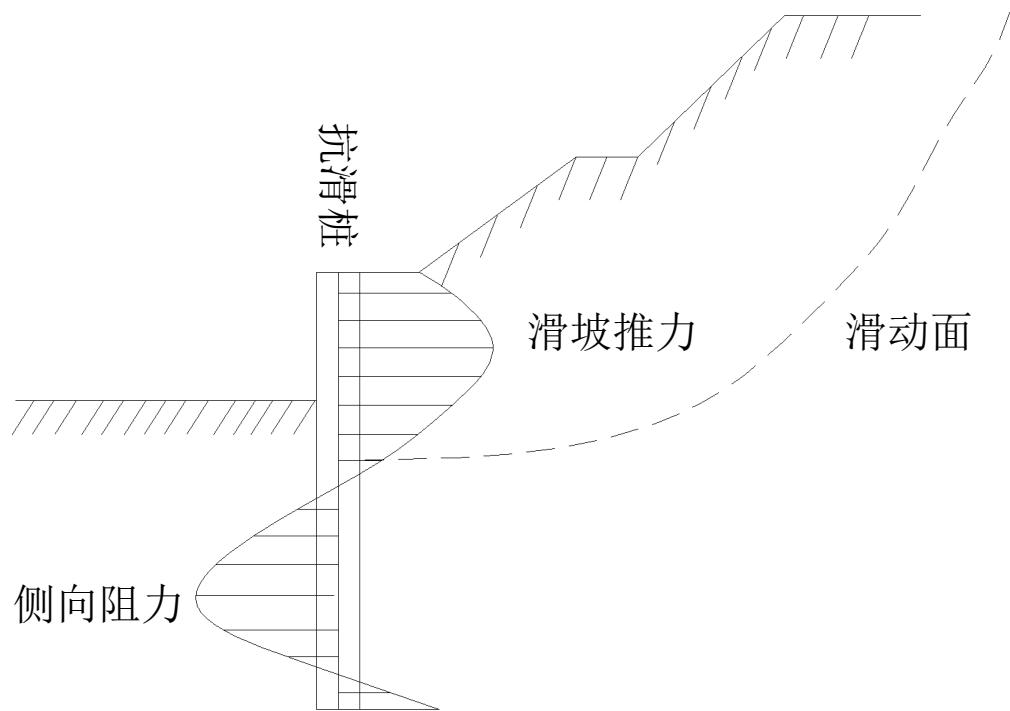


关于抗滑桩设计与 计算

§5.1 概 述

边坡处治工程中的抗滑桩通过桩身将上部承受的坡体推力传给桩下部的侧向土体或岩体，依靠桩下部的侧向阻力来承担边坡的下推力，而使边坡保持平衡或稳定。



抗滑桩工作原理示意图



§ 5.1.1 抗滑桩的类型、特点及适用条件

1. 抗滑桩的类型

(1) 按材质分类

木桩、钢桩、钢筋混凝土桩、组合桩。

(2) 按成桩方法分类

打入桩、静压桩、就地灌注桩（沉管灌注桩和钻孔灌注桩）。

(3) 按结构型式分类

单桩、排桩（椅式桩墙、门式刚架桩墙、排架抗滑桩墙）、群桩、有锚桩（锚杆和锚索）。

(4) 按桩身断面形式分类

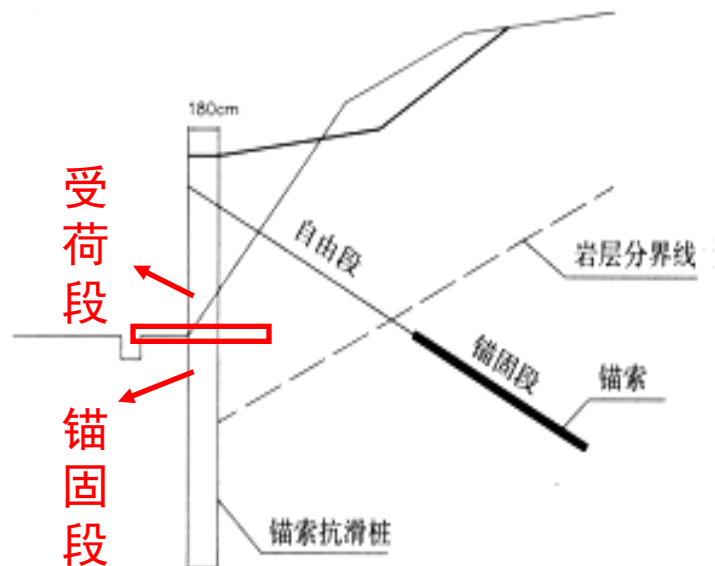
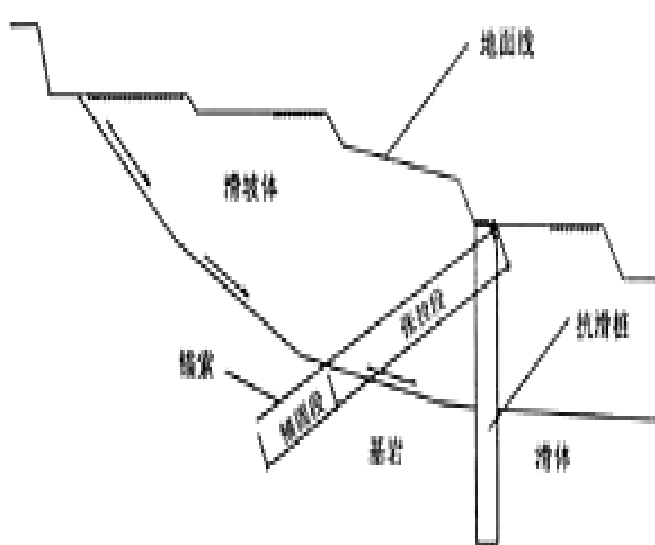
圆形桩、方形桩、矩形桩、“工”字形桩等。

