第一章　概　论

滑坡是自然界常见的山坡变形现象。由于种种原因，部分山体缓慢或急速地向下滑移，破坏村庄、房屋、道路和农田等，给人类的生命财产造成极大危害。如 1963 年意大利某水库滑坡，将坝高 265 m 的水库填满，造成浪高 100 m，洪水从坝顶越过，冲毁下游 5 个村庄，死亡 2 000 多人。1983 年印度某河岸发生大滑坡，堵塞了整个河道，堆成长数千米，高 200 多米的堤坝，一年后洪水越顶，冲毁下游两岸许多村庄，人畜死伤不计其数。日本是个多滑坡国家，公路和铁路干线深受其害，如 1962 年北海道滑坡，将行驶中的公共汽车推入海中，死伤数十人；1967 年北陆铁路干线滑坡，将机车推入大海，并破坏了数十栋民房，造成极大的经济损失。

我国滑坡主要分布于西南、中南和华东地区，如长江三峡地区有许多超巨型滑坡，严重威胁着长江航道的安全。其中有名的新滩滑坡体积约 3 000 万 m^3，1985 年产生滑动时将整个新滩镇推入长江，引发涌浪高达 50 多米，击浪影响范围上下游各 10 余千米，造成部分渔船翻沉。该处滑坡因事先做好监测，并进行准确的预报，滑动前动员全镇居民及时撤离，才没有造成大量人员伤亡。1980 年 6 月发生于湖北盐池河磷矿的滑坡，体积约 100 万 m^3 的岩体，从高约 150 m 的山腰滑入矿区（图 1－1），将全矿区 280 多人全部埋葬于滑坡体下。

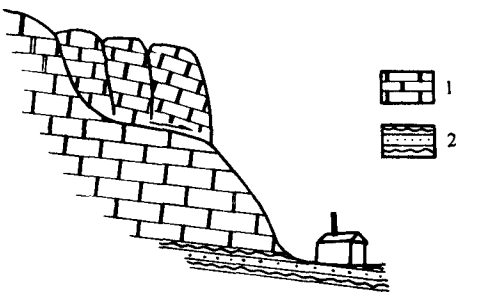


图 1－1　湖北盐池河滑坡示意图

1—白云岩；2—砂岩泥岩。

自然界的各类山体滑坡千变万化，不但其滑动体积相差悬殊，小者仅有数十立方米，大者可达数亿立方米。而且其滑动速度和滑行距离也差别很大。有的滑坡变形缓慢，每年位移仅数十厘米，但年年变形，数十年不止；有的滑坡不但速度极快，滑动距离也大，但在较短时间内即恢复稳定。如 1991 年 9 月发生于云南省昭通市盘河乡头寨沟的超巨型高速滑坡，滑体厚 180 m，体积约 1 800 万 m^3，其中近 1 600 万 m^3 土体滑出滑床后，产生碎裂，形成碎屑流，高速地冲向两岸，向下游成‘S’形地奔流而下（图 1－2），沿途摧毁民房 200 多间，农田 300 多亩，公路

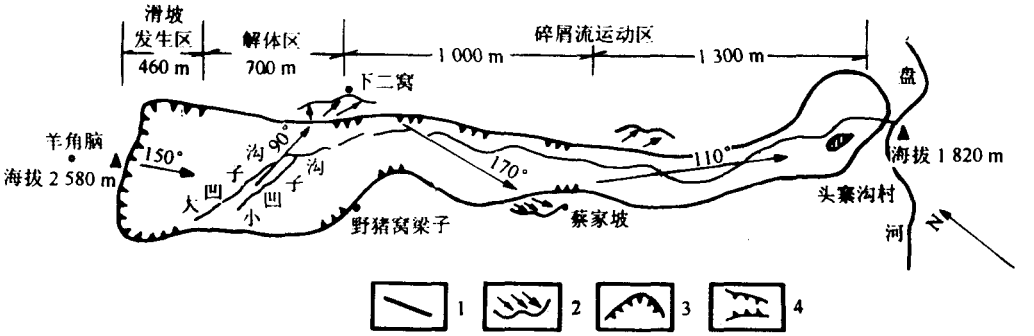


图 1－2　头寨沟滑坡示意图（摘自《中国灾害与防治学报》1993 年第三期）

滑动方向；2—遭滑体冲击的岸坡；3—滑坡发生区；4—锁口（峡谷）。

需要全本请访问 www.ertongbook.com

350 m 长，造成 200 多人死亡。该高速滑坡历时仅 2～3 min ，滑动距离达 3.0 km,其速度之快实在惊人。又如甘肃省渭河北岸的卧龙寺滑坡,体积 2 000 万 m^3,滑面深近 100 m。1955 年滑动时，将坡脚地方铁路推移 100 多米,后缘形成长 290 m,宽 40 m，深达十多米的滑坡湖。1958 年因破裂壁坍塌，又将滑坡湖填塞。至 1971 年破裂壁再次坍塌时，有近 100 万 m^3 的坍滑体越过宽 15 m 的引渭干渠，在滑体表面滑行数百米（图 1－3）,沿途破坏水渠、道路和房屋，造成极大的经济损失。

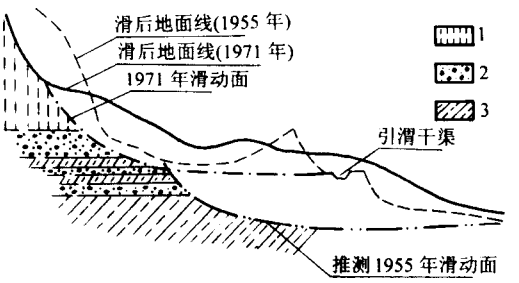


图 1－3 卧龙寺滑坡剖面示意图
1—黄土；2—砾石土；3—砂粘土及粘土。

我国铁路滑坡数量最多，据统计解放后全国铁路沿线发生山体滑坡数千起，主要分布在宝成、宝天、鹰厦、成昆、襄渝、阳安、焦枝和太焦等线。有些铁路滑坡规模巨大，体积达数百万立方米以至数亿立方米。如宝天线的葡萄园滑坡、南同蒲线的冷泉滑坡、阳安线的赵家塘滑坡、太焦线的牛晶坪滑坡和寨底滑坡等，体积都达 300 万 m^3 以上。有些地区滑坡虽然规模不大，但密度大，成群出现，已达到无坡不滑，无堑不坍的严重局面。如成昆线的狮子山地区；太焦线的红崖、南旺和晋城地区等。

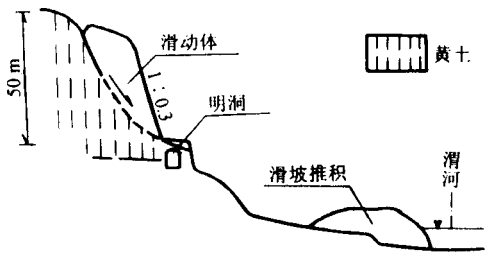


图 1－4 宝天线 K 1357 滑坡剖面示意图

宝成铁路和宝天铁路是全国滑坡病害严重且病害历史较长的铁路干线。如宝成线自 1956 年通车后，一场大雨就发生大小滑坡 70 多处，以后每年都有滑坡发生，雨季曾形成“十天九断道”的严重局面。该线 40 多年来累计用于滑坡的工程投资已大大超过新建时的工程投资。1981 年两宝水害时又发生数十起滑坡事故，直接危及行车安全。如宝天线 K1357 高速滑坡，体积约 60 多万立方米的土体从黄土塬的边缘地带下滑（图 1－4）,越过铁路、公路和民房,滑行数百米,直至渭河边,沿途将长 137 m 的明洞压坏，并砸坏民房 30 多间,又将 4 位过路人砸死，村民由于提前撤走，才未造成伤害。该滑坡高速下滑时，一列运行中的客车距滑坡处仅数百米，险些造成列车被埋的特大事故。又如鹰厦线，据 20 世纪 70 年代末统计全线发生大小滑坡 60 多处，平均每 100 km 达 8 处，曾是国内有名的病害线。再如成昆线虽在勘测期间进行大量的山地工作，选线中避开了一部分大、巨型滑坡，但在施工中仍有 104 处滑坡需要整治（包括既有的和施工中新发生的）。其中如狮子山滑坡群，曾采用多种措施，经过长期反复的整治才趋稳定。铁西滑坡发生于 1980 年雨季,铁路正式通车运营以后，由于当地在铁路边采石，引起古滑坡复活。200 多万 m^3 滑体

