重力坝抗滑稳定分析电子表格法使用手册

1 概述

重力坝深层抗滑稳定问题是重力坝设计中的一个重要领域,双滑面抗滑稳定是重力坝 是深层抗滑稳定中最常见的滑动模式。对于这一模式,工程设计中常用的分析方法为"等 K法"。然而"等K法"要求左右两个滑块的安全系数相同,而这个安全系数的定义则是 由公式编制者提出的,在理论上尚有不足之处。当滑裂面为多个直线构成的折线时,"等K 法"很难实施。由设计单位组织的各院校和研究单位均采用边坡稳定分析的条分法来分析 这一问题,虽争论颇多,但刚体极限平衡法因其概念清晰明确,目前已积累大量的工程实 践经验,有相对成熟的标准。本程序理论基础为Donald 和 Chen 提出的塑性力学上限解法, 经过理论证明,这一方法和 Sarma 法是等价的。能量法只是通过虚功原理用了一种简捷的 方法获得安全系数的解答,同时,将这一方法与塑性力学上限定理挂钩,使其获得严格的 理论基础。换句话说,使用本程序计算所得的就是 Sarma 法的成果。

Sarma 程序是在微软的 EXCEL 基础上利用其计算功能和 Excel 内嵌编程语言 VBA 开发的边坡稳定分析电子表格。

本说明书介绍 Sarma 程序与数据捕捉程序 Stab_getpt.LSP 的使用方法。其计算方法 及选取依据见附录。

2 基本原理

2.1 安全系数定义

在实际工程中我们所分析的对象往往是一个具有一定安全储备的结构,分析这样一个 结构稳定性的提法一般是这样的:对某一处于稳定的结构,需要一个多大的外部干扰因素, 方可将其过渡到极限状态。考虑 Sarma 程序可能应用的各个领域,通常有三种处理方案:

(1) 方案 1。如果边坡表面作用荷载 T⁰, 那么,可以将这个荷载增加到直至破坏,此时的荷载为 T,定义加载系数为:

$$\eta = \eta_{t} = \frac{T - T^{0}}{T} \tag{1}$$

这一方案应用于地基承载力领域。

(2) 方案 2。极限状态是通过施加一个假想的水平体积力 η_bW 来实现的。其中 W 为滑 坡体的自重, η_b 为临界加速度。这种方法在边坡问题中较为适用。这一方案首先由 Sarma 提出。

(3) 方案 3。定义安全系数 F 是这样的一个数值:如果材料的抗剪强度 c '与 ø 指标按 F 缩减为 c'a 与 ø'a,则边坡处于极限状态。

$$c_{e} = c / F \tag{2}$$

$$\tan\phi_{a} = \tan\phi'/F$$

对于方案(1)与方案(2),我们可以通过一个显式求出一系列的 η_t 或 η_b 。采用方案3时, F常以隐式出现在求解的方程式中,需要进行迭代。通常的作法是,先假设一系列的F值, 按式(2)和(3)确定 c_e 和 tan ϕ_e 。如前所述,我们可以不通过迭代分别求得相应的 η_t 或 η_b 。在 这一系列的 η_i 或 η_b 中找到其值为零的F值。如图 1所示。



图 1. 通过 η_i 或 η_b 计算计算安全系数 F

2.2 边坡稳定分析的 Sarma 法

Sarma 法计算简图如图 1.2 示。假定条块的底面和侧面均达到极限平衡。则可通过静力平衡条件获得上节"方案 2"定义的临界加速度 η_b ,

$$\eta_b = \frac{\alpha_n + \alpha_{n-1}e_n + \alpha_{n-2}e_ne_{n-1} + \dots + \alpha_1e_ne_{n-1}\dots e_3e_2}{p_n + p_{n-1}e_n + p_{n-2}e_ne_{n-1} + \dots + p_1e_ne_{n-1}\dots e_3e_2}$$
(4)

