

中国原子能科学研究院 第十届五四青年学术报告会文集

(反应堆工程技术与计算机应用技术部分)

(一九九六年五月)

中国原子能科学研究院科学技术委员会

中国原子能科学研究院团委

中国原子能科学研究院科技信息部

一九九六年六月

CADDS5与ADINA&T的接口开发

朱玉巧

(反应堆工程技术研究所)

摘 要 本文研制的程序旨在使国际上先进的机械设计软件包CADDS5与通用有限元分析软件ADINA相结合,充分利用前者优良的图形处理功能与后者强大的力学分析功能,建立一个前后配备完备,计算能力增强的CADDS5-ADINA分析系统,以求更有效地完成工程中所提出的有关力学问题。主要工作内容包:ADINA&T的移植,ADINA&T与CADDS5前后处理接口程序的编制,以及应用实例。

关键词 ADINA&T CADDS5 接口

1. 前言

力学分析的有限元分析技术已经取得了巨大成功,从线性分析发展到各类非线性分析(如材料行为非线性,几何大变形导致的非线性,接触行为引起的边界条件非线性等等),从单一的场分析发展到若干个场的耦合分析。如今,计算理论日趋完善,分析软件也高度商品化,力学分析的关键就在于对实际问题正确地建立数学模型和对计算结果进行正确分析,而前后处理技术是直接影有限元分析应用的难易程度、正确与否的重要技术。如果没有先进的前处理技术,每分析一个较大的实际问题都要准备成千上万的数据,用人工完成这项工作非常繁琐,有时是不可能的,而且错误不可避免,任何一个偶然错误就会导致整个分析失败。对后处理而言,由于有限元分析计算过程中产生大量的数字信息,人们只有对这些计算输出信息进行仔细的分析理解之后,才能洞察计算中发生的情况和问题,才能获得对研究对象的认识和理解,但这是十分费时和繁琐的过程,是一种不堪承受的重荷。人们期望用图象来显示模型的正确性和计算结果的物理量在各阶段的分布和状态,加快和加深对问题的总体认识,发现凭数值信息发现不了的规律,从而缩短研究设计周期和提高效率。

随着计算机图形学与CAD技术的迅速发展,国外研制了不少前后处理完善的力学分析的有限元分析商品软件,如ANSYS、MARC、NASTRAN等等。但这些软件都比较昂贵,根据目前的实际条件,我们进行了CADD5和ADINA&T程序的接口开发研究,将CADD5先进的、完善的前后处理技术与ADINA&T程序的强大分析功能有机结合起来,使我们的力学分析工作跟上国际先进水平。

2. 程序简介

CADD5是当今世界上先进的机械设计软件包之一,有着很强的图形处理功能^[2],其中Stresslab是一个一体化有限元系统,和CADD5一起使用,提供机械零件和系统的分析,它具有产生模型的预处理器,分析模型的求解器和复核模型的后处理器,具有解决线弹性机械系统的静力和自然频率求解能力^[3]。特别地,运用其前处理器可自动生成、修改、加密、改变网格,并实行自行过渡,而且它也可以根据计算结果抽取有用的部分,通过其后处理器为报告准备相关的图表,静动态显示结果变形以及绘制相关等值线,直观地显示计算结果。目前,该软件工作于UNIX平台。

ADINA分析系统是一个通用有限元程序,用于求解静力和动力、线性和非线性问题^[1]。它可用于分析结构和固体力学中的问题,也能用于分析热传导(及其它场)、液体流动、电磁等领域中的问题。该程序有着比较丰富的单元库和材料库,但其前后处理功能不完善,不能自动生成网格,也不能绘制相关等值线。其微机版采用的是NDP-FORTRAN编译系统^[5]。

3. 主要工作

CADD5装机于SUN工作站,为使用方便,我们有必要将ADINA&T进行移植。另外,工作站容量大,资源丰富,计算速度较快,对求解复杂的三维问题尤其有利。

前处理接口程序用于将CADD5产生的有限元模型数据处理成符合ADINA输入要求的标准数据;后处理接口程序用于将ADINA计算产生的

结果数据处理成 CADD5 可以接受的标准数据。由于有限元模型需考虑相当多的复杂因素如单元模式、载荷模式、求解类型等，并且要求对 CADD5 和 ADINA 都具有相当水平的了解，以及较高的编程水平，工作的难度是相当大的。

3.1 ADINA&T 向 UNIX 平台的移植

由于我们使用的微机版 ADINA&T 是采用 NDP FORTRAN 编译系统，与 SUN 工作站上 UNIX 的 FORTRAN 编译系统不兼容，大量的格式语句需要修改。另外，对部分依赖于系统的子程序进行了修改。为保证 ADINAT 程序的正常运行，对其数据文件进行了部分修改。具体的修改内容限于篇幅和本文的重点关系不大，在此不做详述。

移植后的 ADINA&T 程序保持了其原有的全部功能，并通过了全部标准算例。这样，除了可在微机上运行外，ADINA&T 也可在 SUN 工作站上运行并充分利用工作站资源，有助于提高解题规模和效率。

