



# 滑坡基础知识

柳 侃

福建省地质灾害防治重点实验室

2014年6月28日

# 第一章 认识边坡

- 什么是边坡

边坡是自然或人工形成的斜坡，是人类工程活动中最基本的地质环境之一，也是工程建设中最常见的工程形式





深度超过 850m的智利丘基卡马塔（Chuquibambilla）铜矿

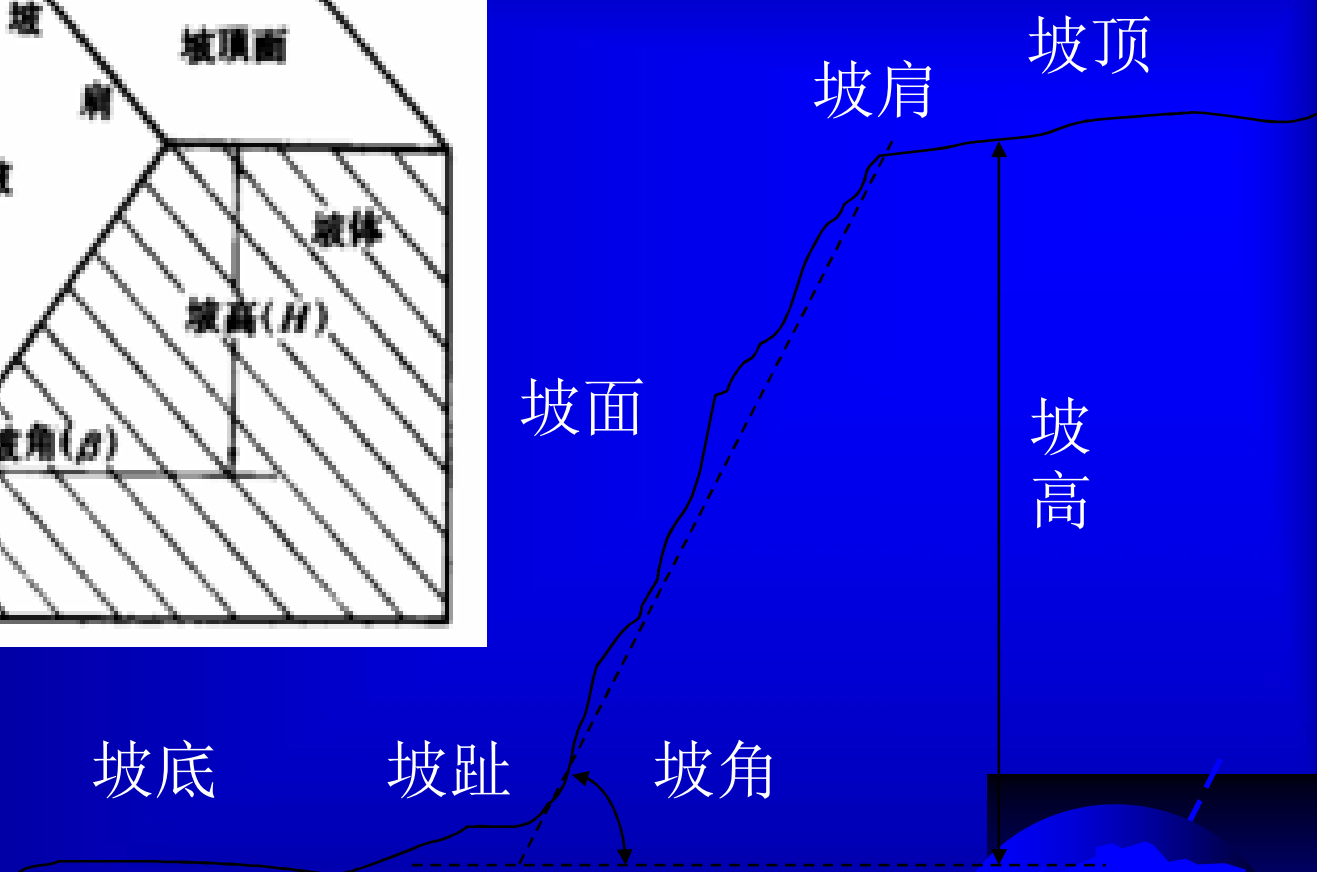
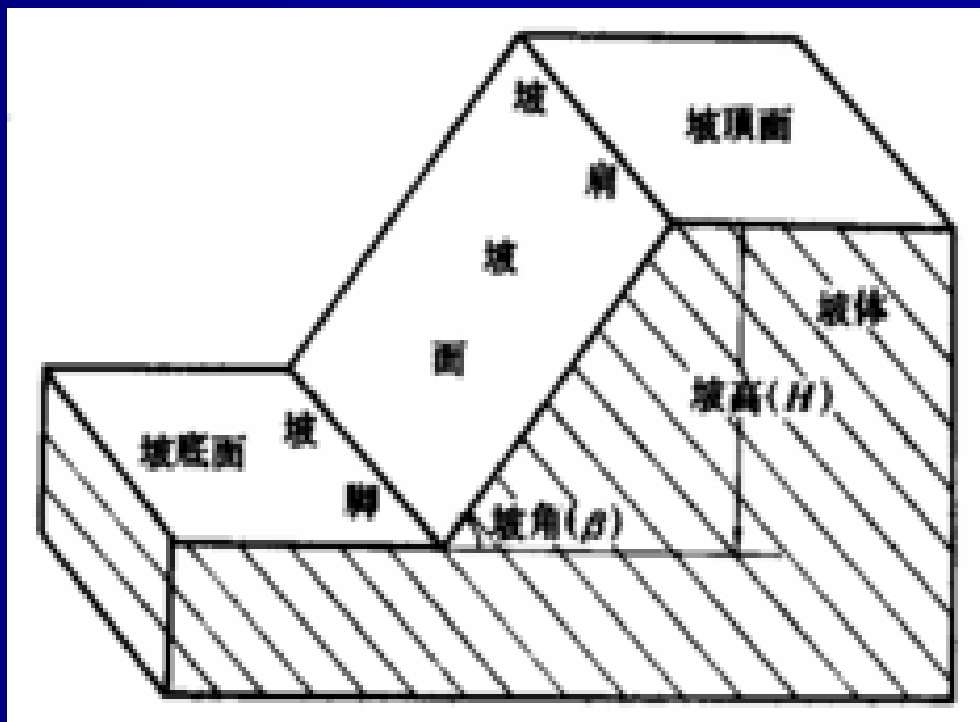


舟山国家石油储备基地高边坡









边坡的构成要素



## ● 边坡形态

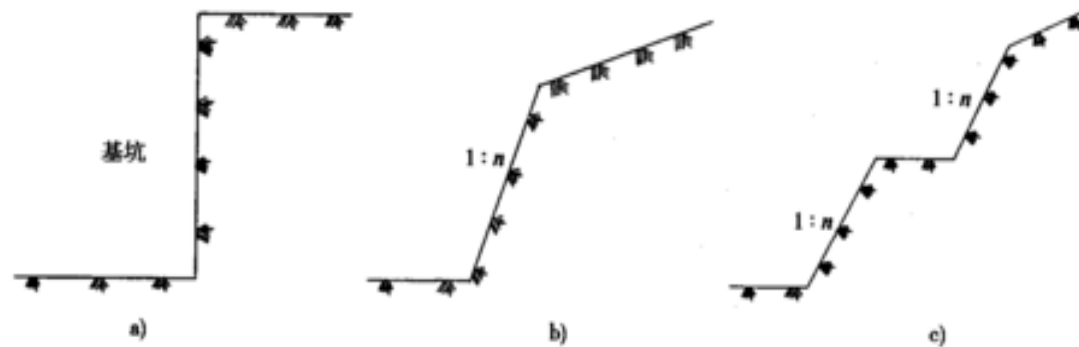


图 1.1 边坡基本形态

a)直立式坡;b)倾斜式边坡;c)台阶式状边坡

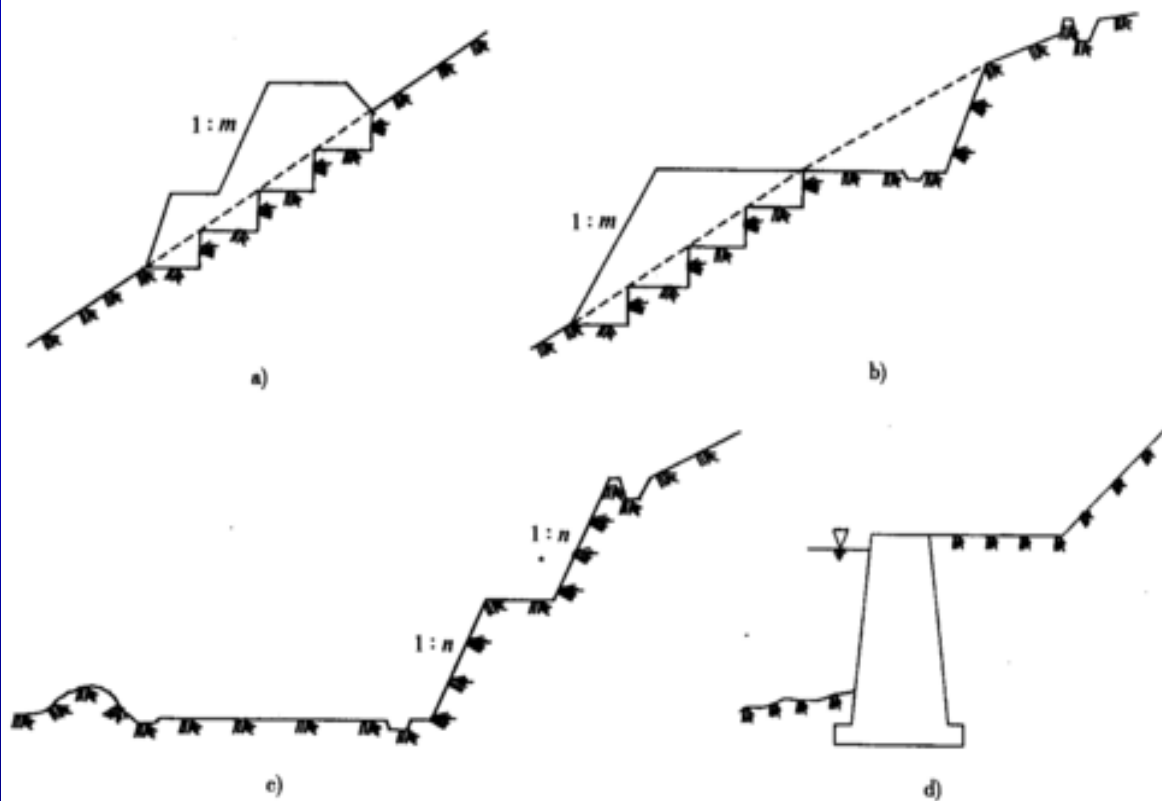


图 1.2 复合边坡形态

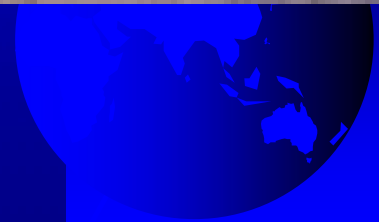


- 边坡分类
- (1)按成因：天然边坡、人工边坡
- (2)按构成岩土性质：土质边坡和岩石边坡。
- (3)按高度：大于15m称为高边坡，小于15m称为一般边坡。
- (4)根据使用年限：临时性边坡、永久性边坡。（按2年为限）



## ●认识岩质边坡

- 结构面:岩体中具有一定方向、力学强度相对较低,两向延伸(或具有一定厚度)的各种地质界面(或带)。包括物质分界面、岩层层面、软弱夹层和溶蚀面等,规模大者如断层带,小者如节理。由于这种界面中断了岩体的连续性,故又称不连续面。
- 结构体:是由不同产状的结构面组合起来,将岩体切割成各种形状的单元块体。



# 结构面对滑坡稳定性的影响



# 岩石坚硬程度的定性划分

名 称		定 性 鉴 定	代表性岩石
硬质岩	坚 硬 岩	锤击声清脆，有回弹，震手，难击碎；浸水后，大多无吸水反应	未风化～微风化的：花岗岩、正长岩、闪长岩、辉绿岩、玄武岩、安山岩、片麻岩、石英片岩、硅质板岩、石英岩、硅质胶结的砾岩、石英砂岩、硅质石灰岩等
	较坚硬岩	锤击声较清脆，有轻微回弹，稍震手，较难击碎；浸水后，有轻微吸水反应	1. 弱风化的坚硬岩； 2. 未风化～微风化的：熔结凝灰岩、大理岩、板岩、白云岩、石灰岩、钙质胶结的砂岩等
软质岩	较软岩	锤击声不清脆，无回弹，较易击碎；浸水后，指甲可刻出印痕	1. 强风化的坚硬岩； 2. 弱风化的较坚硬岩； 3. 未风化～微风化的：凝灰岩、千枚岩、砂质泥岩、泥灰岩、泥质砂岩、粉砂岩、页岩等
	软 岩	锤击声哑，无回弹，有凹痕，易击碎；浸水后，手可掰开	1. 强风化的坚硬岩； 2. 弱风化～强风化的较坚硬岩； 3. 弱风化的较软岩； 4. 未风化的泥岩等
	极软岩	锤击声哑，无回弹，有较深凹痕，手可捏碎；浸水后，可捏成团	1. 全风化的各种岩石； 2. 各种半成岩

## 岩石风化程度的划分

名 称	风 化 特 征
未风化	结构构造未变，岩质新鲜
微风化	结构构造、矿物色泽基本未变，部分裂隙面有铁锰质渲染
弱风化	结构构造部分破坏，矿物色泽较明显变化，裂隙面出现风化矿物或存在风化夹层
强风化	结构构造大部分破坏，矿物色泽明显变化，长石、云母等多风化成次生矿物
全风化	结构构造全部破坏，矿物成分除石英外，大部分风化成土状



## 结构面结合程度的划分

名 称	结 构 面 特 征
结 合 好	张开度小于1mm，无充填物；
结 合 好	张开度1~3mm，为硅质或铁质胶结； 张开度大于3mm，结构面粗糙，为硅质胶结
结合一般	张开度1~3mm，为钙质或泥质胶结； 张开度大于3mm，结构面粗糙，为铁质或钙质胶结
结 合 差	张开度1~3mm，结构面平直，为泥质或泥质和钙质胶结； 张开度大于3mm，多为泥质或岩屑充填
结合很差	泥质充填或泥夹岩屑充填，充填物厚度大于起伏差



岩石单轴饱和抗压强度 ( $R_C$ ) 与定性划分的岩石坚硬程度的对应关系, 可按表3.4.2表确定。

$R_C$ 与定性划分的岩石坚硬程度的对应关系

$R_C$ (MPa)	$>60$	$60\sim30$	$30\sim15$	$15\sim5$	$<5$
坚硬程度	坚硬岩	较坚硬岩	较软岩	软岩	极软岩





# 岩体完整程度的定性划分

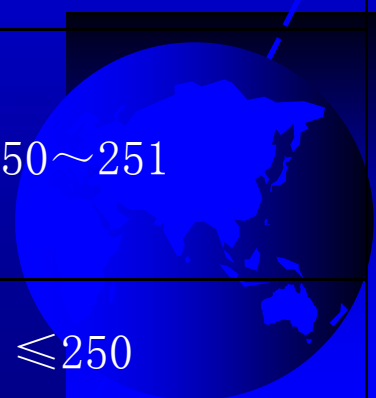
名 称	结构面发育程度		主要结构面的结合程度	主要结构面类型	相应结构类型
	组数	平均间距(m)			
完 整	1~2	$>1.0$	结合好或 结合一般	节理、裂隙、层面	整体状或巨厚层状结构
较完整	1~2	$>1.0$	结 合 差	节理、裂隙、层面	块状或厚层状结构
	2~3	$1.0\sim0.4$	结合好或 结合一般		块状结构
较破碎	2~3	$1.0\sim0.4$	结 合 差	节理、裂隙、层面、小断层	裂隙块状或中厚层状结构
	$\geq 3$	$0.4\sim0.2$	结 合 好		镶嵌碎裂结构
			结合一般		中、薄层状结构
破 碎	$\geq 3$	$0.4\sim0.2$	结合差	各种类型结构面	裂隙块状结构
		$\leq 0.2$	结合一般 或 结合差		碎裂结构
极破碎	无序		结合很差		散体状结构

注：平均间距指主要结构面（1~2组）间距的平均值。

# 岩体基本质量分级

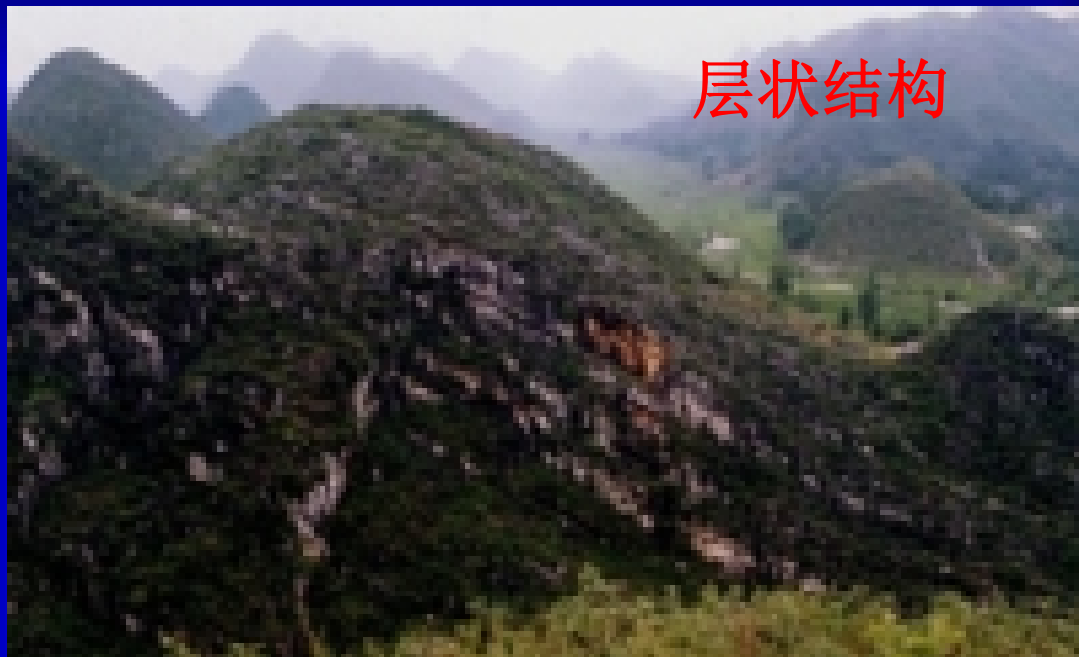
岩体基本质量分级，应根据岩体基本质量的定性特征和岩体基本质量指标（BQ）两者相结合，按下表确定。

