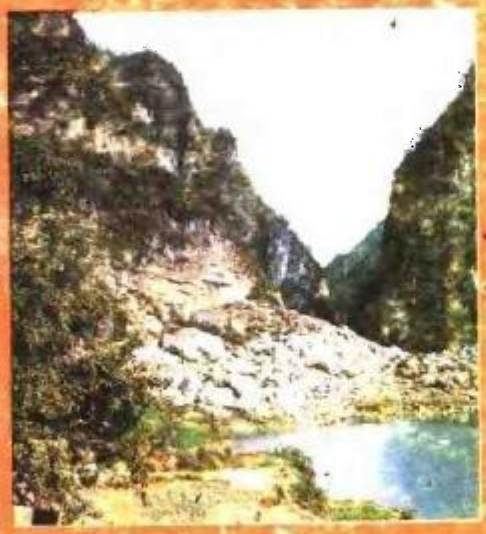
科学知识丛书

滑坡与泥石流

张以诚　钟立勋



民族出版社

滑坡与泥石流

张以诚　钟立勋

民族出版社

责任编辑：黄敦朴
封面设计：宋祖廉
刘洛平

科学知识丛书
滑坡与泥石流
张以诚　钟立勋
*
民族出版社出版　新华书店发行
民族印刷厂印刷
开本：787×1092毫米　1/32　印张：3 1/2　字数：70千
1987年3月第1版
1987年3月北京第1次印刷
印数：0001—2,000册　定价：1.05元
书号：13049·32

内容提要

我国是滑坡和泥石流灾害比较严重的国家，近年来更进入了一个新的滑坡、泥石流灾害活跃时期。频繁发生的滑坡、泥石流，给国民经济建设，尤其给少数民族地区的人民生命财产，造成了严重的损失。通过这本通俗的小册子，可以获得关于滑坡和泥石流到底是怎么回事、产生滑坡和泥石流的原因、分类、分布、我国著名的滑坡和泥石流，以及滑坡和泥石流的调查、防治、预报等一系列简明而又实用的知识。对于怎样防止人为因素诱发滑坡、泥石流，书中也有概括而生动的介绍。本书既可作为非专业人员学习滑坡、泥石流知识之用，对于地质院校的师生，以及地矿、水电、交通、铁道等部门的职工和领导干部，也是一本有价值的参考读物。

前　言

我们编辑《科学知识丛书》的目的是为了贯彻落实党的十二大关于社会主义物质文明和精神文明建设的要求，在广大少数民族地区的人民群众中，尤其是在青少年中宣传普及科学知识，对常见的自然现象和人类社会的演变，进行科学的解释，以期对广大读者有所启发，引起读者自己探索科学真理的兴趣。

我们怀着这样的愿望，约请有关的专家和一些有成就的科普作家编著了这套丛书。在编著过程中，他们倾注了极大的热情，并注意了少数民族地区的特点，向读者介绍一些基础的科学知识，力求文图并茂，通俗易懂，尽可能反映本书所涉及的学科中的新情况、新观点、新成就。

本丛书的主要对象是具有高小、初中文化水平的工人、农牧民、青少年、高小及初中的学生，同时也可作为中、小学的教学参考和课外读物。

本丛书初步选定涉及天文学、地学、生物学和社会科学领域的三十种选题，将以汉、蒙古、藏、维吾尔、哈萨克、朝鲜文出版。

本丛书的编辑出版工作是在国家民委和中国科协的指导下进行的。在具体工作中得到了中国科协普及工作部、中国科普创作研究所、民族出版社、科学出版社、科普出版社、

地质出版社、中国少年儿童出版社、北京天文馆、北京自然博物馆、中医研究院、国家气象局、北京科学教育电影制片厂等单位的大力支持。在此我们对上述单位和参加这一工作的作者和同志们表示衷心的感谢。

针对少数民族地区的实际情况编辑这类丛书还是首次，没有经验，缺点错误在所难免，希望读者和专家们给予指正和帮助。

《科学知识丛书》编辑委员会

一九八四年八月三十日



水土流失导致泥石流危害

修筑公路造成“人工泥石流”



目　录

写在前面的话 …… (1)
一、滑坡 …… (4)
1.滑坡是怎么回事 …… (4)
2.滑坡发生的原因 …… (12)
3.滑坡的类型 …… (19)
4.滑坡稳定性判断和简易动态观测 …… (23)
5.我国著名的滑坡灾害 …… (31)
二、泥石流 …… (41)
1.什么是泥石流 …… (41)
2.泥石流的形成条件 …… (47)
3.泥石流的类型 …… (55)
4.我国著名的泥石流 …… (58)
三、滑坡和泥石流的防治 …… (71)
1.滑坡的防治 …… (71)
2.泥石流的防治 …… (91)
3.防止人为因素诱发滑坡泥石流 …… (100)

写在前面的话

岩体和土层的崩塌、滑坡和泥石流，是一类危害广泛、破坏性极大的自然灾害。特别是在一些山区和丘陵地带，它们往往破坏道路和桥涵，堵塞河道，造成洪水泛滥，毁坏工厂矿山，淹没农田、工程设施和居民住地，破坏生态环境，给经济建设和人民生命财产带来严重的损失。远的不说，仅八十年代以来我国发生的滑坡、泥石流灾害，造成的损失就足以使人触目惊心了：

1981年7月9日夜间，成昆铁路利子依达沟泥石流爆发，在很短的时间内，将七八十万方砂石、泥流倾入大渡河，夹带的孤石最大达二百多立方米，冲毁了铁路大桥，劈断了桥墩，三十多米钢筋混凝土桥梁和四十多米长的钢轨、枕木全部冲入大渡河中；

1981年秋季，川北-陕南由于连降暴雨，触发了大量滑坡、泥石流，仅铁路直接可计算的经济损失即达十几亿元；

1982年7月16日至18日，四川云阳城东长江北岸的鸡扒子发生大滑坡，造成长江断航，直接济经损失五百多万元，影响航运造成的间接损失上亿元；

1983年3月7日下午，甘肃东乡族自治县洒勒山发生大滑坡，刹那之间，三个村庄全部覆埋；

1985年6月12日凌晨，长江西陵峡北岸新滩发生特大规模滑坡，约三千万方土石产生整体滑动，有四百五十多户人家的新滩古镇被全部摧毁，并给长江航运造成一定的影响；……

在我国，尽管滑坡、泥石流灾害非常频繁，但由于旧中国长时期的封建统治，对于这类自然灾害的科学研究却十分落后，以致有些地区群众把滑坡看成是“神差鬼使”的“走山”、“地移”，地下有妖精作怪；把泥石流说成是力大无比的“神龙”，是住在深山的“神仙”显圣，产生种种迷信的观念。其实，滑坡和泥石流象其他自然灾害一样，都有其发生、发展的客观规律，是可以被认识和掌握的。孕育滑坡、泥石流的地质、自然背景条件比较复杂，有陡峻的地形，不稳定的地质构造，松散、破碎、易溶、风化的岩石性质，不利的水文地质条件，活跃的地壳运动，植被森林稀疏等，这些都是客观因素。解放以来，随着铁路、公路、各种管线、渠道建设工程向山区的延伸，基本建设规模的扩大，不科学的工程开挖和人工加载，不合理地劈山造田、毁林开荒，不加管理地开矿弃碴，以及水土流失等，对自然环境的破坏越来越大，这些人为的因素也常常激化矛盾，使滑坡、泥石流灾害日益增多。

我们伟大的祖国，是一个多民族的社会主义国家。我国少数民族人口虽少，但分布面积却占全国面积的百分之五、六十，主要居住在西北、西南、东北等边远地区。一些少数民族分布比较集中的地区，也正是滑坡和泥石流灾害的易发、多发地区，频繁发生的滑坡和泥石流灾害，给这些地区的经济建设和人民生命财产的安全，造成了严重威胁。因

此，学习滑坡和泥石流的知识，掌握滑坡、泥石流发生发展的客观规律，摸熟它们的脾气，对症下药，开展滑坡和泥石流的防治，对于发展少数民族地区的经济文化事业，增进人民福利，推动“四化”建设，有着十分迫切的现实意义。这本小册子，系根据作者本人的研究及中国科学院成都地理所、兰州冰川冻土所、铁道部、交通部、水电部等单位的资料综合编写而成，试图提供一份简单而又实用的滑坡和泥石流科学知识普及材料，以此服务于社会，服务于人民，服务于社会主义经济建设。

一、滑　坡

1.滑坡是怎么回事

（1）滑坡的罪恶

1983年3月7日下午5时40分，甘肃省东乡族自治县的洒勒山南坡，突然发出一声“轰隆”巨响，亮起一道耀眼的闪光，1,700米宽的巨大山体，带着刺耳的呼啸声，迅速向山下滑泻，数千万立方米的黄土砂石，以每秒三十米的高速度，扑向山脚。顷刻之间，方圆三公里的新庄、若颇、达浪和洒勒四个村庄，全被覆埋；正在田间劳动和忙于家务的237名东乡族男女老幼，被活活地埋进了厚达二十多米的黄土层中，另有22人被土浪高高掀起，摔到一两里外的地方。

这里记述的并非是“神斧劈山”、“石头开花”一类神话，而是当地群众耳闻目睹所记录下来的一个真实场景，一出触目惊心的惨剧。这场惨剧的制造者，罪恶累累的“案犯”，不是别的，而是名叫“滑坡”的一种自然灾害。滑坡，它与山崩、泥石流一样，危害相当广泛，破坏性极大。在各种自然灾害之中，滑坡和泥石流对于经济建设和人民生命财产所造成的损失，仅仅次于地震。

在我国，滑坡造成“移山湮谷”、“地移村掩”的事实，历史上早有记载。汉高后吕雉二年（公元前186年）武

都(今甘肃武都县)由于地震引起了滑坡，死亡760人。这是世界上最早的滑坡记录，比欧洲有文字记载的滑坡记录要早749年。单是在甘肃省境内，自公元前186年至公元1981年的2160多年间，有文字记载的滑坡就达113次之多。唐朝永昌元年(公元689年)，华州(今陕西华县)发生滑坡，曾使一个三十余户的村庄毁于一旦。近几十年来，我国境内(图1—1)的滑坡活动更加频繁，尤其在西南、西北地区，几乎每年都有规模不等的滑坡出现。1959年元月，宝成铁路发生一起滑坡，使30万立方米的土石滑移至嘉陵江中，造成江水断流，火车中断。1981年秋季，四川、陕南一带连降暴雨，洪涝成灾，触发了大量滑坡及泥石流灾害，损失之重，为近百年所罕见。据四川各地统计，滑坡、泥石流共波及90个县区，约有60,000处之多。在陕西，仅凤县、略阳、留坝、宁强、勉县和南郑等六县，即发生滑坡、泥石流20,000余处，规模较大的约有3,000处，摧毁房屋16,000间，死亡人数占整个洪涝灾害死亡人数的46%。

我国东北、华北及西北、西南地区的煤矿、公路、桥梁及工程建设中，也曾发生过较大的滑坡。例如，包头石拐子矿区长汉沟煤矿大发窑西侧的西山，山高约500米，从1978年起，这座山在宽达500米的范围内整体缓慢向前滑移，最快时日进三、四十公分，仅仅几年时间，矿区傍山的九排职工宿舍都被挤走，二百多户人家的住屋不得不拆掉另迁新址，一段20米宽的柏油马路也被埋入山下。陕西铜川煤矿，辽宁抚顺露天煤矿，均曾多次发生滑坡，影响生产。值得注意的是，解放以来，随着铁路、公路、管线、渠道等建筑工程不断地向山区延伸，我国的滑坡灾害也日益增多。1955年

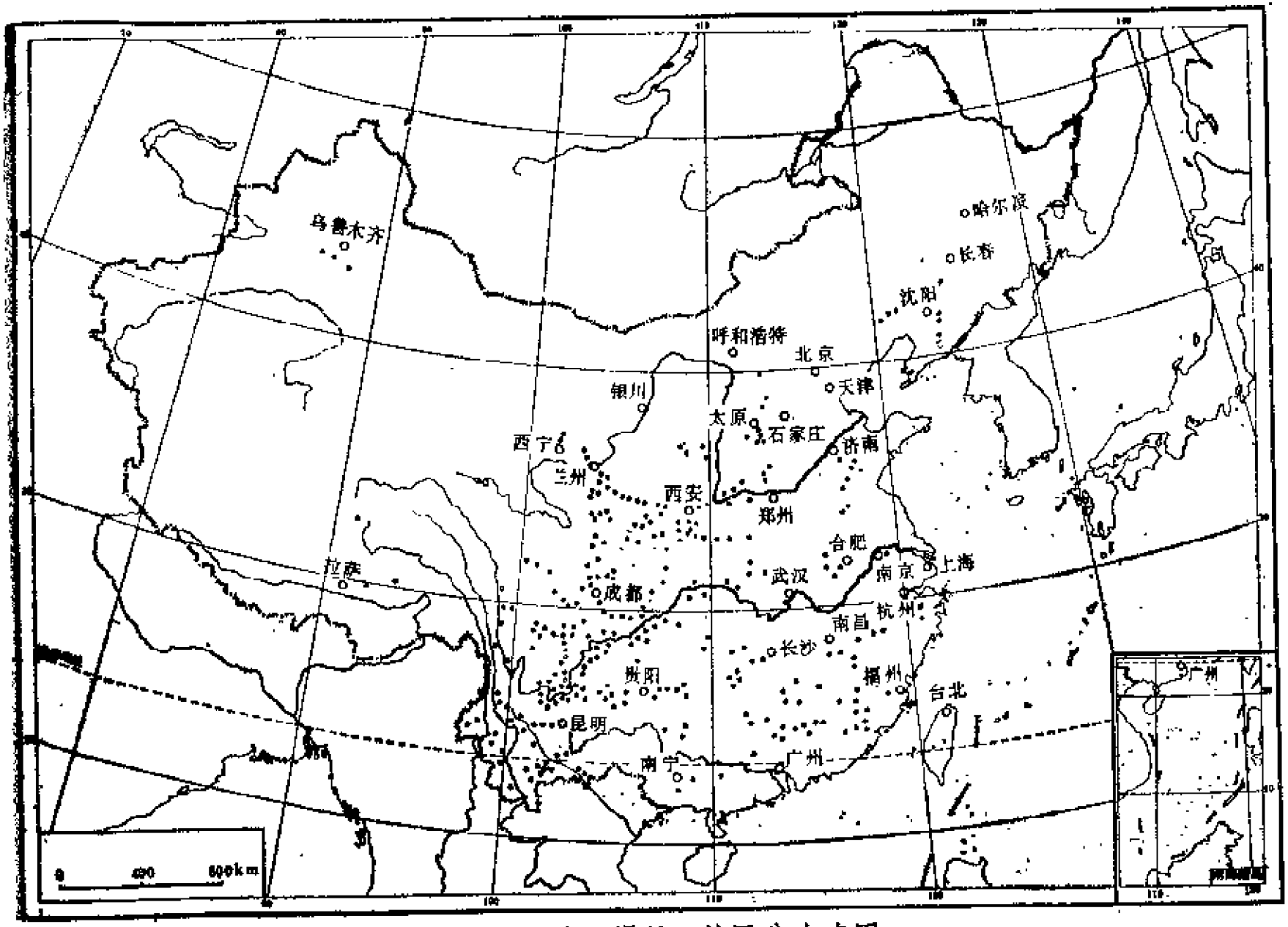


图1--1．我国滑坡　地区分布略图

8月15日发生的宝鸡卧龙寺滑坡，把陇海铁路的路基向渭河方向推出了110余米，下滑土石达数千万方，迫使路基改线1.5公里。1968年，成昆铁路渡口支线103车站滑坡，摧毁了铁路，沿江新建的五栋楼房竟被推入了金沙江。据我国铁路部门统计，在我国现已通车的铁路沿线，存在大小滑坡1,000余处。

在国外，滑坡所造成的危害也很突出。美国和印度，都曾发生过滑坡堵河成湖的事。滑坡遍布日本各地，根据1958年所作的实地勘察，日本全国共查明有滑坡5,584个，面积达143,263公顷，平均每年有40,000公顷土地、78,900间住房、218间校舍、500座神社受到滑坡的危害，甚至发生过滑坡将火车和公共汽车推入大海的事故。捷克斯洛伐克于1961—1962年对国内滑坡进行普查，共登记了9,164个滑坡，被滑坡毁坏的耕地达35,000公顷、森林达13,500公顷。意大利已查明受滑坡威胁的地区，占全国面积的三分之一。在面积为4.23万平方公里、人口为643万的中欧国家瑞士，滑坡灾害曾使5,000多人丧生。在苏联，每年滑坡造成的损失达数亿卢布。美国每年因滑坡造成的损失也达数亿美元。

（2）滑坡的相貌

滑坡是一种物理地质现象，是指斜坡上的土体或岩体，受河流冲刷、地下水活动、地震及人工切坡等因素的影响，在重力的作用下，沿着一定的软弱面或软弱带，整体地或分散地顺坡向下滑动的自然现象。滑坡的别名叫做地滑，我国许多地方山区的群众，形象地把滑坡称为“走山”。斜坡产生滑动之后，形成环状后壁、台阶、垅状前缘等特殊的滑坡地貌，外表看去很象一只倒扣过来的贝壳（图1—2）。

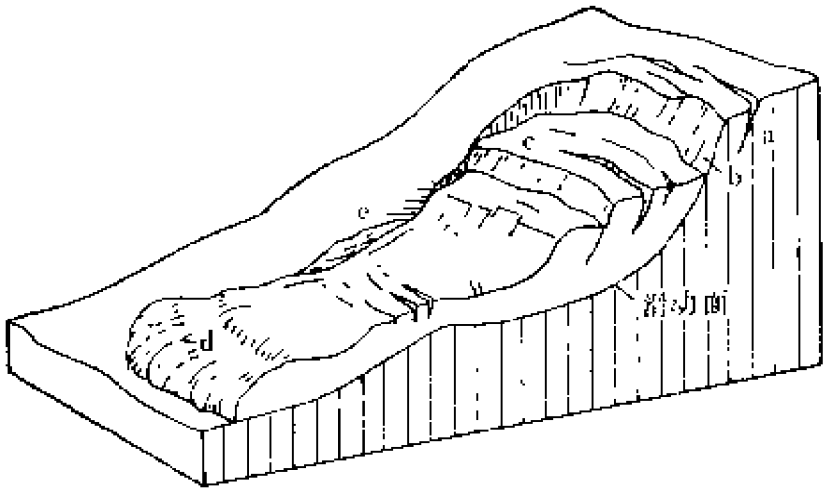


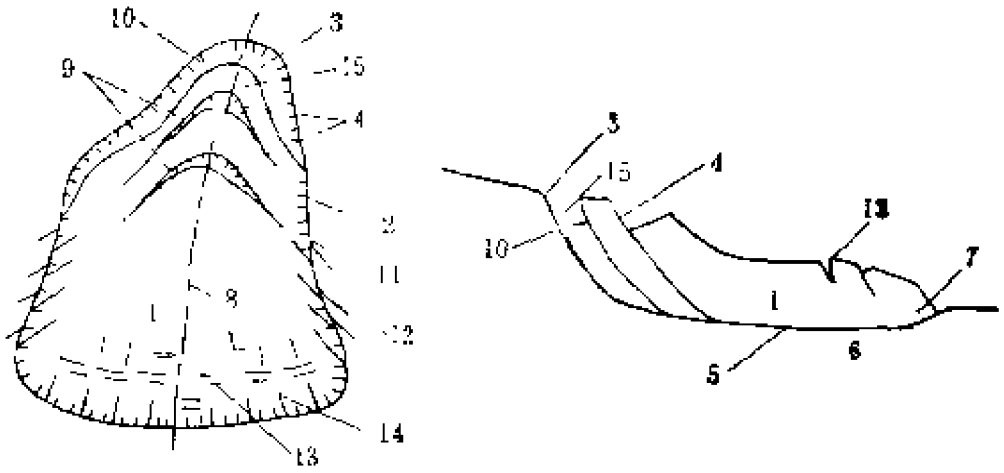
图1—2，滑坡的外貌及滑坡要素

a·后缘环状拉裂缝；b·滑坡断壁；c·横向裂缝及滑坡台阶；d·滑坡舌及隆张裂隙；e·滑坡侧壁及羽状裂隙

滑坡的发生通常分为三个阶段：一是酝酿阶段或蠕动变形阶段。首先山坡上部出现裂缝，接着裂缝下侧的土体发生缓慢位移，每月仅数厘米。这一阶段历时较长，有的达数年、数十年甚至上百年，常常伴随出现各种异常现象，如地下水增多、山坡坡脚土体变形，以及出现震感和响声等。二是突变阶段或剧烈滑动阶段。当软弱岩层被完全剪断，滑动面或滑动带形成之后，位移速度加快，一般每小时数米至数百米，有时可达数千米，在少数情况下甚至发生急剧快速的滑动。在突变之前，常见泉水变浊，坡脚局部坍塌或掉落土块。三是残余变形或渐趋稳定阶段。这是在突变阶段之后发生的，位移速度减慢，各块间变形逐步停止，滑带在压密下排水而固结，地表无裂缝、沉陷发生，最后完全稳定下来。也有的科学工作者将滑坡的发生划分为六个或四个阶段，对于最后两个阶段(剧烈滑动和稳定压密)，不同的划分大同小异，主要差别在于对蠕动变形阶段的划分。划分四个阶段的人把蠕动变形阶段分为蠕动挤压和滑动两个阶段，在蠕动挤压阶段，滑体只有蠕动变形并受到挤压，没

有明显移动，而滑动阶段滑体已有明显位移，滑体上裂缝纵横交错，滑舌出水并发生坍塌。

为了正确地识别滑坡，判定斜坡上有没有滑坡的存在，首先需要知道组成滑坡的不同要素以及它们的相互关系和位置（图1—3）。一个发育比较典型的滑坡，通常由滑坡体、滑动面、滑坡裂缝、滑坡壁、滑坡台阶、滑坡舌、滑坡鼓丘等要素所组成。



(a) 平面　　(b) 剖面

图1—3．滑坡要素平剖面示意图

1.滑坡体；2.滑坡周界；3.滑坡壁；4.滑坡台阶；5.滑动面（带）；6.滑坡床；7.滑坡舌；8.主滑线；9.拉张裂缝；10.主裂缝；11.剪切裂缝；12.羽毛状裂缝；13.鼓张裂缝；14.扇形张裂缝；15.封闭洼地（滑坡湖）

滑坡体　斜坡边缘与母体（母体）脱离并且向下滑动的那部分土石体，称为滑坡体，或简称滑体。滑坡体上的土石松动破碎、表面起伏不平，裂缝纵横，有些洼地积水成沼泽，长着喜水的植物。不同滑坡体的体积差别很大，小型滑坡只有十几至几十立方米，大型滑坡体积可达几百万至几千万立方

米，特大型的甚至可达几亿立方米或更大。

滑坡周界　滑坡体与其紧接着的周围不动土石体（母体）的分界线，称为滑坡周界。有些滑坡周界明显，有的周界很不明显。只要确定了滑坡周界，滑坡的范围也就圈定了。

滑坡壁　滑坡体后部与母体脱离开的分界面露出在外面的部分，在平面上多呈圈椅状或其它形状，其高度视滑动量与滑体大小而定，从数米至数百米不等。陡度多在30°—70°间，似壁状，称滑坡壁或滑坡后壁。一般在新的滑坡壁上，都可以找到滑动擦痕，擦痕的方向即表示滑体滑动的方向。

滑坡台阶　由于滑坡体上下各段各块的滑动时间、滑动速度常常不一致，在滑坡体表面往往形成一些错台、陡壁，这种微小的地貌称为滑坡台阶或台坎，而宽大平缓的台面则称做滑坡平台或滑坡台地。

滑动面、滑动带和滑坡床　在滑坡体移动时，它与不动体(母体)之间形成一个界面并沿其下滑，这个面就叫做滑动面，简称滑面。滑动面以上揉皱的、厚数厘米至数米的扰动地带，称为滑动带，简称滑带。滑动面以下的不动体（母体），叫做滑坡床。有些滑坡并没有明显的滑动面，在滑坡床之上就是软塑状的滑动带。

滑坡舌　滑坡体前部延伸至沟堑或河谷中的那部分舌状滑体，称为滑坡舌，也叫做滑坡前缘、滑坡头部或滑坡鼓丘。在河谷中的滑坡舌，往往被河水冲刷而仅仅残留下一些孤石。称做滑坡鼓丘时，常常是由于滑坡体向前滑动过程中受到阻碍而形成了隆起的小丘。

