

# 青藏高原热融类滑坡发育与水土保持

胡发德

(中国科学院成都地理研究所)

号称“世界屋脊”的青藏高原及其邻近山地的广大冰雪冻土区内，热融滑坡十分发育。该区在极高的海拔，特殊的地质地貌、水文气候和植被土壤条件下，风化作用强烈，冰川冰雪融水丰沛，冻土和地下冰热融作用频繁，大小沟壑发育，侵蚀严重，热融滑坡发育、发生普遍，并伴随形成规模巨大的灾害性泥石流。它不仅给青藏高原的交通运输和人民生命财产造成极大危害，而且引起严重的水土流失，给黄河、长江等大江大河上游区各支流带来大量泥沙石块，使生态环境受到严重破坏。

1975年以来，我们在参加青藏铁路选线和横断山综合地理考察中，收集了这方面的资料。据此，试就青藏高原及其邻近山地热融类滑坡发育、形成泥石流的危害与水土保持作一粗浅论述。

## 一、热融滑坡的危害与分布特征

### (一) 热融滑坡的危害

青藏高原热融滑坡的危害相当严重。它可在顷刻之间摧毁前进道路上的一切障碍物，并将成千上万方泥沙石块搬运到公路上、河谷中，造成交通运输堵塞、江河湖泊变形、水质变坏，而且堵沟溃湖后往往形成泥石流，给下游造成巨大灾害。

1、热融滑坡溃湖造成的危害。1954年7月7日凌晨，西藏江孜地区与不丹国边境邻近的色旺湖边一处热融滑坡坠入湖中，成千上万立方米的湖水和泥沙石块破堤奔腾而出，并沿沟侵蚀携带，使下游湍如河、年楚河水位突然猛涨，将河边村庄房屋、农田植被等冲光，这就是历史上有名的西藏“江孜大洪水灾”。

1964年9月26日夜，川藏公路131道班附近的唐不朗沟上游达门拉咳冰湖因热融滑坡溃决，冲出泥沙石块160万立方米，将沟口的川藏公路桥、公路路基、农田村庄全部冲毁，变成了一个“大沙坝”。

1981年6月24日，喜马拉雅山南麓的洛扎县连续近两个月高温后，冰川前端突然发生热融滑坡，使冰川终碛堤溃湖而形成泥石流，将荣达公社—策拉公社间的不少公路桥被冲毁，沿线水磨、电站、水渠、农田、草场、房屋和物资等，均毁于一旦。

同，却很少发生滑坡和泥石流。因此必须坚决执行党中央的号召，大力提倡植树种草，扩大植被覆盖面积，做好水土保持，恢复生态平衡，才是防治滑坡和泥石流灾害的根本性措施。

另外，红土坡滑坡说明，滑坡并不是突然发生，也有一个从量变到质变的过程。两年前红土坡已出现裂缝，大滑动前又有明显的征兆，因之加强向群众宣传滑坡的科普知识，也是可以减少滑坡造成的危害和损失。

1981年7月11日零点30分，中国—尼泊尔公路友谊桥附近的次仁玛措湖边一处热融滑坡坠入湖中引起溃决，水头高达25米，泥石流奔腾而下，1小时10分钟后冲毁友谊桥进入尼泊尔国境内。冲毁对岸中尼两国人民长期友好交往的住宿点—一曲乡20户人家和小水电站，冲走友谊桥头的友谊室、友谊亭、邮件交换房、守桥部队营房、岗楼、1896年设立的唐朝时期“唐郭”界碑一块，6,000多米长公路冲成了主河道，1,370米长公路路基被全部冲毁。据调查，发现湖中还残留有一块热融滑坡体厚50多米，表面1米多厚的土石上还长着雪莲花等植物。这次热融滑坡型泥石流将沿沟两岸高达400多米的滑坡体基脚拉空，侵蚀成“屋檐式”沟壁，随时都有可能再次发生滑坡灾害。灾情发生后，尼泊尔首相和内政大臣于7月11日乘直升飞机赶赴现场视察，12日内政大臣向全国评议会报告了灾情，制订了救灾措施。据尼方报道，这次热融滑坡灾害使尼泊尔国200多人死亡。

