基于计算机处理的边坡滑弧稳定分析方法

刘树亚
[深圳市天健（集团）股份有限公司市政工程研究所，深圳，518034]

提　要　介绍一种简单的适用于计算机处理的边坡滑弧稳定分析方法。该方法可以直接求出滑弧的位置，并可通过参数的调节，获得高于传统滑弧稳定分析方法的精度。

一 引 言

传统边坡滑弧稳定分析方法是先根据经验确定园弧中心的范围，然后在这个范围内试算，抗滑稳定安全系数最小的园弧即为所求。近年来，由于基坑和人工边坡工程的增多，滑弧稳定分析方法被越来越多地应用。加筋土边坡、树根桩边坡、土钉墙基坑、排桩及重力式挡墙基坑都需要进行边坡整体稳定分析。《建筑基坑支护技术规程》、《深圳地区建筑深基坑支护技术规范》等相应规范也规定了上述人工边坡必须进行整体稳定分析计算，但对人工加固的边坡或有支护的基坑的滑弧园心位置未进行规定，工程技术人员在进行滑弧稳定分析时仍采用 Fellenius 建议的最危险滑弧园心搜寻方法。《建筑基坑支护技术规程》(DBJ/T15-20-97 广东省标准)对均质土坡、重力式挡土结构的基坑、排桩及地下墙边坡的危险滑动面确定方法进行了经验性的特别规定，现介绍如下。

对均质土坡、重力式挡土结构的基坑，先按比例画出土坡剖面(图 1)，从坡顶、坡底分别向外延 0.1nH 处作点 a、b(n 为坡度 1：n 的分母，H 为坡高)。然后在 ab 线段上方的

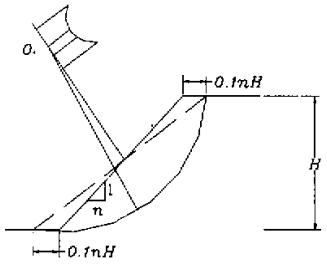


图 1 均质边坡滑弧稳定分析

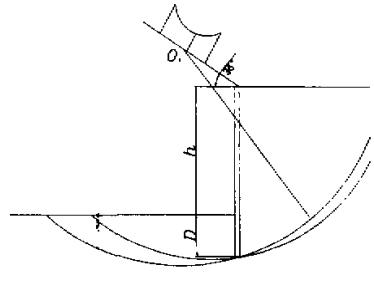


图 2 排桩边坡滑弧稳定分析

垂直平分线上任选一圆心 O_1，以 O_1 为圆心过 a、b 点作园弧 ab 即为假定的滑动面。

对排桩及地下墙边坡，首先在排桩(或地下墙)顶部作与水平面交角为 36° 的斜线(图 2)，然后在该线上取 O_1、O_2、……O_m 点作为滑动中心分别验算相应滑动面的整体稳定性，进而求出危险滑动面。

由于土钉墙等人工边坡在某种程度上改变了边坡土的工程性质，因此用用上述方法确定最危险滑动面的可靠性缺乏试验研究和实际工程报道。本文介绍一种作者在工程中总结出来的适用于计算机处理的简单算法，该方法不必通过寻找园心位置来确定危险滑弧面的位置，而是在边坡上直接寻找潜在滑动面的位置。

二 基本原理

园弧滑动理论的力学理论基础与假设仍然成立，同时也假定滑弧通过边坡或支挡结构上的某一点(如边坡的坡脚点或挡墙的下端点)。

图 3、图 4 分别为土钉墙基坑和水泥土挡墙基坑的示意图，以此为例，说明该方法。

从图中可以看出，只要在边坡上设定两个循环变量即可对边坡所有可能的滑动面进行计算分析，从而找出最危险滑动面。由于一个园的圆心位置和半径可以由两个点(*A* 点 *B* 点)及一个点的外切角 *sita*(θ)确定，所以在搜寻危险滑弧位置时，设定两个循环变量：主循环变量反映园弧与坡顶交点的位置，嵌于主循环变量内部的次循环变量反映园弧 *B* 点的切线与 *AB* 线的夹角。在一定的步长条件下，通过两个循环变量的不断变化，最危险滑弧面就可以求出。