基本质量级别	岩体基本质量的定性特征	岩体基本质量指标(BQ)
I	坚硬岩，岩体完整	$>550$
II	坚硬岩，岩体较完整；较坚硬岩，岩体完整	$550\sim451$
III	坚硬岩，岩体较破碎；较坚硬岩或软硬岩互层，岩体较完整；较软岩，岩体完整	$450\sim351$
IV	坚硬岩，岩体破碎；较坚硬岩，岩体较破碎～破碎；较软岩或软硬岩互层，且以软岩为主，岩体较完整～较破碎；软岩，岩体完整～较完整	$350\sim251$
V	较软岩，岩体破碎；软岩，岩体较破碎～破碎；全部极软岩及全部极破碎岩	$\leq 250$





坡体结构 · 层状结构类



层状结构



碎裂状结构



整体与块状结构

## 坡体结构·碎裂结构类

受构造结构面（断裂面、节理面、  
劈理面）控制

坡体结构·碎裂结构类  
受构造结构面（断裂面、节  
理面、劈理面）控制

散体状结构

## 第二章 斜坡变形破坏分类

- 斜坡变形的的主要方式
- 一般分为卸荷回弹和斜坡蠕变两种方式。
- 斜坡的蠕变是在坡体应力(以自重应力为主)长期作用下发生的一种缓慢而持续的变形，这种变形包含某些局部破裂，并产生一些新的表生破裂面(图2-4)。斜坡中已有明显变形破裂迹象的岩体，或已查明处于进展性变形的岩体，称为变形体。


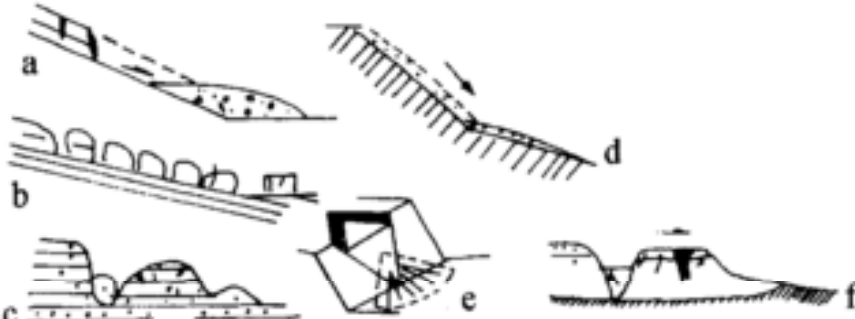
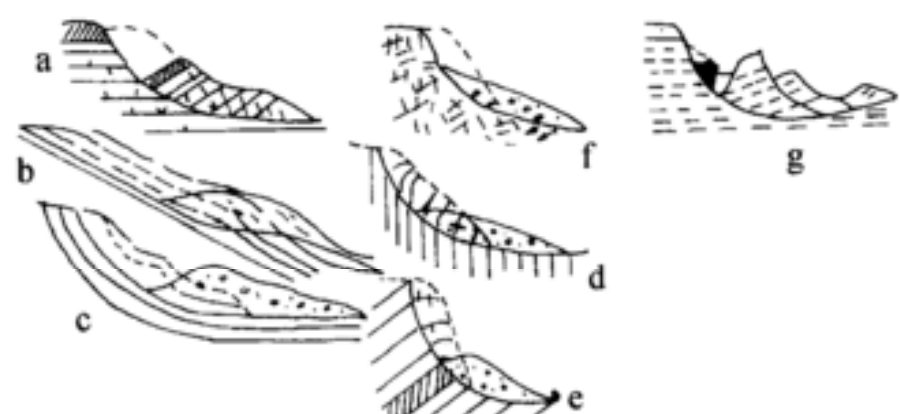
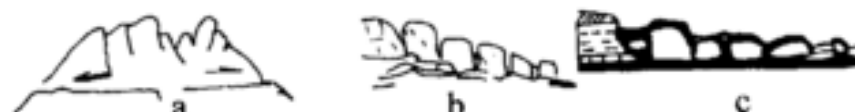


## 斜坡破坏的分类

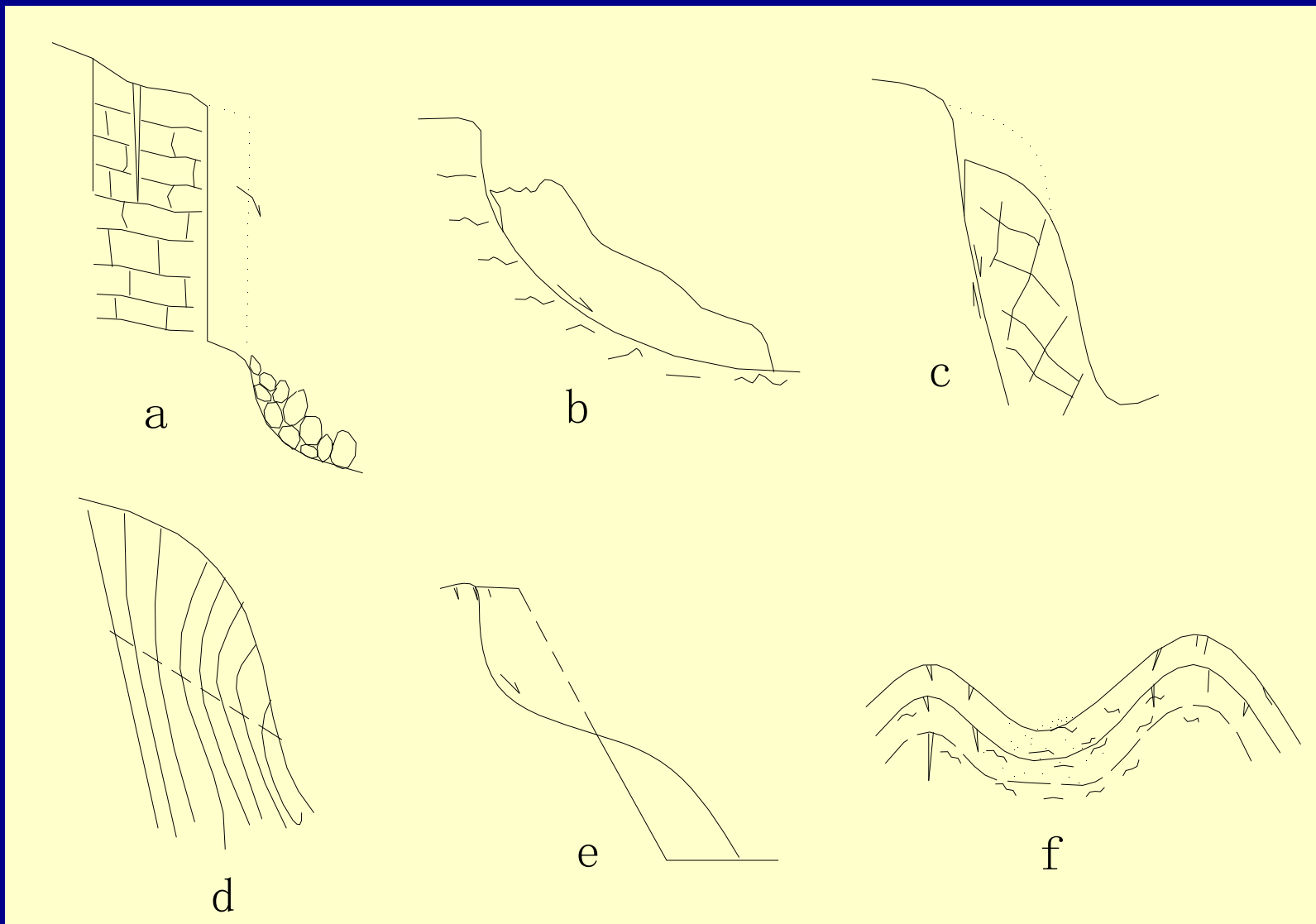
- 将崩落(塌)(falling)、滑落(坡)(sliding)和(侧向)扩离 (lateral spreading)作为三种基本破坏方式(图2-5)，也是斜坡失稳(slope instability)的基本方式。就岩体破坏机制而言，**崩塌以拉断破坏为主、滑坡以剪切破坏为主、扩离则主要是由塑性流动破坏所致。**



斜坡破坏失稳基本类型图表

物质组成 破坏类型		岩质→土质	继续运动中可能转化的运动方式
崩落(崩塌) I			碎屑流
滑落(滑坡) II	平滑面型 II <sub>1</sub>		碎屑流或泥流 (土爬)
	弧形滑面(旋转型) II <sub>2</sub>		碎屑流或泥流 (土爬)
(倾向)扩离 III			





## 斜坡块体运动主要类型示意图

a.山崩（崩塌）； b.滑坡； c.错落； d.倾倒； e.坍塌； f.岩体深层蠕变

# 岩土体变形破裂基本单元

- 〔1〕 拉裂 (fracturing), 为拉断破坏, 包括以拉应力为主造成的拉裂 (tensile cracking) 和以压应力为主造成的压致拉裂 (compression cracking)。其力学特征表现为弹性介质模型;
- 〔2〕 蠕滑 (creep sliding) 为剪切变形破坏, 包括沿某潜在剪切面的剪切蠕变 (creep shearing)、沿原有结构面的滑移 (sliding) 和介于两者之间的蠕变—滑移, 即蠕滑。这类变形破裂单元具流变特征, 一般属粘弹—粘塑性介质模型;
- 〔3〕 弯曲 (bending) 系指弯曲变形, 按受力方式可分为横弯曲和纵弯曲; 按支持约束方式, 可分为简支梁、外伸梁和悬臂梁弯曲等。其流变特征一般属粘弹—粘塑性介质模型。
- 〔4〕 塑流 (plastic flowing) 系指岩土体中软弱层 (带) 的压缩和向临空或减压方向的塑性流动, 包括岩土体中原有软弱层的塑性流动, 也包括岩土体变形破坏发展中的压碎带或塑性破坏带的塑性流动, 其流变特征属粘弹—塑性介质模型。
- 这四个变形破裂单元中, 后三者具有明显的时间



# 岩体变形破坏的地质力学模式

- 变形破裂单元

- (1) 拉裂 (fracturing) — 拉裂 (tensile cracking); 压致拉裂 (compression cracking)
- (2) 蠕滑 (creep sliding) — (剪切) 蠕滑 (creep shearing); 滑移 (sliding)
- (3) 弯曲 (bending) — 横弯曲, 纵弯曲; 简支梁, 外伸梁, 悬臂梁
- (3) 塑流 (plastic flowing)

## 岩体变形破坏地质力学基本模式

蠕滑 — 拉裂; 滑移 — 压致拉裂; 弯曲 — 拉裂; 塑流 — 拉裂;  
滑移 — 弯曲

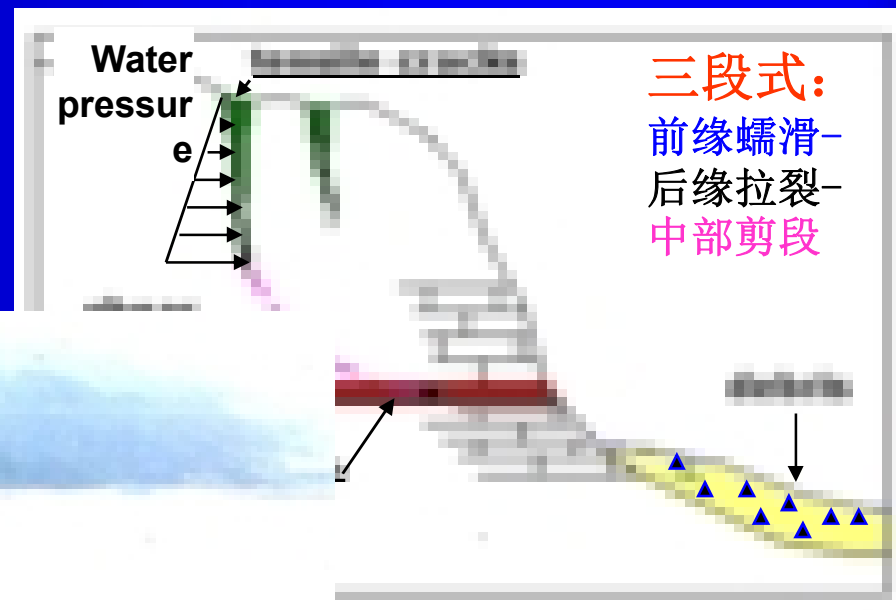


# 斜坡变形破坏机制模式 演进图式及判据

模式 类型	图式演进图式及判据			判据
	a. 初期	b. 中期	c. 晚期(加速蠕变→破坏)	
A 蠕带 拉裂				根据潜在滑移面扰动贯通程度按弧形带面验算
B 带移 压致 拉裂				当 $\frac{\sigma_1}{\sigma_3} > \frac{\sin(\alpha + \varphi_1) + \sin\varphi_2}{\sin(2\alpha + \varphi_1) - \sin\varphi_2} + \frac{2\sin\alpha \cos\varphi_1}{\sigma_3[\sin(2\alpha + \varphi_1) - \sin\varphi_2]}$ 时, 有变形可能; 进入 c 可按弧形带面验算
C <sub>1</sub> 带移拉裂 C <sub>2</sub> 旋转式 带移拉裂				按带移体在后缘拉裂带(缝)中拉应力值判断, 旋转式 $\beta \geq \beta_0$ 时启动 $\beta_0 = \cos^{-1} A \left( \frac{1}{\tan\alpha} \right) - B$ $(A = \frac{L}{\sqrt{L^2 + b^2}}, B = \tan^{-1} \frac{b}{L})$ 。具多米诺效应
D <sub>1</sub> 带移弯曲 (平面) D <sub>2</sub> 带移弯曲 (椅型面)				按多层板梁弯曲计算 $\sigma_\alpha = \frac{E\gamma^2}{12\pi^2} + \frac{\rho g h \gamma^2}{\pi^2} \cos\alpha + \frac{n+1}{2} \rho g h \tan\varphi \cos\alpha + c$ ; $\gamma$ 为板梁单层厚 $h$ 与弯曲段长比值。 $\sigma \geq \frac{\sigma_c}{3}$ 则有变形可能
E 弯曲拉裂				按基臂梁弯曲流变判据验算; 计算板梁根趾应力判断失稳方式, 具多米诺效应
F <sub>1</sub> 带流拉裂 (平缓) F <sub>2</sub> 带流拉裂 (陡内)				根据软弱基座流变性能, 抗变形和塑性破坏强度计算, 进入 b, c 后可按组合成弧形带面计算

类 型	主 要 特 征		主要变形模式	可能破坏方式
	结构及产状	外 形		
I. 均质或似均质体斜坡	均质的土质或半岩质斜坡, 包括碎裂状或碎块状体斜坡	决定于土、石性质或天然休止角	蠕滑-拉裂	转动型滑坡或滑塌
II. 层状体斜坡	II <sub>1</sub> . 平缓状体坡 $\alpha = 0 \sim \pm \varphi_r$	$\alpha < \beta$	滑移-压致拉裂	平推式滑坡, 转动型滑坡
	II <sub>2</sub> . 缓倾外层状体坡 $\alpha = \varphi_r \sim \varphi_p$	$\alpha \approx \beta$	滑移-拉裂	顺层滑坡, 或块状滑坡
	II <sub>3</sub> . 中倾外层状体坡 $\alpha = \varphi_p \sim 40^\circ$	$\alpha \geq \beta$	滑移-弯曲	顺层-切层滑坡
	II <sub>4</sub> . 陡倾外层状体坡 $\alpha = 40^\circ \sim 60^\circ$	$\alpha \geq \beta$	弯曲-拉裂	崩塌或切层转动型滑坡
	II <sub>5</sub> . 陡立-倾内层状体坡		弯曲-拉裂(浅部) 蠕滑-拉裂(深部)	崩塌, 深部切层转动型滑坡
	II <sub>6</sub> . 变角倾外层状体坡上陡, 下缓 ( $\alpha < \varphi_r$ )	$\alpha \leq \beta$	滑移-弯曲	顺层转动型滑坡
III. 块状体斜坡	可根据结构面组合线产状按 II 类方案细分		滑移-拉裂为多见	滑坡、滑塌
IV. 软弱基座体斜坡	IV <sub>1</sub> . 平缓软弱基座体斜坡 IV <sub>2</sub> . 缓倾内软弱基座体斜坡	一般情况上陡下缓(软弱基座)	塑流-拉裂	扩离, 块状滑坡 崩塌, 转动型滑坡(深部)

注:  $\varphi_r$ 、 $\varphi_p$  软弱面的残余(或起动)和基本摩擦角;  $\alpha$  软弱面倾角,  $\beta$  斜坡坡角。