1. 抗滑桩的类型

(5) 按桩的埋置深度和受力状态

全埋式桩：桩前、后均受外力作用的桩；

悬臂桩：桩前滑动面以上部分岩土对桩不产生作用力。



2. 各类桩型的特点及适用条件

桩型		特点		适用条件
		优点	缺点	
按材质分类	木桩	就地取材、方便、易于施工	桩长有限、桩身强度不高	用于浅层滑坡的治理、临时工程、或抢险工程
	钢桩	强度高、施打容易、快速、接长方便	受桩身断面尺寸限制，横向刚度小，造价偏高	
	钢筋混凝土桩	桩断面刚度大，抗弯能力高，施工方式多样	混凝土抗拉能力有限	
按成桩方法分类	打入式	施工简单、工期短	施工振动对边坡影响	全埋式抗滑桩或填方边坡，同时下卧地层应有可打性
	机械钻孔	速度快，桩径可大可小	对较陡边坡机械架设困难，钻孔时水对边坡也有影响	适用于各种地质条件
	人工挖孔	方便、简单、经济	速度慢、劳动强度高，遇不良地层处理困难	对地质条件要求较高，桩径应在1000mm以上
按结构型式分类	单桩	简单、受力和作用明确。	承载力较小	
	排架桩	转动惯量大，抗弯能力强，桩臂阻力小，桩身应变小。		在软弱地层有明显的优越性
	有锚桩	改变桩的受力状况，桩身应力状态和桩顶位移得到改善。	锚杆（索）的锚固端需要较好的地层或岩层	边坡的推力较大，对边坡的变形有要求



