

藏北鲁热沟冰湖演化规律及溃决危险性评价

马海善^{1,*}, 白永健², 马文礼¹, 治有成³, 黄吉财¹

(1. 青海省环境地质勘查局, 西宁 810800; 2. 中国地质调查局成都地质调查中心, 成都 610081;
3. 青海峰标工程技术咨询有限公司, 西宁 810800)

摘要:青藏高原受全球气候变暖的影响, 冰湖溃决事有发生。这类冰湖溃决具有规模大、突发性强、危害大、防治困难等特点。通过对易贡藏布上游鲁热沟流域内 29 处冰湖 1976 年、1988 年、2001 年和 2013 年四个期次的遥感解译与现场调查, 深入分析了冰湖发育特征、分布规律、湖面面积变化、类型。选取了冰湖面积变化、终碛堤、冰崩与冰滑坡、冰湖类型等因子初步构建了冰湖溃决危险性快速评价方法。运用该方法对鲁热沟流域 29 处冰湖溃决危险性进行了评价, 评价结果显示危险性大、中、小分别为 5 处、6 处、18 处。并对 2013 年 7 月 5 日已发生溃决的然则日阿错冰湖的溃决机制和灾害效应进行了深入分析。

关键词:藏北; 冰湖; 扩张演化规律; 溃决; 危险性评价

DOI:10.48014/cesr.20221124001

引用格式:马海善,白永健,马文礼,等. 藏北鲁热沟冰湖演化规律及溃决危险性评价[J]. 中国地球科学评论,2022,1(2):21-29.

0 引言

冰湖是与冰川或冰川作用相关的湖泊, 常发育在高山高海拔地区, 这一类湖泊多由冰川掏蚀作用产生洼地与冰碛物堵塞冰川槽谷积水而成^[1]。受全球性气候变暖的影响, 冰川逐渐退缩, 冰湖面积持续性扩张、因此出现的冰湖溃决事件不断增多, 严重威胁冰湖下游群众的生命财产安全^[2,3]。这类冰湖溃决灾害一般具有规模巨大、隐蔽性高、突发性强、危害严重、防治困难等特点, 目前主要通过遥感解译、地面调查、数值计算和现场研判等综合分析手段而制定冰湖除险、居民搬迁、暂时撤离等防灾减灾措施, 以减少冰湖溃决带来的损失。因此, 如何快速有效地判识冰湖溃决危险性是亟待深入研究的重要课题。

国内外已有大量学者对冰湖溃决危险性进行了研究, 如 Walder 等^[4]采用入湖物质量与湖水体

积比率来判别冰碛湖溃决风险; 吕儒仁等^[5]将危险冰体的体积与冰湖总水量的体积比值定义为冰湖溃决危险性指数, 并以此来判定冰湖溃决的危险性; 崔鹏等^[6]、车涛等^[7]根据冰湖面积和体积的变化来评价冰湖溃决的危险性; McKillop 等^[8]提出了冰碛湖、冰碛坝、母冰川、冰湖盆等作为冰碛湖溃决风险的评价因子, 并构建了一套评价方法体系; Wang 等^[9]则采用坡度、冰碛坝背水坡平均坡度、母冰川面积、冰崩与冰滑坡末端与冰湖岸距离和冰崩与冰滑坡舌部坡度等五个参数建立了一套冰湖潜在危险性评价方法。总体来说, 目前多通过不同的指标参数来判断冰湖溃决的危险性, 但这些方法中的部分参数, 如危险性冰体体积、冰湖体积、冰舌等在实际应用中获取难度极大, 或者并不准确。因此, 结合现实防灾减灾需求, 建立一种更加简易且行之有效的方法来快速识别冰湖溃决危险性在冰湖灾害防控工作中具有重要意义。

* 通讯作者 Corresponding author: 马海善, 1060956420@qq.com

收稿日期:2022-11-24; 录用日期:2022-11-29; 发表日期:2022-12-28

根据现场调查结果^[10],西藏那曲市嘉黎县易贡藏布上游鲁热沟流域内发育 29 处冰湖,部分在历史上已经发生过溃决洪水灾害。本文通过对比分析自 1976 年以来该流域内冰湖的变化,初步构建了冰湖溃决危险性的评价指标体系及方法,对流域内的冰湖危险性进行分类,并重点研究 2013 年 7 月 5 日溃决的然则日阿错冰湖的危险性及溃决机制,以为我国高山高海拔地区冰湖溃决防控工作提供参考。

