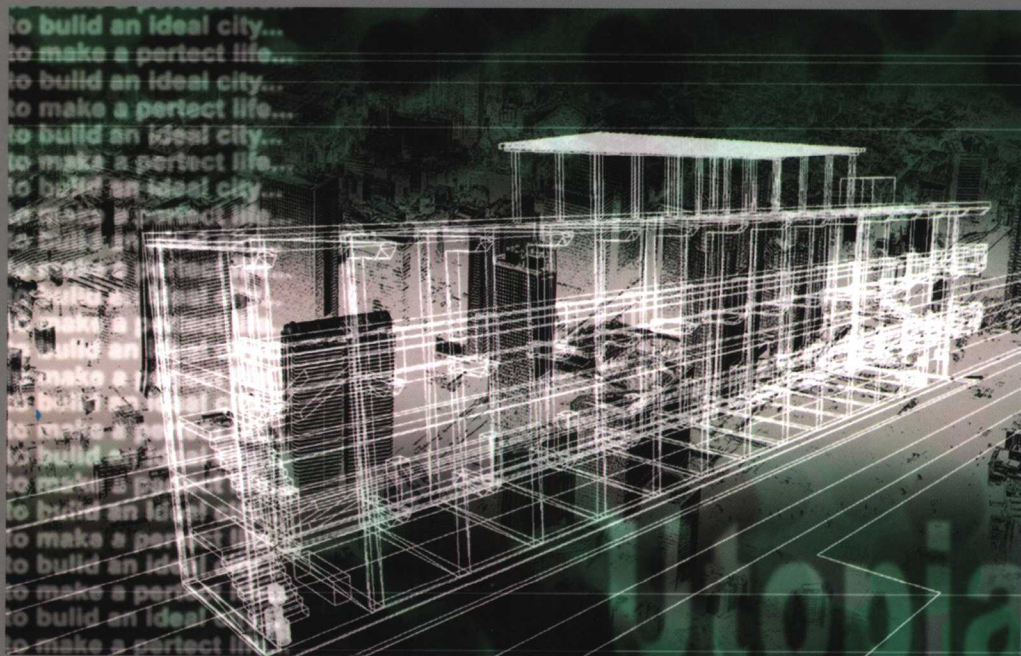




DIANSUAN ZAI TUMU GONGCHENGZHONG DE YINGYONG

电算在土木工程中的应用

● 主编 贾艳敏 林乐江
主审 李子玉



东北林业大学出版社

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	(1)
1.1 高斯消去法求解线性方程组	(1)
1.1.1 计算原理	(1)
1.1.2 计算公式	(2)
1.1.3 标识符号说明	(3)
1.1.4 源程序	(3)
1.1.5 例 题	(6)
1.2 高斯—亚当消去法求解线性方程组	(6)
1.2.1 计算原理简介	(6)
1.2.2 计算公式	(8)
1.2.3 标识符号说明	(9)
1.2.4 源程序	(9)
1.2.5 例 题	(12)
1.3 线性回归分析	(13)
1.3.1 计算方法	(13)
1.3.2 计算步骤	(15)
1.3.3 源程序	(16)
1.3.4 例 题	(17)
2 钢筋混凝土受弯构件截面承载力计算	(19)
2.1 受弯构件正截面承载力计算	(19)
2.1.1 单筋矩形截面受弯构件	(20)
2.1.2 双筋矩形梁正截面承载力计算	(28)
2.1.3 T形截面承载力计算	(33)
2.2 受弯构件斜截面承载力计算	(50)
2.2.1 基本理论	(50)
2.2.2 计算公式	(51)
2.2.3 计算公式的适用条件	(53)
2.2.4 源程序	(54)
2.2.5 例 题	(63)