2、热融滑坡堵沟造成的危害。川藏公路“拉月大塌坊段”的106道班东、西两沟每年因热融滑坡活动堵路毁桥，曾在东沟建一座钢筋混凝土小桥被埋掉；1981年8月19日，西沟一处热融滑坡又将1孔20米钢筋混凝土“丁”梁破坏。

1980年9月10日深夜，墨脱公路88公里处附近三条沟内，因连续数日高温后形成滑坡型泥石流，工程指挥部的帐篷和物资几乎全部被冲毁，工作人员闻声撤离现场才免遭于难。

1981年7月13日下午7时30分，雅鲁藏布江南岸仁布县德吉林区，在仁布—江孜公路之间的狭窄深谷段，地形十分陡峻，边坡土体松散，一处大型滑坡将深谷堵死成湖，后坍滑流体冲出山谷口，将正从公路上通过的汽车队摧毁，公路、通讯设施均被破坏，形成300多米宽的泥沙石块堆积滩，毁埋大片森林植被。

3、热融滑坡对城镇的危害。青藏高原东南缘地区海拔4,700米以上有冻土和冰雪分布，而季节性冰雪冻土区则非常广。很多县城均曾被滑坡型泥石流冲埋过。据调查，四川阿坝、甘孜族自治州的南坪、康定等县城和凉山州的喜德、西昌等州县所在地均被毁过。1978年8月4日，康定城北子耳坡沟滑坡型泥石流冲进北城州物资局仓库、邮电局机关、康定县粮食局仓库和200多户居民住房，冲走粮食7万余斤，毁房200多间，总损失折合人民币75万多元。滑坡毁坏大片森林，仅苹果树就3,000多株。

## （二）热融滑坡的分布特征

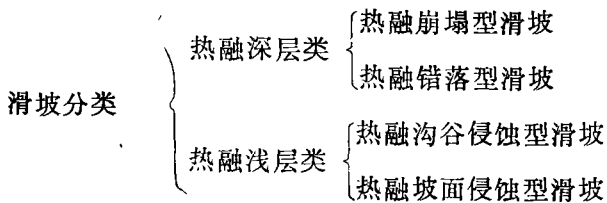
青藏高原是我国独特的热融类滑坡集中发育的地区，各种类型的滑坡广泛分布于昆仑山、唐古拉山、横断山、喜马拉雅山等冰雪冻土区内以及边缘地带的季节冰雪区内。仅据区内14条公路不完全统计，共有热融滑坡分布达1,000多处。其中川—藏公路沿线就有200余处，青藏公路沿线180多处，中尼公路、滇藏公路沿线等也有广泛分布。

根据青藏高原滑坡形成、活动和分布特点，可划分为藏北高原多年冰雪热融滑坡分布区，藏南、藏东北山地冰雪热融滑坡分布区，藏东南喜马拉雅山高山冰雪热融滑坡分布区。各区滑坡类型和发育地带（垂直地带和水平地带）详述于后。

# 二、热融滑坡类型、成因与区域特征

## （一）热融滑坡的类型与成因

在多年冰雪区和季节冰雪区内，由于热融作用使地表冰雪融化和地下冰（冻土）融化，土体（岩体）和冰体在力的作用下发生在边坡的一系列运动过程，称之为热融滑坡。因此，区内热融滑坡可分为两大区中的两大类四种亚类（型）：



两类滑坡往往相互交叉组合分布而呈复杂的过渡状况，热融深层类滑坡多发育在多年冰雪区（多年冻土区）内，热融浅层滑坡多发育在季节冰雪区（季节冻土区）内，因为冰雪的厚度和冻土层深度对热融过程影响极大，对滑坡的发育也直接有影响。

1、热融崩塌型滑坡。陡坡土体或冰体在热融作用下发生整体崩塌过程而形成的滑坡，又可分为冰崩塌滑坡（以冰体为主）和土（岩）崩塌滑坡（以土岩体为主）。引起冰湖溃决的多为冰崩型滑坡，而堵沟堵河的多为土岩崩塌滑坡。

