

滑坡评价参数的获取及 土岩组合边坡的稳定性评价问题

西南有色昆明勘测设计(院)股份有限公司

徐国民

目录

- 1 滑坡评价参数的获取
 - 1.1 值得思考的一些问题
 - 1.2 某些惯用方法的弊端
 - 1.3 取样应注意的问题
 - 1.4 室内试验应考虑的问题
 - 1.5 现场原位试验的必要性
 - 1.6 反演分析
 - 1.7 参数的综合确定
- 2 土岩组合边坡的稳定性评价有关问题
 - 2.1 问题提出
 - 2.2 土岩组合边坡可能的破坏方式
 - 2.3 破坏模式的确定
 - 2.4 稳定性评价

1 滑坡评价参数的获取

1.1 值得思考的一些问题

1) 取样的方法不规范

- 未按要求取原状样（什么条件下必须取原状样）
- 岩芯样代原状样（土层的岩芯是扰动了的）
- 取样位置随意或目的性不强（滑体、滑带/遗漏/数量/代表性）
- 不够重视槽井中取样（）

2) 试验的目的性和针对性不强

- 针对滑带（抗剪强度：天然、饱和、重塑、反复）
- 针对滑体土（常规）
- 岩层结构面（什么情况下需结构面的抗剪强度）
- 抗压还是抗剪（滑带、滑床）
- 滑坡目前稳定状态（未滑动、曾滑动、新滑动、变形）

1 滑坡评价参数的获取

1.1 值得思考的一些问题

3) 参数应用时照抄照搬

- 试验所得抗剪强度（试验项目/方法：是否符合前景条件、是否符合当前状态、土的成分是否影响试验结果）
- 量测的地下水位（勘探时的孔内地下水位、滑动/变形时的地下水位、常年地下水位/泉水位、季节性地下水位）

4) 参数确定方法单一

- 过分依赖室内试验（原位测试、原位试验）
- 综合分析验证方法用的不够

5) 类比和反演分析少

- 类比（案例积累、视野）
- 反演分析（参数合理性的验证，现状时的反演、恢复原貌的反演）

1 滑坡评价参数的获取

1.1 值得思考的一些问题

6) 工况考虑不周

- 自重、地下水、暴雨、地震
- 工况组合，天然状态、浸水饱和

7) 以滑体岩土抗剪强度代替滑带岩土抗剪强度

- 依据滑坡所处阶段/稳定状态区别对待
- 未滑动时潜在滑动面的强度与潜在滑体
- 未滑动外的其它情况——强度不相同、不可替代
- 潜在滑动面位于地下水位以上/以下——天然/饱和抗剪强度

8) 忽视结构面强度对稳定性的控制作用

- 受结构面控制的滑动与结构面强度密切相关
- 以岩体/岩块的强度来替代结构面的强度
- 对试验方法与剪切面重视不够

1 滑坡评价参数的获取

1.1 值得思考的一些问题

9) 以质量较好的岩块强度代替岩体强度

- 注重岩芯完整性/长度能满足取样要求，而对其代表性方面考虑少
- 实际取用值与试验所得相去甚远
- 应重视软弱夹层的强度

10) 水位参数确定不合理（前述）

11) 评价结果偏离实际（关键参数输入所致）

- K值偏差 或保守或冒险的评价结果
- 曾滑动或已滑动的，评价结果多为不稳定或欠稳定？
- 曾滑动或已滑动的，未来就一定会滑动

1 滑坡评价参数的获取

1.2 某些惯用方法的弊端

◆ 室内试验：

- 1) 试验取用样品与来样差别大
 - 所取的环刀样是细粒土为主的某一块
 - 剔除/挑去粗颗粒
- 2) 明知室内试验不可准确得到有关数据却非要强求

◆ 所需参数为空白

- 1) 工作安排空白—取样、测试、试验、水文地质
- 2) 分析空白--不可让所需参数项的来龙去脉成为空白区
- 3) 做不了室内试验的，要合理选择适用的其它手段来获得所需参数。

1 滑坡评价参数的获取

1.2 某些惯用方法的弊端

◆ 拿来主义：

- 1) 对试验所得抗剪强度数据不加分析，拿来就用；
- 2) 实践证明，直接采用试验所得抗剪强度数据，很多案例的计算结果都是不理想的。

◆ 经验主义：

- 1) 因为做不了室内试验就不做试验
- 2) 全部使用经验值
 - 没有类似经验的采用经验值
 - 经验值的依据不清楚（有依据、可信、可靠）

1 滑坡评价参数的获取

1.3 取样应注意的问题

◆滑带土的抗剪强度直接影响：

- 1) 稳定性评价结果
- 2) 治理工程设计—输入/输出/计算/验算

◆滑带岩土取样应高度重视

- 1) 滑带岩土的物理力学性质试验很重要--特别是抗剪强度试验
- 2) 什么情况取何种样品有讲究
 - 滑坡所处时段/稳定状态
 - 滑带岩土特性/成分
 - 与岩土特性有关的主控因素

1 滑坡评价参数的获取

1.3 取样应注意的问题

◆取样

- 1) 滑动带或滑动面的样品是重点
- 2) 原状样品质量等级（不低于Ⅱ）
- 3) 如何取原状样
 - 槽、井、洞中的环刀或土柱
 - 可代表的岩石露头
 - 硬岩岩芯
 - 需结构面强度时的方法和样品尺寸

1 滑坡评价参数的获取

1.4 室内试验及成果整理应考虑的问题

◆确定 c 、 ψ 值应根据滑坡性质、岩性、结构、滑坡目前运动状态选择适合的剪切试验（或测试）方法，试验工作尚应符合下列要求：

- 1) 宜采用室内（或野外）滑面重合剪或滑带土做重塑土或原状土多次剪，求出多次剪和残余抗剪强度指标
- 2) 试验宜采用与滑动受力条件相似的方法：快剪、饱和快剪、固结快剪、饱和固结快剪
 - 缓变型、速滑型
 - 地下水位/季节和水的作用

1 滑坡评价参数的获取

1.4 室内试验及成果整理应考虑的问题

- ◆滑带土不同部位、不同阶段抗剪强度指标不同；同一部位不同阶段强度指标不同。需确定滑坡体所处阶段，据之选取抗剪强度参数。

滑带土强度在不同滑动阶段的变化情况表

地段 滑动阶段	主滑地段	牵引地段	抗滑地段
变形阶段	越过峰值强度	部分越过峰值强度	未越过峰值强度
蠕动滑移阶段	越过峰值强度向残余强度过渡	越过峰值强度	部分越过峰值强度
滑动破坏阶段	残余强度	越过峰值强度向残余强度过渡	主要部分为残余强度
稳定压密阶段	强度逐渐恢复		

1 滑坡评价参数的获取

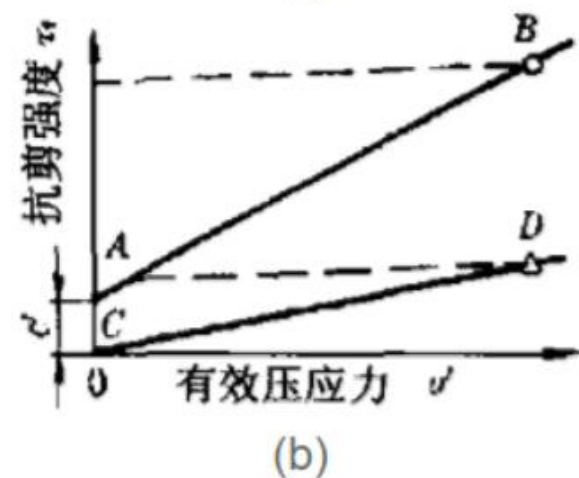
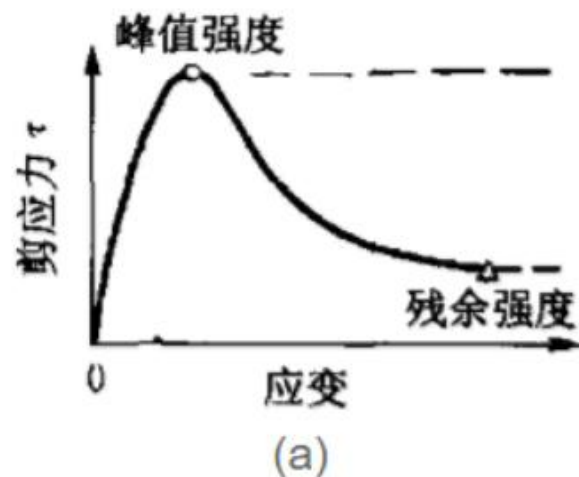
1.4 室内试验及成果整理应考虑的问题

◆峰值强度

- 是相应于土或岩石的应力-应变曲线上**最大剪应力**的强度（应变关系曲线上最高点对应的应力值）。
- 在土的剪切试验中，常以峰值强度代表土的**抗剪强度**。

◆残余抗剪强度又称**剩余强度**或**最终强度**。

- 指在岩土体的抗剪强度随变形量增大达峰值后，逐渐稳定为一个最低值。此时的摩擦角称为**最小摩擦角**。相应于土或岩石的**应力-应变曲线**上过峰值后大致稳定的最终强度。
- 由土的直接剪切试验可知，密实砂土或黏性土在剪应力达到峰值后，如果继续增大位移，强度将逐渐下降，最后达到某一稳定值（图a），对应于峰值和残余强度的破坏包线分别为AB和CD（图b）。



1 滑坡评价参数的获取

1.4 室内试验及成果应用应考虑的问题

◆送样时明确试验要求

- 试验项目
- 试验方法—对应于滑动阶段、滑动受力条件

◆成果应用时主要考虑

- 滑动阶段、滑动受力条件所对应的抗剪强度指标
- 峰值强度/残余强度/介于二者之间?

1 滑坡评价参数的获取

1.5 室内试验/取样不能-现场原位试验的必要性

- ◆无依据/不可信的参数：过不了审查关、困难为而不为不可取
- ◆针对抗剪强度的**室内试验不能**：碎石土、混合土等
- ◆针对试验的**取样不能**：碎裂岩、软岩、低强度结构面等
- ◆现场原位试验----解决室内试验不能和取样不能的问题
 - 1) 土层的现场剪切试验
 - 地面、试坑内
 - 充分考虑滑动背景、代表性
 - 2) 岩层的现场剪切试验
 - 地面、坑内
 - 具代表性露头（滑坡范围内无试验条件时）
 - 剪切方向（夹层、结构面）

1 滑坡评价参数的获取

1.6 反演分析

◆采用反演分析法进行强度指标反演

- 为检验滑动面（带）抗剪强度指标的代表性、合理可靠性
- 强度指标的获取手段之一

◆正确的滑动模式是反演分析的根本：

- 实测主滑面
- 预判主滑面：滑动面多解时一试算、对比，确定最可能的

1 滑坡评价参数的获取

1.6 反演分析

◆合理选择稳定系数和工况—反演结果可信的前提

- 1) 稳定系数：
正在滑动 $0.95 \leq K < 1.00$ （视滑动速率而定）
暂时稳定 $1.00 < K \leq 1.05$ （变形/变化速率）
基本稳定 $1.05 < K \leq 1.15$

- 2) 工况：天然/自重、饱和/地下水/暴雨（ r 、 c 、 ψ 有差异）

◆强度指标

- 宜根据抗剪强度（ C 、 ψ ）值的试验结果及经验数据，先给定其中某个比较稳定的值，反求另一值。

◆适用与匹配

- 所选用的稳定系数和工况是适用的
- 稳定系数、工况、主要物理力学指标、地下水位是相互匹配的

1 滑坡评价参数的获取

1.7 抗剪强度参数的综合确定

◆滑带土抗剪强度指标应考虑滑坡变形滑动阶段和试验方法所得

稳定状态		试验方法		
		滑带土峰值抗剪强	滑带土残余抗剪强	滑带土峰值抗剪强度
稳定	未滑动	√		
	曾滑动		√	
基本稳定	未滑动	√		
	曾滑动		√	
欠稳定			√	
不稳定			√	
未形成滑带的变形体				√

1 滑坡评价参数的获取

1.7 抗剪强度参数的综合确定

◆滑带土抗剪强度指标的确定应综合分析后确定

- 1) 单一手段难以解决关键参数的合理可靠性问题
- 2) 两种以上的综合手段所确定的参数可提高合理可靠性
 - 室内试验
 - 现场、原位测试/试验
 - 反演分析
 - 地区性经验（经验丰富、可类比案例）

2 土岩组合边坡的稳定性评价有关问题

2.1 问题提出

◆ 山地工程常见

◆ 未知滑动模式 可能在开挖中或开挖后/甚至成型几年后形成

◆ 预期滑动面的复杂性与滑动模式多解性

◇ 土层失稳 弧形破坏、土岩结合面滑动

◇ 岩层失稳 顺层、切层、破裂角、其它结构面、风化界面、卸荷
松驰带、倾倒、软弱夹层与其它结构面组合

◇ 岩层滑动面形态 似弧形、平面形、折线形

◇ 土岩组合的滑动面形态 上覆土层中的滑面位置、形状

◆ 无现成的计算评价方法可借鉴 岩层破坏时，上覆土层的强度是否参与评价、如果参与其滑动面形态位置如何、如果不参与按附加荷载考虑以取什么样的范围

2 土岩组合边坡的稳定性评价有关问题

2.2 土岩组合边坡可能的破坏方式

◆土质边坡段破坏岩质坡段稳定

◇弧形滑动、土岩结合面的折线形滑动

◆岩土强度共同起作用情况

◇似弧形、折线与弧形的组合（伏岩为软岩、极软岩、碎裂岩等低强度岩层）

◆岩质边坡段破坏土层只限于附加荷载、即时破坏、滞后破坏

◇即时破坏：顺层、切层、破裂角、其它结构面、风化界面、卸荷松弛带、倾倒、软弱夹层与其它结构面组合

◇滞后破坏：风化进程、卸荷松弛（强度衰减）；地震（伴生）；环境恶化（人为或自然）

2 土岩组合边坡的稳定性评价有关问题

2.3 破坏模式的确定

◆判断是土坡段不稳定还是整体不稳定

- ◇综合分析：所有可能性、滑动面确定
- ◇试算/计算对比
- ◇合理的参数输入

◆土坡段不稳定

- ◇弧形破坏
- ◇折线型破坏

◆岩坡段不稳定（岩层内滑面+土层内滑面）

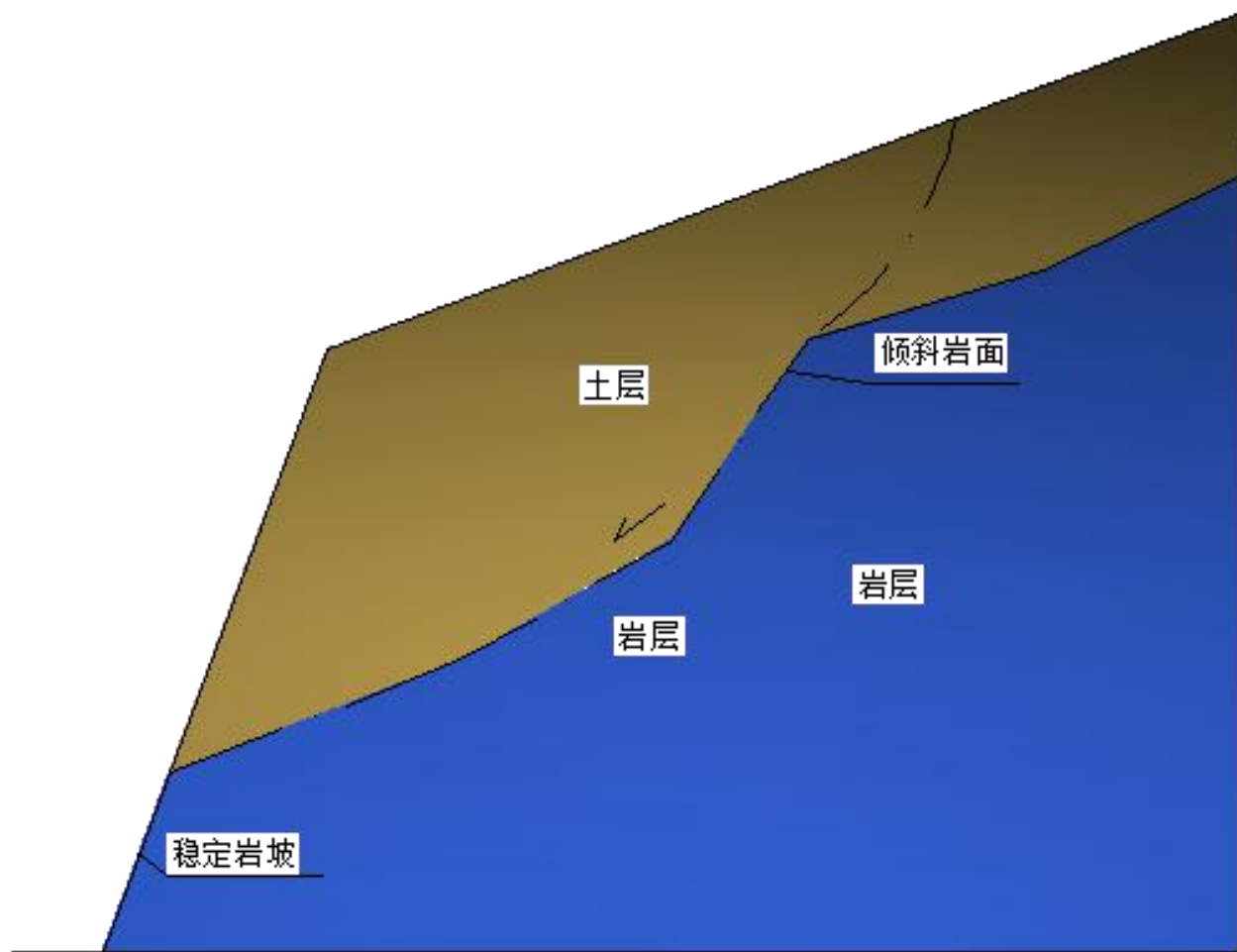
- ◇直线型+弧形（岩层顺层滑动）
- ◇折线型+弧形（岩层沿结构面或结构面组合形成的滑面滑动）
- ◇似弧形+直线型+弧形（岩层倾倒式破坏，前部剪断后部拉裂）