1 研究区概况

研究区位于嘉黎县忠玉乡易贡藏布上游北侧鲁热沟流域,平均海拔 4600m 以上,最高海拔为 5935m;属高原亚寒带半湿润季风气候区,距其最近的嘉黎县气象台站 1961—2012 年气象资料显示,年均温为 -0.4℃,冬寒夏凉;年平均降水量为 719.6mm,降水主要集中在每年的 6—9 月,约占全年总降水量 85%。境内水系发育,主要河流有尼都藏布与哈曲河流。区内以东西向构造为主,由冲断层及斜冲断层组成,主要断裂位于南部阿扎镇至忠

玉乡的嘉黎—然乌断裂。受高寒高海拔及特殊气候影响,海洋性冰川十分发育。发育的河流 29 处冰湖,直接威胁嘉黎县忠玉乡及周边村庄,2013 年 7 月 5 日西藏嘉黎县忠玉乡境内发生冰湖溃决灾害,灾害覆盖忠玉乡 11 个行政村,冲毁村庄两个,道路数十公里,桥梁多座,失踪 6 人,造成直接经济损失 2 亿多元。

2 冰湖面积演化

2.1 鲁热沟流域冰湖基本特征

2013 年根据区域 Landsat-8 OLI 和的 Rapid-Eye 高精度遥感解译,结合野外现场调查,研究区共发现冰湖 29 个(图 1)。根据冰湖面积大小分类,冰湖面积主要为小于 $5 \times 10^4 \text{ km}^2$ 和 $5 \times 10^4 \sim 50 \times 10^4 \text{ km}^2$ 的冰湖分别为 21 处、7 处,占总数的 72.4%、24.14%。按蓄水量进行统计,根据蓄水量分类, $5 \times 10^4 \sim 10 \times 10^4 \text{ m}^3$ 、 $10 \times 10^4 \sim 50 \times 10^4 \text{ m}^3$ 的冰湖发育最多,分别为 11 处、9 处,占总数的 39.93%、31.03%(表 1)。

