
目 录

第一章	FLOTTRAN 计算流体动力学(CFD)分析概述	1
第二章	FLOTTRAN 分析基础	3
第三章	FLOTTRAN 设置命令	14
第四章	FLOTTRAN 边界条件	59
第五章	FLOTTRAN 层流和湍流分析算例	65

第一章 FLOTRAN 计算流体动力学(CFD)分析概述

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的工具,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:

- 作用于气动翼(叶)型上的升力和阻力
- 超音速喷管中的流场
- 弯管中流体的复杂的三维流动

同时, FLOTRAN 还具有如下功能:

- 计算发动机排气系统中气体的压力及温度分布
- 研究管路系统中热的层化及分离
- 使用混合流研究来估计热冲击的可能性
- 用自然对流分析来估计电子封装芯片的热性能
- 对含有多种流体的(由固体隔开)热交换器进行研究

FLOTRAN 分析的种类

FLOTRAN 可执行如下分析:

- 层流或紊流
- 传热或绝热
- 可压缩或不可压缩
- 牛顿流或非牛顿流
- 多组份传输

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,一个紊流分析可以是可压缩的或者是不可压缩的。

层流分析

层流中的速度场都是平滑而有序的,高粘性流体(如石油等)的低速流动就通常是层流。

紊流分析

紊流分析用于处理那些由于流速足够高和粘性足够低而引起紊流波动的流体流动情况,ANSYS 中的二方程紊流模型可计及在平均流动下的紊流速度波动的影响。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,该流体就可认为是不可压缩的,不可压缩流的温度方程将忽略流体动能的变化和粘性耗散。

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。

可压缩流分析

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。

非牛顿流分析

应力与应变率之间成线性关系的这种理论并不能足以解释很多流体的流动，对于这种非牛顿流体，ANSYS 程序提供了三中粘性模式和一个用户自定义子程序。

多组份传输分析

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

第二章 FLOTRAN 分析基础

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性质来计算流体的速度分量、压力、以及温度。

FLUID141 单元

FLUID141 单元具有下列特征：

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、紊流动能、紊流能量耗散、多达六种流体的各自质量所占的份额

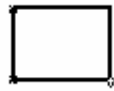
FLUID142 单元

FLUID142 单元具有下列特征：

维数：三维

形状：四节点四面体或八节点六面体

自由度：速度、压力、温度、紊流动能、紊流能量耗散、多达六种流体的各自质量所占的份额



FLUID141 单元

FLUID142 单元

FLUID 单元的其他特征

FLUID 单元的其他特征包括：

- 用于模拟紊流的二方程紊流模式
- 有很多推导结果，诸如：流场分析中的马赫数、压力系数、总压、剪应力、壁面处的 y-plus、以及流线函数；热分析中的热流、热交换（膜）系数等。
- 流体边界条件，包括：速度、压力、紊流动能以及紊流能量耗散率。用户无需提供流场进口处紊流项的边界条件，因 FLOTRAN 对此提供的缺省值适用于绝大多数分析。
- 热边界条件，包括：温度、热流、体积热源、热交换（膜）系数。

用户可使用的坐标系有：的卡尔坐标系、柱坐标系、极坐标系和轴对称坐标系。如果所计算的问题是轴对称的，激活旋转（swirl）选项即可算出垂直于对称平面的速度分量。

使用 FLOTRAN 单元的一些限制及注意事项

FLOTRAN 单元的一些局限性:

- 在同一次分析中不能改变求解的区域
- 单元不支持自由流面边界条件
- ANSYS 程序的某些特征不能同 FLOTRAN 单元一起使用
- 使用 FLOTRAN 单元时不能使用某些命令或菜单
- 当使用 ANSYS 的图形用户界面时, 程序将只能显示那些在菜单和对话框中的 FLOTRAN SetUp 部分要求的特征和选项。

FLOTRAN 单元使用中的一些限制

当使用 FLOTRAN 单元时, 要避免使用 ANSYS 的某些特征和命令, 至少, 要注意到在使用 FLOTRAN 单元时与别的分析稍微有些不同, 当使用了无效的命令时, 程序会给出相应的警告或错误信息。使用 FLOTRAN 单元要注意如下几点 (下面所列命令相应的菜单路径请参见 ANSYS 命令手册或联机帮助中的 “Commands and Their Location in the GUI”)

- FLOTRAN 单元不能和其他单元联合使用。
- 节点坐标系必须与总体坐标系一致。
- **/CLEAR** 命令并不破坏业已存在的 FLOTRAN 结果文件 (Jobname.RFL), 这有助于防止用户不小心破坏那些花了很多时间和精力才求得的结果, 用户必须在操作系统里才能删除那些无用的结果文件。
- **CP** 命令通过对自由度进行耦合来形成周期边界条件, ANSYS 命令手册对 **CP** 命令的描述是可以只对某些自由度进行耦合, 但作 FLOTRAN 分析时, 周期边界的所有自由度都将被耦合。

用户不能对同一个单元中的节点进行耦合, 相邻单元间节点耦合也很困难。

- **ADAPT** 命令不适用于 FLOTRAN 分析。
- 不能用 **ANTYPE** 命令来引入 FLOTRAN 的瞬态分析。
- FLOTRAN 分析不支持自动时间步长功能, 详见“FLOTRAN 瞬态分析”。
- 如果用户通过 **BFCUM**、**BFDELE** 或 **BFUNIF** 来定义节点热源, 则 ANSYS 会在内部用 **BFE** 命令来代替。
- 不能使用 **LDREAD, FORC** 命令来电磁载荷转换到 FLOTRAN 分析中, 而必须使用相应的宏来进行转换。
- FLOTRAN 分析不能使用 **CE**、**CECMOD**、**CEDELE** 和 **DEINTF** 命令。
- FLOTRAN 分析不能使用 **CNVTOL** 命令来设置收敛容差。
- 不能用 **DSYM** 命令来定义 FLOTRAN 的对称和反对称边界条件。
- FLOTRAN 不支持旋转坐标系中的角加速度向量。
- 在 FLOTRAN 分析中, 使用 **FLDATA4, TIME** 命令而不是 **DELTIM** 命令来定义一个载荷步的时间。
- 对于 FLOTRAN 分析, 不能使用 **DESOL** 命令或 **PRESOL** 命令来修改节点的热 (HEAT)、流 (FLOW)、或流密 (FLUX) 结果。
- FLOTRAN 分析不允许将积分点结果外推到节点上 (ERESX 命令)。
- FLOTRAN 分析不允许通过镜象操作来形成单元。
- FLOTRAN 分析不能用 **KBC** 命令来施加渐变载荷, 而必须用多个载荷步来逐

渐改变载荷。

- FLOTRAN 分析不允许用 **LCCALC**、**LCDEF**、**LCFA**、**LCFI** 等命令来作不同载荷状况之间的运算操作。
- **NCNV** 命令中的收敛工具不能用于 FLOTRAN 中相互独立的求解器。
- FLOTRAN 分析不允许用 **NEQUIT** 命令来定义非线性分析的平衡迭代数。
- FLOTRAN 分析要求节点坐标系必须是总体的卡尔坐标系，故不能用 **N** 命令、**NMODIF** 命令、和 **NROTAT** 命令的旋转 (rotational) 域。
- FLOTRAN 分析中，**FLDATA2,ITER** 命令和 **FLDATA4,TIME** 命令用来控制一个载荷步中的总体迭代数。
- FLOTRAN 分析不允许用户自定义单元。
- FLOTRAN 分析中，**FLDATA2,ITER** 命令和 **FLDATA4,TIME** 命令用来对写入数据库中的结果进行控制。
- **PRNLD** 命令不能用于 FLOTRAN 分析中，因其不能将边界条件作为可打印的单元节点载荷来保存。
- FLOTRAN 分析中没有节点反力解。
- 部分和预定义求解选项(**PSOLVE** 命令定义)不适用于 FLOTRAN 各自独立的求解器。
- **TIME** 命令不能用在 FLOTRAN 分析中。
- FLOTRAN 用 **FLDATA1,SOLU** 命令而不是 **TIMINT** 命令来定义瞬态载荷步。
- FLOTRAN 用 **FLDATA4,TIME** 命令而非 **TRNOPT** 命令来定义瞬态分析选项。

FLOTRAN 分析的主要步骤

一个典型的 FLOTRAN 分析有如下七个主要步骤：

1. 确定问题的区域。
2. 确定流体的状态。
3. 生成有限元网格。
4. 施加边界条件。
5. 设置 FLOTRAN 分析参数。
6. 求解。
7. 检查结果。

第一步：确定问题的区域

用户必须确定所分析问题的明确的范围，将问题的边界设置在条件已知的地方，如果并不知道精确的边界条件而必须作假定时，就不要将分析的边界设在靠近感兴趣区域的地方，也不要将边界设在求解变量变化梯度大的地方。有时，也许用户并不知道自己的问题中哪个地方梯度变化最大，这就要先作一个试探性的分析，然后再根据结果来修改分析区域。这些在后面章节中都有详述。

第二步：确定流体的状态

用户在此需要估计流体的特征，流体的特征是流体性质、几何边界以及流场的速度幅值的函数。FLOTRAN 能求解的流体包括气流和液流，其性质可随温度而发生显著变化，FLOTRAN 中的气流只能是理想气体。用户须自己确定温度对流体的密度、

粘性、和热传导系数的影响是否是很重要，在大多数情况下，近似认为流体性质是常数，即不随温度而变化，都可以得到足够精确的解。

通常用雷诺数来判别流体是层流或紊流，雷诺数反映了惯性力和粘性力的相对强度，详见第四章。

通常用马赫数来判别流体是否可压缩，详见第七章。流场中任意一点马赫数是该点流体速度与该点音速之比值，当马赫数大于0.3时，就应考虑用可压缩算法来求解；当马赫数大于0.7时，可压缩算法与不可压缩算法之间就会有极其明显的差异。

第三步：生成有限元网格

用户必须事先确定流场中哪个地方流体的梯度变化较大，在这些地方，网格必须作适当的调整。例如：如果用了紊流模型，靠近壁面的区域的网格密度必须比层流模型密得多，如果太粗，该网格就不能在求解中捕捉到由于巨大的变化梯度对流动造成的显著影响，相反，那些长边与低梯度方向一致的单元可以有很大的长宽比。

为了得到精确的结果，应使用映射网格划分，因其能在边界上更好地保持恒定的网格特性，映射网格划分可由命令 **MSHKEY,1** 或其相应的菜单 **Main Menu>Preprocessor > -Meshing-Mesh>-entity-Mapped** 来实现。

第四步：施加边界条件

可在划分网格之前或之后对模型施加边界条件，此时要将模型所有的边界条件都考虑进去，如果与某个相关变量的条件没有加上去，则该变量沿边界的法向值的梯度将被假定为零。求解中，可在重新启动之间改变边界条件的值，如果需改变边界条件的值或不小心忽略了某边界条件，可无须作重新启动，除非该改变引起了分析的不稳定。

第五步：设置 FLOTRAN 分析参数

为了使用诸如紊流模型或求解温度方程等选项，用户必须激活它们。诸如流体性质等特定项目的设置，是与所求解的流体问题的类型相关的，该手册的其他部分详细描述了各种流体类型的所建议的参数设置。

第六步：求解

通过在观察求解过程中相关变量的改变率，可以监视求解的收敛性及稳定性。这些变量包括速度、压力、温度、动能 (ENKE 自由度) 和动能耗散率 (ENDS 自由度) 等紊流量以及有效粘性 (EVIS)。一个分析通常需要多次重新启动。

第七步：检查结果

可对输出结果进行后处理，也可在打印输出文件里对结果进行检查，此时用户应使用自己的工程经验来估计所用的求解手段、所定义的流体性质、以及所加的边界条件的可信程度。

FLOTRAN 分析中产生的一些文件

在 ANSYS 中进行的大多数流体分析都是通过多次中断和重新启动来完成的，通常，分析人员需要在各个重新启动之间改变诸如松弛系数等参数或开关某些项（如求解温度

方程的开关)。每当用户继续一个分析时, ANSYS 程序会自动将数据附加在所有的 由 FLOTRAN 单元产生的文件中。下面将对 FLOTRAN 单元产生的所有文件进行说明:

- 结果文件, Jobname.RFL, 包含节点结果。
- 打印文件, Jobname.PFL, 包含各量的收敛记录及进/出口状态(如流量等)。
- 壁面文件, Jobname.RSW, 包含壁面剪切应力以及 Y-Plus 信息。
- 残差文件, Jobname.RDF, 包含节点残差。
- 调试文件, Jobname.DBG, 包含数学求解器的有关信息。
- 结果备份文件, Jobname.RFO, 包含结果文件数据的一个拷贝。
- 重启动文件, Jobname.CFD, 包含 FLOTRAN 的数据结构。

结果文件

FLOTRAN 分析的结果并不自动保存在 ANSYS 的数据库中, 在每次求解之后, 程序会将一个结果集附加在结果文件 Jobname.RLF 中。用户可对结果文件的内容及程序 对结果文件的更新频率进行控制, ANSYS 命令手册中对 **FLDATA5,OUTP** 命令的介绍就详细说明了结果文件会基于用户的选择而保存些什么内容。

在一个稳态 FLOTRAN 分析中, 结果文件能保存多少个结果集是没有限制的, 在求解的初期多保存几个结果有很多好处: 可以比较各结果集之间的变化、可以使用不同的选项或松弛系数来从一个分析的较早状态重新开始分析。

当开始一个新分析时(在其第一次迭代之前), ANSYS 程序会保存一个结果, 然后在当中断发生时保存再保存结果, 在这些事件之间, 用户还可通过设置将一些中间结果附在结果文件里, 这样就可以从较早的分析状态开时, 通过激活一些不同的选项和特征来重新分析, 例如, 可以通过这种方式来提高分析的稳定性。

使用 ANSYS 的覆盖频率选项是一个明智的方法, 它就可以周期性地保存和更新一个临时的结果集, 这样, 当由于断电或其他系统原因而发生求解中断时, 总可以有一个可用的结果集用于重新开始分析。设置覆盖频率的方式如下:

命令: **FLDATA2,ITER,OVER,value**

菜单: **Main Menu>Solution>FLOTRAN Set Up>Execution Ctrl**

设置附加频率的方式如下:

命令: **FLDATA2,ITER,APPE,value**

菜单: **Main Menu>Solution>FLOTRAN Set Up>Execution Ctrl**

打印文件 (Jobname.PFL)

Jobname.PFL 文件包含了所有 FLOTRAN 输入参数的完整记录, 该信息每在发出一个求解命令时就保存一次以完整地记录整个分析历程。同时, 所有激活了的变量的收敛过程也记录了下来, 还有一个对结果的总结, 即每个性质和自由度的最大最小值, 这些记录的频率都由用户自己设定。所记录的其他量还有: 各记录量的平均值、质量流的边界、质量平衡的计算、所有热传导和热源的相关信息。

节点残差文件

节点残差文件, 即 Jobname.RDF, 显示了当前解的收敛好坏程度。在求解过程的每一个阶段, 流场、性质场、温度场都用于对每个自由度计算系数矩阵和强迫函数, 如果解完全收敛, 这些矩阵和强迫函数将会生成一个与产生它们的速度场一样的速度场, 同时, 矩阵方程的残差也会变得很小。要得到一个残差文件, 必须至少执行一次迭代。

当求解过程发生振荡时，残差的幅值将显示分析的错误所在。（矩阵的主对角元素对残差作归一化处理）这种归一化使用户可对自由度的值及其残差作比较。

对每一个激活了的自由度计算残差并将其存入残差文件的方式如下：

命令： **FLDATA5,OUTP,RESI,TRUE**

菜单： **Main Menu>Solution>FLOTRAN Set Up>Additional Out>Residual File**

要读取残差文件，可通过菜单 **Main Menu>General Postproc>FLOTRAN 2.1A** 或命令 **FLREAD** 来实现。

重新启动文件

通常，FLOTRAN 在一个重新启动的起始处计算数据结构，对于一个大模型，这种计算将消耗大量的时间，为了避免这种重新计算，可要求 FLOTRAN 将数据结构保存在重新启动文件 Jobname.CFD 中，FLOTRAN 从 ANSYS 的数据库中产生该文件。

对 Jobname.CFD 文件的读和写的方式如下：

命令： **FLDATA32,REST,RFIL,T**

菜单： **Main Menu>Preprocessor>FLOTRAN Set Up>Restart Options>CFD
Restart File**

可将 RFIL 状态设置为开(ON)或关(OFF)，若设为开，则 FLOTRAN 开始执行分析时将读入重新启动文件，若此时重新启动文件不存在，则将产生一个重新启动文件。

如果在改变了边界条件之后再进行重新启动分析，则必须覆盖掉已存在的.CFD 文件 以使得 ANSYS 能用新的边界条件进行重新分析，覆盖.CFD 文件的方式如下：

命令： **FLDATA32,REST,WFIL,T**

菜单： **Main Menu>Preprocessor>FLOTRAN Set Up>Restart Options>CFD
Restart File**

这就使 FLOTRAN 在下一载荷步产生一个新的重新启动文件，并自动将 RFIL 状态设置为关闭。当新的重新启动文件产生之后，用 **FLDATA32,REST,RFIL,T** 命令使随后的重新启动能使用新的重新启动文件。

FLOTRAN 重新启动分析（续算）

用户可在结果文件 Jobname.RFL 中任意一个解集的基础上开始一个重新启动分析，重新启动位置的设置可基于解集号(NSET)、迭代数(ITER)、载荷步/子步号(LSTP)或瞬态分析的时间(TIME)，方式如下：

命令： **FLDATA32,REST,lable,value**

其中，lable 为上面的 NSET、ITER、LSTP、TIME 等

菜单： **Main Menu>Preprocessor>FLOTRAN Set Up>Restart Options>
Restart/Iteratio（或 Restart/Load step, Restart/Set, 等）**

当重新启动一个分析时，ANSYS 将原始的结果文件拷贝到 Jobname.RSO 中并将重新启动点、所有在重新启动点之前的结果集、所有的后续结果集放在新的结果文件中。如果在 **FLDATA32,REST** 命令中的 value 值是一个负值，则将不产生 Jobname.RSO 文件，而重新启动的点将由 value 的绝对值来指定。

提高收敛性和稳定性的常用的工具

ANSYS 程序提供几个有助于收敛和求解稳定的工具，理论手册对其机理有详述。

松弛系数

松弛系数是一个其值介于 0 和 1 之间的小数，它表示旧结果与附加在旧结果上以形成新结果的最近一次计算量之间的变化量。设置松弛系数的方式如下：

命令： **FLDATA25,RELX,labl,value**

菜单： **Main Menu>Preprocessor>FLOTRAN SetUp>Relax/Stab/Cap>DOF Relaxation**
Main Menu>Preprocessor>FLOTRAN SetUp>Relax/Stab/Cap>Prop Relaxation
Main Menu>Solution>FLOTRAN SetUp>Relax/Stab/Cap>DOF

