

# 场地类型对抗震墙最优刚度影响的计算机分析\*

韦 鹏 生

(华侨大学土木工程系, 泉州 362011)

**摘要** 采用四指针全方位循环链表动态数据结构技术,对地基场地类型对框架-抗震墙最层建筑抗震墙高优刚度的影响进行计算机分析,指出场地类型是高层建筑结构抗震设计的关键性因素之一——场地类型每变化1级,抗震墙最优刚度就相应增大或减少1倍左右。

**关键词** 场地类型,抗震墙刚度,动态数据结构,最优化,Pascal 语言

**分类号** TU 311.41

框架-抗震墙高层建筑抗震墙刚度的优化问题,自文[1]于1981年提出以来,在国内结构工程界引起了相当大的反响.文[2]是对文[1]的进一步拓展,并将其优化设计理论付诸实践,编制了针对框架-抗震墙结构中抗震墙的一整套CAD软件.文[2]在进行抗震墙刚度优化分析时,发现场地类型对抗震墙最优刚度 $EI_{op}$ 的影响非常之大.表面上看,在同等设防烈度情况下,I,II,III,IV类场地在 $T_g \leq T \leq 3.0s$  ( $T_g$ 为特征周期, $T$ 为结构自振周期)段内的地震影响系数的比值,近震为

$$\begin{aligned} & (0.20/T)^{0.9} \alpha_{\max} : (0.30/T)^{0.9} \alpha_{\max} : (0.30/T)^{0.9} \alpha_{\max} : (0.65/T)^{0.9} \alpha_{\max} \\ & = 0.20^{0.9} : 0.30^{0.9} : 0.40^{0.9} : 0.65^{0.9} \\ & = 1 : 1.44 : 1.87 : 2.89, \end{aligned} \quad (1a)$$

远震为

$$\begin{aligned} & (0.25/T)^{0.9} \alpha_{\max} : (0.40/T)^{0.9} \alpha_{\max} : (0.55/T)^{0.9} \alpha_{\max} : (0.85/T)^{0.9} \alpha_{\max} \\ & = 0.25^{0.9} : 0.40^{0.9} : 0.55^{0.9} : 0.85^{0.9} \\ & = 1 : 1.53 : 2.03 : 3.01. \end{aligned} \quad (1b)$$

其值均不算太悬殊.在假象中,似乎场地从I类向IV类变化一级,只需增加抗震墙刚度约50%即可满足房屋使用要求.但实际远非如此,因为在抗震墙刚度 $EI$ 、结构地震作用 $Q$ 和房屋侧移 $\Delta$ 等参量之间存在着一个次恶性循环.也就是说,当场地变差时,房屋在刚度不变的情况下,侧移会增大.为了减小侧移量,必定增大抗震墙刚度;而增大抗震墙刚度,又缩短结构的自振周期,从而增大了地震影响系数,使得地震作用增大;地震作用增大,对控制房屋侧移又带来不利影响;等等.所幸的是,这不是一个彻底的恶性循环,因为地震作用增大使得房屋侧移增加的变化率,尚不及由于抗震墙刚度增加而使房屋侧移减小的变化率.即

\* 本文1994-06-04收到;福建省自然科学基金资助项目

$$ABS[\frac{\partial \Delta}{\partial (EI)}] > \frac{\partial \Delta}{\partial Q_e}$$

(2)

故当  $EI$  增大到一定程度时,就能使  $\Delta$  满足要求,但其增大比例与式(1a),(1b)不相符合.

本文采用先进的四指针全方位循环链表动态数据结构技术,编程分析场地类型对抗震墙最优刚度的影响. 程序运行速度快,效率高. 它对内存进行动态的分配和管理,具体问题需要多少,就分配给多少内存,使有限和宝贵的内存资源浪费降到最低.

1 抗震墙刚度优化分析

由于房屋角变位  $\Delta$  与抗震墙刚度  $EI$  和结构地震作用  $Q_e$  间存在的关系为: $\partial \Delta / \partial (EI) < 0, \partial Q_e / \partial (EI) > 0$ ,因而必定存在一个最优的结构刚度,使得房屋在满足使用要求的情况下,地震作用最小. 本文给出优化分析程序的执行框图,如图 1 所示.