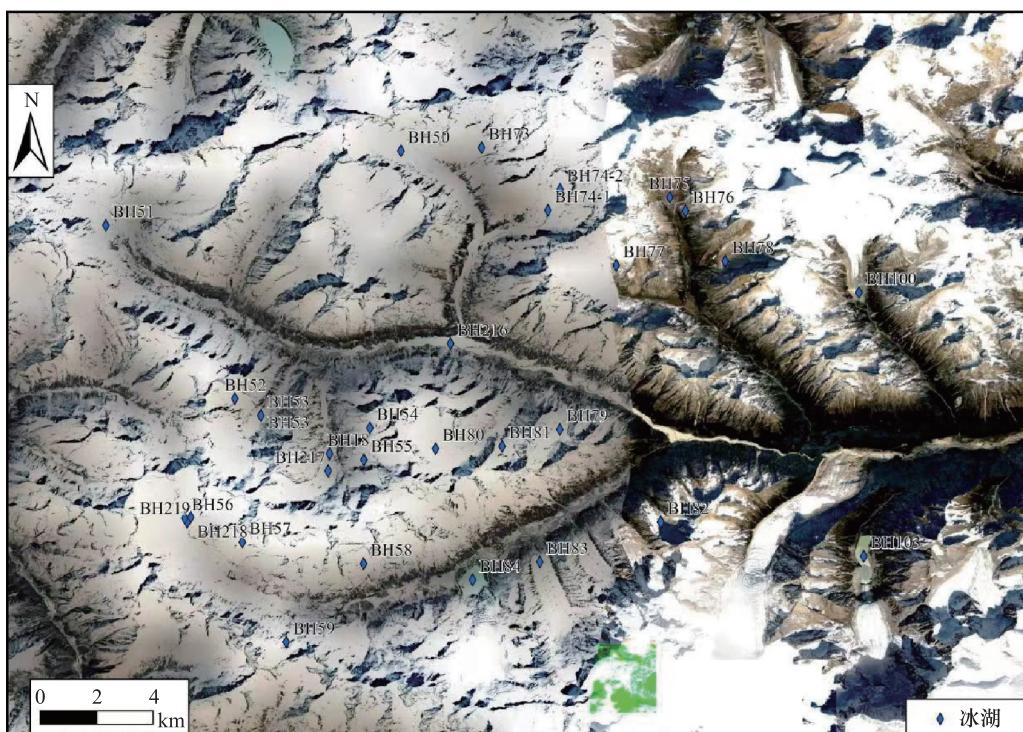


图 1 研究区冰湖分布图

Fig. 1 Distribution map of glacial lakes in the study area

表 1 研究区冰湖基本特征及分类

Table 1 Basic characteristics and classification of glacial lakes in the study area

按冰湖面积进行分类		
面积/($\times 10^4 \text{ km}^2$)	数量/处	占比/%
<5	21	72.4
5~50	7	24.14
>50	1	3.46

按冰湖蓄水量进行分类		
蓄水量/($\times 10^4 \text{ km}^3$)	数量/处	占比/%
<5	7	24.14
5~10	11	37.93
10~50	9	31.03
50~100	2	6.9

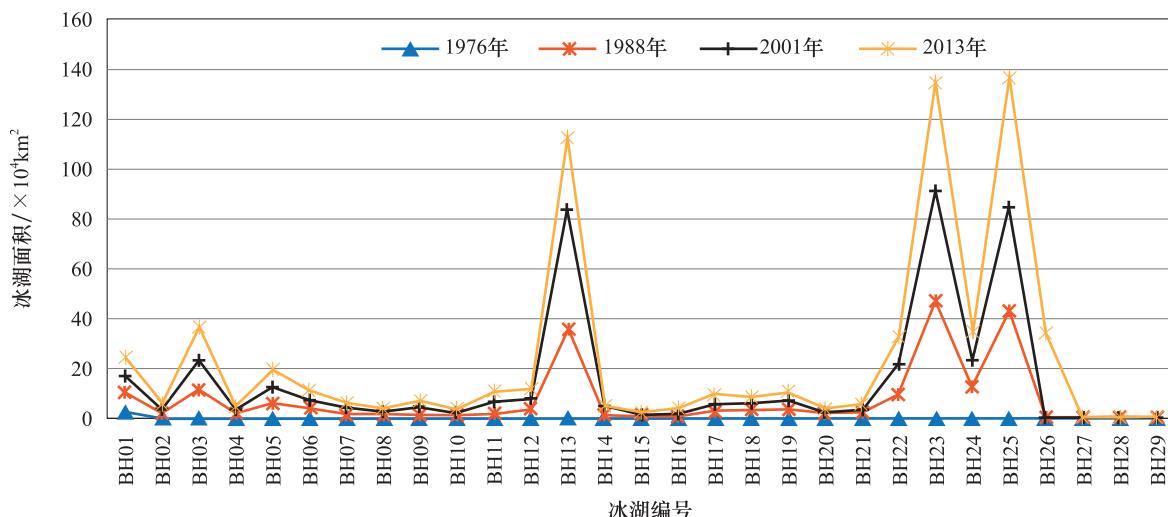


图 2 研究区冰湖 1976—2013 年面积变化

Fig. 2 Area of glacial lakes in the study area from 1976 to 2013

表 2 冰湖面积变化统计表

Table 2 The statistics of the changes of glacial lake area

面积变化	持续增大	先增大后减小	先减小后增大	持续减小
数量/处	6	10	11	2
比例/%	20.7	34.5	37.9	6.9

3 冰湖溃决危险性评价

3.1 分析方法

冰湖溃决危险性分析,主要是考虑冰湖面积的变化、终碛堤、冰崩与冰滑坡、冰湖类型等主要因子。

(1) 冰湖面积的变化

冰湖面积变化是控制冰湖溃决泥石流形成的主要因素(表 3)。冰湖面积变化类型分为递减性、稳定性、折线形和递增性(表 3),冰湖面积减小,同等条件下,溃决危险性减小;冰湖面积不变,同等条件下,溃决危险性不变;冰湖面积增大,同等条件下,溃决危险性增大。

