第一章
崩塌与岩堆

第一节　崩塌

一、崩塌的概念

在陡峻的斜坡上，巨大岩块在重力作用下突然而猛烈地向下倾倒、翻滚、崩落的现象，称为崩塌。崩塌经常发生在山区陡峭山坡上，有时也发生在高陡的路堑边坡上。

规模巨大的山坡崩塌称为山塌。斜坡的表层岩石由于强烈风化，沿坡面发生经常性的岩层顺坡滚落现象，称为碎落。悬崖陡坡上个别较大岩块的崩落称为落石。

崩塌是山区公路常见的一种病害现象。它来势迅猛，常可摧毁路基和桥梁，堵塞隧道洞口，击毁行车，对公路交通造成直接危害。有时因崩塌堆积物堵塞河道，引起壅水或产生局部冲刷，导致路基水毁。

崩塌可以由自然因素激发产生，也可以由人为因素激发产生。如云南昆明至畹町公路某段的路堑边坡，雨后不久发生崩塌达 1.7 万 m^3，严重阻碍了交通。

二、崩塌形成的条件

崩塌虽发生比较突然，但有它一定的形成条件和发展过程。崩塌形成的基本条件归纳起来主要有以下几个方面。

（一）地形条件

斜坡高、陡是形成崩塌的必要条件。调查表明，规模较大的崩塌一般多产生在高度大于 30 m、坡度大于 45°的陡峻斜坡上。

斜坡的外部形状，对崩塌的形成也有一定的影响。一般在上缓下陡的凸坡和凹凸不平的陡坡上易于发生崩塌（图 1－1）。

（二）岩性条件

坚硬的岩石（如厚层石灰岩、花岗岩、砂岩、石英岩、玄武岩等）具有

较大的抗剪强度和抗风化能力，能形成高陡的斜坡，在外来因素影响下，一旦斜坡稳定性遭到破坏，即产生崩塌现象（图 1－2）。所以，崩塌常发生在由坚硬性脆的岩石构成的斜坡上。此外，由软硬互层构成的陡峻斜坡，由于差异风化，斜坡外形凹凸不平，因而也容易产生崩塌（图 1－3）。

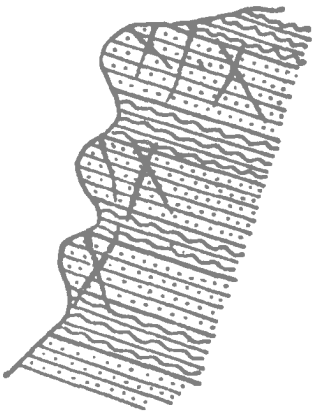

图 1－1　软硬岩互层形成的锯齿状坡面

（三）构造条件

如果斜坡岩层或岩体的完整性好，就不易发生崩塌。实际上，自然界的斜坡经常是由性质不同的岩层以各种不同的构造和产状组合而成的，而且常常为各种构造所切割，从而削弱了岩体内部的联结，为产生崩塌创造了条件。一般来说，岩层的层面、裂隙面、断层面、软弱夹层或其他的软弱岩性带都是抗剪性能较低的“软弱面”。如果这些软弱面倾向临空且倾角较陡时，当斜坡受力情况突然变化时，被切割的不稳定岩块就可能沿着这些软弱面发生崩塌。图 1－4 为两组与坡面斜交的裂隙，其组合交线倾向临空，被切割的楔形岩块沿楔形凹槽发生崩塌的示意图。

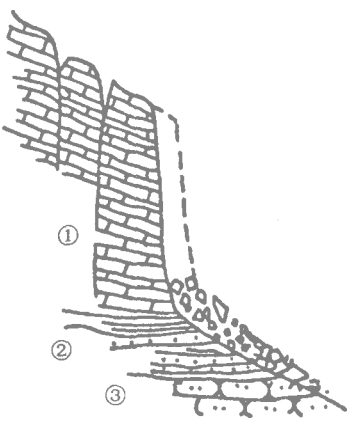

图 1－2　坚硬岩石组成的斜坡前缘卸荷裂隙导致崩塌示意图

①灰岩；②砂页岩互层；③石英岩

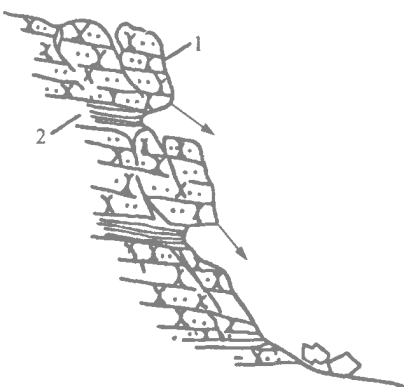

图 1－3　软硬岩互层的陡坡局部崩塌示意图

1. 砂岩；2. 页岩

(四)其他自然因素

岩石的强烈风化、裂隙水的冻融、植物根系的楔入等，都能促使斜坡岩体发生崩塌现象。但大规模的崩塌多发生在暴雨、久雨或强震之后。这是因为降雨渗入岩体裂隙后，一方面会增加岩体的重量，另一方面能使裂隙中的充填物或岩体中的某些软弱夹层软化，并产生静水压力及动水压力，使斜坡岩体的稳定性降低；或者由于流水冲掏坡脚，削弱斜坡的支撑部分等，都会促使斜坡岩体产生崩塌现象。地震能使斜坡岩体突然承受巨大的惯性荷载，因而往往能促成大规模的崩塌。例如，1973年2月四川炉霍地震（7.9级），促使城区附近公路沿线及河谷两岸普遍发生崩塌。