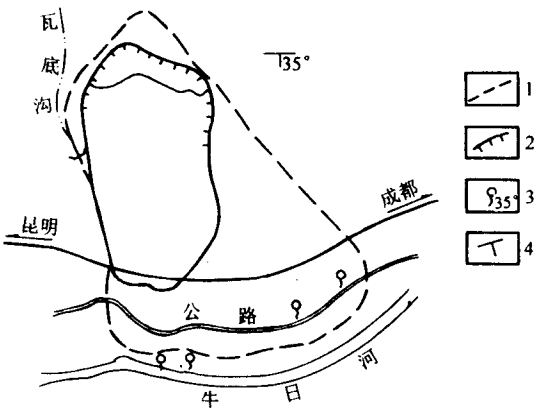


图 1－5 成昆线铁西滑坡平面示意图
古滑坡周界；2—1980 年复活周界；3—泉水；4 岩层产状。

骤然下滑，堵塞隧道洞口，越过铁路，水平位移达 120 m ,掩埋铁路长 160 m ,致使中断行车40 d (图 1－5),造成极大的经济损失。

华北地区滑坡，以太焦线最为严重。早在 20世纪 60年代初，在太焦线南段晋城地区，施工过程中就发生了许多红土滑坡，曾采用片石垛和重塑土反压等以土治土的方法，收到良好效果。及至 1972年太焦线北段施工时，发现和发生了大量滑坡，在全段 210 km 范围内，共有滑坡 64处，类型多样，规模大小不一。大者如牛晶坪和寨底破碎岩石滑坡，体积达 400～500万 m^3；小者如红崖和南旺地区的粘土滑坡，亦称杂色土滑坡，每处体积仅数万立方米，但数量多，成群出现。太焦线北段为整治滑坡，采取了多种整治措施，如清方减载、坡脚反压、排水（包括地表和地下排水）、抗滑挡土墙、抗滑桩和抗滑明洞等，应有尽有。为整治病害，不但花费大量的人力和物力，并且延误工期，经济损失是巨大的。

由于滑坡病害与人类的生产建设活动关系密切，影响极大。 50年代初各国开始对山体滑坡进行较系统的研究，包括动态观测、成因机理、分布规律和防灾措施等。有些国家并成立了专门委员会，如美国和日本分别在 1958年和 1964年成立了滑坡委员会，1968 年在布拉格成立了滑坡及其他块体运动国际委员会，并在 1977年 9月召开该委员会的讨论会，对滑坡及其他块体运动产生的机理、动态监测和防治对策等进行研讨。国外对滑坡的研究多数从动态观测入手，如日本是多滑坡的国家，大小滑坡都布设了动态观测，如埋设孔隙水压力仪，进行长期观测，并做出预测预报。对滑坡和不稳定山坡的防治以法律的形式做了规定，防治费用的 1/2～1/3 由政府负担。

我国对滑坡的研究是从宝成铁路开始。此后，随着各类建设工程的开发和施工，遇到了各种类型的滑坡病害，对滑坡的危害和性质逐步有了一些认识。许多单位结合生产，对滑坡的分类、分布规律、成因和预测预报，以及防治措施等边研究边应用，从实践中取得经验。据不完全统计,50 多年来，铁路系统治理滑坡超过 1 000起，积累了较丰富经验，但仍存在不少值得探讨的问题。如整治设计的安全度问题，作者认为：一处滑坡的整治设计是否成功，不仅要看山坡通过整治是否已趋稳定，还要看所采取的设计参数是否合理，那种任意加大安全系数、加大工程量的设计，不能视为成功的设计。

铁道科学研究院西北分院是我国铁路系统专门研究滑坡的机构之一，40多年来对铁路沿线滑坡进行大量的调查研究和参加整治工作，编写了《滑坡防治》等专著，为滑坡勘察和整治提供了参考依据，对我国滑坡的研究做出了很大的贡献。

对滑坡的治理工程，近年来有些单位采用了岩土工程的技术体制，取得明显的效果。所谓岩土工程体制是强调勘察、设计和施工三大环节的统一性和整体性，勘察者不仅要为整治工程的设计提供地质参数，而且要参与治理方案的论证、设计以及配合施工等全过程，其优越性在于：

1.勘察期间，勘察者可根据设计需要，有针对性的搜集地质资料，对设计必需的地质参数，要详细的搜集，彻底查清。如滑动面深度、地下水和滑带土强度等，要做到准确、详细；而对滑体和滑坡外围的地层岩性勘察和描述则可以简单些。

2.设计过程，可根据现场实际情况，决定整治方案，并根据实际选用设计参数，而不是死搬室内试验成果。如滑带的抗剪强度和推力计算的安全系数等，都必需根据现场实际，反复验算确定，否则易造成设计不安全或加大工程投资。

3.施工阶段，岩土工程师配合施工，可以随时核对基础资料是否与设计相符，并根据现场出现的新问题及时修改设计，使设计更符合现场实际，并从施工中得到经验，吸收经验教训。例

如太焦线北段进行滑坡病害整治时，采取谁勘察、谁设计、谁配合施工的一条龙措施，不但节省了人力和物力，而且加快了勘察设计速度，提高了质量，收到良好效果。

通过工程实践体会到，由于滑坡发生的地质条件复杂，作用因素众多，要弄清其发生和发展规律，并对其进行有效地防治，减少人为灾害的发生，除了多学科的专门研究外，还要普及滑坡的防灾知识，使有关的工程技术人员和专业施工人员对滑坡的成因机理、勘察方法、有效的整治措施，以及必须严格遵守的施工程序等有较深入地了解，才能做好整治设计，并使工程达到了预期的效果。

第二章　滑坡的特征和分类

第一节　滑坡与其他山坡变形的异同

斜坡上部分岩土体在重力、地下水和其他外力作用下，沿某一结构弱面（或软弱带）向下向外作缓慢或急剧滑动的一种坡体变形现象称滑坡（landslide）。如砂岩沿砂页岩交界面滑动 第四系地层沿基岩面滑动；部分粘性土沿某一圆弧面滑动等等。滑坡是诸多山体变形的一种，它与错落、崩塌、溜坍和泥石流等，既有明显区别，又是相互联系的。其中尤其是错落体与滑坡的区别常被人们忽视。其主要区别为：

1. 滑坡主滑段滑床坡度较缓，水平位移大于垂直位移；错落则以垂直位移为主，滑床坡度陡，没有牵引段，滑后地面坡度亦较陡(图 2－1)。

2. 除崩塌性滑坡和高速滑坡外，一般滑坡位移速度较缓慢，延续时间长；而错落反之，位移速度快，在很短时间内即达到新的平衡。

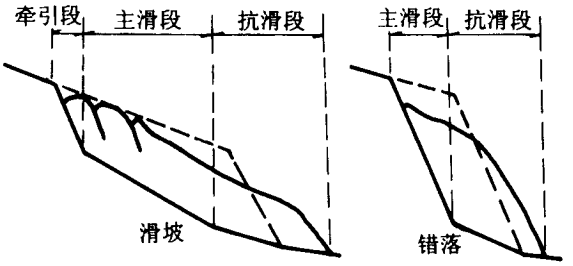


图 2－1　滑坡与错落形态比较示意图

3. 错落常发生在断层上盘的岩体中，沿断层破碎带产生滑动，而滑坡的依附面是多种多样的。

各类山坡变形的作用因素和运动形式见图 2－2。该图说明 崩塌的依附面陡，运动形式是以跳跃翻滚为主，速度快，没有固定滑床；溜坍一般滑层很薄，有时为水饱和，滑移后变形体大部离开滑床，堆积于坡脚(图 2－3)。而泥石流的变形体全部为水饱和，形成固体迳流而远离发

