

计算结构力学

薛德明

戴仁杰 编著

杨忠汉

同济大学出版社

计算结构力学

薛德明

戴仁杰 编著

杨忠汉

同济大学出版社

内 容 提 要

随着电子计算机的普及和发展, 矩阵方法在结构分析中的应用日益被人们所重视, 促使了计算结构力学的形成。本书是参照一九八〇年五月原教育部高等学校工科力学教材编审委员会审订的《结构力学教学大纲(草案)》编写而成。内容特点是将结构力学中的矩阵位移法与计算机程序紧密结合, 以利应用。

全书共四章。主要阐述: 工程结构内力计算程序简介、矩阵位移法、平面桁架的内力计算程序、平面框架的计算程序等。

本书可作为高等学校工业与民用建筑、土建结构工程及有关专业的计算结构力学教材, 也可供土建工程技术人员及自学者参考之用。

责任编辑 司徒妙龄

封面设计 王 肖 生

计 算 结 构 力 学

薛德明 戴仁杰 杨忠汉 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

无锡县人民印刷厂印刷

开本850×1168 1/32 印张 7 字数 201千字

1988年1月第1版 1988年1月第1次印刷

印数1~6000 科技新书目153-310

统一书号15335·041 定价1.45元

ISBN7-5608-0011-4/TU·24

前 言

本书是近几年来编者在上海城市建设学院讲授计算结构力学时所用讲义的基础上补充、修订而成的。计算结构力学是一门新兴的力学学科，是力学和电子计算机计算技术相结合的产物，它的发生和发展，使结构力学发生了巨大的变化，尤其是微型计算机的应用和普及，促进了计算结构力学的快速形成。现有的结构力学教材，在介绍结构矩阵位移法时，往往未与计算程序联系起来，以致学生学习时枯燥乏味，体会不到该法的优越性，学后印象也不深。为此，本书将以上两个部分内容有机地结合起来，在讲述矩阵位移法原理的同时，介绍了有关的计算程序及其编制方法。经几年的教学实践，学生一边学习理论，一边编制程序和上机操作调试，大大地提高了学习兴趣和上机操作能力，同时也加深了对FORTRAN语言的理解和应用，为今后的教学、科研和结构设计工作开拓了广阔的前景。

本书作为一本教材，考虑到要受教学时数的限制，因此不可能将内容十分丰富的结构矩阵分析原理在本书中全面涉及。为了加强学习的针对性，在选取教材时，力求贯彻“少而精”、“理论联系实际”和“由浅入深”的原则，将一些必要的基本理论和基本知识讲深讲透，所涉及的计算方法择其应用较广者，而忽略了其它次要的、不常用的内容。

本书所列入的计算程序均采用FORTRAN 77语言编写，适用于IBM-PC机及其兼容机。读者若已具有FORTRAN IV的知识，则仅需稍加注意程序的说明部分，即能顺利地阅读本书。

本书不仅可以作为大学本科生学习计算结构力学时的教材，且也可作为自学者及设计部门微机操作人员的参考用书。

本书承蒙上海城市建设学院金成棣教授 郁鸿逵老师、同济

暴 目

前言..... (1)

第一章 工程结构内力计算程序简介..... (1)

§ 1-1 简支梁的内力及反力计算程序..... (8)

§ 1-2 单跨固端梁的内力及反力计算程序..... (15)

§ 1-3 连续梁的杆端弯矩计算程序..... (21)

第二章 矩阵位移法..... (21)

§ 2-1 引言..... (21)

§ 2-2 结构的离散化及杆端力、杆端位移的表示方法
..... (22)

§ 2-3 按单元坐标系的单元刚度方程和单元刚度矩阵
..... (26)

§ 2-4 按结构坐标系的单元刚度方程和单元刚度矩阵
(坐标变换)..... (42)

§ 2-5 单元长度和倾角的三角函数的计算程序..... (49)

§ 2-6 按结构坐标系的单元刚度矩阵的计算程序..... (56)

§ 2-7 矩阵位移法——后处理法..... (66)

§ 2-8 非结点荷载的处理..... (87)

§ 2-9 非结点荷载转化为等效结点荷载的计算程序
..... (92)