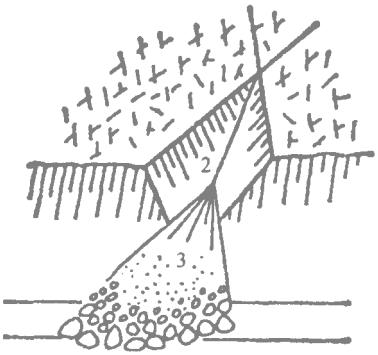

图 1-4 楔形体崩塌示意图

1. 裂隙；2. 楔形槽；3. 崩塌堆积体

上面说的是形成崩塌的基本条件和促使斜坡岩体发生崩塌的一些主要自然因素，但是，人类不合理的工程活动，如公路路堑开挖过深、边坡过陡等，也常引起边坡发生崩塌。由于开挖路基，改变了斜坡外形，使斜坡变陡，软弱构造面暴露，使部分被切割的岩体失去支撑，结果引起崩塌。此外，坡顶弃方荷载过大或不妥当的爆破施工，也常促使斜坡发生崩塌现象。

三、崩塌的防治

(一)勘测调查要点

要有效地防治崩塌，必须首先进行详细的调查研究，掌握崩塌形成的基本条件及其影响因素，根据不同情况，采取相应的措施。调查崩塌时应注意以下几个方面：

(1) 查明斜坡的地形条件，如斜坡的高度、坡度、外形等。

(2) 查明斜坡的岩性和构造特征，如岩石的类型、风化破碎程度，主要构造面的产状以及裂隙的充填胶结情况。

(3) 查明地面水和地下水对斜坡稳定性的影响以及当地的地震烈度等。

(二)防治原则

由于崩塌发生的突然而猛烈，治理比较困难而且复杂，特别是对于大型崩塌，所以一般多采取以防为主的原则。

(1) 在选线时，应注意根据斜坡的具体条件，认真分析崩塌的可能性及其规模。对有可能发生大、中型崩塌的地段，有条件绕避时，宜优先采用绕

此为试读，需要完整PDF请访问：www.ertongbook.com

避方案。若绕避有困难时，可调整路线位置，离开崩塌影响范围一定距离，尽量减少防治工程，或考虑其他通过方案（如隧道、明洞等），确保行车安全。对可能发生小型崩塌或落石的地段，应视地形条件进行经济比较，确定是绕避还是设置防护工程通过。如拟通过，路线应尽量争取设在崩塌停积区范围之外。如有困难，也应使路线离坡脚有适当的距离，以便设置防护工程。

(2) 在设计和施工中，避免使用不合理的高陡边坡，避免大挖大切，以维持山体的平衡。在岩体松散或构造破碎地段，不宜使用大爆破施工，以免由于工程技术上的错误而引起崩塌。

(三)防治措施

(1) 爆破或打楔。将陡崖削缓，并清除易坠的岩石。

(2) 堵塞裂隙或向裂隙内灌浆。有时成为单独的岩坡稳定，可采用铁链锁绊或铁夹，以提高有崩塌危险岩石的稳定性。

(3) 调查地表水流，在崩塌地区上方修截水沟，以阻止水流流入裂隙。

(4) 为了防止风化，可将山坡和斜坡铺砌覆盖起来（图 1-5）;或在坡面上喷浆。

(5) 筑明洞或御塌棚（图 1-6）。

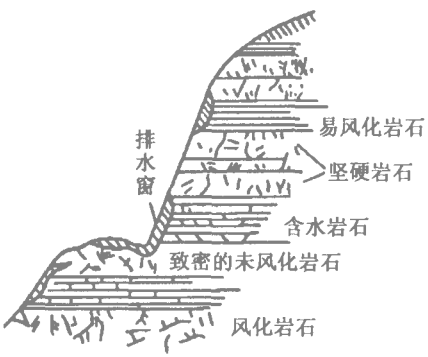

图 1-5 用砌石护面防止易风化岩层风化

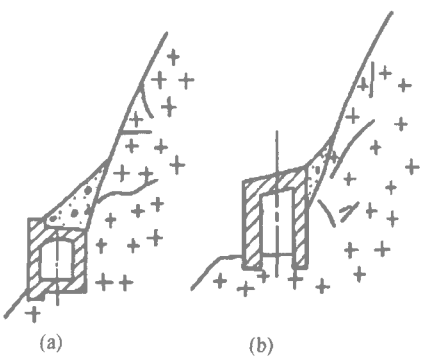

图 1-6 明洞和御塌棚
(a) 明洞；(b) 御塌棚

(6) 筑护墙及围护棚（木的、石的、铁丝网），以阻挡坠落石块；及时清除围护建筑物中的堆积物。

(7) 危岩支顶，如用石砌或用混凝土作支垛、护壁、支柱、支墩、支墙等，以增加斜坡的稳定性。

第二节　岩堆

一、岩堆的概念及主要组成物质

由碎落、崩塌和落石在山坡的低凹处或坡脚形成的疏松堆积体，称为岩堆。

岩堆多见于地质构造作用强烈、气候比较干旱、风化严重的山区或高山峡谷地区。特别是在页岩、千枚岩、板岩、片岩等岩性软弱易风化的岩层分布地区，以及在破碎的花岗岩、石灰岩等组成的山坡和坡脚地带，常有岩堆的分布。岩堆有时互相连接，成片分布，长达几千米至几十千米。岩堆的平面形态是多种多样的，主要取决于局部地形条件。岩堆床纵剖面形态一般呈三种典型形状，如图 1－7 所示。它主要是由岩堆基底、傍依区和搬运区组成。

