

框架预应力锚杆边坡支护结构稳定性 计算方法及其应用

李 忠, 朱彦鹏

(兰州理工大学 土木工程学院, 甘肃 兰州 730050)

摘要: 基于土体边坡滑动面的破坏模式及极限平衡理论, 采用圆弧滑动条分法, 在考虑支护结构、锚杆对土体边坡稳定性影响的情况下, 建立了边坡最危险滑移面的搜索模型, 推导了边坡滑移面圆心位置与稳定系数之间的函数关系。通过计算机动态设定滑移面圆心所在区域, 并在圆心区域内采用网格法搜索最危险滑移面的圆心, 实现了基于计算机搜索的框架预应力锚杆边坡支护结构稳定性计算方法。最后, 开发了框架预应力锚杆稳定性计算软件, 并结合具体工程实例进行了验算。

关键词: 边坡工程; 框架支护结构; 预应力锚杆; 稳定性; 圆弧条分法; 滑移面

中图分类号: P 642.2

文献标识码: A

文章编号: 1000-6915(2005)21-3922-05

STABILITY CALCULATION METHODS FOR GRILLAGE SUPPORTING STRUCTURE WITH PRESTRESSED ANCHOR AND ITS APPLICATION

LI Zhong, ZHU Yan-peng

(College of Civil Engineering, Lanzhou University of Technology, Lanzhou 730050, China)

Abstract: Based on the failure mode of the slip surface and the theory of limit equilibrium, using the circular slice method, and considering the supporting structure and anchor effects on stability of soil slope, the search model for the most dangerous slip surface is set up; and the function relationship between stability factors and the center of circular slip surface is derived. By setting the center zone of slip surface dynamically with computer, and searching the center of slip surface by the method of lattice in the center region, a method of the stability calculation for the grillage supporting structure with prestressed anchor is given. Finally, the calculation software is developed and applied to a practical case.

Key words: slope engineering; grillage supporting structure; prestressed anchor; stability; circular slice method; slip surface

1 引言

我国西部地区大多为山区, 在这些地区修建公路、铁路和房屋建筑往往涉及到边坡支护的问题。近年来, 一些以岩土锚固技术为特点的新型支护结

构, 克服了传统的边坡支护结构的支护高度受限制、造价高、笨重、稳定性差等缺点, 在边坡支护工程中发挥了极大的作用^[1~8]。此技术应用于边坡支护中具有结构轻、经济、外型美观、整体稳定性好的特点, 并可结合绿化措施, 对保证公路、铁路和建筑物的安全使用, 防止滑坡发生, 保护周边环境具

收稿日期: 2005-06-26; 修回日期: 2005-07-28

基金项目: 甘肃省自然科学基金项目(ZS032-B25-021)

作者简介: 李 忠(1980-), 男, 2002年毕业于黑龙江科技学院建筑工程专业, 现为博士研究生, 主要从事黄土及湿陷性黄土地区支挡结构方面的设计与研究工作。E-mail: lizhong@mail2.lut.cn。

度; Y 为圆心距地面距离; T_{nj} 为第 j 层锚杆在圆弧滑裂面外锚固体与土体的极限抗拉力, 且

$$T_{nj} = \delta d_{nj} \sum q_{sik} l_{ni} \quad (4)$$

式中: l_{ni} 为第 j 层锚杆在圆弧滑裂面外穿越第 i 层稳定土体内的长度; $\sum l_{ni}$ 为 l_{nj} , l_{nj} 为滑裂面以外锚杆锚固段总长度。

3.2 滑移面搜索模型

采用圆弧滑动条分法进行稳定性分析, 在给定滑移面的情况下, 可求得对应的稳定性系数, 因此, 确定了最危险滑移面, 即可求得最小安全系数, 则可判断该系数是否满足稳定性验算要求。对于最危险滑移面的确定方法, 如下所述。

3.2.1 2 个假定

(1) 假定圆心出现在直线 OC 右侧和直线 OE 下方的可能性近似为 0。由几何关系, 即圆弧上任意点切线与水平面夹角为 $0^\circ \sim 90^\circ$ 。

