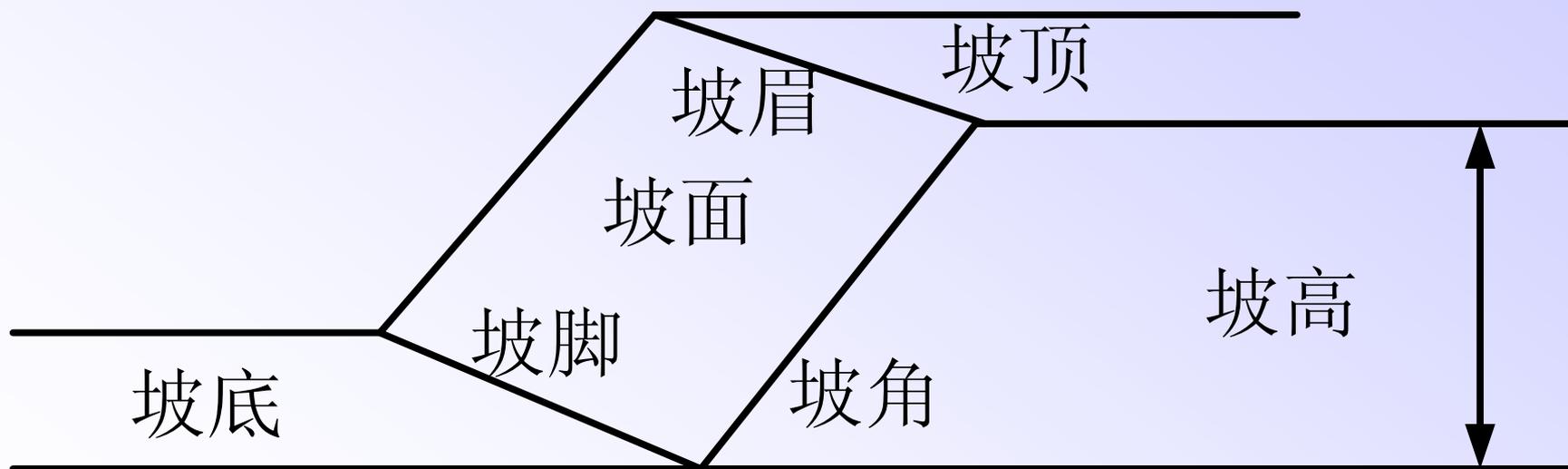


# 第 8 章 斜坡稳定性

**斜坡：**自然或人工开挖的具有一定延伸长度和坡角的坡体。



## 8.1 斜坡的应力分布特征

### 8.1.1 斜坡成坡后应力状态的变化

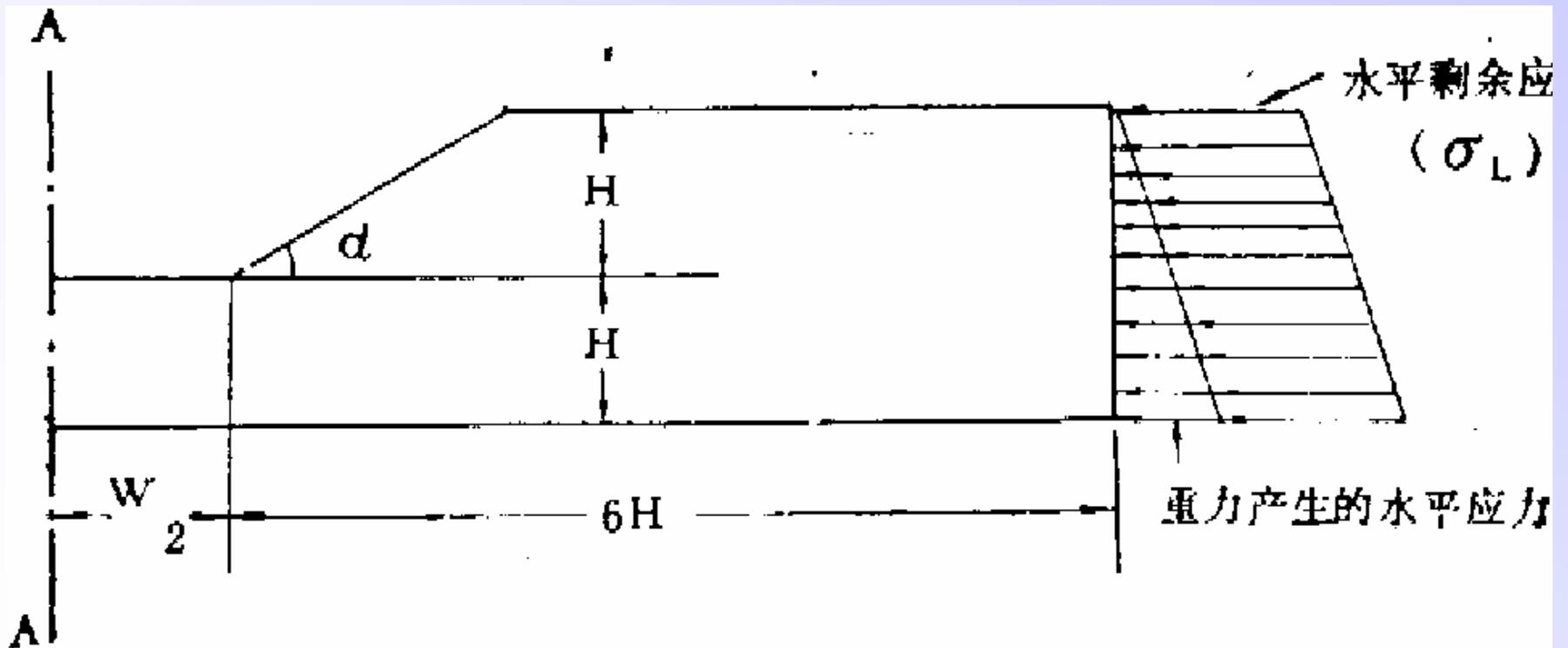
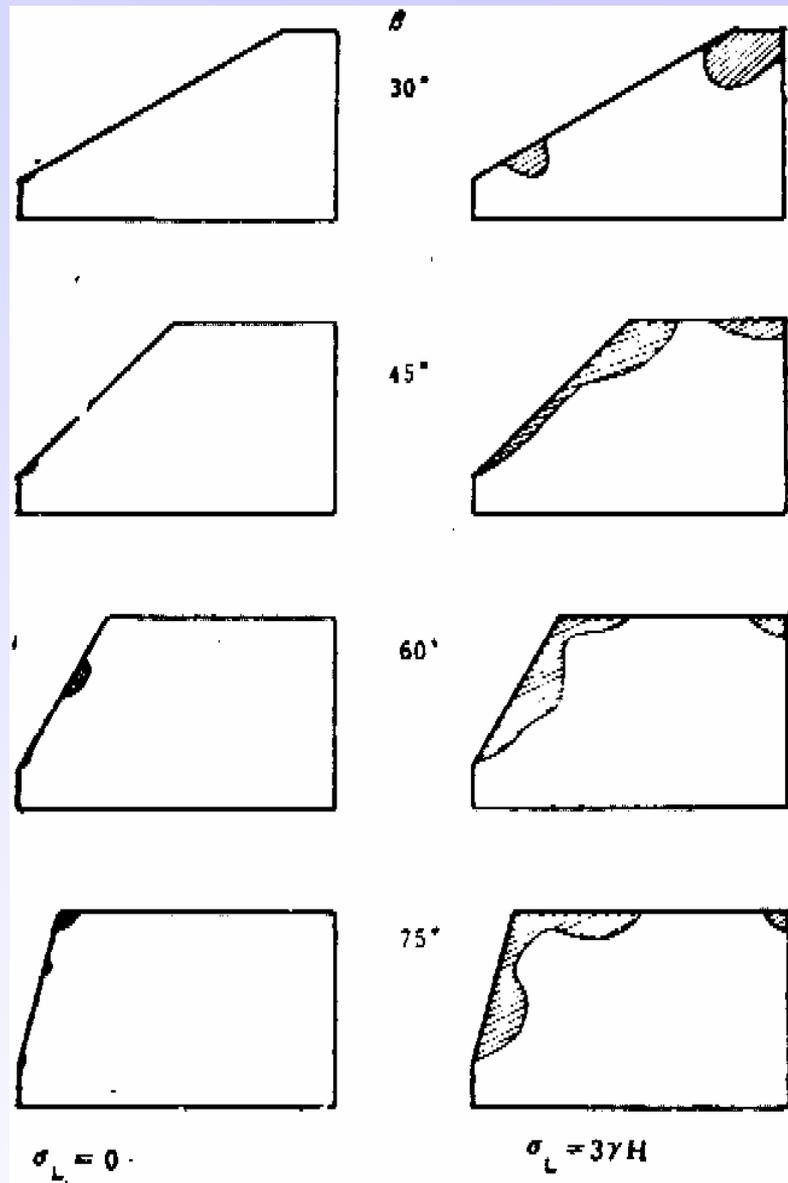
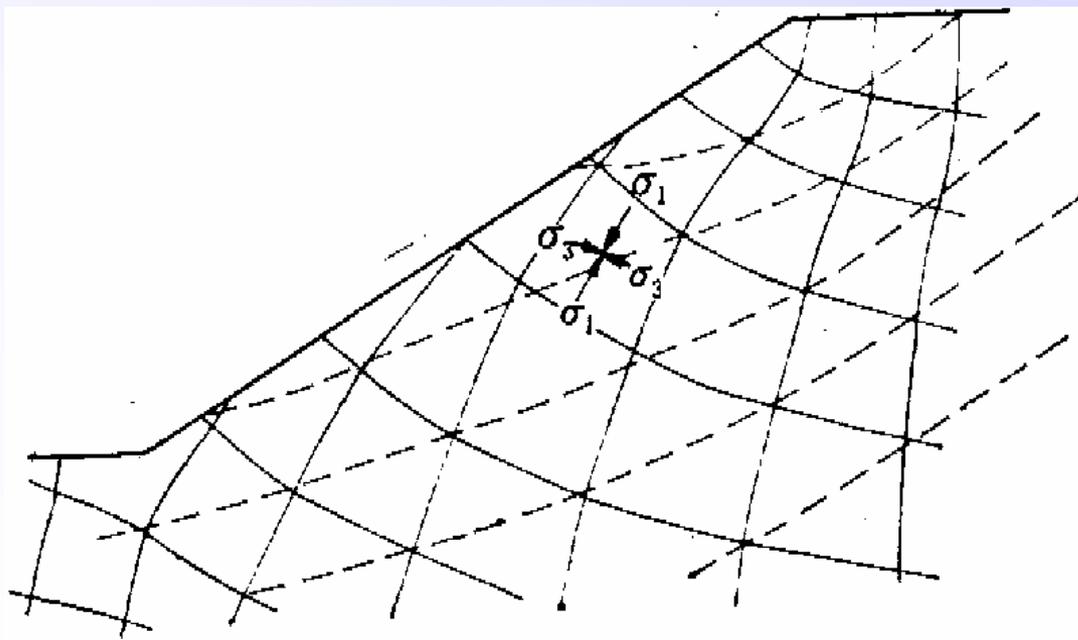