3.2 前处理接口程序的编制

3.2.1 前处理工作流程

我们启动 CADD5 的 EXPLICIT 或 PARAMETRIC 绘图方式，画出所要分析的几何模型，并做必要的线(面)分割。然后，进入 Stresslab 依次做以下操作：分区，设置参数，网格自动生成，节点优化排序，单元重新编号，检查重合节点，检查扭曲单元，施加内压及约束(若有必要)。最后，执行 Results 菜单中的 FORMATTER 输出数据交换文件。见图 1。

3.2.2 Stresslab 与 ADINA 单元类型比较

见表 1。根据表 1，得出结论：

(1) 对 Stresslab 中的二三维元、板壳元的单元信息作些修改，足够用于 ADINA 的二三维实体元，流体元以及板壳元。注意到 ADINA 中板壳元为 3 节点元。

(2) 一维元包括桁架与梁，仅考虑 2 节点元。

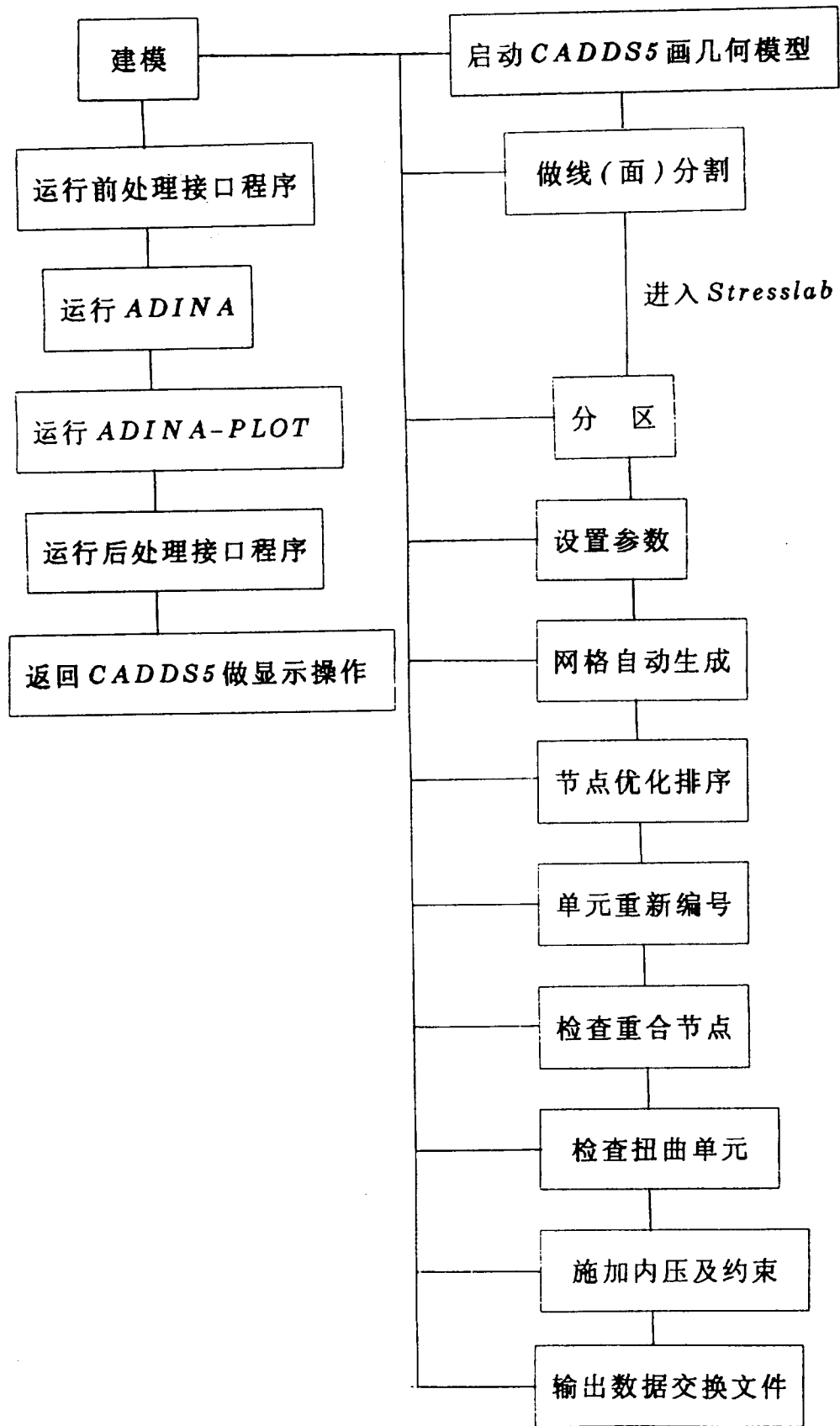





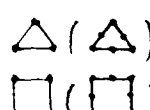

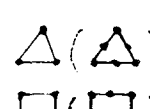

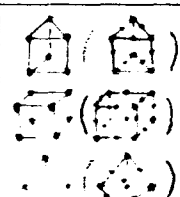
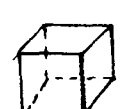


