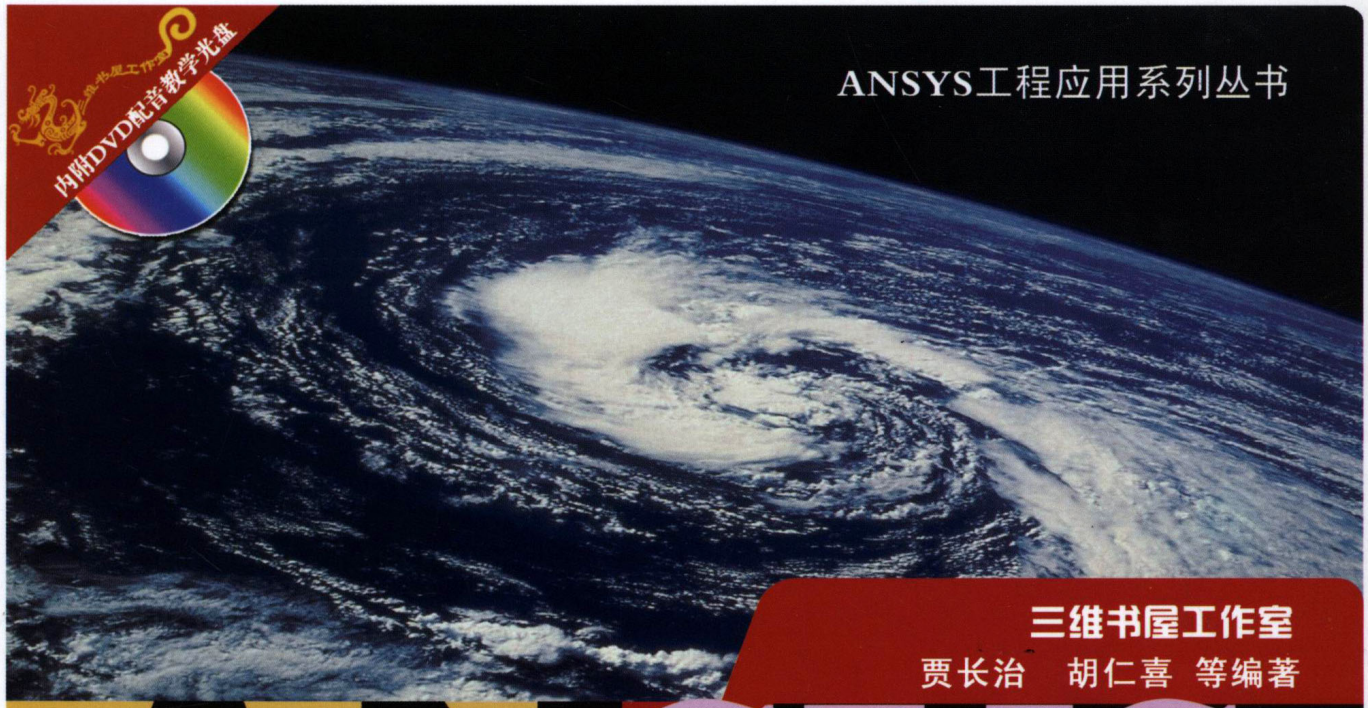
内附DVD配音教学光盘

ANSYS工程应用系列丛书



三维书屋工作室
贾长治　胡仁喜　等编著

ANSYS 14.5/FLOTRAN

视频操作 ■ 源文件 ■ 最终效果

流场分析从入门到精通

全面完整的知识体系
深入浅出的理论阐述
循序渐进的分析讲解
实用典型的实例引导

本丛书包含各书目分别由ANSYS工程应用领域的专家和学者执笔编写，书中溶入了他们多年研究的经验和体会，为了便于读者快速掌握ANSYS工程开发技巧，书中引用大量的工程案例。