主滑线　滑坡体滑动速度最快的纵向线叫做主滑线，也

即滑坡轴。主滑线代表着一个滑坡整体滑动的方向，它位于滑坡体上推力最大、滑坡床凹槽最深的纵断面上，是滑坡体最早的部分。主滑线或为直线，或为曲线、折线，主要取决于滑坡床顶面的形状。

滑坡裂缝　滑坡在滑动之前和在滑动过程中，由于受力状况不同，滑动速度不同，会产生许许多多裂缝，这些裂缝一般可以分为四种：一是拉张裂缝，分布于滑坡体上部的地面，因滑坡体向下滑动或蠕动，产生拉张作用，形成若干条长十多米至数百米的张口裂缝；多呈弧形，其方向与滑坡壁大致吻合或平行，位于最外面的一条拉张裂缝，即与滑坡壁重合的一条，通常称为主裂缝；二是剪切裂缝，分布于滑坡体中下部的两侧，由于滑坡体和相邻的不动土石体之间相对位移产生剪切作用，或者由于滑坡体中央部分比两侧滑动更快而产生剪切作用，因而形成大体上与滑动方向平行的裂缝。在这些裂缝的两侧，还常常派生出羽毛状平行排列的次一级裂缝。有时，由于挤压和扰动，沿着剪切裂缝常形成细长的土堆；三是鼓张（隆张）裂缝，当滑坡体向前方滑动时，因为受到阻碍或上部滑动比下部为快，土石体就会产生隆起并开裂形成张开的裂缝。鼓张裂缝的方向与滑动方向或垂直或平行；四是扇形张裂缝，分布在滑坡体中下部，尤以滑坡舌部为多，因滑坡体下部向两侧扩散而形成，它们也属于张开的裂缝。这些裂缝的方向，在滑坡体中部大致与滑坡滑动方向平行或成锐角相交，在滑坡舌部则呈放射状，所以称为扇形张裂缝或放射状裂缝。

封闭洼地　滑坡体向前滑动后，与滑坡壁之间拉开成沟槽或陷落成洼地，从而形成四周高、中间低的封闭洼地。封

闭洼地中如果因滑坡壁地下水在此出露，或地表水在此汇集，形成湿地或水塘，就称为滑坡湖。

需要指出的是，滑坡的相貌往往只有新生滑坡或产生不久的滑坡才显露得比较典型，发生时间较久的老滑坡，由于人为活动或自然的原因，它们的本来面貌常常受到破坏，以致不容易观察出来，必须通过仔细的调查，寻找出残留的特征和迹象，才能正确地加以识别。

2.滑坡发生的原因

产生滑坡，既有内因，又有外因。滑坡发生的内在因素是指地质基础——地层的岩性、斜坡的结构和构造情况及其在外界因素作用下发生的变化。外在因素是指地表水、地下水的活动，人工切坡或加载，以及震动等促使斜坡丧失稳定性的因素。当土石体受到破坏时，破坏面两侧的土石就会发生相对移动，这种移动科学上称为“剪切破坏”，导致剪切破坏的力称为“剪切力”。土石对剪切破坏的极限抵抗力叫做土石的抗剪强度。斜坡内部土石的抗剪强度对剪切力的适应程度，就决定了斜坡的稳定性。抗剪强度的大小决定于土石的性质、结构及其它因素。

（1）滑坡发生的内在因素

地层岩性　斜坡的地层岩性，是发生滑坡的物质基础。有的斜坡由坚硬的岩石组成，有的斜坡由软弱的岩石组成，有的斜坡则由土体组成。由于地层的岩性不同，它们的抗剪强度各不相同，发生滑坡的难易程度也就不同。通常，人们根据土石在剪切力作用下的破坏变形特征，将它们分为脆性和

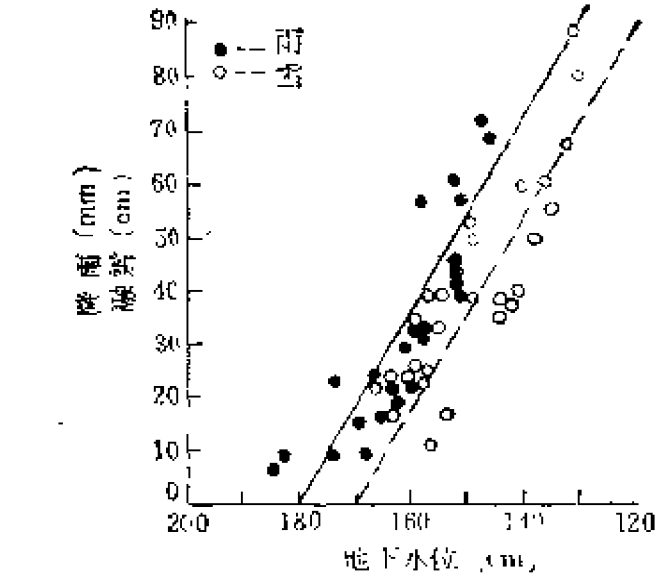
塑性两种类型。石灰岩、花岗岩和石英岩等致密坚硬的块状岩石，都是脆性的，抗剪强度很大，能经受很大的剪切力而不变形，完全由这些岩石组成的斜坡高陡而稳定，很少发生滑坡。相反，页岩、泥岩和其他各种地表覆盖层，如粘土、碎石土等，多是塑性的，这些土石体的抗剪强度比较低，很容易变形和发生滑坡。实践证明，在我国，凡是下述地层分布的地区，都是容易发生滑坡的地区：粘性土、黄土、类黄土和各种成因的松散、松软沉积物（崩积、坡积、洪积和人工堆积等）；砂岩、页岩和泥岩的互层地层；煤系地层；灰岩、页岩或泥灰岩的互层地层；泥质岩石的变质岩如板岩、千枚岩、云母片岩、绿泥石片岩、滑石片岩等地层；软质或易风化的火成岩如凝灰岩等。所有这些地层，岩性都比较软弱，在构造作用、水、风化作用及其他外力作用影响下，都很容易形成土状或泥状的软弱层，成为潜在的滑动面或滑动带，具备了产生滑坡的基本条件。在实际工作中，人们常常把这些容易发生滑坡的地层，称为易滑地层。

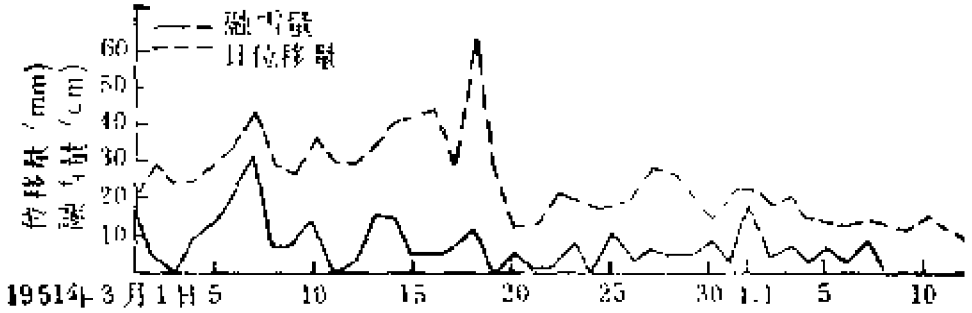
地质构造　一个地区的地质构造环境，对滑坡的形成有多方面的影响：一是断裂破碎带为滑坡提供了物质来源；二是各种地质构造结构面，如层面、断层面、节理面、片理面和地层的不整合面等，控制了滑动面的空间位置和滑坡的周界；三是控制了山体斜坡地下水的分布和运动规律，如含水层的数目、地下水的补给和排泄等，都由地质构造条件所决定；四是斜坡的内部结构，包括不同土石层的相互组合情况，岩石中断层、裂隙的特征及其与斜坡方位的相互关系等，与滑坡发生的难易程度有密切关系。岩层层面的倾向对滑坡的发育有重要影响，当岩层的倾向和斜坡的坡面倾斜一

致时，最容易形成滑坡，岩层的倾向与斜坡的坡面倾向相反时，则决定于其它裂隙面的发育程度，一般不容易产生滑坡。当斜坡是由各种不同性质的土石层共同组成时，斜坡各部分抗剪强度会因土石性质不同而易。如果抗剪强度低的软弱岩石位于坡脚部位，软岩就可能因受压而被“挤皱”甚至挤出，产生滑动。岩石的层面、断层面和裂隙等，都是斜坡内部的软弱面，当软弱面的倾向和斜坡坡面倾向相同，而且斜坡的坡角大于软弱面的倾角时，就有可能产生滑坡；如果在这种情况下从事人工开挖，使软弱面在坡脚或坡上出露，上部的岩体常会产生突然的滑动而造成很大的危害。另外，斜坡的土石性质和内部结构，也决定了斜坡的外形，改变斜坡外形（如变陡），必然引起边坡稳定性的变化；一定强度的土石，有一个极限的边坡比（边坡高度与水平长度之比），超过这一极限的边坡比，斜坡就不稳定，小于这个比值，斜坡就稳定，因此，当开挖边坡时边坡比值设计过大，那就无异于为产生滑坡和崩塌创造条件。

（2）发生滑坡的外在因素

降雨、融雪和地下水位　降雨和融雪的渗透水作用，是产生滑坡的最主要外因。其作用一是渗透水进入土体孔隙或岩石裂缝，使土石的抗剪强度降低；二是渗透水补给地下水，使地下水位或地下水压增加，对岩土体产生浮托作用，土体软化、饱和，结果也造成抗剪强度的降低。所以，降雨和融雪一般对滑坡可起到诱发或促进作用。许多滑坡的实际观测资料表明（图1—4），降雨（融雪）、地下水位和土体滑动之间存在着密切关系，有时地下水位变化虽小，但也可以对滑坡的移动量产生很大的影响。同时，降雨（融雪）量





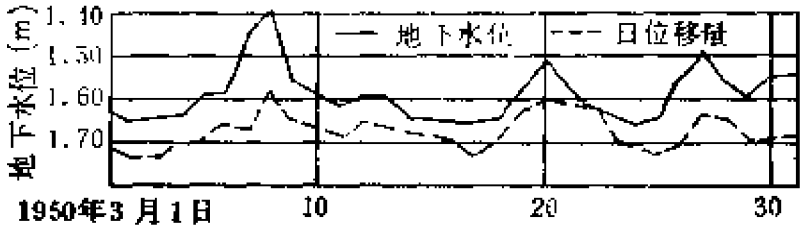


图 1—4，降雨（融雪）量、地下水位和滑坡位移量关系

上：降雨融雪量与地下水位关系

中：神谷滑坡（日本）融雪量与移动量关系

下：神谷滑坡（日本）地下水位与日移动量的关系

对滑坡的影响还表现出区域性特点。有的地区雨量不大就会诱发滑坡，暴雨倒几乎不发生滑坡；而有的地区的滑坡，却多发生在暴雨的情况下。据贵州地区的统计，发生在雨季的滑坡占94%。我国东南沿海地区4至6月份降雨量占全年降雨量的60%以上，7至9月受台风影响为另一降雨高峰，铁路滑坡表现出同样的特点（图1—5）；而四川越西县的阿底滑坡，则表现为“大雨大滑，小雨小滑，无雨不滑”（表1—1）。宝成铁路的宝（鸡）广（元）段，1958年和1964年降雨量都超过1,300毫米，滑坡的发生也以这两年较为集中。1981年四川、陕南一带发生暴雨洪涝灾害，滑坡也就大量发生。据陕南商洛行政公署1983年7月统计，商洛地区1983年以来降雨明显偏多，由于长期降雨触发了数以万计的滑坡，全区共发生滑坡21,000多处，其中1983年就发生滑坡16,700多处。

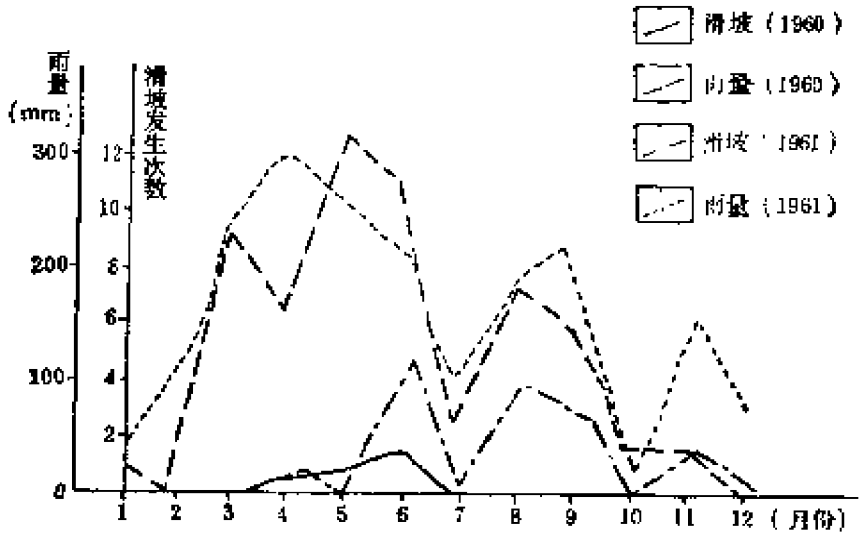


图1—5．鹰厦铁路永安段降水与滑坡关系图

除降雨、融雪和地下水位的变化能够触发滑坡外，地面上的溪沟、江河、湖泊和海洋中的水流，对滑坡也有重要影响。它们不断地冲刷和切割岸坡，使岸坡

表1—1.四川越西县阿底滑坡位移量与降水的关系(1972)

观测时间	4月20日	4月21日至5月23日	5月24日至6月24日	6月25日至7月27日	7月28日至8月26日	8月27日至10月7日
降雨量（毫米）	很微	90.0	171.1	236.5	65.5	141.3
水平位移量（毫米）	0	59.0	381.5	352.5	183.0	300.0
平均速度（毫米/日）	0	1.8	11.9	10.7	6.1	7.1

增高变陡，使内部的软弱面暴露出来。洪水时期，河水水位上涨，河水反而补给地下水，当洪水下降后，地下水位变化慢，出现水力坡度，斜坡内就会形成很大的动水压力。所有这些作用都使斜坡的稳定性降低，从而导致滑坡发生。水库的水位骤降以后，同样能够产生地下水向坡面渗透的动水压力，使岸坡的稳定性降低，有利于滑坡的发生。海流的影响，导致海底不稳定，产生海底滑坡，足以引起海洋勘探平台倾覆、井架倒塌和管道折断等重大工程事故。

人为的因素　随着人类工程、经济活动的不断增加，有时会因兴建土木工程或其他工程施工而引起滑坡，受到大自然的无情“报复”。例如，修建铁路、公路、桥梁和开矿时，因开挖斜坡、填土、弃土和堆积矿渣等，使斜坡内应力发生变化，或者由于开挖活动使应力集中于坡脚，或者由于堆填土不适当增加荷重而增大滑动力，都可使斜坡变得不稳定，从而引起滑坡。由于开挖隧道，以及由于修筑水坝在上游蓄

水，也能够导致滑坡的发生。此外，农田灌水大量渗入坡体，水渠和水池的漫溢和漏水，工业生产用水和废水排放处理不善，也常常诱发滑坡。

地震的影响　地震是诱发滑坡的重要因素之一。地震诱发滑坡，首先是使斜坡土石结构破坏，在地震力的反复震动冲击之下，沿原有软弱面或新产生的软弱面产生滑动。由于地震产生裂缝和断崖，助长了以后降雨或融雪的渗透，因此地震以后常因降雨、融雪而发生滑坡或山崩，这种情况比地震发生时所触发的滑坡或山崩还要多。一般说来，在雨季或暴雨、融雪时发生的地震，同发型（与地震同时发生）滑坡较多；旱季时斜坡干燥，稳定性较高，同发型滑坡较少，后发型（在地震以后很长时间才发生）滑坡较多。1976年5月29日云南龙陵地震时，同发型滑坡很少，震后雨季时发生的后发型滑坡，占与地震有关的滑坡总数的95%以上。

我国七十年代频繁发生的地震，都曾经引起过许多滑坡：1973年2月川西炉霍地震时，沿鲜水河谷共产生133个滑坡；1974年5月云南大关—永善地震时产生了许多滑坡，其中海口的一个滑坡，将200米长的一段公路推到河谷的对岸。经验表明，强度在五至六级以上的地震就能诱发滑坡，但由于地震波的传播速度和地震力的强度，受到斜坡坡度、方位及土石含水程度等因素的影响，因此，地震和滑坡的关系也表现出因地而异、因时而异的情况，受振动特性和地质地形组合等因素所制约。例如，1974年5月云南大关—永善地震所诱发的28个滑坡中，有22个是位于坡度在95°以下的山坡上。1973年2月川西炉霍地震诱发的滑坡，70%以上也都是发生在45°以下的斜坡上。由于问题本身的复杂性，

地震和滑坡的关系目前还远没有完全研究清楚，一些所谓的“规律”，还明显地带有地方的局限性。

3.滑坡的类型

科学工作者根据不同的分类原则，提出了不同的滑坡分类方案。通常是根据滑体的物质组成分类，也有根据主滑面的成因类型、滑体的厚度和体积、滑坡地形的发育过程和变化特征等（见表1—2）进行分类的。每一种分类都有各自

表1—2.滑坡分类表

根据物质组成	根据主滑面成因	根据滑体厚度	根据滑体体积	根据滑坡发育过程
1.堆积层滑坡	1.堆积面滑坡	1.浅层滑坡（小于6米）	1.小型滑坡（小于3万米^3）	1.幼年期滑坡
2.黄土滑坡	2.层面滑坡	2.中层滑坡（6—20米）	2.中型滑坡（3—50万米^3）	2.青年期滑坡
3.粘土滑坡	3.构造面滑坡	3.厚层滑坡（20—50米）	3.大型滑坡（50—300万米^3）	3.壮年期滑坡
4.岩层滑坡	4.同生面滑坡	4.巨厚层滑坡（大于50米）	4.超大型滑坡（大于300万米^3）	4.老年期滑坡

的目的，各具优缺点。

为了能够正确地反映出各类滑坡的特征及其发生、发展的规律，便于在从事工程经济活动之前认识和预防滑坡，尽量减少其危害，在滑坡发生之后能够有效地进行整治，这里着重对以滑体物质组成为主要依据的分类方案作一概略介绍。

（1）堆积层滑坡

这类滑坡是指除黄土、粘性土滑坡之外的、所有第四系地层中的松散堆积层滑坡，其中也包括人工堆积层滑坡。它们多数都发生在河谷两岸缓坡地带的坡积、洪积成因的堆积层中。

堆积层滑坡的岩性，既有人工填筑的路堤土及弃土，也包括洪、坡积碎石土，残、坡积碎石土，崩积、崩坡积或古岩石滑坡的碎块石土，以及松散破碎、失去完整性的各种岩石。堆积层滑坡的结构，以土石混杂为主（图1—6），有的具有成层性及透镜体结构。

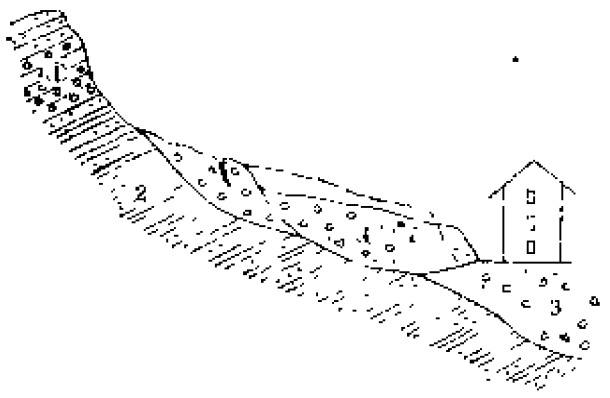


图1—6．堆积层滑坡

①基岩；②砂岩粘土互层；③松散的碎石土；④滑动的碎石土体威胁楼房安全

根据形成原因的不同，堆积层滑坡又可进一步分成坡积层滑坡、洪积层滑坡、残积层滑坡、混合成因堆积层滑坡、冰水堆积层滑坡和人工堆积层滑坡六个亚类，在这六个亚类之中，尤以前四亚类最为常见。

（2）黄土滑坡

黄土滑坡是发生在不同时期和不同成因的黄土层中的滑坡（图1—7）。由于黄土层具有多层结构（如多层钙质结核、古土壤及砂砾石层），又相应地具有一个或多个含水层，受到地下水沿软弱结构面作用的结果，极易导致斜坡失稳而形成滑坡。这类滑坡的特点是多成群出现，多发生在高阶地的前缘斜坡上，多数中层和厚层滑坡的规模较大，变形急剧，滑动很快，具有崩塌性，破坏力很大。

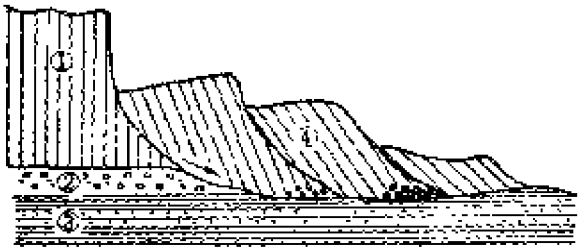


图1—7，黄土滑坡

①黄土层；②含水的砂砾石层；③砂、页岩互层；④滑落的黄土和砾石层

按照成因不同，黄土滑坡又可分为洪积老黄土滑坡、洪积风积黄土滑坡和风积坡积黄土滑坡等亚类。

（3）粘土滑坡

粘土滑坡是指发生在尚未成岩或成岩不良的各种成因的粘土、砂粘土、粘砂土中的滑坡（图1—8），其结构以粘性土层为主，可夹有或下伏有砂砾、碎石、卵石等粗碎屑物质的夹层及透镜体。粘土滑坡多成群出现，产生于风化剥蚀残丘和侵蚀成低缓丘陵状的宽广堆积阶地区，滑体多沿基岩表面或软弱夹层滑动，滑床坡度平缓，一般规模较小，滑速较慢。

按照粘土的成因类型，粘土滑坡又可分为堆积残积粘土滑坡、冰水沉积粘土滑坡、海相粘土滑坡、河湖相粘土滑坡等亚类。在我国，尤以河湖相粘土滑坡较为常见。

（4）岩层滑坡

岩层滑坡是指以各种基岩为主体的滑坡(图1—9)，由区分布较多。形成岩层滑坡的岩石，有半成岩的各种沉积岩；各种页岩、泥岩、泥灰岩、凝灰岩等软岩石或砂岩、石灰岩、喷出岩等硬岩与软岩共同组成的岩组；千枚岩、片岩和板岩；风化比较微弱、强度已经降低、但尚未松散破碎的各种完整岩石。滑体的岩层结构为层状、互层状、夹层状、板状、片状及块状(岩浆岩)等。岩层滑坡最常见的是岩石层面滑坡，视岩层倾角的陡缓，滑体运动有快有慢。在地貌上，它们常产生于由软岩构成的凸形坡、上方有孤形陡崖或陡坡的直线形缓坡（岩层倾向与斜坡一致，常由软岩构成）、上方无陡崖或陡坡的较陡直线坡（岩层倾向与斜坡一致，软硬岩互层）、硬岩在上、软岩在下而又受河水冲刷的河流陡岸。



图 1 — 8 、粘土滑坡

①具有裂隙的粘土；②碎石层；③粘土页岩；④滑下的粘土

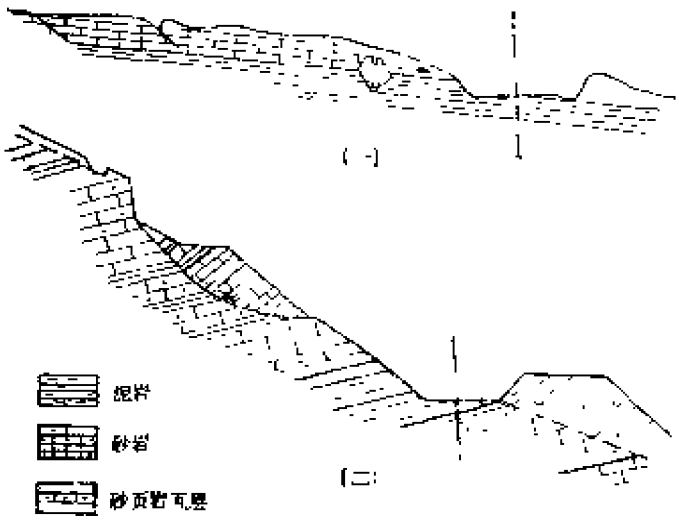


图 1 — 9 、岩层滑坡

岩层滑坡根据岩层组成物质的不同，又可细分为这样一些亚类：

砂岩、页岩、泥岩或由它们组合成的滑坡以及煤系地层、碳质页

岩、铝土页岩夹砂岩滑坡。这两个亚类几乎在全国各地相应的地层中都有分布；

碳酸盐类岩石、泥灰岩、页岩或由它们组合成的滑坡。我国南方分布较多，主要是在古老的海相地层中；

凝灰岩、膨土岩及火山碎屑岩滑坡。分布于东北、华北、东南沿海和广东、广西的部分地区；

岩浆岩坚硬块状岩石滑坡。数量很少，只有零星分布；

板状及片理化变质岩类岩层滑坡。多数是顺层滑坡，滑动面主要是沿着岩层本身固有的层面或不同岩组之间的各种接触面。有时也可产生切层滑坡。板状及片理化岩层滑坡在陕、甘两省境内秦岭东西构造带分布特别集中。

