

第11章 程序设计

11.1 前言

从本书介绍的内容可以发现,随着近代数值分析技术的进展,边坡稳定分析的极限平衡分析方法已经发展到十分成熟的程度。但是,随之而出现的问题是,这一分析步骤必须通过计算机程序才能得以实现。而现状是,尽管计算机的硬件已经获得了飞速的发展,尽管土力学的理论和实现这些理论的工具和手段均已十分先进,但岩土工程许多应用软件仍然处于起步状态,远不能满足工程实际的要求,且大部分岩土工程师对边坡稳定分析计算的实际应用水平还不很高。使用近代科学技术的成果来提高岩土工程设计的效率和水平,是工程师的强烈愿望,也是保证建筑物的安全和减少投资非常重要手段。当前岩土工程软件的落后状况,是有多方面因素造成的。

首先,开发岩土工程软件需要投入大量的人力和物力。研究一个新的数值分析方法并编制相应的科研程序是一回事,将其变为一个能够在工程设计中广泛应用的软件是另一回事,其源代码的数量起码增加十倍。在 Windows 的界面上编制一个直观、方便的具有处理图形、对话和纠错功能的软件,不仅是源代码数量上的增加,而且意味着对编程人员素质的新要求,而这一要求是由所支付的高额报酬体现在程序价格中的。

其次,岩土工程软件的市场极为有限,对于这种专业性的软件,单靠市场回报来实现其自身的发展是不现实的,而这一问题并未得到共识。众所周知,设计人员在图纸上多画一根预应力锚索,多画一根抗滑桩则是十万甚至百万元的投资。但对于开发这些有关软件的研究经费(尽管无法与施工费用相比)却难以得到批准。

再次,我们的软件管理还远未达到规范化、市场化的水平。盗版现象普遍存在,因此,营造一个保护软件的法律和道德约束环境,是软件作为一个产业兴旺发达的最基本的条件。

工程应用软件开发的另一个重要问题是确认其可靠性和准确性。工程软件应用的对象是关系到人民生命财产安全的建筑物,因此,绝非儿戏。对程序进行鉴定和考核自然是一个必须履行的手续。但笔者认为对一个包含成千上万行指令的、又需要面临复杂多变的实际情况的工程应用软件,单靠鉴定和考核是不可能真正发现其全部问题的。这样的程序只有在长期的、大量的实际应用过程中,才能变得成熟,成为可以信赖的设计工具。

作者希望通过第 11 章和第 12 章的内容,推动边坡稳定计算机程序的普及和推广。本章将介绍编制一个边坡稳定分析程序的核心步骤和源程序。将这几个子程序串联起来,就是一个计算任意几何形状边坡、包含第 2 章和第 3 章介绍的各种分析方法的程序。本章还将讨论与程序推广、使用相关的问题。在第 12 章,作者提供 STAB 程序的一个简化版。使用这一版本,读者可以进行本书介绍的部分稳定分析工作。需要说明的是,本书所列的所有源程序,

11.3。

则根据上述原理可知, i 、 j 应满足下面条件:

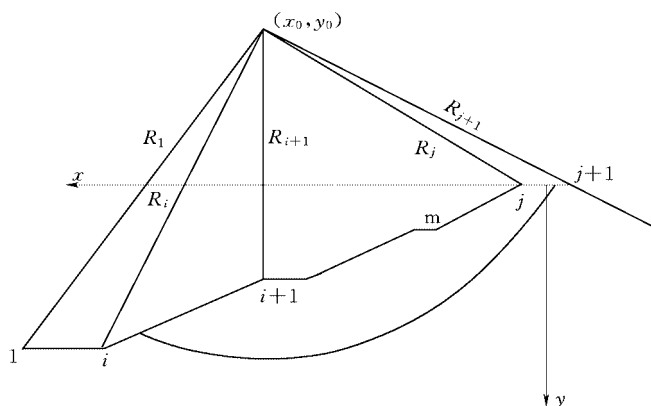


图 11.3 具有 n 个折点的边坡线与圆弧滑裂面相交的关系

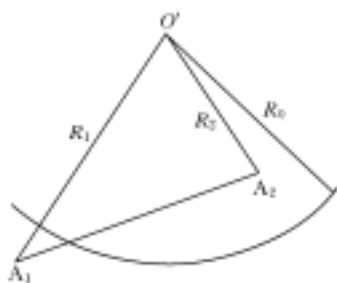


图 11.2 圆弧滑裂面与边坡相交的关系

$$R_{i+1} \leq R_0 < R_i \quad (11.1)$$

$$R_j \leq R_0 < R_{j+1} \quad (11.2)$$

找到了上、下交点所在的线段号 i 、 j 之后, 就可以根据该线段两端点的坐标值和圆弧的圆心坐标值 x_0 、 y_0 和半径值 R , 算得其交点的坐标值。对于点 m ($m = i, j$), 计算公式为:

$$(x - x_0)^2 + (y - y_0)^2 = R^2 \quad (11.3)$$

$$(y - y_m)/(x - x_m) = s \quad (11.4)$$

$$s = (y_{m+1} - y_m)/(x_{m+1} - x_m) \quad (11.5)$$

联立以上方程组, 求解得:

$$x = \frac{1}{(1 + s^2)} [x_0 + sT \pm \sqrt{(1 + s^2)R_0^2 - (sx_0 - T)^2}] \quad (11.6)$$

$$T = sx_m - y_m + y_0 \quad (11.7)$$

此联立方程组有两个根, 计算下交点时取 ‘+’ 号, 计算上交点时取 ‘-’ 号。

11.2.3 构造任意形状滑裂面的步骤

如果要若若干点用光滑的曲线相连, 可以采用样条函数予以实现, 在 STAB 程序中, 采用了第二种边界条件的三次样条函数。

第二种边界条件三次样条函数曲线两端点的二阶导数值为已知值, 即 $y_{12} = y''(x_1)$, $y_{n2} = y''(x_n)$ 。在构造滑裂面时取 $y_{12} = y''(x_1) = 0$, $y_{n2} = y''(x_n) = 0$, 由此确定的样条称为

自然样条。根据此边界条件, 计算 n 个节点上的一阶导数值 m_j , $j=1,2,\dots,n$ 。相应的计算公式如下:

$$a_1 = -0.5 \quad (11.8)$$

$$b_1 = 3 \times \frac{y(x_2) - y(x_1)}{2(x_2 - x_1)} \quad (11.9)$$

$$h_j = x_{j+1} - x_j \quad j = 1, 2, \dots, n-1 \quad (11.10)$$

$$\alpha_j = h_{j-1} / (h_{j-1} + h_j) \quad (11.11)$$

$$\beta_j = 3[(1-\alpha_j)(y_j - y_{j-1})/h_{j-1} + \alpha_j(y_{j+1} - y_j)/h_j] \quad (11.12)$$

$$a_j = -\alpha_j / [2 + (1-\alpha_j)a_{j-1}] \quad (11.13)$$

$$b_j = [\beta_j - (1-\alpha_j)b_{j-1}] / [2 + (1-\alpha_j)a_{j-1}] \quad j = 2, 3, \dots, n-1 \quad (11.14)$$

$$m_n = [3(y_n - y_{n-1})/h_{n-1} - b_{n-1}] / (2 + a_{n-1}) \quad (11.15)$$

$$m_j = a_j m_{j+1} + b_j \quad j = n-1, n-2, \dots, 1 \quad (11.16)$$

于是对于 $x_j \leq x < x_{j+1}$, 利用数值导数 m_j ($j=1,2,\dots,n$), 计算插值节点处函数值的公式如下:

$$\begin{aligned} y(x) = & \left[\frac{3}{h_j^2}(x_{j+1} - x)^2 - \frac{2}{h_j^3}(x_{j+1} - x)^3 \right] y_j + \left[\frac{3}{h_j^2}(x - x_j)^2 - \frac{2}{h_j^3}(x - x_j)^3 \right] y_{j+1} \\ & + h_f \left[\frac{1}{h_j^2}(x_{j+1} - x)^2 - \frac{1}{h_j^3}(x_{j+1} - x)^3 \right] m_j - h_f \left[\frac{1}{h_j^2}(x - x_j)^2 - \frac{2}{h_j^3}(x - x_j)^3 \right] m_{j+1} \end{aligned} \quad (11.17)$$

如果插值区间 (x_j, x_{j+1}) 被等距划分为 l 段, 则位于第 s ($0 < s < l$) 段的被插值节点 $x = x_j + (s/l)h_j$ 处的函数值的计算公式如下:

$$y(x) = \kappa_4 + h_{sj}[\kappa_3 + h_{sj}(\kappa_2 + h_{sj}\kappa_1)] \quad (11.18)$$

其中

$$h_{sj} = (x - x_j) / h_j = s/l \quad (11.19)$$

$$\kappa_1 = 2[y(x_j) - y(x_{j+1})] + (m_j + m_{j+1})h_j \quad (11.20)$$

$$\kappa_2 = 3[y(x_{j+1}) - y(x_j)] - (2m_j + m_{j+1})h_j \quad (11.21)$$

$$\kappa_3 = m_j \cdot h_j \quad (11.22)$$

$$\kappa_4 = y(x_j) \quad (11.23)$$

11.3 边坡稳定分析的源程序

11.3.1 概述

本章介绍边坡稳定分析程序 STAB 的核心步骤和程序。程序 CIRCLE.FOR 具体实施 11.2.2 节的计算步骤,对给定的边坡剖面信息,构造一个圆弧滑裂面。程序 SPLINE.FOR 具体实施 11.2.3 节的计算步骤,对给定的滑面控制点信息构造一个任意形状滑裂面。程序 PROFILE.FOR 具体实施 11.2.1 节的计算步骤,计算土条重量和物理力学参数。程序 S.FOR 计算安全系数,包含了第 2 章和第 3 章介绍的各种分析方法的源程序,即极限平衡法的通用条分法、瑞典法、毕肖普法、陆军工程师团法和简化法。将上述几个子程序串联起来,就是一个计算复杂几何形状边坡稳定的安全系数的程序。

在介绍这些程序时,将配以图 11.4 所示的一个例子。这一例子是将在 11.4 节中介绍的澳大利亚 ACADS 程序考核的 EX1(c)。该例已在第 2 章和第 4 章中多次使用。读者在移植这些程序时,可通过这些考核题进行考核。

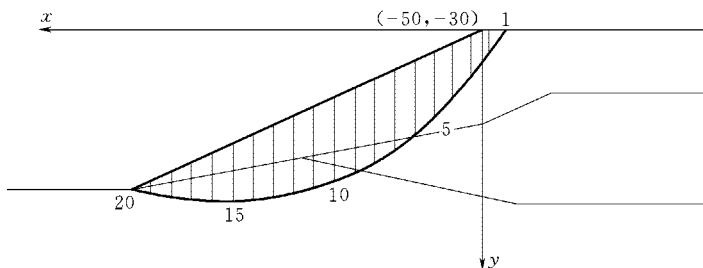


图 11.4 滑裂面和条分

11.3.2 构造圆弧滑裂面的程序 CIRCLE.FOR

1. 说明

本子程序对给定的边坡剖面信息,构造一个圆弧滑裂面(图 11.4)。通过子程序 SEAR 找到圆弧滑裂面与边坡的上、下交点所在线段。子程序 DIVI 计算上、下交点的坐标,并划分土条。

2. 源程序

```

REAL YTENSION, DS, CX, CY, XN(99), YN(99), X(80), Y(80), ALF(80)
INTEGER IN1, LSL, N, LNUM(80), IC(80,3), IWR5, L, NN, NLOW, NUPP
OPEN(5,FILE=" ",STATUS='UNKNOWN')
OPEN(6,FILE=" ",STATUS='UNKNOWN')
NLOW=0
NUPP=0
READ(5,*)IWR5,YTENSION,DS,CX,CY
C IWR5=0,1 分别相应顶部有、无拉力缝; YTENSION=拉力缝底 Y 坐标
C DS,CX,CY=滑弧深度,圆心坐标
READ(5,*)N!土条总数
READ(5,*)IN1!线段总数
DO 302 I=1,IN1
  READ(5,*)(IC(I,J),J=1,3)!线段信息
302 CONTINUE

```

```

      READ(5,*)LSL!外边坡线总数
      READ(5,*)(LNUM(I),I=1,LSL)!外边坡线编号
      READ(5,*)NN!点总数
      READ(5,*)(L,XN(I),YN(I),I=1,NN)!点坐标
      WRITE(6,703)
703  FORMAT(T25,'*****'//)
      WRITE(6,704)
704  FORMAT(10X,'THEABSCISSAVALUESOFTHEUPPERANDLOWER')
      CALL SEAR(LNUM,IC,DS,CX,CY,XN,YN,LSL,NLOW,NUPP)!寻找上、下交点所在段
      CALL DIVI(N,IC,IWR5,DS,CX,CY,XN,YN! 确定上、下交点坐标, 条分
$,YTENSION,NLOW,NUPP,X,Y,ALF)
      WRITE(6,711)
711  FORMAT(T5,'NO.',T17,'X',T32,'Y',T47,'ALF')
      DO 309 I=1,N
      WRITE(6,710)I,X(I),Y(I),ALF(I)
710  FORMAT(1X,I5,3F15.6)
309  CONTINUE
12   CALLCLOSEFL
      END

      SUBROUTINE CLOSEFL
      CLOSE(5)
      CLOSE(6)
      RETURN
      END

      SUBROUTINE DIVI(N,IC,IWR5,DS,CX,CY,XN,YN
$,YTENSION, NLOW,NUPP,X,Y,ALF)
      INTEGER N,S,N,K,IC(80,3),K1,KTEMP,IWR5,J,J1,JTEMP,NLOW,NUPP
      REAL RO,DS,CY,XN(80),YN(80),SK,T,XL,CX,XU1,YTENSION
      REAL YU1,SJ,XU,ROO,YU,X2(80),Y2(80),X(80),Y(80),ALF(80)
      S(E1,F1,E2,F2)=(F2-F1)/(E2-E1)
      NS=N-1
      RO=DS-CY
      K=IC(NLOW,1)
      K1=IC(NLOW,2)
      IF(XN(K).GT.XN(K1))GOTO190
      KTEMP=K
      K=K1
      K1=KTEMP
190  IF(ABS(XN(K)-XN(K1)).LT.0.00005)GOTO23
      SK=S(XN(K),YN(K),XN(K1),YN(K1))
      T=SK*XN(K)-YN(K)+CY
      XL=(CX+SK*T+SQRT((1+SK**2)*RO**2-(SK*CX-T)**2))/(1+SK**2)
      !按式(11.6)计算下交点的横坐标
      GOTO28
23   XL=XN(K)
28   CONTINUE
      IF(IWR5.NE.0)THEN
      XU1=CX-SQRT(RO*RO-(YTENSION-CY)**2)
      YU1=CY+SQRT(RO**2-ABS(XU1-CX)**2)
      ENDIF
      J=IC(NUPP,1)
      J1=IC(NUPP,2)
      IF(XN(J).GT.XN(J1))GOTO191
      JTEMP=J
      J=J1
      J1=JTEMP

