

赤平投影的程序化方法与实现

王海斌 李永盛
(同济大学地下系, 上海 100027)

【摘要】 对于存在构造面岩石边坡的稳定分析, 赤平投影方法是一种行之有效的办法, 但是赤平投影理论较为抽象, 图解方法较为繁琐, 手工绘制误差较大, 因此编制了赤平投影程序, 能够很方便、准确地进行边坡稳定性判断。

【关键词】 赤平投影方法; 平面破坏; 楔形体破坏; 稳定坡角

【中图分类号】 TU 457

Stereographic Projections Analysis Program

Wang Haibin Li Yongsheng

(Dept. of Geotechnical Engineering, Tongji University, Shanghai 200092 China)

【Abstract】 Stereographic projections analysis is an effective method to appraise the rock slope stability with structural plane. Abstract theories, complex graphic method and drawing inaccuracy limit the application of the method. The program of stereographic projections analysis can solve the problem efficiently.

【Keywords】 stereographic projections analysis; plane sliding failure; wedge sliding failure; stability angle of slope

0 引言

在岩石边坡工程中, 像断层和节理这样一些不连续面控制的局部破坏是岩质边坡的主要破坏形式, 赤平投影方法是判断这类稳定问题的主要方法之一。赤平投影方法能够在投影图上直观地表示出岩体的结构面、临空面和岩石内摩擦角等特征, 并且确定它们的夹角和组合关系, 进而判断边坡的稳定性。

赤平投影方法对于分析带有结构面岩体的局部稳定性具有直观、简便、概念明确等特点。但是, 赤平投影理论较为抽象, 图解方法较为繁琐, 初学者较易出错, 而且手工绘制误差较大。因此, 本文编制了赤平投影绘图和计算程序, 较好地解决了这个问题。该程序使用 LISP 语言编制开发程序, 它以 AutoCAD 作为平台作图和计算, 进而进行稳定判断。该程序界面友好, 可操作性强, 使用者只需大致了解赤平投影的基本原理, 然后输入一些基本力学参数和几何参数, 就能绘制出赤平投影图, 同时还可以得到稳定评价图形和文字信息。

1 编程原理

经典的赤平投影方法是本程序的理论基础。

1.1 岩石的破坏形式及其赤平投影表示

赤平投影理论认为岩体的破坏形式主要有两

种, 平面滑动破坏和楔形体破坏。

1) 平面滑动破坏^[1]

对于只有重力作用下的滑动条件为:

- ①滑动面的走向必须与坡面平行或接近平行;
- ②破坏面在边坡出露, 即破坏面的倾角必须小于坡角的倾角, $\phi_p < \phi_f$;
- ③破坏面的倾角必须大于该面的摩擦角, 即 $\phi_p > \phi$;
- ④滑动体中存在相对于滑动仅有很小阻力的节理面, 它规定了滑动的侧面边界。

平面滑动破坏的示意图和赤平投影表示见图 1。当滑动面落在边坡面和摩擦圆组成的阴影区域中时, 边坡处于不稳定状态, 滑动沿势能最大的方向——倾向方向。

2) 楔形体破坏^[1]

由两组或两组以上的结构面组成的楔形体滑动条件如下:

- ①组合交线必须在边坡出露, 就是组合线的倾角必须小于坡面的倾角, 即 $\phi_p < \phi_f$;
- ②交线的倾角必须大于该面的摩擦角, 即 $\phi_p > \phi$ 。