图 1 总流程图

表1 Stresslab与ADINA单元类型比较

Stresslab				ADINA	
类型	自由度数	节点	图	节点	图
桁架	3	2		2-4	
梁	6	2		2-4	
弹簧	6	1-2			
二维	2	3(6) 4(8)		3-8	
薄壳	6	3(6) 4(8)		3	
三维	3	6(15) 8(20) 4(10)		4-21	

(3) ADINA壳元使用较为广泛, 但 Stresslab缺少这类单元, 借用二三维元(如8节点元, 20节点元)修改某些信息来完成。

综上所述, 在以下前处理接口程序的编制过程中, 我们仅对 Stresslab的一维元(2节点)、二维元(3, 4, 6, 8节点)、三维元(6, 8, 15, 20节点)、板壳元(3节点)分别予以考虑即可。

3.2.3 选择合适的数据交换文件

由于 Stresslab提供了好几种与外部程序的接口文件, 所以我们力求选取最方便最完整的格式文件来进行处理。经过对 Stresslab, NASTRAN, ANSYS, STRDL, PATRAN, SDRG等数据接口文件的大量比较, 我们发现: ANSYS单元排序方式比较符合ADINA的要求, Stresslab则稍差一些; Stresslab可提供一些载荷信息, 可ANSYS却不能。另外, ANSYS接口文件并不能被读入。因此, 我们选用 Stresslab的数据接口文件来做进一步的工作。以下简称DIF。

3.2.4 编制过程中解决的一些主要问题

我们用FORTRAN语言编制相关的接口程序, 将上述DIF格式转换为ADINA可接受的标准格式。这些程序包括: 读写节点坐标、写控制信息、读取单元信息、对不同类型的单元分别进行Jacob检查并写单元信息、写ADINAT输入文件(如有必要)、处理退化元以及处理内压载荷及单点约束。见图2。我们解决的一些主要问题有:

(1) 节点虚设

经过3.2.1中所述的节点排序或其它异常情况, 可能会在某一共同边界上出现重合节点。我们建议在重合节点检查过程中自动合并节点和删除不参与单元形成的那些节点。基于种种原因, 可能出现节点编号不连续的情况, 但根据ADINA的输入要求, 对所有节点都必须定义其节点数据, 为此, 我们将所缺节点作为虚设点。同时, 根据单元维数的不同, 按ADINA所要求的节点坐标数据格式分别进行坐标系转换, 并正确输出所有节点坐标。

