

# 结构力学教学程序的面向对象设计

王仁华, 俞铭华

(江苏科技大学 土木工程与建筑学院, 江苏 镇江 212003)

**摘要:** 结构力学课程应用计算机技术的内容逐渐增多, 其发展趋势必将成为今后结构力学教学的主导内容, 采用计算机辅助教学是必要手段, 文章针对上述目的编制了 OOSA 教学程序, 重点介绍该程序的面向对象开发流程。

**关键词:** 结构力学; 教学程序; 程序设计; 面向对象

**中图分类号:** TU311      **文献标志码:** A      **文章编号:** 1005-2909(2011)05-0149-04

结构力学是一门讲授结构分析方法的技术基础课程<sup>[1]</sup>。随着科技的进步和工程设计的需要, 结构力学课程应用计算机技术的内容逐渐增多, 其发展趋势必将成为今后结构力学教学的主导内容<sup>[2]</sup>。自从计算机引入结构力学以来, 传统结构力学的面貌发生了巨大的变化, 能够用统一的方法在计算机上自动求解大型结构分析问题。结构力学教学经验指出, 仅从课堂讲授教学的情况下, 对学生来讲存在一些难点。这些难点是如何由单元刚度阵组装成结构的总刚度阵, 总刚度阵的数据结构以及方程组的求解等等<sup>[3]</sup>。因此, 采用计算机辅助教学是必要的, 针对上述目的编制了 OOSA 软件, 文章对其开发流程进行了介绍。

## 一、面向对象程序整体构架<sup>[4]</sup>

结构力学教学程序划分为三个部分: 前处理、有限元计算和后处理部分。其中前处理部分主要是建立结构模型, 并将模型的各项数据传递给有限元计算程序。而数据传递目前主要采用由前处理生成数据文件, 由有限元计算程序读取数据文件的方式来实现。对实际工程问题来说, 数据量十分庞大。如果数据文件中的数据由人工方式处理并输入, 必然会导致低效率和高差错率。因此, 随着计算机软硬件技术的发展, 以图形为基础, 采用交互的方式建立起结构计算模型, 并由计算机根据模型自动生成数据文件的方式, 成为前处理的主流技术。

面向对象程序设计主要包含两部分内容, 其一是面向对象分析 (Object-Oriented Analysis, OOA), 针对问题运用面向对象方法, 建立一个反映问题域的 OOA 模型, 不考虑与系统有关的具体实现因素 (例如采用什么编程语言、图形用户界面、数据库等), 从而使 OOA 独立于具体的实现; 其二是面向对象设计 (Object-Oriented Design, OOD), 针对系统的一个具体实现, 即实现 OOA 模型中的人机界面、数据存储、任务管理等因素。

收稿日期: 2011-07-15

基金项目: 江苏科技大学结构力学精品课程建设 (NO. KX20092002)

作者简介: 王仁华 (1978-), 男, 江苏科技大学土木工程与建筑学院讲师, 博士, 主要从事结构仿真与结构优化研究, (Email) 2008tjwrh@tongji.edu.cn。

面向对象有限元 (Object - Oriented Finite Element, OOFE) 首先通过 OOD 过程建立 OOFE 中静态类/对象模型, 这些静态模型可被视为是一个零件库中的零件。文章通过编写了配套的面向对象结构分析程序 (Object - Oriented Structure Analysis, OOSA) 把这些零件组装起来, 形成可以完成有限元线性静力、线性动力分析等任务的系统。OOSA 系统中对象的整体构架如图 1 所示。