其中:

$$\alpha_{i} = \frac{W_{i}\sin(\phi_{i}'-\alpha_{i}) + R_{i}\cos\phi_{i}' + S_{i+1}\sin(\phi_{i}'-\alpha_{i}-\delta_{i+1}) - S_{i}\sin(\phi_{i}'-\alpha_{i}-\delta_{i})}{\cos(\phi_{i}'-\alpha_{i}+\phi_{i}^{j}-\delta_{i+1})\sec\phi_{i}^{j}}$$
(5)

$$p_i = \frac{W_i \cos(\phi'_i - \alpha_i)}{\cos(\phi'_i - \alpha_i + \phi^j_i - \delta_{i+1}) \sec \phi^j_i}$$
(6)

$$e_i = \frac{\cos(\phi_i' - \alpha_i + \phi_i^j - \delta_i)\sec\phi_i^j}{\cos(\phi_i' - \alpha_i + \phi_i^j - \delta_{i+1})\sec\phi_i^j}$$
(7)

$$R_i = c'_i b_i \sec \alpha_i - U_i \tan \phi'_i \tag{8}$$

$$S_i = c_i^{\ j} d_i \sec \alpha_i - PW_i \tan \phi_i^{\prime} \tag{9}$$

$$\phi_i^j = \delta_1 = \phi_{n+1}^j = \delta_{n+1} = 0 \tag{10}$$

确定了 K_c值,可以根据图 1.1 所示的方法确定安全系数 F。

(3)



图 2. Sarma 法计算简图

2.3 边坡稳定分析的能量法

将某一边坡的塑性区离散为一系列具有倾斜界面的条块,如图 3 示。每一条块都视为 刚体,其变形速率为 V,与该楔体底线夹角为¢,该楔体与右边相邻块体的相对速度为 V_j,此相对速度与该两块体的交界面的夹角为¢ⁱ。内能耗散发生于该条块的底面和条块间的界面,在条块内为零。若滑坡体被分成 n 个条块,因而有 n-1 个界面。功能平衡表达式如下,

$$\sum_{i=1}^{n-1} D_{ie}^{j} + \sum_{i=1}^{n} \Delta D_{ie} = WV^{*}$$
(11)

上式左边的第一和第二项分别为沿条间界面底滑面的内能耗散,下标'e'表示相应的强度参数隐含了安全系数 F。



图 3. 能量法计算简图

第 k 个界面右边条块的速度都可以表示成第一个条块的速度 V₁ 的函数。

$$V_k = \kappa V_1 \tag{12}$$

其中

$$\kappa = \prod_{i=1}^{k} \frac{\sin(\alpha_{i}^{l} - \phi_{ei}^{l} - \theta_{i}^{j})}{\sin(\alpha_{i}^{r} - \phi_{ei}^{r} - \theta_{i}^{j})}$$
(13)

式中上标 *l* 和 *r* 代表界面左和右的物理量, *j* 代表界面上的物理量。*θ*、*θ*, 和*θ*,分别为左边 条块、右边条块和条块界面速度与 *x* 轴的夹角,均定义为从 *x* 正方向开始反时针旋转为正, 计算从第一个界面开始,到分割第 *k* 和第 *k*+1 个块体的界面终止。

滑裂面上的内能耗散由下式确定,

$$D_e = (c_e \cos \phi_e - u \sin \phi_e) \sec \alpha \, V \Delta x \tag{14}$$

可得计算安全系数的计算公式如下:

$$\sum_{i=1}^{n} \kappa[(c_e \cos \phi_e - u \sin \phi_e) \sec \alpha \,\Delta x - (\Delta W + T_y) \sin(\alpha - \phi_e) - (\eta' \Delta W + T_x) \cos(\alpha - \phi_e)]_{i}$$
$$-\sum_{i=1}^{n-1} \kappa(c_e^j \cos \phi_e^j - u^j \sin \phi_e^j)_i \csc(\alpha^r - \phi_e^r - \theta_j)_i \sin(\Delta \alpha - \Delta \phi_e)_i L_i = 0$$

(15)