```

```

191  F(ABS(XN(J)-XN(J1)).LT.0.00005)GOTO82
      SJ=S(XN(J),YN(J),XN(J1),YN(J1))
      T=SJ*XN(J)-YN(J)+CY
      XU=(CX+SJ*T-SQRT(((1+SJ**2)*RO**2-(SJ*CX-T)**2))/(1+SJ**2)
      !XU 上交点的横坐标
      ROO=RO**2-ABS(XU-CX)**2
      IF(ROO.LT.0)RETURN!无交点,需修改 RO,重新计算
      YU=CY+SQRT(RO**2-ABS(XU-CX)**2)
      IF(CY.GT.YN(J).AND.CY.GT.YN(J1))RETURN!凸弧,否定,重算
      IF(IWR5.NE.0.AND.YU.LT.YU1)XU=XU1
      GOTO20
82    XU=XN(J)
20    X2(1)=XU
      DO541I=1,NS!划分土条,求各点坐标
      X2(I)=(I-1)*(XL-XU)/(NS-1)+XU!土条宽度 B=(XL-XU)/(NS-1)
      Y2(I)=CY+SQRT(RO**2-ABS(X2(I)-CX)**2)
541  CONTINUE
      IF(ABS(Y2(NS)-Y2(1)).LT.0.01)THEN
        WRITE(6,*)'THE SLIP SURFACE INTERCEPTS A HORIZONTAL SURFACE'
        RETURN
      ENDIF
      N=NS+1
      X2(N)=X2(NS)
      Y2(N)=Y2(NS)
C    计算土条中点坐标
      DO544I=2,NS
      X(I)=(X2(I)+X2(I-1))/2.
      Y(I)=(Y2(I)+Y2(I-1))/2.
      ALF(I)=ATAN((Y2(I)-Y2(I-1))/(X2(I)-X2(I-1)))
544  CONTINUE
      ALF(1)=ALF(2)
      ALF(N)=ALF(NS)
      X(N)=X2(N)
      Y(N)=Y2(N)
      X(1)=X2(1)
      Y(1)=Y2(1)
      RETURN
      END

      SUBROUTINE SEAR(LNUM,IC,DS,CX,CY,XN,YN,LSL,NLOW,NUPP)
      REAL R,DS,CY,R2,CX,XN(80),YN(80),R1,D,XXL,SLO
      INTEGER I,I1,K,LNUM(80),J1,J2,IC(80,3),IN,NLOW,NUPP,LSL
      I=1 !NLOW=下交点所在直线段的线段号
      I1=0 !NUPP=上交点所在直线段的线段号
      12K=LNUM(I)
      J1=IC(K,1)
      J2=IC(K,2)
      R=DS-CY!R=圆弧半径
      R2=SQRT(ABS(CX-XN(J2))**2+ABS(CY-YN(J2))**2)
      R1=SQRT(ABS(CX-XN(J1))**2+ABS(CY-YN(J1))**2)
      !R1,R2 为圆心至该线段两端点的距离
      IF(R.EQ.R2.AND.I1.NE.0)GOTO11
      IF(R.GT.R1.AND.R.GT.R2)GOTO11 !无交点
      IF(R.LT.R1.AND.R.LT.R2)GOTO19 !有两个或零个交点
      GOTO20
19  CALL DD(XN(J1),YN(J1),XN(J2),YN(J2),CX,CY,D,IN)
      XXL=XN(J2)-XN(J1)

```

```

      IF(ABS(XXL).LT.0.0001)THEN
      SLO=1.0E-6
      ELSE
      SLO=(YN(J2)-YN(J1))/XXL  !斜率
      ENDIF
      IF(IN.EQ.1.OR.SLO.LE.0)GOTO11
C      第一条外边坡线为水平,同时圆弧与其有两个交点,不接受,继续搜索
      IF(R.LT.D.OR.R.EQ.D)GOTO11  !无交点
      NLOW=LNUM(I)
      NUPP=NLOW
      RETURN
20     IF(I1.NE.0)GOTO14
      NLOW=LNUM(I)
      I1=I1+1
11     CONTINUE
      IF(I.EQ.1.AND.R.LT.R1.AND.R.GT.R2)RETURN
      I=I+1
      IF(I.GT.LSL)GOTO14
      GOTO12
14     NUPP=LNUM(I)
15     CONTINUE
      RETURN
      END

      SUBROUTINE DD(X1,Y1,X2,Y2,XC,YC,D,IN)
      REAL X1,Y1,X2,Y2,XC,YC,D
      REAL XXL,AK,AKF,X,Y,XT,YT
      INTEGER IN
      D=9999.
      IN=0
      XXL=X2-X1
      IF(ABS(XXL).LT.0.001)XXL=1.0E-6
      IF(ABS((Y2-Y1)/XXL).LT.0.001)RETURN
      AK=(Y2-Y1)/XXL
      AKF=1./AK
      X=(AK*X1-Y1+AKF*XC+YC)/(AK+AKF)
      Y=AK*X-AK*X1+Y1 !从圆心作垂直与线段的线,获与线段的交点
      XT=(X-X1)*(X-X2)
      YT=(Y-Y1)*(Y-Y2)
      IF(XT.LT.0.OR.YT.LT.0)GOTO12
      IN=1  !交点不在线段内
      RETURN
12     D=SQRT((X-XC)**2+(Y-YC)**2)  !线段与圆心的垂直距离
      RETURN
      END

```

3. 例题

数据文件 CIRCLE.DAT:

0	0.	-24.235	-35.164	-42.046
21				
9				
1	2	3		
2	3	1		
3	4	1		
2	5	3		
5	6	2		
6	7	2		

7	8	2
5	9	3
9	10	3
3		
1	2	3
10		
1	.000	-25.000
2	-30.000	-25.000
3	-50.000	-35.000
4	-70.000	-35.000
5	-40.000	-27.000
6	-50.000	-29.000
7	-54.000	-31.000
8	-70.000	-31.000
9	-52.000	-24.000
10	-70.000	-24.000

计算成果 CIRCLE.C:

THE ABSCISSA VALUES OF THE UPPER AND LOWER

NO.	X	Y	ALF
1	-51.522050	-35.000000	1.094647
2	-50.955680	-33.901810	1.094647
3	-49.822940	-31.978910	.969015
4	-48.690200	-30.491210	.863838
5	-47.557460	-29.278430	.770531
6	-46.424730	-28.265840	.685123
7	-45.291990	-27.411070	.605365
8	-44.159260	-26.687410	.529825
9	-43.026520	-26.076840	.457513
10	-41.893780	-25.566700	.387709
11	-40.761050	-25.147810	.319849
12	-39.628310	-24.813490	.253490
13	-38.495570	-24.558860	.188260
14	-37.362830	-24.380470	.123833
15	-36.230100	-24.275990	.059923
16	-35.097360	-24.244130	-.003743
17	-33.964630	-24.284500	-.067425
18	-32.831890	-24.397580	-.131382
19	-31.699150	-24.584810	-.195887
20	-30.566420	-24.848610	-.261233
21	-30.000050	-25.000020	-.261233

11.3.3 构造任意形状滑裂面的程序SPLINE.FOR

1. 说明

本程序(刘德贵, 1980)用来计算已知第二种边界条件(曲线两端点处的二阶导数值)三次样条函数的一阶导数值, 并利用样条函数对一元函数进行插值, 进而构筑包含直线段的复合滑裂面。对于滑裂面上控制点区间为直线段时, 则直接线性插值, 而对于非直线段区间, 则运用上述介绍的方法进行三次样条插值。滑裂面被 NS1 个点分为 NS1-1 段。从上交点向下交点编号为 1, 2, ..., NS1-1。程序用 LS 代表此 NS1-1 段中为直线段的线段总数。在数组 LSA(I)(I=1, 2, ..., LS)中存入这些直线段的编号。

LS, 滑裂面上 NS1-1 条线段中为直线段的总数;

LSA(LS), 滑裂面上线段为直线段的编号;

AI(I,4), 滑裂面上控制点处四个与样条插值有关的数, K_1, K_2, K_3, K_4 ;

A(I), 滑裂面上控制点处的一阶导数值 m_j ;

B(I), 一维数组, 工作单元。

2. 源程序

```

C      SUBROUTINE SP1(LS,LSA,X2,Y2)
        DIMENSION KQ2(50),X1(50),Y1(50),AI(50,4),LSA(60),A(50),B(50)
        DIMENSION X2(80),Y2(80)
        COMMON /A23/NS1,KQ2,X1,Y1/A13/IDD,IWR1,IWR2,IWR3
        COMMON/WALL/IWALL,GWALL,HMW,EWALL,ETA
        INTEGER*4 OPTION(6),OP1(6)
        COMMON/OPP/OPTION,OP1
        OPEN(5,FILE='      ',STATUS='UNKNOWN')
        OPEN(6,FILE='      ',STATUS='UNKNOWN')
        READ(5,*)NS1
        DO I=1,NS1
            READ(5,*)KQ2(I),X1(I),Y1(I)
        ENDDO
C      如果滑裂面上控制点总数 NS1=2,则按直线段处理并计算滑裂面与土条侧面边界线交点的  $x, y$  值;
        READ(5,*)LS
        DO I=1,NS1-1
            LSA(I)=0
        ENDDO
        IF(LS.NE.0)READ(5,*)(LSA(I),I=1,LS)
        LSA(LS+1)=NS1
C      滑裂面上第 NS1 个控制点对应的土条侧面边界线的编号
C      X1(I), Y1(I), 滑裂面上第 I 个控制点的  $x, y$  值
        N1=0
        DO 100 IL=1,LS+1
            L1=N1+1
            N1=LSA(IL)
            N2=N1-1
            IF(LS.EQ.0)GOTO 83 ! 滑裂面上没有直线段
            IF(N1.GE.NS1) GOTO 40
            AI(N1,1)=0. ! 计算直线段左端点处  $K_1, K_2, K_3, K_4$ 
            AI(N1,2)=0.
            AI(N1,3)=Y1(N1+1)-Y1(N1)
            AI(N1,4)=Y1(N1)
40      IF(N1-L1.EQ.0)GOTO 100 ! 滑裂面上没有直线段
83      B(L1)=1.5*(Y1(L1+1)-Y1(L1))/(X1(L1+1)-X1(L1))
            A(L1)=-0.5 ! 插值区间左端点处的一阶导数值
            CN=3.0*(Y1(N1)-Y1(N2))/(X1(N1)-X1(N2))
            IF(N1-L1.EQ.1)GOTO 55 ! 插值区间只具有左右两个端点
            L2=L1+1
            DO 50 J=L2,N2
                H1=X1(J)-X1(J-1)
                H=X1(J+1)-X1(J)
                AF=H1/(H+H1) ! 计算  $\alpha$  值
                BT=3.*((1.-AF)*(Y1(J)-Y1(J-1))/H1+AF*(Y1(J+1)-Y1(J))/H)
                !计算  $\beta$  值
                A(J)=-AF/(2.+(1.-AF)*A(J-1)) ! 计算插值区间内插值节点处的一阶导数值  $m_j$ 
50      B(J)=(BT-(1.-AF)*B(J-1))/(2.+(1.-AF)*A(J-1))
55      A(N1)=(CN-B(N2))/(2.+A(N2))
60      A(N2)=A(N2)*A(N2+1)+B(N2) ! 计算插值区间右端点处的一阶导数值  $m_n$ 

```

```

      N2=N2-1
      IF(N2.GE.L1)GOTO 60
      N2=N1-1
      DO 80 I=L1,N2
      H=X1(I+1)-X1(I)
      AI(I,4)=Y1(I) ! 计算插值区间内插值节点处的 $K_1, K_2, K_3, K_4$ 
      AI(I,3)=A(I)*H
      AI(I,2)=3.*(Y1(I+1)-Y1(I))-(2.*A(I)+A(I+1))*H
80    AI(I,1)=2.*(Y1(I)-Y1(I+1))+(A(I)+A(I+1))*H
100   CONTINUE
      DO 200 I=1,NS1-1
      L1=KQ2(I)
      N1=KQ2(I+1)
      STEP=1./(N1-L1)
      SX=X1(I+1)-X1(I)
      S1=0.
      DO 200 J=L1,N1
      X2(J)=X1(I)+S1*SX ! 计算滑裂面与土条侧面边界线交点的 X, Y 值
      Y2(J)=AI(I,4)+S1*(AI(I,3)+S1*(AI(I,2)+S1*AI(I,1)))
200   S1=S1+STEP
      NW=KQ2(NS1)
      WRITE(6,*)N= ',NW
      WRITE(6,105)(M,X2(M),Y2(M),M=1,NW)
105   FORMAT(1X,I5,2F10.3)
      STOP
      END

```

3. 光滑曲线滑裂面例题

(1) 数据文件 Spline-1.dat:

```

5
1   -51.522  -35.000
6   -46.314  -28.235
10  -41.685  -25.511
15  -35.898  -24.224
20  -30.000  -25.000
0

```

计算成果 Spline-1.c:

```

N=      20
1   -51.522  -35.000
2   -50.480  -33.466
3   -49.439  -31.978
4   -48.397  -30.580
5   -47.356  -29.317
6   -46.314  -28.235
7   -45.157  -27.280
8   -44.000  -26.545
9   -42.842  -25.975
10  -41.685  -25.511
11  -40.528  -25.107
12  -39.370  -24.765
13  -38.213  -24.495
14  -37.055  -24.311
15  -35.898  -24.224
16  -34.718  -24.243
17  -33.539  -24.352
18  -32.359  -24.530
19  -31.180  -24.754
20  -30.000  -25.000

```

4. 曲线-直线组合滑裂面例题

(1) 数据文件 Spline-2.dat:

```

5
1   -51.522  -35.000
6   -46.314  -28.235
10  -41.685  -25.511
15  -35.898  -24.224
20  -30.000  -25.000
1
3

```

(2) 计算成果 Spline-2.c:

```

N=      20
1   -51.522  -35.000
2   -50.480  -33.459
3   -49.439  -31.965
4   -48.397  -30.565
5   -47.356  -29.306
6   -46.314  -28.235
7   -45.157  -27.300
8   -44.000  -26.583
9   -42.842  -26.011
10  -41.685  -25.511
11  -40.528  -25.511
12  -39.370  -25.511
13  -38.213  -25.511
14  -37.055  -25.511
15  -35.898  -25.511
16  -34.718  -25.409
17  -33.539  -25.307
18  -32.359  -25.204
19  -31.180  -25.102
20  -30.000  -25.000