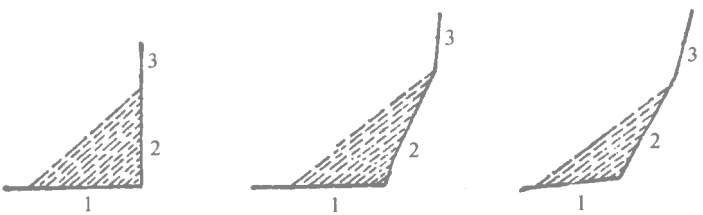

图 1－7　岩堆床纵剖面组成示意图

1. 岩堆基底；2. 傍依区；3. 搬运区

发育在峡谷地区的岩堆，上为陡壁，下为急流，其本身又处于极限平衡状态，具有一定的活动性，常给选线和路基设计造成很大困难，其影响程度决定于岩堆的工程地质特征。

二、岩堆的工程地质特征

(1) 岩堆大部分为近期堆积，其表面坡度接近于其组成物质在较干燥状态下的天然休止角，浸水后容易发生局部或整体的移动。岩堆的天然休止角与组成物质的岩性（表 1－1）、粒径（表 1－2）和表面粗糙程度有关，一般介于 25°～45°之间。

表 1-1 不同岩石组成的岩堆天然休止角参考值

岩石组成	岩堆天然休止角/(°)
花岗岩	37
砂岩	32~33
钙质砂岩	34~35
页岩	38
砂页岩	35
石灰岩	32~36.5
片麻岩	34
云母片岩	30

表 1-2 不同粒径岩块构成的岩堆天然坡度参考值

岩堆构成	岩块一般粒径/cm	天然坡度
碎屑岩堆	≤1	1:(1.50~2.00)
碎石岩堆	1~8	1:(1.25~1.50)
石块岩堆	8~20	1:(1.20~1.33)
大石岩堆	>20	1:(1.00~1.20)

(2) 岩堆内部常见有向外倾斜的层理（倾角与天然休止角相似）。在外力（地震或荷载）作用或其他因素的扰动下，容易发生表层或层间滑动变形。

(3) 岩堆一般结构松散、孔隙度大且不均匀，有时由于地面水的下渗，局部孔隙可能被细粒物质所填充，稍具联结性，处于软弱的半胶结或胶结状态。有的岩堆上部比较密实，或表面具有胶结壳，而内部仍较松散或有夹层，结构极不均一，在荷载作用下，易发生不均匀沉陷。

(4) 岩堆的基底或傍依区，一般全部或大部分坐落在基岩斜坡上，由于地表水的下渗或基岩裂隙水的流动，将浸润接触面而削弱其摩阻力，如稍受外力作用（如切割岩堆下部或在岩堆顶部加荷等）就可能导致岩堆沿基底或傍依区发生滑移。

综上所述可以看出，岩堆的稳定性差，当公路通过岩堆体时，容易发生路基变形和边坡塌陷等病害，这是岩堆分布地区路线勘测、设计和施工中需要认真对待的问题。

三、岩堆的分类

岩堆按稳定程度可分为以下三种：

(1) 正在发展的岩堆。山坡基岩裸露，坡面参差不齐，有新崩塌痕迹，常有落石和碎落。岩堆表面呈直线形，坡角近于其天然休止角。坡面无草木生长或仅有很稀少的杂草，堆积的石块大部分颜色新鲜，内部结构松散，岩块间无胶结现象，孔隙度较大。表层松散零乱，人行其上有石块滑落。

(2) 趋于稳定的岩堆。岩堆上方的基岩大部分已稳定，具有平顺的轮廓，仅有个别的落石和碎落。岩堆坡面近于凹形，大部分已生长杂草和灌木。岩堆的石块大部分颜色陈旧，仅个别地点有颜色新鲜的石块零星分布。岩堆内部结构密实或中等密实，但表层还是松散的，由于草木生长已不致散落，岩堆坡面上部的坡度常稍陡于其天然休止角。

(3) 稳定的岩堆。岩堆上方的基岩已稳定，坡度平缓，不稳定的岩块已完全剥落，岩堆的坡面呈凹形，已长满草本，无颜色新鲜的石块。岩堆体胶结密实，大孔隙已被充填。有些地方因表层失去植被覆盖而有水流冲刷的痕迹。

四、岩堆的处理原则

(1) 在选线时，对于正在发育的岩堆，以绕避为宜。绕避如有困难，应选择在基底条件较好的部位通过，以便设置防护建筑物。对于趋于稳定的岩堆，应尽量避免破坏岩堆的天然状态，可在岩堆的下部以路堤方式通过（图 1－8），不用或尽量少用路堑形式。对于稳定的岩堆，路线可以选择适当位置，以低路堤或浅路堑通过，但注意不宜采用半填半挖断面或在岩堆下方大量开挖，以免引起上部整个岩堆体下滑。