机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS

ANSYS 14.5/FLOTRAN 流场分析从入门到精通

三维书屋工作室

贾长治 胡仁喜 等编著

机 械 工 业 出 版 社

本书共11章。第1章介绍了FLOTRAN分析概念和分析类型，使读者对FLOTRAN有初步的了解；第2章介绍了FLOTRAN分析的基本原理与基本属性；第3章介绍了FLOTRAN特性，包括坐标系、旋转参考系、涡流和分布式阻力的设置方法以及FLOTRAN命令的设置；第4章介绍了FLOTRAN CFD求解器和矩阵方程；第5章介绍了层流和湍流不可压缩流动FLOTRAN分析及实例；第6章介绍了可压缩流动FLOTRAN分析及实例；第7章介绍了VOF模型分析及实例；第8章介绍了FLOTRAN热分析及实例；第9章介绍了动网格的ALE分析及实例；第10章介绍了多组分传输分析及实例；第11章介绍了声学分析及实例。在各专题的讲解中，都介绍了相应的基本概念、理论以及利用ANSYS软件进行分析的基本过程，还介绍了相关的求解步骤。

本书适合流体力学专业高年级本科生或研究生作为自学教材，也可以作为流体力学研究人员和工程技术人员的参考学习资料。

图书在版编目（CIP）数据

ANSYS 14.5/FLOTRAN流场分析从入门到精通/贾长治等编著.
—2版. —北京：机械工业出版社，2013.11
ISBN 978-7-111-44902-7

Ⅰ.①A… Ⅱ.①贾… Ⅲ.①流场—流体力学—工程力学—计算机仿真—应用软件 Ⅳ.①TB126-39②O657.7-39

中国版本图书馆CIP数据核字（2013）第281961号

机械工业出版社（北京市百万庄大街22号 邮政编码100037）
策划编辑：曲彩云 责任编辑：曲彩云
责任印制：刘 岚
北京中兴印刷有限公司印刷
2014年2月第2版第1次印刷
184mm×260mm · 24.5印张 · 607千字
0 001—3 000册
标准书号：ISBN 978-7-111-44902-7
ISBN 978-7-89405-197-4（光盘）
定价：66.00元（含1DVD）

凡购本书，如有缺页、倒页、脱页，由本社发行部调换
策划编辑：(010)88379782

电话服务	网络服务
社服务中心：(010)88361066	教材网：http://www.cmpedu.com
销售一部：(010)68326294	机工官网：http://www.cmpbook.com
销售二部：(010)88379649	机工官博：http://weibo.com/cmp1952
读者购书热线：(010)88379203	封面无防伪标均为盗版

此为试读，需要完整PDF请访问：www.ertongbook.com

前　言

ANSYS 是融结构、流体、电场、磁场、声场分析于一体的大型通用有限元分析软件。它能与多数 CAD 软件（如 Pro/Engineer、NASTRAN、Alogor、I－DEAS、AutoCAD 等）进行连接，实现数据的共享和交换，是现代产品设计中的高级 CAD 工具之一。

ANSYS 软件可广泛地用于核工业、铁道、石油化工、航空航天、机械制造、能源、汽车、国防军工、电子、土木工程、造船、生物医学、轻工、地矿、水利和日用家电等一般工业及科学研究。ANSYS 软件的研究与开发不断汲取当今计算方法和计算机技术的最新发展成果，领导着有限元发展的趋势，并为全球工业界广泛接受，拥有全球最大的用户群。

目前，我国越来越多的专家和学者正在应用 ANSYS 进行各种问题的计算和分析，但相对缺乏的是 ANSYS/FLOTRAN 相关的学习和研究资料。出于此目的，我们结合自己的实际应用经验编写了本书，希望能满足读者的需求。