◆边坡稳定性由岩土强度共同控制

- ◇整体弧形（软岩、极软岩、厚层全强风化岩、块度较小的碎裂岩）
- ◇折线型+弧形（岩层的一部分滑面在风化带中）
- ◇直线型+折线型+弧形（岩层大部沿软弱夹层，少部分沿结构面或拉裂面）

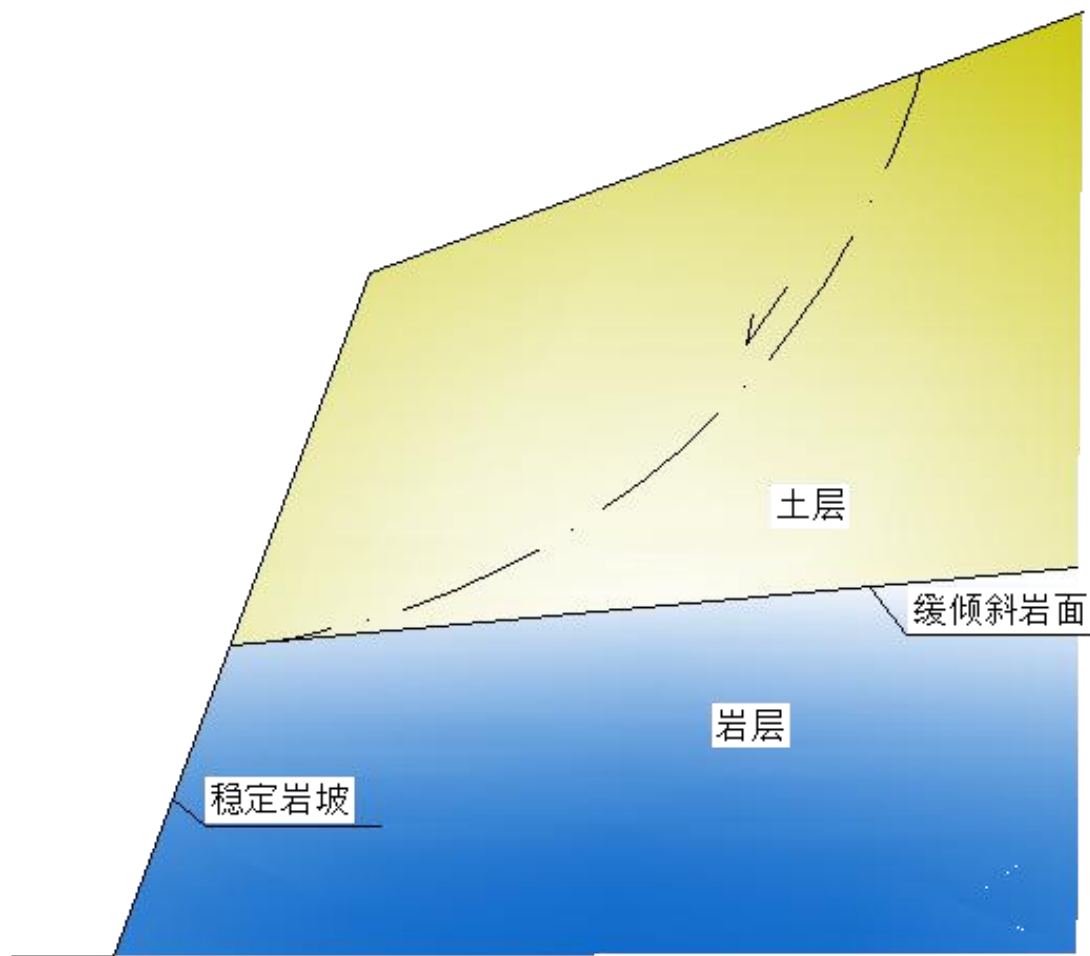
2 土岩组合边坡的稳定性评价有关问题

2.3 破坏模式的确定—仅土坡段失稳的部分情况



2 土岩组合边坡的稳定性评价有关问题

2.3 破坏模式的确定—仅土坡段失稳的部分情况



2 土岩组合边坡的稳定性评价有关问题

2.3 破坏模式的确定—岩层破坏的部分情况

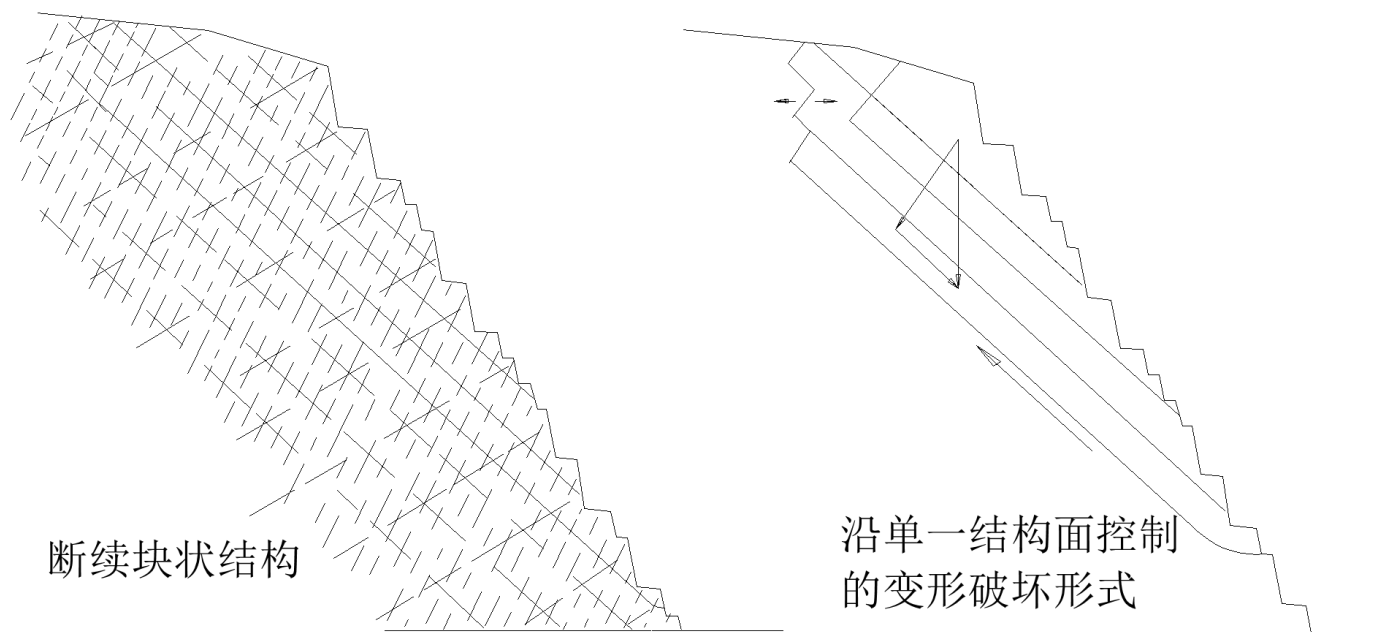


图4-1 断续块状工程地质模型及其变形破坏形式

2 土岩组合边坡的稳定性评价有关问题

2.3 破坏模式的确定—岩层破坏的部分情况

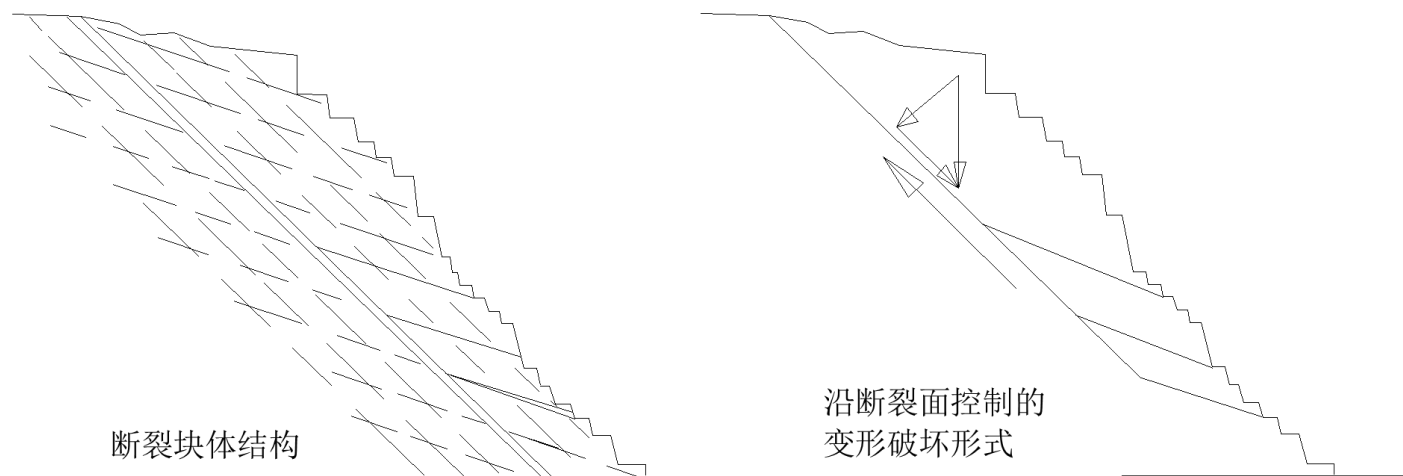


图4-2 单一软弱结构面控制的块体工程地质模型及其变形破坏形式

2 土岩组合边坡的稳定性评价有关问题

2.3 破坏模式的确定—岩层破坏的部分情况

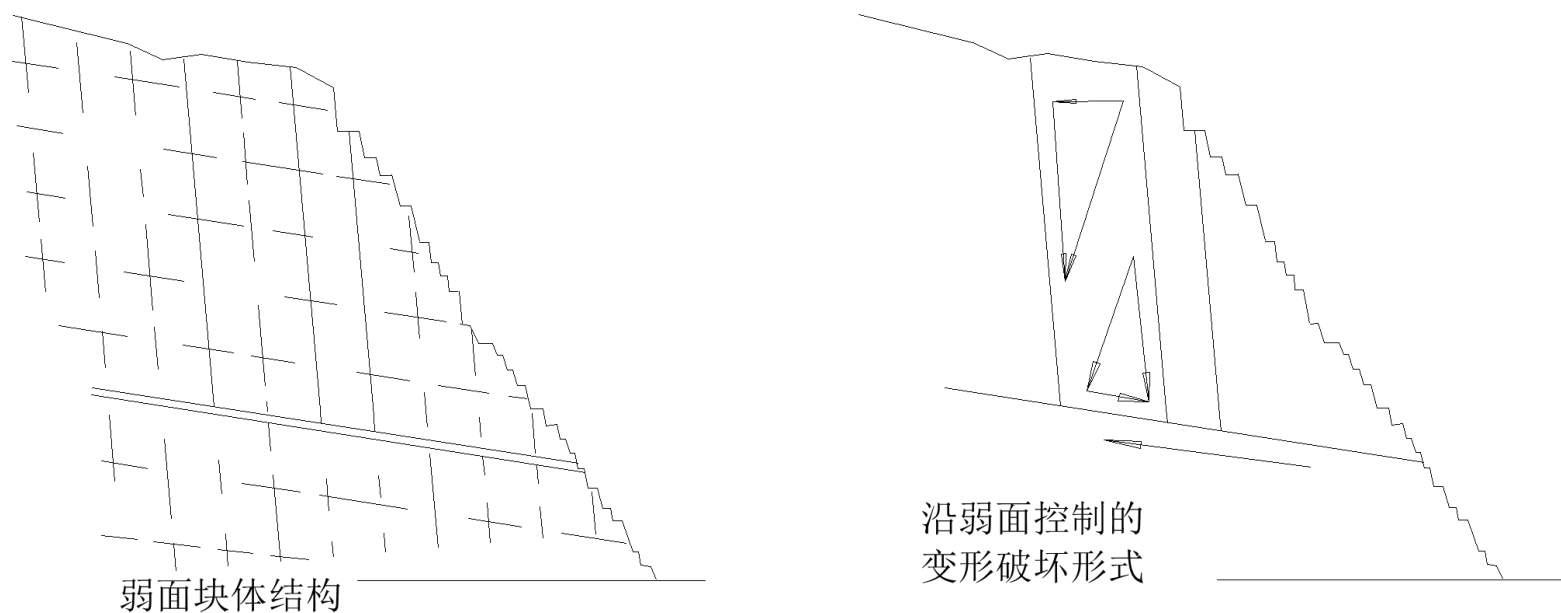


图4-3 陡倾软弱结构面控制的块体工程地质模型及其变形破坏形式

2 土岩组合边坡的稳定性评价有关问题

2.3 破坏模式的确定—岩层破坏的部分情况

