

文章编号: 1008—2786(2000)增—0069—04

关于滑坡推力计算方法的合理性及改进方法的探讨

林 峰, 黄润秋
(地质灾害防治与地质环境保护国家专业实验室, 四川 成都 610059)

摘 要: 滑坡推力大小的可靠性与计算方法有直接关系。本文讨论了传递系数法的适用性, 提出了改进途径和方法; 即用改进的瑞典条分法和江布法来计算滑坡推力, 并推导了相应的计算公式, 对于治理工程设计和评价有一定的指导意义。

关键词: 条分法; 滑坡推力; 传递系数法; 瑞典法; 江布法

中图分类号: P642 **文献标识码:** A

滑坡推力计算在边坡稳定性评价中占有极其重要的地位, 它不但提供了抗滑工程设计所需的滑坡推力, 而且其值的合理性直接关系到抗滑工程是否安全、经济。滑坡推力大小的可靠性主要来源于四个方面: 1. 是否找到了最危险滑面; 2. 是否提供了可靠的强度参数; 3. 是否确定了合理的工况(即荷载组合方案); 4. 计算方法本身的合理性。目前, 对于滑坡推力大小的合理性评价主要集中在前三个方面, 而计算方法则统一用不平衡推力法(即传递系数法)。笔者认为: 前三个方面固然十分重要, 但通过地质人员的细致工作是可以给出可靠性较高的最危险滑面、强度参数和合理的工况的; 相反, 计算方法本身的合理性倒应该值得探讨, 这也是本文的重点。

1 条分法的发展及传递系数法的适用性

条分法自 1919 年被提出以来, 不断得到改进和广泛应用。在极限平衡的假定下, 边坡的稳定性计算是一个超静定问题^[1~3], 目前, 关于条间作用力的简化方案基本上涵盖了各种可能的方面。简化假定的合理性要求, 首先由摩根斯坦提出:^[1,3] 1. 在土条分界面上不违反土体破坏准则, 即条分界面上的安全系数不应大于滑面上的安全系数; 2. 条间不允许出现拉力。条分法广泛应用的结果表明, 基于各种简化假定的条分法, 在满足合理性要求的前提下, 求得的安全系数相差不大, 甚至非常接近^[1]。

传递系数法假定条块 i 的下滑推力 P_i 平行于该条块的底滑面, 这一假定实质上是认为条块 i 在极限平衡条件下的运动趋势只能是平动, 而否认了条块由于受力不平衡还有转动趋势, 而这种转动趋势不但会使条间作用力的方向偏离上述假定, 条间的实际作用力可能更大。在实际应用中, 当滑面较陡或不规则时, 在用该方法计算稳定性系数时, 常会出现不满足合理性要求的情况。显然, 当该方法不能用于稳定性计算时, 用其进行滑坡推力计算同样也是不合适的。

2 滑坡推力计算的改进方法

滑坡推力计算的改进方法可以从两个方面来进行: 一是利用适用性更广的其它方法; 二是对传递系数法条间作用力的方向进行修正, 使其有更广的适用性。

2.1 利用其它方法计算滑坡推力

由于瑞典条分法和江布法都具有普遍的适用性, 可以考虑应用这两种方法来计算滑坡推力。

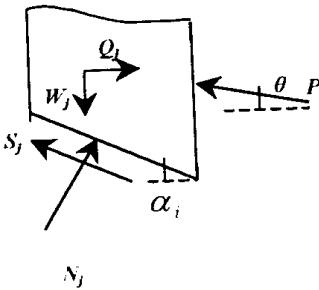


图 1 条块受力图
Fig. 1 the bearing slice

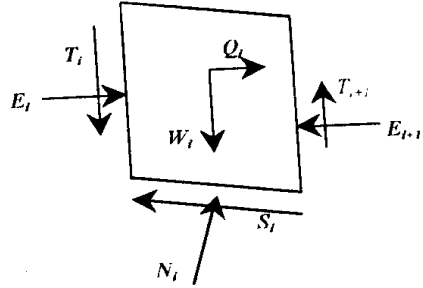


图 2 条块受力图
Fig. 2 the bearing slice

1. 利用瑞典条分法计算滑坡推力

由于该方法假定条间无作用力, 不能直接用于计算滑坡推力。改进的方法是在预定的部位加上作用力 P 。设 P 与水平面的夹角为 θ , 则坡体的稳定性系数 F_s 为

$$F_s = \frac{\sum_{j=1}^N (W_j \cos \alpha_j - Q_j \sin \alpha_j) \operatorname{tg} \phi_j + \sum_{j=1}^N C_j L_j + P \sin(\alpha_i - \theta) \operatorname{tg} \phi_i}{\sum_{j=1}^N (W_j \sin \alpha_j + Q_j \cos \alpha_j) - P \cos(\alpha_i - \theta)} \quad (1)$$