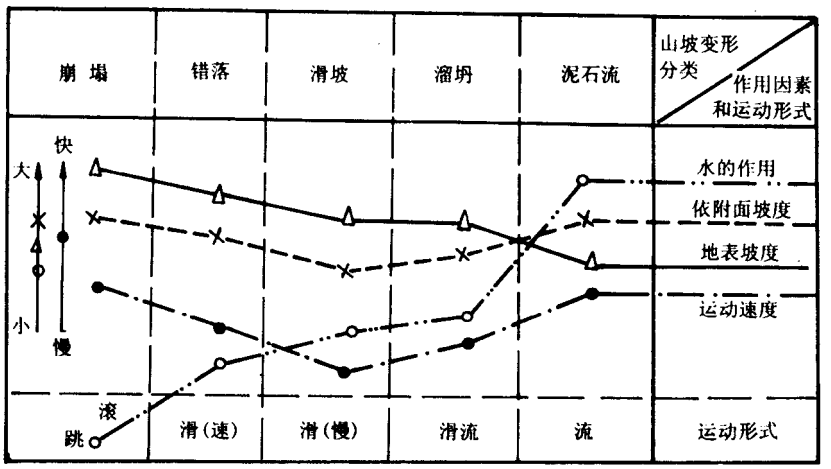


图 2－2　山坡变形按作用因素、运动速度和形式分类

需要全本请访问 www.ertongbook.com

生地等等。除此，各类变形体与滑坡的关系也很密切。错落即可能转化成滑坡；滑坡后缘发生崩塌，崩塌体的大量堆积，则可能成为滑坡体再次滑动的主要因素；在泥石流沟上游（供给区）和中游通过区，滑坡和溜坍的堆积物又常成为固体迳流的物质来源等等，表明各类山坡变形的因果关系。如在错落体下部开挖路堑或修建厂房，

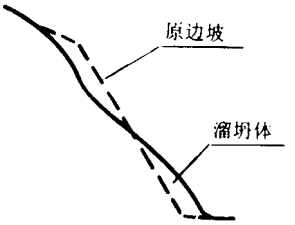


图 2－3　溜坍后地表形态

第二节　滑坡的结构要素

所谓滑坡要素是滑坡现象反映在地表的构造形迹和各部位的名称。一个发育完整的滑坡具备下图各种要素（图 2－4）。但并非所有的滑坡都有齐全的要素特征，许多滑坡由于受各种因素影响（如应力条件、剥蚀和堆积作用等），而失掉某些要素。

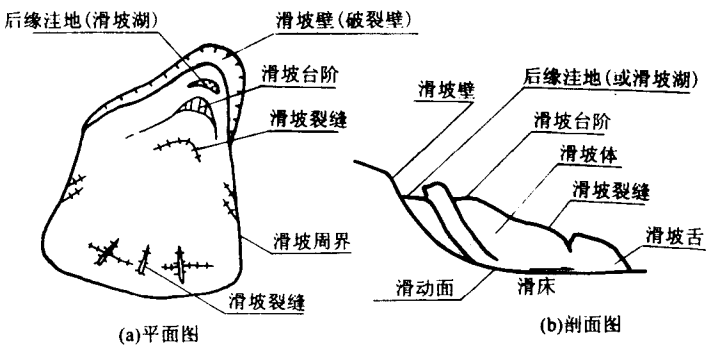


图 2－4　滑坡要素示意图

1. 滑坡体：滑动面以上已产生滑动变形的岩土体，称滑坡体。

2. 滑坡周界：滑坡体和周围不动体的平面分界线，包括后缘和两侧的破裂壁。不包括后缘破裂壁以外的张裂缝。

3. 滑坡壁：亦称破裂壁。滑坡产生位移后，在后缘和两侧出露的岩土陡壁，称滑坡壁。因滑坡壁系由剪切应力形成，因此，新生滑坡的滑坡壁常可找到明显擦痕。而古滑坡的滑坡壁因受表水侵蚀，擦痕不明显，并常被植被覆盖。

4. 滑坡台阶：滑体上由于各区段的滑动速度不同而形成的错台称滑坡台阶。台阶后壁常成弧形，台面微向后倾。数级弧形台阶的弧顶连线大致指向滑动方向。

5. 积水洼地和滑坡湖：滑坡后缘的下陷带或地表后倾时，易于形成积水洼地。有些大巨型的滑坡，当后壁为含水层，有大量地下水排出，则可能形成半月形的滑坡湖，如陕西省境内的卧龙寺滑坡的滑坡湖，水深十余米。

6. 滑坡裂缝：裂缝是山体变形的主要构造形迹，是判定山坡是否稳定的主要依据。滑坡裂缝根据其力学成因，可分为张裂缝和剪裂缝两大类。张裂缝根据其与滑坡滑动方向的关系，又可分为横张裂缝、纵张裂缝和雁式张裂缝等，将在第四章中详述。

7. 滑动面与滑动带：滑坡体依附于母岩作向下滑动的软弱结构面，亦即滑体与滑床的分界面，称滑动面。滑动面的主要特征是具有明显的滑动擦痕，擦痕的方向代表滑坡的滑动方向，平

行滑动面受揉皱的软弱带称滑动带，滑动带中的土层称滑带土，滑带土一般呈软塑或流塑状，厚数厘米至数十厘米不等。

8.滑坡床（亦称滑床）：滑体沿滑动面滑动时，被依附的下伏不动体。滑床常由较坚硬的岩层或土层组成。

9.滑坡舌：在滑体前缘伸入沟堑或河道中的舌形地带。新生滑坡的滑坡舌常由松散的堆积物组成；而古滑坡的滑坡舌大多已辟成耕地，堆积物比较密实。

第三节　滑坡的分类

对滑坡进行分类的目的在于对各种地质环境下所产生的各种滑坡现象进行概括，以便正确反映滑坡作用的某些规律性，从而利用适宜的滑坡分类去指导滑坡勘察和整治设计工作。因此，滑坡分类可根据不同的目的，有多种多样的分类法。目前使用较多的有以下几种：

一、按稳定性分类

可分成新生滑坡和古滑坡两类。新生滑坡就是近期产生的或近期仍有滑动变形的滑坡；古滑坡就是已稳定多年的古老滑坡，包括中、上更新世以前形成的掩埋式古滑坡。如太焦线牛晶坪地区滑坡，铁路施工前就是几处掩埋式古滑坡，表覆上更新统黄土，厚达数米至数十米。1975年由于铁路施工而造成古滑坡整体复活。

二、按动力形式和运动速度分类

前者可分成牵引式滑坡和推动式滑坡；后者可分为崩塌性滑坡、蠕动性滑坡和高速滑坡。所谓牵引式滑坡，就是认为滑坡源（即始滑点）发生于滑坡前缘，即前缘土体首先产生滑动变形，而后逐渐向上发展到整个滑坡。如开挖路堑所造成的滑坡，大多属牵引式滑坡。一般牵引式滑坡大多属浅层滑坡，滑层较薄，地表裂缝多，由前缘逐步向上发展。推动式滑坡则反之，始滑点发生于滑坡的中上部，大多由于中上部超载引起(如弃土超载等)，一般滑动面较深，体积巨大，整体性较好，地表裂缝较少。如长江三峡地区的新滩滑坡系因后缘陡壁坍塌所致，是一典型的推动式滑坡。

所谓崩塌性滑坡，即在滑动阶段速度快，时间短；而蠕动性滑坡则相反，有时一处滑坡可以延续数十年，以至数百年。前者如太焦线的丹朱岭滑坡，整个滑动过程仅数十分钟；后者如卧龙寺滑坡和宝天线的葡萄园滑坡等，一百多年前就有滑动变形迹象。

近年来我国发生一些高速滑动的滑坡。其主要特点是体积大，速度极快，行程远。因此，高速滑坡给当地居民造成极其严重的灾难。如1983年3月发生于甘肃省洒勒山滑坡，仅数十秒钟内就使3个村庄荡然无存，死亡230多人。滑下岩土4000多万立方米，使水库被填，河道堵塞，200 hm^2 农田被毁。又如陕南石家坡滑坡发生于1981年8月，体积40多万立方米，自高程925 m处高速俯冲下滑，冲击河流两岸，全程历时不到10 min，行程1 000多米，造成13人死亡，大批农田被毁。

