

DB61

陕 西 省 地 方 标 准

DB 61/T 973—2015

公路路堑边坡超前支护设计规范

Specification for pre-reinforced design of road cutting slope

2015 – 06 – 30 发布

2015 – 08 – 01 实施

陕西省质量技术监督局

发 布

前 言

本标准按照GB/T 1.1-2009给出的规则起草。

本标准附录A为规范性附录，附录B、附录C、附录D和附录E为资料性附录。

本标准由中交第一公路勘察设计研究院有限公司提出。

本标准由陕西省交通运输厅归口。

本标准起草单位：中交第一公路勘察设计研究院有限公司、中国科学院水利部成都山地灾害与环境研究所、西安中交土木科技有限公司。

本标准主要起草人：高山、何思明、潘长平、罗渝、王成华、吴清、姚文奇、王付、孙蕊鑫、李新坡。

本标准由中交第一公路勘察设计研究院有限公司负责解释。

本标准首次发布。

联系信息如下：

单位：中交第一公路勘察设计研究院有限公司

电话：029-88851152-2615

地址：陕西省西安市雁塔区科技四路205号

邮编：710075

公路路堑边坡超前支护设计规范

1 范围

本标准规定了公路路堑边坡的超前分析方法、超前支护基本设计理论等内容。
本标准适用于公路路堑边坡的超前分析、超前支护设计。

2 规范性引用文件

下列文件对于本文件的应用是必不可少的。凡是注日期的引用文件，仅所注日期的版本适用于本文件。凡是不注日期的引用文件，其最新版本（包括所有的修改单）适用于本文件。

GB 50021	岩土工程勘察规范
GB/T 50123	土工试验方法标准
GB/T 50218	工程岩体分级标准
GB/T 50266	工程岩体试验方法标准
DZ/T 0219	滑坡防治工程设计与施工技术规范
JTG C20	公路工程地质勘察规范
JTG D30	公路路基设计规范