Relaxation

Main Menu>Solution>FLOTRAN SetUp>Relax/Stab/Cap>Prop

Relaxation

注：命令手册中对该命令的自由度和性质量有详述。

惯性松弛

对某个自由度的方程组的惯性松弛就是使其矩阵的主对角占优以保持求解的稳定性。如果当一个解在收敛过程中没有发生舍入误差，则惯性释放的值不会影响到求解的最终结果。但是通常的求解过程都会发生舍入误差，故惯性松弛可能对结果产生影响。用户可对动量方程（MOME）、紊流方程（TURB）、压力方程（PRES）和温度方程（TEMP）施加惯性松弛，其方式如下：

命令： **FLDATA26,STAB,labl,value**

菜单： **Main Menu>Preprocessor>FLOTRAN SetUp>Relax/Stab/Cap>Stability Parms**
Main Menu>Solution>FLOTRAN SetUp>Relax/Stab/Cap>Stability Parms

惯性松弛系数是以所加项的分母的形式出现的，故其值越小，所起作用越大，其典型值介于 1.0（作用中等）到 1.0×10^{-7} （作用很大）之间。

人工粘性

人工粘性用于在梯度较大的区域平抑速度解。它有助于可压缩问题的收敛，也有助于对有分布阻力的不可压缩问题的速度解进行平抑。对于不可压缩问题，应使人工粘性的幅值与有效粘性的幅值处于相同的数量级。施加人工粘性的方式如下：

命令： **FLDATA26,STAB,VISC,value**

菜单： **Main Menu>Preprocessor>FLOTRAN SetUp>Relax/Stab/Cap>Stability Parms**
Main Menu>Solution>FLOTRAN SetUp>Relax/Stab/Cap>Stability Parms

速度限值

速度限值使所求解量不能超出用户所定义的值，可对速度、压力和温度自由度进行限制（VX、VY、VZ、PRES、TEMP），方式如下：

命令： **FLDATA31,CAPP**

菜单： **Main Menu>Preprocessor>FLOTRAN SetUp>Relax/Stab/Cap>Results Capping**
Main Menu>Solution>FLOTRAN SetUp>Relax/Stab/Cap>Results Capping

速度限值可消除速度尖峰的不利影响，这种速度尖峰通常发生在收敛过程中的较早阶段。它还特别适合用于可压缩流分析，因这类分析中速度尖峰通常使动能项大到产生负的静温。

当对压力进行限值时，所限的值是由压力方程解算出来的压力而不是松弛后的压力，故当限值后作重启动时，压力值仍有可能超出限值。

注意：当有速度限值时，质量有可能不守恒。

面积积分阶次 (Quadrature Order)

缺省的用于计算单元面积积分的阶次是单点积分，用户可对其进行控制。对于轴对称问题，求解时，该值自动设为 2，因为当面积积分阶次为 2 时，可使含有异常形状单元的问题收敛到更精确的解。用下面的方式改变动量、压力、热或紊流项的面积积分阶次：

命令： **FLDATA30,QUAD,table,value**

其中， *table* 为要改变的单元积分， *value* 为积分点的数目。

菜单： **Main Menu>Preprocessor>FLOTRAN SetUp> Mod Res/Quad Ord> CFD Quad Orders**

Main Menu>Solution>FLOTRAN SetUp>Mod Res/Quad Ord>CFD Quad Orders

FLOTRAN 分析过程中应处理的问题

确定总体迭代的数目

FLOTRAN 分析是一个非线性的序列求解过程，故每次分析首先得确定要让程序执行多少次迭代。一次总体迭代就是对所有相关的控制方程按序列进行求解，并且在求解过程中流体性质会随时更新。在瞬态分析中，时间步循环包含了总体迭代循环。在一个总体迭代中，程序首先获得动量方程的近似解，再在质量守恒的基础上将动量方程的解作为强迫函数来求解压力方程，然后用压力解来更新速度，以使速度场保持质量守恒。如果要求了程序求解温度，则程序会同时求解温度方程并更新与温度相关的流体性质。最后，如果激活了紊流模型，则程序将求解紊流方程并用紊流动能及其耗散率来计算有效粘性和热传导系数，有效粘性和热传导系数将分别代替层流粘性和热传导系数以在平均流上模拟紊流的影响。用下面的方式定义总体迭代的数目：

命令： **FLDATA2,ITER,EXEC,value** (value 即为迭代数)

菜单： **Main Menu>Preprocessor>FLOTRAN SetUp> Execution Ctrl**
Main Menu>Solution>FLOTRAN SetUp>Execution Ctrl

收敛监测

在 FLOTRAN 求解过程中，程序在每一个总体迭代里对每一个自由度计算出一个收敛监测量，这些自由度包括：速度(VX、VY、VZ)、压力(PRES)、温度 (TEMP)、紊流动能 (ENKE)、动能耗散率 (ENDS)、以及激活了的多组份传输方程 (SP01 ~ SP06)。收敛监测量就是两次迭代之间结果改变量的归一化值，若以 Φ 表示任一自由度，则该自由度的收敛监测量可由下式表示：

$$\text{收敛监测量} = \frac{\sum_{i=1}^N |\phi_i^k - \phi_i^{k-1}|}{\sum_{i=1}^N |\phi_i^k|}$$

收敛监测量表示变量在当前迭代 (k^{th}) 的结果和上一次迭代 ($(k-1)^{\text{th}}$) 的结果之间差值的总和除以当前值的总和，这种求和是在所有节点上进行的，并且使用的是差值的绝

对值。

在批处理或交互式运行过程中，当求解进行时，程序的“图形求解跟踪 (GST)” 功能将实时显示出所计算的收敛监测量，GST 的缺省值在交互运行时是开 (ON)，而在批处理运行时是关 (OFF)。用户可用下面的方式定义其开关：

命令：/GST

菜单：Main Menu>Solution>Output Ctrls>Grph Solu Track

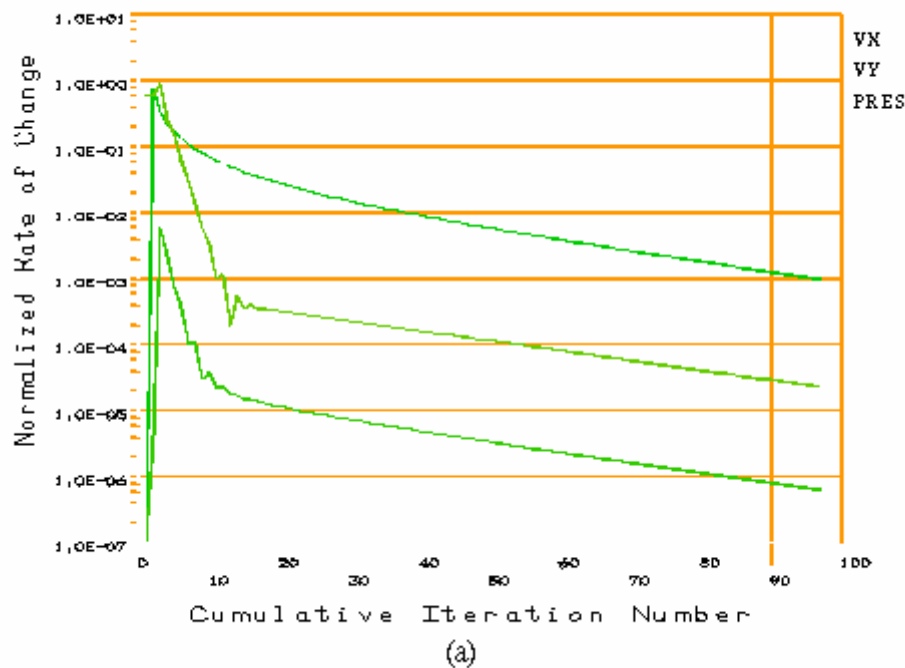
图 2-1 是两个典型的 GST 图形。图 2-1(b)是一个 FLOTTRAN 的瞬态分析过程，图中的每一个尖峰表示了一个新时间步的开始。

在初始阶段可能出现的一些振荡之后，收敛监测量的大小将随着分析过程的收敛而逐渐减小，但其减小的程度将依赖于几个因素，诸如：

- 几何边界的复杂程度
- 高梯度区域有限元网格的精度
- 紊流的严重程度（由雷诺数确定）
- 出口边界处流场的发展是否充分

当使用图形求解跟踪 (GST) 功能时，还应注意：

- 不单是 FLOTTRAN 分析有 GST 功能，非线性的结构分析、非线性的热分析和非线性的电磁场分析都有 GST 功能。详见各自的分析指导手册。
- GST 可同时显示多达 10 条的跟踪曲线，如果用户的模型有多于 10 个的自由度，则 GST 将只显示前 10 个自由度的收敛跟踪曲线。
- 当 GST 开始显示时，程序会弹出一个带 STOP 按钮的对话框，用户可在任意时刻通过点取该 STOP 按钮来中断求解过程，而后要进行重启动分析时，可通过执行命令 SOLVE 或其相应的菜单 Main Menu>Solution>Run Flotran 来实现。



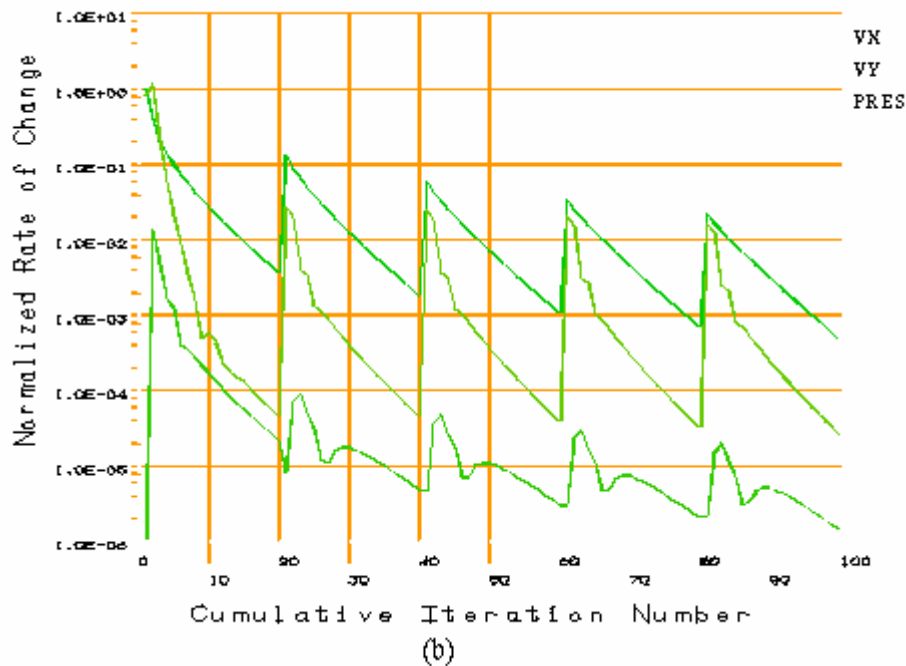


图 2-1

由 GST 显示的收敛监测量

(a) 稳态求解

(b) 瞬态求解

中断一个 FLOTTRAN 分析

用户可以定义一个基于压力和温度收敛监测量的目标值来中断一个 FLOTTRAN 分析，定义方式如下：

命令：FLDATA3,TERM,PRES,value

FLDATA3,TERM,TEMP,value

菜单：Main Menu>Preprocessor>FLOTTRAN SetUp> Execution Ctrl

Main Menu>Solution>FLOTTRAN SetUp>Execution Ctrl

压力和温度的收敛缺省值都是 1.0×10^{-8} ，如果没有激活温度方程的求解，则程序只检测压力的收敛值是否满足要求，而若同时激活了流体方程和温度方程的求解，则二者的收敛标准都必须同时满足。在满足了压力和温度的收敛条件或总体平衡迭代数达到了所要求的值后，FLOTTRAN 求解过程就自动中断。

要中断一个正在以批处理方式或后台方式执行的 FLOTTRAN 分析，则需在当前工作目录下生成一个 Jobname.ABT 文件，该文件的第一行应含有 terminate 字样，且该字样的起始位置应是第一行的第一列。在每一次总体迭代之前，FLOTTRAN 都会在当前目录下搜寻 Jobname.ABT 文件，如果程序找到该文件并发现其含有 terminate 字样，则立即完成该次总体迭代并正常中断程序的执行，而且将结果写入结果文件中。

对一个 FLOTTRAN 分析进行评价

分析员必须回答的两个问题是：

1. 所作的分析是何时结束的？
2. 所作的分析是否是正确的？

这两个问题是相互关联的，因为，如果没有正确地设置和正确地分析一个流体问题，它一般都是不会收敛的。

如果所输入的初始参数和所有的边界条件都是正确的，则当所有变量的收敛监测量都停止增长，以及所有求解量的平均、最大、最小值都不再升降时，求解过程就算是完成了。然而，这并不能保证所求解的结果是唯一正确的，因为自然界本身并不保证存在唯一解。振荡问题（例如：柱体绕流的旋涡脱落问题）用稳态或瞬态求解技术都不能得到一个稳定的解。要验证一个分析是稳定的或是振荡的，可以通过对它执行大量的迭代求解来实现。

ANSYS 将求解变量的平均、最小、最大值保存在文件 *Jobname.RFL* 中，该文件同时还保存了 FLOTRAN 的输入数据和计算出的收敛监测量、所有自由度的结果总结、层流特性和有效特性。可用下面的方式来规定 ANSYS 进行结果总结的频率：

命令： **FLDATA5,OUTP,SUMF,value**

菜单： **Main Menu>Preprocessor>FLOTRAN SetUp>Additional Out>RFL Out Derived**
Main Menu>Solution>FLOTRAN SetUp>Additional Out>RFL Out Derived

验证结果

验证求解结果的可靠性是所有分析人员的责任，如果一个 FLOTRAN 分析得到了非预期的结果，则应进行下列所示的一些操作，这些操作的大部分都可以在开始一个分析前完成。即使只进行了零次迭代，ANSYS 也会生成一个 *Jobname.RFL* 文件并检查所有的输入数据。

1. 检查作为结果总结的一部分而打印出来的质量平衡情况。内部检查将确定是否有任何的可能会通过模型的质量流，允许质量流的边界条件是：

- 确定的速度边界条件
- 确定的压力边界条件
- 未确定的边界(这有可能是由于用户忘了施加边界条件而致)

ANSYS 会将进口和出口边界编号列表，而这些应与所希望的条件相对应。

2. 在 ANSYS 里检查边界条件，以保证其正确性。
3. 检查所定义的流体性质及其随温度的可变动性正确与否，这可在 *.RFL* 文件中方便地检查。
4. 检查用以建立模型的单位制与用以定义流体性质的单位制是否一致。
5. 有时，还需确认与所选选项相联系的方程的求解是否正确（例如：可压缩流中的压力方程）。
6. 如果求解发散，可能的原因还有：有限元网格不够精细、或者邻近出口处流场梯度太大，要解决这些问题，可以使用一些诸如惯性松弛等有助于收敛的手段，本手册的后面将详述各种松弛技术。
7. 如果仅仅只有某个特定的量产生发散，则可将该量重新初始化到一个单值，并作重新启动分析，方式如下：

命令： **FLDATA29,MODV**

菜单： **Main Menu>Preprocessor>FLOTRAN SetUp> Mod Res/Quad**
Ord>Modify Results
Main Menu>Solution>FLOTRAN SetUp> Mod Res/Quad
Ord>Modify Results

第三章 FLOTRAN 设置命令

1 FLOTRAN 求解控制命令

命令: **FLDATA1**, *SOLU*, *Lable*, *Value*

功能: 设定求解控制

菜单: **Main Menu>Preprocessor>FLOTRAN Set Up>Solution Options**
Main Menu>Solution>FLOTRAN Set Up>Solution Option

其中, Lable 的选项及其各自含义如下:

TRAN: 求解稳态或非稳态选项, 缺省为稳态

FLOW: 是否求解流动方程选项, 缺省为求解流动方程

TEMP: 是否求解温度方程选项, 缺省为绝热(不求解温度方程)

TURB: 层流或湍流选项, 缺省为层流

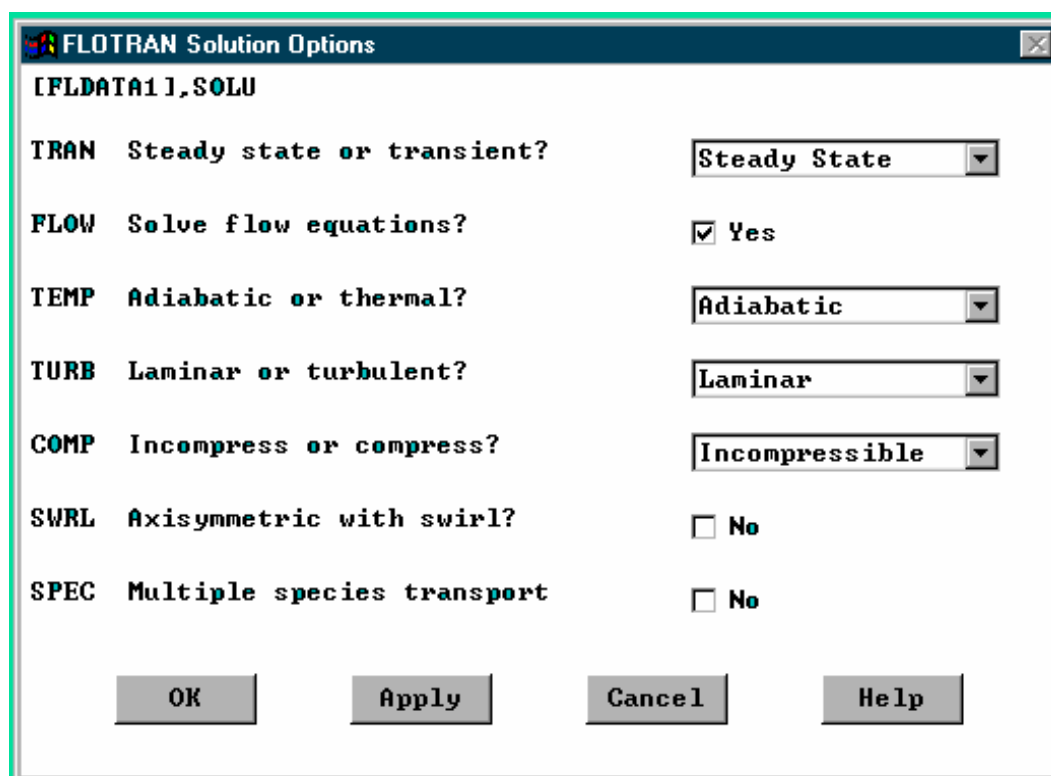
COMP: 不可压缩或可压缩选项, 缺省为不可压缩流

SWRL: 求解轴对称旋流选项, 缺省为否

SPEC: 求解多组份疏运选项, 缺省为否

Value 的值为“是”或“否”二者之一。

该命令的菜单形式如下:



2 FLOTRAN 执行及输出控制命令 — 稳态控制参数设置

命令: **FLDATA2**, *ITER*, *Lable*, *Value*

功能: 设置稳态流的迭代及输出控制

其中, *Lable* 的选项及其各自含义如下:

EXEC: 总体迭代次数, 缺省为 10 次

OVER: 结果文件覆盖频率(每隔 *Value* 次迭代), 缺省为 0

APPE: 结果文件附加频率(每隔 *Value* 次迭代), 缺省为 0

Value 的值以上 *Lable* 各自的迭代次数

命令: **FLDATA3**, *TERM*, *Lable*, *Value*

功能: 设置压力和温度的收敛准则

其中, *Lable* 的选项及其各自含义如下:

PRES: 设置压力收敛准则, 缺省为 10^{-8}

TERM: 设置温度收敛准则, 缺省为 10^{-8}

Value 为以上两项各自的收敛值

命令: **FLDATA5**, *OUTP*, *Lable*, *Value*

功能: 设置输出控制

其中, *Lable* 的选项及其各自含义如下:

SUMF: 输出总结的频率(每隔 *Value* 次迭代), 缺省为 10

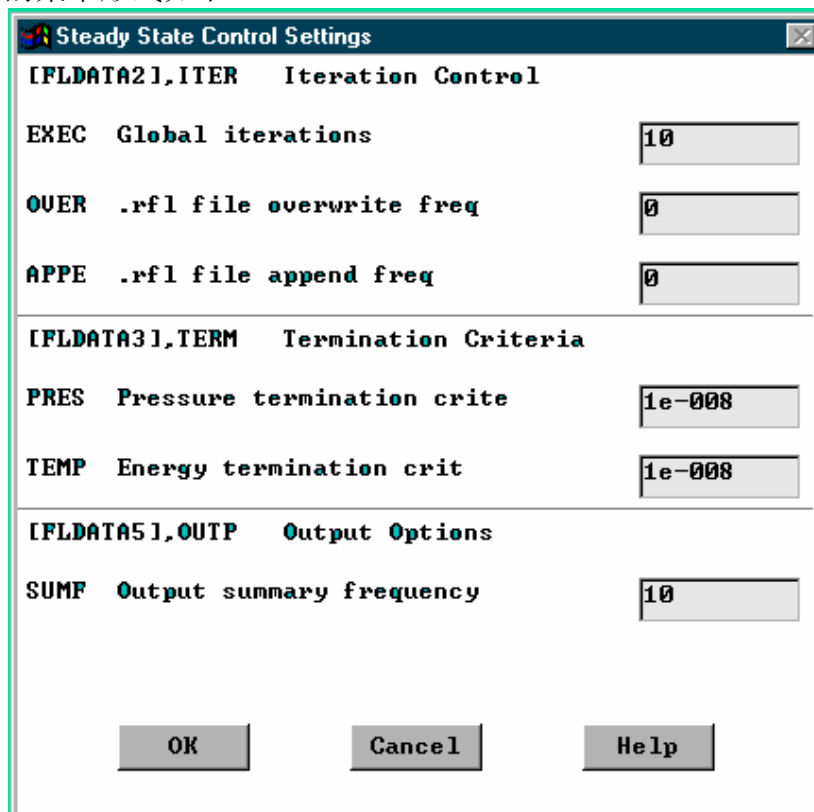
Value 为上面 **SUMF** 的迭代数

以上三条命令的菜单路径如下:

菜单: **Main Menu>Preprocessor>FLOTRAN Set Up>Execution Ctrl**

Main Menu>Solution>FLOTRAN Set Up>Execution Ctrl

以上三条命令的菜单形式如下:



3 FLOTRAN 执行及输出控制命令 — 瞬态控制参数设置

命令: **FLDATA4**, *TIME*, *Lable*, *Value*

功能: 基于瞬态时间来设置瞬态分析的求解及输出控制

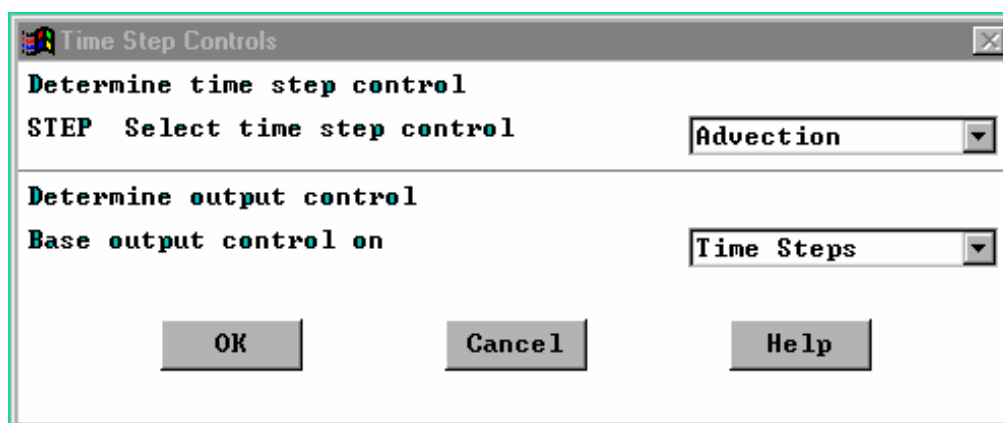
命令: **FLDATA4A**, *STEP*, *Lable*, *Value*

功能: 基于时间步来设置瞬态分析的输出控制

菜单: **Main Menu>Preprocessor>FLOTRAN Set Up>Execution Ctrl**

Main Menu>Solution>FLOTRAN Set Up>Execution Ctrl

在点取上面的菜单路径时, 首先会弹出一个下图所示的对话框, 该对话框的第二项即是激活上面的第二条命令, 即用户需要选择到底是基于瞬态分析的时间值、或是时间步、或是二者兼顾来对求解及输出进行控制。同时, 该对话框的第一项是用以定义到底是由程序还是由用户自己来对瞬态分析的时间步长进行控制, 也就是下面将要讲到的 **STEP** 项。这两个选项的值直接影响了随后的弹出菜单的内容, 本手册在此是合起来讲的, 谨请注意。



第一条命令的 **Lable** 选项及其各自含义如下:

STEP: 定义时间步长, 当在上面的对话框中设置为用户自定义时, 该选项的

Value 值应为一正值, 表示真正的时间步长, 命令输入就在 **Value** 处输一

真正时间即可; 当在上面的对话框中设置为 **Advection** 时, 即为由程序定义时间步长, 命令输入时可在 **Value** 处输-1、-2、-3 或-4 四值之一, 其含义分别如下:

- 1: 时间步长会小到在单一的任何一个时间步长内, 流场中任意一点的运动距离都不会大于一个单元的长度
- 2: 只用于可压缩流分析, 它使时间步长会小到在单一的任何一个时间步长内, 流场中压力信号的传输距离都不会大于一个单元的长度
- 3: 只用于可压缩流分析, 它使时间步长取上面-1 和-2 项中的最小值
- 4: 只用于纯传热分析 (不计算流场方程), 它使时间步长会小到在单一的任何一个时间步长内, 任何一个“热点”的传导或对流距离都不会大于一个单元的长度

ISTEP: 指定初始时间步长, 仅在时间步长由程序定义时有效, 缺省为 0

NUMB: 指定时间步的数目, 缺省为 10

TEND: 指定瞬态分析的终止时间, 缺省为 1×10^6

-
- GLOB:** 指定每一时间步的总体迭代数, 缺省为 20
- PRES:** 指定每一时间步的压力收敛准则, 缺省为 1×10^{-6}
- TEMP:** 指定每一时间步的温度收敛准则, 缺省为 1×10^{-6}
- OVER:** 指定结果文件的覆盖频率 (每隔 Value 时间覆盖一次), 缺省为 0, 即不覆盖
- APPE:** 指定结果的输出频率(每隔 Value 时间 输出一次 结果到结果文件中), 缺省为 1×10^6
- SUMF:** 指定结果总结的输出频率(每隔 Value 时间输出一次结果总结), 缺省为 1×10^6
- BC:** 指定瞬态边界条件的变化形式, 缺省为阶跃变化

其 Value 的含义如上面各项所述

第二条命令的 **Lable** 选项及其各自含义如下:

- OVER:** 指定结果文件的覆盖频率(每隔 Value 个时间步覆盖一次), 缺省为 0, 即不覆盖
- APPE:** 指定结果的输出频率(每隔 Value 个时间步 输出一次 结果到结果文件中), 缺省为 10
- SUMF:** 指定结果总结的输出频率(每隔 Value 个时间步输出一次结果总结), 缺省为 10

下页所示为该二命令的菜单形式, 第一幅图为用户自定义时间步长, 第二幅图为程序定义时间步长(上述对话框的第一项设定), 同时, 该二图所显示的都是设定由时间值和时间步同时控制求解及输出选项时(上述对话框的第二项设为“both”)的菜单情况:

Transient Controls	
[FLDATA41],TIME	
STEP User-defined time step	
Length of Transient Execution	
NUMB Number of time steps	10
TEND Stop time	1000000
Time Step Termination	
GLOB Global iter per time step	20
PRES Pressure termination	1e-006
TEMP Temperature termination	1e-006
[FLDATA41],STEP - Transient control by step [FLDATA41],TIME - Transient control by time	
Overwrite frequency to results file	
STEP,OVER Number of time steps	0
TIME,OVER Time interval	0
Append frequency to results file	
STEP,APPE Number of time steps	0
TIME,APPE Time interval	1000000
Summary frequency to output file	
STEP,SUMF Number of time steps	10
TIME,SUMF Time interval	1000000
[FLDATA41]-Transient Boundary Condition Application	
TIME,BC Apply Varying B.C. as	
<input checked="" type="radio"/> Step Change <input type="radio"/> Linear Ramp	
<div>OK</div> <div>Cancel</div> <div>Help</div>	

Transient Controls	
[FLDATA41],TIME	
STEP Time step control set to advection constraint	
ISTEP Initial time step value	0
Length of Transient Execution	
NUMB Number of time steps	10
TEND Stop time	1000000
Time Step Termination	
GLOB Global iter per time step	20
PRES Pressure termination	1e-006
TEMP Temperature termination	1e-006
[FLDATA4A1],STEP - Transient control by step [FLDATA41],TIME - Transient control by time	
Overwrite frequency to results file	
STEP,OVER Number of time steps	0
TIME,OVER Time interval	0
Append frequency to results file	
STEP,APPE Number of time steps	0
TIME,APPE Time interval	1000000
Summary frequency to output file	
STEP,SUMF Number of time steps	10
TIME,SUMF Time interval	1000000
[FLDATA41]-Transient Boundary Condition Application	
TIME,BC Apply Varying B.C. as	
<input checked="" type="radio"/> Step Change <input type="radio"/> Linear Ramp	
<div>OK</div> <div>Cancel</div> <div>Help</div>	

4 FLOTTRAN 输出及保存文件控制

命令: **FLDATA5**, *OUTP*, *Lable*, *Value*

功能: 设置输出及保存文件控制

菜单: **Main Menu>Preprocessor>FLOTTRAN Set Up>Additional Out>Print Controls**

Main Menu>Preprocessor>FLOTTRAN Set Up>Additional Out>RFL Out Derived

Main Menu>Preprocessor>FLOTTRAN Set Up>Additional Out>RFL Prop Based

Main Menu>Preprocessor>FLOTTRAN Set Up>Additional Out>Residual File

Main Menu>Preprocessor>FLOTTRAN Set Up>Execution Ctrl

Main Menu>Solution>FLOTTRAN Set Up>Additional Out>Print Controls

Main Menu>Solution>FLOTTRAN Set Up>Additional Out>RFL Out Derived

Main Menu>Solution>FLOTTRAN Set Up>Additional Out>RFL Prop Based

Main Menu>Solution>FLOTTRAN Set Up>Additional Out>Residual File

Main Menu>Solution>FLOTTRAN Set Up>Execution Ctrl

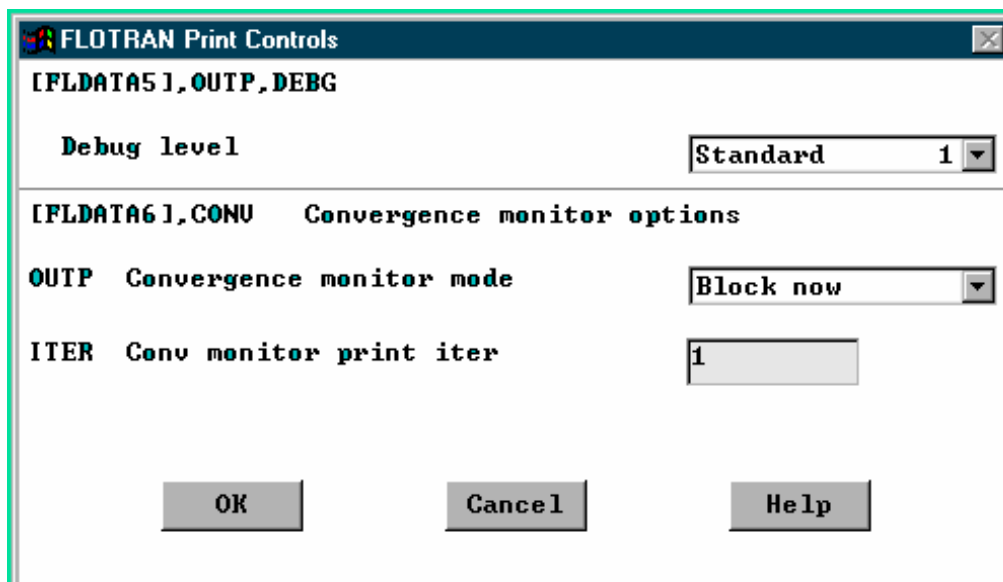
其中, *Lable* 的选项及其各自含义如下:

(上面 **Print Controls** 菜单路径下:)

DEBG: 控制输出到调试文件 *Jobname.DBG* 中的信息, 其 *Value* 有如下值供选:

- 0: 不输出调试信息
- 1: 每一总体迭代步的 初始和最终信息
- 2: 每一总体迭代步的完整信息
- 3: 输出总体系数矩阵 (不建议用该值, 因其硬盘占用量很大)
- 4: 输出总体系数矩阵和每一总体迭代的其它附加量(不建议使用该值, 因其硬盘占用量极大)

该 *Lable* 的菜单形式如下:



(上面 **RFL Out Derived** 菜单路径下:)

PTOT: 输出总压, 缺省为真

TTOT: 输出总温, 缺省为真

HFLU: 输出热通量, 缺省为真

HFLM: 输出对流换热系数, 缺省为真

STRM: 输出流线函数, 缺省为真

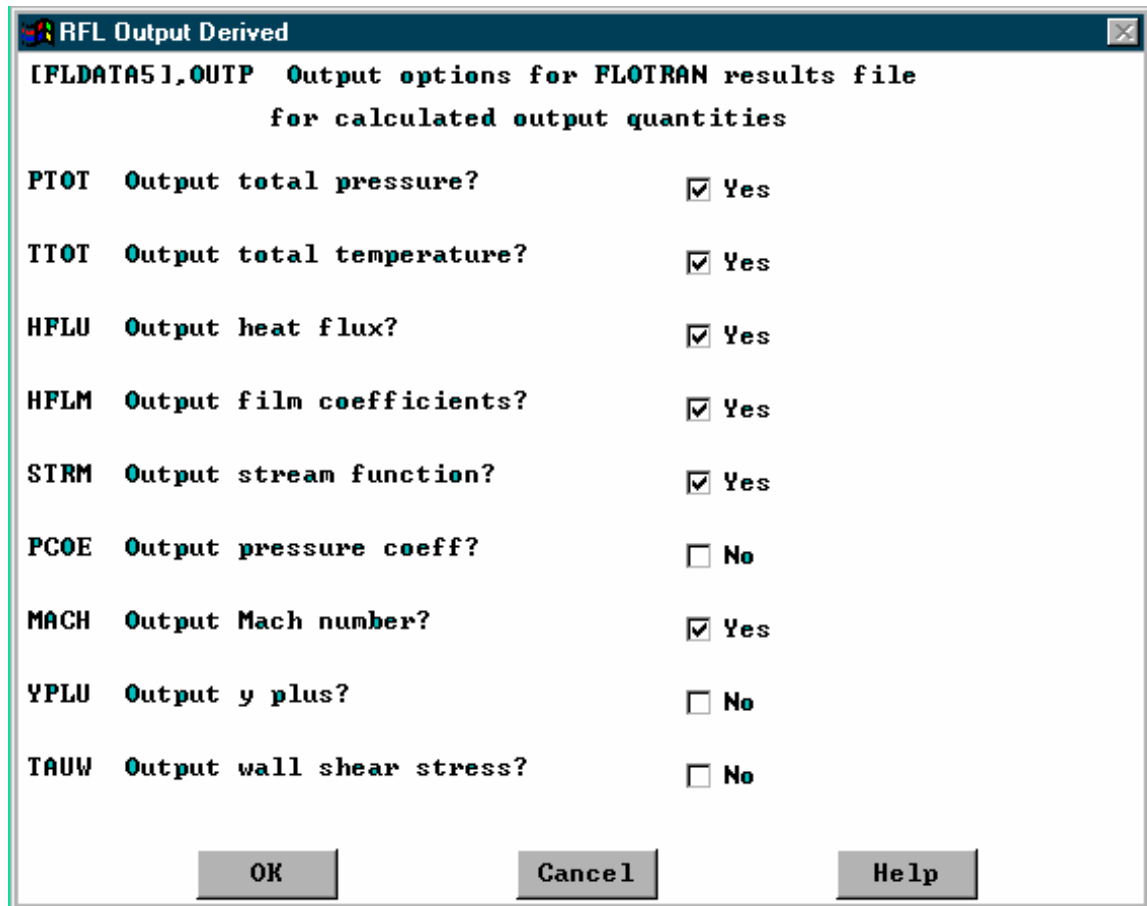
PCOE: 输出压力系数, 缺省为否

MACH: 输出马赫数, 缺省为真

YPLU: 输出 y^+ , 缺省为否

TAUW: 输出壁面剪切应力, 缺省为否

该 Lable 的菜单形式如下:



(上面 RFL Prop Based 菜单路径下:)