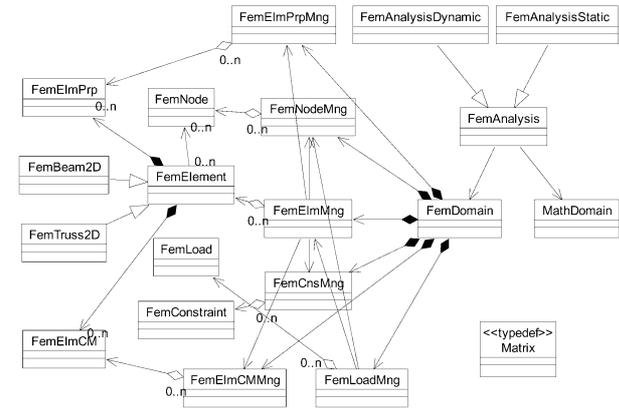


图 1 面向对象程序构架

编写基于交互式图形输入的有限元前处理程序, 既可以独立开发, 也可以利用一些成熟的交互式图形软件进行二次开发。采用二次开发的方式, 可以借助相关软件强大的图形编辑功能, 从而提高编程效率。OOSA 的前处理程序就是在 AutoCAD2000 平台上, 采用 ObjectARX 开发环境和开发工具建立起来的。分析系统程序流程如图 2 所示。

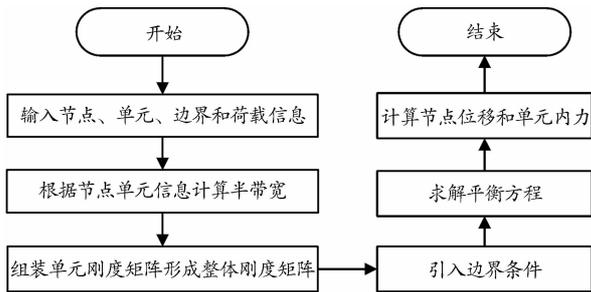


图 2 分析程序流程图

## 二、结构分析程序前处理

### (一) 建立结构几何模型

将前、后处理的各项命令以 AutoCAD 菜单的方式提供给用户, 如图 3 所示。同时, 也支持用户在 AutoCAD 命令行中直接输入相关的命令来进行操作。例如图形的缩放观察、对象捕捉、移动删除等图形操作功能可直接由 AutoCAD 提供的命令完成。

由于结构模型的尺寸是千差万别的, 为了使所绘制的图形和有关内容 (如文字说明、约束图形、荷载图形等) 有一个合适的显示比例, 必须正确设置图形的比例。AutoCAD2000 默认图形界限是 420 ×

297, 用户在进行前处理建模前, 要根据模型的大小, 用 AutoCAD 的“limits”命令设置图形界限。然后, 在前处理的相应菜单中点选“绘图比例”, 程序就可以自动获得新的图形界限并设置适宜的图形比例。

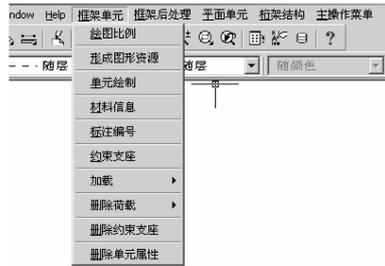


图 3 前后处理菜单

为了提高用户建模效率, 程序为常见结构形式提供了对话框输入的方式。用户输入少量的信息, 就能快速地建立起结构模型。图 4 为绘制框架单元的对话框。当然, 用户也可以直接用 AutoCAD 的“Line”等命令进行绘制。



图 4 绘制框架单元对话框

### (二) 节点约束及材料信息

通过程序提供的有关对话框, 用户可以非常方便地添加节点约束信息。图 5 为添加节点约束的对话框。各种支座的图形事先已经做成了 AutoCAD 的块, 插入块时的比例由程序根据获取已建的图形比例自动确定, 这些块也自动被指定了层和颜色。程序中以链表的形式存储有关支座的信息, 可以很方便地处理添加支座和删除支座的操作。



图 5 添加节点约束对话框

用户添加材料信息也是由程序交互窗口完成, 图 6 为添加材料信息对话框。在这个对话框中, 用户可以对材料的截面积、惯性矩、密度、弹性模量等属性进行设置。有关数据的存储, 由链表数据结构完成。