上式中仅包含一个未知量,即隐含于 c_e 和 $tan \phi_e$ 中的安全系数 F,可通过迭代求解。

3 程序使用说明

3.1 基本功能

(1) 能进行指定滑裂面的安全系数求解;

(2) 能够考虑孔压、外荷载及软弱夹层的影响;

(3)Sarma 即可以作为中国水利水电科学研究院 STAB 程序配套电子计算表格使用,也可以单独作为边坡稳定计算表格使用。

作为电子表格法,其具有下列突出的优点:

(1)电子表格法是完全透明的,每个条块上的各种信息以及计算过程、计算结果都是以 电子表格形式显示的,便于用户检查和进行校核;

(2) 电子表格法是在大家熟悉的 Excel 界面上开发的,它的使用十分简单,会使用 Excel 的用户就会使用该电子表格法;

(3) 计算数据输入十分人性化,采用的基本数据通过数据捕捉程序 Stab_getpt.LSP 从 AUTOCAD 文件中提取;

(4) 程序自动化程度很高,计算非常简便。

(5)通过网络共享,每位工程师、教师或学生都可以自由和自如地使用电子表格法进行 常规的边坡稳定分析;

3.2 程序界面

3.2.1 程序架构

Sarma 程序的程序构架如图 1 所示,由一个 Sarma 工作表和一个 finfo 工作表构成:

其中 Sarma 表格主要分为数据输入区(包括材料参数输入区、集中荷载输入区、均布 荷载输入区、条块基本参数统计区、地震参数输入区)、图形显示区、计算中间数据区、安 全系数、计算方法名称。工作表 Sarma 用于导入数据文件、计算各条块的基本信息,同时 计算抗滑稳定安全系数。

Finfo 表格主要为条块的基本信息区



3.2.2 Sarma 程序工具栏和菜单

为了方便用户使用 Sarma 程序的工具栏和菜单。下图为 Sarma 工具栏(鼠标右击加载 项),工具栏上有"打开文件"、"更新数据"、"导出 Dat"、"导出 Dxf"和"安全系 数求解"5 个按钮, Sarma 菜单与之一一对应。

这些按钮的功能如下:

(1)"打开文件":用于导入从 AutoCAD 生成的数据文件 qqq.dat 或导入由"导出数据"命令生成的数据文件;

(2)"更新数据":如果在表格中修改了数据,例如土层参数,单击该按钮可实现所有 表格的重新计算;

(3)"导出数据":将 Sarma 中的导入数据导出为数据文件;

(4)"导出 Dxf":将分条坐标导出为 Dxf 文件;

(5)"安全系数求解":用于求解安全系数。

图 5 Sarma 工具栏

Sarma 🔹 📝 打开文件 🗟 更新数据 📲 导出数据 ᄊ 导出Dxf 🥸 安全系数求解

图 5. Sarma 工具栏

3.2.3 使用前的设置及规定

(1)Excel 设置

该电子表格是在 Excel2003 中编写的,需要使用 2003 以后的版本,在使用电子表格前需要对 Excel 进行一些设置。

①由于 Sarma 程序的程序,如果 Excel 中宏的安全级为高和非常高时,会禁止使用 VBA 中的子程序,这样电子表格就无法正常使用。因此在打开文件前,请确认您的 Excel 文件 宏的安全性已经设置为"中"。如不是,如图 6(a) 和(b) 所示,请启动 Excel,依次单击"工 具"菜单->"宏"->"安全性",在弹出的对话框中,将安全级设置为"中"。

②Sarma 程序需要使用 EXCEL 的"规划求解"功能,规划求解加载宏是一个 Microsoft Office Excel 加载项(加载项是为 Microsoft Office 提供自定义命令或自定义功能的补充程序)。但是,要在 Excel 中使用它,需要先进行加载。在使用前请单击"工具"菜单上的"加载宏"命令,然后在弹出的窗口中选中"规划求解",如图7所示。如果弹出窗口中没有"规划求解"这一项,说明还没有安装"规划求解",请安装。