图8-1 边坡应力分布有限单元计算模型

- (1) 主应力迹线偏转
- (2) 坡角部位压应力集中、坡顶出现张应力带
- (3) 剪应力迹线由直线转化为似圆弧线
- (4) 坡面由三向转化为两向应力状态



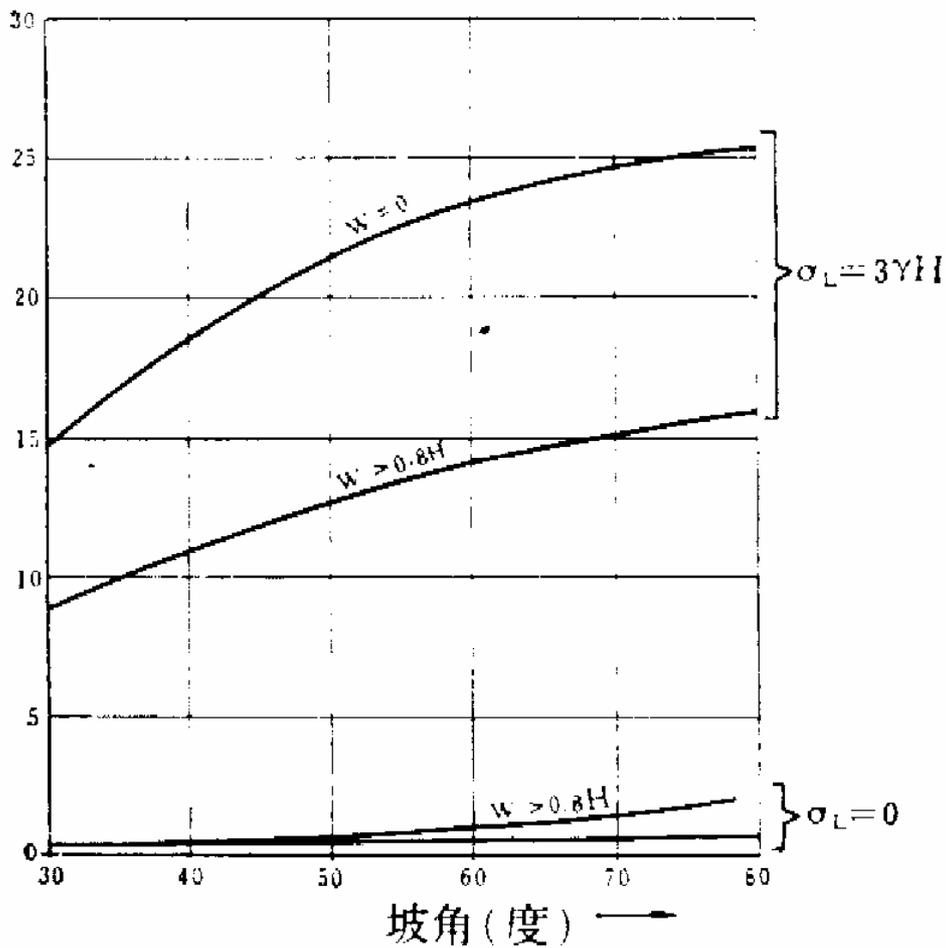
## 8.1.2 影响斜坡岩体应力分布的主要因素

- **1. 原始应力状态的影响**
- 岩体的原始应力状态中，水平剩余应力的大小对坡体应力状态的影响尤为显著。它不但使主应力迹线的分布形式有所不同，而且明显地改变了各应力值的大小，尤其对坡脚应力集中带和张力带的影响最大。

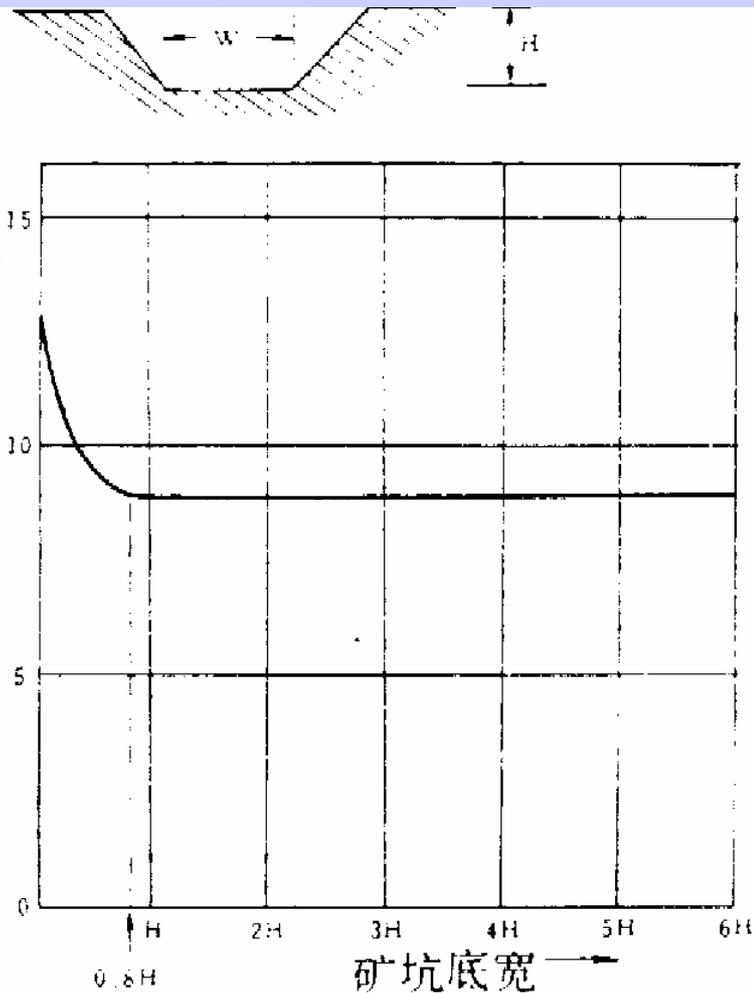
## 2. 坡形的影响

- **坡高**并不改变应力等值线图象，但坡内各处应力值均随坡高增高而线性增大；
- **坡角**明显改变了应力分布图象。随坡角变陡，张力带的范围有所扩大，坡脚步应力集中带最大剪应力值也随之增高；
- **坡底的宽度** ( $W$ ) 对坡脚的应力状态也有一定影响，计算表明，当  $W < 0.8H$  时，坡脚最大剪应力随底宽缩小而急剧增高，而当  $w > 0.8H$  时，则保持为一常值。

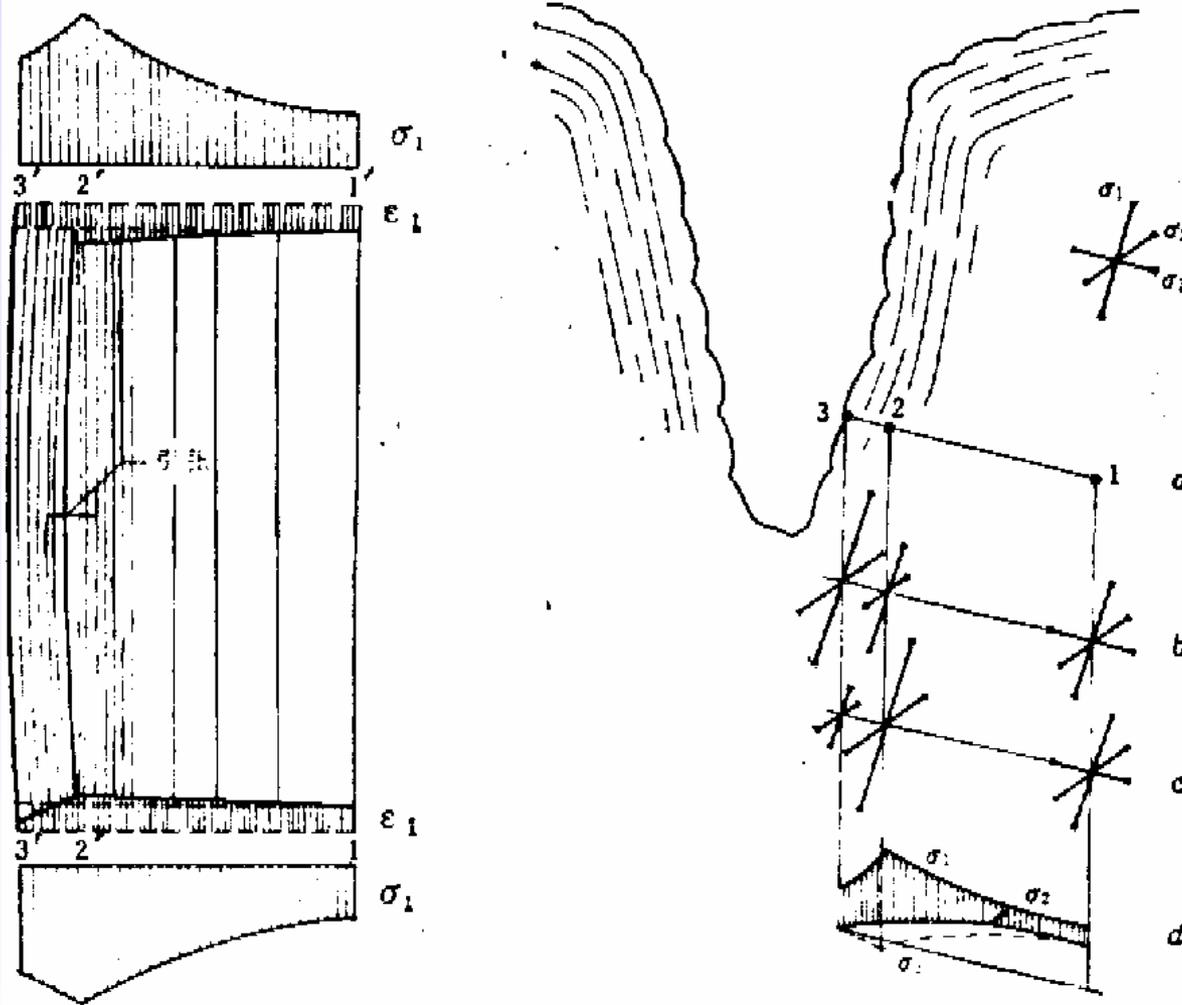
坡脚最大剪应力



坡脚最大剪应力



坡脚最大剪应力与坡角 ( $\beta$ ) 和坡底宽 ( $W$ ) 之间关系图解



陡坡坡面附近压致拉裂和弯曲的形成机制(左)和应力集中带的转换(右)