§ 2-10 矩阵位移法算例..... (100)

习 题..... (110)

第三章 平面桁架的内力计算程序..... (113)

§ 3-1 引言..... (113)

§ 3-2 单元刚度矩阵和坐标变换矩阵..... (113)

§ 3-3	结构整体原始刚度矩阵.....	(125)
§ 3-4	直接刚度法计算平面桁架的结点位移和杆端力	(136)
§ 3-5	计算实例.....	(147)
第四章	平面框架的计算程序.....	(156)
§ 4-1	引言.....	(156)
§ 4-2	线性方程组的求解.....	(156)
§ 4-3	结构总刚度矩阵一维存放时的对角元地址码	(167)
§ 4-4	结构总刚度矩阵为下三角一维紧缩存放时, 方 程组的求解程序.....	(175)
§ 4-5	平面框架结构的结点位移和杆端力的计算程序	(183)
§ 4-6	计算实例.....	(205)
附录	标识符一览表.....	(214)
	主要参考书目.....	(217)

第一章 工程结构内力计算程序简介

§ 1-1 简支梁的内力及反力计算程序

简支梁是只有一根杆件的简单结构，当横向外荷载作用于杆件上时，杆件内部各截面上将产生内力（弯矩 M 和剪力 Q ），支座将产生反力。现分别以集中荷载 P 、均布荷载 q 及集中力偶 M 作用于梁上时为例，计算各截面的内力及支座反力。