(2) 边坡最危险滑移面圆弧通过基坑底面角点 A 处, 如图 4 所示。

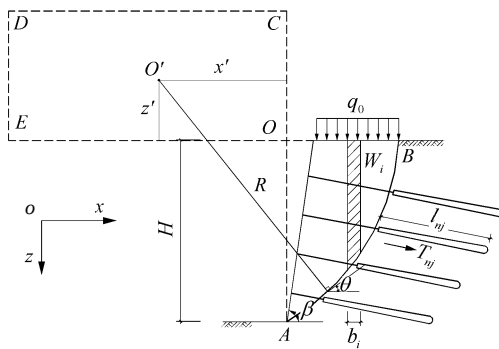


图 4 滑移面搜索模型简图

Fig.4 Diagram of slip surface searching model

3.2.2 建立滑移面搜索模型

如图 4 所示, 建立直角坐标系, $O'(-x', -z')$ 为圆心位置, $O(0, 0)$ 为坐标系原点, 矩形区域 $OCDE$ 为圆弧圆心 O' 所在的区域, R 为圆弧半径。在搜索过程中, 通过变化圆心位置, 对滑移面进行搜索, 并计算对应的稳定性系数。在如图 4 所示的坐标系下, 建立圆心 O' 与稳定性计算公式之间的函数关系 $Var(-x', -z')$, 关键的变量求解公式如下所述。

(1) 锚杆在圆弧面外锚固体的长度

如图 5 所示, 第 j 层锚杆与圆弧交点为点 $C(x_j, z_j + \Delta z_j)$, l_{fj} 为滑移面内锚杆长度, l_{nj} 为锚杆在滑移面外长度, 锚杆的总长为

$$l_j = l_{fj} + l_{nj} \quad (5)$$

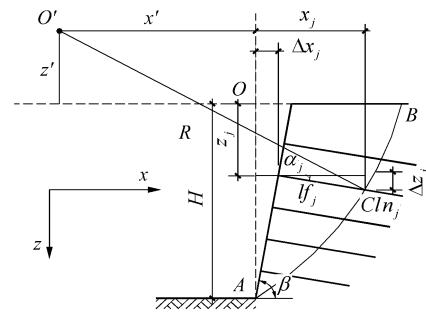


图 5 锚杆在滑移面外长度计算简图

Fig.5 Diagram of anchor length out of the circular slip surface

由于点 C 在圆弧上, 则必有

$$(x' + x_j)^2 + (z' + z_j + \Delta z_j)^2 = R^2 \quad (6)$$

其中,

$$\Delta x_j = (H - z_j) \tan(90^\circ - b) \quad (7)$$

$$x_j = \Delta x_j + l_{fj} \cos \alpha_j \quad (8)$$

$$\Delta z_j = l_{fj} \sin \alpha_j \quad (9)$$

式中: H 为开挖深度, b 为边坡面与水平面夹角; z_j 为第 j 根锚杆端头到地面的距离。 l_{fj} 采用迭代的方法, 设计定步长 Δl_{fj} , 则在第 n 次迭代时有

$$l_{fj} = n \Delta l_{fj} \quad (10)$$

由此, 联合式(6)~(9)代入式(10)中, 可求得锚杆在滑移面内长度 l_{fj} , 锚杆总长为设计参数, 验算时为已知量, 由式(5)求得锚杆在圆弧外长度。按上述方法求得的 l_{fj} , l_{nj} 即分别为锚杆的自由段长度和锚固段长度; 但在通常情况下, 设计时的自由段长度要大于计算求得的长度, 以保证自由段穿越滑移体到达稳定土层, 锚固段长度则参考计算值, 可以适当的加大, 保证提供足够的锚固力。

(2) 第 i 条分土重量

如图 6 所示, 第 i 条分重度的计算如下:

$$k = \begin{cases} 1 - [H - x_i / \tan(90^\circ - b)] / z_i & (H - x_i / \tan(90^\circ - b) > 0) \\ 1 & (H - x_i / \tan(90^\circ - b) < 0) \end{cases} \quad (11)$$

