

西藏古乡地区的雪崩及其在高山 自然地理过程中的作用*

邓 养 鑫

(中国科学院兰州冰川冻土研究所)

大量的积雪在重力作用下突然从山坡上滑落与崩塌的现象叫做雪崩。它是高山地区,尤其是气候潮湿多雪的山区一种分布普遍而活动特殊的自然现象,也是上述地区最活跃与最快速的剥蚀营力之一。雪崩作为一种自然灾害现象,还严重地影响着某些山区的交通运输、工矿建设、农林牧生产以及人民生命与财产的安全。

在我国西部高原及高山地区,雪崩多发生于常年积雪带,而在西藏东南部的古乡地区(图 1),雪崩不仅分布于常年积雪与冰川地带,并且还深入到季节性积雪区。它分布普遍、活动频繁、危害严重。

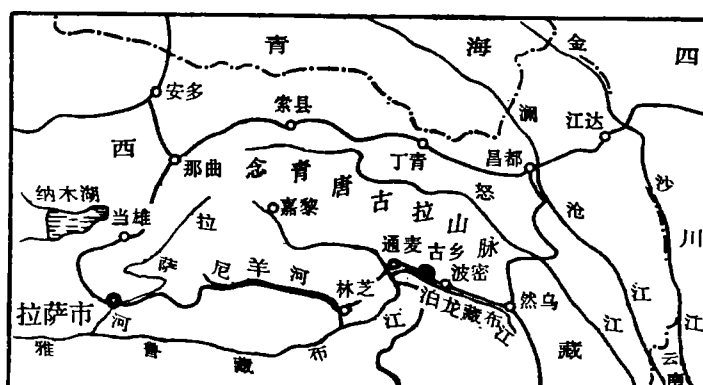


图 1 古乡位置示意图(比例尺: 一千万分之一)

1964—1965 年,我们在泥石流考察中曾对古乡地区雪崩的分布、类型、活动状况、形成条件、在高山自然地理过程中的作用以及对山区经济建设的影响进行了观察,同时还对邻近地区的雪崩进行了考察。现就以上研究结果作一报道。

一、雪崩的分布及活动状况

古乡位于西藏东南部的波密县境,约在北纬 $29^{\circ}55'$ 和东经 $95^{\circ}30'$ 处。所在山岭系念青唐古拉山的东延余脉。这里重峦迭嶂,高峰林立,一般山顶海拔在 5,000 米左右,古乡主

