

广东石 露天矿西帮终帮边坡稳定性预测

包惠明

(桂林工学院土木工程系 541004)

李友兴*

(南油深圳开发建设公司)

摘要 该矿西帮边坡变形破坏的主要形式是滑坡, 运用 sarma ~ monte carlo 模拟预测该边坡的稳定性: 正常水位下该边坡稳定系数为 0.89 ~ 0.92, 破坏概率为 85% ~ 87%, 属不稳定边坡; 当坡体排水达 100% 时, 稳定系数为 1.08 ~ 1.12, 破坏概率为 35% ~ 38%。

关键词 边坡; 稳定性; 预测; Sarma ~ monte carl 模拟; 露天矿; 西帮; 广东; 石

分类号 P642.22

石 露天铜矿是我国重要的露采铜矿之一, 位于广东阳春市西 14km 处, 矿坑长约 1400m, 宽约 650m, 呈腰子状, 最大采深 130m, 段高 8m, 终帮边坡角为 $22^{\circ} \sim 38^{\circ}$, 其中西帮终帮边坡角为 $22^{\circ} \sim 25^{\circ}$ 。该矿自开采以来矿坑边坡多处发生明显的变形破坏, 西帮边坡的变形破坏特别突出。目前矿坑的采深约 60m, 西帮中段坡顶已发生拉裂。

由于该边坡没有变形观测资料, 加之目前斜坡稳定性评价或预测中, 多数是根据计算得的边坡稳定系数值来判断该边坡的稳定状态和发展趋势, 事实上, 边坡稳定性评价中的主要指标如岩土体的强度、地下水位等具有随机性, 因而用稳定系数这单一定值难以准确地评价边坡的稳定性, 因此, 本文利用 Sarma 法进行 Monte ~ Carlo 模拟, 对西帮终帮边坡稳定性进行概率预测。

1 西帮边坡的地质条件

西帮边坡坡顶高程为 44m, 顶面平坦, 终帮边坡坡脚处高程为 -44m, 坡面为阶梯状, 一共有 11 个平台, 台面宽一般为 7~9m, 最宽为 37m, 台间段高为 8m, 平均坡角为 $22^{\circ} \sim 25^{\circ}$ 。

边坡主要由石英闪长玢岩、砂卡岩、大理岩及第四系冲积物组成。第四系岩性为粘土、砂及卵石, 厚 5~8m, 分布于边坡的上部。石英闪长玢岩、砂卡岩风化强烈, 强风化带厚度约 20~30m, 分布于该边坡的中、下部, 是西帮边坡的主要物质组成, 大理岩分布于坡脚底部 (图 1)。

矿区水文地质条件较复杂, 开挖成坡后, 边坡的水文地质特征发生明显改变, 边坡中部 20# 堑沟附近有一泉水出露, 中下部有大量泉水出露, 尤其是现今坡脚一带, 高程约 -17 ~

1996 年 10 月 29 日收稿, 1997 年 5 月 28 日改回。

第一作者简介: 包惠明, 男, 1963 年出生, 硕士, 副教授, 岩土工程专业。

*参加该课题研究的还有胡官通, 陈余道, 万志清。

—23m 处，地下水呈带状渗出，Ⅱ号滑坡的勘探资料表明，该地下水埋深一般为 2~4m，地下水类型为孔隙水和基岩裂隙水，含水层为砂卵石层和强风化的石英闪长玢岩和砂卡岩，含水层透水性好，局部因滑坡改变了地下水的径流方式，在滑坡剪出口处地下水以泉的形式向外排泄，在坡脚一带地下水水位埋深很浅，地下水往往呈带状渗出。该地下水主要受大气降雨及人工排水沟的水下渗补给，此外还受采矿强排的影响，地下水动态很不稳定。

2 西帮边坡变形特征

调查发现西帮边坡坡顶发生拉裂，出现一条长约 200~250m 的弧形拉张裂缝，裂缝宽 5~20cm，深大于 2m，1990 年在 20# 堑道处出现多条拉张裂缝，致使硃的堑道被拉断，在坡脚一带多处发生小滑坡，1991 年 20# 堑道以下发生滑动破坏（图 1）。

