

边坡稳定性分析及 CAD 图形处理技术

许文达, 程心恕

(福州大学土木建筑工程学院, 福建 福州 350002)

摘要: 采用简化 BISHOP 法编制 FORTRAN 程序进行边坡圆弧滑动时的整体稳定性计算, 并用 CAD 接口软件将最危险滑动面的圆心和半径的搜索过程以及有关的计算结果进行 CAD 图形处理, 增强了计算和分析的直观性. 大量的实例计算表明, 该程序及相关的图形处理使用方便、直观、结果精确可靠.

关键词: 边坡; 稳定; 安全系数; AutoCAD; 等值线图

中图分类号: TU441. 35; TP391. 72

文献标识码: A

Stability analysis of slope and CAD graphic processing technique

XU Wen - da, CHENG Xin - shu

(College of Civil Engineering and Architectures, Fuzhou University, Fuzhou, Fujian 350002, China)

Abstract: A FORTRAN program is composed to analyze the stability of the slope base by use of the BISHOP's simplified method of slice. The calculation result and the process which the most dangerous sliding surface is studied are showed on drawing by means of AutoCAD. The result shows that the program and the graphic processing are reliable and practical in slope designing.

Keywords: slope; stability; safety factor; AutoCAD; contour map

目前, 对边坡稳定性分析广泛使用的方法是极限平衡方法和数值分析方法. 对于极限平衡方法, 有瑞典条分法、Janbu 法、Sarma 法、BISHOP 法、楔形体滑动法、对数螺旋线法、Spencer 法、余推力法和优化法等. 各种条分法的对比说明, 在参数相同的情况下, 采用不同的计算假设, 相互之间结果差别不大, 误差主要来源于参数的取值^[1, 2]. 对于数值分析方法, 主要有有限元、边界元、离散元等. 本文将采用简化 BISHOP 法计算边坡安全系数, 由于其计算不很复杂, 精度较高, 所以是目前工程中很常用的一种方法. 其计算公式为:

$$F_s = \sum_i^n \frac{1}{m_{\alpha_i}} \left\{ c_i b_i + \left[w_i \left(1 + \frac{2}{3} K_H C_z \right) - u_i b_i \right] \tan \phi_i \right\} \cdot \left[\sum_i^n w_i \left(1 + \frac{2}{3} K_H C_z \right) \sin \alpha_i + \sum_i^n K_H C_z w_i l_i / R \right]^{-1} \quad (1)$$

式中: $m_{\alpha_i} = \cos \alpha_i + \tan \phi_i \sin \alpha_i$, w_i 为土条自重(kN), b_i 为土条宽度(m), α_i 为土条底边倾角, c_i 为土的有效凝聚力(kPa), ϕ_i 为土的有效内摩擦角, R 为滑动圆弧半径(m), u_i 为作用于土条底边上的孔隙水压力(kPa), l_i 为土条重心至滑动圆心垂直距离(m), K_H 为水平地震加速度, C_z 为综合影响系数.

1 BISHOP 法稳定分析程序编制

边坡整体稳定性的计算是很繁琐的, 若用手工计算, 不仅工作量大而且很容易出错, 为此本文采用目前工程中很常用的简化毕肖甫法, 根据前述简化毕肖甫法的基本原理用 FORTRAN 语言编制了相应的计算程序, 计算边坡整体稳定的最小安全系数. 但上述原理都是计算某个位置已确定的滑动面的稳定安全系数, 而滑动面有无穷多个, 每一个滑动面有其相应的稳定安全系数, 真正代表边坡稳定程度的

收稿日期: 2003 - 01 - 06

作者简介: 许文达(1973 -), 男, 硕士, 讲师.

安全系数则是各个滑动面安全系数中的最小者, 其对应的滑动面才是最危险滑动面. 确定最危险滑动面的位置, 即滑动圆弧的圆心和半径是边坡稳定分析的主要内容, 需通过多次试算才能完成.

1.1 对给定滑弧圆心寻找最危险的滑弧半径

在给定滑弧圆心的情况下, 只要确定滑弧半径则滑动面就唯一确定, 对不同的滑弧半径, 其滑动面的安全系数是不同的, 故须首先确定安全系数最小的滑弧半径, 根据费伦纽斯(W. Fellenius)提出的经验方法, 对于均匀粘性土边坡, 最危险滑动面一般通过坡脚, 由此可取滑弧圆心到坡脚的距离为滑弧半径的初始值 R_0 , 并以此初始值进行搜寻, 计算不同的半径 $R = R_0 + i \cdot \Delta R$ (ΔR 为半径的搜索步长; $i = 0, \pm 2, \dots, \pm n$) 时的安全系数, 选取其最小值作为该给定滑弧圆心的最危险滑动面的安全系数. 对于非均质的、边界条件较为复杂的或有挡土墙的边坡, 最危险滑动面的滑弧半径初值 R_0 可根据具体情况选取.