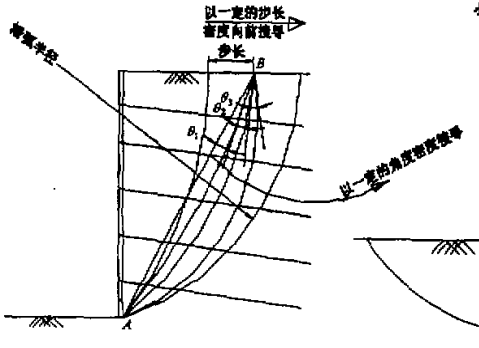


图 3 土钉墙滑弧稳定分析方法

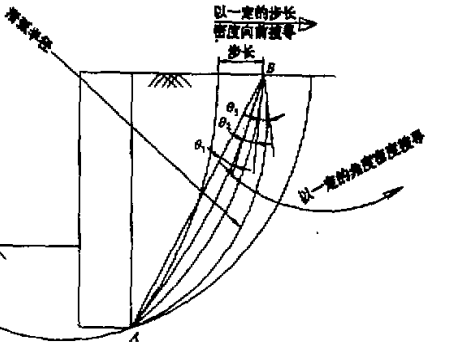


图 4 水泥土挡墙滑弧稳定分析方法

根据上述方法，可以很快地编制出计算程序。由于微机的普及和计算速度的提高，使得详细的分析成为可能。在计算中，长度和角度循环变量的步长可以取得很小，以保证在计算方法确定的条件下，计算结果的误差尽可能地小。

在计算中，滑弧计算搜寻范围(第以循环变量)可取 2~3*H*(*H* 为基坑或边坡的深度)，第二循环变量 θ 的变化终点值可取园弧在其与坡顶交点处的切线与坡顶线交角为 90°~100°终止。

根据上述原理可以很快编制出滑弧计算程序。

三 工程算例

圳地铁水晶岛站基坑支护采用土钉墙-预应力锚索组合型式。基坑长 185.7 米，宽 60.0 米(标准段宽 47.3 米)，深约 17.0 米，是深圳地区采用土钉墙支护最深的建筑基坑 。

深站区范围内上覆第四系全新统人工堆积层、中更新统残积层，下覆燕山期花岗岩。以东南侧基坑情况为例，该段土层物理力学参数叙述如下：

表 1 土层物理参数

土层	厚度(m)	容重 γ(kN/m³)	摩擦角φ (°)	粘聚力 c (kPa)	粘结强度τ (kN/m²)
杂填土	0~3.6	17.3	28.7	40	
砾质粘性土	0~14.1	17.7	24.7	24.8	56
全风化花岗岩	0~7.7	18.6	28	24	56

本站范围内为第四系孔隙潜水及基岩裂隙水，水位埋深 3.2～4.9 米，主要补给来源为大气降水，砾质粘性土渗透系数为 0.8m/d。车站基坑采用深井井点降水。

计算中，坡顶荷载取 20kN/m²，土钉、锚索与土体的界面摩阻值取 56kN/m²，土钉钻孔直径 110mm，锚索钻孔直径为 150mm，土钉、锚索倾角为 10°。

计算中，第一循环变量步长取 0.5m，角度循环变量步长取 5°。

计算结果见图 5。滑弧半径位 23.6，危险滑动面与坡顶线距离 5.65m。滑弧稳定安全系数为 1.187。

实际工程中，水晶岛基坑南侧坡顶变形较大，现已超过设计警戒值 60mm，接近距离坡顶线 6 米左右地面出现一条平行于坡顶线的裂缝，该处垂直于坡顶线的围墙墙体也相应拉裂。

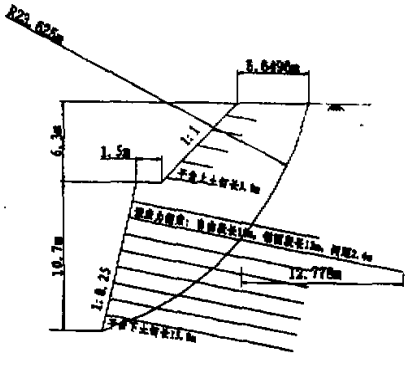


图 5 水晶岛站土钉墙基坑滑弧稳定分析

四 结 语

本文介绍了作者在工程中总结出来的简单的滑弧稳定计算算法，该方法不必通过寻找园心位置来确定危险滑弧面的位置，而是在边坡上直接寻找潜在滑动面的位置。该方法适用于计算机处理，在目前微机普及的条件下，可以借鉴使用。

参考文献

[1] 《深圳地区建筑深基坑支护技术规范》(SGJ05-96)。

[2] 《建筑基坑支护技术规程》(JGJ120-99)。

[3] 广东省标准：《建筑基坑支护工程技术规程》(DBJ/T15-20-9。7)。

[4] 冯国栋编：《土力学》，北京，水利电力出版社。