DENS: 输出层流密度, 缺省为否

SPHT: 输出比热, 缺省为否

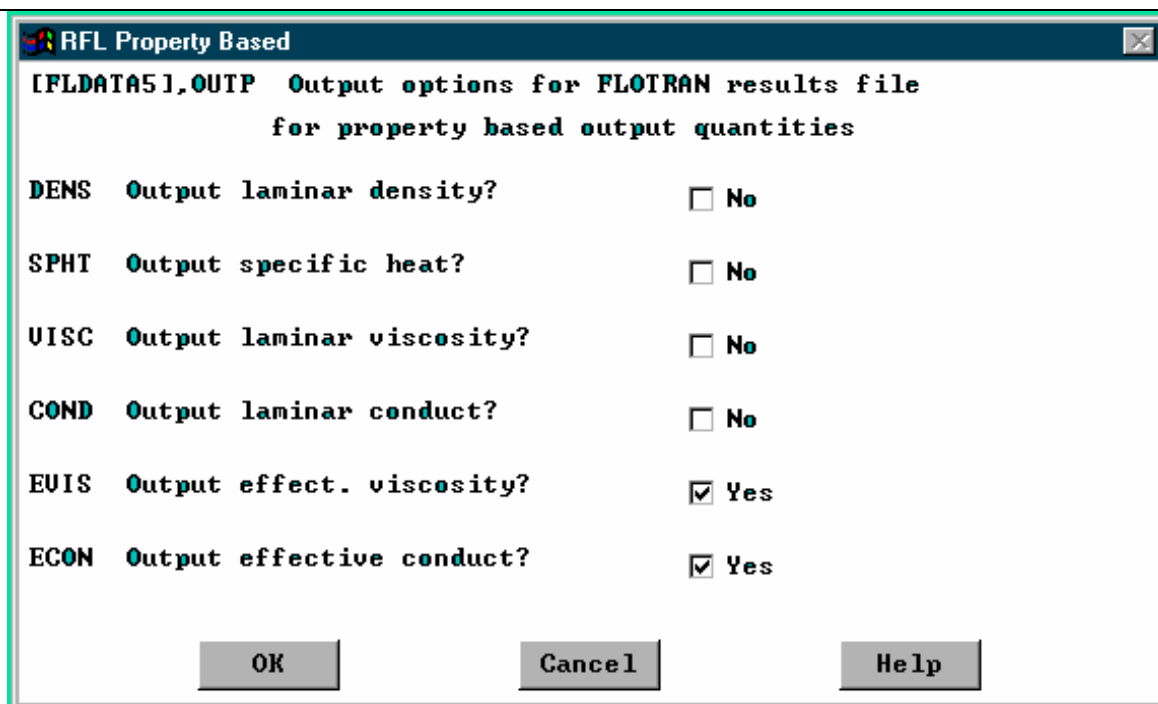
VISC: 输出层流粘性系数, 缺省为否

COND: 输出层流导热系数, 缺省为否

EVIS: 输出有效粘性系数, 缺省为真

ECON: 输出有效导热系数, 缺省为真

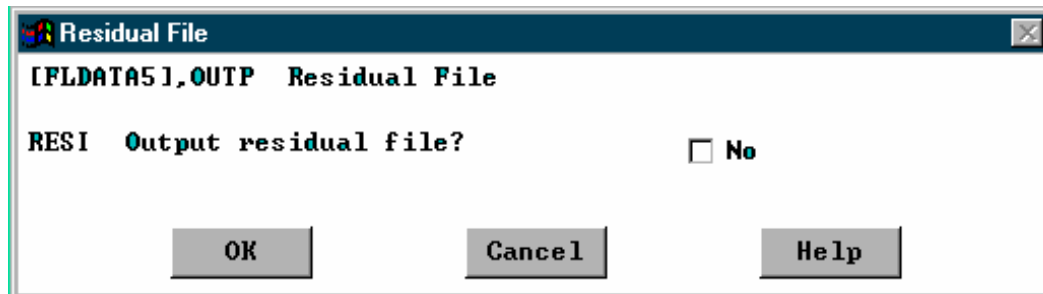
该 Lable 的菜单形式如下:



(上面 Residual File 菜单路径下:)

RESI: 控制是否生成残差文件 *Jobname.RDF*, 缺省为否

该 Lable 的菜单形式如下:



5 FLOTRAN 输出收敛监测量的控制

命令: **FLDATA6, CONV, Lable, Value**

功能: 控制收敛监测量的输出

菜单: **Main Menu>Preprocessor>FLOTRAN Set Up>Additional Out>Print Controls**
Main Menu>Solution>FLOTRAN Set Up>Additional Out>Print Controls

其中, Lable 的选项及其各自含义如下:

OUTP: 控制收敛监测量的显示模式, 可用 Value 值有 LAND、BLOC 或 BNOW
详见 Value 之解释, 缺省为 BNOW 模式

ITER: 当 OUTP 为 LAND 或 BLOC 时, 控制每隔 n 次迭代打印收敛监测参数,
缺省 n 为 1

Value 的个值含义如下:

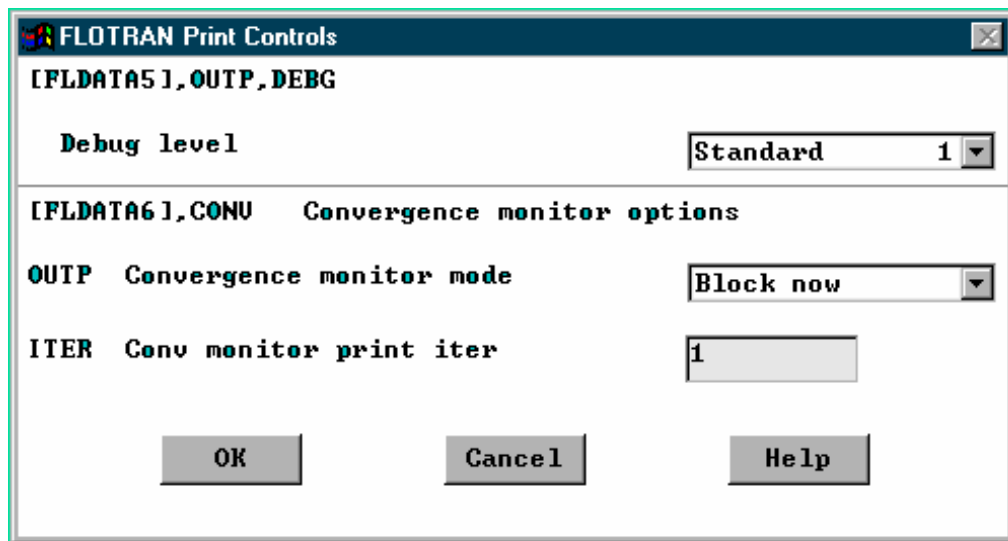
LAND: 所有自由度都以水平模式打印输出(Lable=OUTP 时有效)

BLOC: 所有自由度都以条状模式打印输出(Lable=OUTP 时有效)

BNOW: 当一个迭代完成时, 所有自由度都立即以条状模式打印输出(Lable=OUTP 时有效)

n : 迭代数(Lable=ITER 时有效)

该命令的菜单形式如下:



6 FLOTRAN 流体类型及其特性的可变性控制

命令: **FLDATA7**, *PROT*, *Lable*, *Value* 或 **FLDATA12**, *PROT*, *Lable*, *Value*

功能: 定义流体类型

命令: **FLDATA13**, *VARY*, *Lable*, *Value*

功能: 控制流体特性是否可变

以上二命令的菜单路径如下:

Main Menu>Preprocessor>FLOTRAN Set Up>Fluid Properties

Main Menu>Solution>FLOTRAN Set Up>Fluid Properties

第一条命令的 *Lable* 的选项及其各自含义如下:

DENS: 指定流体密度类型, 缺省为常值

VISC: 指定流体粘性类型, 缺省为常值

COND: 指定流体导热系数类型, 缺省为常值

SPHT: 指定流体比热类型, 缺省为常值

第一条命令的 *Value* 为流体性质的类型, 有如下值:

CONSTANT: 性质为常值

GAS: 气体性质

LIQUID: 流体性质

TABLE: 由材料性质表输入(**MPTEMP** 和 **MPDATA** 命令)

POWL: 非牛顿流的 Power Law 粘性类型

CARR: 非牛顿流的 Carreau 粘性类型

BING: 非牛顿流的 Bingham 粘性类型

USERV: 用户自定义粘性类型(通过用户子程序 **USERVISLAW** 实现)

AIR: 国际单位制的空气性质

AIR_B: 国际单位制的空气性质, 其计算密度时的压力为参考压力

AIR-SI: 国际单位制的空气性质

AIR-SI_B: 国际单位制的空气性质, 其计算密度时的压力为参考压力

AIR-CM: 厘米-克-秒制的空气性质

AIR-CM_B: 厘米-克-秒制的空气性质, 其计算密度时的压力为参考压力

AIR-MM: 毫米-克-秒制的空气性质

AIR-MM_B: 毫米-克-秒制的空气性质, 其计算密度时的压力为参考压力

AIR-FT: 英尺-斯-秒值的空气性质

AIR-FT_B: 英尺-斯-秒值的空气性质, 其计算密度时的压力为参考压力

AIR-IN: 英寸-(磅-秒²/英寸)-秒制空气性质

AIR-IN_B: 英寸-(磅-秒²/英寸)-秒制空气性质, 其计算密度时的压力为参考压力

CMIX: 多组份流体质量比

USER: 用户自定义流体性质

各性质的详细描述请参见理论手册

第二条命令的 *Lable* 的选项及其各自含义如下:

DENS: 指定流体密度是否变化, 缺省为否

VISC: 指定流体粘性是否变化, 缺省为否

COND: 指定流体导热系数是否变化, 缺省为否

SPHT: 指定流体比热是否变化, 缺省为否

第二条命令的 Value 取“是”或“否”二者之一

这两条命令的菜单形式如下:

Fluid Properties

[FLDATA12],PROP,DENS

Density Constant

[FLDATA13],VARY,DENS

Allow density variations? ☐ No

[FLDATA12],PROP,VISC

Viscosity Constant

[FLDATA13],VARY,VISC

Allow viscosity variations? ☐ No

[FLDATA12],PROP,COND

Conductivity Constant

[FLDATA13],VARY,COND

Allow conductivity variations? ☐ No

[FLDATA12],PROP,SPHT

Specific heat Constant

[FLDATA13],VARY,SPHT

Allow specific heat variations ☐ No

OK Apply Cancel Help

7 FLOTRAN 流体性质参数设定

上面 6 中介绍的各种不同的流体类型，其特性的定义是不一样的，如，CONSTANT、GAS、LIQUID 等流体性质就分别需要定义其性质的名义项、第一参数项、第二参数项、第三参数项等，然后利用这些项通过各自特定的公式来拟合流体性质，定义这些项目的命令如下：

命令： **FLDATA8**, *NOMI*, *Lable*, *Value*

功能：定义流体性质方程的 名义项参数

命令： **FLDATA9**, *COF1*, *Lable*, *Value*

功能：定义流体性质方程的第一参数项

命令： **FLDATA10**, *COF2*, *Lable*, *Value*

功能：定义流体性质方程的第二参数项

命令： **FLDATA11**, *COF3*, *Lable*, *Value*

功能：定义流体性质方程的第三参数项

这四条命令的菜单路径都是：

Main Menu>Preprocessor>FLOTRAN Set Up>Fluid Properties

Main Menu>Solution>FLOTRAN Set Up>Fluid Properties

这四条命令的 *Lable* 的选项及其各自含义如下：

DENS： 指定密度特性的各参数项

VISC： 指定粘性特性的各参数项

COND： 指定导热系数特性的各参数项

SPHT： 指定比热特性的各参数项

这些命令的菜单形式如下(该图只显示了 LIQUID 性质系数的定义，其它性质流体的性质系数的定义与此类似)：

CFD Flow Properties

Density property type LIQUID

D0 Nominal value

D1 Temp. of nominal value

D2 Linear Coefficient

D3 Quadratic coeff

Density = D0 + D2 * (T-D1) + D3 * (T-D1)2**

Viscosity property type LIQUID

U0 Nominal value

U1 Temp. of nominal value

U2 Linear coefficient

U3 Quadratic coeff

Viscosity = U0 * EXP(U2*((1/T) - (1/U1)) + U3*((1/T)-(1/U1))2)**

Conductivity property type LIQUID

C0 Nominal value

C1 Temp. of nominal value

C2 Linear Coefficient

C3 Quadratic coeff

Conductivity = C0 * EXP(C2*((1/T) - (1/C1)) + C3*((1/T)-(1/C1))2)**

Specific Heat Property Type CONSTANT

Constant value

8 FLOTRAN 分析的坐标系统的指定

命令: **KEYOPT, 1, 3, Value**

功能: 设定 FLOTRAN 单元的分析坐标系

菜单: **Main Menu>Preprocessor>FLOTRAN Set Up>Flow Environment>FLOTRAN
Coor Sys**
**Main Menu>Solution>FLOTRAN Set Up>Flow Environment>FLOTRAN
Coor Sys**

其中, 对于平面分析(141 单元)Value 的值及其含义如下:

0: 的卡尔直角坐标系(此为缺省值)

1: 绕 X 轴轴对称

2: 绕 Y 轴轴对称

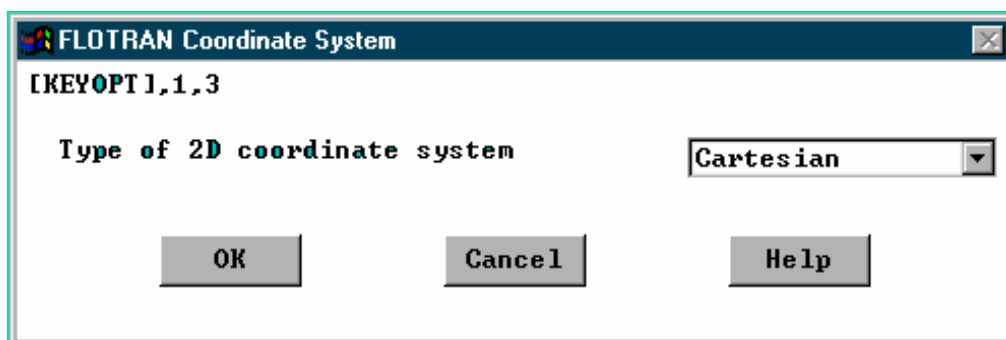
3: 极坐标系

对于三维分析(142 单元)Value 的值及其含义如下:

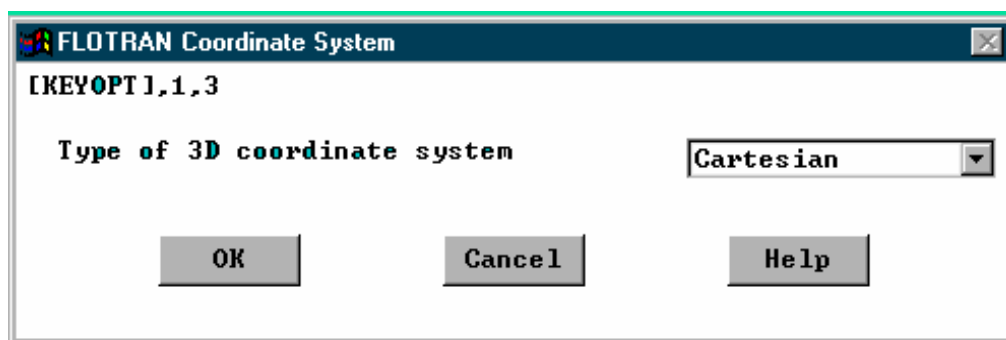
0: 的卡尔直角坐标系(此为缺省值)

3: 柱坐标系

该命令的菜单形式如下:



二维分析



三维分析

9 FLOTRAN 分析参考条件的设置

命令: **FLDATA14, TEMP, Lable, Value**

功能: 设定参考温度

其中, Lable 的选项及其各自含义如下:

- NOMI: 指定初始温度, 缺省为 293
- BULK: 指定用于计算传热系数的环境温度, 缺省为 293
- TTOT: 指定用于可压缩绝热流分析的总温(滞止温度)

命令: **FLDATA15, PRES, REFE, Value**

功能: 设定参考压力, 缺省值为 1.0135×10^5

命令: **FLDATA16, BULK, BETA, Value**

功能: 设定体积模数($\beta_p = \partial P / \partial p$), 缺省值为 1×10^{15}

命令: **FLDATA17, GAMM, COMP, Value**

功能: 指定比热比, 缺省为 1.4

命令: **TOFFST, Value**

功能: 指定当前温度系统(如摄氏度)的零度与绝对温度系统(开氏温度)零度间的差值

这些命令的菜单路径都是:

Main Menu>Preprocessor>FLOTRAN Set Up>Flow Environment>Ref Condintions

Main Menu>Solution>FLOTRAN Set Up>Flow Environment>Ref Condintions

这些命令的菜单形式如下:

The image shows a 'Reference Conditions' dialog box with the following fields and values:

Field	Value
[FLDATA15], PRES, REFE Reference pressure	101350
[FLDATA16], BULK, BETA Bulk modulus parameter	1e+015
[FLDATA17], GAMM, COMP Ratio of Cp/Cv	1.4
[FLDATA14], TEMP, NOMI Nominal temperature	293
[FLDATA14], TEMP, TTOT Stagnation (total) temp	293
[FLDATA14], TEMP, BULK Reference (bulk) temp	293
[TOFF] Temp offset from ABS zero	0

Buttons: OK, Cancel, Help

10 指定 FLOTRAN 分析的旋转坐标系

命令: **CGOMGA**, *CGOMX*, *CGOMY*, *CGOMZ*

功能: 指定关于总体坐标系原点的旋转速度

其中: **CGOMX**: 关于总体坐标系 X 轴的旋转速度

CGOMY: 关于总体坐标系 Y 轴的旋转速度

CGOMZ: 关于总体坐标系 Z 轴的旋转速度

命令: **CGLOC**, *XL0C*, *YL0C*, *ZL0C*

功能: 指定加速度坐标系的原点

其中: **XL0C**: 加速度坐标系原点在总体的卡尔坐标系中的 X 坐标值

YL0C: 加速度坐标系原点在总体的卡尔坐标系中的 Y 坐标值

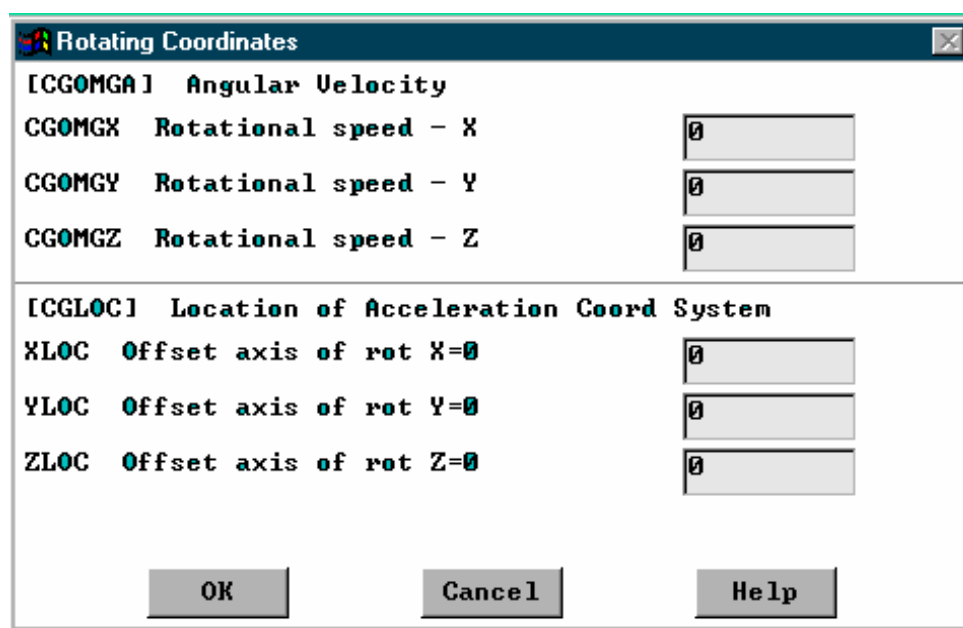
ZL0C: 加速度坐标系原点在总体的卡尔坐标系中的 Z 坐标值

以上两条命令的菜单路径是:

Main Menu>Preprocessor>FLOTRAN Set Up>Flow Environment>Rotating Coords

Main Menu>Solution>FLOTRAN Set Up>Flow Environment>Rotating Coords

以上两条命令的菜单形式如下:



11 指定 FLOTRAN 分析的重力加速度

命令: **ACEL**, *ACELX*, *ACELY*, *ACELZ*

功能: 指定 FLOTRAN 分析的重力加速度

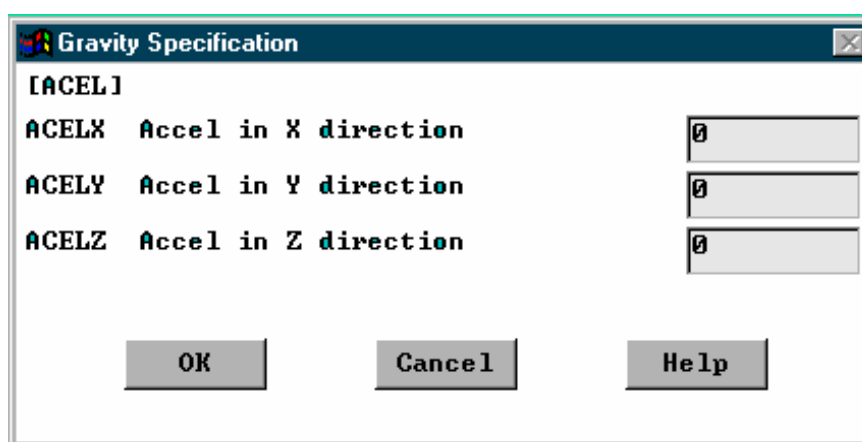
菜单: **Main Menu>Preprocessor>FLOTRAN Set Up>Flow Environment>Gravity**
Main Menu>Solution>FLOTRAN Set Up>Flow Environment>Gravity

其中, **ACELX**: 沿加速度坐标系 X 轴方向上的加速度值

ACELY: 沿加速度坐标系 Y 轴方向上的加速度值

ACELZ: 沿加速度坐标系 Z 轴方向上的加速度值

该命令的菜单形式如下:



12 设置有助于 FLOTRAN 求解稳定的参数

命令: **FLDATA26**, *STAB*, *Lable*, *Value*

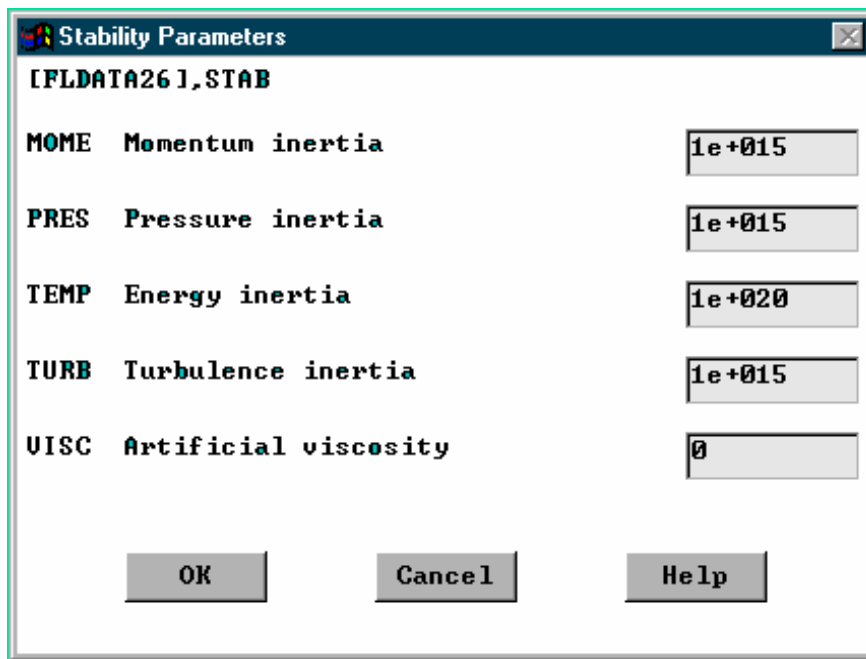
功能: 设置有助于求解稳定的参数

菜单: **Main Menu>Preprocessor>FLOTRAN Set Up>Relax/Stab/Cap>Stability Parm**s
Main Menu>Solution>FLOTRAN Set Up>Relax/Stab/Cap>Stability Parms

其中, Lable 的选项及其各自含义如下:

- MOME**: 指定动量惯性松弛因子, 缺省为 1×10^{15}
- PRES**: 指定压力惯性松弛因子, 缺省为 1×10^{15}
- TEMP**: 指定能量惯性松弛因子, 缺省为 1×10^{20}
- TURB**: 指定湍流惯性松弛因子, 缺省为 1×10^{15}
- VISC**: 指定人工粘性系数, 缺省为 0

该命令的菜单形式如下:



13 设定 FLOTRAN 自由度松弛系数

命令: **FLDATA25**, *RELX*, *Lable*, *Value*

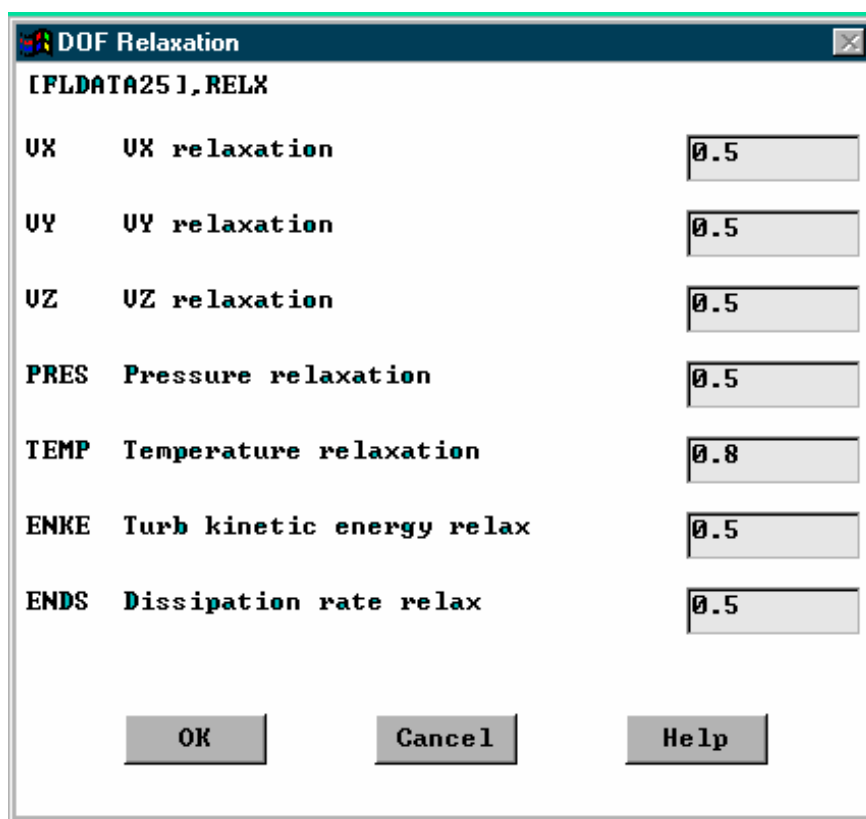
功能: 设定自由度松弛系数, 以助于收敛

菜单: **Main Menu>Preprocessor>FLOTRAN Set Up>Relax/Stab/Cap>DOF Relaxation**
Main Menu>Solution>FLOTRAN Set Up>Relax/Stab/Cap>DOF Relaxation

其中, *Lable* 的选项及其各自含义如下:

- VX:** 指定 X 方向速度松弛因子, 缺省为 0.5
- VY:** 指定 Y 方向速度松弛因子, 缺省为 0.5
- VZ:** 指定 Z 方向速度松弛因子, 缺省为 0.5
- PRES:** 指定压力松弛因子, 缺省为 0.5
- TEMP:** 指定温度松弛因子, 缺省为 0.8
- ENKE:** 指定湍流松弛因子, 缺省为 0.5
- ENDS:** 指定湍流耗散率松弛因子, 缺省为 0.5

该命令的菜单形式如下:



14 设定 FLOTRAN 流体性质松弛因子

命令: **FLDATA25, RELX, Lable, Value**

功能: 设定流体性质松弛系数, 以助于收敛

菜单: **Main Menu>Preprocessor>FLOTRAN Set Up>Relax/Stab/Cap>Prop Relaxation**
Main Menu>Solution>FLOTRAN Set Up>Relax/Stab/Cap>Prop Relaxation

其中, Lable 的选项及其各自含义如下:

DENS: 设定密度松弛因子, 缺省为 0.5

SPHT: 设定比热松弛因子, 缺省为 1.0

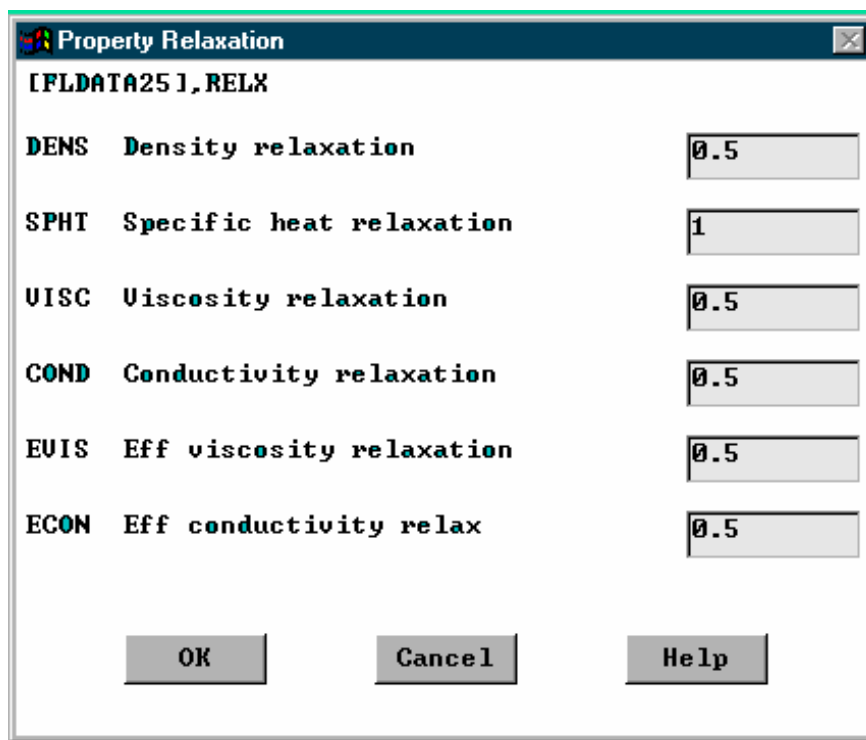
VISC: 设定粘性松弛因子, 缺省为 0.5

COND: 设定导热系数松弛因子, 缺省为 0.5

EVIS: 设定有效粘性系数松弛因子, 缺省为 0.5

ECON: 设定有效导热系数松弛因子, 缺省为 0.5

该命令的菜单形式如下:



15 设置 FLOTRAN 分析的自由度限值

命令: **FLDATA31**, *CAPP*, *Lable*, *Value*

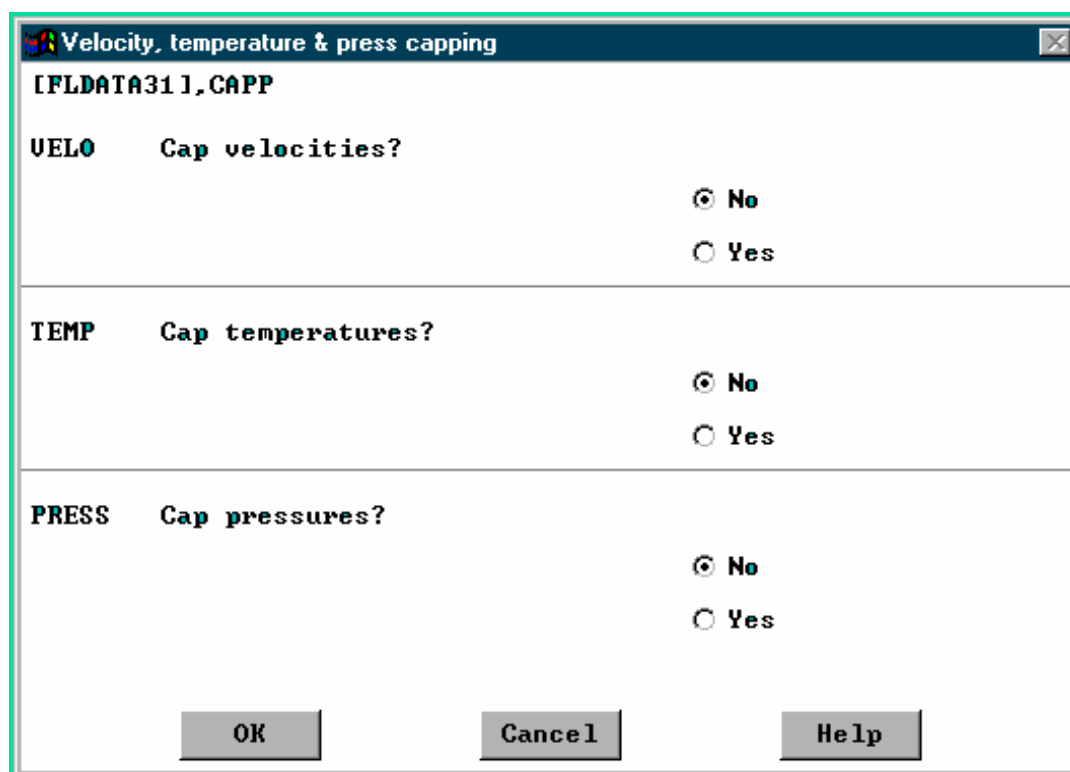
功能: 设置自由度变量的限值以防止出现不合理结果

菜单: **Main Menu>Preprocessor>FLOTRAN Set Up>Relax/Stab/Cap>Results Capping**
Main Menu>Solution>FLOTRAN Set Up>Relax/Stab/Cap>Results Capping

其中, Lable 的选项及其各自含义如下:

- VELO: 控制是否加速度限值, 缺省为否
- TEMP: 控制是否加温度限值, 缺省为否
- PRES: 控制是否加压力限值, 缺省为否
- UMIN: 指定X方向速度的最小限值, 缺省为 -1×10^{20}
- UMAX: 指定X方向速度的最大限值, 缺省为 1×10^{20}
- VMIN: 指定Y方向速度的最小限值, 缺省为 -1×10^{20}
- VMAX: 指定Y方向速度的最大限值, 缺省为 1×10^{20}
- WMIN: 指定Z方向速度的最小限值, 缺省为 -1×10^{20}
- WMAX: 指定Z方向速度的最大限值, 缺省为 1×10^{20}
- TMIN: 指定温度的最小限值, 缺省为 -1×10^{20}
- TMAX: 指定温度的最大限值, 缺省为 1×10^{20}
- PMIN: 指定压力的最小限值, 缺省为 -1×10^{20}
- PMAX: 指定压力的最大限值, 缺省为 1×10^{20}

该命令的菜单形式有如下两个:





The image shows a 'Set capping values' dialog box with a title bar containing a small icon and a close button. The main area is titled '[FLDATA31], CAPP'. It contains six pairs of input fields, each with a label and a value. The labels are UMIN, UMAX, UMIN, UMAX, WMIN, WMAX, TMIN, TMAX, PMIN, and PMAX. The values are -1e+020, 1e+020, -1e+020, 1e+020, -1e+020, 1e+020, -1e+020, 1e+020, -1e+020, and 1e+020. At the bottom, there are three buttons: OK, Cancel, and Help.

