

Excel 在非圆弧滑动面边坡稳定计算中的应用

巫朝新¹, 陈源海²

(1. 福建水利电力职业技术学院, 福建 永安 366000; 2. 福建省九龙江北溪供水局, 福建 龙海 363107)

关键词 非圆弧滑动面 边坡稳定 推力线 稳定安全系数 Excel
中图分类号 :TU443 文献标识码 :B 文章编号 :1006-764X(2003)07-0062-02

在边坡稳定分析中,均匀粘性土的滑动面接近圆弧或对数曲线的简单曲面.这两种曲面计算结果很相近,为简便起见,通常就假定破坏面为圆弧滑动面.但在实际中,有不少情况滑动面的形状呈折线形,在这些情况下就不能采用圆弧滑动面,只能采用非圆弧滑动面的詹布法进行计算.

1 非圆弧滑动面的詹布法计算公式^[1]

图 1 是土坡断面的一般情况,土坡面是任意的,其上作用着各种荷载,滑动面也是任意的.图中的推力线是指土条两侧作用力合力作用点的位置.詹布法也是把滑动体竖直分条,土条上的作用力如图 2 所示.则滑动面的稳定安全系数为

$$K_s = \frac{\sum [(W_i + \Delta T_i - u_i b_i) \tan \varphi'_i + c'_i b_i] \frac{1}{m_{ai} \cos \alpha_i}}{\sum (W_i + \Delta T_i) \tan \alpha_i}$$

(1)

式(1)及图 2 中: b_i 为土条水平宽度, m ; L_i 为土条滑动面弧长,一般取直线长, m ; W_i 为土条重, kN ; N_i , T_{si} 为滑动面上的法向力及切向力, kN ; E_i , $E_i + \Delta E_i$, T_i , $T_i + \Delta T_i$ 为土条两侧面上的法向力及切向力, kN ; α_i 为土条滑动面与水平轴的夹角 ($^\circ$); α_t 为两相邻土条分条线处推力线与水平轴的夹角,共 $n - 1$ 个 (n 为分条数) ($^\circ$); h_t 为两相邻土条间推力线到滑动面的距离,共 $n - 1$ 个, m ; u_i 为孔隙水压力, kPa ; φ'_i 为滑动面上土层有效应力的内摩擦角 ($^\circ$); c'_i 为滑动面上土的粘结力, kPa ; $m_{ai} = \cos \alpha_i + \sin \alpha_i \tan \varphi'_i$.

为计算方便,式(1)的安全系数公式可简写为

$$K_s = \frac{\sum A'_i}{\sum B_i} = \frac{\sum A_i}{\sum B_i}$$

(2)

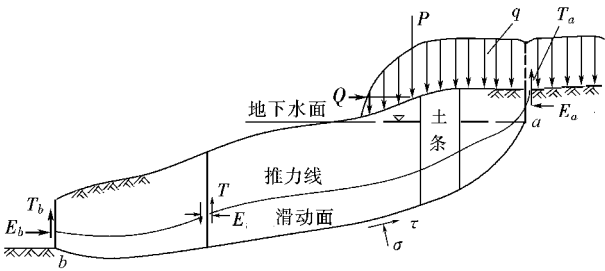


图 1 土坡断面

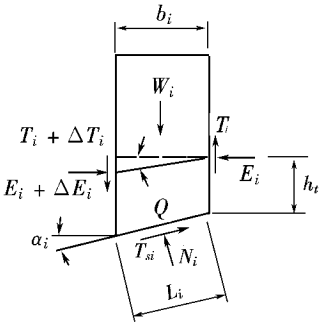


图 2 土条受力示意图

2 Excel 应用实例

下面用詹布法在 Excel 中计算图 3 所示非圆弧滑动面的边坡稳定安全系数.已知边坡高度为 11 m,边坡坡度为 1 : 2.5,土体容重为 20 kN/m³, $\tan \varphi' = 0.67$, $c' = 10 \text{ kPa}$, $u = 0.4rh$.

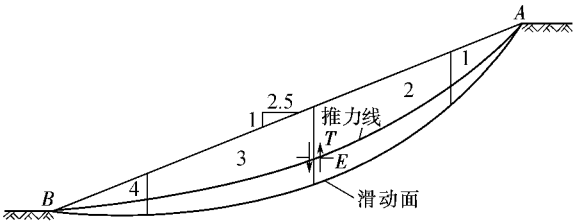


图 3 非圆弧滑动面

作者简介 巫朝新(1960—),男,福建宁化人,高级讲师,从事土力学教学与研究.

2.1 计算数据

根据边坡及滑动面形状,为简化计算,将滑动土块分为4条,用 AutoCAD 按比例 1 : 100 比例绘图,从图上量得各分条数据(见图 4 中表 1 和表 3 中的 b_i , α_i , $\tan\alpha_i$ 及 h_i).

2.2 计算公式和计算步骤

因电子表格软件 Microsoft Excel^[2] 具有快捷方便的数据输入方式和强大的数据处理能力,所以本例计算均在 Excel 表格中自动完成.