将方程(1)变换为

$$P = \frac{F_s * F_x - F_k}{\sqrt{F_s^2 + \operatorname{tg}^2 \phi_j} \cos(\alpha_j - \theta - \beta)}$$

式中 $F_x = \sum_{j=1}^N (W_j \sin \alpha_j + Q_j \cos \alpha_j)$, $F_k = \sum_{j=1}^N (W_j \cos \alpha_j - Q_j \sin \alpha_j) \operatorname{tg} \phi_j + \sum_{j=1}^N C_j L_j$, $\beta = \arctan(\frac{\operatorname{tg} \phi_i}{F_s})$

各变量含义: α_j 为第 j 条块底滑面倾角; W_j 为第 j 条块自重; Q_j 为第 j 条块所受的水平外力; C_j 、 ϕ_j 为第 j 条块底滑面的强度参数, 分别为内聚力和内摩擦角; L_j 为第 j 条块底滑面的长度。

当 $\theta = \alpha_j$ 时, 即认为剩余下滑力与底滑面平行, 方程简化为: $P = F_x - (F_k / F_s)$ 而当, $\alpha_j = \theta + \beta$, P 有最小值。针对不同的快体, 可以算出不同的 θ 值和 P 值。

2 利用江布法求滑坡推力

江布法假定了条间作用力的位置(一般在离滑面 $(1/3 \sim 1/2)H$ 处), 不妨记作用点离滑面的距离为 H , 滑面高差 Δh , 条块重心与底滑面中心的垂直距离为 Z , 一般总是假定条块重心、底滑面合力作用点与底滑面中点在同一铅直线上(图 2)。条块满足力的平衡条件^[4]

$$\sum X_i = 0 \quad E_i - E_{i+1} + N_i \sin \alpha_i - S_i \cos \alpha_i + Q_i = 0 \quad (2)$$

$$\sum Y_i = 0 \quad T_{i+1} - T_i + N_i \cos \alpha_i + S_i \sin \alpha_i - W_i = 0 \quad (3)$$

以底滑面中心为矩心

$$\begin{aligned} \sum M_i = 0 \quad & E_i(H_i + \frac{\Delta h_i}{2} + QZ_i - (T_i + T_{i+1}) \frac{L_i \cos \alpha_i}{2} \\ & - E_{i+1}(H_{i+1} - \frac{\Delta h_i}{2})) = 0 \end{aligned} \quad (4)$$

此外, 在底滑面上满足摩尔—库仑准则

$$S_i = N_i \frac{\operatorname{tg} \phi_i}{F_s} + \frac{C_i L_i}{F_s} \quad (5)$$

联立(2)、(3)、(4)、(5)式, 得到如下迭代格式

$$E_{i+1}=E_i+N_i(\sin\alpha_i-\frac{\operatorname{tg}\phi_i}{F_s}\cos\alpha_i)-\frac{C_iL_i}{F_x}\cos\alpha_i+Q_i$$
$$T_{i+1}=T_i-N_i(\frac{\operatorname{tg}\phi_i}{F_s}\sin\alpha_i-\cos\alpha_i)-\frac{\operatorname{tg}\phi_i}{F_x}\sin\alpha_i+W_i$$
$$N_i=\frac{E_i(H_i-H_{i+1}+\Delta h_i)-T_iL_i\cos\alpha_i+A_i}{\frac{1}{2}L_i\cos\alpha_i(\cos\alpha_i-\frac{\operatorname{tg}\phi_i}{F_s}\sin\alpha_i)+(H_{i+1}-\frac{\Delta h_i}{2})(\sin\alpha_i-\frac{\operatorname{tg}\phi_i}{F_s}\cos\alpha_i)}$$

其中

$$A_i=QZ_i+\frac{L_i\cos\alpha_i}{2}(\frac{\operatorname{tg}\phi_i}{F_s}\sin\alpha_i-W_i)+(\frac{C_iL_i}{F_s}\cos\alpha_i-Q_i)(H_{i+1}-\frac{\Delta h_i}{2})$$

则条间作用力为: $P_{i+1}=\sqrt{E_{i+1}^2+T_{i+1}^2}$, 作用力与水平面间的夹角: $\theta=\arctg\frac{T_{i+1}}{E_{i+1}}$ 。