Variable	Minimum cap	Maximum cap
UX	UMIN	UMAX
UY	UMIN	UMAX
UZ	WMIN	WMAX
TEMP	TMIN	TMAX
PRESS	PMIN	PMAX

OK Cancel Help

16 选择 FLOTRAN 各自由度相应的求解器

命令: **FLDATA18**, *METH*, *Lable*, *Value*

功能: 选择每个自由度的解算方法

菜单: **Main Menu>Preprocessor>FLOTRAN Set Up>CFD Solver Controls>VX Solver CFD**

Main Menu>Preprocessor>FLOTRAN Set Up>CFD Solver Controls>VY Solver CFD

Main Menu>Preprocessor>FLOTRAN Set Up>CFD Solver Controls>VZ Solver CFD

Main Menu>Preprocessor>FLOTRAN Set Up>CFD Solver Controls>PRES Solver CFD

Main Menu>Preprocessor>FLOTRAN Set Up>CFD Solver Controls>TEMP Solver CFD

Main Menu>Preprocessor>FLOTRAN Set Up>CFD Solver Controls>ENKE Solver CFD

Main Menu>Preprocessor>FLOTRAN Set Up>CFD Solver Controls>ENDS Solver CFD

Main Menu>Solution>FLOTRAN Set Up>CFD Solver Controls>VX Solver CFD

Main Menu>Solution>FLOTRAN Set Up>CFD Solver Controls>VY Solver CFD

Main Menu>Solution>FLOTRAN Set Up>CFD Solver Controls>VZ Solver CFD

Main Menu>Solution>FLOTRAN Set Up>CFD Solver Controls>PRES Solver CFD

Main Menu>Solution>FLOTRAN Set Up>CFD Solver Controls>TEMP Solver CFD

Main Menu>Solution>FLOTRAN Set Up>CFD Solver Controls>ENKE Solver CFD

Main Menu>Solution>FLOTRAN Set Up>CFD Solver Controls>ENDS Solver CFD

其中, *Lable* 的选项及其各自的含义如下:

VX: 指定 X 方向速度求解器, 缺省为 TDMA (三对角矩阵法)

VY: 指定 Y 方向速度求解器, 缺省为 TDMA (三对角矩阵法)

VZ: 指定 Z 方向速度求解器, 缺省为 TDMA (三对角矩阵法)

PRES: 指定压力求解器, 缺省为 PCRM (预条件共轭残差法)

TEMP: 指定温度求解器, 缺省为 TDMA (三对角矩阵法)

ENKE: 指定湍流动能求解器, 缺省为 TDMA (三对角矩阵法)

ENDS: 指定湍流动能耗散率求解器, 缺省为 TDMA (三对角矩阵法)

Value 的值及其含义如下:

0: 不求解该自由度的方程

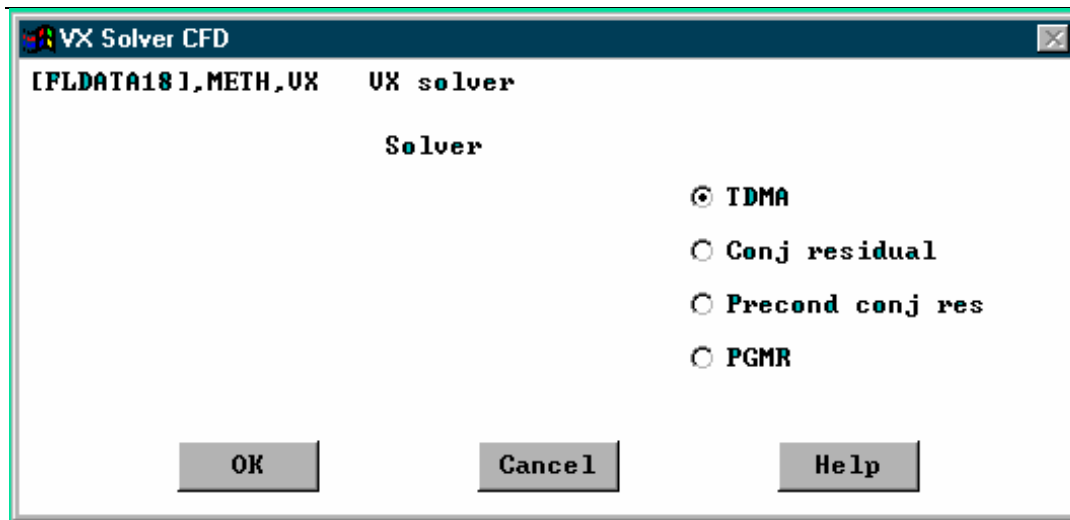
1: 使用三对角矩阵法 (TDMA, 作为除压力外其它所有自由度的缺省求解器)

2: 使用共轭残差法 (CRM) (该方法为半直接迭代求解法)

3: 使用预条件共轭残差法 (PCRM) (该方法为半直接迭代求解法)

4: 使用预条件广义最小残差法 (PGMR)

该命令的菜单形式如下 (在此只显示了 VX 的菜单, 其它自由度的菜单与此类似):



17 对 FLOTRAN 各求解器的控制

命令: **FLDATA19**, *TDMA*, *Lable*, *Value*

功能: 指定各自由度用 TDMA 法求解时的迭代数 (推进步数)

其中, *Lable* 的选项及其各自的含义如下:

- VX:** 指定 X 方向速度 TDMA 法推进步数, 缺省为 1
 - VY:** 指定 Y 方向速度 TDMA 法推进步数, 缺省为 1
 - VZ:** 指定 Z 方向速度 TDMA 法推进步数, 缺省为 1
 - PRES:** 指定压力 TDMA 法推进步数, 缺省为 100
 - TEMP:** 指定温度 TDMA 法推进步数, 缺省为 100
 - ENKE:** 指定湍流动能 TDMA 法推进步数, 缺省为 10
 - ENDS:** 指定湍流动能耗散率 TDMA 法推进步数, 缺省为 10
- Value* 即为上述推进步数 (迭代数)

注意: 该命令只有 **PRES**、**TEMP**、**ENKE**、**ENDS** 四项能通过菜单达到, 因若改变了速度项的推进步数缺省值, 通常会引起求解不稳定。

命令: **FLDATA20**, *SRCH*, *Lable*, *Value*

功能: 指定共轭方向搜索矢量的个数, 适用于 **CRM** 和 **PCRM** 求解器。

其中, *Lable* 的选项及其各自的含义如下:

- VX:** 指定 X 方向速度方程共轭方向搜索矢量的个数
- VY:** 指定 Y 方向速度方程共轭方向搜索矢量的个数
- VZ:** 指定 Z 方向速度方程共轭方向搜索矢量的个数
- PRES:** 指定压力方程共轭方向搜索矢量的个数
- TEMP:** 指定温度方程共轭方向搜索矢量的个数
- ENKE:** 指定湍流动能方程共轭方向搜索矢量的个数
- ENDS:** 指定湍流动能耗散率方程共轭方向搜索矢量的个数

Value 即为上述搜索矢量的个数, 对于 **CRM** 法, 其缺省值都是 2; 而对于 **PCRM** 法, 其缺省值则都为 12, 且不允许少于 12!

注意: 只有当选用了 **CRM** 或 **PCRM** 法作为求解方法时, 该命令的菜单才会出现。

命令: **FLDATA21**, *CONV*, *Lable*, *Value*

功能: 定义各自由度的收敛准则, 适用于 **CRM** 和 **PCRM** 求解器。

其中, *Lable* 的选项及其各自的含义如下:

- VX:** 定义 X 方向速度方程的求解收敛准则, 缺省为 1×10^{-5}
- VY:** 定义 Y 方向速度方程的求解收敛准则, 缺省为 1×10^{-5}
- VZ:** 定义 Z 方向速度方程的求解收敛准则, 缺省为 1×10^{-5}
- PRES:** 定义压力方程的求解收敛准则, 缺省为 1×10^{-7}
- TEMP:** 定义温度方程的求解收敛准则, 缺省为 1×10^{-7}
- ENKE:** 定义湍流动能方程的求解收敛准则, 缺省为 1×10^{-5}
- ENDS:** 定义湍流动量耗散率方程的求解收敛准则, 缺省为 1×10^{-5}

注意: 对于 **PGMR** 求解器, 缺省的收敛值为 1×10^{-10} , 且不能小于 1×10^{-14} ; 只有当选用了 **CRM** 或 **PCRM** 法作为求解方法时, 该命令的菜单才会出现。

命令: **FLDATA22**, *MAXI*, *Lable*, *Value*

功能: 定义半直接迭代求解法 (即 **CRM** 法和 **PCRM** 法) 的最大迭代数

其中, *Lable* 的选项及其各自的含义如下:

- VX:** 定义 X 方向速度方程的半直接法求解迭代数, 缺省为 100

- VY: 定义 Y 方向速度方程的半直接法求解迭代数, 缺省为 100
 VZ: 定义 Z 方向速度方程的半直接法求解迭代数, 缺省为 100
 PRES: 定义压力方程的半直接法求解迭代数, 缺省为 500
 TEMP: 定义温度方程的半直接法求解迭代数, 缺省为 500
 ENKE: 定义湍流动能方程的半直接法求解迭代数, 缺省为 100
 ENDS: 定义湍流能耗散率方程的半直接法求解迭代数, 缺省为 100

注意: 只有当选用了 CRM 或 PCRM 法作为求解方法时, 该命令的菜单才会出现。

命令: **FLDATA23, DELT, Lable, Value**

功能: 指定 求解器最小的归一化变化率, 适用于 CRM 和 PCRM 求解器。

其中, Lable 的选项及其各自的含义如下:

- VX: 定义 X 方向速度方程求解器最小的归一化变化率, 缺省为 1×10^{-10}
 VY: 定义 Y 方向速度方程求解器最小的归一化变化率, 缺省为 1×10^{-10}
 VZ: 定义 Z 方向速度方程求解器最小的归一化变化率, 缺省为 1×10^{-10}
 PRES: 定义压力方程求解器最小的归一化变化率, 缺省为 1×10^{-10}
 TEMP: 定义温度方程求解器最小的归一化变化率, 缺省为 1×10^{-10}
 ENKE: 定义湍流动能方程求解器最小的归一化变化率, 缺省为 1×10^{-10}
 ENDS: 定义湍流能耗散率方程求解器最小的归一化变化率, 缺省为 1×10^{-10}

注意: 只有当选用了 CRM 或 PCRM 法作为求解方法时, 该命令的菜单才会出现。

以上五条命令的菜单路径都是:

Main Menu>Preprocessor>FLOTTRAN Set Up>CFD Solver Controls>VX Solver CFD

Main Menu>Preprocessor>FLOTTRAN Set Up>CFD Solver Controls>VY Solver CFD

Main Menu>Preprocessor>FLOTTRAN Set Up>CFD Solver Controls>VZ Solver CFD

Main Menu>Preprocessor>FLOTTRAN Set Up>CFD Solver Controls>PRES Solver CFD

Main Menu>Preprocessor>FLOTTRAN Set Up>CFD Solver Controls>TEMP Solver CFD

Main Menu>Preprocessor>FLOTTRAN Set Up>CFD Solver Controls>ENKE Solver CFD

Main Menu>Preprocessor>FLOTTRAN Set Up>CFD Solver Controls>ENDS Solver CFD

Main Menu>Solution>FLOTTRAN Set Up>CFD Solver Controls>VX Solver CFD

Main Menu>Solution>FLOTTRAN Set Up>CFD Solver Controls>VY Solver CFD

Main Menu>Solution>FLOTTRAN Set Up>CFD Solver Controls>VZ Solver CFD

Main Menu>Solution>FLOTTRAN Set Up>CFD Solver Controls>PRES Solver CFD

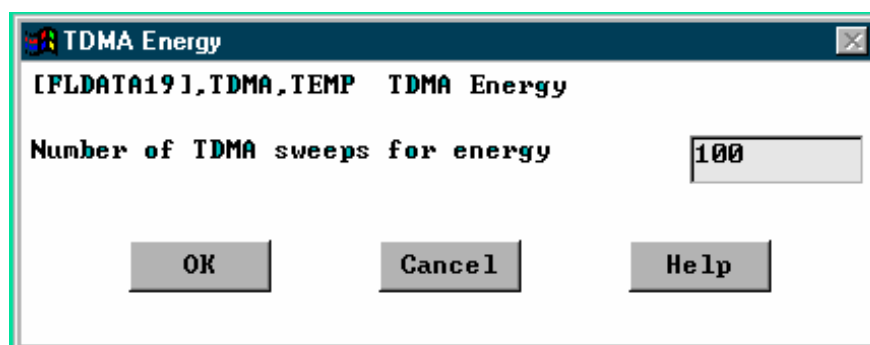
Main Menu>Solution>FLOTTRAN Set Up>CFD Solver Controls>TEMP Solver CFD

Main Menu>Solution>FLOTTRAN Set Up>CFD Solver Controls>ENKE Solver CFD

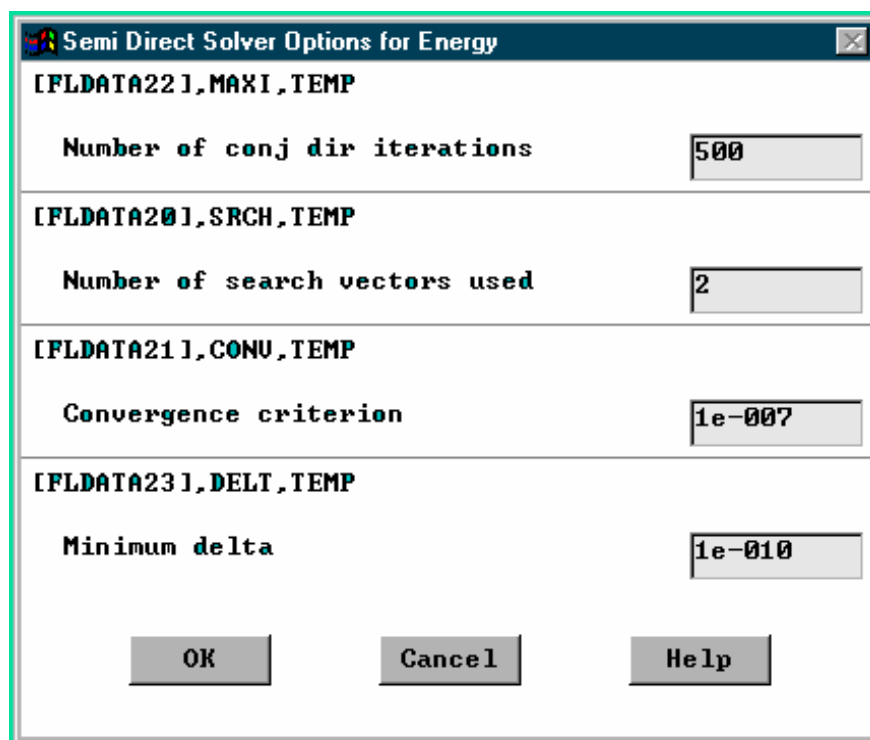
Main Menu>Solution>FLOTTRAN Set Up>CFD Solver Controls>ENDS Solver CFD

由于对于上面每条命令而言, 其菜单形式在各个自由度下都极其类似, 故在此仅以温度自由度作为示范来显示以上各命令的菜单形式。

第一条命令 (**FLDATA19**) 的菜单形式如下:



第二、三、四、五条命令（**FLDATA20**、**FLDATA21**、 **FLDATA22**、 **FLDATA23**）的菜单形式如下：



The image shows a dialog box titled "Semi Direct Solver Options for Energy". It contains four sections, each with a label and a corresponding input field:

Section Label	Parameter	Value
[FLDATA22],MAXI,TEMP	Number of conj dir iterations	500
[FLDATA20],SRCH,TEMP	Number of search vectors used	2
[FLDATA21],CONU,TEMP	Convergence criterion	1e-007
[FLDATA23],DELT,TEMP	Minimum delta	1e-010

At the bottom of the dialog box are three buttons: OK, Cancel, and Help.

18 设置 FLOTTRAN 湍流模型的一些常数

命令: **FLDATA24, TURB, Lable, Value**

功能: 设置湍流分析时所用湍流模型的一些常数

注意, 该命令有三项子功能: 设置湍流模型常数、设置湍流进口常数、设置湍流 Schmidt 数

菜单: 以上三项子功能的菜单路径分别是:

Main Menu>Preprocessor>FLOTTRAN Set Up>Turbulence>Turb Model Parm
Main Menu>Solution>FLOTTRAN Set Up>Turbulence>Turb Model Parm

Main Menu>Preprocessor>FLOTTRAN Set Up>Turbulence>Turb Inlet Parm
Main Menu>Solution>FLOTTRAN Set Up>Turbulence>Turb Inlet Parm

Main Menu>Preprocessor>FLOTTRAN Set Up>Turbulence>Turb Schmidt No.
Main Menu>Solution>FLOTTRAN Set Up>Turbulence>Turb Schmidt No.

其中, 设置湍流模型常数子功能 Lable 的选项及其各自的含义如下:

CMU: 定义k-ε湍流模型常数 μ_t ($\mu_t = C_\mu \rho k^2 / \varepsilon$), 缺省值为 0.09

C1: 定义 k-ε湍流模型常数 C1, 缺省值为 1.44

C2: 定义 k-ε湍流模型常数 C2, 缺省值为 1.92

KAPP: 定义壁面律常数, 缺省值为 0.4

EWLL: 定义壁面律常数, 缺省值为 9.0

VAND: 定义 Van Driest 壁面传热模型常数, 缺省值为 26.0

BUC3: 定义 k-ε浮力模型常数, 缺省值为 0.0

BUC4: 定义用于 k-ε湍流动能方程浮力项的乘子, 缺省为 0.0

WALL: 选定壁面导热模型, 其 Value 项有如下选择:

Value = VAND: 选用 Van Driest 模型 (用于高普朗特数流体)

Value = SPAL: 选用 Spalding 模型 (用于低普朗特数流体)

Value = EQLB: 选用平衡 (Equilibrium) 模型

其缺省值为 VAND, 即选用 Van Driest 模型

BETA: 定义用于 k-ε模型浮力项的热膨胀系数 β ($\beta = (1/\rho)(\partial\rho/\partial T)$)

TRAN: 定义 y+ 的幅值, 仅用于平衡壁面模型, 缺省值为 11.5

设置湍流进口常数子功能 Lable 的选项及其各自的含义如下:

ININ: 定义进口湍流强度, 缺省为 0.01

INSF: 定义进口尺度因子, 缺省为 0.01

RATI: 定义湍流比, 缺省为 1000

设置湍流 Schmidt 数子功能 Lable 的选项及其各自的含义如下:

SCTM: 定义动量的 Schmidt 数, 缺省值为 1.0

SCTT: 定义温度的 Schmidt 数, 缺省值为 1.0

SCTK: 定义湍流动能的 Schmidt 数, 缺省值为 1.0

SCTD: 定义湍流动能耗散率的 Schmidt 数, 缺省值为 1.3

下面列出该三项子功能各自的菜单形式。

设置湍流模型常数的菜单形式:

Turbulence Model Parameters

[FLDATA24],TURB

CMU	Cmu	0.09
C1	C1	1.44
C2	C2	1.92
KAPP	Kappa	0.4
EWLL	E	9
UAND	A	26
BUC3	C3 Buoyancy dissipation - - source term multiplier	1
BUC4	C4 Buoyancy K.E - - source term multiplier	0
WALL	Wall conductivity model	Uan Driest
BETA	Coef. of thermal expansion	0
TRAN	Y plus transition point	11.5

OK

Cancel

Help

设置湍流进口常数的菜单形式:

Turbulence Inlet Parameter

[FLDATA24],TURB

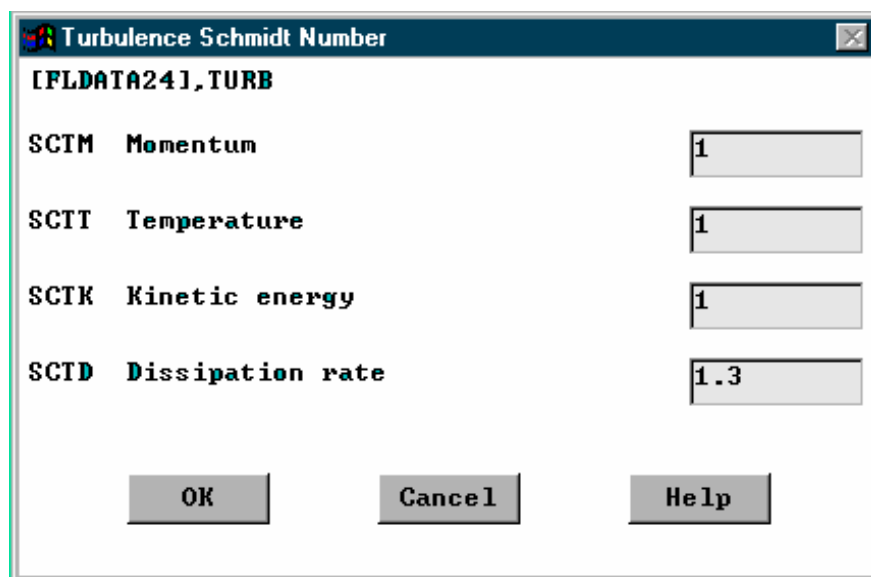
ININ	Inlet intensity	0.01
INSF	Inlet scale factor	0.01
RATI	Turbulence ratio	1000