一、数学力学模式

1. 集中荷载 P 作用于 C 点时（图1-1a）。由材料力学知：支座反力为

$$R_A = P \left(1 - \frac{a}{l} \right)$$

$$R_B = \frac{Pa}{l}$$

令：

$$C_1 = \frac{a}{l}$$

$$C_2 = 1 - \frac{a}{l}$$

则得

$$R_A = P \times C_2$$

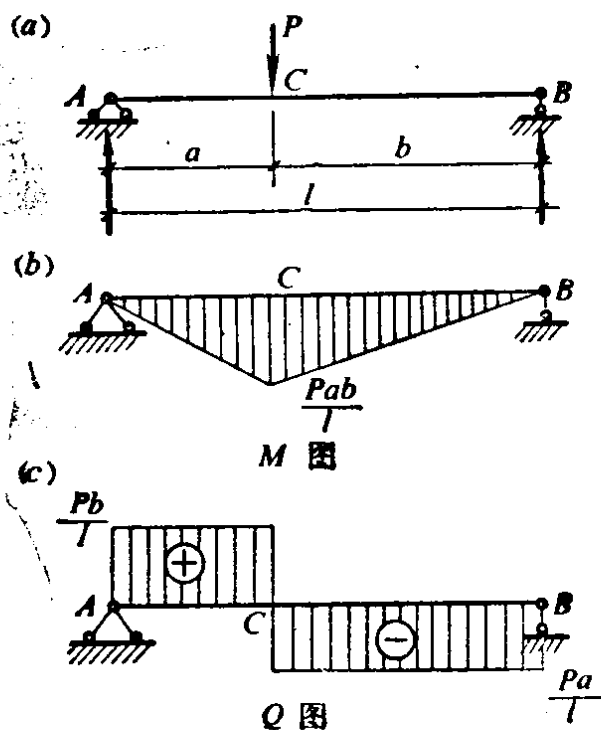


图1-1

$$R_B = P \times C_1$$

截面弯矩为

$$M_A = 0$$

$$M_C = R_A \times a \quad (\text{下缘纤维受拉为正})$$

$$M_B = 0$$

由以上截面弯矩绘得的弯矩图，如图1-1b所示；

截面剪力为

$$Q_A = R_A$$

$$Q_C^{\text{左}} = R_A$$

$$Q_C^{\text{右}} = -R_B$$

$$Q_B = -R_B$$

由以上截面剪力绘得的剪力图，如图1-1c所示。

2. 均布荷载 q 作用于整根梁上时（图1-2a）。由材料力学知：支座反力为

$$R_A = \frac{ql}{2}$$

$$R_B = R_A$$

截面弯矩为

$$M_A = 0$$

$$M_C = \frac{ql^2}{8}$$

$$M_B = 0$$

由以上截面弯矩绘得的弯矩图，如图1-2b所示；

截面剪力为

$$Q_A = R_A$$

$$Q_B = -R_B$$

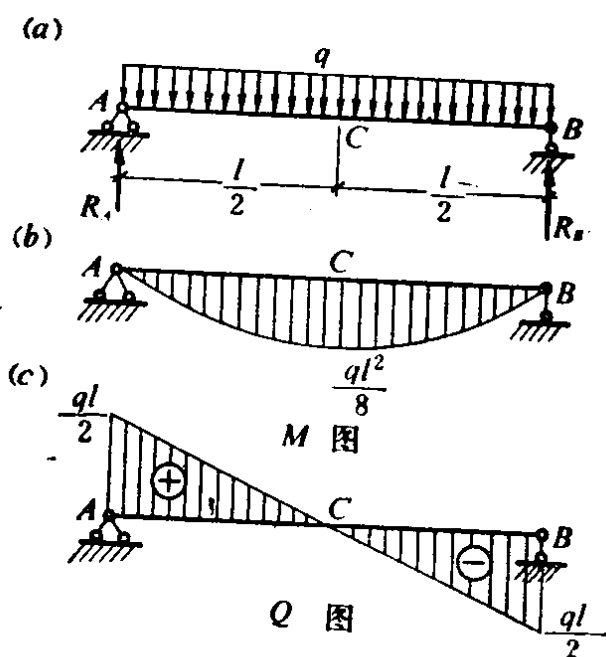


图1-2

由以上截面剪力绘得的剪力
图，如图1-2c所示。

3. 集中力偶 M 作用于 C
点时（图1-3a）。由材料力学
知：支座反力为

$$R_A = -\frac{M}{l}$$

$$R_B = -R_A$$

截面弯矩为

$$M_A = 0$$

$$M_C^{\text{左}} = -\frac{Ma}{l} = -MC_1$$

$$M_C^{\text{右}} = M\left(1 - \frac{a}{l}\right) = MC_2$$

$$M_B = 0$$

由以上截面弯矩绘得的弯矩
图，如图1-3b所示；

截面剪力为

$$Q_A = R_A$$

$$Q_B = -R_B = R_A$$

由以上截面剪力绘得的剪力
图，如图1-3c所示。

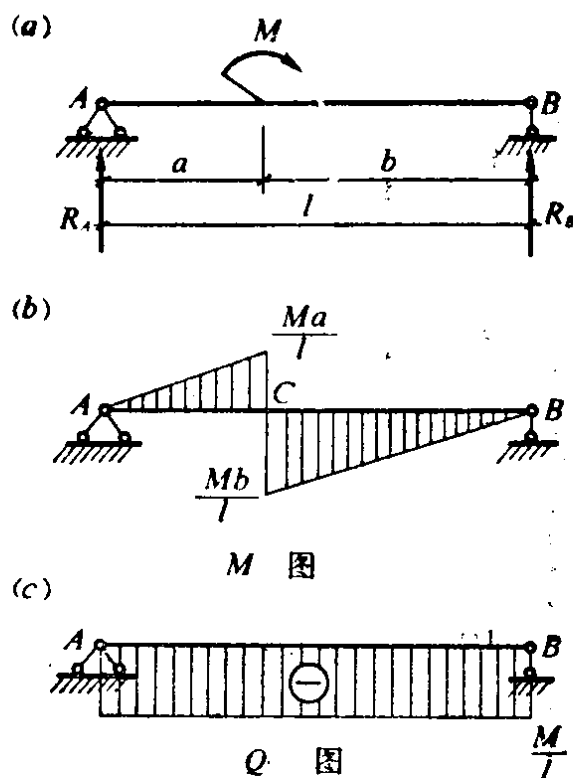


图1-3

二、计算程序

对于以上各受力情况，编
制通用的计算程序。

1. 标识符意义

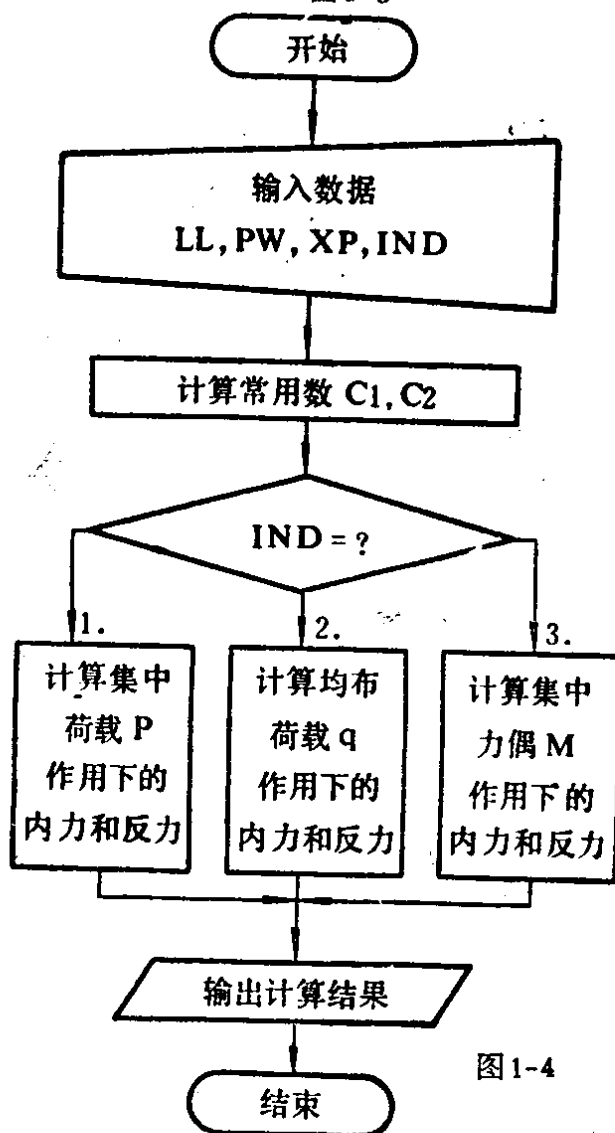


图1-4

```

1:      REAL LL,MA,MC,MB,ML,ME,
2:      OPEN(2,FILE=      )
3:      WRITE(2,1)
4:      1  FORMAT(25X, '--ANALYSIS OF SIMPLE BEAM-- //30X,
5:      1  'INPUT DATA //30X, ***** /)
