

为常数, l 为梁的长度, x 为长度坐标, 如图 1. 对于两端固定载荷通过欧拉梁理论可得挠度方程为

$$v = \frac{1}{EI} \left[-\frac{1}{2}hb\tau_0 \left(\frac{1}{12}a_1 + \frac{1}{15}a_2 + \frac{1}{20}a_3 + \dots \right) lx^2 + \frac{1}{6}hb\tau_0 \left(\frac{1}{2}a_1 + \frac{3}{10}a_2 + \frac{1}{5}a_3 + \dots \right) x^3 - hb\tau_0 \left(\frac{1}{24} \frac{a_1 x^4}{l} + \frac{1}{60} \frac{a_2 x^5}{l^2} + \frac{1}{120} \frac{a_3 x^6}{l^3} + \dots \right) \right] \quad (15)$$

其与 a_0 无关, 一般状态下已不再为零. 由式 (15) 可得如果载荷满足 $a_1 = a_2 = a_3 = \dots = 0$, 欧拉梁理论求得的挠度仍旧为零, 所以本文给定的是一个特例. 但工程应用中关于欧拉梁、铁木辛柯梁还是高阶剪切梁理论的选择应引起相关人员的重视, 应提前粗略估计梁内应力的分布状况, 结合梁的长细比, 综合考虑确定合适的理论来分析问题.

参 考 文 献

1 龙驭球, 包世华主编. 结构力学教程. 北京: 高等教育出版社, 2001

- 2 Gatti PL, Ferrari V. Applied Structural and Mechanical Vibrations. London: E & FN Spon, 1999
- 3 铁木辛柯. 王枏, 张伯烈, 赵国华译. 材料力学 - 上册. 台北: 科技图书股份有限公司, 1978
- 4 武际可. 说梁. 力学与实践, 2008, 30(6): 106-109
- 5 Timoshenko SP. On the correction for shear of the differential equation for transverse vibration of prismatic bars. *Philosophical Magazine*, 1921, 41: 744-746
- 6 Cowper GR. The shear coefficients in Timoshenko's beam theory. *Journal of Applied Mechanics*, 1966, 33: 335-340
- 7 Reddy JN, Wang CM, Lee KH. Relationships between bending solutions of classical and shear deformation beam theories. *International Journal of Solids and Structures*, 1997, 34(26): 3373-3384
- 8 Han Seon M, Benaroya Haym, Wei Timothy. Dynamics of transversely vibrating beams using four engineering theories. *Journal of Sound and Vibration*, 1999, 225(5): 935-988
- 9 Hutchinson JR. Shear coefficients for timoshenko beam theory. *Journal of Applied Mechanics*, 2001, 68 (6): 959-960

(责任编辑: 周冬冬)

AutoCAD 图形交换文件 DXF 在面向对象程序设计中的应用

蒋玉川^{*,1)} 陈 辉[†]

^{*}(四川大学建筑与环境学院, 成都 610065)

[†](西华大学建筑与土木工程学院, 成都 610039)

摘要 利用 FORTRAN90 语言并结合 AutoCAD 图形交换文件 DXF 编制出一个面向对象的有限元程序, 执行该程序, 实现了包括网格自动生成、单元节点信息、等效节点载荷、约束条件及变形、等应力线图等前后处理的功能. 它克服了以往在有限元教学中面对大量数据需要输入和整理一大堆输出的结果数据, 做到了有限元前后处理的可视化, 让学生初步掌握有限元的面向对象编程的技术.