§ 5.1.2 抗滑桩设计要求和设计内容

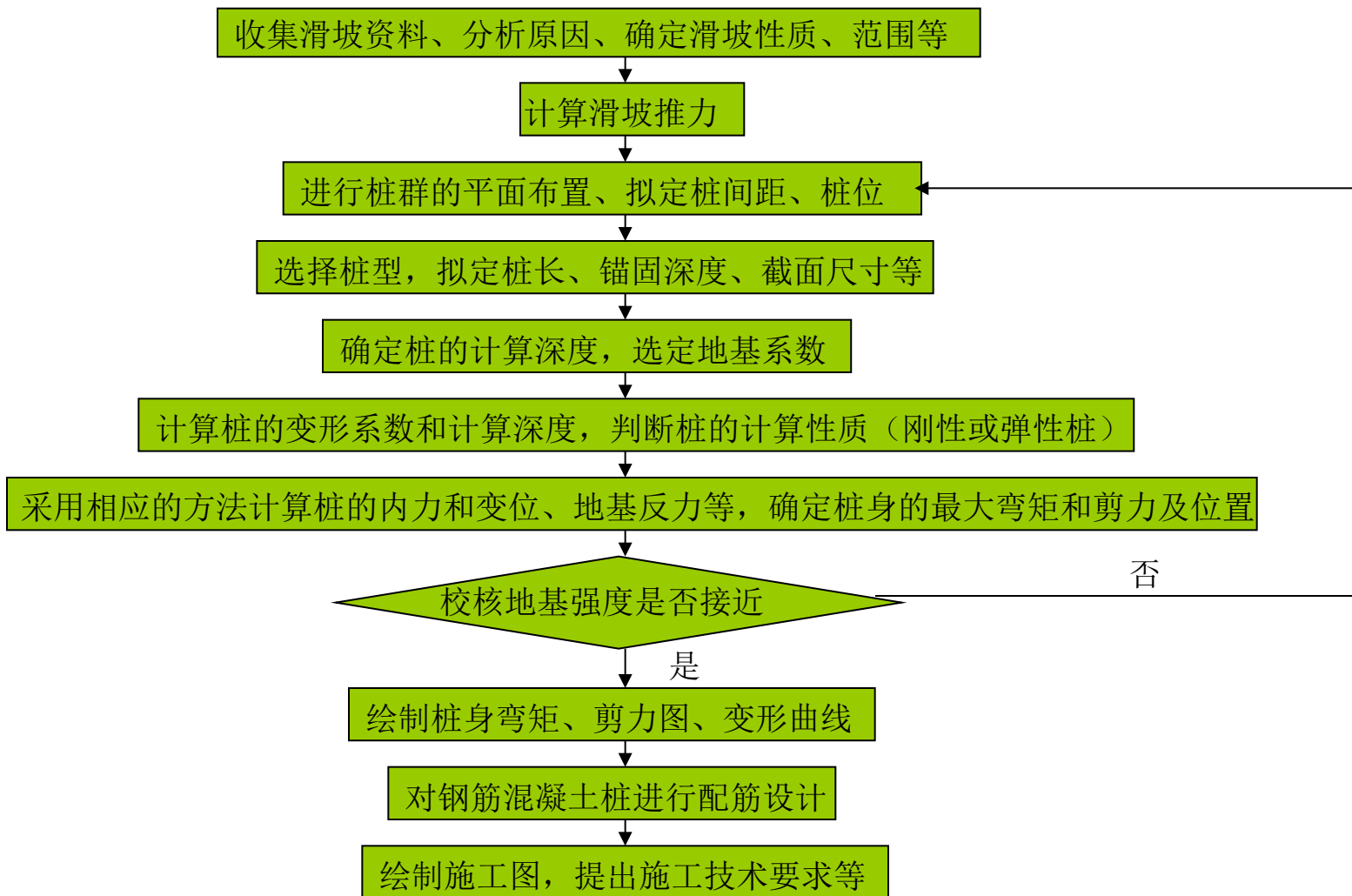
1. 抗滑桩设计要求

- (1) 抗滑桩提供的阻滑力要使整个滑坡具有足够的稳定性，同时保证坡体不从桩顶滑出，不从桩间挤出；
- (2) 抗滑桩桩身要有足够的强度和稳定性，即桩的断面要有足够的刚度，桩的应力和应变满足规定要求；
- (3) 桩周地基抗力和滑体的变形在容许范围内；
- (4) 抗滑桩的埋深及锚固深度、桩间距、桩结构尺寸和桩断面尺寸应比较适当，安全可靠，施工可行、方便，造价较经济。

2. 抗滑桩的设计内容

- (1) 进行桩群平面布置；
- (2) 拟定桩间距、桩型、桩埋深、桩长、桩断面尺寸；
- (3) 根据拟定的结构确定作用于抗滑桩上的力系；
- (4) 确定桩的计算宽度，选定地基反力系数，进行桩的受力和变形计算；
- (5) 进行桩截面的配筋计算和一般的构造设计；
- (6) 提出施工技术要求，拟定施工方案，计算工程量，编制概（预）算等。

§ 5.1.3 抗滑桩设计计算程序





§ 5.2 抗滑桩设计荷载的确定

作用于抗滑桩上的力系主要有三部分：作用于桩上部的滑坡推力和桩前土抗力，锚固段桩周地层对桩的反力。

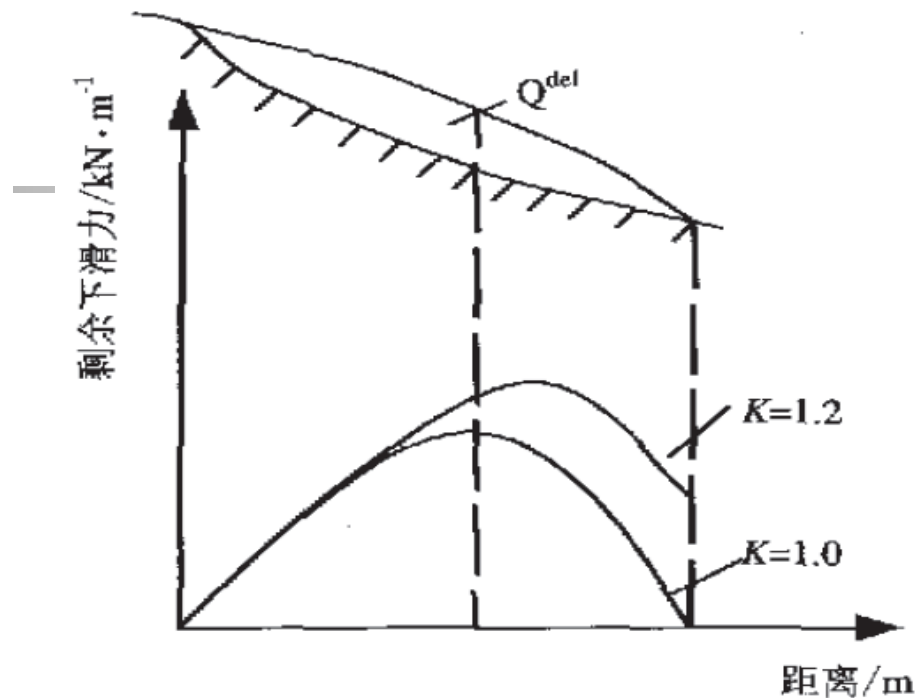
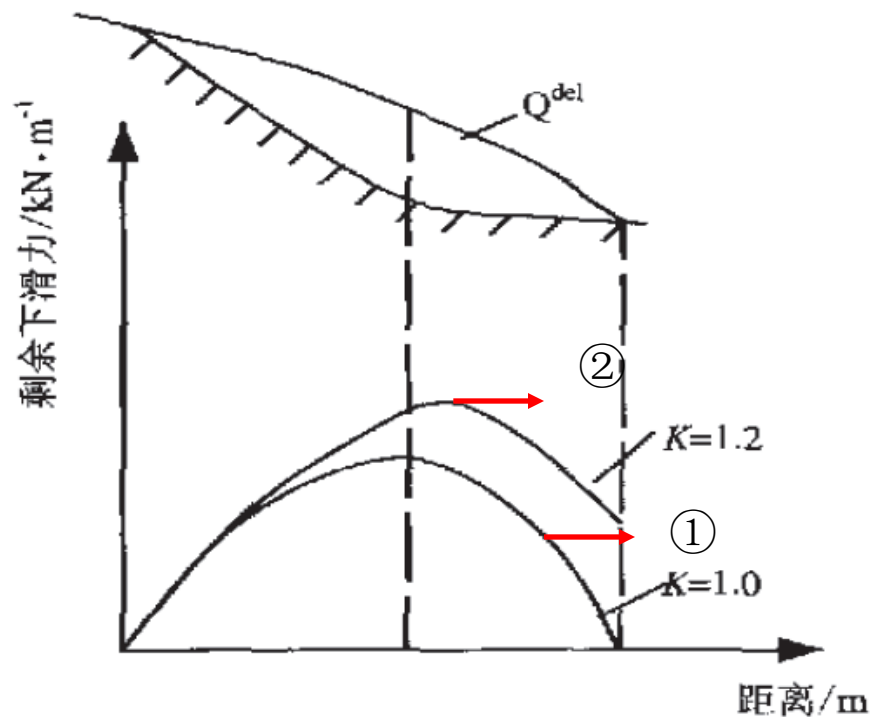
§ 5.2.1 滑坡推力的确定