三、按滑面与某主要结构面的关系分类

可分为同类土滑坡、顺层滑坡和切层滑坡三类。其中同类土滑坡系发生于第四系均质土层中的滑坡；顺层滑坡主滑段的滑面与层面、片理面或不整合面等构造裂面基本一致（近似平行）的滑坡；切层滑坡系主滑段滑面切穿上述构造裂面的滑坡。

四、按滑体的厚度分类（见表 2－1）

五、按滑坡规模分类（见表 2－2）

滑坡按厚度分类表表 2－1

分类名称	主滑段滑体厚度(m)
浅层滑坡	＜6
中层滑坡	6～20
厚层滑坡	20～40
巨厚层滑坡	＞40

滑坡按体积分类表　　表 2－2

分类名称	滑坡体体积(10^4m^3)
小型滑坡	＜4
中型滑坡	4～30
大型滑坡	30～100
巨型滑坡	＞100

注：有的文献将＞500×10^4 m^3 的滑坡定为超巨型滑坡。

六、按主滑面的成因类型分类

（一）堆积面滑坡：滑面由第三、第四系堆积作用形成的软弱面、基岩风化面和第四系内部的层面组成的滑坡。

（二）层面滑坡 滑动面由基岩层面和假(不)整合面形成的滑坡。

（三）构造面滑坡 包括滑动面由节(片)理面、断层面和侵入体与围岩的接触面等组成的滑坡。

（四）同生面滑坡：相当上述同类土滑坡。同生面是指滑动面与滑坡同时产生的剪切面。

七、按滑体的主要物质成分分类

（一）粘性土滑坡：此类滑坡大多发生于丘陵区和河谷阶地上。滑体由各类粘性土组成的滑坡，如华北地区的第三系红粘土；第三、第四系的杂色粘土；西南地区的成都粘土和其他一些残积粘土和砂粘土等。此类滑坡大多为中、浅层滑坡，规模不大，但经常成群出现，表面裂缝多，滑体比较破碎。粘性土滑坡一般滑床坡度较平缓，滑体都沿基岩面或粘土层中的软弱夹层、构造裂隙面等滑动。此外，粘性土滑坡还可以根据土的名称或主要特征划分。如太焦线的红粘土滑坡、杂色土滑坡；成昆线的成都粘土滑坡等。

（二）黄土滑坡：本类滑坡大多分布于高阶地前缘斜坡和黄土冲沟的沟岸上。各时期和各种成因的黄土均可能产生，其滑动面大部位于黄土与其他粘土或基岩的接触面上（图 2－5）。一般地下水比较丰富，滑面附近黄土土质松软，含水量大。此类滑坡的主要特点为：大部属中、厚层滑坡，规模较大，破裂壁高陡。有些黄土滑坡变形急剧，滑动速度快，具有崩塌性滑坡的特点。如前述卧龙寺滑坡和宝天线 K 1357 滑坡等。

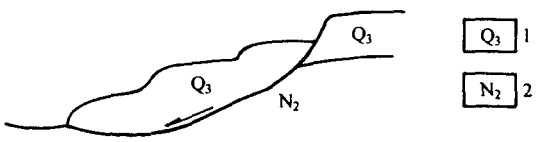


图 2－5　太焦线红崖地区黄土滑坡

1－第四系黄土；2—第三系杂色粘土。

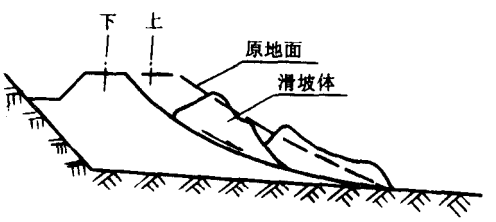


图 2－6　陇海线华山路堤滑坡

（三）堆填土滑坡：此类滑坡系人工填筑土（如铁路路堤）或弃土沿老地面滑动，或者填土内部产生滑动的一类滑坡，一般规模不大，大多属浅层滑动，滑床坡度较陡，滑体成分混杂，表面松散多裂隙。如陇海线孟塬至华山段，长 6.0 km，1964 年产生 4 处堆填土滑坡，旁山路堤外侧

边坡沿原地面或填土内滑动（图 2－6）。

（四）堆积土滑坡：此类滑坡多数分布于山麓地带和河谷两岸的山坡上，包括各种成因类型的角砾土和碎石类土沿基岩面滑动，以及堆积土内部的滑动。堆积土滑坡大部为浅层牵引式滑坡，常由于河岸冲刷或开挖山坡坡脚而引起滑动。如太焦线北段小东沟隧道进口的堆积土滑坡，即因开挖铁路路堑，破坏山体的平衡条件，促使山坡堆积土沿基岩面滑动（图 2－7），并将原设路堑挡墙从中剪断。

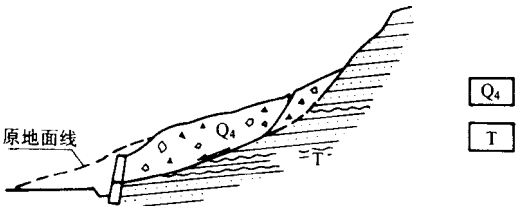


图 2－7　太焦线小东沟隧道出口堆积土滑坡示意图

Q_4—第四系山坡堆积（碎块石土）；T—三叠系砂泥岩。

堆积土滑坡在西南和西北山区分布十分广泛，据统计宝成铁路全线有堆积土滑坡 90 多处，主滑段绝大多数是沿基岩顶面滑动，构成滑床的基岩岩性多为软弱易风化的泥页岩和炭质页岩等。显然，区域古地貌发育过程所形成的剥蚀洼地是此类滑坡产生的重要条件。由于组成堆积土的物质均为第四系松散土石，结构疏松，透水性强，造成地下水于基岩面附近汇集，土石强度降低而产生滑坡。

（五）破碎岩石滑坡：所谓破碎岩系指由于早期山坡变形（岩石滑坡或错落体）、断裂构造和风化作用所造成的，被各种结构面所切割的破碎岩体，此类岩体虽经扰动或变位，但仍保留原有的结构和构造特征(如层理、片理等)，因此，它与一般的山麓堆积物或基岩有明显区别，发育于此类破碎岩体中的滑坡称破碎岩石滑坡。此类滑坡大多分布于基岩山区和大河峡谷区，并与区域断裂构造有密切关系。如成昆线甘洛至尔赛河段，线路接近平行于毕吱山断裂，该断裂破碎带宽达 400～500 m，位于断裂带中的牛日河谷，滑坡分布集中，据调查发现大小滑坡 30 多处。

破碎岩石滑坡大多属巨型厚层或巨厚层蠕动性滑坡，体积从数百万方至数亿立方米。如太焦线的牛晶坪滑坡、寨底滑坡和南同蒲线的冷泉滑坡，体积均在 400～500 m^3 以上；而宝天线的葡萄园滑坡体积达数亿立方米。我国北方有些破碎岩石滑坡不但体积大，历史也很悠久，在第四纪早期就曾产生过剧烈滑动（或错落），以后又稳定下来，并在表面沉积很厚的黄土，而成为埋藏式的古滑坡。

（六）岩石滑坡：岩石滑坡系产生于基岩中的滑坡。据调查，岩石滑坡常为顺层滑坡。如贵昆线过马河至曲靖段，通过泥盆系下统石英砂岩夹泥岩及志留系砂页岩时，由于层理倾向河谷，顺层滑坡甚为发育，据统计全段共发现岩石顺层滑坡 20 多处（图 2－8）。