关键词 有限元, 前后处理, DXF 文件, 面向对象编程

中图分类号: O346 文献标识码: A

文章编号: 1000-0879(2010)04-093-04

引 言

在现行大多数有限元的教材中主要是针对有限元的基本理论和主体程序设计介绍得比较详细^[1-2]. 然而一个有限元程序通常划分为 3 个部分: 前处理部分、有限元分析主体程序和后处理部分. 有限元分析主体程序是有限元程序的核心, 在有限元教学中给予了足够的重视. 但是, 对于有限元前

后处理技术, 即, 输入输出的可视化技术在传统的有限元的教学中却重视不够. 一方面我们面对大量的有限元分析商业软件, 例如: ANSYS, ADINA, ABQUS, MSC.NASTRAN 等, 它们都有强大的前后处理功能; 另一方面, 在有限元的教学中对前后处理程序的开发以及面向对象编程的技术却介绍得很少. 为此, 我们在有限元的教学中, 有必要介绍有限元的前后处理程序.

在利用有限元对结构进行分析中, 需要准备可供分析的数据文件, 它包括: 离散模型的结点数及结点坐标; 单元数及单元编号; 约束和载荷信息等, 对于一个实际工程问题离散模型的数据文件十分庞大, 靠人工处理和生成一般是不可能的. 为了解决这一问题, 有限元分析程序必须有前处理程序, 前处理程序是根据使用者提供的对计算模型外形网格要求的数据描述, 自动生成离散模型的数据文件并生成网格图供使用者检查和修改. 同样, 有限元分析程序的计算结果也是针对离散模型得到的, 针对一个实际问题可以得到离散模型各结点的位移、单元应力等输出结果. 输出的文本文件量很大, 但却不易得到离散分析对象的全貌, 例如: 位移那里最

2009-03-23 收到第 1 稿, 2010-04-22 收到修改稿.

1) 蒋玉川, 男, 教授, 博士, 研究方向: 固体力学和结构工程. E-mail: jiangyc@scu.edu.cn

大, 应力集中发生在什么部位及变化趋势如何, 因此, 需要一个后处理程序来显示计算的结果. 为此, 本文利用 AutoCAD 图形交换文件 DXF 和 Fortran90 语言编写有限元前后处理程序. 执行该程序, 生成包括有限元网格、单元划分、节点编号、载荷、约束条件以及等应力线等图形信息. 让学生掌握编写有限元前后处理程序的要点, 理解可视化技术带来的便捷, 为今后针对工程问题进行软件开发打下良好的基础.

1 AutoCAD 标准图形交换文件 DXF^[3]

AutoCAD 标准图形交换文件 DXF(Drawing Exchange File) 是 AutoCAD 同外部进行数据交换和数据传输的文本文件, 也可以看成是 AutoCAD 内部图形数据库的 ASC II 码映像. 是一幅与 AutoCAD 图形完全等价的形式. AutoCAD 可用 DXFOUT 命令输出一个已存在的 DXF 文件, 也可以 DXFIN 命令将一个 DXF 文件读入内存, 并自动在屏幕上显示出该图形. DXF 文件是一个后缀名为 “.dxf” 的图形交换文件, 其格式必须按照 AutoCAD 对 DXF 文件的要求, 并结合高级语言 (如 FORTRAN90) 构造一个 DXF 格式的文件.

DXF 文件的总体结构由 4 大段 (Section) 组成, 即标题段 (HEADER SECTION)、表段 (TABLES SECTION)、块段 (BLOCKS SECTION) 和实体段 (ENTITIES SECTION), DXF 文件的总体结构如下:

```

0
SECTION 标题段开始
2
HEADER
.....
0
ENDSEC 标题段结束
0
SECTION 表段开始
2
TABLES
.....
0
ENDSEC 表段结束
0
SECTION 块段开始
2
BLOCKS
.....
0
ENDSEC 块段结束
0
SECTION 实体段开始
2
ENTITIES