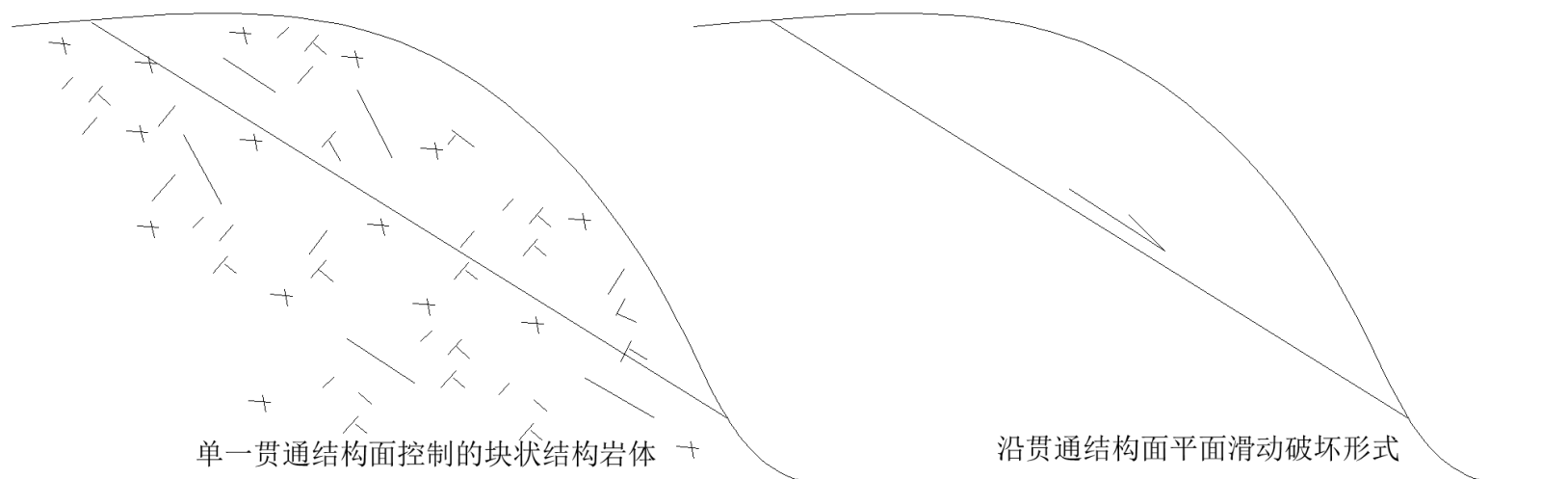


图4-4 块状结构岩体工程地质模型及其变形破坏形式

2 土岩组合边坡的稳定性评价有关问题

2.3 破坏模式的确定—岩层破坏的部分情况

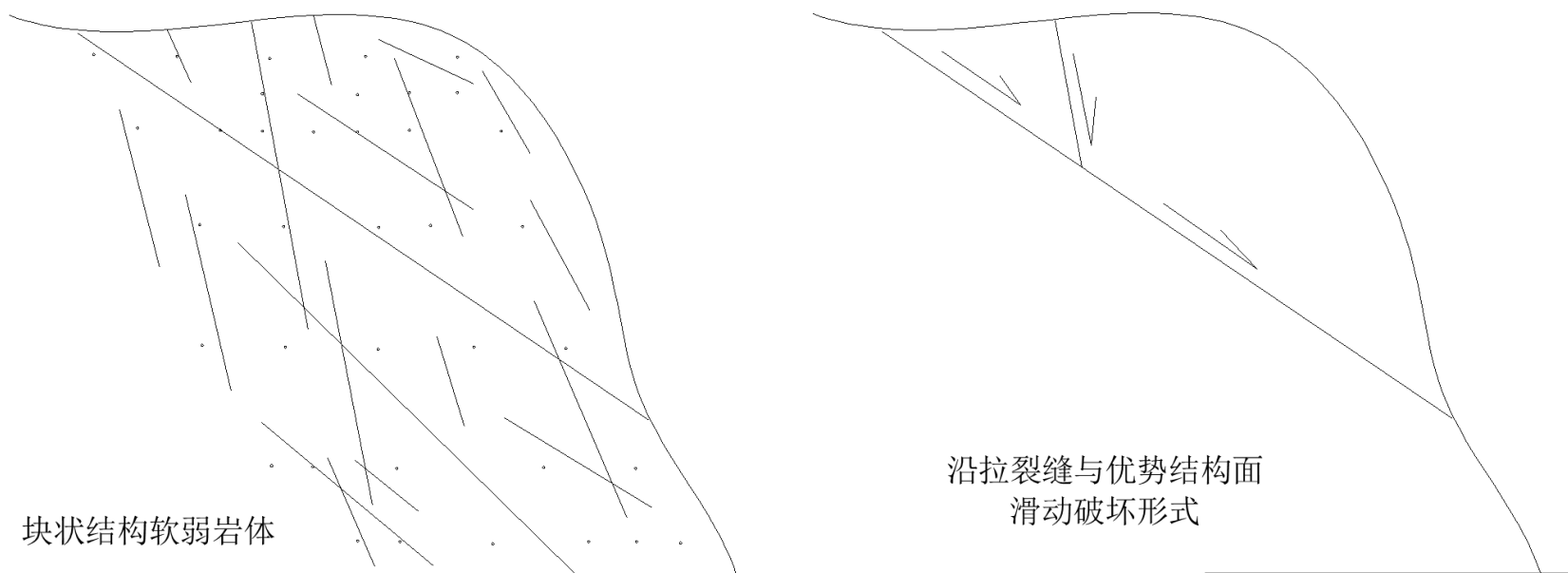


图4-5 块状结构岩体工程地质模型及其变形破坏形式

2 土岩组合边坡的稳定性评价有关问题

2.3 破坏模式的确定—岩层破坏的部分情况

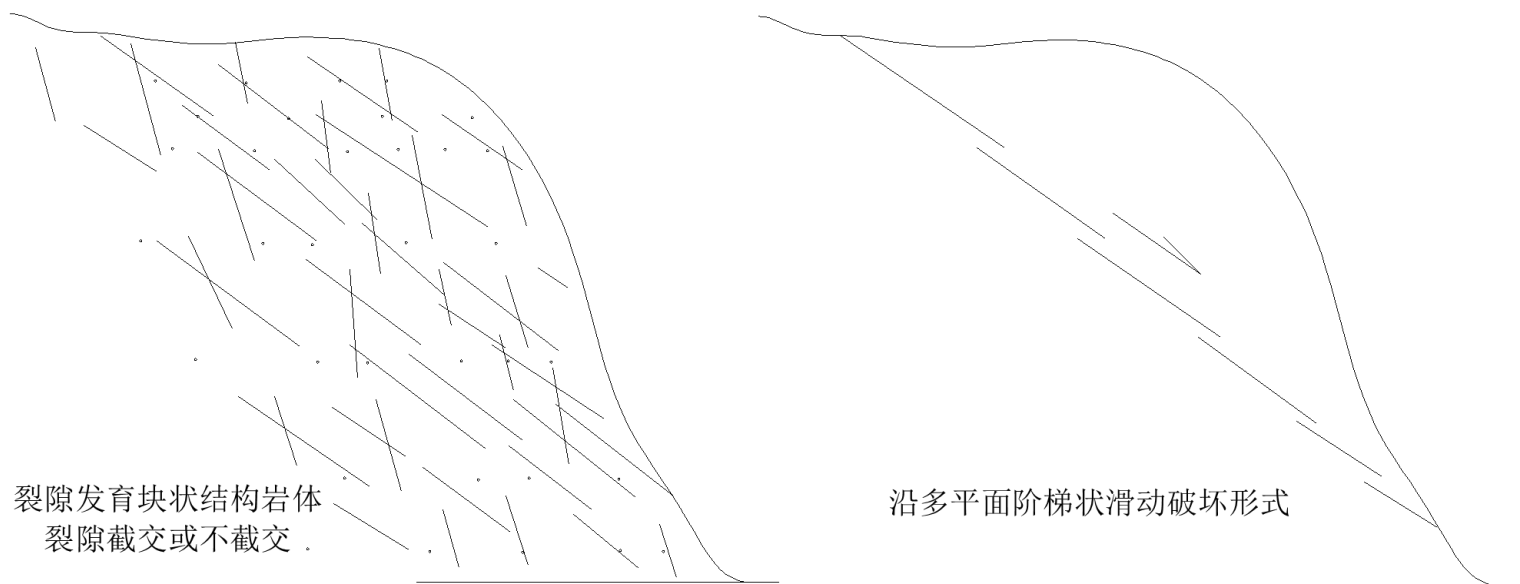


图4-6 块状结构岩体工程地质模型及其变形破坏形式

2 土岩组合边坡的稳定性评价有关问题

2.3 破坏模式的确定—岩层破坏的部分情况

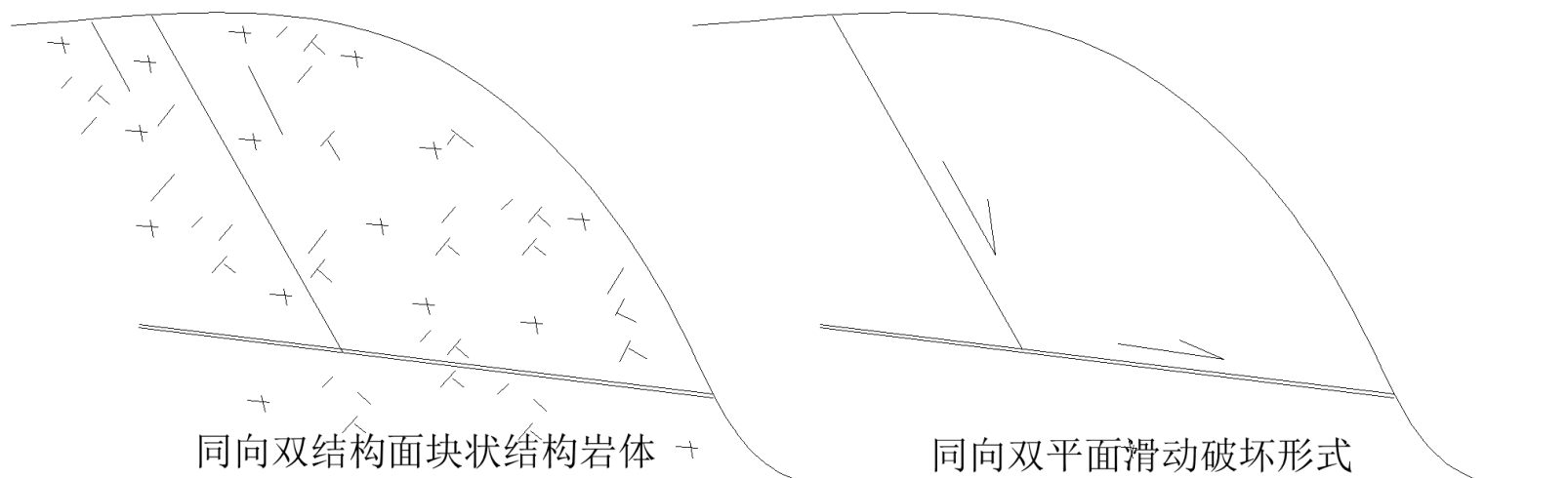


图4-7 块状结构岩体工程地质模型及其变形破坏形式之一

2 土岩组合边坡的稳定性评价有关问题

2.3 破坏模式的确定—岩层破坏的部分情况

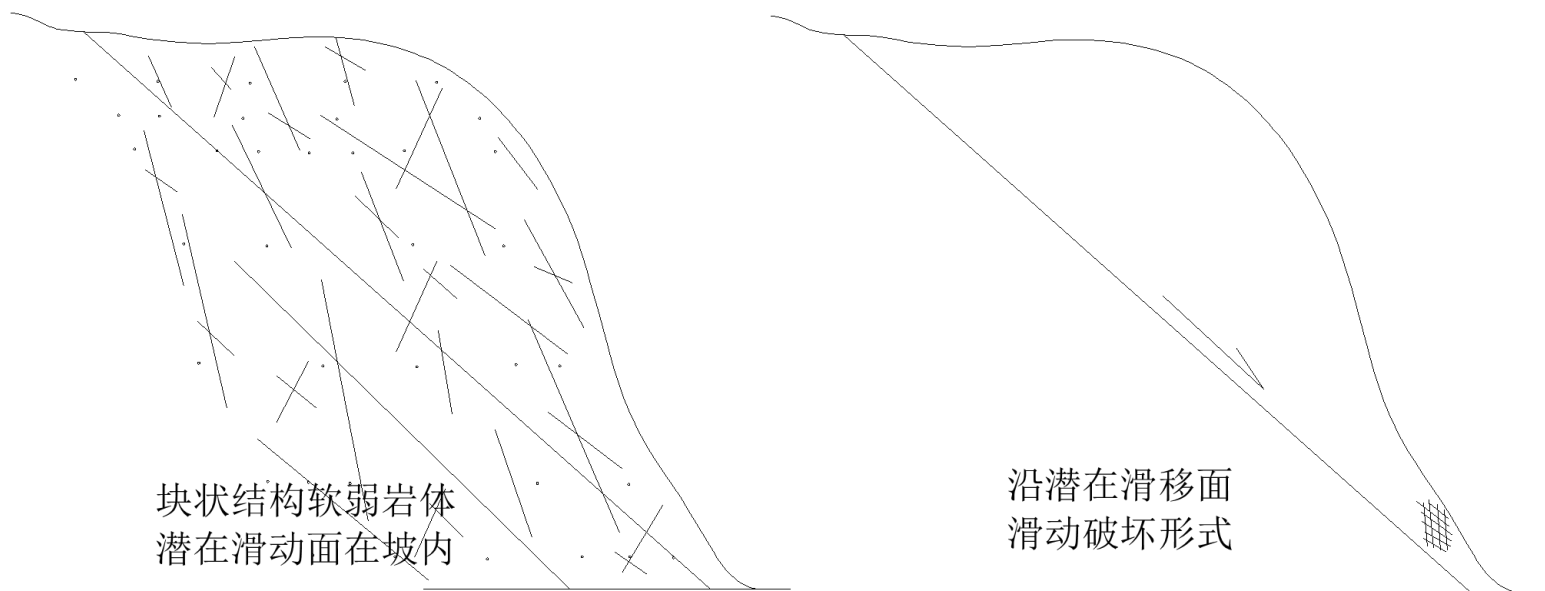


图4-8 块状结构岩体工程地质模型及其变形破坏形式之二

2 土岩组合边坡的稳定性评价有关问题

2.3 破坏模式的确定—岩层破坏的部分情况

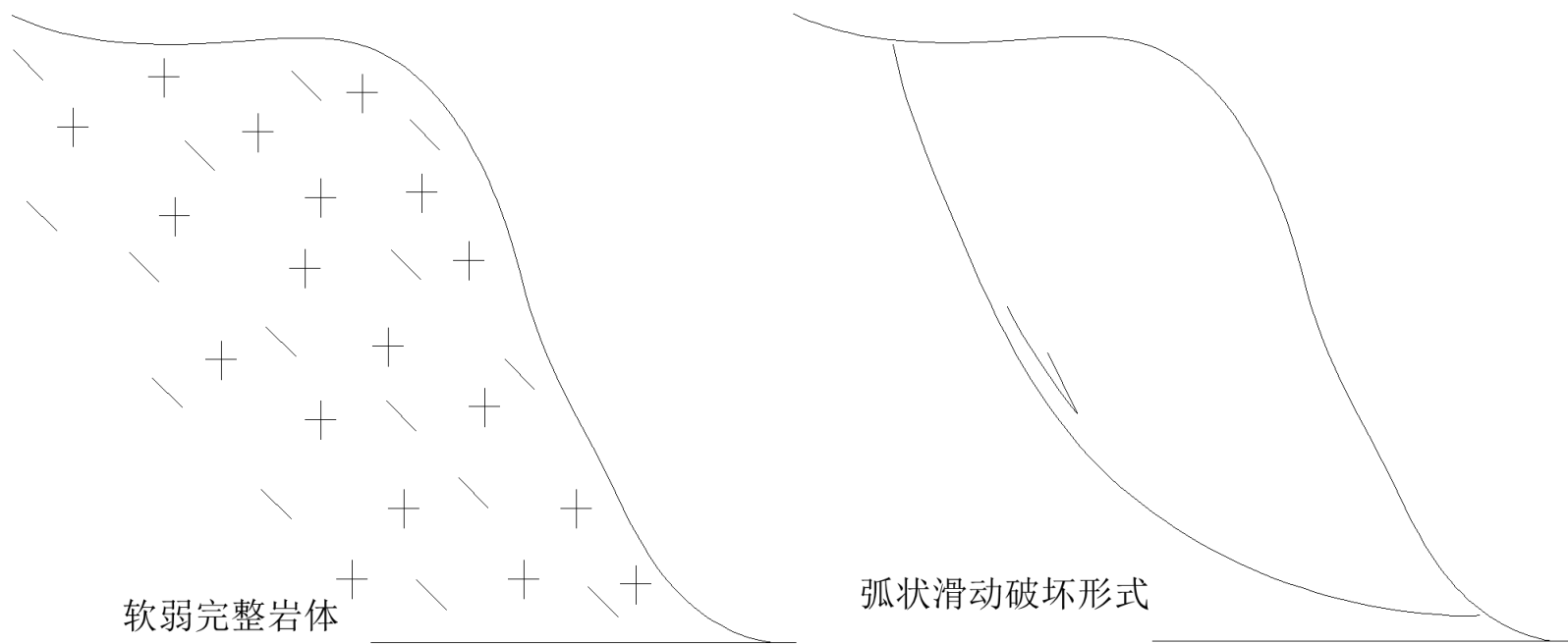


图4-9 软弱完整岩体工程地质模型及其变形破坏形式