龙羊峡库岸滑坡

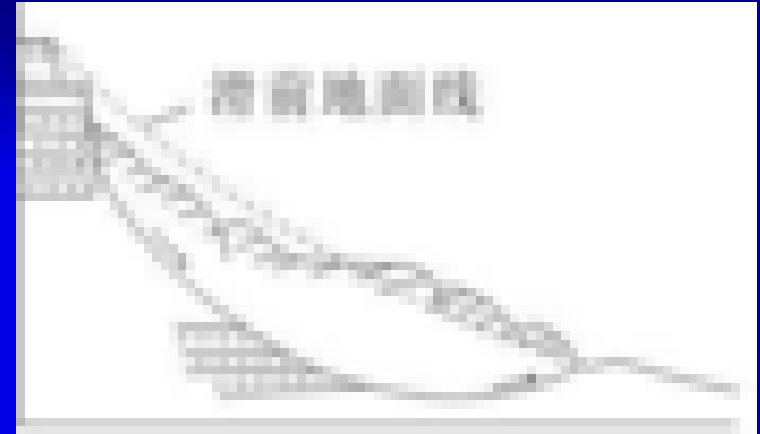




千枚岩中的倾倒拉裂变形破裂体



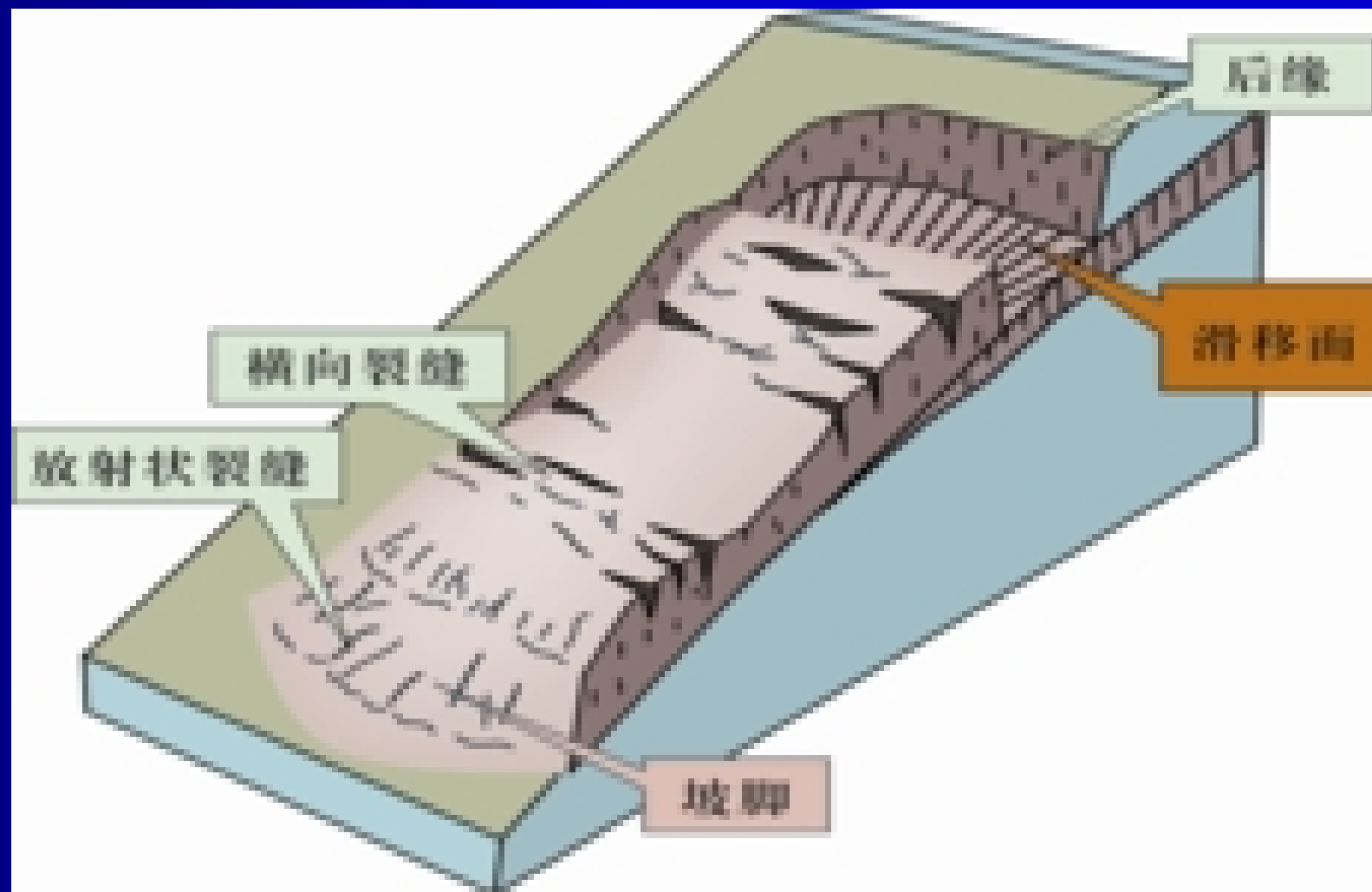
## 二 滑坡: [英文] Landslide

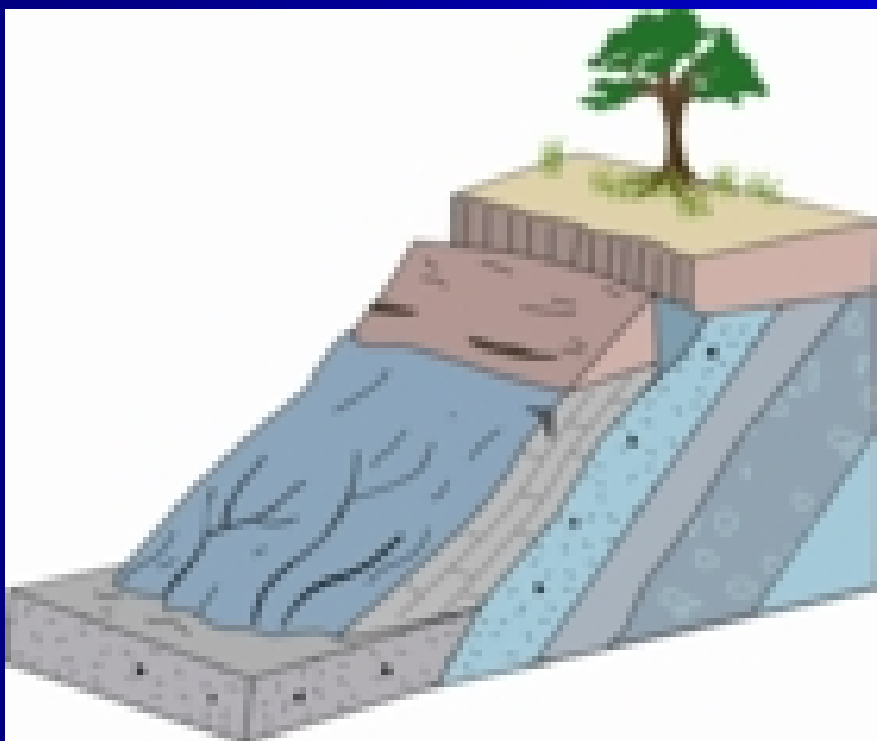


[俗称] “走山”、“垮山”、“地滑”、“土溜”

[定义] 斜坡上的岩土体受河流冲刷、地下水活动、地震及人工切坡等影响，在重力作用下沿着一定的软弱面（或软弱带）整体或分散地顺坡下滑的现象叫做滑坡。







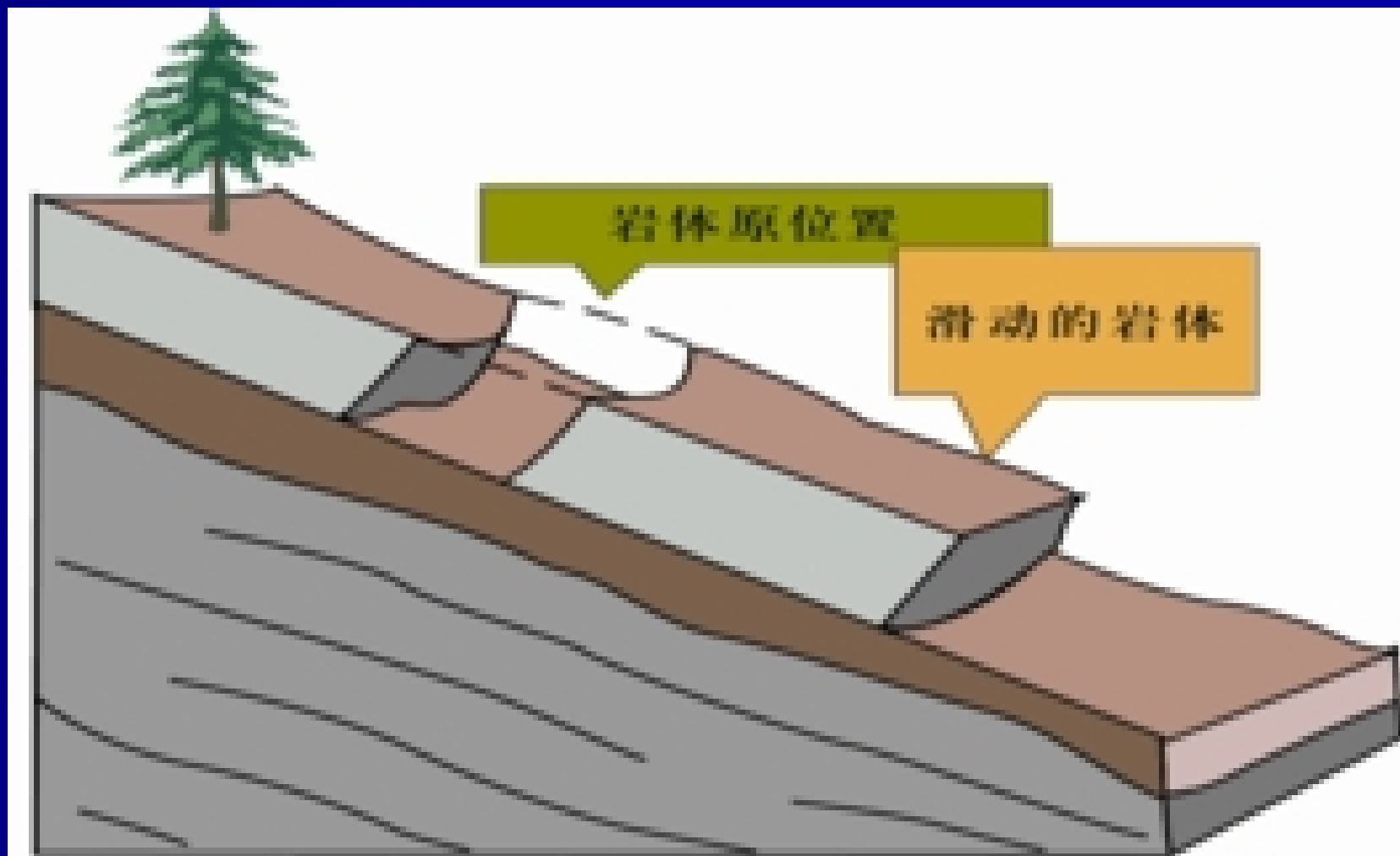
岩质滑坡示意图

(滑坡体沿岩层面滑动)