* 在野外工作及撰写本文过程中,曾得到谢自楚、王中隆、康志成、李鸿铨、郑本兴、王彦龙等同志的帮助,文中附图由尹世珉同志清绘,特此一并致谢。

峰高达 6,150 米,耸峙于群峰之上,巍峨峻峭。山麓泊龙藏布江谷地降至海拔 2,500 米,沟谷幽深,山坡陡急,呈现出典型的高山峡谷面貌。

古乡沟是泊龙藏布江北侧的一条小支流,其源头及上游区是一个东、北、西三面被海

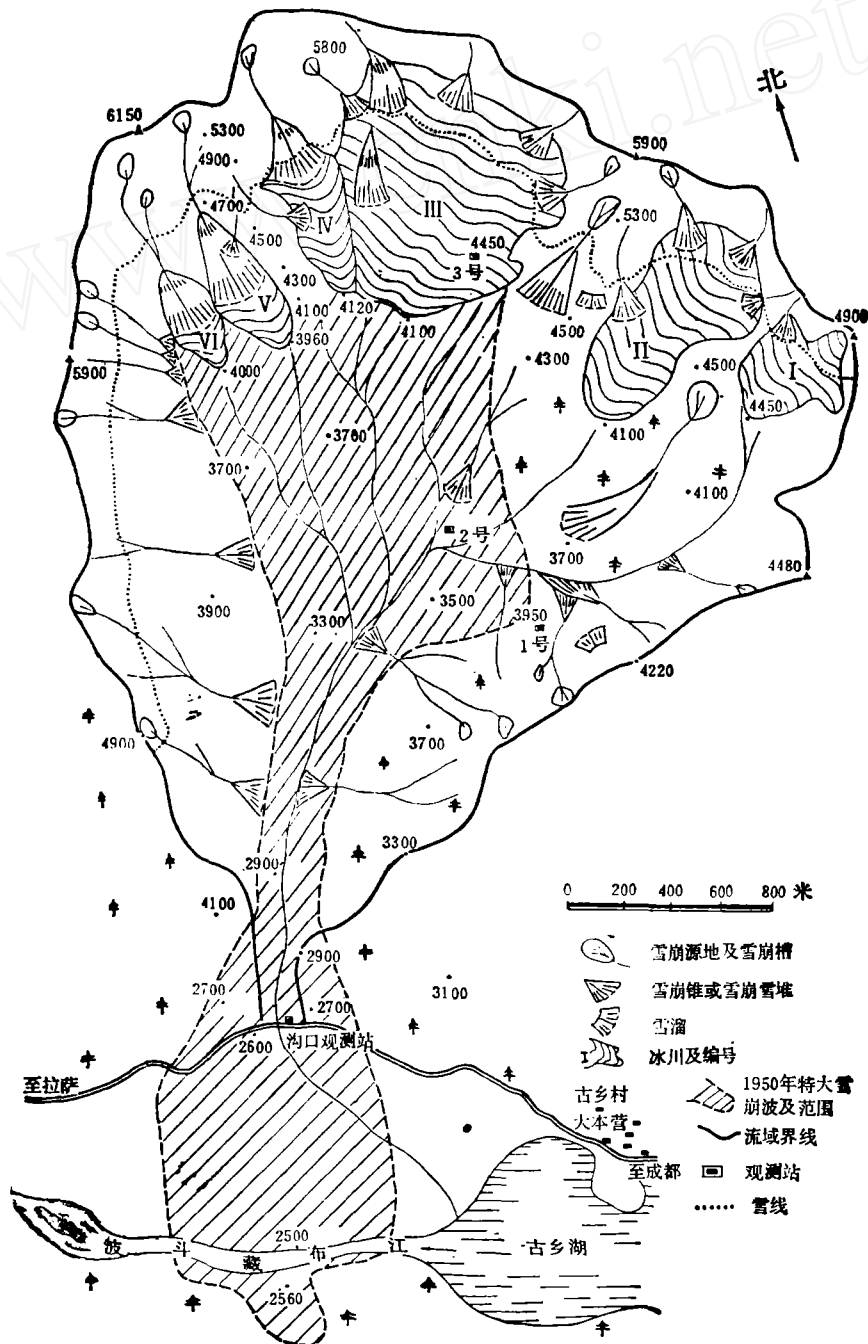


图 2 西藏古乡雪崩分布图

拔 4,000—5,000 米的山岭所环抱的向南开口的盆地。这个盆地可能是第四纪冰川作用所造成的大围谷。至今在海拔 3,900—5,000 米间的山坡上仍分布着六条现代冰川,总面积为 4.2 平方公里。冰川之上则为终年积雪与云雾缭绕的巍峨山峰(照片 1 及图 2)。在其余不同朝向的山坡上,呈岛状分布着高山草甸,高山灌木与针叶林。

在总面积为 23.2 平方公里的盆地内,无论阳坡或阴坡,甚至在盆地底部的沟槽中,雪崩痕迹几乎到处可见。在冬、春两季,当众多的雪崩槽沾满了雪崩雪后,犹如白色的珠帘悬挂在陡崖之上,景象奇特壮观。在气温最高的 7 月份,非冰川区(属季节性积雪区)的雪崩虽已基本停息,但其残留下的雪崩雪堆仍历历在目;而冰川区(大部分系常年积雪区)的雪崩每日还此起彼伏的呈数十次崩落,冰川之上不时雪块飞舞,响声隆隆。

