

滑坡的形成与防治

刘光代 傅传元

(铁道部科学研究院西北研究所)

滑坡是指在一定自然条件下斜坡部分岩土，在重力作用下，由于自然及人为因素的影响，沿其内部某一软弱面或带，整体（或几大块）、缓慢（有时也是急剧）、以水平位移为主的变形现象。山区人民形象地称它为“走山”。由于斜坡的平衡遭到破坏，因而发生摧毁厂矿、中断交通、掩埋村镇、堵塞江河、破坏农田和水库等灾害，常给国家建设和人民的生命财产造成严重损失。

我国疆域辽阔，地形地质条件十分复杂，滑坡种类繁多，数量极大，西南、中南、华东发生较多，华北、西北亦常有发生。滑坡的类型可分别按组成滑体的物质、主滑面成因类型、滑体厚度三方面进行区分（下表）。

滑 坡 分 类 表

第一级分类 按组成滑体的物质	第二级分类 按主滑面成因类型	第三级分类 按滑体厚度
1. 粘性土滑坡 2. 黄土滑坡 3. 堆填土滑坡 4. 堆积土滑坡 5. 破碎岩石滑坡 6. 岩石滑坡	1. 堆积面滑坡 2. 层面滑坡 3. 构造面滑坡 4. 同生面滑坡	1. 巨厚层滑坡 (>50米) 2. 厚层滑坡 (20—50米) 3. 中层滑坡 (6—20米) 4. 浅层滑坡 (<6米)

注：组成滑体的物质，是指主滑段的滑体物质；主滑面成因类型，是指形成主滑段滑动面的软弱结构的成因类型。

按上述三个依据进行的三级分类，均各自成为系统，但也存在某些横向的联系。例如：某类岩石的岩体内部，常以某种软弱面为主，因此，常产生该类软弱面的滑坡。概括的说：

第一级分类是基础，有利于滑坡的防治，因为不同类型的岩石除在分布上各有一定的规律外，对滑动的难易、滑动特点、滑动时所需要的条件是各不相同的。

第二级分类的突出特点是有利于滑坡的预测和预防。因为岩体内的软弱结构面在很大程度上控制着滑坡的产生。大量事实证明，绝大多数滑坡的产生，基本上都是依附岩体内原有的各种倾向临空面的软弱结构面的基础上发展而成的，这些软弱结构面就是滑动

面的前身。

第三级分类则有利于滑坡的整治。因为滑体的厚度涉及到整治原则、具体措施、工程量大小、施工难易等许多问题。

滑坡发生的原因一般有下列数种：

1. 组成斜坡的岩土体破碎松散，并有倾向临空面的角度平缓（一般 10° — 30° ）的软弱层存在。这种软弱层包括洪、崩、坡积物的下伏基岩面，不同时代和成因、不同成份和结构的堆积面，岩层中的软弱夹层，如煤层、石膏层、页岩层、泥灰岩、千枚岩、粘土层和砂砾层以及地质构造上的断层错动带等，且常常是坡体中的相对隔水层；

