

(4) 21-26

复杂桁架结构的有限元后处理与对象设计

蔡永昌 张湘伟

(重庆大学工程力学系, 重庆, 400044; 第一作者 24岁, 男, 硕士)

TU323.401

摘要 利用面向对象的程序语言进行有限元分析结果的仿真计算设计(后处理), 定义了大型桁架结构的数据管理类 TStruct.

关键词 桁架结构; 有限元法; 后处理; 类 / 对象设计

中国图书资料分类法分类号 TP311

0 引言

有限元软件的前后处理功能是评价有限元软件性能的一项重要指标。近几十年来, 一批专用的前后处理系统被研究开发出来, 但是在这些系统中, 只有少数几个兼具有有限元软件的前后处理能力, 多数只有前处理能力^[1]。为了提高分析、整理结果的速度及有限元软件的效率, 有必要开发一种优质的有限元软件。

传统的程序设计方法是面向过程的, 它把数据与过程作为相互独立的实体, 在编写程序时必须时刻考虑所要处理的数据格式(结构和类型)。对于不同的数据格式即使要作相同的处理, 或者对于相同的数据格式但要作不同的处理, 都必须编写不同的程序^[2]。因此, 采用这种方法编制的程序可重用的成分很少, 随着软件功能的增加, 程序代码和编程工作量也往往大幅度增加。这无疑给软件开发者增加了不少难度。

面向对象的程序设计语言(OOP; object-oriented programming)的出现是大型软件系统开发技术取得的重大成就。它通过定义一些类来模仿人类建立客观世界模型的途径, 将数据与过程融为一体, 为软件开发提供了理想的模块化机制和比较理想的软件可重用成分。本文叙述了笔者用 OOP 语言 Borland Delphi 2.0^[3-5]进行大型石油钻机井架的有限元后处理仿真程序设计, 着重描述有限元分析结果的数据管理类 TStruct 的建立。

1 有限元过程

井架是石油钻井机械的重要组成部分, 是一种典型的复杂桁架结构。

井架的有限元分析采用三维空间梁单元。首先进行单元、结点编号, 准备好有限元分析的输入数据文件; 然后作有限元分析(SAP5; 通用线性结构分析软件), 将计算结果输出到数据文件中。

输出数据文件主要分为以下几种:

- 1) Derks 结点坐标, 单元、结点编号, 约束条件
- 2) Derks. L 静力分析位移值
- 3) Derks. S 静力分析应力值
- 4) Derkb. L 屈曲分析位移值
- 5) Derkm. L 振动分析固有频率及位移值

将数据文件中的数据输入到类 TStruct 中集中处理, 再从 TStruct 中读取数据进行有限元后处理设计。这样, 就用类 TStruct 作为接口实现已有有限元分析软件(如 SAP5)同自己编制的后处理系统的接口。

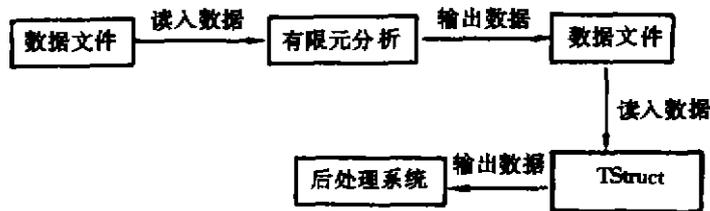


图1 有限元过程

分析过程流程图如图1示。

2 类 TStruct

2.1 单元信息 (TElement)

在有限元分析中, 将井架结构离散成三维梁单元, 每个单元上均有二个结点。结点数据(结点编号、结点坐标、约束信息)可定义为一条记录 NodeData:

```

NodeData = Record
    Number; Integer;           // 结点号
    X, Y, Z; Real;           // 结点坐标
    Rx, Ry, Rz, Rrx, Rry, Rrz; Integer; // 约束信息
end;
  
```

单元数据包括结点数据(NodeData)、单元颜色、单元形状(圆管、槽型、矩形等)。单元结构数据 TElement 定义如下:

```

TElement = Record
    color; Tcolor;           // 单元颜色
    Shape; Integer;         // 单元形状
    Node; NodeData;         // 结点数据
end;
  
