

doi: 10.19388/j.zgdzdc.2017.03.06

引用格式: 刘刚,燕云鹏,刘建宇. 青藏高原西部地质灾害分布特征及背景分析[J]. 中国地质调查,2017,4(3): 37-45.

青藏高原西部地质灾害分布特征及背景分析

刘刚, 燕云鹏, 刘建宇

(中国国土资源航空物探遥感中心, 北京 100083)

摘要: 青藏高原的快速隆起使其地质、地貌和气候发生了剧烈变化,导致崩塌、滑坡、泥石流、岩屑流和冰湖溃坝等地质灾害频发。利用遥感技术对青藏高原西部地质灾害的分布、形成条件进行了研究,对灾害形成的背景进行了探讨。崩塌、滑坡和泥石流主要发育于喜马拉雅山、冈底斯山、喀喇昆仑山及昆仑山的高山峡谷之中;冰湖一般分布于雪线附近;岩屑流发育在雪线之下基岩裸露区的陡坡上;融冻泥流则位于海拔更低的多年冻土和季节性冻土的过渡地带。高原内部的造山带为灾害提供了地形条件;冰川和大气降水为灾害提供了水源;冰川作用和频繁的融冻作用为灾害提供了物源。青藏高原的快速隆升是地质灾害发育的内因,高海拔高寒气候是灾害发育的外因。

关键词: 青藏高原隆升; 遥感; 地质灾害; 分布; 形成条件; 背景分析

中图分类号: TP79; P642.2 **文献标志码:** A **文章编号:** 2095-8706(2017)03-0037-09

0 引言

青藏高原气候寒冷、昼夜温差大、广泛发育冰川,形成了大量的冰湖和冰碛。强烈的新构造运动使喜马拉雅山等极高山区地形陡峻、地震频发。特殊的地质、地理和地貌特点,导致滑坡、泥石流等地质灾害频发,给当地经济建设、国防建设及人民生命财产安全造成了较大威胁。因此,不少学者利用多种方法对地质灾害的类型、成因等进行了研究^[1-10]。由于受研究目的、方法和工作条件等因素的影响,截至2013年,环境非常恶劣的藏西地区尚缺乏对地质灾害区域性、系统性的调查研究。2013年起,笔者参加了中国地质调查局在藏西地区开展的国土资源遥感综合调查工作,利用遥感技术覆盖面积大且快速、经济的特点,使用ETM、ASTER、GF-1、ZY-3和WorldView等多平台、多分辨率遥感数据,对该地区(219国道及其周边地区)的地质灾害类型、分布状况、形成条件和发育背景进行了全面系统的调查,调查面积超过20万km²。其中,ETM、ASTER等中等分辨率的数据主要用于灾害地质背景分析;GF-1等高分辨率遥感数据则主要用于灾害的识别、类型划分和成因分析。

1 地质灾害分布特征

研究区为平均海拔高于5 000 m的高原西部(以下简称“藏西”)地区(图1),年平均气温低于

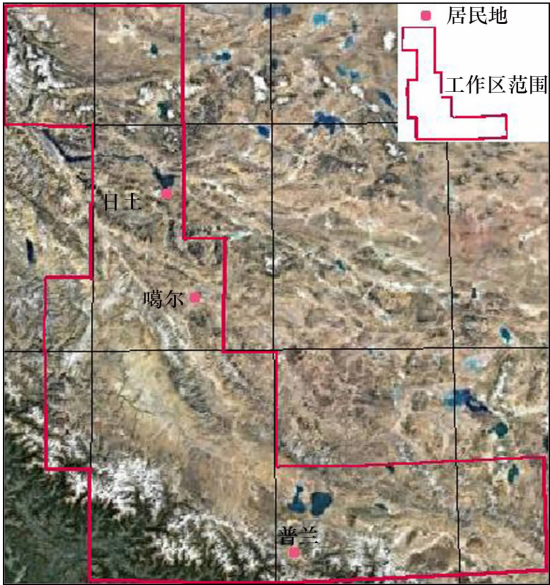


图1 研究区地理位置示意图
(Google Earth 影像)

Fig.1 Location of the study area

0℃,长期的冻融作用形成了严重的物理风化,使地表岩石崩解离析,地质灾害类型较多。既有崩塌、滑坡、泥石流等常见的地质灾害,又有融冻泥流、岩石碎屑流等高寒地区特有的地质灾害。

1.1 泥石流

泥石流是区内危害最大、分布最广的地质灾害。泥石流以沟谷型为主,还有部分坡面型。沟谷型泥石流的特点是沟道短且狭窄、地形比降大,在有充足水源的情况下,就会冲蚀沟底和岸壁的松散堆积物形成泥石流(图2)。

