

# 桥梁结构电算

石洞 石志源 黄东洲 编著

同济大学出版社

# 前 言

在桥梁的设计、施工和科研工作中，用电子计算机作为工具已经很普遍了。但是目前还没有一本桥梁电算的教材，这就给桥梁专业的学生和学习电算应用的工程技术人员带来不少困难。编写程序需要的基础知识较多，除算法语言外，还涉及线性代数、计算方法、有限元方法、优化设计方法、计算机绘图等等。这些知识虽然有的可能已在有关课程中讲过，但仅凭这些知识要编制出理想的应用程序，恐还有一段距离。在这本书里，我们结合桥梁设计计算中常见的一些问题，把有关的一些知识贯串起来介绍，将有助于初学者的理解。书中所用的原理虽都是大家所熟悉的，但对于习惯于手算解题的人来说，可能不大容易适应电算的思想及解题方式。为此我们引用了许多例子，画出了它们的程序框图，希望能把传统的手算思想逐渐地引导到电算思路上来。

全书共八章，遵循由浅入深、结合专题的原则安排次序。第一、二章介绍断面几何特性和钢筋混凝土断面计算；第三章结合影响线加载，介绍了插值计算和动态规划优化思想。以上三章及后面的第五章梁桥横向分布计算主要是结合桥梁设计来选材的，对于其他结构工程亦有较好的参考价值。其余几章所讨论的问题都是结构工程师所共同关心的。第四章的线性方程组求解更属常用；第六章结合杆系结构介绍有限元静力分析程序的编写方法，这是学习结构分析程序的基础，读者应给予充分重视；第七章先介绍特征值问题的解法，然后介绍有限元的杆系动力程序。目前，计算机辅助设计愈来愈为大家重视，其中计算机绘图是一个重要内容，因而在第八章中专门介绍计算机的绘图技术及应用。

近十年来，微型计算机发展得特别快，硬件价格愈来愈低，机器功能却愈来愈强。实际上，现在的许多微机性能接近于十余年前的中型机，它有良好的外部设备和完善的软件系统，已逐渐成为各设计施工部门的主要计算工具，因而在本书中也介绍了一些微机程序的编写特点。

*FORTRAN* 语言是目前国内外广为流行的一种高级语言，它特别适用于结构工程科学运算。本书中的计算程序都用 *FORTRAN* 语言编写，但数据前处理、计算结果的后处理和绘图的程序，我们使用了 *BASIC* 语言。本书的程序在普通的（16 位字长，256k 内存）微型计算机上都能运行。

要真正掌握程序的编写，最重要的是多动手编写、调试，读者除了平时多做一些小型练习外，最好编写一个用有限元解题的程序，并上机调试，直到计算结果正确为止。

本书可供桥梁工程及结构工程专业的本科学生或研究生选作教材，也适宜作为工程技术人员的自学用书。书中引用的程序例子主要供学习用，力求易读易懂，尽量避免非本质性的技巧运用。这些程序都已经过调试、考核，可在实践中采用，有些已直接用于桥梁设计和科研中进行结构分析计算，有的可以被引入其他程序中使用。尽管不断考核，难免还会存在疏漏，甚至可能有不少错误，希望使用本书的同志予以指出。

作者

一九八五年十月于同济

## 内 容 提 要

本书系统地讲解断面几何特性计算、影响线加载、横向分布计算、杆系的静、动力计算程序以及计算机绘图等内容。对每一部分，先讲解题思路，然后解释框图，最后给出程序(子程序)。全书说理清楚，深入浅出，实用性的例子较多，便于学习和运用，可作为桥梁和结构工程专业本科生和研究生的教材或参考书，亦可供土建结构方面的工程技术人员参考。

责任编辑 杨 健

封面设计 王岗生

## 桥梁结构电算

石 洞 石志源 黄东洲 编著

同济大学出版社出版

(上海四平路1239号)

新华书店上海发行所发行

上海市印刷十二厂印刷

开本 787×1092 1/16 印张 22.75 字数 582 千字

1987年9月第1版 1987年9月第1次印刷

印数 0,001—1,800册 科技新书目: 132—268

统一书号: 15335·027 定价: 3.75元

ISBN 7-5608-0045-9/U·3

# 目 录

第一章	断面几何特性的计算	(1)
§1-1	梯形分块法	(1)
§1-2	三角形分块法	(5)
§1-3	积分法求几何特性	(9)
§1-4	薄壁断面几何特性计算	(14)
第二章	钢筋混凝土构件断面计算	(29)
§2-1	钢筋混凝土受弯构件应力验算	(29)
§2-2	钢筋混凝土受弯构件的钢筋计算	(34)
§2-3	钢筋混凝土任意受力构件的应力验算	(39)
§2-4	钢筋混凝土任意受力构件的钢筋计算	(45)
§2-5	钢筋计算的直接法调优	(53)
§2-6	极限状态钢筋混凝土构件的计算	(60)
第三章	影响线加载	(66)
§3-1	简支梁纵向影响线加载	(66)
§3-2	影响线插值计算	(76)
§3-3	动态规划法进行纵向影响线加载	(84)
§3-4	横向影响线加载	(97)
第四章	矩阵运算及线性方程组求解	(104)
§4-1	矩阵运算	(104)
§4-2	直接法解线性方程组	(105)
§4-3	迭代法解线性方程组	(124)
§4-4	矩阵求逆	(129)
第五章	梁桥横向分布计算	(134)
§5-1	计算图式及基本公式	(134)
§5-2	程序框图及说明	(138)
§5-3	源程序	(139)
§5-4	应用示例	(148)
第六章	杆系静力计算程序	(151)

