

路基工程计算及程序设计

池淑兰 徐风华

西南交通大学出版社

前 言

随着现代计算技术和计算机的广泛应用,路基工程优化设计课题已逐步被人们所重视。所谓路基工程优化设计是用最优化原理和方法解决路基工程设计中最优参数选择问题的一种方法。这种方法有可靠的理论基础,再借助现代计算技术和设备的完善,它能比较精确、迅速地使设计达到尽可能完善的程度,对提高设计质量和效果有着重要意义。因此,本书根据路基工程优化设计中所涉及的有关理论,运用优化技术,研制和调试了相应的程序块,并在路基工程优化设计方面进行了初步尝试,也为进一步进行路基工程优化设计和计算机绘图提供了理论和技术依据。本书还较系统地介绍了抗滑桩设计理论和计算方法。

本书由池淑兰主编。全书共六章,第四章由徐风华编写,第六章由吴学镇编写,其他章节均由池淑兰编写。

本书系根据大学本科选修教材“路基程序设计”和“抗滑桩计算及结构设计”,并参考了中华人民共和国铁道部标准“铁路路基设计规范(TBJ1—85)”和“铁路路基支挡结构物设计规则(TBJ—25—90)”中有关规定改编写成。内容虽经多次试用和修改,但由于编者水平有限,书中难免有不妥之处,敬请广大读者批评指正。

(川)新登字 018 号

内 容 提 要

本书论述了路基稳定分析及其程序设计、沉降及固结计算的程序设计、轻型挡土墙及程序设计、抗滑桩的计算及设计、抗滑桩的矩阵分析及优化设计、路基土石方计算方法及程序设计,并列有相应的子程序。

本书是大学本科选修教材,可供从事铁路、公路等方面的工程技术人员参考,也可供大中专学校有关专业师生参考。

路基工程计算及程序设计

池淑兰 徐风华

*

西南交通大学出版社出版发行

(成都九里堤)

新华书店经销

仁寿县印刷厂印刷

*

开本:787×1092 1/16 印张:9.625

字数:212千字 印数:1—1000册

1993年12月第1版 1993年12月第1次印刷

ISBN 7-81022-191-4/T·064

定价:8.00元

目 录

第一章 路堤稳定分析及程序设计

- 第一节 稳定系数的计算..... (1)
- 第二节 稳定系数计算的程序..... (5)
- 第三节 用黄金分割法优选危险滑弧半径 (19)
- 第四节 用直接搜索法优选圆心 (22)

第二章 沉降与固结计算的程序设计

- 第一节 软土地基上路堤的沉降计算及程序 (36)
- 第二节 地基固结计算及程序设计 (40)

第三章 轻型挡土墙及程序设计

- 第一节 轻型挡土墙 (49)
- 第二节 挡土墙程序设计 (64)

第四章 抗滑桩的计算及设计

- 第一节 概 述 (69)
- 第二节 弹性桩的计算原理 (73)
- 第三节 各种支承条件下弹性桩的内力计算 (86)
- 第四节 刚性桩的内力计算 (96)
- 第五节 抗滑桩的结构设计..... (103)

第五章 抗滑桩的矩阵分析

- 第一节 初参数方程及 FORTRAN 程序 (107)
- 第二节 差分方程及程序框图..... (116)
- 第三节 BASIC 程序 (118)

第六章 路基土石方量计算方法及程序设计

- 第一节 对目前计算土石方量方法的述评..... (123)
- 第二节 土石方体积公式计算方法..... (125)
- 第三节 土石方量计算程序框图..... (129)

- 附 录..... (131)

第一章 路堤稳定分析及程序设计

第一节 稳定系数的计算

一、计算方法

根据工程实践观测,边坡和软弱地基上路堤破坏形式一般近似圆弧形,如图 1-1 所示。稳定系数习惯上用 K 表示。计算路堤稳定系数以判断其稳定状态时,多用圆弧条分法。