2、热融错落型滑坡。当气温升高，冻土和地下冰融化界限向深处转移，在大于 $40^\circ$ 的斜坡上松散层和基岩顶面或地下冰层顶面发生的滑坡。这种滑坡错面清楚，规模大，往往堵断公路，中断行车。

3、热融沟谷侵蚀型滑坡。冰雪融水侵蚀沟谷松散堆积物所形成的滑坡，有的滑动面有地下冰层，有的为融水作为滑动剂。

4、热融坡面侵蚀型滑坡。热融水坡面径流对地表强烈侵蚀所形成的滑坡，包括泥滑在内。这种滑坡多由坡面松散土层在冻土作用下起动。

## （二）热融滑坡的区域特征

青藏高原山地绵延广，高差大，山体隆升速度快，时代新，自然条件具有明显的水平差异和垂直变异，因而地质地貌、水文气象、植被土壤因素随区域与垂直地带不同而千差万别。它们在面积达200多万平方公里的青藏大高原内进行多样化的组合，支配着热融滑坡的形成、发生、发展以及危害，促使热融滑坡也具有水平地带性和垂直地带性以及分布广、类型多的特征。藏北高原广泛发育热融坡面侵蚀型滑坡；雅鲁藏布江、怒江、澜沧江、金沙江上游主要发育热融冰崩型和热融岩（土）崩型滑坡；藏东南、黄河上游、喜马拉雅山南坡主要发育热融错落型和热融沟谷侵蚀型滑坡。自上而下的垂直带性为热融坡面侵蚀型滑坡，热融沟谷侵蚀型滑坡，热融错落型滑坡，热融冰崩、岩崩型滑坡带。中间还有一些过渡型滑坡带。根据热融滑坡的活动特征和形成的气候条件，青藏高原及其邻近山地大致可以划分为三大类型：

1、海洋型热融滑坡区。在北纬 $30^\circ$ 以南的藏东南、川西山地、喜马拉雅山南坡地带，基带为亚热带或针阔混交林带，是典型的山地季风型海洋性气候。雪线处年平均温度为 $-1^\circ\text{C}$ — $-2^\circ\text{C}$ 之间，冰舌下垂到年平均温度 $1^\circ\text{C}$ — $12^\circ\text{C}$ 处，山体上部有大面积冰雪和岛状冻土作用，热融错落型滑坡特别发育。由于本区地形十分陡峻，山坡坡度大于 $40^\circ$ 为多，泥沙石块松散物质不易保留，厚度不大便是基岩。每年5—9月份为本区雨季，这期间热辐射增强，气温升高，降水量为旱季的10倍以上，达1,000—1,300毫米，从而导致冰雪加速融化和地下冰快速向深处转移。当融化加深到一定深度时，便在松散层与基岩（喜马拉雅山南坡有冰面的）之间形成一个天然错落面。当冰雪融水冲刷破坏其下部平衡后，立即在松散层与基岩面（或地下冰面）之间发生规模巨大的热融错落型滑坡。在大雪山脉的贡嘎山（海拔7,556米）西坡小贡巴冰川右侧见到的一处热融错落型滑坡长600米、宽250米、厚8—10米，体积约1万立方米。滑体上有草皮反卷，形成一片片盖瓦似的被埋在土石体中。滑体后壁坡度为 $42^\circ$ ，裸露基岩面上地下冰融水将泥沙不断冲洗下来，形成小股泥流，容重2.1吨/立方米。这种热融滑坡往往将山体变成裸坡，是引起水土流失的特殊形