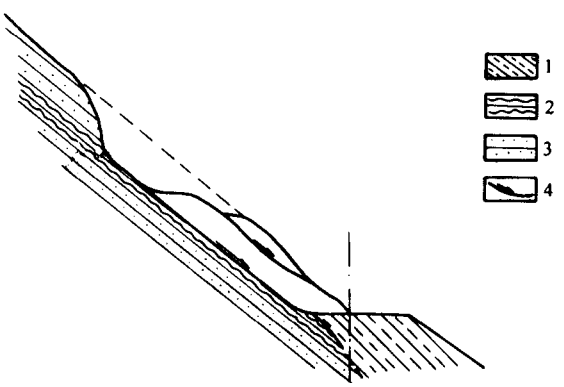


图 2－8　贵昆线 K 519 岩石顺层滑坡示意图

1　砂粘土；2—泥页岩；3　砂岩；4—滑动面。

以上按滑体主要物质组成的分类方法，是目前工程上比较常用的方法之一。此种分类法的划分原则为：当同一滑体由两种以上岩土组成时，按其中占优势的一种岩土确定滑坡类型。如果一滑体由数种岩土组成，而且厚度差不多时，则按紧靠滑床的那部分滑体的物质组成确定滑坡类型。因此，这种分类法的缺点是有时不能直接反映滑坡稳定性与滑体组成物质的关系，如滑坡的稳定性主要取决于紧靠滑床的那部分滑体的岩性特征，而上部滑体即便体积再大亦仅起到荷载的作用。

第三章　滑坡的成因机理和影响因素

第一节　滑坡的成因机理

已如前述，滑坡是斜坡岩土体在重力和水，以及其他外营力的作用下，沿某一结构弱面产生剪切破坏的一种不良地质现象。显然，斜坡的稳定性取决于岩土（尤其是软弱结构面）的抗剪强度。岩土依附于某倾向临空面的结构面上，当结构面上所受的剪应力大于结构面的抗剪强度时，斜坡即可能产生滑动变形。

根据库伦公式，岩土的抗剪强度 $\tau=\sigma\tan\varphi+c$，由于软弱结构面上的 c、φ 值低于周围岩土体，易于产生应力集中，因此，当结构面上某点或某部分的应力达到和超过其抗剪强度时，即首先产生剪切破坏，该点或该部分称滑坡源，或称始滑点(或带)。在此基础上向外发展扩大，最终形成整个滑动面(带)。就是说，一个完整的滑动面(带)是逐渐形成的。即软弱结构面中，某一单元体首先被剪断，而后逐步延伸，形成一个完整的滑动带。从上述情况表明：已有软弱结构面的存在，是多数滑坡产生的主要原因，这些软弱结构面包括坡洪积物的下伏基岩面、不同成因、不同成分和不同结构的堆积面、岩层中的软弱夹层和断层带等。而造成软弱结构面（或带）应力集中以致破坏的基本条件是：(1) 软弱结构面有一定的陡度（一般从 5°～30°），并倾向临空面，而且临空面的坡度大于软弱结构面的坡度；(2)水的作用，使软弱结构面被软化，抗剪强度降低。

由上所述，完整的滑动带形成后，滑坡即整体地或分块的向前移动，当位移达到一定距离后，由于动、位能的逐渐消失，山体达到新的平衡状态，滑坡即渐趋稳定(或稳定)。因此，一处滑坡的产生和发展过程大致可分为以下四个阶段：(1)蠕动阶段。形成始滑点或始滑带，地表没有明显的变形迹象；(2)微滑阶段。滑动带基本形成，地表开始出现一些裂缝，有些建筑物开始变形开裂；(3)剧滑阶段。山坡整体或分块的向前移动（剧烈或缓慢的），裂缝扩大延长，形成完整的滑坡周界；(4)固结阶段。山坡变形速率减小，以致停止滑动，滑坡裂缝逐渐闭合或消失，建筑物变形停止。但固结阶段有时是暂时的，如滑体内应力继续聚集，或外部条件改变（如填土或边坡开挖），不平衡因素再次积累，达到一定程度，山坡将再次滑动。

第二节　影响山坡稳定的主要因素

滑坡的产生和分布与特定的自然环境和区域工程地质条件关系密切，而不同类型的滑坡，其空间分布特点，又取决于特定的地质地貌条件和人类工程活动的方式和影响程度。有关滑坡的发生规律和影响因素，铁路系统在 20 世纪 70 年代曾有组织地进行全面的普查工作，通过普查表明：影响山坡稳定（滑坡）的因素很多，但以下几种因素对山坡的稳定和滑坡的产生起控制性的作用：

一、地层岩性

从滑坡分布规律看，地层岩性特征是控制山坡稳定性的主要因素之一，地层内含易滑岩层

和软弱夹层是造成山坡不稳的必要条件。因此，有些研究者通过普查，将各类地层根据其易滑性归纳为以下十大岩组：

（一）粘性土岩组：包括第四系冲洪积、湖积粘土、残积粘性土，和部分第三系粘土岩等；

（二）黄土岩组：包括各种成因年代的黄土；

（三）堆积土岩组：包括第四系坡积和崩积为主的松散堆积物；

（四）砂砾泥岩岩组：包括第三系及以前各系的砂砾泥岩；

（五）砂页岩岩组：包括第三系以前各系的砂页岩；

（六）含煤砂页岩岩组：包括各时代的煤系地层；

（七）碳酸盐岩组：包括各时代的石灰岩、白云岩、大理岩、泥灰岩夹薄层泥质和钙质页岩等；

（八）变质岩岩组：包括各时代的板岩、千枚岩、片岩和片麻岩等；

（九）侵入岩岩组：包括花岗岩及其他火成岩侵入体；

（十）火山岩岩组：包括凝灰岩、流纹岩和玄武岩等火山岩。

以上十岩组中，(一)(三)(五)(六)(八)五种岩组属易滑岩组，容易产生滑坡，其余五岩组属稳定岩组，只在特定条件下产生滑坡。根据成都铁路局统计：局管内共有滑坡 298 处，其中粘性土滑坡和堆积土滑坡即有 200 处，约占 66%。太焦线北段在施工中遇到滑坡 64 处，其中杂色土滑坡即占 70%以上，说明在 5 个易滑岩组中，(1)(3)岩组所占比例更大。

有些研究者从产生滑坡的难易程度和实际产生滑坡的数量，将岩土分为三大类：

（一）第四系及第三系松散堆积物；

（二）软质岩石(极限抗压强度小于 3 000 kPa)；

（三）硬质岩石（极限抗压强度等于或大于 3 000 kPa)。

研究者认为第四系和部分第三系的松散堆积物最易于产生滑坡，如粘性土滑坡、堆积土滑坡、黄土滑坡和堆填土滑坡等。尤其某些胀缩性较强的粘性土，滑坡现象更是常见。如华北地区的第三系和第四系早期粘土、西南地区的成都粘土等。由于此类粘土均属超压密粘土，具有干缩湿胀和卸荷膨胀的特性，当边坡开挖后，由于卸荷膨胀，裂隙松弛，块体间的联接力减弱，裂隙中水的活动增强，从而使粘土泥化，强度降低，而形成滑坡。

软质岩的存在，不但容易产生岩石滑坡，而且大多数堆积土滑坡也多产生于软质岩分布区。这是因为软质岩经风化剥蚀后，产生大量的山坡堆积物，易于形成堆积土滑坡。

硬质岩地区只在特定条件下产生滑坡，如断层破碎带附近或者大爆破地区等。

二、地质构造

根据调查，地质构造与山坡变形关系密切，以下地区是滑坡最发育的地段。

（一）区域地质构造复杂，新构造活动性强的地区。如西南峨嵋山块断带，大娄山、碧鸡山和龙门山等褶断带地区，构造复杂，地震活动频繁，滑坡亦很发育。

（二）较大断裂破碎带附近，岩层破碎，地下水丰富，有利于滑坡的产生，常是滑坡密集分布的地段。如成昆线白果至拉白段（图 3－1)，位于普雄大断裂影响带中，岩体破碎，山坡不稳，在 40 km 范围内，发现和发生滑坡 20 多处。又如太焦线北段，在 15 处破碎岩石滑坡中，有 13 处与断裂构造有关。其中如牛晶坪地区，有二条压扭性断层通过，致使象峪河两岸滑坡均甚发育（参见第六章图 6－1)。显然，一些较大的断裂构造直接控制滑坡及其他山坡变形的分布格局。