楔形体破坏及其赤平投影表示见图 2。假定两结构面的摩擦角相同, 若两条结构面的交线落在图示

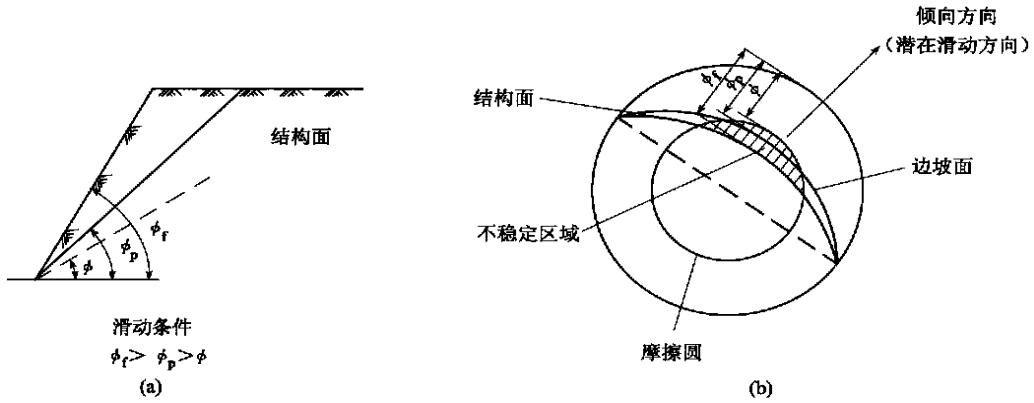


图 1 平面滑动破坏几何示意图和赤平投影图

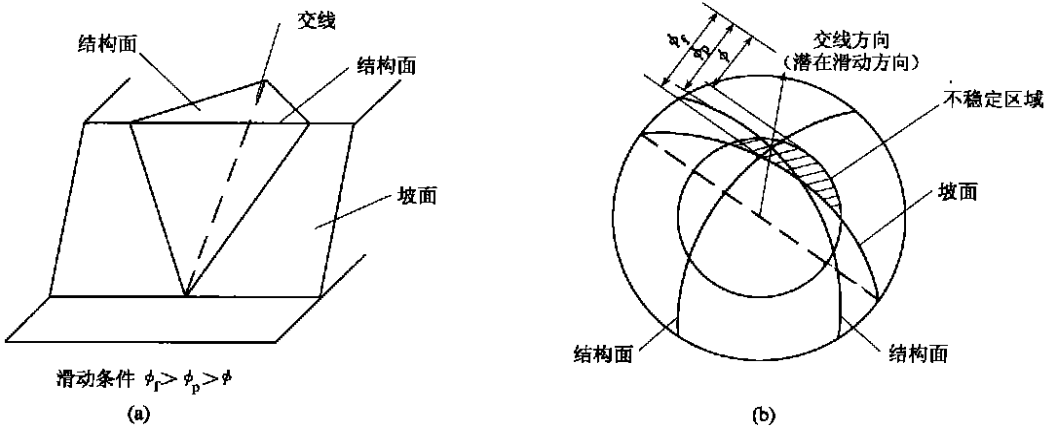


图 2 楔形破坏几何示意图和赤平投影图

阴影区域内, 边坡不稳定, 否则, 边坡处于稳定状态。

对于多组结构面切割的边坡稳定, 需要判断任意两组结构面组成的楔形体稳定, 每一组的稳定判断方法同上。

1.2 用赤平投影方法确定稳定边坡角

赤平投影方法不但能判断岩层的稳定性, 还能根据已知的结构面求得稳定边坡角。由前述的稳定判断可知, 对于单坡面层状结构边坡, 若层面走向和边坡一致, 稳定边坡角可以直接由结构面倾角来确定。当结构面走向与边坡走向不一致时, 稳定边坡角不能用直观的方法判断, 一般需借助于赤平投影方法求得。

对于平面破坏和楔形体破坏, 计算稳定边坡角时需考虑两个条件, 一是必须存在一个滑动面; 二是必须存在一个剪断面, 在该剪断面上具有最小抗剪强度和摩擦阻力。对于单一结构面, 其最小剪切面垂直于层面。对于楔形体, 两个结构面中一个为滑动面, 另外一个为剪断面。当滑动面的倾角等于边坡角时, 边坡处于极限稳定状态, 用赤平投影表示就是滑动面、剪断面和边坡面三线交于一点的状态。

对于单一结构面边坡, 其稳定坡角的求得见图 3^[4]。已知结构面 $A-A$, 结构面的垂直面即剪断面 $B-B$, 求得其交点 I , 过走向线 $O-O$ 和交点 I 画一圆弧, 圆弧所表示的倾角即为稳定边坡角。

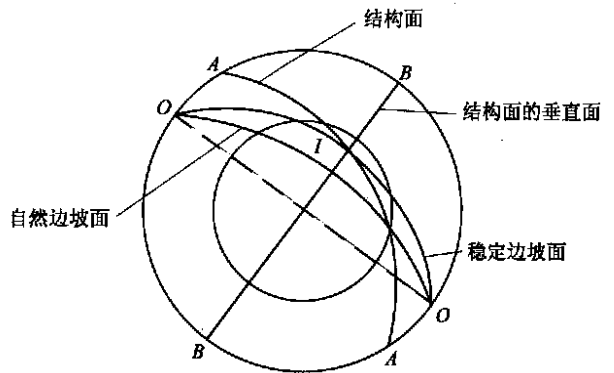


图 3 单一结构面边坡稳定坡角求解

对于楔形体边坡, 其稳定坡角的求得见图 4。作结构面 $A-A$ 和 $B-B$, 得到交线 I , 过边坡的走向线 $O-O$ 和楔形体的交线 I 画一圆弧, 圆弧所表示的倾角就是稳定边坡角。