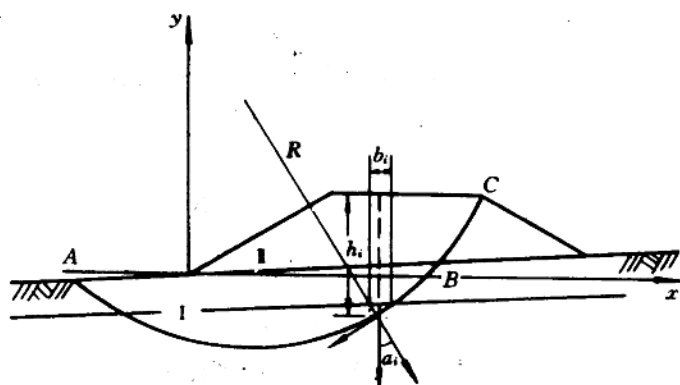


图 1-1 圆弧条分法

一般稳定系数公式:

$$K = \frac{\sum_{i=1}^n (c'_i b_i \sec \alpha_i + N'_i \tan \varphi'_i)}{\sum_{i=1}^n \gamma h_i b_i \sin \alpha_i} \quad (1-1)$$

式中 K ——稳定系数;

n ——分条总数,它决定于路堤断面形状和软土层的分层;

b_i ——分条宽度;

h_i ——分条高度;

N'_i ——有效法向力,它决定于分条两边的力;

c'_i ——土的有效粘聚力;

φ'_i ——土的有效摩擦角。

由于决定 N'_i 的方法不同,就形成了各种不同的计算方法。

简化的毕效甫(Bisop)方法是假定分条两侧的力水平,分条间无摩擦力,并假定沿着滑面的可变剪应力等于抗剪强度除以安全系数。作用于每分条上的力如图 1-2 所示。将

所有力在垂直方向投影,即可求出 N'_i 。

$$N'_i = \frac{b_i(\gamma h_i - \gamma_w h_{wi}) - (c' b_i \operatorname{tg} \alpha_i) / K}{\cos \alpha_i + \operatorname{tg} \phi' \sin \alpha_i / K} \quad (1-2)$$

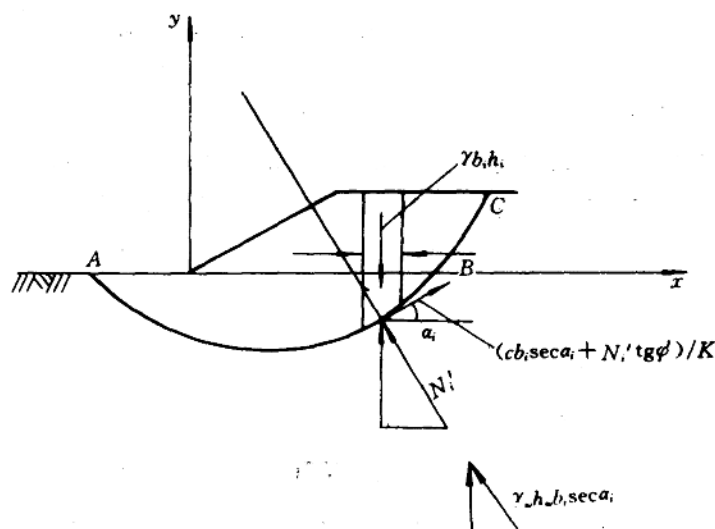


图 1-2 简化的毕效甫法

将式(1-2)代入式(1-1),即可求出简化的毕效甫公式:

$$K = \left(\sum_{i=1}^n \frac{c' b_i + b_i(\gamma h_i - \gamma_w h_{wi}) \operatorname{tg} \phi'}{\cos \alpha_i \sin \alpha_i \operatorname{tg} \phi' / K} \right) - \left(\sum_{i=1}^n \gamma h_i b_i \sin \alpha_i \right) \quad (1-3)$$

式(1-3)中, K 出现在两边,因此可采用牛顿迭代公式求解。初始值可用常用的方法确定。无论哪种计算式,均需计算各分条的宽度和高度值。本章按一般条分法,用积分公式求解各分力之和,并在微机和 PC-1500 机上实现。

由于地基和填土的力学指标不同,计算各分力时应分别给予考虑。

1. 路堤和地基部分作用于滑弧上的下滑力计算

天然地面以下,每分条土体重量作用在滑弧面上的下滑力,用 T_i 表示,计算公式为:

$$T_i = \int_{x_i}^{x_{i+1}} \gamma dx y_i \sin \alpha_i = \frac{\gamma_i}{R} \int_{x_i}^{x_{i+1}} (x - x_0) y_i dx$$

路堤部分产生的下滑力用 T_1 表示,计算公式为:

$$T_1 = \int_0^{x_0} \gamma_1 dx y_1 \sin \alpha_i = \frac{\gamma_1}{R} \int_0^{x_0} (x - x_0) y_1 dx$$