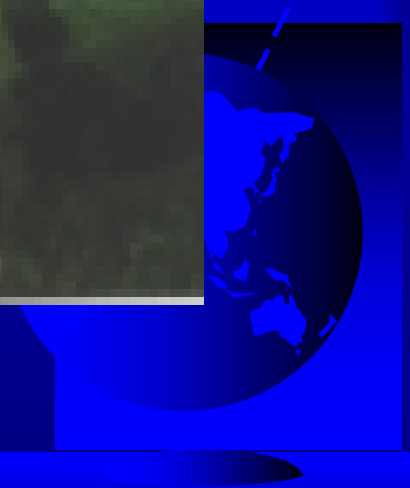
土质滑坡示意图

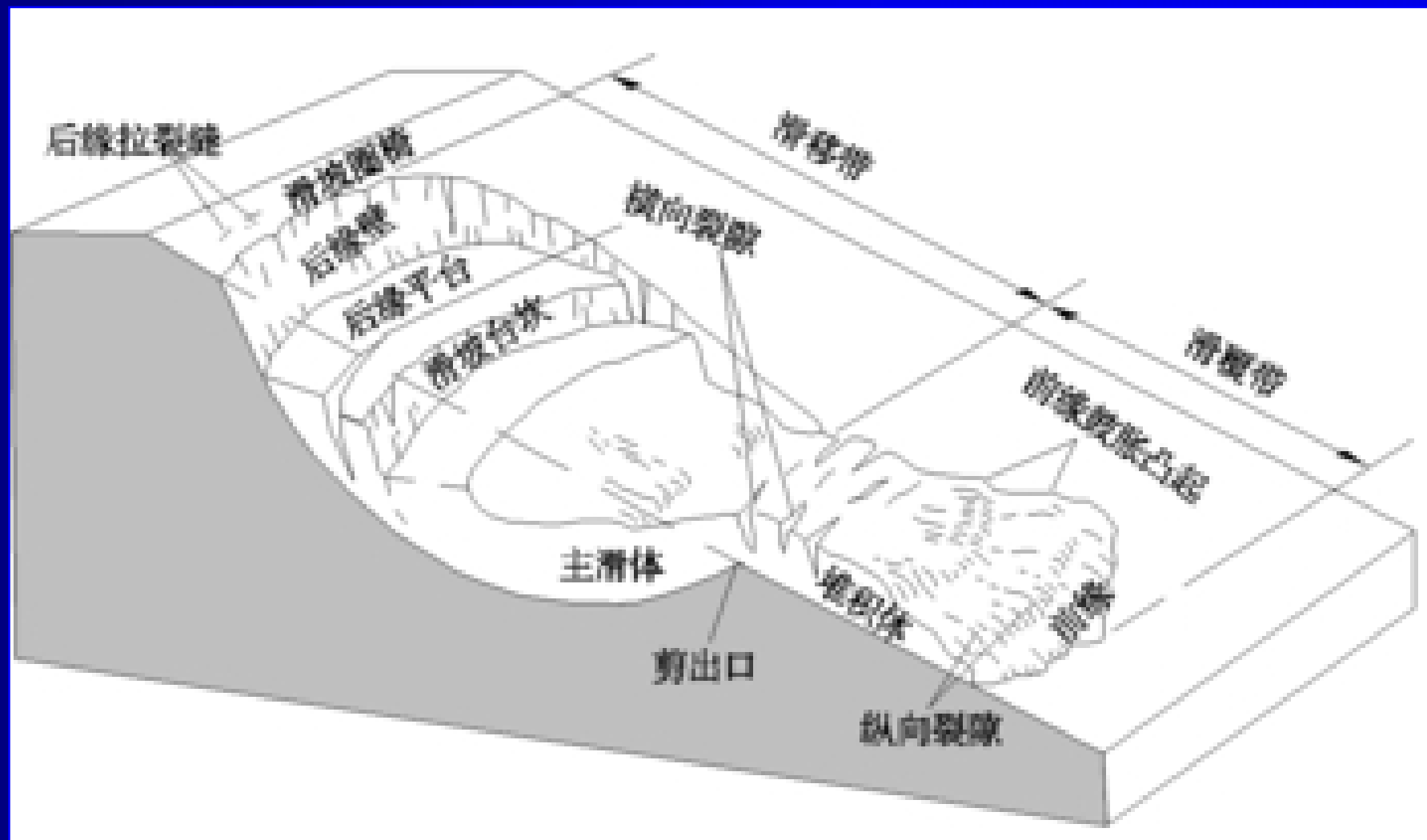




- 顺层滑坡示意图



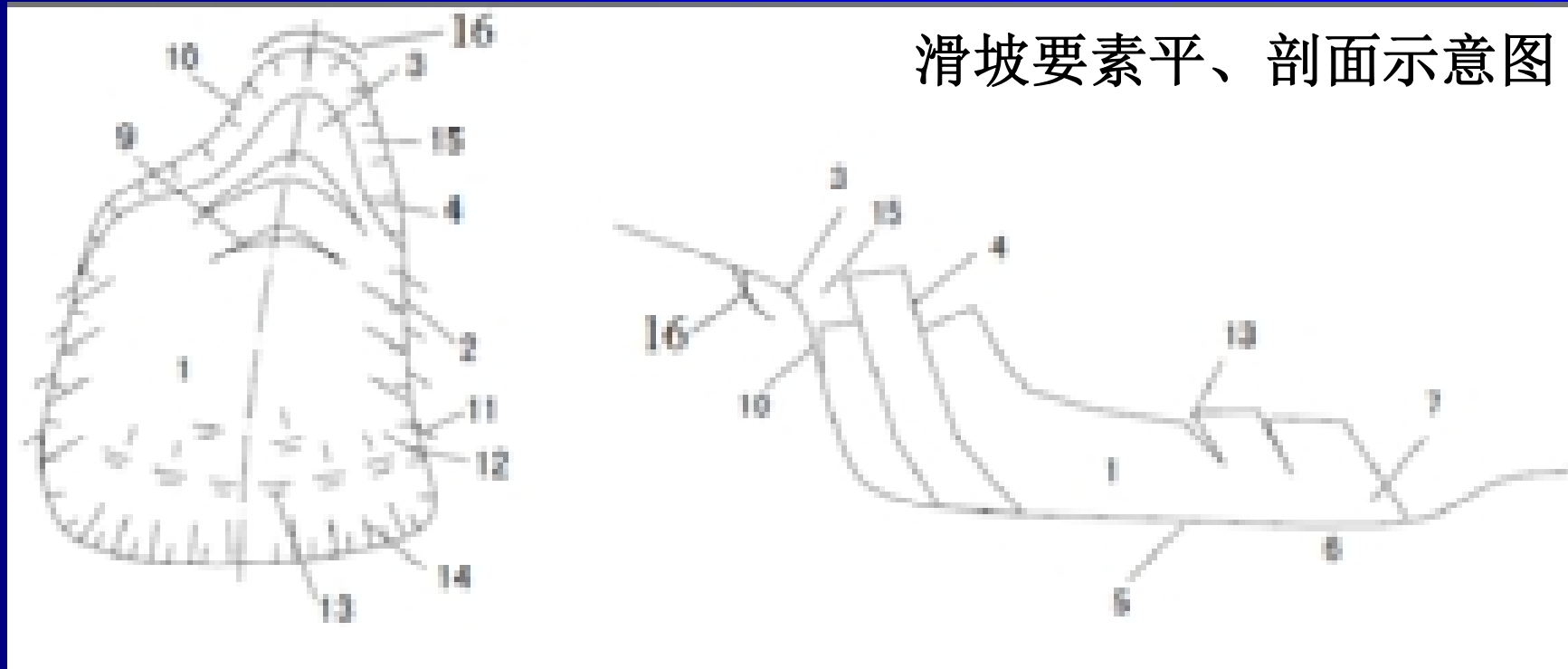




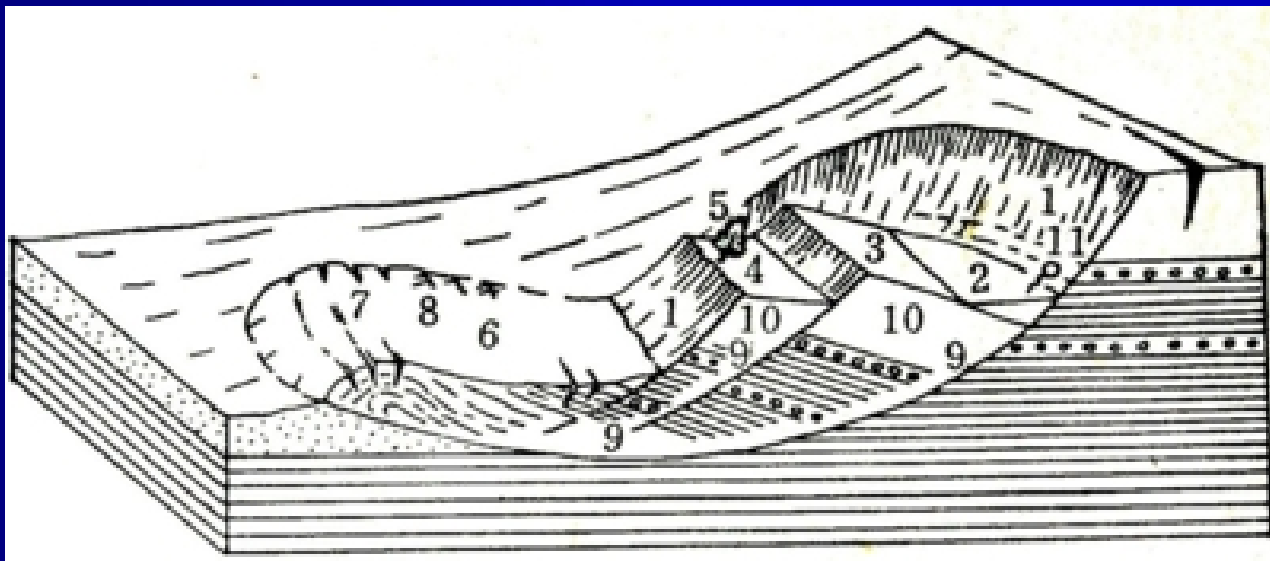


## 第四章 滑坡基本特征

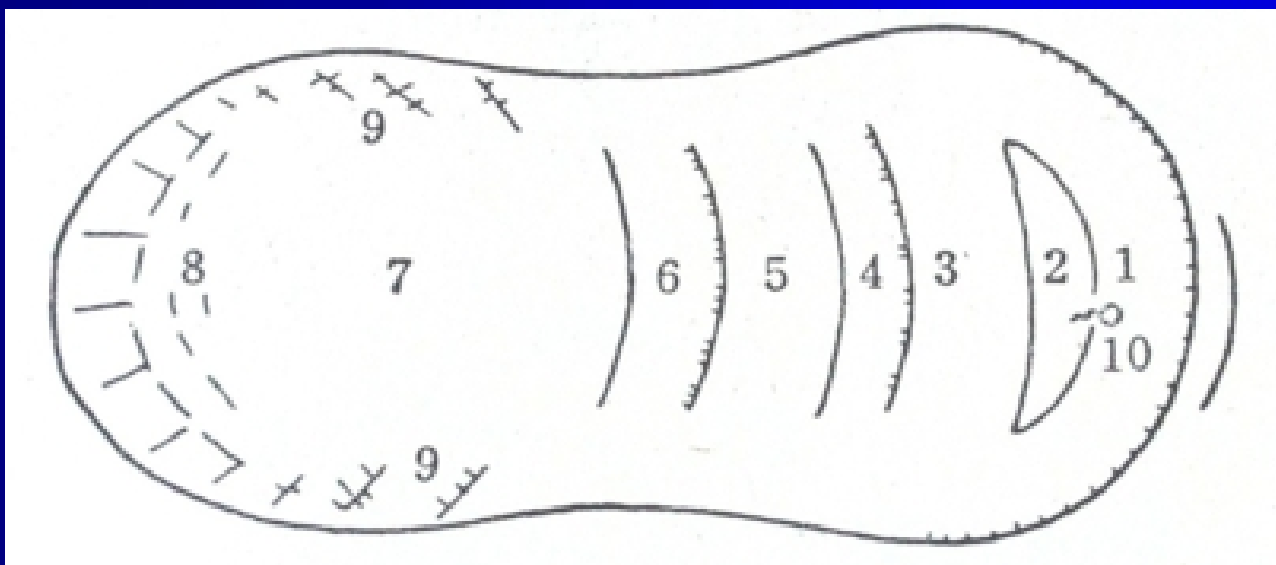
- （一）滑坡的定义
- 斜坡上的部分土体或岩体沿着一定的面或带整体向下滑移的现象。
- （二）滑坡的要素和术语



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.羽状裂缝；13.鼓胀裂缝；14.扇形张裂缝；15.封闭洼地；  
16.牵引性裂缝；

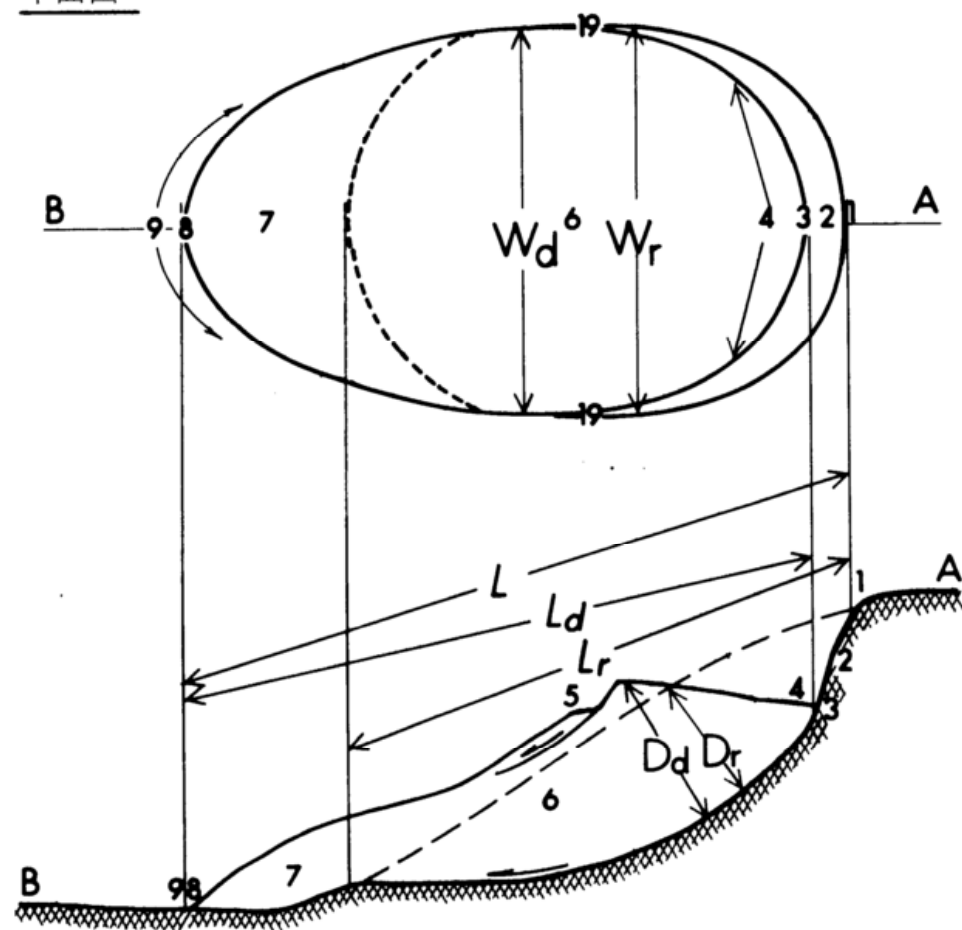


1滑坡壁；2滑坡洼地；  
3和4滑坡台阶；  
5醉树；6滑坡舌；  
7鼓张裂缝；  
8羽状裂缝  
9滑动面；10滑坡体；  
11滑坡泉。



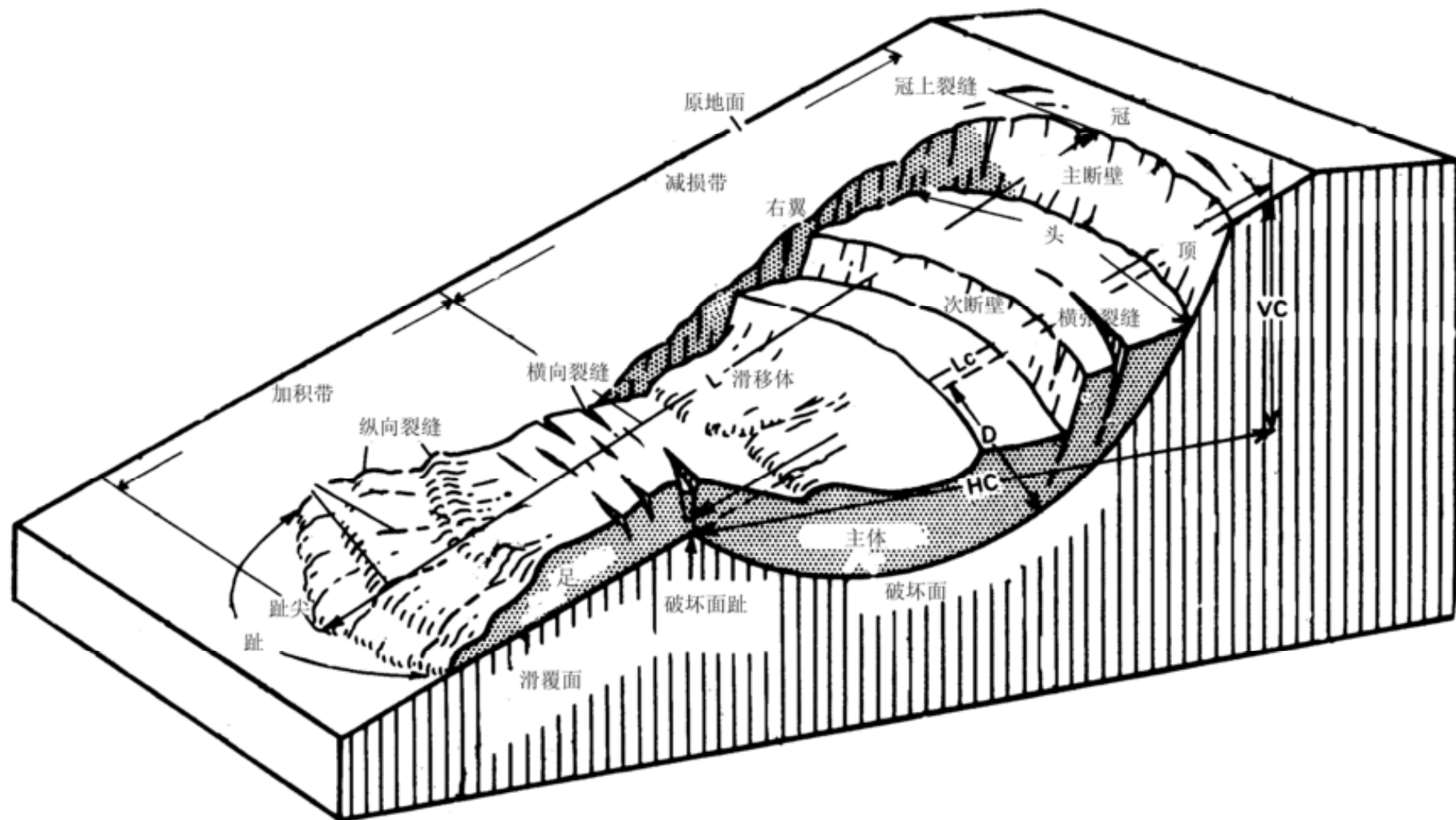
1滑坡壁；2滑坡洼地；  
3~6滑坡台阶；  
7滑坡体；  
8扇形和鼓张裂缝；  
9羽状裂缝；  
10滑坡泉。

平面图

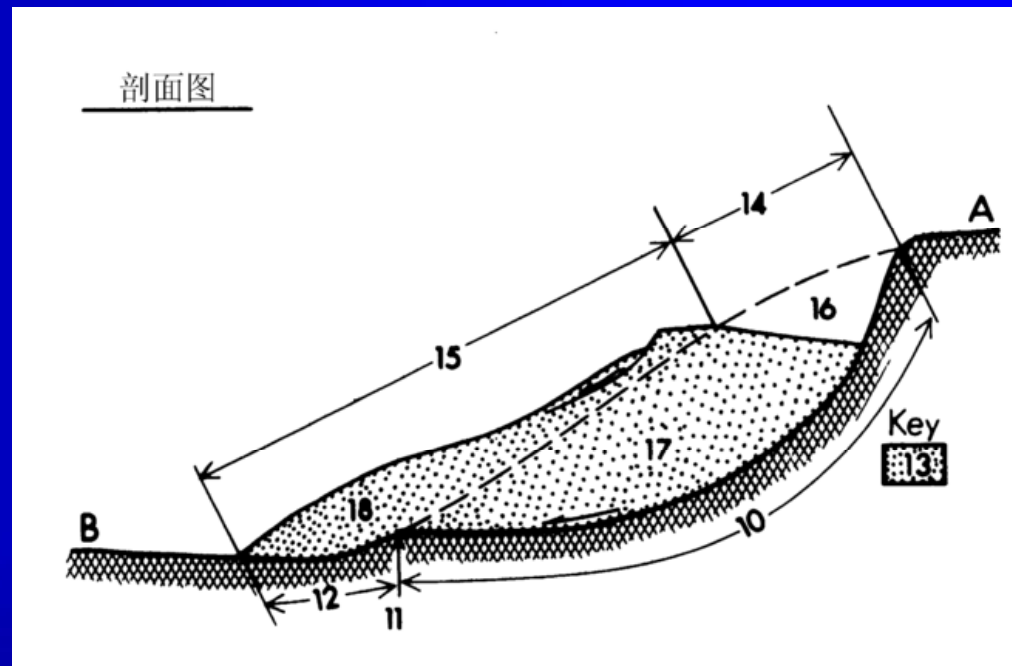


- L 总长度
- Wd 滑动体宽度
- Dd 滑动体厚度
- Ld 滑动体长度
- Wr 破坏面宽度
- Dr 破坏面埋深
- Lr 破坏面长度





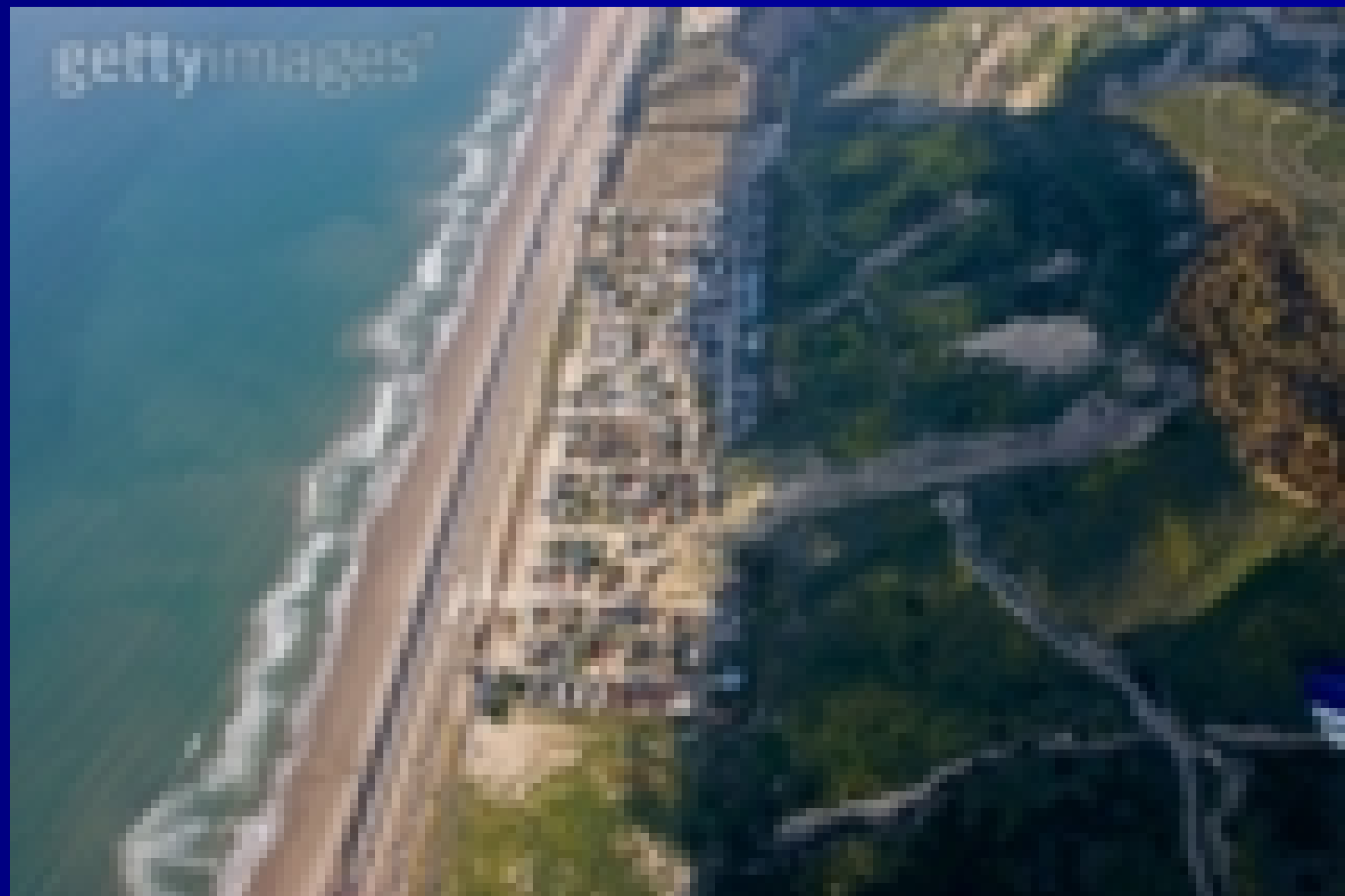
- |      |           |  |
|------|-----------|--|
| (1)  | 冠         |  |
| (2)  | 主断壁       |  |
| (3)  | 顶         |  |
| (4)  | 头         |  |
| (5)  | 次断壁       |  |
| (6)  | 主滑体       |  |
| (7)  | 足         |  |
| (8)  | 趾尖        |  |
| (9)  | 趾         |  |
| (10) | 破坏面       |  |
| (11) | 破坏面趾      |  |
| (12) | 滑覆面 (分隔面) |  |
| (13) | 滑移体       |  |
| (14) | 减损带       |  |
| (15) | 加积带       |  |
| (16) | 减损坳陷      |  |
| (17) | 减损体       |  |
| (18) | 加积体       |  |
| (19) | 侧翼        |  |
| (20) | 原始地面      |  |