1.2 计算不同滑弧圆心的最危险滑弧

由上述计算可知, 对每一滑弧圆心都有一相应的最危险滑动面及最小安全系数, 故须在一定范围内计算一系列滑弧圆心的最小安全系数, 并选取其中最小的作为边坡整体稳定的安全系数. 计算时可在最危险滑动面圆心可能出现的位置确定一四边形区域^[3], 并将其划分为一定边长四边形网格, 计算每一网格点上的最小安全系数, 最后选取所有网格点上的最小值作为边坡整体稳定的最小安全系数, 其相应的滑动面即为边坡的最危险滑动面. 如果对边坡最危险滑动面圆心的位置不能进行较准确的估计时, 可首先在较大的范围内进行搜索, 确定出圆心的大致位置, 然后再在较小的范围内更精确的搜索其圆心的位置.

1.3 程序框图

上述计算程序用 FORTRAN 语言编制而成, 本文只给出简略的框图^[3], 见图 1.

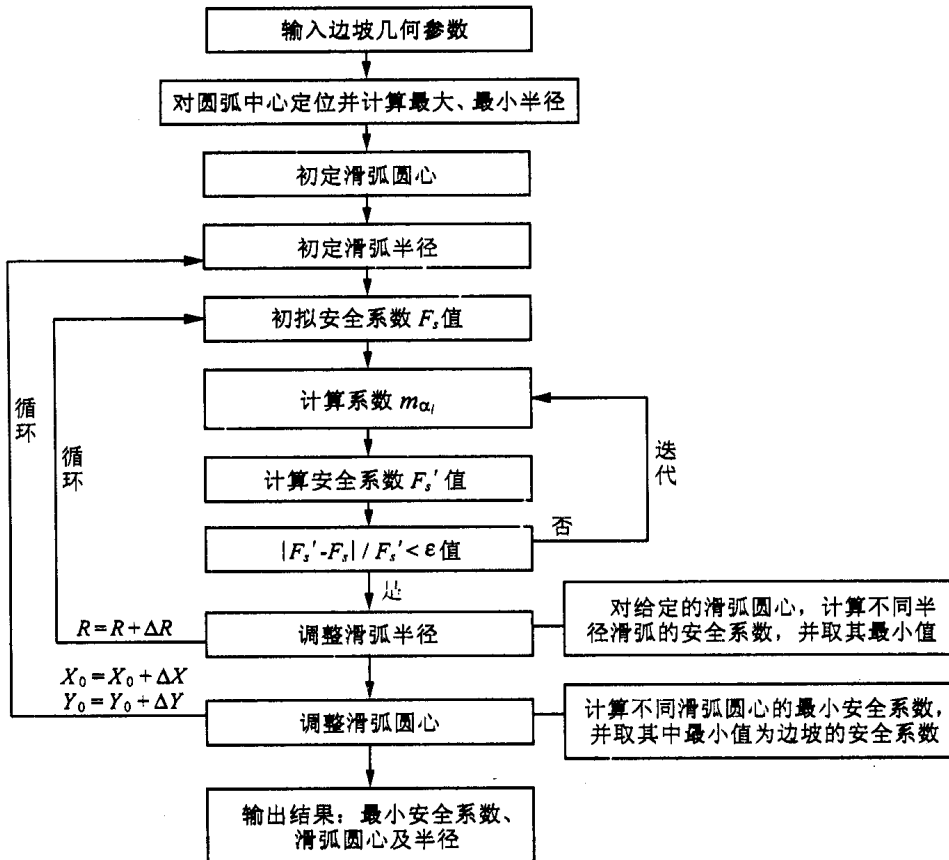


图 1 边坡稳定性计算程序框图

Fig. 1 Flow chart of computation program of slope stability

2 边坡稳定的计算机辅助设计

利用计算机程序确定边坡的最危险滑动面时,需要进行大量的搜索和计算,为了更直观地反映最危险滑动面及相应滑弧圆心和半径的搜索原理和过程,以及不同的滑动面的安全系数的变化规律,可借助计算机程序和有关的数据、图形处理软件来进行边坡整体稳定的计算和设计.

2.1 利用 PD 程序绘制最小安全系数的等值线图

搜索最危险滑弧圆心时,是在某一区域划分一四边形网格并计算每一网格点上的最小安全系数,为了分析最小安全系数随圆心的变化规律,可认为该最小安全系数是圆心坐标的函数,将 FORTRAN 程序的计算结果通过数据文件与自编程序 PD 软件接口,并利用 PD 绘制其等值线图,这样便可直观地反映其变化规律,并为边坡的最危险滑弧圆心的进一步搜索提供依据和帮助,也可直接在等值线图上确定最危险滑弧圆心.