式中 y_{1i} ——地基部分被积分函数;

y_{1i} ——路堤部分(包括荷载换算土重)被积分函数;

x_0 ——圆心的横坐标值。

路堤部分被积分函数 $y_{1i} = F_2$ 及地基部分被积分函数 $y_{1i} = F_1$ 被定义后,下滑力即

可由积分求出,当按稳定系数公式计算时,积分区间应按公式要求分开计算。

2. 摩擦抗力的计算

摩擦抗力包括地基、路堤和由于填土荷载引起的在地基滑面处产生的摩擦抗力三部分,当软基不采用加固措施时,由于填土荷载引起在地基滑面处的摩擦抗力为零或按快填指标计算。

地基部分摩擦抗力计算公式为:

$$F_1 = \frac{\gamma_1 \operatorname{tg} \varphi_0}{R} \int_{x_0}^{x_1} y_{1i} \sqrt{R^2 - (x - x_0)^2} dx$$

路堤部分摩擦抗力计算公式为:

$$F_2 = \frac{\gamma_1 \operatorname{tg} \varphi_0'}{R} \int_{x_1}^{x_2} y_{1i} \sqrt{R^2 - (x - x_0)^2} dx$$

考虑到路堤土体裂缝的出现,这部分有时可不考虑。

软基加固所引起的摩擦抗力计算公式为:

$$F_3 = \frac{\gamma_1 \operatorname{tg} \varphi_{0w}}{R} \int_0^{x_0} U_i y_{1i} \sqrt{R^2 - (x - x_0)^2} dx$$

当各部分积分函数定义后,摩擦抗力均可用积分法求解。

3. 粘聚抗力计算

粘聚抗力由地基粘聚抗力和路堤粘聚抗力两部分组成,即:

$$F_c = c_{a1} l_1 + c_{a2} l_2$$

式中 l_1 ——地基部分滑弧长度;

l_2 ——路堤部分滑弧长度。

将计算结果代入式(1-1),即可求出稳定系数值。

二、稳定系数公式

稳定系数计算时,除了按公式(1-1)的一般形式计算外,还需根据考虑的不同情况及获得的不同设计参数,分别采用相应的计算式。

1. 在稳定系数的计算中,考虑软土强度因排水固结而增长以及强度随深度变化的规律,其计算有如下情况:

(1)当软土沉积较深,其强度随深度变化有明显规律时,计算式为:

$$K = \frac{\Sigma(S_0 + \lambda h)l + \Sigma U N_1 \operatorname{tg} \varphi_{0w}}{\Sigma(T_1 + T_2)} \quad (1-4)$$

式中 K ——稳定系数;

T_1 ——地基分条重力在滑弧上的下滑力(kN/m);

T_2 ——路堤荷载分条重力在滑弧上的下滑力(kN/m);

l ——分条的弧长(m);

h ——分条的地基深度(m);

S_0 ——天然强度的地面截距(kPa);

λ ——天然强度随深度递增率(kPa/m)。

第二节 稳定系数计算的程序

一、程序功能

本程序适用于软弱地基上路堤的稳定性分析。滑弧为坡底圆，地基具有硬壳或为多层不同土层组成的无限深地基路堤稳定性分析，地层分界线可有倾斜，并用直接搜索法优选半径和寻求临界圆心位置。

二、子程序功能与框图

1. 子程序 FP(A,B,C,X1,Y1,X2,Y2)

其功能是求圆与直线的交点，即求方程组：

$$(X-X_0)^2+(Y-Y_0)^2=R^2$$

$$AX+BY+C=0$$

的解。

当圆与直线相割时有两个交点， X_1, Y_1 表示右交点的坐标， X_2, Y_2 表示左交点的坐标；当圆与直线相切时只有一个切点；当圆与直线相离无交点时，子程序返回。其框图如图 1—4 所示。图中 D 表示圆心点 (X_0, Y_0) 至直线 $AX+BY+C=0$ 的垂直距离。

FORTTRAN 语言子程序如下：

```

D=ABS(AX * X0+BX * Y0
# +CX)/SQRT(AX * AX+BX * BX)
IF (R-D) 10,20,20
10 X1=0.0
X2=0.0
Y1=Y0-SQRT(R * R-X0 * X0)
Y2=Y1
GOTO 30
20 U=-AX/BX
V=-CX/BX
AB=1.0+U * U
BM=U * Y0+X0-U * V
CN=X0 * X0+(Y0-V) * (Y0-
# V)-R * R
T=BM * BM-AB * CN
IF (T * LT * 0.0) GOTO 30
T=SQRT(T)
X1=(BM+T)/AB
Y1=X1 * U+V
    
```