§6-1	简单的杆系程序.....	(151)
§6-2	平面杆系通用程序说明及总框图.....	(162)
§6-3	两端有刚臂的杆单元的处理.....	(170)
§6-4	支承条件及结构对称性利用.....	(176)
§6-5	总刚度矩阵的形成.....	(180)
§6-6	荷载矩阵.....	(193)
§6-7	边界条件的处理.....	(198)
§6-8	恒载内力计算.....	(202)
§6-9	支点反力计算及支座沉陷产生的内力计算.....	(207)
§6-10	影响线计算.....	(212)
§6-11	空间杆单元.....	(218)
§6-12	编制微型计算机程序的特点.....	(229)
<b>第七章</b>	<b>杆系动力计算程序.....</b>	<b>(234)</b>
§7-1	振型分解法.....	(234)
§7-2	特征值与特征向量的计算.....	(235)
§7-3	动力反应计算.....	(256)
<b>第八章</b>	<b>计算机绘图及应用.....</b>	<b>(268)</b>
§8-1	计算机绘图的一般概述.....	(268)
§8-2	工程图的绘制.....	(280)
§8-3	结构分析程序中的图形应用.....	(304)
§8-4	立体图形的绘制.....	(317)

# 第一章 断面几何特性的计算

在进行结构的内力计算、挠度计算及应力验算时,总是要遇到断面几何特性的计算。对于形状简单的断面,常可直接写出解析式,用赋值语句来执行计算。但桥梁杆件断面类型很多,形状也较复杂,不易写成解析式,这时宜把断面划分为若干小块,先计算出每个小块的断面特性,然后迭加而成。划分断面的方法很多,常用的有梯形块、三角形块及矩形条等。方法的选择与断面类型有很大关系,因为各种形状断面有它自己最方便描述方法和相应的计算方法。

## §1-1 梯形分块法

钢筋混凝土或预应力混凝土梁桥的断面多数为T形、马蹄形或工字形(图1-1),计算竖

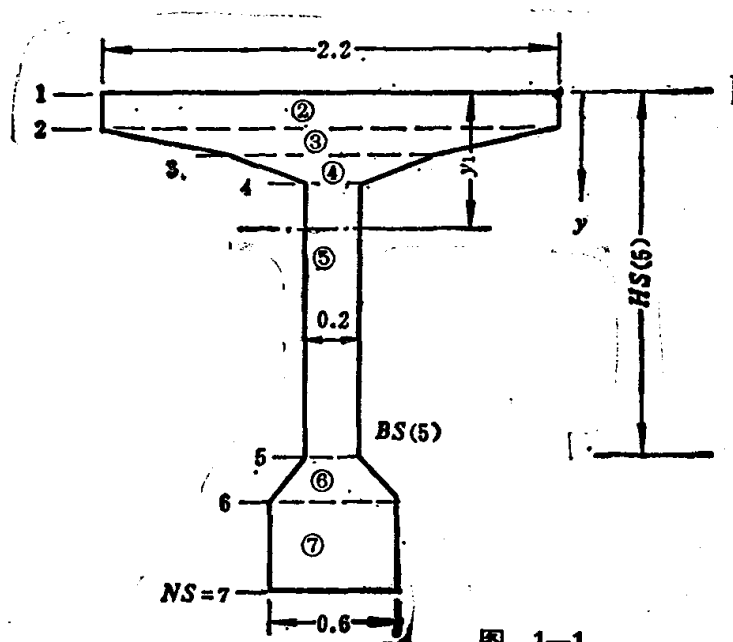


图 1-1

向惯性矩  $J$ 、静矩  $S$  时,把断面分成若干梯形小块,分隔梯形的线称为节线。整个断面的形状可以很方便地用节线处的宽度及节线的竖座标来描述。这样,基本的断面信息就取节线数  $NS$ 、节线宽度数组  $BS(NS)$  和节线高度数组  $HS(NS)$ 。

这些断面信息应在输入时给出。以图1-1为例,信息内容是:

```

NS 7
BS 2.2,2.2,1.0,0.2,0.2,0.6,0.6
HS 0, 0.12, 0.24, 0.34, 1.8,
1.95,2.45
    
```

由于我们只要求计算竖向的形心位置

$y_1$ , 截面惯性矩  $J$ , 截面模量  $W_1, W_2$ , 所以每个梯形小块的横向位置可以不考虑。

计算方法是逐块算出梯形块单元对该块底边的几何特性值,并随时将前面各块的量移到该底边迭加上去,到单元循环结束时得到的量就是以断面底边为轴线的值,然后再求出形心位置及对形心轴的惯性矩。