据统计,古乡地区共有雪崩活动点 300 余处,而盆地内就有 209 处(其中属非冰川区的为 116 处,属冰川区的为 93 处)。雪崩集中分布区的面积为 8 平方公里,平均在每平方公里的范围内就有雪崩活动点 26 处之多(表 1 及图 2。图中仅绘出主要的大雪崩活动点)。

表 1 古乡盆地内雪崩活动点的数目

非 冰 川 区	地 段	数 目	冰 川 区	冰 川 编 号	数 目
	6 号冰川—峡谷口	25		I	9
	峡谷内	15		II	26
	峡谷口—I 号冰川	53		III	31
	I 号冰川—II 号冰川	3		IV	13
	II 号冰川—III 号冰川	17		V	11
	IV 号冰川—V 号冰川	3		VI	3

在非冰川区,雪崩的补给源地皆位于森林线以上冬季和春季积雪的山坡与洼地中,它们与山麓的相对高差从数十米到数百米不等,最大者在千米以上,而雪崩槽的总长度亦与此相适应。绝大多数的雪崩能一次崩落到沟底,并在山麓形成雪崩雪堆或由雪崩雪堆相连而成的积雪地(照片 2)。在冰川区,几乎每条冰川后方的山坡上均密布着雪崩槽,其上的山巅则为终年积雪的雪檐与冰峰,是雪崩的良好补给源地(照片 1)。因为雪崩补给区的山峰(海拔近 6,000 米)与冰川(海拔 5,000 米以下)相对高差很大,所以雪崩槽的长度一般较非冰川区的大,特别是 IV—VI 号冰川上的雪崩槽长度多在千米以上。

在整个盆地内,以南坡的雪崩最多,约占总数的 70% 左右,这主要是由于南坡海拔高度大,在雪线以上的面积相应的亦大,积雪随之亦十分丰富的缘故。而其余朝向的山坡因为均在雪线以下,只有冬、春才有季节性积雪,在物质供给上受到一定的限制,所以雪崩的数目亦随之减少。

古乡地区雪崩发生之频繁实属罕见。由地貌和植物标志判断得知,非冰川区的雪崩多数每年发生一次,少数每年发生数次,而冰川区的雪崩除 I 号冰川上是冬、春和夏初发生,到 7 月份由于山坡上积雪融化殆尽而停止外,其余 5 条冰川上的雪崩大部分是终年发生,极个别的有时还一日崩落数次,如 1964 年 7 月 1 日 12—17 时内,IV—VI 号三条冰川

上形成的雪崩共达 32 次之多,其中 VI 号冰川上第 3 条雪崩槽中就发生了 10 次雪崩。

通过对部分雪崩雪堆的测量,发现古乡地区雪崩的每次崩塌量除少数在一万立方米以上外,大部分为数百至数千立方米。

由于古乡地区系高山带,不少地方人迹难至,加之冰川区的雪崩爆发次数频繁,因此要取得雪崩的年崩塌总量的精确数字是比较困难的。我们在现有技术条件允许的范围内所采用的方法是:首先根据两年观测的结果勾绘和量算出雪崩补给区的面积,再根据高山站气象资料推算出补给区的年固态降水总量,然后以其中 85% 的固态降水量作为雪崩的崩塌量,如此计算得出古乡地区冰川区与非冰川区的雪崩年崩塌总量分别为 1,300 万立方米和 400 万立方米。

二、雪崩产生的有利条件

据观察,古乡地区雪崩产生的有利条件主要可归纳为如下两方面:

(一) 气候条件

古乡地区位于青藏高原的东南部,距孟加拉湾不及 1,000 公里。由于印度洋水汽溯雅鲁藏布江河谷北上,越过喜马拉雅山东延余脉的横向河谷可直达本区,致使该区降水十分充沛^[1]。雪崩补给区的年降水量为 2,000—3,000 毫米,冬半年(10 月—翌年 4 月)的固态降水量也超过 600 毫米,使山坡上的积雪厚达 2—3 米以上,即使在雨季的 6 月上旬,山坡上的积雪仍厚达 1 米左右,而在冰川区海拔 4,800 米以上的山坡,几乎全为固态降水,成为永久积雪地。如此丰富的降水和积雪,使雪崩获得了充沛的物质来源。

古乡的雪崩主要发生于春、夏二季,此时因为气温乍然升高,积雪随即迅速融化,融雪水渗入雪层内,一方面破坏了雪粒间的粘结力而使雪层疏松易动,另一方面水渗入底层并沿着山坡流动,使雪层与地表之间形成了一个由水所构成的滑润层^[2],从而引起雪层破裂与滑动并形成雪崩。这种现象尤以晴天的中午出现的最多,例如 1965 年 7 月 6 日,是一个碧空晴日,中午气温较往常高约 3℃,积雪融化甚速,于是仅在 14—15 时的一个小时内,IV 号冰川上发生的雪崩就达 31 次之多。

盆地四周的山脊上,尤其是垭口附近,春季风速常达 3 米/秒以上,由于风的吹颭作用,往往使山坡上(尤其是陡崖上)的雪层失去平衡而形成雪崩。另外,风还将积雪从高处搬至低处,使洼地中的积雪量不断增大,从而为更大规模地产生雪崩准备了丰富的物质条件。

(二) 地质地貌条件

古乡地区在地质构造上正处于喜马拉雅结晶轴东北端深大断裂带上,是东西向构造与南北向构造的过渡区,新构造运动十分活跃。

本区断层、节理、裂隙均异常发育。它们一方面使岩石破碎从而增加了雪崩体中岩屑的含量;另一方面,断层也往往为雪崩创造了原始地形条件。例如从盆地后壁到谷底分布着三条横穿山脊、走向为南东 100—110° 的逆断层,它们成了雪崩体运动的通道。

值得强调的是本区地震频繁而强烈。从 1935 年有记录资料以来,这里就发生了十余次较大地震,其中尤以 1950 年 8 月 15 日的地震最为强烈(8.6 级)^[3],本次地震曾引起了

古乡地区特大雪崩的发生。至于一般强度的地震则更多,比如5级左右的地震每年就不下五次。当地震发生时,山坡上积雪的稳定性受到严重破坏,是引起大雪崩的主要原因。如1964年8月24日晚11时许,一次地震(经查表估计为3—4级)曾使III、IV号冰川上发生了较往常多而大的雪崩。

古乡山岭高出谷底达3,000—3,500米,仅在雪线以上的部分就达一千多米,使之具有相当大的承受固态降水的面积。同时,古乡山坡上分布着许多大小不等的雪蚀洼地,便于聚集大量的积雪,从而为雪崩提供了丰富的物质来源。

古乡地区的地形十分陡峻,大部分山坡的坡度为30—50°,个别的达到70°以上,加之大部分山坡基岩裸露,粗糙度降低,有利于积雪的滑落而形成雪崩。

三、雪崩的类型

在国内外有关文献中至今尚未见到综合而统一的雪崩分类系统,现有的分类基本上都是将雪崩的某一特征做为标准。根据Г. К. 图申斯基(Тушинский)的分类方法^[4],可将古乡地区的雪崩按其运动路径和补给源地地形上的特征分为雪溜(亦称坡面雪崩)、沟槽雪崩和跳跃雪崩三类(各类雪崩数目可见表2)。

雪溜是指积雪沿着山坡呈面状向下缓慢的滑落,其滑落的雪体呈较均一的长堤状平行于山坡而分布在坡麓或洼地中。雪溜的滑落距离一般为数十米。盆地内共有雪溜5处,占雪崩总数的2.5%,皆分布于非冰川区的高山草甸带(图2)。

