

岩质边坡破裂角确定方法的探讨*

杜太亮, 王桂林, 张永兴

(重庆大学 土木工程学院, 重庆 400045)

摘要:山地城镇在工程建设中面临着许多边坡问题。目前确定岩质边坡破裂角的方法有两种:即《建筑边坡支护技术规范》规定的方法和《工程地质手册》规定的方法,但这两种方法确定的岩质边坡破裂角存在较大差异,本文对这两种方法的理论公式进行推导和做出比较,在FLAC程序数值模拟软岩边坡变形破坏并找出其破裂角的基础上,得出采用《工程地质手册》规定的方法确定岩质边坡破裂角更加合理、安全的结论。

关键词:岩质边坡;破裂角;规范;手册

中图分类号:P642

文献标识码:A

边坡按其岩性组成可分为土质边坡和岩质边坡,在西部地区,特别是重庆地区,存在滑塌危险并急需治理的边坡多为岩质边坡,在岩质边坡的治理设计过程中,首先要假想一个最危险面,边坡岩体最有可能沿此面滑移并破坏,这个假想的潜在危险面就是滑裂面,其与水平面的夹角即为破裂角。如何确定破裂角是决定边坡治理设计是否满足“技术可行、经济合理”要求的关键环节。

在重庆地区,目前确定岩质边坡破裂角的方法目前有两种。方法一:重庆市《建筑边坡支护技术规范》(DB50/5018-2001)规定的方法(以下简称规范法),该方法规定^[1]:对无外倾结构面的岩质边坡,破裂角取 $(45^\circ + \frac{\varphi}{2})$ (φ 为边坡的内摩擦角)。方法二:《工程地质手册》(第三版)规定的方法(以下简称手册法),该方法规定^[2]:经过边坡脚可引出无数条与水平线成 θ_i 角的可能破裂的直线,具有最小安全系数的面称为临界面,此面与水平线所成的角 $\theta_0 = (\frac{\beta}{2} + \frac{\varphi}{2})$ 称为临界角(β 为边坡角的倾角, φ 为边坡的内摩擦角)。

在大量的边坡治理工程中我们发现:用这两种方法确定的岩质边坡破裂角存在较大差异,对工程投资和安全有直接影响。本文就目前使用的确定岩质边坡破裂角的两种方法进行分析并得出比较合理的方法,以期对岩质边坡工程治理设计具有指导意义。需要提出的是,对存在外倾软弱结构面的边坡,其破裂角的确定,规范中另有规定。本文只讨论均质岩质边坡破裂角的确定方法。

1 理论依据

1.1 规范法的理论依据

在宏观分析上,边坡岩体(土体)的三向受力情况可以简化为二向受力,即忽略了中主应力 σ_2 的影响,只取最大主应力 σ_1 和最小主应力 σ_3 进行研究,下面用截面法来研究土体的受力情况。

土体中某点有一单元体,最大主应力 σ_1 ,最小主应力 σ_3 ,CC截面与主平面的夹角为 α ,其受力示意图如图1所示:

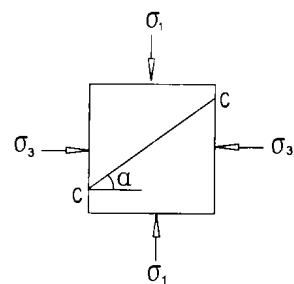


图1 单元体受力示意图

* 收稿日期:2002-04-08

作者简介:杜太亮(1969-),男,重庆合川人,高级工程师,博士生,主要从事岩土工程研究。

σ_1 在 CC 截面上引起的正应力和剪应力分量分别为:

$$\sigma' = \sigma_1 \cos^2 \alpha$$

$$\tau' = \frac{\sigma_1}{2} \sin 2\alpha$$

σ_3 在 CC 截面上引起的正应力和剪应力分量分别为:

$$\sigma'' = \sigma_3 \sin^2 \alpha$$

$$\tau'' = \frac{\sigma_3}{2} \sin 2\alpha$$

由力的迭加原理可得在 σ_1 、 σ_3 同时作用下, CC 截面上的正应力和剪应力为:

$$\sigma_a = \sigma' + \sigma'' = \sigma_1 \cos^2 \alpha + \sigma_3 \sin^2 \alpha = \frac{\sigma_1 + \sigma_3}{2} + \frac{\sigma_1 - \sigma_3}{2} \cos 2\alpha \quad (1)$$

$$\tau_a = \tau' + \tau'' = \frac{\sigma_1}{2} \sin 2\alpha - \frac{\sigma_3}{2} \sin 2\alpha = \frac{\sigma_1 - \sigma_3}{2} \sin 2\alpha \quad (2)$$