式。热融错落型滑坡常常堵断公路，毁埋房屋，淤埋大片森林。

2、亚海洋型热融滑坡区。在北纬30—35°之间的藏南山地、喜马拉雅山北坡、念青唐古拉山西段、祁连山地等地带，基带为亚高山草甸带，气候偏干稍暖，冻土带垂直跨度500—1,000米，为热融崩塌型滑坡发育带，特别是热融冰崩型滑坡尤为发育，往往溃决冰湖，造成巨灾。每年7—9月气温升高，冰川消融强烈，热融水沿冰裂缝切割侵蚀，快速分割冰体。当达到临界值时，冰体从底部开始滑移，当运动到地形陡处，整个冰体连上覆泥沙石块（多为冰川表碛和终碛）滑下来，或坠在冰湖中，破堤而出，沿沟扫荡，侵蚀泥沙石块，形成灾害性泥石流。据调查，热融崩塌型滑坡的形成，主要是亚海洋型气候区冰川冰舌穿越森林带长达10公里以上，冰川地质地貌作用强烈，携带的泥沙石块多（最厚达50多米），冰温高（达1—2℃），消融快，差异消融突出而造成冰体分割和滑崩。这类滑坡规模大，速度快，危害严重，这是高原引起水土流失，给江河带来最多泥沙石块的一类滑坡。

3、大陆型热融滑坡区。该区为北纬32—38°之间的广大青南藏北高原和山地，基带为高山草甸带或高山苔原带，气候干冷，多在冻土带垂直跨度1,000米以上，发育热融坡面侵蚀型和热融沟谷侵蚀型滑坡。经勘测，昆仑山—唐古拉山之间的广大粘性土地地区有厚达5米平行地表的透镜状和层状地下冰分布，埋藏深度顶部距地表为1.5—2米，在目前本区辐射平衡为正值的条件下，便在地下冰顶部沿埋藏位置发生热融浅层滑坡。在风火山一个海拔4,600米由松散土体组成的山包上，发育有20多处热融坡面浅层滑坡。滑体一般长40—50米，宽8—10米。其上草皮翻卷或被泥浆蠕埋。整个山体滑成一条条“龙爬”，剥蚀得遍体鳞伤。这类滑坡多发生在9—25°冻土区的斜坡上，尤其是在亚粘土和亚砂土地区含融水较多的阴坡、半阴坡地带更易发育。在唐古拉山南坡青藏公路114道班以北约5公里，发生一处热融沟谷侵蚀型滑坡，长250米，宽70米，厚5.5米，滑体土石方量约10万立方米。滑体呈明显的三级梯坎状堆积，表明三次侵蚀滑塌堆积的结果。滑体后壁高140—150米，壁坡坡度21—23°。壁内上段为侵蚀段，因表层滑塌后裸露地下冰不断融化，冻土上限向深处迁移，融化水在壁坡上由缓慢散流变成细小股流的面状侵蚀下，刻蚀出的细沟深0.2—0.4米，浅沟深0.2—0.8米；中间段泥流汇集成胶状小舌体，不断切蚀、侧蚀，拉深展宽沟槽，运动速度缓慢，每秒不到0.5米，容重为2.3吨/立方米，刻蚀出的切沟深0.2—2.5米；下段泥流在堆积体上蠕动，由于地形开阔，坡度变缓（4—6°），泥流将滑体上草皮土体不断翻卷或埋在泥浆中，然后逐渐停积下来，形似一个个舌头。由于热融滑塌，融水强烈侵蚀，由坡脚向坡上不断溯源，形成再一次热融侵蚀型滑坡，直到山坡顶才逐渐停止。经定位观测，当一处发生这种滑坡后，便连续侵蚀滑塌，3—5年内就可发育到山顶，将植被成片滑掉淤埋，使山坡很快变成大片裸坡，引起强烈的水土流失。特别是发育在沟谷两侧，可很快使主沟改道或将大量泥沙石块带进江河中。

### 三、热融滑坡的防治与水土保持

#### （一）热融滑坡的防治原则

1、以防为主，防治结合，防先于治。由于青藏高原及其邻近山地热融滑坡分布广，成因特殊，成灾迅速，变化无常，故本区热融滑坡的防治应以预防为主。预防的最好措施是公路、铁路、桥涵、城镇和居民点不要建在热融滑坡危害区，并设法将已经发生了的滑坡区和危害区控制，改变其形成因素，使之逐渐稳定，不再滑塌产生危害。