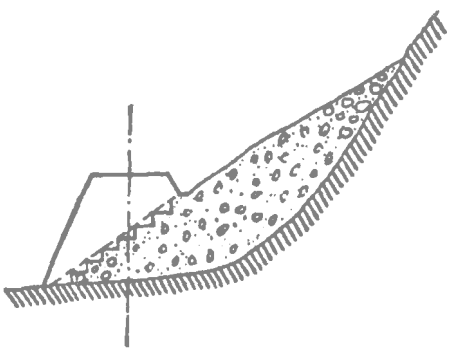

图 1－8　路堤通过岩堆示意图

(2) 线路以路堤方式通过时，应注意路堤位置的选择及基底处理。由于路堤所施加的荷载，对即使是稳定的岩堆，也可能导致局部或整体岩堆体的滑移，故一般以设置在岩堆体下部或坡脚为宜。这里所谓稳定的岩堆，只是相对而言，就岩堆的表层，一般仍然是比较松散的，所以在填筑路堤时，应注意清除表层松散堆积物并挖成台阶，必要时可设置下挡墙，以免路堤或岩堆滑移。

(3) 线路以路堑方式通过时，应注意边坡的稳定性问题。一般边坡高度以不超过 20～30 m 为宜，并宜采用与岩堆天然休止角大致相适应的边坡坡

此为试读，需要完整PDF请访问：www.ertongbook.com

度，一般可参考表 1－3 选用。

表 1－3　岩堆路堑边坡坡度参考值

岩堆情况	条件说明	边坡坡度
不含杂质的碎石	山区的堆积层	1：（1.00～1.25）
	在平坦地区已经压实	1：（0.75～1.00）
碎石被小颗粒包围互不接触	小颗粒为砂，无粘结力	1:1.50
	小颗粒为亚粘土或粘土	1：（1.75～2.00）
碎石间尚能接触，中间夹有亚粘土	小颗粒为亚粘土或粘土	1:1.25
	碎石有棱角	1:1.50
一般堆积层		≥1:1.50

对于稳定的岩堆，可根据其胶结和密实程度采用较陡的边坡，但对边坡中出现的松散夹层应进行砌石防护。当边坡高度超过 20 m 时，宜采用阶梯形边坡。

(4) 水对岩堆稳定性影响较大，所以当公路通过岩堆时，不论路基是采用路堤的形式还是采用路堑的形式，都要十分注意做好调治地表水和排除地下水的工作。

(5) 公路通过岩堆时，采用挡土墙以稳定路基，大多数情况下不但可能而且效果较好。但应注意挡土墙和岩堆的整体稳定性问题和发生不均匀沉降的问题。

第二章
滑　坡

第一节　引　言

滑坡的分布极为广泛，不仅可以发生在陆地，而且也可以发生在海洋中。正因为其广为分布，且与人类工程活动密切相关，所以受到各国学者的高度重视。滑坡研究最早的报道是海因（A.Hein）在 1882 年发表的一篇关于瑞士阿尔卑斯山某处滑坡的文章，120余年来滑坡研究方兴未艾，目前，正形成一门成熟的独立学科，即以滑坡现象、滑坡作用过程、滑坡稳定性分析及滑坡防治为研究对象的滑坡学。

所谓滑坡，是指斜坡大量土体或岩体在重力作用下及其他因素影响下，沿一定的滑动面（或带）整体向下滑动的现象。

规模大的滑坡一般是缓慢地、长期地往下滑动，其位移速度多在突变阶段才显著增大，滑动过程可以延缓几年、十几年甚至更长的时间。有些滑坡滑动速度也很快，如 1983 年 3 月发生的甘肃东乡洒勒山滑坡，最大速度可达 30～40 s/m。

滑坡是山区公路的主要病害之一。由于山坡或路基边坡发生滑坡，常使交通中断，影响公路的正常运输。大规模的滑坡，可以堵塞河道，摧毁公路，破坏厂矿，掩埋村庄，对山区建设和交通设施危害很大。西南地区（云、贵、川、藏）是我国滑坡分布的主要地区，不仅滑坡规模大、类型多，而且分布广泛、发生频繁、危害严重。在云南省几乎每条公路上都有不同规模的滑坡发生。贵州的炉熔公路，四川的川藏公路、成阿公路、巴峨公路等均遭受过滑坡的危害。

第二节　滑坡的形态及分类

一、滑坡的形态

滑坡的一个重要特征是在其运动过程中保持相对的完整性，往往表现出

其特定的形态外貌。因此，在滑坡工程地质研究中，人们可以从形态要素来认识它，这是滑坡研究的一项重要内容。

一个发育完整的典型滑坡,一般具有下面一些基本的组成部分(图 2－1)：

(1) 滑坡体：与母体脱离经过滑动的岩土体。岩土体内部相对位置基本不变，还能保持原来的层序和结构面网络，但由于滑动作用，在滑坡体中有时会出现褶皱和断裂现象，岩土体结构也会松动。