格式 (0)	工具(T) 数据(D)	窗口(W) 帮助(H) Adobe PDF	
⊻ ≡	规划求解(V)	188 - 🖓 🛊 🛊 🔛 - 🖄 - <u>A</u> -	• 📮 🗼 🔹 安全.
à 🛍 🔹	宏(M)	▶ ▶ 宏(@)	Alt+F8
	加載宏(I)	● 录制新宏 (B)	
D	自定义 (C)	安全性 (S)	
	选项 (0)	🛃 Visual Basic 编辑器(V)	Alt+F11
	*	💋 Microsoft 脚本编辑器(W)	Alt+Shift+F11

③启动 Sarma 程序表格,在弹出窗口中选择"启用宏",如图 8 所示,就可以使用了。



(b)





图 7. 规划求解的启用



图 8. 启用宏

(2)"找不到工程或库"的处理可以参加 lossap 使用说明

(3)方向的规定

Sarma 程序 中坐标系的方向规定与 STAB 商用程序一致,X 方向以滑动方向为正,以向右为正,也就是规定边坡剖面的滑动方向向右为正。Y 方向以重力方向为正,也即向下为正。

3.3 使用步骤

步骤1:数据文件准备

Sarma 程序表格使用的数据文件包括三种:

(1)Sarma 程序表格导出的数据文件;

(2)通过数据捕捉程序 Stab_Emu_SARMA.LSP 从 AUTOCAD 文件中提取的边坡几何 信息数据文件 qqq.dat。

第一种方法由于利用了原有的数据,生成数据文件的过程较为简单,只需在程序中执 行相应的步骤即可。

(1) 在 Sarma 程序 中单击"Sarma"工具栏上的"导出数据"命令即可将表格中的相关信息导出为数据文件。而通过数据捕捉程序 Stab_Emu_SARMA.LSP 生成数据文件的做法相对复杂。

数据捕捉程序 Stab_Emu_SARMA.LSP 是一个采用 AutoCAD 的内嵌语言—VLisp 语言开发的实用的工具程序。它的主要作用是,从一个 AutoCAD 文件中提取 SARMA 程序 表格程序计算所需的边坡的几何数据,用户可在较短的时间内得到边坡的各种几何数据,如控制点的坐标,边界线、浸润线和滑裂面的信息,这些信息将被储存于"d:\qqq.dat"中,从而大大地节省了设计人员数据准备的时间。熟悉 STAB 和 EMU 程序的用户会发现本数 据捕捉程序的使用方法和此两程序的大同小异。

边坡的剖面图形必须用 AutoCAD 的多段线命令(即 Pline 命令)分段重新绘制。注意边坡剖面的滑动方向要向右。为了便于将重绘的图形和原图分开,建议在重绘前插入一个新的图层,将重绘的图放在这个新图层上,然后撤除原图。

具体操作步骤为:

(1) 加载应用程序。将 Stab_Emu_SARMA.LSP 存放在一个文件夹中。在 AutoCAD 中, 点击菜单"工具(T)→加载应用程序",将弹出一个对话框,在"查找范围"中选择存放 Stab_Emu_SARMA.LSP 的文件夹,选中 Stab_Emu_SARMA.LSP,然后点击"加载"按钮, 显示加载成功后关闭该对话框。

(2) 在 AutoCAD 命令行中输入 Stab_Emu 命令,按下回车键,根据提示逐一操作 就可以了。操作分为三个部分,第一部分是设置比例尺与坐标原点,第二部分是选择边坡 线,并输入下压土层编号;第三部分是选择浸润线与初始滑裂面;

具体的操作如下,如图 9 所示:

① 请在屏幕上选择两点作为参考点;

② 请输入这两点的实际距离,以米计;

③ 请指定相对坐标系的坐标原点;

④ 请选择一条边坡线,注意必须是一条多段线;

⑤ 请输入所选的多段线的下压土层编号;

⑥ 继续选择边坡线与输入下压土层编号,直到所有的边坡线和材料分界线都输入完毕;

⑦ 边坡线输入完毕后。任意选择一条多段线,在提示输入下压土层编号时输入-1;