2 土岩组合边坡的稳定性评价有关问题

2.3 破坏模式的确定—岩层破坏的部分情况

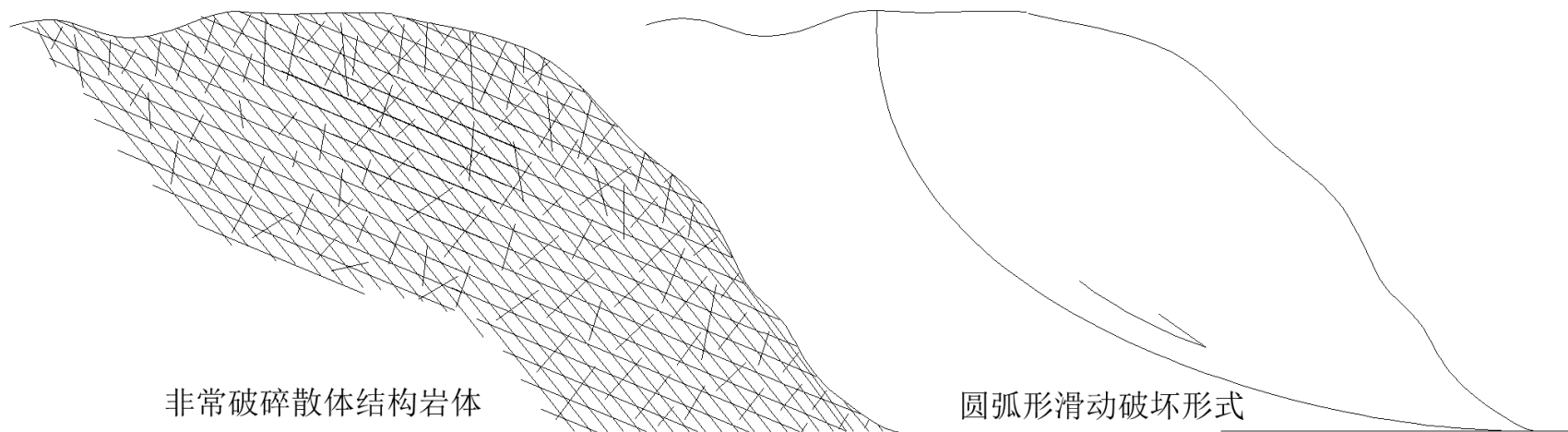


图4-10 散体结构岩体工程地质模型及其变形破坏形式

2 土岩组合边坡的稳定性评价有关问题

2.3 破坏模式的确定—岩层破坏的部分情况

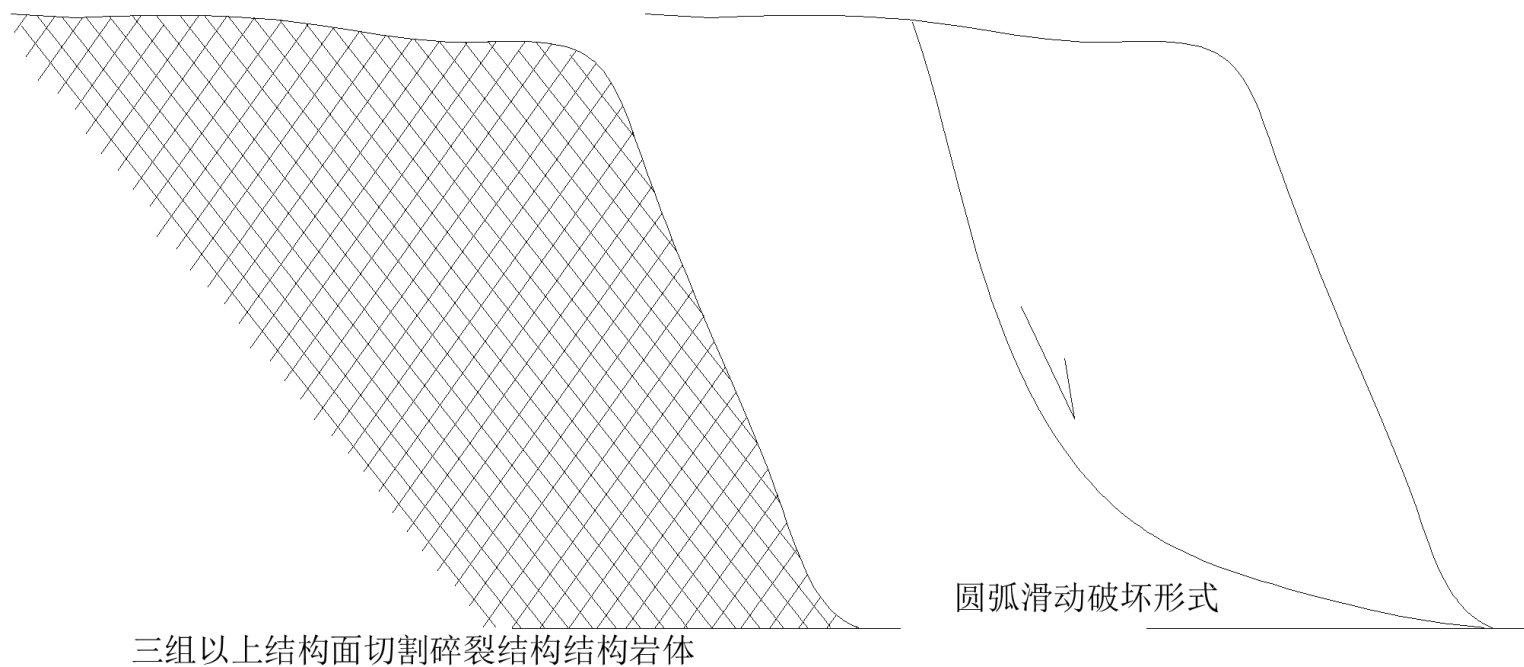


图4-11 碎裂结构岩体工程地质模型及其变形破坏形式

2 土岩组合边坡的稳定性评价有关问题

2.3 破坏模式的确定—岩层破坏的部分情况

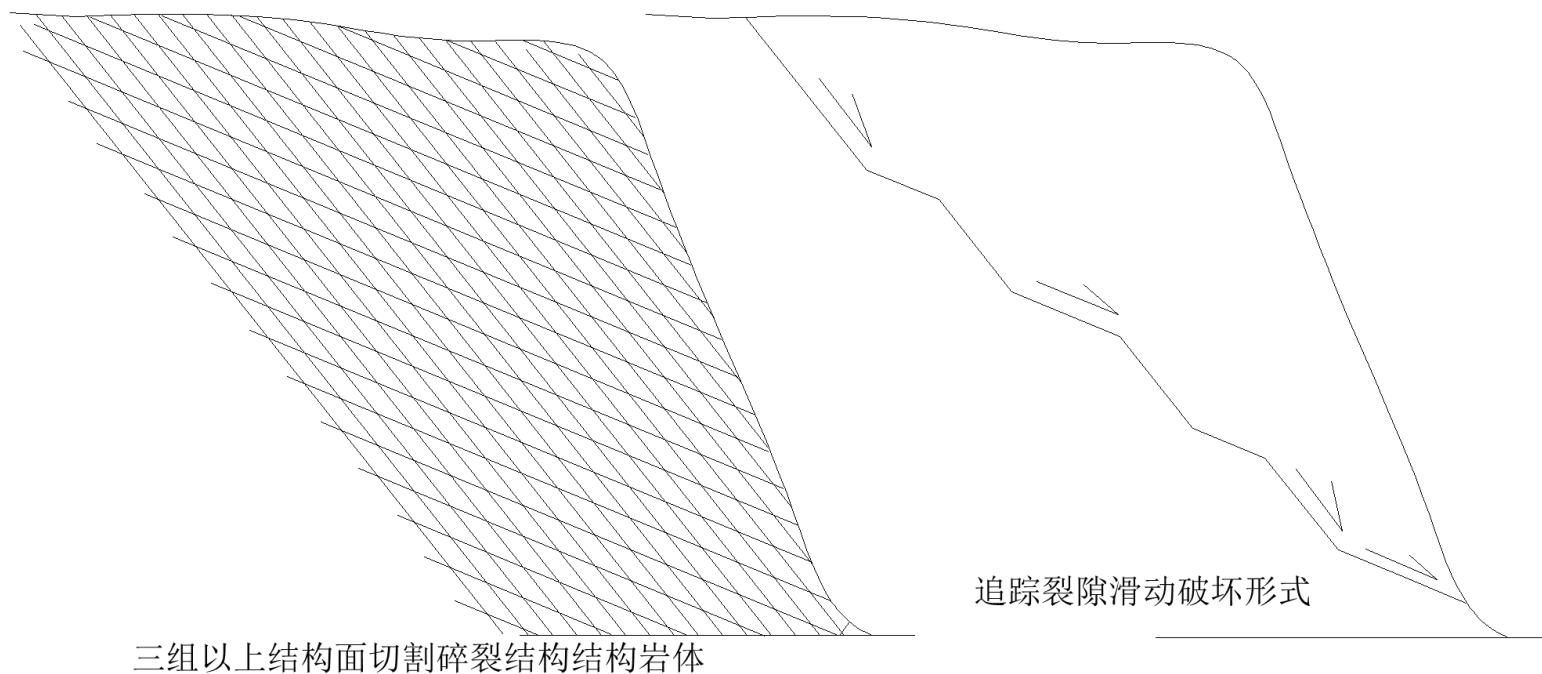


图4-12 碎裂结构岩体工程地质模型及其变形破坏形式

2 土岩组合边坡的稳定性评价有关问题

2.3 破坏模式的确定—岩层破坏的部分情况



图4-13 双结构面组合块体工程地质模型
及其变形破坏形式

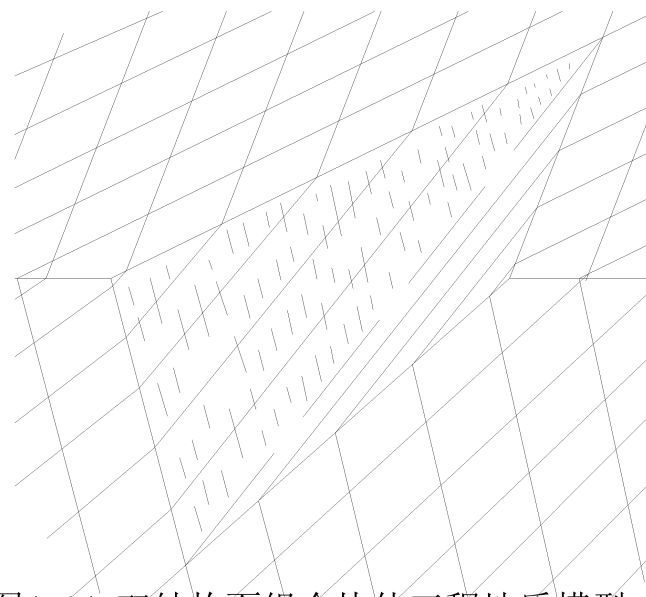


图4-14 双结构面组合块体工程地质模型
及其变形破坏形式

2 土岩组合边坡的稳定性评价有关问题

2.3 破坏模式的确定—岩层破坏的部分情况

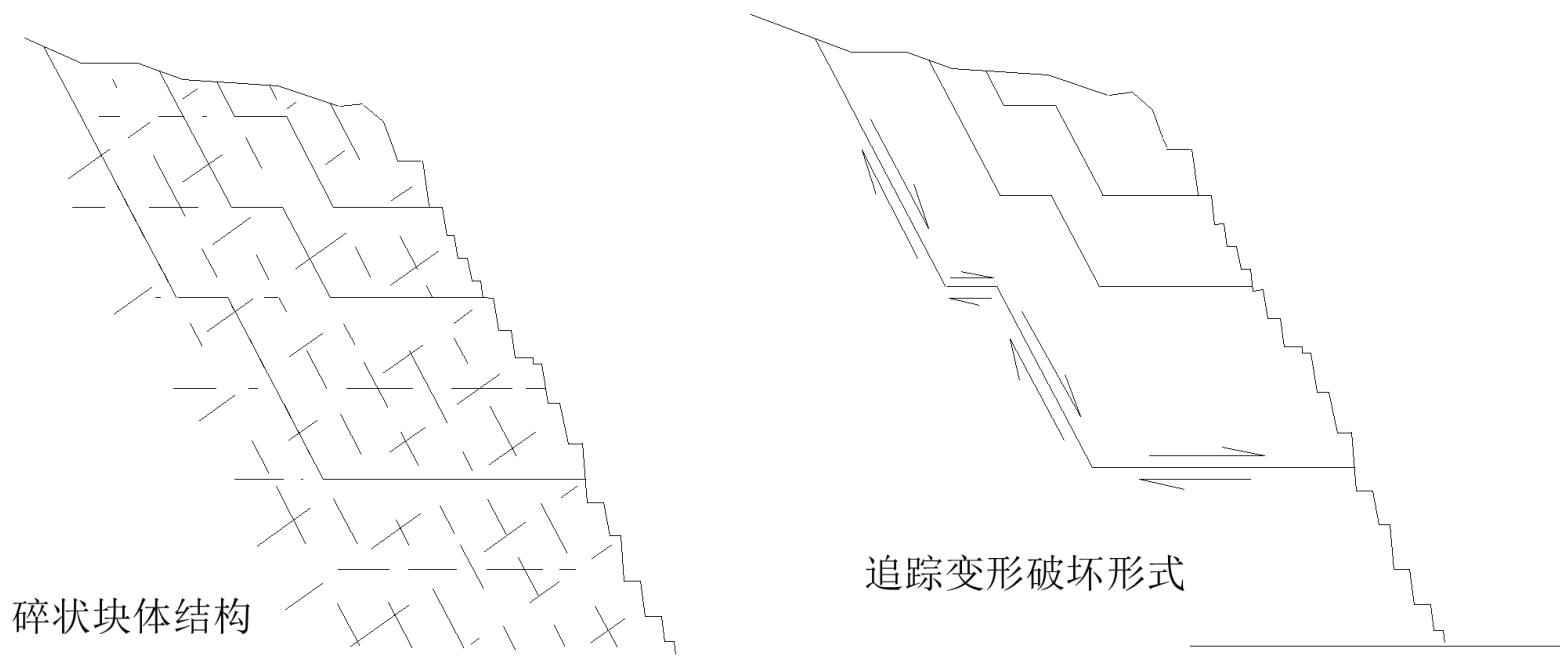


图4-15 多组硬性结构面组合碎块体工程地质模型及其变形破坏形式

2 土岩组合边坡的稳定性评价有关问题

