

文章编号: 1000-7598-(2006)08-1365-04

Windows 下的土坡稳定性分析研究

李 军^{1,2}, 王星华¹, 秦曦青¹

(1. 中南大学 土建学院, 长沙 410075; 2. 广东省水利电力勘测设计研究院, 广州 510170)

摘 要: 利用 CAD 二次开发技术, 对边坡进行稳定性分析, 采用的计算方法为瑞典圆弧滑面条分法。通过编程计算, 能得到该边坡的任意滑面的安全系数和最危险滑面位置及其安全系数, 该程序有良好的 Windows 风格的用户界面, 直观、形象的计算过程, 简单明了的输出结果, 是进行边坡稳定分析的新选择。

关 键 词: 边坡稳定性分析; CAD 二次开发; 滑面; 安全系数

中图分类号: TU 413; TP 319

文献标识码: A

Slope stability analysis and research under Windows

LI Jun^{1,2}, WANG Xing-hua¹, QIN Xi-qing¹

(1. School of Civil and Architectural Engineering, Central South University, Changsha 410075, China;

2. Guangdong Provincial Design Institute of Water Conservancy and Electric Power, Guangzhou 510170, China)

Abstract: Utilizing the secondary development of CAD, the slope stability analysis, is carried out by W. Fellenius method. We can get the safety factor and position of any sliding surface of a slope by the program; and also we can get the most dangerous sliding surface and its safety factor of a slope. The program has a friendly user interface the same as windows style; and also it has an intuitional and visual computational process, briefness output; the program is a new choice of slope stability analysis.

Key words: slope stability analysis; secondary development of CAD; sliding surface; safety factor

1 引 言

边坡稳定性分析是一项计算量大且非常繁琐的工作, 手算效率低, 精度低且容易出错。因此, 利用计算机编制计算程序来进行边坡稳定性分析已成为必然的趋势和选择。目前, 用于边坡稳定分析的程序很多, 大多由 Fortran 或 C 等语言写成^[1], 这些程序无论选择的分析方法多么复杂, 计算结果多么精确, 但都有一个共同的缺点, 那就是对于用户来说, 不够直观, 缺乏一个友好的用户界面。大多数只是输入一堆数据, 再得出一堆数据, 且缺乏图形处理功能, 即使有些程序可以有一定的图形处理功能, 那也是在程序计算完毕后利用一些图形处理软件进行后处理, 得到最终的图形。因此, 开发一套用户界面简单、计算过程直观, 且带有强大图形功能的边坡稳定性分析程序就显得很有必要。基于此目的, 本文编制了在 Windows 下使用的土坡稳定性分析研究的程序。

2 边坡稳定性分析方法简介

边坡稳定问题是岩土工程中的一个很重要的研究课题, 其分析方法很多, 但从应用角度来说, 是以极限平衡方法为主, 其中又是以圆弧法的应用最为广泛。利用圆弧法进行边坡稳定分析的方法常见的有瑞典圆弧法 (1936 年) 和毕肖普法 (1955 年)^[2,3], 这些都是极限平衡法的一种近似方法, 但在实际工程中的应用是非常广泛的。下面介绍的瑞典圆弧法^[1]就是其中一种常用的基本方法。它不但可以用来检算简单土坡, 也可用于检算各种复杂情况的土坡。

2.1 基本原理及假定

该法假定土坡稳定分析是一个平面应变问题, 滑面成圆弧型。

图 1 为圆弧形滑面滑坡示意图。其中 $ABCD$ 为滑动土体, CD 为圆弧形滑面。滑坡发生时, 滑动土体 $ABCD$ 同时整体地沿 CD 弧面向下滑动。对圆心 O 来说, 相当于整个滑动土体沿 CD 弧绕圆心 O

转动。

在具体计算中, 弗兰纽斯将滑动土体 $ABCD$ 分成 n 个土条, 土条的宽度一般取 $2 \sim 4$ m。其中每个土条均受到其自重、下滑力或抗滑力以及条间力的作用, 但在本法中认为, 条间力对计算结果的影响不大, 故在土条稳定分析中不予考虑。用该法得到的安全系数 K 为^[2]

$$K = \frac{\sum_{i=1}^n (W_i \cos \alpha_i \tan \varphi + c l_i)}{\sum_{i=1}^n W_i \sin \alpha_i} \quad (1)$$