FLOTRAN 是常规流体分析模块，基于有限元方法，涵盖层流/湍流、不可压缩流/可压缩流、牛顿流/非牛顿流等常规流体计算功能而开发。

全书共 11 章。第 1 章介绍了 FLOTRAN 的基本概念和分析类型，使读者对 FLOTRAN 有初步的了解；第 2 章介绍了 FLOTRAN 分析的基本原理及基本属性，具体内容包括 FLOTRAN 单元特点、FLOTRAN 分析步骤、FLOTRAN 分析工具、比热容、密度和导热系数、粘度、表面张力系数以及壁面静态接触角等；第 3 章介绍了 FLOTRAN 特性，包括坐标系、旋转参考系、涡流和分布式阻力的设置方法以及 FLOTRAN 命令的设置；第 4 章介绍了 FLOTRAN CFD 求解器和矩阵方程，包括三对角矩阵算法、半直接共轭方向法和高斯消去法 3 种算法等；第 5 章介绍了层流和湍流不可压缩流动 FLOTRAN 分析及实例；第 6 章介绍了可压缩流动 FLOTRAN 分析及实例；第 7 章介绍了 VOF 模型分析及实例；第 8 章介绍了 FLOTRAN 热分析及实例；第 9 章介绍了动网格的 ALE 分析及实例；第 10 章介绍了多组分传输分析及实例；第 11 章介绍了声学分析及实例。在各专题的讲解中，都介绍了相应的基本概念、理论以及利用 ANSYS 软件进行分析的基本过程，还介绍了相关的求解步骤。

本书的最大特点是围绕流体分析精选一系列实例，所有实例均以图解方式进行讲解，使读者能够边学习边操练，更充分地享受阅读的乐趣和实用效果。随书附有一张光盘，读者可以通过观看录像的方式，学习各类有限元分析问题的方法。相当于老师在旁边手把手地指导，可起到事半功倍的效果。

本书由三维书屋工作室策划，军械工程学院的贾长治和胡仁喜主要编写，许洋、党沙沙、王义发、刘昌丽、王玉秋、张俊生、王佩楷、周冰、王培合、张日晶、王渊峰、董伟、王兵学、李瑞、王敏、王艳池、郑长松、王文平、路纯红、阳平华、康士廷、袁涛、李鹏、周广芬、卢园等为本书编写提供了大量帮助，在此深表感谢。

由于编者的经验和水平有限，书中缺点和错误在所难免，诚恳希望读者登录 www.sjzsanweishuwu.com 或联系 win760520@126.com 批评指正。

编　者

目 录

前言
第 1 章 FLOTRAN 流体力学分析概述 1
1.1 FLOTRAN CFD 分析的概念 2
1.2 FLOTRAN 分析类型 2
1.2.1 层流分析 2
1.2.2 湍流分析 3
1.2.3 热分析 3
1.2.4 可压缩流动分析 3
1.2.5 非牛顿流动分析 3
1.2.6 多组分传输分析 3
1.2.7 自由表面分析 3
第 2 章 FLOTRAN 分析的基本原理与基本属性 4
2.1 FLOTRAN 单元的特点 5
2.1.1 FLUID141 单元 5
2.1.2 FLUID142 单元 11
2.2 FLOTRAN 单元的局限性 15
2.3 FLOTRAN 分析步骤 17
2.3.1 确定问题的区域 17
2.3.2 确定流体的状态 17
2.3.3 生成有限元网格 17
2.3.4 施加边界条件 18
2.3.5 设置 FLOTRAN 分析参数 18
2.3.6 求解 18
2.3.7 检查结果 18
2.4 FLOTRAN 单元相关文件 18
2.4.1 结果文件 19
2.4.2 打印文件 19
2.4.3 残差文件 19
2.4.4 重启动文件 20
2.4.5 FLOTRAN 重启动分析（续算） 20
2.5 提高收敛性和稳定性常用的工具 21
2.5.1 松弛因子 21
2.5.2 惯性松弛 21
2.5.3 修正的惯性松弛 21
2.5.4 人工粘性 22
2.5.5 速度限制 22