4.滑坡稳定性判断和简易动态观测

（1）滑坡稳定性判断

在“四化”建设中，我们经常遇到这样一些问题：工程建设地段有没有老滑坡？会不会出现新滑坡？滑坡的规模和稳定性如何？建筑物是避开滑坡还是建于其上？需要采取什么样的措施？对于已经产生或正在活动的滑坡，如何判断其性质、危害程度、发育阶段及今后的发展趋势？……所有这些，都是滑坡的稳定性判断问题。根据我国广大工程地质人员多年研究滑坡的经验，判断滑坡的稳定性可以从八个方面去进行分析，即：地貌形态演变；地质条件对比；滑动因素的变化；整体滑动前的滑动迹象观测；斜坡平衡核算；斜坡稳定性计算；坡脚应力与岩土强度对比；工程地质比拟计算。其中，前四个方面是从地质条件和作用因素及其对比分

析上判断滑坡的稳定性；后四个方面是通过各种力学平衡计算的方法，得出滑坡稳定程度的数量概念。当然，力学计算必须以正确的、详细的地质调查结果为基础，否则，计算结果就不能反映事物的本质。这里既有边坡稳定性评价问题，又有滑坡的判断问题。所以，比较合理的步骤，应当首先全面考虑影响边坡稳定的自然因素，进行定性评价，在此基础上再作必要的力学计算，然后综合评价其稳定性。我们这里仅对根据各种自然因素评价边坡稳定性的经验，作一初步介绍。

根据表层岩性和地质构造评价边坡稳定性　块状侵入岩边坡一般比较稳定，但应注意岩体节理裂缝及其他软弱结构面的产状组合，是否易于产生滑动，在高陡边坡段是否有可能产生深层重力滑动；

喷出岩边坡，例如玄武岩、凝灰岩、火山角砾岩等，常表现出熔岩多次喷发的特点，具有层状或似层状结构。由于岩性尚属坚硬，一般同向边坡风化浅，变形以剥落为主，但如有凝灰岩夹层或其他软弱结构面存在时，也可能产生顺层滑动；

夹有页岩、泥岩、煤层等软弱夹层的沉积岩边坡，在产状与边坡一致的情况下，特别是同向缓坡，容易产生滑动。对于反向坡或同向陡倾边坡，则应注意其他形式蠕动变形；

在层状岩石裸露地区，如果表部张裂隙发育，或覆盖很少，但树木茂盛，边坡可能发生蠕动变形。高陡的坚硬岩层边坡，容易产生张[illegible]形；

半坚硬和软弱岩层边坡，如红色泥岩、砂岩边坡，则容易风化崩解剥落；黄土疏松透水，浸水后易软化湿陷，作为

水库边坡，容易产生塌滑或崩塌；粘土边坡容易开裂膨胀，并可能沿软弱结构面滑动；夹有砂层的边坡，在饱水和受到震动时，容易产生液化，降低边坡的稳定性，软土边坡往往难以形成。

根据表部特征判断边坡的稳定性　边坡表面比较平整顺直，坡脚没有地下水出露，树木生长也较旺盛，则自然边坡较稳定；

边坡表面不平整，有较多的大小台阶，树木歪斜倾倒，坡脚有泉水出露，则自然边坡可能不稳定；

山坡泉水较多，呈点状不规则分布，成为高处地下水的排出面时，说明山坡已滑动，地下水通道被切断；

当边坡为沿层面分布的松散堆积层时，如果基岩面倾向坡面，特别是基岩面被坡面切断时，上覆堆积层稳定性较差；

岩浆岩侵入体的边缘，岩石易被风化产生滑坡；

河流的冲岸容易产生崩塌和滑坡。

判断滑坡有哪些标志　在地层和地质构造等条件相类似的地段，局部边坡剖面呈现上陡—中缓—下陡的地貌形态，而缓坡的高程与当地阶地又不相协调；

在边坡高处的陡坡下部出现洼地、沼泽及其他负地形，而当地又不属于容易形成类似地形的碳酸盐类岩层，并且在陡坡的后缘出现了裂缝；

沿河流发育的正常阶地突然缺失或被掩埋，或局部地段阶地的高程紊乱；

边坡出现独特的圈椅形或簸箕形地貌，与上下游平顺边坡不相协调；

在地层、岩性和地质构造条件类似的情况下，本来平直的河道突然一岸凸出，使河流绕弯，有时甚至形成急滩；

边坡冲沟发育，双沟同源，甚至形成环谷，在环谷洼地内部起伏不平，有时有向山里反倾的台地；

陡峭峡谷段出现缓坡；

山坡上有“马刀树”和“醉汉林”。醉汉林是指由于滑坡的活动，滑坡体上的树木东倒西歪；经过一定时间以后，东倒西歪的树木又重新垂直向上生长，但树干下部已经无法伸直，弯曲似刀，因而称为马刀树。这是滑坡趋于稳定的一种现象（图 1 —10）；

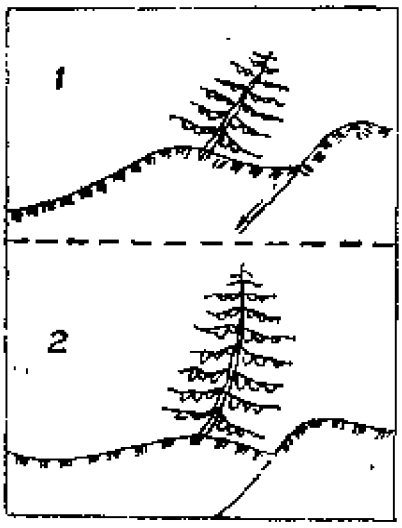


图 1 —10. 马刀树

1. 滑坡刚刚滑动不久，树木倾斜；

2. 滑动停止时间较长，树干上部垂直向上，成为马刀树

在纵向河谷中，沿河谷地层出现不连续现象，或者在斜坡的坡脚，出现了由非地质构造作用所形成的揉皱或挠曲；

斜坡上的地物出现了拉张裂缝；

含有软弱夹层的顺向坡，当坡度角大于岩层倾角、而岩层倾角又大于10°时，常常容易产生滑坡，岩层倾角为20°—30°时，滑动者较多，大于30°的一般都会产生滑动。

原有滑坡稳定性的判断 对于已经发生过滑动的滑坡残体，可根据地形地貌及表部特征，大致地判断它们的稳定状况。

凡是具有下列标志的，就可以认为滑坡处于稳定阶段：

山坡不显滑坡地貌，原滑坡平台宽大并且已被夷平，土体密实，无不均匀沉陷现象；

滑坡后壁较高，长满树木，找不到擦痕，后壁壁面稳定；

滑坡前缘的斜坡较缓，土体密实，长满树木，无松散坍塌现象；

河水目前已远离滑坡台部，有些台部外已经有了河漫滩阶地；

滑坡两侧的自然沟谷切割很深，已达基岩；

滑坡台部的坡脚有清澈的泉水涌出。

凡是具有下列标志的，便可以认为滑坡有活动可能：

边坡又陡又长，平均坡度近于碎石的休止角，一般大于30°；

滑坡平台面积不大，有向下缓倾现象，坡面未被夷平；

滑坡地表潮湿，地下水泉发育，并且有新生冲沟；

山坡表面有不均匀陷落的局部平台，参差不齐；

滑坡前部土体松散，有小坍塌，并处于目前的河水冲刷条件下；

山坡上无巨大的直立树木，有新生的“醉汉林”；

滑坡两侧的自然沟谷多属新生沟谷，沟底常常露出堆积物质。

当然，上述关于滑坡稳定或者可能活动的标志，并不是单一的，而是多种标志综合的，并且不可能所有标志都在同一个滑坡出现，实际工作中要抓住几种主要标志进行综合考虑，作出判断。不同的标志可以互为验证，互相补充。

（2）不同类型滑坡的稳定性判断

堆积层滑坡稳定性判断　因为堆积层往往由不同成因的物质交互成层堆积而成，实践证明，只要其中有一个相对的隔水层存在，那么此层以上的堆积物就可能在适当的条件下产生滑动。所以，我们应从各层特征的对比中找出软弱湿润的土层，受地下水活动影响的层位，常常就是可能滑动的层位。

黄土滑坡稳定性判断　判断黄土滑坡的稳定性，首先要从黄土的特性出发，找可能形成滑带的层位，再找成层的水及其变化，黄土层中地下水的成层性强，水对滑坡的作用十分突出，常易沿含水的砂层形成滑动面。当风积成因的黄土下伏倾斜老地层为相对隔水层时，容易产生大型的厚层（深层）滑坡；当处于黄土塬边或谷坡位置的黄土层下伏有不同年代的含水砂卵石层时，则易于形成巨大的滑坡，如宝鸡卧龙寺滑坡即属此类。

粘土滑坡稳定性判断　当粘土与下伏岩土间的分界面背向沟谷时，常因地表水浸湿了粘土层而在其中产生典型圆弧形滑面的滑动。当分界面倾向沟谷时，常发生沿下伏岩土层顶面的滑动。

岩层滑坡稳定性判断　岩层滑坡的滑动要具备两个条件，一是岩层的裂缝面组合与临空面之间构成了有利于滑动的条件；二是软弱结构面的抗剪强度大大地降低。比如常见的岩层顺层滑坡，不仅其主要层间错动面倾向沟谷，而且还有顺向和横向的两组垂直裂隙，使它们与山体分割开。这样，当河流冲刷致使坡脚露出层间错动面以后，如果错动面的内摩擦角小于错动面的倾角时，就将产生顺错动面的顺层滑坡。这是常见的类型。

易于形成岩层滑坡的几种典型岩层结构模式是：

软硬岩层互层结构；

坚硬岩层在上而下伏软弱岩层结构；

顺坡向的互层结构（倾角15°—35°间易于形成顺层滑坡）；

逆坡向的碎裂结构（易于形成沿倾向山坡的几种节理面滑动的切层滑坡）；

当顺坡向的软弱层在下，并且出露于河水位变动带内，如有地下水活动，则易于形成沿分界面滑动的顺层滑坡；

逆坡向的节理发育的硬质岩层，下伏有软弱的难透水的岩层时，常形成切层滑坡。

（3）滑坡动态观测

为了查明滑坡的动态和性质，需要进行滑坡动态观测工作。滑坡动态观测的内容包括滑坡位移观测、地下水动态观测、滑坡推力观测和建筑物变形观测等。这里，仅介绍一些关于滑坡位移观测和建筑物变形观测的简单易行的方法。

滑坡位移简易观测　当山体斜坡表面或滑坡体上出现明显的裂缝时，为了掌握裂缝的发展变化情况，就需要进行滑坡位移的简易观测。现场常用的两种方法，一是在裂缝两侧各打一木桩，桩上钉有小钉，两桩小钉的连线平行滑动方向。定时量测两小钉间距离的变化，即可了解裂缝的变化速度和幅度。如果一个木桩钉在滑坡裂缝以外的不动体上，测定结果即表示滑坡的位移距离和速度（见图1—11—a）。二是在已有裂缝的滑动体一侧打一木桩，桩上刻一竖直线，在不动体一侧装设一水平木尺，尺与桩紧密靠近，用竖直线与尺上交点的定时变化测量滑坡的水平位移；若在木桩上也

刻有标尺，则可测出垂直与水平两个方向的位移数值和速度（图1—11—b）。对于已经开始滑动、滑舌已明显错出的滑坡，为监视其滑舌向建筑物移动的距离，也可采用类似的方法进行观测。

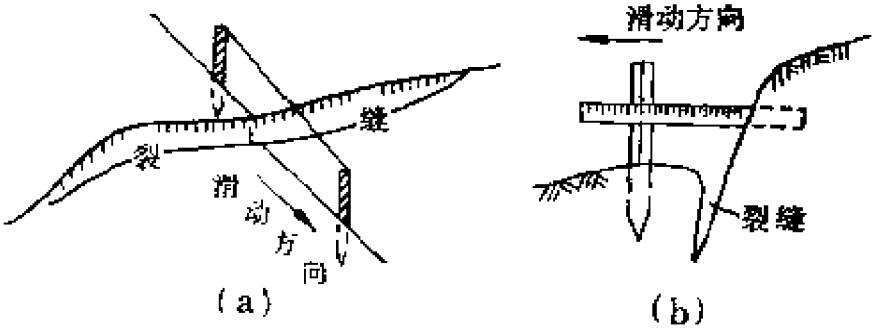


图1—11 滑坡简易观测图示

建筑物变形观测 建筑物变形观测是指对滑坡体上各种建筑物（房屋、桥涵、隧道、挡土墙、护坡、侧沟、截水沟、天沟、盲沟、检查井等）的开裂、沉陷、位移、倾斜等变形情况的观测。观测的内容包括变形发生的时间、部位、产状、性质、破坏范围及程度、动态过程及加固维修的历史等。观测方法有裂缝观测、下沉观测、倾斜观测等——裂缝观测一般采用水泥砂浆贴片，贴于开裂的代表性部位及裂缝头部的两侧，用裂缝观测镜或钢尺直接测量其变化；下沉观测需设置固定标志，用水平仪抄平观测下沉量；倾斜观测需在建筑物上、中、下部分别设固定标志，用经纬仪观测各点的变化，或用地质罗盘仪量测其倾角的变化。建筑物变形观测的时间随变形速度而异，一般每月一次，视情况的变化可酌情增加或减少观测次数。必须指出的是，建筑物变形观测资料，应同滑坡位移观测资料综合分析，这样才能提出滑坡对建筑物产生何种影响的可靠意见。

5.我国著名的滑坡灾害

（1）甘肃东乡县洒勒山滑坡

1983年3月7日下午5时40分，甘肃省东乡族自治县原果园公社宗罗家大队洒勒村旁发生大型滑坡，其规模之大，滑动之迅猛，造成损失之惨重，均为国内所罕见。在大约一、两分钟时间内，形成了南北最长达1,600米、东西最宽达1,700米、覆盖面积约1.4平方公里、土石方总量约5,000万的滑坡体。据附近地震台站观测，它引起了相当于1.4级地震所产生的地面震动。洒勒山滑坡使两座小型水库（库容分别为48万方及97万方）部分被淤埋、阻塞；毁坏耕地2,500亩、灌溉设施四处、公路及高压电线1.3公里长；群众财产损失40万元，洒勒等四个村庄共84户人家523口人，掩埋致死237人，重伤27人。

（2）四川云阳县鸡扒子滑坡

1982年7月18日，位于四川省云阳县城之东的原宝塔公社蔬菜大队和店子大队发生大滑坡——鸡扒子滑坡。滑坡系由暴雨的激发、老滑坡体（宝塔滑坡）部分复活所产生，属于岩石顺层滑坡。滑坡体面积约0.5平方公里，总土石方量约1,500万立方米，其中滑坡前缘约230余万方土石脱离原滑床而坠入河槽，由长江北岸直抵长江南岸，最大滑距约120米。根据云阳县政府的统计，鸡扒子滑坡虽未造成人身伤亡，但毁坏房屋1,730间，工农业损失共600万元。更为严重的是，由于大量石块坠入长江，在鸡扒子滩形成三道埂，江床淤高30余米，过水断面减小，流速剧增，流态复杂，阻碍航行，

给长江航运带来很大的困难，在国际上也产生了一定影响。

（8）湖北远安县盐池磷矿滑塌

1980年6月3日凌晨，宜昌地区盐池磷矿区发生山崩—滑坡（图1—12）。滑塌体厚度20—38米，岩块总体积约100万方，此次滑塌发生于500余米高处的悬崖峭壁上，坚硬岩块，居高临下，一举摧毁了盐池矿务局和坑口的全部建筑物、采矿设备和物资，该矿职工284人掩埋致死，经济损失500余万元。事故发生后，附近两个地震台都记录到了由此而引起的地震，震级为1.4级。这是一个在可能产生滑塌的地方，由于地下采矿的影响，促使滑塌很快发生的典型事例。深刻的教训很值得人们记取。



图1—12.盐池磷矿山崩—滑坡全貌

盐池矿区属于山高谷深坡陡的山区。山体上部是由坚硬的厚层白云岩所形成的峭壁，下部山坡稍微平缓，岩层软弱。磷矿就产在山坡下部的软弱岩石中。在山区，象这样上陡下缓、上硬下软的山坡结构，是很容易发生山崩和滑坡的。但是盐池磷矿对此却没有引起足够的注意，自1975年投产

之后，即开始在山下采矿，年产磷矿石8万吨。至1980年初，采空区总面积达6.4万平方米，埋藏深度为300—330米，已全部放顶。1980年2月后，随着井下放顶面积的扩大，坑道中地压日益严重，顶板开裂，支柱压裂，底臌、片帮等现象相继出现，地表山头七先后共出现大小10条裂缝，最长达180米，最深达160米。对此，技术方面没能作出及时的准确的判断，矿山领导没有采取紧急的必要的预防措施。就在山体岩石变形已相当严重的情况下，5月30—31日，这里又连续大雨，降雨量为74毫米，雨水渗入裂缝，终于导致了6月8日惨祸的发生。

（4）甘肃省舟曲县泄流坡滑坡

泄流坡距舟曲县城约5公里处，下距武都县城55公里，位于白龙江左岸，是一个典型的老滑坡区，历史上曾多次滑动，堵塞白龙江，带来严重的危害。1981年4月，泄流坡老滑坡体中、下部复活，发生大规模快速滑动。滑坡体长度约1,700米，平均宽度350米，前缘与后缘高差约500米，滑动土石方总量3,000—4,000万立方米。

在1981年4月发生大规模滑动之前，泄流坡滑坡已有明显的前兆：2月8日地表出现裂缝；4月4日已开始缓慢滑动；4月8日晚转为快速滑动，至4月14日便严重堵塞白龙江。这次大规模滑动的水平位移量为600—700米，下滑速度平均为16—17米／昼夜，巨大的滑坡体壅塞白龙江，形成水深22米、蓄水1,300万立方米、迴水长度为4.5公里的天然水库，对上游的舟曲县城和下游的武都县城造成了威胁。

（5）成昆铁路铁西站滑坡

1980年7月3日下午3时30分，在四川凉山彝族自治州

越西县境内，铁西车站南侧牛日河西岸山坡上发生大型岩石顺层滑坡。当天天气晴朗，人们亲眼目睹巨大的滑坡体从40—50米高的采石场边坡下部（高出铁路路基面10米左右）推挤出来，滑落在采石场平台和路面上。这一滑坡体长445米，宽260米，厚度约30—60米，顺着岩层面下滑，在水平方向上滑移80—120米，后缘滑壁高70米，后缘与前缘相对高差约240米，滑坡体总体积220万立方米。有5—6万立方米碎石堆压在铁路路基面上，铁路路基上的滑体厚约14米，越过路基达25—30米远，掩埋铁路长160米，铁西隧道进口被堵塞，纪底沟拱涵被埋没，洞口看守房和扳道房被毁坏，中断铁路行车40多天，是我国铁路史上罕见的重大事故。

（6）四川雅江县唐古栋滑坡

1967年6月8日，四川省雅江县雅砻江右岸唐古栋一带发生大型滑坡。这是发生在三叠系灰黑色泥质板岩及砂岩中的切层滑坡。滑坡体相对高差1,030米，最大水平位移1,900米，宽1,300米，总面积1.7平方公里，滑坡体土石方量约6,800万立方米。由于庞大的滑坡体滑落入雅砻江，垒成了一座天然的拦河大坝。左岸坝高355米，右岸坝高175米，坝长200米，迴水区长达53公里，拦河大坝下游曾出现断流。在雅砻江断流九昼夜后，这座拦河大坝又漫坝决口溢流，造成溃堤洪水泛滥事故。在很短的时间内，大坝以下水位上涨12—20米，最大流量达5,300米^3／秒。这一洪水高峰以4—8米／秒的流速流向下游，距滑坡1,300公里之遥的雅砻江口（与金沙江汇合口）三堆子，河水水位也上涨了14.5米。所幸由于事前已发出预报，拦河大坝溃决后人民生命财产才未遭重大损失。

（7）湖南柘溪水库库岸滑坡

1961年3月6日，湖南省资水流域柘溪水库，在距大坝上游右岸1.5公里的塘岩光发生库岸滑坡。这是发生于变质岩——砂质板岩中的岩石顺层滑坡，由于层间错动和横向节理、断层发育，水库的库岸倾向资水河床，构成容易发生滑坡的同向坡结构。在水库蓄水的媒介作用下，蓄水初期工程尚未完工，就发生了滑坡，滑量165万立方米。滑坡体以25米／秒的速度倾泻入50多米深的水库中，产生高达21米的涌浪，水浪溢过坝顶冲向下游，造成死亡四十余人和其他财产损失。

与水库蓄水有关的滑坡，不但在我国有，世界上其他国家也不乏其例。1963年10月9日意大利北部瓦依昂特水库发生库岸岩石顺层滑坡，总体积近3亿立方米的石灰岩层突然滑入水库，这个由高达260余米的拱形坝筑成的水库，坝内设备顿时被特大型滑坡掀起的涌浪和气流所摧毁。高出坝顶100余米的洪水倾泻而下，冲毁了下游五个村镇，有2,600人丧生，酿成了世界上最大的水库事故。

（8）云南禄劝县烂泥沟大滑坡

1965年11月20日至23日，云南省禄劝县原普福公社的烂泥沟，发生特大型滑坡。在剧烈滑动之前，地面出现长200—300米、宽2米的大裂缝，至11月20日晚11时33分，裂缝急剧扩大到3—4米宽。第一次滑动，滑坡体土石方总量达2.5亿立方米；23日晚发生的第二次、第三次滑动，滑坡体土石方总量分别为5,000万立方米和900万立方米。由于滑坡体前后缘高差大，山坡陡峻，滑坡物质滑落后，顺沟谷高速滑动5—6公里，直至前方受到鲁干大山阻挡后方才停积下来。

滑坡在普福河谷中堆积成的拦河大坝（堆石坝），坝体长1,100米，面积约2.2平方公里，大坝拦截蓄水成库，容量达500万立方米，当地称为海子。由于巨大的滑坡体急剧下滑，引起地面震动，有感范围半径达5—6公里，震级4.4级，震中烈度5—6度。直接遭受滑坡之害的四个村庄，有85户、计283间房屋全被掩埋，死亡人数至少为443人。1966年7月，也就是滑坡发生八个月之后，大坝溃决溢流，形成强大的泥石流，大量石块被带进金沙江，形成险滩。

（9）宝成铁路李家河车站滑坡

1959年1月，宝成铁路李家河车站附近发生一次具有崩塌性质的黄土滑坡，约30万立方米土体瞬间滑下，将铁道钢轨推到100米之外的嘉陵江中，致使江水断流，火车运营中断。

黄土滑坡的一个重要特征，是黄土底部受水泡软成为滑带，滑带物质是滑体自身的一部分，滑动绝大多数都是沿含水的砂砾层、粉细砂层及不同岩性交替层、粘土层的顶面而发生的。表1—3所列我国几条铁路沿线的著名黄土滑坡，清楚地显示出这一特点。

（10）湖北秭归县新滩滑坡

新滩滑坡位于湖北省秭归县长江北岸新滩镇至广家崖一线的斜坡上，经过历年渐进变形之后，于1985年6月12日凌晨，自上而下发生了总计约3,000万立方米的大规模滑动，将新滩镇全部摧毁，其中约有200余万立方米土石滑入长江，激起的涌浪最高达54米，波及范围上至香溪镇与秭归县城，下至九溪湾与三斗坪等地，击毁击沉机帆船13艘，木船64只，船上人员死亡9人，冲毁南岸水泥仓库一座。在滑坡区

