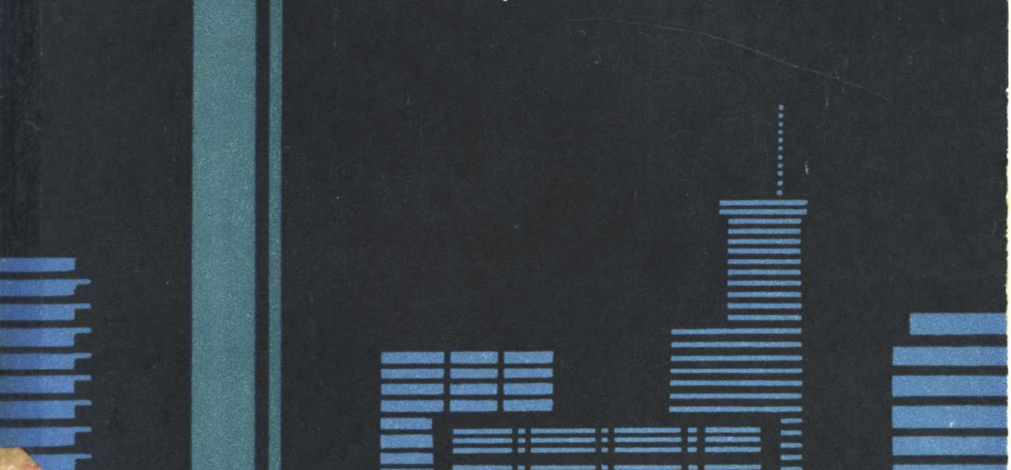
清华大学土木工程系主编

工业与民用建筑工程自学辅导丛书

# 结构分析常用微机程序

江见鲸
崔京浩



辽宁科学技术出版社

清华大学土木工程系主编

工业与民用建筑工程自学辅导丛书

# 结构分析常用微机程序

江见鲸　崔京浩　张建平

主　　审　陶全心

责任编委　裘宗濂

辽宁科学技术出版社

1988年·沈阳

**结构分析常用微机程序**
Jiegou Fenxi Changyong Weiji Chengxu
江见鲸　崔京浩　张建平

辽宁科学技术出版社出版　（沈阳市南京街6段1里2号）
辽宁省新华书店发行　沈阳新华印刷厂印刷

开本：787×1092 1/32　印张：$14^1/_8$　字数：310,000
1988年5月第1版　　1988年5月第1次印刷

责任编辑：路　明　　责任校对：沈树东
封面设计：张梅丽

印数：1—1,016
ISBN 7-5381-0144-6/TP·3
定价：3.80 元

## 内 容 提 要


全书提供了三十一个结构分析中常用的微机程序，包括常用数学程序、结构分析程序和钢筋混凝土构件计算程序等内容。

本书可作为高等院校土木、建筑等系各专业学生的教材或参考书，也可供电视大学、业余大学及工程技术人员学习或参考。

# 编 委 的 话

为了适应自学成才、继续教育和多种形式办学的需要，我们清华大学土木工程系组织一些教师编写了《工业与民用建筑工程自学辅导丛书》。丛书共二十一册，程度相当于大专水平，主要读者对象是：广播电视大学、职工大学的学生；准备高等教育自学考试的青年；继续教育进修班的学员；土建专业的在职工程技术人员。

在编写中，我们遵循了“内容充实、取材新颖、注重实用、便于自学”的原则，努力做到不仅包括学科的基本内容，而且反映科学技术的最新成果，既重视理论概念的阐述，也注意实际专题和工程实例的讲解。此外，为了减少自学的困难，对于个别内容较深的章节和习题标以注解和提示，绝大多数习题列有答案，主要的程序语句附有说明。以上是我们的主观意愿，然而心有余而力不足，问题和缺点一定不少，希望能得到同行和读者的指教。

在编写中，我们参考了全国高等教育自学考试土建类自学大纲（草案），以及电视大学、城乡建设环境保护部职工高等专科学校等单位所制定的工民建专业的部分教学大纲。但是丛书中也有一些书目并无现成的教学大纲可资参考，这些内容在我国以往的高等学校教学中一般并不讲授，但在实际工作中却有重要用处，我们把它们编写出来，以便从事实