(2) 单元节点数识别

通常, 单元节点数随单元类型的不同会有所不同。在网格自动生成过程中, 即使对同一类单元, 也可能会出现线性退化元或二次退化

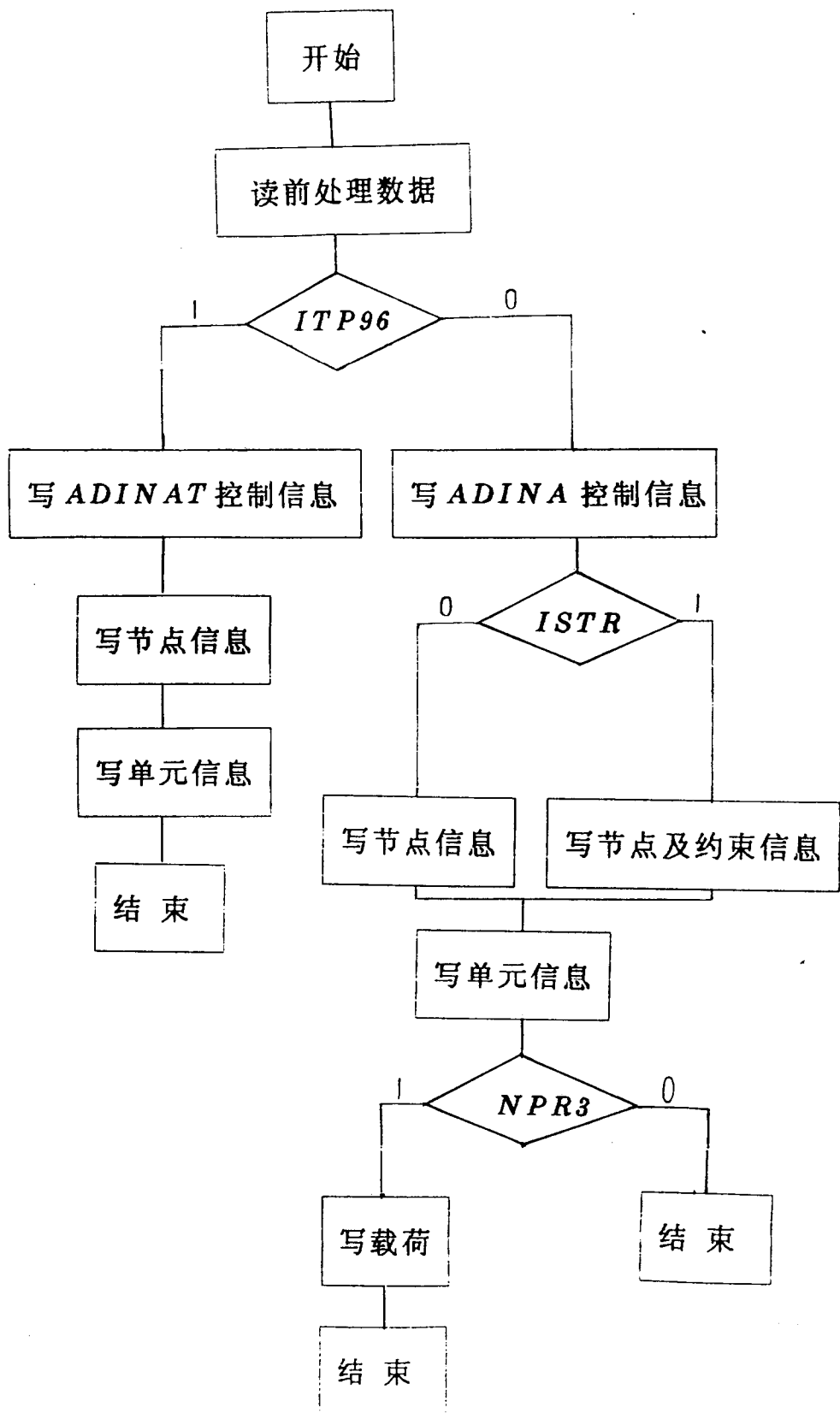


图 2 前处理接口程序的流程图

元与标准单元混用的情形（如3节点与4节点元，6节点与8节点元）。为了正确识别每一单元所采用的节点数，我们采用一些巧妙的编程技巧对其作一一辨别。

值得一提的是：对二维情形，四边形单元通过“迭合”一条边，可以退化为三角形单元。然而，这样得到的单元一般来说是空间非各向同性的。在ADINA程序中，为了得到空间各向同性单元，除了在程序中由 $NPAR(8)=1$ 作为退化标志外，还需满足带有1, 4或1, 4, 8的边为“迭合”边。因为在这种情况下，ADINA程序通过对插值函数作适当的修正，可以使单元空间各向同性化。注意，在接口程序编制过程中，我们考虑了上述退化元，而未考虑其余类型的退化元，因为网格自动生成可以提供很多的便利条件，我们可以通过不断地调整某些参数，采用精度较高的单元类型来进行网格划分。所以，我们建议少用，尽量不用退化元，尤其不用其余类型的退化元。事实上，ADINA程序也未对其余类型的退化元作修正。

三维情形类似于二维情形，不作重述。

(3) 单元节点排序

Stresslab中，所有单元的每个面上的节点编号或顺时针或逆时针，而且为依次排列。ADINA中总是先对面上的角节点进行排列，然后再排中节点，而且严格遵循逆时针方向（见表2）。否则，在ADINA计算过程中会出现单元Jacob行列式为零而出错的现象，而且二维与三维情形又稍有不同，针对这一点，我们采用向量乘法的概念分别予以解决。

首先，按ADINA单元节点排序方式调整DIF的单元信息，然后分别对二三维情形进行Jacob行列式检查，具体描述如下：

对二维，取顶点 (x_i, y_i) , $i=1, 2, 3$

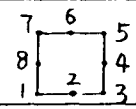
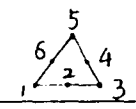
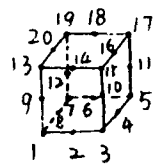

$$S' = \begin{vmatrix} x_1 & y_1 & 1 \\ x_2 & y_2 & 1 \\ x_3 & y_3 & 1 \end{vmatrix}$$

若 $S' > 0$ ，单元节点成逆时针方向，不必重调。

若 $S' < 0$ ，单元节点成顺时针方向，需重调。

对三维，取顶点 (x_i, y_i) , $i=1, 2, 3, 5$

表2 Stresslab 与 ADINA 单元节点排序比较

	Stresslab	ADINA
	1 2 3 4 5 6 7 8	1 3 5 7 2 4 6 8
	1 2 3 4 5 6	1 3 5 1 2 4 6 1
	1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20	13 15 17 19 1 3 5 7 14 16 18 20 2 4 6 8 9 10 11 12
	1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15	10 12 14 10 1 3 5 1 11 13 15 10 2 4 6 1 7 8 9 7

$$V' = \begin{vmatrix} x_1 & y_1 & z_1 & 1 \\ x_2 & y_2 & z_2 & 1 \\ x_3 & y_3 & z_3 & 1 \\ x_5 & y_5 & z_5 & 1 \end{vmatrix}$$