```

```

.....
0
ENDSEC 实体段结束
0
EOF DXF 文件结束
标题段、表段、块段在一些情况下可以省略, 一个 DXF
文件必须包括实体段, 以下是一个仅有实体段的 DXF 文件
实例, 包含了生成一段文字的信息.
! *****
! P A R T 1: 图形交换文件 (DXF) 的主程序
! *****
program main
IMPLICIT DOUBLE PRECISION(A-H,O-Z)
DOUBLE PRECISION pointx1,pointy1,heightch,alph,
pointx2,pointy2
CHARACTER*256 pchtext;
CHARACTER*256 LAYER
pointx1=1.0
pointy1=1.0
heightch=1.0
pchtext="JIANG YUCHUAN"
ALPHA=0.0
LAYER="0"
!!
OPEN(121,FILE="T.DXF") ! 建立图形交换文件
T.DXF
CALL DXFHEAD(121) ! 写实体段的开始
CALL DXFtext(pointx1,pointy1,heightch,pchtext,
alph,
LAYER,121) ! 插入文字
CALL DXFEND(121) ! 写实体段的结束
END
! *****
! PART2: 插入一段文字的子程序
! *****
SUBROUTINE DXFhead(fpdxf)
INTEGER fpdxf;
WRITE(fpdxf,"(A)" " 0"
WRITE(fpdxf,"(A)" "SECTION"
WRITE(fpdxf,"(A)" " 2"
WRITE(fpdxf,"(A)" "ENTITIES"
END SUBROUTINE
! *****
SUBROUTINE DXFend(fpdxf)
INTEGER fpdxf
WRITE(fpdxf,"(A)" " 0"
WRITE(fpdxf,"(A)" "ENDSEC"
WRITE(fpdxf,"(A)" " 0"

```

```

WRITE(fpdx,"(A)") "EOF"
END SUBROUTINE
!*****
SUBROUTINE DXFtext (pointx1,pointy1,heightch,
pchtext,alph,LAYER,fpdx)
INTEGER fpdx
CHARACTER*256 LAYER
DOUBLE PRECISION heightch,pointx1,pointy1,alph;
CHARACTER*256 pchtext;
WRITE(fpdx,"(A)") " 0"
WRITE(fpdx,"(A)") "TEXT"
WRITE(fpdx,"(A)") " 8"
WRITE(fpdx,"(A)") TRIM(LAYER)
WRITE(fpdx,"(A)") " 10"
WRITE(fpdx,*)pointx1
WRITE(fpdx,"(A)") " 20"
WRITE(fpdx,*)pointy1
WRITE(fpdx,"(A)") " 30"
WRITE(fpdx,"(F10.5)")0.0
WRITE(fpdx,"(A)") " 40"
WRITE(fpdx,*)heightch
WRITE(fpdx,"(A)") " 1"
WRITE(fpdx,"(A)")pchtext
WRITE(fpdx,"(A)") " 50"
WRITE(fpdx,*)alph
END SUBROUTINE

```

在 AutoCAD 环境下用 DXFIN 命令将以上文本文件 T.dxf 调入，会写出“JIANG YUCHUAN”的字样。同理可以构造生成点、线、圆等的信息的 DXF 文件。

2 等应力线的绘制 [4]

有限元输出的应力结果往往是一些离散点的信息，而应力等值线图可以比较直观地反映结构的应力状态和应力分布情况。下面结合八节点等参单元介绍等应力线的绘制方法。

2.1 应力等值线的分层

绘制等应力线时，应先求出所有节点应力中的最大值 σ_{max} 和最小值 σ_{min} ，在将其间的应力分为 N 等分，即在最大与最小应力之间引进 $N - 1$ 条等应力线，第 m 条等应力线的 σ_m 可以用等距插值公式求得

$$\sigma_m = \sigma_{min} + m(\sigma_{max} - \sigma_{min})/N \quad (m = 1, 2, \dots, N - 1)$$

2.2 等应力线坐标的计算

绘制等应力线之前，应首先求出等应力线上各点的坐标，由于已知条件是只知道单元节点处的应力值，因此等应力线上的点的坐标需要在离散的节点间进行插值。由于我们的程序是雇佣的八节点四边形等参单元，这里可以将其想象为由两个三角形单元构成，如图 1 所示。当循环至某一单元