2. 地表水和地下水浸润坡体并汇集于软弱层附近，使软弱层易滑物质软化并降低其抗剪强度；

3. 在斜坡上部加荷（填土、弃土、修建建筑物等）或在下部切割（人工切割或河水冲刷，水位升降浪蚀和浸泡切割）破坏支撑；

4. 改变地表水的排泄条件（在低洼地筑堤、阻水）及改变地下水的运动规律（深挖方使潜水面下降，增大水力坡度和流速）；

5. 灌溉水渠、水田、池塘、高位水池、截排水沟、给排水管等的渗漏作用；

6. 震动（地震和爆破）影响。

滑坡的发展过程

一般常见的滑坡按其力学性质可分为主滑、牵引、抗滑三段如图 1。主滑段位于中部，主滑带依附既有的倾向临空面的软弱夹层发育形成。其变形过程是：当斜坡体内的软弱夹层在地下水聚积和长期的物理、化学作用下，其中局部岩土体的强度不断衰减，使该部的抗剪强度小于应力，并逐渐扩大，形成主滑段。随着主滑带变形范围的逐渐扩大产生蠕动挤压，使主滑段向前推移，引起后部土体产生主动土压式的破裂楔体，形成牵引段。牵引段形成之后，滑体与后部不动体分离，在滑体后缘形成弧形（土质）、直线形或锯齿形（岩质）裂缝。随着地表水不断汇集于软弱层，导致主滑带强度进一步降低，使主滑段和牵引段共同向前推挤抗滑段（当软弱结构面距临空面或开挖面很近时无抗滑段），直到滑坡前部的抗滑段不足以抵抗后部的巨大推力而产生被动土压式的破坏，形成新的破裂面，整个滑面全部贯通，滑坡就整体向前急剧滑动。滑面为折线型。只有在较均一的粘性土中产生的同生面滑坡，由于滑坡形成以前并不存在固有的软弱面，而是因斜坡几何外形和实际荷载分布的不同，土体中某一部位（一般在坡脚）应力集中，蠕动区逐渐扩展形成贯通的剪切面，上部土体沿此下滑，形成曲线型滑面。

滑坡的发育阶段与稳定度

研究滑坡发生发展规律，必须区分滑坡的发育阶段。如能确定滑坡当时所处的发育阶段，并预计今后的发展趋势，即可及时采取必要的防治措施，以减少危害。如能具体制定各个阶段的稳定度，即可列

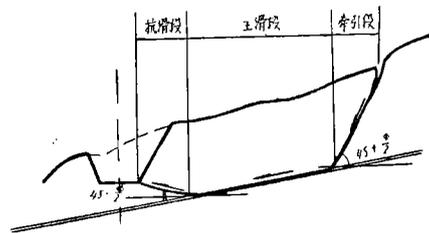


图 1 滑坡发展过程示意图

出平衡方程式，为防治工程措施的设计提供依据。根据我们多年的实践，依据滑坡滑动过程中地表裂缝出现的部位、性质及发育的顺序，滑坡的微地貌特征，岩土结构的变化以及大滑动前的预兆等，把一般滑坡的发育过程划分为五个阶段：

1. **蠕动阶段**。系指滑坡某一部分（常是中部主滑段）的软弱带，处于封闭条件下，由于种种原因，抗剪强度降低，产生蠕动变形阶段。此时，软弱带并未形成连续的剪切面，但由于中部滑体产生蠕动，引起后部岩（土）体产生破坏，在地表上反映为滑坡后缘出现一些不连续的拉张裂缝，呈张开微下错状。滑坡微地貌特征不明显（图2—1）。整个滑坡的稳定系数为1.15—1.05。

2. **挤压阶段**。即滑体的中部及后部继续向前移动，致使前端的抗滑部分受挤压，促使抗滑段产生破裂面的阶段（没有抗滑段的滑坡无此阶段）。此时，除抗滑段外，中后部软弱带的剪切面已贯通，滑带业已形成。在地面上反映为后缘的拉张裂缝已贯通，并有少量下错，两侧出现羽毛状裂纹，但未沿剪切裂缝方向错断，滑坡前缘受挤压，斜坡出现x型裂纹，并有局部坍塌现象。滑坡微地貌特征相继出现（图2—2）。整个滑坡的稳定系数为1.05—1.00。

3. **滑动阶段**。这是指整个滑体沿滑面作缓慢移动的阶段。当抗滑段滑带一旦形成，滑坡的整个滑带已全部贯通。随着滑坡的缓慢移动，地面变形加剧，滑体结构松弛，地表平均坡度降低，后缘张开裂缝错距增大，有的滑体并在后部出现反方向的下错裂缝，两侧的剪切裂缝已贯通，羽状裂纹被错开，前缘隆起，产生不连续的鼓胀裂缝和放射状裂缝，并出现少量坍塌。滑坡微地貌特征比较明显。有时，在前缘坡脚一带会出现带状分布的泉水或湿地。如滑坡区有树木，则会出现“醉林”（图2—3）。整体滑坡的稳定系数为1.00—0.95。