若 $V' < 0$ ，单元节点成逆时针方向，不必重调。

若 $V' > 0$ ，单元节点成顺时针方向，需重调。

(4) 关于载荷及约束的处理

建立 ADINA 输入文件，难点在于节点及单元信息的输入，对二三维问题，当有大面积的内压载荷作用时，该难点同样存在。这是因为在输入内压载荷时必须识别载荷作用的单元号及相应的面或边节点号，而网格自动生成成为这一识别工作又增加了一定难度，所以我们只能借助于原模型进行一些可视操作，对相关区域、节点施加内压载荷并按下述原则，对二三维元进行处理。

其主要原则为：从 DIF 文件中可知内压作用的单元及面（或边）号，按手册中面（或边）号的规则可查找其所对应的节点；注意到经过 Jacob 行列式判断，对单元的节点编号重新调序后，面（或边）并未改变（非面或边号），这样就可根据读取单元信息一节，追踪新的 ADINA 中的单元节点号，输出这些节点号；并按 ADINA 中的规定，使其成外法线方向，保证当载荷作用方向指向外法线负方向时，压力载荷为正值。

另外，由于 Stresslab 中施加温度是针对单元而言，所以在有指定温度载荷作用时，我们只好寻求一些别的途径来完成。具体地，我们借用施加集中载荷的方法来处理指定节点温度这一类载荷。

关于约束的处理：

Stresslab 提供了几种施加约束的选项，我们对 Geometry, Regions, Edges, Faces 等选项的研究发现，DIF 中并不能体现这方面的信息。因此，我们只能进行单点约束，并进行 ADINA 格式转换。

(5) ADINAT 文件的生成

求解温度场的网格要求不如求解应力场的网格要求苛刻，但一般工程热力学问题总是希望既了解温度场分布，又了解应力场的分布情况，且后者常常备受关注。对力学分析者来说，为能高效、准确地进行应力分析，选用同样的网格是首选，也是必然。基于这方面的考

虑，我们在为ADINA做输入文件的同时，也为ADINAT做了输入文件。根据实际需要，在主程序段通过输入参数ITP96来控制ADINAT文件是否要输出（详细描述见使用说明）。

考虑一般情况，我们将ADINA一维、二维实体元、板壳元、二维流体元和三维实体元、三维流体元分别归类于一维、二维、三维传导元，根据ADINAT要求的格式依次输出相关信息，这样就可交付ADINAT进行实际运算前的种种检查。稍后根据实际问题，修改很少的信息就可进行温度分析，记56号带，为ADINA分析提供所需节点温度数据。

3.3 后处理接口程序的编制

3.3.1 后处理接口程序的功能

运行ADINA程序，产生60号通道文件，ADINA-PLOT读取60号通道文件信息，可作绘图、列表或搜索操作；可以绘制整体或部分模型变形前后的网格图、振型、时间历程、线条变化和主应力；可以用类似FORTRAN语言方式自定义公式，计算一些合成量，如总位移、有效应力等；可以搜索列出若干个所要求的值或超过规定的结果。但是，它不能绘制位移、应力等值线。而CADD5可弥补该不足之处，它可以高品质的等值线或彩色填充曲线充分显示分析结果，而且它可以静动态显示几何变形图，以便更精确地检查关键区域。为充分利用CADD5的后处理功能，我们编制了后处理接口程序(SSS.F、SSS1.F、SSS2.F)，读ADINA-PLOT结果文件中的节点、单元信息，写成DIF格式，返回CADD5进行后处理操作。

3.3.2 后处理接口程序的工作流程

程序的大致流程如下：先执行ADINA-PLOT文件，得到其结果文件，根据单元类型的不同，分别建立后处理接口文件，搜索关键字，抽取有用的结果信息，记临时文件；读临时文件中的节点、单元信息，按DIF要求的格式输出所关心的结果，其中后缀为MOD的文件为经ADINA调序后，又重新按DIF单元排序方式输出的有限元网格信息；后缀为RES的文件为结果信息文件。见图3。