际工作的大专以上程度的工程技术人员，能作为继续学习或参考阅读之用。

丛书的出版，得到许多部门的帮助，得到辽宁科学技术出版社的大力支持，在这里谨向他们致谢。

**《工业与民用建筑工程自学辅导丛书》编委会**

**1985年5月**

# 前　言

微型计算机在工程结构的设计中应用日益广泛，这必将给结构设计工作带来巨大的变革。因而，在土建部门工作的科技工作者和将要投身于这一事业的大学生们和自学成才者都要学习一些有关结构分析的计算机方法。本书就是为了满足这种需要而编写的。在编写过程中考虑了以下几点：

1. BASIC 语言简单、易学，且功能齐全，是广泛使用的计算机高级语言之一。所有微机均配有这种语言。因此，本书所列程序全部用BASIC语言编写。

2. 考虑到本丛书中的《结构力学》与《结构矩阵分析》已经介绍了有关的力学分析方法和程序设计的知识，因此本书的重点放在程序的介绍和汇总上。全书给出三十一个完整的计算机程序，包括了常用的数学程序，结构分析程序和钢筋混凝土构件的计算程序。

3. 为便于应用，每一个程序均独立成篇，包括功能说明，方法简介，程序使用说明及计算例题，然后附有程序全文。每一个程序均短小、实用，易于阅读和移植。

4. 本书所列程序主要在 IBM—PC/XT 微机（与国产长城0520机，紫金AT机兼容）上调试通过。

本书承陶全心副教授审阅，并提出了许多宝贵意见，在此表示深切的谢意。

限于作者水平，书中难免有不少不足之处，尚希读者惠予指正。

作　者

1987年12月于清华大学

# 目　录

编委的话

前言

**第一章　结构分析中常用的数学程序** ……………………… 1

§1—1　列主元高斯消去法求解线性代数方程组 ……………………… 2

§1—2　高斯—亚当消去法解线性方程组及求矩阵的逆 ……………………… 8

§1—3　对称正定方程组适用的改进平方根法 ………16

§1—4　高斯—赛德尔迭代法解线性代数方程组 ……………………… 23

§1—5　半带存储消去法 ……………………… 28

§1—6　一维压缩存储消去法 ……………………… 35

§1—7　幂法求矩阵最大特征值与特征向量 …………40

§1—8　求实对称矩阵全部特征值的雅可比法 ……………………… 44

§1—9　行列式搜索法求特征值 ……………………… 54

§1—10　全主元消去法求矩阵行列式的值…………61

§1—11　列主元消去法求矩阵的逆…………………67

§1—12　顺序消去法求对称正定矩阵的逆…………71

**第二章　结构静力分析程序** ……………………… 75

§2—1 单跨梁和连续梁内力计算 ……………………76
§2—2 平面桁架内力计算 ……………………………98
§2—3 空间桁架内力计算……………………………118
§2—4 平面刚架内力计算……………………………134
§2—5 空间刚架内力计算……………………………162
§2—6 井字梁结构内力计算…………………………194
§2—7 轴对称壳的应力分析…………………………215
§2—8 弹性力学平面问题有限元分析………………242
**第三章 结构动力与稳定分析程序** ……………………279
§3—1 运动微分方程和质量矩阵……………………279
§3—2 自由振动微分方程及频率方程………………281
§3—3 平面桁架的自由振动…………………………282
§3—4 连续梁的自由振动……………………………302
§3—5 空间桁架的自由振动…………………………320
§3—6 平面刚架的自由振动…………………………339
§3—7 压杆稳定计算…………………………………363
§3—8 多层框架地震荷载计算………………………378
**第四章 钢筋混凝土构件计算** …………………………393
§4—1 截面面积与惯性矩计算………………………393
§4—2 受弯构件抗弯配筋计算………………………400
§4—3 受弯构件抗剪配筋计算………………………412
§4—4 矩形截面受压构件配筋计算…………………420
§4—5 受弯构件刚度、裂缝验算……………………432

# 第一章　结构分析中常用的数学程序

在结构静力分析中，无论用结构矩阵分析方法或用有限元法解决问题，最后都归结为求解一组线性方程组。因此，线性联立方程组的求解是结构分析中的一项重要内容。本章介绍了六种常用的线性联立方程组的求解程序，并简要地说明了所用的方法。针对结构刚度矩阵有带状、对称和稀疏的特点，在本章中特地收入了方程组系数采用半带存储和压缩一维存储时的解法。这两个方法可节省存储量，并节约运算时间。