3 术语、定义和符号

3.1 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1.1

不稳定路堑边坡 **unstable slope cutting slope**

在施工前、施工中和施工后任一阶段自身不满足规范稳定性要求的路堑边坡。

3.1.2

超前分析 **pre-diagnosis**

公路路堑边坡开挖前进行的勘察工作及对施工前、施工中及施工后的稳定性评价和危险性判定工作。

3.1.3

超前支护 **pre-reinforcement**

不稳定路堑边坡开挖前先进行支护结构设计和施工，待支护工程完成后，再进行边坡开挖的工艺。

3.1.4

超前支护锚杆 **pre-reinforced anchor bar**

路堑边坡超前支护处理时采用的锚杆。

3.1.5

超前支护抗滑桩 **pre-reinforced anti-slide pile**

路堑边坡超前支护处理时采用的抗滑桩。

3.1.6

超前支护锚索抗滑挡土墙 retaining wall with prestressed anchors

路堑边坡超前支护处理时采用的预应力锚索抗滑挡土墙结构。

3.1.7

公路路堑边坡的长期强度 long-term strength of road cutting slope

公路路堑边坡形成后的最终坡体强度。

3.1.8

公路路堑边坡的长期稳定性 long-term stability of road cutting slope

公路路堑边坡形成后较长时间内边坡的最低稳定性。

3.1.9

动态设计法 dynamic design method

当地质勘察参数难以准确确定、设计理论和方法带有经验性和类比性时，根据施工中反馈的信息和监控资料完善设计的方法。

3.2 符号

A ——结构面面积，单位为平方米（ m^2 ）；

A_c ——滑坡推力作用点处挡土墙净截面积，单位为平方米（ m^2 ）；

A_g ——滑坡推力作用点处钢绞线截面积，单位为平方米（ m^2 ）；

A_h ——滑坡推力作用点处锚索孔灌浆材料截面积，单位为平方米（ m^2 ）；

B ——抗滑挡土墙基础宽度，单位为米（ m ）；

c ——结构面的黏聚力，单位为千帕（ kPa ）；

c' ——长期条件下岩土体的有效黏聚力，单位为千帕（ kPa ）；

c_i ——第 i 计算条块滑动面上岩土体的黏聚力标准值，单位为千帕（ kPa ）；

$c_{\max}$ ——岩体垂直层面方向上的粘聚力，单位为千帕（ kPa ）；

$c_{\min}$ ——岩体沿层面方向上的粘聚力，单位为千帕（ kPa ）；

c_p ——非线性破坏准则强度参数；

c_r —— M 处的切线粘聚力，单位为千帕（ kPa ）；

c_y ——原状岩土黏聚力，单位为千帕（ kPa ）；

c_0 ——重塑岩土黏聚力，单位为千帕（ kPa ）；

c_δ ——岩体沿滑面方向上的粘聚力，单位为千帕（ kPa ）；

c_θ ——预求抗剪强度方向上的粘聚力，单位为千帕（ kPa ）；

D' ——内能耗散率，单位为千瓦（ kW ）；

D_c ——开挖卸荷引起的土体结构损伤变量；

D_u ——降雨入渗导致的吸力损伤变量；

D_x ——岩体开挖卸荷损伤变量；

D_s ——岩体降雨入渗湿化损伤变量；

E ——作用于超前支护预应力锚索抗滑挡土墙单位宽度上的主动土压力，单位为千牛/米（ kN/m ）；

e ——底合力的法向分量的合力偏心矩，单位为米（ m ）；

f_a ——地基承载力特征值，单位为千帕（ kPa ）；

f_c ——墙体抗剪强度，单位为千帕（ kPa ）；

f_g ——钢绞线抗剪强度，单位为千帕（ kPa ）；

f_h ——锚索孔灌浆材料抗剪强度，单位为千帕（ kPa ）；

G ——墙体单位宽度的自身重力，单位为千牛/米（ kN/m ）；

G_{bi} ——第*i*计算条块滑体地表建筑物的单位宽度自重，单位为千牛/米（kN/m）；
 G_i ——第*i*计算条块单位宽度岩土体自重，单位为千牛/米（kN/m）；
 H ——边坡高度，单位为米（m）；
 H_L ——层状岩质高切坡的极限高度，单位为米（m）；
 K ——预应力锚索抗滑挡土墙墙体的抗剪安全系数，一般要求大于1.5；
 K_c ——超前支护预应力锚索抗滑挡土墙的抗滑稳定系数，一般要求大于1.3；
 K_s ——边坡稳定安全系数；
 K_0 ——预应力锚索抗滑挡土墙的抗倾覆稳定系数，一般要求大于1.6；
 L ——边坡坡顶塌滑区边缘至坡底边缘的水平投影距离，单位为米（m）；
 l_i ——第*i*计算条块滑动面长度，单位为米（m）；
 m ——非线性破坏准则强度参数
 N ——墙体单位宽度范围内的预应力锚索荷载，单位为千牛/米（kN/m）；
 N_i ——第*i*计算条块滑体在滑动面法线方向上的压力，单位为千牛/米（kN/m）；
 n ——裂缝高度与坡高之比；
 P_{wi} ——第*i*计算条块单位宽度的动水压力，单位为千牛/米（kN/m）；
 q_r ——扰动岩土样的无侧限抗压强度，单位为千帕（kPa）；
 q_y ——原状岩土样的无侧限抗压强度，单位为千帕（kPa）；
 q_0 ——重塑岩土体的无侧限抗压强度，单位为千帕（kPa）；
 R_c ——岩体饱和单轴抗压强度，单位为千帕（kPa）；
 R_i ——第*i*计算条块滑体单位宽度滑面上的抗滑力，单位为千牛/米（kN/m）；
 $S_{\max}$ ——层状岩体的抗剪强度在垂直层面方向的值，单位为千帕（kPa）；
 $S_{\min}$ ——层状岩体的抗剪强度沿层面方向的值，单位为千帕（kPa）；
 R_n ——第*n*计算条块滑体单位宽度滑面上的抗滑力，单位为千牛/米（kN/m）；
 R_0 ——干燥状态下单轴岩体抗压强度，单位为千帕（kPa）；
 T_i ——第*i*计算条块滑体单位宽度滑面切线方向上的下滑力，单位为千牛/米（kN/m）；
 T_n ——第*n*计算条块滑体单位宽度滑面切线方向上的下滑力，单位为千牛/米（kN/m）；
 u ——雨水入渗后土体吸力，单位为千帕（kPa）；
 u_y ——原状土体的吸力，单位为千帕（kPa）；
 V ——岩体的体积，单位为立方米（m³）；
 V_p ——各向同性卸荷岩体中的声波速度，单位为米/秒（m/s）；
 V_y ——原状岩体中的声波速度，单位为米/秒（m/s）；
 v ——外力所在滑块塑性速度在外力作用方向的速度分量，单位为米/秒（m/s）；
 W' ——外力功率，单位为千瓦（kW）；
 W'_n ——块体ABDE部分重力功率，单位为千瓦/小时（kW/h）；
 y ——微元单元距地表距离，单位为米（m）；
 Z ——基底合力法向分量对墙趾的力臂，单位为米（m）；
 Z_G ——墙体重力对墙趾力臂，单位为米（m）；
 Z_N ——预应力荷载对墙趾的力臂，单位为米（m）；
 Z_X ——滑坡推力的水平分量对墙趾的力臂，单位为米（m）；
 α ——滑坡推力作用线的水平倾角，单位为度（°）；
 α_i ——第*i*计算条块底面的水平倾角，单位为度（°）；
 β ——滑面与垂直方向的夹角，单位为度（°）；
 β_0 ——边坡的破裂角，单位为度（°）；

- δ ——滑面与边坡顶面的夹角，单位为度（°）；
 γ ——岩土体的重度，单位为千牛/立方米（kN/m³）；
 η ——边坡坡角，单位为度（°）；
 μ ——基底摩擦系数；
 θ ——结构面的倾角，单位为度（°）；
 θ' ——预求抗剪强度方向与层面的倾角，单位为度（°）。
 θ_i ——地下水位面的倾角，单位为度（°）；
 ρ ——岩石层面与水平面的夹角，单位为度（°）；
 $\sigma_{\max}$ ——基底最大应力，单位为千帕（kPa）；
 $\sigma_{\min}$ ——基底最小应力，单位为千帕（kPa）；
 σ_n ——破坏面上的正应力，单位为千帕(kPa)；
 σ_f ——非线性破坏准则强度参数；
 σ_1 ——基底的垂向主应力，单位为千帕（kPa）；
 σ_3 ——基底的水平向主应力，单位为千帕（kPa）；
 τ ——破坏面上的剪应力，单位为千帕(kPa)；
 φ ——结构面的内摩擦角，单位为度（°）；
 φ' ——长期条件下岩土体的有效内摩擦角，单位为度（°）；
 φ^b ——抗剪强度随基质吸力的增长率；
 φ_i ——第*i*计算条块滑动面上岩土体的内摩擦角标准值，单位为度（°）；
 φ_m ——塑性速度与滑面夹角，一般为岩土体的内摩擦角，单位为度（°）；
 $\varphi_{\max}$ ——岩体垂直层面方向上的内摩擦角，单位为度（°）；
 $\varphi_{\min}$ ——岩体沿层面方向上的内摩擦角，单位为度（°）；
 φ_n ——D点处岩土体的切线内摩擦角，单位为度（°）；
 φ_f ——M处的内摩擦角，单位为度（°）；
 φ_y ——原状岩土样的内摩擦角，单位为度（°）；
 φ_0 ——重塑岩土样的内摩擦角，单位为度（°）；
 φ_{θ} ——预求抗剪强度方向上的内摩擦角，单位为度（°）；
 φ_{δ} ——岩体沿滑面方向上的内摩擦角，单位为度（°）；
 ψ_f ——传递系数；
 ζ ——滑面与坡面的夹角，单位为度（°）。

4 基本规定

4.1 一般规定

4.1.1 公路路堑边坡的超前分析应包括开挖施工前、施工中以及施工后的稳定性评价。

4.1.2 符合以下任一情况的路堑边坡宜进行超前支护：

- 不稳定公路路堑边坡；
- 古滑坡坡体上开挖的路堑边坡；
- 易滑地层上开挖的路堑边坡；
- 坡顶或坡脚有重要构筑物的公路路堑边坡；
- 顺层岩质公路路堑边坡。

4.1.3 公路路堑边坡超前支护设计前应取得以下资料：

- a) 公路用地图、路线平面布置总图、相邻构造物设计施工图等；
- b) 工程区水文地质和工程地质勘察资料；
- c) 施工方案、设备性能、施工条件等资料。

4.1.4 公路路堑边坡的超前支护包括先支护后开挖、边支护边开挖两种方式。

4.1.5 公路边坡工程安全等级应根据公路等级、边坡类型、边坡高度及破坏后果的严重程度等因素按表1的规定确定。其中，同一工程的不同阶段，应根据工程实际情况采用不同的安全等级；对于自然地质条件复杂，危害性极严重的特殊路堑边坡工程，其安全等级应根据实际工程情况适当提高；工程岩体质量分级应按 GB/T 50218 的要求进行。

表1 不同条件下边坡的安全等级

公路等级	边坡类型		边坡高度 H	破坏后果	安全等级
高速公路，一级公路	岩质	岩体级别为 I 级或 II 级	$H \leq 30\text{m}$	很严重	一级
				严重	二级
				不严重	三级
		岩体级别为 III 级或 IV 级	$15\text{m} < H \leq 30\text{m}$	很严重	一级
				严重	二级
			$H \leq 15\text{m}$	很严重	一级
				严重	二级
	土质		$10\text{m} < H \leq 15\text{m}$	很严重	一级
				严重	二级
			$10\text{m} < H \leq 15\text{m}$	不严重	三级
				很严重	一级
			$H \leq 10\text{m}$	严重	二级
				不严重	三级
二级及二级以下公路	岩质	岩体级别为 I 级或 II 级	$H \leq 30\text{m}$	严重	二级
				不严重	三级
		岩体级别为 III 级或 IV 级	$15\text{m} < H \leq 30\text{m}$	严重	二级
				不严重	三级
			$H \leq 15\text{m}$	严重	二级
				不严重	三级
	土质		$10\text{m} < H \leq 15\text{m}$	严重	二级
				不严重	三级
			$H \leq 10\text{m}$	严重	二级
				不严重	三级