表1—3.黄土滑坡滑动面通过的地层岩性特征

滑坡名称	滑动面通过的地层岩性
陇海线卧龙寺滑坡	黄土底部及红色重亚粘土顶面（黄土与亚粘土之间往往有含水砂砾层）
陇海线斗鸡台滑坡	黄土底部与红色重亚粘土顶面（黄土与亚粘土之间往往有含水砂砾层）
陇海线K1251滑坡	黄土质粘土沿紫色页岩顶面滑动（黄土质粘土底部是含水层）
陇海线K1408滑坡	老滑坡：黄土沿红色粘土滑动
	新滑坡：黄土质砂粘土沿褐黄色砂粘土过渡层顶面滑动
兰青线K207滑坡	黄土沿红色粘土顶面滑动（黄土与粘土之间夹含水粗砂砾）
太焦线松村滑坡	黄土沿杂色粘土顶面滑动

内，有居民481户，计1,371口人，由于预报及时，撤离措施果断，无一人伤亡。

新滩地处黄陵背斜西翼，区内可见四条小的断裂构造，西部广家崖、鲤鱼山一带岩石裸露，地形陡峻，各个含水层富水性差。本区属暴雨区，年降雨量1,016毫米。新滩镇——姜家坡一带为坡度20°—40°的斜坡堆积体，堆积物厚度为30—50米，最厚达86米。标高740至910米的崩坡积层，主要由灰岩陡壁崩塌的松散块状碎石组成；标高510—740米的堆积物由灰岩，砂岩碎石和粘土组成；标高100—550米的堆积物

由石英砂岩、碎石、粘土组成；不同标高的堆积物总量约3,800万立方米。由于高处二叠纪煤层（广九煤矿和白驼煤矿）的开采，更加促进了岩崩的发生。碎石夹土的崩坡积物分布面积大，充填物少，透水性好，下伏志留纪砂页岩透水性很差，一到雨季，大量雨水下渗使下部夹粘土的碎石处于饱和状态，粘结力和抗滑力减弱，加上受到动水压力作用，很容易触发滑坡泥石流。

据史料记载，从公元100年以来，这里曾多次发生较大的滑坡和岩崩，冲毁房屋和农田，压死居民，堵江阻塞航道。1980年以来高处多次发生崩塌，1982—1983年滑体变形逐渐加剧，滑坡周界逐渐形成。在这段时间里，滑坡后缘崖壁下滑近10米，东西两侧相对下沉2—3米，并出现羽状裂缝，滑坡体上部向南偏西方向位移3米，中下部位移1.5米，前缘出现小滑塌，局部地段出现潮湿带。1985年5月8日至17日，这一带曾下过中到大雨，5月17日在标高550米的西侧沟槽中发生一次小规模泥石流。6月1日至4日又下过一次小到中雨，6月9日上午11时斜坡后缘急剧下沉，呈北东50°—60°的拉张裂缝数量明显增加，前缘标高550米处不断有滚石崩滑，滑体内发出“喀喀喀”的响声，在标高380—400米处出现鼓丘。6月10日凌晨，标高550米下的临空地段发生崩滑，形成60—70万立方米的崩滑体，舌部距长江约150米，崩滑将一民房推出60余米，崩滑前几分钟有冒水、涌砂现象。这次崩滑对姜家坡滑体起了牵引作用。6月10日夜间姜家坡滑体后缘下滑2米，上部表面裂隙密布，西侧下滑1米，东侧裂隙扩大，两处公路错断并向长江方向推移2米，650米标高的公路上鼓起多处，标高650—910米段发出喀喀

声响。6月12日凌晨3点35分，两侧发生错动，发出巨大响声；3点45分，随着东侧发出一声巨响，姜家坡——广家崖1,300万立方米滑体上部产生大滑动，约500万方土石从姜家坡以上冲出，使新滩镇1,400万立方米滑体发生肢解和位移，将新滩镇土地房屋全部冲毁，其中西部形成一股高速碎屑流，直入长江，形成长达80余米的前舌，其余则覆盖在西侧沟中及堆在东南坡下。这便是举世闻名的新滩滑坡发生的大致过程。

新滩滑坡的滑体后缘高程850米，前缘滑舌已推入高程为68米的长江水面以下。滑坡的平面形状为一近南北向展布而略向东弯曲突出的长条扇形体（图1—13），南北长1,900余米，东西宽度变化较大，靠近后缘部位宽230米，往下变细，在标高650米处宽度仅为150米，在前缘临江部位宽度近700米。滑坡周界清晰，两侧及后缘圈谷以基岩陡滑壁为界，后缘壁高40—50米，侧壁高度一般10—40米，最大壁高可达80米。在滑体内部可明显地看到横贯滑体的三级台坎，在滑坡前沿部位（大致在标高200米以下）还有三个次级小滑坡分布，其后缘也形成小台坎。由此可见，新滩滑坡是一个结构复杂的大型滑坡。从整体组合形态及滑动特点来看，可以大致断定它是沿下伏基岩——志留纪砂页岩与松散土体分界面滑动的，滑动次序表现出自上而下逆滑的总趋势，明显地显示出推移式运动方式。滑动距离因地而异，不仅各分滑体不同，同一滑体不同部位也不一样，在变形较剧的主滑槽内，下部滑距达400米，下落高度达200米；而上部滑距仅150米，下落高度约60米。就滑坡的运动状态而言，既有混杂扰动变形（这是主要的），也有局部地段的整体滑移运

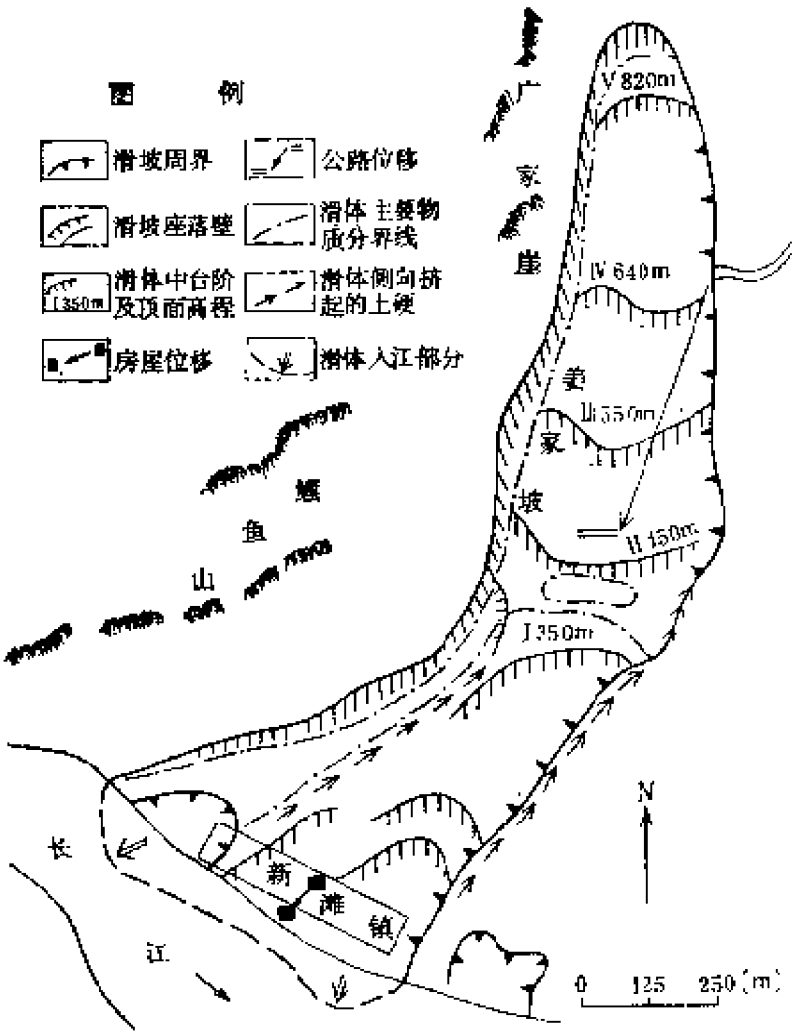


图 1—13。新滩滑坡地表形态示意图

动。应该指出的是，新滩滑坡的后缘并没完全拉开，前缘仍较陡，滑坡体并没有达到最终稳定状态，再次滑动的可能性还是存在的。这个地区周围环境尚存在若干极强的诱发滑坡因素（如暴雨、岩崩、断裂活动、地震活动、三斗坪水利枢纽工程建成后的库区淹没等），每一因素都有可能破坏滑体平衡而诱致滑体再次活动，因此决不可掉以轻心。

二、泥石流

1.什么是泥石流

（1）泥石流并不神秘

泥石流在我国一些地方被称做沙坝或滩地。解放以前，由于缺乏科学知识，一些地方的人民群众把泥石流看作是不可驯服的“神龙”，于是出现了诸如“野猪龙”、“母猪龙”、“稀屎龙”、“龙扒”等敬畏、咒骂或神秘的说法，泥石流发生时，一些人甚至对它作虔诚的祈祷。

其实，泥石流不过是常常造成灾害的一种自然现象，没有什么可神秘的。在国外，采用科学的方法研究泥石流，已经有一百多年的历史。在我国，自解放以来，对泥石流也开展了多方面的系统研究。瞧！1983年7月底的一天，中国科学院南迦巴瓦峰考察队的科学工作者，刚好遇上了西藏帕隆泥石流的爆发。

这一天，考察队的同志们准备去加拉白垒山考察。三辆吉普车越过海拔4,700米高的色齐拉山，进入了帕隆藏布江流域。当他们到达帕隆藏布江的下游河段时，发现大水冲垮了一座公路桥，考察队员们被阻隔在路途上。

雨，淅淅沥沥地下个没完，帕隆藏布江的支流奔腾着混浊的泥水，江水在不断地上涨着。科学工作者在路边简陋的

木房里，怀着忐忑不安的心情进入了梦乡。夜半时分，他们突然从酣睡中被大地的颤抖声惊醒了，屋外传来了狗的狂吠和牛的哀叫。再就是轰鸣的江水夹带着巨石相互撞击、滚动而发出的怪声。全屋的人都不约而同地爬起来，此时正是凌晨两点钟。当地的群众也都跑到公路上侧耳倾听从黑暗中传来的巨响，那怒涛的轰鸣一阵高过一阵。凭借微弱的手电筒光，隐约可以看到前方的大桥已经在洪流中倾斜没水，科学工作者暂居的地段正处在被泥石流包围的险境之中。地基在一段段地崩塌，不一会儿功夫，离江最近的一座木房已开始倾倒，住在木房里的人们在向山上转移，男人们背着东西，女人们怀抱着小孩，冒雨向山上爬，周围充满了恐惧和紧张的气氛。考察队员当即回到木房里，背起背囊，带上资料和仪器，穿上雨衣，摸黑深一脚浅一脚地向山上的安全地带撤退。当他们背着背囊穿过公路时，没膝的泥浆和石块已淹没了公路；有两个同志行动较慢，当先走的同志返回木屋接应时，院子已经被泥石流填平，只能从窗台跳行了。大家在风雨中相互呼唤应答着爬上山坡，周围是洪流咆啸声、石块撞击声、树木倒地声和山坡上石坍塌声的合奏，仿佛世界将要毁灭。……

早晨七点多钟，终于盼来了雨住风停，东方出现了鱼肚白，周围的情景能够看清楚了，只见山坡下的驻地是一片凄凉景象：有的木屋被泥石流冲走了，留下一片泥浆、巨石和歪倒的树木，公路上的烂泥足有一尺多厚；不远处的一座50米长的单跨大桥已经面目全非，桥头两端与公路连接处被冲开10多米宽的缺口，混浊的泥浆夹带着巨石依旧在缺口中奔泻，桥体上端的一部分被冲垮，主体桥身已经倾斜，横七竖

八的树木、石块把桥洞堵得严严实实，浊流溢过桥面，桥毁路断，交通阻绝。令人惊异的是，在夏日炎炎的七月份，在泥石流中竟看到了大块透明的冰块，它们显然是从四季冰封的山顶上"流"下来的。向远处看去，只见几吨重的推土机、载重汽车也被冲入江中卷走了，江对岸一溜十几间公路道班房都被洪流冲光了，泥石流可怕的破坏力量，令人胆战心惊。

后来，科学工作者在帕隆藏布江上游的野贡、嘉黎一带查阅了气象资料，他们了解到：在泥石流到来的那天夜里，上游地区降了多年未见的暴雨，因此导致下游泥石流的爆发。几个小时内涌下的泥石流，在沟口堆积起来的淤泥木石高达十几米，把汇流到帕隆藏布江的河口也堵住了一半，江水上涨漫溢，毁坏了许多农田和村庄。据西藏公路工程局的同志介绍，这是一场百年难遇的特大泥石流，大大超过了当初对公路桥梁设计的预想。

在我国，不同的科研、生产和教学单位，都对泥石流开展了多方面的研究。科学工作者已经完全弄清楚了：泥石流是产生在沟谷中或斜坡面上的一种饱含大量泥沙、石块和巨砾的特殊的山洪，是高浓度的固体和液体的混合颗粒流。它的运动过程介于山崩、滑坡和洪水之间，是各种自然因素（地质、地貌、水文、气象等）或人为因素综合作用的结果，并非所谓的"神力"在起作用。世界上本来就不存在所谓的"神力"。

泥石流是介于水流和土石体滑动之间的运动现象。泥砂含量很少的泥石流，与一般的山洪差不多，甚至难于区分；而泥砂含量很多的泥石流，又与土石滑体非常相似，没有截

然的界限。当固体物质含量低，粘度小时，流体显现不规则的紊流状态；当固体物质含量高，粘性大时，流体近似塑性体，呈现有规则的层流状态，流动有阵性。泥石流流体很不稳定，流体性质不仅随固体物质性质、补给量与水体补给量的增减而变化，而且在运动过程中，又随着时间地点的改变而改变。

泥石流是在松散的固体物质来源丰富和地形条件有利的前提下，通过暴雨、融雪、冰川、水体溃决等因素的激发而产生的。爆发时，混浊的泥石流体沿着陡峻的山沟，前推后拥，奔腾咆哮而下，地面为之震动，山谷有如雷鸣；冲出山口之后，在宽阔的堆积区横冲直撞，漫流遍地。由于泥石流爆发突然，运动很快，能量巨大，来势凶猛，破坏性非常强，常给山区工农业生产建设造成极大危害，对山区铁路、公路的危害，尤为严重。

（2）泥石流的相貌

泥石流地貌一般可划分为形成区、流通区和堆积区三部分（见图2--1）。

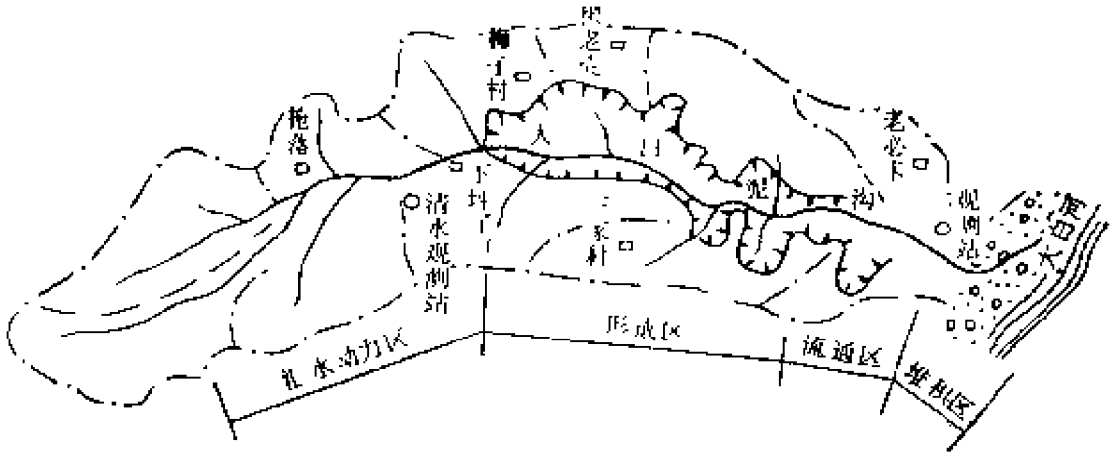


图2—1．东川大白泥沟泥石流流域图

泥石流形成区包括汇水动力区和固体物质补给区，形成区的地形特征，是对泥石流进行评价的重要标志。形成区呈树冠状，有利于地表径流和固体物质的聚集；形成区呈羽毛状，则汇流时间长，形成区坡面多、山坡陡、沟壑密度大，则集流快，泥石流迅猛强烈；反之，则集流缓慢，泥石流较弱。固体物质补给区坡面呈凸形的，其冲蚀力大于凹形坡。固体物质补给区在扩大，标志着泥石流在发展；补给区在缩小，则表示泥石流趋向衰退。泥石流产生在固体补给区上游时，泥石流流量大；两区重叠时，泥石流流量小；水源在固体物质补给区下游时，泥石流甚至可能不会发生。固体物质补给区集中在下游或沟口，则易被上游水源一次搬出，泥石流冲出的力量强；反之，不易被一次搬出，流量小，力量弱。

泥石流沟谷的中下游，是泥石流搬运通过的区段——流通区。流通区纵坡的陡、缓、曲、直和长、短，对泥石流的强度有很大的影响。当纵坡陡而顺直时，泥石流流动通畅而势力强；相反，如果纵坡缓而弯曲，则泥石流容易受到堵塞而产生漫流、改道和淤积。一般的泥石流沟槽，多属于峡谷地形，比较顺直、稳定，沟槽坡度较大。有的流通区与形成区、堆积区互相穿插，形成宽窄相间的串珠状河段。山坡型泥石流的流通区通常很短，有时甚至不单独存在。

泥石流堆积区是泥石流固体物质（泥、砂、石）停积的场所，位于流域的下游或山口之外坡度比较平缓之处，呈扇形、锥形或带形。大小石块混杂堆积，地面坐岗起伏，坎坷不平。有些泥石流沟谷的中、下游，坡缓槽宽，呈葫芦形或喇叭形，也可成为堆积区。由于山前阶地比较宽阔，山前区

泥石流的堆积扇往往发育完整。而山区泥石流的堆积区，受到主河流水切割，堆积扇体不能充分发育，常常不完整。山坡型泥石流的堆积体近似锥体，规模较小，当泥石流沟陡峻、能直接泻入主河，而主河搬运能力又很强时，泥石流堆积区就可能缺失。泥石流堆积扇纵横断面常呈轴部隆起、两翼低洼的拱形，沟槽经常摆动，普遍漫流淤积。当泥石流发展旺盛时，扇顶的流速、淤积速度和厚度常大于扇缘，促使堆积区向流通区延伸扩展。当泥石流转为衰退期后，在堆积扇上下切成比较稳定的沟槽。受到新的地质构造运动的影响，有些早期堆积扇可以成为固体物质的源地或流通区，当然，也有新堆积扇掩覆于老堆积扇之上的情况发生。

（3）泥石流的分布

泥石流在地球上的分布极其广泛，除南极洲外，六大洲都有泥石流的踪迹，有六十多个国家和地区受到泥石流的危害。世界上泥石流最活跃的地区，是北回归线至北纬50度之间的地区（如阿尔卑斯山——喜马拉雅山系，环太平洋山系，欧亚大陆内部的一些山系等），其次是拉丁美洲、大洋洲和非洲的某些山区。除中国之外，苏联、美国、日本、奥地利、瑞士、印尼、意大利、南斯拉夫、新西兰、印度、尼泊尔、巴基斯坦、法国、英国、秘鲁、智利、罗马尼亚和捷克等国，都有泥石流的分布。

我国是世界上有名的多山之国，山地面积占全国国土总面积的三分之二。由于受岩层断裂和褶皱的影响，导致山体失稳，岩石破碎，地形陡峻，再加上季风气候和丰富的水源条件，使我国成为世界上泥石流分布十分广泛、危害相当严重的国家之一。在我国境内，不仅黄土高原、天山、祁连山

和昆仑山的山前地带有泥石流，秦岭、太行山地区有泥石流，北京西山、辽宁西部山区和吉林长白山地区也有泥石流危害，我国西南的横断山地区、西藏东南部、滇西、滇东北和川西山区更是频繁爆发的典型泥石流分布区，即使在我国的东南沿海地区，也时有泥石流灾害发生（见图2—2）。全国解放以来截至1982年底止，我国仅铁路沿线造成严重破坏的泥石流灾害即达170起左右：五十年代32起，六十年代10起，七十年代76起，八十年代头两年即达20起，有明显的越来越严重的趋势。在我国山区铁路中，除台湾省的各条铁路外，已发现泥石流沟1,010条，其中大部分都集中在西南和西北的铁路沿线上，昆明、成都、西安和兰州四个铁路局管辖范围内的泥石流，约占总数的95%。成昆铁路自成都开始长约750公里的北段，1970至1981年的11年间，沿线有39条沟爆发50余次规模较大的泥石流。西北地区已建成的铁路中，自建国以来至1981年，因泥石流灾害中断行车71次共2,059小时，颠覆列车两起，破坏车站达5处7次之多。

2.泥石流的形成条件

泥石流的形成受多种自然因素的影响，归结起来，丰富的松散固体物质来源，有利的地形地貌条件，充足的水源和适当的激发因素，是形成泥石流的三个基本条件。人为活动对某些泥石流的发生和发展，也有着不可忽视的影响。

（1）松散的固体物质来源

泥石流之所以不同于其它水流，就在于含有大量固体物

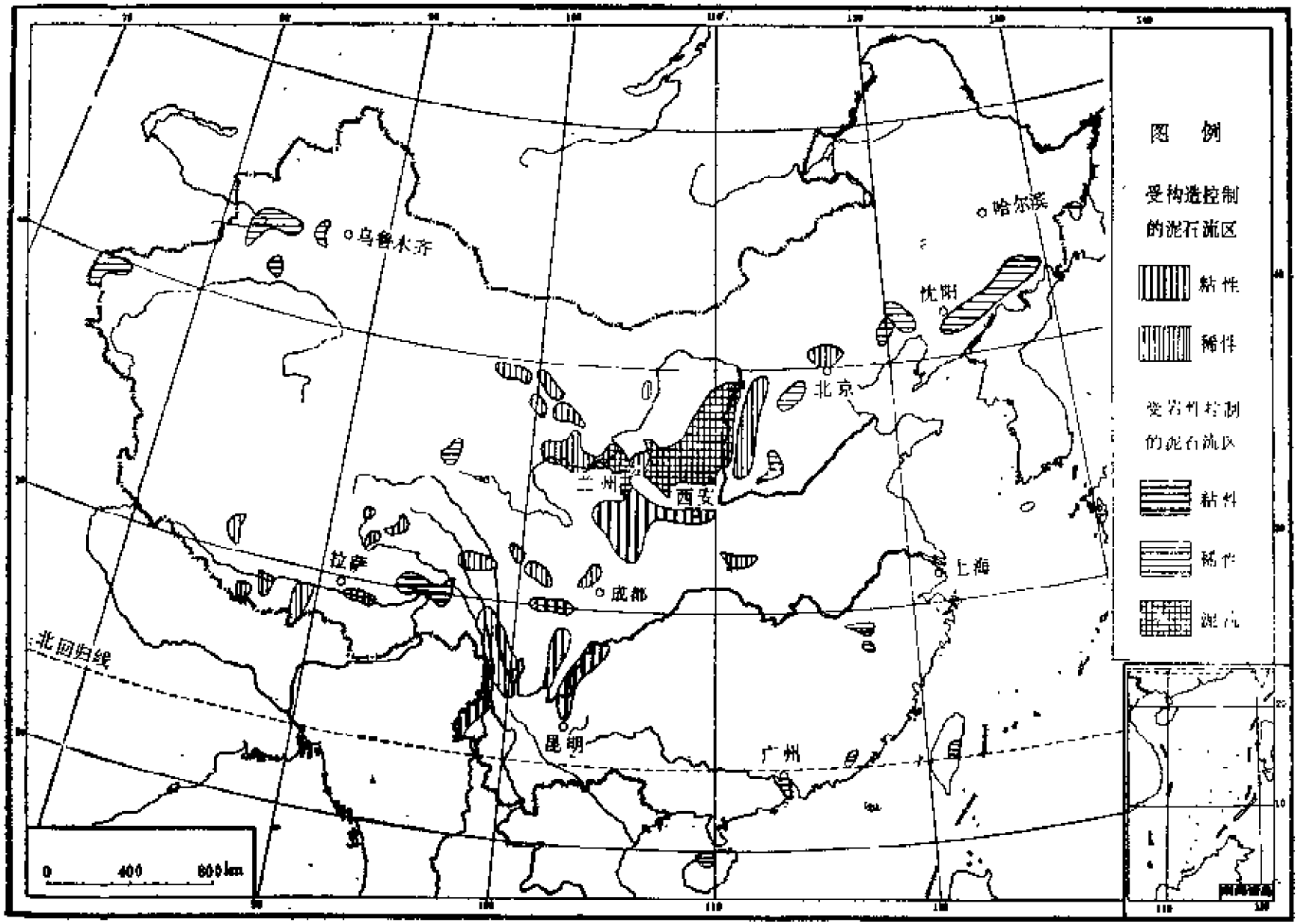


图2—2.我国泥石流地区分布

质。因此，储存松散固体物质的场地，就成为泥石流的发源地。固体物质的成分、多少和补给方式，就决定了泥石流的类型、性质和规模。

在影响松散固体物质来源的各种因素中，地质构造活动，尤其是规模比较大的地壳断裂构造及其派生的次一级断裂，经常成为最基本的因素。泥石流沟群常常集中分布在一些深大断裂构造及它的附近地段，例如西藏高原东部断裂带、西昌安宁河大断裂、云南东川小江断裂和甘肃武都白龙江断裂等地段，全都广泛地发育泥石流。除大断裂构造之外，规模不大的小断裂，对泥石流的发生和发展也有重要的影响，某些泥石流沟往往沿着小断裂而发育，例如西昌黑沙河和东川大白泥沟就属于这种情况。此外，背斜构造轴部的断裂附近，岩层软硬相间、向一个方向倾斜的单斜构造地段，由于岩层破碎，在山坡再造过程中也容易提供泥石流的固体物质。