根据西帮边坡变形破坏特征，西帮边坡破坏的主要模式是滑坡。目前西帮发育有Ⅰ、Ⅱ、Ⅲ号滑坡，其中Ⅰ号滑坡贯穿整个西帮边坡，是西帮终帮边坡最不稳定地段，该滑坡后缘由坡顶弧形拉张裂缝所控制，高程为 44m，前缘至矿湖底，高程约-44m，北侧周界明显，南侧尚未形成统一周界，其周界依调查及资料分析所定，该滑坡长约 260m，宽 300~500m，滑坡面积约 0.104km²。Ⅱ、Ⅲ号滑坡是发育在Ⅰ号滑坡中的次一级滑坡。

3 影响西帮边坡稳定性的因素

3.1 强风化岩体是边坡失稳的物质基础

组成边坡的岩土体主要为石英闪长玢岩和砂卡岩，风化强烈，强风化带厚度可达 20~30m，岩体风化后结构松散，完整性差，强度底，透水性强。采矿剥露后性质进一步恶化，为边坡失稳奠定了物质基础。

3.2 大气降水及地下水的影响

该区属亚热带气候，多年平均降雨量为 2 331.7mm，且属台风影响区，常有暴雨发生，最大日降雨量可达 422.7mm。丰富的

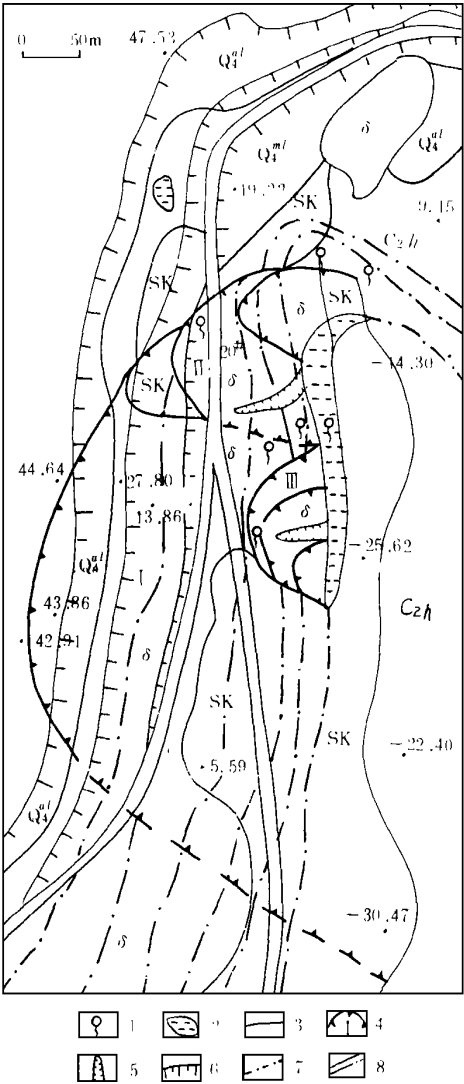


图 1 西帮边坡地质图

Fig. 1 Geological map of Xibang

1—泉水；2—地下水渗出带；3—地质界线；4—滑坡及编号；5—冲沟；6—固定边坡线；7—设计边坡线；8—运输堑道及编号；图中：Q₄^{al}—人工填土；Q₄^{al}—第四系冲积物；C₂h—大理岩；δ—石英闪长玢岩；SK—砂卡岩

降水,加强了水岩的相互作用,特别是采矿开挖成坡后,直接暴露于雨水之下,更有利于水岩的相互作用,1990年9月,西帮边坡上出现多条地表张裂缝也发生于降雨之后,说明降水与边坡变形有明显对应关系。

采矿成坡后,改变了坡体原有的水文地质补排方式,地下水集中向坡体中下部排泄。此外成坡后更有利于雨水、地表水的入渗。使水岩作用的强度、范围和深度增大,至使岩土体软化、泥化,降低其强度,土体强度试验结果表明,水位上: $c=55.1\text{ kPa}$, $\varphi=38.4^\circ$;水位下: $c=24.2\text{ kPa}$, $\varphi=22.4^\circ$ 。水位下的土体强度明显低于水位上的,说明水对边坡稳定性影响非常大。再从 $\tau=(\sigma-u)\tan(\varphi)+c$ (式中: τ 为土体强度, σ 为总应力, u 为孔隙水压力, c 为内聚力) 可知 σ 一定时, u 增大, τ 明显减少。暴雨时雨水、地表水迅速渗入坡体,孔隙水压力急增,土体的抗剪强度突然降低,边坡因此便发生失稳破坏,这就是暴雨诱发边坡失稳的主要原因。该边坡岩土体透水性好,为地表水入渗和地下水作用提供优势的物质条件,非常有利于边坡的变形与破坏。因此,水的作用成为影响西帮边坡稳定的重要因素之一。