时，按总码取出单元①中 1, 2, 3 的节点应力，令其最小的为 σ_i ，中间的为 σ_j ，最大为 σ_k 。节点应力存在如下关系

$$\sigma_i \leq \sigma_j \leq \sigma_k$$

相应的节点坐标定义为 $(x_i, y_i), (x_j, y_j), (x_k, y_k)$ 。同理，取出单元②中的 1, 3, 4，也按上述方法处理。

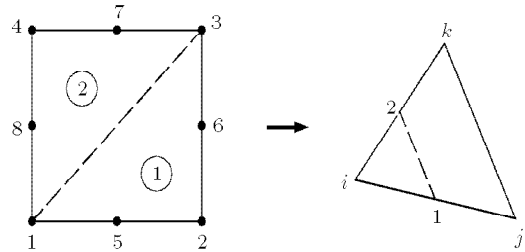


图 1 八节点四边形单元

针对八节点四边形等参单元中的一个三角形，若第 m 条等应力线的应力值 σ_m 满足关系式

$$\sigma_i \leq \sigma_m \leq \sigma_j$$

则该等应力线通过本单元。且起点 1 必在 ij 边上，终点 2 必在 ik 边上；若第 m 条等应力线的 σ_m 满足关系式：

$$\sigma_j \leq \sigma_m \leq \sigma_k$$

则该等应力线通过本单元。且起点 1 必在 jk 边上，终点 2 必在 ik 边上。其坐标为

起点：

$$\begin{cases} x_1 = x_i + \frac{\sigma_m - \sigma_i}{\sigma_j - \sigma_i} (x_j - x_i) \\ y_1 = y_i + \frac{\sigma_m - \sigma_i}{\sigma_j - \sigma_i} (y_j - y_i) \end{cases} \quad (ij \text{ 边}) \quad (\sigma_i \leq \sigma_m \leq \sigma_j)$$

或

$$\begin{cases} x_1 = x_j + \frac{\sigma_m - \sigma_j}{\sigma_k - \sigma_j} (x_k - x_j) \\ y_1 = y_j + \frac{\sigma_m - \sigma_j}{\sigma_k - \sigma_j} (y_k - y_j) \end{cases} \quad (jk \text{ 边}) \quad (\sigma_j \leq \sigma_m \leq \sigma_k)$$

终点：

$$\begin{cases} x_2 = x_i + \frac{\sigma_m - \sigma_i}{\sigma_k - \sigma_i} (x_k - x_i) \\ y_2 = y_i + \frac{\sigma_m - \sigma_i}{\sigma_k - \sigma_i} (y_k - y_i) \end{cases} \quad (ik \text{ 边})$$

连接 1, 2 两点，即可得到对应的 σ_m 等应力线，且通过该单元的等应力线可能有若干条。另外，若 $\sigma_m < \sigma_i$ 或 $\sigma_m > \sigma_k$ ，则该单元没有等应力线通过。

3 算例 [5]

根据上述构造 DXF 文件的方法，编制了用于圆孔应力分析的前处理程序和显示孔边应力集中的后处理程序。在前处理程序中，只需要给出单元划分的几个控制参数及材料和载荷参数，就可以得到如图 2 所示的有限元模型的数据文件，并同时得到相应的图形交换文件 hfwg.dxf，据此，生成

如图2所示的单元网格划分、单元和节点编号、载荷及约束等信息。同时将前处理运行产生结果文件,作为有限元主体程序的数据文件。运行有限元主体程序,根据计算结果并结合DXF文件的构造方法,编制显示孔边应力集中的后处理程序,如图3所示孔边应力分布的情况和如图4所示 σ_x 的应力等值线图。