(2) 滑坡床：滑坡体之下未经滑动的岩土体。它保持原有的结构而未变形，只是在靠近滑坡体部位有些破碎。

(3) 滑动面（带）：滑坡体与滑坡床之间的分界面。由于滑动过程中滑坡体与滑坡床之间相对摩擦，滑动面附近的土石受到揉皱、碾磨作用，可形成厚数厘米至数米的滑动带。所以滑动面往往是有一定厚度的三度空间。根据岩土体性质和结构的不同，滑动面的形状是多种多样的，大致可分为圆弧状、平面状、折面状。一个多期活动的大滑坡体往往有多个滑动面，一定要分清主滑面与次滑面、老滑面与新滑面，尤其是要查清高程最低的那个滑动面。

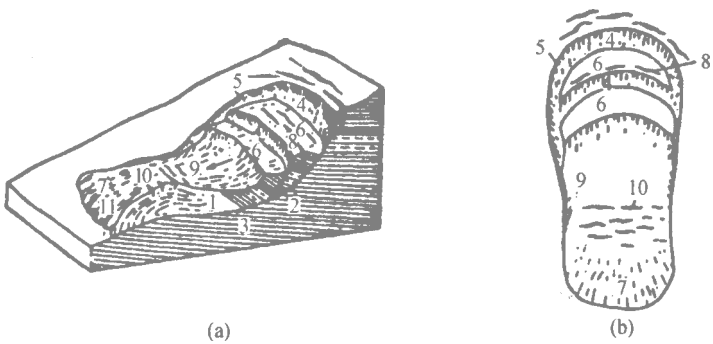

图 2－1　滑坡要素示意图

(a) 剖面示意图；(b) 平面示意图

1. 滑坡体；2. 滑动面；3. 滑坡床；4. 滑坡壁；5. 滑坡周界；
6. 滑坡台阶；7. 滑坡舌；8. 拉张裂缝；9. 剪切裂缝；10. 鼓张裂缝；11. 扇形裂缝

(4) 滑坡周界：滑坡体与周围未变位岩土体在平面上的分界线。它圈定了滑坡的范围。

(5) 滑坡壁：滑坡体后缘由于滑动作用所形成的母岩陡壁，其坡角多为 35°～80°，平面上往往呈圈椅状，滑坡壁上经常可以见到铅直方向的擦痕。

(6) 滑坡台阶：滑坡体下滑时各部分运动速度不同而形成的一些错台。大滑坡体上可见到数个不同高程的台面和陡坎。

(7) 滑坡舌（滑坡前缘）：滑坡体前部伸出如舌状的部位，它往往伸入沟谷、河流甚至对岸。最前端滑坡面出露地表的部位，称为滑坡剪出口。研究滑坡剪出口高程对研究滑坡的形成年代以及滑坡与该地区近期地壳抬升运动的关系有重要意义。

(8) 滑坡裂隙：由于滑坡体在滑动过程中各部位受力性质和大小不同，下滑速度也不同，因而不同部位产生不同力学性质的裂隙，有拉张裂隙、剪切裂隙、鼓张裂隙和扇形裂隙等。拉张裂隙位于滑坡体后部，有时滑床后壁也有，呈弧形分布，与滑动方向垂直；剪切裂隙呈羽毛状，分布于滑坡体中前部的两侧，它是因滑坡体与滑坡床之间相对位移的力偶作用形成的，与滑动方向斜交；鼓张裂隙一般分布于滑坡体前缘，由滑坡体后部的推挤鼓起而成，与滑动方向垂直；扇形裂隙位于滑坡体舌部，是因前部岩土体向两侧扩散而产生的，作放射状分布，呈扇形。

(9) 滑坡轴（主滑线）：滑坡在滑动时，滑坡体运动速度最快的纵向线，称为滑坡轴，它代表整个滑坡滑动方向，位于滑床凹槽最深的纵断面，可为直线或曲线。

(10) 滑坡洼地：滑坡滑动后，滑坡体与滑坡壁之间常拉开成沟槽，构成四周高中间低的封闭洼地，称为滑坡洼地。滑坡洼地往往是由于地下水在此处出露，或者由于地表水的汇集，常成为湿地或水塘。

二、滑坡的分类

滑坡分类的目的是对滑坡作用的各种环境和现象特征以及产生滑坡的各种因素进行概括，以反映各类滑坡的特征和发生、发展演化的规律，并有效地防治它们。但由于自然界的地质条件和作用因素复杂，各种工程分类的目的和要求不同，因此可以从不同角度对滑坡进行分类。我国的滑坡类型可有如表 2－1 所示的划分方法。

表2－1　滑坡类型及其特征

划分依据	名称类型		滑坡的特征
按滑坡物质组成成分划分	覆盖层滑坡	粘性土滑坡	粘性土本身变形滑动、沿其他成因的土层接触面滑动、沿基岩接触面滑动等
		黄土滑坡	不同时期的黄土层中的滑坡，并多群集出现，常见于高阶地前缘斜坡上
		碎石滑坡	在各种不同成因类型的堆积层体内滑动或沿基岩面滑动
		风化壳滑坡	风化壳表层间的滑动，多见于沿浆岩（尤其是花岗岩）风化壳中