4. **剧滑阶段**。此即滑坡作加速移动至急剧移动阶段。此时，滑体结构进一步松弛，地表纵坡更趋平缓，后缘错壁高陡，擦痕鲜明。错壁后缘产生断续的张裂缝，且不断坍塌，错壁底部出现封闭洼地或滑坡湖。前缘斜坡产生大量坍塌或被推垮（图2—4）。滑坡微地貌特征更加清楚。有的滑坡常因舌部移动改变了水的通道而流出大量浊水。如滑动速度很大，前部可产生气浪，并伴随有声响。当滑坡中、前部移动速度有差异时，则横向裂缝错开并扩大；当滑坡有抗滑段且出口以外受地形约束时，滑坡前缘一带可能形成垄状堆积；当滑坡无抗滑段且出口以外地形开阔不受任何约束时，其滑体可能放射状地覆盖于地面上。其整体稳定系数为0.9—0.95。

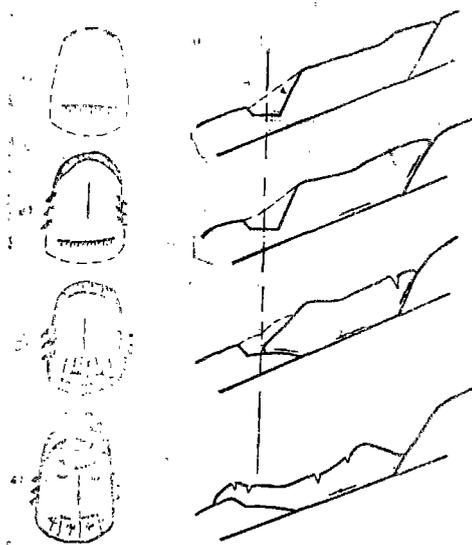


图2 滑坡各发育阶段在地面的反映

5. **固结阶段。**滑坡停止滑动后，滑体的能量释放，重心降低，并在自重作用下由前往后部受横向推挤逐渐压密，滑带亦因排水而渐固结，并恢复一些强度。地面裂缝逐渐闭合，斜坡表面台坎变缓而趋稳定，滑壁坍塌变缓，擦痕渐趋模糊，有的长出了植被。大部滑坡微地貌特征不清晰。整个滑坡稳定系数由0.95逐渐增至1.15。

一般滑坡不仅具有以上的阶段性，而且还有复发性。不同滑坡，其发育阶段和各阶段的延续时间不同。如土质滑坡的蠕动、挤压、滑动阶段较岩质滑坡相对较短。所谓复发性不是简单的重复，如滑带强度不再降低或下滑力受到控制时，则滑坡暂时的或长期地停止于某一阶段，不再继续向下一阶段发展。如有的滑坡滑动面倾角平缓，抗滑地段较长，可不出现剧滑阶段而直接进入固结压密阶段。

滑坡的防治措施

滑坡的治理与医生治病一样，应针对其病因对症下药方能奏效。对于铁路、交通和厂矿部门，由于断道和停工带来的经济损失较大，一般采用下列工程措施：

1. **绕避。**经过经济比较，认为就地整治不合理时宜作改线或另选场地。

2. **减重反压。**在上部主滑部分减载，在下部阻抗部分反压，以减少下滑力，增加抗滑力。

3. **截排地表水和地下水。**用明沟、暗沟、泄水洞、直孔和平孔等，使滑体以外来水不进入或少进入滑体，并将已进入滑体内的水排除出去，使滑体和滑带土体干燥，以增强抗滑力。

4. **支挡。**通常在滑坡前部或坡脚处修建抗滑挡墙、抗滑桩、框架式挡墙、沉井式挡墙和抗滑明洞等建筑物来支挡滑体，以恢复滑体平衡。

5. **其它。**采用各种有效措施，改善滑带土的强度，以增加抗滑力。

对山区自然滑坡，尤其是一些大型滑坡，采取重大工程措施进行治理和躲避，往往是不经济亦是不现实的，因此，应特别注意预防以避免或减小损失。

一般说，稳定的和不稳定的滑坡均有其外貌特征，滑坡在滑动前亦呈现各种先兆，若能事前识别这些特征和先兆，再配合一些简易观测手段掌握其动态规律。当有危险征兆出现时及时撤离人、畜及财物，以避免灾害损失是可能的。现将各类特征、先兆及简易观测方法介绍于后，供识别参考。