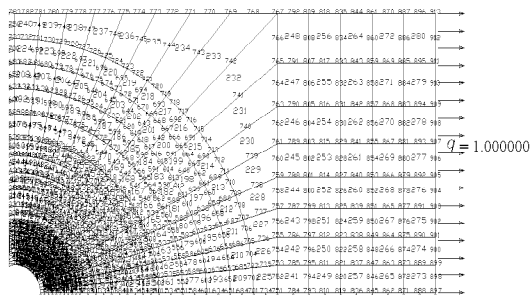


图2 圆孔应力分析的有限元模型

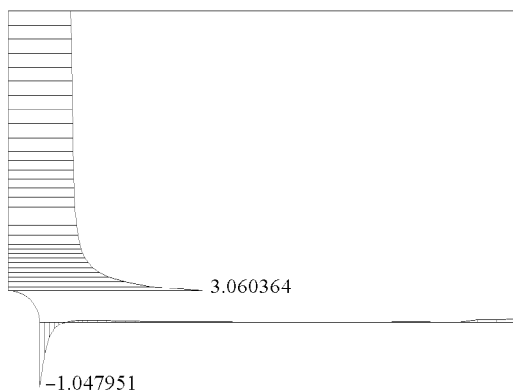


图3 孔边应力分布的情况

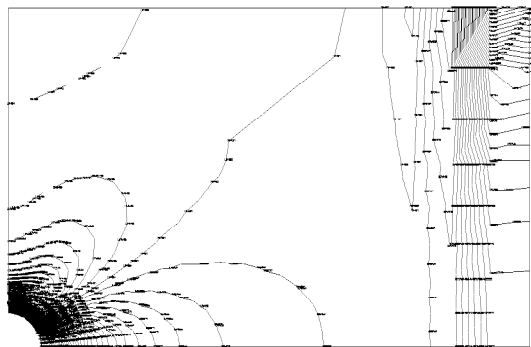


图4 σ_x 的应力等值线

4 结论

将有限元编程技术和 AutoCAD 的二次开发技术相结合,并应用在有限元的前后处理程序的编制上,是在有限元教学中的一个有益的尝试,让学生体会到什么是有限元程序可视化技术和面向对象的软件开发,为今后编制大型工程应用软件,解决工程实际问题奠定良好的基础。

参考文献

- 1 Zienkiewicz OC, Taylor RL. The Finite Element Method (5th edition). Butterworth Heinemann, Oxford, UK, 2000
- 2 李亚智,赵美英,万小鹏编著.有限元法基础与程序设计.北京:科学出版社,2004
- 3 吕西林,金国芳,吴晓涵编著.钢筋混凝土结构非线性有限元理论与应用.上海:同济大学出版社,1997
- 4 俞铭华,吴剑国,曹骥等编著.有限元法与面向对象编程.北京:科学出版社,2004
- 5 蒋玉川,张建海,李章政编著.弹性力学与有限单元法.北京:科学出版社,2006

(责任编辑:刘俊丽)

代数系统 Maple 在力学教学中的应用探讨¹⁾

邢静忠²⁾

(天津工业大学机械电子学院,天津 300160)

摘要 计算机代数系统在力学教学中应用非常普遍。摘录 Maple 在理论力学、材料力学、弹性力学和有限元中的应用,以简便地完成模型求解和结果处理。并扩展到备课、讲课和课后作业演练等环节,提供最大限度地计算支持。将其引入力学教学,引导和培养学生利用数学工具的习惯和能力,强化算法设计和程序的通用性和灵活性,为处理复杂问题提供帮助。

关键词 计算机代数系统,力学教学, Maple, 微分方程

中图分类号: TP301.6 **文献标识码:** A

文章编号: 1000-0879(2010)04-096-06

随着人工智能和专家系统技术的不断发展,代表人工智能技术在数学领域的应用典范——计算机代数系统(CASes)伴随着计算机技术的不断发展而迅速崛起。Maple, Mathematica, Matlab, MathCAD 等都是非常实用高效的CASes,具有很强的符号运算、数值计算、图形、编程等功能,和友好方便的人机交互界面,其应用遍布科学研究、工

2009-06-05 收到第1稿,2010-10-20 收到修改稿。

1) 天津市教育科学“十一五”规划课题(G030)。

2) 邢静忠,男,1966年生,教授,博士,主要从事结构力学分析。E-mail: hsingjzh@tjpu.edu.cn