2.3 破坏模式的确定—岩层破坏的部分情况

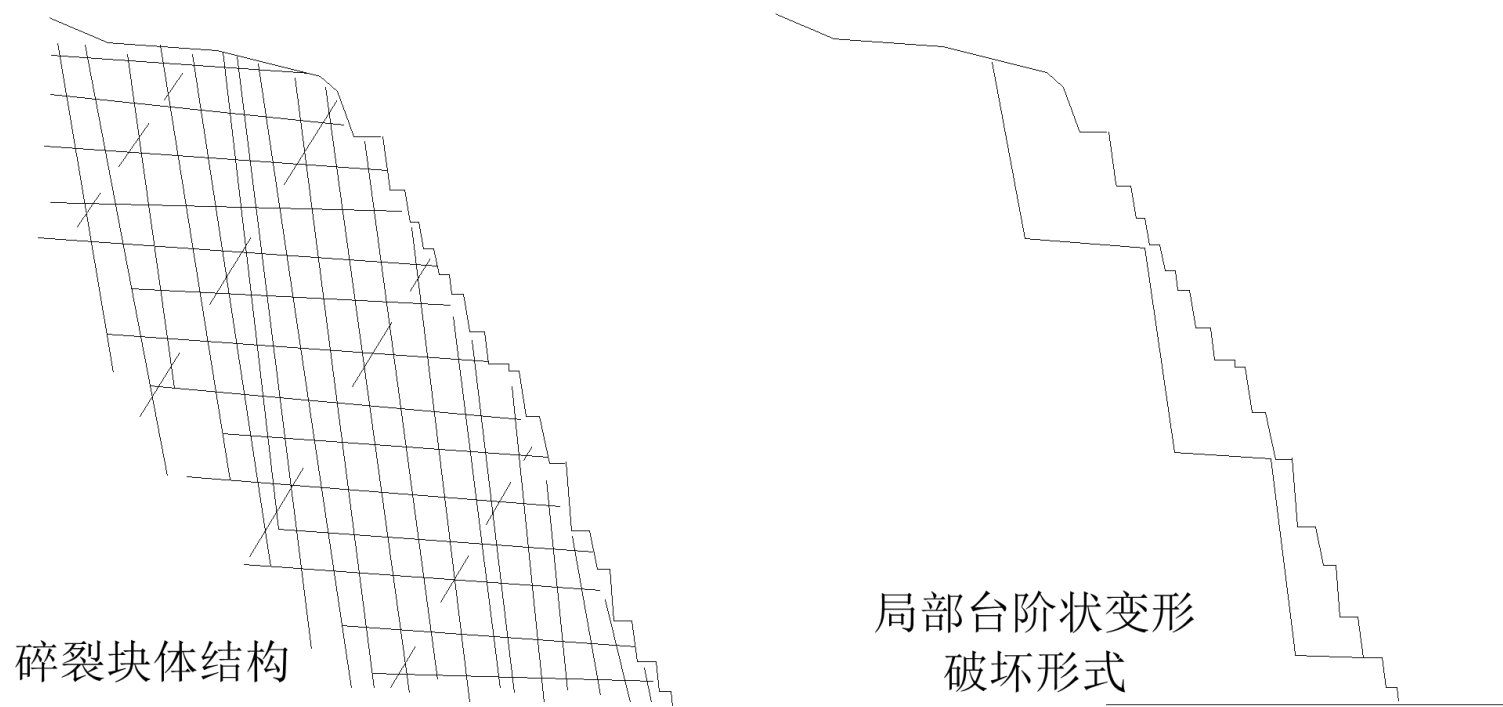


图4-16 多组软弱结构面组合碎裂块体工程地质模型及其变形破坏形式

2 土岩组合边坡的稳定性评价有关问题

2.3 破坏模式的确定—岩层破坏的部分情况

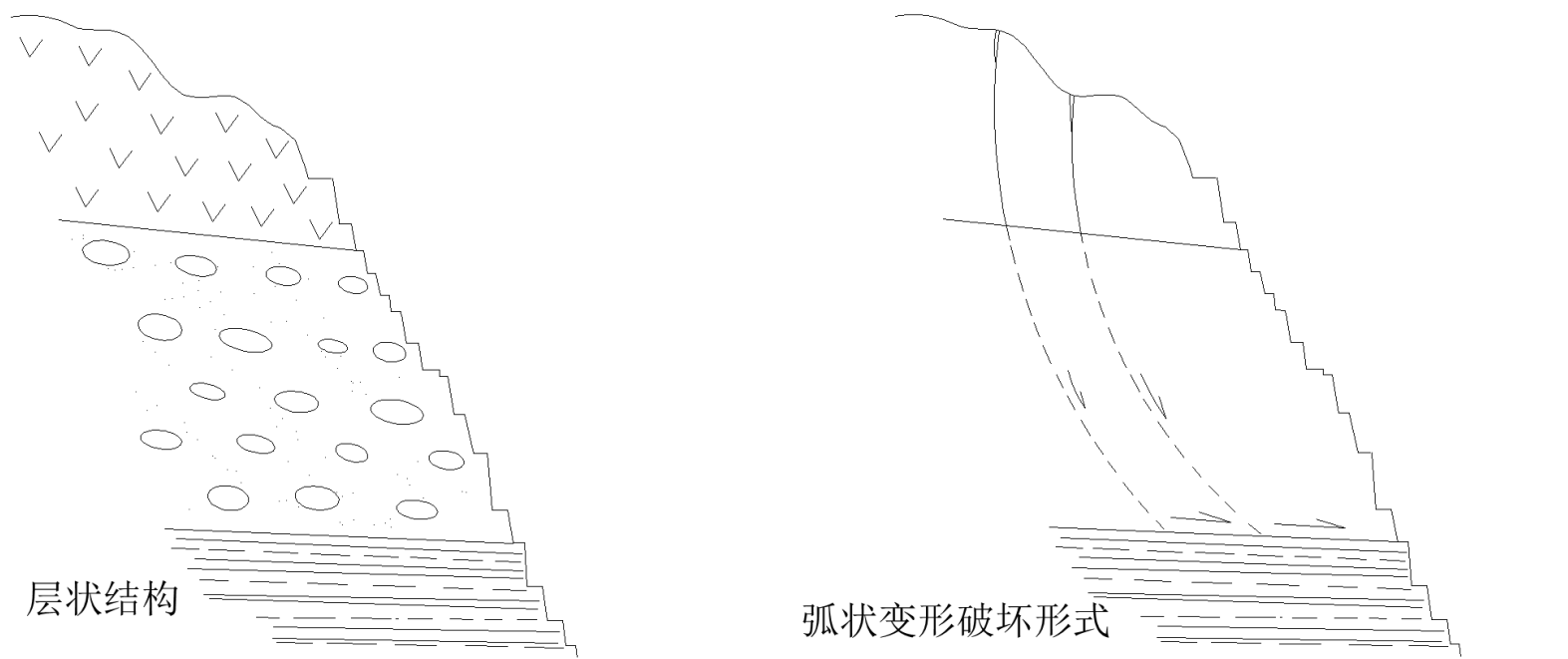


图4-17 上硬下软层状岩体工程地质模型及其变形破坏形式

2 土岩组合边坡的稳定性评价有关问题

2.3 破坏模式的确定—岩层破坏的部分情况

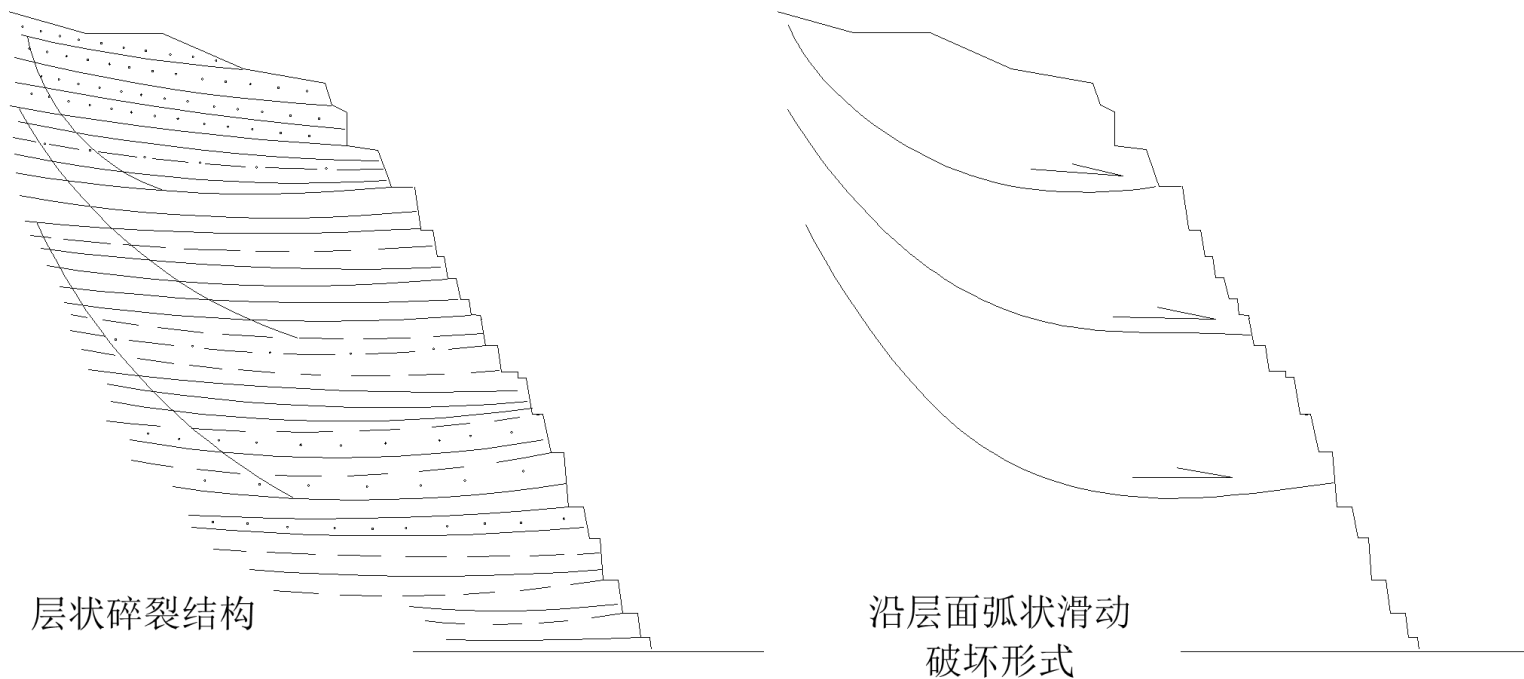


图4-18 顺坡层状或层状碎裂岩体工程地质模型及其变形破坏形式

2 土岩组合边坡的稳定性评价有关问题

2.3 破坏模式的确定—岩层破坏的部分情况

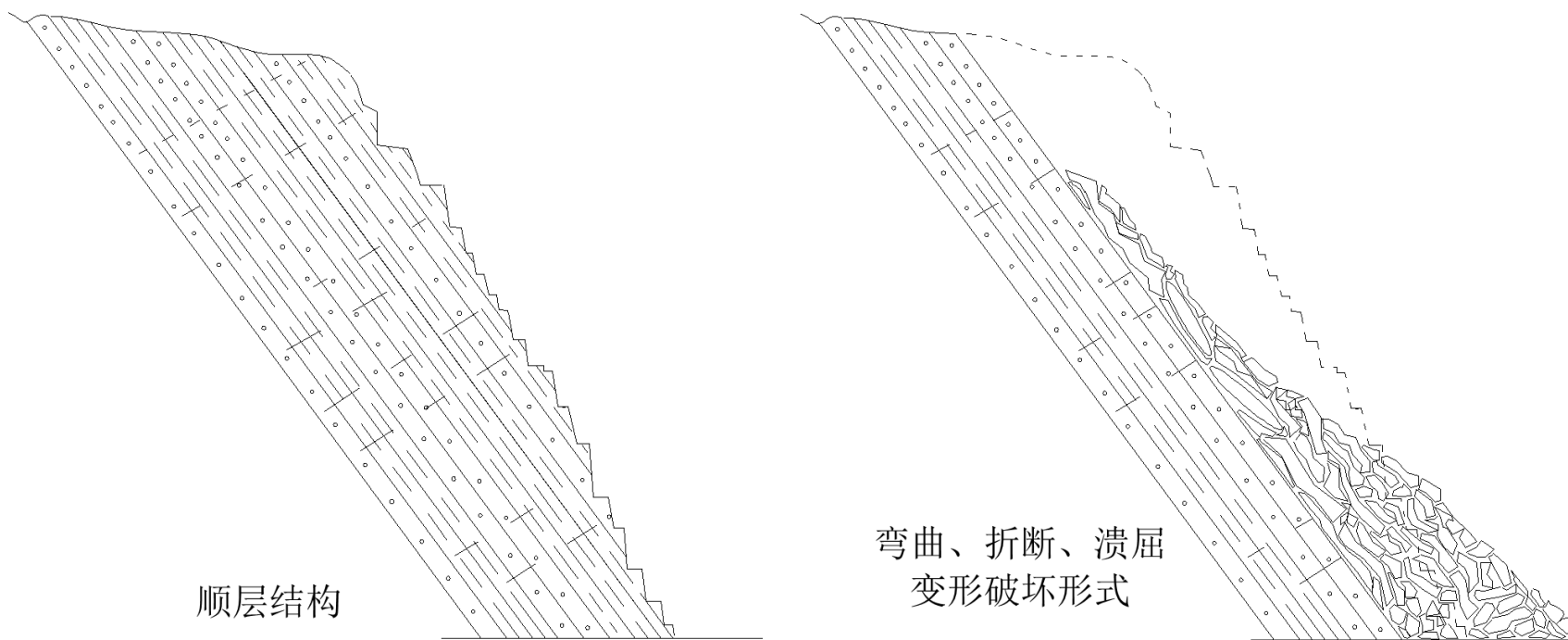


图4-19 顺坡陡倾片状岩体工程地质模型及其变形破坏形式

2 土岩组合边坡的稳定性评价有关问题

2.3 破坏模式的确定—岩层破坏的部分情况

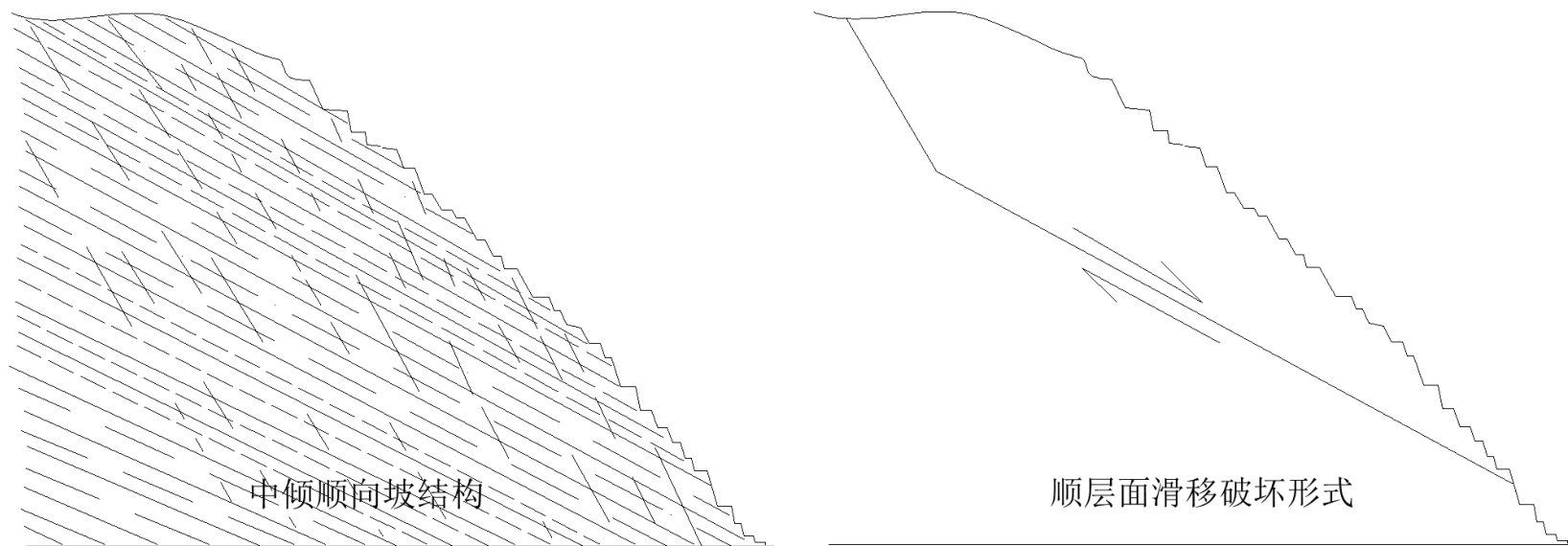


图4-20 中倾顺向坡岩体工程地质模型及其变形破坏形式

2 土岩组合边坡的稳定性评价有关问题

2.3 破坏模式的确定—岩层破坏的部分情况

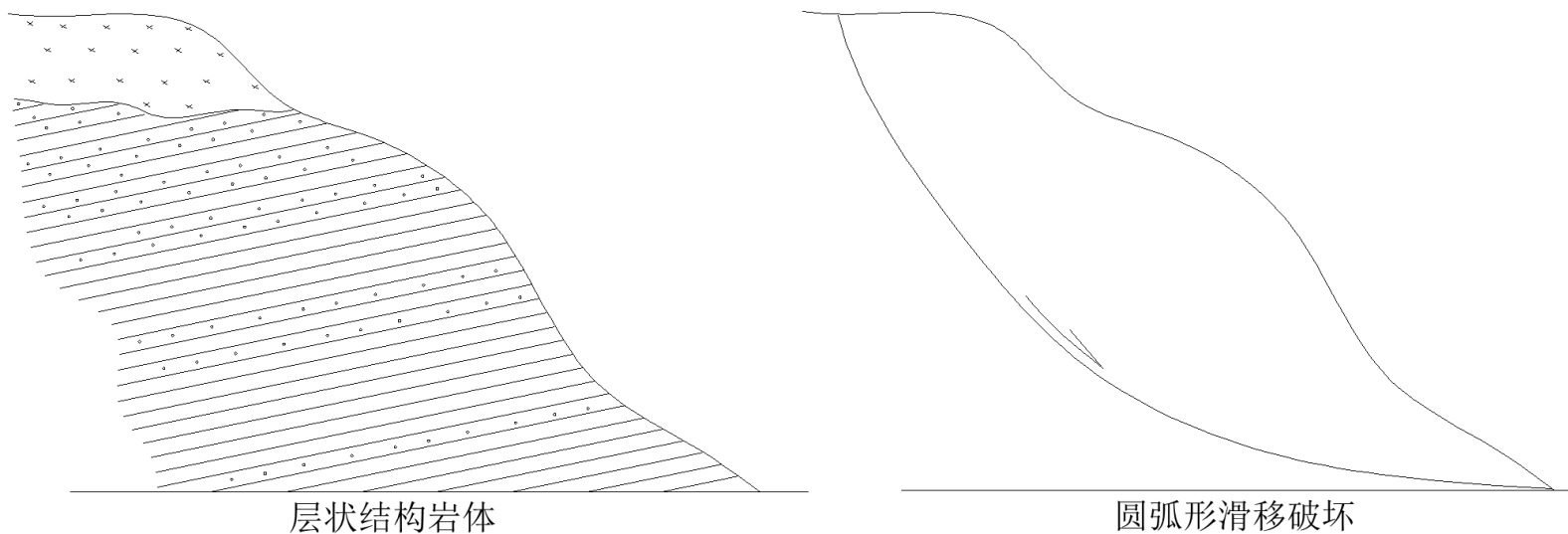