稳定古滑坡的外貌特征：

1. 滑坡要素特征大部分消失甚至夷平覆盖，后壁较高长满了树木，找不到擦痕且十分稳定；

2. 滑坡平台宽大且已夷平，土体密实，无沉陷不均现象；

3. 滑坡前缘的斜坡较缓、土体密实、长满树木、无松散坍塌现象，前缘临河部分多出露含大孤石的密实土层，坡上有河水冲刷过的痕迹；

4. 河水目前已远离滑坡舌部，有些舌部外已有不大的漫滩阶地；

5. 滑坡两侧的自然沟切割很深，已达基岩；

6. 滑坡舌部的坡脚有清晰的泉水，若不切割舌部，不堵塞泉水，滑坡是不会复活的。

一般不稳定滑坡的外貌特征：

1. 斜坡较陡且长，其平均坡大于 30° ；

2. 虽有滑坡平台但面积不大,有向下倾斜的现象,且坡面未夷平;
3. 有些滑坡地表泉水富集,湿地发育,且有新生冲沟;
4. 斜坡表面有不均匀陷落的周部平台,参差不齐;
5. 滑坡前部土体松散,有小坍塌,并受到当前江水的直接冲刷;
6. 山坡上无巨大的直立树木;
7. 两侧自然沟多属新生沟谷,沟形宽浅,沟底常为堆积物覆盖。

滑坡在剧滑前呈现先兆:

滑坡在剧滑前,地表往往呈现前述滑动阶段所具有的征兆,诸如斜坡上缘裂缝连通、裂缝宽度和错距不断加大、增加速度也明显加快;

两侧出现被错断的羽状裂缝,前缘地面隆起,并出现不连续的鼓胀及放射状裂缝;

前缘坡体产生片状坍塌或浅层坍塌;

滑体表面物体产生明显的变形和变位;

前缘水泉出露;

已有水泉明显变浑浊,有时还可听见岩石挤压和拉裂而发生的声响,地体震动和动物异常反应等前兆。

以上前兆一般都与不正常的集中降雨量直接有关,在北方春融期往往也是滑坡出现急剧变化的时节。

监测滑坡的简易观测方法:

1. 在滑坡周界两侧动体与不动体上顺滑动方向各打一木桩(土中桩长1米左右),桩上钉上小钉,定期或不定期地测量两钉间的距离及其变化,即可得该处滑体的相对位移值,但得不出实际位移方向。若在不动体上打两桩,动体上打一桩,事先测出与不动体上两桩间长度,则从两个方向的位移值可求出该桩的实际移动方向和数值(图3-1)。

2. 在滑坡后缘(或前缘)动体与不动体上顺滑动方向打入互相垂直且密贴的两木板(或钢筋),各钉上(或绘上)厘米尺度,即可测得该处的水平和垂直位移值(图3-3)。

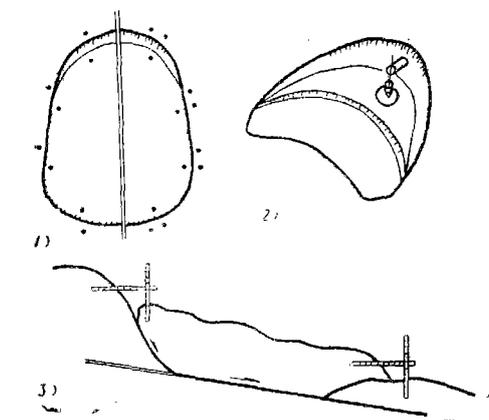


图3 滑坡简易观测桩志示意图

3. 在滑坡后壁上打一水平木桩,桩头刻一垂线,于桩头部相对应的滑体上浇一混凝土墩,用垂球通过桩头垂线在混凝土墩上设观测标点,观测时用同法测出位移后的点,量测测点与原点的距离和方向,即得该设点处滑体的位移数值和方向。并可根据两次垂球线的长度差大致测出其升降值(图3-2)。