4.1.6 下列公路路堑边坡工程，破坏后造成很严重、严重后果时，其安全等级定为一；破坏后果不严重时，其安全等级定为二级：

- a) 由外倾软弱结构面控制的公路路堑边坡工程；
- b) 危岩、滑坡地段的公路路堑边坡工程；
- c) 路堑边坡塌方区或其影响区内有重要建筑物的公路路堑边坡工程。

4.1.7 坡高大于 10 米的公路一级边坡超前支护设计应采用动态设计法；坡高大于 10 米的公路二级边坡超前支护设计宜采用动态设计法。

4.1.8 公路路堑边坡超前支护不同结构类型的适用条件应按 2 选取。

表2 不同超前支护结构类型的适用条件

序号	结构类型	边坡高度 H	边坡工程安全等级	场地条件
1	超前支护锚杆（索）	土层：H≤15m 岩层：H≤30m	一、二、三级	场地狭窄
2	超前支护抗滑桩	土层：H≤10m 岩层：H≤25m	一、二、三级	—
3	超前支护挡土墙	土层：H≤8m 岩层：H≤10m	一、二、三级	场地允许
4	超前锚索抗滑挡土墙	土层：H≤15m 岩层：H≤30m	一、二级	坡顶重要建筑物需要保护

4.1.9 公路路堑边坡超前支护工程宜跳仓开挖，分批次施工；开挖施工中应及时记录地质剖面、滑动面位置，绘制地质柱状图。在土石层变化处及滑动面附近，应加强支护，护壁不应分节。

4.1.10 公路路堑边坡开挖高度大于 10m 时，应结合水文地质条件采取从上到下分级支护、分级开挖的措施。

4.2 公路路堑边坡类型及破坏形式

4.2.1 公路路堑边坡分为土质边坡、岩质边坡和二元介质边坡。

4.2.2 土质边坡根据土体材料的不同，其滑动面形状分为以下两种：

- a) 对于粘性土边坡，其滑动面近似圆弧面；
- b) 对于无粘性土边坡，其滑动面近于平面。

4.2.3 岩质边坡的破坏形式主要受控于结构面，可分为滑移破坏和崩塌破坏两种。

4.2.4 二元介质边坡的破坏形式主要受控于结构面，主要分为三种类型：

- a) 沿土岩分界面的滑移破坏；
- b) 受控于岩石结构面或软弱结构面的滑移破坏；
- c) 受控于岩石结构面或软弱结构面的崩塌破坏。

5 公路路堑边坡勘察和超前分析

5.1 一般规定

5.1.1 公路路堑边坡超前支护设计应进行超前分析。

5.1.2 安全等级为一级的公路路堑边坡应进行专门的岩土工程勘察；安全等级为二、三级的公路路堑边坡勘察可与超前支护主体工程勘察一并进行，但应满足边坡勘察的深度和要求；大型边坡和地质环境复杂的边坡应分阶段勘察；地质环境复杂的高速公路、一级公路路堑边坡应进行施工勘察。

5.2 公路路堑边坡勘察

5.2.1 公路路堑边坡勘察应先进行工程地质测绘和调查，主要查明坡体的形态、结构面、工程区震害等，按附录 A 的要求进行。

5.2.2 公路路堑边坡勘察的范围应覆盖可能对边坡稳定有影响及受边坡影响的地段。

5.2.3 公路路堑边坡勘察应查明以下内容：

- a) 工程区的地形地貌单元特征；
- b) 岩土的类型、成因、性状、覆盖层厚度、基岩面的形态和坡度、岩石的风化程度和完整性；
- c) 边坡组成岩、土体的物理力学性能；
- d) 主要结构面（尤其是软弱结构面）的类型、等级、产状、发育程度、延伸程度、闭合程度、风化程度、充填程度、充水状况、组合关系、力学属性及其与临空面的关系；
- e) 气象、水文和水文地质条件；
- f) 不良地质现象的范围和性质；
- g) 坡顶邻近构造物的荷载、结构、基础形式和埋深，地下设施的分布和埋深。

5.2.4 公路路堑边坡的勘察应按 GB 50021 和 JTG C20 的规定进行。

5.3 公路路堑边坡岩土试验

5.3.1 土质公路路堑边坡土体参数通过室内土工试验获取，试验应按 GB/T 50123 的规定进行；岩质公路路堑边坡的岩石力学参数通过试验获取，试验应按 GB/T 50266 的规定进行。

5.3.2 岩质公路路堑边坡的结构面抗剪强度指标宜根据现场原位试验确定，试验应按 GB/T 50266 进行。

5.4 公路路堑边坡稳定性分析

5.4.1 公路路堑边坡超前支护设计应分析边坡的稳定性和破坏形式。

5.4.2 公路路堑边坡稳定性分析时应考虑地下水的影响。

5.4.3 公路路堑边坡的稳定性计算可分为以下三种工况：

- a) 正常工况：边坡处于天然状态；
- b) 非正常工况 I：边坡受到暴雨或连续降雨作用；
- c) 非正常工况 II：边坡受到地震等荷载作用。

5.4.4 路堑边坡塌滑区范围应按公式（1）估算：

$$L = \frac{H}{\tan\beta_0} \dots\dots\dots (1)$$

表3 不同岩质边坡的破裂角

序号	边坡特征	破裂角
1	无外倾结构面时	$45^\circ+\varphi/2$ ，I 类岩体边坡取 75° 左右
2	有外倾结构面时	$\text{Min}(\text{结构面倾角}, 45^\circ+\varphi/2)$ ，（I 类岩体除外）
3	沿外倾软弱结构面破坏时	$\text{Min}(\text{结构面视倾角}, 45^\circ+\varphi/2)$ ，同时按前两种进行验算
注：岩体分类参照 GB/T 50218 的规定执行。		

公路路堑边坡开挖过程中的稳定安全系数应不小于表 4 的要求。

表4 公路路堑边坡稳定安全系数

计算工况	公路路堑边坡稳定安全系数		
	一级边坡	二级边坡	三级边坡
正常工况	1.35	1.30	1.25
暴雨或连续降雨工况	1.25	1.20	1.15
地震工况	1.15	1.10	1.05
对地质条件很复杂或破坏后果极严重的边坡工程，其稳定安全系数应适当提高。			