### 3. 斜坡岩体特性和结构特征的影响

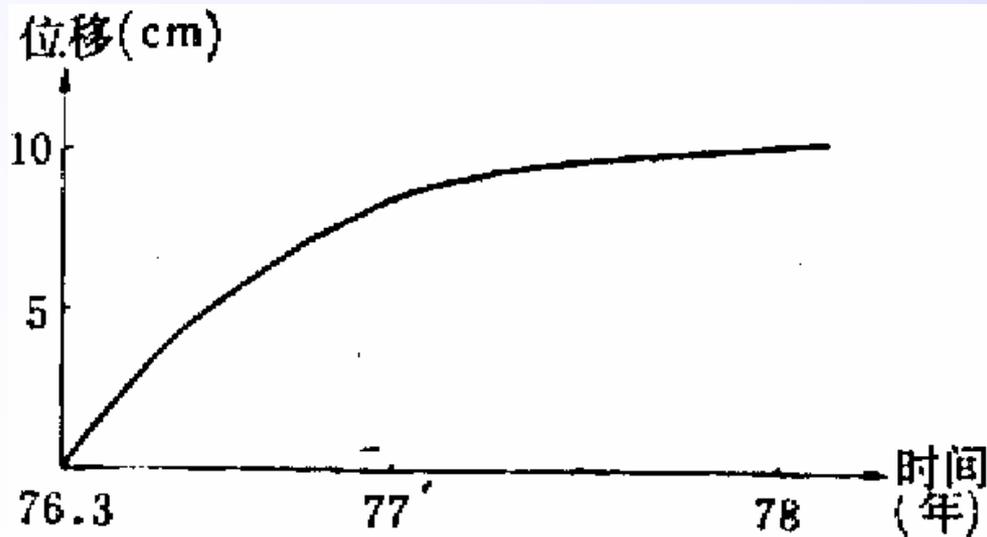
- (1) 材料均质对应力分布影响极小
- (2) 平缓结构面对应力的传播影响较大

## 8.2 斜坡的变形破坏方式

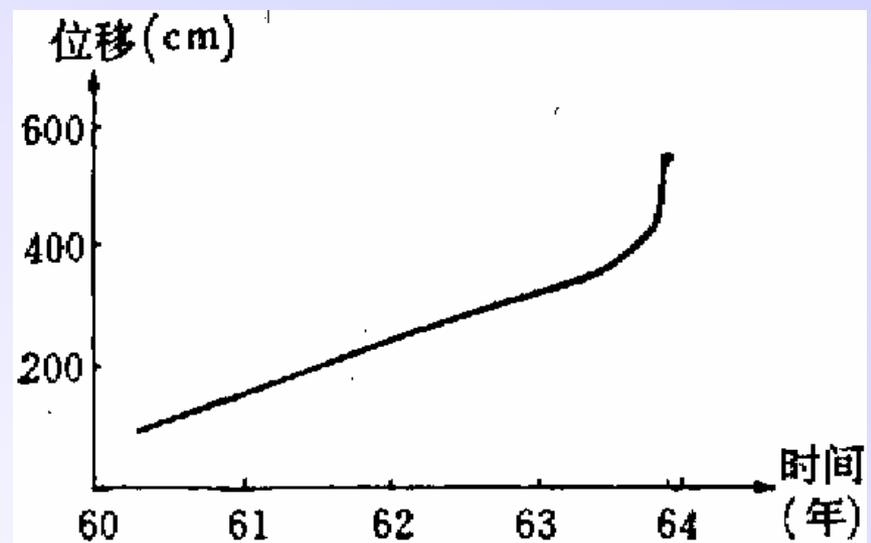
### 1. 斜坡坡体的卸荷回弹和蠕变变形

**卸荷回弹**：由坡体内积存的弹性应变能释放而产生的坡体向临空方向回弹膨胀。

**蠕变**：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。



葛洲坝机巢基坑边坡侧向  
位移长观曲线



瓦伊昂滑坡失事前山坡位移  
长观曲线

## 2. 斜坡变形的组合形式

类型	典型结构图式	坡体结构赤平投影图式	主要破坏方式
蠕滑   拉裂			<p>滑坡</p> <p>滑坡</p>
滑移   压致拉裂			<p>滑坡 (滑塌)</p>
弯曲   拉裂			<p>崩塌 滑坡 (滑塌)</p>
壅流   拉裂			<p>滑坡</p> <p>崩塌 滑坡</p>
滑移   弯曲			<p>滑坡</p> <p>滑坡</p>

## 8.2.2 斜坡破坏的主要类型及特征

### 1. 崩塌

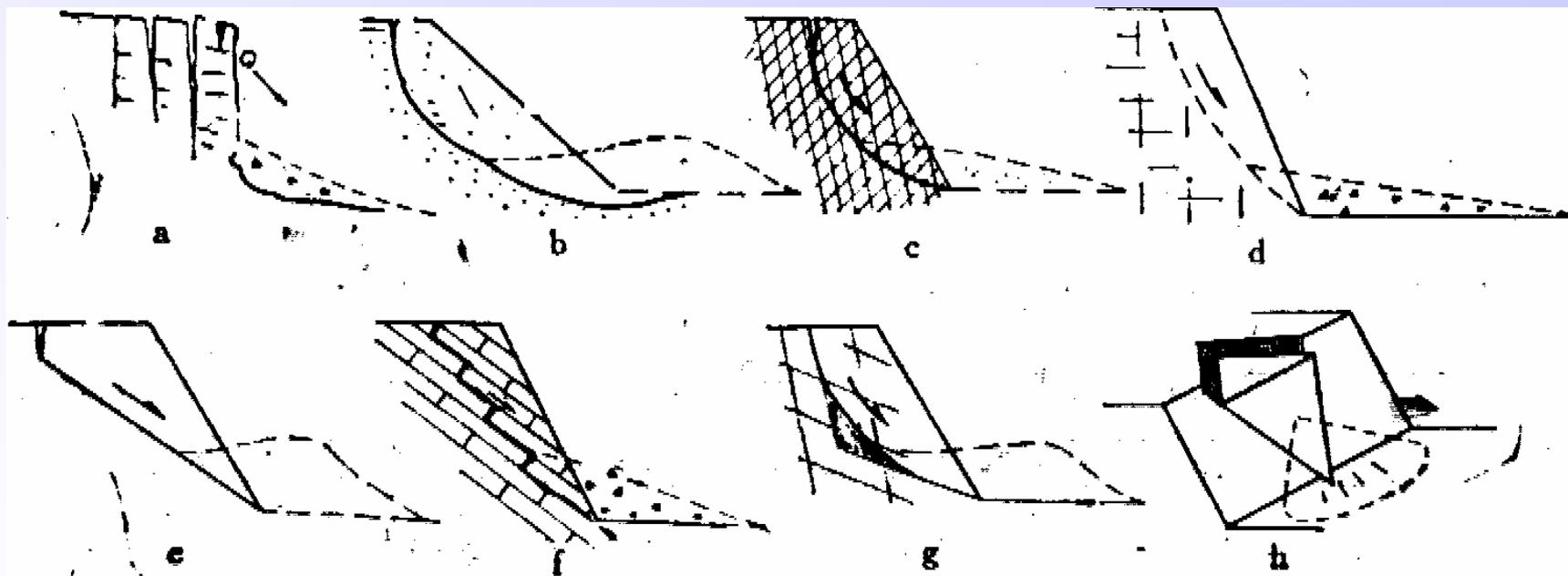
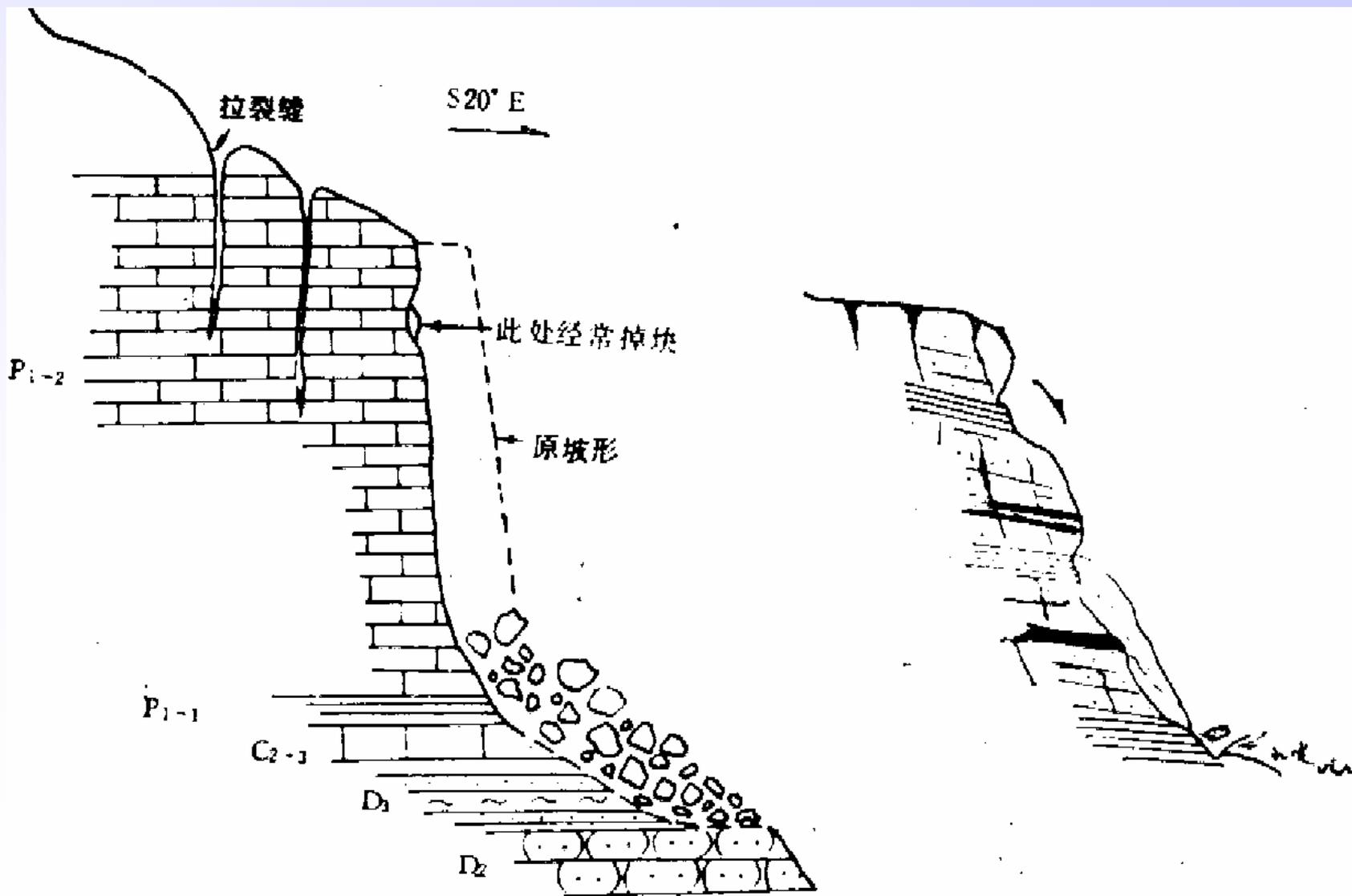
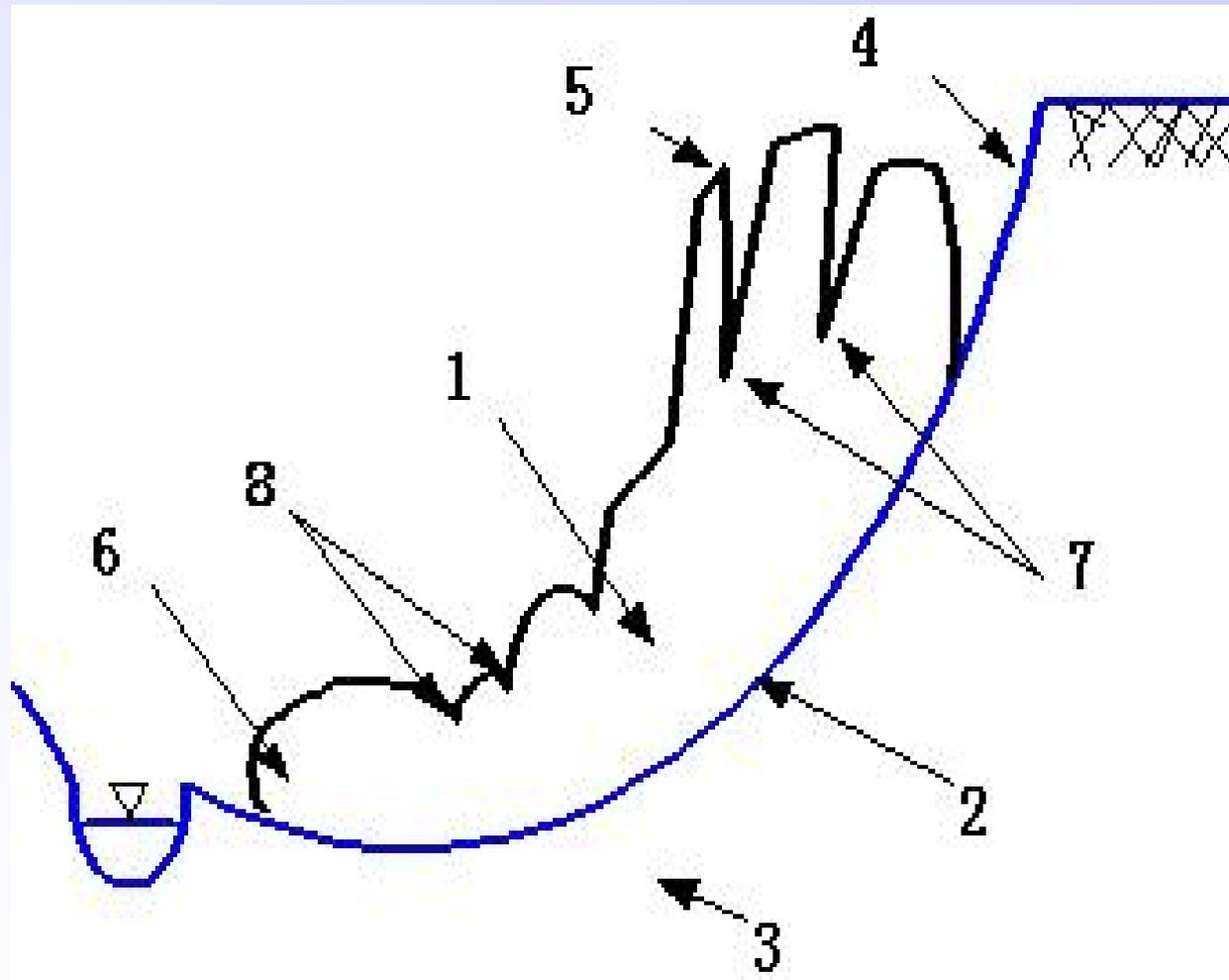


