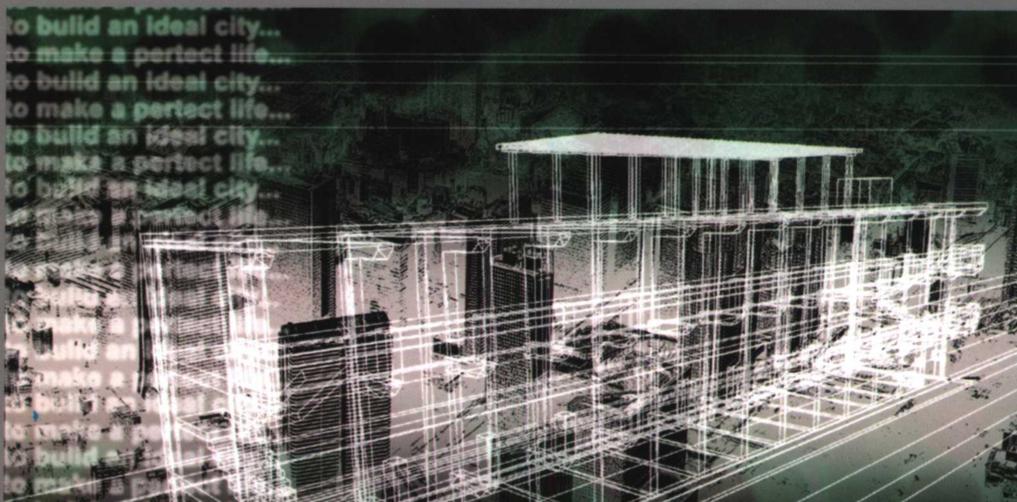
DIANSUAN ZAI TUMU GONGCHENGZHONG DE YINGYONG

电算在土木工程中的应用

● 主编　贾艳敏　林乐江
主审　李子玉



东北林業大學 出版社

电算在土木工程中的应用

主编　贾艳敏　林乐江
主审　李子玉

东北林业大学出版社

图书在版编目（CIP）数据

电算在土木工程中的应用/贾艳敏，林乐江主编．—哈尔滨：东北林业大学出版社，2006.1

ISBN 7-81076-834-4

Ⅰ．电…　Ⅱ．①贾…②林…　Ⅲ．计算机应用—土木工程　Ⅳ．TU-39

中国版本图书馆 CIP 数据核字（2006）第 005135 号

责任编辑：李学忠

封面设计：彭　宇

NEFUP

电算在土木工程中的应用

Diansuan Zai Tumu Gongchengzhong De Yingyong

主编　贾艳敏　林乐江

主审　李子玉

东北林业大学出版社出版发行

（哈尔滨市和兴路26号）

东北林业大学印刷厂印装

开本960×787　1/16　印张12.5　字数224千字

2006年1月第1版　2006年1月第1次印刷

印数1—1 000册

ISBN 7-81076-834-4

TU·32　定价：22.00元

前　言

计算机在土木工程中的应用迅速发展，结构设计、内力分析、设计绘图、管理等都离不开计算机，运用计算机的能力已经成为学生们应聘工作时所必需的。

VB简单易学，功能齐全，界面友好。为了便于阅读和修改，源程序均采用VB编写。在内容安排上，采用数学、力学公式直接使用的办法，模块的划分力求与理论公式和计算步骤相对应，同时兼顾了程序的简洁、高效和程序的通用性。在编程技巧和提高程序质量方面，采用由浅入深、逐步提高的方法。

全书共九章。第一章数值分析，为程序设计打下基础；第二章、第三章、第四章钢筋混凝土构件计算，基本上包括了常见结构受力分析、截面设计、承载力复核、挠度验算、裂缝验算；第五章预应力受弯构件计算，包括截面几何特性计算、应力损失计算、强度验算；第六章、第七章、第八章桥梁博士应用，包括桥梁博士程序使用方法和实例；第九章 MIDAS/Civil 程序应用，包括 MIDAS/Civil 程序使用方法和实例。

第一章考虑到满足教学需要而补充一点儿基础知识，第二章至第五章是程序设计，每章均有原理说明、方法简介、编程方法，并提供独立运行的程序，给出计算例题。后四章为大型程序应用。

本书由贾艳敏、林乐江主编，参加编写工作的还有丁印成、郭红雨、郭小江、刘秀。由李子玉担任主审。由于水平有限，书中难免有不足和欠妥之处，恳请广大读者批评指正。

编　者

2006年1月17日

目　录

1 数值分析

很多工程的实际问题常归纳为力学模型，到最后成为一个求解线性方程组的问题。尤其是采用有限元分析工程结构，最终就是求线性方程组的解。本章主要介绍线性方程组求解、线性回归分析。