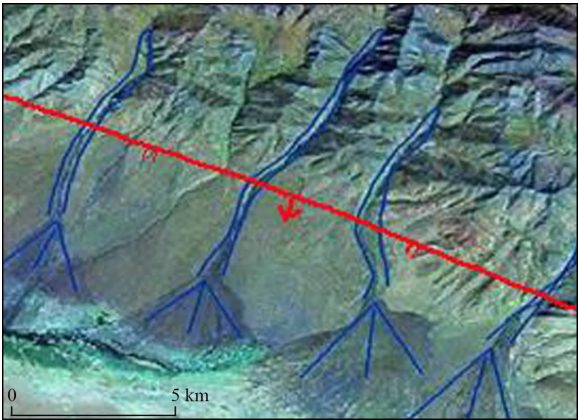


图2 沿断层陡坡发育的沟谷型泥石流
(蓝色线条区)

(ETM B7(R) B4(G) B1(B) 假彩色合成图像)

Fig.2 Ravine mudflow developed in
steep slope along fault

1.1.1 形成条件

泥石流作为山地夷平过程中出现的一种由水流侵蚀、搬运和堆积砾石泥沙的水石运动现象,其形成一般需要具备陡峻的地形、水源和充足的松散固体物质来源3大条件。

(1)地形条件。泥石流一般发育在地形相对陡峭的山坡沟谷之中。由于河流的强烈下蚀作用,导致高原山区地形陡峭、沟谷比降很大。气候变暖使冰川消融、退缩,形成了大量的冰碛物,后期地壳抬升使冰蚀谷成为悬谷,在地形较陡的谷口位置,也容易发生泥石流。

(2)物源条件。本区泥石流的物源主要来自坡积物、崩积物和冰碛。由于缺少植被的附着保护作用,成片裸露的坡积物易被水流冲蚀;冰川的消退退却,遗留了大量结构松散的冰碛物;由于强烈的

温差变化,在海拔4 500~5 000 m的强风化剥蚀带,易形成流石坡(图3),为泥石流提供了大量的固体物质。



图3 高山物理风化带形成的流石坡
Fig.3 Detrital slope in physical
weathering zone

(3)水源条件。泥石流的形成离不开水源,虽然青藏高原总体属于干旱气候,但由于植被稀少、物源丰富、地形陡峻,其形成泥石流的临界降水量指标要明显低于内地。另外,冈底斯山脉和喀喇昆仑山脉等极高山区有终年积雪和冰川覆盖,当夏季气温异常升高时,冰川融雪常常形成瞬时洪水,导致泥石流爆发。

1.1.2 分布特征

藏西地区符合泥石流形成条件的地段,大多位于高山峡谷地区(如扎达县曲松乡周边沟谷地带、扎西岗乡一带的狮泉河谷、219国道的门士至那不如段等)。这些峡谷大部分受大型活动断裂控制,河流的下切使地形变陡,断裂作用使岩石破碎,岩石和土体容易失稳下滑,诱发灾害发生。谷地两侧的极高山上一般都分布有终年积雪和现代冰川,为泥石流的形成提供了水源和丰富的冰碛物源;高山峡谷地段的横向沟谷坡降很大,为泥石流提供了理想的地貌条件(图2)。

部分地区虽然不是峡谷地貌,但因水源和物源丰富,也容易形成泥石流。例如在噶尔藏布上游的早更新世香孜组(Q_{1x})的弱固结砂砾岩分布区,因岩石抗风化能力弱,在地表形成了大量的残坡积物;其上游有比较丰富的冰川融水,在雨季常常形成群发性的泥石流(图4)。



图4 香孜组弱固结砂砾岩形成的泥石流
(蓝色线圈闭区)
(ZY-3号2 m分辨率卫星图像)
Fig.4 Mudflow formed in weak rocks of
Xiangzi Formation gravel

1.2 滑坡

滑坡是指斜坡上的土体或者岩体在重力作用下沿着软弱面向下滑动的现象。本区滑坡以松散堆积形成的覆盖层滑坡为主,基岩滑坡次之。

1.2.1 形成条件

- (1)岩土类型。由松散层和半成岩土层组成的斜坡抗剪强度低,容易产生变形面下滑;虽然岩石的抗剪强度较大,但如果存在着滑动面,特别是在雨后或冰缘地区反复的冻融作用,可使其抗剪强度大幅度下降而易滑动。
- (2)地质构造。各种构造面将岩、土体切割成易滑的不连续状态,同时又为水体进入斜坡提供了通道。故节理、裂隙、层面及断层等发育的斜坡,特别是当平行和垂直斜坡的陡倾角构造面及顺坡缓倾的构造面发育时,最易发生滑坡。
- (3)地貌。相对陡峭的边坡,是滑坡的易发地貌部位。一般情况下,10° < 坡度 < 45°的斜坡是产生滑坡的大概率地段。