在图 1 中,求结构自振周期和振型,涉及到大规模的矩阵运算. 本文采用动态数据结构技术编程进行分析求解,使计算内存得到大幅度节省. 同时采用四指针全方位循环链表的技术形式,大大提高程序的数据存取速度,从而提高整个程序的运行速度. 求解结构地震作用时,场地类型参数开始被应用,并对以下各步运算产生影响. 本程序在框架的几何特性、物理特性和结构非地震载荷均不变的情况下,就近震和远震两种震况,分别对 I, II, III 和 IV 类场地,求解抗震墙的最优刚度,并进行比较分析.

2 四指针全方位循环动态数据结构设计<sup>[3]</sup>

2.1 结点设计

本文所建立的动态数据结构的结点可用图 2 表示,其中 data 为方阵  $a_{n \times n}$  的一个元素. 设该结点为第  $i$  行第  $j$  列结点,简写为  $(i, j)$  结点,其各指针的指向特性见表 1.

表 1 动态数据结构结点指针指向特性

指 针	$i=1$ $j \neq 1, n$	$i=1$ $j=1$	$i=1$ $j=n$	$i=n$ $j \neq 1, n$	$i=n$ $j=1$
	$(1, j+1)$	$(1, 2)$	$(1, 1)$	$(n, j+1)$	$(n, 2)$
right	$(1, j+1)$	$(1, 2)$	$(1, 1)$	$(n, j+1)$	$(n, 2)$
left	$(1, j-1)$	$(1, n)$	$(1, n-1)$	$(n, j-1)$	$(n, n)$
down	$(2, j)$	$(2, 1)$	$(2, n)$	$(1, j)$	$(1, 1)$
up	$(n, n)$	$(n, 1)$	$(n, n)$	$(n-1, j)$	$(n-1, 1)$

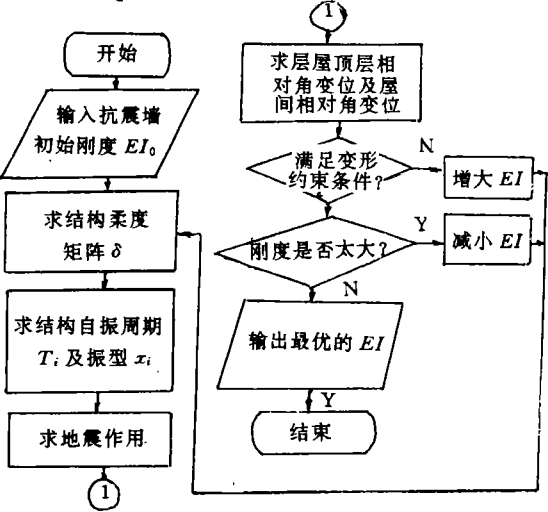


图 1 抗震墙最优刚度分析的程序执行框图

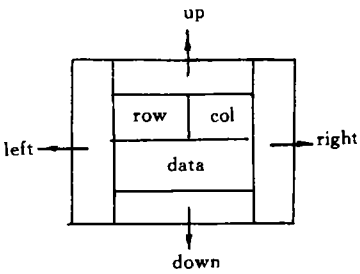


图 2 动态数据结构结点

续表 1

指 针	$i=n$ $j=n$	$i \neq 1, n$ $j \neq 1, n$	$i \neq 1, n$ $j=1$	$i \neq 1, n$ $j=n$	—
right	$(n, 1)$	$(i, j+1)$	$(i, 2)$	$(i, 1)$	—
left	$(n, n-1)$	$(i, j-1)$	$(i, n)$	$(i, n-1)$	—
down	$(1, n)$	$(i+1, j)$	$(i+1, 1)$	$(i+1, n)$	—
up	$(n-1, n)$	$(i-1, j)$	$(i-1, 1)$	$(i-1, n)$	—

## 2.2 动态数据结构的建立

(1) 使用 right 和 left 指针将各结点按照[(结点 $(i, j), j=1, n, i=1, n$ )]的次序,串接成为如图 3 所示的双向链表。