需要全本请访问 www.ertongbook.com

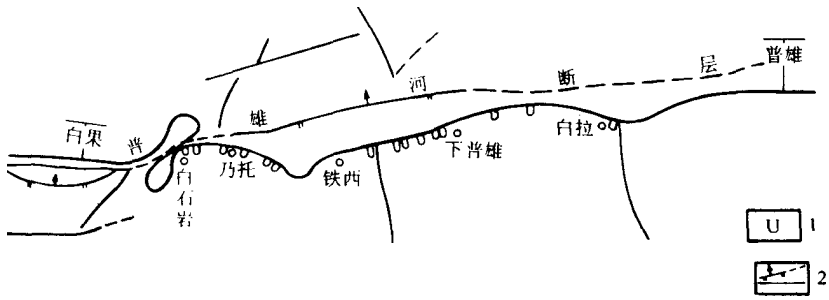


图 3－1　普雄河右岩滑坡分布图

1—滑坡；2—断层。

（三）层理产状与山体滑坡的关系密切。当层面倾向与山坡坡向一致，而且山坡坡度大于岩层倾角时（所谓顺向坡），就易于产生顺层滑坡，倾角越大，山坡越不稳定。尤其当层间夹有软弱夹层时，更易于产生滑坡。如朔黄线通过浮沱河峡谷区时，遇到一些古老的变质岩，如千枚岩、片岩和片麻岩等，当片理倾向河边的地段，可见到一些岩石顺层古滑坡（图 3－2）。

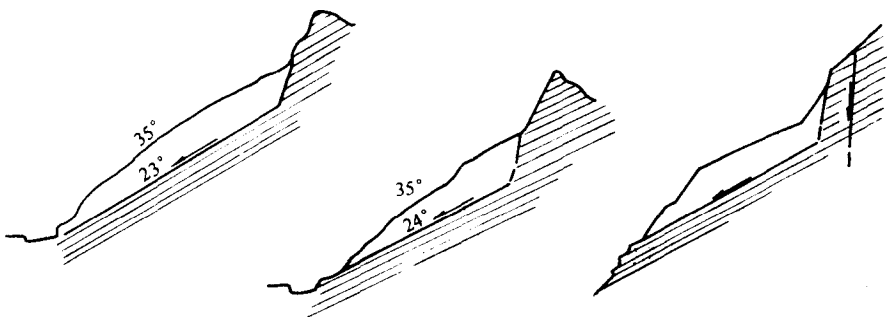


图 3－2　朔黄线变质岩区几处顺层古滑坡示意图

除此，一些河湖相的层状粘土，当层理或不整合面倾向临空面时，也易于产生滑坡，如太焦线红崖地区的杂色土滑坡，大都是顺层滑动的。因此，在小河两岸边坡稳定情况截然不同，东岸由于层理倾向河边，滑坡密集，在近 8.0 km 的线路间发生大小滑坡 15 处，而西岸则很少见（参见图 6－19）。

三、地形地貌

在一定的岩性和构造的条件下，地貌单元和山坡地形对滑坡的产生起着决定性的作用。不同地貌单元对滑坡的分布密度、滑坡规模、类型，以及产生滑坡原因都有明显的差异。如冲积平原区，地形平坦，几乎没有滑坡产生。而河谷冲积阶地区，滑坡常出现于阶地前缘斜坡上，大多为粘土滑坡或黄土滑坡。侵蚀堆积丘陵区，是堆积物经后期侵蚀而成的低缓丘陵，一般以粘性土滑坡为主，规模不大。如成昆线的狮子山滑坡、太焦线的红土滑坡和杂色土滑坡等。剥蚀中、低山区，山坡陡峻，基岩裸露，坡脚经常有堆积物分布，此区主要发育岩石顺层滑坡、破碎岩石滑坡和堆积土滑坡等，此类滑坡一般规模巨大，年代久远，常经历过多次的复活和稳定阶段，如宝成线、宝天线、成昆线和太焦线北段的一些巨型滑坡均发生在山区和狭谷地带。长江三峡地区也有许多此类超巨型滑坡，如新滩滑坡等。

从山坡坡度看，一般情况下，岩性相同时，山坡越陡，边坡越不稳定；岩性不同时，就可能出现相反的情况，如陡山坡间的缓坡段，常是不稳定地段，这是因为缓山坡地段常有大量的山麓堆积和坡积物，或是古滑坡分布区，铁路工程的施工容易产生山坡变形，或使古滑坡复活。成昆线、鹰厦线和太焦线等线都曾遇到类似问题，因此，有人总结山区选线的经验和体会是：“宁陡勿缓”。

另外，山坡古地貌的形态（埋藏沟槽）对某些土质滑坡的产生亦有密切的关系。如堆积面上的基岩斜坡或古沟槽倾向临空面时，容易产生堆积土滑坡、黄土滑坡和某些粘土滑坡。

四、水的作用

地下水的存在是产生滑坡的重要因素之一，无水不滑是滑坡的普遍规律。水的作用主要是使岩土软化，抗剪强度降低，并产生动水压力，而促使山坡滑动。

对滑坡起控制作用的地下水，主要富集于斜坡洼地、基岩顶面洼槽、岩土中的含水层、软弱夹层、构造破碎带、基岩风化带、破碎岩石与完整岩石的交界面附近，以及滑坡的滑动带中。水量大小不一，有些滑坡虽然水量不大，甚至只见过湿带，但仍然对滑坡产生明显的作用。地下水的补给除部分来自深层地下水（通过断裂构造）外，主要来自地表降水，因此，滑坡都发生于雨季，或者在雨季变形加剧。

五、外营力改造和人类的工程活动

外营力改造主要包括水流（河流、湖泊、海浪）的冲蚀和地震两大部分，而人类的工程活动则较复杂，包括各种类型工程建筑施工，如铁路路堑开挖和厂房建设等等。

（一）水流的冲蚀：主要是河流冲刷和击浪的冲蚀等。尤其是河流的下切和旁蚀作用，冲刷山坡坡脚，改变山体的外形，破坏山体的平衡条件而产生滑坡。如宝天线的葡萄园滑坡（图 3—3），早期山坡变形即因渭河顶冲坡脚所致，后经多次修复防护工程，阻止河水的直接冲刷，才使山体暂趋稳定。

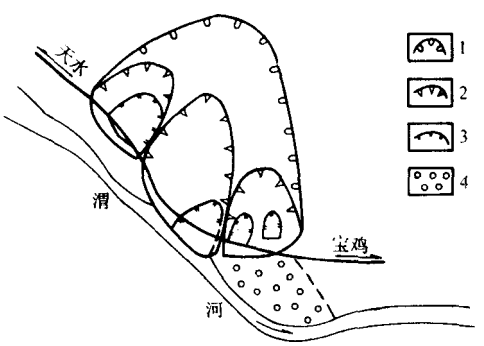


图 3—3 葡萄园滑坡平面示意图

1—古错落；2—古滑坡；3—现代滑坡；4—河漫滩

又如南同蒲线冷泉滑坡，位于汾河的峡谷地段，早期的山坡变形是由于汾河的下切和旁蚀作用，而形成体积近 200 万 m^3 的巨型破碎岩石古滑坡，前缘伸入汾河达 130 m 以上（详见第六章实例五）。

（二）地震滑坡 在强烈地震的过程中，由于惯性力的作用，导致山坡的稳定系数减小而形成滑坡。已产生滑坡的地段，更由于水平惯性力的作用，使下滑力增加，抗滑力减小，并引起孔隙水压力增大，而使滑坡变形加剧（图 3—4）。有关研究者通过有关公式计算，设地震前山坡的稳定系数 $K=1$，则地震时 $K=0.8$，约降低 20% 左右。根据统计：由地震触发的滑坡 90% 以上属崩塌性滑坡，速度快，动能大，滑体经常滑出滑床，堆积于坡脚或河道中。如 1976 年 8 月松潘、平武地震时发生的草源滑坡（图 3—5），长 110 m，宽 120 m，体积约 8 万 m^3，滑体从高 160～260 m 处滑下，沿斜坡滑行 300 m 。地震滑坡按发生的时间可分为两种类型：(1)同发型滑坡，即滑坡和地震同时发生；(2)后发型滑坡，即地震以后发生的滑坡。根据统计，前一种滑坡仅占 10% 左右，而后发型滑坡却十分普遍，这是因为地