1. 滑坡推力

坡体产生的作用于抗滑桩桩背上的力，其作用方向假定与桩穿过滑面点处的切线方向平行。

2. 滑坡推力计算方法

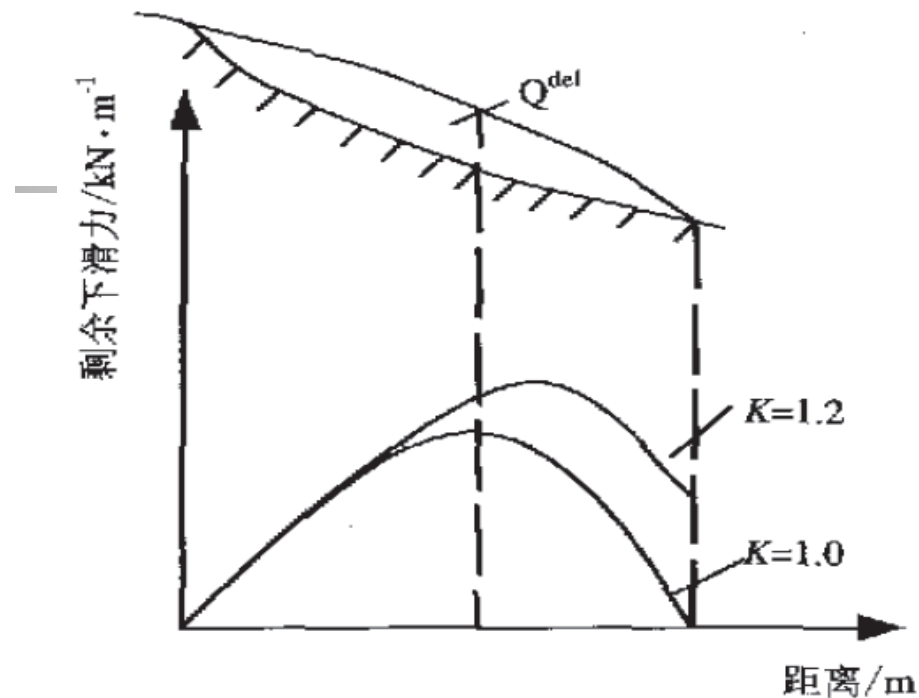
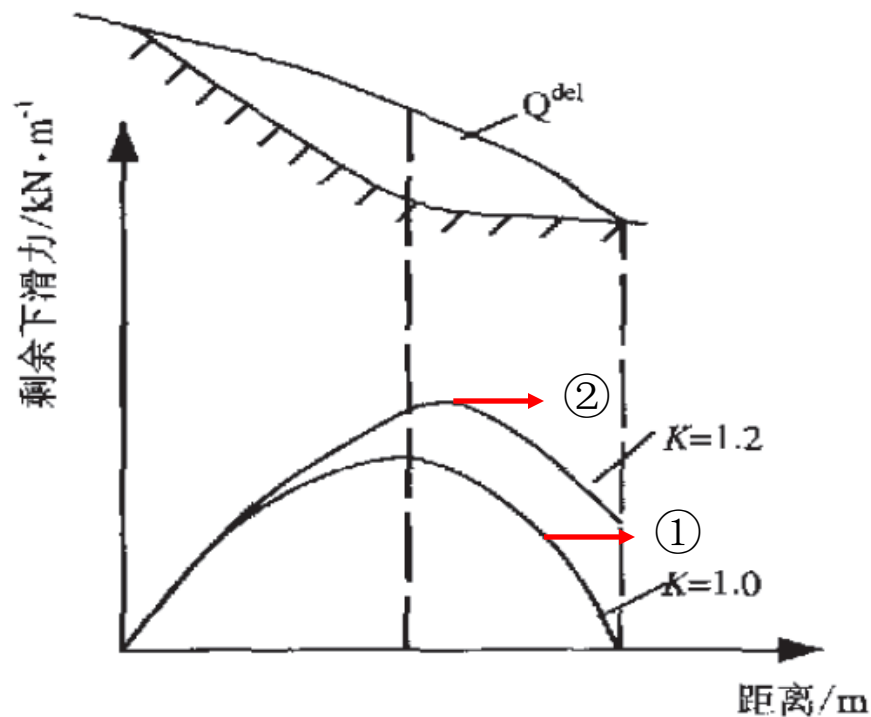
滑坡推力的计算方法有瑞典条分法，Bishop条分法，Janbu条分法，不平衡推力传递系数法，有限单元法等。在实际工程中一般采用**传递系数法**。