⑧ 提示"坡内是否存在浸润线?0-没有; 1-有"; 根据有无边坡线输入1或0;

输入若为 1, 请选择一条浸润线;

⑨ 请选择一条初始滑裂面此时程序自动结束。在上述操作中,如果选择的不是多段线, 程序会自动提示。



图 9. 在 AutoCAD 中获取数据

步骤 2: 数据输入

第一种方法生成的数据文件已经包含了 Sarma 程序表格计算所需的所有数据,对于这种数据文件,无需输入其它数据,跳过本步骤,直接执行步骤 3 即可。

而由数据捕捉程序生成的数据文件 qqq.dat,其中只包含边坡和滑裂面的几何信息,还 需要执行步骤 2。还需要手动输入一些必需的数据,具体方法和要求如下:

(1) 进入 Sarma 程序表格程序后,手工输入以下在 qqq.dat 中未包括的数据:

a. 在左上角材料参数区输入材料总数, 各层土的容重和强度指标;

其中的变量 ^C 和 Ø 用于输入非线性强度指标,由于目前该功能尚未实现,可输入 0

b. 在 E37~H37 中依次输入坡外水位、水的容重、地震烈度。

c.荷载输入

集中荷载

单元格 B24 为集中力总数,如无集中力请确保该单元格为 0;从第 26 行起,单元格 B、C 分别为集中力 x 方向和 y 方向的力的大小,单元格 D、E 为集中力作用点的 x、y 坐标;

均布荷载

单元格 H24 为集中力总数,如无均布力请确保该单元格为0;从第26行起,单元格 H、I 为均布力作用的节点1 的编号和作用的大小,单元格 J、K 为节点2 的编号和作用 的大小,单元格 L 则是均布力与作用面法线方向的夹角(顺时针为正,逆时针为负);

d. 地震荷载

目前地震荷载只提供一种输入方式,即地震烈度,当工作表 Sarma 中的地震烈度为7、8、9 度时,单元格 I37 的地震加速度由 Excel 根据地震烈度自动计算。本程序不考虑垂直效应;

步骤 3: 打开数据文件

单击 Sarma 工具栏上的"打开文件"按钮,在弹出的对话框中选择所需的数据文件。在 打开文件的同时, EXCEL 表已经自动地算出每个条块的以下数据。

(1) 条块底滑面中点的数据:中点的 x, y 坐标,中点的 c, φ, 孔压 u 和土

条重量。

(2) 外力:作用于每个土条上的水平和垂直外力,以及水平力的作用点位置。

(3) 其它相关的几何参数,如条块宽度、高度、底滑面倾角等;

(4) 条块与外边坡的交点(考虑重力坝存在垂直面的情况,计算了左侧、右侧两种情况)。

对于 qqq.dat,如果没有执行步骤 2 而直接打开,计算结果不准确,可按步骤 2 输入 必要的数据,然后执行 Sarma 工具栏上的"更新数据"命令来刷新计算结果。

4.4 步骤 4: 安全系数求解

单击 Sarma 工具栏上的"安全系数求解"程序就可以进行安全系数的计算。程序经过计

算,会弹出如图 10 所示的对话框,单击"确定"按钮就可在单元格"O19"中看到求出的安全 系数。



图10 规划求解结束

4 例题

向家坝水利枢纽由混凝土重力坝、右岸地下厂房及左岸坝后厂房、通航建筑物和两岸 灌溉取水口组成。常态混凝土重力坝坝顶高程 383 米,最大坝高 161 米,坝顶长度 909.3 米。坝址位于峡谷河段出口,金沙江由西向东流经坝址,河谷开阔。坝址地层出露主要为 三迭系上统须家河组,可分为四大岩组(T₃¹~T₃⁴)。工程的常态混凝土重力坝座落在岩性 条件较好的中厚层~厚层 T₃²⁴~T₃²⁶砂岩上,坝基持力条件较好。

本程序结合向家坝重力坝泄6坝段的三种滑移模式进行计算验证:

(1)滑移模式一:在上游水平荷载作用下,以坝基面为主滑面,下游基岩抗力体缓倾 上游的结构面和岩桥的组合作为剪出面。如图7所示。

(2)滑移模式二:在上游水平荷载作用下,首先沿坝基面滑动,然后以倾向下游的一级软弱结构面 T₃²⁻³的顶面或底面破碎夹泥层为主滑面,下游基岩抗力体缓倾上游的结构面和岩桥的组合作为剪出面。如图 8 所示。

(3)滑移模式三:在上游水平荷载作用下,首先沿坝基面滑动,然后以倾向下游的一级软弱结构面 T₃²⁻⁵的顶面或底面破碎夹泥层为主滑面,下游基岩抗力体缓倾上游的结构面和岩桥的组合作为剪出面。如图 9 所示。





图 12. 泄 6 滑移模式三

4.1 测试结果

	衣Ⅰ 问 <u>系</u>	叭测试结果 比刈		
工程编号	emu	excel	误差	数据文件
Lxs6-11	4.386	4.354	0.7%	Lxs6-11.dat
Lxs6-12	5.160	5.118	0.8%	Lxs6-12.dat

€1 向家坝测试结果比对

Lxs6-13	5.149	5.246	1.8%	Lxs6-13.dat
Lxs-6-14	3.193	3.217	0.7%	Lxs6-14.dat
Lxs6-15	3.997	3.969	0.7%	Lxs6-15.dat
Lxs6-21	3.840	3.837	0	Lxs6-21.dat
Lxs6-22	4.931	4.926	0.1%	Lxs6-22.dat
Lxs6-23	4.989	5.084	1.9%	Lxs6-23.dat
Lxs6-24(chu)	3.004	2.982	0.7%	Lxs6-24.dat
Lxs6-25(chu)	3.642	3.483	4.3%	Lxs6-25.dat
Lxs6-31(chu)	5.661	5.441	3.9%	Lxs6-31.dat
Lxs6-32(chu)	6.796	6.512	4.1%	Lxs6-32.dat
Lxs6-33	6.801	6.726	1.1%	Lxs6-33.dat
Lxs6-34	3.768	3.709	1.5%	Lxs6-34.dat
Lxs6-35	5.066	4.895	3.3%	Lxs6-35.dat

5 程序的限制

Sarma 程序虽然能够快速便捷计算边坡的稳定安全系数,但是目前在功能上仍然具有 较多的限制,主要包括:

- (1) 不能进行最小安全系数的搜索,只能计算指定滑动面;
- (2) 不能考虑抗剪强度指标的非线性;
- (3) 不能计算可靠度;
- (4) 不能计算库水位骤降;

(5) 材料总数不能超过13 种。

6 数据文件格式

电子表格使用的数据文件有 2 种,一是电子表格自身导出的,三是由数据程序提取的 qqq.dat。第一种文件的格式如下:

行号	变量	说明
第1行	IDCritical	滑裂面标志,0为临界滑裂面,1为初始滑裂面
第	控制代码	
2 行	IdCtr1	1为圆弧,0为非圆弧
	IdCtr2	预留拉裂缝控制码
	IdCtr3	预留控制码
	IdCtr4	地震烈度,0说明无地震
	IdCtr5	预留控制码
	IdCtr6	预留控制码
第	几何信息控制参数	
3 (二	NNode	节点总数
1]	NBound	边界线总数
	NPh	浸润线总数
	NSoft	软弱夹层总数
	NSlice	分条数
第	Hwout	库外水位
4	GamaW	水容重
行	Nload1	集中力总数
	Nload2	分布力总数
第6行	NMat	材料总数

表 2 控制性参数

表3 材料参数

j	土层材料编号
SoilPt(i,2)	内摩擦教♥
SoilPt(i,3)	粘聚力 ^C
SoilPt(i,4)	非线性参数fl,暂时不使用

SoilPt(i,5)	非线性参数cl,暂时不使用
SoilPt(i,6)	天然容重, γ_a
SoilPt(i,7)	饱和容重, ^Y sat
SoilPt(i,8)	孔压系数, γ_u