图6 添加材料信息对话框

(三)结构荷载信息

结构荷载包括集中力、弯矩和分布荷载等,在添加荷载信息的对话框中,给出了有关荷载的示意图(图7),用户可以非常直观地获得有关信息,从而大大方便了操作。和节点约束与材料属性一样,荷载的有关数据也是采用链表处理。



图7 添加荷载信息对话框

三、前、后处理交互文件

在有限元计算结束后,将得到大量的数据。这些数据保存在一个或若干个数据文件中。由于实际工程问题的数据量十分庞大,人工阅读并处理这些数据十分费时费力。前、后处理的工作就是由程序分析和整理这些数据,用可视化的技术,将枯燥的数据转化为直观的(许多时候是色彩丰富的)的图形提供给用户。

(一)前处理文件格式

在前处理中建立起结构模型后,就需要生成数据文件。数据文件的内容主要包括:节点数和节点坐标、单元数和单元节点编号、材料信息、边界条件、荷载信息等等。数据文件的格式通常是根据有限元计算程序的要求来设计的。在程序中,就是要将用户建立的结构模型中的各种信息分类汇总,然后按照数据文件的格式要求,将有关数据写入指定的文件。

用户在使用前处理菜单中的“保存文件”选项保存文件时,不仅保存了后缀为 dat 的数据文件,同时也保存了后缀为 dwg 的 AutoCAD 图形文件,有关的链表也被完整记录下来。这样,当用户使用前处理菜单中的“打开文件”选项打开一个以前建立的结构模型时,可以在原模型上进行修改来得到新的模型,加快了用户的建模速度。

该交互文件格式描述如下:

节点数 单元属性个数 材料属性个数 单元数 约束节点个数 受载单元数 受载节点数

节点编号 x 坐标 y 坐标 z 坐标 自由度数

单元属性编号 4 个数据 面积 赋零值 惯性矩 赋零值

材料属性编号 3 个数据 弹性模量 赋零值 计算动力问题时为密度

单元编号 单元类型 起始节点号 终止节点号 单元属性 材料属性

受约束节点号 各个方向约束(受约束为 1,不受为 0)

受载单元号 受载信息个数 荷载类型 荷载大小 标距

受载节点号 x 向数值 y 向数值 z 向数值

(二)后处理文件格式

在有限元计算结束后,将得到若干结果文件。其以纯文本的形式存储了位移、内力、应力等信息,以下为某结构的计算结果文件格式。

位移文件的格式如下:

节点编号 位移 1 位移 2 位移 3

内力文件的格式如下:

单元编号 起点轴力 剪力 弯矩 终点轴力 剪力 弯矩

节点应力文件的格式如下:

节点编号 内力 1 内力 2 内力 3

四、结构分析程序后处理

(一)结构变形图

结构受力变形后,单元的位置和外形、单元结点坐标将会有所变化。桁架单元的变化可直接由结点位移来反映,即由位移后的单元结点相连来表示。由于结构变形往往很小,若以同一比例来绘制,结构变形前和变形后的图可能重叠在一起,两者难以区分。因此,需将位移值适当放大,放大系数可由最大位移来控制。梁单元与桁架单元不同,通常要产生弯曲变形,而曲线处理相对要复杂一些。由于梁的变形曲线的曲率一般较小,因此可采用分段折线来近似模拟梁曲线。图 8 为某框架结构的变形图。

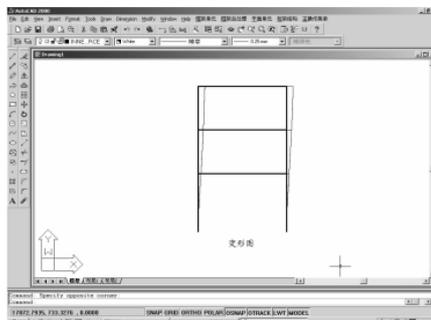


图8 框架结构变形图

## (二) 结构内力图

内力图主要包括弯矩图、轴力图和剪力图,文章重点分析梁的弯矩图和剪力图的绘制。绘制梁的弯矩图和剪力图与绘制变形图方法基本相同,也是通过分段折线来模拟内力曲线。不同的是,变形图以挠度作为垂直向的位移量,而弯矩图和剪力图以弯矩和剪力作为垂直向的位移量。另外,弯矩图和剪力图不用考虑梁沿轴向的位移。图9为某框架结构的弯矩图。