2.5.6 面积积分阶次 22
2.6 评价 FLOTRAN 分析 23
2.7 验证结果 23
2.8 流体基本属性 24
2.8.1 比热容 24
2.8.2 密度和导热系数 25
2.8.3 粘度 26
2.8.4 表面张力系数 27
2.8.5 壁面静态接触角 27
2.8.6 设置流体性质的步骤 28
2.9 初始属性和变化属性 30
2.10 使用 ANSYS 非牛顿流体性质 30
2.10.1 激活 Power Law 模型 30
2.10.2 激活 Carreau 模型 31
2.10.3 激活 Bingham 模型 31
2.11 用户编程定义属性 32
第 3 章 FLOTRAN 特性 33
3.1 坐标系 34
3.2 旋转参考系 35
3.3 涡流 35
3.4 分布式阻力 36
3.5 FLOTRAN 设置命令 37
3.5.1 FLOTRAN 求解控制命令 37
3.5.2 FLOTRAN 执行及输出控制命令——稳态控制参数设置 37
3.5.3 FLOTRAN 执行及输出控制命令——瞬态控制参数设置 38
3.5.4 FLOTRAN 输出及保存文件控制 40
3.5.5 FLOTRAN 输出收敛监测量的控制 42
3.5.6 FLOTRAN 流体类型及其特性的可变性控制 43
3.5.7 FLOTRAN 流体性质参数设定 44
3.5.8 FLOTRAN 分析的坐标系统的指定 45
3.5.9 FLOTRAN 分析参考条件的设置 46
3.5.10 指定 FLOTRAN 分析的旋转坐标系统 47
3.5.11 指定 FLOTRAN 分析的重力加速度 48
3.5.12 设置有助于 FLOTRAN 求解稳定的参数 48
3.5.13 设定 FLOTRAN 自由度松弛因子 49
3.5.14 设定 FLOTRAN 流体性质松弛因子 49
3.5.15 设置 FLOTRAN 分析的自由度限值 50
3.5.16 选择 FLOTRAN 各自由度相应的求解器 50
3.5.17 对 FLOTRAN 各求解器的控制 52

3.5.18 设置 FLOTRAN 湍流模型的一些常数 57
3.5.19 重新设定 FLOTRAN 各分析参数的值 58
3.5.20 控制 FLOTRAN 面积积分的阶次(Quadrature Order) 59
3.5.21 FLOTRAN 多组分疏运分析的设置及控制 60
3.5.22 定义 FLOTRAN 的重启动（续算）控制 65
3.5.23 设置并执行一个零迭代 FLOTRAN 分析 67
第 4 章 FLOTRAN CFD 求解器和矩形方程 68
4.1 三对角矩阵算法 69
4.2 半直接求解 70
4.2.1 预条件广义最小残差（PGMR）求解器 71
4.2.2 预条件 BICGStab(PBCGM)求解器 71
4.3 稀疏直接求解 72
第 5 章 不可压缩流动 FLOTRAN 分析及实例 73
5.1 激活湍流模型 74
5.1.1 雷诺数 74
5.1.2 层流和湍流的判断 74
5.1.3 湍流比和入口参数 74
5.1.4 湍流模型 75
5.2 网格要求 77
5.3 流动边界条件 78
5.4 难点问题分析 81
5.5 问题描述 83
5.5.1 模型尺寸 83
5.5.2 理论假设 83
5.6 2-D 管道流动分析（层流模型） 84
5.6.1 前处理 84
5.6.2 求解 89
5.6.3 后处理 91
5.6.4 命令流模式 94
5.7 2-D 管道流动分析（增加来流速的层流模型） 98
5.7.1 前处理 98
5.7.2 求解过程 104
5.7.3 后处理 106
5.7.4 命令流模式 110
5.8 2-D 管道流动分析（增加出口段长度的层流模型） 110
5.8.1 前处理 110
5.8.2 求解过程 116
5.8.3 后处理 117
5.8.4 命令流模式 120