```

11.3.4 计算土条重量和物理力学参数的程序 PROFILE.FOR

1. 说明

本子程序根据 11.2.1 介绍的方法计算每个土条的重量、条底的强度指标和孔隙水压力。

2. 源程序

```

DIMENSION SH(20),M4(20),SHNE(20),M4NE(20)
DIMENSION XU(80),HSL(80),X3(80),Y3(80)
COMMON/CRU/RUS(10),LINES(80),YSF(80)/B3/IKD
COMMON/A1/IN,IN1,PF(20),PC(20),PDW(20),PDS(20),IPH,ICPH(40,3)
COMMON/A2/NN,NJ(20),NH,Y,DHRP,WL(80),BDA(80),CA(80),FAA(80)
# ,LRU(20)
COMMON/A3/RW,RU1,UWL/SWEAK/IWEAK,KQ3(50),LWK,IC3(40,3)
COMMON/A6/X(80),Y(80),XN(99),YN(99),X2(80),Y2(80),IC(80,3),N
COMMON/A7/W(80),RU(80),C(80),F(80)/A8/MYK,KXSX,MTE,KL
COMMON/A15/UWL1,NCOUN,MLA(80),PF1(20),PC1(20),MID(20),PNOR(20)
# ,NHT,MRD
INTEGER*4 OPTION(6),OP1(6)
COMMON/OPP/OPTION,OP1
OPEN(5,FILE=' ',STATUS='UNKNOWN')
OPEN(6,FILE=' ',STATUS='UNKNOWN')
C   IWR5=0,1 分别相应顶部有、无拉力缝: YTENSION=拉力缝底 Y 坐标
C   DS,CX,CY=滑弧深度, 圆心坐标

```

```

      READ(5,*) N          ! 土条总数
      READ(5,*) RW,UWL ! 水容重, 坡外水位
      READ(5,*) IN1 ! 线段总数
      DO 302 I=1,IN1
      READ(5,*) (IC(I,J),J=1,3) !线段信息
302  CONTINUE
      READ(5,*) NN          ! 点总数
      READ(5,*) (L,XN(I),YN(I),I=1,NN)      ! 点坐标
      DO I=1,N
      READ(5,*) I,X(I),Y(I)
      ENDDO
      READ(5,*)IPH
      IF(IPH.EQ.0)GOTO 18
      DO I=1,IPH
      READ(5,*) (ICPH(I,J),J=1,3) !线段信息
      ENDDO
18  READ(5,*)IN,(L,PF(I),PC(I),PF1(I),PC1(I),PDW(I),PDS(I),
%LRU(I),I=1,IN)
      CONTINUE
C    对土条信息重新处理, 保证 IC(I,1)的 x 坐标比 IC(I,2)的小
      DO 37 I=1,IN1
      M1=IC(I,1)
      M2=IC(I,2)
      IF(XN(M1).LT.XN(M2))GO TO 37
      IC(I,1)=IC(I,2)
      IC(I,2)=M1
37  CONTINUE
      IF(IPH.EQ.0)GO TO 672
C    REARRANGE ICPH(I,J) IN THE SAME WAY AS IC(I,J)
      DO 38 I=1,IPH
      M1=ICPH(I,1)
      M2=ICPH(I,2)
      IF(XN(M1).LT.XN(M2))GO TO 38
      ICPH(I,1)=ICPH(I,2)
      ICPH(I,2)=M1
38  CONTINUE
672  CONTINUE
      GTENSION=0
C    FIND THE LINES WHICH INTERCEPT THE CONSIDERED SLICE
      MX=IC(1,1)
      YYY=YN(MX)
      DO 813 I=1,IN1
      DO 813 II=1,2
      IY=IC(I,II)
      IF(YN(IY).GT.YYY)YYY=YN(IY)
813  CONTINUE
      YYY=YYY+100.
      X3(1)=X2(1)
      Y3(1)=Y2(1)
      DO 211 K=1,N
      MF=0
      QN=0.
      W(K)=0.
      DHR=0
      WL(K)=YYY

```

```

LPHS=IC(IN1,3)
IF(IPH.EQ.0)GO TO 739
DO 735 I1=1,IPH
M1=ICPH(I1,1)
M2=ICPH(I1,2)
IF(X(K).LT.XN(M1))GO TO 735
IF(X(K).GE.XN(M2))GO TO 735
IF(ABS(XN(M2)-XN(M1)).LT.0.001)GOTO 735
WL(K)=YN(M1)+(X(K)-XN(M1))*(YN(M2)-YN(M1))/(XN(M2)-XN(M1))
LPHS=ICPH(I1,3)
735 CONTINUE
739 CONTINUE
PP=0.
CT=0.
FT=0.
K1=0
DO 207 I1=1,IN1
M1=IC(I1,1)
M2=IC(I1,2)
M3=I1
IF(X(K).LT.XN(M1))GO TO 207
IF(X(K).GE.XN(M2))GO TO 207
SH2=YN(M1)+(X(K)-XN(M1))*(YN(M2)-YN(M1))/(XN(M2)-XN(M1))
152 FORMAT(1X,'*',I5,2F15.6)
DSH2=ABS((Y(K)-SH2))
DSH1=SH2-Y(K)
C ASSURE THAT THE STRENGTH PARAMETERS OF THE UNDERLYING SOIL
IF(DSH2.GT.0.00005.AND.DSH1.GT.0.001)GO TO 207
K1=K1+1
SH(K1)=SH2
M4(K1)=M3
207 CONTINUE

IF(K1.NE.1)GO TO 707
LX=M4(1)
GO TO 708
707 LX=M4(1)
HN=SH(1)
DO 45 L1=2,K1
IF(SH(L1).GT.HN)GO TO 45
LX=M4(L1)
HN=SH(L1)
45 CONTINUE
708 M1=IC(LX,1)
M2=IC(LX,2)
DELX=XN(M2)-XN(M1)
IF(ABS(DELX).GT.0.001)BBK=(YN(M2)-YN(M1))/(XN(M2)-XN(M1))
X3(K)=X2(K)
Y3(K)=YN(M1)+(X3(K)-XN(M1))*BBK
139 FORMAT(1X,'K1,LX,M2,M1,XM2,XM1',4I5,2F10.3)
LINES(K)=LX !96.12.29
47 DO 46 L1=1,K1
LSB=M4(L1)
M4(L1)=IC(LSB,3)
46 CONTINUE
IF(WL(K).GT.Y(K))GO TO 734
DO 530 ISP=1,K1
SDIF=ABS(WL(K)-SH(ISP))
IF(SDIF.LT.0.00001)GO TO 734

```

```

530  CONTINUE
      K1=K1+1
      SH(K1)=WL(K)
      M4(K1)=LPHS
734  J=1
27   MSP=1
      DO 209 I=1,K1
      IF(J.EQ.I)GO TO 209
      IF(SH(J).LT.SH(I))GO TO 209
      MSP=MSP+1
209  CONTINUE
      SHNE(MSP)=SH(J)
      M4NE(MSP)=M4(J)
      IF(J.GE.K1)GO TO 229
      J=J+1
      GO TO 27
229  K1=K1+1
      SHNE(K1)=Y(K)
      YSF(K)=SHNE(1)
      M4NE(K1)=M4NE(K1-1)
      SH3=SHNE(K1)-SHNE(1)
      IF((K1-1).LE.0)GO TO 641
      DDH=0.
      IF(SHNE(1).GT.UWL)W(K)=RW*(SHNE(1)-UWL)
      DO 208 I=2,K1
      M5=M4NE(I-1)
      WL1=WL(K)-0.0001
      IF(SHNE(I-1).LT.WL1)PDNO=PDW(M5)
      IF(SHNE(I-1).GE.WL1)PDNO=PDS(M5)
      DH=SHNE(I)-SHNE(I-1)
      DWK=DH*PDNO
      W(K)=W(K)+DWK
42   CT=CT+DH*PC(M5)
      IF(PC(M5).LT.0.00001.AND.PF(M5).LT.0.00001)GO TO 589
      FT=FT+DH*PF(M5)
      GO TO 208
589  DDH=DDH+DH
      DHR=DHR+DH
208  CONTINUE

      DHRP=SH3-DHR
      M7=M4NE(K1)
      IF(MF.NE.0)M7=IC3(MF,3)
      MLA(K)=M7
      PP=0
      XU(K)=SHNE(1)
      HSL(K)=SH3
      IF(IPH.EQ.0)GO TO 736
      IF(Y(K).LT.WL(K))GOTO 590
      WLM=WL(K)
      IF(K.EQ.1.OR.K.EQ.N)GO TO 590
      IF(LRU(M7).EQ.0.AND.SHNE(1).LE.UWL)PP=(Y(K)-WLM)*RW
      IF(LRU(M7).EQ.0.AND.SHNE(1).GT.UWL)PP=(Y(K)-UWL)*RW
590  CONTINUE
      WT1=Y(K)-UWL
      IF(WT1.LT.0)WT1=0
      W(K)=W(K)-WT1*RW
      PP=PP-WT1*RW
736  IF(ABS(SH3).LT.0.001.OR.ABS(W(K)).LT.0.001)GO TO 641

```

```

        IF(LRU(M7).GE.0)THEN
        RU(K)=PP/W(K)
        GOTO 961
        ENDIF
        IF(Y(K).GT.WL(K).OR.IPH.EQ.0)THEN
        RU(K)=RUS(M7)
        ELSE
        RU(K)=0
        ENDIF
961   BDA(K)=W(K)/SH3
        CA(K)=CT/SH3
        IF(ABS(SH3-DDH).LT.0.0001)GO TO 587
        FAA(K)=FT/(SH3-DDH)
        GO TO 586
587   FAA(K)=0.
586   CONTINUE
        GOTO 55
641   RU(K)=0.
        W(K)=0
        BDA(K)=0.
        CA(K)=0.
        FAA(K)=0.
55    F(K)=PF(M7)
        C(K)=PC(M7)
21    CONTINUE
211   CONTINUE
        IF(ABS(W(N)).GT.0.001) GO TO 256
        W(N)=0.001
100   FORMAT(I3/(7F11.6))
256   CONTINUE
        C(1)=C(2)
        F(1)=F(2)
265   WRITE(6,251)
252   FORMAT(1X,'NUMBER OF SLICES=',I5)
        WRITE(6,252)N
        WRITE(6,258)
251   FORMAT(1X,'DATA FOR EACH SLICE:')
258   FORMAT(T5,'NO.      ',T14,'X',T24,'Y',T34,'W',T44,'RU',T54,'C',
        @T64,'F',T74,'BDA',T84,'WL')
        WRITE(6,253)(I,MLA(I),X(I),Y(I),W(I),RU(I),C(I),F(I),BDA(I),WL(I)
        %,I=1,N)
253   FORMAT(1X,2I5,8F10.3)
104   FORMAT(1X,'PORE PRESSURE',F10.3)
        WRITE(6,254)
254   FORMAT(1X,'NOTE:W=WEIGHT PER UNIT WIDTH,RU=COEF. OF PORE PRES.')
        WRITE(6,255)
255   FORMAT(6X,'C=COEFFICIENT OF COHESION,F=COEFFICIENT OF FRICTION')
        WRITE(6,259)
259   FORMAT(6X,'BDA=AVERAGE UNIT WEIGHT,WL=Y VALUE OF PHREATIC LINE')
        END

```

3. 例题

(1) 数据文件 PROFILE.DAT:

```

21
9.8,0.0
9
1      2      3
2      3      1

```

3	4	1							
2	5	3							
5	6	2							
6	7	2							
7	8	2							
5	9	3							
9	10	3							
10									
1	.000	-25.000							
2	-30.000	-25.000							
3	-50.000	-35.000							
4	-70.000	-35.000							
5	-40.000	-27.000							
6	-50.000	-29.000							
7	-54.000	-31.000							
8	-70.000	-31.000							
9	-52.000	-24.000							
10	-70.000	-24.000							
1	-51.522050	-35.000000							
2	-50.955680	-33.901810							
3	-49.822940	-31.978910							
4	-48.690200	-30.491210							
5	-47.557460	-29.278430							
6	-46.424730	-28.265840							
7	-45.291990	-27.411070							
8	-44.159260	-26.687410							
9	-43.026520	-26.076840							
10	-41.893780	-25.566700							
11	-40.761050	-25.147810							
12	-39.628310	-24.813490							
13	-38.495570	-24.558860							
14	-37.362830	-24.380470							
15	-36.230100	-24.275990							
16	-35.097360	-24.244130							
17	-33.964630	-24.284500							
18	-32.831890	-24.397580							
19	-31.699150	-24.584810							
20	-30.566420	-24.848610							
21	-30.000050	-25.000020							
0									
3									
1	38.000	.000	.000	.000	19.500	19.500	0		
2	23.000	5.300	.000	.000	19.500	19.500	0		
3	20.000	7.200	.000	.000	19.500	19.500	0		

(2) 计算成果 PROFILE.C:

DATA FOR EACH SLICE:

NUMBER OF SLICES= 21

NO.	SOIL	X	Y	W	RU	C	F	BDA	WL
1	1	-51.522	-35.000	.000	.000	.000	38.000	.000	76.000
2	1	-50.956	-33.902	21.415	.000	.000	38.000	19.500	76.000
3	1	-49.823	-31.979	57.185	.000	.000	38.000	19.500	76.000
4	1	-48.690	-30.491	75.151	.000	.000	38.000	19.500	76.000
5	1	-47.557	-29.278	87.756	.000	.000	38.000	19.500	76.000
6	2	-46.425	-28.266	96.457	.000	5.300	23.000	19.500	76.000
7	2	-45.292	-27.411	102.081	.000	5.300	23.000	19.500	76.000
8	2	-44.159	-26.687	105.148	.000	5.300	23.000	19.500	76.000

9	3	-43.027	-26.077	106.010	.000	7.200	20.000	19.500	76.000
10	3	-41.894	-25.567	104.914	.000	7.200	20.000	19.500	76.000
11	3	-40.761	-25.148	102.038	.000	7.200	20.000	19.500	76.000
12	3	-39.628	-24.813	97.513	.000	7.200	20.000	19.500	76.000
13	3	-38.496	-24.559	91.434	.000	7.200	20.000	19.500	76.000
14	3	-37.363	-24.380	83.868	.000	7.200	20.000	19.500	76.000
15	3	-36.230	-24.276	74.862	.000	7.200	20.000	19.500	76.000
16	3	-35.097	-24.244	64.439	.000	7.200	20.000	19.500	76.000
17	3	-33.965	-24.285	52.607	.000	7.200	20.000	19.500	76.000
18	3	-32.832	-24.398	39.358	.000	7.200	20.000	19.500	76.000
19	3	-31.699	-24.585	24.663	.000	7.200	20.000	19.500	76.000
20	3	-30.566	-24.849	8.475	.000	7.200	20.000	19.500	76.000
21	3	-30.000	-25.000	.001	.000	7.200	20.000	.000	76.000

NOTE:W=WEIGHT PER UNIT WIDTH,RU=COEF. OF PORE PRES.