OK

Cancel

Help

设置湍流 Schmidt 数的菜单形式：



19 重新设定 FLOTRAN 各分析参数的值

命令: **FLDATA28**, *MODR*, *Lable*, *Value*

功能: 定义是否要重新设定 FLOTRAN 各分析参数的值

命令: **FLDATA29**, *MODV*, *Lable*, *Value*

功能: 重新设定 FLOTRAN 各分析参数的值

该两条命令的菜单路径都是:

Main Menu>Preprocessor>FLOTRAN Set Up>Mod Res/Quad Ord>Modify Results

Main Menu>Solution>FLOTRAN Set Up>Mod Res/Quad Ord>Modify Results

其中, *Lable* 的选项及其各自的含义如下:

VX: 重新将整个模型的 X 方向速度设为一均值

VY: 重新将整个模型的 Y 方向速度设为一均值

VZ: 重新将整个模型的 Z 方向速度设为一均值

PRES: 重新将整个模型的压力设为一均值

TEMP: 重新将整个模型的温度设为一均值

ENKE: 重新将整个模型的紊流动能设为一均值

ENDS: 重新将整个模型的紊流动能耗散率设为一均值

DENS: 重新将整个模型的密度设为一均值

VISC: 重新将整个模型的粘性设为一均值

COND: 重新将整个模型的导热系数设为一均值

EVIS: 重新将整个模型的有效粘性设为一均值

ECON: 重新将整个模型的有效导热系数设为一均值

TTOT: 重新将整个模型的总温设为一均值

SPHT: 重新将整个模型的比热设为一均值

另外, **FLDATA29** 命令还有其它三个用于多组份疏运分析的 *Lable*, 其名称及含义如下:

SP0n: 重新设定第 n (n=1~6) 组份的质量份额

LMDn: 重新设定第 n (n=1~6) 组份的层流质量扩散系数

EMDn: 重新设定第 n (n=1~6) 组份的有效质量扩散系数

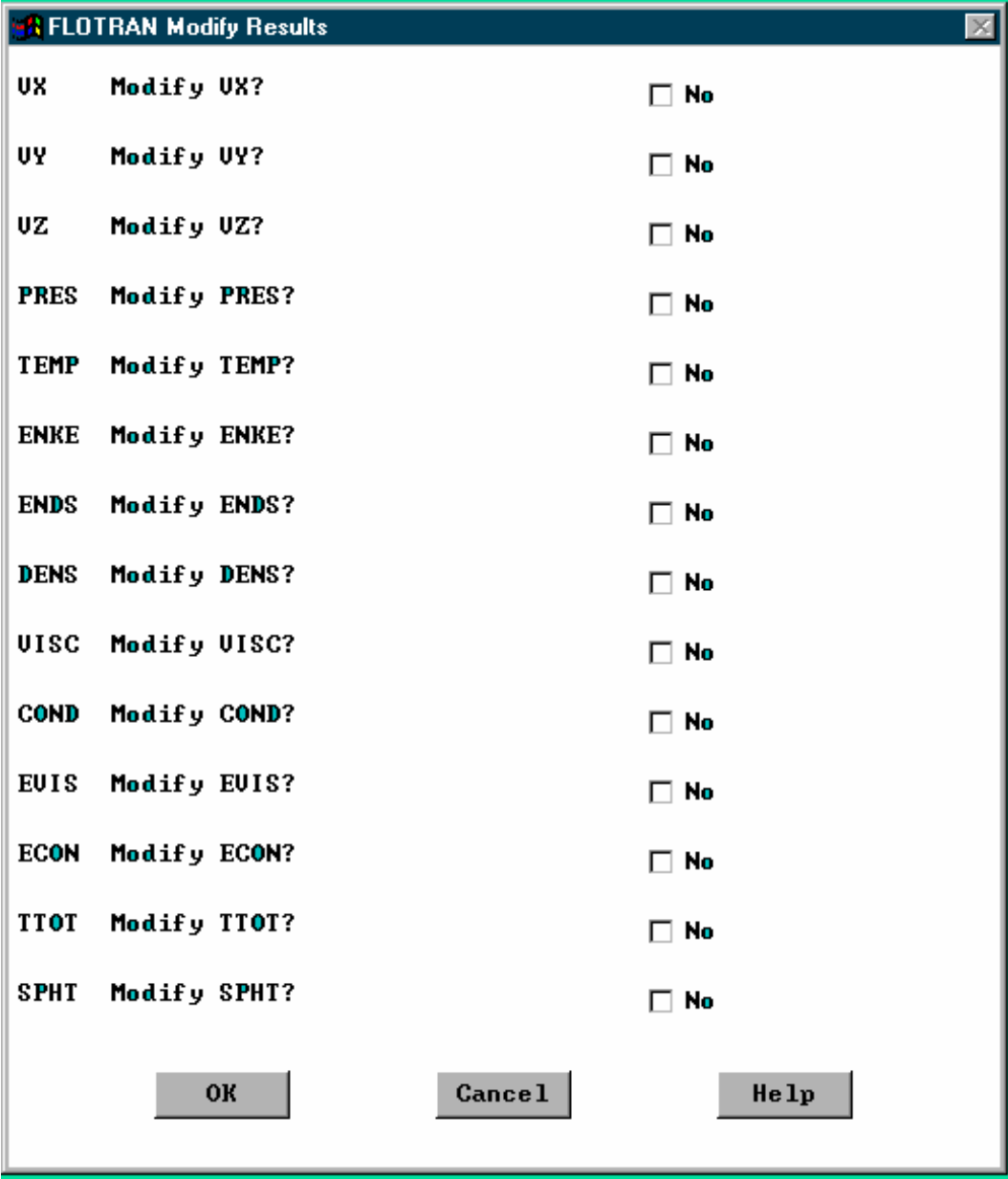
第一条命令 (**FLDATA28**) 的 *Value* 值为“是(T)”或“否(F)”之一, 缺省为否。

第二条命令 (**FLDATA29**) 的 *Value* 值为各变量重新设定后的值, 缺省为 0

注意: 只有当在 **FLDATA28** 的相应菜单中将某变量的 *Value* 设为“是”后, 才会在 **FLDATA29** 命令的菜单中显示出该变量的 *Lable*, 以允许修改该变量的值。

该两条命令相应的菜单形式如下:

第一条命令 (FLDATA28):

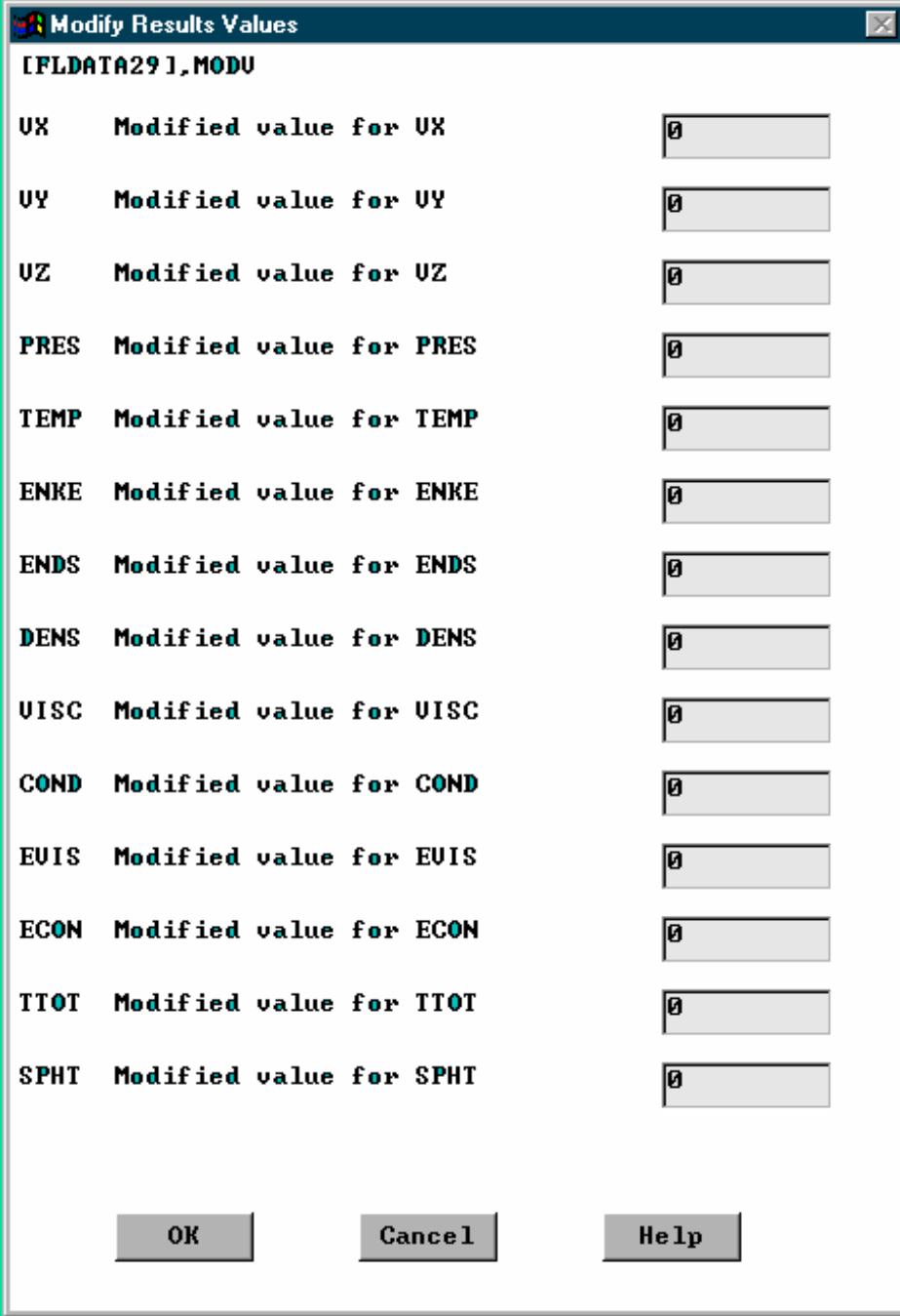


The image shows a dialog box titled "FLOTTRAN Modify Results". It contains a list of parameters with checkboxes to modify them. The parameters are: UX, UY, UZ, PRES, TEMP, ENKE, ENDS, DENS, UISC, COND, EUIS, ECON, TTOT, and SPHT. Each parameter has a checkbox labeled "No". At the bottom of the dialog box, there are three buttons: "OK", "Cancel", and "Help".

Parameter	Modify
UX	<input type="checkbox"/> No
UY	<input type="checkbox"/> No
UZ	<input type="checkbox"/> No
PRES	<input type="checkbox"/> No
TEMP	<input type="checkbox"/> No
ENKE	<input type="checkbox"/> No
ENDS	<input type="checkbox"/> No
DENS	<input type="checkbox"/> No
UISC	<input type="checkbox"/> No
COND	<input type="checkbox"/> No
EUIS	<input type="checkbox"/> No
ECON	<input type="checkbox"/> No
TTOT	<input type="checkbox"/> No
SPHT	<input type="checkbox"/> No

OK Cancel Help

第二条命令 (FLDATA29):



Modify Results Values

[FLDATA29],MODU

UX	Modified value for UX	0
UY	Modified value for UY	0
UZ	Modified value for UZ	0
PRES	Modified value for PRES	0
TEMP	Modified value for TEMP	0
ENKE	Modified value for ENKE	0
ENDS	Modified value for ENDS	0
DENS	Modified value for DENS	0
UISC	Modified value for UISC	0
COND	Modified value for COND	0
EUIS	Modified value for EUIS	0
ECON	Modified value for ECON	0
TTOT	Modified value for TTOT	0
SPHT	Modified value for SPHT	0

OK Cancel Help

20 控制 FLOTRAN 面积积分的阶次(Quadrature Order)

命令: **FLDATA30**, *QUAD*, *Lable*, *Value*

功能: 控制面积积分的阶次, 亦即积分点的个数

菜单: **Main Menu>Preprocessor>FLOTRAN Set Up>Mod Res/Quad Ord>CFD Quad Orders**

Main Menu>Solution>FLOTRAN Set Up>Mod Res/Quad Ord>CFD Quad Orders

其中, Lable 的选项及其各自的含义如下:

- MOMD:** 控制动量扩散项的面积积分阶次, 缺省为 0 点积分
- MMOS:** 控制动量源项的面积积分阶次, 缺省为 0 点积分
- PRSD:** 控制压力扩散项的面积积分阶次, 缺省为 1 点积分
- PRSS:** 控制压力源项的面积积分阶次, 缺省为 1 点积分
- THRD:** 控制热扩散项的面积积分阶次, 缺省为 0 点积分
- THRS:** 控制热源项的面积积分阶次, 缺省为 0 点积分
- TRBD:** 控制湍流扩散项的面积积分阶次, 缺省为 0 点积分
- TRBS:** 控制湍流源项的面积积分阶次, 缺省为 2 点积分

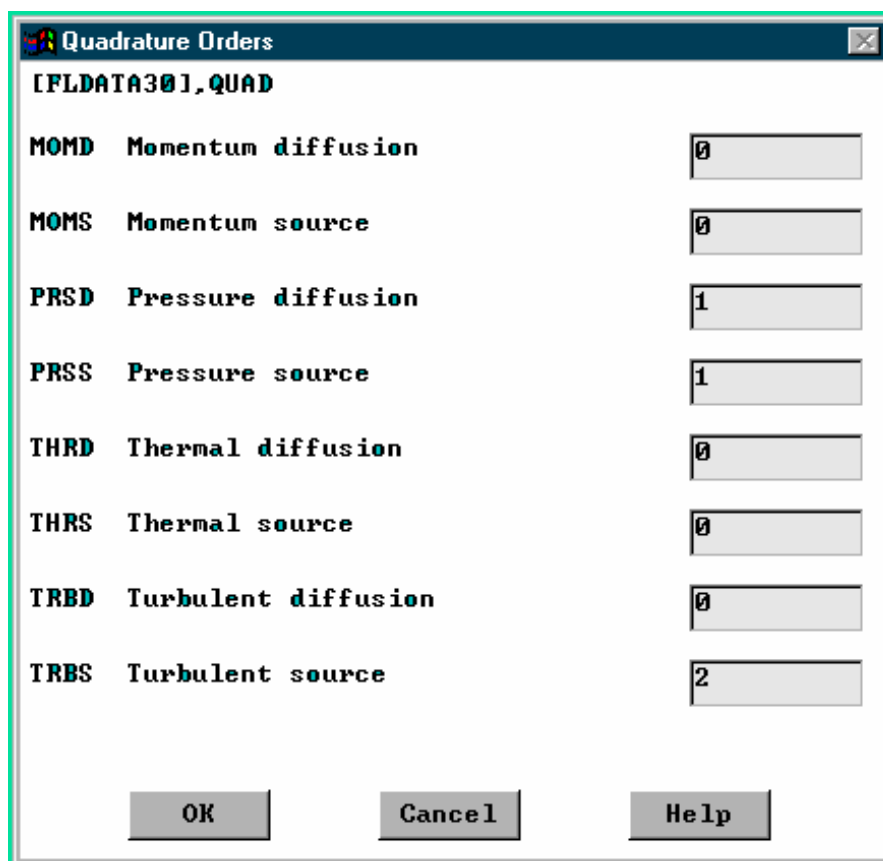
Value 即为上述积分点的数目, 各值含义如下:

0: 单点面积积分, 但积分所用的是扩散系数的平均值

1: 单点面积积分

2: 两点面积积分

注意: 程序总会将积分点数目设为最优值, 例如, 对于轴对称分析以及极坐标下的分析, 积分点数目会自动设为 2。另, 当单元畸形时, 使用 2 点积分有助于提高精度。该命令的菜单形式如下:



21 FLOTRAN 多组份疏运分析的设置及控制

下面所述所有命令的菜单路径都是：

Main Menu>Preprocessor>FLOTRAN Set Up>Multiple Species

Main Menu>Solution>FLOTRAN Set Up>Multiple Species

命令：**KEYOPT**, 1, 1, *Value*

功能：设定组份数目，*Value* 的值介于 1 到 6 之间

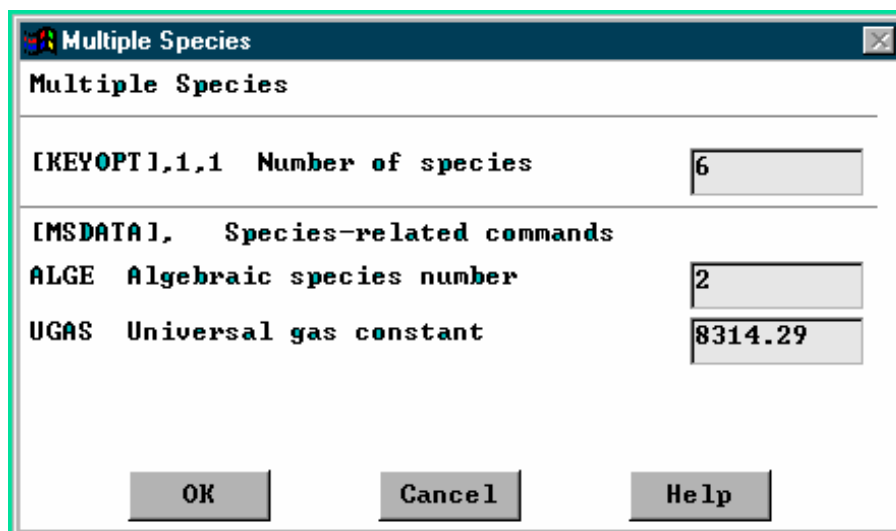
命令：**MSDATA**, *ALGEB*, *UGAS*

功能：设定施加在所有组份上的多组份数据

其中：**ALGEB**：设定一特定组份号，该组份的质量份额等于 1.0 减去其它所有组份质量份额之和，如此以保证总的质量份额为 1.0。其缺省值为 2

UGAS：设定大气常数，缺省为 8314.3（国际单位制）

以上两条命令的菜单形式如下：



命令：**MSSPEC**, *SPNUM*, *Name*, *MOLWT*, *SCHMIDT*

功能：设定各组份的名字、分子量以及 Schmidt 数

其中：**SPNUM**：组份号，介于 1 到 6 之间

Name：该组份的名字(1 到 4 个字符，不能与已存在的自由度的符号相同)，
缺省为 SP0n, n 为组份号

MOLWT：该组份的分子量，只适用于气体(由 **MSPROP** 命令定义)