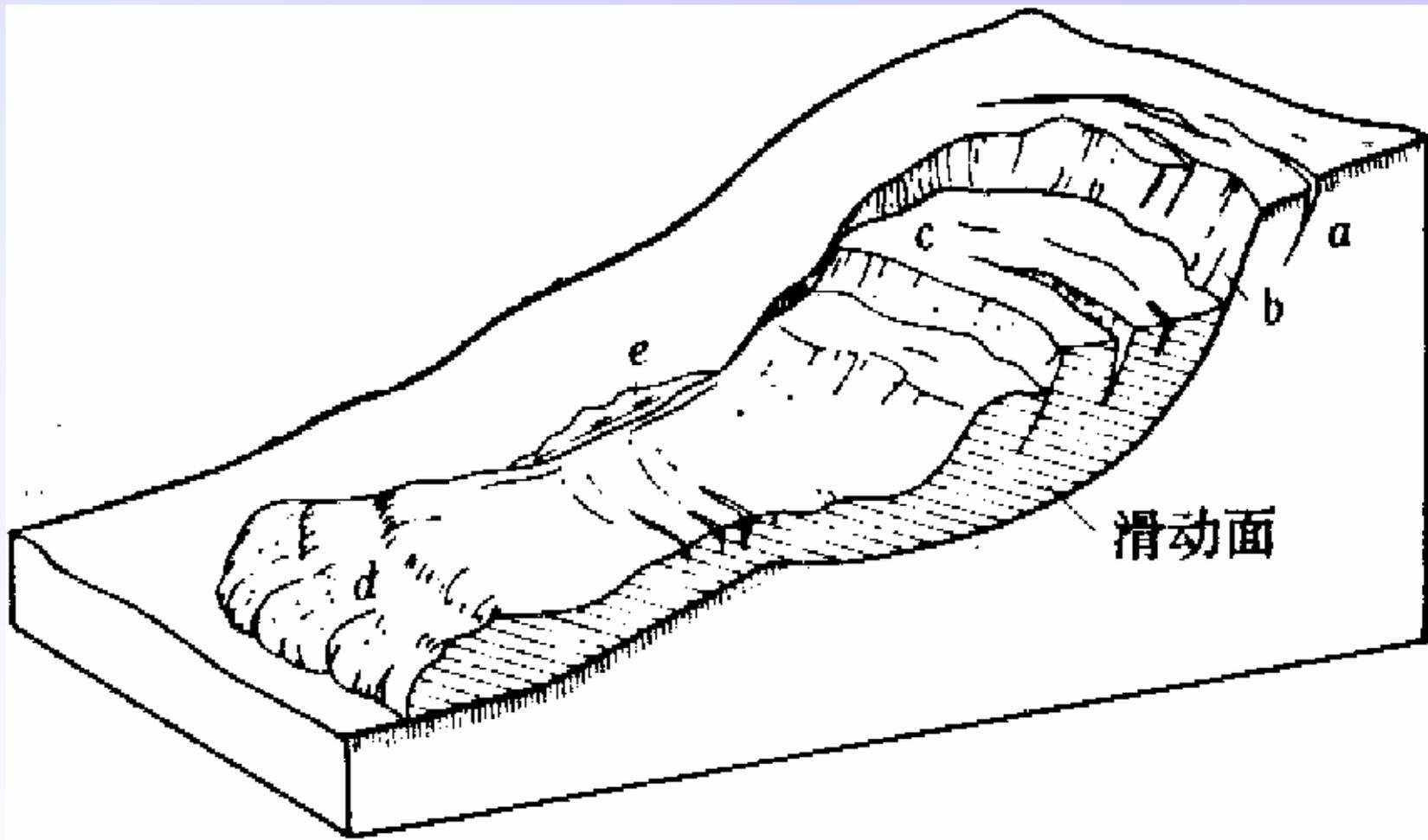
图8-9 斜坡破坏形式  
a—崩落；b~h—滑落

(a) 长江三峡月亮地二叠系灰岩陡坡的巨型崩  
(b) 宝成铁路沿线砂页岩互层边坡的坠落





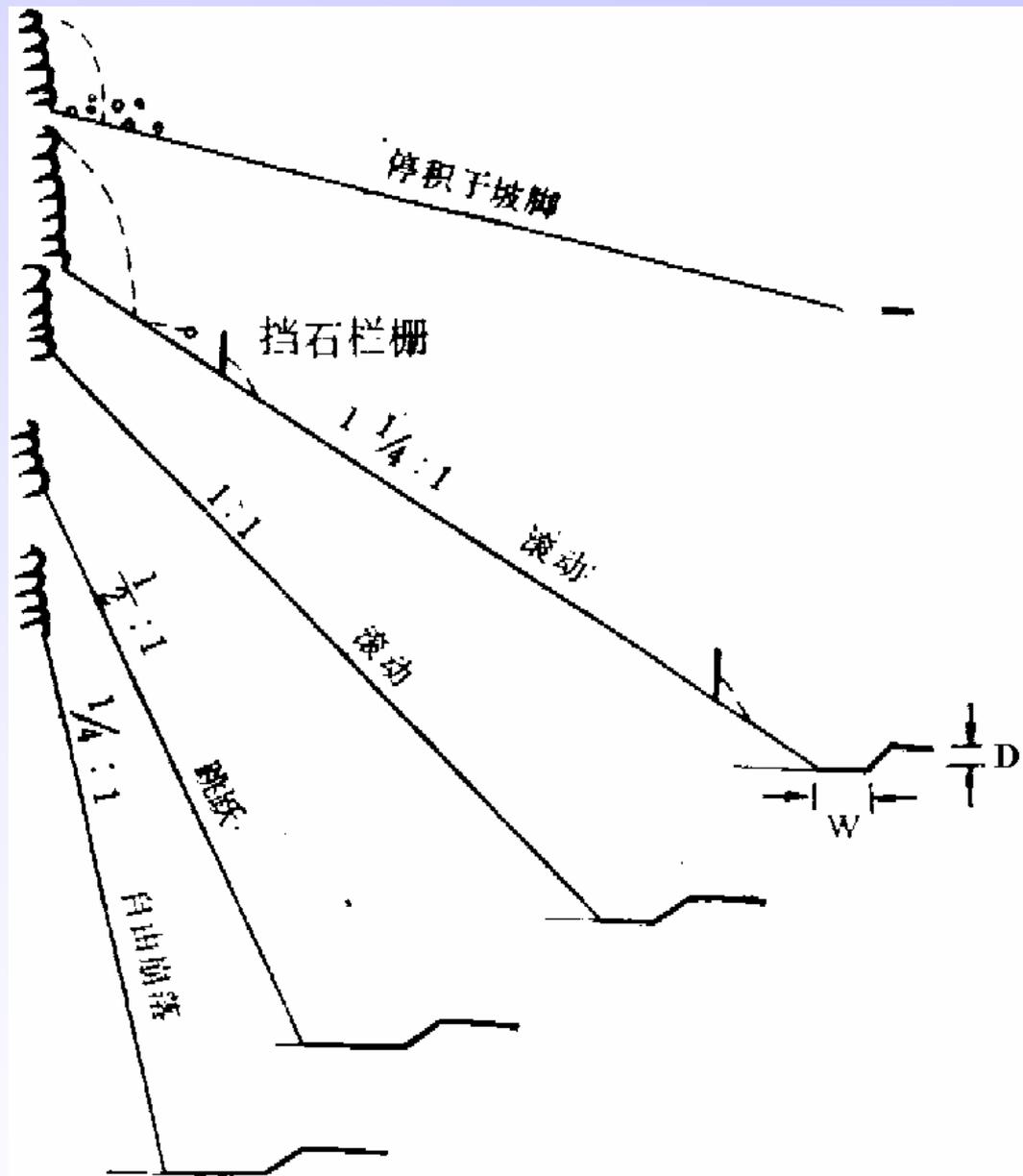
## 2. 滑坡



均质土坡中圆弧形滑动面上滑坡体的变形与解体及其特殊外貌  
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