5.4.5 公路边坡稳定性分析方法按表 5 的要求选取。

表5 路堑边坡稳定性的分析方法

序号	边坡特征	分析方法
1	土质边坡、岩土质边坡	圆弧滑动法
2	沿平面滑动的边坡	平面滑动法
3	沿折线滑动的边坡	折线滑动法
4	规模较小、结构面组合关系较复杂的块体滑动破坏边坡	赤平极射投影法 实体比例投影法
5	破坏机制复杂的边坡	数值分析法
6	碎石土、层状岩质边坡	极限分析法 楔体理论

a) 采用圆弧滑动法时，边坡稳定性安全系数按公式（2）计算（受力示意图见图1）：

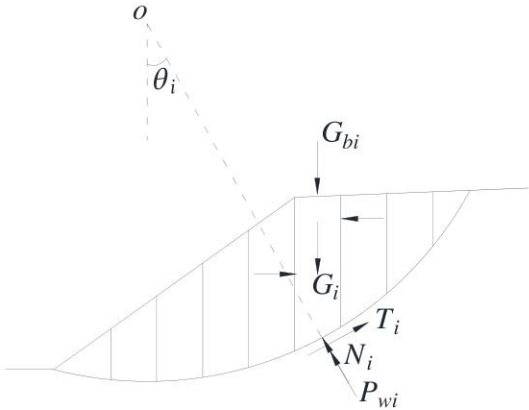


图1 圆弧滑动法计算边坡稳定性示意图

$$K_s = \frac{\sum R_i}{\sum T_i} \dots\dots\dots (2)$$

$$R_i = N_i \tan \varphi_i + c_i l_i \dots\dots\dots (3)$$

$$\sum N_i = (G_i + G_{bi}) \cos \theta_i + P_{wi} \sin(\alpha_i - \theta_i) \dots\dots\dots (4)$$

$$\sum T_i = (G_i + G_{bi}) \sin \theta_i + P_{wi} \cos(\alpha_i - \theta_i) \dots\dots\dots (5)$$

b) 采用平面滑动法时，边坡稳定安全系数按公式（6）计算：

$$K_s = \frac{\gamma V \cos \theta \tan \varphi + Ac}{\gamma V \sin \theta} \dots\dots\dots (6)$$

c) 采用折线滑动法时，边坡的稳定性系数按下列方法计算：

$$K_s = \frac{\sum R_i \psi_i \psi_{i+1} \cdots \psi_{n-1} + R_n}{\sum T_i \psi_i \psi_{i+1} \cdots \psi_{n-1} + T_n} \quad \dots\dots\dots (7)$$

$$\psi_i = \cos(\alpha_{i-1} - \alpha_i) - \sin(\alpha_{i-1} - \alpha_i) \tan \varphi_i \quad \dots\dots\dots (8)$$

d) 赤平极射投影法判别稳定性时按附录 B 的要求进行。

5.4.6 确定边坡的长期抗剪强度指标时应考虑开挖卸荷、雨水入渗的影响。

a) 土质公路路堑边坡的长期强度指标按下列方法确定：

$$\varphi' = \varphi_y - D_c (\varphi_y - \varphi_0) \quad \dots\dots\dots (9)$$

$$c' = c_y - D_c (c_y - c_0) - D_u u_0 \tan \varphi^b \quad \dots\dots\dots (10)$$

$$D_c = 1 - \frac{q_r - q_0}{q_y - q_0} \quad \dots\dots\dots (11)$$

$$D_u = \frac{u_y - u}{u_y} \quad \dots\dots\dots (12)$$

b) 岩质公路路堑边坡的长期强度指标按下列方法确定：

$$\varphi' = \varphi_y (1 - D_x)(1 - D_s) \quad \dots\dots\dots (13)$$

$$c' = c_y (1 - D_x)(1 - D_s) \quad \dots\dots\dots (14)$$

$$D_x = 1 - \left(\frac{V_p}{V_y} \right)^2 \quad \dots\dots\dots (15)$$

$$D_s = 1 - \frac{R_c}{R_0} \quad \dots\dots\dots (16)$$

5.4.7 碎石（卵石）土或层状岩质路堑边坡的最大开挖高度应按附录 C 的要求计算。

5.4.8 存在多个滑动面的边坡时，稳定性系数取多个滑动面稳定性系数的最小值；存在多级滑动面的边坡时，应分别对各级滑动面进行稳定性分析。

6 公路路堑边坡超前支护设计

6.1 一般规定

6.1.1 不稳定公路路堑边坡的超前支护方式应按表 6 的要求选取。

表6 公路路堑边坡超前支护方式

超前支护方式	不稳定状况出现时间			备注
	开挖过程中	开挖结束时	开挖结束后	
先支护再开挖	√	√	√	超前支护结构不影响开挖
边支护边开挖		√	√	超前支护结构适应开挖

- 6.1.2 公路路堑边坡超前支护设计应遵循以下原则：
- a) 一次根治，不留后患；
 - b) 支挡和锚固为主，辅以排水等措施综合治理。
- 6.1.3 超前支护主体结构可采用锚杆（索）、抗滑桩、预应力锚索抗滑挡土墙等工程结构，各种结构及其适用条件见表 7。

表7 超前支护主体结构及其适用条件

序号	超前支护主体结构	适用条件
1	超高前支护锚杆（索）	土质、岩质、岩土质边坡。
2	超前支护抗滑桩	边坡有明显滑动面，滑动面上部为非流塑性土体，下部为密实土层或较完整基岩。
3	超前支护抗滑挡土墙	高度较大稳定性较差的边坡； 因施工场地限制无法布置传统抗滑结构的土质边坡。
4	锚杆（索）+抗滑桩板墙组合抗滑结构 锚杆（索）+挡土墙组合结构	边坡高度>30m； 滑坡推力大，单一结构不可行； 边坡地质条件复杂。

- 6.1.4 公路路堑边坡超前支护设计时应进行下列计算和验算：
- a) 立柱、面板、挡土墙及基础的抗压、抗弯、抗剪承载力计算，局部抗压承载力和锚杆杆体的抗拉承载力验算；
 - b) 锚杆锚固体抗拔承载力、立柱与挡土墙基础地基承载力的计算和验算；
 - c) 超前支护结构整体和局部稳定性的验算；
 - d) 路堑边坡和超前支护结构的变形验算。

6.2 超前支护锚杆设计

6.2.1 超前支护锚杆应在公路路堑边坡开挖前预先设置在开挖面以下（见图 2）。

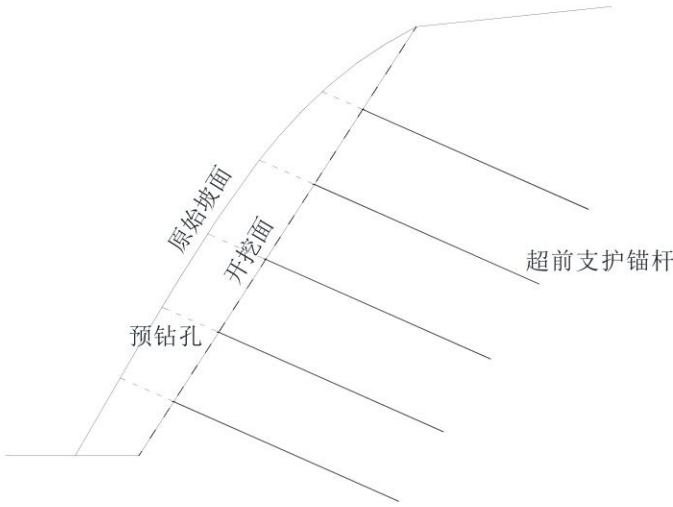


图2 超前支护锚杆示意图

6.2.2 超前支护锚杆的设计及原材料的选取应按 JTG D30 的规定进行。

6.3 超前支护抗滑桩设计

- 6.3.1 作用在超前支护抗滑桩上的力有滑坡推力、桩前土压力和滑面以下地层的阻滑力。
- 6.3.2 滑坡推力可按附录 D 的要求采用不平衡推力传递系数法计算；桩前土压力取滑坡剩余抗滑力和被动土压力二者之间的最小值。
- 6.3.3 公路路堑边坡超前支护抗滑桩的设计应按 DZ/T 0219 的规定进行。