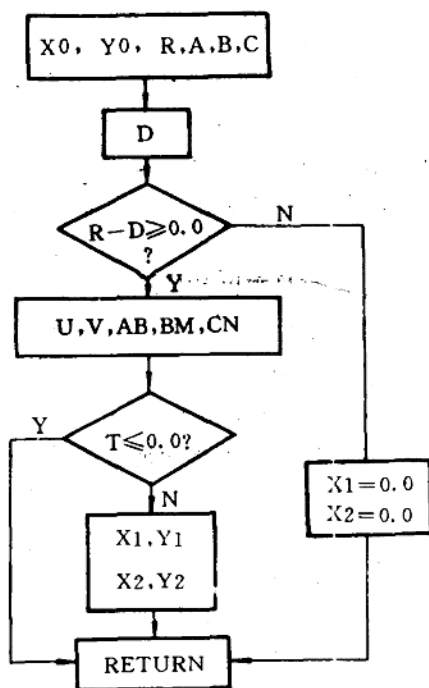


图 1—4 求圆与直线的交点程序框图

$$X2=(BM-T)/AB$$

$$Y2=X2 * U+V$$

30 RETURN

2. 函数子程序 AL(X1,Y1,X2,Y2)

其功能是求出圆上两点(X1,Y1)及(X2,Y2)所夹的圆心角。FORTRAN 程序如下:

$$SC=(X1-X2) ** 2+(Y1-Y2) ** 2$$

$$SN=\text{SQRT}(SC) * 0.5$$

$$SM=R * R-SN * SN$$

$$\text{IF } (SM \cdot LT \cdot 0.0) \text{ RETURN}$$

$$SO=\text{SQRT}(SM)$$

$$SP=SN/SO$$

$$AL=2.0 * \text{ATAN}(SP)$$

3. 函数子程序 F1

其功能是提供由地基部分所决定、用积分计算下滑力和抗滑力时的被积分函数,即 Y_u 。

(1) 计算 X 处滑弧上某点的 Y 坐标(E3)

$$E3=Y0 - \sqrt{R^2 - (X-X0)^2}$$

(2) 计算 X 处地面相应点的 Y 坐标(E1)

$$E1 = \frac{-AX+C}{B}$$

(3) 计算 X 处每一地层分界线 Y 坐标(E2)

若 $E2 > E3$ 时,则在滑弧深度范围内需要逐次计算各层的 Y_u 值,再乘以 γ_u 就可得到这些层次微小单元的重量。若到了某一层的 $E2$ 超过滑弧深度,即 $E2 < E3$ 时,则把滑弧深度该点的坐标减去这一层的 $E2$,即为这一层滑弧所包含的深度,把这部分重量累加到上述重量中去。

上述重量乘以 $\sin(A_u)$,即为宽度 DX 微小积分单元的地基下滑力,乘以 $\cos(A_u) \cdot \tan\Phi_u$,即为地基抗滑力,程序框图如图 1-5 所示。

符号说明

N——地层分层数;

GAMA——路堤和地基各层的容重。

F1 的程序如下:

$$S=0.0$$

$$E=R * R - (X-X0) * (X-X0)$$

$$\text{IF } (E \cdot LE \cdot 0.0) \text{ E}=0.0$$

$$E=\text{SQRT}(E)$$

$$E3=Y0-E$$

$$E1=(-A(1) * X-C(1))/B(1)$$

```

DO 30 I=2,N
E2=(-A(I)*X-C(I))/B(I)
IF (E2*LE*E3) GOTO 40
S=(E1-E2)*GAMA(I)+S

```

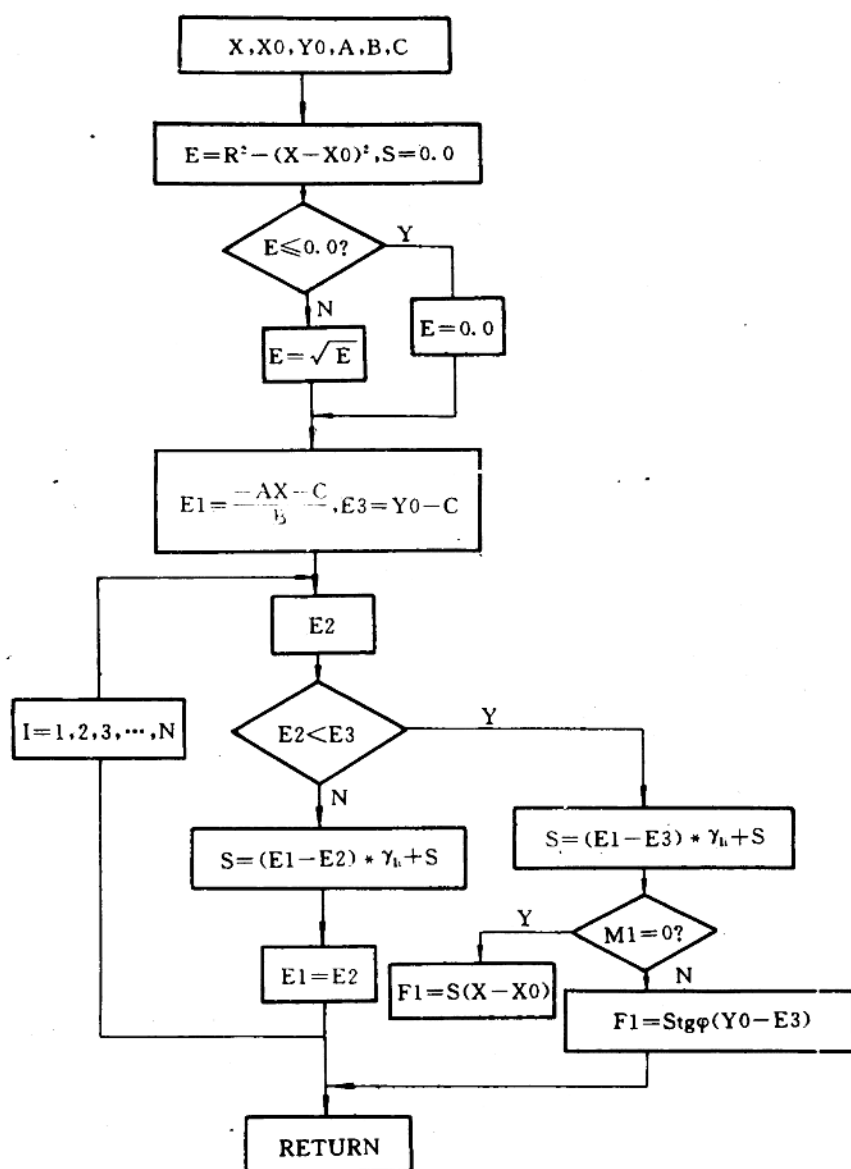


图 1-5 函数子程序 F1 的程序框图

```

E1=E2
30 CONTINUE

```

```

40 S=(E1-E3)*GAMA(I)+S
    F1=S*TAN(FIU(I))*(Y0-E3)
    IF (M1*EQ*0) F1=S*(X-X0)

```

4. 函数子程序 F2

其功能是提供由路堤形状所决定、用积分计算下滑力和抗滑力时的被积分函数,即 Y_{11} 。

(1) 路堤形状的纵坐标(H_1)

令横坐标 X 到路堤中心线的距离为 L , 则 $L = |X - M \cdot H - B/2.0|$ 。

当 $L \leq B_0/2.0$ 时(即在活载内), 此时 H_1 为最大高度, $H_1 = H + H_0 \cdot M_3$, 式中 M_3 当考虑活载时, $M_3 = 1$, 不考虑活载时, $M_3 = 0$;

当 $B_0/2.0 < L \leq B/2$ 时(即在路肩上), $H_1 = H$;

当 $X < M \cdot H$ 时(即在路堤左边坡上), $H_1 = X/M$;

当 $X > M \cdot H + B$ 时(即在路堤右边坡上), $H_1 = (B + 2.0M \cdot H - X)/M$ 。

(2) 地面的纵坐标(H_2)

当 X 小于圆弧与地面的右交点时, 即 $X \leq X_B$ 时, $H_2 = (-AX - C)/B$;

当 X 大于 X_B 时, 则为一圆弧, 即:

$$H_2 = Y_0 - \sqrt{R^2 - (X - X_0)^2}$$

(3) $F_2 = H_1 - H_2$

调用这一函数子程序进行积分, 可以计算路堤的下滑力。

程序框图如图 1—6 所示。

F2 的程序如下:

符号说明

RM——路基边坡率;

BB——路基基面宽度;

H——路堤边坡高度;