## 8.2.3 崩落、滑落体的继续运动

不同陡坡坡面上坠石的运动方式



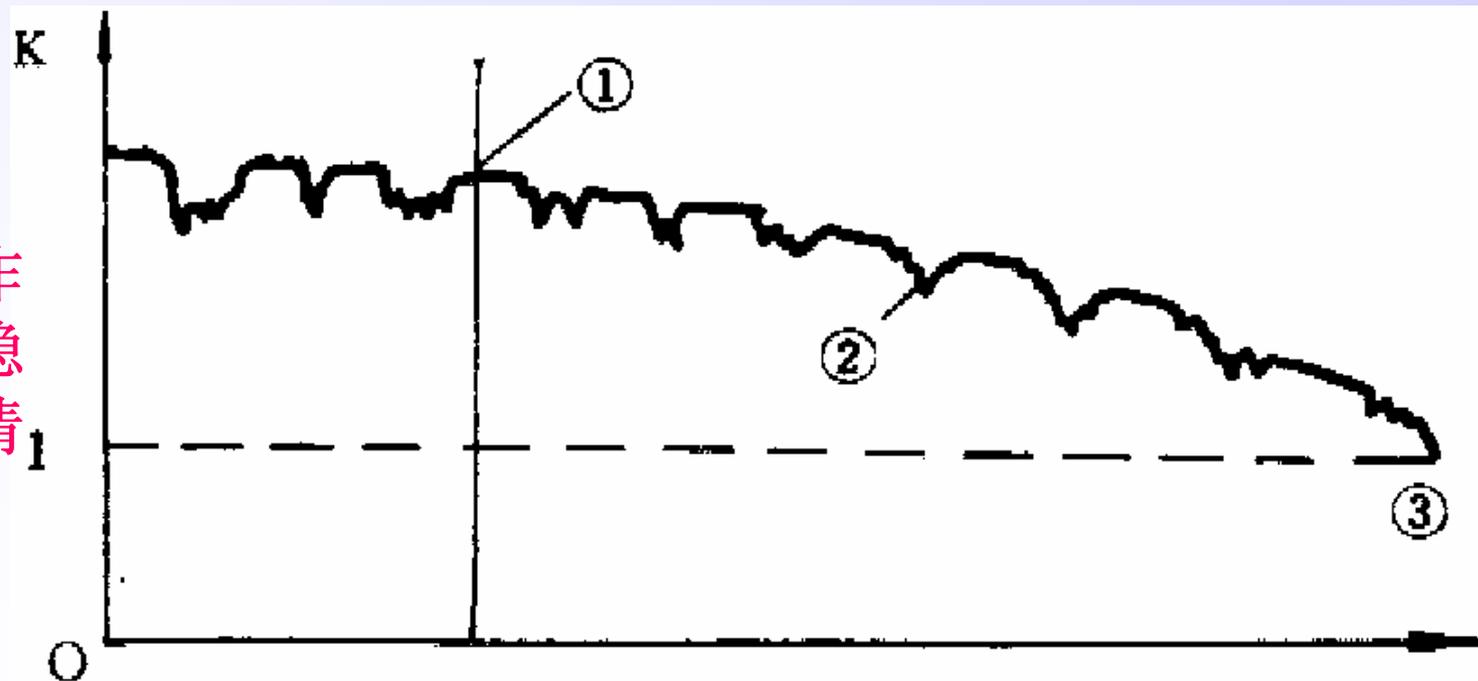
## 8.3 斜坡变形破坏的影响因素

(1) 改变坡形：坡角加陡、开挖坡角、加大坡高、开挖出不利结构面

(2) 改变坡体结构特征及性质：风化作用、渗透变形、水库渗水

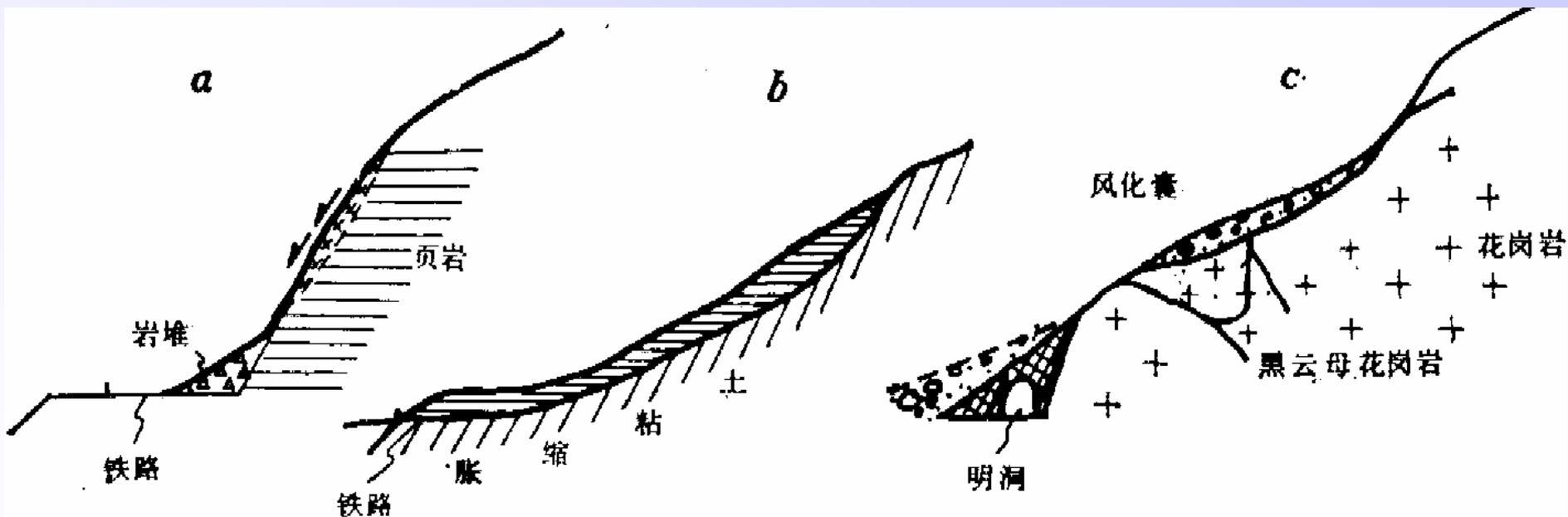
(3) 改变坡体应力状况：地震或爆破、工程荷载、地下水动压力、孔隙水压力、特大暴雨或异常洪水