3.3 人为影响

采矿开挖成坡,岩土体直接暴露地表,一方面有利于岩土体内的应力释放,另一方面加快岩土体的风化速度,有利于边坡变形的发生和发展,同时也为坡体提供变形空间。此外矿区主要运输堑道通过滑坡区,载重量约 25t 的矿车长期对边坡产生循环加载和振动作用,对边坡稳定性很不利,另外人工排水沟的漏水下渗和采矿放炮都严重影响边坡的稳定性。

4 西帮终帮边坡稳定性预测

4.1 滑坡边界的确定

I 号滑坡地段为西帮终帮边坡不稳定地段,滑动面为强风化带与中风化带的分界面,剪出口可能有两处,一是高程-36m 处石英闪长玢岩与砂卡岩分界面,另一是高程-44m 处砂卡岩与大理岩的分界面(图2)。滑带土的强度指标主要依据 II 号滑坡试验结果确定: $c=41.5\text{ kPa}$, $\varphi=29.08^\circ$, 容重 $\gamma=18.8\text{ kN/cm}^3$, 其它计算参数依据计算剖面(图2)所定。

4.2 Sarma Monte~Carlo 预测

Sarma Monte~Carlo 预测就是利用 Sarma 法计算边坡的稳定系数,然后用 Monte~Carlo 模拟确定边坡的破坏概率。Sarma 法由力学模型及几何模型^[3],可得其计算公式为:

$$k = \frac{a_1 e_1 e_3 \cdots e_n + a_2 e_3 e_4 \cdots e_n + \cdots a_{n-1} e_n + a_n}{p_1 e_2 e_3 \cdots e_n + p_2 e_3 e_4 \cdots e_n + \cdots p_{n-1} e_n + a_n}$$

其中:

$$a_i = Q_i [W_i \sin(\Phi_{Bi} - \alpha_i) + R_i \cos \Phi_{Bi} + S_{i+1} \cdot \sin(\Phi_{Bi} - \alpha_i - \hat{\varphi}_{i+1}) - S_i \sin(\Phi_{Bi} - \alpha_i - \hat{\varphi})]$$

$$e_i = Q_i [\cos(\Phi_{Bi} - \alpha_i + \Phi_{si} - \hat{\varphi}) \sec(\Phi_{si})], \quad p_i = Q_i W_i \cos(\Phi_{Bi} - \alpha_i)$$

$$Q_i = \sec(\Phi_{Bi} - \alpha_i + \Phi_{si} + 1 - \hat{\varphi}_{i+1}) \cos(\Phi_{si+1}), \quad R_i = C_{Bi} d_i \sec(\alpha_i) - U_i \tan(\Phi_{Bi})$$

$$S_i = C_{si} d_i - P W_i \tan(\Phi_{si})$$

边坡的破坏概率由下式确定: $P_f(k < 1) = \int_0^1 f(k) dk$, 式中: P_f 为破坏概率, $f(k)$ 为稳定系数 k 的分布函数。因此, $f(k)$ 可以表示为: $f(k) = f(c, \varphi, \gamma, h \cdots)$, 式中的强度指标 (c 、 φ)、容重 (γ)、地下水位 (h) 等,都是通过测量或试验获得的随机

变量。但难以用同样方法获得大量的标本值, 因而运用 Monte~Carlo 模拟获得。分析表明 γ 对稳定性影响不明显, h 的分布特征难以确定其随机分布表达式, 故本次计算不考虑 γ 的随机性, 对 h 只进行灵敏度分析, c 、 φ 变量的随机抽样表达式根据 Naylor (1966)、Singh 和 Lee (1970) 的研究得:

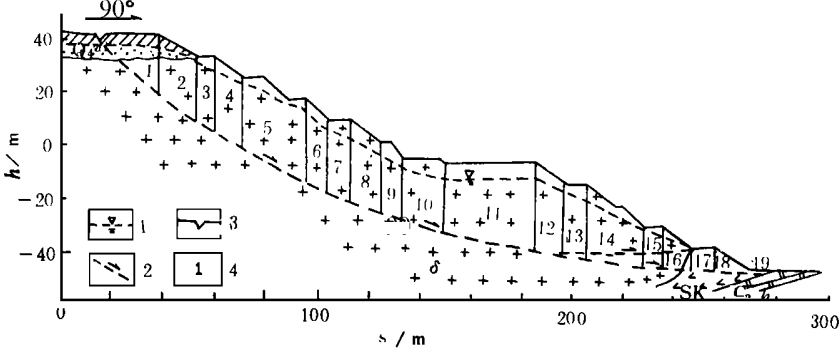


图 2 西帮终帮边坡地质计算剖面图

Fig. 2 Geological and calculation profile of the end slope of Xibang

1—地下水位线; 2—推测滑动面; 3—地面裂缝; 4—条块及编号;

