

# 多重指针动态数据结构 在结构抗震分析中应用

韦鹏生 王全凤

(土木工程系)

**摘要** 以 Turbo Pascal 为语言工具,利用多重指针动态数据结构技术,实现实方阵的动态建立及动态运算 TPU,应用于高层建筑结构抗震分析中,能大幅度节省计算机内存并提高程序的运行效率.

**关键词** 结构抗震分析,矩阵运算,指针,动态数据结构,Turbo Pascal

## 0 引言

在高层建筑结构抗震分析中,遇到规模巨大的矩阵运算是习以为常的,因为求解高层结构抗震分析的数学模型,往往归结为对一个或多个线性方程组的求解.在对数学模型进行计算机分析时,以往的做法是在主程序中定义若干个具有足够规模的数组,然后在数组的阶数范围内,解决给定的问题.这种做法的弊端是很明显的.假如一个程序求解方阵的裕度定为  $n$  阶,那么程度运行伊始,计算机将划分出  $n^2$  个 real 或 double 类型数据的存储单位.设  $n=100$  (对于有限元计算,这个数目不算夸张),而一个具体问题只需要 20 阶,即 400 个 real 或 double 类型数据的存储单位,那么计算机内存资源的浪费率最高达 96% 之多.总之,具体问题所需阶数愈少,内存浪费率愈高(以平方增高).为了解决这个问题,本文以 Turbo Pascal V4.0 为工具,实现矩阵的动态建立和制成动态运算模块(实际为 Turbo Pascal Unit,简称 TPU),并在实际问题中应用.

## 1 高层建筑结构地震作用的计算原理<sup>[1]</sup>

高层建筑结构地震作用,一般可以按照图1的简图计算.其中每一楼层简化为一个质点,假

• 本文1992-09-23收到.

设有  $n$  个质点, 则  $n$  个质点体系自由振动位移方程为

$$\{X\} + [\delta][m]\{\ddot{X}\} = \{0\}, \quad (1)$$

其中,  $\{X\}$  为位移列向量,  $\{\ddot{X}\}$  为加速度列向量,  $[m]$  为质点的质量矩阵,  $[\delta]$  为柔度矩阵. 将  $\{X\} = \{A\} \sin(\omega t + \phi)$  代入式(1)得

$$([\delta][m] - \frac{1}{\omega^2}[I])\{X\} = \{0\} \quad (2)$$

其中  $\{A\}$  为振幅向量,  $\omega$  为振动频率,  $[I]$  为单位矩阵,  $\phi$  为相位差.

令  $[a] = [\delta][m]$ ,  $\lambda = \frac{1}{\omega^2}$ , 则式(2)变为

$$([a] - \lambda[I])\{X\} = \{0\}. \quad (3)$$

式(3)是一个齐次线性方程组, 它有非零解的充分必要条件是行列式

$$|[a] - \lambda[I]| = 0. \quad (4)$$

式(4)是矩阵  $[a]$  的特征方程. 求得特征根  $\lambda_i (i=1, 2, \dots, n)$  后, 相应的频率和周期可按式求得

$$\omega_i = \sqrt{1/\lambda_i}, \quad (5)$$

$$T_i = 2\pi/\omega_i, \quad (i=1, 2, \dots, n). \quad (6)$$

与  $\lambda_i$  相对应的特征向量  $\{X\}_i$ , 是第  $i$  个频率所对应的振型. 然后, 按照如下公式计算地震作用<sup>[2]</sup>

$$P_{ij} = \alpha_j \gamma_j X_{ij} W_i, \quad (7)$$

其中,  $P_{ij}$  为第  $j$  振型作用于第  $i$  质点的水平地震作用,  $\gamma_j$  为第  $j$  振型参与系数,  $X_{ij}$  为结构第  $j$  振型第  $i$  质点的相对水平位移,  $\alpha_j$  为相应于第  $j$  振型的地震影响系数,  $W_i$  为第  $i$  质点的重量. 于是各振型的各楼层地震剪力可按式求出

$$S_{ij} = \sum_{k=1}^n P_{kj} (i, j=1, 2, \dots, n), \quad (8)$$

组合的各楼层地震剪力则由下式求出

$$Q_i = \sqrt{\sum_{j=1}^n S_{ij}^2} \quad (i=1, 2, \dots, n). \quad (9)$$

## 2 多重指针动态数据结构设计及其 Pascal 程序实现<sup>[3]</sup>

### 2.1 多重指针动态数据结构设计

本文所建立的动态数据结构的结点可用如图2表示. 图中的 data 为方阵  $[a]_{n \times n}$  的一个元素. 设以上结点为第  $i$  行第  $j$  列结点, 简称为  $(i, j)$  结点, 则 right 指针指向结点  $(i, j+1)$ . 如果  $j+1=n$ , 则结点  $(i, j+1)$  的 right 指针为 nil. down 指针指向结点  $(i+1, j)$ , 如果  $i+1=n$ , 则结点  $(i+1, j)$  的 down 指针为 nil. 显然, 结点  $(n, n)$  的 right 指针和 down 指针均为 nil.