6:      WRITE(*, '(A) )  LL=?  PW=?  XP=?  IND=?
7:      READ(*,*, LL,PW,XP,IND
8:      WRITE(2,5) LL,PW,XP,IND
9:      5  FORMAT(3X, LL=,F7.3,3X, PW=,F7.3 3X  XP=,
10: 1  F7.3,3X, IND=,I1/)
11:      WRITE(2,8)
12: 8  FORMAT(//30X, OUTPUT DATA //30X, *****
13:      C1=XP/LL
14:      C2=1-C1
15:      MA=0.0
16:      MB=0.0
17:      GOTO (10,20,30) IND
18: 10  FYI=PW*C2
19:      FYJ=PW-FYI
20:      MC=FYI*XP
21:      TL=FYI
22:      TR=-FYJ
23:      WRITE(2,40) MA,MC,MB
24:      WRITE(2,43) TL,TL,TR,TR
25:      WRITE(2,47) FYI,FYJ
26:      GOTO 50
27: 20  FYI=PW*LL/2.0
28:      FYJ=FYI
29:      MC=FYI*LL/2.0-PW*LL*LL/8.0
30:      QA=FYI
31:      QB=-FYJ
32:      WRITE(2,40) MA,MC,MB
33:      WRITE(2,44) QA,QB
34:      WRITE(2,47) FYI,FYJ
35:      GOTO 50
36: 30  FYI=-PW/LL
37:      FYJ=-FYI
38:      ML=-PW*C1
39:      MR=PW*C2
40:      QA=FYI
41:      QB=FYI
42:      WRITE(2,42) MA,ML,MR,MB
43:      WRITE(2,44) QA,QB
44:      WRITE(2,47) FYI,FYJ
45: 40  FORMAT(/3X, 'Ma=',F7.3,3X, 'Mc=',
46: 1  F7.3,3X, 'Mb=',F7.3)
47: 42  FORMAT(/3X, 'Ma=',F7.3,3X, 'Ml=',
48: 1  F7.3,3X, 'Mr=',F7.3,3X, 'Mb=',F7.3)
49: 43  FORMAT(3X, 'Qa=',F7.3,2X, 'Qcl=',
50: 1  F7.3,3X, 'Qcr=',F7.3,3X, 'Qb=',F7.3)
51: 44  FORMAT(3X, 'Qa=',F7.3,3X, 'Qb=',F7.3)
52: 47  FORMAT(3X, 'Ra=',F7.3,3X, 'Rb=',F7.3)
53: 50  WRITE(2,51)
54: 51  FORMAT(//32X, 'THE END //32X, '***** )
55:      STOP
56:      END