图4-21 层状结构岩体工程地质模型及变形破坏形式

2 土岩组合边坡的稳定性评价有关问题

2.3 破坏模式的确定—岩层破坏的部分情况

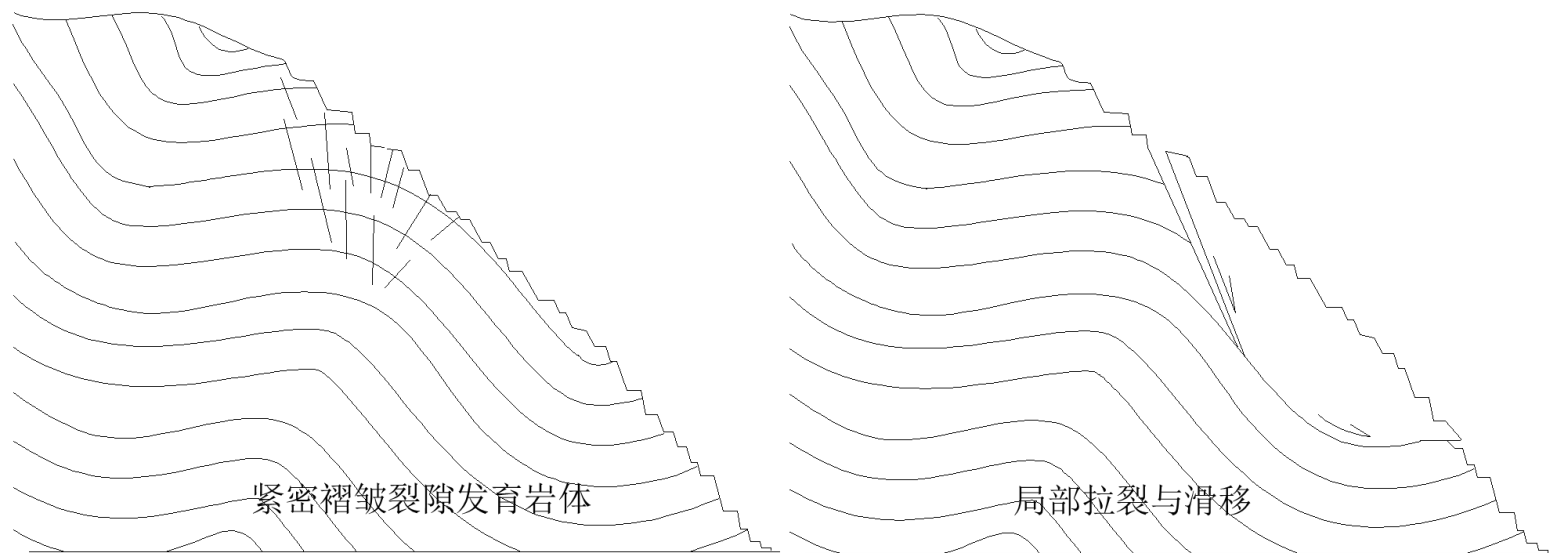


图4-22 紧密褶皱裂隙发育岩体工程地质模型及其变形破坏形式

2 土岩组合边坡的稳定性评价有关问题

2.3 破坏模式的确定—岩层破坏的部分情况

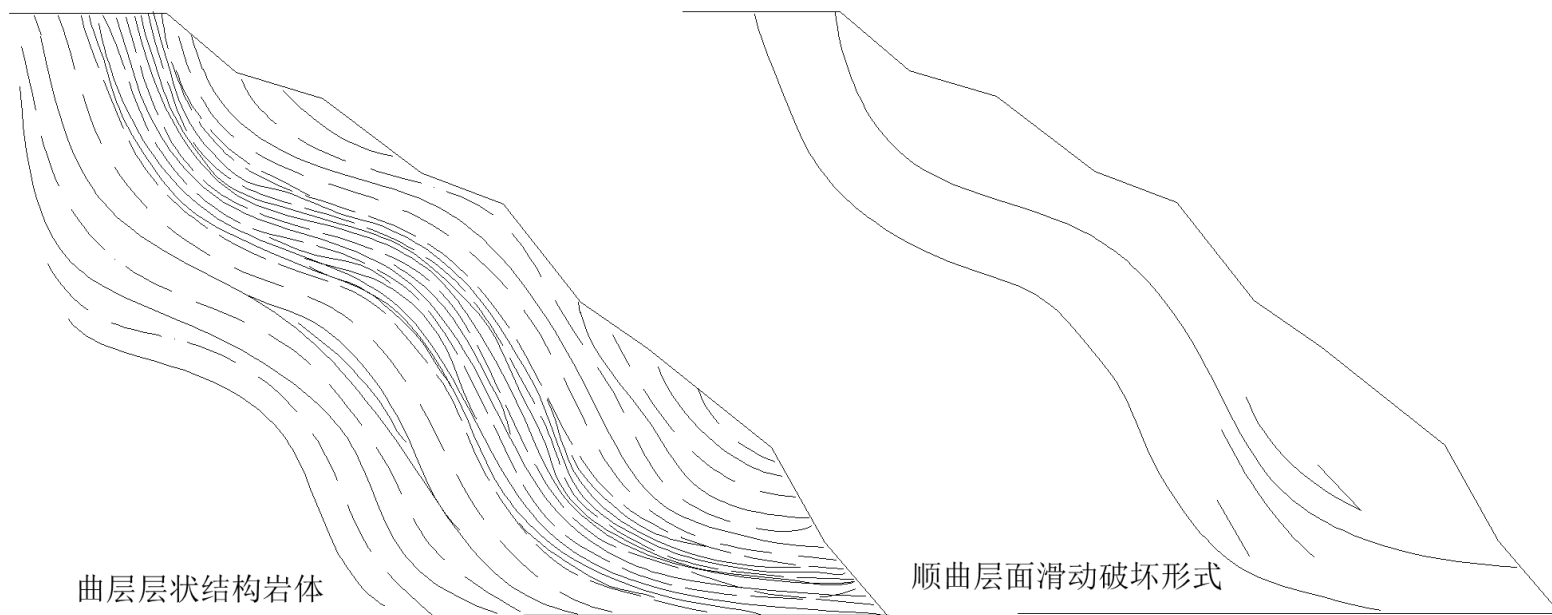


图4-23 曲面层状结构岩体工程地质模型及其变形破坏形式

2 土岩组合边坡的稳定性评价有关问题

2.3 破坏模式的确定—岩层破坏的部分情况

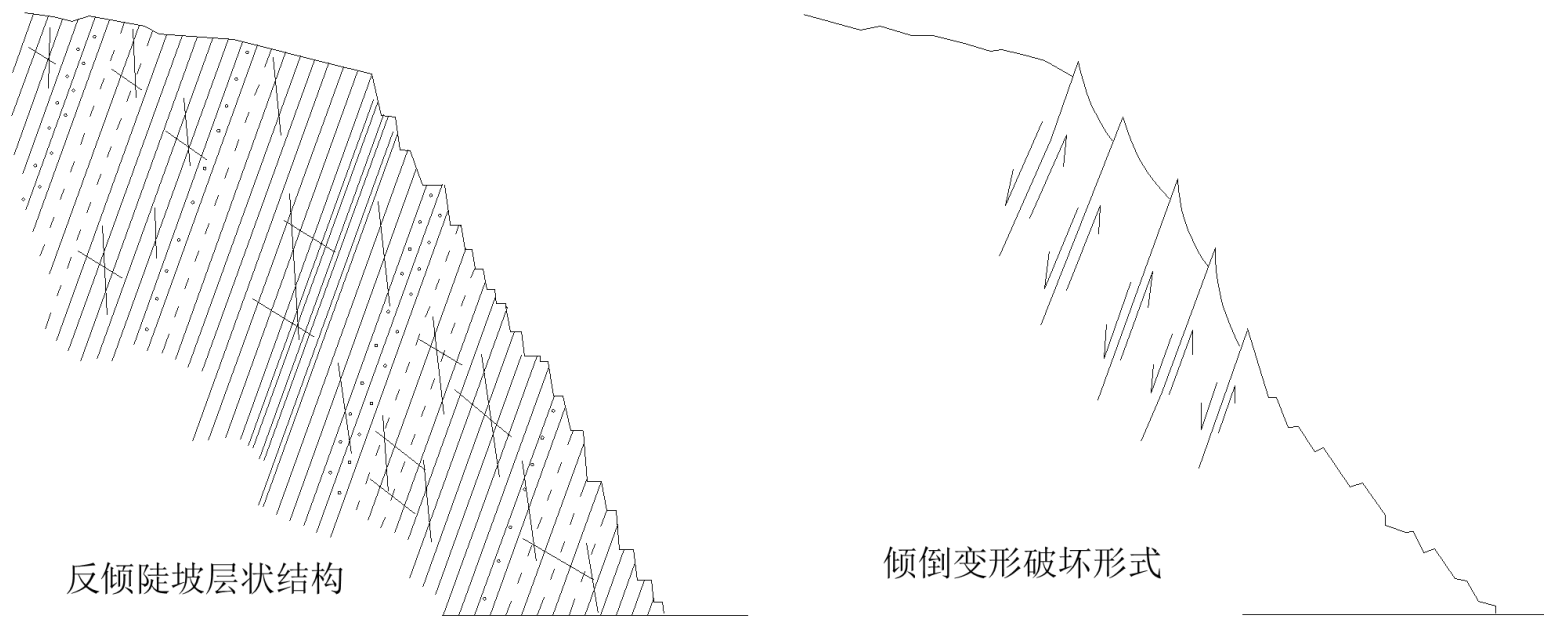


图4-24 反坡陡倾层状碎裂岩体工程地质模型及其变形破坏形式

2 土岩组合边坡的稳定性评价有关问题

2.3 破坏模式的确定—岩层破坏的部分情况

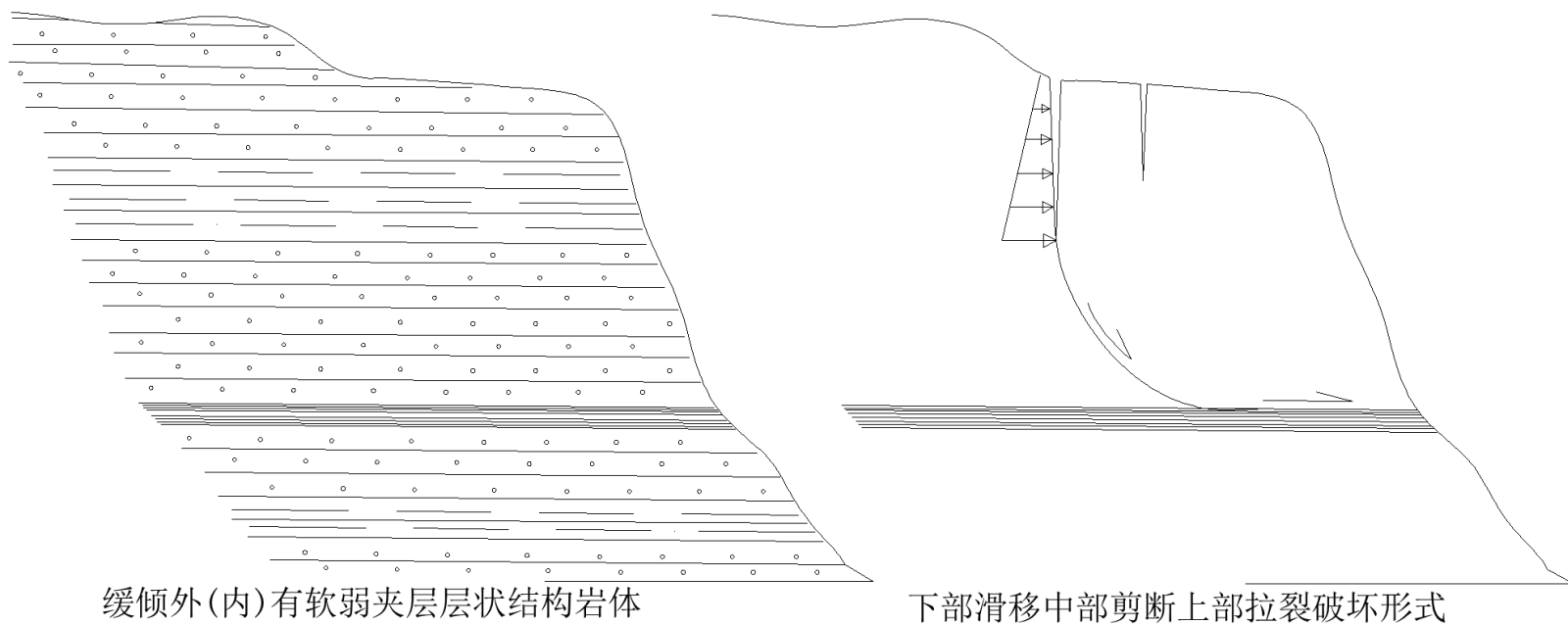


图4-25 缓倾软弱夹层分布岩体工程地质模型及其变形破坏形式

2 土岩组合边坡的稳定性评价有关问题

2.3 破坏模式的确定—岩层破坏的部分情况

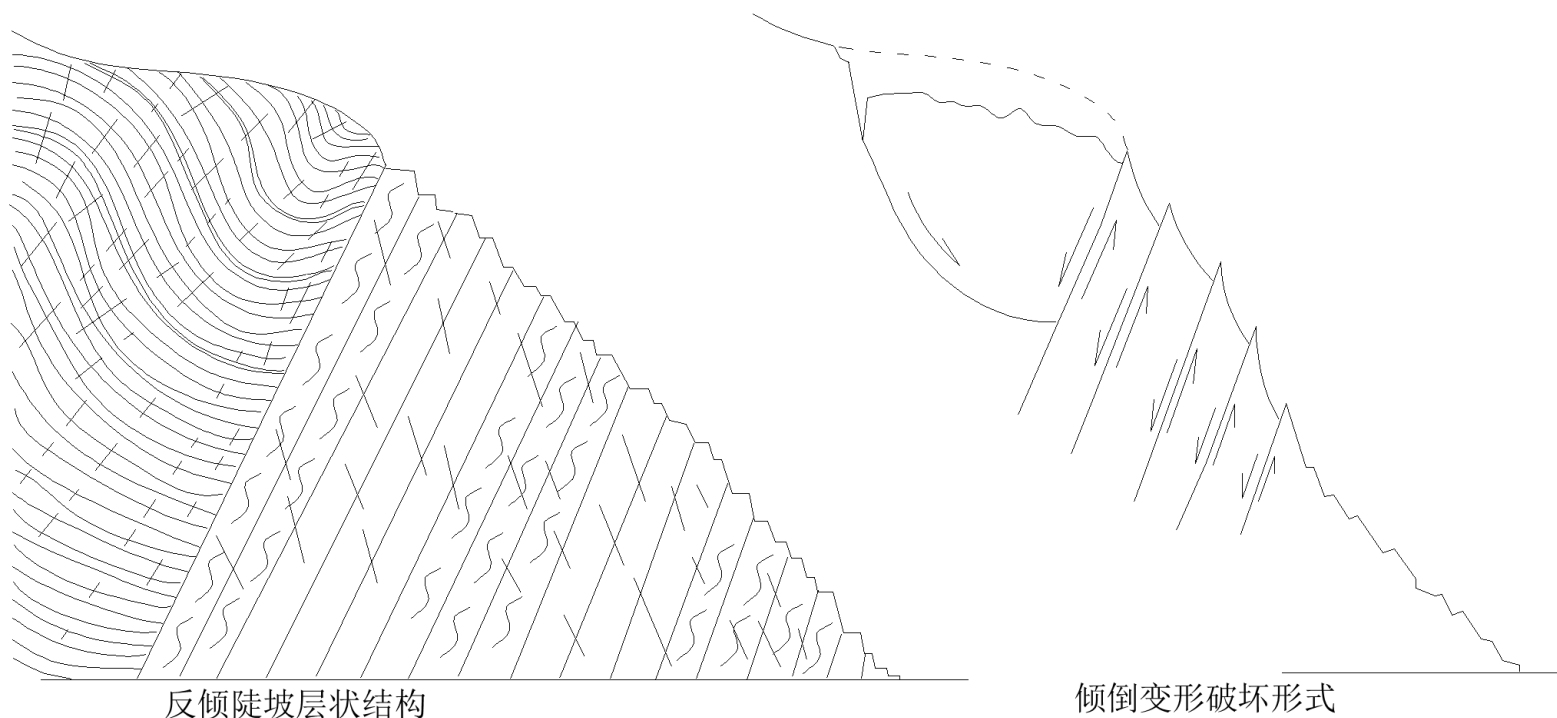
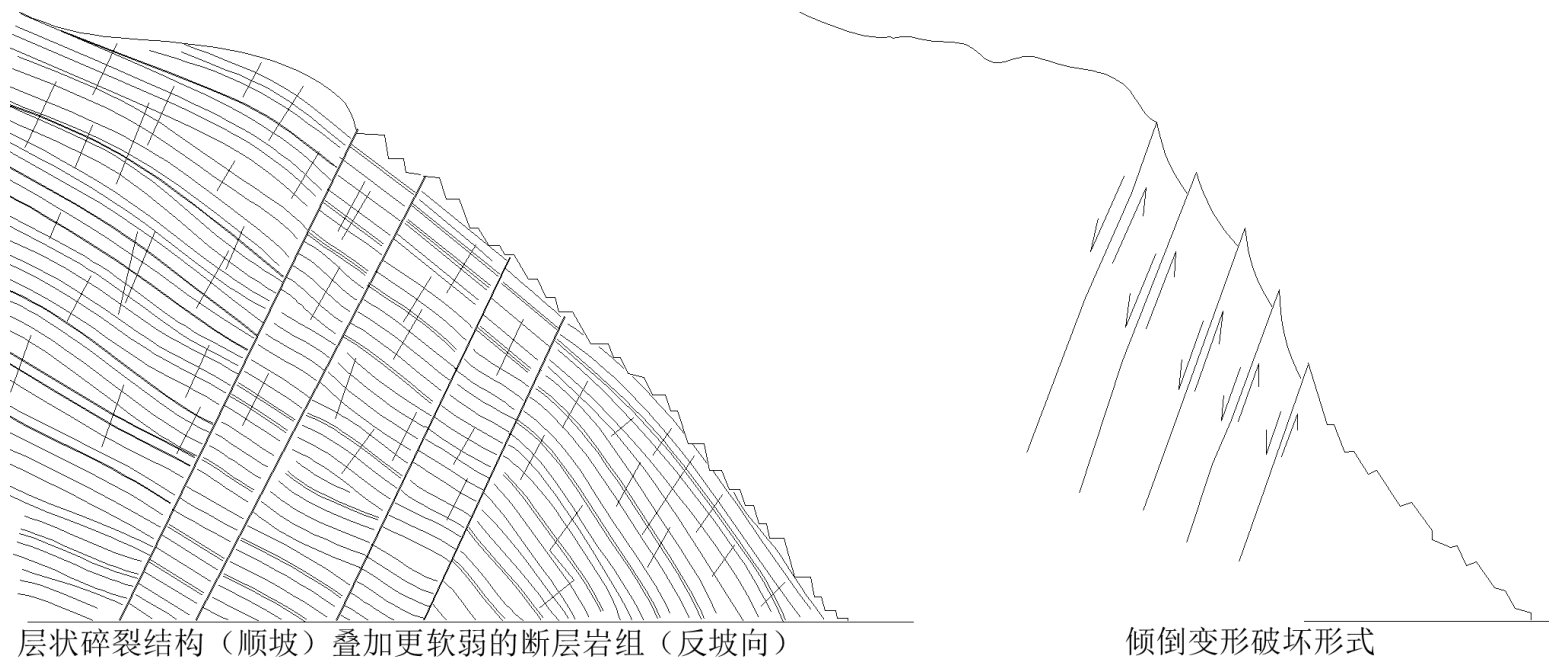