(4)降雨(融雪)和地震。雨(雪)水的大量下渗,可导致斜坡上的土石层饱和,增加滑体的重量,降低抗剪强度;地震会使斜坡土石的内部结构发生破坏和变化,使原有的结构面张裂、松弛,在反复振动作用下,斜坡非常容易变形,最后发展成滑坡。

(5)冻融作用。在冰缘冻土地带,由于昼夜或季节性的反复冻融作用,斜坡上的土石层含水量很大,有时在融化层和下部冻土层间积水,从而增加了滑体的重量,降低土石层的抗剪强度,导致滑坡产生。

1.2.2 分布特征

本区滑坡具有2个明显的区域性分布特点:①在喜马拉雅山的南坡地区,受喜马拉雅山的大气环流屏障作用影响,雨量丰沛。雨水的大量下渗,导致斜坡上的土石层水分饱和,产生滑坡;该地区处于欧亚地震带上,大小地震不断,进一步诱发了滑坡的发生。2015年4月25日和5月12日在尼泊尔发生的8.1级大地震和7.5级地震就引发了大量的滑坡和崩塌。②冈底斯山以北至昆仑山以南广阔的半干旱高山峡谷区,山高坡陡,且具有强烈的昼夜温差和冻融作用,物理崩解作用强烈,形成的风化剥蚀产物构成流石坡或洪积坡,处于极不稳定的弱平衡状态(安息角的坡度30°~40°),在突发性雨雪气候条件下,或有一定级别地震发生的条件下,极易造成覆盖层滑坡。

根据地质、地理等影响因素分析,下列地带是滑坡的易发和多发地区:

(1)地形高差大的峡谷地区。这些地带一般地形陡峭,为滑坡形成提供了有利的地形地貌条件(图5),如雅鲁藏布大峡谷、象泉河(朗茨藏布)谷等。



图5 峡谷地带滑坡(红色箭头处)堵塞河道
形成堰塞湖
(Google Earth 影像)

Fig.5 Dammed lake in blocked river
by land slide in a gorge

(2)活动断裂带、地震带。断裂带中的岩体破碎、裂隙发育,非常有利于滑坡的形成,尤其是高角度正断层,更是滑坡的高发地段;地震烈度大于7度的地区,在地震中极易发生滑坡。喀喇昆仑活动断裂带和喜马拉雅地震带是滑坡的多发区。

(3)易滑的岩、土分布区。如松散覆盖层、泥岩、页岩、凝灰岩、片岩、板岩及千枚岩等,由于抗剪强度低,为滑坡的形成提供了良好的物质基础。

(4)冰川边缘地带及暴雨易发地区。昆仑山、喀喇昆仑山和喜马拉雅山的冰川边缘地区,是滑坡高发区;雨季集中降水地段,也是滑坡形成的重要地区,如喜马拉雅山南坡地区。

(5)人工削坡地带。公路陡坡和隧道入口等地段,由于人为的削坡工程,加上边坡基岩风化裂隙发育,在雨雪的作用下,也易形成滑坡等地质灾害。

1.3 崩塌

崩塌是陡坡上的岩土体在重力作用下,急剧向下倾倒、崩落的现象。崩塌的发生与地貌、岩性和构造等因素有关。

1.3.1 发生条件

崩塌多发生在大于 $60^{\circ}\sim 70^{\circ}$ 的斜坡上,崩塌面一般是倾角很大的界面(如节理、层面、破碎带等)。本区内的崩塌以岩崩为主,土崩次之。

(1)岩土类型。通过野外观察和影像解译,比较坚硬的灰岩最容易形成较大的崩塌。板岩、千枚岩等虽然节理、裂隙、层面更为发育,但因其质地较软,很难形成陡峭高大的地形,往往以坠落和剥落为主。

(2)地质构造。地层具有层理等结构面,在地层倾向与坡向一致、且倾角较大时,容易形成崩塌。处于断裂带上的坡体,由于裂隙发育,也容易产生崩塌。

(3)地形地貌。坡度大于 45° 的高陡边坡、孤立山嘴和较陡的公路边坡是有利于崩塌产生的地貌部位。

1.3.2 分布特征

根据实地调查和图像解译分析,区内的崩塌空

间分布规律如下:

(1)广布于高海拔强风化剥蚀带上。这里坡度较陡,具有强烈的昼夜温差变化,冻融作用发育,物理崩解作用强盛,崩塌大部分属于基岩风化剥蚀产物。

(2)位于喜马拉雅山、冈底斯山、喀喇昆仑山及昆仑山等山脉峡谷中的陡峭地带,以岩崩为主。由于大部分峡谷是海拔相对较低的交通要道,道路一般沿谷底修筑,在陡坡地带往往回旋余地少,难以躲避,因此遭受危害较大。