### 1. 梯形块计算公式

图1-2是第  $i$  个梯形块,我们不难求得它的各种几何量:

$$\left. \begin{aligned}
 \text{面 积} \quad \Delta F_i &= (bS_i + bS_{i-1}) \cdot \frac{d_i}{2} \\
 \text{对底边的静矩} \quad \Delta S_i &= \left( bS_{i-1} + \frac{b}{3} \right) \cdot \frac{d_i^2}{2} \\
 \text{对底边的惯矩} \quad \Delta J_i &= \left( bS_{i-1} + \frac{b}{4} \right) \cdot \frac{d_i^3}{3}
 \end{aligned} \right\} (1-1)$$

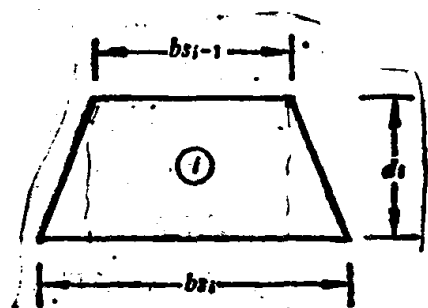


图 1-2

其中  $b = bS_i - bS_{i-1}$

$d_i = hS_i - hS_{i-1}$

对  $i$  节线的累计几何量为:

累计面积  $\Sigma_i F = \Sigma_{i-1} F + \Delta F_i$

累计静矩  $\Sigma_i S = \Sigma_{i-1} S + d_i \Sigma_{i-1} F + \Delta S_i$

累计惯矩  $\Sigma_i J = \Sigma_{i-1} J + 2d_i \Sigma_{i-1} S + d_i^2 \Sigma_{i-1} F + \Delta J_i$

形心位置  $y_2 = \Sigma_{ns} S / \Sigma_{ns} F = S_i / F_i$

$y_1 = hS_{ns} - y_2$

对形心轴的惯矩  $J_0 = \Sigma_{ns} J - F_i \cdot y_2^2 = J_i - F_i \cdot y_2^2$

截面模量  $W_1 = J_0 / y_1$

$W_2 = J_0 / y_2$

(1-2)

## 2. 程序语句

按上述思路可写出下列有关程序语句。为便于调用,用子程序形式给出如下:

```
SUBROUTINE FSJ1(NS,BS,HS,FT,JO,Y1,W1,W2)
```

```
REAL JO, JT
```

```
DIMENSION BS(NS), HS(NS)
```

(以上 NS, BS, HS 为断面信息, 其余各变量名用来存放计算结果, 符号意义同前)

```
F1=0.0
```

```
S1=0.0
```

```
JT=0.0
```

```
DO 10 I=2, NS
```

```
B=BS(I) - BS(I-1)
```

```
D=HS(I) - HS(I-1)
```

```
FT=FT + D*(BS(I) + BS(I-1))/2.0
```

```
ST=ST + D*F1 + (BS(I-1) + B/3.0)*D*D/2.0
```

```
JT=JT + 2.0*D*S1 + D*D*F1 + (BS(I-1) + B/4.0)*D**3/3.0
```

```
F1=FT
```

```
S1=ST
```

```
10 CONTINUE(至此算出对底边的累计总量)
```

```
10 Y2=ST/FT
```

```
Y1=HS(NS) - Y2(算出形心矩)
```

```
JO=JT - FT*Y2*Y2
```

```
W1=JO/Y1
```

```
W2=JO/Y2
```

```
RETURN
```

```
END
```

利用上面的子程序可计算出断面应力验算时所需用的几何特性, 下面给出套用它的程序例子。

```
REAL J
```

```

DIMENSION BS(50), HS(50)
READ(*, 100) NS (输入节线数)
100  FORMAT(I5)
      READ(*, 101) (BS(I), HS(I), I=1, NS) (输入断面信息)
101  FORMAT(2F10.4)
      CALL FSJ1(NS, BS, HS, F, J, Y, W1, W2) (调用前面FSJ1子程序计算)
      WRITE(*, 200) F, J, Y, W1, W2 (输出计算结果)
200  FORMAT(7X, 1HF, 13X, 1HJ, 13X, 1HY, 12X, 2HW1, 12X, 2HW2/1X,
1     5E14.7)
      STOP
      END

```

### 3. 部分断面的几何特性

在钢筋混凝土断面应力验算时，常常要计算受压区混凝土（高度为 $Y$ ）对中和轴的静矩 $S$ ，及惯性矩 $J$ 。因为只要计算 $Y$ 范围的几何量，所以在进行逐块累加时要随时查看节线 $I$ 的高度 $HS(I)$ 是否小于 $Y$ 值，如果小于 $Y$ 值，则第 $I$ 小块照常迭加，如果 $HS(I) > Y$ ，则只能迭加 $I$ 块的一部分（图1-3），这一小部分的高度 $D$ 及底宽 $BI$ 均按内插求得，迭加后即转向出口。