将(1)式和(2)式两边分别平方再相加得

$$\left(\sigma_a - \frac{\sigma_1 + \sigma_3}{2} \right)^2 + \tau_a^2 = \left(\frac{\sigma_1 - \sigma_3}{2} \right)^2$$

这是一个以 $(\frac{\sigma_1 + \sigma_3}{2}, 0)$ 为圆心, $r = \frac{\sigma_1 - \sigma_3}{2}$ 为半径的莫尔应力圆, 如图 2 所示, 欲求与主平面成 α 角的某截面 CC 上的应力, 将 CA 反时针旋转 2α 与莫尔应力圆交于 B 点, B 点对应于横、纵坐标即为截面 CC 上的正应力 σ_a 和剪应力 τ_a , 这就是莫尔应力圆的几何意义。

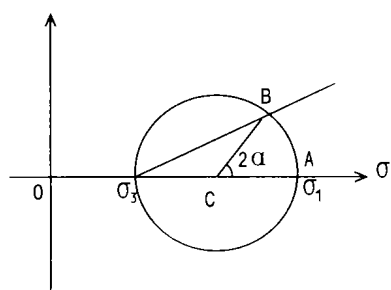


图 2 与主平面成 α 角的莫尔应力图

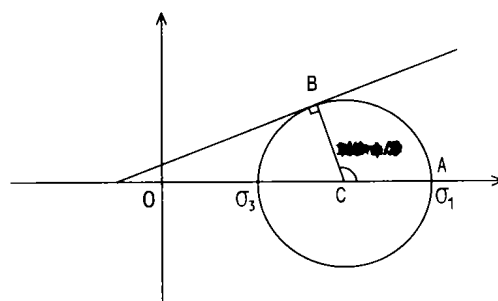


图 3 与主平面成 $(45^\circ + \frac{\varphi}{2})$ 角的莫尔应力圆

一般情况下, 岩体的破坏绝非颗粒的破坏, 而是连续岩体中一定方向面上两边颗粒发生相对移动的结果, 即剪断。土体强度必须满足库仑方程式:

$$\tau = \sigma \tan \varphi + C$$

土体达到极限平衡时, 极限莫尔应力圆的切线就是土体强度线, 如图 3 所示, 由于 B 点是莫尔应力圆与土体强度线的切点, 所以 B 点的应力使土体处于极限平衡状态, 根据莫尔应力圆的几何意义可知: B 点所对应的应力就是与主平面成 $(45^\circ + \frac{\varphi}{2})$ 角的截面 CC 上的应力, 即岩体沿 $(45^\circ + \frac{\varphi}{2})$ 的滑裂面滑移破坏。

1.2 手册法的理论依据

如图 4 所示边坡, 坡角为 β , 坡高为 h , 岩土体重度为 γ , 粘聚力为 C , 内摩擦角为 φ , 滑体重量为 W , 滑动力 $T = W \sin \theta$, 抗滑力 $F = cL + N \tan \varphi$ 。

假设滑体处于极限平衡状态, 由平衡条件 $T = cL + N \tan \varphi$ 及三角函数关系建立:

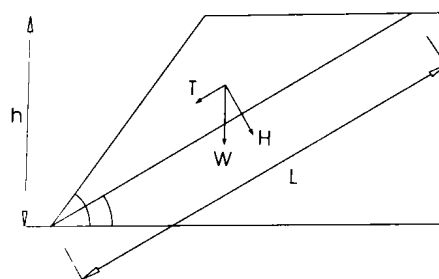


图 4 边坡示意图

$$\begin{cases} \frac{1}{L} W \sin \theta = C + \frac{1}{L} \cos \theta \operatorname{tg} \varphi \\ L = \frac{h}{\sin \theta} \\ W = \frac{\gamma h^2}{2} \frac{\sin(\beta - \theta)}{\sin \theta \sin \beta} \end{cases} \quad (3)$$