(3)位于狮泉河谷、象泉河谷、雅鲁藏布江谷、班公错等河谷、湖畔的河流或湖泊阶地上,以土崩为主。由于阶地陡峭,在地震、流水侵蚀、反复的冻胀及工程施工等因素作用下,未成岩的砂砾石土等易出现坡体失衡,诱发坡体崩塌。

1.4 岩屑流

岩屑流是高寒地带常见的一种由物理风化和重力作用形成的地质灾害。在海拔5 000 m左右的强物理风化带上,裸露岩石由于风化作用和构造作用形成大量可自由移动的岩石碎屑,这些岩屑粒径一般在5~200 cm之间,以“安息角”(30°~40°)顺坡保持非常脆弱的稳定状态;但在地震、雪崩和流水等其他外力作用下,岩屑整体失稳,会沿山坡向低洼沟谷下滑形成岩屑流灾害(图6和7)。由于碎石粒径较大,人工及机械搬运困难(个别巨大岩块可达数吨),且岩屑流形成的倒石堆非常不稳定,在下方清理过程中,上方碎石会继续滑落,一旦岩屑流阻毁公路,清除作业将非常困难。



图6 掩埋公路的岩屑流地面照片
Fig.6 Road covered with debris flow



图7 岩屑流卫星图像(箭头位置)
(GF-1 B4(R) B3(G) B2(B) 假彩色合成图像)

Fig.7 Satellite image of debris flow

1.4.1 形成条件

- (1)存在由温差变化和冻融作用导致的强烈物理风化作用。
- (2)地表没有植被、土壤等覆盖,岩石裸露。
- (3)存在坡度角 30°左右的陡坡。

1.4.2 分布特征

岩屑流灾害的分布具有较强的规律性:

(1)一般发育在雪线之下的基岩裸露区。根据狮泉河地带的统计结果(图 8),灾害分布的峰值在海拔 5 000 ~ 5 300 m 左右。更新世大冰期时期,由于冰川覆盖范围很大,雪线很低,在 4 300 ~ 4 500 m 左右海拔较低的地区,偶尔也能见到当时形成的古岩屑流。

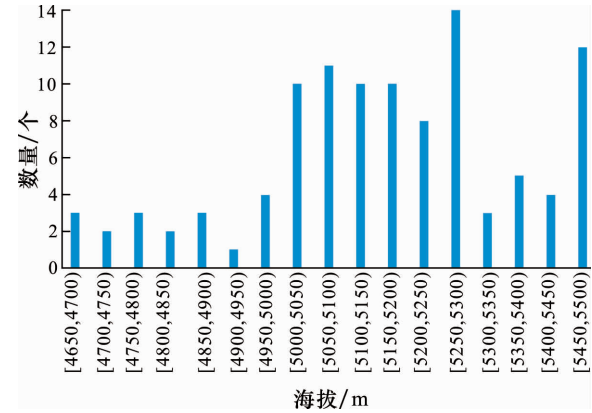


图 8 藏西狮泉河地区岩屑流形成的海拔高度统计
Fig. 8 Altitude statistics of debris flow in Shiquanhe area of western Tibet

(2)岩屑流的运动主要靠重力作用,因此需要有一定的坡度。坡度太小,岩石碎块不能移动;如果坡度太大,在岩石风化产生松动的初期就会形成崩塌,不会发生岩屑的持续累积,从而形成碎屑流。狮泉河一带的坡度统计结果(图 9)显示,岩屑流发

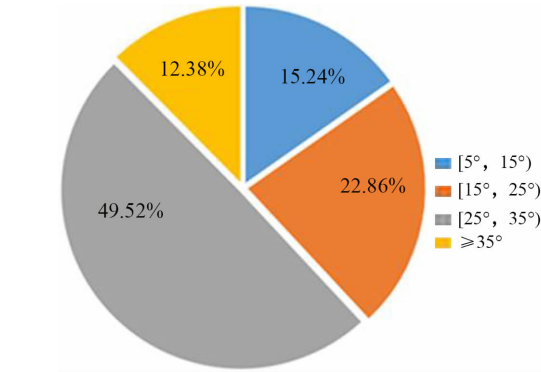


图 9 岩屑流形成的坡度统计
Fig. 9 Slope gradient in formation of debris flow

- 育的理想坡度是 30°左右的斜坡。
- (3)在断裂构造发育的地区,岩石裂隙较多,在降雨(雪)后经融冻作用,更有利于岩石的崩解风化。
- (4)在符合上述条件地区岩屑流常成群出现。