各种营力作用下斜坡稳定性下降情况图示



## 8.3.1 促进斜坡变形破坏的主导因素及营力活跃集中带

### 1. 风化作用活跃带



坡体中几种强风化营力活跃带用其所造成的斜坡破坏形式  
a—剥落； b—土爬； c—崩滑

## 2.地下水作用活跃带

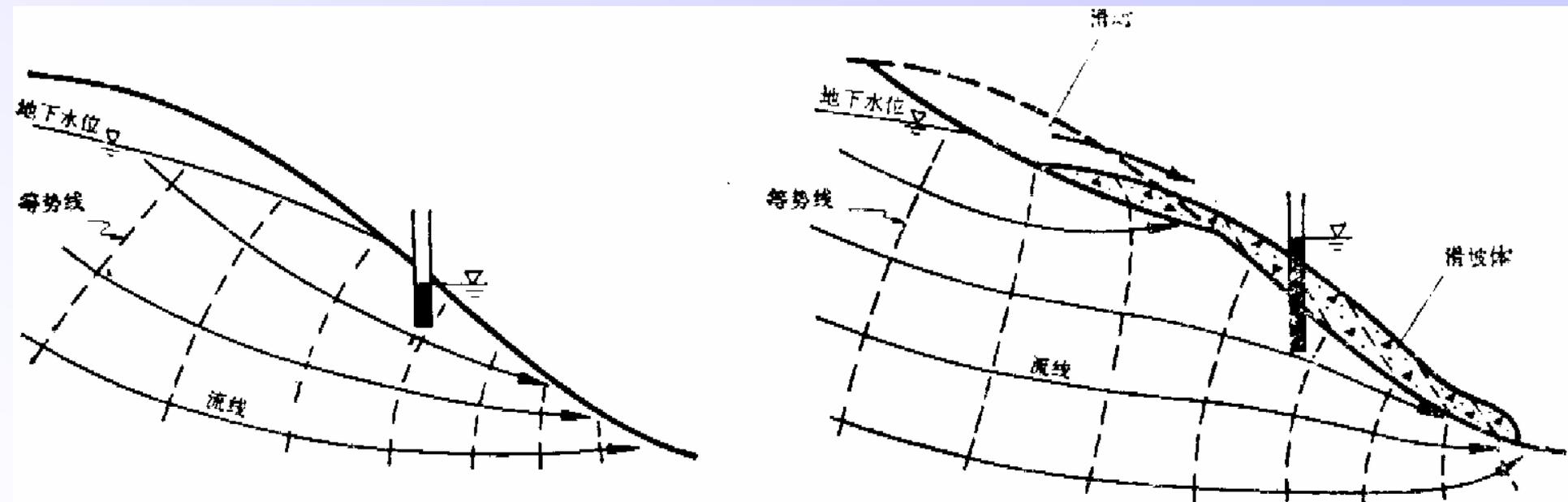


图8-15 斜坡遭受滑坡堆积物覆盖前后地下水流的变化

## 8.3.2 斜坡变形破坏的触发因素及触发机制

### 1.地震与人工爆破

坡体中由地震引起的附加力 $S$ 的大小：

$$S=qW$$

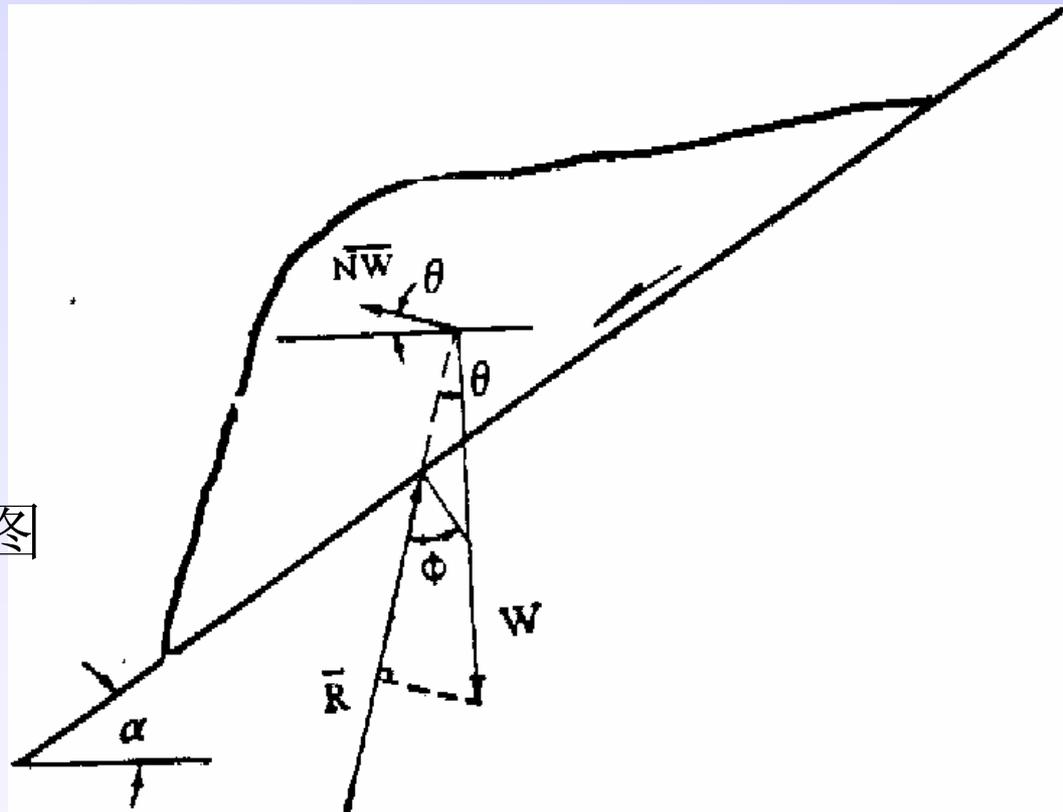
由爆破引起的附加力 $S'$ 为：

$$S'=Wa/g$$

动力作用下坡体受力状况示意图

$$\overrightarrow{NW} = W \sin(\phi - \alpha)$$

$$N=\sin(\phi-\alpha)$$



当 $qW \geq NW$ ，也即 $q \geq \sin(\phi - \alpha)$ 时，坡体失稳。

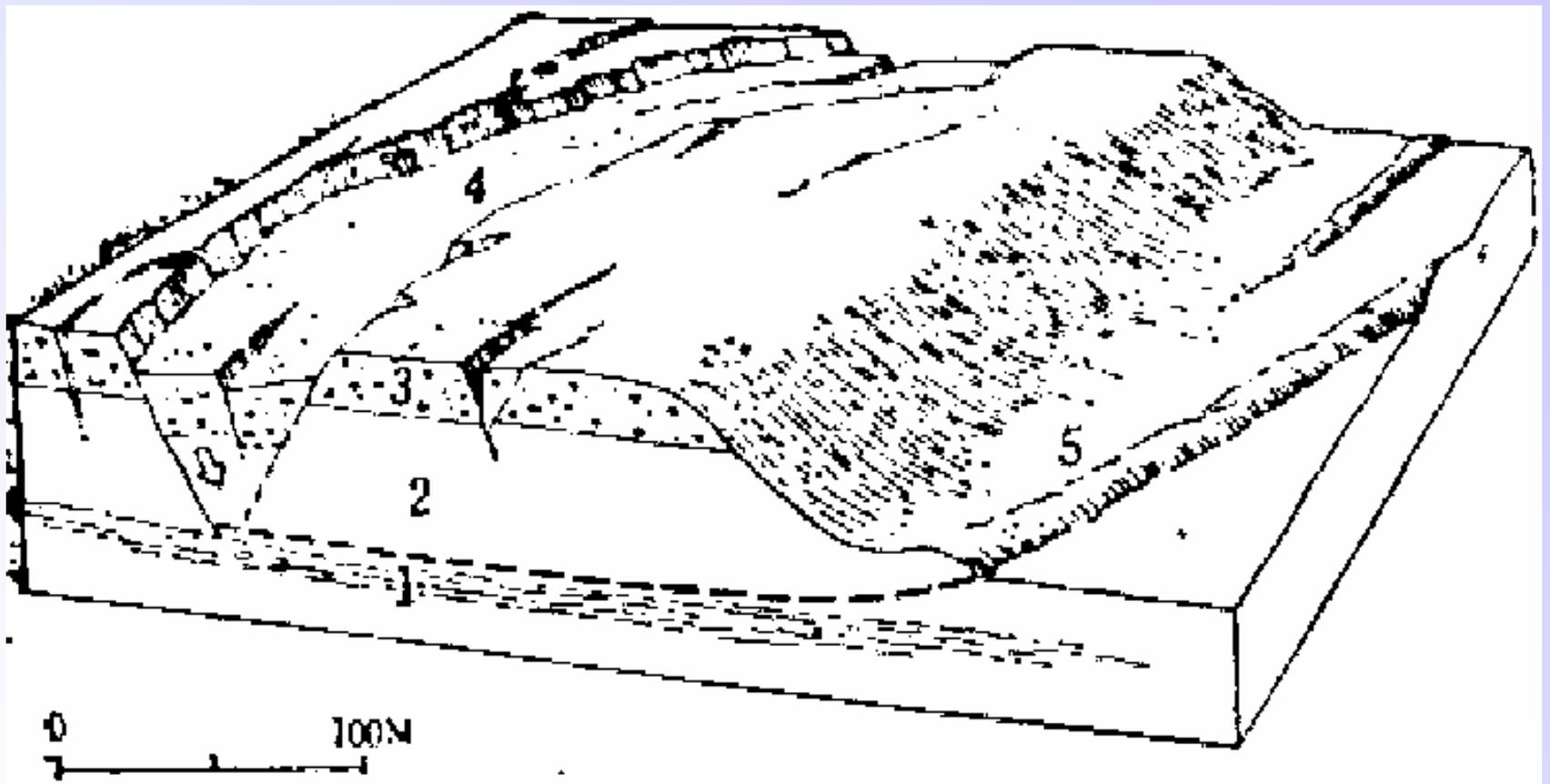
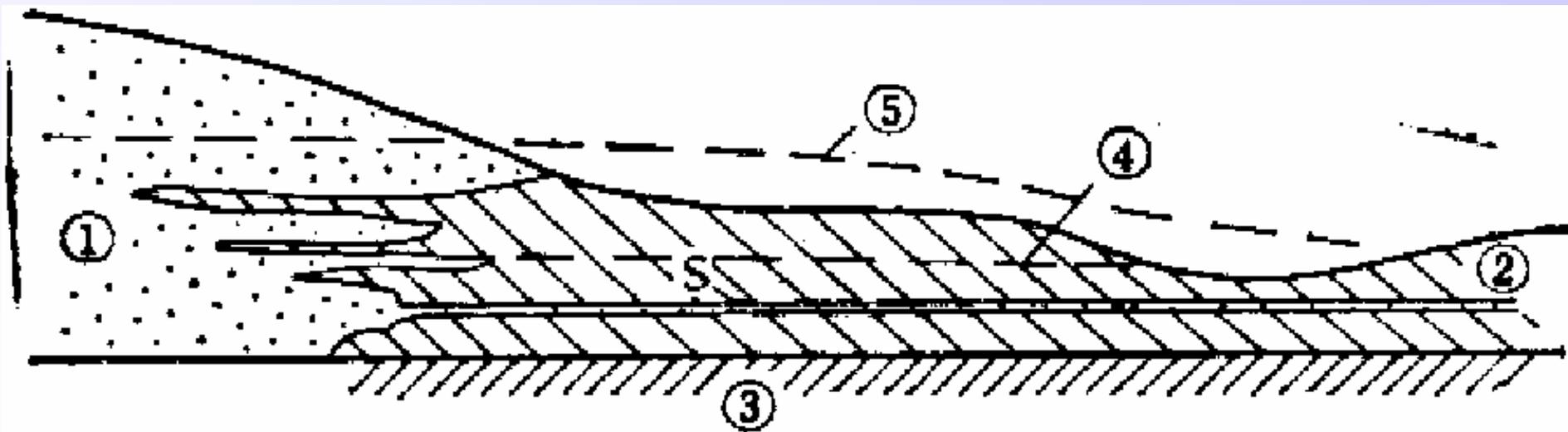


图8-17 1964年阿拉斯加地震因下伏敏感粘土液化引起的滑坡(据Haefen, 1969)

1—感粘土；2—硬粘土；3—砂砾石土；  
4—后缘陷落带；5—挤出的粘土。

## 2.特大暴雨和异常洪水



暴雨洪水引起土体内空隙水压力剧增造成的崩滑  
①—砂土；②—粘土；③—基岩；④—枯水时地下水位；  
⑤—特大暴雨期间地下水位

### 3.水击机制

一些斜坡变形体在演变过程中可能伴有局部的脆性破裂和扩容现象，滑体下滑时在滑面曲率半径变化显著部位甚至可出现“架空”现象。倘若上述破裂、扩容或架空现象发生于瞬间，破裂通道可出现“真空”；当它与库水沟通时，可迅速吸入库水；高速水流流入通道后又突然受阻，使滑移面承受非常高的空隙水压力，导致斜坡破坏。

## 8.4 斜坡稳定性评价

### 评价斜坡稳定性的方法

- (1) 极限平衡方法
- (2) 工程类比法
- (3) 数值分析法
- (4) 概率分析（可靠度分析法）



## (1) 滑移面为平面情况的稳定性计算

按岩石力学，计算坡体稳定性系数K的基本方程式为：

$$K = (cH / \sin\alpha + W \cos\alpha \cdot \operatorname{tg}\phi) / (W \sin\alpha)$$

滑坡极限坡高 $H_{\max}$ 为：

$$H_{\max} = 2c \sin\beta \cos\phi / [\gamma \sin(\beta - \alpha) \sin(\alpha - \phi)]$$