1.1 高斯消去法求解线性方程组

1.1.1 计算原理

高斯消去法是将矩阵［A］化为上三角矩阵，主对角元素均为1，使线性方程变为如下形式：

$$\begin{bmatrix} 1 & a_{12} & a_{13} & \cdots & a_{1n} \\ & 1 & a_{23} & \cdots & a_{2n} \\ & & & \ddots & \\ & & & & 1 \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} x_1 \\ x_2 \\ \vdots \\ x_n \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} b_1 \\ b_2 \\ \vdots \\ b_n \end{Bmatrix}$$

这样，经回代后便可解出 x_n、x_{n-1}，…，x_2、x_1。先从下例来考察高斯消去法的过程。

$$\begin{bmatrix} -1 & -3 & -3 \\ 2 & 2 & 3 \\ -3 & 1 & 4 \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} x_1 \\ x_2 \\ x_3 \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} -4 \\ 2 \\ -8 \end{Bmatrix}$$

（1）用 -1 去除第一行各元素，使第一行主对角元素为1，得

$$\begin{bmatrix} 1 & 3 & 3 \\ 2 & 2 & 3 \\ -3 & 1 & 4 \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} x_1 \\ x_2 \\ x_3 \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} 4 \\ 2 \\ -8 \end{Bmatrix}$$

（2）第二、三行各个元素分别减去第一行乘以2和 -3 的相应元素，得

$$\begin{bmatrix} 1 & 3 & 3 \\ 0 & -4 & -3 \\ 0 & 10 & 13 \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} x_1 \\ x_2 \\ x_3 \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} 4 \\ -6 \\ 4 \end{Bmatrix}$$

（3）仿照第一例消元过程，以 -4 除第二行使第二行主对角元素为1，

得

$$\begin{bmatrix} 1 & 3 & 3 \\ 0 & 1 & \dfrac{3}{4} \\ 0 & 10 & 13 \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} x_1 \\ x_2 \\ x_3 \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} 4 \\ \dfrac{3}{2} \\ 4 \end{Bmatrix}$$

（4）第三行各元素减去第二行乘以 10 的相应元素，得

$$\begin{bmatrix} 1 & 3 & 3 \\ 0 & 1 & \dfrac{3}{4} \\ 0 & 0 & \dfrac{11}{2} \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} x_1 \\ x_2 \\ x_3 \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} 4 \\ \dfrac{3}{2} \\ -11 \end{Bmatrix}$$

（5）将第三行各元素乘以 2/11，使第三列的主对角元素为 1，得

$$\begin{bmatrix} 1 & 3 & 3 \\ 0 & 1 & \dfrac{3}{4} \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} x_1 \\ x_2 \\ x_3 \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} 4 \\ \dfrac{3}{2} \\ -2 \end{Bmatrix}$$

至此，系数矩阵完成了上三角化的过程，未知数 x_1、x_2、x_3 可由下面的回代过程解得

$$x_3 = -2$$

将 x_3 的值代入第二行解得

$$x_2 = \frac{3}{2} - \frac{3}{4} \times (-2) = 3$$

最后将 x_2、x_3 代入第一行，解得：

$$x_1 = 4 - 3 \times (-2) - 3 \times 3 = 1$$

1.1.2　计算公式

将以上消元及回代的步骤归纳为解 n 阶线性方程组的一般计算公式，对第 k 行消元时，为使第 k 行主对角元为 1，得

$$\left.\begin{aligned} a_{kj} &= a_{kj} \big/ a_{kk} \quad k = 1,2,\cdots,n \\ b_k &= b_k \big/ a_{kk} \quad j = k,k+1,\cdots,n \end{aligned}\right\} \tag{1-1}$$

对第 k 列完成消元，于是得

$$\left.\begin{aligned} & a_{ij} = a_{ij} - a_{kj} \times a_{ik}, k = 1,2,\cdots,n-1 \\ & b_i = b_i - a_{ik} \times b_k, i = k+1,k+2,\cdots,n, j = k+1,k+2,\cdots,n \end{aligned}\right\} \tag{1-2}$$

回代求解未知数的公式是

$$x_n = b_n \tag{1-3}$$

$$x_i = b_i - \sum_{j=i+1}^{n} a_{ij} \times x_j, i = n-1, n-2, \cdots 1 \tag{1-4}$$