在结构动力和稳定问题的分析中，都会遇到求解矩阵的特征值问题。这里介绍了三个程序：迭代法或称幂法，雅可比法和行列式搜索法。第一种方法适用于求第一特征值及相应的特征向量；第二种方法可以求出对称矩阵的全部特征值和特征向量；第三种方法可求出所需要的前几个特征值。读者可根据需要进行选择。

此外，本章还介绍了一个求行列式值，两个矩阵求逆的计算机程序。有些微机的扩展 BASIC 语言有求逆的语句或内部函数，可直接调用。

# §1—1 列主元高斯消去法求解线性代数方程组

## 一、功能

本程序用列主元高斯消去法求下列线性代数 方 程 组 的解：

$$[A]\{X\}=\{B\} \qquad (1)$$

其中：〔A〕为n×n阶系数矩阵；

{X}为未知量向量，共 n个未知量；

{B}为方程右端的常数项列向量。

## 二、方法简介

列主元高斯消去法是在高斯消去法的基础上加以修改而得到的。高斯消去法属于解线性方程组中的直接法。这是一种比较古老的方法，但今天仍然是被广泛应用的方法之一。高斯消去法有两个过程：消元过程与回代过程。其主要步骤可归纳如下。

（1）第一次消元

用系数矩阵A中的第一行、第一列元素 $a_{11}$ 除式（1）中第一个方程的各系数项和常数项，即

$$a_{1j}^{(1)}=a_{1j}/a_{11} \quad (j=1,2,\cdots n) \qquad (2)$$

$$b_1^{(1)}=b_1/a_{11}$$

其中上标（1）表示经第一次消元以后的结果。然后将其余各方程（$n=2,3,\cdots n$）的第一个系数与第一个方程的系数、

常数项相乘，并取负号与该方程各相应项相加，即

$$a_{ij}^{(1)} = a_{ij} - a_{i1} \cdot a_{1j}^{(1)} \quad (i = 2, 3, \cdots n) \qquad (3)$$

$$b_i^{(1)} = b_i - a_{i1} \cdot b_1^{(1)} \quad (j = 1, 2, \cdots n)$$

这样就将方程组中第一列元素除$a_{11}$外均消成零了。

（2）第 $K+1$次消元

前面已经进行了$K$次消元，得到了与原方程组同解的方程组：

$$[A]^{(k)}\{X\} = \{B\}^{(k)} \qquad (4a)$$

展开以后可以写成：

$$\begin{pmatrix} 1 & a_{12}^{(1)} & a_{13}^{(1)} & \cdots\cdots & & a_{1n}^{(1)} \\ & 1 & a_{23}^{(2)} & \cdots\cdots & & a_{2n}^{(2)} \\ & & 1 & & & \vdots \\ & & & \ddots & & \vdots \\ & & & & & \vdots \\ & & & 1 & & \vdots \\ & & & a_{KK}^{(K)} & & \cdots a_{Kn}^{(K)} \\ & 0 & & a_{K+1,K}^{(K)} & & \cdots a_{K+1,n}^{(K)} \\ & & & \vdots & & \vdots \\ & & & a_{nK}^{(K)} & & a_{nn}^{(K)} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} x_1 \\ x_2 \\ \vdots \\ \vdots \\ \vdots \\ \vdots \\ x_K \\ x_{K+1} \\ \vdots \\ x_n \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} b_1^{(1)} \\ b_2^{(2)} \\ \vdots \\ \vdots \\ \vdots \\ \vdots \\ b_K^{(K)} \\ b_{K+1}^{(K)} \\ \vdots \\ b_n^{(K)} \end{pmatrix} \qquad (4b)$$

$K+1$ 次消元可从第$K$行开始，按下列公式进行（设$a_{KK}^{(k)} \neq 0$）：

$$m_{ik} = a_{ik}^{(k)} / a_{KK}^{(k)} \quad (i = k+1, k+2, \cdots n) \qquad (5)$$

$$b_K^{(k+1)} = b_K^{(k)} / a_{KK}^{(k)}$$

$$a_{ij}^{(K+1)}=a_{ij}^{(K)}-m_{iK}\cdot a_{Kj}^{(K)}\quad\left(\begin{array}{l}i=K+1,\ K+2,\ \cdots n\\ j=K+1,\ K+2,\ \cdots n\end{array}\right)$$
$$b_i^{(K+1)}=b_i^{(K)}-m_{iK}\cdot b_K^{(K)}$$