$$z_i = \sqrt{R^2 - (x' + x_i)^2} - z' \quad (12)$$

$$w_i = k z_i b_i s g \quad (13)$$

式中: k 为在边坡面内条分土重量计算系数, z_i 为第 i 条带底部中点至原点竖向距离, x_i 为第 i 条带顶部中点至原点的水平距离。

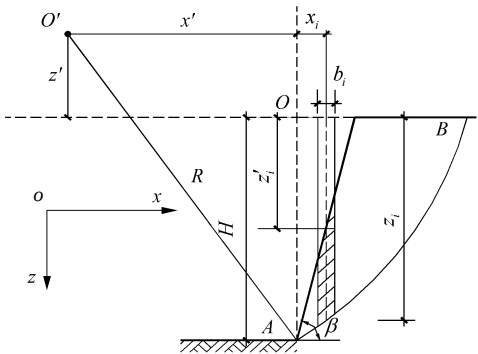


图 6 第 i 条土重计算简图
Fig.6 Diagram of soil weight of No. i slice

3.2.3 确定最危险滑移面圆心

在给定一个圆心后，由力矩极限平衡法，可求得该圆弧所对应的安全系数 K 。如图 4 中所示，矩形 $OCDE$ 为圆心所在区域，如此可以利用网格法在区域内给定 $n \times n$ 个圆心 (n 为网格划分数)，从 $n \times n$ 个圆心中寻找使得安全系数最小者即为最危险滑移面圆心。通过在程序中动态的调解圆心搜索区域的大小，当搜索得到的圆心都在此区域内部，再扩大搜索范围已无必要时，则由搜索得到的圆心进行稳定性验算；当搜索得到的圆心到达区域边界时，扩大搜索范围，继续搜索。如此的循环，则实现了滑移面的计算机动态搜索。

4 软件设计及工程实例

4.1 工程实例

4.1.1 工程概况

兰州下西园资金中心开发楼边坡支护，边坡分为上下两级，第 2 级边坡采用框架锚杆支护，支护高度 12 m 边坡重要性系数取 1.0，安全系数取 1.3，边坡土体参数如表 1~3 所示。

表 2 框架设计

Table 2 Design of frame

挡板			立柱					横梁				
板厚 /mm	板纵向配筋	板横向配筋	间距 /m	截面尺寸 (b×h)	受弯正筋 配置	受弯负筋 配置	箍筋配置	间距 /m	截面尺寸 (b×h)	受弯正筋 配置	受弯负筋 配置	箍筋配置
100	f8@200	f8@200	2.5	400×300	3f18	3f20	f8@200	2.5	300×300	3f22	3f22	f8@200

表 3 锚杆设计

Table 3 Design of bolt

锚杆	位置/m	自由段长度/m	锚固段长度/m	锚固体直径/mm	杆体直径/mm
1	2.0	7.0	10.0	200	36
2	4.5	5.0	11.0	200	36
3	7.0	3.8	11.0	200	36
4	9.5	2.5	11.0	200	36

表 1 设计参数

Table 1 Design parameters

粘聚力 /kPa	内摩擦角 /(°)	天然重度 /($\text{kN} \cdot \text{m}^{-3}$)	极限摩阻力 /($\text{kN} \cdot \text{m}^{-2}$)	边坡角 /(°)
16	20	16.5	50	80

注：边坡高度 $H = 10.0$ m。

4.1.2 支护方法及设计结果

采用框架锚杆预应力锚杆支护，进行结构计算及整体稳定性验算。经过反复的验算，满足稳定性要求后，框架锚杆支护设计剖面如图 7 所示，设计结果如表 1~3 所示，具体分析过程省略。

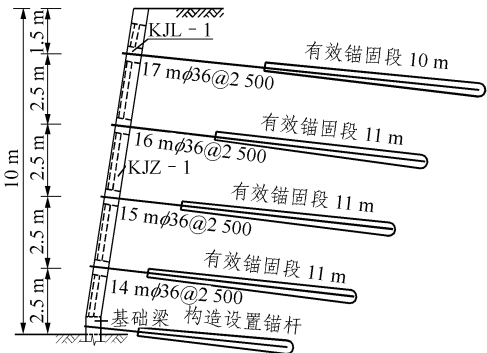


图 7 支护结构设计剖面图

Fig.7 Sectional sketch of supporting structure

4.2 软件设计

该软件的开发以面向对象的程序设计语言 VC++6.0 为平台，抽象了框架锚杆设计与分析类，利用 MFC 类库方便地建立了面向对象的窗口图形化界面以及框架预应力锚杆设计与分析的程序体系，开发了界面友好、操作简便的框架锚杆支护结构辅助设计。稳定性验算界面如图 8 所示。