2、以生物措施为主，生物和工程措施结合。根据调查表明，区内多数热融滑坡发生的原因是森林植被遭到破坏而促发。因此，恢复生态环境，造林种草，合理伐木放牧，稳定边坡土体，截

留融水，削减流量，延缓汇集时间，防止水土流失，是抑制热融滑坡形成、发生、发展和危害的根本措施。由于生物措施难于立即见效，应工程措施先行，生物措施紧紧跟上才行。

## （二）热融滑坡的防治措施

1、组织管理措施。青藏高原地广人稀，综合治理热融滑坡困难较多，因此加强组织管理十分重要。在滑坡区铁路选线、公路开挖等，应采取展线抬高、隧洞桥跨绕过易滑区，严禁在易滑段上建造永久性建筑物，如车站、道班房、大型桥隧等。同时加强边坡开挖管理，放牧管理，严禁陡坡耕作、毁林开荒和刀耕火种，减少水土流失。

2、水土保持措施。青藏高原东南缘部分地区1966年进行过飞机撒播造林，现已大面积成林，在防止水土流失和滑坡活动中起了重要作用。为了大面积搞好水土保持工作，防止热融滑坡发展扩大，有必要采取如下措施：（1）把海拔较低的山地季节性冰雪区和冻土区改造成经济林区，并在易滑区退耕还林还草或封山育林；（2）海拔较高的林区实行间伐、轮伐，严禁剃光头，以保护边坡稳定；（3）高山草甸牧区严格实行以户承包的责任制，执行轮换放牧，放牧同保护草场结合起来，搞好高山水土保持，防止坡面滑塌。

3、综合防治，重点突出。本区防治热融滑坡的典型虽然很多，但目前还处在初期阶段，离综合治理的要求还差得远。现仅就公路防治滑坡和经过作一介绍。

川藏公路沿线滑坡和山崩是举世闻名的，而加马其美沟是比较突出的重点之一。经过五十年代末通车以来，不断防治，特别是七十年代由综考组（中国科学院成都地理所、兰州大学地理系、西藏自治区交通厅等单位）多年长期观测防治后，效果显著，重点突出。

加马其美沟流域面积1.4平方公里，沟长3.0公里，主沟比降26.2%，山坡坡度多半大于25°。境内出露石炭、二迭系变质较深的片岩。该区为9度地震烈度区，热融滑坡分布在沟中游两个基岩跌水坎之间的沟坡上，由古冰川堆积物组成，活动主要受上游现代冰川和多年冻土热融水侵蚀造成。

五十年代后期，川藏公路通过该沟采用双层双排“贝雷架桥”，两端架设木塔架，用钢丝绳吊跨加劲过沟，后被桥台冰雪融水潜蚀形成滑坍破坏，用木笼架设临时木便桥，线路内绕维持通车。六十年代初，两坡线位压低到沟口，又架设一座木便桥，东头接原线。由于波斗藏布江猛烈冲刷和加马其美沟冰雪融水侵蚀沟床强烈，再一次形成大规模滑坍，连桥带路基全部被毁坏。至此，川藏公路在该沟总损失达100万元。1973年经过详细调查，综合比较后实施了综合治沟、重点保桥的方案。在沟内滑坡段修筑挡土墙，以防滑坡被水冲蚀；在沟床中修跌水坝，以保护沟蚀下切，让泥沙石块回淤，以被动土压力稳住沟岸滑坡；在沟口采用浅基大跨过沟，修建了跨径为60米的大桥。经过这一系列综合措施后，10多年来该桥保证了正常通车，沟内稳住了大片滑坡区，其上森林植被长势很好，有的沟坡段覆盖率已达到60—70%，大大缩减了水土流失范围，滑坡也相继稳定。

川藏公路加马其美沟防治热融类滑坡的基本成功，为青藏高原及其邻近山地冰雪区、冻土区今后公路、铁路、城镇防治这类滑坡提供了可贵经验。从五十年代末以来近30年的经验教训中，得出一条重要经验：防治热融滑坡和防治其它山地灾害一样，必须综合防治，重点突出，治沟治坡相结合，工程措施和生物措施相结合，管理同治理相结合，才能取得成功。