设计滑坡推力按如下方法确定：

(1) 首先得到稳定系数为1的滑坡推力曲线与设计工况下的推力曲线；

根据试验、调查资料，拟定各条块滑动面的 ϕ 、 c 值，按传递系数法依次计算各条块的剩余下滑力，并要求滑坡前缘出口的剩余下滑力等于或趋近于0，如果不为0，则调整 ϕ 、 c 值，重复计算，直至等于或趋于0为止，得到图中①曲线。



(2) 选定一安全系数 K ，将极限状态时的抗剪指标 ($\tan \phi$ 、 c) 值除以 K ，再重新计算各条块的剩余下滑力，得到②曲线。设桩处的设计滑坡推力值为设计工况推力曲线与稳定系数为1的滑坡推力曲线之差值。该差值在水平方向的分量即为设计滑坡推力值。最后，根据选定的桩位、桩间距，计算作用在每根桩上的滑坡推力。

3. 滑坡推力分布形式

滑坡推力在桩背上的分布和作用点位置，与滑坡的类型、部位、地层性质、变形情况及地基反力系数等因素有关。

(1) 对于液性指数小，刚度较大和较密实的滑坡体，从顶层到底层的滑动速度常大体一致，假定滑面上桩背的滑坡推力分布图形呈矩形。

一般来说，滑体的变形是均匀往下蠕动，当滑体是一种凝聚力较大的底层（如粘土、土夹石等），其推力分布可近似按矩形考虑。

(2) 对于液性指数较大，刚度较小和密实度不均匀的塑性滑体，假定滑面以上桩背的滑坡推力图形呈三角形分布。

当滑坡为堆积层、破碎岩层时，下滑力按三角形分布。

(3) 介于上述两者之间的情况可假定桩背推力分布呈梯形。

§ 5.2.2 地基反力的确定

1. 地基反力

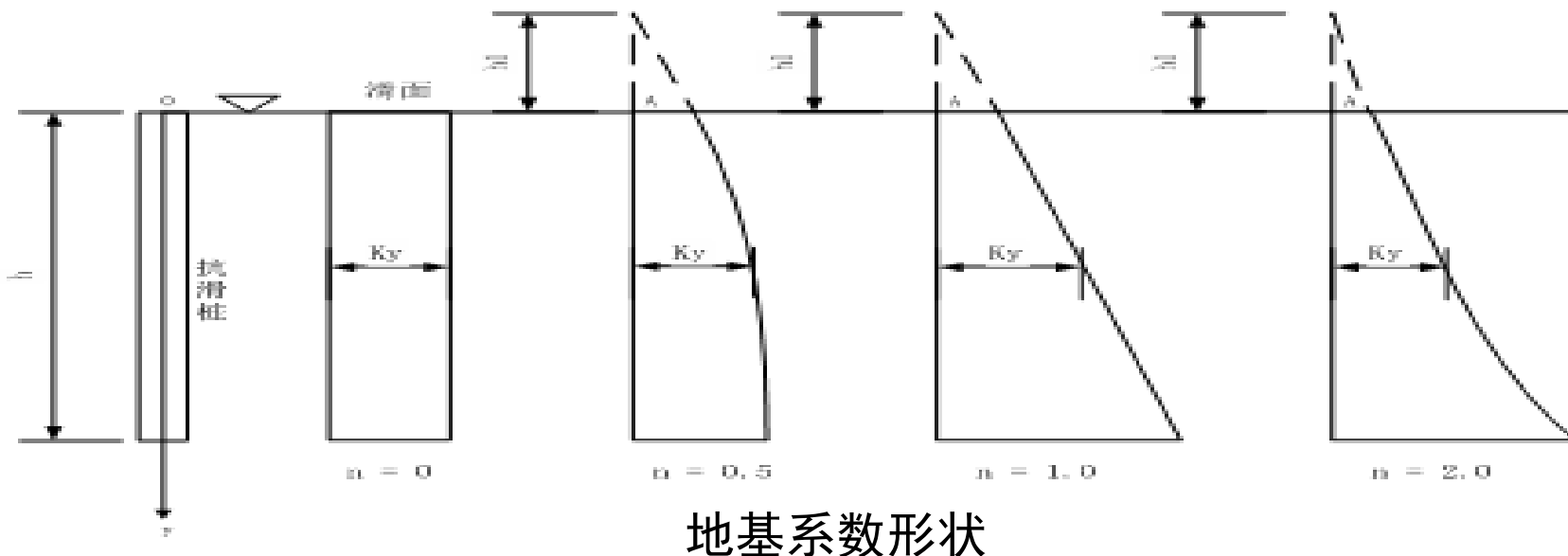
桩将滑坡推力传递给滑面以下的桩周岩（土）体时，桩的锚固段前后岩（土）体受力后发生变形，并由此产生的岩（土）体的反力。

反力的大小与岩（土）体的变形状态有关。处于弹性阶段时，按弹性抗力计算，处于塑性阶段时，情况比较复杂，**但地基反力应不超过锚固段地基土的侧向容许承载力。**

2. 地基反力系数

（1）地基反力系数：桩侧岩土体的弹性抗力系数，是地基承受的侧压力与桩在该位置处产生的侧向位移的比值。也即**单位岩土体在弹性限度内产生单位压缩变形时所需施加于其单位面积上的力。**

(2) 地基反力系数的三种假设方法：



$$C=m(y+y_0)^n$$

① **K 法** $n=0$ 时, $C=K$ 地基系数不随深度而变化;

适用于较完整的硬质岩层、未扰动的硬粘土和性质相近的半岩质地层。

② **m 法** $n=1$, $y_0=0$, $C=my$, 地基系数随深度呈直线变化;