C=COEFFICIENT OF COHESION,F=COEFFICIENT OF FRICTION

BDA=AVERAGE UNIT WEIGHT,WL=Y VALUE OF PHREATIC LINE

11.3.5 计算安全系数的程序S.FOR

1. 说明

本程序包括一个主程序和三个子程序。子程序 MP 实现垂直条分法的计算过程,包括陆军工程师团法。子程序 SAFE2 实现瑞典法、毕肖普法和简化法的计算过程,这三个方法和相应计算公式已在第 3 章中曾作了详细介绍。通过一个整型变量 OPTION 来控制计算方法,通过变量 ID-C 来控制滑面形状(圆弧或非圆弧)。对非圆弧滑裂面,通过 IWALL=0 和=1,分别实现垂直条分法计算安全系数和土压力的功能。本源程序中将水容重 RW 设为 9.8,也就是要求使用 kN·m 的量纲体系。控制滑面几何形状的点有两套,一套为界面在土条底的坐标,用 X2(I)、Y2(I)代表,土条总数为 NS。另一套为土条底中点的坐标,用 X(I)、Y(I)来代表,在输入 W(I)、RU(I)等一系列物理力学参数时,都是相应土条中点的,但是加上了左、右两个端点的相应物理量,因此,读入了总数为 $N=NS+1$ 行数据。这些信息实际上就是程序 PROFILE.FOR 的输出成果。在使用程序 MP 实现垂直条分法时,程序首先使用子程序 SAFE2 中简化法的计算安全系数,作为初值,然后进行第 3 节介绍的稳定分析方法的计算。子程序 SAFE2 在进行 Bishop 法计算时,同样用简化法计算安全系数初值。读者还可从子程序 MP 中发现通过式(2.43)计算简化法 1 即 λ 初值的过程。

2. 源程序

```

      REAL AB1
      INTEGER N,NS,OPTION
      COMMON/AS/ASP
      COMMON/CIRCLE/ID_C,CX,CY,DS
C      OPTION=0,SPENCER法
C      OPTION=1,BISHOP法
C      OPTION=2,瑞典法
C      OPTION=3,工程师团法
C      OPTION=4,简化法
C      ID_C=0,任意形状滑裂面; ID_C不为零,圆弧滑裂面
      REAL X2(80),Y2(80),W(80),X(80),Y(80),C(80),F(80),WL(80)
$      ,FXO(80),FX(80),BN(80)
      REALBDA(80),FQUH(80),FDIS(80),YSF(80),RU(80),ALF(80),RW
      WRITE(6,*)'输入数据文件名'
      OPEN(5,FILE=" ",STATUS='UNKNOWN')
```

```

WRITE(6,*)'输入计算成果文件名'
OPEN(6,FILE=','STATUS='UNKNOWN')
RW=9.8
AB1=0.0
WRITE(6,*)'边坡稳定分析'
READ(5,*)OPTION,ID_C
IF(ID_C.NE.0)READ(5,*)CX,CY,DS
READ(5,*)N!土条总数
NS=N-1
READ(5,*)(X(I),I=1,N)
READ(5,*)(Y(I),I=1,N)
READ(5,*)(ALF(I),I=1,N)
N=NS+1
DO302I=1,N
  READ(5,*)W(I),RU(I),C(I),F(I),BDA(I),WL(I),FQUH(I),FDIS(I),YSF(I)
  F(I)=TAN(F(I)*3.14159/180.)
302 CONTINUE
  WRITE(6,*)(ALF(I),I=1,N)
  !读入两端点和土条底中点的数据,其中涉及力的物理量均以单宽土条计
  !X2,Y2=坐标,W=土条重量,RU=孔压系数,C=粘聚力,F=摩擦系数,BDA=土容重,
  !WL=浸润线Y坐标,FQUH,FDIS,YSF=水平地震力大小,Y坐标,垂直水平地震力大小
  IF(OPTION.EQ.3)THEN
    READ(5,*)ASP
    WRITE(6,*)'陆军工程师团法, 平均坝坡=',ASP
    ASP=ASP*3.14159/180.
  ENDIF
  WRITE(6,709)RW
709 FORMAT(1X,'水容重=',F10.3//)
  WRITE(6,702)
702 FORMAT(T25,'DATAFORASSUMEDSIDEFORCEFUNCTION')
  WRITE(6,703)
703 FORMAT(T25,'*****//')
  !计算土条底中点的坐标和条底倾角
  DO208I=2,NS
    X2(I)=(X(I)+X(I+1))/2.
    Y2(I)=(Y(I)+Y(I+1))/2.
208 CONTINUE
    X2(N)=X(N)
    Y2(N)=Y(N)
    X2(1)=X(1)
    Y2(1)=Y(1)
    WRITE(6,716)
716 FORMAT(T5,'NO:',T14,'X',T24,'Y',T34,'W',T44,'RU',T54,'C',
# T64,'F',T74,'BDA',T84,'WL',T94,'QH',T104,'YE')
    DO901I=1,N
      WRITE(6,718)I,X(I),Y(I),W(I),RU(I),C(I),F(I),BDA(I),WL(I)
# ,FQUH(I),FDIS(I)
901 CONTINUE
718 FORMAT(1X,I5,11F10.3)
    WRITE(6,719)
719 FORMAT(1X,/'NOTE:')
    WRITE(6,720)
720 FORMAT(5X,'W=土条的单宽重量')
    WRITE(6,721)
721 FORMAT(5X,'RU=孔隙水压力系数')
    WRITE(6,722)
722 FORMAT(5X,'C=粘聚力')

```

```

WRITE(6,723)
723  FORMAT(5X,'F=摩擦系数')
WRITE(6,724)
724  FORMAT(5X,'BDA=土条的平均容重')
WRITE(6,725)
725  FORMAT(5X,'WL=浸润线的Y坐标')
C    WRITE(6,701)
C    WRITE(6,*)'迭代过程'
SELECTCASE(OPTION)
CASE(0)
WRITE(6,701)
701  FORMAT(/10X,'SPENCERMETHOD')
CALLSAFE2(X2,F,FQUH,FDIS,W,RU,N,X,ALF,C,AB1,4)
IWALL=0
DO301I=1,80
FXO(I)=0
FX(I)=1
301  CONTINUE!TAN(BETA(I))=FXO(I)+ALAM*FX(I)
KXYX=0
CALLMP(N,KXYX,KS,AB1,DQ,DM,BN,FX,FXO,
&    C,F,X2,Y2,X,Y,W,RU,FQUH,WL,FDIS,RW,DB,DF)
CASE(1)
WRITE(6,704)
704  FORMAT(/20X,'BISHOP法')
CALLSAFE2(X2,F,FQUH,FDIS,W,RU,N,X,ALF,C,AB1,OPTION)
CASE(2)
WRITE(6,705)
705  FORMAT(/20X,'瑞典法')
CALLSAFE2(X2,F,FQUH,FDIS,W,RU,N,X,ALF,C,AB1,OPTION)
CASE(3)
WRITE(6,731)
731  FORMAT(/10X,'工程师团法')
CALLSAFE2(X2,F,FQUH,FDIS,W,RU,N,X,ALF,C,AB1,4)
IWALL=0
DO311I=1,80
FXO(I)=0
FX(I)=1
311  CONTINUE!TAN(BETA(I))=FXO(I)+ALAM*FX(I)
KXYX=1
CALLMP(N,KXYX,KS,AB1,DQ,DM,BN,FX,FXO,
&    C,F,X2,Y2,X,Y,W,RU,FQUH,WL,FDIS,RW,DB,DF)
CASE(4)
WRITE(6,789)
789  FORMAT(/20X,'简化法法')
CALLSAFE2(X2,F,FQUH,FDIS,W,RU,N,X,ALF,C,AB1,OPTION)
CASEDEFAULT
ENDSELECT
END

SUBROUTINESAFE2(X2,F,FQUH,FDIS,W,RU,N,X,ALF,C,AB1,ID)
REALX2(80),F(80),FQUH(80),W(80),RU(80),ALF(80),X(80),C(80)
REALAB1,FDIS(80)
REALRO1,DM,RM,BX1,CDN,DG(80),G3,DX1,G,GX
REALO,S1,FRIC,S2,S,DRM,P1,P2,DDM,DBX1,DCDN
COMMON/CIRCLE/ID_C,CX,CY,DS
INTEGERNS
IWALL=0

```

```

RO1=1.0
NS=N-1
KL=2
DM=0.
RM=0.
BX1=0.
CDN=0.
DG(2)=0.
G3=0.
DO93I=2,NS
DX1=X2(I)-X2(I-1)
DG(I+1)=DG(I)+(F(I)-F(I+1))*ALF(I)
93G3=G3+(F(I)*ALF(I)+DG(I))*DX1
G3=G3/(X(N)-X(1))
DO202I=2,NS
IF(ID_C.EQ.0)THEN
RO1=1
ELSE
RO1=(FDIS(I)-CY)/(DS-CY)
ENDIF
G=ALF(I)
GX=G*F(I)-G3+DG(I)
DX1=X2(I)-X2(I-1)
O=FQUH(I)*SIN(G)
S1=W(I)*(COS(G)-RU(I)/COS(G))
FRIC=F(I)
S2=(S1-O)*FRIC
S=C(I)/COS(G)
DRM=S+S2
DRM=DRM*DX1
P1=W(I)*SIN(G)
P2=FQUH(I)*RO1
DDM=(P1+P2)*DX1
DM=DM+DDM
RM=RM+DRM
DBX1=-DRM-SIN(G)*GX*W(I)*DX1
BX1=BX1+DBX1
DCDN=DRM*GX
CDN=CDN+DCDN
CONTINUE
AB1=-BX1/DM+CDN/BX1!通过简化法求得AB1的迭代初值
IF(ID.EQ.4)WRITE(6,*)'简化法安全系数=',AB1
IF(ID.EQ.2)AB1=RM/DM
IF(ID.EQ.2)WRITE(6,*)'瑞典法安全系数=',AB1
IF(ID.NE.1)RETURN
WRITE(6,*)'迭代过程'
LM=1
41DT=0.
DM=0.
RM=0.
DO21I=2,NS
G=ALF(I)
DX1=X2(I)-X2(I-1)
S1=W(I)*(1-RU(I))*F(I)
S2=S1+C(I)
S=COS(G)*(1+F(I)*TAN(G)/AB1)
DRM=DX1*S2/S
RM=RM+DRM

```

```

P1=W(I)*SIN(G)
P2=FQUH(I)*RO1
DDM=(P1+P2)*DX1
DM=DM+DDM
DT=DT+DRM*TAN(G)*F(I)/(AB1**2+AB1*F(I)*TAN(G))
21  CONTINUE
    AB2=RM/DM!BISHOP方法
    IF(AB2.LT.0.OR.AB2.GE.15)THEN
    WRITE(6,*)F.SNOTREASONABLE=',AB2
    AB2=9999.9
    RETURN
    ENDIF
    WRITE(6,740)LM,AB2
740  FORMAT(1X,I5,F10.5)
    IF(ABS(AB2-AB1).LT.0.0001)GOTO49
    IF(LM.LT.10)GOTO9191
    WRITE(6,9192)
9192  FORMAT(1X,ITERATIONTROUBLESINBISHOPMETHOD')
    GOTO49
9191  CK=1-DT/DM!牛顿迭代法
    AB1=AB1-(AB1-AB2)/CK
    LM=LM+1
    GOTO41
49    WRITE(6,203)AB1
203  FORMAT(/5X,'BISHOP法安全系数=',F10.4)
    RETURN
    END

&  SUBROUTINE DETE(AB1,RW,DQ,DM,ALAM,KS,BN,FX,FXO,
    C,F,X2,Y2,W,RU,FQUH,YSF,WL,FDIS,N,DB,KXYX,DF)
    REAL AB1,DQ,DT,DM,ALAM,DF
    REAL C(80),F(80),X2(80),Y2(80),W(80),RU(80),FXO(80),FX(80)
    REAL FQUH(80),YSF(80),WL(80),FDIS(80),BN(80)
    INTEGER KS,N,KXYX
    REAL X(80),ALF(80),G,Y(80)
    REAL EXT,EXR,EYR,EMT,EMR,FMT,DMT,DEG,DX1
    REAL DMG,BS,R1X,TX,QX,PT112,R1XT,POX
    REAL POXT,POY,DPT112,DPX112,BSG,H3,YT(80),GF(80)
    REAL GFX(80),GFY(80),BET(80),EFX(80)
    REAL G1,TA,TA1,OP,FI,FI1,CE,OQ,OQ1,THO,CW
    REAL SEGB,SEGB1,FI0,AXS11,OTEM,DDQ,PX112,DBS
    REAL SX,SXG,DTX1,DTX2,DTX,TX1,DDP,DBS1,DBS2,EPX112
    REAL AAKX1,DR1X1,DR1X2,DR1X,DR1XT
    REAL DG,DDT,GAVE,BETA,DGX,OX,OY,HSL
    REAL TAA,OQS2,OQS1,DG1,BT(80),EXR1,EXT1,EYR1
    REAL EYT1,XCE,YCE,XRE,YRE,DR2X11,DR2X12,DR2X1
    REAL GS,DPOY1,DPOY2,OY1,DDM,DDMT,PM,PMT,DDEG,DDMG
    REAL OQ0,SEGB0,DGG,DMG1,DEG1,OXX
    REAL TEMP1,TEMP2,GG,DDM2,DM1,EWALL,GWALL,PX
    REAL DQM,DMM,DTM,DMTM,DEGM,DMGM,S1,HMW,DDM1,ETA
    REAL GTENSION,HITE,WP,RW
    INTEGER EYT,IWALL,NS
    !本程序计算MORGENSTERN-PRICE,SPENCER和工程师团法
    IWALL=0.!土压力的作用位置
    HMW=0.
    GTENSION=0.
    HITE=0.