H0——荷载换算土柱高度。

```

R1=ABS(X-RM*H-0.5*BB)
H1=(BB+2.0*RM*H-X)/RM
H2=(-A(1)*X-C(1))/B(1)
IF (R1*LE*0.5*BB) H1=H
IF (R1*LE*0.5*B0) H1=H+H0*M3
IF (X*LE*RM*H) H1=X/RM
CALL FP(A(1),B(1),C(1),XU,YU,XZ,YZ)
P=R*R-(X-X0)*(X-X0)
IF (P*LE*0.0) P=0.0
IF (X*GT*X0) H2=Y0-SQRT(P)
F2=(H1-H2)*(X-X0)
IF (M2*EQ*1) F2=(H1-H2)*SQRT(P)

```

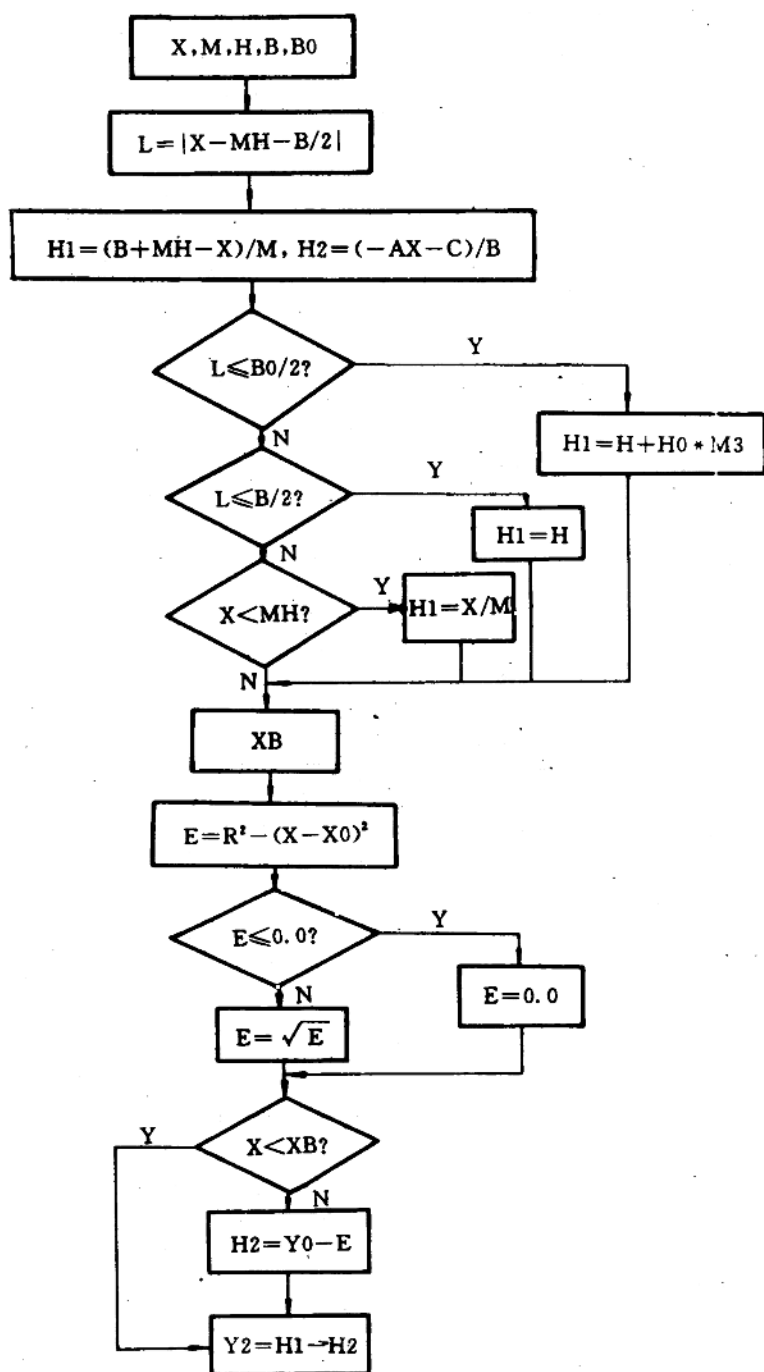


图 1-6 函数子程序 F2 的程序框图

5. 函数子程序 F3

其功能是提供由于地基固结所产生的、用积分计算抗滑力时的被积分函数。固结压力来源于地面上路堤的填土重量,但固结摩擦系数由地基部分确定。路堤部分微小单元的固结压力可以调到(F2)过程,相应的地基固结系数可采用过程(F1)中类似的方法确定,即在X处计算每一层地层的Y坐标值E2,当E2小于或等于滑弧在X处的滑弧深度时,这层就确定了相应的固结压力的固结摩擦系数,程序框图如图1—7所示。