适用于一般硬塑至半坚硬的砂粘土、碎石类土或风化破碎呈土状的软质页岩以及密度随深度增加的地层。

③ **C 法** 地基反力系数沿深度按凸抛物线增大。适用于超固结土

(3) 地基反力系数 \mathbf{K} , m 应通过实验确定。

当地基土为多层土时, 采用按层厚以等面积加权求平均的方法求算地基反力系数。

地基土为2层时, 有

$$m = \frac{m_1 l_1^2 + m_2 (2l_1 + l_2) l_2}{(l_1 + l_2)^2} \quad (4.1)$$

地基土为3层时, 有

$$m = \frac{m_1 l_1^2 + m_2 (2l_1 + l_2) l_2 + m_3 (2l_1 + 2l_2 + l_3) l_3}{(l_1 + l_2 + l_3)^2} \quad (4.2)$$

式中: m_1 、 m_2 、 m_3 ——分别为第1, 2, 3层地基土的 m 值;

l_1 、 l_2 、 l_3 ——分别为第1, 2, 3层地基土的厚度。

§ 5.2.3 桩前土抗力的确定

1、桩前土抗力

设置抗滑桩后，在滑坡推力作用下抗滑桩产生变形的同时会挤压桩前的岩土体，桩前岩土体必然会给桩一个抗力。

试验表明，桩前滑体的体积越大，强度参数越高，滑动面越平缓，桩前滑体抗力越大。

2、桩前土抗力的计算

$\min\{ \text{剩余下滑力}, \text{被动土压力} \}$



§ 5.3 抗滑桩的计算方法

§ 5.3.1 刚性桩与弹性桩的区分

抗滑桩受到滑坡推力后，将产生一定的变形。根据桩和桩周土的性质和桩的几何性质，其变形有两种情况：

1. **刚性桩**：桩的位置发生了偏离，但桩轴线仍保持原有的线形，变形由于桩周土的变形所致。

2. **弹性桩**：桩的位置和轴线同时发生改变，即桩轴线和桩周土同时发生变形。

3. 区分方法

试验研究表明，当抗滑桩埋入稳定地层内的计算深度为某一临界值时，可视桩的刚度为无穷大，桩的侧向极限承载力仅取决于桩周土的弹性抗力的大小。工程中把这个临界值作为判断是刚性桩或弹性桩的标准。

临界值的规定如下：

(1) 按 **K** 法计算

$\beta l_2 \leq 1.0$ 时，抗滑桩属刚性桩；

$\beta l_2 > 1.0$ 时，抗滑桩属弹性桩。

(2) 按 **m** 法计算

$\alpha l_2 \leq 2.5$ 时，抗滑桩属刚性桩；

$\alpha l_2 > 2.5$ 时，抗滑桩属弹性桩。

式中， β 、 α 均定义为桩的变形系数，单位为 m^{-1} ，分别按下式计算：

$$\beta = \left(\frac{CB_p}{4EI} \right)^{\frac{1}{4}}$$

$$\alpha = \left(\frac{m_H B_p}{EI} \right)^{\frac{1}{3}}$$

式中： K_H ——K 法的侧向地基系数， KN/m^3 ；

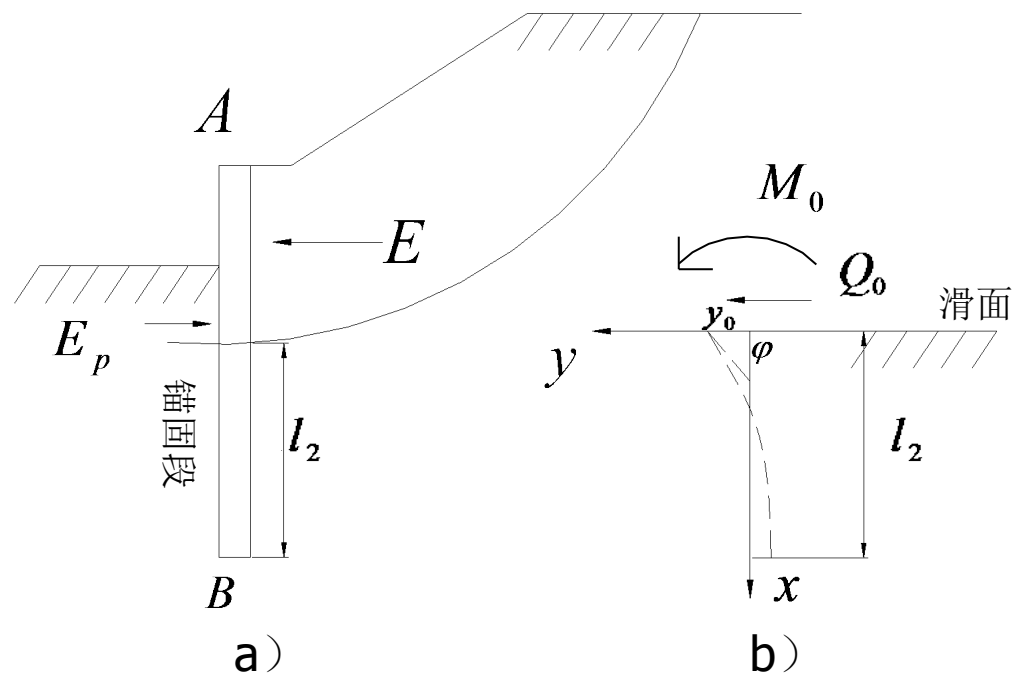
B_p ——桩的正面计算宽度，m；

m_p ——m 法地基系数的比例系数， KN/m^4 ；

E 、 I ——桩的弹性模量，KPa，桩的截面惯性矩， m^4 。

§ 5.3.2 弹性桩的计算

抗滑桩滑面以上部分所受荷载对滑面以下桩段的作用可进行简化（如右图），然后可根据桩周土体的性质确定弹性抗力系数，建立挠动微分方程（见P183），通过数学求解可得滑面以下任一截面的变位和内力计算的一般表达式。最后根据桩底边界条件计算出滑面处的位移和转角，再计算出桩身任一深度处的变位和内力。