此为试读，需要完整PDF请访问：www.ertongbook.com

5.9 2-D 管道湍流流动分析（增加出口段长度的湍流模型） 121
5.9.1 前处理 121
5.9.2 求解过程 126
5.9.3 后处理 128
5.9.4 命令流模式 131
第 6 章 可压缩流动 FLOTRAN 分析及实例 132
6.1 可压缩流动 FLOTRAN 分析简介 133
6.1.1 物理性质计算 133
6.1.2 边界条件 134
6.1.3 结构和非结构网格 135
6.1.4 求解方案 135
6.2 喷管内超音速可压缩流动分析 136
6.2.1 问题描述 136
6.2.2 前处理 136
6.2.3 求解 146
6.2.4 后处理 153
6.2.5 命令流模式 154
第 7 章 VOF 模型分析及实例 155
7.1 VFRC 载荷 156
7.1.1 初始 VFRC 载荷 156
7.1.2 建立 VFRC 载荷的边界 156
7.2 输入设置 157
7.2.1 外界条件 157
7.2.2 VFRC 公差 158
7.2.3 VOF 时间步 159
7.3 通过障碍物的水流流动初步发展分析 159
7.3.1 问题描述 159
7.3.2 前处理 160
7.3.3 求解 173
7.3.4 后处理 176
7.3.5 命令流模式 178
7.4 大坝 VOF 分析 178
7.4.1 问题描述 178
7.4.2 前处理 179
7.4.3 求解 185
7.4.4 后处理 187
7.4.5 命令流模式 190
7.5 振荡液滴的 VOF 模型分析 190
7.5.1 问题描述 190

7.5.2 前处理 191
7.5.3 求解 197
7.5.4 后处理 199
7.5.5 命令流模式 201
第 8 章 FLOTRAN 热分析及实例 202
8.1 FLOTRAN 热分析简介 203
8.1.1 FLOTRAN 热分析的功能 203
8.1.2 FLOTRAN 热分析的基本要求 203
8.2 FLOTRAN 热分析求解 205
8.2.1 FLOTRAN 热分析的求解内容 205
8.2.2 FLOTRAN 热分析方法 205
8.2.3 FLOTRAN 热分析的基本步骤 206
8.3 求解方法 207
8.3.1 连续流体性质 207
8.3.2 强制对流 208
8.3.3 自然对流 208
8.3.4 共轭传热 209
8.4 层流流体受均匀壁面热通量 210
8.4.1 问题描述 210
8.4.2 前处理 211
8.4.3 求解 219
8.4.4 后处理 222
8.4.5 命令流模式 228
8.5 空腔中空气的热稳态层流分析 228
8.5.1 问题描述 228
8.5.2 前处理 228
8.5.3 求解 234
8.5.4 后处理 236
8.5.5 命令流模式 240
第 9 章 动网格的 ALE 分析及实例 241
9.1 ALE 方法简介 242
9.2 对称扭转 ALE 分析 243
9.2.1 问题描述 243
9.2.2 前处理 245
9.2.3 求解 255
9.2.4 后处理 257
9.2.5 命令流模式 259
9.3 容积可变式容器的 ALE/VOF 分析 259
9.3.1 问题描述 259

9.3.2 前处理 260
9.3.3 求解 268
9.3.4 后处理 270
9.3.5 命令流模式 272
9.4 动圆柱的 ALE 分析 272
9.4.1 问题描述 272
9.4.2 前处理 272
9.4.3 求解 283
9.4.4 后处理 287
9.4.5 命令流模式 289
9.4.6 思考与讨论 289
第 10 章 多组分传输分析及实例 291
10.1 混合类型 292
10.2 多组分传输分析的基本步骤 293
10.3 两相热交换分析及实例 295
10.3.1 问题描述 295
10.3.2 前处理 295
10.3.3 求解 305
10.3.4 后处理 311
10.3.5 命令流模式 313
10.4 三种气体混合分析及实例 313
10.4.1 问题描述 313
10.4.2 前处理 314
10.4.3 求解 325
10.4.4 二次前处理 326
10.4.5 二次求解 335
10.4.6 后处理 338
10.4.7 命令流模式 341
第 11 章 声学分析及实例 342
11.1 声学分析步骤 343
11.1.1 建立模型 343
11.1.2 划分网格 344
11.1.3 设置边界条件并计算 345
11.2 流固耦合声学分析 348
11.2.1 问题描述 348
11.2.2 前处理 348
11.2.3 求解 359
11.2.4 后处理 361
11.2.5 命令流模式 365