1.5 融冻泥流

融冻泥流是分布在高原冻土地区的一种非常特殊的泥(石)流,多发于多年冻土和季节性冻土的过渡地带。融冻泥流是在冻土融化季节,地表土层水分饱和,在重力作用下沿山坡向下缓慢移动形成的台阶(舌)状地形。其中混杂着的土、砂和大量碎石、漂砾等,对公路和居民点有一定的威胁。图 10 为班公湖南部区域的我国 GF-1 遥感图像,可以清晰地看出泥流缓慢运动过程中形成的舌形或肠状纹理。在暴雨或融雪季节,处于沟谷之中的泥流由于含有大量的碎屑物质,非常容易转化为泥石流,形成更大的危害。在地震发生时,融冻泥流极易整体失稳,沿山坡快速下滑,转化为滑坡。



图 10 融冻作用形成的舌状泥流影像
(GF-1 遥感图像)
Fig. 10 Image of ligulate solifluction created by thaw - freeze action

1.5.1 形成条件

- (1)有多年冻土或季节性冻土。
- (2)地表有大量的松散堆积物,其中含有一定的水分。
- (3)有坡度 < 30°的山坡或干沟。

1.5.2 分布特征

融冻泥流的分布具有较强的规律性:

(1)位于雪线之下,介于多年冻土和季节性冻土的过渡地带,海拔高度低于岩屑流发育地段。研

究区内融冻泥流的后缘一般在海拔 4 700 m 左右,舌状前缘可到达海拔 4 300 ~ 4 500 m 的山脚部位。

(2)融冻泥流常沿松散堆积物比较丰富的山坡成群发育;阴坡由于地表松散堆积物含水较多,融冻泥流一般比阳坡更为发育。

(3)常发育在有终年积雪的极高山坡面上。上游融雪为泥流提供水源,使地表松散堆积物含有较多的水分,加大了融冻作用的影响效果;冰川作用产生的冰碛,可为泥流提供较多的物质来源。

(4)部分海拔较低的古冰川槽谷,具有较多的冰碛碎屑,这些碎屑中含有较多的水分,也可以形成融冻泥流。这些泥流由于海拔较低,对公路等设施的威胁更大。图 11 为国道 G219 日土至噶尔段的古冰川槽谷高分辨率影像,古冰川形成的刃脊非常清晰,槽谷中的冰碛形成的融冻泥流已经抵达路基附近。

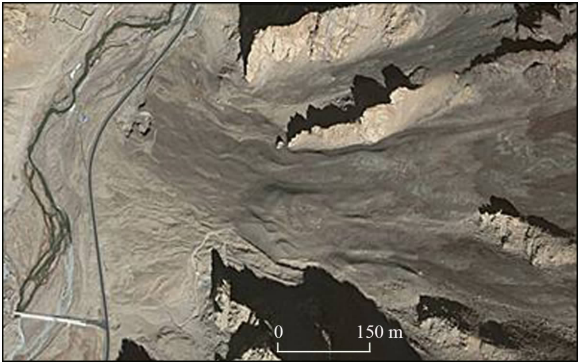


图 11 发育在古冰川槽谷中的融冻泥流
对道路及河道构成威胁
(ZY-3 全色波段与多光谱波段(B3(R)B2(G)
B1(B))融合图像)

Fig. 11 River and road threatened by thaw-freeze solifluction developed in fossil glacier trough

1.6 冰湖溃决

冰湖主要有冰川阻塞湖(冰坝湖)和冰碛阻塞湖(冰碛湖)2 类^[11]。前者是冰川堵塞沟谷形成的积水洼地,后者是冰川末端消融后冰碛在地面堆积成四周高、中间低的洼地积水后形成的湖泊。冰湖溃坝是一种潜在的地质灾害,在枯水期并不构成威胁;但如果气温异常升高导致融雪增多,或突降暴雨,会使湖面迅速扩大,湖水位猛涨而发生溃坝,或充当坝体的冰川(冰坝湖)快速消融发生溃坝。如果发生雪崩、冰崩、滑坡、崩塌及地震等灾害,溃坝的几率会更高。由于冰湖位于海拔很高的雪线附近,一旦溃坝,湖水将直泻而下,在短时间内形成破