原有老的断裂构造对于泥石流的固体物质来源有重大影响，近期发生的新构造运动，对泥石流的发生和发展更是起着主导作用。我国横断山脉地区，属地壳长期上升地区，加上被许多南北方向的断裂切割，新断裂活动又往往沿着老断裂而发生，[8] 近期活动十分强烈，地震也强烈而频繁，这就使侵蚀作用大大加剧，加快了松散固体物质的汇聚速度。安宁河大断裂的近期活动，加上横向断裂的截切，使安宁河河谷东岸上升远较西岸为快，相对高差达 230 米，东岸的泥石流因此也远较西岸更为发育。新构造运动引起地壳抬升，导致原来的沟谷继续下切，还使原有老的堆积扇或者河流阶地上的第四纪松散沉积物，又重新成为新泥石流的固体物质补给来

源。

强烈地震也是泥石流固体物质快速、大量聚积的重要因素。地震活动显著地降低了岩层的强度，破坏山体的稳定性，使山体开裂以至发生崩塌和滑坡等块体运动，直接增加了泥石流的固体物质来源。地震还常使暂时停歇的泥石流复活，使衰退的泥石流“返老还童”，重新转而旺盛发展。我国北起贺兰山、六盘山，经甘肃天水—文县一带，直到川西、云南地区，是一个南北向构造地震带，从北到南2,000余公里均有泥石流发育，我国许多著名的泥石流都发生在这个地震带上。

重力作用形成的山坡块体运动，如滑坡、崩塌、错落等现象，暂时性水流所引起的冲沟、沟岸坍塌等物理地质现象，以及水土流失现象，也都对泥石流固体物质的集聚起到重要作用。山坡块体运动可直接把较为完整的岩层转化为泥石流的固体物质，使它的分布区段构成了泥石流固体物质的供给区。山坡块体运动越多，规模越大，分布越集中，则泥石流越发育，活动越频繁，强度也越大。如西昌黑沙河流域，各种山坡块体运动有200多处，坍塌分布面积占流域总面积的15%，固体物质来源极其丰富，成为安宁河谷中最大的一条泥石流。地下水对土和软质岩石能起浸润、潜蚀和溶解等作用，增大孔隙度和湿度，降低土（岩）体强度和稳定性，从而导致滑坡和坍塌的发生，有些甚至直接发展成为滑坡型泥石流。

泥石流的组成和流态性质，与地层的岩石性质有着直接的关系。第四纪各种成因的松散堆积物最容易直接受到侵蚀冲刷，形成泥石流的源地。巨厚的冰碛层和冰水堆积层是我国

冰川型、融雪型泥石流的源地。山坡的残积和坡积物，沟床的冲积和洪积物，尤其是由滑坡、崩塌等山坡块体运动形成的堆积物，经常成为泥石流固体物质集中的来源。各种不同岩性的基岩转化为泥石流松散固体物质源地时，主要取决于该地风化作用的强度和地层抗风化的能力，同时也受到地质构造等因素的制约。一般来说，软弱岩层比坚硬岩层更容易风化剥蚀，但当岩层极度破碎时，不论岩性软硬，都易于风化侵蚀，为泥石流提供固体物质。

（2）有利的地形地貌条件

形成泥石流的地形特征是陡峻和高差大。我国大多数泥石流都发生在高原边缘、具有这种特征的陡峻坡面上和深切的沟谷中。

坡面地形是泥石流固体物质的主要源地之一，其作用是为泥石流直接提供固体物质。云南东川的蒋家沟，坡陡流急，岩层破碎松散、一坡到顶，童山秃岭，植被难以立足，是形成泥石流十分有利的地形，成为全国著名而又难治的泥石流沟。

沟谷地形是泥石流的集散地，是固体物质积零成整的储备区。沟谷常由几个到无数个坡面地形所组成，坡面提供的固体物质，首先汇集在沟谷内，在山洪激发下，顺着陡峻的沟谷揭底拉槽，冲向下游，以“零存整取”的形式爆发泥石流。这类陡峻的泥石流沟，尽管貌不惊人，但一旦爆发，常使人猝不及防，往往酿成灾害。

山坡型泥石流的地形，由少数坡面地形组成的沟槽，有些是悬挂式的，多呈“V”字形，纵坡近似于山坡坡度，一般在25°—50°之间。沟槽的规模大多数都比较小，泥石流流量

也不大，但爆发时来势凶猛，撞击力强大。大渡河、金沙江和龙川江两岸的许多泥石流都属于这种类型。

沟谷型泥石流的地形，常有一个或集中或分散、固体物质储备丰富的多坡面组成的形成区。它的形状通常是三面环山、一面开口的山间低地，即簸箕地形。坡面一般都较陡，而沟谷纵坡则陡缓不一，通常在150—400‰，最大甚至可达550‰。泥石流规模多属中、小型，但势头大，力量猛，破坏性强，灾害严重。与山区的泥石流沟相比，山前区泥石流沟的沟谷纵坡，一般都缓而长，沟谷呈“U”字形，流通段多属中、浅程度切割，堆积扇体完整，规模较大，沟谷纵坡较缓，一般约20—200‰，只有少数可达400‰。山前区泥石流沟以大、中型居多，常分布于山间盆地周围和山前区的山麓地带，这类泥石流来势较弱，冲击力不强，往往形成漫流改道淤积，慢性危害范围比较大。

（3）充足的水源和适当的激发因素

水是激发泥石流的重要条件，又是泥石流的组成部分和搬运介质。泥石流的水源有暴雨、冰雪融水、水体溃决等不同的形式。我国泥石流的水源，主要是暴雨。各地区由于气候和地貌条件的差异，暴雨分布和降落特点有很大的差别，这就形成了显著的地区性泥石流特征。比如北方雨量小，泥石流爆发就稀少；南方雨量大，泥石流就频繁爆发；在暴雨中心，泥石流活跃；地形起伏使暴雨发生再分布，迎风坡使暴雨得到加强、背风坡使暴雨得以减弱，因而导致泥石流强弱的不同；沿海的湿润气候和台风雨对泥石流有强烈影响，而高原气候寒冷则有冰川融雪泥石流的发生。

特大暴雨是促使泥石流爆发的主要动力条件。处于停歇

期的泥石流沟，在特大暴雨激发下，甚至有重新复活的可能性。1963年9月18日夜间，云南东川的老干沟，一小时内降雨55.2毫米，爆发了近50年一遇的泥石流。成昆铁路线上安宁河谷的汉罗沟，1977年5月14日连续两小时降雨127毫米，导致停歇的泥石流复活，仅20分钟，沟槽即下切2—4米，扩宽1—2米，搬出松散固体物质8万方，淤埋了新铁村车站的三股道，淤积厚度约1米。云南东川因民铜矿所在的黑山沟，坡度陡、落差大，山沟内固体淤积物数量很丰富，植被又因开垦荒地受到破坏，在这样的条件下，1984年5月27日凌晨，猛降点暴雨夹冰雹，仅20分钟降雨量即达40毫米以上，导致泥石流猛烈爆发，泥石流流量达400米^3/秒、流速达6.11米/秒，沟床被掏深2.5至5米，搬运固体物质36万方，冲毁各种房屋43,000余平方米，经济损失1,000万元，人员死亡121人。

连续降雨后的暴雨，是触发泥石流的又一重要动力条件。由于前期降雨使山坡土体和破碎岩层含水饱和，强度降低，松散储备物质更不稳定，在继发的暴雨径流冲击下很容易形成泥石流。川、滇两省交界附近的三滩泥石流沟，1976年曾连续两次发生泥石流。第一次在6月29日，有效降雨55.1毫米，10分钟雨强达12.2毫米，但由于前期未曾降雨，泥石流的规模和强度都不大。第二次是在7月3日，有效降雨86.7毫米，10分钟雨强为11.8毫米，由于有前期降雨的影响，泥石流强度达到近50年一遇的规模。

我国西北地区处于欧亚大陆的腹部、青藏高原之东，受西风环流的控制及东南季风的强烈影响，虽然全年降雨量并不大，但六、七、八三个月，尤其七、八两月，降雨集中，

暴雨强度大，因此泥石流的爆发也随之具有明显的季节性特点。据统计，西北地区七、八两月发生的泥石流灾害约占全部泥石流灾害的90%以上。

洪水期、枯水期、冰冻期、融化期、风季、雨季以及地震等触发泥石流的因素，不仅表现出明显的区域性，而且在同一个区地、同一个流域，这些因素总是呈现出一定的周期性，因此泥石流的发生和发展，也具有一定的周期规律。暴雨之后泥石流活动出现高潮，强震之后泥石流的活动也同样出现高潮，暴雨和地震都具有明显的周期性，泥石流的周期受地震及雨洪的周期影响很大，并且与这两个周期大体一致。当雨洪周期和地震周期叠加时，常常形成一个泥石流活动周期的高潮。

（4）人为因素的影响

人类的工程经济活动，积极的方面是防治泥石流，化害为利，化险为夷，保障和增进人民的福利。随着生产建设的发展，如果处理不当，或者违背因地制宜原则，人类活动也会产生消极的影响，能够引起泥石流的发生、发展、复活或加剧其危害程度。

人类活动的不良影响主要是破坏了自然的平衡条件，增加松散固体物质的补给量或水量。山区公路和铁路的建设，日益频繁的生产活动，有时会破坏山体的稳定性，增加泥石流的物质来源，促使泥石流的发生和发展。成昆铁路由于人为因素引起泥石流沟新生、复活或增大了泥石流危害程度的，计有31条之多，东川线老干沟泥石流的发展尤为典型。1958年以前，老干沟还不是一条泥石流沟。1958年因修建公路弃碴沟内，1959年沿山坡修建的水渠发生漏水，引起坍塌滑

坡，1959年雨季即开始发生泥石流，逐步地发展成为东川铁路线上危害最大的泥石流之一。据初步统计，西北铁路及鹰厦铁路由于人为原因引起的泥石流灾害，约占全路泥石流灾害的1/4至1/3，在成昆铁路因泥石流而中断行车的事故中，由于不合理的人为活动而产生者竟占到65%。

3.泥石流的类型

科学工作者根据泥石流的形成因素和形成过程、泥石流沟的沟谷形态特征、泥石流所含固体物质、流体特性及泥石流的发育阶段等，提出了不同的分类组合。

（1）按照成因分类

人们往往根据起主导作用的泥石流形成条件，来命名泥石流的成因类型。在我国，科学工作者将泥石流划分为冰川型泥石流和降雨型泥石流两大成因类型。另外，还有一类共生型泥石流。

冰川型泥石流 是指分布在高山冰川积雪盘踞的山区，其形成、发展与冰川发育过程密切相关的一类泥石流。它们是在冰川的前进与后退、冰雪的积累与消融，以及与此相伴生的冰崩、雪崩、冰碛湖溃决等动力作用下所产生的，又可分为冰雪消融型、冰雪消融及降雨混合型、冰崩——雪崩型及冰湖溃决型等亚类。

降雨型泥石流 是指在非冰川地区，以降雨为水体来源，以不同的松散堆积物为固体物质补给来源的一类泥石流。根据降雨方式的不同，降雨型泥石流又分为暴雨型、台风雨型和降雨型三个亚类。

共生型泥石流　这是一种特殊的成因类型。根据共生作用的方式，它们包括了滑坡型泥石流、山崩型泥石流、湖岸溃决型泥石流、地震型泥石流和火山型泥石流等亚类。由于人类不合理的经济——工程活动而形成的泥石流，称为“人为泥石流”，也是一种特殊的共生型泥石流。

（2）按泥石流沟流域的沟谷形态分类

沟谷型泥石流　这是发育比较完善的泥石流沟，流域轮廓清晰，多呈瓢形、长条形或树枝形，流域面积以5—50平方公里者居多，能够明显地区分出泥石流的形成区、流通区和堆积区。形成区内有坍滑体，它的分布可集中、可分散。大型沟谷支流、卡口较多，呈束放相间河段。常沿断裂和岩层软弱面发育。堆积区为扇形或带形，沉积物磨圆度稍好，棱角不明显。

山坡型泥石流　是指发育在斜坡面上的小型泥石流沟谷。它们的流域面积一般不超过2平方公里，流域轮廓呈哑铃形（即上、下两端大，中间短小），沟坡与山坡基本一致，沟浅、坡短，流通区很短，甚至没有明显的流通区，形成区和堆积区往往直接相贯通。沉积物棱角明显，粗大颗粒多搬运在锥体下部。

（3）按泥石流体的物质组成分类

泥石流　这是由浆体和石块共同组成的特殊流体，固体成分从粒径小于0.005毫米的粘土粉砂到几米至10—20米的大漂砾。它的级配范围之大是其它类型的夹沙水流所无法比拟的。这类泥石流在我国山区的分布范围比较广泛，对山区的经济建设和国防建设危害十分严重。

泥流　是指发育在我国黄土高原地区，以细粒泥沙为主

要固体成分的泥质流。泥流中粘粒含量大于石质山区的泥石流，粘粒重量比可达15%以上。泥流含有少量碎石、岩屑，粘度大，呈稠泥状，结构比泥石流更为明显。我国黄河中游地区干流和支流中的泥沙，大多来自这些泥流沟。

水石流　是指发育在大理岩、白云岩、石灰岩、砾岩或部分花岗岩山区，由水和粗砂、砾石、大漂砾组成的特殊流体，粘粒含量小于泥石流和泥流。水石流的性质和形成，类似山洪。

（4）按泥石流流体性质分类

粘性泥石流　指呈层流状态，固体和液体物质作整体运动，无垂直交换的高容重（1.6—2.3吨／米^3）浓稠浆体。承浮和托悬力大，能使比重大于浆体的巨大石块或漂砾呈悬移状（在特殊情况下，人体也可被托浮悬移，1939年7月四川汉源流沙河泥石流，将一位老太婆浮运1.3公里），有时滚动，流体阵性明显，有堵塞、断流和浪头现象；流体直进性强，转向性弱，遇弯道爬高明显，沿程渗漏不明显。沉积后呈舌状堆积，剖面中一次沉积物的层次不明显，但各层之间层次分明；沉积物分选性差，渗水性弱，洪水后不易干涸。

稀性泥石流　指呈紊流状态，固液两相作不等速运动，有垂直交换，石块在其中作翻滚或跃移前进的低容重（1.2—1.8吨／米^3）泥浆体。浆体混浊，阵性不明显，与含沙水流性质近似，有股流及散流现象。水与浆体沿程易渗漏、散失。沉积后呈垄岗状或扇状，洪水后即可干涸通行，沉积物呈松散状，有分选性。

（5）按泥石流发育阶段分类

泥石流的发育阶段分为发展期、旺盛期、衰退期和停歇期。沟谷形态的演变、山坡块体运动的转化和塌方面积率等是划分泥石流发育阶段的主要标志，有时候，由于内因和外因的变化，某些发育阶段可以变得非常短暂甚至缺失。

发展期泥石流　山坡以凸形坡为主，形成区分散并见逐步扩大，流通区较短。扇面新鲜，淤积作用逐渐加快。山坡块体运动明显发展，多见新生沟谷，有少量崩塌、滑坡等。塌方面积率约为1—10%。发展期泥石流有较大的破坏力。

旺盛期泥石流　山坡从凸形坡转化为凹形坡，沟槽堆积和堵塞现象严重。形成区扩大，有时比较集中。流通区向上延伸。扇面新鲜，漫流现象严重。山坡块体运动严重，松散固体物质主要来自崩塌、滑坡和错落等，片蚀和侧蚀作用也很发育。塌方面积率在10%以上。旺盛期泥石流危害程度最大。

衰退期泥石流　山坡为凹形坡，形成区减小，流通区向上延伸，沟槽逐渐下切。扇面陈旧，有植物生长，植被发育较好。山坡块体运动明显衰退，坍塌渐趋稳定，固体物质以沟槽搬运及侧蚀供给为主。塌方面积率在10%至1%之间。处于衰退期的泥石流，仍有较大的破坏力。

停歇期泥石流　全沟下切，沟槽稳定，形成区基本消失，泥石流逐渐演变为普通洪流。植被恢复良好。山坡块体运动基本消失。塌方面积率小于1%。停歇期泥石流破坏力很小。

4.我国著名的泥石流

（1）云南蒋家沟泥石流

在我国云南东北部的乌蒙山区，有一条南北走向，注入

金沙江的河流，名叫小江。小江下游有一条跟小江几乎成直角相交的沟，名叫蒋家沟。这条沟长12公里，流域面积47.1平方公里。小江的这一条短短的支沟，平时山泉汇成的沟水流量不过1米³/秒，但却年年爆发泥石流，少的年头十多次，多的达三十次。爆发规模大的时候，泥石流总量可达37万立方米，延续时间可达12小时，最大瞬时“龙头”(泥石流又称龙扒，它的前端习惯上称做龙头)流量高达2,400米³／秒以上，在坡度6.5%的谷地中，最大流速竟可高达15米/秒。这样频繁爆发、规模巨大的泥石流，不仅在我国是罕见的，在世界上也是少有的。

1977年7月27日，蒋家沟就爆发过一次大型的泥石流。

7月26日夜间，蒋家沟一带乌云密布。次日凌晨3时，狂风呼啸，大雨倾盆。天亮以后，大雨逐渐转为细雨。6时25分的时候，雨还在下，从山沟里传出火车轰鸣似的巨响，声音震撼着山谷。这种怪声就是泥石流爆发出的响声。在巨响传出之前，往常流水不大的沟槽中，流量很快增大到8—4米³／秒。片刻间，突然出现断流状态。又过了几分钟，随着响声增大，泥石流便滚滚流出。

最先出现的泥石流是阵性流，一阵接一阵地往前涌。初发的龙头翻卷滚动，在凹凸不平的沟床上缓慢前进。后一阵泥流涌来，因阻力减小了，速度便加快了。但当越过初发的龙头向前推进一段之后，又在下一段粗糙的沟床上缓慢下来，渐渐停止。这样一次比一次超前，龙头的前进和停积下来的形状，都呈现出明显的舌形。当第三次阵性泥石流过去以后，沟床中淤积的泥浆厚达1米左右。6时40分，第四阵泥石流又涌来了，流速较前大大加快，浪头滚滚，泥沫飞

溅。在沟道较直的地方，泥石流好象火车奔驰，呼啸而过，直出沟口；在沟道弯曲的地方，又宛如巨龙游动，蜿蜒而行，百米不见其尾。当前进的龙头流至沟槽有阻碍的部位时，龙头猛扑岸上，可窜起一、二十米高；如阻碍部位低矮，龙头则洗掠而过；如遇到高耸的沟岸，就会在扑撞以后重新跌入沟槽，在岸壁上留下大片大片粘稠的泥浆。泥浪的拍激，龙头的扑撞，在沟谷中不断地发出震耳欲聋的巨响。在阵性流接连涌来的时候，有一块直径3米多、体积近20立方米的巨石，在泥石流中蹒跚作舞，最后被冲到停淤场中，只露出不大的石块面。这一股股阵性流，阵与阵之间相隔几秒钟、几分钟不等。间隔短的，后阵赶前阵，阵阵相催，往往合二而一；间隔长的，常常是前阵龙头过去，响声顿消，一时平静如常。有一次，龙头高达5米，几乎充满了整个沟道，最大流速达10.9米／秒，流量达500米^3／秒。人站在离岸三四米的地方，竟也被溅得满身泥浆，感到地面在微微地颤抖。

上述阵性泥石流，一直持续到上午8时20分，这时突然大雨滂沱。不久，泥石流变成了另一种形态——连续性泥石流。这种连续流来势更加迅猛，流速高达12—15米／秒，流量增至500—800米^3／秒。这时，它不断地掏挖刨蚀沟谷，使沟壁不断地坍塌，沟床迅速下切。时间不长，在泥浪起伏的沟段，便出现了七、八处陡坎；一分多钟之后，泥石流前沿陡坎竟变成了一个长30米、宽20米、深3—4米的大坑。巨大的连续流历时40分钟，以后又转变成了当初那样的阵性流。如此反复多变，一直持续了5个多小时，才逐渐减缓了势头，从粘稠的阵性泥石流转为稀性的阵性流，又从稀性的

阵性流转为稀性的连续流。时至27日中午12时30分，稀性的连续流终于变成了水流，泥石流这才完全结束。

这场泥石流阵性流共发生168次，总量18万多立方米；连续流虽然时间不长，但搬运总量仍达7万多立方米。经测定，泥石流的容重为2.2吨／米^3，冲击力达60吨／米^{2}以上。

不仅蒋家沟，它所在的整个小江流域，全都是泥石流分布相当集中的地区。在长约86公里的流程范围内，有50多条泥石流分布，每逢雨季到来，泥石流频繁发生。据不完全统计，凶猛的泥石流，曾经堵塞小江十余次之多。1919年，小江因泥石流堵江而断流48天，1937年断流40天，1949年断流30天，1954年断流20天，1961年断流10天。1968年，因泥石流堵江，中断交通三个月，淹没沿江公路、铁路、桥梁、东川铜矿的干燥车间和转运基地，沿岸一万多亩农田颗粒无收，东川矿务局因绕道运输矿石多耗费资金达150余万元。1980年10月22日，东川落雪矿区爆发泥石流，造成三人死亡，冲毁公路和许多生产及生活设施，全矿被迫停产三天，直接经济损失达115万元。1981年6月30日，达德沟爆发泥石流，冲毁桥梁一座，铁轨252米，铁路停止运行一个月。沿小江流域勘设的东川铁路支线，自1957年通车以来截至1983年，共发生较大的泥石流灾害达16次之多。沿小江修筑的功山——东川公路，也遭遇与东川铁路支线同样的命运，自通车以后至1983年，共有30座桥涵被泥石流冲毁或淤埋，公路养护部门清淤量达148万方，比修建这段公路时动用的土方量还要多。

小江流域长期遭受泥石流灾害，是和这一带的地质构造、水文、气候、植被状况等地质和地理条件分不开的。据

统计，小江流域各类崩塌、滑坡面积占整个流域面积47%，松散固体物质总储量达5亿方之多。小江流域的地质环境是断层比较发育，岩层破碎，地震较多，地壳处于强烈上升之中，金沙江急剧下切，致使小江和蒋家沟等沟谷的河沟床坡降加大，山坡陡削，加之这一带地区夏季暴雨很多，这就为泥石流的形成提供了条件。

（2）西藏波密县古乡沟泥石流

“轰隆隆——”，随着一声震天动地的巨响，从我国西南边陲西藏波密县念青唐古拉山南麓的古乡沟内，涌出了一条高约100米的泥石流龙头。刹那间，只见峡谷内烟雾弥漫，火光飞溅，伴随着隆隆巨响，大地也在惊吓般索索抖动。方圆几十里的人们感到天昏地暗，一个个惊恐万分，吓得四处奔逃，被泥石流洗劫过的古乡沟段，几无幸存者。汹涌的泥石流，夹带着大量泥砂、巨石、断树、冰块，以排山倒海之势，从海拔4,000米的沟头，直冲到雅鲁藏布江支流波得藏布江（江面海拔2,700米）对岸高约70多米的阶地之上。泥石流所经之处，大片原始森林被摧毁，阶地被推平，田地、道路和房屋被埋没，人畜大量伤亡。奔腾咆哮的泥石流，扫除了沿途上的障碍物，把波得藏布江拦腰截成两段，使上游水位猛涨五、六米，淹没了大片农田和森林。