6.4 超前支护竖向锚索抗滑挡土墙设计

- 6.4.1 作用在超前支护竖向锚索抗滑挡土墙上的作用包括：挡土墙自重、预应力作用、基底摩擦阻力和主动土压力（挡土墙示意图见图 3）。

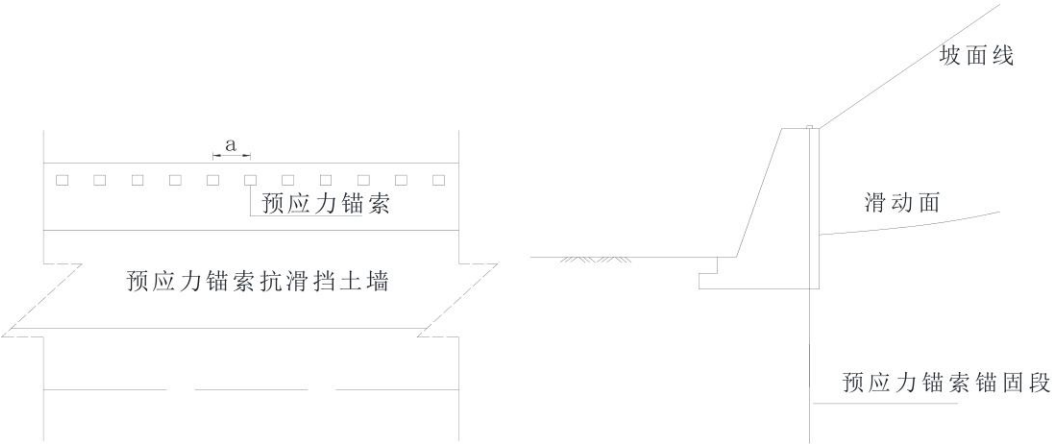


图3 预应力锚索抗滑挡土墙示意图

- 6.4.2 超前支护竖向锚索抗滑挡土墙的设计应按 DZ/T 0219 的规定进行。
- 6.4.3 超前支护竖向锚索抗滑挡土墙设计时应进行结构整体抗滑、抗倾覆和抗剪验算，当地基为软弱土时应进行下卧土层承载能力验算（挡土墙受力示意图见图 4）。

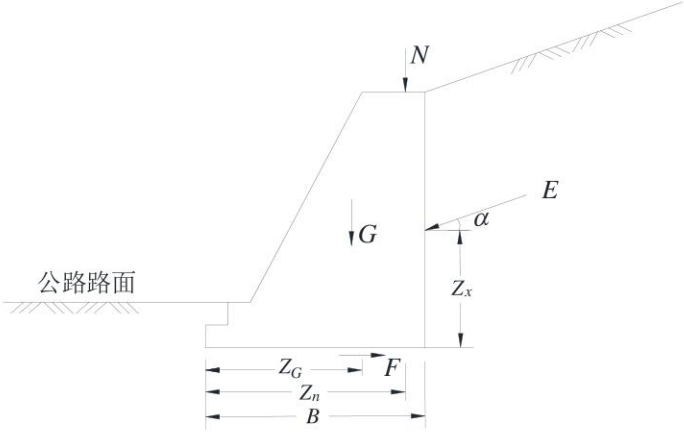


图4 竖向锚索抗滑挡土墙上的荷载示意图

- a) 超前支护竖向锚索抗滑挡土墙整体抗滑稳定性应按公式(17) 计算：

$$K_c = \frac{(E \sin \alpha + G + N) \mu}{E \cos \alpha} \quad \dots\dots\dots (17)$$

其中 μ 为基底摩擦系数，其取值见表8。

表8 岩土对挡土墙基底摩擦系数 μ 的取值

序号	岩土类别		摩擦系数 μ
1	粘性土	可塑	0.20~0.25
		硬塑	0.25~0.30
		坚硬	0.30~0.40
2	粉土		0.25~0.35
3	中砂、粗砂、砾砂		0.35~0.45
4	碎石土		0.40~0.50
5	极软岩、软岩、较软岩		0.40~0.60
6	表面粗糙的坚硬岩、较坚硬岩		0.65~0.75

b) 超前支护竖向锚索抗滑挡土墙抗倾覆稳定性应按公式(18)计算；

$$K_0 = \frac{G \cdot Z_G + N \cdot Z_N + E \cdot \sin \alpha \cdot B}{E \cos \alpha \cdot Z_x} \quad \dots\dots\dots (18)$$

c) 超前支护竖向锚索抗滑挡土墙应按公式(19)进行墙体抗剪验算。

$$K = \frac{E \cdot \cos \alpha}{f_c \cdot A_c + f_h \cdot A_h + f_g \cdot A_g} \quad \dots\dots\dots (19)$$

- 6.4.4 超前支护竖向锚索抗滑挡土墙基础地基承载力验算应按照附录E的要求进行。
- 6.4.5 超前支护竖向锚索抗滑挡土墙施工时可使用浆砌块石、条石或混凝土。
- 6.4.6 超前支护竖向锚索抗滑挡土墙设计时应在墙体上预留预应力锚索孔。
- 6.4.7 抗滑挡土墙地基的纵向坡度大于5%时应将基底做成台阶形。

6.5 超前支护组合抗滑结构设计

超前支护组合抗滑结构各结构单元的设计可按6.2、6.3和6.4的要求进行。

附 录 A
(规范性附录)
公路高边坡调查表

边坡编号			边坡位置		
县(区、市)			公路编号		
治理情况					
公路边坡预开挖高度			边坡底线位置高程 (m)		
长度 (m)		平均坡度 (°)		坡面面积 (m ²)	
坡高 (m)		坡向 (°)		高边坡介质类型	
岩性		岩层倾向 (°)		岩层倾角 (°)	
工程、水文地质条件 及震害描述					
影响对象基本情况	人数 (人)	建筑面积 (m ²)	基础设施	经济损失 (万元)	
高边坡可能变形 破坏模式					
主要防护工程措施 及评价					
病害、变形破坏情况 及其主要原因					
整治措施建议					