表4 节点坐标

XY(i,1)	节点x坐标	
XY(i,2)	节点y坐标	

表 5 边界线信息

ICPH(i,1)	边界线节点1
ICPH(i,2)	边界线节点2
ICPH(i,3)	下压土层材料号

表 6 浸润线信息

ICPH1(i,1)	浸润线节点1
ICPH1(i,2)	浸润线节点2
ICPH1(i,3)	下压土层材料号

表7 软弱夹层边界线信息

ICPH2(i,1)	软弱夹层边界线节点1
ICPH2(i,2)	软弱夹层边界线节点2
ICPH2(i,3)	下压土层材料号

表 8 滑裂面底滑面坐标

XIslip (i,1)	底滑面节点x坐标	
XIslip (i,2)	底滑面节点y坐标	

表9 集中荷载信息

j	编号
Ps(i,1)	集中荷载作用点x坐标
Ps(i,2)	y坐标
Ps(i,3)	x方向集中力大小
Ps(i,4)	y方向集中力大小

分布荷载信息 表10

j	编号	
Pd(i,1)	分布荷载作用的线段号	
Pd(i,2)	左端点的法向力	
Pd(i,3)	右端点的法向力	
Pd(i,4)	左端点的切向力	
Pd(i,5)	右端点的切向力	

表11 qqq.dat 的数据文件格式

表格程序格式文件	标题
2	类型标识符,=0表示为 STAB 所用,=1表
	示为 EMU 所用,=2 表示为 STABE 所用
1	表示滑动方向,=0表示向左,=1表示向右
0.0	表示坐标原点的 x, y 坐标
0.0	
1,200.0,-57.3182	下面是节点坐标,结束标志是-9999,0,0
2,178.163,-57.3182	
3,106.033,-119.227	
4,100.0,-119.227	
5,93.9666,-119.227	
6,21.8372,-57.3182	
7,0.0,-57.3182	
8,200.0,-57.3182	

9,178.163,-57.3182	
10,106.033,-119.227	
11,100.0,-119.227	
12,93.9666,-119.227	
13,21.8372,-57.3182	
14,0.0,-57.3182	
15,0.0,-30.0	
16,200.0,-30.0	
17,0.0,0.0	
18,200.0,0.0	
-9999,0,0	节点输入标识符
12	边界线总数
1	浸润线总数
1	软弱线总数
1,2,1	下面分别是边界线、浸润线与软弱夹层线的
2,3,1	信息
3,4,1	注意需要将下压土层为-1的线段删除掉。
4,5,1	
5,6,1	
6,7,1	
1,2,-1	
2,3,-1	
3,4,-1	
4,5,-1	
5,6,-1	
6,7,-1	
15,16,1	
17,18,2	
5	
93.966643249618 -119.226927851367	滑面节点数
113.667238515147 -71.499896226818	滑面各节点的 x, y 坐标
145.85535032077 -52.856930359718	
173.17466472519 -40.698474146068	
200 -57.318217213429	

参考文献

[1]潘家铮.重力坝设计.北京.水利电力出版社.1987.

[2] 张津生. 浅析刚体极限平衡法一探讨重力坝深层抗滑文献的安全判据, 水利发电学报, 2005. 5:26-33.

[3] Donald, I. and Chen, Z. Slope stability analysis by an upper bound plasticity method. Canadian Geotechnical Journal, 1997. 34(11): 853-862

[4] 陈祖煜, 汪小刚, 杨健, 贾志欣, 王玉杰. 土质边坡稳定分析一原理、方法、程序. 中国水利水电出版社. 2003

[5] 陈祖煜, 汪小刚, 杨健, 贾志欣, 王玉杰. 岩质边坡稳定分析一原理、方法、程序. 中国水利水电出版社. 2005

[6] 黄东军, 聂广明.重力坝深层抗滑稳定安全评价若干问题的思考-兼对《对重力坝设计规范 中双斜滑动面抗滑稳定分析公式讨论意见》的答复,水利发电学报,2005.24(2):90-94.