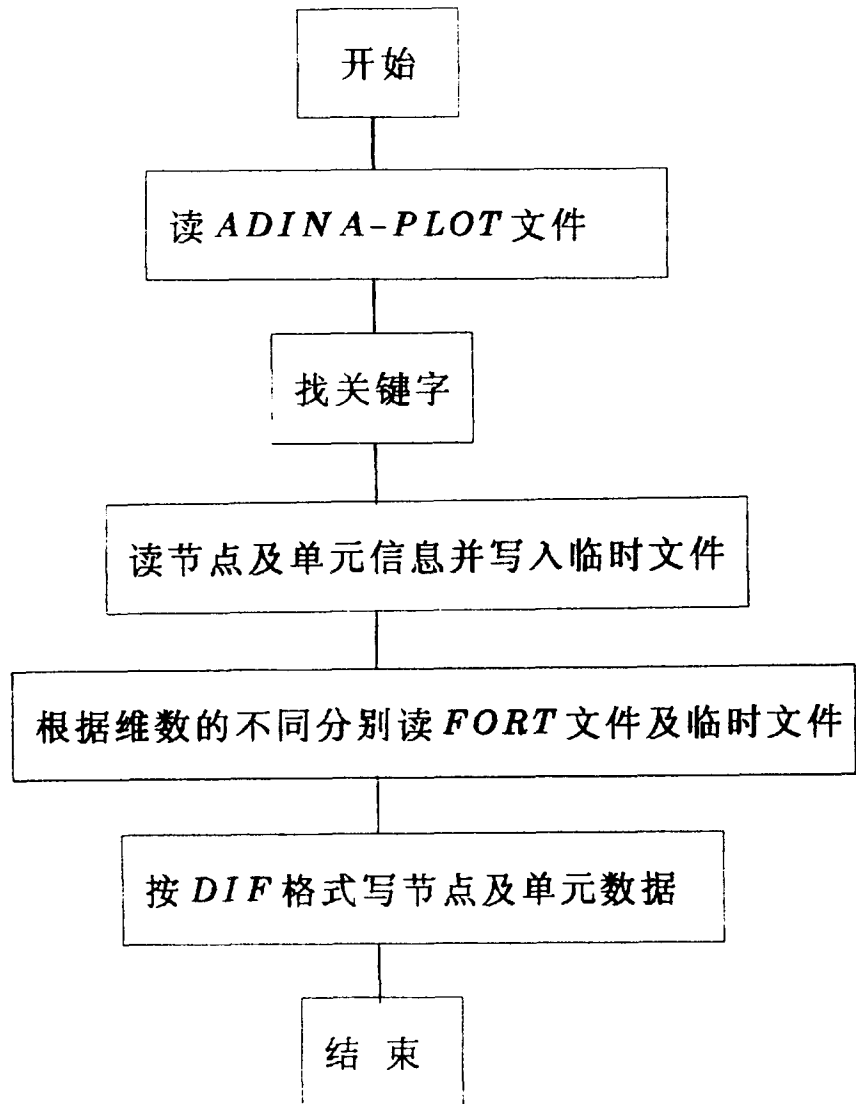


图3 后处理接口程序的流程图

将上述两个文件送回 CADD5 即可静动态显示网格变形图, 绘制节点位移、单元应力、应变的等值线图, 包括人们通常最关心的最大主应力、最小主应力、Von Mises、最大剪应力值, 并同时了解关键部位的应力水平。

4. 应用实例

图 4 为一三通结构^[4], 属于薄壁开孔接管容器, 无补强。其中, 主管 $R_o=84.0\text{cm}$, $R_i=76\text{cm}$, $DL=100\text{cm}$, 支管 $r_o=21.5\text{cm}$, $r_i=16.7\text{cm}$, $H_i=50\text{cm}$, 内压 $P=50\text{kg/cm}^2$, $E=2100000\text{kg/cm}^2$, $\mu=0.3$ 。我们采用 Stresslab 前处理器进行网格划分, 考虑到该问题为三维问题, 根据其对称性, 取其 1/4, 用三维 20 节点元来进行模型简化, 并在相应的对称面上施加相应的位移约束, 在支管端部施加均布拉力 76.05kg/cm^2 , 主管端部施加均布拉力 225.625kg/cm^2 , 图 5 为三通结构的计算模型, 图 6 为整个模型有限元网格图。

依次运行前处理接口、ADINA、ADINA-PLOT、后处理接口程序, 我们得到结果文件的 DIF 格式并绘制出相关的应力等值线。图 7 为整个模型的变形图, 图 8 为整个模型的 Von Mises 应力强度等值线图, 图 9 为沿 $y=0$ 截面的 Von Mises 应力强度等值线图, 图中不同颜色分别代表不同的应力值, 在这张图上很容易找出应力最大值点发生在支管与主管的内交界面上^[6]。

本例的特点在于求解规模大, 求解该问题共用 1044 个单元 5822 个节点, 486 微机需运行 2 小时, 占用 200 兆存贮空间。这样规模的问题使用 CADD5-ADINA 系统只需几天时间就可得到结果, 而以往用手工方法建立该模型则需要正确无误地输入 9907 行数据 (相当于一本 250 页的书), 并对近 40000 行的计算结果进行分析。

5. 结论

通过本文程序建立的 CADD5-ADINA 系统完整解决了复杂结构中常用的二、三维及板壳等问题的可视化计算问题, 充分考虑了各种载荷工况和约束条件, 最大限度地使力学分析工作者从上述复杂问题求解