第一轮计算:令 $\Delta T_i = 0$,但式(2)中的 n_{ai} 仍包含待求的 K_s 值,詹布建议在第一轮计算 n_{ai} 时采用 K_0 ,即

$$K_0 = \frac{\sum [(W_i - u_i b_i) \tan \varphi_i' + c_i' b_i]}{\sum W_i \tan \alpha_i} = \frac{\sum A_0'}{\sum B_0}$$

则

$$K_1 = \frac{\sum A_0}{\sum B_0}$$

具体计算见图 4 中的表 2.

第二轮计算:首先用第一轮算得的 K_1 值代入下式算出 ΔE_1 :

$$\Delta E_1 = B_0 - \frac{A_0}{K_1}$$

然后利用 ΔE_1 求 ΔT_1 ,即

$$\Delta T_1 = T_{i+1} - T_i$$
$$T_i = \left(\frac{\Delta E_1}{b} \right)_i h_i - E_i \tan \alpha_i$$

式中 $\left(\frac{\Delta E_1}{b} \right)_i$ 取平均值,即

$$\left(\frac{\Delta E_1}{b} \right)_i = \frac{\Delta E_i + \Delta E_{i+1}}{b_i + b_{i+1}}$$

最后即可算出 K_2 ,具体计算见图中的表 3.

第三轮计算:将 K_2 代入 K_1 即可算出 K_3 ,依此循环代入,当相邻两 K 值的误差小于或等于 0.005 时,即可结束计算.本例第三、四轮算得的安全系数为: $K_3 = 1.493$, $K_4 = 1.498$,所以本例最终安全系数为 1.498.

- Excel 计算表格中的各单元格建立公式如下:
- a. 选择 D3 单元格,在编辑栏输入“=tanC3”,用 D3 单元格的填充句柄建立 D4~D6 单元格公式.
 - b. 选择 B10 单元格,在编辑栏输入“=H3 * D3”,用 B10 单元格的填充句柄建立 B11~B13 单元格公式.
 - c. 选择 D10 单元格,在编辑栏输入“=(H3 - J3) * K3 + L3 * B3”,用 D10 单元格的填充句柄建立 D11~D12 单元格公式.
 - d. 选择 F10 单元格,在编辑栏输入“=SUM (D10 :D13)/SUM(B10 :B13)”,即得 K_0 值.
 - e. 选择 F15 单元格,在编辑栏输入“=SUM (H10 :H13)/SUM(B10 :B13)”,即得 K_1 值.
 - f. 选择 G10 单元格,在编辑栏输入“=1/(E3 + F3 * K3/F10) * E3”,用 G10 单元格的填充句柄建立 G11~G13 单元格公式.
 - g. 选择 E19 单元格,在编辑栏输入“=E18 + C18”.
 - h. 选择 E21 单元格,在编辑栏输入“=E19 + C20”.
 - i. 选择 E23 单元格,在编辑栏输入“=E21 + C22”.
 - j. 选择 F19 单元格,在编辑栏输入“=(C18 + C20) * (B3 + B4)”.
 - k. 选择 F21 单元格,在编辑栏输入“=(C20 + C22) * (B4 + B5)”.

F27		=(N18+N20+N22+N24)/(K18+K20+K22+K24)											
A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N
1	表1												
2	分条	b_i	α_i	$\tan \alpha_i$	$\cos \alpha_i$	$\sin \alpha_i$	h_i	$W_i = \gamma b_i h_i$	$u_i = 0.4 \gamma h_i$	$u b_i$	$\tan \phi_i'$	c_i'	
3	1	4.4	48.5	1.130	0.663	0.749	2.65	23.32	2.12	9.33	0.67	1	
4	2	11	26.57	0.500	0.894	0.447	5.05	111.10	4.04	44.44	0.67	1	
5	3	11	10.2	0.180	0.984	0.177	4.3	94.60	3.44	37.84	0.67	1	
6	4	6	-2.3	-0.040	0.999	-0.040	1.45	17.40	1.16	6.96	0.67	1	
7													
8	表2												
9	分条	$B_0 = W_i \tan \alpha_i$	$A_0' = (W_i - u_i b_i) \tan \phi_i' + c_i' b_i$		K_0	$1/n_{0i}$	$A_0 = A_0' / n_{0i}$						
10	1	26.358	13.775		1.338	1.454	20.034						
11	2	55.562	55.662			1.000	55.649						
12	3	17.021	49.029			0.947	46.433						
13	4	-0.699	12.995			1.022	13.283						
14													
15					$K_1 = 1.378$ (第 i 轮循环后的安全系数)								
16	表3												
17	分条	A_0/K_1	$\Delta E_i = B_{0i} - A_{0i}/K_1$	E_i	$\Delta E_i/b_i$	$\tan \alpha_i$	h_i	T_i	ΔT_i	B_i	A_i'	n_{ai}	A_i
18	1	14.54	11.822	0	—	—	0	0	-5.343	20.319	10.195	0.680	14.985
19				11.822	1.75	0.63	1.2	-5.343	-3.690	53.716	53.190	0.994	53.469
20	2	40.38	15.184	27.006	-0.07	0.33	1.8	-9.034	5.632	18.035	52.803	1.053	50.128
21				10.337	-1.59	0.16	1.1	-3.401	3.401	-0.835	15.274	0.979	15.603
22	3	33.69	-16.670	0	—	—	0	0					
23	4	9.64	-10.337										
24													
25													
26													
27					$K_2 = 1.471$ (第 i+1 轮循环后的安全系数)								

