] 黄宇, 冯宗炜, 汪思龙, 等. 杉木、火力楠纯林及其混交林生态系统 C、N 贮量[J]. 生态学报, 2005, 25(12): 3146-3154.