图1-4是计算框图。

编写部分断面几何特性的子程序时，还需先编写一个迭加小块的子程序ADI，为了便于在全程序中调用子程序FSJY1，我们将断面信息 $NS, BS, HS$ 放入公用区，程序语句为：

```

SUBROUTINE FSJY1(Y, F, S, J)
REAL J
COMMON/CS/NS, BS(50), HS(50)
F=0.0
S=0.0
J=0.0
DO 20 I=2, NS

```

( $F, S, J$ 分别存放相应于 $Y$ 的面积, 静矩及惯性矩)

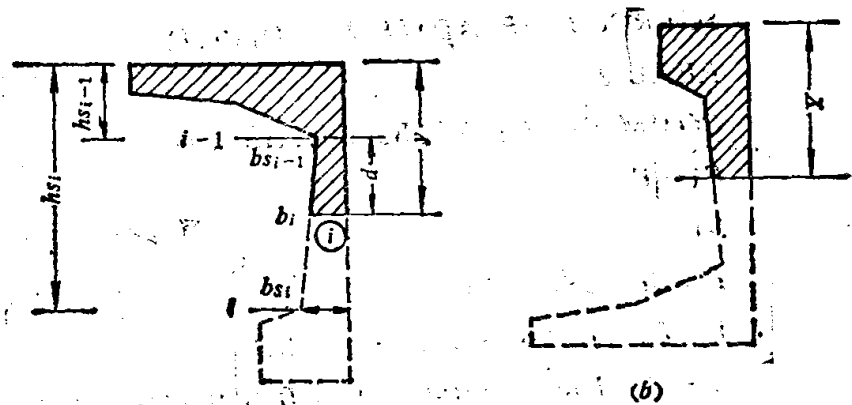


图 1-3

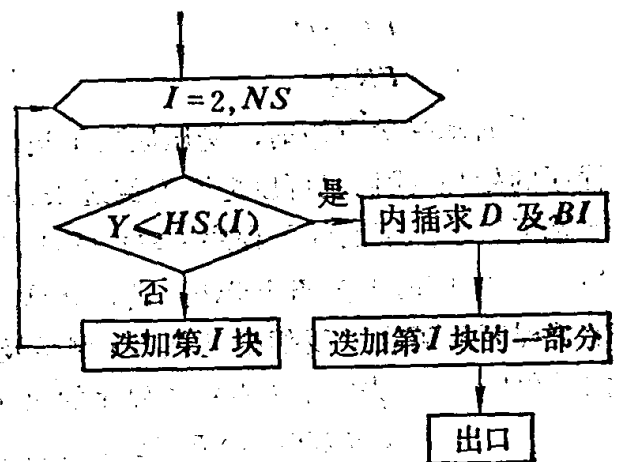


图 1-4



```
IF(Y.GT.HS(I))GOTO 10
```

```
D=Y - HS(I - 1)
```

```
BI=BS(I - 1) + D*(BS(I) - BS(I - 1))/(HS(I) - HS(I - 1))
```

(当  $Y < HS(I)$  时, 进行内插计算)

```
CALL AD1(F, S, J, D, BI, I)
```

```
RETURN (迭加 i 块的一部分后返回主程序)
```

```
10 BI=BS(I)
```

```
D=HS(I) - HS(I - 1)
```

```
CALL AD1(F, S, J, D, BI, I) (迭加第 i 块)
```

```
20 CONTINUE
```

```
END
```

迭加小块的子例子程序为:

```
SUBROUTINE AD1(F, S, J, D, BI, I)
```

```
REAL J
```

```
COMMON /CS/NS, BS(50), HS(50)
```

```
F1=F
```

```
S1=S
```

```
B=BI - BS(I - 1)
```

```
F=F1 + D*(BI + BS(I - 1))/2.0
```

```
S=S1 + D*F1 + (BS(I - 1) + B/3.0)*D*D/2.0
```

```
J=J + 2.0*D*S1 + D*D*F1 + (BS(I - 1) + B/4.0)*D**3/3.0
```

```
RETURN.
```

```
END
```

断面承受负弯矩时, 受压区在下边, 这时受压混凝土的几何特性应该从下边算起。为便于程序的处理, 我们也可以把断面倒过来, 只要加一个负弯矩倒转的信息以及若干处理倒转的语句就可以了, 下面的子程序 *FSJY* 就具有这种功能, 程序中增加了负弯矩倒转的信息 *NGO*, 当 *NGO* 取“真”时则按图 1-3(b) 进行计算 (此时 *bS*, *hS* 不变动) *NGO* 是逻辑变量, 在调用这个子程序前赋值。我们把处理 *HS* 倒转及迭加小块的过程分别编成一个函数子程序及一个子例子程序, 下面先写出 *FSJY* 子程序的语句如下:

```
SUBROUTINE FSJY(Y, F, S, J)
```

```
REAL J
```

```
LOGICAL NGO
```

```
COMMON/CS/NS, BS(50), HS(50), NGO
```

```
F=0.0
```

```
S=0.0
```

```
J=0.0
```

```
DO 20 K=2, NS
```

```
I=K
```

```
I1=I - 1
```

```

IF(NGO) I=NS+1-K
IF(NGO) I1=I+1(I,I1 都是用来处理HS倒转的量)
IF(Y.GT.HV(I)) GOTO 10(HV(I)为调用处理 HS倒转的函数子程序)
D=Y-HV(I1)
BI=BS(I1)+D*(BS(I)-BS(I1))/(HV(I)-HV(I1))
CALL AD(F,S,J,D,BI,I1)
RETURN
10 BI=BS(I)
D=HV(I)-HV(I1)
CALL AD(F,S,J,D,BI,I1)
20 CONTINUE
END