```

TElement 的结构关系如图2。

2.2 静力分析数据 (TWorkNum)

针对已经建立的井架有限元模型, 考虑井架的各种受载工况进行有限元分析。分析得到

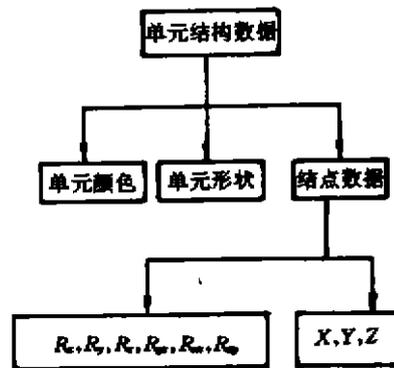


图 2 单元数据 TElement

的数据结果为结点的静力位移及各单元结点的静力应力值。静力分析数据结构 (TGongKuang) 定义如下:

```

const AA=1000; //分配存储单元、结点数据所需内存
      CC=10; //分配总振动模态数所需内存
      BB=4; //分配总工况数所需内存
  
```

```
TWorkNum = Record
```

```
  WeiYi; array [1..AA] of DispData; //静力位移
```

```
  Stress; array [1..AA] of StressData; //静力应力
```

```
end;
```

其中,结点的静力位移数据包括:结点的 X、Y、Z 方向的平动位移,绕 X、Y、Z 方向的转角位移。静力位移数据 DispData 定义如下:

```
DispData = Record
```

```
  Xi, Yi, Zi, Xr, Yr, Zr; Integer; //位移值
```

```
end;
```

单元的应力数据指的是每个单元的两个结点处的截面应力状况: $P/A, P/A + M_2/S_2; P/A - M_2/S_2, P/A - M_3/S_3, P/A + M_3/S_3$,截面的总合应力。单元应力数据 StressData 定义如下:

```
StressData = Record
```

```
  R1, R2, R3, M1, M2, M3; array [1..2] of Real; //应力值
```

```
end;
```

TWorkNum 的结构关系如图 3。

2.3 屈曲分析数据(TCurv)

井架的屈曲分析是井架安全使用中的一个重要问题。计算得到的屈曲数据为井架的屈曲位移。屈曲数据结构 (TCurv) 定义如下:

```
TCurv = Record
```

```
  WeiYi; array [1..AA] of DispData; //屈曲位移
```

```
end;
```

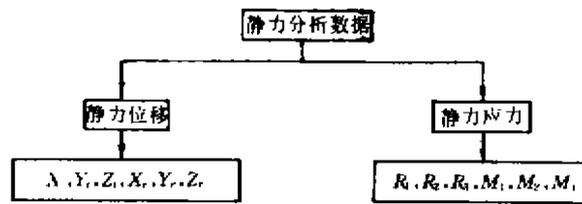


图3 静力数据 TWorkNum

2.4 振动分析数据(TRock)

对井架的有限元模型进行固有频率及模态分析,得到井架的固有频率和各固有频率下的井架结点位移。振动分析数据结构(TRock)定义如下:

TRock=Record

Freq;real; //固有频率

WeiYi;array[1..AA] of DispData; //振动位移

end;

TRock 结构关系如图 4.

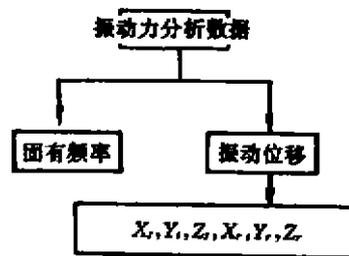


图4 振动数据 TRock

2.5 类 Tstruct

将井架结构中的所有数据组合在一起形成类 Tstruct. 一个 Tstruct 对象的主要任务是从数据文件中读取结构数据、将实际的结点坐标转换为屏幕坐标、输出数据给后处理系统等。Tstruct 类的定义如下:

Tstruct=class(Object)

private

NumP, NumE; Integer; //结构总结点及单元数

Element; array [1..AA] of TElement; //单元信息

WorkNum; array [1..BB] of TWorkNum; //静力分析数据

Curv; TCurv; //屈曲位移

Rock; array [1..CC] of TRock //振动分析数据

procedure ReadData(var F: TextFile); //从数据文件中读入数据

procedure DealData(Sender: TObject); //实现坐标转换

```

public
    procedure Create(Sender; TObject);           //构造函数
    procedure Destroy(Sender; TObject); override; //析构函数
    function GetEle(n; Integer); TElement;      //输出单元信息
    function GetWorkN(n; Integer); TWorkNum;    //输出静力分析数据
    function GetCurv(); TCurv;                //输出屈曲分析数据
    function GetRock(n; Integer); TRock;        //输出振动数据
end;
    
```

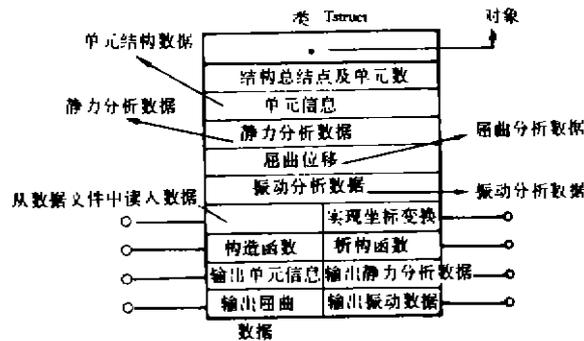


图 5 类 TStruct

在这里,构造函数对类中变量进行初始化。数据成员被说明为私有的,它们只能通过该类的成员函数来访问,对于其它函数来说,它们是不可访问的。数据结构和加工处理数据的函数被封装在一个整体中,类的这种封装客观上使程序数据管理更安全。

类 TStruct 的描述如图 5。

3 有限元后处理

在设计好类 TStruct 的基础上,可以直接通过 TStruct 的成员函数来访问结构的数据,进行后处理设计。

井架的后处理设计包括:

- 1) 绘制井架的计算模型图;
- 2) 标记单元编号及节点编号;
- 3) 显示各工况下的结构的极限应力、极限位移、极限点;
- 4) 各工况下的变形图、应力分布图;
- 5) 查询各单元及节点的位移、应力、约束;
- 6) 各阶振动模态的动画显示;
- 7) 屈曲破坏模态的动画显示;
- 8) 保存位图,制作总结报告。

4 结 语

类 TStruct 的设计实现了有限元分析与后处理的接口,它采用对象语言 Borland Delphi 编制而成,也同样适用于其它对象语言如 C++,NAP 等。

笔者将本文设计方法运用于四川省石油管理局与重大固体力学博士点联合研制的“大型石油钻机井架综合评估仿真系统”取得了较为满意的效果。其所有的程序模块具有很强的可扩充性,在原有的基础上稍作修改,即可开发出其它专用的有限元后处理系统。

参 考 文 献

- 1 王勰成,邵敏. 有限单元法基本原理与数值方法. 北京:清华大学出版社. 1988. 51~115
- 2 张汝清,董明. 结构计算程序设计. 重庆:重庆出版社. 1988. 79~121
- 3 Borland International, Inc. Delphi 使用指南. 北京:石油工业出版社. 1996. 1~273
- 4 Borland International, Inc. Object Pascal 程序语言指南. 北京:石油工业出版社. 1996. 1~273
- 5 张育荣,曾彦贺. Delphi 从入门到精通. 北京:清华大学出版社. 1996. 1~165

The Finite Element Back-Dealing and Object Design of Complex Joist-frame Structuer

Cai YongChang Zhang XiangWei

(Department of Engineering Mechemies, Chongqing University)

ABSTRACT A simulation design method of the finite element analysis was described using object-oriented programs. A data management class TSTRUCT of the large joist structure was also defined.

KEYWORDS joist-frame structure; finite element method; Back-Dealing; class / object program design