弹性桩计算图式

1. m法

桩顶受水平荷载的挠曲微分方程为

$$EI \frac{d^4 y}{dx^4} + B_p m_h xy = 0 \quad (4.7)$$

采用幂级数的解法，整理后有：

$$\left. \begin{aligned} y_x &= y_0 A_1 + \frac{\varphi_0}{\alpha} B_1 + \frac{M_0}{\alpha^2 EI} C_1 + \frac{Q_0}{\alpha^3 EI} D_1 \\ \varphi_x &= \alpha \left[y_0 A_2 + \frac{\varphi_0}{\alpha} B_2 + \frac{M_0}{\alpha^2 EI} C_2 + \frac{Q_0}{\alpha^3 EI} D_2 \right] \\ M_x &= \alpha^2 EI \left[y_0 A_3 + \frac{\varphi_0}{\alpha} B_3 + \frac{M_0}{\alpha^2 EI} C_3 + \frac{Q_0}{\alpha^3 EI} D_3 \right] \\ Q_x &= \alpha^3 EI \left[y_0 A_4 + \frac{\varphi_0}{\alpha} B_4 + \frac{M_0}{\alpha^2 EI} C_4 + \frac{Q_0}{\alpha^3 EI} D_4 \right] \\ \sigma_x &= m_h xy \end{aligned} \right\} \quad (4.8)$$

式中： A_i, B_i, C_i, D_i ——随桩的换算深度 $l = \alpha x$ 而变化的m法的影响函数值。



式 (4.8) 为 m 法计算桩的一般表达式。一般应根据桩底的边界条件求得滑动面出的位移和转角，才可求出桩身任一截面处的位移、转角、弯矩和剪力，地基土对该截面的侧向应力。

①当桩底为固定端时，有 $y_B = 0$ ， $\varphi_B = 0$ ， $M_B \neq 0$ ， $Q_B \neq 0$ 。将边界条件代入 (4.8) 中的第1式和第2式，联立求解得：

$$\left. \begin{aligned} y_0 &= \frac{M_0}{\alpha^2 EI} \frac{B_1 C_2 - C_1 B_2}{A_1 B_2 - B_1 A_2} + \frac{Q_0}{\alpha^3 EI} \frac{B_1 D_2 - D_1 B_2}{A_1 B_2 - B_1 A_2} \\ \varphi_0 &= \frac{M_0}{\alpha EI} \frac{C_1 A_2 - A_1 C_2}{A_1 B_2 - B_1 A_2} + \frac{Q_0}{\alpha^2 EI} \frac{D_1 A_2 - A_1 D_2}{A_1 B_2 - B_1 A_2} \end{aligned} \right\}$$

②当桩底为铰接端时，有 $y_B = 0$ ， $M_B = 0$ ， $\varphi_B \neq 0$ ， $Q_B \neq 0$ 。将边界条件带入 (4.8) 中的第1式和第3式，联立求解得：

$$\left. \begin{aligned} y_0 &= \frac{M_0}{\alpha^2 EI} \frac{C_1 B_3 - B_1 C_3}{B_1 A_3 - A_1 B_3} + \frac{Q_0}{\alpha^3 EI} \frac{D_1 B_3 - B_1 D_3}{B_1 A_3 - A_1 B_3} \\ \varphi_0 &= \frac{M_0}{\alpha EI} \frac{A_1 C_3 - C_1 A_3}{B_1 A_3 - A_1 B_3} + \frac{Q_0}{\alpha^2 EI} \frac{A_1 D_3 - D_1 A_3}{B_1 A_3 - A_1 B_3} \end{aligned} \right\}$$



③当桩底为自由端时，有 $M_B = 0$ ， $Q_B = 0$ ， $y_B \neq 0$ ， $\varphi_B \neq 0$ 。
将边界条件代入 (4.8) 中的第3式和第4式，联立求解得：

$$\left. \begin{aligned} y_0 &= \frac{M_0}{\alpha^2 EI} \frac{B_3 C_4 - C_3 B_4}{A_3 B_4 - B_3 A_4} + \frac{Q_0}{\alpha^3 EI} \frac{B_3 D_4 - B_4 D_3}{A_3 B_4 - B_3 A_4} \\ \varphi_0 &= \frac{M_0}{\alpha EI} \frac{C_3 A_4 - A_3 C_4}{A_3 B_4 - B_3 A_4} + \frac{Q_0}{\alpha^2 EI} \frac{D_3 A_4 - A_3 D_4}{A_3 B_4 - B_3 A_4} \end{aligned} \right\}$$