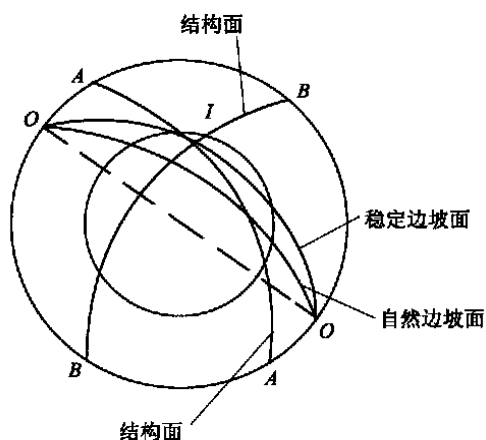


图4 两组结构面边坡稳定坡角求解

2 程序编制

2.1 编制流程图

程序编制拟定的流程图见图5,其中包括三部分,数据的输入部分,绘图和计算部分以及结果的输出部分。输入部分包括边坡和结构面产状的输入以及绘图参数的输入;绘图和计算部分是本程序的核心,利用AutoCAD强大的绘图和计算功能,绘制边坡和结构面产状的赤平投影图,进行稳定性判断,并且求得稳定坡角。结果输出部分包括绘图结果输出和计算文字结果输出。

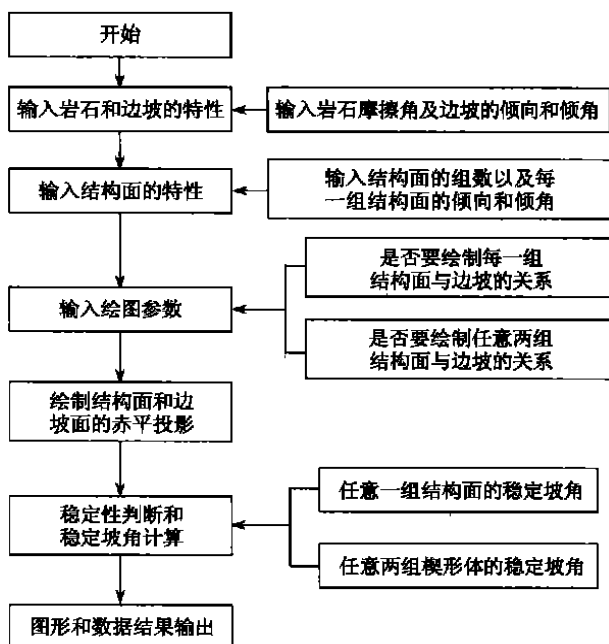


图5 程序编制流程图

2.2 程序特点和界面

采用AutoCAD作为平台,利用LISP语言嵌入到AutoCAD程序中,把该程序当作一个普通命令直接调用,其界面同AutoCAD菜单极为相似(见图6)。绘图过程中使用了AutoCAD的捕捉以及精确计算功能,计算精度为小数点后四位。



图6 编制程序界面

3 程序的可行性评价

3.1 算例1

该算例选自文献[2] P205~207,计算条件如下:有两组不连续面,第一组走向 $N32^{\circ}E$,倾向 $N58^{\circ}W$,倾角 $\angle 65^{\circ}$ 。第二组走向 N ,倾向 E ,倾角 $\angle 60^{\circ}$ 。岩石的内摩擦角为 25° 。求当切坡走向为 $N60^{\circ}E$,倾向 NE 时,沿第一组、第二组节理面和交

线的稳定坡角。

解:第一组节理面换算成我们习惯的表示方法为:倾向 302° 倾角 $\angle 65^{\circ}$,第二组倾向 90° ,倾角 $\angle 60^{\circ}$,边坡的倾向为 30° 。例题中没有给出边坡角,为求得稳定坡角,假定边坡倾角为 80° (边坡的倾角与稳定边坡角的计算无关,只与稳定性判断有关)。

文献[2]中给出的结果为沿第一组结构面稳定

坡角为 89° , 沿第二组稳定坡角为 74° , 沿交线为 28° , 与计算结果 89.0677° , 73.8979° , 28.381° 非常接近。计算结果对比见表 1, 表明两者计算结果一致, 可以满足工程要求。

表 1 计算结果对比

	文献[2]中的结果	程序计算结果	误差/%
沿第一组结构面的稳定坡角	89°	89.0677°	0.76
沿第二组结构面的稳定坡角	74°	73.8979°	0.14
沿交线的稳定坡角	28°	28.381°	1.4