在剩余下滑力计算时, 通过对条间极限承载力的检验, 可以大体判断治理工程在坡体上的部位和应采取的治理措施。

2.2 修正传递系数法

修正传递系数法实际上就是要对条间作用力的方向假定进行修正。根据潘家铮提出的滑坡极限分析的极大值和极小值原理, 可以考虑用瑞典条分法对每一条块计算出的 θ 值作为条间作用力方向, 也可以用江布法计算的 β 值作为条间作用力的方向。

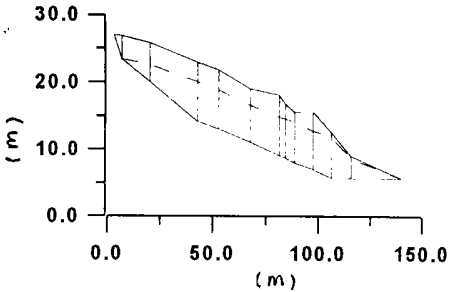


图3 计算剖面
Fig.3 calculation profile

3 实例分析

以贵州某滑坡为例, 计算剖面如图 3 计算参数及结果见表 1。对于该滑坡而言, 传递系数法给出了较小的滑坡推力。瑞典条分法和江布法的计算结果均表明, 条间作用力的方向与相应处的滑面倾角有较大差异。

表 1 计算结果及主要参数
Table 1 the major parameters and calculation result

条块 编号	瑞典条分法			江布法		传递系数法	滑面倾角 α
	P/KPa ($\theta\neq\alpha$)	θ (度)	P/KPa ($\theta=\alpha$)	P/KPa	θ (度)	不平衡 推力 P/KPa	
1	518.97	41.99	520.27	199.40	20.42	85.8311	46.04
2	518.97	9.96		511.03	-3.32	153.515	14.01
3	518.97	10.59		1608.11	8.75	569.178	14.64
4	517.97	2.33		1517.61	-3.11	760.759	6.39
5	513.97	-1.60		1148.50	20.20	874.794	7.59
6	513.97	-1.41		913.67	-16.18	906.572	7.78
7	513.57	-2.17		1045.82	37.96	882.782	7.03
8	513.57	0.26		973.24	-18.97	796.183	9.46
9	513.57	-2.68		1002.96	26.65	642.742	6.51
10	513.57	-1.07		770.60	-16.61	768.041	8.13
11	513.57	-8.29		525.48	44.79	743.898	0.90
12	513.57	-9.20		608.57	-34.39	465.223	0.00

注 天然容重: $19.8(kN/m^3)$; $C=13\sim16(KPa)$, $\phi=(4.86^\circ\sim11^\circ)$, 地震系数: 0.075, $F_s=1.2$

4 结论及建议

极限平衡条分法因简化假定的不同而产生多种计算方法, 在满足合理性要求的前提下, 各种方法给出近似相等的结果。传递系数法假定了合力的方向, 条块一般不能满足力矩平衡条件, 使推力计算结果可能偏小, 这对于治理工程来说是不能忽视的潜在危险。由于极限平衡理论本身的不足, 建议进行治理工程设计和评价时, 运用其它方法进行平行评价, 综合多种评价结果进行最后方案的确定, 以确保治理工程的安全可靠和经济。

参考文献:

- [1] 钱家欢, 殷宗泽主编. 土工原理与计算(第二版)[M]. 北京: 中国水利水电出版社, 1996, 302~345
- [2] 林峰, 黄润秋. 边坡稳定性极限平衡条分法的探讨[J]. 地质灾害与环境保护, 1997, 12(4), 7~13
- [3] 陈祖煜. 边坡稳定性分析极限平衡分析法的改进和应用(申请清华大学工学博士学位)[D], 1991
- [4] 张天宝著. 土坡稳定分析和土工建筑物的边坡设计[M]. 成都: 成都科技大学出版社, 1987

STUDY ON RATIONALITY OF THE METHOD OF LANDSLIDE THRUST FORCE CALCULATION AND ITS IMPROVEMENT

LIN Feng, HUANG Run-qiu

(*National Laboratory of Geological Hazard Prevention, Chengdu 610059*)

Abstract: The reliability of the value of landslide thrust force is directly relevant to its calculation method. In this paper, the applicability of transfer coefficient method is discussed and its improvement path and method are put forward as follows: landslide thrust force can be calculated through improved Swedish method and Jabu's method, the corresponding formulas are deduced. These will benefit to prevention project design and evaluation.

Key word: slice method; landslide thrust force; transfer coefficient method; Swedish method; Jabu's method