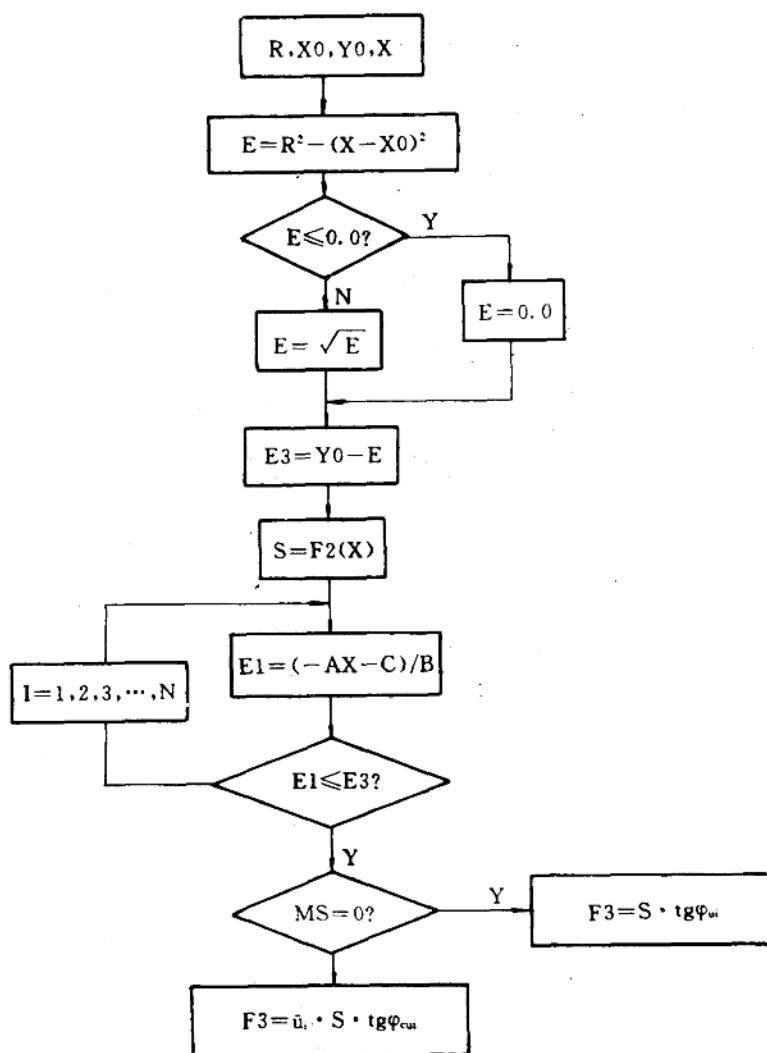


图 1—7 函数子程序 F3 程序框图

F3 程序如下:

$$E = R * R - (X - X0) * (X - X0)$$

$$\text{IF } (E \cdot LE \cdot 0.0) \text{ } E = 0.0$$

$$E = \text{SQRT}(E)$$

```

E3=Y0-E
M2=1
S=F2(X)
DO 30 I=2,N
E1=(-A(I)*X-C(I))/B(I)
IF (E1*LE*E3) GOTO 40
30 CONTINUE
40 IF (MS*EQ*0) THEN
S=S*TAN(FIU(I))
ELSE
S=S*TAN(FICU(I)*UU(I))
END IF
F3=S
6. 积分函数子程序 RECT(A,B,FCT)
NOOP=INT((B-A)/WIDE+0.5)
IF (NOOP*LE*1) NOOP=1
DX=(B-A)/FLOAT(NOOP)
NO=NOOP+1
DO 10 KI=1,NO
I1=KI-1
X=A+FLOAT(I1)*DX
YY(KI)=FCT(X)
10 CONTINUE
S=YY(1)+YY(NO)
DO 11 KI=2,NOOP
S=S+2.0*YY(KI)
11 CONTINUE
RECT=S*DX/2.0

```

三、求稳定系数的 FORTRAN 程序

1. 框图

当已知圆心位置及滑弧半径时,可以按图 1-8 的程序框图编写求解稳定系数的程序。

2. 求稳定系数的 FORTRAN 语言程序

求圆与各分层(包括基面)的交点

```

DO 10 I=1,N
DS=DIS(X0,Y0,A(I),B(I),C(I))