这里所说的特大泥石流，是在1953年9月29日（藏历蛇年8月24日）晚上九点多钟爆发的，持续到次日凌晨一点多钟方告停止，前后共发生过四次，每次历时约一小时左右。泥石流冲出古乡沟外以后，形成了一个面积约24平方公里的扇形石海，迫使波得藏布江乖乖地改道向南迁移。从沟内涌出的泥石流总径流量约为1,710万方，其中固体物质为1,000

万方，水为710万方，其中搬运的最大巨砾竟重达1,000吨。如果用火车来搬运上述碎石，每列货车一次运载3,000吨，则需要20,000列货车才能运完。

古乡沟泥石流属于冰川泥石流，它之所以猛烈爆发，规模很大，完全是由于当地的自然条件造成的。古乡沟发育于念青唐古拉山东延余脉的向阳山坡，流域面积26平方公里，主沟6公里，上游区最高山脉海拔6,152米，下游区海拔只有2,600—2,700米，上下游相对高差达3,500多米。它的源头和上游区三面环山，中间低洼，是古代冰川长期雕塑而成的围谷盆地。当冰川退缩之后，留下了厚达300多米的冰碛物，总储量达4亿方，其中约2亿多方可直接参与泥石流活动。这里谷坡陡峻，冰碛物崩塌频繁，沟谷纵坡降陡达20%以上，局部地段甚至达到40%。这些有利于泥石流发育的自然条件，统统凑集在一起，就是古乡沟泥石流得以频繁爆发的根本原因。据1964年6月16日至8月17日两个月的观测资料，古乡沟上游沟谷两岸古冰碛物发生崩塌达648次之多，在此期间共发生泥石流灾害515起。其中7月22日这一天，就发生崩塌36次，估算崩塌量达300万方以上。

位于念青唐古拉山脉东段以南雅鲁藏布江大拐弯处的几条支流，除去古乡沟汇入其中的波得藏布江以外，野贡藏布江、帕隆藏布江、东久河和尼洋河等支流两岸的山沟，也都分布着众多的泥石流，它们象古乡沟泥石流一样，也都属于冰川泥石流。它们发育在高山冰或积雪的边缘地带，以冰积物、冰雪崩塌堆积物为主要的固体物质来源，在冰雪融水、冰崩雪崩融水或冰碛湖溃决的激发之下，导致泥石流的猛烈爆发（图2—3）。

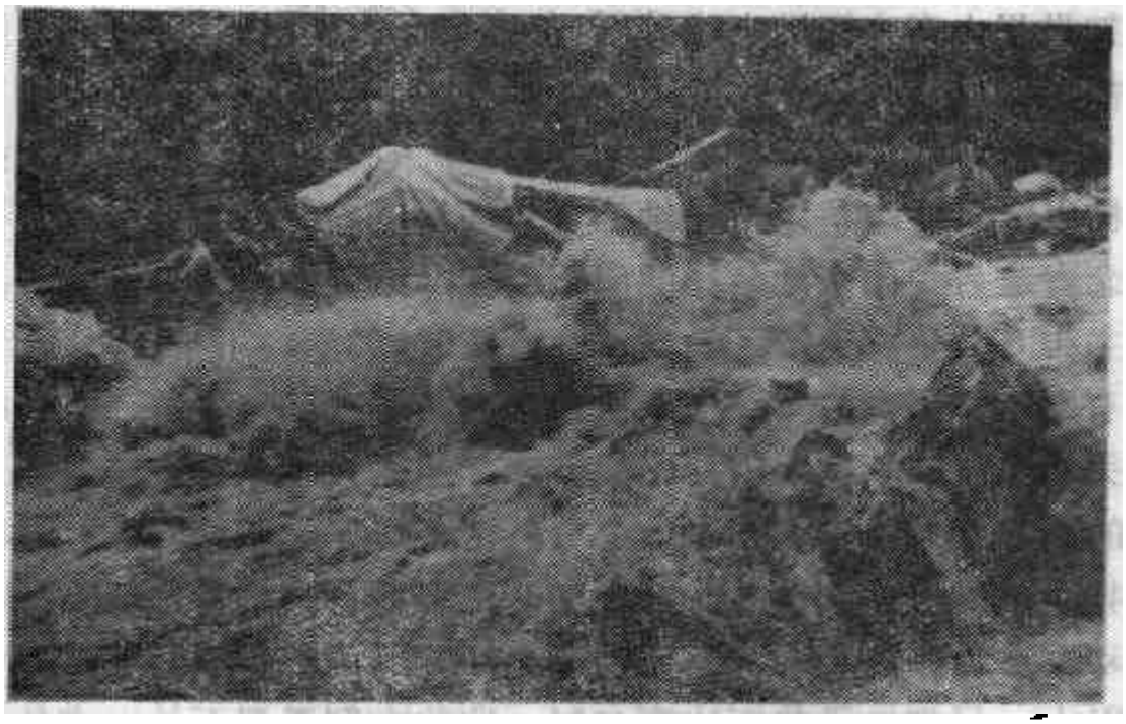


图2—3。 1980年9月12日凌晨，西藏墨脱县境内爆发一次强大的泥石流，冲垮了正在建筑的波（密）墨（脱）公路，公路东侧60多间工棚被席卷而去，一台重12吨的推土机也被冲得无影无踪

在西藏，泥石流的分布，也不仅仅限于念青唐古拉山以南的雅鲁藏布江大拐弯处，整个西藏高原都是我国重要的泥石流活动区之一。仅据西藏境内十余条公路沿线的初步统计，各类泥石流沟就有1,000余条，其中尤以川藏公路和中（国）尼（泊尔）公路沿线泥石流沟最多，危害也最严重。科学工作者根据西藏高原泥石流的形成和分布特点，将它们划分为三个泥石流活动区，即：藏东南、喜马拉雅山高山冰川、暴雨泥石流活动区；藏南和藏东北山地雨洪、冰湖溃决泥石流活动区；藏北高原冻融泥石流活动区。根据这个分

区，我们便可以大致地了解西藏高原泥石流的成因特点和分布状况了。

（3）四川喜德县城泥石流

喜德县城座落在喜德东沟泥石流的堆积扇上，建城以来，屡遭泥石流危害。

喜德东沟的中、上游山区，分布着大量的松散土石，如果受到降雨的影响，这些土石就会以滑坡、崩塌或水土流失的方式汇集于沟道，常常形成泥石流。当泥石流通过城区时，由于受到建于城区的三座桥梁的阻滞，时有停积、堵沟现象。越过东门桥之后，泥石流便散流停淤，掩埋农田、公路和建筑物。据统计，自1901年至1974年间，喜德县城共发生大规模泥石流8次，淤埋房屋一百余间，损失耕地500余亩。1974年5月27日发生的一次泥石流，冲毁了县自来水厂沉淀池、防疫站、肉食店和其他许多设施，使喜德县城濒临危险的边沿。

（4）四川雅安早季爆发的泥石流

1979年11月2日深夜，四川雅安县园光山的陆王沟和干溪沟，由于大暴雨和冰雹的激发，爆发了百年不遇的大型泥石流。

这次泥石流在深秋的早季爆发，不仅为雅安一带历史上同一时期所罕见，从全国范围看，也是首次出现的特殊气候条件下的泥石流。这次泥石流，历时仅30分钟，但来势凶猛，流速高达10米／秒，将上游山区的大量石块搬出山外，造成了严重的损失。直接受灾者有两个公社的五个生产大队、十七个生产队，中央和地方的工厂四座，冲毁、淤埋农田840亩，毁坏房屋361间以及大量粮食、牲畜、农具、水利

工程设施和输电线路，阻断了川藏公路的交通，使青衣江和陇西河淤塞断流。

除了直接的损失之外，这场灾难性泥石流还给雅安留下了令人不安的严重后遗症。

淤塞青衣江的约5万方泥石流堆积物，使河床淤高了2.74米，对雅安市的安全造成了潜在的威胁，存在着被触发再次爆发泥石流的现实危险性。有过泥石流爆发历史的"老"泥石流沟，不仅储存着大量固体物质，而且山高坡陡，植被破坏严重，产生泥石流的前提条件已经完全具备。同时，雅安素有"雨城"之称，是全国有名的暴雨区，因此很容易受到暴雨的激发而重新产生强大的泥石流。特别是陆王沟上游的黑石包，有一个十多万方的滑坡体在继续下滑，更为再度爆发泥石流提供着充足的物质来源。除了暴雨能够触发泥石流外，地震、滑坡或人为的活动，也都可能成为泥石流的激发因素。雅安并不安！

（5）四川利子依达沟泥石流

1981年7月9日凌晨1时30分，四川凉山彝族自治州甘洛县的大渡河支流利子依达沟，爆发了一次大型的灾害性泥石流。

这次泥石流是由当地连日暴雨的激发而产生的。泥石流的总持续时间约1小时，固体物质输移量达84万方，其中倾入大渡河的部分约有60万方。灾害发生之前，虽曾在铁路勘测中认识到利子依达沟属于泥石流沟，但并没有对泥石流可能复活的时间、规模和强度等作出预测、预报，因而当泥石流爆发时，人民生命财产蒙受了十分惨重的损失。

这场泥石流冲毁了成昆铁路利子依达沟铁路桥，其中包

括成都端的桥台、东孔31.7米的钢筋混凝土梁，中孔44米钢架结合梁和2号桥墩。当天凌晨1时46分，由格里坪至成都的442次客车，不幸在桥位处与泥石流遭遇，两辆机车、一节邮政车、一节客车及一批旅客，一齐被洪流推淹入奔腾咆哮的大渡河中，酿成了我国铁路史上罕见的泥石流灾害事故。

这是一场高容重的粘性泥石流，流体密度很大，有较大的浮托力和强度，一块重逾400吨的巨石，竟能被它轻而易举地从山里搬至山外。当泥石流冲出山口，毁桥覆车之后，还冲过大渡河，直捣对岸。在几分钟之内就将宽达120米、最深达13米、流速为7—8米／秒、流量为3,800米^3／秒的大渡河拦腰堵截，断流达4小时之久，向上游迴水5公里，淹没沿海低地及工矿设施，冲毁沿河公路830米，阻断公路交通半年之久。由于大量沙石倾入大渡河，造成下游河道阻塞，形成险滩，并使下游龚嘴电站蓄水库产生淤积。据记载利子依达沟于1875年、1934年、1959年、1967年、1974年和1978年，均曾发生过洪水或泥石流，有一定的周期性，看来今后泥石流还可能发生。

（6）陕西南部泥石流群

1981年8—9月间，陕西南部至川北广元地区宝成铁路两侧，因连日暴雨，触发了大量滑坡和泥石流。仅据广元以北铁路沿线的统计，就有200余条沟谷先后爆发泥石流，冲毁桥梁，淤埋铁路的泥石总量达18万方。受灾最严重的红花铺车站，当泥石流爆发时，泥流沙石顺原沟直冲站内，车站内堆积土石约5万方，掩埋了四股道，七节货车厢，泥流长100米，厚4—5米，中断行车达663小时。

（7）祁连山天涝池沟泥石流

1972年8月21日上午8—11时，位于甘肃省张掖县城西南78公里（距甘、青两省边界26公里）的祁连山天涝池沟，爆发了一次少见的大规模灾害性泥石流。

这次泥石流吞没了整个山谷。近百吨重的巨石漂流而过，十余米高的树木与泥石流一起挺立前进。泥石流的龙头高达8米，流速最大达10米／秒，龙头最大流量500米^3／秒，泥石流总流量约100万方。当泥石流袭来时，沟内小煤窑堆放的300多吨煤炭被一扫而光。沟口寺大隆林场新建的三幢宿舍被毁，木材加工厂四间房屋被吞没，卫生防疫站14间房屋被淤埋、11间毁坏。沿岸采集待运的3,500方原木以及一部水轮机被冲走。国家财产损失近百万元。

天涝池沟是黑河中上游寺大隆支流上的一条面积仅13.3平方公里的泥石流沟。在这条沟内，六十年来共发生过六次泥石流，规模都不大，龙头均未能出得沟口，因此未造成灾害。唯有1972年8月的这次泥石流，来势猛，规模大，造成了严重损失。原来，在这次泥石流爆发之前，这里有过15—20天的降雨。8月21日上午，沟谷近源头区又有一场近1小时的大暴雨。另外，加上在21日前的数天内，当地气温连续偏高，致使祁连山海拔3,900米以下地带的积雪几乎全部融化，这是前所未见的。这样一来，在泥石流形成区内，一方面各种古冰积物、残坡积物中的含水量显著增高，大大缩小了土体的抗剪强度；另一方面，由暴雨和融雪混合而形成的巨大洪流，力量倍增，足以掏蚀沟岸和撤泄沟床底部的古冰碛层。

（8）甘肃化马泥石流

甘川公路宕昌——武都段的化马一带，是泥石流的多发区。

1967年7月1日，仅15分钟的降雨，就引发了一场泥石流。在8公里长的公路上，堆积泥石量达15万方，中断交通35天。

1976年7月25日，化马一带又爆发了一次大型的粘性泥石流。在面积将近60平方公里范围内，冲出700—800万方砂石，三个村庄几乎全被掩没。计有58人丧生，15公里长的公路线被破坏，淤积泥石量10万方，中断交通达40天，抢修费用达100万元，全部改建费用超过500万元。就在7月25日这一天，甘川公路的两河口附近，也同时发生了泥石流，在15公里长的线路上，有两处堵断白龙江，五次堵断白龙江的支流岷江。

（9）甘肃文县城关泥石流

1982年8月6日，甘肃省文县城关镇爆发特大型泥石流。在关家沟一带，泥石流龙头高达10余米，最大泥石流流量163米^3／秒。泥石流翻越河堤，冲到城内居民区，造成24人死亡，冲毁房屋500余间，经济损失260万元。

（10）四川西昌黑沙河泥石流

西昌黑沙河大型泥石流，位于安宁河左岸的山前区，是一条灾害严重的泥石流。它的特点是规模大（流域面积227平方公里），暴雨强度大（最大暴雨量169毫米，5分钟雨强24毫米），松散固体物质丰富（流域内有崩塌、滑坡180处，大小泥石流支沟135条，固体物质储量1,900万方），爆发频率高（一般的泥石流每一、二年一次，灾害性泥石流约每八年一次），危害特别严重。自1874年至1964年的90年

间，就爆发特大型泥石流五次，有大量农田村舍被掩没。1964年，泥石流主流经过同心村，毁房74间，淹田1,114亩。直到现在，黑沙河泥石流仍然处于非常活跃的时期。

黑沙河泥石流的另一重要特点是处于安宁河中游地震带，这里地震活动性强，频度也高。自公元前116年至公元1972年，西昌附近所发生的破坏性地震已达十次，震中区地震烈度8—10度。地震活动的叠加影响，是黑沙河泥石流十分集中而又频繁的一个重要原因。

三、滑坡和泥石流的防治

尽管滑坡和泥石流能够给人类的生产和生活造成巨大损失，但是，人类对于滑坡和泥石流灾害决不是无能为力的。我国古代生活在西南丘陵地区的劳动群众，曾经创造出在斜坡坡脚用岩块堆砌低矮挡墙（当地叫做堡坎）来防治浅层滑坡的有效方法，至今仍然在实践中发挥着作用。解放以后，特别是六十年代以来，我国科学工作者与广大群众相结合，密切联系生产实际，使人民群众所创造的防治滑坡和泥石流的经验，上升到科学理论的高度，使防治原则更加条理化，技术措施也更趋完善，不仅为生产建设作出了贡献，也大大丰富了环境科学中有关防治滑坡和泥石流的知识宝库。

1.滑坡的防治

（1）防治滑坡的原则

大夫治病，要对症下药，防治滑坡，也要有的放矢。整治滑坡的方法，归结起来可以分为三类：一是消除或减轻水对诱导滑坡的影响；二是改变滑坡外形、增加滑坡的抗滑力；三是改变滑坡带土石性质、阻滞滑坡体的滑动。所有这些措施，都需要具体情况具体分析，有针对性地使用，才能收到“药到病除”的好效果。例如，对于由地下水作用引起

的滑坡，在事先弄清地下水补给来源、方式、方向、位置和数量的基础上，主要采用截水盲沟、盲洞、仰斜钻孔等工程加以排除；对于因江河冲刷引起的滑坡，应着重修筑河岸防护工程；对于因挖方修建铁路、公路，破坏了山体平衡而引起的滑坡，采取抗滑挡墙、抗滑桩等支撑措施来恢复平衡，效果比较显著；对于因地表渗水或自然沟水补给而引起的滑坡体滑动，则宜采取地面铺砌防渗、地表排水及沟床铺砌等措施；对于因滑动带土质不良而引起的滑动，可考虑采用灌浆、焙烧等改良土质的办法，也可以采用疏干工程来减少水的作用；对于大型滑坡或滑坡体连续分布的区段，如果处理起来在技术上还不过关，经济上不合算，可以考虑使工程建筑设施避开滑坡的影响范围；对于中小型滑坡，工程建筑要避开它们正在活动的前部，如果条件允许的话，也可以考虑将小型滑坡全部清除。

各地防治滑坡的实践表明，凡是采用排除地下水措施的，都收到了效果；凡是采用支挡工程措施的，只要设计无误，而且支挡工程埋基于滑床之下的足够深度，一般也取得了迅速稳定滑坡的效果；凡是单纯采用减重措施的，都不能最终稳定滑坡，减重措施必须与支挡或排水措施相结合才能见到成效。总之，在防治滑坡时，必须牢记因地制宜，综合治理，力求根治，不留后患。

（2）消除或减轻水对诱发滑坡的影响

排除地表水　滑坡的发生和发展，与地表水的危害有密切关系。所以，设置排水系统（图3—1）来排除地表水，对治理各类滑坡都是适用的，对治理某些浅层滑坡，效果尤其显著。常用的地表排水方法，是在滑坡可能发展的边界5

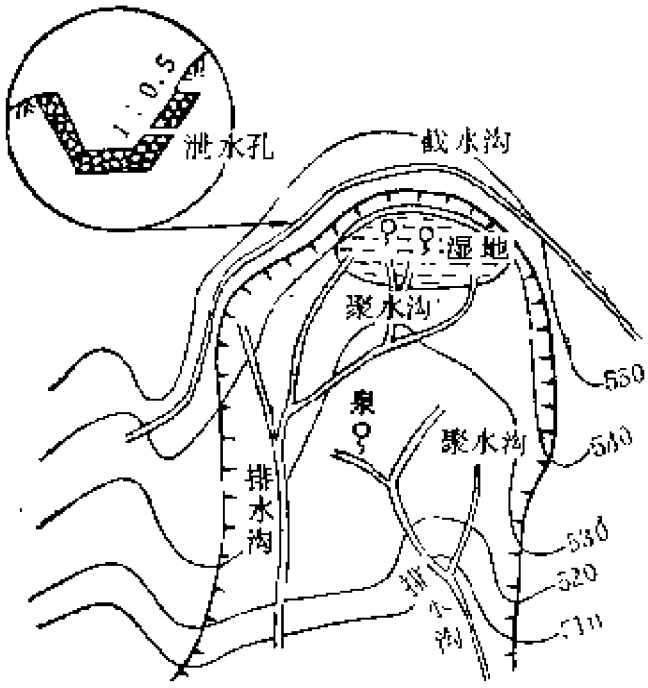


图3—1.滑坡地区地表排水布置

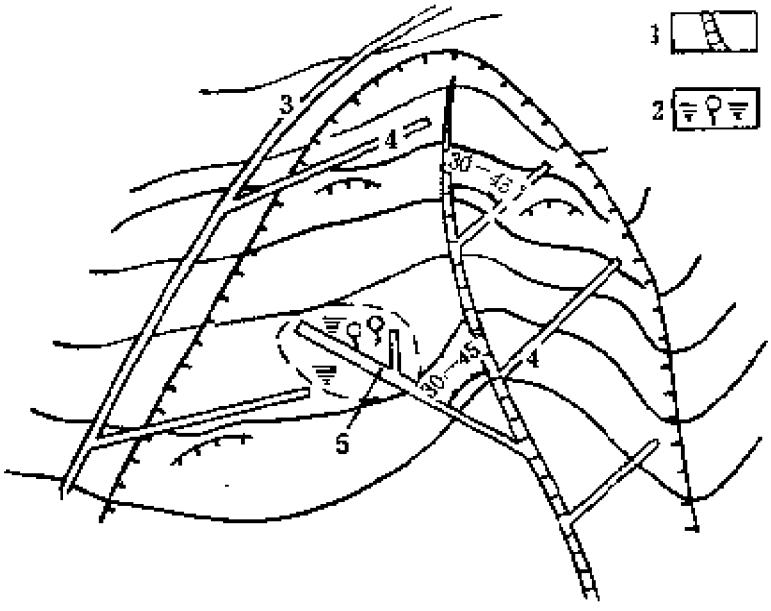


图3—2.滑坡体上的树枝状排水系统

1.自然沟的清理或铺砌；2.泉水与湿地；
3.截水沟；4.排水明沟；5.引水渗沟

米以外，设置一条或数条环形截水沟，用以拦截旁引自斜坡上部流向斜坡的水流。通常，沟深和沟底宽度都不小于0.6米。为了防止水流的下渗，在滑坡体上也应充分利用自然沟谷，布置成树枝状排水系统，使水流得以汇集旁引（图3—2）。如地形条件许可，在滑坡边缘还可修筑明沟，直接向滑坡两侧稳定地段排水。如果滑坡体内有湿地和泉水露头，则需修筑渗沟与明沟相配合的引水工程；在地表水下渗为滑坡主要原因的地段，还可修筑不同的隔渗工程。当地表出

现裂缝或滑坡体松散易于地表水下渗时，都要及时进行平整夯实，以防地表水渗入。另外，在滑坡地区进行绿化，尤其是种植阔叶树木，也是配合地表排水、促使滑坡稳定的一项有效措施。

排除地下水　地下水通常是诱发滑坡的主要因素，排除有害的地下水、尤其是滑带水，成为治理滑坡的一项有效措施。滑坡地下排水系统包括截水盲沟、支撑盲沟、盲洞、仰斜钻孔、渗管、渗井、垂直钻孔以及砂井与平孔相结合、渗井与盲洞相结合等工程设施。其中的深盲沟和盲洞，由于造价较高、施工困难，效果又不太稳定，一般很少采用。

截水盲沟（图3—3）设置于滑坡可能发展范围5米以外的稳定地段，与地下水流向垂直，一般作环状或折线形布置，目的在于拦截和旁引滑坡范围以外的地下水。这种盲沟由集水和排水两部分组成，断面尺寸由施工条件决定，沟底宽度一般不小于1米。盲沟的基底要埋入补给滑带水的最低一层含水层之下的不透水层内。为了维修和清淤的方便，在截水盲沟的转折点和直线地段每隔30—50米，都要设置检查井。

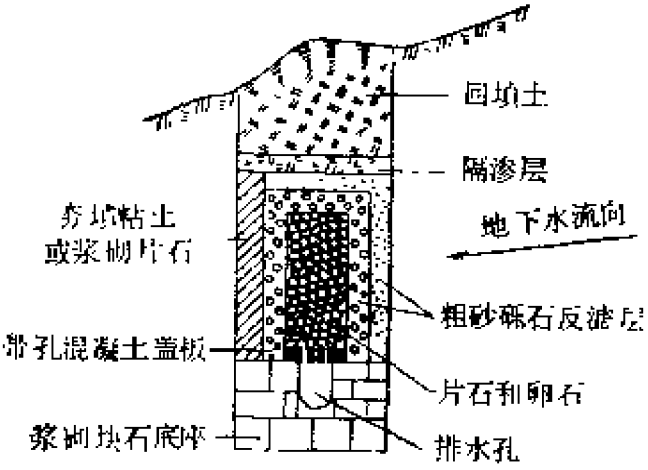


图3—3.截水盲沟构造图

支撑盲沟（图3—4）是一种兼具排水和支撑作用的工程设施。对于滑动面埋藏不深，滑坡体有大量积水，或地下

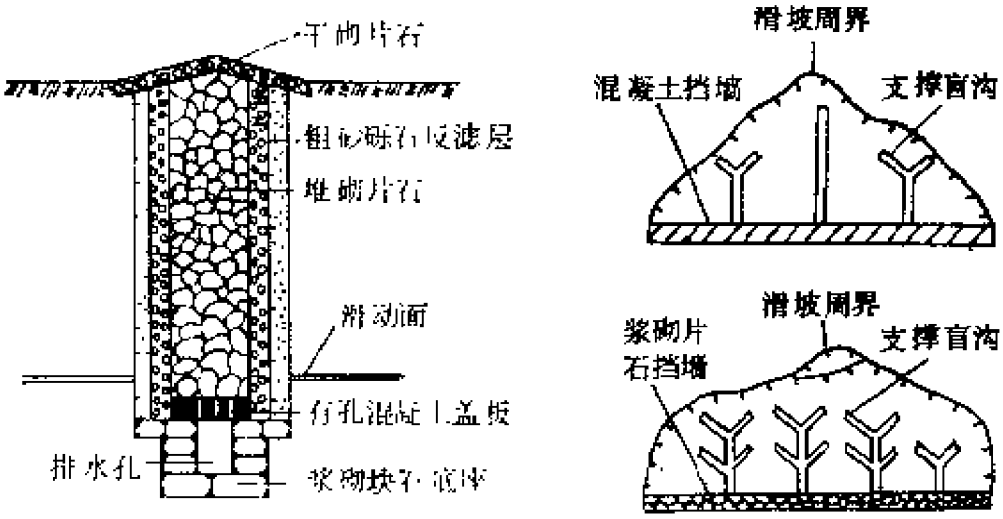


图 3 — 4 .支撑盲沟的构造（左）及其平面布置（右）

水分布层次较多、难于在上部截除的滑坡，可考虑采用修建盲沟的办法来进行治理。支撑盲沟布置在平行于滑坡滑动方向有地下水露头处，从滑坡脚部向上修筑。有时在上部分岔成支沟，支沟方向与滑动方向成30°—45°交角。支撑盲沟的宽度根据抗滑需要、沟深和便于施工的原则来确定，一般采用 2 — 4 米。盲沟基底应砌筑在滑动面以下0.5米的稳定地层中，修成 2 — 4 %的排水纵坡。如果滑坡推力较大，可考虑采用支撑盲沟与抗滑挡墙结合的结构形式(图 3 — 5)，