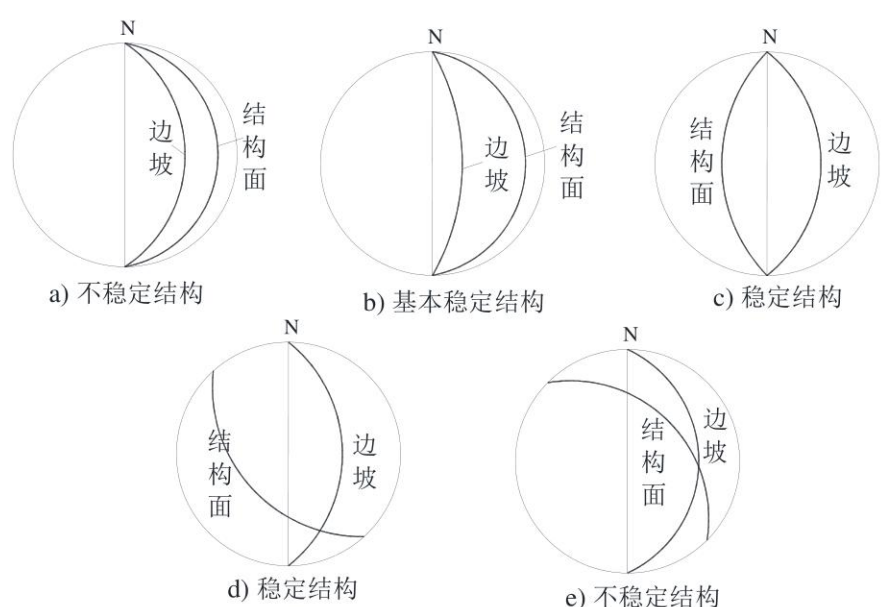
调查人

年 月 日

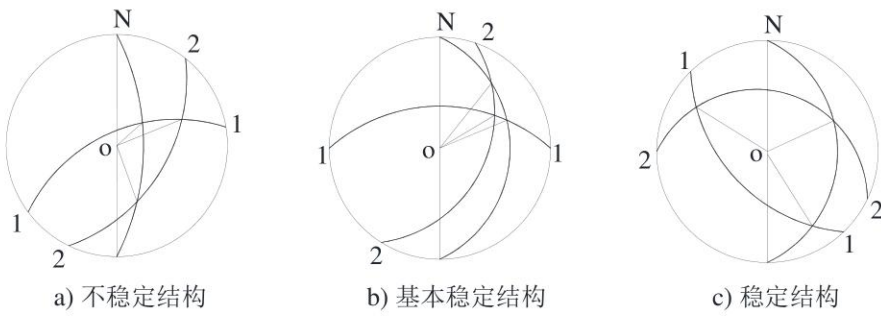
附录 B
(资料性附录)
赤平投影方法

B.1 赤平投影方法评价步骤

- B.1.1 分析边坡所处的工程地质条件，重点从地层岩性和结构面发育情况进行初步的判别。
- B.1.2 选择一条或一组结构面作为控制结构面，重点分析控制结构面与边坡临空面的空间位置关系，分析边坡滚石的稳定性（见图 B.1 和图 B.2）。

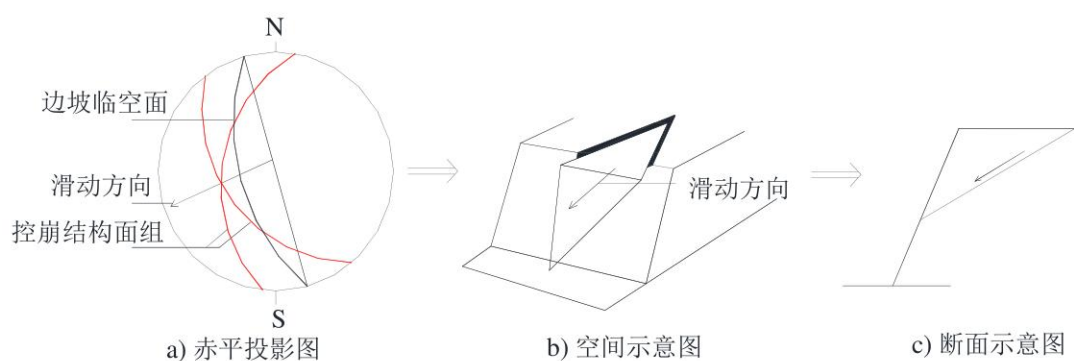


图B.1 潜在滚石中一组结构面(上半球投影)

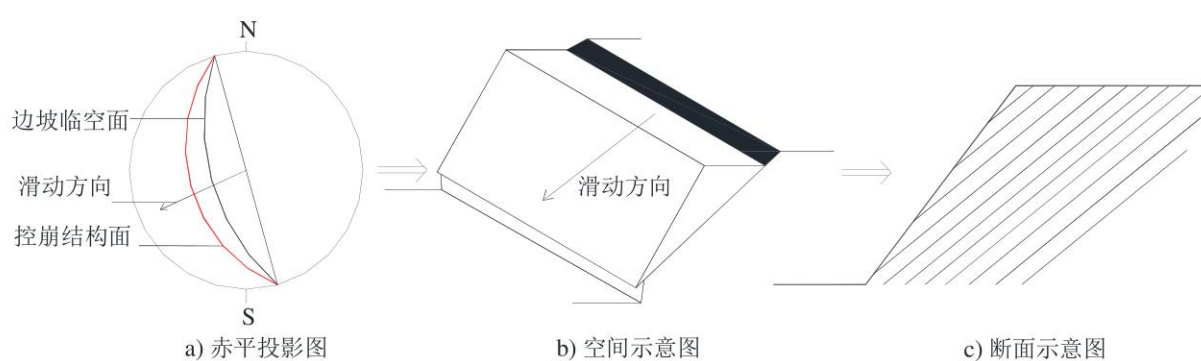


图B.2 潜在滚石中两组结构面(上半球投影)

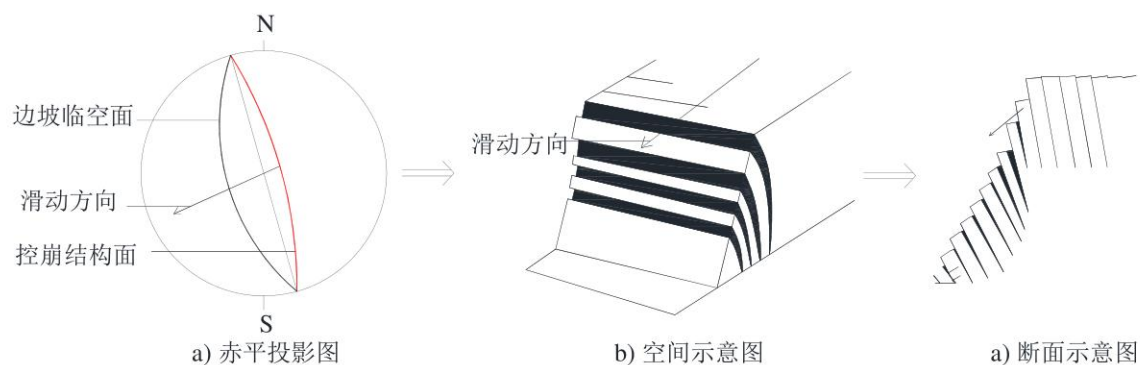
- B.1.3 利用赤平投影图解方法的分析结果，结合工程地质条件，综合给出滚石的类型（见图 B.3～图 B.5）。



图B.3 坠落式滚石结构示意图



图B.4 滑移式滚石结构类型



图B.5 倾倒式滚石结构类型

B.2 赤平投影方法判据

B.2.1 滑移式滚石发生条件为:

- 边坡临空面倾角 $\beta \leq 60^\circ$;
- 控制结构面倾向与坡面临空面走向、倾向一致, 并满足 $\varphi \leq \alpha \leq \beta$, α 为结构面倾角, β 为边坡坡角, φ 为结构面内摩擦角。