当后缘被拉裂面分割，并考虑到有空隙水压力作用时：

$$K = [(W \cos\alpha - U - V \sin\alpha) \operatorname{tg}\phi + cA] / (W \sin\alpha + V \cos\alpha)$$

$$U = 0.5 \gamma_w Z_w^2 \quad U = 0.5 \gamma_w Z_w A$$

$$U = 0.5 \gamma_w Z_w (H - Z_t) \cos\alpha$$

现场测定且缘拉裂面位置和深度有困难时，可按下式(据太沙基)推算 $Z_t$ ：

$$Z_t = \frac{2c}{\gamma} \cdot \frac{1 + \sin \phi}{1 - \sin \phi}$$

如果经统计分析测定裂隙面 $\alpha$ 的连续率为 $K_\alpha$ ，这样，在稳定性计算中应该采用该面的综合抗剪指标，由下式确定：

$$c_\alpha = (1 - K_\alpha)(c_m + \sigma_n \operatorname{tg} \phi_m) + K_\alpha c_j$$

$$\operatorname{tg} \phi_\alpha = K_\alpha \operatorname{tg} \phi_j$$

## (2) 弧形滑移面情况的稳定性计算



$$K = \frac{\widehat{L} \cdot C + \operatorname{tg} \phi \sum N}{\sum T}$$



## 8.5 斜坡失稳的防治措施

挡土墙、排水、削坡、压脚、抗滑桩、锚索、注浆、电化学加固、冻结法

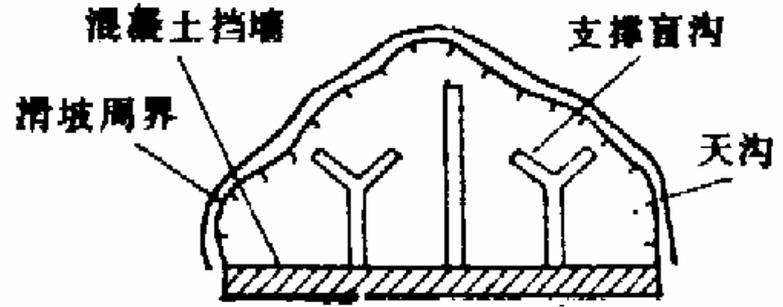
### 8.5.1 斜坡失稳的防治原则

防治原则应以防为主，及时治理

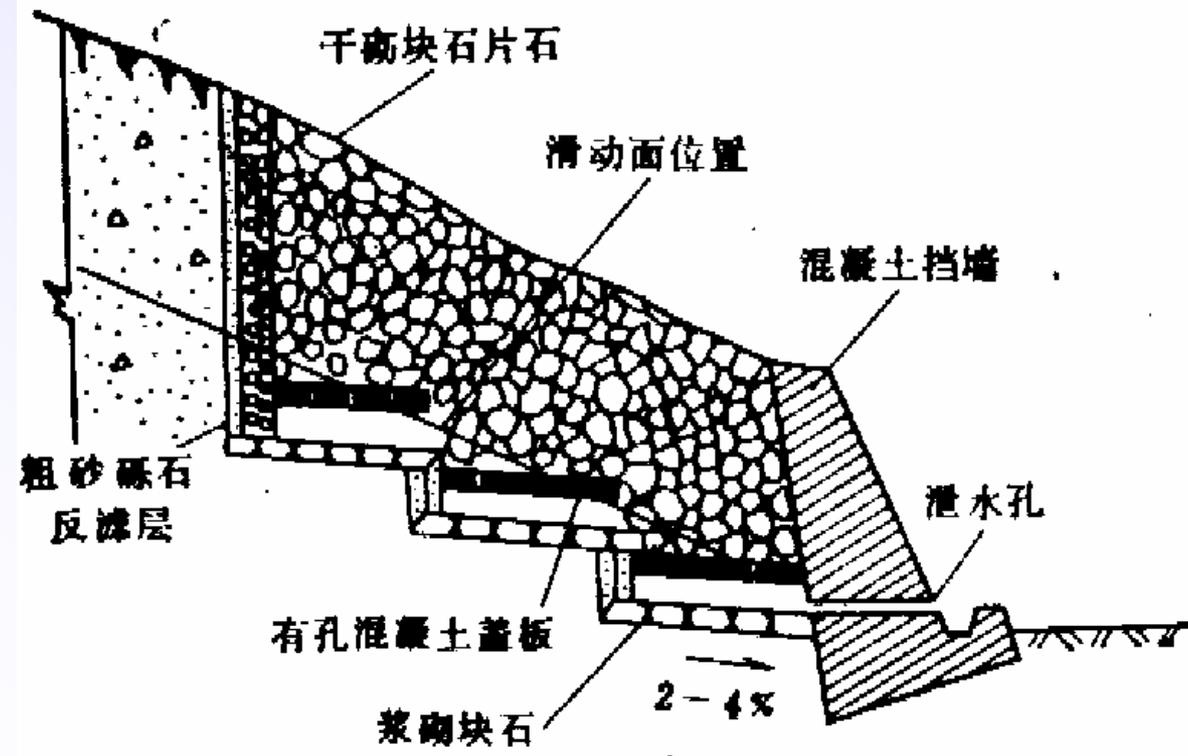
- (1) 正确地选择建筑场地
- (2) 查清可能导致天然斜坡或人工边坡稳定性下降的因素

### 8.5.2 斜坡失稳的防治措施

- (1) 消除、削弱或改变使斜坡稳定性降低的各种因素
- (2) 降低坡体下滑力，提高坡体抗滑能力



a)



b)

排除滑坡区地表和地下水的措施

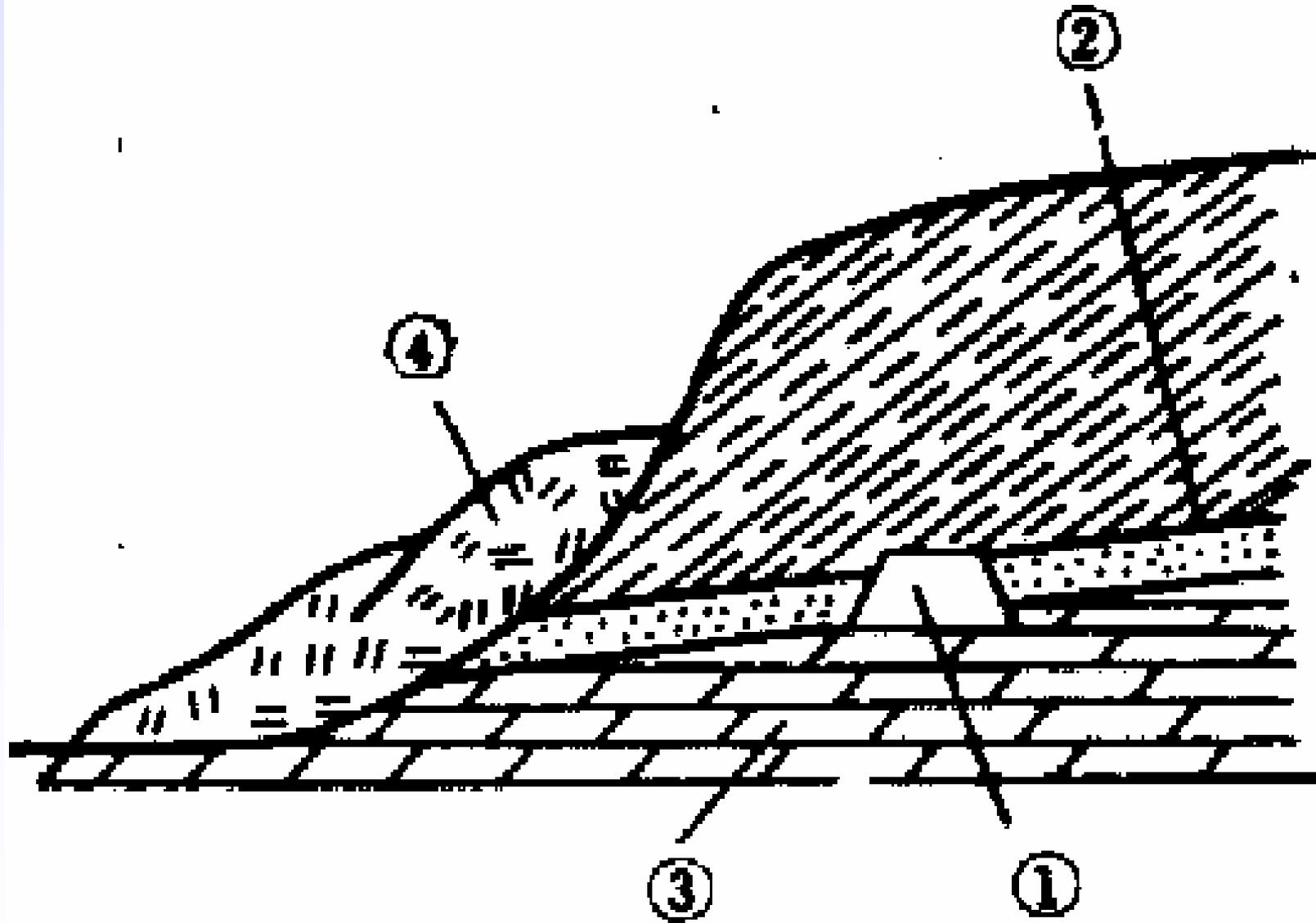
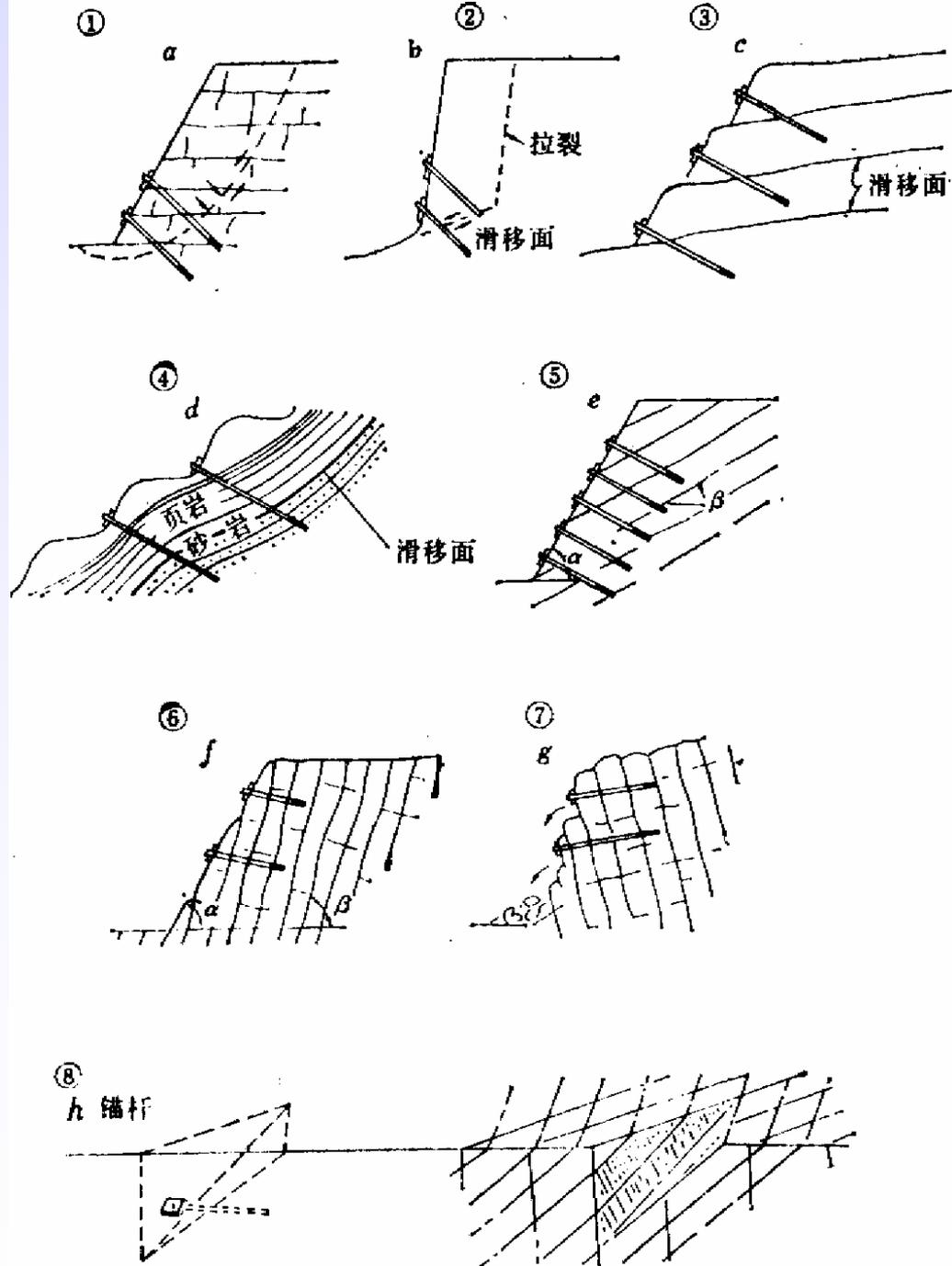