解(3)式得

$$C = \frac{\gamma h}{2} \frac{\sin(\beta - \theta) \sin(\theta - \varphi)}{\sin \beta \cos \varphi} \quad (4)$$

将(4)式求导得 $\frac{dc}{d\theta} = \frac{\gamma h}{2 \sin \beta \cos \varphi} \sin(\beta + \varphi - 2\theta)$

令 $\frac{dc}{d\theta} = 0$, 则有 $\beta + \varphi - 2\theta = 0$, $\theta = \frac{\beta + \varphi}{2}$

即岩土体沿 $(\frac{\beta + \varphi}{2})$ 的滑裂面滑移破坏。

2 算例及与数值计算对比分析

下面算例中岩质边坡的参数取自《建筑边坡支护技术规范》(DB50/5018 - 2001)^[1]表 4.3.3: 重度 $\gamma = 23.5$ KN/m³, 粘聚力 $c = 0.25$ MPa, 内摩擦角 $\varphi = 32^\circ$, 变形模量 $E = 1000$ MPa, 泊松比 $\nu = 0.33$, 高度 $h = 30$ m, 边坡开挖前的坡角 $\beta_0 = 30^\circ$, 现分别以 $\beta = 70^\circ, 75^\circ, 80^\circ, 85^\circ, 90^\circ$ 五个不同坡角值开挖该边坡, 如图 5 所示, 用连续介质快速拉格朗日差分法即 FLAC 程序进行模拟边坡变形破坏得到的位移矢量图如图 6~图 10 所示。

位移矢量反应了边坡岩体的稳定程度和滑移趋势^{[3][4]}。从坡脚引一条与位移矢量平行的射线和坡顶相交, 该射线与水平面的夹角在数值上等于该边坡的破裂角。下面列表将两种方法计算的破裂角与数值计算结果进行比较, 见表 1。