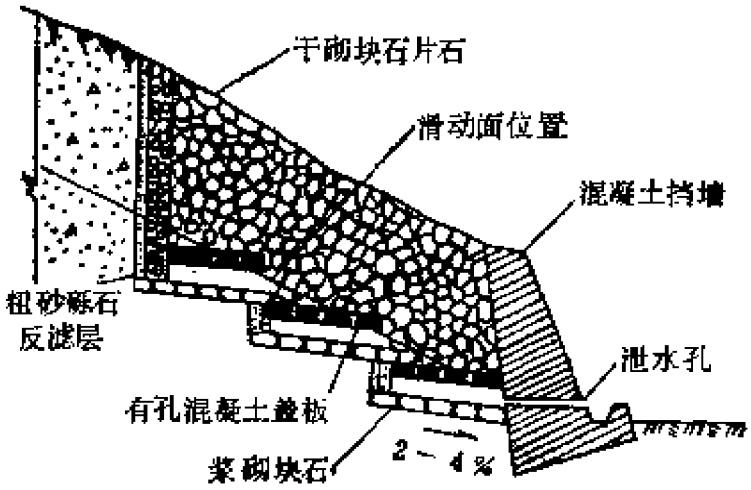


图 3 — 5 .
支撑盲沟——
抗滑挡墙联合结构

这种联合形式的防治效果更好。

仰斜孔群是一种用近于水平的钻孔把地下水引出，从而达到疏干滑坡体、使滑坡稳定的措施。仰斜排水孔的位置，可按滑体地下水分布情况，布置在汇水面积较大的滑面凹部（图3—6）。孔的仰斜角度应按滑动面倾角以及稳定的地下水面位置而定，一般采用10°—15°。孔径的大小由施工机具和孔壁加固材料等决定，可以从几十毫米到一百毫米以上。如果仰斜排水孔作为长期的排水通道使用，那么孔壁就需要用镀锌铜滤管、塑料滤管或竹管加固，也可用风压吹砂填塞钻孔。当含水土层（如黄土）渗透性差时，可采用砂井——仰斜排水孔联合排水措施（图3—7），以砂井聚集滑坡体内的地下水，用斜孔穿连砂井并把水排出。在这种排水措施中，原则上斜孔应打在滑动面以下。砂井的井底以及砂井与斜孔的交接点，也要低于滑动面。砂井中的充填料应保证孔隙水可以自由流入砂井，而砂井又不会被细粒砂土所淤积。

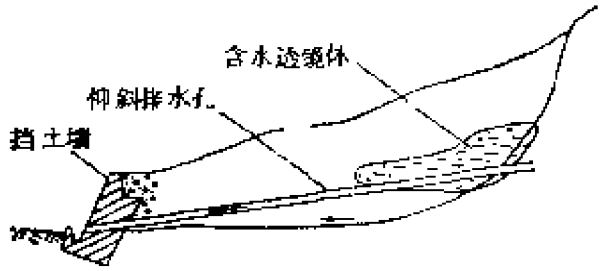


图3—6.仰斜排水孔的布置

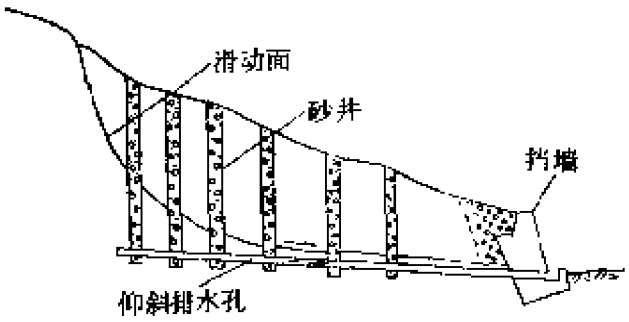


图3—7.砂井——仰斜排水孔

垂直孔群是一种用钻孔群穿透滑动面，把滑坡体内储藏的地下水转移到下伏强透水层，从而将水排泄走的一种工程措施。每一种工程措施都有一定的适用条

件，垂直孔群的适用条件是：滑坡体土石的裂隙度高、透水能力强、在滑动面下部存在有排泄能力强的透水层。垂直孔群一般是在地下水集中地区和供水部位，采用成排排列的方式进行布置。每排孔群的方向应垂直于地下水的流向。排与排的间距约为孔与孔间距的1.5至5倍。排水钻孔的孔径，要求每孔的设计最大出水量应大于钻孔的实际涌水量。为了达到钻孔排水的目的，每个钻孔都必须打入滑动面以下的强透水层中，并且要求在每孔钻进终了时，都要安设过滤管，在过滤管外充填砂砾过滤层(图8—8)。对于不设过滤管的钻孔，应该全部充填砂砾，在孔口应设置略高于地面的防水层。

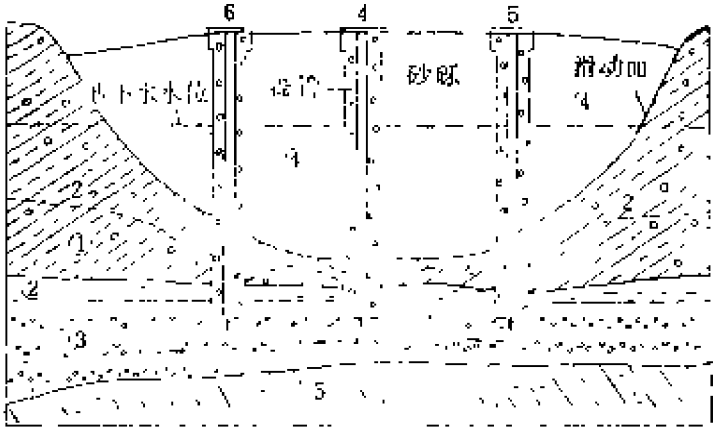


图2—8.垂直孔群排水结构图

①砂粘土夹碎石；②粘土；③强透水的粗砂砾石层；4.滑坡体设7、1、6、6号垂直钻孔后地下水位下降至2—2曲线；⑤砂岩

防止水对坡脚的冲刷 在自然界中，由于斜坡的前缘受到河流冲刷而诱发滑坡的情况，是一种很普遍的现象。因此，应努力防止水对坡脚前缘的冲刷、淘蚀。一般说来，治理的办法是在滑坡上游严重受冲地段，修筑促使主流偏向对岸的丁坝。在滑坡前缘用抛石、铺设石笼、钢筋混凝土块排及片石护坡，使滑坡坡脚的土体免受河水冲刷，从而达到稳定滑坡的作用。如果滑坡位于河曲处，河道又有改变的条件，也可采用改河方案，以使滑坡前缘免受河

水冲刷。一些沟谷由于水流的冲刷，使沟床不断加深与展宽，沟坡的岩土失去稳定而产生滑坡，对这种滑坡的治理，可在它的下游地段修筑堤坝，以防继续下蚀，并利用淤积的固体物质稳定滑坡的坡脚（图 3 — 9）。水库岸边的滑坡也常因坡舌部分遭受冲刷而促使滑坡不断发展，其治理办法是：蓄水前可在滑坡前缘的上游地段修筑丁坝，使库水夹带的泥沙能够淤积于滑坡前缘，起支撑滑坡的作用；水库蓄水之后，在主导风向作用下，波浪对岸边的冲刷有将岸边泥沙带至水库的作用，当滑坡处于这样的地段时，应在滑坡脚部填以平缓的斜坡，在斜坡上修一个有足够厚度的反滤层，再在滤层上砌石护坡，以取得稳定滑坡的作用（图 3 —10）。

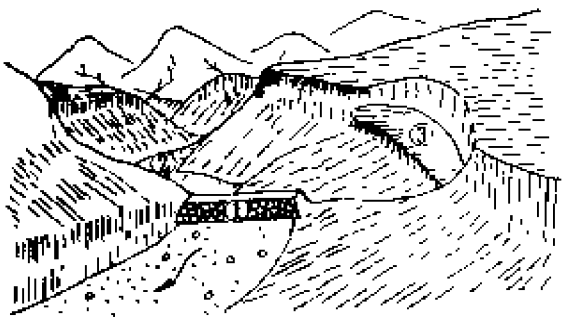


图 3 — 9，
筑坝促淤稳定滑坡示意图
①堤坝；②淤积的泥砂；③滑坡

（3）增加滑坡的重力平衡条件

改变滑坡外形和降低滑坡重心　当一个滑坡处于头重脚轻的状况下，而在前方又有一个可靠的抗滑地段时，采取在滑坡体上部减重或脚部加填的办法，使滑坡的外形得以改变，重心得以降低，可以使滑坡的稳定性得到根本的改善。曾经有人计算过，如果将滑动土体积的

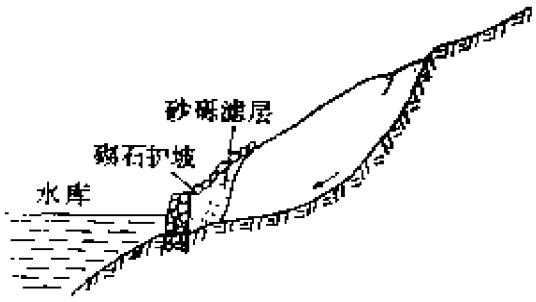


图 3 —10，
水库岸边坡脚的防护工程

4％从坡顶转移到坡脚，那么滑坡的稳定性就可增大10％。如果滑坡没有一个可靠的抗滑地段，则减重只能减小滑坡的下滑力，不能达到稳定滑坡的目的。因此，用减重的方法治理滑坡时，常常需要与下部的支挡措施相配合。

应当说明的是，用减重的方法治理滑坡并不是对所有滑坡都适用。比方说，对于牵引式滑坡或滑土带具有卸载膨胀性的滑坡，就不宜使用。减重常用于滑面不深、具有上陡下缓、滑坡后壁及两侧有岩层外露或土体稳定不可能继续向上发展的滑坡。对于可以采用减重方法治理的滑坡，应该认真决定减重范围，要根据各段滑坡的稳定程度、稳定滑坡和其它建筑物的要求，进行综合考虑。对于一些不向上或向两侧牵引发展的小型滑坡，也可考虑将滑坡体全部清除。

在对滑坡体作减重处理时，必须切实注意施工方法，尽量做到先上后下，先高后低，均匀减重，以防止挖土不均匀而造成滑坡的分解和恶化。对于减重后的坡面要进行平整，及时做好排水和防渗。在滑坡前部的抗滑地段，采用加载措施，可以产生稳定滑坡的作用，当条件许可时，应尽可能地利用滑坡上方的减重土石堆于前部抗滑的地段(图 3—11)。为了加强堆土的反压作用，可以将堆土修成抗滑土堤，堆土时要分层夯实，外露坡面应干砌片石或种植草木，土堤内侧

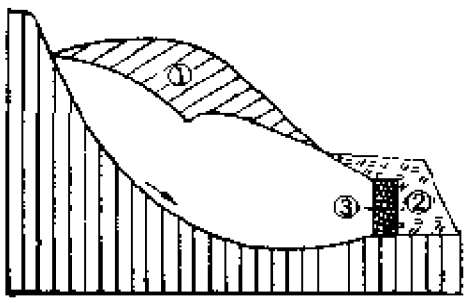


图 3—11.
用减重与反压方法治理滑坡
①滑坡体减重部分；②卸土堆成的土堤；③截沟

应修渗沟，土堤和老土之间应修隔渗层。

修筑支挡工程　由于失去支撑而引起的滑坡，或滑床陡、滑动快的滑坡，采用修筑支挡工程的办法，可增加滑坡的重力平衡条件，使滑坡迅速恢复稳定。支撑建筑物的种类很多，有抗滑垛、抗滑桩、抗滑墙、抗滑洞等。这里仅摘其要者叙述于后：

抗滑片石垛是一种用垒砌石块的方法来阻止滑坡体下滑、达到稳定滑坡目的的工程措施。对于滑体不大，滑面位置低于坡脚不深的中、小型滑坡，又有足够的场地和廉价的石料时，就可采用这种工程措施（图3—12）。但是，这种措施不适宜用来治理下滑力较大的大、中型滑坡。对于强地震区的滑坡，由于片石垛本身结构松散，这种措施也同样不宜采用。对于适宜采用抗滑垛的中、小型滑坡，片石垛的基础必须埋置于可能形成的滑面以下0.5—1.0米处，一般都用浆砌片石或混凝土做成厚约0.5米的整体基础。抗滑片石垛的顶宽一般不小于1米，垛的高度应高出可能向上产生滑动面的位置，垛的外侧坡度通常为1:0.75—1:1.25。码砌石块时，必须平行于基底分层砌筑，石块间尽可能相互咬紧。为了保证片石垛具有良好的透水性能，在垛后需要置放砂砾滤层。

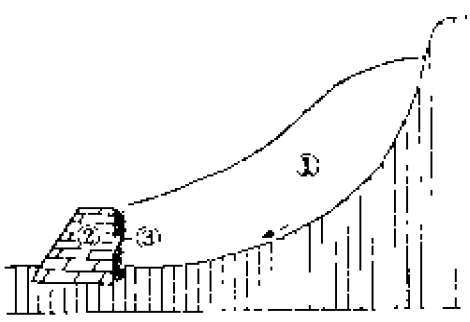


图3—12．抗滑片石垛

①滑坡体；②片石垛；③砂砾石滤层

抗滑挡墙是一种阻挡滑坡体滑动的工程措施，适用于治理因河流冲刷或因人为切割支撑部分

而产生的中、小型滑坡，但不适宜治理滑床比较松软、滑面容易向下或向上发展的滑坡。由于滑坡的推力较大，抗滑挡墙比一般的挡土墙要设计得宽大些，具有胸坡缓、外形宽大的特点。为了增加抗滑挡墙的稳定性，在墙后应设一、二米宽的衡重台或卸荷平台(图 3—13)，挡墙的胸坡越缓越好，一般用1：0.3—1：0.5，也有1:0.75—1:1者。抗滑挡墙一般多设置于滑坡的前缘，基础埋入完整稳定的岩层或土层的一定深度。挡墙背后应设置顺墙的渗沟以排除墙后的地下水，同时在墙上还应设置泄水孔，以防止墙后积水泡软基础。

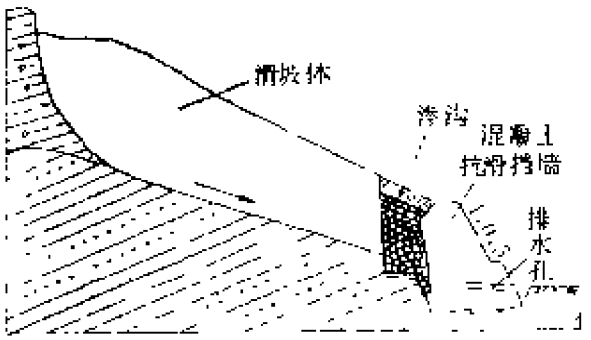


图3—13.抗滑挡墙

用抗滑桩（图 3—14）来治理滑坡既要保证桩不被剪断、推弯或推倒，也要保证桩间土体不会从桩间滑走或因桩高不够导致土体从桩顶滑出。抗滑桩应设置在滑体中下部，滑动面接近于水平，而且也是滑动层较厚的部位。一定要保证桩身有足够的强度和锚固深度、桩高和桩间距离都要适当。抗滑桩的施工方法主要有打入法、钻孔法和挖孔法三种。对于浅层的粘性土和黄土滑坡，可直接用重锤把木桩、钢轨桩、钢管桩、钢筋混凝土管桩等打入，简单易行；对于中厚层的大型滑坡，则多采用钻孔法和挖孔法施工。

（4）用物理化学方法改善滑坡带土石性质

焙烧法　焙烧法是利用导洞焙烧滑坡脚部的滑带土，使之形成地下“挡墙”而稳定滑坡的一种措施。利用焙烧法可

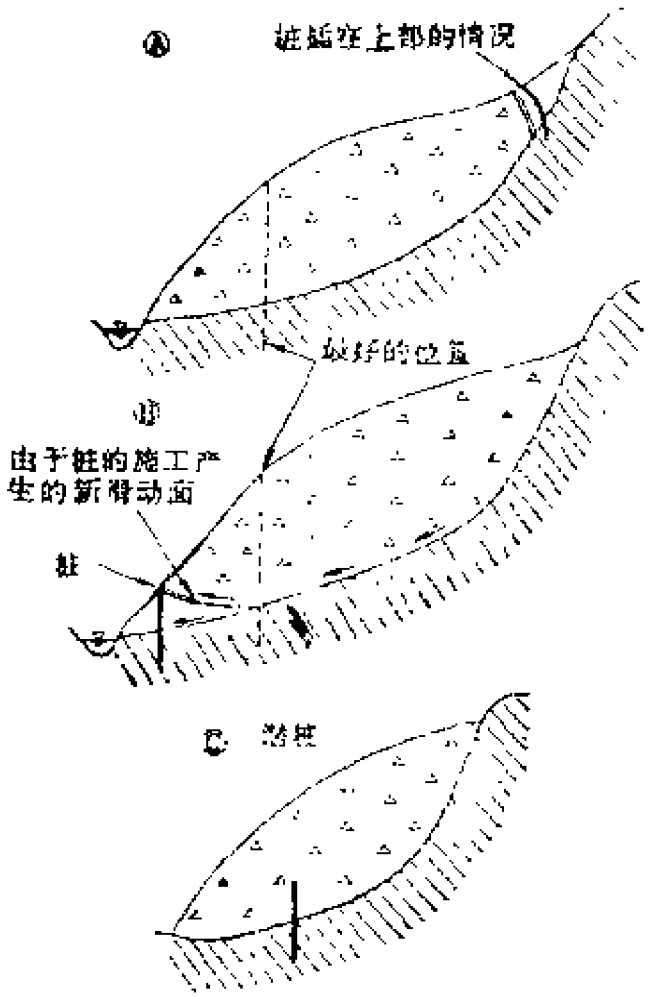


图3—14.抗滑桩的设置位置

以用气体或液体作燃料。焙烧程度应以塑性消失和在水的作用下不致膨胀和泡软为准。

电渗排水　电渗排水是利用电场作用而把地下水排除，达到稳定滑坡的一种方法。这种方法最适用于粒径

以治理一些土质滑坡。用煤焙烧砂粘土时，当烧土达到一定温度后，砂粘土会变成象砖块一样，具有相当高的抗剪强度和抗水性，同时地下水也可从被烧的土裂缝中流入坑道而排出。

用焙烧法治理滑坡，导洞须埋入坡脚滑动面以下0.5—1.0米处。为了使焙烧的土体成拱形，导洞的平面最好按曲线或折线布置（图3—15）。导洞焙烧的温度，一般土为500°—800°C。通常用煤和木柴作燃料，也可

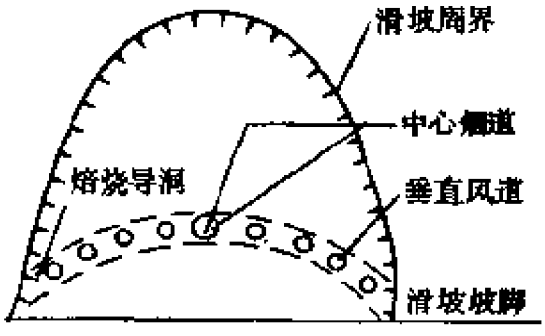


图3—15.焙烧导洞平面图

0.05—0.005毫米的粉质土的排水，因为粉土中所含的粘土颗粒在脱水情况下就会变硬。施工的过程是：首先将阴极和阳极的金属桩成行地交错打入滑坡体中，然后通电和抽水。一般以铁或铜桩为负极，铝桩为正极。通电后水即发生电渗作用，水分从正极移向由一花管组成的负极，待水分集中到负极花管之后，就用水泵把水抽走。

爆破灌浆法　爆破灌浆法是一种用炸药爆破破坏滑动面，随之把浆液灌入滑带中以置换滑带水并固结滑带土，从而达到使滑坡稳定的一种治理方法。目前这种方法仅用于小型滑坡。施工步骤是：首先用钻孔打穿滑动带，在钻孔中爆破，使滑坡床岩层松动；再将带孔灌浆管打入滑带下0.15米，在一定的压力下将浆液压入，使其在滑动带中将裂缝充满，形成一个稳定土层，借以增大滑带土的抗滑能力。在我国黄土区的一些滑坡，曾用石灰、水泥和粘土浆液压注裂缝的方法来加固滑带土，取得了一定的成效。

需要说明的是，运用物理化学方法改善滑带土石性质借以提高滑坡稳定性的治理方法，目前尚处于试验阶段，在滑坡治理中并未被广泛采用。在实际工作中，排水和支挡是整治滑坡的两项主要措施。

（5）滑坡的预防

对于已产生的滑坡，无论采取何种措施加以治理，同预防相比，花费的资金、人力和物力都要多得多。因此，对于滑坡，应采取预防为主、治理为辅的方针，尽量地防患于未然，减少损失。

为了预防滑坡，从道路选线或厂矿、水库选址开始，就应该慎重考虑斜坡的稳定性问题。从工程地质角度考虑，遇

有这样一些情况，就应密切注意斜坡的稳定性：坡面不平整，有微凹或微凸的现象；斜坡上残积层比较厚或基岩上有一定厚度的覆盖层；岩层倾向与坡面一致并且含有软弱层；斜坡上部有集水洼地或坡脚受水冲刷；坡体湿度较大、泉水和湿地较多等等。而遇有下列现象时，就需要认真研究是否有古滑坡存在：斜坡上有环形断壁，两侧为冲沟环抱，而且同源于陡壁之下，即双沟同源；斜坡呈波浪起伏形状，坡脚向外突出；河流阶地与上下游阶地面不相衔接，级数或增或减；岩层产状与周围显著不同，地层顺序有异常现象；斜坡上生长的树木，弯曲成马刀树或倾斜形成醉汉林等等。对于稳定性较差，易于发生滑坡或存在有古滑坡体的地段，一般不应选作建筑场地。对于水库库址的选择，应当充分考虑水库蓄水之后，在水位波动和波浪的冲蚀下，岸边稳定性可能会发生严重恶化的问题。在蓄水之前要做好必要的防护工程。

为了预防滑坡的发生，除了选线选址应该慎重考虑外，工程设计和施工阶段也要时时注意，小心从事。工程设计要从特定地区的实际工程地质条件出发，不宜切割的山区不要硬行切割，应该多填少挖的地段要严格实行多填少挖，在滑坡敏感地段的填、挖方设计中，坡脚处应尽量少挖以保持重压。边坡的形式和边坡的坡度，都与坡体稳定性有着密切的关系，在设计中应该充分地考虑到。在平均坡率相同的情况下，台阶式边坡与一坡到顶的边坡形式，土方量虽然完全相同，但台阶式边坡却更加安全可靠（图3—16）。稳定边坡的坡度值往往随地质条件、自然环境、气候因素和边坡高度等因素的不同而变化，表3—1和3—2列出了路堑边坡和