2.2 冰湖历史面积演化

通过对研究区 29 个冰湖的 1976 年、1988 年、2001 年和 2013 年四个时期的遥感解译数据分析(图 2、表 2),冰湖面积持续增大(含新增)的有 6 个,占总数的 20.7%,先增大后减少的有 10 个,占总数的 34.5%,先减少后增大的有 11 个,占总数 37.9%,持续减少的有 2 个,占总数的 6.9%。

按照冰湖面积的变化,可分为递减型、稳定型、折线型和递增型(表 3)。

表 3 冰湖面积变化类型及溃决危险性
Table 3 Types of ice lake area changes and risk of outburst

代号	面积变化类型	面积变化特征	溃决危险性
I	递减型	冰湖面积逐步减小, 湖面水位不断降低	减小
II	稳定型	冰湖面积稳定不变, 上游冰川面积小, 冰舌未进入冰湖, 且距离冰湖较远	不变
III	折线型	现面积已达最小, 上游冰川面积小, 冰雪融水补给量有限	减小
		现面积未达最大, 上游冰川面积小, 冰雪融水补给量有限	减小
		现面积已超过之前, 但增幅较小, 上游冰川面积较大, 冰舌距离冰湖较近, 但未进入冰湖	增大
		现面积已超过之前, 且增幅较大, 上游冰川面积较大, 冰舌已进入冰湖, 具有产生冰崩、冰滑坡的可能	增大
IV	递增型	冰湖面积逐步增大, 上游冰川面积较大, 冰舌已进入冰湖, 可能产生冰崩、冰滑坡, 发生溃决的可能性大	增大

(2) 冰崩与冰滑坡

冰崩与冰滑坡是冰湖溃决的首要激发条件。

①冰崩与冰滑坡一般分布于冰湖周边, 冰湖水位上升, 进而诱发冰崩与冰滑坡, 有利于冰湖溃决; ②冰崩与冰滑坡的规模较大时, 滑入冰湖的冰崩与冰滑坡体积就越大, 则涌浪高度大, 利于冰湖溃决; ③当冰舌前端与冰湖的距离愈短, 甚至冰舌在冰湖内时, 因滑面摩擦系数小甚至趋于零, 导致滑速较大, 涌浪较高, 利于冰湖溃决; ④冰崩与冰滑坡的破碎程度, 冰崩与冰滑坡体完整, 以整体性滑坡状入湖, 有利于冰湖溃决; 若冰崩与冰滑坡体破碎, 则以多期次冰崩或冰滑坡的方式入湖, 涌浪相对较小, 冰湖溃决性小。

(3) 终碛堤

终碛堤岩土体组成和溢堤比共同决定溃决临界水头高度, 终碛堤的宽度也控制冰湖的溃决。①终碛堤岩土体颗粒级配好, 粗颗粒的重力和细颗粒的黏结力大, 则坝体组成颗粒起动需要流速大, 要求较高的溢流水头才能满足冰湖溃决的动力条件; ②溃口宽度与堤坝长度之比愈小, 溃口处流速愈

大, 冰湖更易溃决; ③终碛堤宽, 冲刷下切所需总流量大, 下切历时长, 不利于小规模冰湖溃决。

(4) 冰湖类型

按照冰湖的形成原因冰湖可分为冰碛阻塞湖、冰斗湖、冰蚀湖三类, 研究区以冰碛阻塞湖为主、其次为冰斗湖。研究区发育冰碛阻塞湖、冰斗湖、冰蚀湖分别为 18 处、8 处、3 处, 分别占总数的 62.07%、27.59%、10.34%。冰碛阻塞湖由于终碛堤形成的年代较新, 主要在最后一次小冰期冰退形成的, 冰碛物胶结差, 颗粒间风选性较差, 因此一般终碛堤都有渗水情况, 冰湖溃决的危险性比冰斗湖和冰蚀湖相对较高。

3.2 区域冰湖溃决危险性

通过对易贡藏布上游鲁热沟流域内 29 个冰湖, 1976 年、1988 年、2001 年和 2013 年四个期次的遥感解译数据分析和野外调查, 根据冰湖面积变化、冰湖类型、终碛堤、冰崩与冰滑坡等主要因素将鲁热沟流域 29 个冰湖划分为危险性小、危险性中等、危险性大三个级别(表 4)。

