

·岩土工程·

基于剩余推力法的地震滑坡稳定性分析

庄儒新,杨向东,石光炬

(云南省地震工程研究院,云南 昆明 650041)

摘 要:基于剩余推力法来计算滑坡的稳定性,在是否考虑地震力影响的因素下,得出截然不同的结果。因此,地震力是影响滑坡稳定性分析的一个不可缺少的因素。特别是在高烈度地区,以此为依据进行的工程设计更偏于安全。

关键词:滑坡;稳定性;地震力;剩余推力法

中图分类号: TU4 **文献标识码:** B **文章编号:** 1004—5716(2008)04—0001—03

我国是一个地震多发的国家,历史上曾发生过许多次强烈地震,历史地震记载中有关地震引起的崩塌、滑坡记载相当丰富。地震滑坡是地震灾害中的主要次生灾害,强烈地震时,地震诱发的滑坡崩塌灾害,特别是山岳地区,其危害比地震直接造成的还要大^[2]。例如 1933 年 8 月 25 日四川迭溪大地震,引起大滑坡和山崩,摧毁了迭溪镇。

在斜坡的稳定性分析中,有许多的计算方法,如满足整体力矩平衡方法的 Fellenius 法、Bishop 法,满足力矩和力的平衡方法的 Janbu 法、Morgenstern - Price 法、Spencer 法,楔形体法、平面破坏算法、剩余推力法等。其中,剩余推力法尤为人们所常用。

地震对滑坡稳定性的影响,是因为水平地震力使法向压力消减和下滑力增强,促使滑坡易于滑动。因此,在分析边坡稳定性时,特别是在高烈度地区考虑地震力与不考虑地震力的影响,会得出截然不同的结果。

1 剩余推力法的基本原理

剩余推力法在工程上应用较多,方法也较简单,易于编程在计算机上实现。采用剩余推力法对滑坡进行稳定性计算。剩余推力法的基本原理是:在地质分析的基础上,将复杂的问题,通过合理地抽象,得到适宜的模型,选取适宜的参数,进行稳定性的定量计算^[1]。

假设:(1)将各条块视为刚体,条块间有剩余推力;

(2)第 i 条块承受第 $i-1$ 块的剩余推力方向与第 $i-1$ 块滑动面平面。

在计算滑坡推力时,假定滑面宽度为单位宽度,每条块的不平衡推力平行于该条块滑面,不计两侧摩擦力和坡体自身挤压力,分条块通过试算法求滑坡稳定系数。在主剖面上取序号为 i 的一个条块,其上作用有垂直荷载(W_i)和水平荷载(Q_i),前者诸如重力和工程荷载等,后者指指向坡外的水平向地震力 $K_c W_i$ 及水压力

U_i 等^[2]。其力学模型如图 1 所示。

根据图 1 所示力学模型和力的平衡条件,可求得滑块的抗滑力和下滑力,两者之比即为滑块体的稳定系数。本文分无地震力和有地震力两种情况来讨论滑坡的稳定系数,依次来看有无区别。

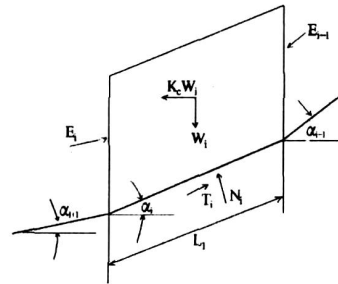


图 1 剩余推力法条块力学模型

1.1 无地震力(仅考虑重力)

第 i 条块的下滑力为:

$$T_i = W_i \sin \alpha_i + E_{i-1} \cos(\alpha_{i-1} - \alpha_i) \quad (1)$$

第 i 条块的抗滑力为:

$$N_i = C_i L_i + W_i \cos \alpha_i \tan \alpha_i + E_{i-1} \cos(\alpha_{i-1} - \alpha_i) \tan \alpha_i \quad (2)$$