```

```

        GWALL=0. !土压力的大小
        !GWALL=1计算土压力设定条件下的安全系数
        !GWALL=2计算主动土压力
        IF(KS.EQ.0)THEN!KS调用本程序段标志符,=0表示第1次调用
        WRITE(6,705)
705      FORMAT(1X,/'VALUEOFFX(I)INORDEROFI')
        WRITE(6,706)(FXO(I),I=1,N)
706      FORMAT(1X,5F10.5)
        WRITE(6,707)
707      FORMAT(1X,/'VALUEOFFX(I)INORDEROFI')
        WRITE(6,708)(FX(I),I=1,N)
708      FORMAT(1X,5F10.5)
        WRITE(6,726)
726      FORMAT(1X,/'迭代过程:')
        WRITE(6,712)
712      FORMAT(T10,'NO.',T24,'DQ',T35,'DM',T55,'AB1',T65,'ALAM')
        ENDIF
        KS=1
        DM=0.
        DT=0.
        EXT=GTENSION
        EYT=0
        EXR=0.
        EYR=0.
        EMT=-GTENSION*HITE/3.
        EMR=0.
        FMT=0.
        DQ=0.
        DMT=0.
        DEG=0.
        DMG=0.
        BS=0.
        R1X=0.
        TX=0.
        QX=0.
        PT112=0.
        PX112=0.
        R1XT=0.
        POX=0.
        POXT=0.
        POY=0.
        DPT112=0.
        DPX112=0.
        BSG=0.
        H3=HITE/3.
        YT(1)=Y2(1)-H3
        DQ=DQ-GTENSION
        GF(1)=-DQ
        DM=DM-GTENSION*H3!96.8.31
        NS=N-1
        DO303I=2,NS
        X(I)=(X2(I)+X2(I-1))/2.
        Y(I)=(Y2(I)+Y2(I-1))/2.
        ALF(I)=ATAN((Y2(I)-Y2(I-1))/(X2(I)-X2(I-1)))
303      CONTINUE
        ALF(1)=ALF(2)
        ALF(N)=0.

```

```

X(N)=X2(NS)
Y(N)=Y2(NS)
X(1)=X2(1)    !X,Y各土条的中点坐标(在滑裂面上)
Y(1)=Y2(1)
DO304I=1,N
BET(I)=ATAN(FXO(I)+ALAM*FX(I))
IF(C(I).LT.0.001.AND.F(I).LT.0.001)BET(I)=0
304  CONTINUE
401  CONTINUE
EWALL=BET(NS)    !土压力的作用角度
GFX(1)=GF(1)*COS(BET(1))
GFY(1)=GF(1)*SIN(BET(1))
DO305I=2,NS
PX=X(I)-X(I-1)
DX1=X2(I)-X2(I-1)
G=ALF(I)
G1=ALF(1)
TA=BET(I)
TA1=BET(1)
OP=G-TA
FI=ATAN(F(I)/AB1)
FI1=ATAN(F(1)/AB1)
CE=C(I)/AB1
OQ=FI-G
OQ1=FI1-G1
THO=SIN(TA)*X(I)-COS(TA)*Y(I)-(SIN(TA)*X(1)-COS(TA)*Y(1))
CW=1
IF(I.GT.2)CW=(X2(I-1)-X2(I-2))/(X2(I)-X2(I-1))
IF((OQ+TA).GT.1.5.OR.(OQ1+TA1).GT.1.5.OR.TA.GT.
$  1.5.OR.TA1.GT.1.5)GOTO317
SEGB=(1./COS(OQ+TA))**2
SEGB1=(1./COS(OQ1+TA1))**2
FMT=FMT+FQUH(I)*(Y(I)-FDIS(I))*DX1
FI0=ATAN(F(I+1)/AB1)
AXS11=ABS((FI-FI0))
OTEM=ABS(OQ+TA)*180./3.14259
IF(OTEM.LT.95.AND.OTEM.GT.85)RETURN
&  DDQ=(W(I)*SIN(OQ)+CE*COS(FI)/COS(G)-RU(I)*W(I)*SIN(FI)/COS(G)
    -FQUH(I)*COS(OQ))/COS(OQ+TA)!DDQ=P(X)SEC(FI-ALF-BETA)
IF(I.GT.2)GOTO307
PX112=-TAN(OQ1+TA1)*COS(TA1)**2.*(FX(1))
DBS1=TAN(OQ1+TA1)
307  DBS2=TAN(OQ+TA)
    EPX112=-DBS2*COS(TA)**2.*(FX(I))
    DBS=(DBS1*CW+DBS2)/(1+CW)
    DBS1=DBS2
    BS=BS+DBS*(BET(I)-BET(I-1))
    BSG=BS+DBS*(BET(I)-BET(I-1))*(0.5*DX1)/PX
    IF((-BS).GT.30.OR.BSG.GT.30)GOTO317
    SX=2.71828**(-BS)!SX=S(X)*COS(FI-ALF+BETA)
    SXG=2.71828**BSG
    IF(I.GT.2)GOTO309
    DTX1=(SIN(TA1)-TAN(G1)*COS(TA1))
    DTX2=(SIN(TA)-TAN(G)*COS(TA))/SX
    DTX=(DTX1*CW+DTX2)/(1+CW)
    DTX1=DTX2
    TX1=TX+DTX*PX*0.5
    TX=TX+DTX*(X(I)-X(I-1))

```

```

#      DDP=(-FQUH(I)*SIN(TA)*SIN(FI)+CE*COS(OP)*COS(FI)/
#      COS(G)+W(I)*SIN(FI)*COS(TA)-RU(I)*W(I)*SIN(FI)*COS(OP)/
#      COS(G))*COS(FI)/(-AB1*COS(OQ+TA)**2)
      AAKX1=DDP/DDQ
      IF(I.GT.2)GOTO310
      DR1X1=(-SIN(FI1)*COS(FI1)*SEGB1/AB1)
310    DR1X2=(-SIN(FI)*COS(FI)*SEGB/AB1)
      DR1X=(DR1X1*CW+DR1X2)/(1+CW)
      DR1X1=DR1X2
      DR1XT=DR1X*TX1
      R1XT=R1XT+DR1XT*(BET(I)-BET(I-1))
      R1X=R1X+DR1X*(BET(I)-BET(I-1))
      DG=DDQ*SX*DX1
      DQ=DQ+DG!DQ=DG的积分,DG=P(X)S(X),力的平衡
      DDT=DG*(AAKX1-R1X)
      DT=DT+DDT!DT=DDT的积分,DDT=P(X)S(X)T(X),力矩平衡
      GF(I)=-DQ*SXG
      GFX(I)=GF(I)*COS(BET(I))
      GFY(I)=GF(I)*SIN(BET(I))
      GAVE=(GFY(I)+GFY(I-1))/2.
      BETA=(BET(I)+BET(I-1))/2.
      DGX=GFX(I)-GFX(I-1)
      OX=(GFX(I-1)+GFX(I))/2.
      OY=(GFY(I-1)+GFY(I))/2.
      IF(WL(I).GE.Y(I))THEN
        WP=0.
      ELSE
        WP=0.5*(RU(I)*W(I))**2/RW
      ENDIF
      OXX=OX-WP
      EFX(I)=OXX
      IF(OXX.GT.0.)HSL=Y(I)-YSF(I)
      TAA=COS(TA)*COS(TA)*FX(I)
      OQS2=(BET(I+1)+BET(I))/2
      OQS1=(BET(I-1)+BET(I))/2
      DG1=GF(I)*SIN(G-OQS2)-GF(I-1)*SIN(G-OQS1)
      BN(I)=W(I)*DX1*COS(G)+DG1-FQUH(I)*DX1*SIN(G)
      BT(I)=(BN(I)-RU(I)*W(I)*DX1/COS(G))*TAN(FI)+CE*DX1/COS(G)
      EXR1=BN(I)*SIN(G)-BT(I)*COS(G)
      EXR=EXR+EXR1
      EXT1=FQUH(I)*DX1
      EXT=EXT+EXT1
      EYR1=-BN(I)*COS(G)-BT(I)*SIN(G)
      EYR=EYR+EYR1
      EYT1=W(I)*DX1
      EYT=EYT+EYT1
      XCE=X(1)
      YCE=Y(1)
      XRE=X(I)-XCE
      YRE=Y(I)-YCE
      EMT=EMT+EXT1*(FDIS(I)-YCE)-EYT1*XRE!MOMENTOFBODYFORCE
      EMR=EMR+EXR1*YRE-EYR1*XRE!MOMENTOFINTERNALFORCE
      IF(ABS(DX1).LT.0.001)GOTO317
      BN(I)=BN(I)*COS(G)/DX1
      BT(I)=BT(I)*COS(G)/DX1
      IF(KXYX.EQ.0)GOTO402
      GOTO305

```

```

402      IF(I.GT.2)GOTO312
        DR2X11=SEGB1*COS(TA1)**2.*(FX(1))
312      DR2X12=SEGB*COS(TA)**2.*(FX(I))
        DR2X1=(DR2X11*CW+DR2X12)/(1+CW)
        DR2X11=DR2X12
        GS=ALF(I-1)
        POX=POX-DR2X1*(ALF(I)-GS)
        POXT=POXT-DR2X1*(ALF(I)-GS)*TX1
        IF(I.GT.2)GOTO313
        DPOY1=(COS(FI1)/(COS(G1)*COS(OQ1+TA1)))*COS(TA1)**2.*(FX(1))
313      DPOY2=(COS(FI)/(COS(G)*COS(OQ+TA)*SX))*COS(TA)**2.*(FX(I))
        OY1=(DPOY1*CW+DPOY2)/(1+CW)
        DPOY1=DPOY2
        POY=POY+OY1*PX
        DDM=DG*TX
        DDMT=DG*(AAKX1*TX-R1XT)
        PX112=PX112+DPX112
        PT112=PT112+DPT112
        DPX112=0
        DPT112=0.
        PM=POX-PX112
        PMT=POXT+POY-PT112
        DDEG=DG*PM
        DDMG=DG*PMT
        DM=DM+DDM
        DMT=DMT+DDMT
        DEG=DEG+DDEG
        DMG=DMG+DDMG
        IF(AXS11-0.005)305,305,315
        G=ALF(I+1)
315      OQ0=FI0-G
        IF((OQ0+TA).GT.1.5)GOTO317
        SEGB0=(1./COS(OQ0+TA)**2)
        DR2X11=SEGB0*COS(TA)**2.*(FX(I))
        DPX112=-TAN(FI0+BET(I+1)-G)*COS(BET(I+1))**2*FX(I+1)
#      +TAN(OQ+TA)*COS(TA)**2.*FX(I)
        DPT112=DPX112*TX
305      CONTINUE
        TEMP1=EPX112+PM
        TEMP2=PMT-TX*TAN(OQ+TA)*TAA
        IF(IWALL.EQ.2)THEN
        GG=-DQ
        DDM1=HMW*COS(EWALL)+TX*SX
        DDM2=HMW*COS(EWALL)/SX+TX
        DM1=DM
        DM=DM1+GG/SX*DDM1-FMT
        DDDM2=-HMW*COS(EWALL)/SX*TEMP1-TX*TEMP1+TEMP2
        DGG=-DEG*(HMW*COS(EWALL)/SX+TX)
        DMG1=DMG
        DEG1=DEG
        DMG=DMG1+GG*(-HMW*COS(EWALL)/SX*TEMP1-HMW/SX*SIN(EWALL)
#      *FX(N)*COS(EWALL)*COS(EWALL)-TX*TEMP1+TEMP2)-
#      DEG*(HMW*COS(EWALL)/SX+TX)
        DB=-DM/DMG
        ETA=1.0+DQ/GWALL/SX
        EXT=EXT-GWALL*COS(EWALL)*(1-ETA)
        EYT=EYT-GWALL*SIN(EWALL)*(1-ETA)

```

```

      EMT=EMT+GWALL*SIN(EWALL)*(X(N)-X(1))*(1-ETA)-
      %GWALL*COS(EWALL)*(Y(N)-Y(1)-HMW)*(1-ETA)
      GOTO317
    ENDIF
    IF(IWALL.EQ.1)THEN
      DQM=SX*GWALL
      DDM1=HMW*COS(EWALL)+TX*SX
      DMM=GWALL*DDM1
      DTM=-GWALL*SX*R1X
      DMTM=-GWALL*SX*R1XT
      DEGM=TEMP1*SX*GWALL
      DMGM=TEMP2*SX*GWALL
      DMGM=DMGM-GWALL*SIN(EWALL)*FX(N)*COS(EWALL)
%      *COS(EWALL)*HMW
      DQ=DQ+DQM          !式(2.31)
      DM=DM+DMM          !式(2.32)
      DT=DT+DTM          !DT=DQ对AB1的偏导数
      DMT=DMT+DMTM       !DMT=DM对AB1的偏导数
      DEG=DEG+DEGM       !DEG=DQ对ALAM的偏导数
      DMG=DMG+DMGM       !DMG=DM对ALAM的偏导数
      EXT=EXT-GWALL*COS(EWALL)
      EYT=EYT-GWALL*SIN(EWALL)
      EMT=EMT+GWALL*SIN(EWALL)*(X(N)-X(1))-GWALL*COS(EWALL)
$      *(Y(N)-Y(1)-HMW)
    ENDIF
316  CONTINUE
      IF(ABS(DM).GT.1.0E+20)GOTO317
      IF(ABS(DMT).GT.1.0E+20)GOTO317
      DM=DM-FMT          !
      S1=DEG*DMT-DT*DMG
      IF(KXYX.EQ.1)THEN
        DF=-DQ/DT
        GOTO317
      ENDIF
      IF(ABS(S1).LE.0.01)GOTO317
      DF=(DQ*DMG-DM*DEG)/S1      !式(2.33)
      DB=(-DQ*DMT+DM*DT)/S1      !式(2.34)
317  RETURN
      END

C
&  SUBROUTINE MP(N,KXYX,KS,AB1,DQ,DM,BN,FX,FXO,
    C,F,X2,Y2,X,Y,W,RU,FQUH,WL,FDIS,RW,DB,DF)
    REAL AB1,DF,DQ,DM,ALAM,DB
    INTEGER KS,N,KXYX
    REAL X2(80),Y2(80),W(80),X(80),Y(80),C(80),F(80),WL(80)
    REAL FQUH(80),FDIS(80),YSF(80),RU(80),RW
    REAL GAV,PLA,FA,FB,PLA1
    REAL BN(80),FX(80),FXO(80)
    COMMON/AS/ASP
    !KXYX力矩平衡控制符,=0时同时计算力和力矩的平衡
    FA=0.
    FB=0.
    PLA=0.
    IF(KXYX.EQ.0)THEN
      GAV=(Y(N)-Y(1))/(X(N)-X(1))
      DO277I=2,N