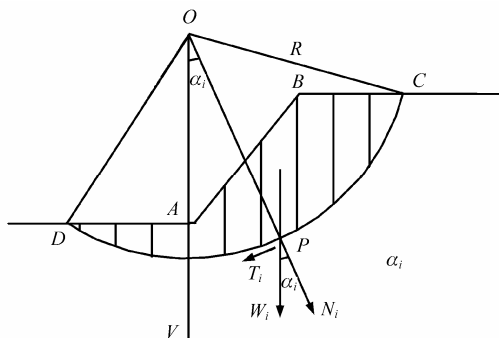


图 1 圆弧形滑面滑坡示意图
Fig.1 Sketch map of circular sliding surface

2.2 最危险滑面的确定

稳定分析必须确定 K 值最小的滑面即最危险滑面, 因此, 在分析过程中要假设一系列的滑面进行试算。弗兰纽斯通过大量的试算工作, 总结出下面两条经验:

(1) $\varphi = 0$ 的均质黏土, 直线边坡的最危险滑面一般通过坡脚, 其圆心位置可用表 1 给出的数值用图解法确定。

表 1 圆心位置参数表^[2]

Table 1 Parameters of position of the centre of a circle

坡比	角 $a/(^\circ)$	角 $b/(^\circ)$	坡比	角 $a/(^\circ)$	角 $b/(^\circ)$
1:0.5	29.1	40	1:1.75	26	35
1:0.75	29	39	1:2	25	35
1:1	28	27	1:3	25	35
1:1.25	27	35.1	1:5	25	37
1:1.5	26	35	/	/	/

(2) $\varphi \neq 0$ 时, 随着 φ 角的增大, 其圆心位置将从 $\varphi = 0$ 的圆心 O 沿 OE 线的上方移动, OE 线可用来表示圆心的轨迹线。 E 点的确定方法如图 2 所示。其中 H 为边坡的高度。

具体试算时, 从 O 点开始, 沿着 OE 线往左选

择圆心点, 以该点到 A 点的长度为半径作圆弧, 算出每一个圆弧的安全系数 K_i 。其中最小的 K 值所对应的圆弧即为所求的最危险滑面。

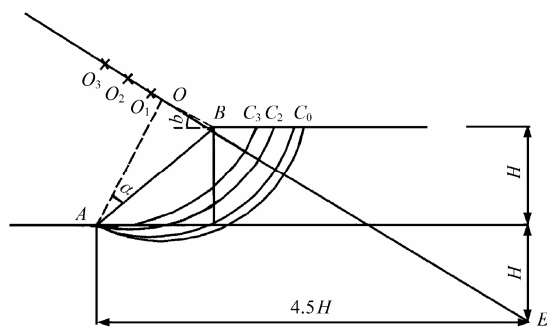


图 2 OE 线的确定
Fig.2 Determination of line OE

3 CAD 二次开发及 AutoLISP 语言简介

AutoCAD 是大多数工程人员的必备图形工具之一, 它强大的图形处理能力给人们带来了很大的方便。但 AutoCAD 之所以能荣登全球绘图软件的龙头宝座, 主要是因为它具有开放的体系结构。它允许用户和开发者采用高级编程语言对其进行扩充和修改, 即二次开发, 能最大限度地满足用户的特殊要求。本文就是利用内嵌在 AutoCAD 中的 AutoLISP 语言进行二次开发^[4]。

LISP (List Processing Language) 是一种计算机的表处理语言, 是在人工智能学科领域广泛应用的一种程序设计语言。AutoLISP 语言是嵌套于 AutoCAD 内部, 将 LISP 语言和 AutoCAD 有机结合的产物。AutoLISP 语言既具备一般高级语言的基本结构和功能, 同时又具有一般高级语言所没有的强大的图形处理功能。可以运用 AutoLISP 编制任何专业化设计绘图程序, 并把它嵌入到菜单系统中, 通过定制专业系统以取得更高的工作效率。

从 AutoCAD2000 开始, 其内部嵌套的 AutoLISP 升级为新一代的 LISP 语言——Visual LISP, Visual LISP 已经被完整地集成到 AutoCAD 2000 中, 它为开发者提供了崭新的、增强的集成开发环境, 开发者可以直接使用 AutoCAD 中的对象和反应器, 进行更底层的开发。其特点为自身是 AutoCAD 2000 中默认的代码编辑工具; 用它开发 AutoLISP 程序的时间被大大地缩短, 原始代码能被保密, 以防盗版和被更改; 能帮助大家使用 ActiveX 对象及其事件; 使用了流行的有色代码编辑器和完善的调试工