B.2.2 倾倒式滚石发生条件为:

- 边坡临空面的倾角 $\beta \geq 30^\circ$;
- 边坡临空面的倾向与控制结构面的倾向相反, 且两者的夹角 $\psi \geq 120^\circ$ 。发生倾倒破坏的区域一般为 $(120^\circ - \text{坡面倾角}) \sim 90^\circ$ 。

B.2.3 坠落式滚石发生条件为：

- a) 边坡临空面的倾角 $\beta \geq 65^\circ$ ；
- b) 被切割结构体沿控制结构面组某一条结构面发生倾倒破坏，并满足 $\varphi \leq \alpha \leq \beta$ ， α 为结构面倾角， β 为边坡坡角， φ 为结构面内摩擦角。

附 录 C

(资料性附录)

特殊公路单级路堑边坡的极限高度计算

C.1 碎石(卵石)公路路堑边坡的极限高度计算

基于非线性破坏准则的碎石(卵石)公路路堑边坡的极限高度计算公式如下:

a) 碎石(卵石)公路路堑边坡的强度按公式(C.1)计算:

$$\tau = c_p (1 + \sigma_n / \sigma_t)^{1/m} \quad \dots\dots\dots (C.1)$$

其中, c_p , σ_t , m 为非线性破坏准则强度参数, 其值由试验确定; 当 $m=1$ 时, 曲线退化为一 条直线, 非线性破坏准则变为线性摩尔-库伦准则。

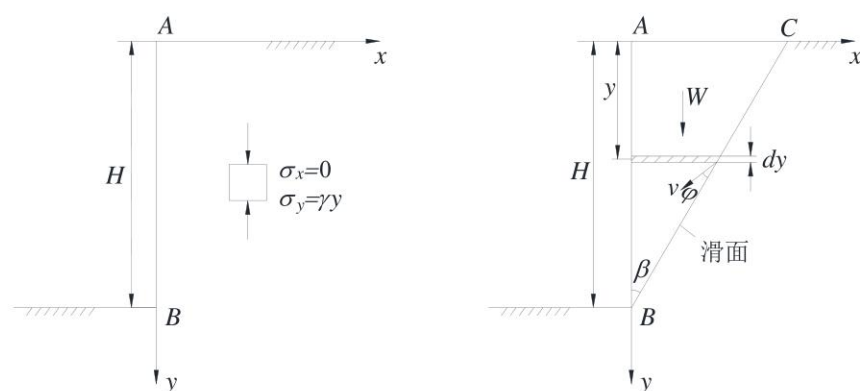
b) 任意一点 M 处的 MC 强度可用以下切线方程表示:

$$\tau = c_t + \sigma_n \tan \varphi_t \quad \dots\dots\dots (C.2)$$

$$c_t = \frac{m-1}{m} c_p \left(\frac{m \sigma_t \tan \varphi_t}{c_p} \right)^{1/(1-m)} + \sigma_t \tan \varphi_t \quad \dots\dots\dots (C.3)$$

$$\tan \varphi_t = \frac{d\tau}{d\sigma_n} = \frac{1}{m \sigma_t} c_p \left(1 + \frac{\sigma_n}{\sigma_t} \right)^{(1-m)/m} \quad \dots\dots\dots (C.4)$$

c) 基于“切线法”的思想, 用切线强度代表非线性破坏准则下土体内一点的强度, 把非线性破坏准则的问题转换为传统的 MC 破坏准则进行求解。根据极限分析的上限原理, 利用分段积分使外力功率和内能耗散率相等, 即可得到对应的极限高度 H_c (计算示意图见图 C.1) ;

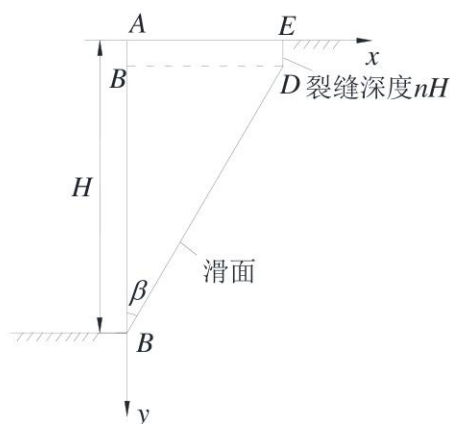


图C.1 公路路堑边坡开挖极限高度计算示意图

$$W' = \int_0^H dW' = \gamma \tan \beta v \int_0^H (H - y) \cos(\varphi_t + \beta) dy \quad \dots\dots\dots (C.5)$$

$$D' = \int_0^H dD' = \frac{v}{\cos \beta} \int_0^H c_t \cos \varphi_t dy \quad \dots\dots\dots (C.6)$$

- d) 正常状态下, 认为土体不能承受拉力, 因此在边坡开挖后, 坡顶可能会出现张拉裂缝 (见图 C.2), 外力功和内能耗散计算如下, 同样使外力功率和内能耗散率相等, 即可得到对应的极限高度 H_c 。



图C.2 裂缝存在的公路路堑边坡开挖极限高度计算

$$W' = W'_n + \int_{nH}^H dW' = n(1-n)H^2 v \tan \beta \cos(\varphi_n + \beta) + \gamma v \tan \beta \int_0^H (H-y) \cos(\varphi_t + \beta) dy \quad \dots\dots\dots (C.7)$$

$$D' = \int_{nH}^H dD' = \frac{v}{\cos \beta} \int_0^H c_t \cos \varphi_t dy \quad \dots\dots\dots (C.8)$$

C.2 层状岩质公路路堑边坡的极限高度计算

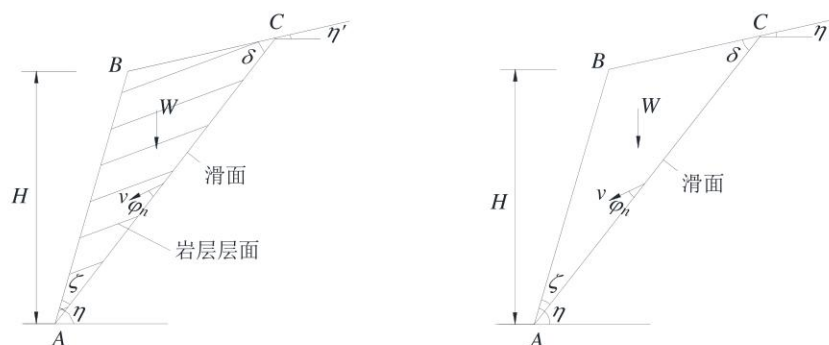
基于非线性破坏准则的层状岩质公路路堑边坡的极限高度计算公式如下:

- a) 当预求抗剪强度方向与层面为任意倾角 θ 时, 岩体抗剪强度可以用如下函数来表示:

$$S = S(S_{\min}, S_{\max}, \theta') \quad \dots\dots\dots (C.9)$$

$$\begin{cases} c_{\theta} = c_{\min} + (c_{\max} - c_{\min}) \frac{2\theta'}{\pi} \\ \varphi_{\theta} = \varphi_{\min} + (\varphi_{\max} - \varphi_{\min}) \frac{2\theta'}{\pi} \end{cases} \quad \dots\dots\dots (C.10)$$