```

```

277    PLA=PLA+(X(I)-X(I-1))*(FX(I)+FX(I-1))/2.
      CONTINUE
      PLA1=(FA+FB)*(X(N)-X(1))/2.
      ALAM=(GAV*(X(N)-X(1))-PLA1)/PLA  !ALAM的初值,参见1.3.3节
      ELSE
      ALAM=ASP
      ENDIF
      MQ=1
15    CONTINUE
      CALL DETE(AB1,RW,DQ,DM,ALAM,KS,BN,FX,FXO,
&      C,F,X2,Y2,W,RU,FQUH,YSF,WL,FDIS,N,DB,KXYX,DF)
      WRITE(6,*)MQ,DQ,DM,AB1,ALAM
      AB1=AB1+DF
      IF(KXYX.EQ.0)ALAM=ALAM+DB
      IF(MQ.GE.20)GOTO44
      MQ=MQ+1
      IF(ABS(DF).GT.0.1E-4)GOTO15
      IF(ABS(DB).GT.0.1E-3)GOTO15
44    CONTINUE
      IF(MQ.GE.20)THEN
      WRITE(6,*)"THE ITERATION FAILS"
      RETURN
      ENDIF
      WRITE(6,727)
727    FORMAT(1X,/"THERESULTIS:")
      WRITE(6,710)ALAM
710    FORMAT(1X,'LAMBDA=',F12.6)
      WRITE(6,711)AB1
711    FORMAT(1X,'FACTOR OF SAFETY=',F12.6/)
      RETURN
      END

```

3. 例题

以 11.3.1 节的算例,说明上节所示源程序的使用。计算简图如图 11.4 所示。数据文件分别为 s0.dat, s1.dat, s2.dat, s3.dat, s4.dat, 分别相应于垂直条分法中 Morgenstern-Price 法, Bishop 法、瑞典法、陆军工程师团法和简化法。这些数据文件除控制符 OPTION 不同外,其它均相同(陆军工程师团法在数据最后增加了一行,输入平均坝坡数据)。文件 s0.dat 列于后。相应迭代过程如下。

(1) 数据文件(s0.dat):

0	0			
21				
-51.522	-50.956	-49.823	-48.690	-47.557
-46.425	-45.292	-44.159	-43.027	-41.894
-40.761	-39.628	-38.496	-37.363	-36.230
-35.097	-33.965	-32.832	-31.699	-30.566
-30.000				
-35.000	-33.902	-31.979	-30.491	-29.278
-28.266	-27.411	-26.687	-26.077	-25.567
-25.148	-24.813	-24.559	-24.380	-24.276
-24.244	-24.285	-24.398	-24.585	-24.849
-25.000				
1.094647	1.094647	.969015	.863838	.770531

.685123	.605365	.529825	.457513	.387709			
.319849	.253490	.188260	.123833	.059923			
-.003743	-.067425	-.131382	-.195887	-.261233			
-.261233							
.000	.000	.000	38.000	.000	76.000	0	0
21.415	.000	.000	38.000	19.500	76.000	0	0
57.185	.000	.000	38.000	19.500	76.000	0	0
75.151	.000	.000	38.000	19.500	76.000	0	0
87.756	.000	.000	38.000	19.500	76.000	0	0
96.457	.000	5.300	23.000	19.500	76.000	0	0
102.081	.000	5.300	23.000	19.500	76.000	0	0
105.148	.000	5.300	23.000	19.500	76.000	0	0
106.010	.000	7.200	20.000	19.500	76.000	0	0
104.914	.000	7.200	20.000	19.500	76.000	0	0
102.038	.000	7.200	20.000	19.500	76.000	0	0
97.513	.000	7.200	20.000	19.500	76.000	0	0
91.434	.000	7.200	20.000	19.500	76.000	0	0
83.868	.000	7.200	20.000	19.500	76.000	0	0
74.862	.000	7.200	20.000	19.500	76.000	0	0
64.439	.000	7.200	20.000	19.500	76.000	0	0
52.607	.000	7.200	20.000	19.500	76.000	0	0
39.358	.000	7.200	20.000	19.500	76.000	0	0
24.663	.000	7.200	20.000	19.500	76.000	0	0
8.475	.000	7.200	20.000	19.500	76.000	0	0
.001	.000	7.200	20.000	.000	76.000	0	0

(2) 计算成果(S0.c):

条底倾角 α 值

1.094647	1.094647	9.690150E-01	8.638380E-01
7.705310E-01	6.851230E-01	6.053650E-01	5.298250E-01
4.575130E-01	3.877090E-01	3.198490E-01	2.534900E-01
1.882600E-01	1.238330E-01	5.992300E-02	-3.743000E-03
-6.742500E-02	-1.313820E-01	-1.958870E-01	-2.612330E-01
-2.612330E-01			

水容量= 9.800

DATA FOR ASSUMED SIDE FORCE FUNCTION

NO.	X	Y	W	RU	C	F	BDA	WL	QH	YE
1	-51.522	-35.000	.000	.000	.000	.781	.000	76.000	.000	.000
2	-50.956	-33.902	21.415	.000	.000	.781	19.500	76.000	.000	.000
3	-49.823	-31.979	57.185	.000	.000	.781	19.500	76.000	.000	.000
4	-48.690	-30.491	75.151	.000	.000	.781	19.500	76.000	.000	.000
5	-47.557	-29.278	87.756	.000	.000	.781	19.500	76.000	.000	.000
6	-46.425	-28.266	96.457	.000	5.300	.424	19.500	76.000	.000	.000
7	-45.292	-27.411	102.081	.000	5.300	.424	19.500	76.000	.000	.000
8	-44.159	-26.687	105.148	.000	5.300	.424	19.500	76.000	.000	.000
9	-43.027	-26.077	106.010	.000	7.200	.364	19.500	76.000	.000	.000
10	-41.894	-25.567	104.914	.000	7.200	.364	19.500	76.000	.000	.000
11	-40.761	-25.148	102.038	.000	7.200	.364	19.500	76.000	.000	.000
12	-39.628	-24.813	97.513	.000	7.200	.364	19.500	76.000	.000	.000
13	-38.496	-24.559	91.434	.000	7.200	.364	19.500	76.000	.000	.000
14	-37.363	-24.380	83.868	.000	7.200	.364	19.500	76.000	.000	.000
15	-36.230	-24.276	74.862	.000	7.200	.364	19.500	76.000	.000	.000
16	-35.097	-24.244	64.439	.000	7.200	.364	19.500	76.000	.000	.000
17	-33.965	-24.285	52.607	.000	7.200	.364	19.500	76.000	.000	.000

18	-32.832	-24.398	39.358	.000	7.200	.364	19.500	76.000	.000	.000
19	-31.699	-24.585	24.663	.000	7.200	.364	19.500	76.000	.000	.000
20	-30.566	-24.849	8.475	.000	7.200	.364	19.500	76.000	.000	.000
21	-30.000	-25.000	.001	.000	7.200	.364	.000	76.000	.000	.000

NOTE:

W=土条的单宽重量

RU=孔隙水压力系数

C=粘聚力

F=摩擦系数

BDA=土条的平均容重

WL=浸润线的 Y 坐标

SPENCER METHOD

简化法安全系数= 1.325056

迭代过程:

NO.	DQ	DM	AB1	ALAM
1	20.968520	139.277800	1.325056	4.646409E-01
2	9.050338E-01	15.479030	1.344203	3.878648E-01
3	4.864426E-03	4.935455E-02	1.343819	3.800467E-01

THE RESULTS ARE:

LAMBDA= .380018

FACTOR OF SAFETY= 1.343821

上表中 DQ 和 DM 为按式(2.31)和式(2.32)计算的不平衡力和力矩, AB1 和 ALAM 分别为安全系数 F 和 λ 数值。

相应 s1.dat, s2.dat, s3.dat, d4.dat 的安全系数分别为 1.384、1.228、1.346 和 1.350。

11.4 边坡稳定分析程序的考核

11.4.1 概述

随着计算机的普及推广,几乎所有的岩土工程设计者都使用自己编制的或商用程序对边坡的稳定性进行分析计算。鉴于计算成果对工程的经济和安全有着直接影响,因此,对稳定分析程序的可靠性进行评估和鉴定,就成为广受关注的工作。

Fredlund (1987)曾对加拿大常用的边坡稳定分析程序作了一次调查,并以表格形式介绍各程序的功能和用途,但未对这些程序进行考核。他的调查发现,获得考核的程序对同一算例的计算结果互相差异甚大。1980 年,香港工程发展部岩土工程处 (Geotechnical Control Office of the Engineering Development Department, Hong Kong) 曾进行过一次测验。提出了 29 道边坡稳定分析的考核题,每道考核题都详细注明了几何断面、土的力学强度指标、地下水情况、表面荷载和计算的滑裂面。所有的考核题都是从香港的实际工程中提炼出来的。42 个单位或个人提交了 54 份答卷。其中 75%是采用简化 Janbu 法进行安全系数计算,计算的成果互相接近。但是由于使用的是简化 Janbu 法,其成果都和严格方法 (MorgesternPrice 法, Sarma 法) 有较大的出入。此外,这次测验仅局限于对指定的滑裂面计算,没有涉及最小安全系数计算。Lumsdaine 和 Tang (1982)曾对这次测验作过详细报道。香港工程发展部岩土工

程处随后建立了一个对各设计部门使用的边坡稳定分析程序进行审核的制度,凡是提交该处审查的计算成果必须使用经审定的程序。程序在报审时必须提交五道考核题的答卷,包括全部的输入、输出数据和使用手册。

自 1982 年开始,水利电力部规划设计院在潘家铮总工程师主持下,曾对水电系统常用的土石坝边坡稳定分析和其它数值分析程序进行开发和鉴定工作。原水利电力部昆明设计院根据天生桥水电站工程的实际情况设计了考核题。

在国内外对边坡稳定分析程序进行考核的工作中,澳大利亚计算机应用协会的一项调查工作细致,并已正式记载于文献(Donald & Giam, 1992)。在下节中,将着重介绍这一考核工作的成果。

11.4.2 澳大利亚ACADS边坡稳定分析程序调查

1987 年,澳大利亚计算机应用协会(ACADS)对澳大利亚所使用的边坡稳定分析程序进行一次调查。他们委托 Monash 大学的 B. Donald 教授和 P. Giam 博士主持此项工作。此次调查设计的考核题五道总计十个小题。向 120 个单位的发出了邀请。有 28 个单位发回了计算答案。东道主 Donald 教授还邀请了国际上在边坡稳定分析程序方面做过较多工作的研究者提供“裁判程序”(Referee Program)答案。本书作者有幸与加拿大 Saskatchewan 大学 Fredlund 教授和以色列工学院的 Baker 教授一起被邀请担任此项工作。本研究成果已于 1989 年 4 月 19 日在澳大利亚岩土工程协会维克多利亞分会的月会上公布,后正式发表(Donald & Giam, 1992)。由于这次调查工作规模较大,所获得的成果比较可靠。本节详细介绍有关的考核题和答案。这些内容可作为各单位和个人对自编程序考核的参考资料。

1. 考核题设计

(1) 考核题 1: 本题包括四小题。图 11.5、图 11.6 及表 11.1 和表 11.2 分别给出本题剖面的几何尺寸及物性指标。对所有四种情况,要求确定临界滑裂面(圆弧或非圆弧)以及最小安全系数。

考核题 1(a)为一均质边坡,材料特性如表 11.1 所示。

考核题 1(b)为同样几何形状的均质边坡,但材料特性如表 11.2 所示,要求选择一个合适的拉力缝深度,并假定缝内充水。

考核题 1(c)为非均质边坡,材料特性如表 11.3 所示。相信读者对考核题 1(c)已很熟悉了,因为在第 2、第 4、第 10 章中已多次使用。

考核题 1(d)情况与考核题 1(c)情况相同,只是土体作用一水平地震加速度,系数为 $0.15g$ 。

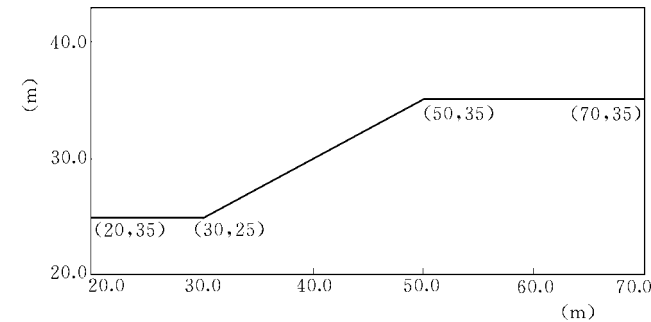


图 11.5 ACADS 考核题 EX1(a)和 EX1(b)

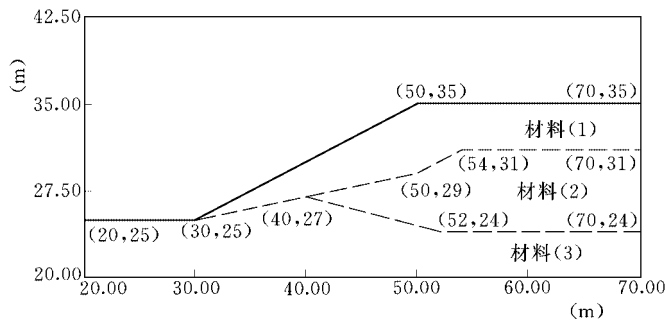


图 11.6 ACADS 考核题 EX1(c)和 EX1(d)

表 11.1 考核题 1(a)材料性质

c (kN/m ²)	ϕ (°)	γ (kN/m ³)	E (kN/m ²)	ν	K_0	备注
3.0	19.6	20.0	1.0E4	0.25	0.65	1 [#] 土

表 11.2 考核题 1 (b)材料性质

c (kN/m ²)	ϕ (°)	γ (kN/m ³)	E (kN/m ²)	ν	K_0	备注
32.0	10.0	20.0	1.0E4	0.25	0.65	1 [#] 土

注 这一问题需设一合适的拉力缝。

表 11.3 考核题 1(c、d)材料性质

土号	c (kN/m ²)	ϕ (°)	γ (kN/m ³)	E (kN/m ²)	ν	K_0
1 [#] 土	0.0	38.0	19.5	1.0E4	0.25	0.65
2 [#] 土	5.3	23.0	19.5	1.0E4	0.25	0.65
3 [#] 土	7.2	20.0	19.5	1.0E4	0.25	0.65