(2) 使用 down 和 up 指针将列内结点串接起来,形成如图 4 所示的网状链表。

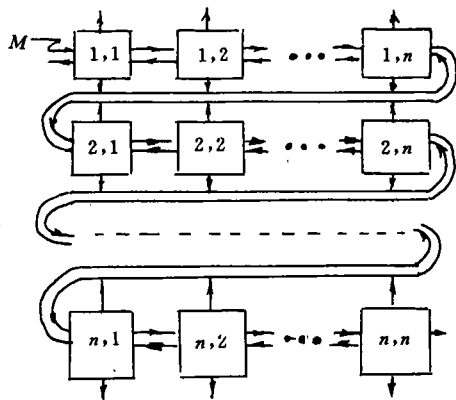


图 3 用 right 和 left 指针串接而成的双向链表

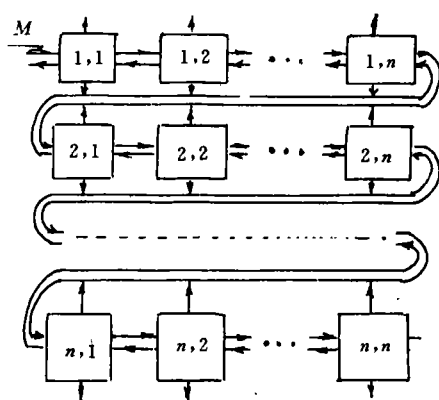


图 4 用四指针串接而成的双向网状链表

(3) 将  $i=1$  的所有结点的 up 指针在列内对应指向  $i=n$  的结点;将  $i=n$  的所有结点的 down 指针在列内对应指向  $i=1$  的结点;将  $j=1$  的所有结点的 left 指针在行内对应指向  $j=n$  的结点;将  $j=n$  的所有结点的 right 指针在行内对应指向  $j=1$  的结点。于是,建立所要求的动态数据结构见图 5。图中 M 为矩阵名,同时又是一个指针。随着结点的核心子域  $a_{ij}$  在动态数据结构中的存取, M 的指向位置也跟着变化,即 M 始终指向最近一次操作过的结点。

## 2.3 动态数据结构核心子域 $a_{ij}$ 的存取

本文中指针 M 可以全方位移动,毋需以  $(1, 1)$  结点作为参照点,因而改进了文[4]中的做法,使  $a_{ij}$  的存取速度大为提高。我们曾以一个 100 阶方阵来测试两种做法的数据存取速度,结果表明本程序的运行速度是文[4]的 1.7 倍。在本程序的动态数据结构中,指针 M 可以

以多向移动。也就是说,在同一行结点内,指针 M 既可向右,但是, M 从两个相反的方向滑向目标结点的路程却往往不相等。为了提高查找速度,必须让 M 通过较短的途径移动。文中  $a_{ij}$

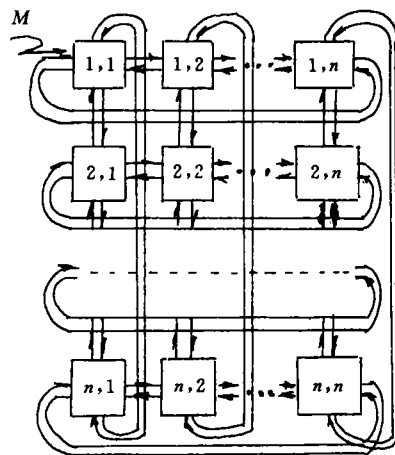


图 5 四指针全方位循环链表

的修改,是按照图 6 所示的框图进行的。 $a_{ij}$ 的阅 读与修改,两者的指针操作方法相同,不同的只是对目标结点的数据操作方法正好相反,故  $a_{ij}$ 阅读的具体操作过程,在此不必赘述。

2.4 动态数据结构的 Pascal 程序实现

本文动态数据结构类型设计为

```
TYPE INDEX=1..300;  
      MATRIX-TYPE = ↑ MATRIX-  
      NODE;  
      MATRIX-NODE=RECORD  
row,col;INDEX;  
data:double;  
right,left,  
down,up;MATRIX-TYPE  
END;
```

在 DMATRIX.TPU 中包含所开发的三个模块: (1) Procedure MM ( $n$ ; INDEX; VAR M; MATRIX-TYPE); (2) Procedure SD (VAR M; MATRIX-TYPE;  $n,i,j$ ; INDEX; value:double); (3) Function GD (VAR M; MATRIX-TYPE;  $n,i,j$ ; INDEX). 这三个模块在目的和形式上与文