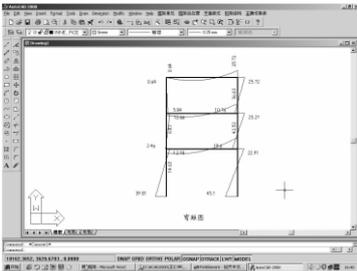


图9 框架结构弯矩图

## 五、系统集成

前处理、后处理和有限元计算程序虽然是分别编制的,但还是需要一个统一的界面将它们集成起来,以方便用户的操作。由于前、后处理程序的菜单均已经添加到 AutoCAD 的菜单,故系统主界面的设计可较为简洁,如图10所示。

在主界面中,有三个重要的菜单项,分别是“前处理”“结构分析”和“后处理”。在结构分析的菜单下,还有一系列选项,如“静力分析”“动力分析”,点击相应的菜单项,即可启动该有限元分析程序。

如果在菜单中,点击“前处理”或“后处理”,则可启动 AutoCAD,并加载前、后处理的专用的 AutoCAD 菜单。其中,启动 AutoCAD 是由调用 C++ 的 WinExec() 函数实现。

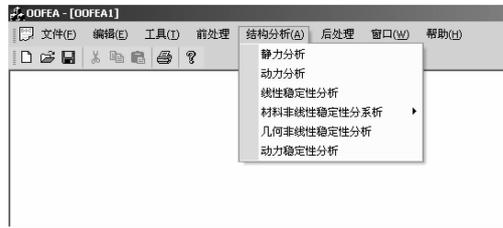


图10 系统主界面

## 六、结语

计算机应用能力对结构力学课程的学习有巨大的影响。在结构力学的课程中,如何加强学生的计算机应用能力是一个重要的问题,尤其是编制计算机应用程序能力的培养,这是提高学生能力与素质的重要环节。随着计算机的不断发展,这种高速度、高准确度的计算工具被广泛应用到各个领域、各门学科。因此,文章介绍了开展结构力学教学的面向对象程序设计方法。该面向对象有限元程序与传统的有限元程序相比,由于其采用了结构化的编程体系,比面向过程的传统有限元程序的概念更加直观,代码维护也更加方便,更重要的是教学过程有助于学生理解结构力学问题的电算方法如何实现。

## 参考文献:

- [1] 陈荣波. 非多学时类型结构力学教学中加强计算机方法教学的探索[J]. 高等建筑教育, 1990(4): 27-30.
- [2] 崔清洋. 结构力学课程教改初探[J]. 力学与实践, 1992, 14(5): 64-65.
- [3] 邓可顺, 郭秀玲. 计算机辅助杆系计算结构力学教学[J]. 大连工学院学报, 1982, 21(2): 41-46.
- [4] 俞铭华, 吴剑国, 曹骥. 有限元法与面向对象编程[M]. 北京: 科学出版社, 2004.

## Object-oriented design of teaching program of structural mechanics

WANG Ren-hua, YU Ming-hua

(School of Civil Engineering and Architecture, Jiangsu University of Science and Technology, Zhenjiang 212003, Jiangsu, P. R. China)

**Abstract:** Computer application in the structural mechanics course is now widespread. The development of such application will be in a dominant position in the reform of teaching method of the civil engineering specialty. In addition, the computer-aided instruction is a necessary measure in the future. Therefore, a program of OOSA for the teaching is introduced and the object-oriented design process of program development is proposed.

**Keywords:** structural mechanics; teaching program; program design; object-oriented