- b) 基于极限分析上限定理的层状岩质高切坡的极限高度计算示意图见图C.3, 计算公式如下:



图C.3 层状岩质公路路堑边坡极限高度计算示意图

$$H_L = \frac{2c_\delta \sin \eta}{\gamma} \frac{\cos \varphi_\delta}{\sin \zeta \cos(\frac{\pi}{2} - \eta + \zeta + \varphi_\delta)} \quad \dots\dots\dots (C.11)$$

$$\begin{cases} c_\delta = c_{\min} + (c_{\max} - c_{\min}) \frac{2\delta}{\pi} \\ \varphi_\delta = \varphi_{m\min} + (\varphi_{m\max} - \varphi_{m\min}) \frac{2\delta}{\pi} \end{cases} \quad \dots\dots\dots (C.12)$$

其中：

$$\delta = |\eta - \rho - \zeta| \quad 0 \leq \rho \leq \frac{\pi}{2} \quad \dots\dots\dots (C.13)$$

附 录 D
(资料性附录)
不平衡推力传递系数法计算滑坡推力

D.1 传递系数法

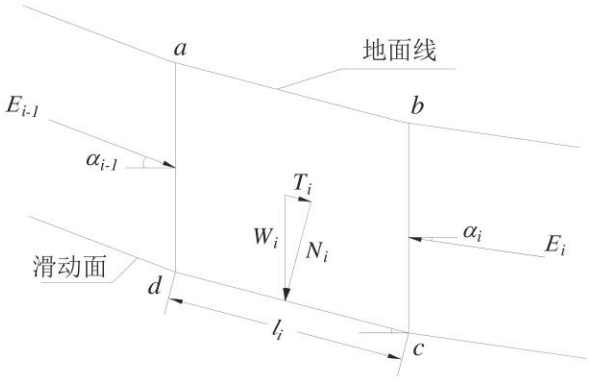
传递系数法按其安全系数方法的不同分为两种：

一种是分析滑坡稳定性时，将今后可能遇到的一切不利因素都考虑进去，而把安全系数定位1；另一种则是视滑坡现状处于限平衡，要求在设桩以后，将安全系数提高到某一倍数。

滑坡推力的计算步骤为：首先根据试验、调查资料，拟定各条块滑动面的 c 、 ϕ 值，或整个滑动面的综合 c 、 ϕ 值，按照公式(D.1)依次计算滑坡前缘出口的剩余下滑力等于或趋近于零。如果不为零，调整 c 、 ϕ 值，重复计算，直至等于或趋近于零时为止。其次，根据要求，选定一安全系数 K ，将极限状态时的抗剪指标(c 、 $\tan \phi$)值除以 K ，再按公式(D.1)重新计算各块的剩余下滑力。

D.2 不平衡推力传递系数法计算滑坡推力

按不平衡推力传递系数法计算滑坡推力，如图D.1中所示， $abcd$ 为滑体的第 i 块，在它的上断面 ad 上，作用着上一块传下来的不平衡下滑力 E_{i-1} ，其方向平行于上一块的滑动面(倾角为 α_{i-1})；块自重 W_i 分解为 N_i 、 T_i 两相互垂直的分力；则在下断面 bc 上将有一个不平衡的下滑力 E_i ， E_i 平行于 cd (倾角为 α_i)；其受力如图D.1所示。



图D.1 滑体第 i 块上的受力示意图

$$E_{i+1} = E_{i-1} \cdot \psi_i + T_i - N_i \cdot \tan \phi_i - c_i l_i \quad \dots\dots\dots (D.1)$$

$$\psi_i = \cos(\alpha_{i-1} - \alpha_i) - \sin(\alpha_{i-1} - \alpha_i) \tan \phi_i \quad \dots\dots\dots (D.2)$$

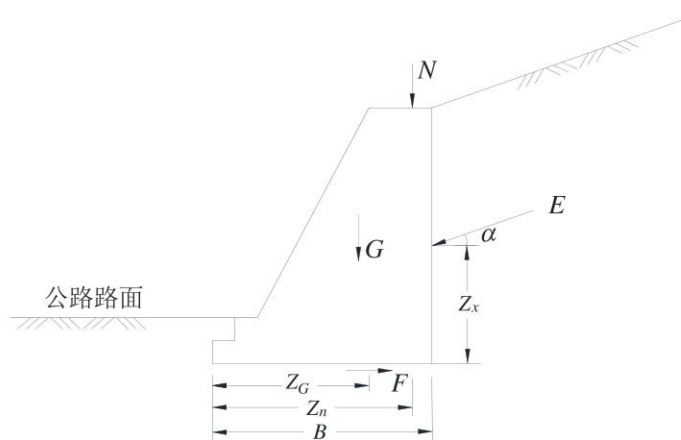
根据公式 $\dots\dots\dots (D.1)$ ，即可从上而下逐段算出滑坡的推力。

附录 E (资料性附录)

超前支护竖向锚索抗滑挡土墙承载力验算

E.1 作用于超前支护竖向锚索抗滑挡土墙上的作用

作用在超前支护竖向锚索抗滑挡土墙上的作用(取单位长度进行分析)包括主动土压力、墙体自重、预应力作用、基底摩擦阻力(见图E.1)。



图E.1 竖向锚索抗滑挡土墙上的荷载示意图

E.2 基底合力法向分量对墙趾的力臂

作用在超前支护竖向锚索抗滑挡土墙上的基底合力，其法向分量对墙趾的力臂 Z 为：

$$Z = \frac{G \cdot Z_G + N \cdot Z_N + E \cdot \sin \alpha \cdot B}{(G + N + E \cdot \sin \alpha)} \quad \dots\dots\dots (E.1)$$

E.3 基底合力其法向分量的合力偏心矩

作用于超前支护竖向锚索抗滑挡土墙的基底合力，其法向分量的合力偏心矩为：

$$e = \frac{B}{2} - Z \quad \dots\dots\dots (E.2)$$

E.4 基底的法向应力

作用在超前支护竖向锚索抗滑挡土墙基底的法向应力为：

$$\left. \begin{matrix} \sigma_1 \\ \sigma_3 \end{matrix} \right\} = \frac{(G + N + E \cdot \sin \alpha)}{B} \left(1 \pm \frac{6e}{B} \right) \dots\dots\dots (\text{E. 3})$$

当偏心距 $e \geq B/6$ 时，作用在基底的最大压应力为：

$$\sigma_{\max} = \frac{2(G + N + E \cdot \sin \alpha)}{3Z} \dots\dots\dots (\text{E. 4})$$

E. 5 竖向锚索抗滑挡土墙地基承载力验算

在偏心荷载作用下，竖向锚索抗滑挡土墙的地基承载力应同时满足下面两个公式的要求：

$$\frac{1}{2}(\sigma_{\max} + \sigma_{\min}) \leq f_a \dots\dots\dots (\text{E. 2})$$

$$\sigma_{\max} \leq 1.2 f_a \dots\dots\dots (\text{E. 3})$$