```

处理 HS 倒转的函数子程序是:

```

FUNCTION HV(I)
LOGICAL NGO
COMMON/CS/NS,BS(50),HS(50),NGO
HV=HS(I)
IF(NGO) HV=HS(NS)-HS(I)
RETURN
END

```

处理倒转时迭加小块的子例子程序:

```

SUBROUTINE AD(F,S,J,D,BI,I1)
REAL J
LOGICAL NGO
COMMON/CS/NS,BS(50),HS(50),NGO
F1=F
S1=S
B=BI-BS(I1)
F=F1+D*(BI+BS(I1))/2.0
S=S1+D*F1+(BS(I1)+B/3.0)*D*D/2.0
J=J+2.0*D*S1+D*D*F1+(BS(I1)+B/4.0)*D**3/3.0
RETURN
END

```

## §1-2 三角形分块法

本方法的特点是把断面划分成若干具有共同顶点的三角形(图 1-5)。如果知道了一个三角形的面积计算公式,那么只要用一个循环语句就可以完成所有面积的计算。

图 1-5 的任意形状断面中各节点编号为 1, 2, 3, ..., n, 已知各点座标为  $x_1, y_1, x_2, y_2, \dots, x_n, y_n$

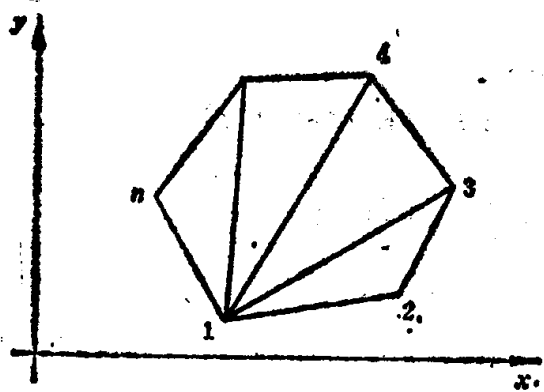


图 1-5

$y_n$ , 我们用数组  $X(N), Y(N)$  表示。

先考察图1-6, 可得到三角形面积计算公式为:

$$2F = \begin{vmatrix} 1 & x_1 & y_1 \\ 1 & x_2 & y_2 \\ 1 & x_3 & y_3 \end{vmatrix} = (x_2 - x_1)(y_3 - y_1) - (y_2 - y_1)(x_3 - x_1)$$

如果把坐标原点取在 1 (图 1-7), 则

$$2F = x_2 y_3 - y_2 x_3 \quad (1-3)$$

使用上列公式时, 三角形节点必须逆时针编号,

这样求得面积为正值, 如果顺时针编号, 求得的面积则为负值。

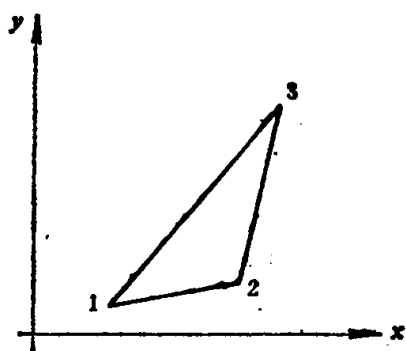


图 1-6

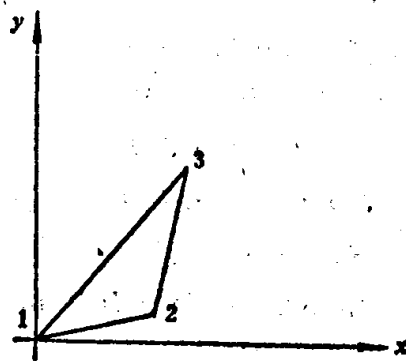


图 1-7

下面写一个求面积的函数子程序, 以便了解三角形单元分块法的思路。

```
FUNCTION FF(N,X,Y)
```

```
DIMENSION X(N),Y(N)
```

```
F(XI,XI1,YI,YI1) = (XI*YI1 - YI*XI1)/2.0 (这是一个求三角形面积的语句函数)
```

```
TF=0.0
```

```
DO 10 J=2,N
```

```
X(J)=X(J) - X(1)
```

```
10 Y(J)=Y(J) - Y(1) (把原点移到第一点上)
```

```
N1=N-1
```

```
DO 20 J=2,N1
```

```
20 TF=F(X(J),X(J+1),Y(J),Y(J+1)) + TF (求出总面积)
```

```
FF=TF
```

```
RETURN
```

```
END
```