(2) 考核题 2: 本题选自 Talbingo 坝实例, 图 11.7 及表 11.4~表 11.6 分别给出其剖面的

几何尺寸及物性指标。材料 1 为堆石填料，材料 2 为心墙料。

考核题 2(a)要求确定上游坡临界滑裂面及相应最小安全系数。

考核题 2(b)要求对指定圆弧计算其稳定安全系数，圆弧圆心坐标和半径值参见表 11.6。

(3) 考核题 3：本题的边坡剖面几何特征和材料特性示于图 11.8 和表 11.7。地下水位假定位于软弱夹层底部，地下水位以上孔压为零。考核题 3(a)要求确定临界滑裂面(圆弧或非圆弧)和相应最小安全系数，考核题 3(b)要求计算指定滑裂面(其坐标如表 11.8 所示)的安全系数。

考核题 3 的数据如表 11.7 和表 11.8。

表 11.4 考核题 2 几何剖面数据

点号	X (m)	Y (m)	点号	X (m)	Y (m)
1	0	0	14	648	0
2	315.5	162	15	168.1	0
3	319.5	162	16	302.2	130.6
4	321.6	162	17	200.7	0
5	327.6	162	18	311.9	130.6
6	386.9	130.6	19	307.1	0
7	394.1	130.6	20	331.3	130.6
8	453.4	97.9	21	328.8	146.1
9	460.6	97.9	22	310.7	0
10	515	65.3	23	333.7	130.6
11	521.1	65.3	24	331.3	146.1
12	577.9	31.4	25	372.4	0
13	585.1	31.4	26	347	130.6

注 点号参考图 11.7。

表 11.5 考核题 2 材料性质

	c (kN/m ²)	ϕ (°)	γ (kN/m ³)	E (kN/m ²)	ν	K_0
堆石	0.0	45	20.4	5.0E4	0.30	0.65
过渡层	0.0	45	20.4	5.0E4	0.30	0.65
反滤层	0.0	45	20.4	4.0E4	0.30	0.65
心墙	85	23	18.1	1.0E4	0.44	0.65

注 堆石、过渡层和反滤层几乎具有同样的材料性质。

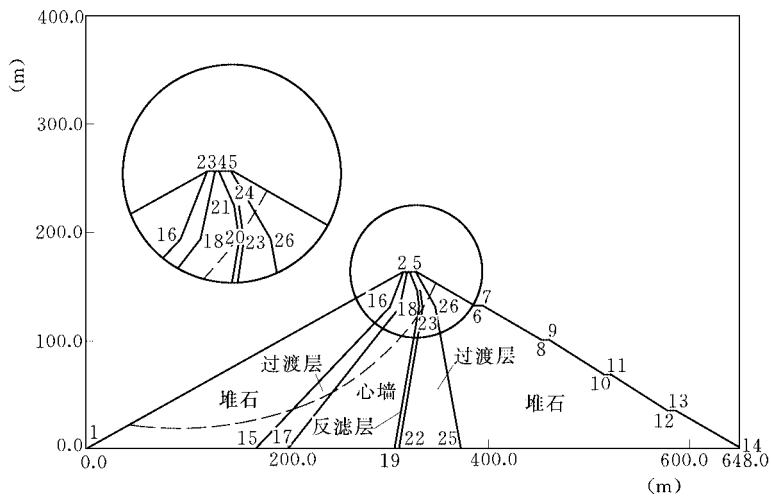


图 11.7 ACADS 考核题 EX2

表 11.6 考核题 2(b)圆弧滑裂面信息

X (m)	Y(m)	半径(m)
100.3	290.0	278.8

注 x、y 轴的原点位于上游堆石边坡和坝基的交点。

表 11.7 考核题 3 材料性质

	$c(\text{kN/m}^2)$	$\phi(^{\circ})$	$\gamma(\text{kN/m}^3)$	$E(\text{kN/m}^2)$	ν	K_0
1 [#] 土	28.5	20.0	18.84	6.0E4	0.25	0.65
2 [#] 土	0.0	10.0	18.84	2.0E3	0.25	0.65

注 假设水面线与基础中的软弱夹层相重合(夹层和夹层上的孔压=0)，不考虑水面线以上负的孔隙水压力。

表 11.8 考核题 3(b)滑裂面控制点坐标

X(m)	Y(m)
41.85	27.75
44.00	26.50
63.50	27.00
73.31	40.00

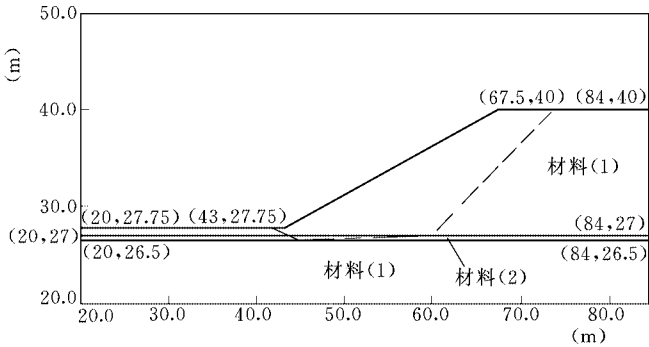


图 11.8 ACADS 考核题 EX3

(4) 考核题 4: 本题为一坡面上作用表面荷载、坡内有浸润线的例子。图 11.9 及表 11.9、表 11.10 和表 11.11 分别给出本题的剖面几何尺寸、物性指标、浸润线及表面荷载，要求确

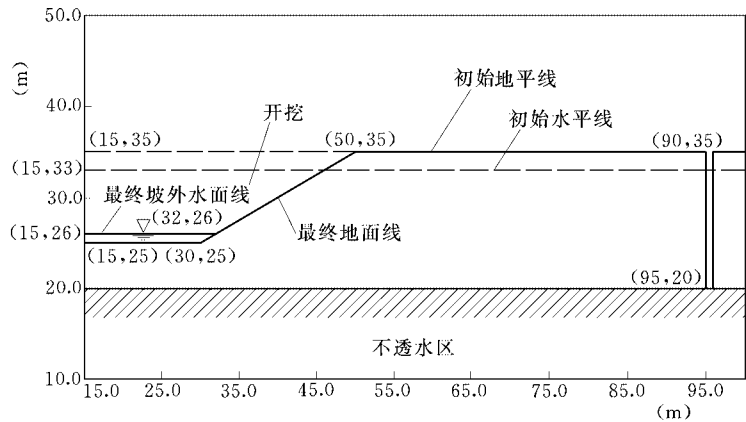


图 11.10 ACADS 考核题 EX5

2. 计算成果汇总和分析

如前所述，组织者向澳大利亚各咨询公司发出了问卷调整，对各题目返回的答案数目在 7~33 个之间。表 11.13 总结了收到的答案。

本次调查邀请了国外三个程序提供裁判答案，Donald 教授也使用了自编的 GWEDGEM 和 EMU 程序分析了这些考核题。综合各咨询公司提供的答案、裁判答案和 Donald 自编程序的答案在表 11.13 汇总，本次考核最终提出了推荐的裁判答案。

现对各题的解答情况作一简要回顾。

表 11.13 返回的问卷答案统计成果

考核题号	分析方法	安全系数				提交答案总数
		均值	标准差	min.F	max.F	
1(a)	(ALL)	0.991	0.031	0.940	1.080	32
(1.00)	BISHOP	0.993	0.015	0.960	1.030	18
	JANBU	0.978	0.041	0.940	1.043	7
1(c)	(ALL)	1.381	0.067	1.230	1.520	30
(1.39)	BISHOP	1.406	0.039	1.350	1.500	16
	JANBU	1.325	0.057	1.264	1.400	6
1(d)	(ALL)	0.972	0.054	0.900	1.100	14
(1.00)						
2(a)	(ALL)	2.003	0.101	1.830	2.201	23
(1.90)	BISHOP	2.042	0.118	1.830	2.201	13
2(b)	(ALL)	2.237	0.112	1.948	2.390	23
(2.29)	BISHOP	2.204	0.013	2.180	2.220	11
3(a)	(ALL)	1.369	0.168	1.191	1.820	25
(1.26?)	BISHOP	1.559	0.146	1.400	1.820	7
	JANBU	1.307	0.138	1.191	1.564	8
	NON-CIRCULAR	1.295	0.108	1.191	1.564	18
3(b)	(ALL)	1.292	0.064	1.197	1.450	29
(1.34)	JANBU	1.252	0.060	1.197	1.333	10
4	(ALL)	0.897	0.254	0.410	1.360	25
(0.78)	BISHOP	1.151	0.175	0.850	1.360	6
	JANBU	0.984	0.198	0.712	1.287	7
	NON-CIRCULAR	0.817	0.223	0.410	1.287	19
5	(ALL)	1.462	0.150	0.910	1.600	20

(1.35)	BISHOP	1.431	0.192	0.910	1.600	10
--------	--------	-------	-------	-------	-------	----

(1) 考核题 1: 本题是断面相对比
较简单的土质边坡, 包括了四个小
题, 主要考核用优化方法确定的临界滑
裂面和最小安全系数。裁判答案作者
均使用 Bishop 简化法。从表 11.14 计
算成果看, 对考核题 1(a)、1(c)和 1(d),
裁判答案各家给出的结果完全一致。
图 11.11 给出了对考核题 1 采用 STAB
求得的临界滑裂面和相应的安全系
数, 图 11.12 给出了对考核题 1 各家程
序求得的临界滑裂面和相应的安全系
数。可以看出, 不同的程序得到的临
界滑裂面都落在一个窄的区域里, 相
应的安全系数也基本一致。这说明,
对于土质边坡圆弧滑裂面, 目前水平
已可以达到不同的程序均可获得一致
成果的程度, 自动搜索临界滑裂面的
功能也已经达到实用阶段。

图 11.11 总结返回的考核题 EX1 计算成果的临界滑裂面

(a) EX1(a); (b) EX1(b); (c) EX1(c); (d) EX1(d)

表 11.14 裁判程序答案汇总(考核题 1)

考核题	1(a)	1(b)	1(c)	1(d)
推荐的裁判答案Donald	1.00	1.65~1.70	1.39	1.00
SSA(Baker)	1.00	1.50	1.39	
STAB(Chen)	0.991	1.618	1.385	1.007
GWEDGEM	1.00	1.65~1.70	1.39	1.00
EMU	1.00	1.65~1.70	1.39	1.00
Fredlund	0.99	1.619~1.588	1.406	1.015

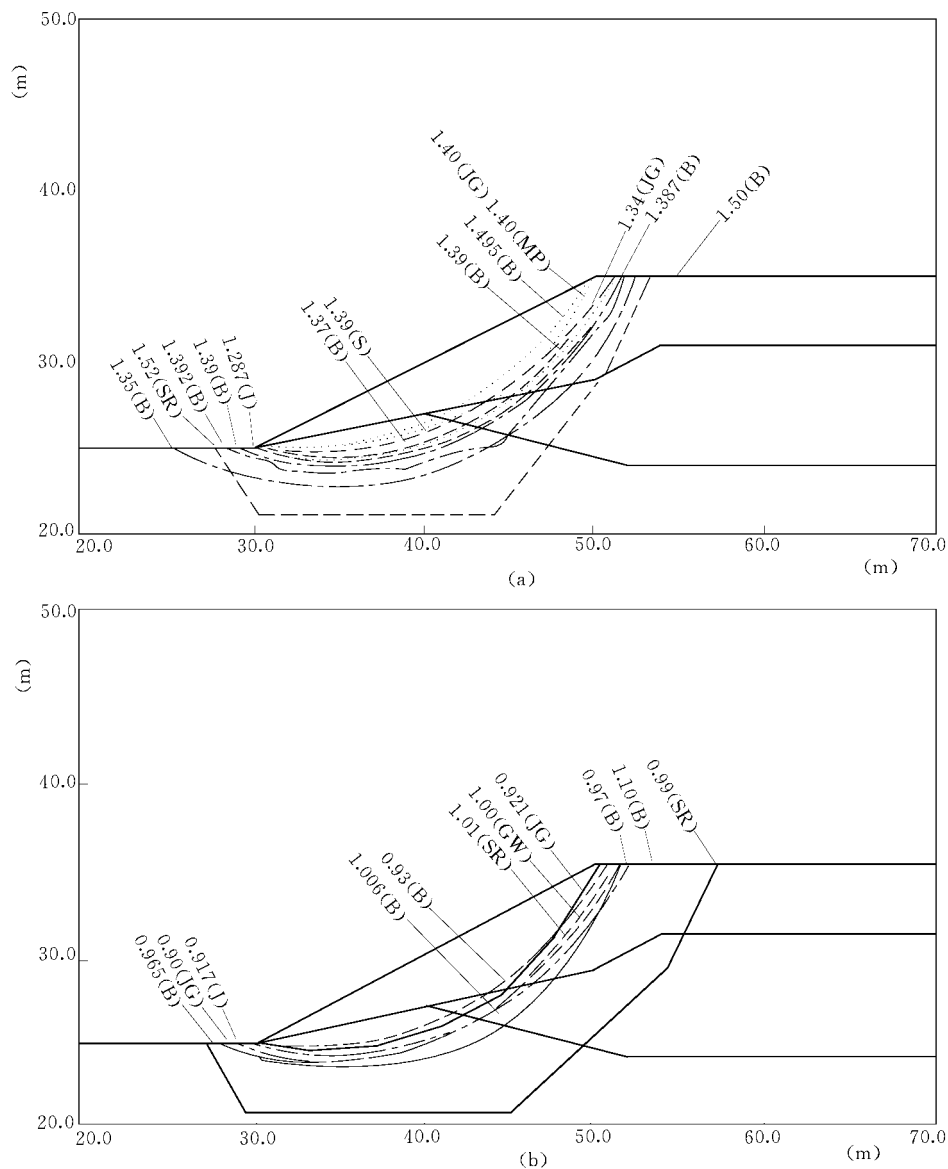


图 11.12 各家程序对考核题 EX1 的计算成果(临界滑裂面位置和最小安全系数)

(a) EX1(c); (b) EX1(d)

图例: SR—Sarma 法; B—Bishop 法; JG—Janbu 法; GW—GWEDGEM 法; J—简化扬布法; MP—Morgenstern-Price 法

考核题 1(b)需要用户自行设计一个拉力缝,这样,由于设有的拉力缝高度不同,安全系数有一定的出入。但各家的差距也不大。 H_f 均在 0.5~3.5m 范围内。图 11.11(b)示出了笔者选用 $H_f=2.0$ m 时充水拉力缝的位置及临界滑裂面和相应的安全系数。

因此,考核题 1 可以作为一个经典的考核题,考核自编的边坡稳定分析程序的准确性。

(2) 考核题 2: 本题分为两部分,第一部分是求上游坝坡的安全系数。由于坝壳料为无粘聚力的砾质材料,故如使用线性强度指标,将获得一个非常浅的临界滑裂面。而其安全系数就是摩擦系数和坝的坡度之比,即 $F=\tan\phi/\tan\alpha=1.947$ 。各家得到的结论是相同的。考核