图8-28 截断地下水流的地下排水坑道

①--排水通道；②--含水层；③--基岩；④—滑坡体

# 预应力锚杆的设计



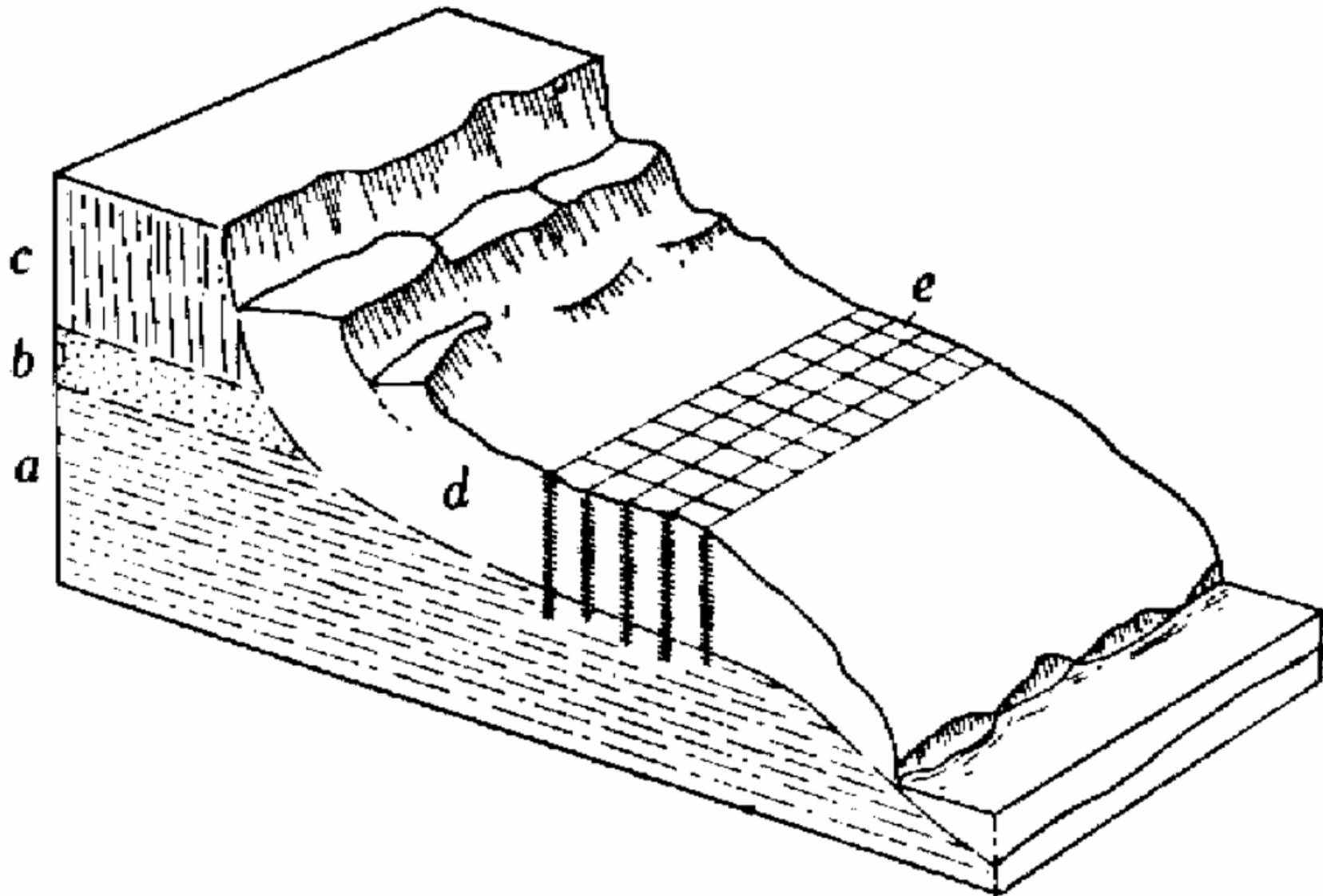


图8-29 用焙烧法加固滑坡示意图

a—可塑性粘土； b—砂层； c—黄土状亚粘土； d—滑坡体； e—焙烧部分

### (3) 防御和绕避措施

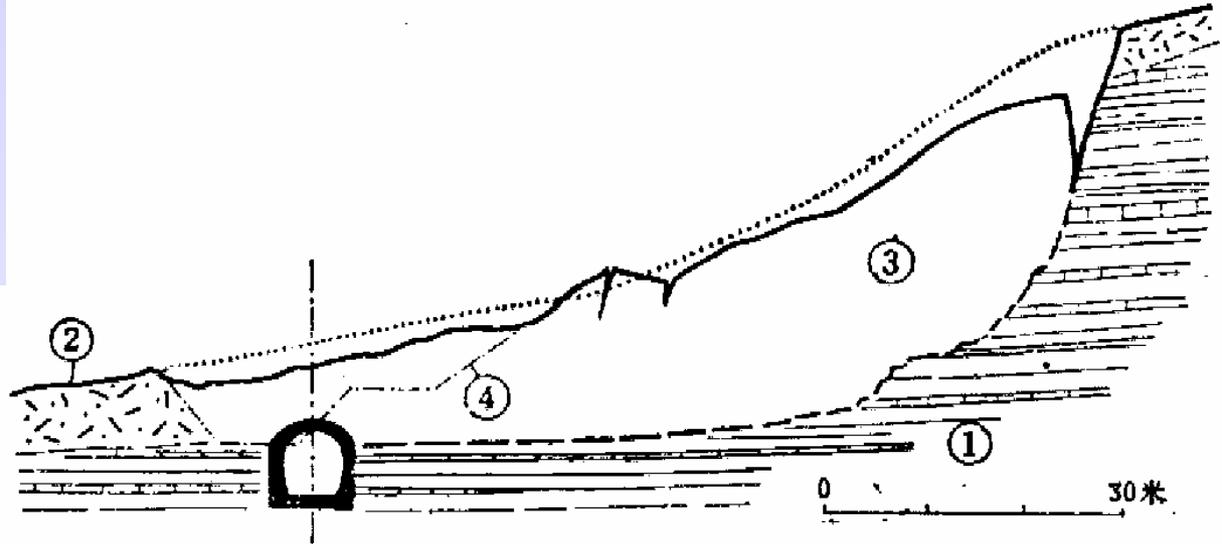
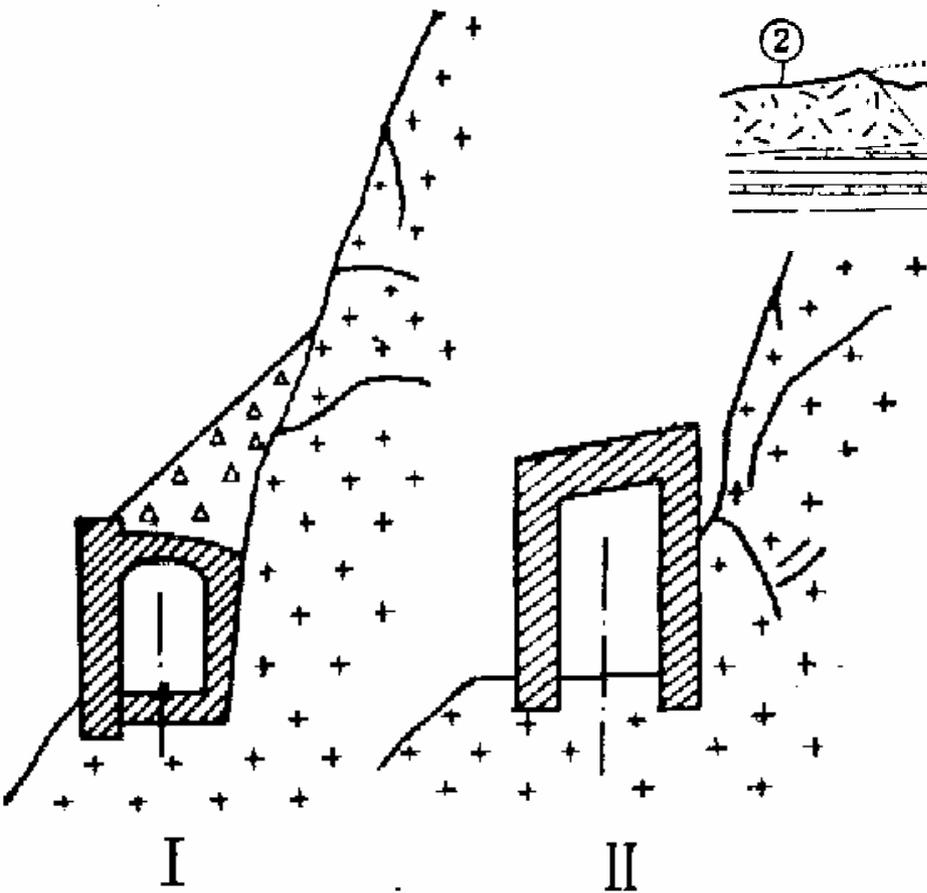


图8-31 回填路堑采用隧洞通过滑坡区  
1—基岩；2—开挖路堑的弃土；  
3—滑坡体；4—滑动前路堑开挖线

道路通过崩落区的防御结构