图中: Q_4^{al} —第四系冲积物; δ —石英闪长玢岩; SK—砂卡岩; C_2h —大理岩

$$c=E(x)\left[1+0.4\sum_{i=1}^n(R_i-6)\right]$$
$$\varphi=D(X)\left[1+0.2\sum_{i=1}^n(R_i-6)\right]$$

式中: $E(x)$ 、 $D(x)$ 分别为标本的均值; R_i 为 $[0, 1]$ 区间的随机数。利用上二式对 c 、 φ 进行至少 200 次抽样, 求出 $k < 1$ 的次数 F_1 , 则 $P_f = F_1 / 200$ 。

上述计算均由计算机完成, 其计算框图如图 3 所示, 计算结果可见表 1, 从表中可以看出坡体中地下水疏干程度对边坡的稳定性影响较大。

5 结 论

- (1) 西帮终帮边坡变形破坏的主要形式为滑坡。
- (2) 西帮终帮边坡具有低稳定性数, 高破坏概率, 属潜在不稳定边坡, 在暴雨等因素的诱发下具有整体失稳的可能。
- (3) 坡体中的地下水位变化对边坡的稳定影响较大, 坡体的排水情况好坏, 直接影响边坡的稳定性。加强边坡排水系统设施的建设并确保其功能正常运行, 对边坡稳定具有重要的意义。

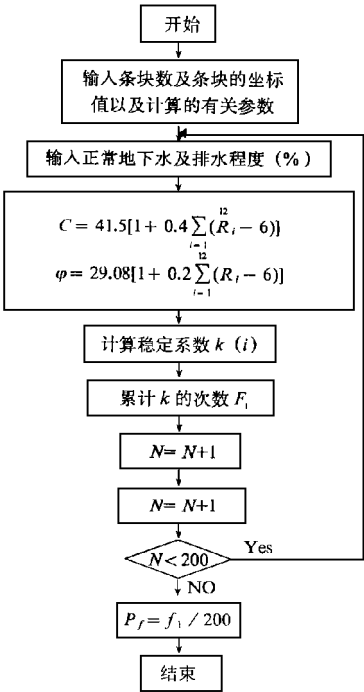


图 3 滑坡破坏概率分析流程图

Fig. 3 The flow chart of probability

analysis of landslide

表 1 I 号滑坡计算结果

Table 2 Calculating results Of No 1 landslide

剪出口位置	正常地下水位		疏干 50%		疏干 100%	
	稳定系数 k	破坏概率 $P_f/\%$	稳定系数 k	破坏概率 $P_f/\%$	稳定系数 k	破坏概率 $P_f/\%$
— 36m 剪出口	0. 92	87	1. 01	72	1. 12	35
— 44m 剪出口	0. 89	85	0. 98	78	1. 08	38

在现场勘察期间得到石 露天矿地测科的大力帮助，在此深表感谢。

参 考 文 献

1 孙玉科. 边坡岩体稳定性分析. 北京: 科学出版社, 1988. 1~159

2 包惠明. 长江三峡黄腊石滑坡稳定性评价. 桂林冶金地质学院学报, 1993. 13 (3); 258~264

3 何满朝, 霍元起. 萨尔码方法及其应用. 长春地质学院学报, 1986. (1); 65~72

STABILITY PREDICTION OF SLOPE OF WEST SLOPE OF SHILU OPEN, GUANGDONG

Bao Huiming
(Guilin Institute Of Technology)
Li Youxing
(Shenzhen Company of Developing Construction, Nangyou)

Abstract The basic model of deformation and destroy of the end of slope of Xibang is analysed in this paper. By using the Sarma~Monte Carlo method predicting the stability of the slope has been made. It is indicated that the stability factor of slope is 0. 89~0. 92 and failure probability is 85%~87% at the normal groundwater level. When the groundwater level is under the sliding surface, the stability factor is 1. 08~1. 12 and failure probability is 35%~38% .

Key Words slpoe ; stability; Sarma ~ Monte Carlo method; open — pit; Guangdong; Shilu