题还要求在厚心墙内寻找一个局部极值。从表 11.15 中可见, GWEDGEM 和 EMU 给出的局部极值为 1.90, 而 Fredlund 和陈祖煜的答案是 2.14~2.15。图 11.13(a)为 STAB 程序获得考核题 EX2 的临界滑裂面和最小安全系数。图 11.14(a)列出了考核题 2(a)各家得到的临界滑裂面和相应安全系数。

第二部分是计算指定的圆弧滑裂面的安全系数, 如图 11.13(b)。各家计算成果偏离不大, Baker 和 Donald 的成果均为 2.29, 陈祖煜和 Fredlund 的结果分别为 2.220 和 2.206。

表 11.15 裁判程序答案汇总(考核题 2~考核题 5)

	2(a)	2(b)	3(a)	3(b)	4	5
推荐的裁判答案	(1.95)/1.90	2.29	1.26	1.34	0.78	1.53/1.53/1.59
SSA+(baker)	1.95/	2.35	1.24	1.37	0.65	1.53
STAB+(Chen)	1.947~2.135	2.224	1.242	1.265	0.671	1.503
GWEDGEM	1.95/1.90	2.29	1.27	1.34	0.78	1.53/1.53/1.59
EMU	1.95/1.90	2.29	1.27	1.34	0.78	1.53/1.53/1.59
Fredland	2.138	2.206		1.261	0.630	1.460

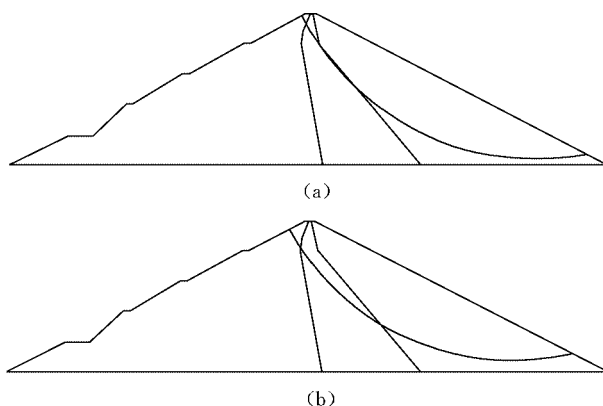


图 11.13 STAB 程序获得考核题 EX2 的临界滑裂面和最小安全系数

(a) 考核题 EX2(a); (b) 考核题 EX2(b)

(3) 考核题 3: 本题为典型的沿软弱夹层进行非圆弧滑裂面的计算考核题。考核题 3(a)要求计算临界滑裂面, 考核题 3(b)要求计算指定滑裂面的安全系数。STAB 采用 Morgenstern-Price 法, 图 11.15 所示 STAB 程序获得考核题 EX3 的临界滑裂面和最小安全系数。对指定滑裂面算得安全系数为 1.265[考核题 3(b)], 其值与 Fredlund 的解答 1.261 接近。但 Baker 和 Donald 等给出了稍大的结果(1.34~1.37)。最终各家搜索获得的最小安全系数比较接近, 在 1.24~1.27 之间。图 11.16 为各家给出了本次调查考核题 3(a)的临界滑裂面和相应的安全系数。

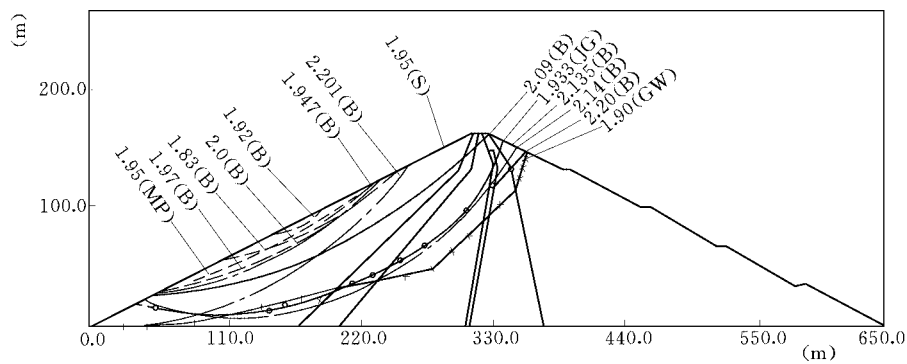


图 11.14 各家程序对考核题 EX2 的计算成果(临界滑裂面位置和最小安全系数)

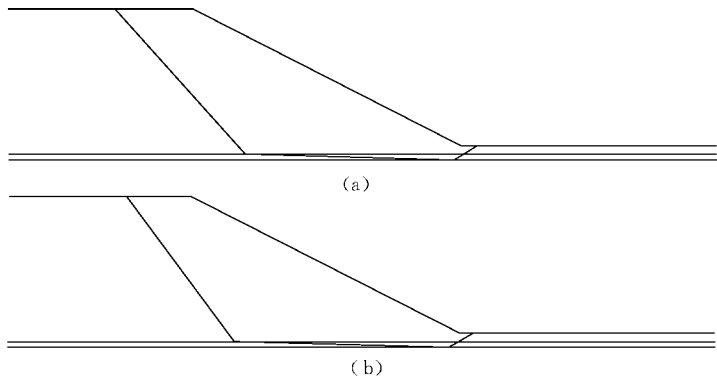


图 11.15 STAB 程序对考核题 EX3 计算的滑裂面和安全系数
(a)考核题 EX3(a); (b) 考核题 EX3(b)

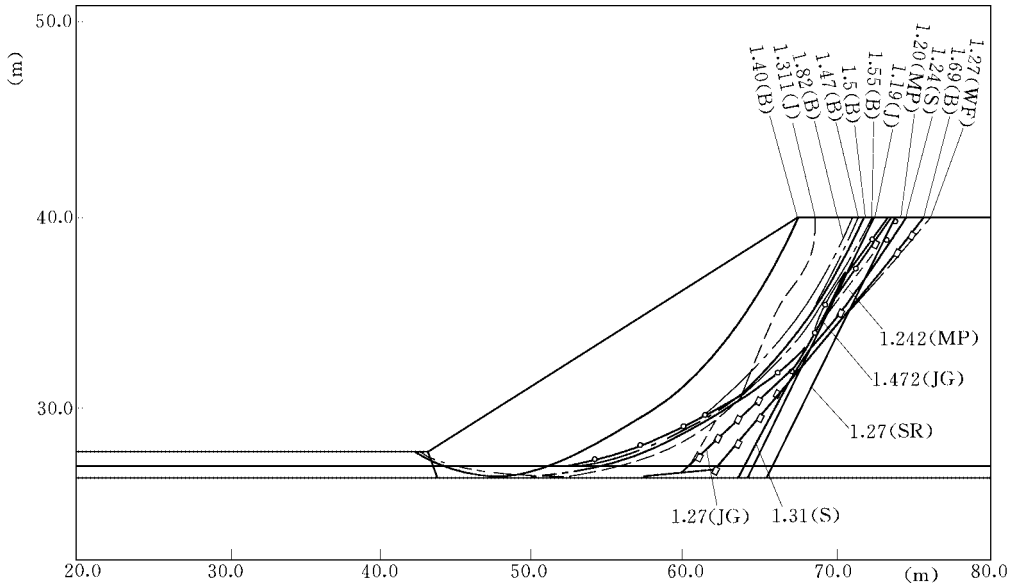


图 11.16 各家对考核题 EX3 计算的临界滑裂面 and 最小安全系数

(4) 考核题 4: 本例在设计方面存在一定的问题, 软弱夹层的上部没有标明是否与边坡

面相交。由于夹层的指标明显低于土层，导致在搜索过程中，临界滑裂面不断上移。实际上，直正的临界滑裂面可能要越出规定的图框。临界滑裂面除趾部外，全部通过软弱夹层。另外 Bishop 法在此例中不适用，因控制滑裂面通过软弱夹层，不可能是圆弧形的。因此，表 11.15 提供的答案仅供参考。

(5) 考核题 5：本文为一个地基快速开挖的例题。考核要求采用三种不同的孔隙水压力处理方法：①把所给的地下水面作为测压管面；②把图 11.17 所给的流网转化为孔压网来计算；③根据渗流分析计算更精确的孔隙压力。除外，各家根据图 11.17 所示流网计算孔隙水压，再用孔压计算安全系数。表 11.15 分别示出这三种处理方法 Baker 和 Donald 的计算成果，STAB 仅作了第一种情况，如图 11.18 示。各家提供的安全系数在 1.46~1.53 之间。

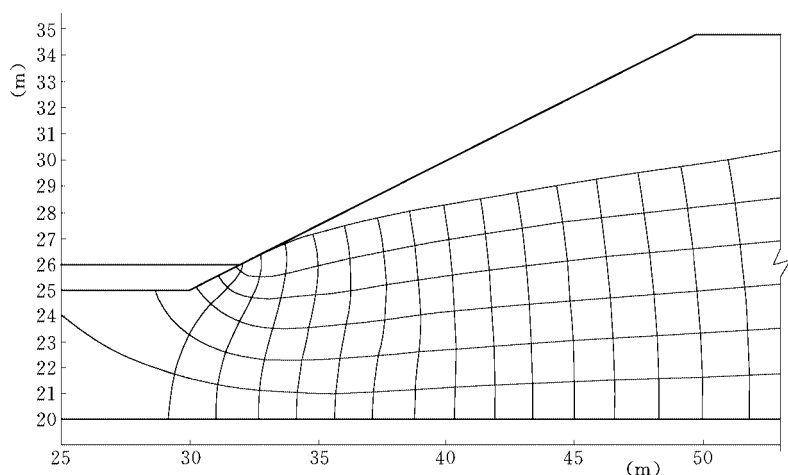


图 11.17 考核题 5 渗流场

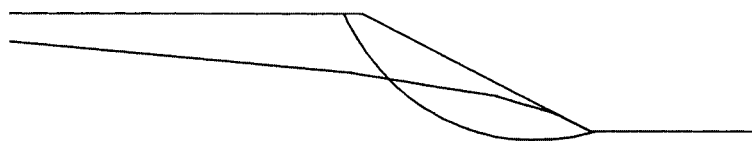


图 11.18 STAB 程序对考核题 EX5 计算的临界滑裂面和最小安全系数

ACADS 组织的这次考核的特点是详细地规定了计算原始数据和要求，使不同的程序获得的成果具有可比性，除第 4 题外，其它考核题的设计都比较严密。因此，有条件使不同的程序算出基本相同的结果。但由组织者提供的 2(a)和 3(b)的“推荐的裁判答案”与 Fredlund 和陈祖煜提供的答案相差较大，其权威性有待进一步论证。综合参加的各程序提供的安全系数统计参数成果表 11.13，可见裁判答案互相比接近，而各单位自编程序提供的答案则比较分散。早期 Fredlund 也曾经发现过这一问题。这一事实说明在进行稳定分析时，最好还是使用专门开发的、经过考核的比较成熟的程序。

边坡稳定分析是岩土工程设计和施工中经常要进行的工作。在计算机迅速普及的今日，

手算方式显然要被淘汰。但确认各家自编程序的准确性,确实成为了进入计算机时代面临的一个重要的问题,已提到了议事日程。这次程序考核工作做了一次有益的尝试,本项工作作为各单位自编的稳定分析程序的考核,提供了十分有用的资料。

11.5 本章附录

11.5.1 本章数据文件(表11.6)

表 11.16 本章数据文件

有关章节	系列号	数据文件名	内容
11.3.2	11-01-01	CIRCLE.FOR	构筑圆弧滑裂面源程序
	11-01-02	CIRCLE.DAT	构筑圆弧滑裂面例题
	11-01-03	CIRCLE.C	构筑圆弧滑裂面例题计算结果
11.3.3	11-02-01	SPLINE.FOR	构筑任意形状滑裂面源程序
	11-02-02	SPLINE-1.DAT	构筑光滑形状滑裂面例题
	11-02-03	SPLINE-1.C	构筑光滑形状滑裂面例题计算结果
	11-02-04	SPLINE-2.DAT	构筑组合形状滑裂面例题
	11-02-05	SPLINE-2.C	构筑组合形状滑裂面例题计算结果
11.3.4	11-03-01	PROFILE.FOR	计算土条重量等特性数据的源程序
	11-03-02	PROFILE.DAT	计算土条重量等特性数据的例题
	11-03-03	PROFILE.C	计算土条重量等数据的例题计算结果
11.3.5	11-04-01	S.FOR	计算安全系数源程序
	11-04-02	S0.DAT	计算通用条分法安全系数例题
	11-04-03	S0.C	计算通用条分法安全系数例题计算结果
	11-04-04	S1.DAT	计算Bishop法安全系数例题
	11-04-05	S1.C	计算Bishop法安全系数例题计算结果
	11-04-06	S2.DAT	计算瑞典法安全系数例题
	11-04-07	S2.C	计算瑞典法安全系数例题计算结果
	11-04-08	S3.DAT	计算工程师团法安全系数例题
	11-04-09	S3.C	计算工程师团法安全系数例题计算结果
	11-04-10	S4.DAT	计算简化法安全系数例题
	11-04-11	S4.C	计算简化法安全系数例题计算结果
11.4.2	11-05-01	exp1a.dat	ACADS考核题1(a)
	11-05-02	exp1b.dat	ACADS考核题1(b)
	11-05-03	exp1c.dat	ACADS考核题1(c)
	11-05-04	exp1d.dat	ACADS考核题1(d)
	11-06-01	Exp2a.dat	ACADS考核题2, 整体极值
	11-06-02	Exp2b.dat	ACADS考核题2, 心墙局部极值
	11-06-03	Exp2c.dat	ACADS考核题2, 指定滑裂面
	11-07-01	Exp3a.dat	ACADS考核题3, 整体极值
	11-07-02	Exp3b.dat	ACADS考核题3, 心墙局部极值
	11-08-01	Exp4.dat	ACADS考核题4
	11-09-01	Exp5.dat	ACADS考核题5

参考文献

- 1 刘德贵、费景高、于泳江、李广元. Fortran算法汇编（第一分册）. 北京：国防工业出版社，1980
- 2 Donald, I. B. And Giam, P. The ACADS slope stability programs review. Proc. 6th International Symposium on Landslides. 1992. Vol. 3. 1665-1670
- 3 Lumsdaine, R. W. and Tang, K. Y. A comparison of slope stability calculations1982. Proc. 7th South East Asia Geotechnical Conference, Hong Kong. 31-38
- 4 Fredlund, D. G. Usage, requirements and features of slope stability computer software. Canadian Geotechnical Journal. 1987. 15:83-95
- 5 ACADS Publication No. U255. Soil slope stability programs review. April, 1989