11.3 房间内的声学分析 365
11.3.1 问题描述 365
11.3.2 前处理 365
11.3.3 求解 379
11.3.4 后处理 380
11.3.5 命令流模式 381

此为试读，需要完整PDF请访问：www.ertongbook.com

第 1 章

FLOTRAN 流体分析概述

本章主要介绍了 FLOTRAN 流体分析的基本概念和分析类型。

分析类型主要有层流分析、湍流分析、热分析、可压缩流动分析、非牛顿流动分析、多组分传输分析、自由表面分析。

学习要点

- 了解 FLOTRAN 流体分析的基本概念
- 了解 FLOTRAN 分析类型

1.1 FLOTRAN CFD 分析的概念

ANSYS 程序中的 FLOTRAN CFD 分析功能是一个用于分析二维及三维流体流动场的先进工具。使用 ANSYS 中用于 FLOTRAN CFD 分析的 FLUID 141 和 FLUID 142 单元，可解决如下问题：

1）作用于气动翼（叶）型上的升力和阻力；

2）超音速喷管中的流场；

3）弯管中流体的复杂的三维流动。

同时，FLOTRAN 还具有如下功能：

1）计算发动机排气系统中气体的压力及温度分布；

2）研究管路系统中热的层化及分离；

3）使用混合流研究来估计热冲击的可能性；

4）用自然对流分析来估计电子封装芯片的热性能；

5）对含有多种流体（由固体隔开）的热交换器进行研究。

1.2 FLOTRAN 分析类型

1）层流分析；

2）湍流分析；

3）热分析；

4）可压缩流动分析；

5）非牛顿流动分析；

6）多组分传输分析；

7）自由表面分析。

这些分析类型并不相互排斥，例如，一个层流分析可以是传热的或者是绝热的，一个湍流分析可以是可压缩的或者是不可压缩的。

1.2.1 层流分析

层流流动就是流体层与层之间相互没有干扰，层与层之间既没有质量的传递也没有动量的传递。判断流动是否是层流，应看其雷诺数是否超过临界雷诺数。雷诺数的定义如下：

$$Re = \frac{VL}{\nu} \tag{1-1}$$

式中，V 为截面处流体的平均速度；L 为特征长度；ν 为流体的运动粘度。

对于圆形管内流动，特征长度 L 取圆管的直径 d。一般认为临界雷诺数为 2320，即：当 $Re<2320$ 时，管中是层流。

层流中的速度场都是平滑而有序的，高粘性流体（如石油等）的低速流动通常就是

层流。

1.2.2 湍流分析

湍流流动就是层与层之间相互干扰，而且干扰的力度还会随着流动而加大，层与层之间既有质量的传递也有动量的传递。判断流动是否是湍流，应看其雷诺数是否超过临界雷诺数。

对于圆形管内流动，一般认为临界雷诺数为 2320，即：当 Re>2320 时，管中是湍流。

湍流分析用于处理那些由于流速足够高和粘性足够低从而引起湍流波动的流体流动情况，ANSYS 中的二方程湍流模型考虑了在平均流动下的湍流速度波动的影响。如果流体的密度在流动过程中保持不变或者当流体压缩时只消耗很少的能量，则该流体就可认为是不可压缩的。不可压缩流体的温度方程将忽略流体动能的变化和粘性耗散。

1.2.3 热分析

流体分析中通常还会求解流场中的温度分布情况。如果流体性质不随温度而变，就可不求解温度方程。在共轭传热问题中，要在同时包含流体区域和非流体区域（即固体区域）的整个区域上求解温度方程。在自然对流传热问题中，流体由于温度分布的不均匀性而导致流体密度分布的不均匀性，从而引起流体的流动，与强迫对流问题不同的是，自然对流通常都没有外部的流动源。