1.1.3 标识符号说明

n——Integer 型变量，线性方程组的阶数

dblA——Double 型，$n \times n$ 二维数组，线性方程组的系数矩阵

dblB——Double 型，长度为 n 的一维数组，线性方程组的常数向量，返回方程组的解向量

返回值：Boolean 型，求解成功为 True，无解或求解失败为 False

1.1.4 源程序

```
Public Function LEGauss(n As Integer, dblA() As Double, dblB() As Double)
As Boolean
    '局部变量
    Dim i As Integer, j As Integer, k As Integer
    Dim nIs As Integer
    ReDim nJs(n) As Integer
    Dim d As Double, t As Double

    '开始求解
    For k = 1 To n - 1
        d = 0#

        '归一
        For i = k To n
            For j = k To n
                t = Abs(dblA(i, j))
                If t > d Then
                    d = t
                    nJs(k) = j
                    nIs = i
                End If
```

```
        Next j
    Next i

    '无解,返回
    If d + 1# = 1# Then
        LEGauss = False
        Exit Function
    End If

    '消元
    If nJs(k) <> k Then
        For i = 1 To n
            t = dblA(i, k)
            dblA(i, k) = dblA(i, nJs(k))
            dblA(i, nJs(k)) = t
        Next i
    End If

    If nIs <> k Then
        For j = k To n
            t = dblA(k, j)
            dblA(k, j) = dblA(nIs, j)
            dblA(nIs, j) = t
        Next j
        t = dblB(k)
        dblB(k) = dblB(nIs)
        dblB(nIs) = t
    End If

    d = dblA(k, k)
    For j = k + 1 To n
        dblA(k, j) = dblA(k, j)/d
    Next j
```

```
    dblB(k) = dblB(k)/d
    For i = k + 1 To n
        For j = k + 1 To n
            dblA(i, j) = dblA(i, j) - dblA(i, k) * dblA(k, j)
        Next j
        dblB(i) = dblB(i) - dblA(i, k) * dblB(k)
    Next i
Next k

d = dblA(n, n)

'无解,返回
If Abs(d) + 1# = 1# Then
    LEGauss = False
    Exit Function
End If

'回代
dblB(n) = dblB(n)/d
For i = n - 1 To 1 Step -1
        t = 0#
        For j = i + 1 To n
            t = t + dblA(i, j) * dblB(j)
        Next j
        dblB(i) = dblB(i) - t
    Next i

'调整解的次序
nJs(n) = n
For k = n To 1 Step -1
    If nJs(k) <> k Then
        t = dblB(k)
        dblB(k) = dblB(nJs(k))
        dblB(nJs(k)) = t
```

```
        End If
    Next k

    '求解成功
    LEGauss = True

End Function
```

1.1.5 例 题

求解：

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

解：输入数据为：

```
440  DATA  3
445  DATA  3, 6, 0, 1
450  DATA  -3, 4, -2, 0
455  DATA  1, 2, 3, 4
```

输出结果为

```
COEFFICIENT MATRIX AND CONSTANT
  3  6   0  =  1
 -3  4  -2  =  0
  1  2   3  =  4
THE SOLUTIONS IS:
X1 = -.3555556
X2 =  .3444445
X3 =  1.222222
```

1.2 高斯—亚当消去法求解线性方程组

1.2.1 计算原理简介

高斯—亚当消去法是把矩阵［A］约为一个单位矩阵，即

$$\begin{bmatrix} 1 & & & 0 \\ & 1 & & \\ & & \ddots & \\ 0 & & & 1 \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} x_1 \\ x_2 \\ \vdots \\ x_n \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} b'_1 \\ b'_2 \\ \vdots \\ b'_n \end{Bmatrix}$$

经过化约后的右端项列阵 $\{B\}$ 就是方程的解。例如求三阶线性方程的解。

$$\begin{bmatrix} -1 & -3 & -3 \\ 2 & 2 & 3 \\ -3 & 1 & 4 \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} x_1 \\ x_2 \\ x_3 \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} -4 \\ 2 \\ -8 \end{Bmatrix}$$

用高斯—亚当法求解的步骤是

(1) 从系数矩阵 $[A]$ 的第一列里找出绝对值最大的元素，把它所在的行与第一行对调，于是线性方程组成为：

$$\begin{bmatrix} -3 & 1 & 4 \\ 2 & 2 & 3 \\ -1 & -3 & -3 \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} x_1 \\ x_2 \\ x_3 \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} -8 \\ 2 \\ -4 \end{Bmatrix}$$

把第一行主元素化约成 1，得

$$\begin{bmatrix} 1 & -\frac{1}{3} & -\frac{4}{3} \\ 2 & 2 & 3 \\ -1 & -3 & -3 \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} x_1 \\ x_2 \\ x_3 \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} \frac{8}{3} \\ 2 \\ -4 \end{Bmatrix}$$

(2) 第二行各元素减去乘以 2 的第一行相应元素，第三行各元素减去乘以 -1 的第一行相应元素，完成第一列消元，得

$$\begin{bmatrix} 1 & -\frac{1}{3} & -\frac{4}{3} \\ 0 & \frac{8}{3} & \frac{17}{3} \\ 0 & -\frac{10}{3} & -\frac{13}{3} \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} x_1 \\ x_2 \\ x_3 \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} \frac{8}{3} \\ -\frac{10}{3} \\ -\frac{4}{3} \end{Bmatrix}$$