图 4 Excel 计算表格 (下转第 66 页)

话框,运行人员只有在条件满足并通过确认后才能执行,这既可减少人员误操作,亦可避免无关人员的操作而发生事故,提高运行的可靠性。

d. 提高了事故处理能力。由于计算机监控系统详细记录开关设备状态、电气模拟量、继电保护动作的情况和时间分辨等,而且有事故追忆功能,且分析事故、查找事故原因迅速,避免了常规保护需通过人工检查的方法才能判断和实现的麻烦。

e. 控制操作简单。与常规监控方式相比,计算机监控系统设备没有了常规、繁琐的操作步骤,减轻了运行管理人员的劳动强度,同时计算机监控系统在中心控制室集中监控,改善了运行人员的工作环境。

f. 传统水电站的二次设备多数采用电磁式或晶体管式,不但体积大而且笨重。采用计算机监控系统后,改变了传统的二次设备模式,减少了连接电缆和控制室的面积,降低了工程造价。

4 必须妥善解决的几个问题

a. 计算机监控系统和常规系统重复设置,会造成资源浪费。部分采用了计算机监控系统的电站同时又设置了一套完整的常规系统,造成资源浪费。为使电站可靠运行,部分重要功能需重复设置,以供备用,但对于小型水电站,由于受规模和投资的限制,不宜采用投资太大的重复设置,建议采用计算机监控为主,仅保留简化的常规设备作为后备,这样当监控系统因故退出时,能由简化的常规设备控制,保证机组正常运行。

b. 系统中的各测量元件,特别是担负非电量信

号测量的各类变送器,应选用质量可靠、精度较高的元件,确保各运行参数测量的准确性。

c. 提高计算机监控系统的抗干扰能力,提高系统的可靠性。由于水电站大多处于山区土壤贫瘠地区,接地系统情况恶劣,对接地要求较高的自动化系统易受雷电的破坏,计算机监控系统应具有完善的防雷击过压装置,有效避免此类破坏对系统的威胁。

d. 加强人员培训,提高电站运行人员的素质。供货厂家要在人员培训、设备售后服务等方面为业主提供长期的、更多更好的服务,以保证设备的安全运行。

5 结 语

虎跳水电站是茂名市第一个全面采用计算机监控系统技术的电站,系统建成后改革了传统的运行值班方式和管理制度,对加强水电站主、辅设备的安全监视和为水电站的“减人增效”,全面提高电力企业的经济效益提供了重要的技术保障,成为茂名市新一代电站的示范点,对提高茂名市电站的运行管理水平,推动茂名市水电行业的科技创新,实现水利现代化等起到了很好的示范作用。在虎跳水电站的带动下,茂名市目前多个电站如三角湾电站、石印电站、扶参电站,也拟采用计算机监控系统技术。相信不久的将来,茂名市小水电的自动化水平和现代管理水平将跃上一个新的台阶。

参考文献:

[1] LJ705-81,水利工程项目编制定员试行标准[S].
(收稿日期 2003-03-17 编辑 熊水斌)

(上接第 63 页)

l. 选择 F23 单元格,在编辑栏输入“=(C22 + C24)/(B5 + B6)”。

m. 选择 J18 单元格,在编辑栏输入“=I19 - I18”。

n. 选择 J20 单元格,在编辑栏输入“=I21 - I19”。

o. 选择 J22 单元格,在编辑栏输入“=I23 - I21”。

p. 选择 J24 单元格,在编辑栏输入“=I25 - I23”。

q. 选择 F27 单元格,在编辑栏输入“=(N18 + N20 + N22 + N24)/(K18 + K20 + K22 + K24)”,即得 K_2 值。

类似地,其他单元格公式可根据各单元格的内容键入其所对应的公式表达式。

选择 F15 单元格,在编辑栏输入 F27 单元格的数值,即可得出下一轮的安全系数值。依此循环修改

F15 单元格的数值,直到满足精度要求为止,则最后一次的 K_2 值就是所求的安全系数。

3 结 语

本文介绍了电子表格软件 Microsoft Excel 在迭代法计算非圆弧滑动面边坡稳定计算中的应用,具有输入方便、计算精度高,及中间结果在表中一目了然等优点,在工程设计中有一定的推广价值。

参考文献:

[1] 冯国栋,土力学[M].北京:水利水电出版社,1998.
[2] 谢国锋,邢庆子,Excel 2000 入门与提高[M].北京:清华大学出版社,1999.

(收稿日期 2002-11-28 编辑 熊水斌)