4. 滑坡自动记录报警器,如图4所示由三部分组成:(1)设于滑坡主裂缝滑体一侧的观测桩;(2)连接观测桩与自动记录装置的钢丝绳,线装入保护木盒或塑料管

内，（3）自动记录装置，可附报警器。此仪器既可观测滑坡随时间的位移，又可作危险位移的报警。日本应用较广，并可遥测。

5.地面倾斜仪。如图5所示，将两根互相垂直的长水准管安装在有整平螺丝和倾斜读数盘的金属板上，再安装在观测点的混凝土底座上。当地面变形倾斜时，水泡发生偏移，整平仪器使水泡复位，即可由度盘测出地面倾斜的相对变化值。它可测出滑坡蠕动挤压阶段的小量变形及滑体各部的相对变形特征。

事实证明，识别滑坡剧滑前的先兆并及时采取措施，是可以避免或减小损失的。兰州市金沟公社长湾大队1979年11月7日晚11时许发生的滑坡，即根据半月前前缘沟坡产生零星坍塌现象相继山顶开裂等大滑前征兆而提前撤出人畜和财物，减轻了损失。1983年3月7日17时46分左右，甘肃省东乡县果园公社宗罗大队洒勒山发生的滑坡，大滑前亦有各种先兆，如3年多以前山顶即出现由西向东发展的贯通裂缝，它们在滑动前几天突然明显增大，滑坡体内亦出现大量裂缝，滑坡体内旱窖、水井挤扁，窑洞变形，鸡犬不宁；滑动前两天山体发出像牛叫的声音等。当地地方领导亦采取了撤离措施，但由于不够果断，对滑动速度之快和波及范围之广估计不足，因而使人民生命财产遭受较大的损失。

山区自然滑坡产生后，由于经济条件和实际情况的不同，虽不能采取重大的工程措施进行治理。但对于那些在地质历史或人类历史上曾滑动过的古老滑坡地区，尤应避免在坡脚大量开挖，加强河岸防护，以防止因坡脚掏刷使山体失却平衡而导致滑坡复活。滑坡发生后亦应采取一些简单可行而又十分必需的措施，例如截排表水、疏导泉水、夯填裂缝等，以防止表水下渗使滑坡继续恶化，坡面种草植树，以稳固土体。

滑坡尽管是一种具有相当破坏性的不良地质现象，但是，它的发生发展还是遵循着一定的规律。只要我们充分相信科学，尽快普及滑坡知识，实行领导、群众和专业人员相结合，加强必要的监测，滑坡是可以预测和控制的，灾害也是可以避免的。

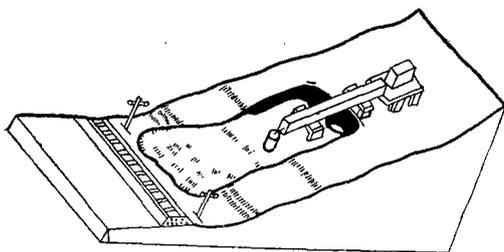


图4 滑坡自动记录报警器

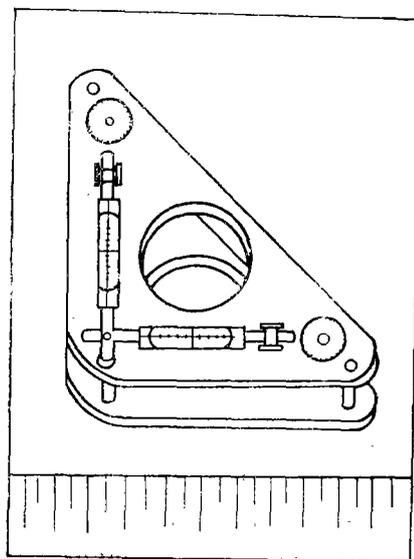


图5 地面倾斜仪