坏力巨大的洪水和泥石流灾害。喜马拉雅山区近 50 a 来至少已有 20 余次较大的终碛湖溃决灾害事件,其中 3/4 发生在我国西藏境内^[3-4]。

1.6.1 形成条件

(1)上游(冰碛湖)或下游(冰坝湖)存在现代冰川。

(2)气温异常升高或突降比较大的雨(雪)。

(3)发生雪崩、冰崩、滑坡、崩塌及地震等灾害。

1.6.2 分布特征

(1)主要的冰湖分布在喜马拉雅山脉、帕米尔和喀喇昆仑山脉等极高山区,海拔一般在 5 500 m 以上。这些地区具有大面积的常年积雪,冰湖常常成群分布。

(2)冰坝堰塞湖主要分布于帕米尔和喀喇昆仑山区。冰坝湖由于蓄水量大、海拔高,溃坝后形成的洪水对下游的威胁很大,但此类湖泊数量不多。

(3)冰碛阻塞湖主要位于喜马拉雅山^[5]和冈底斯山。随着气温持续升高,冰川逐步消融,老的冰碛湖规模不断扩大,新的冰碛湖相继产生,便形成了海拔高度不同的冰碛湖群。图 12 为位于中印边界的拉达克山顶的冰碛湖群,若高海拔的冰碛湖在雪崩等的影响下溃坝,下泄的洪水携带大量泥沙,瞬间涌入下游的冰碛湖,会导致连锁反应,使下游的湖泊相继溃坝,这将对相距仅 15 km 但落差达 1 000 m 的国防公路和居民地形成灾难性后果。

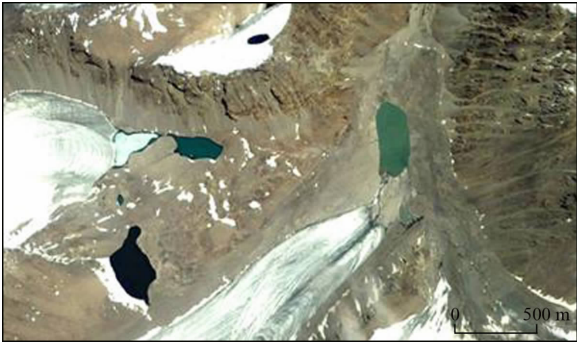


图 12 不同高度的冰碛湖群对下游的
国防公路形成潜在威胁
(Google Earth 影像)

Fig. 12 Drift-dam lakes at different height threatened national defence highway at lower reach

2 地质灾害背景分析

新近纪以来,剧烈的地壳运动使青藏高原快速

隆起,气候寒冷、植被稀少、岩石物理风化严重、冰川广泛分布、新构造运动强烈。特殊的地质背景是高原地质灾害发生的根本原因。

2.1 冰川作用

在古近纪,印度板块和古亚洲板块发生碰撞^[12-13],尔后印度板块持续的挤压作用,使青藏高原在短时间内快速隆升^[13-15],最终造就了雪山林立的巨大高原。雪山及其周边发育大量的现代冰川,冰川巨大的刨蚀和搬运作用,形成了大量的冰碛物和冰碛湖。在更新世大冰期,青藏高原绝大部分地区被冰川覆盖^[16]。全新世以来随着气候变暖,冰川逐渐消融,但大量的古冰碛保留下来。冰川作用为泥石流等灾害的发生提供了丰富的水源和物源,根据笔者及前人的研究^[8-10],研究区大部分泥石流的爆发与冰川作用有关。

冰湖溃坝是冰川作用直接产生的地质灾害。青藏高原是响应全球变暖最为敏感和最为显著的地区之一,大致以唐古拉山和冈底斯山为界,以北地区冬夏两季和年平均气温变化幅度都比南部大,高原西部又比东部大^[17],气候变化的脆弱性最强^[18]。随着气候变暖,在冰川末端形成了数量众多的冰碛湖。在夏季高温融雪、暴雨降临、冰碛坝易被冲蚀和垮塌,或发生地震、雪崩,冰碛湖便有溃坝的危险。一旦溃坝湖水从天而降,经常形成泥石流、滑坡等次生地质灾害。

另外,冰川直接堵塞河道形成的冰坝湖,也可以溃坝形成洪水。目前有确切数据可查、危害较大的冰坝湖,位于喀喇昆仑山叶尔羌河上游的克勒青河上。在海拔5 000 m左右的河谷中,有5条冰川的末端深入克勒青河谷底,其中2条冰川横过河谷直抵对岸山坡,形成了冰川堰塞湖。该湖曾多次溃决^[19-20],引发叶尔羌河的大洪水,对下游的生命财产造成了严重损失。

2.2 气候因素

高耸入云的喜马拉雅山阻挡了印度洋的暖湿气流向高原的输送,使藏西大部分地区处于干旱、半干旱气候。不同的气候条件下,地质灾害的类型和发育程度具有一定的差别。

高山温带气候区:以喜马拉雅山南地区为主,受喜马拉雅山的大气环流屏障作用影响,每年的十月至次年的三月是干季,每年的4—9月是雨季。降水主要集中在7—8月,占年降水量的65%以上。该气候带降水量大,植被比较发育,地质灾害以陡