```

LL——杆件长度 l ;

PW——荷载值 P (或 q 或 M);

XP——荷载作用点距左端点的距离 a ;

IND——荷载类型编码:

对集中荷载 IND = 1;

对均布荷载 IND = 2;

对集中力偶 IND = 3.

FYI, FYJ——分别为简支梁AB的支座反力 R_A 和 R_B ;

MC, ML, MR——分别为C截面的弯矩值 M_C , C截面的左侧和右侧的弯矩值 $M_C^{\text{左}}$ 、 $M_C^{\text{右}}$;

QA, QB——分别为简支梁AB两端的截面剪力 Q_A , Q_B ;

TL, TR——分别为C截面左侧和右侧的剪力 $Q_C^{\text{左}}$, $Q_C^{\text{右}}$ 。

2. 框图 (图1-4)

3. 程序 (见第4页)

4. 程序说明

(1) 程序中第2行语句是建立输出文件的通道号, 规定2号为输出文件通道号。

(2) 第7行至第10行语句为由键盘输入数据, 并将它们打印出来, 以供校核。数据输入时, 采用自由格式, 以简化数据的输入操作。

(3) 第18行至第25行语句为梁上作用集中荷载时的内力和反力计算, 并输出计算结果。

(4) 第27行至第34行语句为梁上作用均布荷载时的内力和反力计算, 并输出计算结果。

(5) 第36行至第44行语句为梁上作用集中力偶时的内力和反力计算, 并输出计算结果。

5. 上机运算

程序运行后，当屏幕上显示提示符UNIT 2? 时，则从键盘上键入“输出文件名”，它有三种方式：

- (1) 当从屏幕上输出计算结果时，则键入CON；
- (2) 当从打印机输出计算结果时，则键入PRN；
- (3) 如将计算结果写在磁盘上时，则键入磁 盘上已建立的输出结果文件名（可以是一个空文件）。

当屏幕上显示LL=? PW=? XP=? IND=? 等提示符时，则从键盘上键入下列数据：杆件长度、荷载值、荷载作用点距左端的距离、荷载类型编码。

三、计算实例

算例1 计算图1-5所示简支梁，当作用集中荷载 P 时的截面内力及支座反力。

解：

1. 键盘输入的数据

12 10 8 1

2. 计算结果

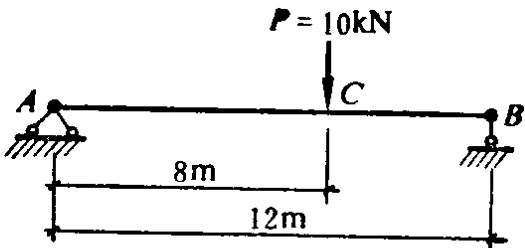


图1-5

---ANALYSIS OF SIMPLE BEAM---

INPUT DATA

LL= 12.000 PW= 10.000 XP= 8.000 IND=1

OUTPUT DATA

Ma= .000 Mc= 26.667 Mb= .000
Qa= 3.333 Qc1= 3.333 Qcr= -6.667 Qb= -6.667
Ra= 3.333 Rb= 6.667