震力的作用使山体产生裂缝，局部地段山体有位移现象（蠕动），但尚未能使山体整体滑动，只等雨后表水沿地震裂缝下渗，使土体软化，强度降低到某种程度，山体才开始滑动。如 1976 年云南龙陵地震，后发型滑坡约占 95%以上；又如日本新潟神谷县滑坡的三次复活均与地震有关。

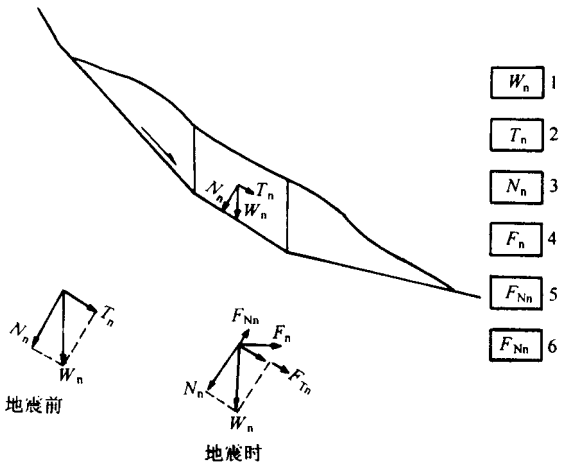


图 3－4　滑坡斜坡上地震应力分解示意图

1—第 n 块滑体重；2—第 n 块下滑力；3—第 n 块法向应力；4—地震应力；5—地震应力沿滑面分力；6—地震应力法向分力。

（三）人类的工程活动。据统计，铁路沿线滑坡有 40%以上是在铁路施工中产生（包括古滑坡复活）；而太焦线有 90%的滑坡是在施工中产生的。工程活动造成滑坡的主要原因有以下几方面：

1. 开挖路堑或填土（或弃土）超载，破坏山体的平衡条件。如太焦线的牛晶坪滑坡，原为一古滑坡，已稳定数十年，后因修建铁路，在滑体中部开挖路堑，并且在前缘弃土而使古滑坡复活，导致铁路中线偏移，山坡出现新裂缝。根据观测：每年位移 0.1～0.2 m。虽然变形缓慢，但也不能掉以轻心（详见第六章实例一）。又如成昆线狮子山滑坡群，亦系路堑开挖所致。

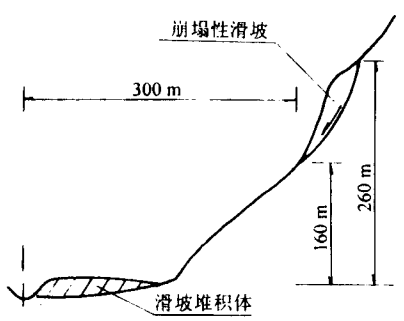


图 3－5　草源滑坡纵断面示意图

2. 改变表水和地下水的补给和排泄条件，而引起地下水滞留和汇集，造成土体软化，动水压力增加。如在山坡上开挖水渠，引水灌溉，或在山顶开挖坑塘储水等，造成大量表水下渗。前者如前述卧龙寺滑坡；后者如太焦线南段的部分红土滑坡（详见第六章实例四）。

3. 采用大爆破开挖路堑，促使岩体松动而导致滑坡。如太焦线北段寨底滑坡即因受附近施工大爆破影响，致使滑坡变形加剧。又如该线北段贯石沟滑坡也与大爆破有关。

4. 施工程序不当。如路堑开挖或清方减载不是按设计坡度自上而下进行，而是从坡脚往上挖，所谓挖神仙土等，必然导致斜坡滑动或滑坡发展扩大。因此，滑坡整治工程是否能达到预期的效果，除了整治措施要正确外，还取决于是否按设计要求施工，即一个正确的设计要以正确的施工为保证。

第四章　滑坡区勘察

滑坡勘察的目的是通过调查、勘探和测试工作，了解滑坡的性质、规模和动态特征等，为评价滑坡稳定性和滑坡整治设计提供依据。其内容包括滑坡调查、勘探、土工试验，滑坡的动态观测和资料整理等。

第一节　滑坡区调查

通过外业调查和资料搜集，要初步查清以下问题：(1)滑坡区的地貌单元、地层、构造、岩土特征和地下水分布；(2)圈定滑坡周界，调查微地貌特征，填绘滑坡区地质地貌图；(3)滑坡类型、产生原因和滑动方向，并估算滑动面埋深；(4)分析滑坡的发展过程，目前稳定性和发展趋势；(5)提出绕避或整治滑坡的措施方案。其中（1)、(3)中部分已在本书第二、三章中介绍，(5)方面问题在第五章中阐述。本节主要探讨（2)、(4)方面的问题。

一、滑坡区微地貌特征和滑坡周界的确定

滑坡微地貌是滑坡形态要素在地表的展布，它代表山坡变形的地面应变图像。因此，不同发展阶段的滑坡表现为不同的微地貌特征。

(一)新生(或活动性)滑坡的地貌特征

1.滑坡裂缝：处于变动的滑坡可模拟为四周受限，平面受力的结构体（即把空间问题简化为平面问题），在外力作用下，滑体的各部位陆续出现各种应力构造形迹——裂缝、台阶、洼地、隆丘和醉林等等。这些构造形迹都与某一方向的应力有着成生的联系，都体现一定的应力特征。滑坡裂缝是滑坡过程中最常见最具代表性的构造形迹，而且不同部位形成不同类型的裂缝。如果将滑坡的发展过程分为：蠕动、微滑、剧滑和固结四个阶段，则在一、二阶段滑体上分布的裂缝绝大部分属于张裂缝，这是因岩土都具有一定的抗压和抗剪强度，而抗拉强度最小。因此，当应力超过材料的抗拉强度时，首先产生垂直拉应力方向的张裂缝，其应力网络和裂缝迹线见图 4－1。据此，对应力状态较简单的滑坡，可根据裂缝的展布确定滑坡的滑动方向。而且，如前所述，根据裂缝的走向与主滑方向的关系，又可将张裂缝分为横张裂缝、纵张裂缝和雁式

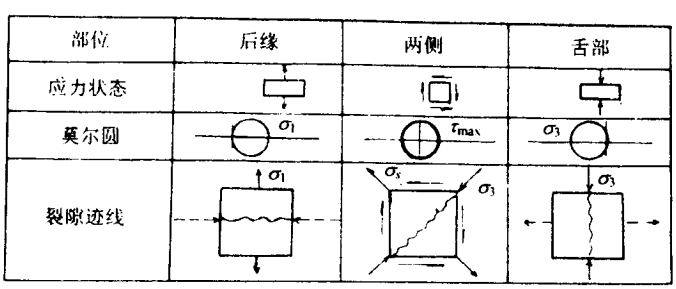


图 4－1　滑体各部位应力网络和裂隙迹线分析图

张裂缝三类（图 4－2）。由图 4－2 可以看出：横张裂缝垂直主滑方向；两侧雁式张裂缝与滑动方向成一定交角（一般小于 45°）；而中下部及前缘的纵张裂缝与主滑方向基本平行等。但当滑体各部位的位移速率不一致时，则可能出现较复杂的构造形迹，如有时在滑体中部出现纵张裂缝或剪裂缝。如太焦线牛晶坪 3912 滑坡，施工过程于 1976 年元月，在滑体中部线路两侧发现两组互相交叉的张裂缝（图 4－3），通过分析，认为其破坏机理为：