峭地段的滑坡、崩塌为主,泥石流不太发育。

藏南高原温带地区:包括喜马拉雅山北坡、雅鲁藏布江谷地和冈底斯山西段一线。该地区地形复杂,高差悬殊,平均海拔高度在3 700 m左右,年均降水量在400 mm左右,西部要比东部干旱。该地区山岳冰川非常发育,在海拔5 500 m以上地区形成了一系列的冰碛湖,是冰湖溃决的高发区。另外,由于地形陡峭、切割强烈,有冰川融水和大量的松散堆积,因而也是泥石流和崩塌的高发区。

高原亚寒带:包括冈底斯山以北,昆仑山以南的辽阔地域(藏西北地区),平均海拔在5 000 m以上,年平均气温低于0℃,部分地区年平均气温在-4℃以下,分布有多年冻土区。其中,在阿里北部的喀喇昆仑山等极高山区,全年均不出现气温稳定>10℃的日数,气温日较差一般为15~19℃,局部甚至达23℃以上。由于昼夜温差很大,强烈的物理风化作用为泥石流等灾害提供了充足的松散固体物质。当气温异常升高、短时冰川融雪引发洪水发生时,极易在下游形成泥石流、滑坡等地质灾害。所以该气候带主要的灾害是泥石流,其次为滑坡和崩塌。G219国道沿线发生的洪水和泥石流,几乎每年都要阻断交通。

2.3 构造作用

青藏高原是我国新构造运动最活跃的地区,高原的大幅快速隆升,形成了陡峻地形和强烈的剥蚀作用,使得崩塌、滑坡及泥石流等自然灾害频频发生。例如昆仑山脉麻扎西部的伊力克村阿格勒达坂沟,峡谷阶地陡坎高达120 m,有8级阶地。这些由松散堆积物构成的阶地抗剪能力弱,不少成为滑坡、泥石流的起源地。断裂构造使岩石破碎、容易风化,大量河流、冰川和湖泊沿活动断裂发育,所以在大型断裂带及不同断裂交汇部位,是地质灾害的易发地段。如康西瓦断裂带、狮泉河断裂带都是区域性河流的河谷,同时也是灾害的多发地段。

2.4 地震因素

地震是诱发地质灾害的一个不可忽视的因素,由于其在瞬间释放出强大的能量,打破了原有的平衡体系,大大降低了灾害发生的门槛。在评价灾害形成条件时,地震经常被忽视,原因是坡度、汇水面积、岩石类型、风化程度等因子,无论在遥感图像上还是在实地观察过程中都是可见的;已经发生但没有文字记录的地质灾害是否与地震有关,则很难考证,因此地震因素常常被忽略。2008年5月汶川

大地震诱发了一系列群发性和灾难性的崩塌、滑坡、泥石流和堰塞湖等次生地质灾害^[21],就是一个十分惨痛的实例。

青藏高原是我国地震活动最强烈、大地震频繁发生的地区之一。该区由南向北分布有 2 个主要的地震带,南带为“地中海—喜马拉雅火山地震带”(又称“欧亚地震带”),北带为“西昆仑—阿尔金山地震带”。南带主要沿喜马拉雅山脉和冈底斯山脉的西段分布,北带沿昆仑山分布。据统计^[9],自公元 192—2002 年,高原地区发生的 6 级以上地震就达 376 次之多。其中 7~7.9 级地震 73 次,8 级以上大地震达 12 次。频繁的地震活动使本就风化严重的岩石更不稳定,为地质灾害的发生提供了突发性的动力条件。

3 结论

(1)后碰撞时期青藏高原的快速隆升,导致地貌、环境发生了巨大变化,是藏西地质灾害发育的内因,高寒气候是灾害发育的外因。

(2)地质灾害的孕育、发生与特定的地质背景、地貌条件、气候条件有关:高原内部及周缘的造山带,为灾害提供了地形条件;广泛发育的冰川和大气降水为灾害提供了水源;岩石强烈的物理风化作用、冰川作用和冻土冻融作用,为灾害提供了大量的松散物质。除崩塌、滑坡、泥石流等常见的地质灾害外,岩屑流、融冻泥流和冰湖溃坝是高寒地区特有的地质灾害。

(3)区内崩塌、滑坡、泥石流主要发育于喜马拉雅山、冈底斯山、喀喇昆仑山、昆仑山等极高山山脉峡谷的地形陡峭地段;容易发生溃坝的冰湖一般分布于极高山区的雪线附近;岩屑流发育在雪线之下 200~400 m 基岩裸露区的山坡上;融冻泥流则位于海拔更低的多年冻土和季节性冻土的过渡地带,后者都与高寒融冻作用有关。

致谢:感谢青海地质调查院李晓明先生、康永成先生,煤炭地质总局航测遥感局阎永忠先生、马露女士,安徽地质调查院彭鹏先生,湖北地质调查院方臣先生等协助本项目的调查工作。

万方数据

参考文献:

- [1] 王治华. 数字滑坡技术及其典型应用[J]. 中国地质调查, 2016,3(3):47-54.
- [2] 孟晖,张岳桥,杨农. 青藏高原东缘中段地质灾害空间分布特征分析[J]. 中国地质,2004,31(2):218-224.
- [3] 徐道明,冯清华. 冰川泥石流与冰湖溃决灾害研究[J]. 冰川冻土,1988,10(3):284-289.
- [4] 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,2003,26(6):621-628.
- [5] 刘晶晶,程尊兰,李泳,等. 西藏冰湖溃决主要特征[J]. 灾害学,2008,23(1):55-60.
- [6] 王杰,张涛,叶定阳,等. 青藏高原东缘典型冰川融雪型泥石流灾害特征分析——以甘孜理塘某泥石流为例[J]. 甘肃水利水电技术,2016,52(5):35-37.
- [7] 郭长宝,杜宇本,佟元清,等. 青藏高原东缘理塘乱石包高速远程滑坡发育特征与形成机理[J]. 地质通报,2016,35(8):1332-1345.
- [8] 张瑞江. 青藏高原冰川演变与地质灾害[J]. 国土资源遥感,2010,86(增刊):54-58.
- [9] 彭建兵,马润勇,卢全中,等. 青藏高原隆升的地质灾害效应[J]. 地球科学进展,2004,19(3):456-466.
- [10] 李永化,赵军,崔之久,等. 青藏高原东缘和邻区晚新生代泥石流活动规律及其成因[J]. 地理研究,2002,21(5):561-568.
- [11] 中国科学院兰州冰川冻土研究所. 中国冰川概论[M]. 北京:科学出版社,1988:90-100.
- [12] 张培震,张会平,郑文俊,等. 东亚大陆新生代构造演化[J]. 地震地质,2014,36(3):574-585.
- [13] 张克信,王国灿,洪汉烈. 青藏高原新生代隆升研究现状[J]. 地质通报,2013,32(1):1-18.
- [14] 葛肖虹,刘俊来,任收麦,等. 青藏高原隆升对中国构造-地貌形成、气候环境变迁与古人类迁徙的影响[J]. 中国地质,2014,41(3):698-714.
- [15] 张云红,许长军,亓青,等. 青藏高原气候变化及其生态效应分析[J]. 青海大学学报(自然科学版),2011,29(4):18-22.
- [16] 韩同林. 青藏大冰盖[M]. 北京:地质出版社,1991:89-96.
- [17] 向波,缪启龙,高庆先. 青藏高原气候变化与植被指数的关系研究[J]. 气候分析与农业气象,2000,21(1):29-36.
- [18] 陈晓光,李林,朱西德,等. 青海省气候变化的区域性差异及其成因研究[J]. 气候变化研究进展,2009,5(5):249-254.
- [19] 苏珍. 喀喇昆仑山—昆仑山地区冰川与环境[M]. 北京:科学出版社,1998:124-139.
- [20] 施雅风,黄茂桓,姚檀栋,等. 中国冰川与环境:现在、过去和未来[M]. 北京:科学出版社,2000:236-252.
- [21] 殷跃平,张永双,伍法权,等. 汶川地震地质灾害调查成果与展望[J]. 中国地质调查,2014,1(1):1-9.

Analysis of distribution character and background of geological hazards in western Qinghai – Tibet Plateau

LIU GANG, YAN Yunpeng, LIU Jianyu

(China Aero Geophysical Survey and Remote Sensing Center for Land and Resources, Beijing 100083, China)

Abstract: The rapid uplift of the Qinghai – Tibet Plateau cause drastic changes in geology, and form and climate, then the geological hazards such as dilapidation, landslide, mudflow, debris flow and dam breaking of glacier lakes happen frequently. The distribution and forming conditions of geological hazards in western Qinghai – Tibet Plateau were studied by remote sensing, and the hazards evolution background was researched. The dilapidation, landslide and mudflow mainly develop in the canyons of Himalayas mountains, Kailas Range mountains, Qaraqurum mountains and Kunlun mountains. The glacier lakes are usually distributed around the snow line. The debris flow is distributed in steep slope areas under the snow line where the rocks are exposed. Thaw-freezes solifluction is distributed in the area between permafrost and seasonal frozen ground where the altitude is lower than that of the debris flow. The orogenic belt in plateau provide landform conditions, the glaciers and precipitation provide water source, and the glacial action and frequent thaw-freeze action provide a mass of materials for the geologic hazards. The rapid uplift of the Qinghai – Tibet Plateau is the intrinsic factor of the geological hazards, and the high-altitude and extremely cold climate are the extrinsic factors.

Key words: Qinghai – Tibet Plateau uplift; remote sensing; geological hazards; distribution; forming condition; background analysis

(责任编辑: 刁淑娟)