表 4 研究区 1976—2013 年冰湖遥感解译特征及溃决危险性分析表

Table 4 Characteristics of remote sensing interpretation of glacial lakes in the study area during 1976–2013 and analysis of risk of outburst

编号	类型	面积变化类型	主要特征	终碛坝		背水坡度/(°)	流量/(L/s)	危险性分级
				长/m	高/m			
BH01	冰碛阻塞湖	折线型	现面积未达最大, 冰舌与冰湖距离远, 储量小	305	40	15~30	<3	小
BH02	冰碛阻塞湖	折线型	现面积未达最大, 冰舌与冰湖距离远, 储量小, 碎石土	84	10	5~15	<3	小

续表

编号	类型	面积变化类型	主要特征	终碛坝		背水坡度/(°)	流量/(L/s)	危险性分级
				长/m	高/m			
BH03	冰碛阻塞湖	递增型	湖面持续增大,表层碎石土	214	36	10~20	<3	中
BH04	冰斗湖	递减型	湖面水位不断降低,冰舌与冰湖且距离远,储量小	150	100	35~50	<3	小
BH05	冰碛阻塞湖	折线型	现面积已超过之前,但上游冰川未进入冰湖,储量较大,表层碎石土	140	9	5~15	<3	中
BH06	冰斗湖	折线型	现面积未达最大,冰舌与冰湖距离远,储量小,表层碎石土	166	500	30~45	3~5	小
BH07	冰斗湖	折线型	现面积已达最小,冰舌与冰湖距离远,储量小,碎石土,	114	70	15~30	<3	小
BH08	冰蚀湖	折线型	现面积未达最大,冰舌与冰湖距离远,储量小,冰蚀湖,碎石土	50	12	5~15	<3	小
BH09	冰斗湖	折线型	现面积未达最大,冰舌与冰湖距离远,储量小,碎石土	162	15	35~50	<3	小
BH10	冰蚀湖	折线型	现面积未达最大,冰舌与冰湖距离远,储量小,碎石土	315	115	30~40	3~5	小
BH11	冰碛阻塞湖	折线型	现面积未达最大,冰舌与冰湖距离远,储量小,碎石土,卵石土	119	10	0~5	<3	小
BH12	冰碛阻塞湖	折线型	现面积未达最大,冰舌与冰湖距离远,储量小,碎石土	125	9	10~20	<3	小
BH13	冰碛阻塞湖	折线型	已溃决,冰湖溃决前,现面积最大,储量大,冰舌已入冰湖,冰舌有拉张裂缝,碎石土	240	27	10~15	<3	大
BH14	冰碛阻塞湖	递增型	面积递增型,增幅达98.2%,但储量较小,碎石土	79	8	5~15	3~6	中
BH15	冰碛阻塞湖	折线型	现面积已超过之前,且增幅较大,但储量较小,砂岩和板岩	72	879	25~40	<4	中
BH16	冰碛阻塞湖	折线型	现面积已超过之前,且增幅过大,但储量较小,砂岩、板岩	180	200	30~45	<3	中
BH17	冰碛阻塞湖	折线型	现面积已超过之前,且上游冰川未进入冰湖,砂岩、板岩	156	130	30~45	<3	中
BH18	冰斗湖	折线型	现面积已达最小,冰舌与冰湖距离远,储量小,碎石土	138	10	5~15	<3	小
BH19	冰斗湖	折线型	现面积已达最小,但冰湖上游冰川面积较大,冰舌已进入冰湖,具有产生冰崩、冰滑坡的可能,碎石土	123	50	15~30	<4	中
BH20	冰斗湖	稳定型	现面积已达最小,冰舌与冰湖距离远,储量小,砂岩、板岩	150	100	35~50	<3	小
BH21	冰斗湖	折线型	现面积已达最小,冰舌与冰湖距离远,储量小,砂岩、板岩	150	100	35~50	<3	小
BH22	冰蚀湖	折线型	现面积未达最大,但储量大,距离较近,砂岩、板岩	313	183	50~60	<3	中