图4-26 块体层状碎裂组合工程地质模型及其变形破坏形式

2 土岩组合边坡的稳定性评价有关问题

2.3 破坏模式的确定—岩层破坏的部分情况



层状碎裂结构（顺坡）叠加更软弱的断层岩组（反坡向）

倾倒变形破坏形式

图4-27 顺坡层状岩层叠加反坡陡倾断层碎裂岩体工程地质模型及其变形破坏形式

2 土岩组合边坡的稳定性评价有关问题

2.3 破坏模式的确定—岩层破坏的部分情况

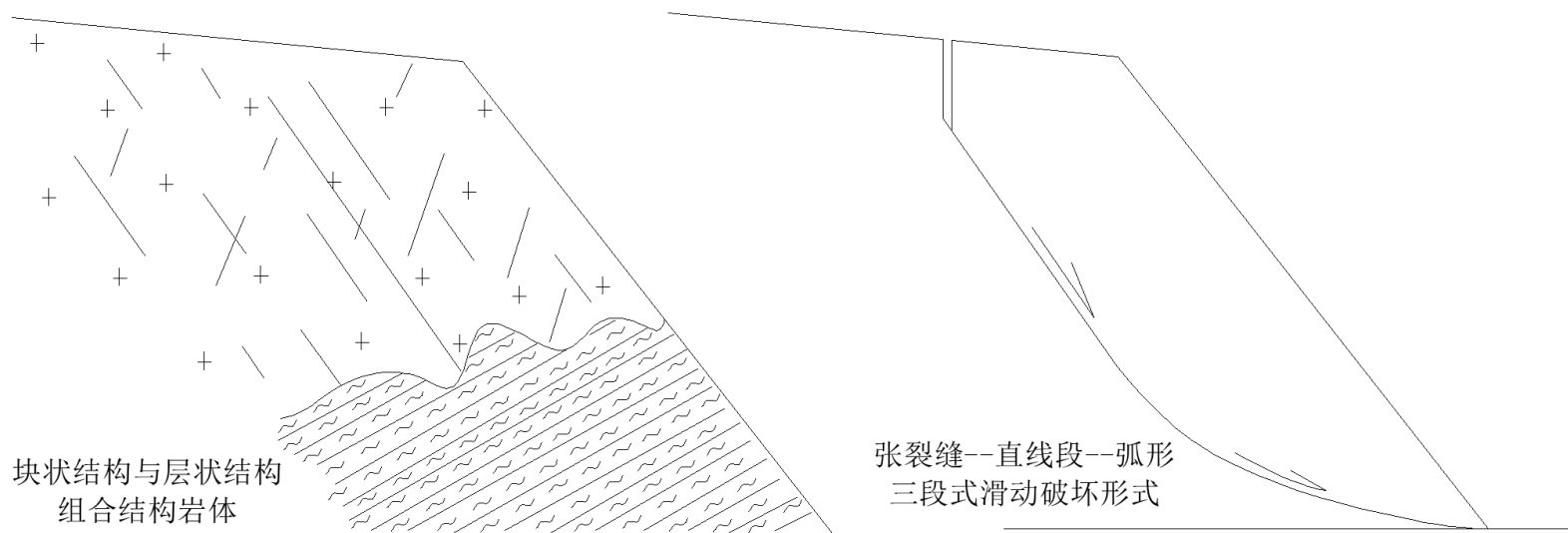


图4-28 组合岩体工程地质模型及其变形破坏形式

2 土岩组合边坡的稳定性评价有关问题

2.3 破坏模式的确定—岩层破坏的部分情况

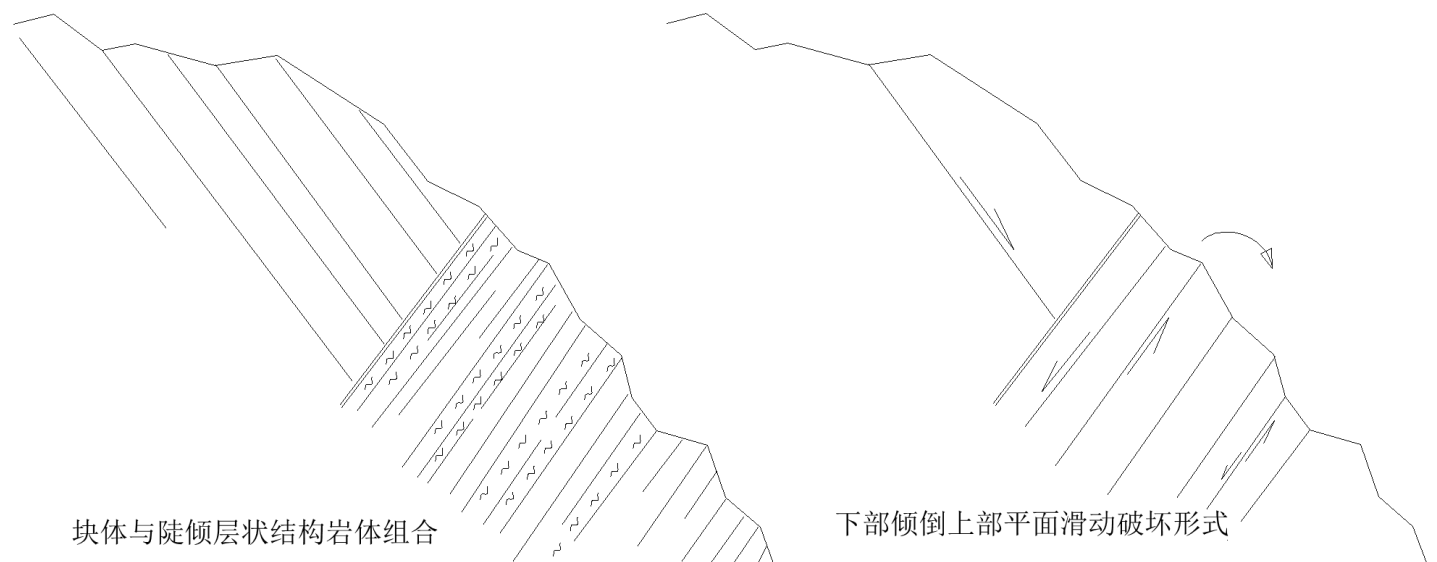


图4-29 块体与反向陡倾层状碎裂组合岩体工程地质模型及其变形破坏形式

2 土岩组合边坡的稳定性评价有关问题

2.3 破坏模式的确定—岩层破坏的部分情况

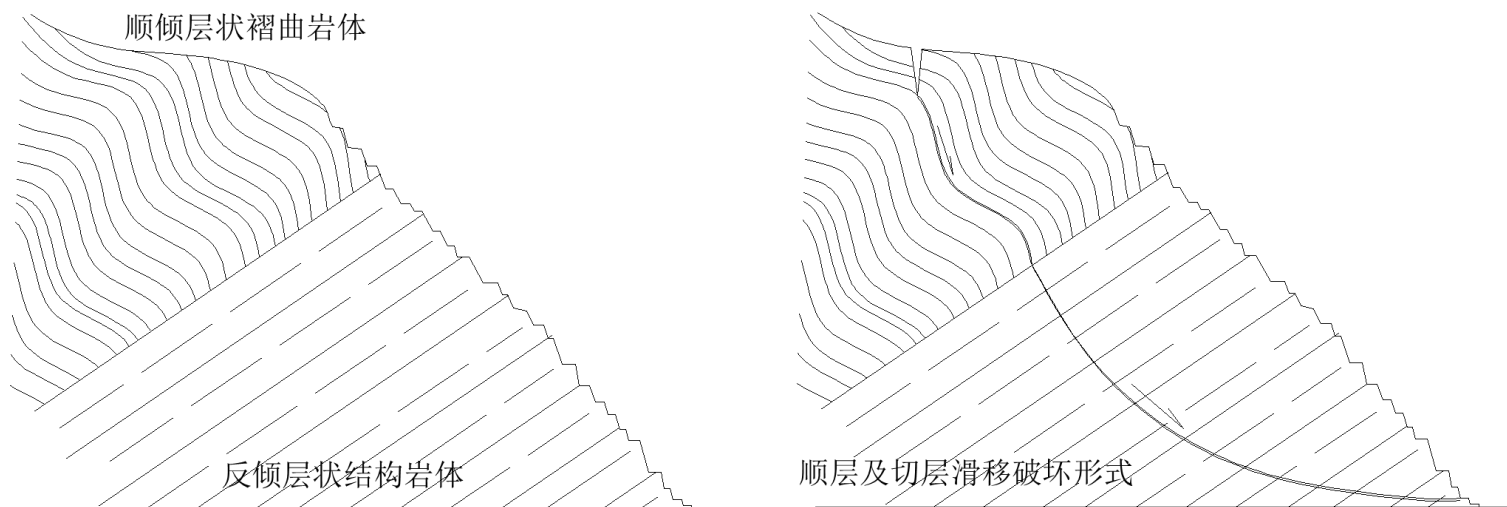
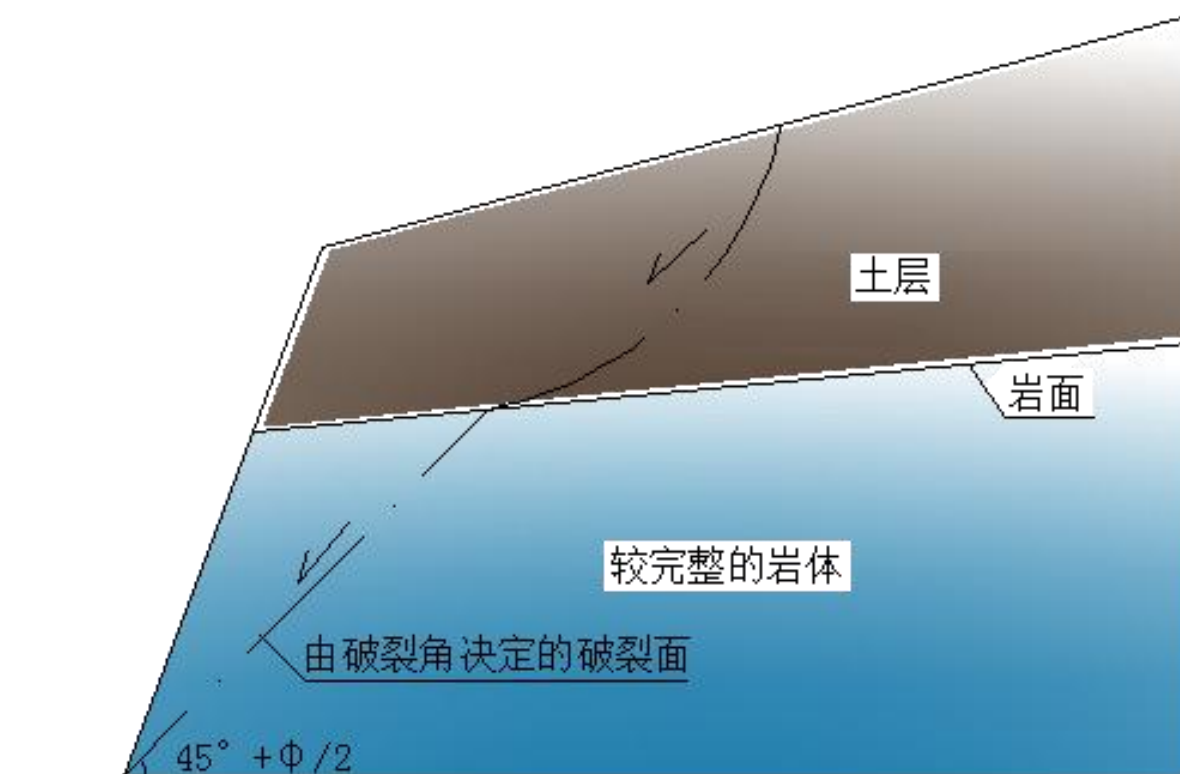