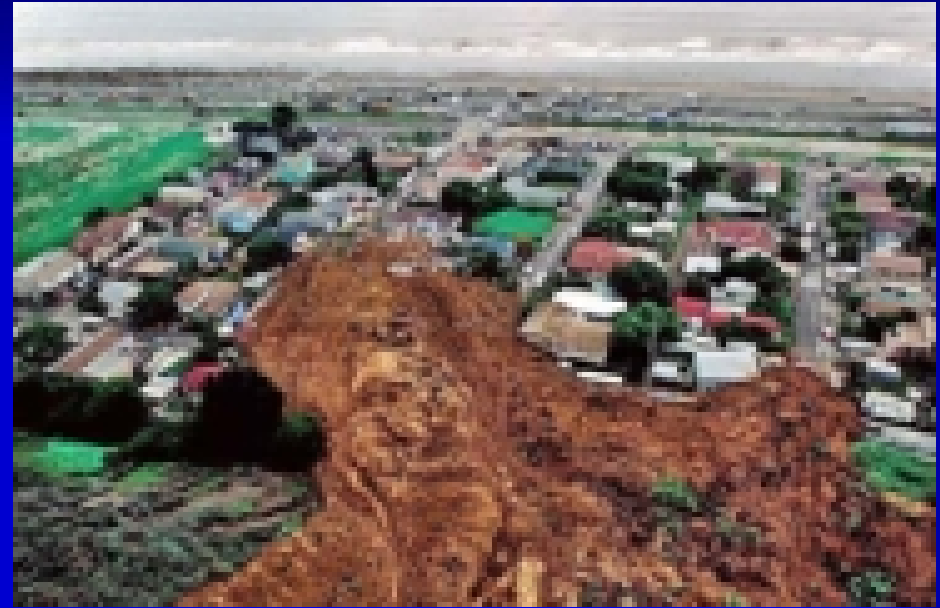






2005年美国加利福尼亚州La Conchita的滑坡，  
造成10人死亡（照片来源：美国地质调查局）









- (三) 滑坡平面特征

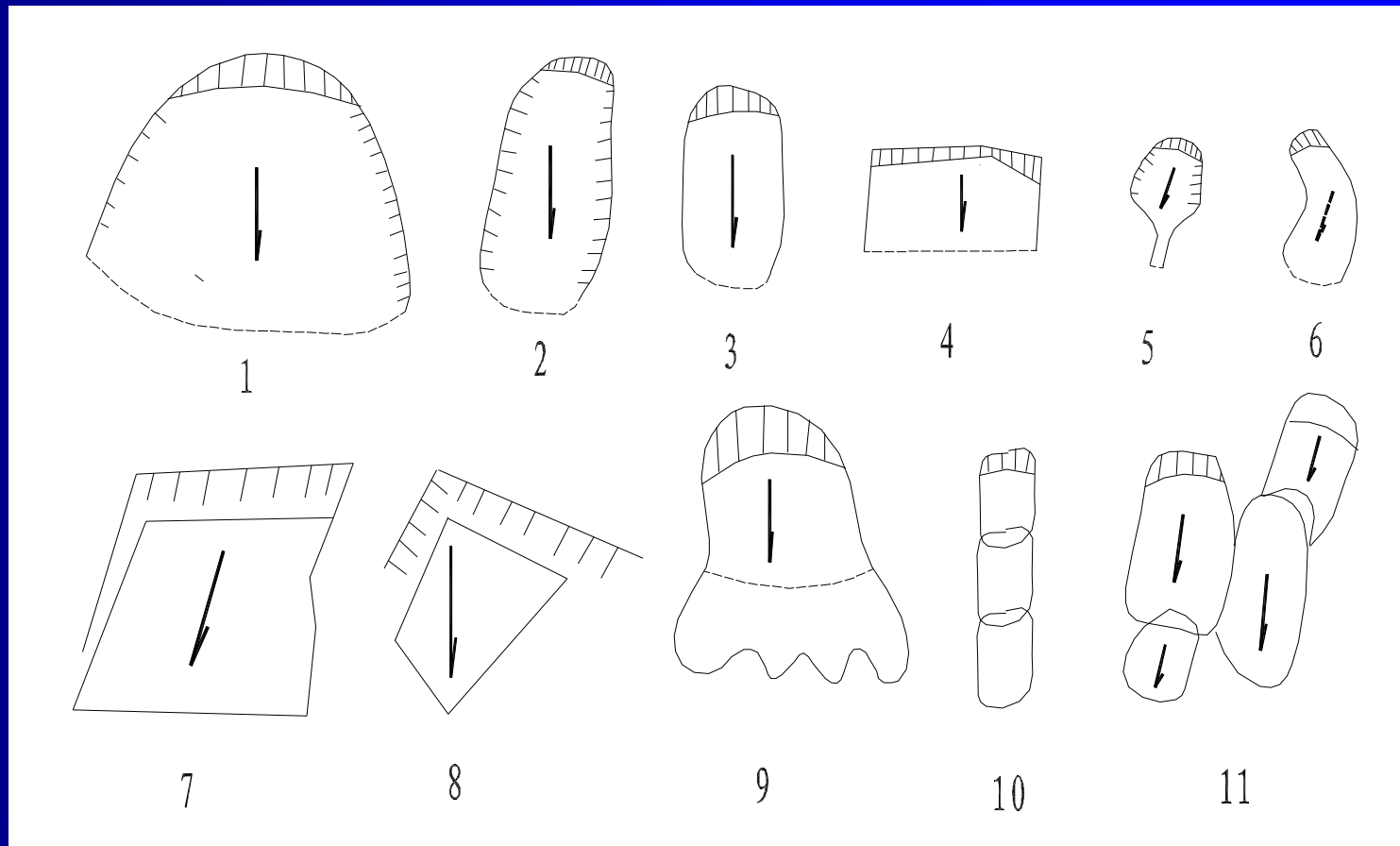
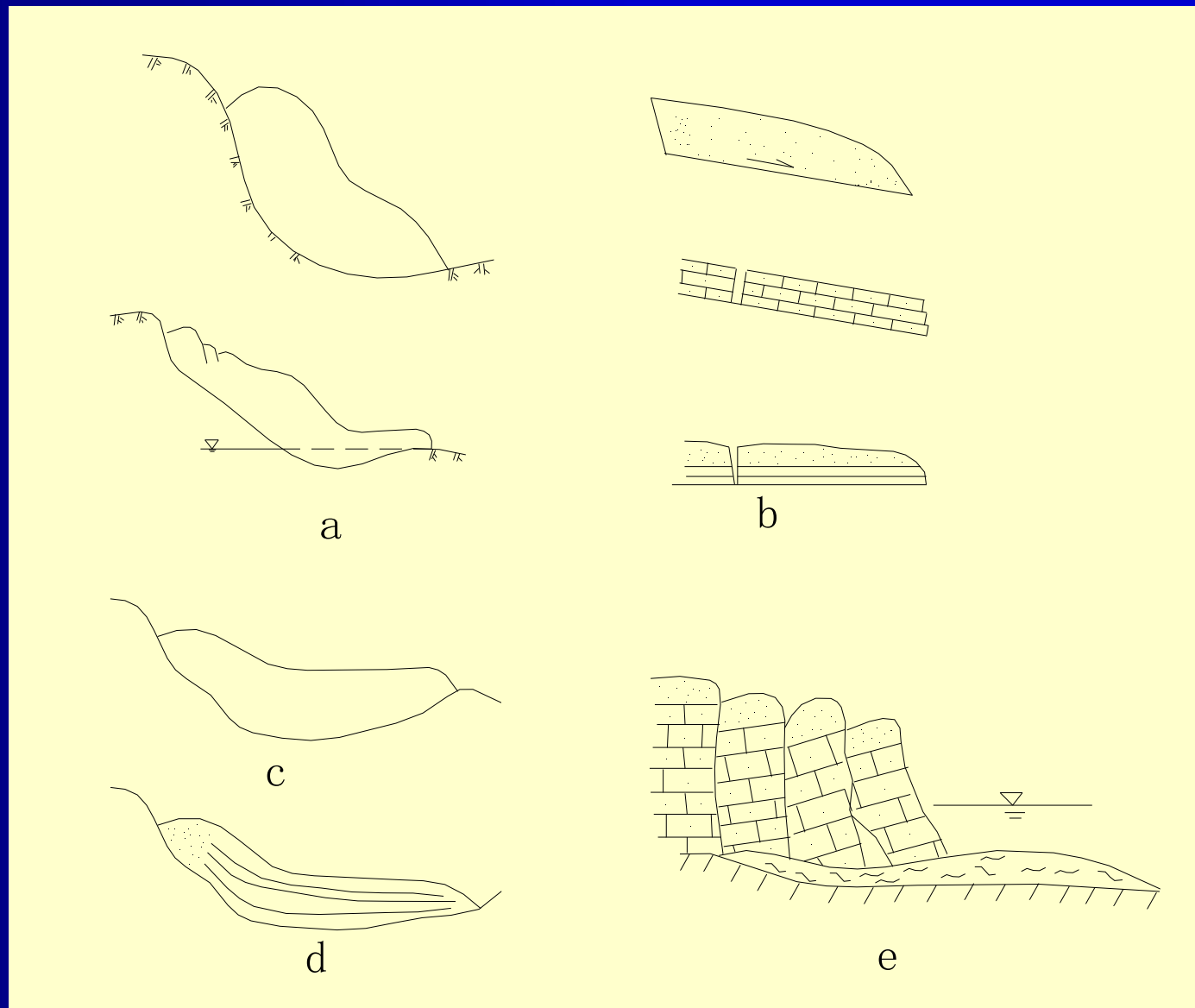


图1-5 滑坡的平面形态

1.簸箕形；2.舌形；3.椭圆形；4.长椅形；5.倒梨形；6.牛角形；7.平行  
四边形；8.菱形；9.树叶形；10.叠瓦形；11.复合形

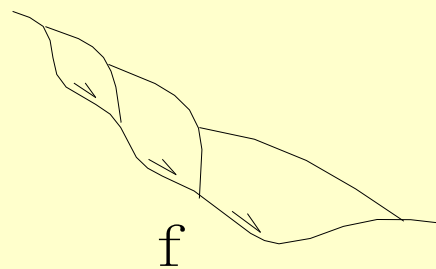
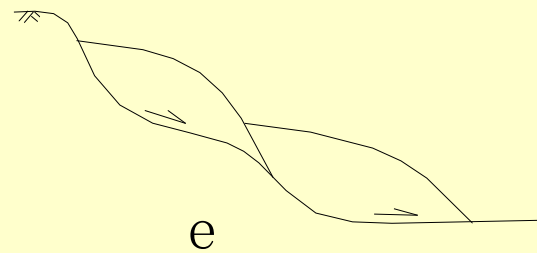
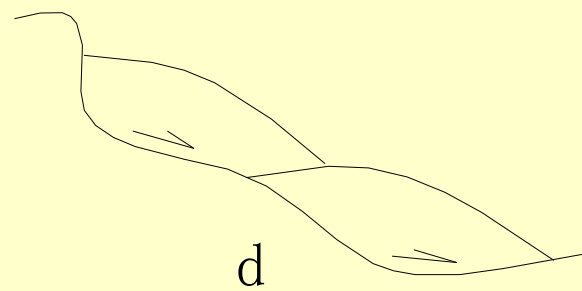
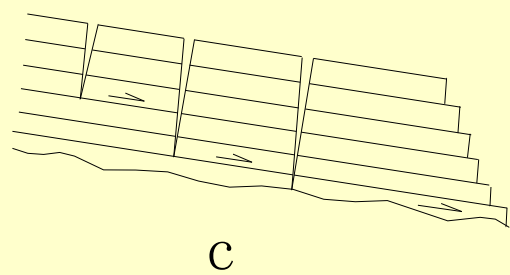
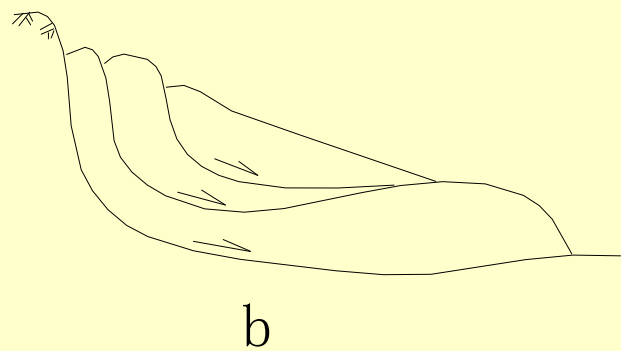
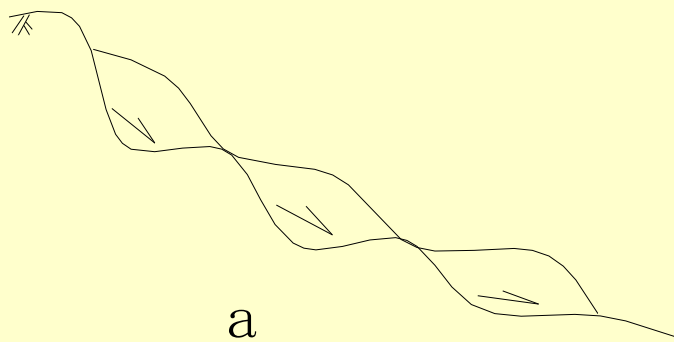
## (四) 滑坡纵断面特征