具,使大家很容易创建和分析 LISP 程序的运行情况^[5,6]。

总而言之,之所以选择 AutoLISP 作为开发工具,是因为 AutoLISP 易学好懂、与 AutoCAD 联系紧密(相对于常见的 Visual C/C++ 而言, Visual C/C++ 也是 AutoCAD 二次开发工具之一),在 AutoLISP 程序中可以直接调用 AutoCAD 中丰富的命令,这就极大地方便了用户开发自己的应用程序。AutoLISP 还可以直接访问 AutoCAD 的图形数据库,对当前图形数据进行即时修改、扩充或计算。

4 程序说明

在 AutoCAD 中,所有的图形都是以图形数据库的形式存在的。比如在屏幕上画出的边坡和滑面,也是由各种图元的各自参数所构成的一个图形数据库,而 AutoLISP 能够直接访问图形数据库,通过编辑、增删图形数据库的内容达到修改、创建图形和对图形进行计算的目的。下面对如何用 AutoLISP 编程分析边坡稳定性进行详细的说明。

4.1 程序结构

程序由几个重要函数组成,现分别说明如下:

(1) 获得边坡函数 *getbp*。该函数首先通过用户的输入获得边坡的几何形状和土的各项基本参数,并直接调用 AutoCAD 命令在屏幕上绘出该边坡,并以坡脚点为坐标原点,所绘出的边坡在 AutoCAD 里作为一个图元储存在当前图形的图形数据库里,利用 AutoLISP 中的 *entlast* 函数,就可以把该边坡的数据方便地储存在一个变量 *ent_bp* 里。

(2) 获得任意滑面函数 *gethm*。用户可先在由 *getbp* 函数获得的边坡上绘出任意位置的滑面,之后 *gethm* 函数会提示用户在屏幕上拾取该滑面的圆心点及与边坡的左右 2 个交点,和获得边坡一样,该滑面数据也可储存在一个变量 *ent_hm* 里。在这里,使用了 AutoLISP 的 *getpoint* 函数,直接从图上获得点的坐标。程序在获得这些数据后,就可以计算该滑面的安全系数了。这就充分利用了 AutoCAD 强大的绘图能力以及 AutoLISP 与 AutoCAD 非常方便地数据交换能力,使得用户可以随心所欲地获得特定位置的滑面。

(3) 计算任意滑面安全系数函数 *js*。这是本程序中最最重要的一个函数,该函数利用上 2 个函数获得的边坡及滑面数据,根据瑞典圆弧条分法计算滑面的安全系数。计算时会要求用户输入条块宽度。在

条分法中,最麻烦之处莫过于求出每个条块的面积和它们的偏角。而使用 AutoLISP 可以很方便地得到所想要的数数据,该函数求条块面积和偏角的大致原理是:首先过圆心点作一垂线,分别与边坡和滑面相交;然后把该垂线平移一个条块的宽度,又可以得到 2 个交点,这时有了 4 个交点,可以形成一个封闭的实体;然后调用 AutoCAD 的 *area* 命令就可以得到该条块的面积了。至于偏角,可以使用 AutoLISP 的 *angle* 函数得到。AutoLISP 所获得的所有数据都是从 AutoCAD 图形上直接得到的,这就大大减少了计算步骤,加快了运算速度,提高了计算精度,并且更形象、直观。

(4) 试算最危险滑面函数 *ss*。该函数首先调用 *getbp* 函数获得边坡,然后根据表 1 的数据得到最危险滑面的圆心轨迹线和起始圆心点,再根据由用户输入的试算精度,调用 *js* 函数,得到每一滑面的安全系数,从中选出最小值,这样就得到了所求的最危险滑面。这里所说的试算精度指的是相邻两滑面与边坡的右交点之间的距离,试算范围是从起始滑面开始,一直到滑面与边坡的右交点与坡顶点之间的距离小于一个试算精度为止。

4.2 用户界面

这是本程序的一个重要内容。在 AutoLISP 中,可运用对话框控制语言 DCL 来编写对话框,再由 AutoLISP 来控制对话框的各控件的功能。这样得到的对话框和标准的 AutoCAD 对话框是一样的,极大地方便了用户输入参数的工作。图 3 即为该程序的主对话框。在主对话框中包括了进行边坡稳定性分析所需的全部初始数据,用户只需在该对话框中输入数据即可。另外,还可以通过 AutoCAD 的高级定制功能为该程序制作 AutoCAD 形式的工具条,使程序的应用更加灵活方便。