表2 古乡盆地内各类雪崩的数目

地 段		非冰川区	冰川区
类 型			
雪溜(坡面雪崩)		5	—
沟槽雪崩	侵蚀沟沟槽雪崩	43	16
	剥蚀漏斗沟槽雪崩	18	11
	变形冰斗沟槽雪崩	2	—
跳跃雪崩	侵蚀沟跳跃雪崩	38	39
	剥蚀漏斗跳跃雪崩	10	27

沟槽雪崩是指积雪在固定的沟槽中向下崩塌与滚动。雪体以巨大的力量冲击着沟槽,并在坡麓形成雪崩雪堆。盆地内共有沟槽雪崩90条,占雪崩总数的43%,它们主要分布于非冰川区。

按照沟槽雪崩发源地的地形形态,又可在其下分为侵蚀沟沟槽雪崩、剥蚀漏斗沟槽雪崩和变形冰斗沟槽雪崩三个亚类。前者是指雪崩源地为细小的侵蚀沟槽,由于地形陡峻而使积雪难以停积,故雪崩发生频繁但规模甚小;中者指雪崩源地为经过剥蚀作用而成的漏斗状洼地,因其面积较大,蓄积的雪量较多,故雪崩量亦较大;后者为经过各种剥蚀作用而改变了原来形状的古冰斗,因其雪藏量最大,故每次雪崩量亦最大,但发生的次数却最

少。在盆地内,沟槽雪崩中以侵蚀沟沟槽雪崩最多,它占该类雪崩总数的一半。

跳跃雪崩实际上是一种变形了的沟槽雪崩。它是由于沟槽被陡坎或悬崖中断,或沟槽发生急转变时,雪体腾空而起,以自由落体的形式跳跃而下。跳跃雪崩由于速度极快,当碰到陡崖时,雪块常被粉碎而弥漫天空,形成景象十分壮观的雪云。例如 1964 年 7 月 8 日 20 时,在 4 号冰川上曾发生了一次较大的跳跃雪崩,庞大的雪云顿时笼罩了整个冰川,约 5 分钟之久方才消散。跳跃雪崩在其高速运动中由于雪粒之间或雪粒与岩石之间猛烈碰撞的结果,常常摩擦生电而形成火星。如 1965 年 8 月 22 日晚 11 时,在 II—III 号冰川间的山峰上曾发生了一次跳跃雪崩,顿时出现了许多淡蓝色的火星,在黑暗的夜空中清晰可辨。在盆地内共有跳跃雪崩 114 条,它们主要分布于冰川区。

根据跳跃雪崩形成源地的地形形态,又可在其下分为侵蚀沟跳跃雪崩、剥蚀漏斗跳跃雪崩和变形冰斗跳跃雪崩三个亚类,本区未见后者。

在以上各亚类之下又可依据雪的干、湿程度而分为干雪崩和湿雪崩二种。就时间而言,前者主要发生在冬季,后者主要发生于春、夏两季;就地段而言,前者主要发生在冰川区,后者主要发生在非冰川区;就破坏力而言,后者往往大于前者。

四、雪崩在高山自然地理过程中的作用

(一) 雪崩的地质地貌作用

雪崩不仅切割着山脊与山坡,而且也是石块与岩屑从高处向低处迁移的重要营力之一^[5],它在古乡地区的地质地貌作用表现得十分明显。

在盆地北坡的中、上部,分布着许多雪崩雪堆,它们对其四周及下伏的岩层产生着强烈的雪蚀作用,使山坡上形成了大量的石块、岩屑等固体物质。这些物质在春、夏经融冻泥流的搬运作用而到达较低的部位,使山坡上形成了多级洼地和特殊的冰缘剥蚀地形——山原阶地。