3 受弯构件变形、抗裂性验算	(66)
3.1 受弯构件变形验算	(66)
3.1.1 基本理论	(66)
3.1.2 计算公式	(67)
3.1.3 源程序	(69)
3.1.4 例 题	(72)
3.2 受弯构件的抗裂性验算	(73)
3.2.1 基本理论	(73)
3.2.2 计算公式	(73)
3.2.3 源程序	(74)
3.2.4 例 题	(77)
4 轴心受压构件承载能力计算	(78)
4.1 基本理论	(78)
4.2 计算公式	(78)
4.2.1 截面设计	(78)
4.2.2 承载力复核	(78)
4.3 源程序	(79)
4.3.1 标识符号说明	(79)
4.3.2 程序源代码	(79)
4.4 例 题	(82)
5 预应力混凝土受弯构件计算	(83)
5.1 截面几何性质计算	(83)
5.1.1 基本理论	(83)
5.1.2 各个子模块的具体实现	(84)
5.1.3 源程序	(85)
5.2 配筋估算	(103)
5.2.1 基本理论	(103)
5.2.2 计算公式	(104)
5.2.3 源程序	(106)
5.3 预应力损失及有效预应力计算	(108)
5.3.1 基本理论	(108)
5.3.2 计算公式	(110)
5.3.3 源程序	(114)
5.4 截面承载能力计算	(119)

5.4.1	基本理论	(119)
5.4.2	计算公式	(119)
5.4.3	源程序	(121)
5.5	局部承压计算	(128)
5.5.1	基本理论	(128)
5.5.2	源程序	(130)
6	桥梁博士的应用	(141)
6.1	系统的基本功能	(141)
6.1.1	直线桥梁	(141)
6.1.2	斜、弯和异型桥梁	(141)
6.1.3	基础计算	(141)
6.1.4	截面计算	(142)
6.1.5	横向分布系数计算	(142)
6.2	项目组操作	(142)
6.2.1	建项目组	(142)
6.2.2	打开项目组	(142)
6.3	项目的操作	(144)
6.3.1	项 目	(144)
6.3.2	项目的操作实例	(144)
6.4	直线桥设计计算的输入说明	(145)
6.4.1	直线桥原始数据约定	(146)
6.4.2	数据准备	(146)
6.4.3	输入总体信息	(147)
6.4.4	输入单元信息	(148)
6.4.5	单元的基本信息	(149)
6.4.6	快速编辑器	(150)
6.5	输入钢束信息	(151)
6.5.1	钢束编号原则	(151)
6.5.2	钢束信息	(151)
6.6	输入施工信息	(152)
6.7	输入使用阶段信息	(159)
7	桥梁博士与 Auto CAD 的交互	(162)
7.1	从 Auto CAD 导入截面	(162)
7.1.1	输 入	(162)

4 电算在土木工程中的应用

7.1.2 运 用	(163)
7.2 向 Auto CAD 输出截面	(164)
7.2.1 输 出	(165)
7.2.2 运 用	(165)
8 直线桥梁设计计算的输出说明	(166)
8.1 原始数据输出	(167)
8.2 总体信息输出	(167)
8.3 钢束信息输出	(168)
8.4 施工阶段信息输出	(169)
8.5 使用阶段信息输出	(171)
9 MIDAS/Civil 的应用	(172)
9.1 概 述	(172)
9.2 建立模型	(173)
9.2.1 设定操作环境	(173)
9.2.2 定义材料	(174)
9.2.3 定义截面	(176)
9.2.4 输入节点和单元	(176)
9.2.5 输入边界条件	(180)
9.2.6 输入荷载	(181)
9.3 运行结构分析	(182)
9.3.1 查看反力	(182)
9.3.2 查看变形和位移	(183)
9.3.3 查看内力	(184)
9.3.4 查看悬臂梁中点作用集中荷载的弯矩	(185)
9.3.5 查看弯矩后查看剪力	(185)
9.3.6 查看应力	(186)
9.4 梁单元细部分析	(187)
9.4.1 表格查看结果	(187)
9.4.2 指定分析结果表格形式	(190)
参考文献	(192)

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 $x_n, x_{n-1}, \dots, x_2, x_1$ 。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

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

(4) 第三行各元素减去第二行乘以 10 的相应元素, 得

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

(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

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

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

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

对第 k 列完成消元, 于是得

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

回代求解未知数的公式是

$$x_n = b_n \quad (1-3)$$

$$x_i = b_i - \sum_{j=i+1}^n a_{ij} \times x_j, i = n-1, n-2, \dots, 1 \quad (1-4)$$

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

```

```

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:

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

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:

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

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
```