续表

编号	类型	面积变化类型	主要特征	终碛坝		背水坡度/(°)	流量/(L/s)	危险性分级
				长/m	高/m			
BH23	冰碛阻塞湖	递减型	储量大,冰川冰舌易产生断裂,形成冰崩、冰滑坡,发生溃决的可能性大,碎石土	264	10	8~10	<3	大
BH24	冰碛阻塞湖	递减型	现面积未达最大,但储量大,距离近,碎石土	150	15	10~15	<3	大
BH25	冰碛阻塞湖	折线型	现面积已超过之前,增幅较大,且储量大,距离近,碎石土	467	75	25~35	<3	大
BH26	堰塞湖	折线型	BH13溃决后形成的堰塞湖,储量大,且堰塞堤由松散物质组成,稳定性差,在雨季发生溃决的可能性大	789	108	30~35	3~4	大
BH27	冰蚀湖		新冰湖,面积小,冰舌与冰湖的距离远,距离远,砂岩、板岩	62	60	15~20	<3	小
BH28	冰斗湖		新冰湖,面积小,冰舌与冰湖的距离远,砂岩、板岩	42	150	20~25	<3	小
BH29	冰斗湖		新冰湖,面积小,冰舌与冰湖的距离远,砂岩、板岩	57	80	20~25	<3	小

综上所述,BH13,BH23、BH24、BH25 和 BH26 冰湖溃决危险性大(图 2),其中 BH23(尼屋乡吉翁错)于 2020 年 6 月 26 日发生冰湖溃决。主要原因为:①冰湖面积大、储量大;②多为冰碛阻塞湖,这类冰湖上游冰川面积较大,冰舌已进入冰湖,冰川坡面较陡,冰裂缝发育,易形成冰崩、冰滑坡,大量冰体进入冰湖,引发冰湖溃决的可能性大。BH05、BH15、BH16、BH17、BH19 和 BH22 冰湖溃决危险性中等,主要原因为:①冰湖面积未达超越之前,但其现状储量仍较大;②上游冰川面积较大,冰舌距离冰湖较近,但未进入冰湖,发生溃决的可能性中等。

4 然则日阿错冰湖溃决危险性评价

4.1 地质环境条件

然则日阿错冰湖(BH13)位于易贡藏布右岸支流尼都藏布流域鲁热沟,构造侵蚀高山峡谷地貌,河谷两侧山峰陡峻,基岩裸露,发育 2~4 级剥蚀台地,冰川地貌广布。地层主要为石炭系旁多群(Cpn)含砾砂岩、细砂岩、粉砂岩及板岩。第四系冰碛物(Q_4^{gl+fgl})主要为片麻岩、变粒岩及花岗岩质等母质岩体做成的砂和泥质,无分选,杂乱堆积,可见直径为 1~2.5m 的冰漂砾。主要分布于雄曲、麦地藏布支流的高阶地处及高山斜坡处。据调查,然则

日阿错冰湖 10km 范围内无较大断层、褶皱。随着青藏高原的不断隆升,气候总体趋向温暖干旱,区域冰川总体呈退缩的趋势。

4.2 冰湖溃决机制

然则日阿错冰湖溃决的主控因素:①气候因素,区域气温升高使冰川消融速度加快。根据最近的波密县易贡乡甲倾布气象站资料分析,从 2013 年 6 月降雨 82.5mm,7 月降雨 19mm,区域 6—9 月气温与往年相比偏高 1.2~1.8℃。②冰川因素,该冰湖由两条冰川补给,一条为山谷冰川,长度为 2km,冰舌伸入湖内,冰舌前端坡度较缓,但中部坡度和高差均较大;另一条为悬冰川,长度为 1.5km。③终碛垄岩土体结构,该冰湖终碛垄岩土体主要为碎石土,胶结差、抗侵蚀能力弱,稳定性差。④晴热少雨使冰川消融速度加快,冰川冰舌中部发生崩塌,冰体跃入湖内,产生涌浪,使终碛垄出水口处迅速拉槽刷深,最终产生溃决。

4.3 冰湖溃决灾害

2013 年 7 月 5 日,然则日阿错冰湖(BH13)溃决,引发山洪泥石流灾害,对沿尼都藏布分布的十四村至乡政府段农牧民生命财产造成了严重损失,造成 6 人失踪、1161 人受灾,直接经济损失达 2.7 亿元。