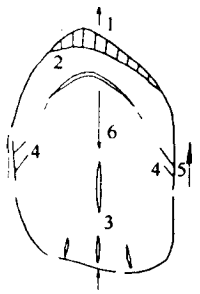


图 4－2 各类裂缝的成因分类
1—破裂壁；2—横张裂缝；3—纵张裂缝；4—雁列张裂缝；5—剪裂缝；6—滑动方向。

（1）线路右侧裂缝 a 属横张裂缝，但带扭性，应力方向接近 310°，与裂缝走向成较大交角，因此裂缝 a 两端的雁式张裂缝，一端位于横张裂缝的前面，另一端则在其后面；

（2）线路左侧的张裂缝长 20 多米，顺直，延伸方向 310°，中间宽两端窄，显然属纵张裂缝，裂缝延伸方向即主应力方向，参照其他形态调查资料，确定该滑坡主滑方向为 310°，并据此确定抗滑桩的排列方向。后经基坑实测证实符合实际情况。

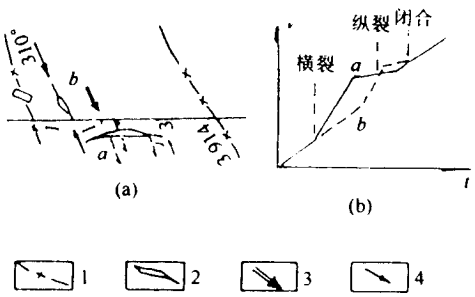


图 4－3 3912 滑坡中部裂缝成因机理分析
1—滑坡周界；2—纵张裂缝；3—滑动方向；4—滑动应力。

（3）成因过程：由于施工影响，a 裂缝以下滑体（简称 a 滑体）位移速率突然加快，而形成 a 裂缝，接着 a 裂缝以上滑体（简称 b 滑体）位移速率亦跟着加快，推挤 a 滑体，而产生纵张裂缝 b。3 个月后，a 裂缝自行消失，说明 b 滑体继续对 a 滑体的推挤，而使 a 裂缝又重新闭合。其速率变化和裂缝发展过程见图 4－3(b)。

总之，滑坡裂缝按力学分类，可分为张裂缝和剪裂缝两大类。而张裂缝又可分为横张、纵张和雁式三类，各类张裂缝的共同特点是：裂面粗糙，无擦痕。其中横张裂缝常成弧形，一般延伸较长，弧尖背向滑动方向；纵张裂缝比较顺直，常成梭形，延伸不远；雁式张裂缝分布于滑体两侧，成雁式平行排列，短而平直。剪裂缝的主要特点是：裂面光滑，有明显擦痕，裂缝和擦痕走向与滑坡的滑动方向基本一致。值得提出的是，虽然裂缝是滑坡的主要标志，但要注意与采空区塌陷和地基沉陷等所产生的各种裂缝相区别，后者一般以垂直位移为主。

2. 滑坡壁和滑坡台阶：滑坡壁和台阶已在第二章第二节中叙述。滑坡壁的倾角（α）取决于岩土的性质，对土质滑坡，$\alpha \simeq 45° + \frac{\varphi}{2}$；若为岩石滑坡则常与岩体中原有陡倾结构面基本一致。滑坡台阶后壁一般没有擦痕，因台面后倾，常形成积水洼地。

3. 醉林和马刀树：近期产生滑动的山坡，滑体上树木亦随之产生歪斜（向后或向前），有的甚至倒下，这类歪斜倾倒的树木称醉林。当滑坡暂时停止滑动后，歪斜的树木又逐渐向上生长，而成为下部歪斜上部垂直生长的马刀树。马刀树的分布是山坡暂趋稳定的特征。

4. 建筑物变形倒坍并位移：如太焦线寨底滑坡，铁路施工期间，由于滑坡变形加剧，位于滑体上的寨底村墙体开裂，门窗歪斜；南段丹朱岭滑坡，山体变形时，将铁路向右推出数米；又如宝天线的葡萄园滑坡，由于山体长期缓慢地滑动、使桥台位移、侧沟下陷等等，皆因山坡滑动形成的微地貌。但要注意与采空区塌陷或黄土湿陷等地下变形所引起的地表建筑物变形相区别。

(二)古滑坡的微地貌特征

所谓古滑坡是指目前处于稳定状态，并已稳定多年的老滑坡，因此，上述各种要素有的已经消失，有的很不明显，判定山体是否曾经滑动过，主要根据以下微地貌特征进行判断：

1. 宏观地貌特征：如陡山坡间的山坡洼地成圈椅状，上部常有第四系土层覆盖，有时厚达数十米，地表大部已辟为耕地，有时还有村庄。如太焦线的牛晶坪滑坡，南同蒲线的冷泉滑坡，铁路施工前均为古滑坡；又如陇海线的华山滑坡，位于旧华阴县的华山北麓，十多里外就可看圈椅状的滑坡壁。

2.双沟同源与反向河弯：双沟同源是两沟的源头几乎联接在一起，但到下游却离得很远，与一般沟谷的发育规律相反，这是冲沟沿滑坡周界发育的结果。

反向河弯是在河流的凹岸地段，突然出现一段凸出的河岸，使河道窄（图 4－4）。如南同蒲线的冷泉滑坡，双沟同源和反向河弯的地貌特征均很明显。据勘探该滑坡曾向汾河移动 130余米，所以出现典型的反向河弯。

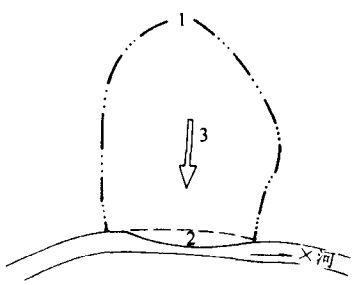


图 4－4　双沟同源、反向河弯示意图

1　双沟同源；2　反向河弯；3　滑动方向

3. 串珠状黄土陷穴：分布于北方的一些古滑坡，地表常为黄土覆盖，当古滑坡发生间歇性蠕动时，沿蠕动的周界又发育成冲沟，并在冲沟中或滑体上发育许多黄土陷穴，分布于沟中的陷穴，从上到下构成串珠状。有时分布于滑体上的黄土陷穴成椭圆形，长轴平行排列成雁行式（如寨底滑坡）。

此外，马刀树也是古滑坡体上植物生长特征，已在前节中叙述。

总之，对中小型滑坡，根据以上微地貌特征，便可圈定滑坡周界。但对一些变形较缓慢的蠕动性滑坡，当上述特征并不明显时，就需通过位移观测才能确定。

二、判定滑坡滑动方向和滑面深度的方法

确定滑坡的滑动方向和深面深度是评价滑坡类型、滑动规模和整治措施等的主要依据。但精确的确定滑向和滑面深度要通过勘探和位移观测确定（此问题在下节专门介绍）。通过形态调查初步判定滑向，主要是根据裂缝和滑坡台阶分析确定。如横张裂缝一般与滑向垂直；纵张裂缝和剪裂缝平行于滑向；滑坡台阶的延伸方向基本垂直滑向等，在前节中已说明。

滑坡的滑动方向取决于临空面的坡向和滑坡床的形态，对滑床形态简单并大致垂直临空面的滑坡，滑动方向基本是平行的直线运动，如岩石顺层滑坡等。而当滑床形态复杂时，则滑向可能呈放射状或曲线运动特征。后者如太焦线的效口滑坡（图 4－5），主滑方向联线成一弧形。

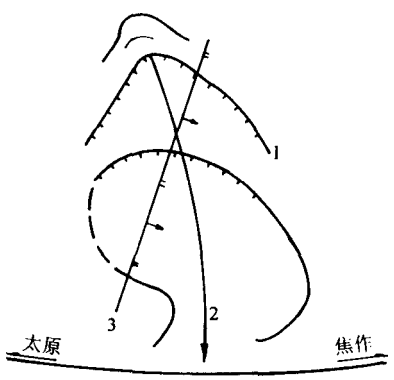


图 4－5　太焦线郊口滑坡平面示意图

滑坡周界；2--主轴滑动方向；3 -正断层。

滑动面深度的估算是为分析滑坡类型、滑动规模，从而确定勘探深度和勘探点位置（不提正式资料），以及选择勘探手段等。一般可根据裂缝密度和滑体破碎程度初步判定，如浅层滑坡裂缝

需要全本请访问 www.ertongbook.com