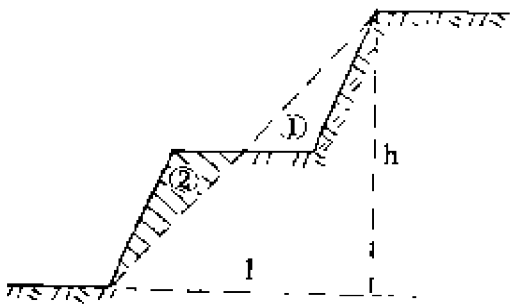


图3—16.台阶式边坡

路堤边坡的坡度表，是从长期的工程实践中总结出的经验数值，在工程设计中具有很高的参考价值。

工程建设不可能不挖不填，为了保持斜坡的稳定和防止古滑坡的复活，挖土要由上至下，填方要由下至上。对一个山坡来说，建筑物的施工顺序应自下而上逐级设挡；就一个具体边坡而言，则应自上而下地施工，要绝对禁止先开挖坡脚。在斜坡地段挖方时，该做支挡工程的地段，要开挖一段支撑一段，即边挖边挡。对斜坡地段的填方，应该挖成台阶，去掉草皮、清除松软泥土后，再进行填土，填土时要分层碾压夯实，注意不要堵塞水路。进行机械化挖方时，边坡应尽可能留得缓一些，施工中要避免在坡脚处取土、坡肩处弃土，靠近边坡附近不要堆放重物，基础工程和土方工程尽量安排在旱季进行，对山坡植被要尽可能地加以保护。对于稳定程度较好的斜坡，也要随时加强维修，注意养护，新出现的裂缝要及时填平夯实，排水沟开裂要及时修复，淤积物要经常清除。总之，只有防、治、养相结合，才能有效地防止滑坡的发生和发展。

（6）滑坡的预报

滑坡的预报一般包括两个阶段：一是显示了滑坡地形，但从表面上还看不出滑动征兆时，判定滑坡的稳定性，找出隐伏性滑坡；二是在发生移动、裂缝等滑坡先兆时，预测其滑动状态，预报滑坍时间。

关于判定滑坡的稳定性（见第一章第四节），目前还只

表 3 — 1。　路堑边坡坡度表

土石的种类	最大堑深(米)	路堑边坡坡度
地层一致的粘土、砂粘土、粘砂土、砂质土（细砂粉土除外）	18	1:1－1:1.5
黄土及黄土类土	18	1:0.1－1:1.25
紧密的碎石类土、砾石类土	18	1:0.5－1:1.5
风化严重的岩石	18	1:1－1:1.5
不易风化的完整岩石，并无倾向路基的层理，其开挖方法系采用浅眼爆破者	-	1:0.1
其它各类土石	-	1:0.2－1:1

表 3 — 2。　路堤边坡坡度表

土石的种类	路堤(边坡)的最大高度(米)			边坡坡度		
	全部高度	上部高度	下部高度	全部高度	上部坡度	下部坡度
不易风化的石块	6 20	- -	- -	1:1.3 1:1.5	- -	- -
碎石、卵石、砾石和粗砂	20	10	10	-	1:1.5	1:1.75
中　砂	12	10	12	-	1:1.5	1:1.75
其它适于填筑路堤的土	18	6	12	-	1:1.5	1:1.75

能进行定性的大致的判断。由于滑坡有周期性，根据过去的灾害史求出周期，再通过周期来预报，对于特定的滑动可能是合适的。有时也可预先整理出以往发生的滑坡和降雨量、融雪量的关系，并以当时那样的气象条件作为滑坡预报的大致标准。从斜坡的物质组成、滑坡的结构和外形出发，结合当地的水文地质和人为活动情况，可以预测滑坡能否产生。通过调查分析地表裂缝和建筑物变形，可以大致确定滑坡的规模。根据大量古滑坡和现代滑坡资料，结合降雨、地下水、地震和人为活动等各种因素，编制斜坡稳定性分布图，可以预测哪些地方最容易发生滑坡，指导工程建设。

预报滑坡发生时间比预报滑坡发生地点和规模，要更加困难得多。根据国内外滑坡的研究现状，滑坡的发生时间在一定的条件下是可以预报的，但要预报所有滑坡的发生时间，目前还做不到，能够预报的仅仅是正在运动的崩塌性滑坡。预报滑坡的方法有斋藤迪孝法、变形位移历时曲线外延法和自然地质条件分析判断法等，这里介绍后两种方法。

自然地质条件分析判断法　运用自然地质条件分析判断法预报滑坡，一般是通过观察滑坡的前兆现象进行的。这些前兆有这样几种：一是斜坡表面开裂，出现环形裂缝，有时斜坡上的其他建筑物也会出现裂缝或变形，如房屋开裂、墙壁错开、水田开裂漏水、粪池漏水等，裂缝开始出现距产生整体滑动可能还有一段较长的时间，随裂缝加宽和延长，说明距整体滑动时间已经越来越近了。二是斜坡上水池里的水，顺裂缝很快渗漏，地下水位和水质发生显著变化，有些泉水可能干枯，有些早已干涸的水泉重新出水，斜坡前缘湿地增多，这些现象也是即将发生滑坡的征兆。三是斜坡内部

的岩石发出轰鸣声和产生连续的震颤，巨大的树根被剪断和发出声响，这些是大规模整体滑动前的征兆。四是斜坡前缘不断发生崩塌、石块滚落或变形（隆起、沉陷），这种现象的出现，说明滑坡已进入加速蠕变阶段，离剧烈滑动的时间已经很近了。当然，以上各点，对于不同类型、不同规模、不同地质环境中的滑坡，其表象是不一样的。只要具备一、二点，就预示着滑坡即将发生。不过也有临滑前兆出现之后，因条件改变而未致滑动或暂时未滑动的。

滑坡变形位移历时曲线外延法 滑坡变形位移历时曲线外延法是以位移为纵轴、时间为横轴，将位移历时曲线适当外延至几乎与纵轴平行处，在时间轴上的投影点就是滑坡的发生时间。1969年，智利楚基卡玛塔铜矿的边坡，曾用此法进行了成功的预报。由于长期埋设仪器进行观测，在滑坡发生之前五个星期就准确地预报了滑坡发生时间，因而矿山仅仅停产两天半，未出任何事故。楚基卡玛塔铜矿边坡于1966年8月首次出现张裂缝，但移动量很小。1967年12月20日发生五级地震以后，移动速度加快。1968年11月6日又因在坡脚进行大爆破，自11月9日起位移量显著增大，每日达20—70毫米，在断层附近发生楔形滑落，滑落量300至1,000吨。1969年1月13日，根据最大位移——时间曲线（图3—17上）的发展趋势，用外延法预报滑坡最早发生日期为1969年2月18日，结果大滑坡果然于1969年2月18日下午6时58分发生，预报十分准确。

1985年6月12日，我国的长江西陵峡新滩滑坡，也是运用变形位移历时曲线外延法作出预报的（图3—17下）。

为了发现和观测滑坡的前兆现象，当然需要一定的仪

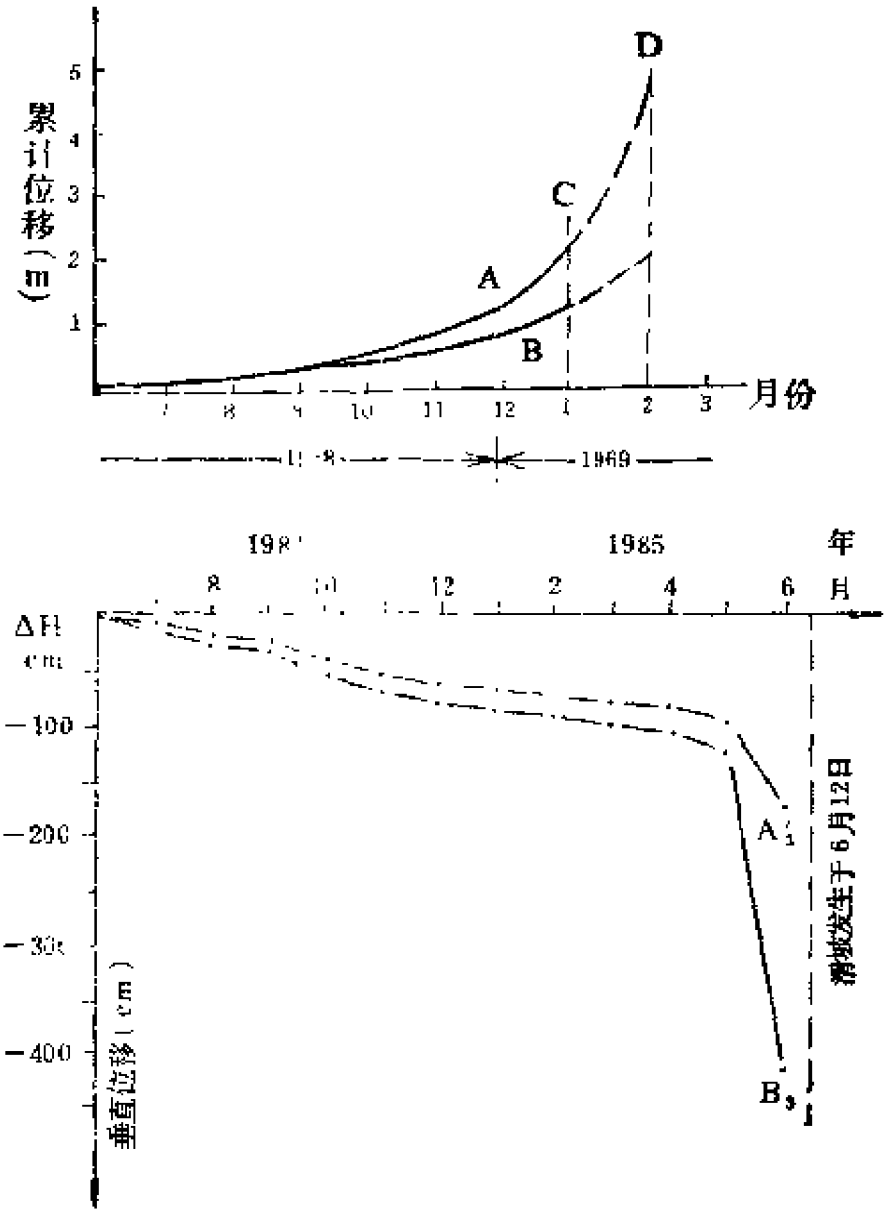


图 3—17. 用变形位移历时曲线外延法预报滑坡

上：智利梅基卡玛塔滑坡位移历时曲线（A－最大位移曲线；B－最小位移曲线；C－进行预报的时间；D－预报的和实际的滑坡发生时间）；

下：长江新滩滑坡垂直位移历时曲线（据1984年5月28日至85年6月10观测，A_3、B_3为观测点）

器，常用的有测定地表伸缩及裂缝发展情况的伸缩仪（滑坡记录器）、测定地表倾斜的倾斜仪、测定滑坡表面变化的应变仪及地音仪、测震器、地电仪等。但是，前兆现象的肉眼宏观观察也同样可以起到很重要的作用。如果斜坡上已经出现了比较大的弧形裂缝，就应该引起高度警惕，阴雨天不要在那里放牧和从事其它农业生产活动；如果裂缝迅速扩大，急剧发展，要立即向上级报告，迅速将受到威胁的居民和各种物资撤出险区。在这个问题上，千万不要存在麻痹和侥幸心理，以为不会有什么大问题，等到真的发生问题那就来不及了。甘肃省东乡族自治县的洒勒山滑坡，前兆现象也是很明显的，当地一些群众存在侥幸心理，不愿果断搬家撤出，结果造成四个村庄覆埋的惨祸。相反，1985年6月12日发生的长江西陵峡新滩滑坡，湖北省岩崩调查处的科研人员发现险情苗头之后（图3—18），及时地发出预报，协助政府和武警

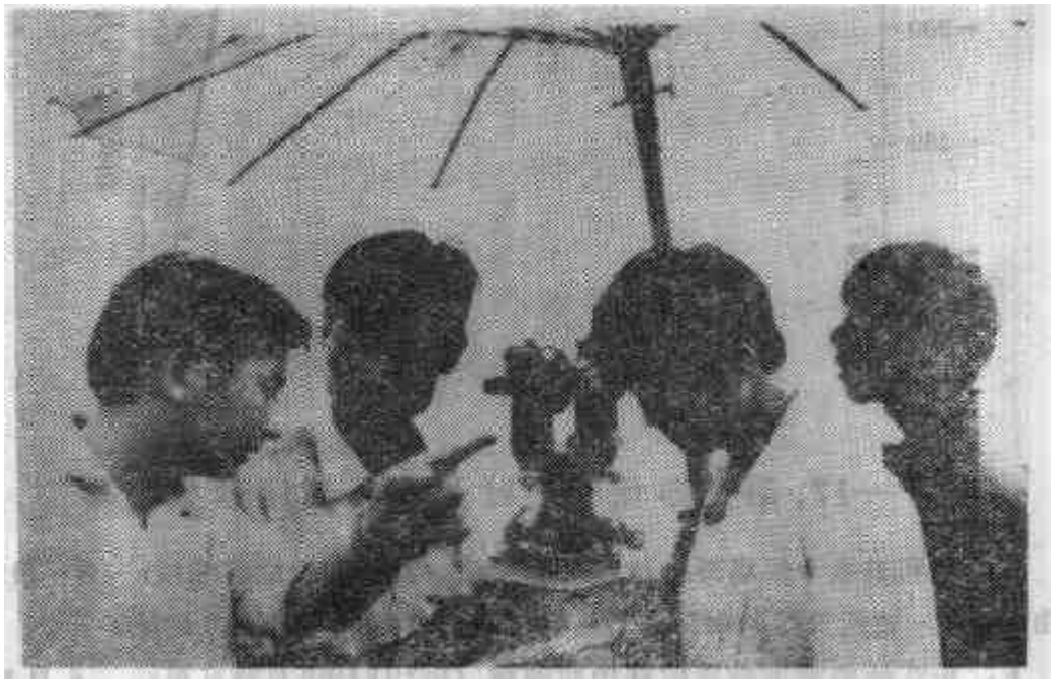


图3－18．湖北省岩崩调查处科研人员正在紧张地监测新滩滑坡的险情

部队组织群众撤离，当大滑坡发生时，新滩镇消失了，但全镇1,371人无一伤亡。

2.泥石流的防治

（1）防治泥石流的原则

泥石流的防治措施，包括生物措施和工程措施。生物措施主要指植树造林和种草、育草，工程措施是指跨越、穿过、防护、排导和拦挡等工程设施。生物措施和工程措施两者各有优缺点，可以互相促进，相辅相成，在泥石流防治工作中要采取全面规划、除害兴利、综合治理相结合的原则。要根据泥石流发生、发展和运动的规律，坚持沟坡兼治和以生物治理为主的办法，有计划、有步骤地开展整治工作，并且，在整治过程中要不断地观测治理效果和所发生的变化，注意总结经验。

泥石流有不同的特点，相应的治理措施也应有所不同。在以坡面侵蚀及沟谷侵蚀为主的泥石流地区，应以生物措施为主、辅以工程措施；在崩塌、滑坡强烈活动的泥石流发生（形成）区，应以工程措施为主，兼用生物措施；而在坡面侵蚀和重力侵蚀兼有的泥石流地区，则以综合治理效果最佳。

（2）防治泥石流的工程措施

跨越工程　跨越工程是指修建桥梁、涵洞从泥石流上方凌空跨越，让泥石流在其下方排泄。根据1977年的考察资料，成昆铁路沿线249条泥石流沟共修建桥梁157座，涵洞48座，占全部221项工程的90.2%，可见桥涵跨越是通过泥石

流地区的主要工程形式。

对于泥石流地区桥渡的布置，原则上应该顺应泥石流的流势，按照泥石流的发展变化，在其活动的全范围内设一座或多座桥梁，务须满足安全泄洪的需要，防止泥石流漫流改道。一般情况下宜逢沟设桥，不宜强行并沟、集中设桥。跨越小型泥石流群扇腰、扇缘，除应在各扇轴的主槽设桥外，在各扇之间及扇与山坡间的洼地，也应分别情况设桥，原则仍是逢沟设桥。跨越大型堆积扇，应正对原沟流向设桥，不应为减小桥梁工程而强行改沟移位，或强行并沟设桥，因为那样做容易造成泥石流排泄不畅，在原沟一带造成严重淤积。当跨越大型泥石流扇腰、扇缘，扇上具有多条相距较远的沟槽时，如果它们并不互相串通，宜逢沟设桥；如果沟槽之间互相串通漫流，则应设长桥跨过。当跨越大型泥石流堆积扇或小型扇群的各沟槽时，也可考虑修建导流堤、集中到一条沟槽排泄的方案，但这样做容易对新产生堆积扇地区的工农业生产加重危害，又有在桥渡附近落淤和不易养护的缺点，一定要权衡利弊，慎重决策。

穿过工程　穿过工程是指修建隧道、明洞从泥石流下方穿过，泥石流在其上方排泄。这是通过泥石流地区的又一种主要工程形式。据统计，成昆线穿过泥石流共修建隧道、明洞和渡槽16座，占全部221项工程的9.8%。对于隧道、明洞和渡槽设计的选择，总的原则是因地制宜。遇有下述情况时多采用隧道：线路穿过泥石流，标高大大低于泥石流沟底，采用隧道；线路穿过规模很大，淤涨漫流危害严重的巨型泥石流或多条泥石流，或受对岸巨型泥石流严重威胁，这时常将线路移到稳定的山体内作长隧道穿过。

下述这些情况多采用明洞：线路在堆积扇底穿过，标高略低于洞顶，不具备暗进施工条件，而且泥石流淤涨漫流不太严重或可以控制，适合明挖施工，一般采用浅埋明洞；线路穿过泥石流流通区，旱季无常流水，地下水不太发育，而且具备明挖施工条件，在流通区范围内采用明洞穿过，可以使两端的隧道缩短。

在下述情况下多采用渡槽：深长的路堑截断单个的山坡型稀性泥石流，或半路堑截断稳定古泥石流堆积扇缘上的稀性小泥石流沟，泥石流流量不大于20—50米^3/秒，下游濒临大河，地形凌空，利于宣泄，无淤涨漫流之患，而且泥石流沟底标高能够满足槽下限界要求，这时一般采用渡槽；山前区形成“地上河”式的小型泥石流沟，其沟底标高能够满足槽下限界要求，通过加高沟岸能防治淤涨漫流之患者，可考虑采用渡槽。总之，渡槽都是适用于粒径较小的稀性泥石流，粘性泥石流以及粒径大于0.5米的稀性泥石流，最好不用渡槽，而以采用明洞或将线路内移作深埋隧道为好。

防护工程　防护工程是指对泥石流地区的桥梁、隧道、路基，泥石流集中的山区变迁型河流的沿河线路或其他重要工程设施，作一定的防护建筑物，用以抵御或消除泥石流对主体建筑物的冲刷、冲击、侧蚀和淤埋等危害。防护工程主要有护坡、挡墙、顺坝和丁坝等。

排导工程　排导工程的作用是改善泥石流流势，增大桥梁等建筑物的泄洪能力，使泥石流按设计意图顺利排泄。

泥石流排导工程包括导流堤、急流槽和束流堤三种类型。导流堤的作用，主要在于改善泥石流的流向，同时也改善流速。急流槽的作用，主要是改善流速，也改善流向。束

流堤的作用，主要是改善流向，防止漫流。导流堤和急流槽组合成排导槽，以改善泥石流在堆积扇上的流势和流向，让泥石流循着指定的道路排泄，不让淤积。导流堤和束流堤组合成束导堤，可以防止泥石流漫流改道为害。

对于导流堤的布置，堤尾方向与大河流向应力求成锐角相交。泥石流与大河汇流，洪水互相搏击，动能会有很大损失，交角越小，动能损失越小，越容易将泥石流带走。一般地说，交角宜小于45°。云南东川蒋家沟泥石流，排导堤与小江交角很小，对洪水把泥石流带走非常有利，自建成以来未再发生过泥石流堵断小江的情况（图3—19）。

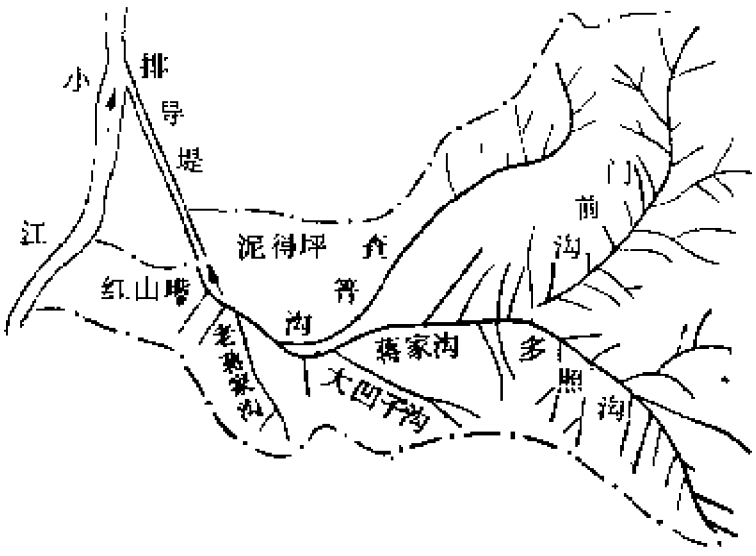


图3—19.蒋家沟泥石流排导堤平面图

拦挡工程　拦挡工程是用以控制组成泥石流的固体物质和雨洪径流，削弱泥石流的流量、下泄总量和能量，减少泥石流对下游经济建设工程冲刷、撞击和淤积等危害的工程设施。拦挡工程包括拦碴坝、储淤场、支挡工程、截洪工程四类。前三类起拦碴、滞流、固坡作用，控制泥石流的固体物质供给。截洪工程的作用在于控制雨洪径流。总的目的是削弱泥石流。

对于防治泥石流的工程措施，常须采取多种措施结合应用（图3—20），最常见的有拦碴坝与急流槽相结合的拦排

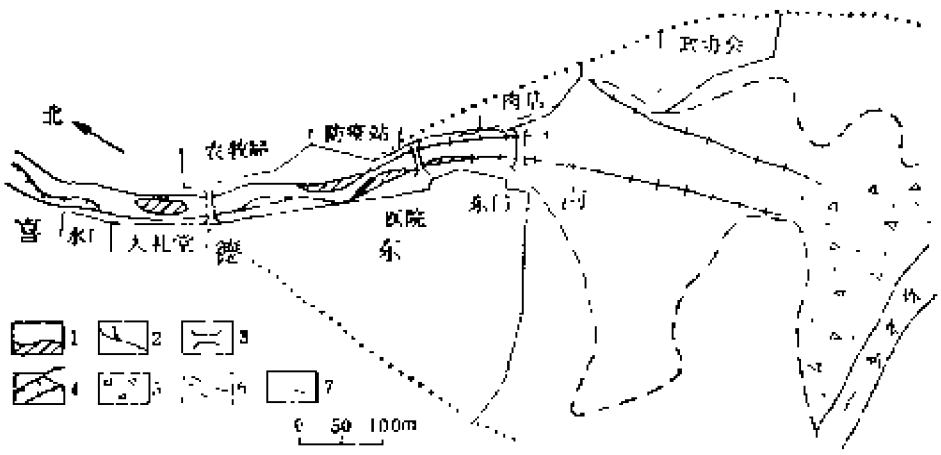


图 3—20，四川喜德县城采用多种措施治理泥石流

1、清除堵塞体；2、护岸；3、单孔桥；4、导流堤；5、停淤场；6、淤埋区；7、可能危害区界线

工程、导流堤、拦碴坝和急流槽相结合的拦排工程，拦碴坝、急流槽和渡槽相结合的明洞（或渡槽）工程等。防护工程也常与其他工程配合应用。多种工程措施配合使用，比单纯采用某一种工程措施要更为有效，也更为经济合理。

（3）防治泥石流的生物措施

生物措施包括恢复植被和合理耕牧。通过生物措施能使流域的坡面得到保护，免遭侵蚀，使泥石流得到控制，逐渐缓和、直至停歇。西昌的东河泥石流，自1958年起，在流域内实行大面积飞机播种造林，使植被得到迅速恢复，再加上导流、护岸等辅助工程，1971年以后除个别支沟外，主沟不再爆发泥石流，确保了西昌城区的安全。可见，植被对治理泥石流可以起巨大的作用。

需要育林的地区一般是坡度大于25°的陡坡，植树造林，成功地恢复植被，需要克服多种不利的自然因素，还要正确地解决好农、林、牧、薪（烧柴）之间的矛盾，如果管理不