雪崩在运动过程中常将山坡上大量石块、岩屑、草皮及土壤层带至谷底(照片 3)。根据对近 50 个雪崩取样分析,发现在非冰川区和冰川区的雪崩雪中,石块与岩屑的体积分别占雪崩总体积的 2.3% 和 1.2%。这样,在整个盆地内雪崩每年搬运的石块与岩屑总量约为 25 万立方米。

被雪崩携带下的石块称为雪崩碛,岩屑称为雪崩碛。前者粒径一般为 5—30 厘米,个别的达 1 米以上;后者一般从数毫米至数厘米不等。它们常堆积在坡脚,形成以下几种堆积地形:

雪崩锥 它是由雪崩碛、雪崩碛等组成的锥状地形(照片 4)。一般高约数米,最高者为 10 米以上,底宽达 50 米左右。

雪崩裙 它是由许多雪崩锥相连而成的外形似裙状的地形。其高度与雪崩锥一致,长度从数十米到数百米不等。

雪崩垄 雪崩常在沟槽的下部或平缓地段以垄状的形态堆积下来,有时亦像耕犁一样以极大力量将沟槽中的松散物质挤挖出来并堆至两侧,形成与沟槽平行的垄状地形,这些统称为雪崩垄(照片 5)。它一般高约 1—5 米,长数十米至数百米。

雪溜堤 雪溜能将山坡上的石块、岩屑、草皮、土壤推至下方,形成平行于山坡等高线的堤状地形,叫做雪溜堤。它一般高约 0.5—2 米,长数十米。

(二) 雪崩对冰川的补给作用

古乡地区的气候雪线(南坡)在海拔 4,800 米左右(图 2),它通过 I—IV 号冰川的后缘,而 V—VI 号冰川则呈悬冰川低垂于雪线之下。盛夏时几乎全部冰川上的季节性积雪皆融化殆尽,但众多的雪崩雪堆仍围绕在冰川的后半部,尤其是 V、VI 号冰川几乎为大型雪崩雪堆所埋盖,雪崩成了古乡地区现代冰川的主要补给来源。

经估算,六条冰川上的雪崩年崩塌总量约为 1,300 万立方米。据大量取样称重,发现雪崩雪中除去石块、岩屑等外,雪的静容重平均为 0.5 吨/立方米,这样每年崩落到冰川上的雪崩雪折合水量为 650 万立方米,它们占冰川年补给总量的 54%,为现有六条冰川总储水量的 4.6%。可以毫不夸张地说,若无雪崩的补给作用,古乡现代冰川(特别是 IV—VI 号冰川)的存在和发育是不可能的。这种以雪崩为主要补给来源的冰川,堪称为“雪崩冰川”或“再生冰川”。

此外,雪崩每年由山坡上带到冰川上的石块与岩屑等在 16 万立方米左右,它们经冰川的再搬运作用到达冰舌区,从而形成冰舌区平均厚度为 0.5 米左右的十分发育的表碛。

(三) 雪崩对植被的影响

古乡地区的雪崩由于分布普遍,常常深入到原始森林内,所以它对植被的作用表现得十分突出。

首先,雪崩及其气浪常打毁成片的原始森林和灌木,使盆地内出现了岩土裸露的无林地段(照片 6)。除 I 号冰川至峡谷口间的山坡上森林覆盖度较大外,其余的山坡由于雪崩的频繁破坏,森林面积已不到总面积的 10%,即使那些幸存下来的树木亦仅呈斑点状散布在山坡上。

其次,雪崩常改变植物群落的成份和结构,造成异常的植被景观。例如在北坡的雪崩槽中,由于树木被雪崩所毁,使地面光照增强,水分减少,喜阳耐干的植物(如蔷薇、小檗、沙棘、蕨、杨树等)便迅速生长起来,从而取代了原有的喜湿耐阴的杉树群丛。由于古乡的雪崩雪有一部分可保留到盛夏不消而形成永久积雪地,便使其附近形成了一个与同高度、同坡向的地段不同,但却为较高植物带所特有的生态条件(反映出气温低和湿度大),从而生长了为高处所特有的喜湿耐寒的植物。如高山杜鹃在南坡一般分布于海拔 3,800 米以上的灌木带,目前有些已下降到冷杉林带下的海拔 3,100 米处,出现了植物在垂直分布上的倒置现象。