剩余下滑力为: $E_i = T_i - N_i$

一般表达式为:

$$E_i = W_i \sin \alpha_i - \frac{1}{K_s} (C_i L_i + W_i \cos \alpha_i \tan \alpha_i) + E_{i-1} \quad (3)$$

$$\alpha_i = \cos(\alpha_{i-1} - \alpha_i) - \frac{1}{K_s} \sin(\alpha_{i-1} - \alpha_i) \tan \alpha_i$$

稳定性系数为:

$$K = \frac{C_i L_i + W_i \cos \alpha_i \tan \alpha_i + E_{i-1} \cos(\alpha_{i-1} - \alpha_i)}{W_i \sin \alpha_i + E_{i-1} \cos(\alpha_{i-1} - \alpha_i)} \quad (4)$$

1.2 有地震力(主要考虑重力、地震力、水压力的作用)

第 i 条块的下滑力为:

$$T_i = W_i \sin \alpha_i + K_c W_i \cos \alpha_i + (U_{i-1} - U_{i+1}) \cos \alpha_i + E_{i-1} \cos(\alpha_{i-1} - \alpha_i) + P_{Di} \cos \alpha_i \quad (5)$$

第 i 条块的抗滑力为:

$$N_i = i L_i + [W_i \cos \alpha_i - K_c W_i \sin \alpha_i - (U_{i-1} - U_{i+1}) - U_i + E_{i-1} \sin(\alpha_{i-1} - \alpha_i) - P_{Di} \sin \alpha_i] \tan \alpha_i \quad (6)$$

稳定系数为:

$$K = \frac{N_i}{T_i} \quad (7)$$

第 i 条块的下滑推力为:

$$E_i = W_i \sin \alpha_i + K_c W_i \cos \alpha_i + (U_{i-1} - U_{i+1}) \cos \alpha_i + P_{Di} \cos \alpha_i + E_{i-1} \cos(\alpha_{i-1} - \alpha_i) - \frac{1}{K_s} \{ [W_i \cos \alpha_i - K_c W_i \sin \alpha_i - U_i - (U_{i-1} - U_{i+1}) \cos \alpha_i + E_{i-1} \sin(\alpha_{i-1} - \alpha_i) - P_{Di} \sin \alpha_i] \tan \alpha_i + C_i L_i \} + E_{i-1} \alpha_i \quad (8)$$

其中, $\alpha_n = \cos(\alpha_{n-1} - \alpha_n) - \frac{1}{K_s} \sin(\alpha_{n-1} - \alpha_n) \tan \alpha_n$

式中: E_{i-1} ——第 $i-1$ 条块作用在第 i 条块的剩余推力;

α_{i-1} ——第 $i-1$ 条块滑面倾角;

$K_c W_i$ ——水平向地震力 (K_c 为比例系数);

α_i ——第 i 条块滑面倾角;

E_i ——第 i 条块剩余下滑力的反力;

U_{i-1}, U_{i+1} ——第 i 条块水压力;

W_i ——第 i 条块滑体重力;

C_i ——第 i 条块滑面内聚力;

L_i ——第 i 条块滑面长度;

α_i ——第 i 条块滑面内摩擦角;

P_{Di} ——作用于第 i 条块的动水压力;

K_s ——安全系;

α_i ——作用于第 i 条块的动水压力 (P_{Di}) 与滑动面之间的夹角。

在计算过程中,若出现 $E_i < 0$,对下一条块取 $E_i = 0$,因为模型假定条块间不承受相互的拉力作用。

2 应用实例

图 2 是新平县挖窖河二级水电站 H_1 滑坡剖面图,影响斜坡稳定的因素主要为斜坡岩土类型和性质、岩体结构、地质构造、风化、水作用、地震和人类工程活动等。新平抗震设防烈度为 度,设计基本地震加速度值为 $0.15g$ 。计算参数根据滑坡滑动带土的性状及室内力学,重力密度,用 H_1 滑坡区钻孔不同深度的土样试验成果,与地表原位测试重度成果,进行平均、分析综合确定。滑带土粘聚力 (c) 和内摩擦角 (α),充分考虑滑带土反复剪试验值,结合反算与同类工程经验综合确定,计算结果重力密度 $= 19.20 \text{ kN/m}^3$,粘聚力 $c = 6.2 \text{ kPa}$,内摩擦角 $= 16^\circ$,无地震 $K_s = 1.12$,有地震 $K_s = 0.99$ (加速度 $0.15g$)。