将上述各种边界条件下相应的 y_0 、 φ_0 带入 (4.8)，即可求得滑动面以下桩身任一截面的位移、转角、弯矩和剪力。

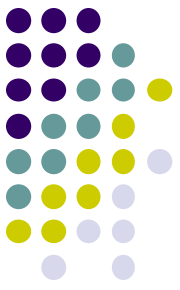
2. K法

依假定，桩锚固段的挠曲微分方程为：

$$EI \frac{d^4 y}{dx^4} + K_h B_p y = 0$$

由式 (4.3)，有 $K_h B_p = 4EI\beta^4$ 上式可写为：

$$\frac{d^4 y}{dx^4} + 4\beta^4 y = 0$$



求解常系数微分方程，整理代换后有：

$$\left\{ \begin{array}{l} y_x = y_0 \eta_1 + \frac{\varphi_0}{\beta} \eta_2 + \frac{M_0}{\beta^2 EI} \eta_3 + \frac{Q_0}{\beta^3 EI} \eta_4 \\ \varphi_x = \beta \left[-4y_0 \eta_4 + \frac{\varphi_0}{\beta} \eta_1 + \frac{M_0}{\beta^2 EI} \eta_2 + \frac{Q_0}{\beta^3 EI} \eta_3 \right] \\ M_x = \beta^2 EI \left[-4y_0 \eta_3 - \frac{4\varphi_0}{\beta} \eta_4 + \frac{M_0}{\beta^2 EI} \eta_1 + \frac{Q_0}{\beta^3 EI} \eta_2 \right] \\ Q_x = \beta^3 EI \left[-4y_0 \eta_2 - \frac{4\varphi_0}{\beta} \eta_3 - \frac{M_0}{\beta^2 EI} \eta_4 + \frac{Q_0}{\beta^3 EI} \eta_1 \right] \\ \sigma_x = K_H y_x \end{array} \right. \quad (4.14)$$

$$\text{其中} \left\{ \begin{array}{l} \eta_1 = \cos \beta x \operatorname{ch} \beta x \\ \eta_2 = \frac{1}{2} (\sin \beta x \operatorname{ch} \beta x + \cos \beta x \operatorname{sh} \beta x) \\ \eta_3 = \frac{1}{2} \sin \beta x \operatorname{sh} \beta x \\ \eta_4 = \frac{1}{4} (\sin \beta x \operatorname{ch} \beta x - \cos \beta x \operatorname{sh} \beta x) \end{array} \right.$$



①当桩底为固定端时，有 $y_B = 0$ ， $\varphi_B = 0$ 。代入式（4.1 4）中的第1式和第2式，联立求解得：

$$\left. \begin{aligned} y_0 &= \frac{M_0}{\beta^2 EI} \frac{\eta_2^2 - \eta_1 \eta_3}{4\eta_2 \eta_4 + \eta_1^2} + \frac{Q_0}{\beta^3 EI} \frac{\eta_2 \eta_3 - \eta_1 \eta_4}{4\eta_2 \eta_4 + \eta_1^2} \\ \varphi_0 &= \frac{-M_0}{\beta EI} \frac{\eta_1 \eta_2 + 4\eta_3 \eta_4}{4\eta_2 \eta_4 + \eta_1^2} - \frac{Q_0}{\beta^2 EI} \frac{\eta_1 \eta_3 + 4\eta_4^2}{4\eta_2 \eta_4 + \eta_1^2} \end{aligned} \right\}$$

②当桩底为铰接端时，有 $y_B = 0$ ， $M_B = 0$ 。将边界条件代入（4.1 4）中的第1式和第3式，联立求解得：

$$\left. \begin{aligned} y_0 &= \frac{M_0}{\beta^2 EI} \frac{4\eta_3 \eta_4 + \eta_1 \eta_2}{4\eta_2 \eta_3 - \eta_1 \eta_4} + \frac{Q_0}{\beta^3 EI} \frac{4\eta_4^2 + \eta_2^2}{4\eta_2 \eta_3 - \eta_1 \eta_4} \\ \varphi_0 &= \frac{-M_0}{\beta EI} \frac{\eta_1^2 + 4\eta_3^2}{4\eta_2 \eta_3 - \eta_1 \eta_4} - \frac{Q_0}{\beta^2 EI} \frac{4\eta_3 \eta_4 + \eta_1 \eta_2}{4\eta_2 \eta_3 - \eta_1 \eta_4} \end{aligned} \right\}$$

③当桩底为自由端时，有 $M_B = 0$ ， $Q_B = 0$ 。将边界条件代入（4.1 4）中的第3式和第4式，联立求解得：

$$\left. \begin{aligned} y_0 &= \frac{M_0}{\beta^2 EI} \frac{4\eta_4^2 + \eta_1 \eta_3}{4\eta_3^2 - 4\eta_2 \eta_4} + \frac{Q_0}{\beta^3 EI} \frac{\eta_2 \eta_3 - \eta_1 \eta_4}{4\eta_3^2 - 4\eta_2 \eta_4} \\ \varphi_0 &= \frac{-M_0}{\beta EI} \frac{4\eta_3 \eta_4 + \eta_1 \eta_2}{4\eta_3^2 - 4\eta_2 \eta_4} - \frac{Q_0}{\beta^2 EI} \frac{\eta_2^2 - \eta_1 \eta_3}{4\eta_3^2 - 4\eta_2 \eta_4} \end{aligned} \right\}$$

以上内容仅为本文档的试下载部分，为可阅读页数的一半内容。如要下载或阅读全文，请访问：<https://d.book118.com/895330002024011200>