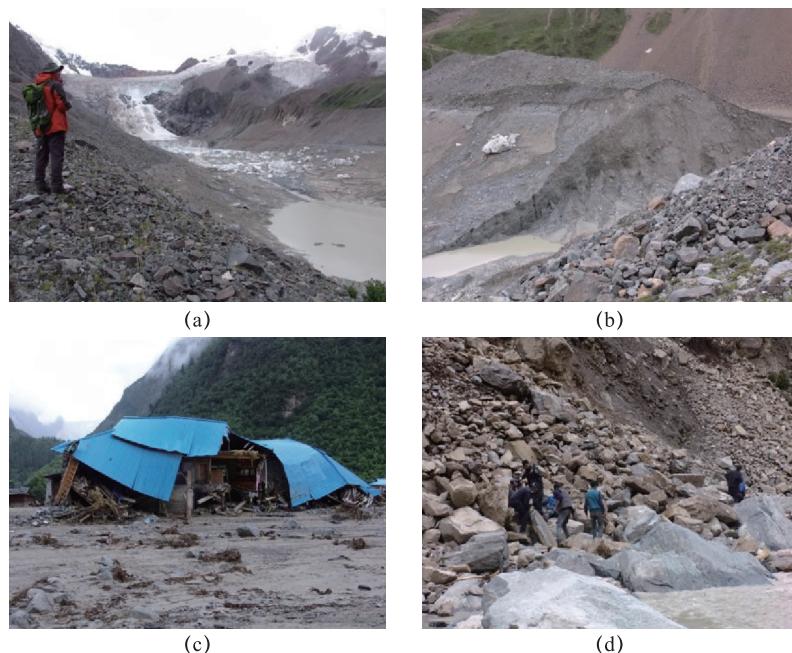


图 3 然则日阿错冰湖溃决引发山洪地质灾害

(a)冰湖末端;(b)冰湖溃决口;(c)冰湖溃决冲毁下游村庄;(d)冰湖溃决引发下游岸坡失稳

Fig. 3 Flash floods caused by glacial lake outbursts in Ranzeriacuo

(a)End of glacial lake;(b)Mouth of glacial lake outburst;(c)Downstream village destroyed by glacial lake outburst;

(d)Downstream bank slope instability caused by glacial lake outburst

5 结论

通过对藏北易贡藏布上游鲁地热沟流域内 29 处冰湖多期次遥感解译与现场调查,基于对冰湖发育特征、分布规律系统分析,选取冰湖面积的变化、终碛堤、冰崩与冰滑坡、冰湖类型等因子初步构建了冰湖溃决评价指标体系,并对个对冰湖溃决危险性进行了评价,得出以下结论:

(1)根据研究区 Landsat-8 OLI 和的 RapidEye 高精度遥感解译共发现冰湖 29 处,其中冰湖面积主要为小于 $5 \times 10^4 \text{ km}^2$ 和 $5 \times 10^4 \sim 50 \times 10^4 \text{ km}^2$ 分别为 21 处、7 处,分别占总数的 72.4%、24.14%。

(2)对比分析 1976 年、1988 年、2001 年和 2013 年四个期次的遥感解译数据,冰湖面积可分为持续增大、先增大后减少、先减少后增大、持续减少四类,分别为 6 处、10 处、11 处、2 处,分别占总数的 20.7%、34.5%、37.9%、6.9%。面积演化规律分为递减型、稳定型、折线型和递增型。

(3)选取冰湖面积的变化、终碛堤、冰崩与冰滑坡、冰湖类型等主要因素,构建了冰湖溃决危险性

定性快速评价方法。对各个冰湖溃决危险性进行评价,并将溃决危险性划分为大、中、小三级。鲁热沟冰湖溃决危险性大、中、小分别为 5 处、6 处、18 处。

(4)然则日阿错冰湖为鲁热沟流域内典型溃决冰湖,溃决主要因素为:①区域气温升高使冰川消融速度加快;②冰湖冰川补给储量大且斜坡坡度陡、高差大;③终碛垄为碎石土坝,土石混合体级配差、胶结差、抗侵蚀能力弱,稳定性差;④冰崩产生涌浪,使终碛垄出水口处迅速拉槽刷深,最终产生溃决。

利益冲突:作者声明无利益冲突。

参考文献(References)