```

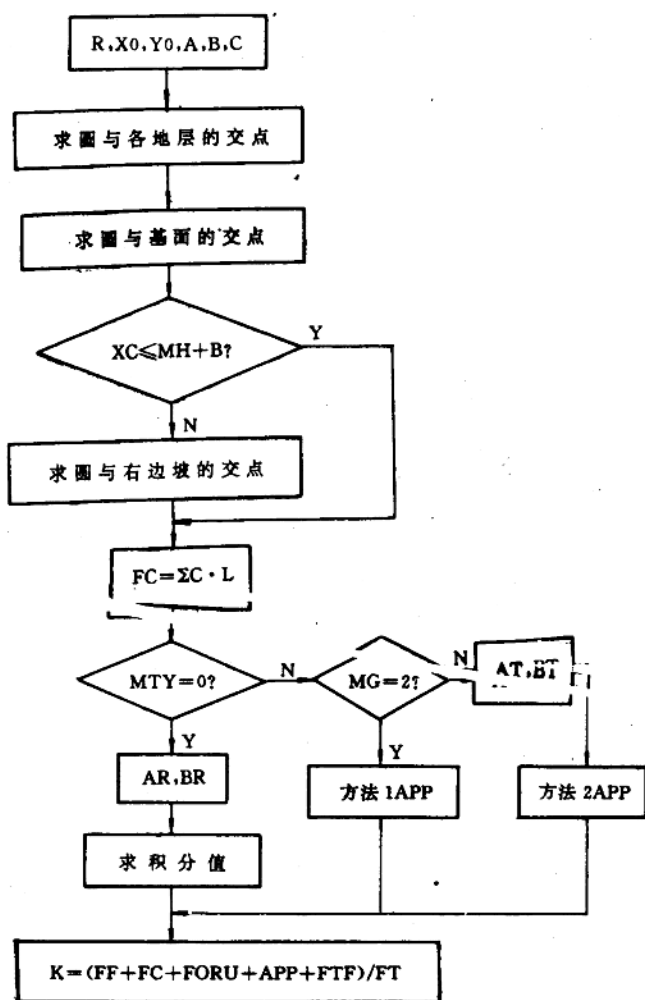


图 1-8 稳定系数程序框图

```

K=I
IF (DS · GE · R) GOTO 20
CALL FP(A(I),B(I),C(I),UX(I),UY(I),ZX(I),ZY(I))
10 CONTINUE
20 CALL FP(0.0,1.0,-H,UX0,UY0,ZX0,ZY0)
IF (UX0 · LE · (RM · H + BB)) GOTO 30
CC = -2.0 · H · RM - BB
CALL FP(1.0,RM,CC,UX0,UY0,ZX0,ZY0)
求滑弧长度
30 L1=0.0
FC=0.0

```



```

JJ=K-2
IF (JJ·LE·0) GOTO 41
DO 40 I=1,JJ
J=I+1
L11=AL(ZX(J),ZY(J),ZX(J),ZY(J))
L12=AL(UX(I),UY(J),UX(J),UY(J))
FC=(L12+L11)·CI(J)+FC
L1=L1+L11+L12
40 CONTINUE
41 KK=JJ+1
L13=AL(UX(KK),UY(KK),ZX(KK),ZY(KK))
FC=L13·CI(K)+FC
L1=L1+L13
L0=AL(UX0,UY0,UX(1),UY(1))
IF ((MTY·EQ·1)·AND·MG·EQ·2) L0=0.0
FC=L0·CI(1)+FC
FC=FC·R
用土工布加固时,求土工布增加的稳定因素 APP
APP=0.0
IF (MTY·EQ·0) GOTO 50
AT=Y0
BT=UX(1)-X0
APP=SH·NTY
IF (MG·EQ·2) APP=SV·(AT+BT·TAN(FIU(1)))/R·NTY
50 BR=UX0
IF (Y0·LT·H) BR=X0+R
IF (MTY·EQ·1·AND·MG·EQ·2) BR=UX(1)
AR=(-C(1)-B(1)·BL/TM)/(A(1)+B(1)/RM)
IF (MPR·EQ·0) AR=0.0
求稳定系数
191 M1=0
FT=RECT(X0,UX(1),F1)/R
FTF=RECT(ZX(1),X0,F1)/R
FTF1=ABS(FTF)
M2=0
IF (X0·LE·0.0) GOTO 301
FT=FT+RECT(X0,BR,F2)·GAMA(1)/R
FTF=FTF+RECT(AR,X0,F2)·GAMA(1)/R

```