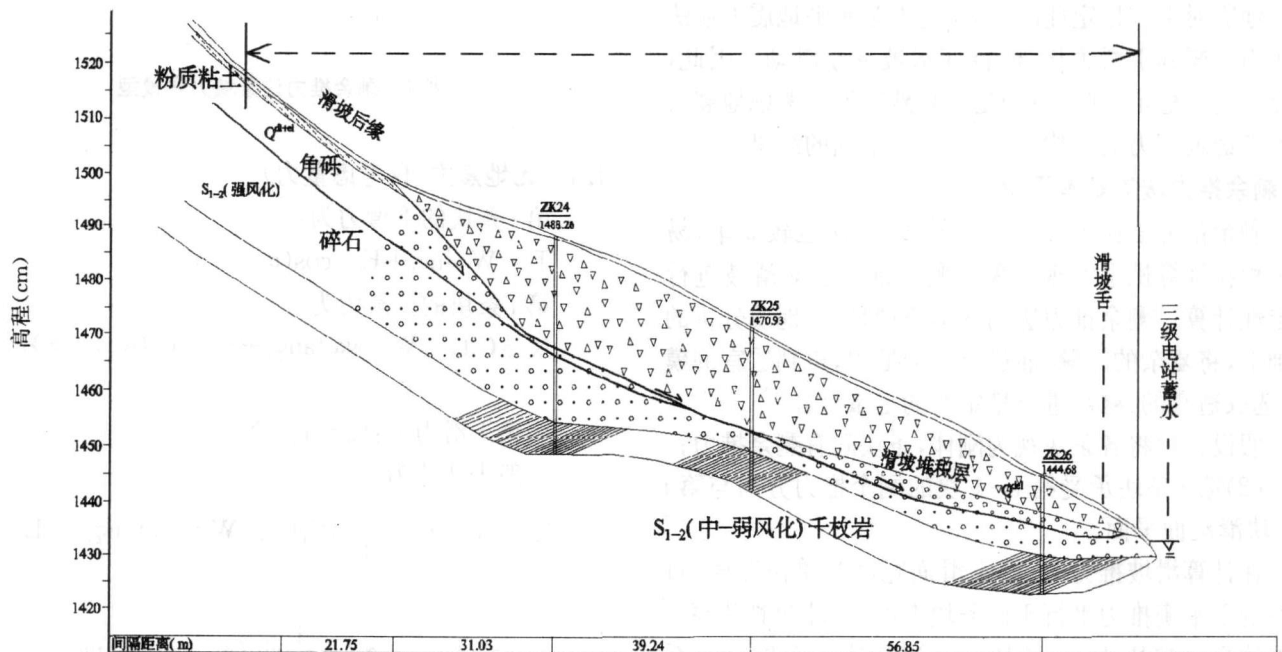


图 2 H_1 滑坡工程地质剖面图

马钢新区土坡失稳机制及土体力学参数的反演

李 强¹, 齐艳新¹, 陈宁华²

(1. 烟台市经济开发区, 山东 烟台 264006; 2. 马鞍山钢铁公司, 安徽 马鞍山 243000)