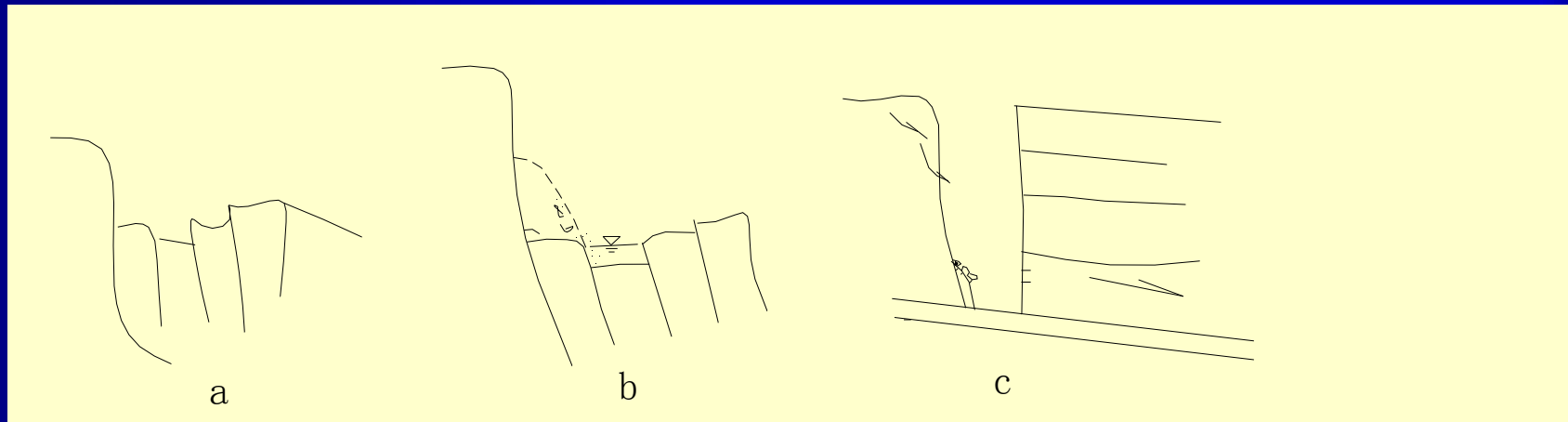
a.圆弧形；b.平面形；c.折线形；d.连续曲面形；e.软岩挤出形

图1-6 典型滑坡纵断面示意图

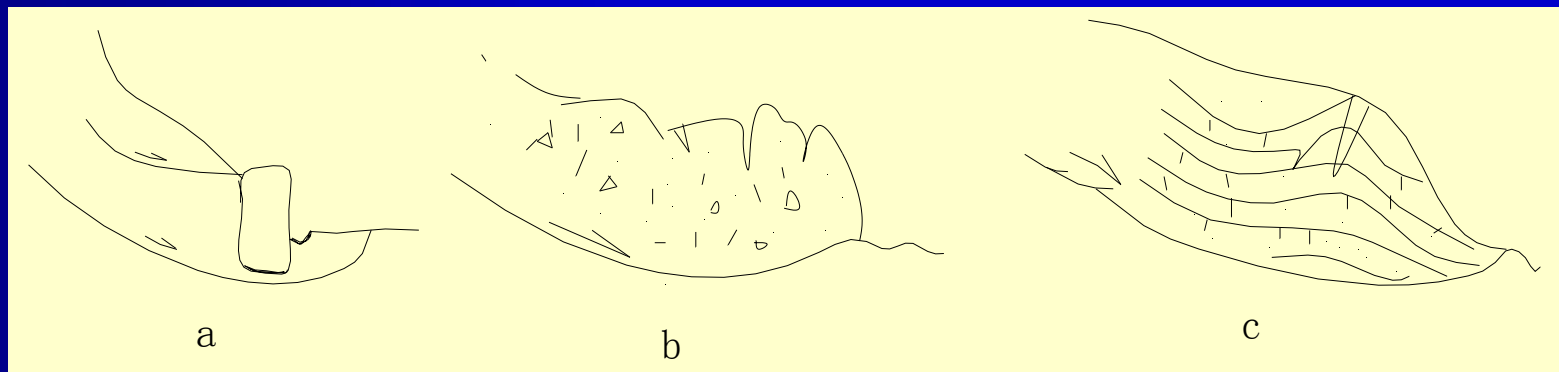
图 1-7 复合形纵断面形态



## (五)、滑坡后部和前部形态特征



- 图1-8 滑坡后部的陷落洼地
- a.裂缝密集带；b.陷落洼地；c.后缘拉裂槽



✦ 图1-9 滑坡前部特征

- a. 帚状剪出口；b. 鼓丘和鼓胀裂缝；c. 滑坡褶曲

## (六) 滑坡的横断面特征

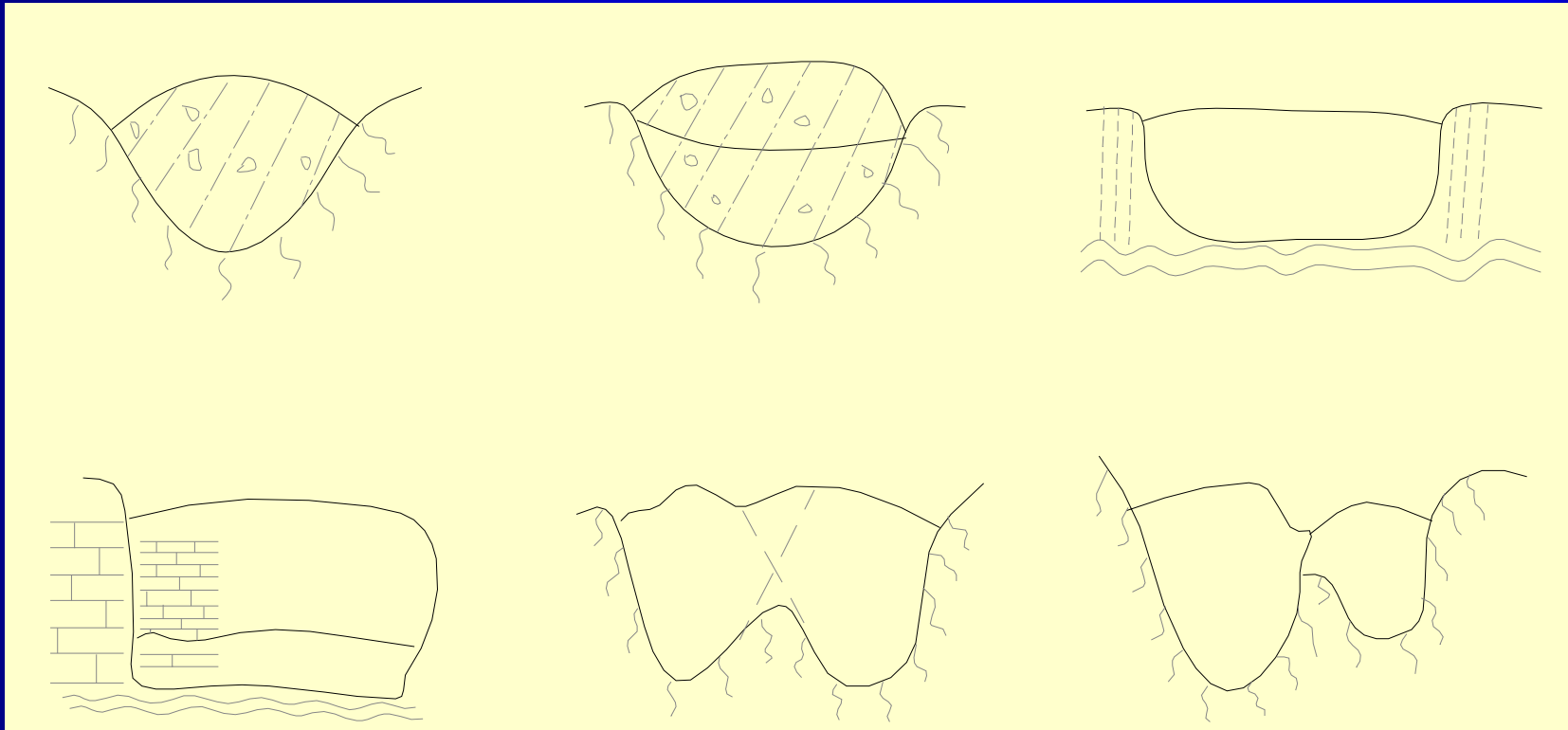
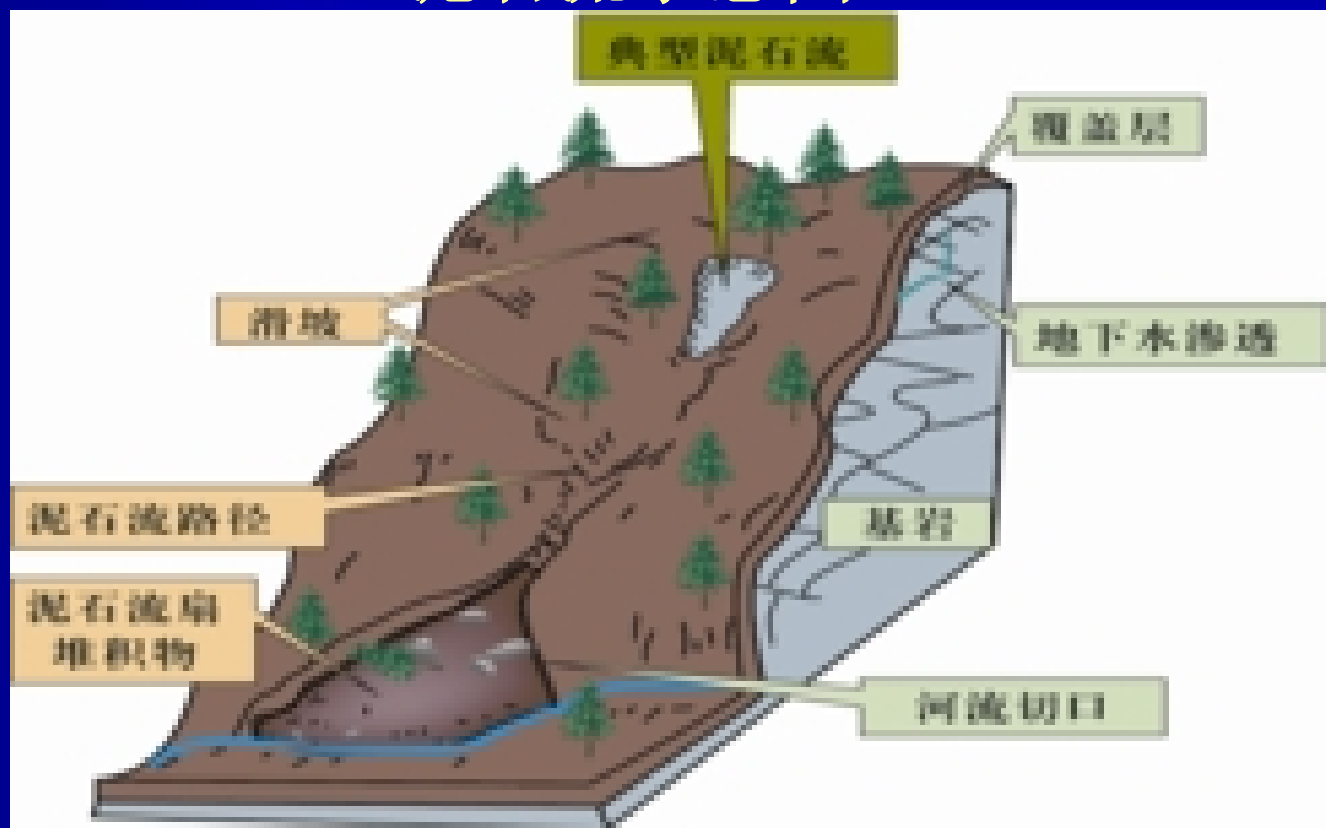


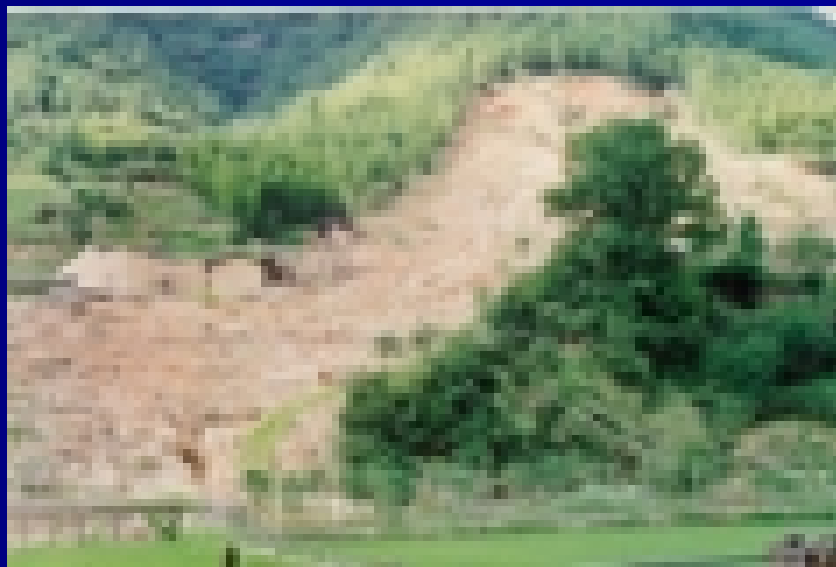
图1-10 滑坡的横断面特征



## 泥石流示意图



泥石流 (debris flow) 是山区沟谷中，由暴雨、冰雪融水等水源激发的，含有大量的泥砂、石块的特殊洪流。其特征往往突然暴发，浑浊的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、山谷犹如雷鸣。



97年9月8日政和县外屯乡车潭村老碓厂滑波-泥石流



闽清县金沙镇溪头村邱乾发生滑波-泥石流



## 按物质成分分类

1、由大量粘性土和粒径不等的砂粒、石块组成的叫泥石流；

2、以粘性土为主，含少量砂粒、石块、粘度大、呈稠泥状的叫泥流；

3、由水和大小不等的砂粒、石块组成的称之水石流。



## 按流域形态分类

### 1、标准型泥石流

为典型的泥石流，流域呈扇形，面积较大，能明显的划分出形成区，流通区和堆积区。

### 2、河谷型泥石流

流域呈有狭长条形，其形成区多为河流上游的沟谷，固体物质来源较分散，沟谷中有时常年有水，故水源较丰富，流通区与堆积区往往不能明显分出

### 3、山坡型泥石流

流域呈斗状，其面积一般小于 $1000\text{m}^2$ ，无明显流通区，形成区与堆积区直接相连。

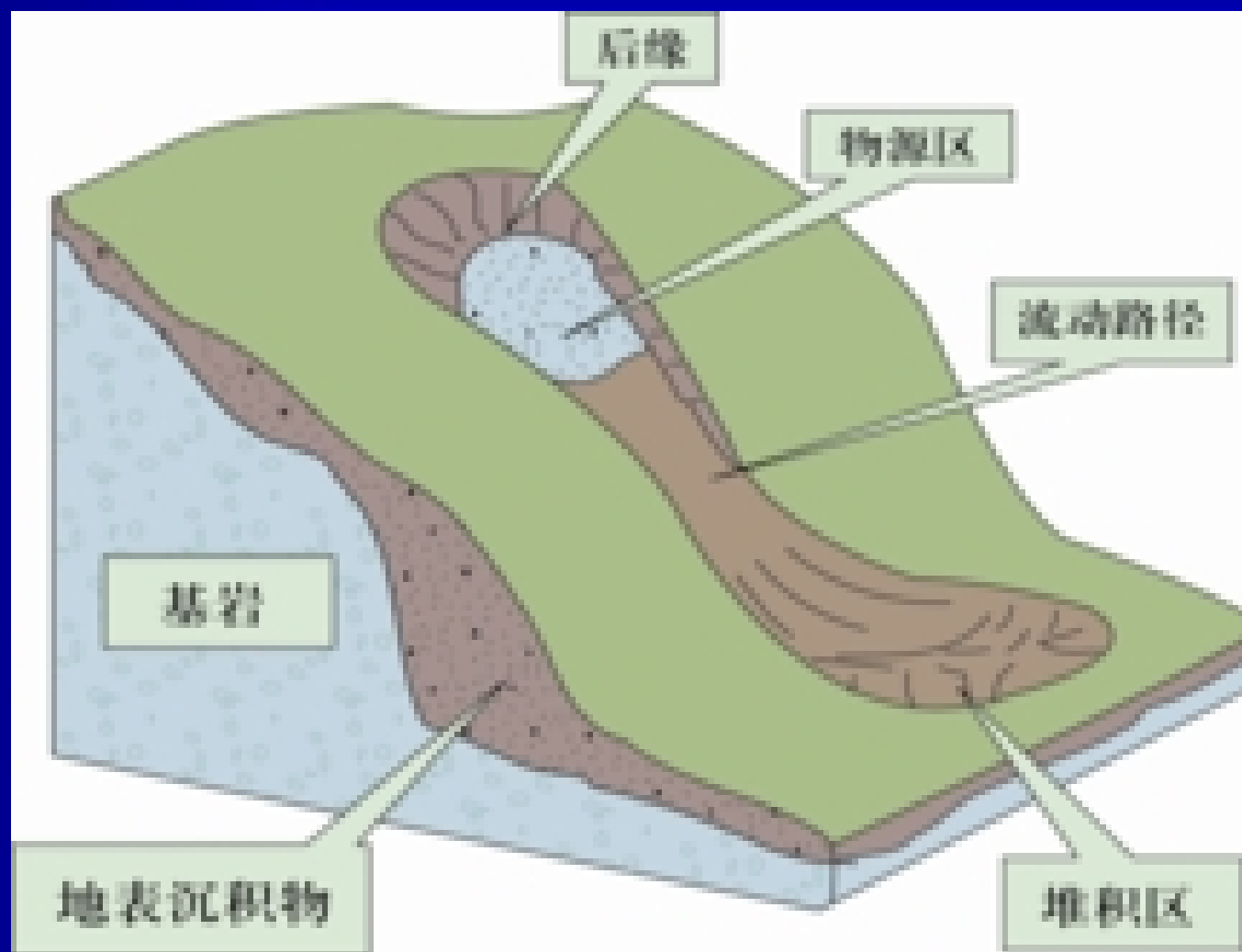


## 按物质状态分类

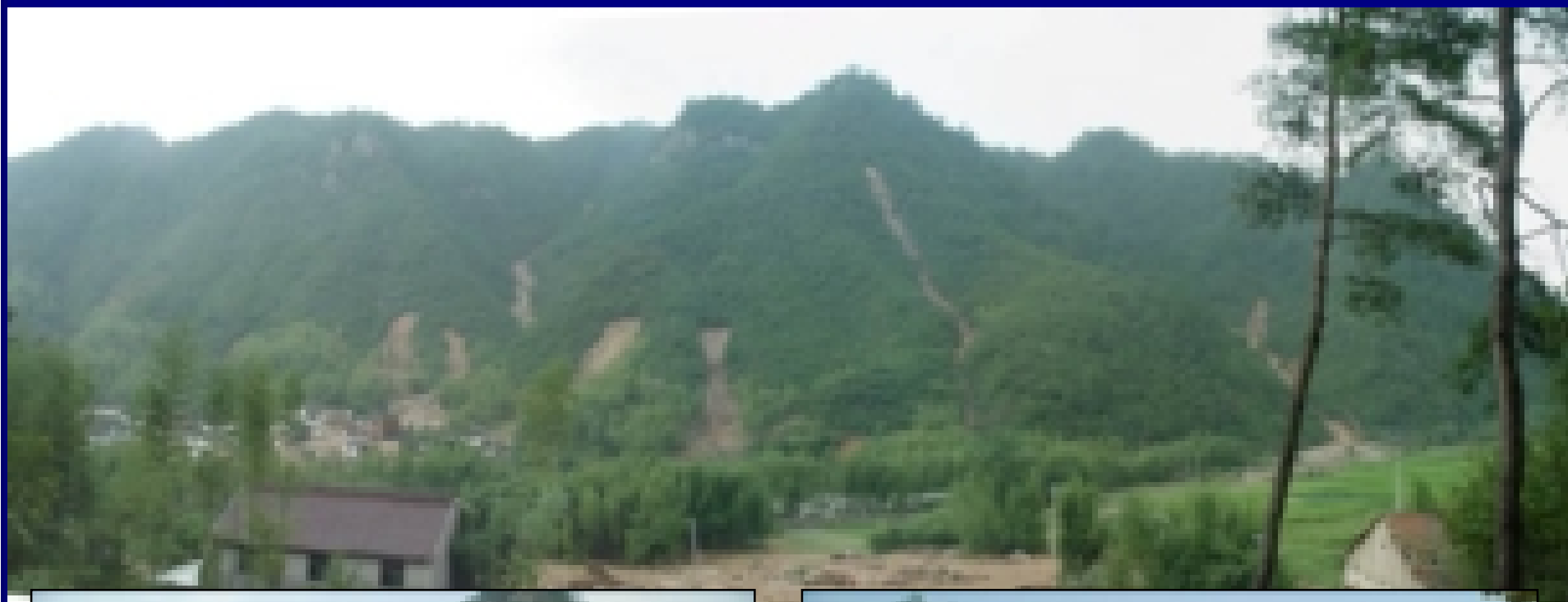
1、粘性泥石流，含大量粘性土的泥石流或泥流。其特征是：粘性大，固体物质占40-60%，最高达80%。其中的水不是搬运介质，而是组成物质，稠度大，石块呈悬浮状态，暴发突然，持续时间亦短，破坏力大。