如果要算截面惯性矩, 还得先求出截面的形心位置, 主轴方向及每个三角形对两个主轴的惯性矩。

在实际问题中, 桥梁的横断面大都是对称的, 所求的截面惯性矩多为对  $x$  轴的, 故不必考虑主轴问题。

一个三角形的形心位置(图 1-7)为:

$$y_F = (y_2 + y_3)/3 \quad (1-4)$$

三角形对  $x$  轴的惯性矩为:

$$J_C = F \cdot (y_2^2 + y_2 \cdot y_3 + y_3^2)/6 \quad (1-5)$$

整个断面重心到第一点的距离为:

$$yy = \frac{\sum F \cdot y_F}{\sum F} \quad (1-6)$$

整个断面的惯性矩为:

$$JJ = \sum J_C - (\sum F) \cdot YY^2 \quad (1-7)$$

有了这些公式,不难写出下面的子程序,执行了下面子程序之后就可以算出总面积、截面惯性矩及形心坐标。

```
SUBROUTINE YFJ(N,X,Y,YY,FF,JJ)
```

```
REAL JJ,JC
```

```
DIMENSION X(N),Y(N)
```

(子程序名取为 YFJ, N 为节点数, X(N), Y(N) 为节点坐标, YY, FF, JJ 存放断面形心坐标, 面积, 惯性矩)

```
F(XI,XI1,YI,YI1) = (XI*YI1 - YI*XI1)/2.0
```

(这是求三角形面积的语句函数, XI, XI1, YI, YI1 相对应的实自变量分别是 X(I), X(I+1), Y(I), Y(I+1))

```
YF(YI,YI1) = (YI + YI1)/3.0 (这是求三角形形心位置的语句函数)
```

```
JC(XI,XI1,YI,YI1) = F(XI,XI1,YI,YI1)*(YI*YI + YI1*(YI1 + YI))/6.0
```

(这是求三角形对  $x$  轴惯性矩的语句函数)

```
TF = 0.0
```

```
TYF = 0.0
```

```
TJ = 0.0
```

```
DO 10 J=2,N
```

```
X(J) = X(J) - X(1)
```

10 Y(J) = Y(J) - Y(1) (将坐标原点移至第 1 点)

```
N1 = N - 1
```

```
DO 20 J=2,N1
```

```
TF = F(X(J),X(J+1),Y(J),Y(J+1)) + TF (求面积)
```

```
TYF = YF(Y(J),Y(J+1))*F(X(J),X(J+1),Y(J),Y(J+1)) + TYF (求静矩)
```

20 TJ = TJ + JC(X(J),X(J+1),Y(J),Y(J+1))(求惯性矩)

```
YY = TYF/TF
```

```
FF = TF (算出面积)
```

```
JJ = TJ - FF*YY**2(算出惯性矩)
```

```
YY = YY + Y(1) (算出形心坐标)
```

```
RETURN
```

```
END
```

至此,已求出 YY, FF, JJ, 如果欲求截面模量 W, 可在上面的子程序中加一些语句即可。对于图 1-8 的各种断面, 都可以采用这个方法来计算, 图中表示了编号的方法。

在图 1-8(a)中,  $\triangle 123$ 、 $\triangle 134$ 、 $\triangle 145$  都是按逆时针编号的, 得出的是正值,  $\triangle 156$ 、 $\triangle 167$  的面积是负的, 但在计算  $\triangle 178$ 、 $\triangle 189$  时, 多算了一部分界外面积, 正好与  $\triangle 156$ 、 $\triangle 167$  的面积抵消, 算出的总结果是正确的。