1.2.4 可压缩流动分析

对于高速气流，由很强的压力梯度引起的流体密度的变化将显著地影响流场的性质，ANSYS 对于这种流动情况会使用不同的解算方法。

1.2.5 非牛顿流动分析

应力与应变率之间成线性关系的理论并不能足以解释所有流体的流动。对于非牛顿流体，ANSYS 程序提供了三种粘性模式和一个用户自定义子程序。

1.2.6 多组分传输分析

这种分析通常是用于研究有毒流体物质的稀释或大气中污染气体的传播情况，同时，它也可用于研究有多种流体同时存在（但被固体相互隔开）的热交换分析。

1.2.7 自由表面分析

自由表面分析可以求解无约束气液表面问题，可以解决二维平面和轴对称问题。

第 2 章

FLOTRAN 分析的基本原理与基本属性

在进行 FLOTRAN 分析之前，需要了解 FLOTRAN 单元类型、FLOTRAN 分析步骤、FLOTRAN 分析工具，以及如何进行分析评价。

本章主要介绍了 FLOTRAN 流体的基本原理及基本属性、初始属性和变化属性，以及用户编程定义属性。

学习要点

- 了解 FLOTRAN 单元特点
- 理解 FLOTRAN 分析步骤
- 了解 FLOTRAN 分析步骤，以及如何进行分析评价
- 了解 FLOTRAN 流体的基本属性
- 了解 FLOTRAN 流体初始属性和变化属性

2.1 FLOTRAN 单元的特点

ANSYS 中的 FLOTRAN 单元，即 FLUID141 和 FLUID142，用于解算单相粘性流体的二维和三维流动、压力和温度分布。对于这些单元，ANSYS 通过质量、动量和能量三个守恒定律来计算流体的速度分量、压力及温度。下面介绍 FLUID141 和 FLUID142 单元。

2.1.1 FLUID141 单元

1．FLUID141 单元特征

维　数：二维。

形　状：四节点四边形或三节点三角形。

自由度：速度、压力、温度、湍流动能、湍流能量耗散、多达 6 种流体的各自质量所占的份额。

2．FLUID141 单元描述

FLUID141 可以用来建立包括流体和（或）非流体区域的瞬态或稳态流体、热系统的模型。在流体区域求解粘性流体流动和能量守恒方程，而在非流体区域只能求解能量方程。用这个 FLOTRAN CFD 单元可求解一个区域内的流动和温度分布。在一个流体固体耦合系统中也可以使用 FLUID141。在 *Theory Reference for ANSYS and ANSYS Workbench* 中可以看到关于 FLUID141 的更多细节。

对于 FLOTRAN CFD 单元，根据动量守恒原理可以得到速度，根据质量守恒原理可以得到压力（如果需要的话，可根据能量守恒原理得到温度）。使用分离顺序求解运算法则，即分别求解根据对每个自由度控制方程的有限元离散得到的矩阵系统。流动问题时非线性的，且控制方程耦合在一起。与任意依赖于温度或压力的性质的校正联系在一起，所有控制方程的顺序求解构成了整体迭代。依赖于问题的尺寸和稳定性，需要得到收敛解的整体迭代数可能会适当地变化。

在一个以恒定角速度旋转的坐标系中可以求解方程。自由度为速度、压力和温度。如果使用一个任意的湍流模型，可以计算两个湍流量：湍流动能和湍流能量耗散率。对于轴对称模型，可以计算垂直于平面的一个任意的涡旋速度 VZ。在入口处或一个边界（移动壁面）上也可以得到涡旋。