- [1] 秦大河,姚檀栋,丁永建,等.冰冻圈科学辞典 [M].北京:气象出版社,2016:12.
- [2] Harrison S,Kargel J S,Huggel C,et al.Climate change and the global pattern of moraine-dammed glacial lake outburst floods [J]. The Cryosphere, 2018, 12 (4):

- 1195-1209.
<https://doi.org/10.5194/tc-12-1195-2018>
- [3] 铁永波,唐川.冰湖溃决评价体系研究进展[J].水科学进展,2009,20(3):448-452.
<https://doi.org/10.3321/j.issn:1001-6791.2009.03.024>
- [4] Warder J S, Oconner J E. Methods for predicting peak discharge of floods caused by failure of natural and constructed earthen dams[J]. Water Resources Research, 1997, 33:2337-2348.
<https://doi.org/10.1029/97WR01616>
- [5] 吕儒仁,唐邦兴,李德基,等.西藏泥石流与环境[M].成都:成都科技大学出版社,1999;69-78.
- [6] 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.
<https://doi.org/10.3321/j.issn:1001-7410.2003.06.005>
- [7] 车涛,晋锐,李新,等.近20a来西藏朋曲流域冰湖变化及潜在溃决冰湖分析.冰川冻土[J].2004, 26 (4): 397-402.
<https://doi.org/10.3969/j.issn.1000-0240.2004.04.004>
- [8] McKillop R J, Clague J J. Statistical, remote sensing-based approach for estimating the probability of catastrophic drainage from moraine-dammed lakes in southwestern British Columbia [J]. Global and Planetary Change, 2007, 56:153-171.
<https://doi.org/10.1016/j.gloplacha.2006.07.004>
- [9] Wang Weicai, Yao Tandong, Gao Yang, et al. A first-order method to identify potentially dangerous glacial lakes in a region of the southeastern Tibetan Plateau [J]. Mountain Research and Development, 2011, 31 (2): 122-130.
<https://doi.org/10.1016/10.1659/MRD.JOURNAL-D-10-00059.1>
- [10] 赵炜,马海善.西藏那曲市嘉黎县忠玉乡“7.5”冰湖溃决性泥石流灾害赢家调查报告[R].拉萨:西藏自治区地质环境监测总站,2013.

Evolution Patterns and Outburst Risk Evaluation of Luregou Glacial Lake in Northern Tibet

MA Haishan¹, BAI Yongjian², MA Wenli¹, YE Youcheng³, Huang Jicai¹

(1. Qinghai Environment Geological Survey Bureau, Xining 810800, China;
2. Chengdu Geological Survey Center of China Geological Survey, Chengdu, 610081, China;
3. Qinghai Fengbiao Engineering Consulting Co., Xining 810800, China)

Abstract: Affected by global warming, glacial lake outburst events occur frequently on the Qinghai-Tibet Plateau. Glacial lake outburst is characterized by large scale, sudden occurrence, danger and difficulty in prevention and control. Based on the remote sensing interpretation and field investigation of 29 glacial lakes in Luregou basin in the upper reaches of Yigongzangbu basin, four periods in 1976, 1988, 2001 and 2013, the development characteristics, distribution patterns and types of changes in glacial lakes were deeply analyzed. Factors such as changes in glacial lake area, terminal moraine dam, ice avalanche and ice landslides, and glacial lake types were selected to initially construct a rapid rating method for glacial lake outburst risk. Using this method, 29 glacial lake outburst risks were evaluated in Luregou Basin, and the evaluation results showed that the risks were large, medium and small in 5, 6 and 18 places respectively. Furthermore, the outburst mechanism and disaster effect of Ranzeriacuo glacial lake on July 5, 2013 were analyzed in detail.

Keywords: Northern Tibet; glacial lake; expansion evolution pattern; outburst; risk evaluation

DOI: 10.48014/cesr.20221124001

Citation: MA Haishan, BAI Yongjian, MA Wenli, et al. Evolution patterns and outburst risk evaluation of Luregou glacial lake in Northern Tibet [J]. Chinese Earth Sciences Review, 2022, 1(2): 21-29.

Copyright © 2022 by author(s) and Science Footprint Press Co., Limited. This article is open accessed under the CC-BY License (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