2、稀性泥石流，以水为主要成分，粘性土含量少，固体物质占10-40%，有很大分散性。水为搬运介质，石块以滚动或跃移方式前进，具有强烈的下切作用。其堆积物在堆积区呈扇状散流，停积后似“石海”。

以上分类是中国最常见的两种分类。除此之外还有多种分类方法。如按泥石流的成因分类有：水川型泥石流，降雨型泥石流；按泥石流流域大小分类有：大型泥石流，中型泥石流和小型泥石流；按泥石流发展阶段分类有：发展期泥石流，旺盛期泥石流和衰退期泥石流等等。



坡面型泥石流示意图



临安市昌化镇后营村泥石流，2005年9月3日晚19~23时冲毁民房132间，死亡9人。

## 坡面型泥石流



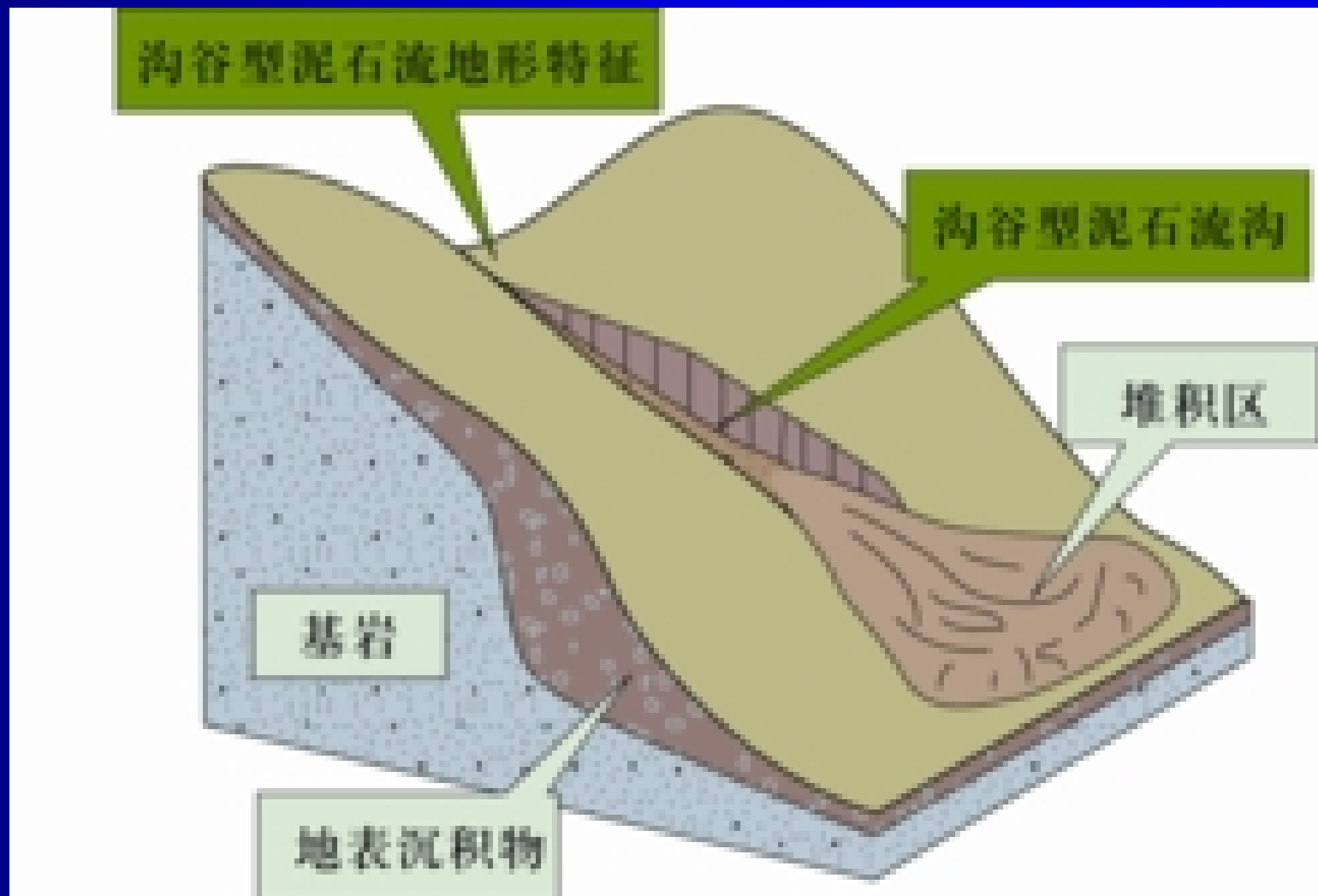
广西贺州金秀滑坡







# 沟谷型泥石流示意图



# 沟谷型泥石流



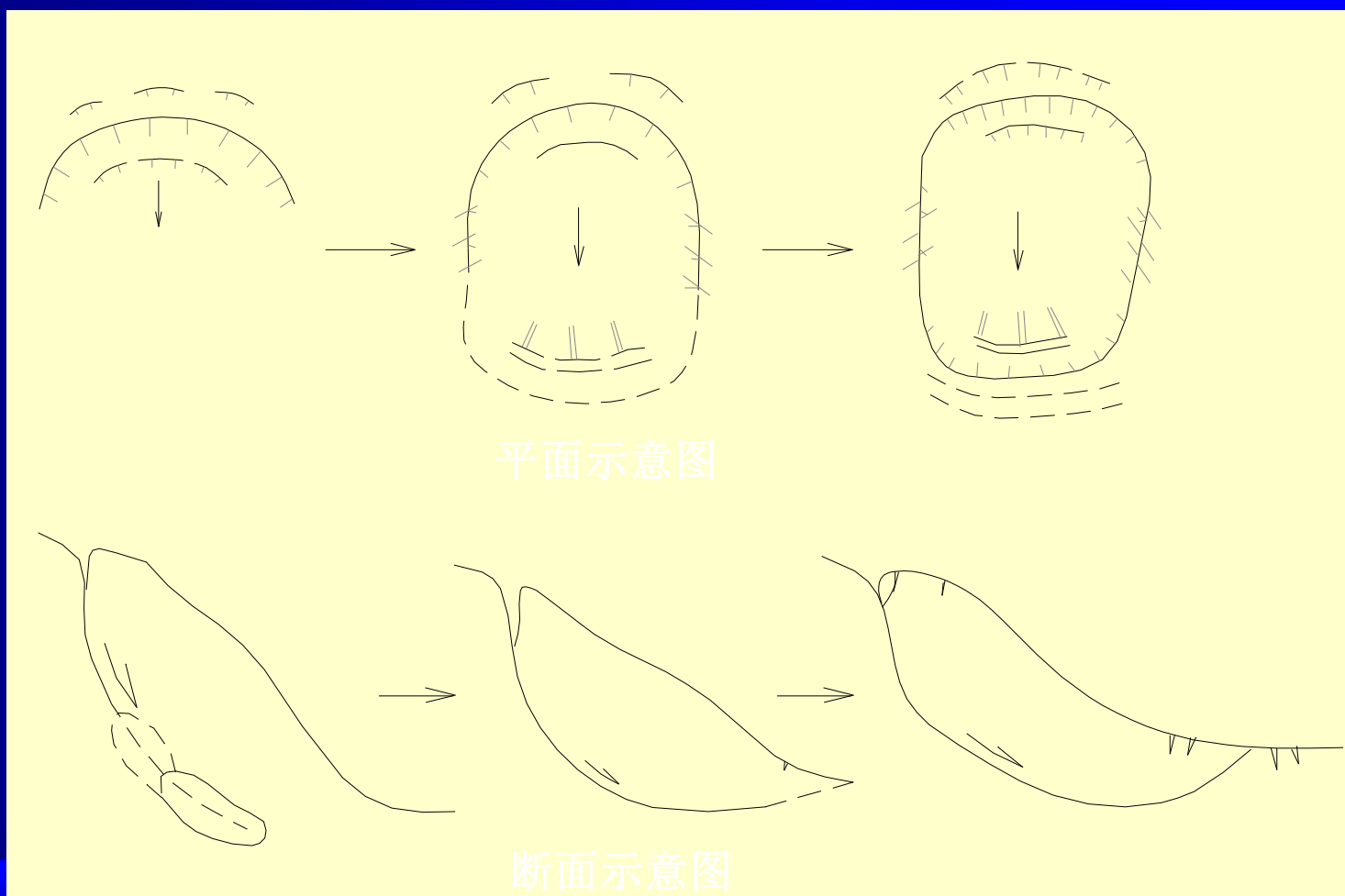


2006年8月11日凌晨，石磨下村附近山体多处发生滑坡，并由这些滑坡形成了泥石流，共造成20人死亡，经济损失达158万元。

庆元县石磨下村泥石流灾害

# 第六章 滑坡的发育阶段

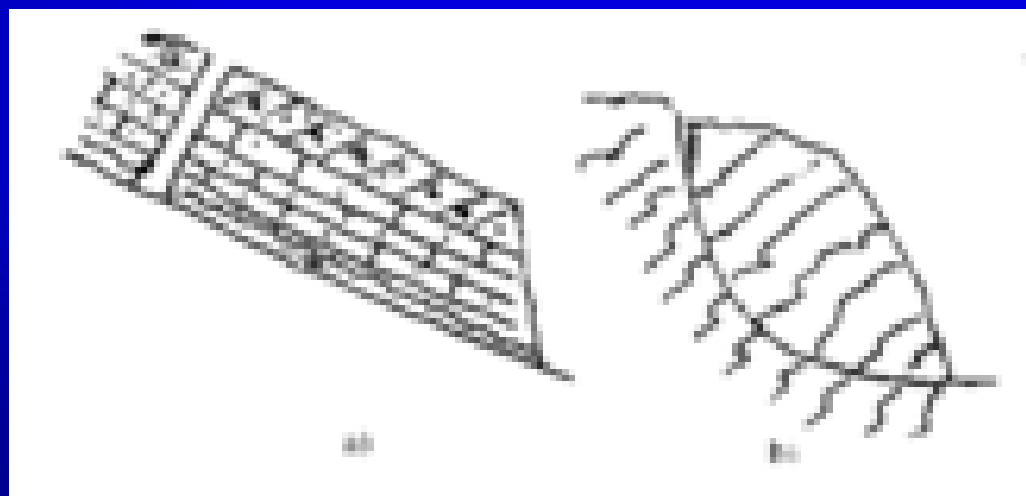
- 1. 局部失稳的蠕动挤压阶段 ( $K>1$ )
- 2. 整体失稳的匀速滑动阶段 ( $K=1$ )
- 3. 急剧滑动至破坏阶段 ( $K<1$ )
- 4. 滑后固结压密阶段 ( $K>1$ )



滑坡发育过程示意图



a)、牵引式滑坡；b) 推动式滑坡



a)、顺层滑坡；b) 切层滑坡

## 第八章 滑坡的作用因素

联合国科教文组织世界滑坡编目工作组于上世纪90年代建议将所有这些因素归纳为场地条件、地貌作用、自然作用、人为作用四大类（表5）。

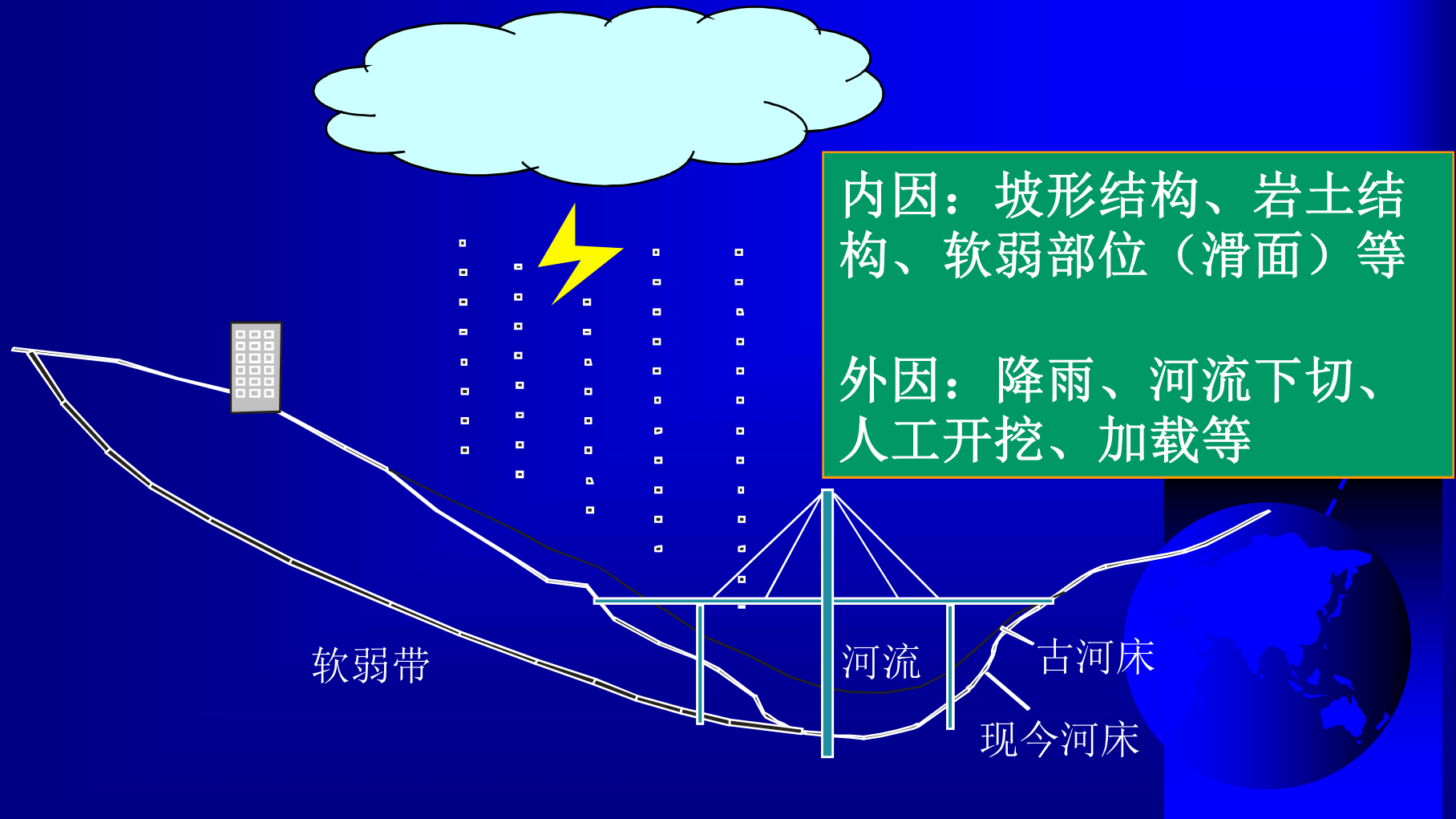
- 场地条件类主要指组成斜坡岩土体的性质或地质结构。主要是指易滑岩土层及易滑结构。
- 地貌作用主要指改变斜坡外形使之变高变陡的各种自然作用，或塑造斜坡外形的各种自然作用。
- 自然作用包括增大滑动力减小阻滑力的各种自然因素。
- 人为作用则包括增大滑动力和减小阻滑力的各种人为活动。