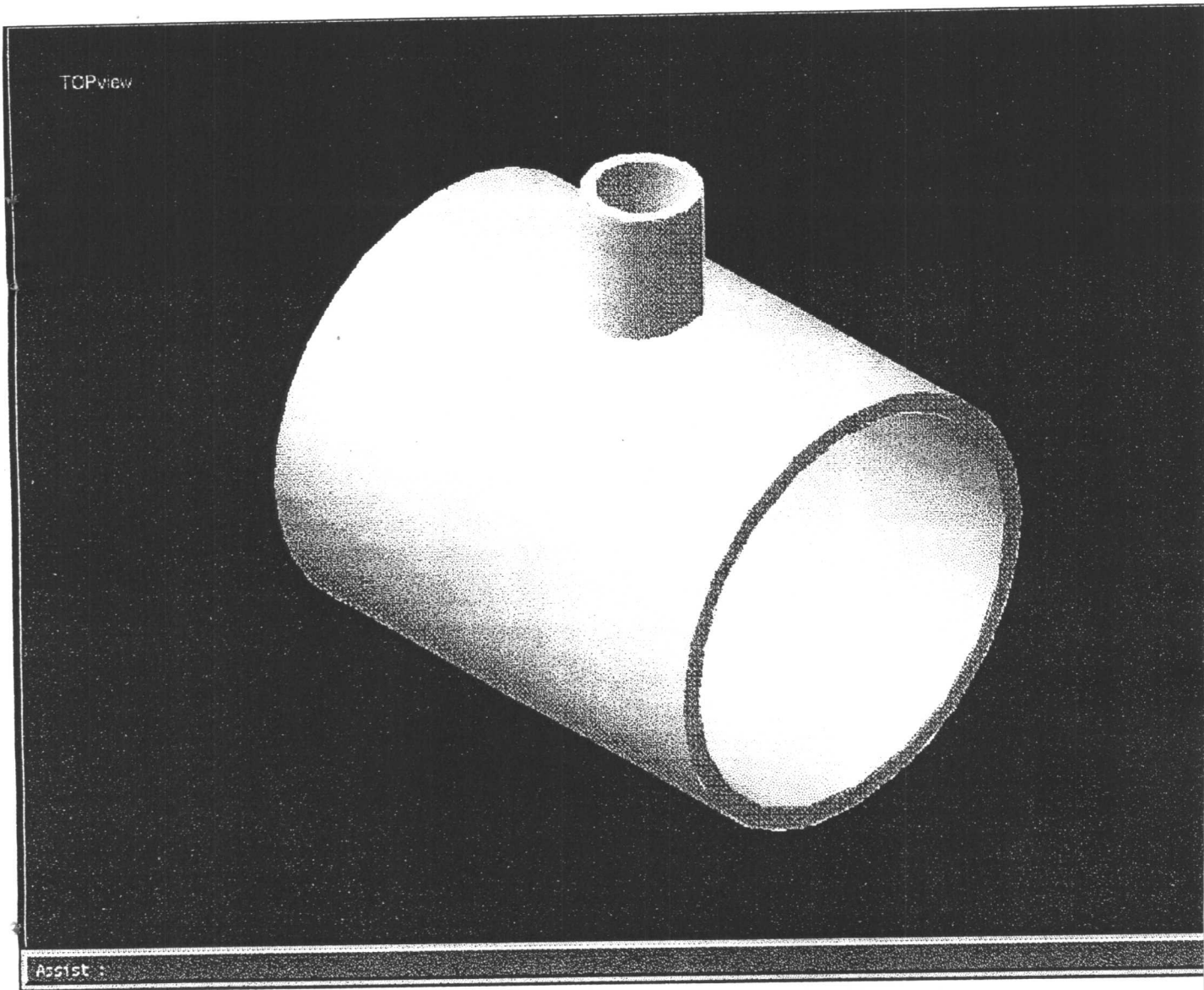


图4 三通结构图

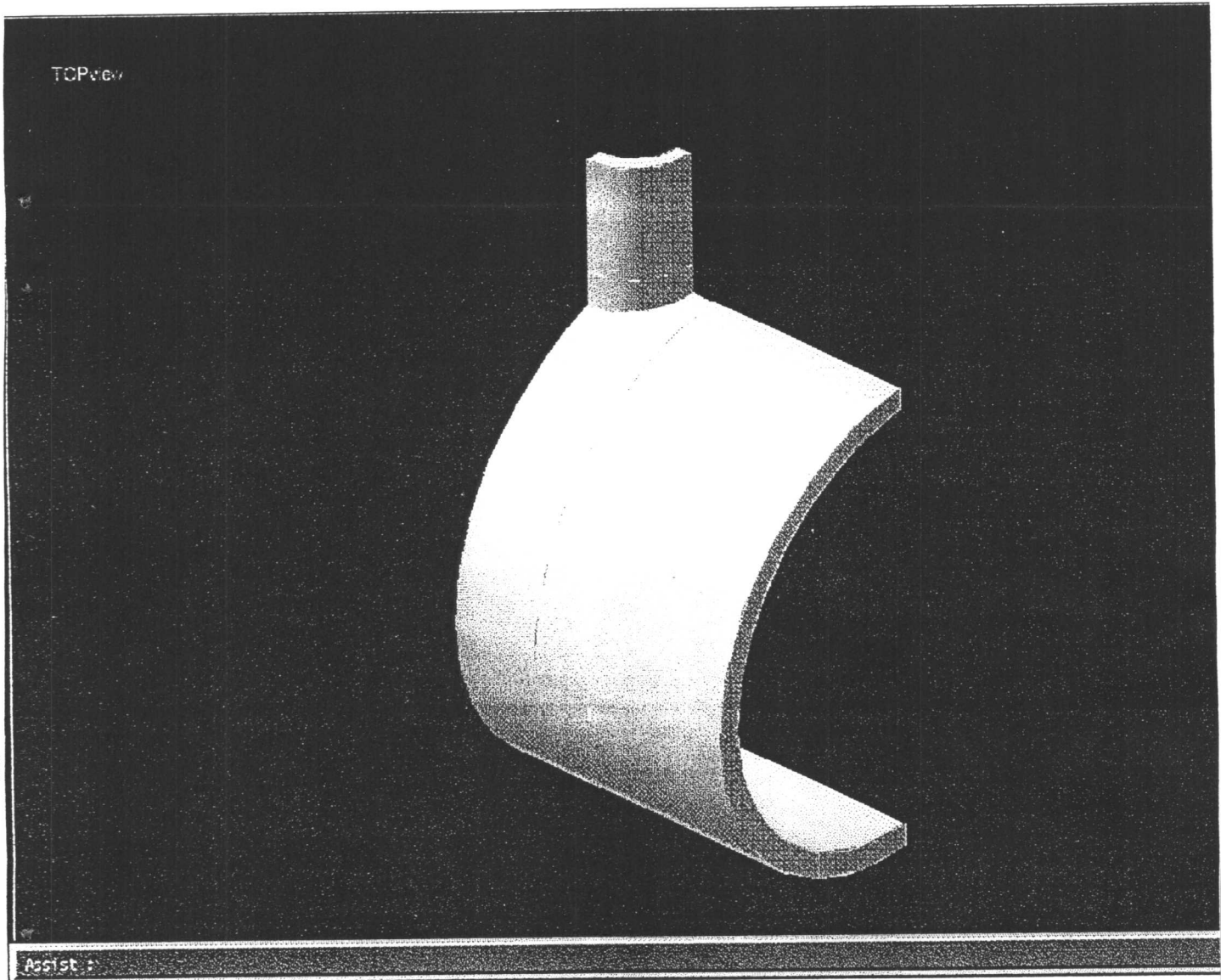