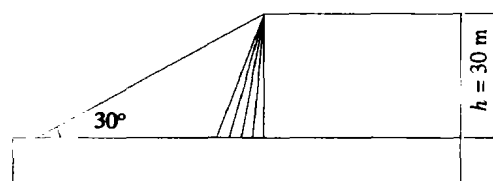


图5 破裂角数值计算简图

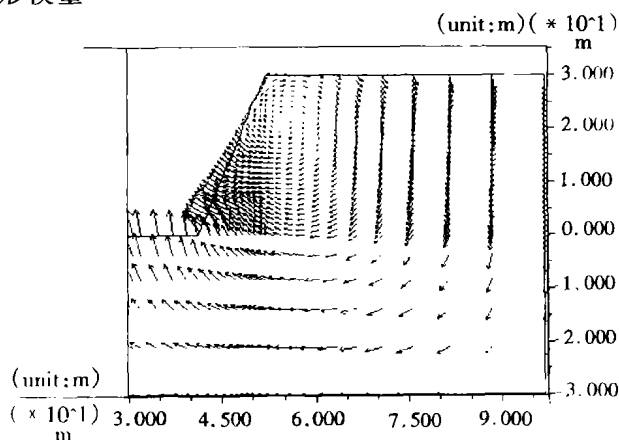


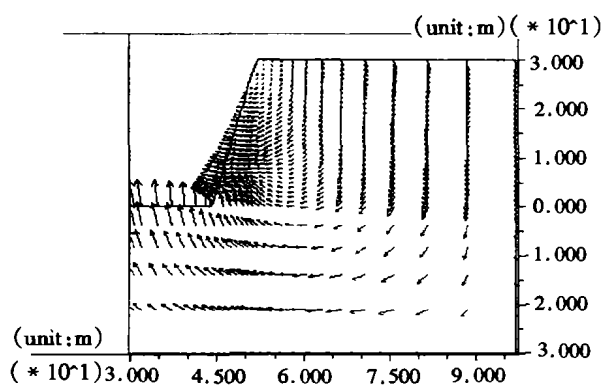
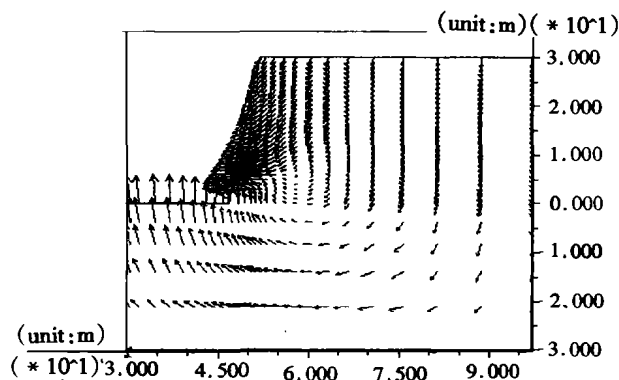
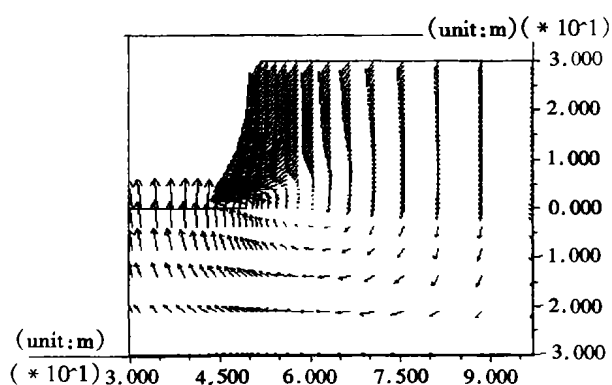
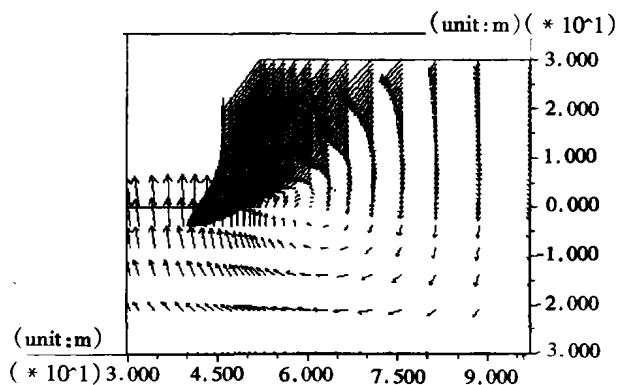
图6 边坡位移矢量图($\beta = 70^\circ$)

表1 两种方法计算破裂角与数值计算结果比较表

坡角 β	规范法($45^\circ + \frac{\varphi}{2}$)	手册法($\frac{\beta}{2} + \frac{\varphi}{2}$)	数值计算结果
70°	61°	51°	46°
75°	61°	53.5°	52°
80°	61°	56°	55°
85°	61°	58.5°	60°
90°	61°	61°	63°

3 主要结论与建议

1) 用手册法确定的边坡破裂角小于或等于用规范法确定的边坡破裂角, 前者较后者在安全性方面更可靠。

图7 边坡位移矢量图($\beta = 75^\circ$)图8 边坡位移矢量图($\beta = 80^\circ$)图9 边坡位移矢量图($\beta = 85^\circ$)图10 边坡位移矢量图($\beta = 90^\circ$)

2) 对同一岩质边坡(为定值),用规范法确定的破裂角为定值,不随坡角的变化而变化;用手册法确定的破裂角,其值随坡角的增大而增大。用两种方法确定的破裂角只有在直立边坡($\beta = 90^\circ$)条件下才相等。但用手册法确定的破裂角与数值计算结果比较相符,更接近边坡变形破坏时的破裂角。

3) 对于均质软岩边坡,建议采用 $(\frac{\beta}{2} + \frac{\varphi}{2})$ 计算并确定其破裂角。

参考文献:

- [1] DB 50/5018-2001,重庆市建筑边坡支护技术规范[S].
- [2] 《工程地质手册》编委会.工程地质手册(第三版)[M].北京:中国建筑工业出版社,1992.
- [3] 王泳嘉.离散单元法同拉格朗日元法及其在岩土工程中的应用[J].岩土力学,1995,16(2):1-14.
- [4] 黄润秋,许强.显式拉朗格日差分分析在岩石边坡工程中的应用[J].岩石力学与工程学报,1995,14(4):346-354.

(下转第32页)