由以上结点建立的多重指针动态数据结构, 可用图3表示. 图中, head 为矩阵名, 及始终指向结点  $(1, 1)$  的指针,  $a_{ij} (i, j=1, 2, \dots, n)$  为方阵  $[a]$  的第  $i$  行第  $j$  列元素.



图1 振动体系

2.2 多重指针动态数据结构的遍历

多重指针动态数据结构的建立. 首先,使用 right 指针建立如图4所示的单链表. 然后,使用 down 指针把列内结点串接起来,形成如图5所示的网状链表. 最后将第  $n$  列所有结点的 right 指针以及第  $n$  行所有结点的 down 指针置为 nil,于是便建立形如图3的动态数据结构.

多重指针动态数据结构中  $a_{ij}$  的阅读和修改. 动态数据结构中  $a_{ij}$  的阅读和修改,本文是通过设置机动指针 free 来实现的,由 free 从 head 位置滑向  $a_{ij}$ , 即

```
free:=head;  
for k:=1 to i-1 do  
    free:=free↑.right;  
for k:=1 to j-1 do  
    free:=free↑.down;
```

于是阅读  $a_{ij}$ ,即  $x:=free↑.data$ ; 修改  $a_{ij}$ ,即  $free↑.data:=y$ . 其中, $x$  为与 data 子域变量具有同类型的变量, $y$  为一数值,或一带数值的变量,其数据类型同  $x$ .

2.3 多重指针动态数据结构的程序实现

本文动态数据结构数据类型设计为

```
TYPE MATRIX_TYPE=↑MATRIX_NODE;  
MATRIX_NODE=RECORD  
data: double;  
right,  
down;  
MATRIX_TYPE  
END;  
INDEX=1..500;
```

在 D\_MATRIX.TPU 中,包含三个

模块. (1)建立矩阵模块: *Procedure MAKE\_MATRIX*( $n$ :INDEX;Var M:MATRIX\_TYPE);此模块负责向内存申请  $n$  阶方阵  $M$  所需的内存空间. (2)矩阵赋值模块: *Procedure SET\_DATA*(VAR M:MATRIX\_TYPE; $i,j$ :INDEX; $X$ :double);此模块负责在动态数据结构中给矩阵  $M$  的  $(i,j)$  位置赋以  $X$ . (3)矩阵阅读模块: *Function GET\_DATA*(M:MATRIX\_TYPE; $i,j$ :INDEX);此模块负责提取矩阵  $M$  的  $(i,j)$  位置的数值 data.

于是在主程序中可用 USES D\_MATRIX 来连接以上三个基本模块,以进行矩阵动态

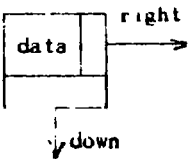


图2 动态数据结构结点

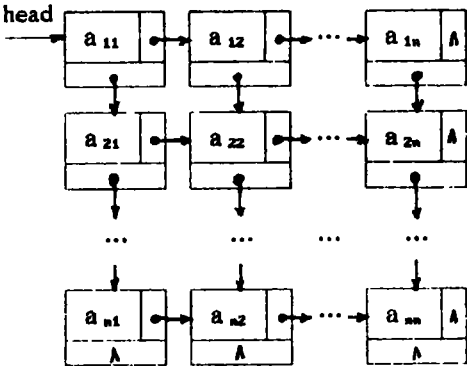


图3 动态数据结构最终形式

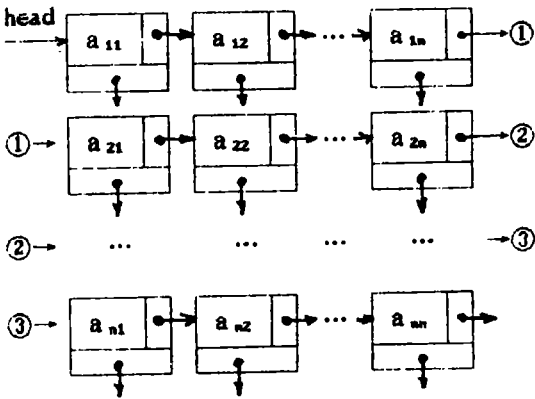


图4 用 right 指针建立的单链表

数据结构的建立、结点数值的阅读和修改等工作。

### 3 计算实例及成果评价

某工程18层现浇框架抗震墙高层结构,选定框架柱尺寸(cm)为 $60 \times 60$ ,框架梁尺寸(cm)为 $22 \times 60$ . 混凝土强度等级用两种:第1至5层用 $C_{30}$ ,第6至18层用 $C_{20}$ . 横向框架间距4.2m,共11榀,纵向框架间距6m,共3榀,首层高5.0m,其他层高3.6m,结构总高66.20m. 用2片抗震墙,每片腹板厚度为21cm,分别放在轴线3、9上. 见图6所示. 抗震设防烈度为8度(近震),地基为Ⅰ类场地. 横纵向榀屋顶线荷载均为 $26.3 \text{ kN/m}$ ,其他层均为 $39.4 \text{ kN/m}$ ,风荷载第1至18层分别取46, 75, 130, 142, 147, 151, 156, 165, 166, 167, 169, 174, 178, 180, 183, 187, 192, 194,单位为kN. 恒载取全部,活载取50%,集中在屋盖和楼盖处的重量分别为:底层为5600kN,2至17层为4900kN,顶层为3600kN.