(3) 进行第二列消元之前，仍需要寻找最大主元，把第二行和第三行对调，得

$$\begin{bmatrix} 1 & -\frac{1}{3} & -\frac{4}{3} \\ 0 & -\frac{10}{3} & -\frac{13}{3} \\ 0 & \frac{8}{3} & \frac{17}{3} \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} x_1 \\ x_2 \\ x_3 \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} \frac{8}{3} \\ -\frac{4}{3} \\ -\frac{10}{3} \end{Bmatrix}$$

(4) 把第二行主元素化约成 1，得

$$\begin{bmatrix} 1 & -\frac{1}{3} & -\frac{4}{3} \\ 0 & 1 & \frac{13}{10} \\ 0 & \frac{8}{3} & \frac{17}{3} \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} x_1 \\ x_2 \\ x_3 \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} \frac{8}{3} \\ \frac{4}{10} \\ -\frac{10}{3} \end{Bmatrix}$$

(5) 第一行各元素减去乘了（-1/3）的第二行相应元素，第三行元素减去乘了 8/3 的第二行相应元素，完成第二列消元，得：

$$\begin{bmatrix} 1 & 0 & -\frac{9}{10} \\ 0 & 1 & \frac{13}{10} \\ 0 & 0 & \frac{22}{10} \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} x_1 \\ x_2 \\ x_3 \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} \frac{28}{10} \\ \frac{4}{10} \\ \frac{44}{10} \end{Bmatrix}$$

相似地完成第三列的消元，得

$$\begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} x_1 \\ x_2 \\ x_3 \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} 1 \\ 3 \\ -2 \end{Bmatrix}$$

于是方程的解为：$x_1 = 1$，$x_2 = 3$，$x_3 = -2$。

1.2.2 计算公式

由以上例题可知：高斯—亚当消去法的目的是要把矩阵［A］化为单位矩阵［I］，右端项列阵也跟着一起化约，最后的列阵就是方程的解。在矩阵［A］化约为单位矩阵［I］的过程中，如果有 m 个右端项时，它可以放在一起进行化约，即可以同时解如下的方程组：

$$\begin{cases} a_{11}x_1 + a_{12}x_2 + \cdots + a_{1n}x_n = b_{11},\ b_{12},\ \cdots,\ b_{1m} \\ a_{21}x_1 + a_{22}x_2 + \cdots + a_{2n}x_n = b_{21},\ b_{22},\ \cdots,\ b_{2m} \\ \qquad\qquad\qquad\qquad\qquad\qquad\qquad\qquad\vdots \\ a_{n1}x_1 + a_{n2}x_2 + \cdots + a_{nn}x_n = b_{n1},\ b_{n2},\ \cdots,\ b_{nm} \end{cases} \tag{1-5}$$

下面介绍一下高斯—亚当消去程序解算增广矩阵的方法。把矩阵［A］和多组右端项的矩阵［B］放在一起，组成了增广矩阵，它具有如下形式：

$$\begin{bmatrix} a_{11}\,a_{12} & \cdots & a_{1n}b_{11}\,b_{12} & \cdots & b_{1m} \\ a_{21}\,a_{22} & \cdots & a_{2n}b_{21}\,b_{22} & \cdots & b_{2m} \\ \vdots & & & & \vdots \\ a_{n1}\,a_{n2} & \cdots & a_{nn}b_{n1}\,b_{n2} & \cdots & b_{nm} \end{bmatrix} \tag{1-6}$$

增广矩阵有 n 行、$n+m$ 列，前 n 列存放系数矩阵，后 m 列是方程的 m 个右端项。经过高斯—亚当法的消元计算，前 n 列变为单位矩阵，后 m 列用来存放方程的 m 组解。

1.2.3 标识符号说明

n——Integer 型变量，线性方程组的阶数

m——Integer 型变量，线性方程组的个数，即右端常数矩阵列向量的个数

dblA——Double 型 $n \times n$ 二维数组，线性方程组的系数矩阵

dblB——Double 型 $n \times m$ 二维数组，线性方程组的常数矩阵，返回方程组的解矩阵

返回值：Boolean 型，求解成功为 True，无解或求解失败为 False

1.2.4 源程序

```
Public Function LEGaussJordan(n As Integer, m As Integer, dblA() As Double,
dblB() As Double) As Boolean
' 局部变量
Dim i As Integer, j As Integer, k As Integer
Dim nIs As Integer
ReDim nJs (n) As Integer
Dim d As Double, q As Double

' 开始求解
For k = 1 To n
    q = 0#

    ' 归一
    For i = k To n
        For j = k To n
            If Abs (dblA (i, j)) > q Then
```