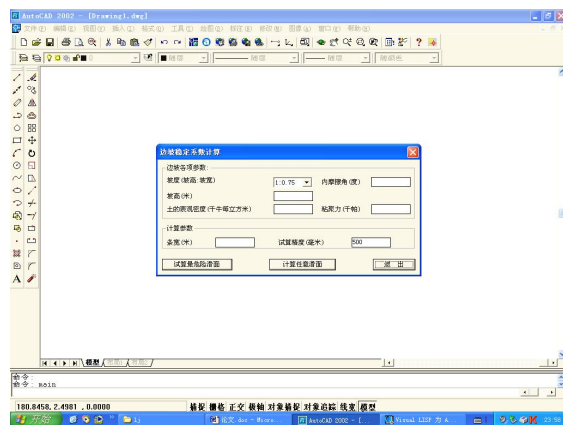


图 3 用户界面
Fig.3 User interface

5 工程算例

一黏土边坡坡高 10 m, 坡度 1:2, 单一土层, 土的表观密度为 1.6 g/cm^3 , 凝聚力为 30 kPa, 内摩擦角为 10.3° , 计算时分条宽度为 3 m, 试算精度为 500 mm。^[7]

程序输出结果, 图 4 为计算任意滑面的输出结果, 图 5 为试算最危险滑面的输出结果。并可以选择是否打印输出。

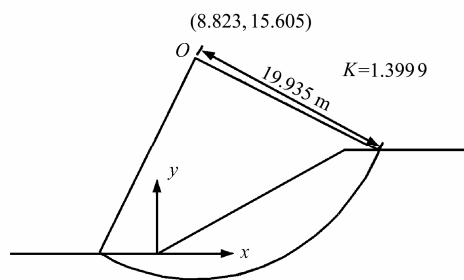


图 4 计算任意滑面安全系数的输出结果

Fig.4 Output of safety factor about any sliding surface

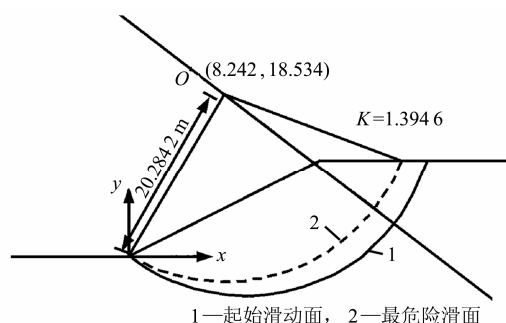


图 5 计算最危险滑面的输出结果

Fig.5 Output of safety factor and its position about the most dangerous sliding surface

6 结 语

采用 AutoCAD 的二次开发技术, 完全可以实现在 Windows 下的边坡稳定性分析, 并且和大多数 Windows 程序一样, 拥有良好的用户界面, 用户可以很方便地输入所有数据, 计算过程也是开放的, 是在大家熟悉的 AutoCAD 环境中进行计算的, 计

算同时可以得到同步的图形, 使得边坡稳定性分析过程变得非常直观。

上述程序虽然只是采用了简单的瑞典圆弧法对一简单的边坡模型进行分析, 但完全可以在这一基础上加以扩展。AutoLISP 拥有丰富的函数库和强大的计算能力, 加上 AutoCAD 强大的图形处理能力, 可以很轻松地编制各种边坡稳定性分析方法的模块, 集成在一起, 形成功能完善、使用方便, 且可以随时扩展功能的综合性的边坡稳定性分析软件。

参 考 文 献

- [1] 易念平, 吴恒, 张信贵, 等. 确定边坡最危险滑动面的计算机模拟[J]. 工程地质学报, 2002, 10(3): 326—330.
YI Nian-ping, WU Heng, ZHANG Xin-gui, et al. Computer simulation for identifying the most dangerous sliding surface[J]. *Journal of Engineering Geology*, 2002, 10(3): 326—330.
- [2] 刘成宇. 土力学[M]. 北京: 中国铁道出版社, 1995.
- [3] 戴自航, 沈蒲生. 土坡稳定分析简化 Bishop 法的数值解[J]. 岩土力学, 2002, 23(6): 760—764.
DAI Zi-hang, SHEN Pu-sheng. Numerical solution of simplified Bishop method for stability analysis of soil slopes[J]. *Rock and Soil Mechanics*, 2002, 23(6): 760—764.
- [4] 吴涛. 建筑 CAD 二次开发技术[M]. 北京: 电子工业出版社, 2002.
- [5] 梁雪春. Autolisp 实用教程[M]. 北京: 人民邮电出版社, 1998.
- [6] 马希文. LISP 语言[M]. 北京: 高等教育出版社, 1990.
- [7] 王平, 刘东升. 简单土坡稳定可靠度计算方法的研究[J]. 岩土力学, 2001, 22(4): 494—498.
WANG Ping, LIU Dong-sheng. Calculative research on reliability of simple soil slope[J]. *Rock and Soil Mechanics*, 2001, 22(4): 494—498.