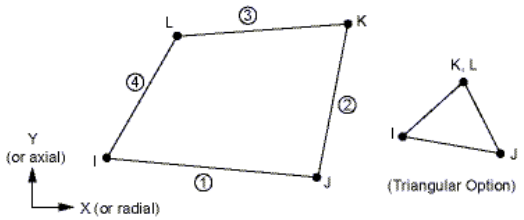


图 2-1 FLUID141 的几何形状

图 2-1 所示为 FLUID141 的几何形状、节点位置和坐标系。可以通过三个节点（三角形）或四个节点（四边形）及均匀的材料性质定义单元。根据 KEYOPT(3)的值选择坐标系，而坐标系可以是笛卡尔坐标系，轴对称坐标系或极坐标系。

节点和单元载荷描述了单元载荷。对于流体固体交互分析，使用命令 SF 系列（SF，SFA、SFE 或 SFL）和 FSIN 表面载荷标签来施加流体固体交互标记。在发生载荷传递的固体分界面处也必须施加相同的分界面数。

（1）FLUID141 流体单元　若一个 FLUID141 单元的材料数为 1，就假设此单元为一个流体单元。其密度、粘度、导热系数和比热容可通过一系列 FLDATA 命令来定义。只能分析一种流体，且流体必须处在单相中。仅当问题在本质上为热问题时，导热系数和比热容才是相关的（及必需的）。通过由“FLDATA7，PRO”命令确定的关系或者通过一个性质数据库（文件 floprp.ans），性质可以是温度的函数。除此之外，如果流体为空气或某种气体，其密度可能随压力变化（由理想气体定理）。

可以使用 6 个湍流模型。用“FLDATA1,SOLU,TURB,T”命令激活湍流模型。沿着标准 k-ε 模型的 4 个延展方向可以使用标准 k-ε 模型和零方程湍流模型 KEYOPT(1)激活“multiple species transport”，这使得在主流体中能够追踪多达 6 种不同流体（种类）的输送。当使用任意拉格朗日-欧拉方程时，KEYOPT(4)能够使用位移自由度来确定边界的运动。如表 2-1 所示，当且仅当一个分布阻力(FLUID141 分布阻力)、一个风扇模型（FLUID 141 风扇模型）、一个壁面粗糙度（FLUID141 壁的表面粗糙度）或一个 ALE 公式包括在内时，实常数才是必需的。

（2）FLUID141 分布阻力　分布阻力提供了一种便利的方法来估计多孔介质效应或者其他实际上没有建立那些特征的几何形状模型的流动区域特征效应。这种效应是一种人为施加的、与没有明确建模的几何形状有关的不可恢复的损失。任一具有分布阻力的流体单元都有一个比赋值 1 大得多的实常数[REAL]。

（3）FLUID141 风扇模型　风扇模型提供了一个便利的方法来估计流动区域的风扇或泵效应。此效应为人为施加的动量源，它提供了与没有明确建模的风扇或泵相关的动量源。通过压力梯度乘以沿具有风扇模型实常数的单元的流动长度给定了与风扇模型相关的压力增长。对于一个一维风扇模型（实常数 TYPE=4），输入三个系数。对于 X 方向如下所示，压力梯度可视为速度的二次方程。

$$\frac{\partial p}{\partial x}_{fan} = C_1 + C_2 \left| V_x \right| + C_3 V_x^2$$

式中，V 为流体速度；C_1、C_2 和 C_3 为常数。对于一个任意方向的风扇模型（实常数 TYPE=5），三个系数为实际系数沿坐标方向的分量。

（4）FLUID141 非流体单元　如果单元的材料数[MAT]大于 1，可以假定该单元为非流体单元。在非流体单元中只能求解能量方程。可以定义多达 100 个不同的非流体材料。为了确定非流体单元的密度、比热容和导热系数，可使用 MP 命令。

非流体性质的温度变化是允许的，并可由 MP 或 MPDATA 确定。正交各向异性变化也是允许的，但是有限制，即空间上的变化总是与球坐标系有关。值得注意的是，对于非流体 FLUID141 单元，单元实常数没有意义。

此为试读，需要完整PDF请访问：www.ertongbook.com