此为试读，需要完整PDF请访问：www.ertongbook.com

续表 2－1

划分依据	名称类型		滑坡的特征
按滑坡物质组成成分划分	基石滑坡	均质滑坡	发生在层理不明显的泥岩、页岩、泥灰岩等软弱岩层中，滑动面均匀、光滑
		切层滑坡	滑动面与层面相切的滑坡、在坚硬岩层与软弱岩层相互交替的岩体中的切层滑坡等
		顺层滑坡	沿岩层面或裂隙面滑动或沿坡积层与基岩交界面或基岩间不整合面等滑动
	特殊滑坡		如融冻滑坡、陷落滑坡等
按滑坡体厚度划分	浅层滑坡		滑坡体厚度为 6 m 以内
	中层滑坡		滑坡体厚度为 6～20 m
	深层滑坡		滑坡体厚度为 20～30 m
	超深层滑坡		滑坡体厚度为 30 m 以上
按滑坡的规模大小划分	小型滑坡		滑坡体体积小于 3 万 m^3
	中型滑坡		滑坡体体积为 3 万～50 万 m^3
	大型滑坡		滑坡体体积为 50 万～300 万 m^3
	巨型滑坡		滑坡体体积为 300 万 m^3 以上
按形成的年代划分	新滑坡		开挖山体所形成的滑坡
	古滑坡		久已存在的滑坡，其中有死滑坡、活滑坡、处于极限平衡状态的滑坡
按力学条件划分	牵引式滑坡		滑坡体下部先行变形滑动，上部失去支撑力量，因而随着变形滑动
	推动式滑坡		上部先滑动，之后挤压下部引起变形和滑动

第三节　滑坡的发育过程及认识方法

一、滑坡的发育过程

一般来说，滑坡的发生是一个长期的变化过程，通常将滑坡的发育过程划分为三个阶段：蠕动变形阶段、滑动破坏阶段和渐趋稳定阶段。研究滑坡发育的过程对于认识滑坡和正确地选择防治措施具有很重要的意义。

（一）蠕动变形阶段

斜坡在发生滑动之前通常是稳定的。有时在自然条件和人为因素的作用下，可以使斜坡岩土强度逐渐降低（或斜坡内部剪应力不断增加），造成斜坡的稳定状况受到破坏。在斜坡内部，某一部分因抗剪强度小于剪切力而首先变形，产生微小的移动，往后变形进一步发展，后缘拉张裂缝加宽，开始出现不大的错距，两侧剪切裂缝也相继出现。坡脚附近的岩土被挤压，滑坡出口附近潮湿渗水，此时滑动面已大部分形成，但尚未全部贯通。斜坡的变形再进一步发展，后缘拉张裂缝加宽，错距不断增大，两侧羽毛状剪切裂缝贯通并撕开，斜坡前缘的岩土挤紧并鼓出，出现较多的鼓张裂缝，滑坡出口附近渗水混浊，这时滑动面已全部形成，接着便开始整体地向下滑动。从斜坡的稳定状况受到破坏、坡面出现裂缝到斜坡开始整体滑动之前的这段时间称为滑坡的蠕动变形阶段。滑坡的蠕动变形阶段经历的时间有长有短，长的可达数年之久，短的仅数月或几天。一般来说，滑动的规模越大，蠕动变形阶段持续的时间愈长。斜坡在整体滑动之前的各种现象叫做滑坡的前兆现象，尽早发现和观测到滑坡的各种前兆现象，对于滑坡的预测和预防是很重要的。

（二）滑动破坏阶段

滑坡在整体往下滑动的时候，滑坡后缘迅速下陷，滑坡壁越露越高，滑坡体分成数块，并在地上常形成阶梯状地形，滑坡体上的树林东倒西斜，形成“醉林”，如图 2－2 所示。滑坡体上的建筑物（如房屋、水管、渠道等）严重变形以致倒塌毁坏。

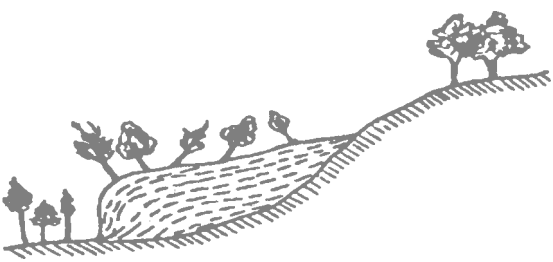

图 2－2 醉 林

随着滑坡体向前滑动，滑坡体向前伸出，形成滑坡舌。在滑坡滑动的过程中，滑动面附近湿度增大，并且由于重复剪切，岩土的结构受到进一步破坏，从而引起岩土抗剪强度进一步降低，促使滑坡加速滑动。滑坡滑动的速度大小取决于滑动过程中岩土抗剪强度降低的绝对值，并和滑动面的形状、

滑坡体的厚度和长度以及滑坡在斜面的位置有关。如果岩土抗剪强度降低的数值不多，滑坡只表现为缓慢的滑动；如果在滑动过程中滑动带岩土抗剪强度降低的绝对数值较大，滑坡的滑动就表现为速度快、来势猛，滑动时往往伴有巨响并产生很大的气浪，有时会造成巨大的灾害。

（三）渐趋稳定阶段

因为滑坡体在滑动过程中具有动能，所以滑坡体能越过平衡位置滑到更远的地方。滑动停止后，除形成特殊的滑坡地形外，在岩性、构造和水文地质条件等方面相继发生了一些变化。例如：地层的整体性已被破坏，岩石变得松散破碎，透水性增加，含水量增高，经过滑动，岩石的倾角或者变缓或者变陡，断层、节理的方位也发生了有规律的变化；地层的层序也受到破坏，有时局部的老地层会覆盖在第四纪地层上等。