3.2 算例 2

该算例选自文献[3]第 67 页。已知一结构面的产状为 $N80^\circ W, SW \angle 50^\circ$, 边坡的走向为 $N50^\circ W$, 倾角 SW , 求边坡的稳定坡角。

根据已知条件, 边坡的产状为 310° , 结构面为 $280^\circ/50^\circ$, 假定边坡角为 45° 。输入上述条件, 得出计算结果为 53.9948° , 与文献[3]中的 54° 吻合。

4 工程应用

把上述的程序应用于德兴铜矿边坡, 该边坡的条件如下: 其产状为 $234^\circ/41^\circ$, 岩石的摩擦角为 30° 。有 4 组节理, 四个结构面产状分别为 $230^\circ/65^\circ$ 、 $155^\circ/75^\circ$ 、 $308^\circ/70^\circ$ 、 $40^\circ/50^\circ$, 以下所编制的程序来评价其稳定性。图形结果见图 7,

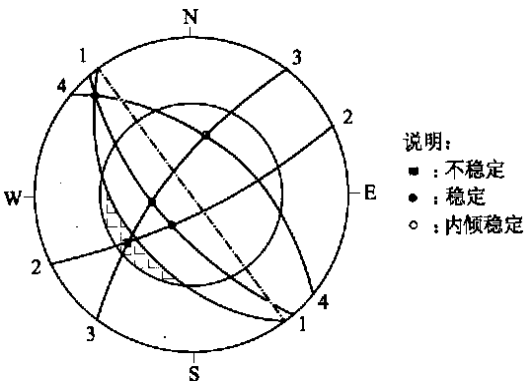


图 7 结构面与边坡面的赤平投影图

对于有 4 组结构面的块体稳定性判断, 需要从两个方面考虑。第一考虑沿任意一组结构面的稳定性, 第二考虑任一组楔形体的稳定性。只有沿 4 组单一结构面和 6 组楔形体全部满足稳定条件, 才能说明该边坡处于稳定状态。对于德兴铜矿边坡, 详述如下:

1) 边坡沿 4 组单一结构面处于稳定状态。对于

任一单组结构面, 其最大倾向点并没有落在月牙状的危险区域内, 岩体不会产生沿单一结构面的平面滑动。从计算书(本文略)列出的单组结构面的稳定数据中看出, 最小稳定坡角为 65° , 大于边坡倾角 41° , 验证了上述稳定结果。

2) 6 组楔形体中有 1 组不稳定, 其余 5 组处于稳定状态。四组结构面产生的楔形体组合为 C_4^2 , 赤平投影图中给出这 6 组楔形体的稳定性判断。由 4-4 和 2-2 以及 4-4 和 3-3 组成的两组楔形体, 其交线方向与边坡面倾向相反, 处于内倾稳定状态; 1-1 和 4-4、1-1 和 3-3 以及 1-1 和 2-2 组成的楔形体, 其交线方向与坡面倾向一致, 但倾角大于坡面倾角, 即交线不在边坡上出露, 因此这三组楔形体处于基本稳定状态; 2-2 和 3-3 结构面组成楔形体, 其交线方向位于月牙形的区域内, 即结构面交线倾角小于坡面倾角, 大于坡面的内摩擦角, 满足图 2 的破坏条件, 该组楔形体不安全。由上述叙述得知, 结构面组成的 6 组楔形体中, 其中 5 组稳定, 1 组不稳定, 计算书中也给出了相同的稳定判断结果, 还给出稳定坡角的数值。

3) 需要对 2-2 和 3-3 组成的楔形体进行处理, 可以切坡, 也可以采取加固措施。由计算书得知, 若进行切坡, 坡角可选为 36.5° 。鉴于本工程的实际情况, 切坡处理不经济, 只能进行加固处理。

5 结论

1) 赤平投影方法适用于分析带有结构面岩石边坡的局部稳定性。

2) 赤平投影程序方便快捷、概念明确、计算精确, 不但能进行稳定判断, 而且能求得稳定坡角, 对于岩质边坡稳定分析具有工程实用价值。

参 考 文 献

- 1 Hoek E, Bray J W. 岩石边坡工程. 卢世宗等译. 北京: 冶金工业出版社, 1983. 20~32
- 2 Richard E. Goodman. 岩石力学原理及其应用. 王鸿儒等译. 北京: 科学出版社, 1990. 202~207
- 3 孙玉科, 古 讯. 赤平极射投影在岩体工程地质力学中的应用. 北京: 科学出版社, 1980. 50~67
- 4 李中林, 欧阳道等. 矿山岩体工程地质力学. 北京: 冶金工业出版社, 1987.

收稿日期: 2003-11-27