由此可见, 编号应该逆时针沿周边循序进行, 不可以随意编号。对于图 1-8(b) 这类箱形断面, 可在任意点作一切缝, 再逆时针编号。

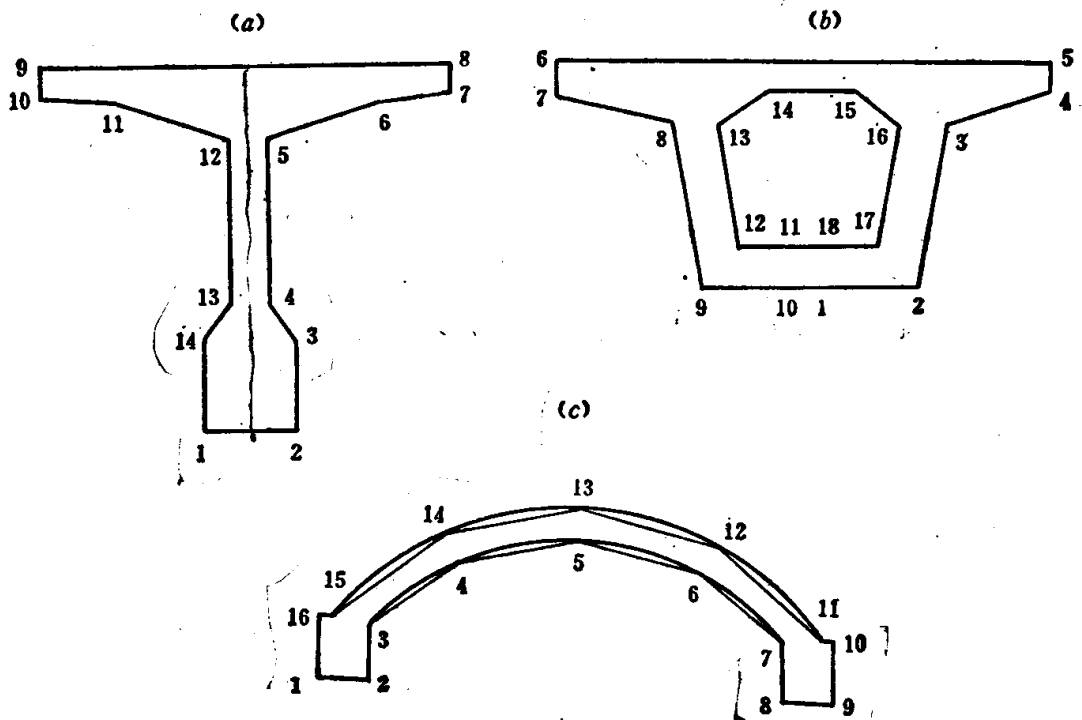


图 1-8

如果断面是对  $y$  轴对称的, 可取一半来计算。

图 1-8(c)中的曲线部分, 可用许多折线点来代替, 取的点愈多, 计算结果愈精确。

调用 YFJ 子程序示例: 计算跨径为  $L$  的等截面简支梁的自重及跨中挠度。

```

REAL L, J
DIMENSION X(50), Y(50)
READ(*, 10) N, L, E (E 是
READ(*, 15) (X(I), Y(I), I=1, N)
CALL YFJ(N, X, Y, B, A, J) (调用子程序计算面积, 惯性矩, YFJ 同前)
J = E * J
Q = 2.5 * A
F = 0.01302 * Q * L ** 4 / J
Q = Q * L
WRITE(*, 20) Q, F
10  FORMAT(I10, 2F10.4)
15  FORMAT(2F10.4)
20  FORMAT(1X, 2HQ =, E13.6, 6X, 2MF =, E13.6)
STOP
END

```

## §1-3 积分法求几何特性

如果断面轮廓是曲线形（如双曲拱桥断面），那么用前两种方法比较麻烦，这时可把断面宽度与高度的函数关系式写出，再利用数值积分计算，这就是积分法。这种方法适应性强，程序亦简单，但是计算时间较长。

### 1. 宽度的函数表达式

对于如图 1-9 一类的断面，容易写出计算宽度的函数子程序如下：

```

FUNCTION BYT(Y)
COMMON B1,B2,B3,H1,H2,H3
BYT=B3
IF(Y.LE.H1) BYT=B1
IF(Y.GT.H1.AND.Y.LE.H2)BYT=B2
RETURN
END
    
```

对于一个半径为  $B_1$  的圆（坐标原点在顶上）则可写成：

```

FUNCTION BY0(Y)
COMMON B1
BYO=2.0*SQRT(B1*B1-(B1-Y)**2+1E-12)
RETURN
END
    
```

当然，对于各种断面都可写出类似的函数子程序，但是这样做函数名就很多，调用也很不方便，我们不妨给出一些常用断面，编一个号，统一地写在一个函数子程序里，利用一个计算转移语句来选择，下面就是一个例子。

图 1-10 表示的断面用指数  $TP$  来区分它的类型，其中  $TP, B_1, B_2, \dots$  等值处理为全量，由输入语句给出它的值。函数名取为  $TY$  的子程序如下：

```

FUNCTION TY(Y)
INTEGER TP
COMMON TP,B1,B2,B3,H1,H2,H3
GOTO(10,20,20,40,50),TP
(计算转移语句，根据指数 TP 决定计算的转向，每个 TP 数值对应于某一类断面，见图 1-10)
    
```

```

10 C=B2
GOTO 30
20 IF(Y.GT.H1.AND.Y.LE.H2) GOTO 60
GOTO 30
60 A=B1-B2
    
```

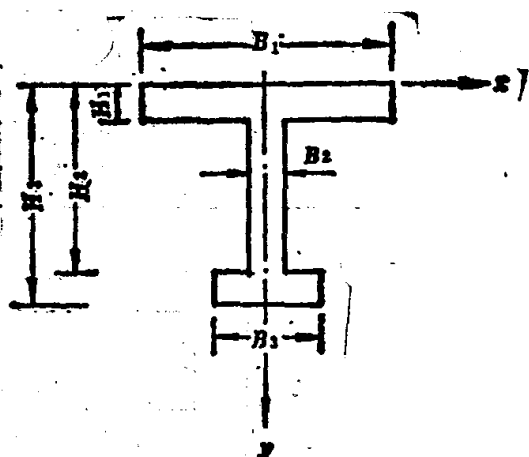


图 1-9

TR	断面	适用断面
1.		
2.		
3.		
4.		
5.		