摘 要:对马钢新区土坡稳定性进行了分析, 确定该边坡整体上不稳定, 根据坡顶张裂缝发育情况, 推测该边坡可能发生圆弧型和平面型两种滑动破坏。根据土体力学强度室内试验结果有时与实际情况存在较大偏差的实际, 结合本边坡已经发生圆弧型滑动破坏的情况, 基于现场量测结果和计算边坡安全系数的条分法, 对边坡的土体力学强度参数采用回归分析法进行了反分析, 最后, 根据土体的强度参数的试验结果和反演结果对边坡的安全系数进行计算, 计算结果表明反演结果更为接近实际情况, 可以作为加固方案设计的依据。

关键词:土坡; 失稳机制; 力学参数; 反演

中图分类号: TU4 **文献标识码:** B **文章编号:** 1004—5716(2008)04—0003—04

马鞍山钢铁股份有限公司拟进行“十一五”技术改造和结构调整项目, 马三峰边坡治理工程为其中项目之一, 治理马三峰边坡的目的是保证边坡北侧焦化厂和东侧电厂(CCCP)的安全运营。马三峰边坡长约 900m, 从边坡开山后边坡走向的差异可以将本边坡分为北坡和东坡, 东坡长 540m, 北坡长 360m。该边坡主要为岩质边坡, 其中, 东坡南端南北向约 50m 长为土坡, 土坡高约 12m, 土体主要为含碎石粉质粘土, 力学强度低, 由于卸荷边坡顶部产生与边坡走向平行的张裂缝, 距坡顶最近的张裂缝距离为 10m, 局部有滑塌现象, 沿土岩接触面有水渗出。

根据边坡岩土力学特性, 按照《建筑边坡工程技术规范》(GB50330 - 2002) 和本边坡的重要性, 确定本边

坡为一级永久边坡。

岩土力学参数的确定对计算作用在边坡支挡结构上侧压力的影响很大, 同时也涉及到支护方案的成本问题, 因此, 力学参数的确定是工程上的一个重要课题, 室内试验固然有一定的参考价值, 但受认为因素影响, 往往造成参数失真, 而反分析法, 越来越受到广大岩土工程工作者的欢迎。在现有的反分析方法中, 各国学者广泛采用现场监测和反分析相结合的方法来确定地层参数^[1-3]。

1 场区地层

根据工程地质调查及外业钻探资料显示, 场地内分布的主要地层为: 第四系残坡积 (Q^{el+dl}) 层及侏罗系 (J) 沉积岩。现将场地内分布的地层从上至下分述如下 (如图 1 所示):

根据 H_1 滑坡的计算参数, 我们按上面的式 (4) 和式 (7) 分别计算, 在不考虑地震力时, 稳定系数为 1.12; 在考虑地震力影响时, 安全系数为 0.99。剩余推力法滑动安全系数一般取 1.05 ~ 1.25。

由此我们可以看出, 当前 H_1 滑坡总体处于稳定状态, 但是滑坡前缘局部陡坡段, 处于基本稳定状态。但是在考虑地震影响时, 把地震力叠加上去时, 稳定系数明显减小, 滑坡处于不稳定状态。因此, 我们在评价边坡稳定性时, 是否考虑地震力的影响很有可能得出截然不同的结果。

3 结论

剩余推力法是一种常用的滑坡稳定性分析方法, 在这种方法的基础上考虑地震力的影响来计算稳定系数

比只考虑基本荷载时得出的结果要小。在高烈度地区, 进行边坡稳定性分析时, 应充分考虑地震力的影响, 来计算边坡的稳定系数, 以此为依据进行的工程设计更偏向于安全。

参考文献:

- [1] 赵桂芳, 姚前元. 运用剩余推力法评估滑坡稳定性[J]. 湖北地矿, 2002, 16(3).
- [2] 黄显贵, 陈植华, 郭英丽. 基于地震力的滑坡稳定性分析[J]. 安全与环境工程, 2005, 12(1).
- [3] 祁生林, 祁生文, 伍法权, 刘春玲. 基于剩余推力法的地震滑坡永久位移研究[J]. 工程地质学报, 2003, 12(1).
- [4] 蔡美峰. 岩石力学与工程[M]. 北京: 科学技术出版社, 2002.