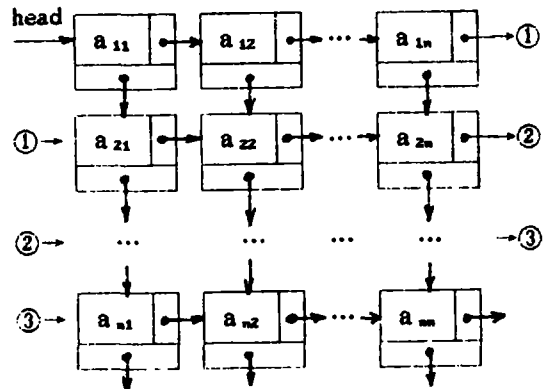


图5 用 right 和 down 指针建立的网状链表

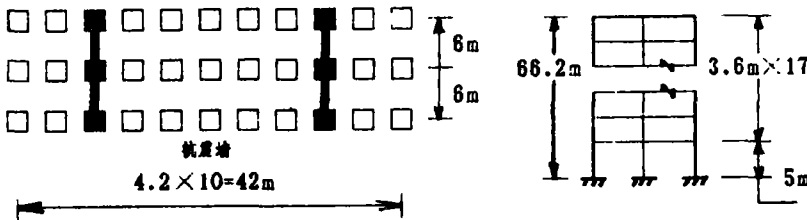


图6 结构平面及立面布置

观察程序运行结果可知,前三个振动周期为  $T_1=1.1546\text{s}$ ,  $T_2=0.2620\text{s}$ ,  $T_3=0.1278\text{s}$ . 其所对应的振型为:  $\{X\}_1=(1.000, 2.862, 5.569, 9.028, 13.150, 17.850, 23.042, 28.644, 34.570, 40.733, 47.041, 53.398, 59.703, 65.851, 71.737, 77.257, 82.312, 86.815)^T$ ;  $\{X\}_2=(1.000, 2.719, 4.998, 7.603, 10.305, 12.882, 15.103, 16.723, 17.486, 17.132, 15.426, 12.209, 7.457, 1.353, -5.667, -12.898, -19.418, -24.212)^T$ ;  $\{X\}_3=(1.000, 2.601, 4.530, 6.448, 8.034, 8.991, 9.013, 7.818, 5.218, 1.242, -3.678, -8.557, -11.892, -12.022, -7.903, -0.041, 8.983, 15.089)^T$ . 第1至18层的地震剪力分别为:410, 407, 402, 392, 378, 361, 343, 323, 304, 286, 270, 254, 239, 221, 197, 166, 122, 60, 单位为kN. 顶层最大相对角变位为 $1/402$ ,最大层间相对角度位为 $1/302$ .

本文所编制的程序能够对内存进行动态的分配和管理,即具体问题需要多少内存就分配给多少内存,其优点是十分明显的. 它不但能充分地利用计算机有限的、宝贵的内存资源,使内存浪费率尽可能地降低,而且也增强了程序在硬件上的可移植能力. 在本例的矩阵运算中,程序杜绝了内存资源的浪费.

将动态数据结构技术引进到土建结构工程的计算中,在国内尚属少见.在已通过技术鉴定的大量的结构计算软件中,也尚未见哪一种是采用动态数据结构技术研制的.作者认为,其原因主要是因为:动态数据结构技术在一般结构设计人员中尚未得到普及,而且在这一交叉技术领域,前人所作的探讨往往不是过多地偏重于计算机技术,就是过多地偏重于结构分析方面,故未能彻底打通结构计算与计算机技术的联系的关节.本文在这一方面作了有益的尝试,并取得良好效果.

### 参 考 文 献

- [1] 韦鹏生、王全凤,华侨大学学报(自然科学版), 14, 2(1993), 200—204.
- [2] 中华人民共和国国家标准,建筑抗震设计规范(GBJ11—89),中国建筑工业出版社,(1989).
- [3] Horowitz, E., Sahni, S., *Fundamentals of Data Structures in Pascal*, Computer Science Press, Inc., Maryland, U. S. A., (1984).

## Application of Multipointer Dynamic Data Structure to the Antiseismic Analysis of High-Rise Buildings

Wei Pengsheng      Wang Quanfeng

(*Department of Civil Engineering*)

**Abstract** With the help of Turbo Pascal language and the technique of multipointer dynamic data structure, the authors succeeded in developing a Turbo Pascal Unit (TPU) for the dynamic establishment and operation of real square matrices; and in applying them to the anti-seismic analysis of high-rise buildings. This application greatly saved the memories of computer and greatly improved the running efficiency of programs.

**Key words** antiseismic analysis of structure, operation of matrix, dynamic data structure, Turbo Pascal