按上述步骤，进行到 $K=n$,则矩阵 $A^{(n)}$ 便化为对角元为1的上三角矩阵，其下三角元素均已消为零。

（3）回代过程

为求方程的解，可以按下列公式进行回代：

$$x_n=b_n^{(n)}$$

$$x_i=b_i^{(i)}-\sum_{j=i+1}^{n}a_{ij}^{(i)}\cdot x_j\quad(i=n-1,n-2,\cdots 2,1)\qquad(6)$$

读者可能已经注意到了，在上述（1）、（2）步消元过程中，要用 $a_{KK}^{(K)}$ 去除方程中的系数和常数项。显然，若 $a_{KK}^{(K)}=0$，则计算无法继续进行；有时 $a_{KK}^{(K)}$ 虽不为零，但绝对值很小，则用它作除数也会带来很大的误差，为避免这种情况，实用上常采用主元消去法。

主元消去法，一般有二种，一种是全主元消去法，一种是列主元消去法。全主元消去法在消元之前，先在矩阵 $A^{(K)}$ 的元素中选取绝对值最大的元素作为主元，然后作行与列的交换，再进行消元计算。这一方法精度较高，但比较费时间。另一种是列主元消去法，该法只在矩阵 $A^{(K)}$ 中的 $K$ 列中选取绝对值最大的元素作主元，然后只须作与行的交换，就可进行消元计算。列主元消去法程序简单，计算时间省，一般精度也已足够。因而在结构计算中应用很广。

列主元消去法，在上述步骤（2）之前，先进行选主元：

$$|a_{rK}| = \max_{K<i<n} |a_{iK}^{(K)}| \qquad (7)$$

若 $a_{r,K}=0$，则方程奇异，无解；

若$a_{r,K}\neq0$，且$r=K$，则直接进行消元计算；

若$a_{r,K}\neq0$，且$r\neq K$，则要先进行与行的交换，即

$$a_{Kj}\longleftrightarrow a_{rj} \quad (j=K,K+1\cdots n)$$

$$b_K\longleftrightarrow b_r \qquad (8)$$

然后进行消元计算。

因为行交换相当于变换方程的先后次序，这对求解的回代过程没有影响。因之，其回代过程与前相同。

三、使用说明

$N$　整型变量，方程组的个数

$A$　$N\times(N+1)$阶矩阵，前$N$列存放方程组系数，$N+1$列存放方程组右端常数项

$X$　输出的解向量

四、计算例题

求解：

$$\begin{aligned} 3x_1+6x_2 \qquad &=1 \\ -3x_1+4x_2-2x_3&=0 \\ x_1+2x_2+3x_3&=4 \end{aligned}$$

输入数据为：

```
DATA 3
DATA 3,6,0,1
DATA -3,4,-2,0
```

输出结果为：

COEFFICIENT MATRIX AND CONSTANT

```
  3  6  0  =  1
 -3  4 -2  =  0
  1  2  3  =  4
```

THE SOLUTIONS IS:

$X_1 = -.3555556$

$X_2 = \ .3444445$

$X_3 = \ 1.222222$

## 五、程序清单

```
50 READ N
60 M=N+1
70 DIM A(N,M)
75 PRINT "COEFFICIENT MATRIX AND CONSTANT"
80 FOR I=1 TO N
90 FOR J=1 TO M
100 READ A(I,J)
105 IF J=M THEN 120
110 PRINT A(I,J);
120 NEXT J
130 PRINT "=";A(I,M)
140 NEXT I
150 PRINT
170 FOR J=1 TO N
175 P=0.01
180 FOR K=J TO N
185 IF ABS(A(K,J))<=P THEN 200
190 P=ABS(A(K,J))
195 I1=K
```

```
200 NEXT K
205 IF P> =1E-10 THEN 230
210 PRINT "NO UNIQUE SOLUTION"
220 GOTO 500
230 IF I1 =J THEN 280
235 FOR K =J TO M
240 X =A(J,K)
250 A(J,K) =A(I1,K)
260 A(I1,K) =X
270 NEXT K
280 Y =1.0/A(J,J)
290 FOR K =J TO M
300 A(J,K) =Y * A(J,K)
310 NEXT K
320 FOR I =1 TO N
330 IF I =J THEN 380
340 Y = -A(I,J)
350 FOR K =J TO M
360 A(I,K) =A(I,K) +Y * A(J,K)
370 NEXT K
380 NEXT I
390 NEXT J
400 PRINT "THE SOLUTIONS IS :"
410 FOR I =1 TO N
420 PRINT "X"; I; "="; A(I,M)
430 NEXT I
500 END
```