THE END

算例2 计算图1-6所示简支梁，当作用均布荷载 q 时的截面内力及支座反力。

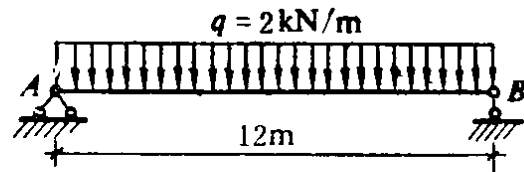


图1-6

- 解：
1. 键盘输入的数据
 2. 计算结果

```

---ANALYSIS OF SIMPLE BEAM---
      INPUT DATA
      * * * * *
LL= 12.000    PW=  2.000    XP=  .000    IND=2
      OUTPUT DATA
      * * * * *
Ma=  .000    Mc= 36.000    Mb=  .000
Qa= 12.000    Qb=-12.000
Ra= 12.000    Rb= 12.000

      THE    END
      * * * * *
    
```

算例3 计算图1-7所示简支梁，当作用集中力偶 M 时的截面内力及支座反力。

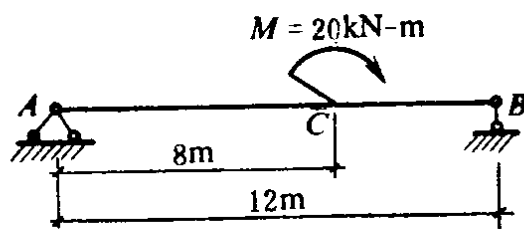


图1-7

- 解：
1. 键盘输入数据
 2. 计算结果

```

---ANALYSIS OF SIMPLE BEAM---
      INPUT DATA
      * * * * *
LL= 12.000    PW= 20.000    XP= 8.000    IND=3
      OUTPUT DATA
      * * * * *
Ma=  .000    M1=-13.333    Mr= 6.667    Mb=  .000
Qa=-1.667    Qb= -1.667
Ra=-1.667    Rb=  1.667

      THE    END
      * * * * *
    
```

§ 1-2 单跨固端梁的内力及反力计算程序

两端为固定端的单跨梁是位移法中常用的基本杆件之一，在横向荷载作用下，杆件各截面上将产生内力（弯矩 M 和剪力 Q ），固定端处引起固端反力（固端弯矩和固端剪力）。现仍分别以集中荷载 P 、均布荷载 q 及集中力偶 M 作用于梁上时为例，计算各截面的内力及固端反力。