图 1-10

$$B = H2 - H1$$

$$IF(TP.EQ.3) A = A/2.0$$

$$R = (A*A + B*B)/B/2.0$$

$$Q = Y - R - H1$$

$$E = D(R, Q) \quad (D(R, Q) \text{ 是一个简化计算表达式的函数子程序调用, 这个子程序在下面给出})$$

$$IF(TP.EQ.3) E = 2.0 * E$$

$$C = B1 - E$$

30

$$IF(Y.LE.H1) TY = B1$$

$$IF(Y.GT.H1.AND.Y.LE.H2) TY = C$$

```

IF(Y.GT.H2)TY=B3 (前三类断面有类似处,故并在一起写,至此已有结果,可返回去程序)
RETURN
40 R=H3/2.0
A=H2/2.0
Q=R-Y
B=0.0
IF(Y.GT.(R-A).AND.Y.LT.(R+A)) B=2.0*D(A,Q)
TY=2.0*D(R,Q)-B
RETURN
50 A=H2/2.0
R=H3/2.0
Q=R-Y
B=0.0
IF(Y.GT.(R-A).AND.Y.LT.(R+A)) B=2.0*D(A,Q)
TY=H3-B
RETURN
END
FUNCTION D(R,Q)
D=SQRT(R*R-Q*Q+1E-12)
RETURN
END

```

以上函数子程序是配合图 1-10 的输入数据而设计的,坐标原点取在断面顶上,正向箭头指向下方。为计算需要,有时把坐标零点设在距断面顶为  $D$  处,正向指向上方(图 1-11),此时应使用下列函数来表示。

```

FUNCTION BY(Y)
COMMON/C1/DD (DD 由主程序中算出)
BY=TY(DD-Y)(Fv 的被积函数)
RETURN
END

```

显然,  $BY$  是由  $TY$  作坐标变换而得,计算图 1-11 中阴影部分  $A$  的面积时应作下列积分:

$$F_v = \int_a^b BY(y) dy$$

式中  $BY$ ——被积函数;

如果求面积  $A$  对  $X$  轴的静矩及惯性矩时,应作下列积分:

$$S_v = \int_a^b y \cdot BY(y) dy$$

$$J_v = \int_a^b y^2 BY(y) dy$$

其中  $yBY(y)$  及  $y^2BY(y)$  分别为被积函数值,可以写出它们的函数子程序如下:

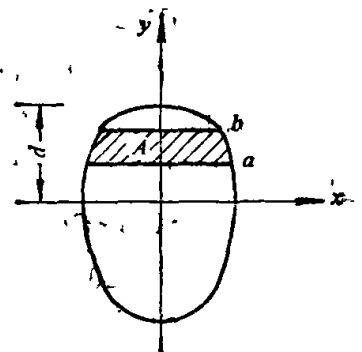


图 1-11



```

FUNCTION BY1(Y)
  BY1=Y*BY(Y) (S, 的被积函数)
  RETURN
END

```

```

FUNCTION BY2(Y)
  BY2=Y*Y*BY(Y) (J, 的被积函数)
  RETURN
END

```

## 2. 辛普生积分

求下列定积分：
$$D = \int_a^b C(y) dy \quad (1-8)$$

式中  $C$ ——被积函数；

$a, b$ ——积分上下界。

数值积分的方法有很多，这里介绍辛普生方法的程序。

利用辛普生公式，把  $a, b$  区间分为  $2n$  等分，每等分段间隔  $h = \frac{b-a}{2n}$ ，于是积分值：

$$D = \frac{h}{3} \{ C(a) - C(b) + [4 \cdot C(a+h) + 2 \cdot C(a+2h)] + [4 \cdot C(a+3h) + 2 \cdot C(a+4h)] + \dots + [4 \cdot C(a+(2n-1)h) + 2 \cdot C(a+2nh)] \} \quad (1-9)$$

根据式 1—9 写出子例子程序如下：

```

SUBROUTINE SIMP1(A,B,N,FUN,D)
  (A,B,N 意义见前, FUN 为虚拟的被积函数, D 为积分值)
  H=(B-A)/2.0/N
  S=FUN(A)-FUN(B)
  N1=2*N-1
  DO 10 I=1,N1,2
  Q=FLOAT(I)*H+A
  R=Q+H
10 S=S+4.0*FUN(Q)+2.0*FUN(R)
  D=S*H/3.0
  RETURN
END

```

上面的程序在使用时要自行决定分格数，如果分得不够细，则计算结果的精度可能不足。为此，下面的一个程序作了改进，它使  $n$  自动加密，直到两次算得结果的差值小于  $EPS$  时子程序结束，返回。

```

SUBROUTINE SIMP2(A,B,FUN,D,EPS)
  N=20 (第一次格点取为20)
  S1=0.0
5 H=(B-A)/FLOAT(N)
  S=FUN(A)-FUN(B)

```