另外,雪崩雪的作用可使植物的生长发育延缓。例如在古乡地区,处于同一高度和同一坡向的两个地段,一个经受着雪崩的作用,另一个无雪崩作用,由于两地小气候的差异性(前者相对湿冷,后者相对干暖),而使得有雪崩作用地段的物候期比之无雪崩作用地段的物候期要推迟 20 天左右。

在雪崩运动中未被完全打毁的树木,也往往改变了原来的外形。如生长在雪崩槽边沿的杜鹃树、山柳等,由于雪崩推压的结果,常向下方弯曲且紧贴着地面(照片 7)。

(四) 雪崩在泥石流形成中的作用

在古乡泥石流的形成中,雪崩均以间接和直接的方式,从固体物质与水源补给两个方

面起着一定的促进作用。

首先, 该处泥石流赖以形成的大量松散固体物质主要是盆地内体积达数亿立方米的新、老冰碛, 而这些冰碛物中的一部分是由雪崩从山坡上搬到冰川上, 之后又经冰川的再搬运形成的。冰川融水是该处泥石流的两大水源之一, 而这些冰川又是以雪崩为主要补给来源的海洋性冰川。因此, 无论是历史上还是现在, 雪崩均在一定程度上通过冰川的作用间接的参与着泥石流的形成过程。

其次, 在非冰川区的雪崩中有相当一部分还可以当年参与泥石流的形成和加大泥石流的规模。

应该特别指出的是 1950 年的特大雪崩在 1953 年特大泥石流形成中的作用^[1]。大量积雪从山峰上盖顶而下, 顺着陡崖几乎垂直崩落到 IV 号冰川上, 平均落差约在 500 米左右。它们经过冰舌, 滚动与跳跃到盆地底部, 一部分还经过多次弹跳, 越过长达 2 公里的基岩峡谷到达泊龙藏布谷地中, 个别雪块还一跃过江, 到达与主峰相距约 8 公里的泊龙藏布江南岸。雪崩所经之处, 森林被毁, 农田被埋, 呈现出一片白雪皑皑景象 (图 2 及照片 1、6)。

这次雪崩使盆地内大量冰碛物的稳定性受到破坏, 加之大量雪体的融化, 使已松散且不稳定的冰碛物充水近于饱和状态, 遂在 1953 年 9 月底一次地震的影响下形成了“龙头”高达 40 米的古乡特大泥石流。

随着西藏东南部山区各项经济建设的开展, 雪崩的危害性将会大量表现出来。虽然过去曾做了一些防治工程, 如在川藏公路通过雀儿山一段修筑木结构的防雪崩走廊以防止雪崩对线路的破坏 (照片 8), 但是对于受雪崩严重危害的其它路段及其两侧山区中的城镇与村庄而言, 仍是微不足道的。至于对这些地方雪崩的研究, 则进行得更少, 因此, 为了使科研走在建设的前面, 有必要对西藏东南部广泛分布着的雪崩进行全面、系统和深入的研究。

参 考 文 献

- [1] 李连捷, 西藏高原的自然区域, 《地理学报》20(3), 1954 年。
- [2] Roch Andre, Mechanism of Avalanche Release, *SIPRE*, No. 52, April 1956.
- [3] 《地理知识》编者, 一九五〇年八月十五日中印边境的大地震, 《地理知识》1951 年第 7 期。
- [4] Г. К. Тушинский, Ледники, снежники, лавины Советского Союза. М. Географиз. 1963.
- [5] М. И. Ивернова, Рельефобразующая роль снежных обвалов в хребте Терской Алатау. “Известия АН СССР” Сер. Географ. 1961. No. 3.