[4]的相同,但它们达到目的的手段却差之甚远。在取值模块 GD 中,矩阵 M 定义为变参,这是因为指针 M 必须时刻跟随着动态数据结构的每一步操作。在模块 GD 及赋值模块 SD 的参数表中,各多加了一个方阵的阶数  $n$ ,这是为计算指针 M 与目标结点的左右及上下距离而作的。这样虽然给模块的使用增添一些麻烦,但能大大提高模块的数据存取速度。

3 计算实例及分析

计算实例仍用文[2]中所设计的 18 层现浇框架-抗震墙结构. 设防烈度仍为 8,本文分近震及远震两种情况,分别就 I, II, III, IV 等 4 种场地类型,对抗震墙最优刚度进行计算分析。程序运行结果见表 2。

表 2 各种场地类型与震况组合的抗震墙最优截面惯性矩

震 况	I	II	III	IV
近 震	6.18	72.24	121.34	279.16
远 震	35.32	121.18	207.47	358.52

从表 2 可以看出,场地变差一级,抗震墙的最优刚度就大幅度地增加。I 类场地近震时,结构尚可不设抗震墙,只要将框架柱截面尺寸增至 55 cm×55 cm 即可;但 II 类场地近震时,结构就需 2 道腹板厚度为 15 cm 的贯穿纵向框架的抗震墙; III 类场地近震时,结构需 3 道厚为 18 cm 的贯穿纵向框架的抗震墙; IV 类场地近震时,必须设 5 道厚达 29 cm 的贯穿纵向框架的抗震墙。如果是 IV 类场地远震,更需 7 道厚达 27 cm 的贯穿纵向框架的抗震墙。此时,框架抗

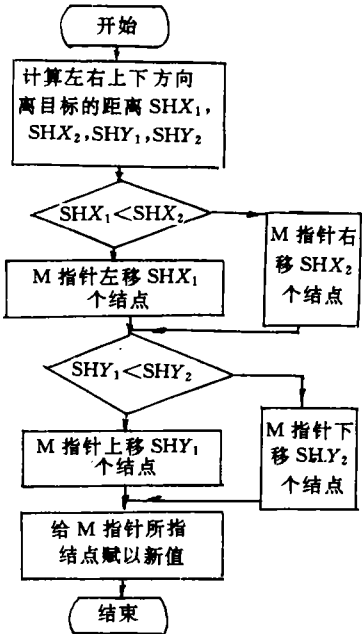


图 6 核心子域  $a_{ij}$  的修改执行框图

震墙结构形式已经不适合于这幢高层建筑,应改用抗震墙结构形式.由此可见,场地类型对抗震墙最优刚度的影响非常大.为了平衡抗震墙刚度、结构地震作用和房屋侧移等参量之间的关系,场地每变化一级,抗震墙刚度就相应增大或减少一倍左右.这与假象中变化 5% 完全不同.本文特别指出:场地类型是高层建筑优化设计中起控制作用的参数之一,其重要性在结构设计时应得到充分的认识和重视.

### 参 考 文 献

- 1 王全凤,施士升. 框架-剪力墙高层建筑结构抗地震荷载剪力墙数量的优化分析. 土木工程学报,1981,14(3):1~12
- 2 韦鹏生,王全凤. 框架-抗震墙高层建筑抗震墙的计算机辅助设计. 华侨大学学报(自然科学版),1993,14(2):200~204
- 3 Horowitz E, Sahni S. Fundamentals of data structures in Pascal. Maryland: Computer Science Press, Inc., 1985. 1~400
- 4 韦鹏生,王全凤. 多重指针动态数据结构在结构抗震分析中的应用. 华侨大学学报(自然科学版),1993,14(4):461~465

## Influence of Site-Type on the Optimal Rigidity of Aseismic Wall as Shown by Computer Analysis

Wei Pengsheng

(Dept. of Civil Eng., Huaqiao Univ., 362011, Quanzhou)

**Abstract** Adopting the technique of dynamic data structure established by four pointer all position circular linked list, a computer analysis is made on the influence of foundation site-type on the optimal rigidity of aseismic wall in a framed aseismic wall high-rise structure. Site-type as a key factor in the aseismic design of high-rise structure should be fully understood and taken seriously.

**Keywords** site-type, rigidity of aseismic wall, dynamic data structure, optimization, Pascal language