图5 三通结构计算模型图

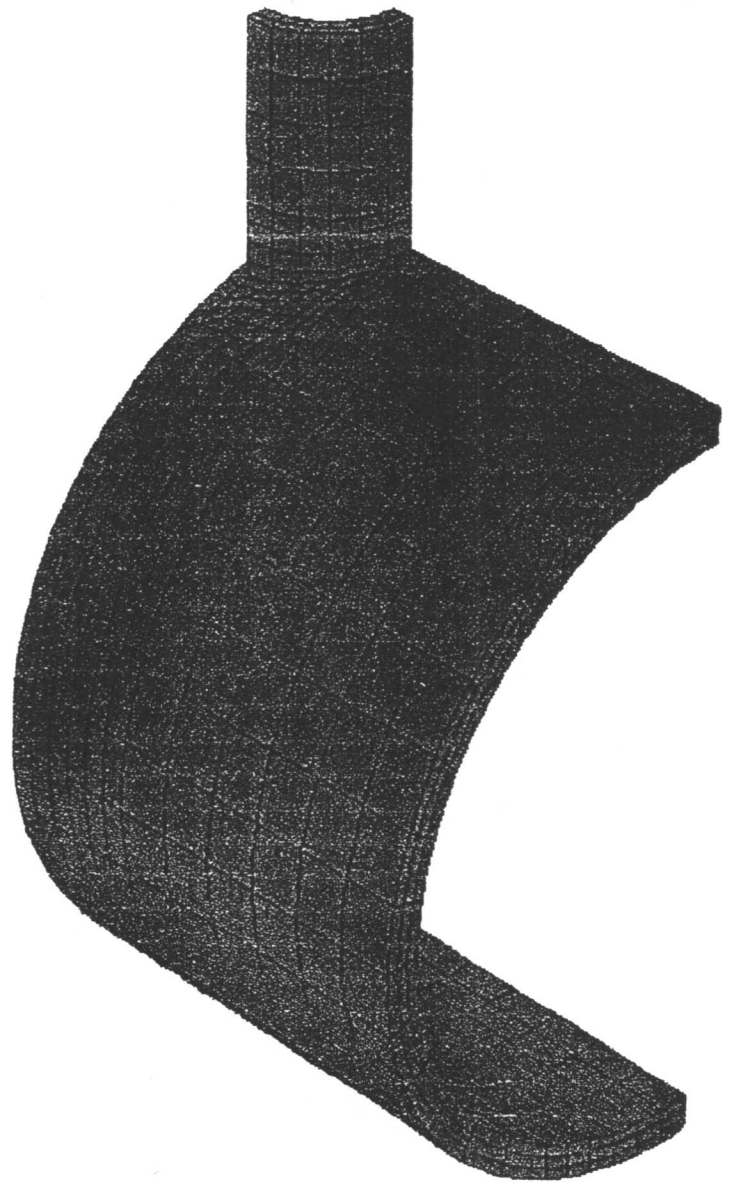


图6 整个模型有限元网格图