# 与滑坡成因有关的各种因素

1. 地质因素	2. 水文地质因素
<ul style="list-style-type: none"> <li>1.1 地质构造——断裂带</li> <li>1.2 地质构造——褶皱带</li> <li>1.3 地质构造——节理带</li> <li>1.4 地质构造——层间错动带</li> <li>1.5 地质构造——层间错动带</li> <li>1.6 地质构造——层间错动带</li> <li>1.7 地质构造——层间错动带</li> <li>1.8 地质构造——层间错动带</li> <li>1.9 地质构造——层间错动带</li> <li>1.10 地质构造——层间错动带</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>2.1 水文地质因素</li> <li>2.2 水文地质因素</li> <li>2.3 水文地质因素</li> <li>2.4 水文地质因素</li> <li>2.5 水文地质因素</li> <li>2.6 水文地质因素</li> <li>2.7 水文地质因素</li> <li>2.8 水文地质因素</li> <li>2.9 水文地质因素</li> <li>2.10 水文地质因素</li> </ul>
3. 气象因素	4. 人为因素
<ul style="list-style-type: none"> <li>3.1 气象因素——降雨</li> <li>3.2 气象因素——降雨</li> <li>3.3 气象因素——降雨</li> <li>3.4 气象因素——降雨</li> <li>3.5 气象因素——降雨</li> <li>3.6 气象因素——降雨</li> <li>3.7 气象因素——降雨</li> <li>3.8 气象因素——降雨</li> <li>3.9 气象因素——降雨</li> <li>3.10 气象因素——降雨</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>4.1 人为因素——工程活动</li> <li>4.2 人为因素——工程活动</li> <li>4.3 人为因素——工程活动</li> <li>4.4 人为因素——工程活动</li> <li>4.5 人为因素——工程活动</li> <li>4.6 人为因素——工程活动</li> <li>4.7 人为因素——工程活动</li> <li>4.8 人为因素——工程活动</li> <li>4.9 人为因素——工程活动</li> <li>4.10 人为因素——工程活动</li> </ul>

# 滑坡成因机理——成因要素





作用因素		对滑坡的作用
自然因素	风化作用	降低岩土体的强度
	降雨（雪）	增大滑体重量和下滑力；减少滑带土强度和抗滑力；灌入裂缝产生静水压力；提高地下水位
	地下水变化	增加滑带土孔隙水压力减小抗滑力；增大动水压力 and 下滑力；潜蚀或溶蚀滑带减小抗滑力
	河流冲刷	增大斜坡高度和坡脚陡度和应力；减小抗滑支撑力
	地震	增大下滑力；减小抗滑力；滑带土液化
	崩塌加载	增大坡体重量和下滑力；增大地表水下渗
人为因素	开挖坡脚	增大坡脚应力，减小抗滑力
	坡上加载	增大坡体重量和下滑力；增大地表水下渗
	水库水位升降	增大动水压力 and 下滑力，浸泡抗滑地段减小抗滑力；提高地下水位和滑带土孔隙压力；减小抗滑力
	灌溉水下渗	增大滑体重量和下滑力，提高地下水位，增加滑带土孔隙压力，减小抗滑力
	采空塌陷	增大下滑力；滑带松弛、地表水下渗，减小抗滑力
	爆破振动	增大下滑力；破坏滑带，减小抗滑力
	破坏植被	增大地表水下渗和下滑力，减小抗滑力

# 水对滑坡稳定性的影响

滑坡多发生在多雨季节，一次暴雨可诱发大量滑坡滑动，显然水对滑坡稳定性的影响是很大的。其作用可以概括为物理化学效应、孔隙水压力效应和渗透压力（动水压力）效应。

## 1、水对滑坡稳定性的影响——物理化学效应

粘性土在水的浸泡下其吸附水膜厚度显著增大，从而使其抗剪强度参数 $c$ 、 $\phi$ 值大大降低，粘土中蒙脱石含量高时尤其显著。



# 水对滑坡稳定性的影响

## 2. 水对滑坡稳定性的影响——空隙水压力效应

空隙水压力对岩土体强度的影响，可以用莫尔——库仑破坏准则来描述：

$$\tau_f = (\sigma_n - p_w) \tan \varphi + c$$

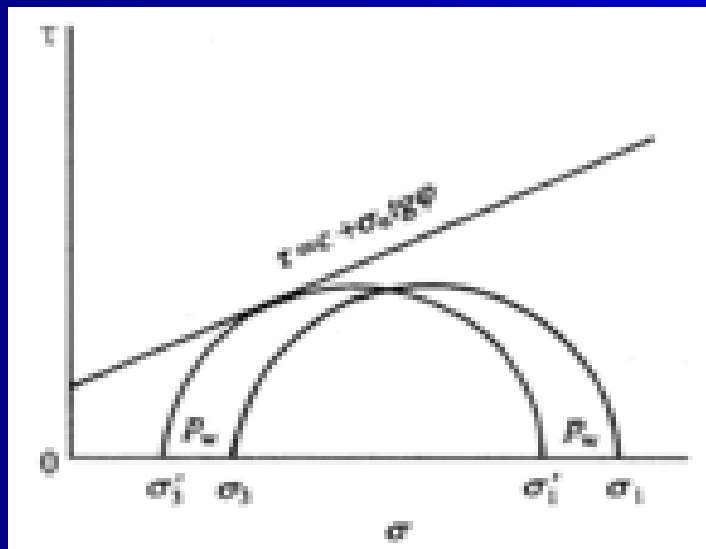


图12 莫尔强度包络线

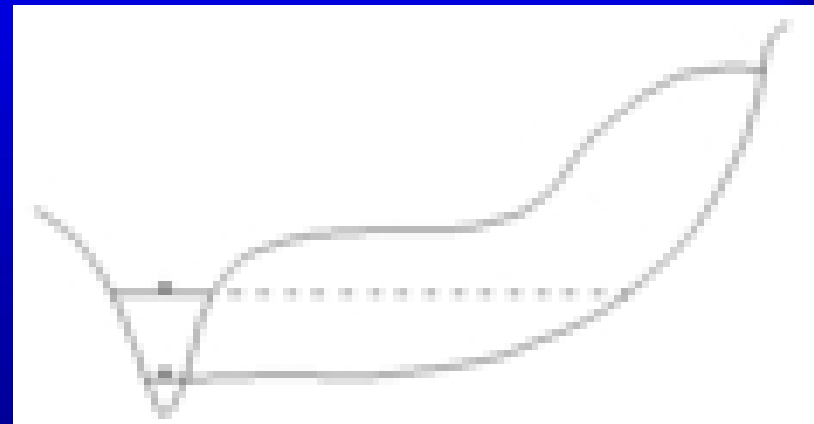


图13 水库充水诱发滑坡示意图

# 水对滑坡稳定性的影响

## 2、水对滑坡稳定性的影响——空隙水压力效应

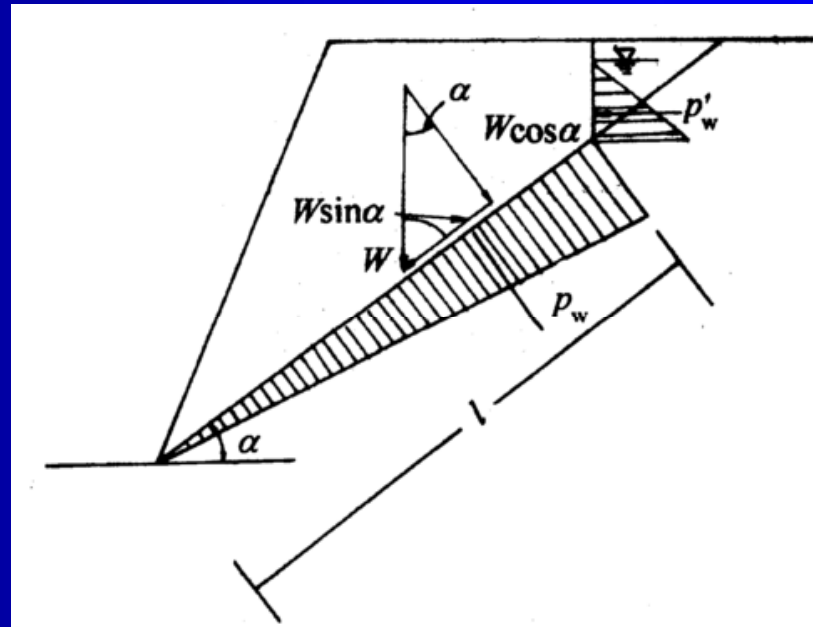


图14 空隙水压力对斜坡稳定性的影响示意图

$$K = \frac{(W \cos \alpha - p_w - p'_w \sin \alpha) \tan \varphi + cL}{W \sin \alpha + p'_w \cos \alpha}$$



# 水对滑坡稳定性的影响

## 2、水对滑坡稳定性的影响——空隙水压力效应

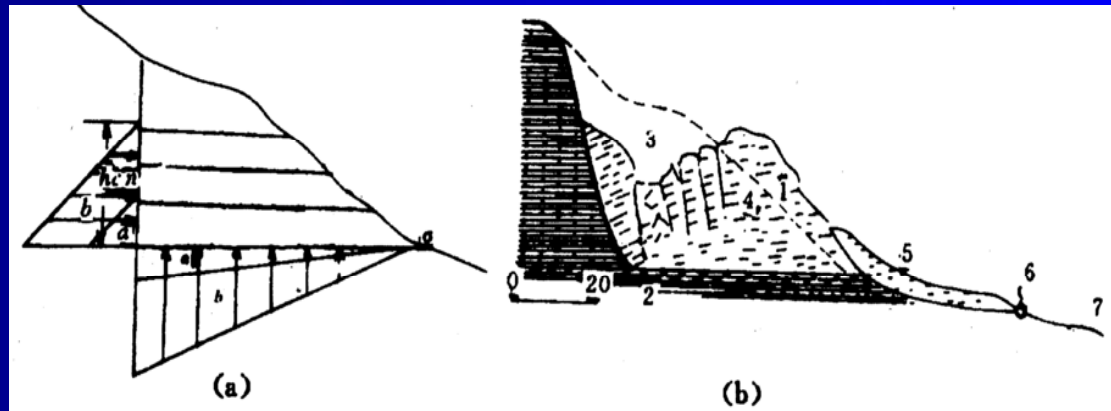


图15 特大暴雨条件下产生的平推式滑坡

(a)起动机制分析图 (b)成都龙泉山红花塘滑坡

$$h_{cr} \approx \frac{1}{2 \cos \alpha} \left[ L^2 \tan^2 \varphi + 8 \frac{W}{\gamma_w} \cos \alpha (\cos \alpha \tan \varphi - \sin \alpha) \right]^{\frac{1}{2}} - \frac{L}{2 \cos \alpha} \tan \varphi$$

$$h_{cr} = \frac{1}{2} \left[ L^2 \tan^2 \varphi + 8 \frac{W}{\gamma_w} \tan \varphi \right]^{\frac{1}{2}} - \frac{L}{2} \tan \varphi$$

$$\alpha = 0$$

## 2. 水对滑坡稳定性的影响——渗透压力或动水压力

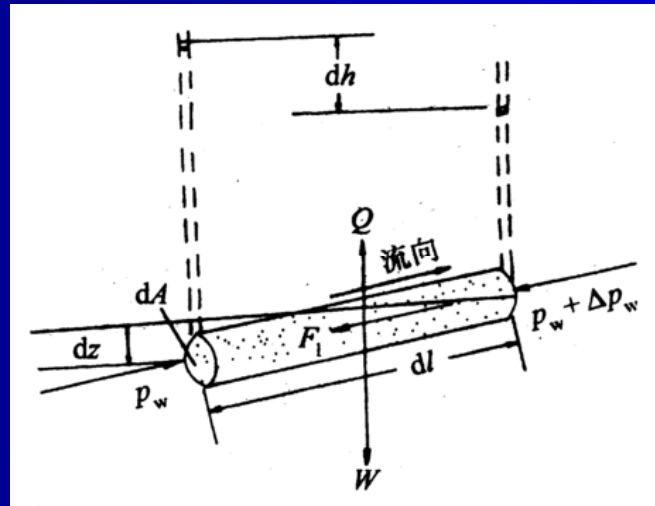


图17 水库水位快速消落  
产生高动水压力示意图

图16 渗流场微单元土体上受力示意图

# 滑坡应急

- 1) 避：加强监测，做好预报，提早组织人员疏散和财产转移。
- 2) 排：截、排、引导地表水和地下水，开挖排水和截水沟将地表水引出滑坡区；对滑坡中后部裂缝及时进行回填或封堵处理，防止雨水沿裂隙渗入到滑坡中，可以利用塑料布直接铺盖，或者利用泥土回填封闭；实施盲沟、排水孔疏排地下水。
- 3) 挡：采用抗滑桩、挡土墙、锚索、锚杆等工程对滑坡进行支挡，是滑坡治理中采用最多、见效最快的手段。
- 4) 减：当滑坡仍在变形滑动时，可以在滑坡后缘拆除危房，设置清除部分土石，以减轻滑坡的下滑力，提高整体稳定性。
- 5) 压：当山坡前缘出现地面鼓起和推挤时，表明滑坡即将滑动。  
这时应该尽快在前缘堆积砂石压脚，抑制滑坡的继续发展，为财产转移和滑坡的综合治理赢得时间。
- 6) 固：结合微型桩群对滑带土灌浆提高滑带土的强度，增加滑坡自抗滑力。

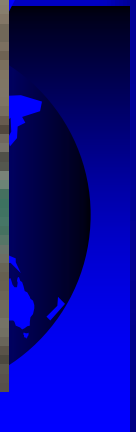
一、开挖排水和截水沟将地表水引出危险区。当滑坡、崩塌体尚未稳定，或者后山斜坡仍存在滑动、崩落危险时，可以根据现场情况，迅速开挖排水或截水沟渠，将流入危险区内的地表雨水堵截在外或将滑坡、崩塌区内的地表水体引出区外。在未稳定的滑坡、崩塌堆积体上修砌排水沟渠时，注意基础的稳定情况，还需采取夯实、铺填塑料布等防渗措施。

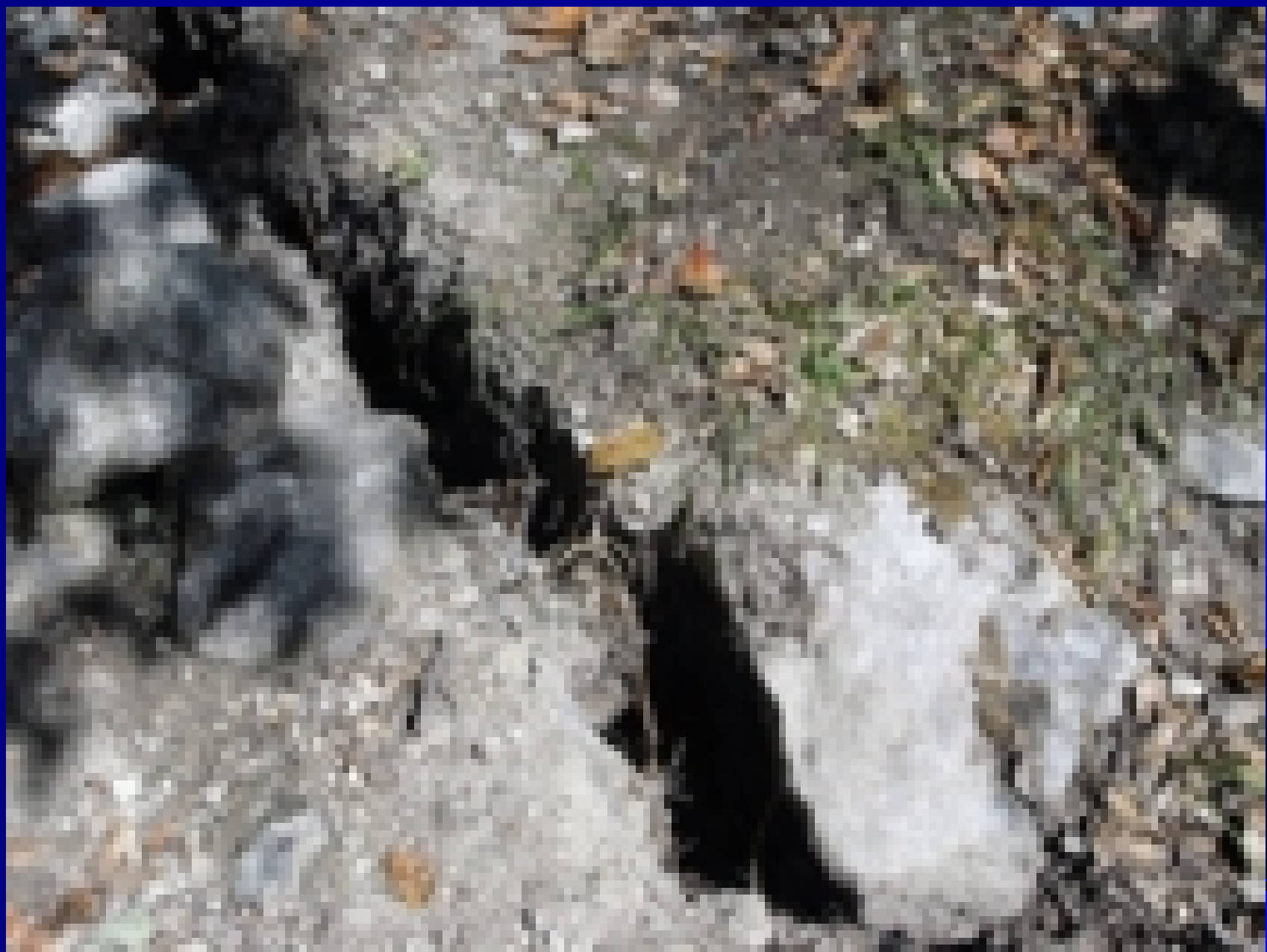
二、及时封堵裂隙防止地表水的直接渗入。滑坡后缘出现裂缝时，应及时进行回填或封堵处理，防止雨水沿裂隙渗入到滑坡中。可以利用塑料布直接铺盖，或者利用泥土回填封闭，也可利用混凝土预制盖板遮盖。

三、利用重物反压坡脚减缓滑坡的滑动。当山坡前缘出现地面鼓起和推挤时，表明滑坡即将滑动。这时应该尽快在前缘堆积砂石压脚，抑制滑坡的继续发展，为财产转移和滑坡的综合治理赢得时间。

四、在后缘实施简易的减载工程。当滑坡仍在变形滑动时，可以在滑坡后缘拆除危房，设置清除部分土石，以减轻滑坡的下滑力。清除的土石可堆放于滑坡前缘，达到压脚的效果。

















谢谢各位！