2.2 利用图形处理软件 AutoCAD 绘制边坡最危险滑动面

在用 FORTRAN 程序进行边坡整体稳定性计算时,还可利用 DXF 数据文件与 AutoCAD 接口,当边坡的整体稳定计算完成后,通过上述数据文件将有关边坡整体稳定性计算的信息传递到 AutoCAD,将边坡的最危险滑动面、滑弧圆心、滑弧半径及边坡的形状绘制成图形,并可绘出滑弧圆心的搜索网格等,以便于进行边坡整体稳定性的直观分析、设计方案的制定和修改以及资料的保存等.

3 工程实例分析

尤溪县尤口线路公路自尤溪至尤溪口,连接 316 国道,全长约 40 km,公路依山伴水,沟谷较多,雍口电站水库正常蓄水位 87 m,公路高程约 91.8 m,公路地基以挖填为主,公路外边坡为人工素填土.自尤溪雍口水电站蓄水发电以来,雍口拦河坝上游 6km 范围内有四处发生较严重的外坡塌滑.其中 IV 号塌滑区(K24+880~K25+000)路面已破坏 3m,影响到道路的正常行车.本文取图 2 典型填土断面(K24+890)为计算剖面进行整体稳定性分析.

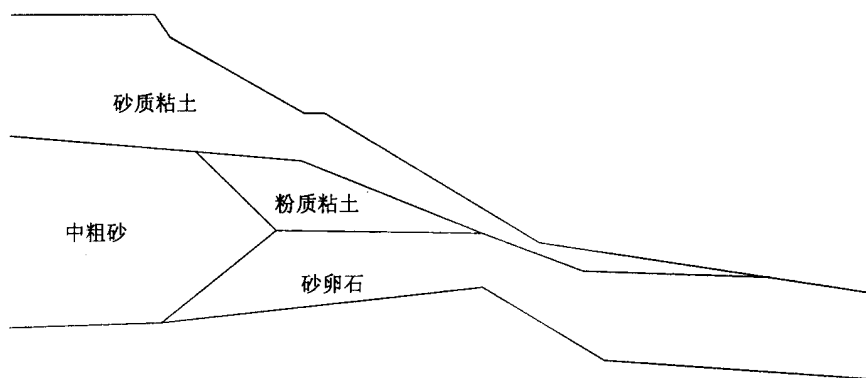


图 2 外边坡断面示意图

Fig. 2 Sketch map of slope section

根据经验初步估计出滑弧圆心的大致位置,然后以此为中心确定一个 $4\text{m} \times 4\text{m}$ 的四边形网格进行较大范围的圆心搜索(搜索区域见图 4),通过 FORTRAN 程序计算每个网格点上的最小安全系数并取最小值,所对应的圆心即是最危险滑弧的圆心,相应的安全系数即为边坡的最小安全系数.计算结果为:边坡最危险滑动面的圆心坐标为(37.75, 108.72),半径 $R = 33.876\text{ m}$,安全系数 $F_s = 1.175$,并利用 AutoCAD 打开程序生成的滑动面及搜索网格图(如图 3 所示).如果要进行更精确的计算,则以上确定的圆心为中心划分更细密的网格进行较小范围的搜索,可得结果为:圆心坐标为(37.05, 107.63),半径 $R = 33.13\text{ m}$,安全系数 $F_s = 1.184$,与前面计算结果很接近.四边形网格区域内最小安全系数随圆心位置

变化的等值线图如图 4 所示.

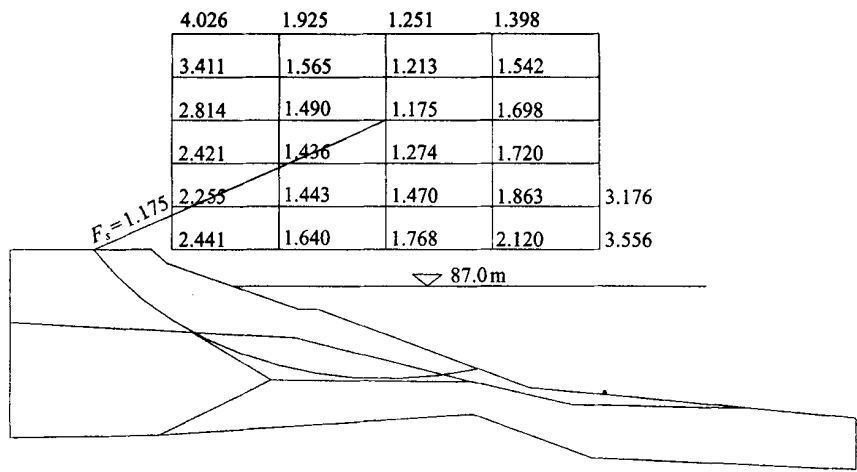


图 3 算例边坡稳定性计算结果图
Fig. 3 Computation result sheet of slope stability