图4-30 反倾层状岩体与顺倾层状褶曲岩体组合工程地质模型及其变形破坏形式

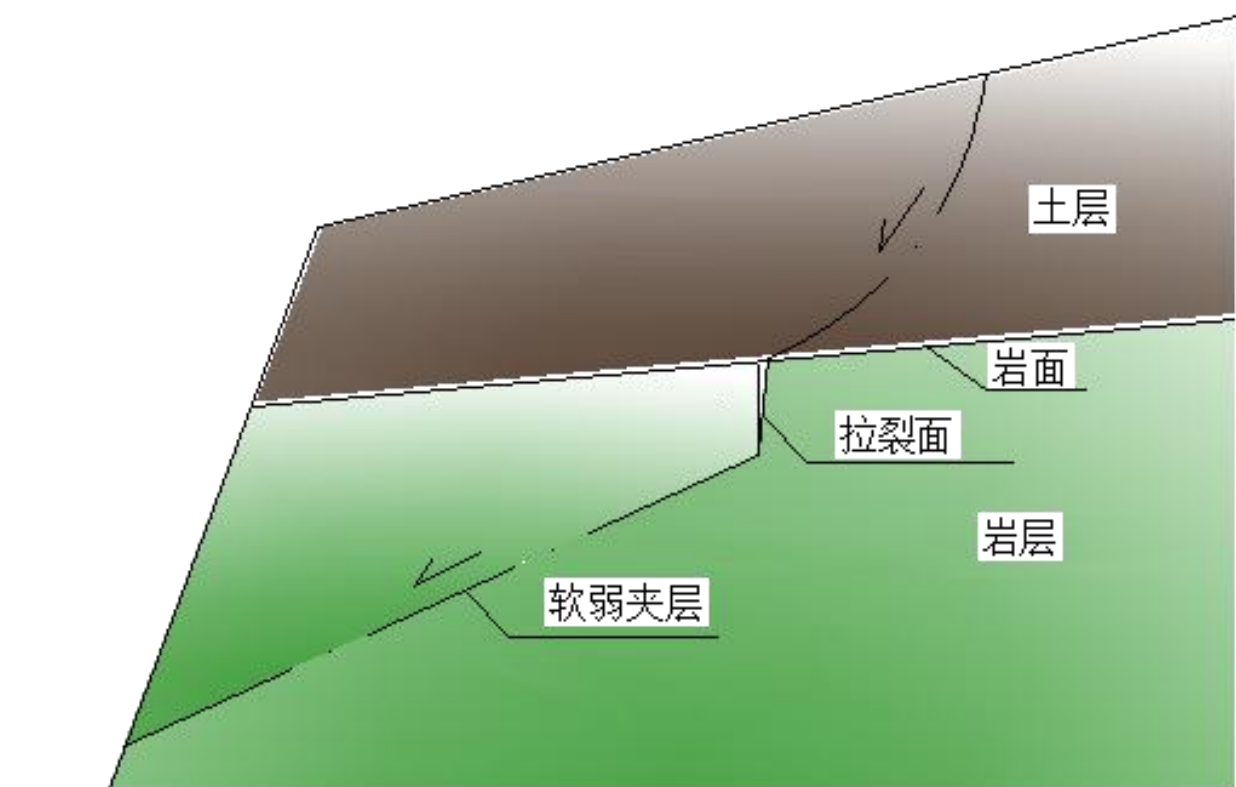
2 土岩组合边坡的稳定性评价有关问题

2.3 破坏模式的确定—岩层破坏为主导的部分情况



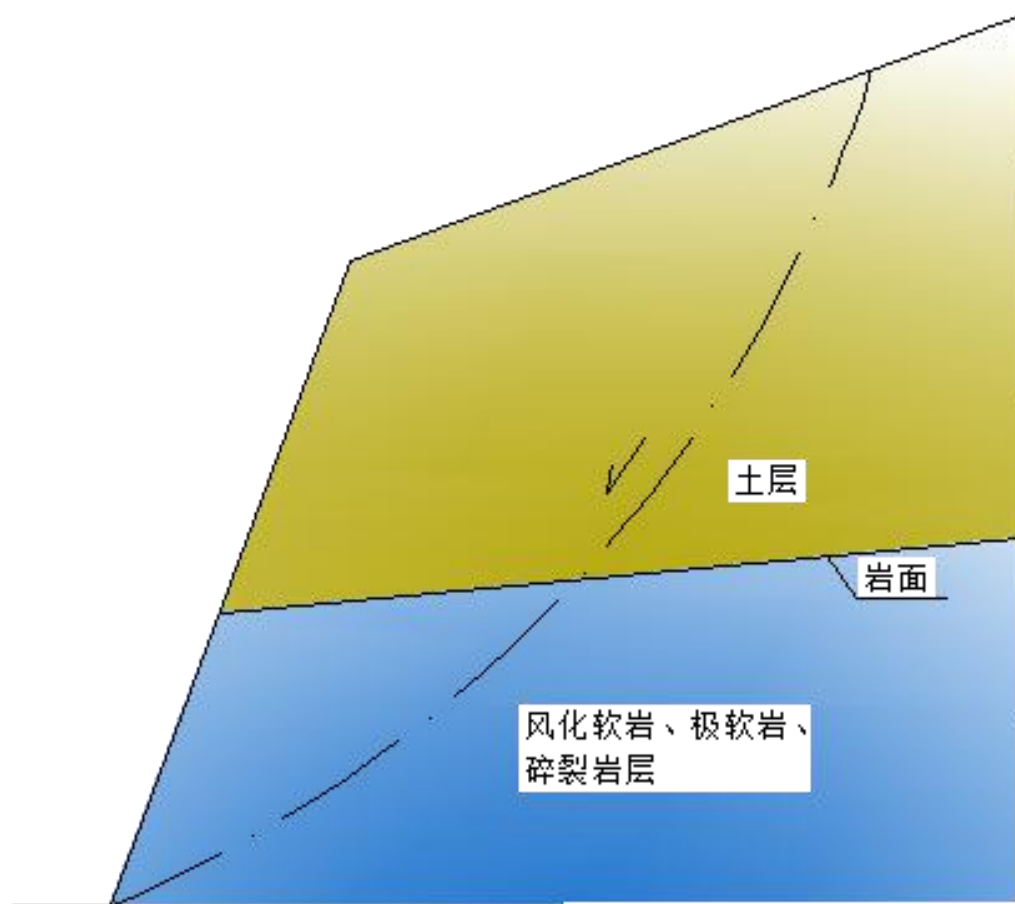
2 土岩组合边坡的稳定性评价有关问题

2.3 破坏模式的确定—岩层破坏为主导的部分情况



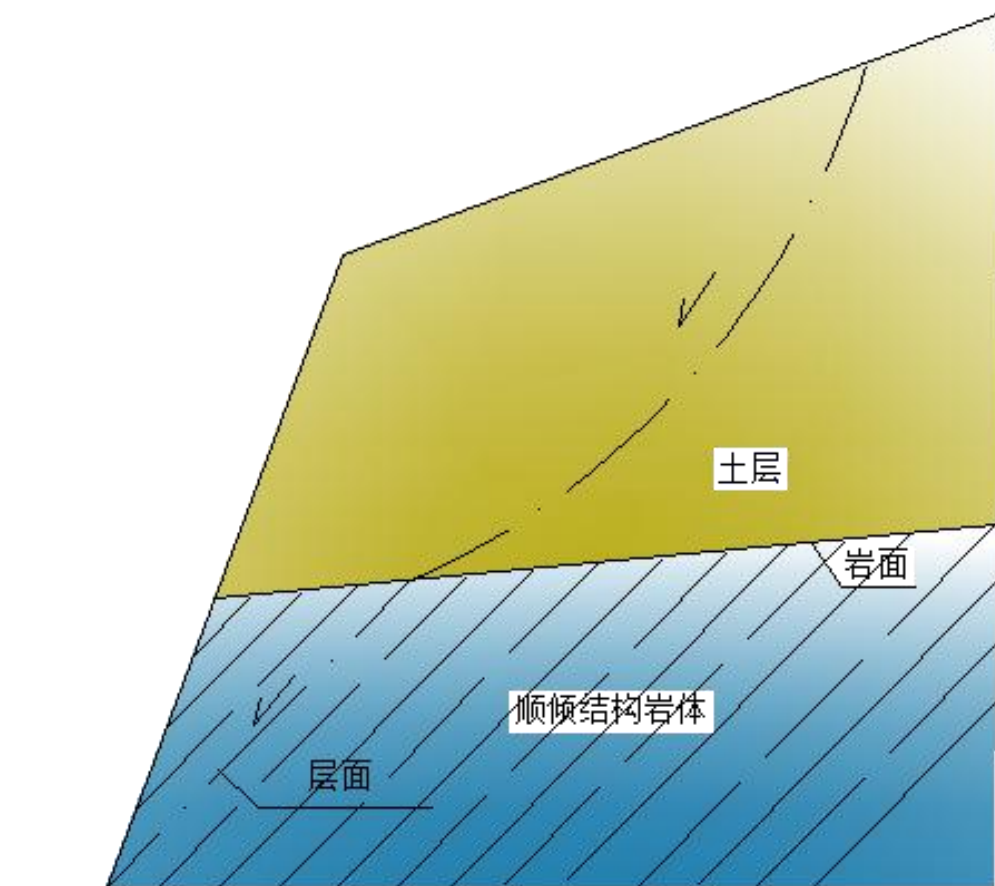
2 土岩组合边坡的稳定性评价有关问题

2.3 破坏模式的确定——岩土强度共同控制的部分情况



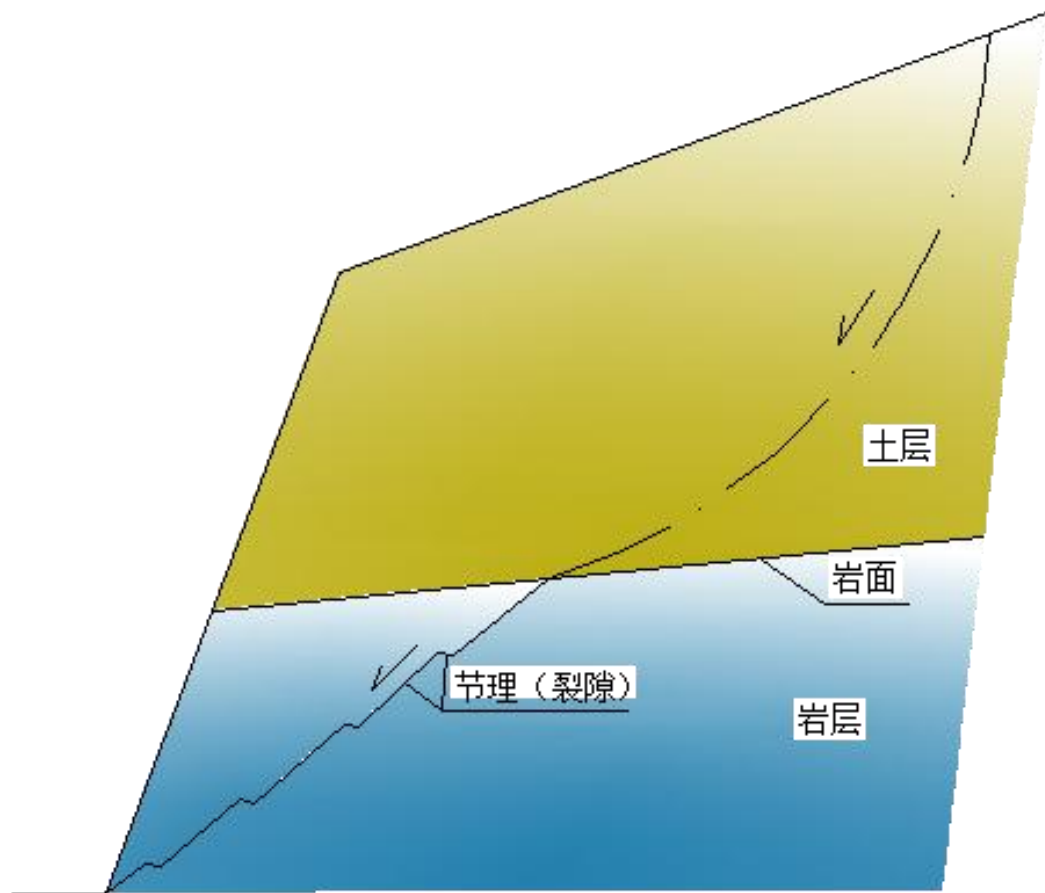
2 土岩组合边坡的稳定性评价有关问题

2.3 破坏模式的确定—岩土强度共同控制的部分情况



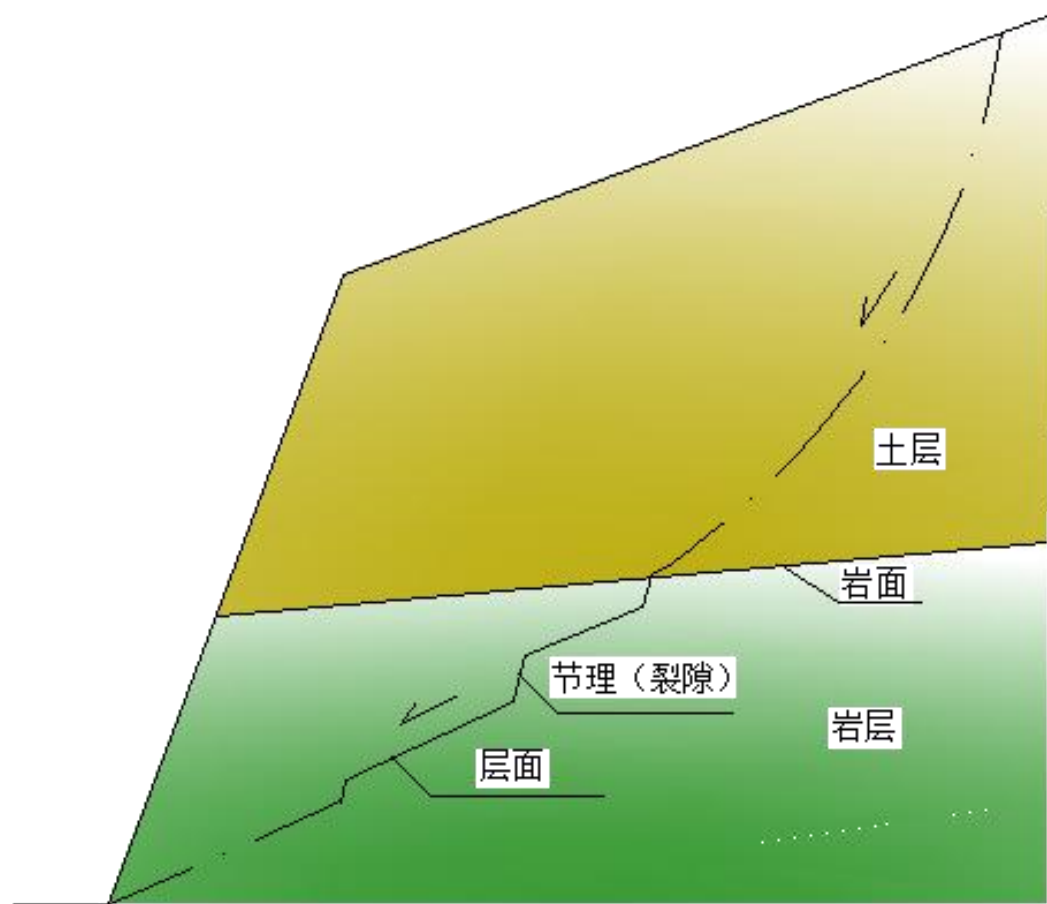
2 土岩组合边坡的稳定性评价有关问题

2.3 破坏模式的确定—岩土强度共同控制的部分情况



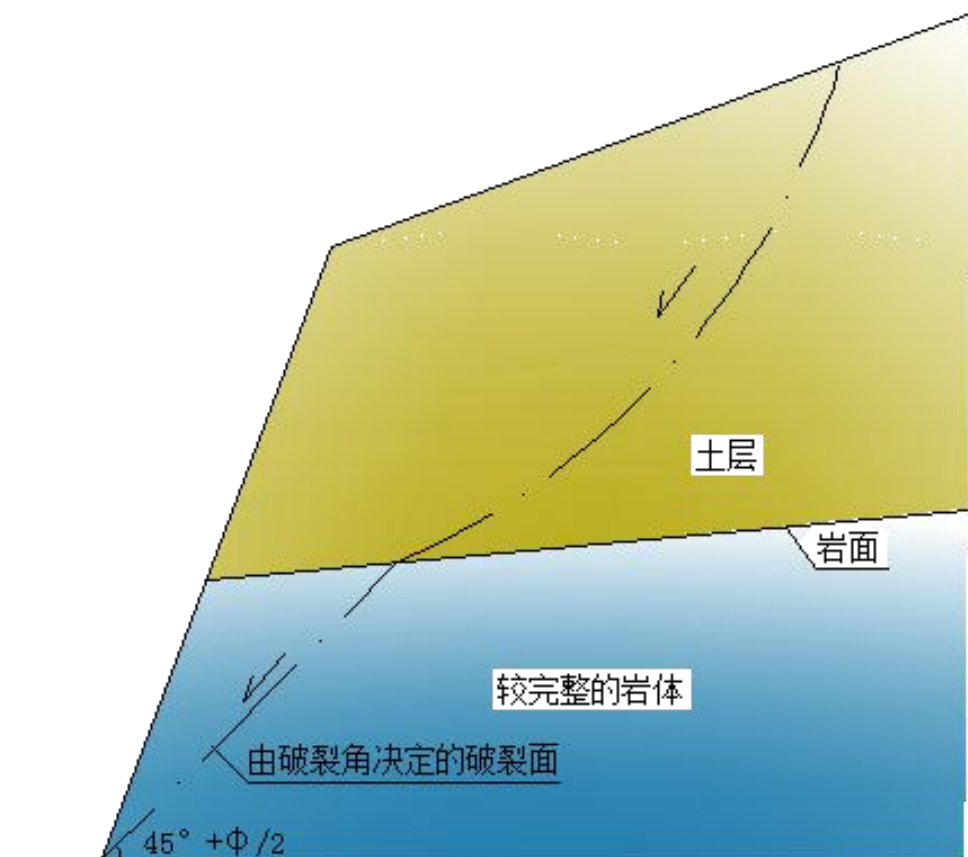
2 土岩组合边坡的稳定性评价有关问题

2.3 破坏模式的确定—岩土强度共同控制的部分情况



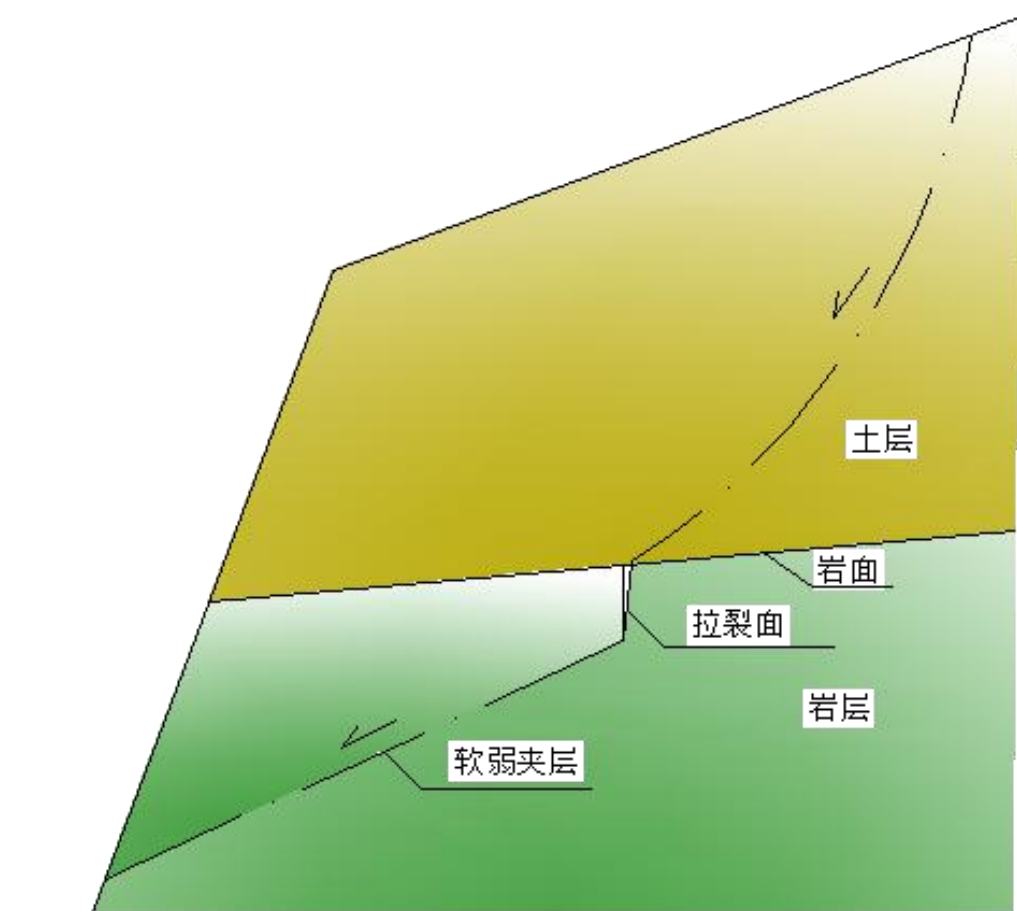
2 土岩组合边坡的稳定性评价有关问题

2.3 破坏模式的确定—岩土强度共同控制的部分情况



2 土岩组合边坡的稳定性评价有关问题

2.3 破坏模式的确定—岩土强度共同控制的部分情况



2 土岩组合边坡的稳定性评价有关问题

2.4 稳定性评价

◆ 预测分析

- 边坡滑动发生在什么坡段（土坡段、岩坡段控制的整坡、土岩共同控制的整坡）
- 滑动可能发生的时段（开控过程中、开挖完成时、滞后-卸荷松弛发展、风化进程）

◆ 建立评价模型--确定滑动面是关键（是重点、也是难点，必要时借助于数值模拟）

- 土坡段滑动相对简单
- 岩坡滑动失稳千奇百怪，滑动面难以捉摸，很多无可借鉴模式（如倾倒——抗拉、抗剪、结构面强度、岩层强度等）
- 土和岩组合后岩层中的滑面在何处？土坡段的滑面在何处？常用方法是否还能适用？

◆ 合理选择强度参数

2 土岩组合边坡的稳定性评价有关问题

2.4 稳定性评价

◆ 土坡段滑动的稳定性计算

- ◇ 弧形计算式/条分法
- ◇ 折线型计算式/传递系数法

◆ 受岩坡段滑动控制（较硬岩、硬岩）的稳定性

- ◇ 概化处理—覆土层视为附加荷载、只考虑岩层的强度
- ◇ 主要考虑岩层滑动的计算式：直线型、折线型、概化折线型

◆ 岩土强度共同控制整体稳定性稳定性计算

- ◇ 弧形计算式
- ◇ 似弧形—细化条分计算
- ◇ 折线与弧线组合？

参数—方法
探索—总结

谢谢

2018.8