SNOW AVALANCHE IN GUXIANG REGION OF XIZANG AND ITS ROLE IN THE PHYSICAL GEOGRAPHIC PROCESSES OF HIGH MOUNTAINS

Deng Yangxin

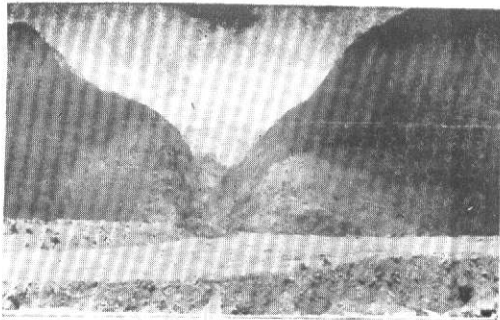
(Lanzhou Institute of Glaciology and Cryopedology, Academia Sinica)

Abstract

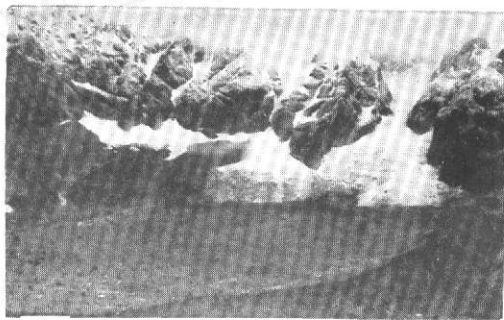
During the investigations on the Guxiang mud-rock flow in Xizang from 1964 up to 1965, we also observed the distribution, damage, types, activity and forms of snow avalanche, and its roles in the physical geographic processes of high mountains.

The main contents in this paper are as follows:

1. The distribution and activity of snow avalanche.
2. The favorable conditions for snow avalanche.
3. The types of snow avalanche.
4. The role of snow avalanche in the physical geographic processes of high mountains:
 - (1) The geologic and geomorphologic functions of snow avalanche;
 - (2) The function of snow avalanche in nourishment of glaciers;
 - (3) The influence of snow avalanche on plant cover;
 - (4) The relationship between snow avalanche and mud-rock flow.
5. The influence of snow avalanche on constructional works in mountainous regions.



照片 1 古乡盆地全貌



照片 2 古乡 V、VI 号冰川



照片 3 大量石块与岩屑被雪崩从山坡上带至谷底



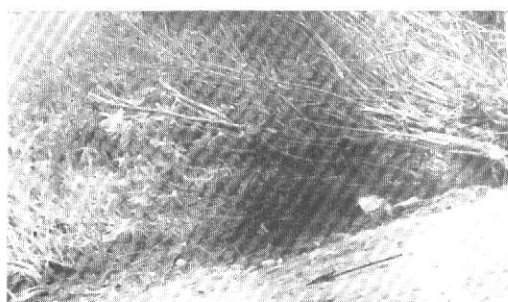
照片 4 雪崩锥



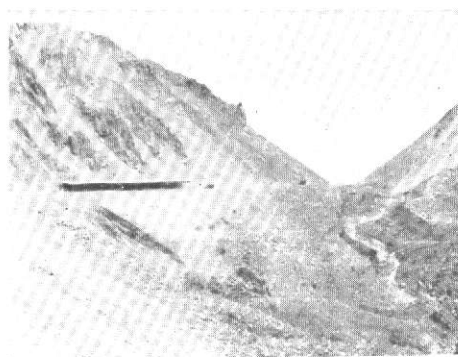
照片 5 雪崩堆



照片 6 大片原始森林被 1950 年特大雪崩打毁



照片 7 由于雪崩的推压作用,雪崩槽两侧的杜鹃树向下方倾伏(箭头示雪崩运动方向)



照片 8 雀儿山防雪崩走廊