在自重的作用下，滑坡体上松散的岩土逐渐压密，地表的各种裂缝逐渐被充填，滑动带附近岩土的强度由于压密固结又重新增加，这时整个滑坡的稳定性也有所提高。经过若干时期后，滑坡体上东倒西歪的“醉林”又重新垂直向上生长，但其下部已不能伸直，因而树干呈弯曲状，有时称它为“马刀树”（图 2－3），这是滑坡趋于稳定的一种现象。当滑坡体的台阶已变平缓，滑坡后壁变缓并生长草木，没有崩塌发生，滑坡体中岩土压密，地表没有明显裂缝，滑坡体前缘无水渗出或流出清澈的泉水时，就表示滑坡已基本趋于稳定。

滑坡趋于稳定后，如果其产生的主要因素已经消除，将不再滑动，而转入长期稳定。若产生滑坡的主要因素并未完全消除，且又不断积累，当积累到一定程度后，稳定的滑坡便会重新滑动。

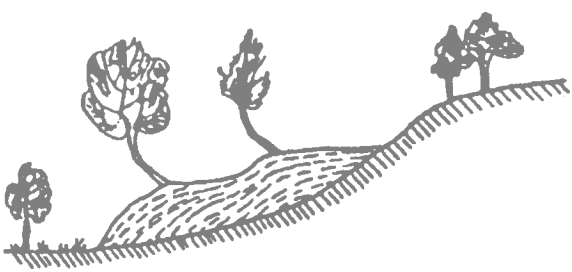

图 2－3　马刀树

二、滑坡的认识方法

滑坡识别是研究滑坡的最基础工作，对于正在活动的滑坡来说，因为形

态要素清晰而容易识别，但对于“休眠期”的老滑坡，则因后期改造强烈而难以识别，甚至误将重要建筑物置于其上而造成生命财产的损失。因此，不管地质条件和滑坡形态多么复杂繁多，一定要采用各种方法、手段来查明它。

在实际滑坡调查工作中，主要是通过遥感信息、地面地质测绘和勘探试验方法来进行的。

应用遥感信息识别滑坡，主要采用航空遥感所提供的大比例尺[1：(10 000～15 000)]黑白和彩色红外相片来进行。在航片上识别滑坡，实质上就是识别滑坡的形态要素，然后再结合搜集研究地区的地质资料进行综合分析，从而确认滑坡的存在。典型滑坡在航摄像片上所显示的地形地貌特征尤为明显。在较顺直的山坡上突然出现圈椅状的陡坎或陡壁，其下为封闭洼地，再向下则表现为上凹下凸地形，有时可见台阶状平地，更低一些的部位则为垅洼起伏的舌形坡地，突出于河谷或河边，甚至将河道向对岸推移，阶地变位，其两侧有沟谷发育，并表现为双沟同源的景观。整个滑坡体平面形状如长舌形、梨形或三角形等。利用遥感图像进行滑坡判读，在区域性滑坡群的认别方面优点是很多的。它突出表现为效率高、视野广和准确度高，是一种有效的手段。但需要提出的是，滑坡是一种复杂的工程动力地质现象，通过航空遥感手段识别的滑坡，必须要通过地面地质测绘及勘探试验等手段来验证。

地面地质测绘是识别滑坡的最主要的手段。因为通过地面调查，可直接观察到滑坡各形态要素，并可搜集到滑动的证据。斜坡经过滑动破坏之后，地形特征比较明显，特别是站在滑坡对岸高处瞭望时，滑坡区的地形地貌特征更是清楚。一般情况下，滑坡体的岩石较周围岩石破碎，结构较松散；岩层产状与周围岩层产状也不一致，尤其是滑坡剪出口处的岩层较破碎，可见反翘现象。在滑坡体上还会产生小褶皱和断裂，滑坡侧沟调查在识别滑坡中往往起着重要的作用，因为若沟谷深切至滑坡床时，在侧沟壁上常可见到滑动面（带）物质，也可观察到岩层层序的扰动。滑坡作用的结果可以改变地下水的径流状况。由于滑坡面（带）往往是一些不透水泥质物质，滑坡体本身渗透性又相对较强，因此，滑坡体前缘或两侧多见泉水出露，有时在表面局部形成积水洼地。此外，新生滑坡体上的植被覆盖较周围要好，树木歪斜零乱，可见到醉林和马刀树。建筑物及地面变形破坏现象也可作为滑坡存在的见证之一。

勘探手段包括钻探、坑探和物探，是为了了解滑坡体的结构、岩石破碎程度、地下水位，确定滑动面（带）的位置、形状以及对滑动带物质而进行的物理力学性质试验。勘探工作的布置，应根据航片和地面测绘所了解的滑

坡体的大小、形状和地质条件来进行，一般起码应布置纵横两条勘探线（图 2－4)。在同一条勘探线上可联合应用不同类型的勘探手段和方法，以便于分析比较。对滑动带物质进行物理力学性质试验，可在平硐中作原位剪切试验，以求取滑动带的抗剪强度参数，也可在钻孔或平硐中取样作室内试验。