一、数学力学模式

1. 集中荷载 P 作用于 C 点 (a) 时 (图1-8a)。由结构力学知：固端反力为

$$R_A = P \left(1 + 2 \frac{a}{l} \right) \frac{(l-a)^2}{l^2}$$

$$\text{令 } C_1 = \frac{a}{l}$$

$$C_2 = \frac{l-a}{l} = 1 - C_1$$

则

$$R_A = P(1 + 2C_1)C_2^2$$

同理

$$R_B = P(1 + 2C_2)C_1^2$$

$$M_A^g = \frac{Pab^2}{l^2} = PC_1C_2^2l$$

$$M_B^g = -\frac{Pa^2b}{l^2} = -PC_1^2C_2l$$

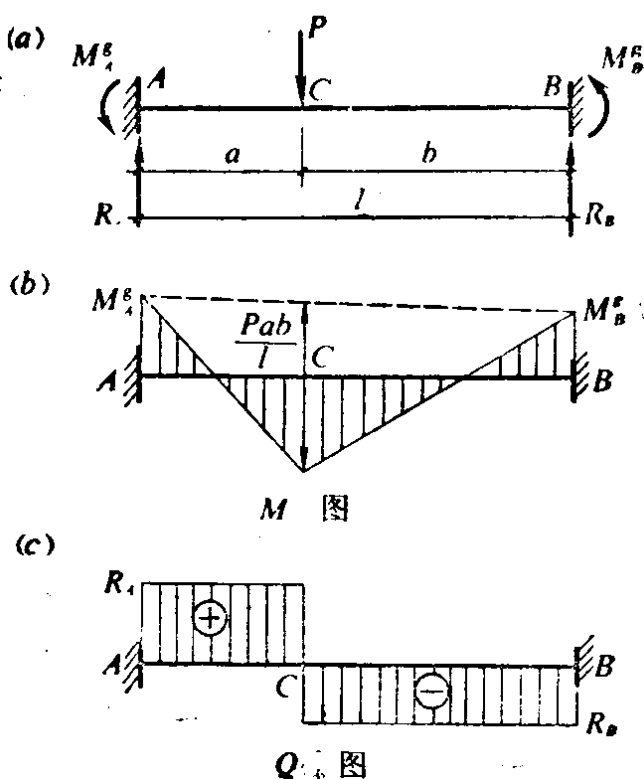


图1-8

C 截面上的弯矩为

$$M_C = R_A \cdot a - M_A^g$$

由以上截面弯矩绘得弯矩图，如图1-8b所示，

各截面剪力为

$$Q_A^g = R_A$$

$$Q_C^{\text{左}} = R_A$$

$$Q_C^{\text{右}} = -R_B$$

$$Q_B^g = -R_B$$

由以上截面剪力绘得的剪力图，如图1-8c所示。

2. 均布荷载 q 作用于整根梁上时（图1-9a）。由结构力学知：固端反力为

$$R_A = \frac{ql}{2}$$

$$R_B = R_A$$

$$M_A^g = \frac{ql^2}{12}$$

$$M_B^g = -M_A^g$$

C 截面上的弯矩为

$$M_C = \frac{1}{8}ql^2 - M_A^g$$

由以上截面弯矩绘得的弯矩图，如图1-9b所示，

各截面剪力为

$$Q_A^g = R_A$$

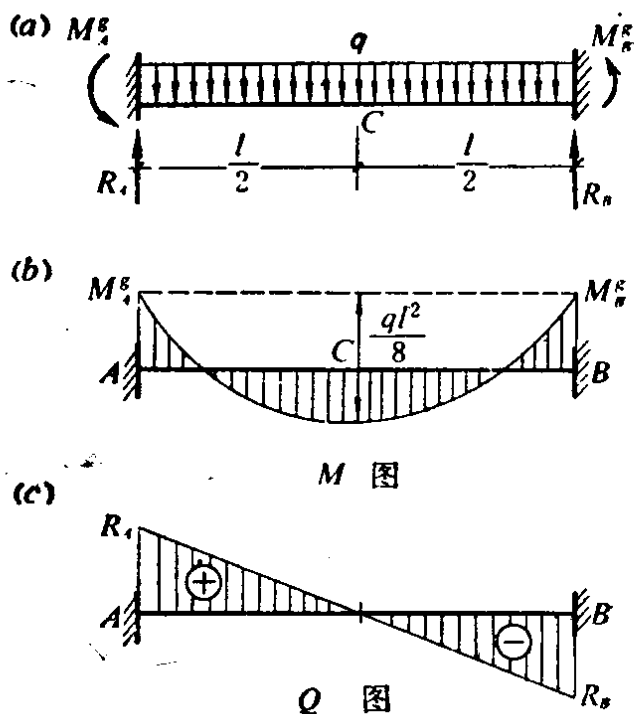


图1-9

$$Q_B^0 = -R_B$$

由以上截面剪力绘得的剪力图, 如图 1-9c 所示。

3. 集中力偶 M 作用于 C 点时 (图 1-10a)。由结构力学知: 固端反力为

$$R_A = -\frac{6Mab}{l^3}$$

同样令:

$$C_1 = \frac{a}{l}$$

$$C_2 = \frac{l-a}{l} = 1 - C_1$$

则

$$R_A = -6MC_1C_2/l$$

同理

$$R_B = -R_A$$

$$M_A^0 = -MC_2(3C_1 - 1)$$

$$M_B^0 = -MC_1(3C_2 - 1)$$

C 截面上的弯矩为

$$M_C^{\text{左}} = R_A \cdot a - M_A^0$$

$$M_C^{\text{右}} = R_B(l-a) + M_B^0$$

由以上截面弯矩绘得的弯矩图, 如图 1-10b 所示, 各截面剪力为

$$Q_A^0 = R_A$$

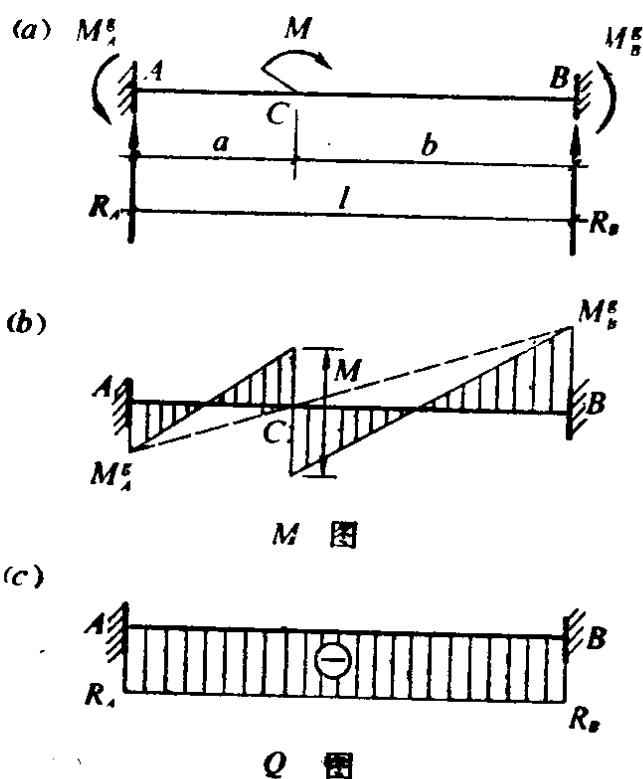


图 1-10

$$Q_B^0 = -R_B = R_A$$

由以上截面剪力绘得的剪力图，如图1-10c所示。

二、计算程序

对于以上各受力情况，
编制通用的计算程序。

1. 标识符意义

除以前所采用的标识符
外，还有

MMI, MMJ——分别为
A, B端的固端弯矩 M_A^0 ,

M_B^0 ;

TTI, TTJ——分别为
A, B端的固端剪力 Q_A^0 ,

Q_B^0 。

2. 框图 (图1-11)

3. 程序 (见第12页)

4. 程序说明

(1) 第1行至第15行语
句的意义类同于简支梁程
序。

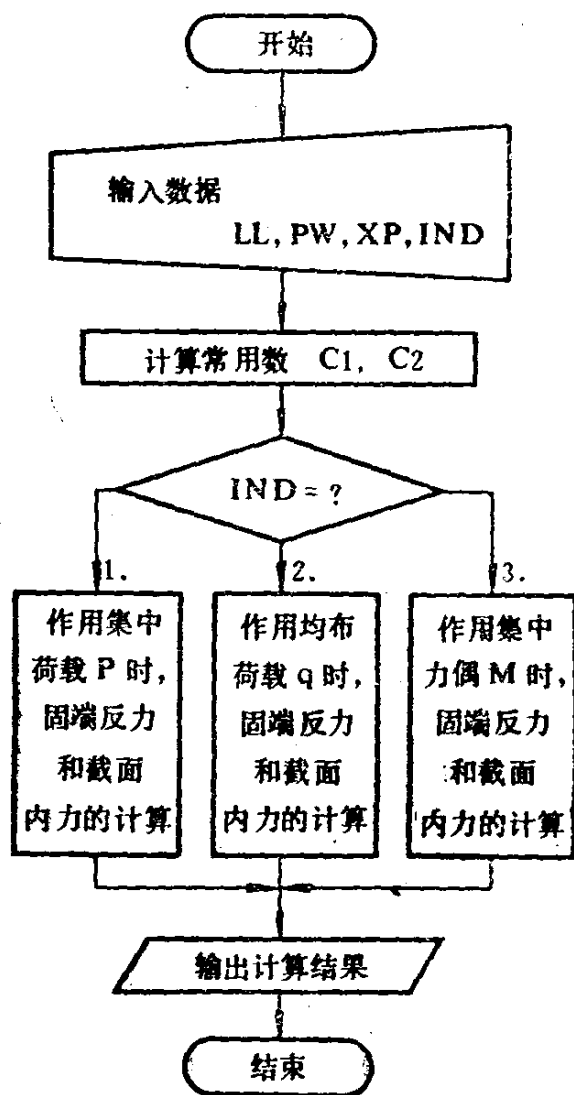


图1-11