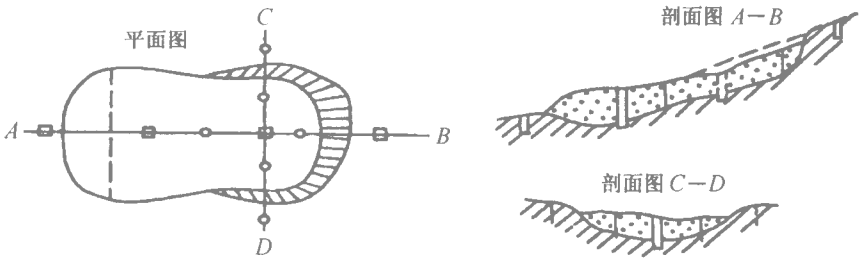

图 2－4　滑坡勘探线布置

三、滑动面的研究

在滑坡的工程地质研究中，一个重要的课题就是确定滑动面的位置和形状。因为在斜坡的稳定性计算和防治措施的制定中都必须首先确定滑动面，之后才能取得正确结果。

（一）滑动面（带）的一般特征

滑动面（带）由于遭受剪切破坏，形成厚度不大的摩擦破碎带，其特征与断层破碎带有相似之处。该带岩土一般扰动严重，磨碎的细粒有定向排列的趋势，比较软弱，略有片理化，并可见到磨光面及擦痕。因摩擦而变细的滑动带土与上下层岩土在粒度成分上和颜色上有所不同，其含水量也比上下岩层高，往往呈软塑状态。

（二）滑动面（带）位置确定的方法

正确确定滑坡的滑动面位置、形态及滑动带物质的物理力学性质，是滑坡稳定分析及评价的必要条件，特别是滑动面位置的确定更为重要。实际工作中，按照工作精度和要求可采用不同的方法。

(1) 根据作图法估计滑动面位置。当只进行地表测绘，未进行勘探工作时，只能借助于作图方法大致估计滑动面位置。作图方法如下：①假定滑动面为一圆弧形，根据地表测绘找出滑坡后缘陡壁并测定陡壁的产状及擦痕产状，同时找出滑坡前缘位置及产状。在滑坡主轴剖面上，过后缘陡壁及前缘两点，按其产状画 AC 及 BC［图 2－5（a)］，过 A 及 B 分别作垂线 OA 及 OB，OA、OB 交于 O 点，以 O 为圆心、以 OA（或 OB）为半径作圆，即为

假想滑动面位置。②在滑坡主轴剖面上连接后缘陡壁坡角 A 和滑动面出口 B [图 2-5 (b)]，作 AB 的垂直二等分线 CO，在 CO 上选一点，以 OA 为半径作圆，使此圆能与任一点的滑动面倾向线相切，此圆弧即为所求之滑动面。

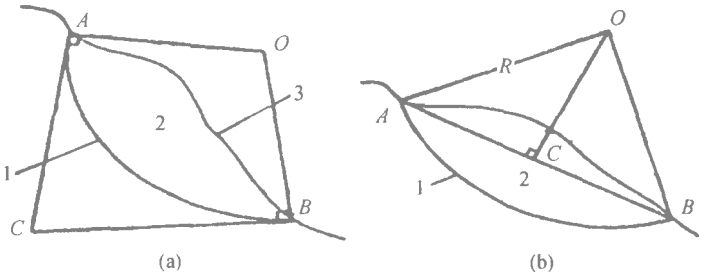

图 2-5　滑动面作图法

(2) 根据位移观测资料推求滑动面的位置。在有滑坡的位移观测资料时，可根据滑坡的位移数据来推求滑动面。可采用应变管法确定滑动面位置。这个方法是按一定间距贴一对电阻应变片的硬质聚氯乙烯管置于钻孔中，通过应变片的应变来测定聚氯乙烯管的弯曲。应变片按 2 m 间距贴一片。应变片贴在应变测管的中间，并把它和同质的过滤管中间管连接起来(图 2-6)，电缆从管的外侧引出。测管下至钻孔内由于斜坡滑动就会受到岩土体收缩和伸张变形的影响而发生弯曲（图 2-7)，应变片就会产生应

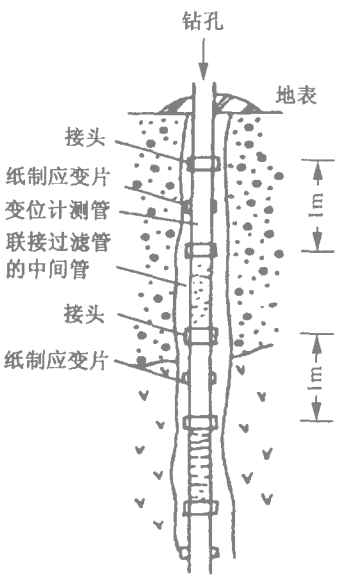

图 2-6　应变管装置示意图

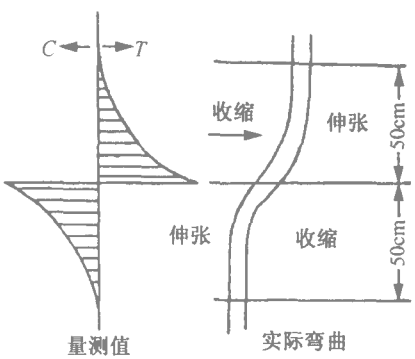

图 2-7　应变管的弯曲

此为试读，需要完整PDF请访问：www.ertongbook.com