SCHMIDT：该组份的 Schmidt 数，只适用于气体(由 **MSPROP** 命令定义)

命令：**MSQUAD**, *QDIF*, *QSRC*

功能：定义多组份单元的面积积分阶次

其中：**QDIF**：扩散项面积积分的阶次，其值及含义如下：

0：单点积分（此为缺省值）

1：与 0 相似，只是在计算与温度相关的流体性质时，所使用的温度是分布温度（而不是平均值）

2：两点积分（作为轴对称分析时的缺省值）

QSRC: 源项面积积分的阶次, 其值及含义如下:

0: 单点积分 (此为缺省值)

1: 与 0 相似, 只是在计算与温度相关的流体性质时, 所使用的温度是分布温度 (而不是平均值)

2: 两点积分 (作为轴对称分析时的缺省值)

命令: **MSNOMF**, *SPNUM*, *FRACTION*

功能: 定义各组份名义质量份额的初始值

其中: **SPNUM**: 组份号, 介于 1 到 6 之间

FRACTION: 该组份在整个分析区域内的初始质量份额, 缺省值为 $1/n$ 。所有组份的该值之和应为 1.0

上面三条命令的菜单形式如下:

命令: **MSMETH**, *SPNUM*, *KEY*

功能: 指定多组份疏运方程的求解方法

其中: **SPNUM**: 组份号, 介于 1 到 6 之间 (必须定义)

KEY: 定义多组份疏运方程的求解方法, 其值及其含义下:

0: 不对该组份的方程进行求解

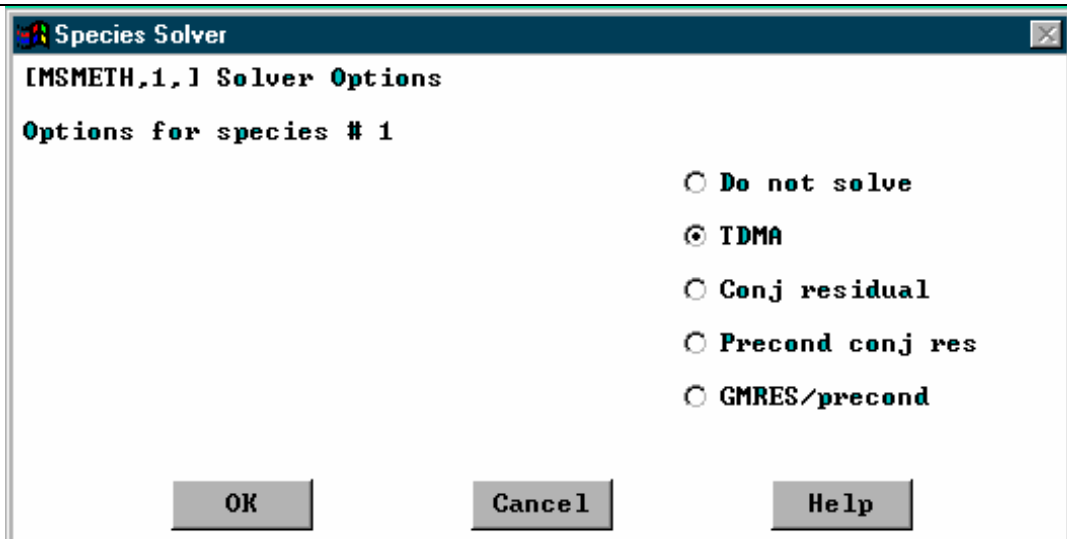
1: 三对角矩阵法 (TDMA 法, 此为缺省值)

2: 共轭残差法 (Conj residual)

3: 预条件共轭残差法 (Precond conj res)

4: 预条件广义最小残差法 (GMRES/precond)

该命令的菜单形式如下:



命令: **MSSOLU, SPNUM, NSWEEP, MAXI, NSRCH, CONV, DELMAX**

功能: 定义所组份疏运分析的求解选项

其中: SPNUM: 组份号, 介于 1 到 6 之间 (必须定义)

NSWEEP: TDMA 算法的推进步数, 只对 TDMA 算法有效, 缺省为 100

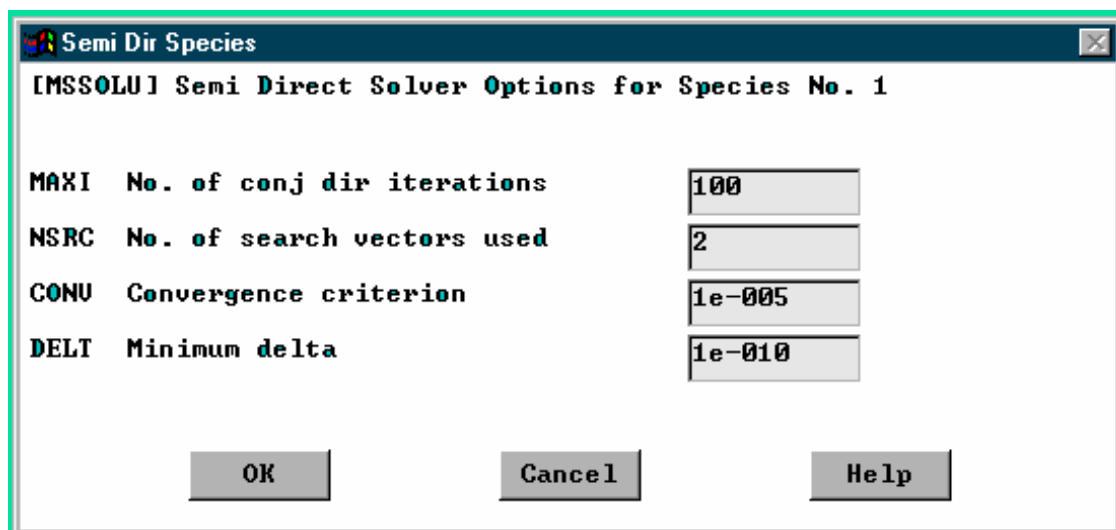
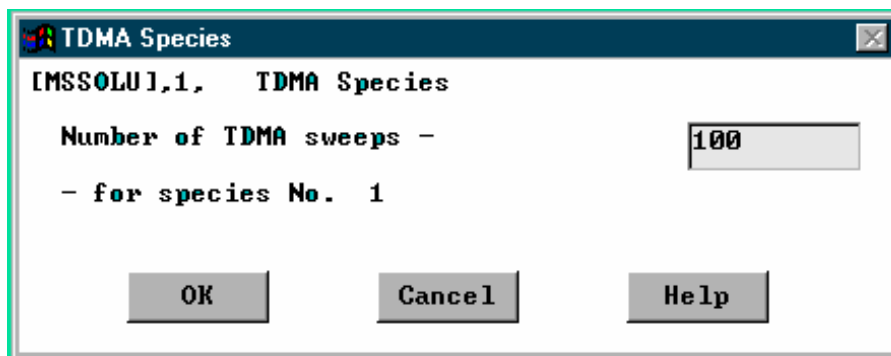
MAXI: 半直接算法的 最大迭代数, 只适用于共轭残差法、预条件共轭残差法和预条件广义最小残差法, 缺省为 100

NSRCH: 半直接算法的搜索向量个数, 缺省为 2

CONV: 半直接算法的收敛准则, 缺省为 1.0×10^{-5}

DELMAX: 半直接算法的最小归一化变化率, 缺省为 1.0×10^{-9}

针对不同的算法, 该命令的菜单形式有如下两个:



命令: **MSRELEX**, *SPNUM*, *CONC*, *MDIF*, *EMDI*, *STAB*

功能: 定义多组份分析的松弛系数

其中: **SPNUM**: 组份号, 介于 1 到 6 之间 (必须定义)

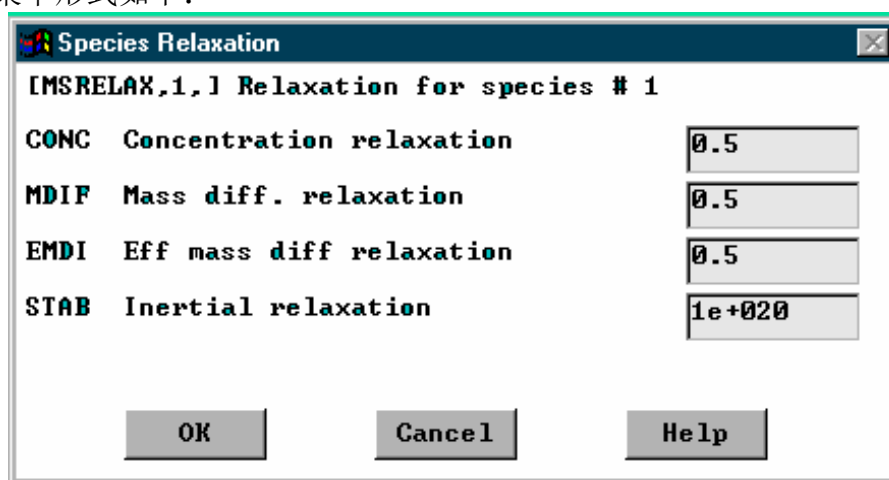
CONC: 定义集中松弛系数, 缺省为 0.5

MDIF: 定义质量扩散系数的松弛系数, 缺省为 0.5

EMDI: 定义有效质量扩散系数的松弛系数, 缺省为 0.5 (仅用于湍流)

STAB: 定义求解传输方程的惯性松弛系数, 缺省为 1.0×10^{20}

该命令的菜单形式如下:



命令: **MSPROP**, *SPNUM*, *Lable*, *Type*, *NOMINAL*, *COF1*, *COF2*, *COF3*

功能: 定义各组份流体的性质

其中: **SPNUM**: 组份号, 介于 1 到 6 之间 (必须定义)

Lable: 用以确定到底要定义流体的哪一项性质, 其值有:

DENS: 定义密度

VISC: 定义粘性

COND: 定义传热系数

MDIF: 定义质量扩散系数

SPHT: 定义比热

Type: 用以确定流体性质的类型, 其值有:

CONSTANT: 流体性质为恒值(即不随温度而变, 此为缺省值)

LIQUID: 流体性质为液体

GAS: 流体性质为气体

NOMINAL: 所定义流体性质的名义值

COF1: 与流体性质的名义值相对应的温度

COF2: 流体性质随温度变化方程中的第一系数项

COF3: 流体性质随温度变化方程中的第二系数项

注: 不同的流体, FLOTTRAN 中规定其性质随温度变化的方程如下:

对于性质为恒值 (**CONSTANT**) 的流体, 其性质方程为:

$$\text{Lable} = \text{NOMINAL}$$

对于性质为液体 (**LIQUID**) 的流体, 其性质方程为:

$$\text{DENS} = \text{NOMINAL} + \text{COF2} * (\text{T} - \text{COF1}) + \text{COF3} * (\text{T} - \text{COF1})^2$$

$$\text{其它Lable} = \text{NOMINAL} * e^{(\text{COF2} * (1/\text{T} - 1/\text{COF1}) + \text{COF3} * (1/\text{T} - 1/\text{COF1})^2)}$$

对于性质为气体（GAS）的流体，其性质方程为：

$$\text{DENS} = \text{NOMINAL} * (\text{P} / \text{COF2}) / (\text{T} / \text{COF1})$$

$$\text{其它Lab} = \text{NOMINAL} * (\text{T} / \text{COF1})^{1.5} * (\text{COF1} + \text{COF2}) / (\text{T} + \text{COF2})$$

式中，P 为所计算节点处的压力，T 为所计算节点处的温度

命令：MSVARY, SPNUM, Lab, Key

功能：确定各组份流体性质在总体迭代之间是否可变

其中：SPNUM：组份号，介于 1 到 6 之间（必须定义）

Lab：用以确定到底要使流体的哪一项性质具有可变性，其值有：

DENS：流体密度

VISC：流体粘性

COND：流体传热系数

MDIF：流体质量扩散系数

Key：流体性质在总体迭代之间是否可变的开关，其值有：

OFF：不允许改变（此为缺省值）

ON：允许改变

注意：针对不同的流体性质，以上两条命令的菜单形式基本上是一样的，在此仅将 密度性质的定义菜单显示于下：

命令：MSCAP, SPNUM, Capkey, UPPER, LOWER

功能：激活并定义各组份质量份额的限值

其中：SPNUM：组份号，介于 1 到 6 之间（必须定义）

Capkey：激活质量份额限值的开关，其值为：

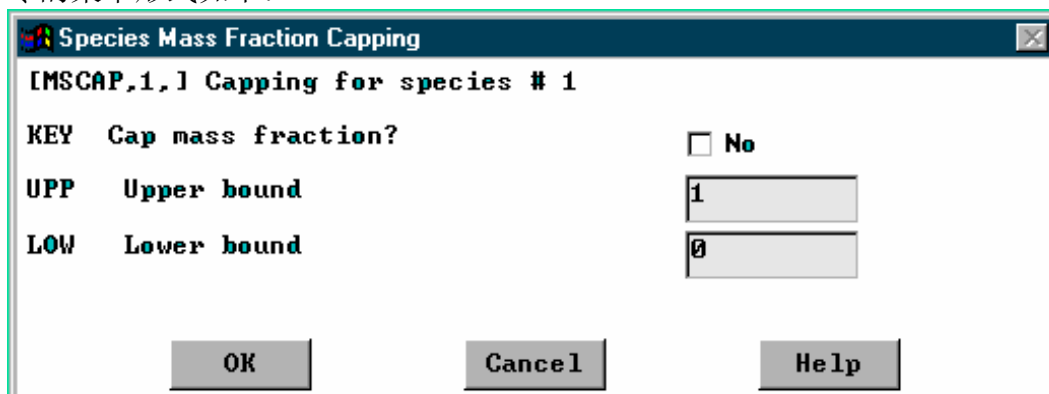
OFF：不对该组份的质量份额进行限值，此为缺省值

ON：要对该组份的质量份额进行限值

UPPER：质量份额限值的上限，缺省为 1.0，（当 Capkey=ON 时有效）

LOWER: 质量份额限值的下限，缺省为 0.0，（当 Capkey=ON 时有效）

该命令的菜单形式如下：



22 定义 FLOTRAN 的重启动（续算）控制

命令: **FLDATA32**, *REST*, *Lable*, *Value*, *Value2*

功能: 控制重启动选项

其中: *Value*, *Value2* 为下述的重启动位置或重启动标志(是(T)或否(F))

Lable: 重启动选项, 其值有:

NSET: 定义将结果文件 *Jobname*.RFL 中的某个结果解集(Set)号作为重启动的起始点。*Value* 即为该解集号, 当 *Value*=0 或为空时, 程序将结果文件中的最后一个解集作为重启动的起始点(缺省值)

该 *Lable* 的菜单路径如下:

**Main Menu>Preprocessor>FLOTRAN Set Up>Restart Options
>Restart/Set
Main Menu>Solution>FLOTRAN Set Up>Restart Options
>Restart/Set**

ITER: 定义将结果文件 *Jobname*.RFL 中的某个累积迭代数作为重启动的起始点。*Value* 即为该累积迭代数, 当 *Value*=0 或为空时, 程序将结果文件中的最后一个解集作为重启动的起始点(缺省值)

该 *Lable* 的菜单路径如下:

**Main Menu>Preprocessor>FLOTRAN Set Up>Restart Options
>Restart/Iteration
Main Menu>Solution>FLOTRAN Set Up>Restart Options
>Restart/Iteration**

LSTP: 定义将结果文件 *Jobname*.RFL 中的某个载荷步和子步号作为重启动的起始点。*Value* 即为该载荷步号, *Value2* 即为该子步号, 当 *Value*=0 或为空时, 程序将结果文件中的最后一个解集作为重启动的起始点(缺省值)

该 *Lable* 的菜单路径如下:

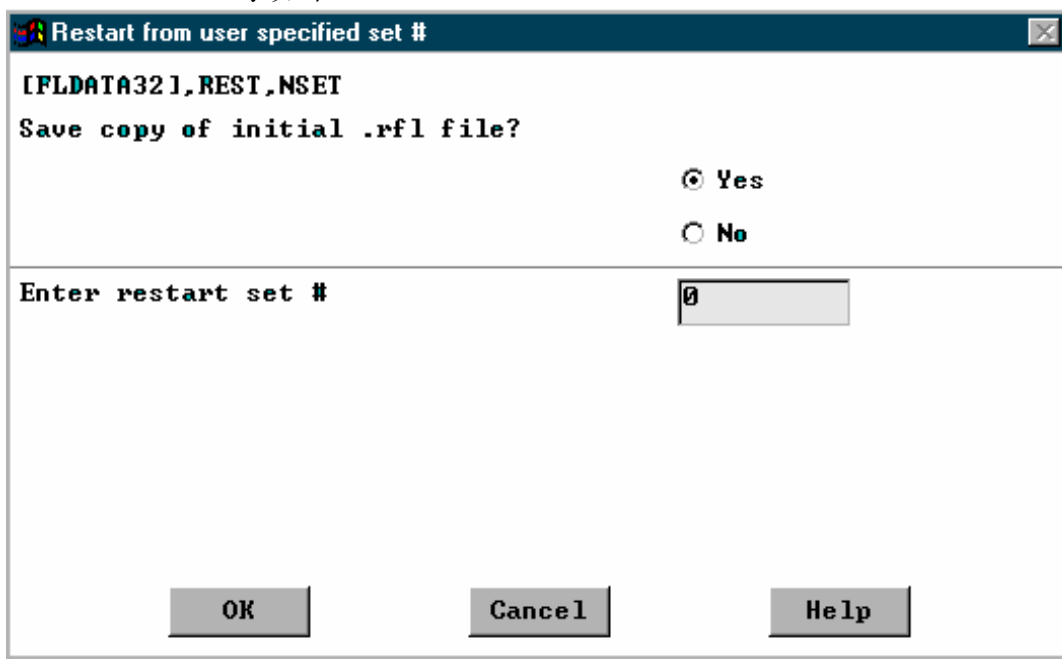
**Main Menu>Preprocessor>FLOTRAN Set Up>Restart Options
>Restart/Load Step
Main Menu>Solution>FLOTRAN Set Up>Restart Options
>Restart/Load Step**

TIME: 定义将结果文件 *Jobname*.RFL 中的某个瞬态时间作为重启动的起始点。*Value* 即为该时间值, 当 *Value*=0 或为空时, 程序将结果文件中的最后一个解集作为重启动的起始点(缺省值)

该 *Lable* 的菜单路径如下:

**Main Menu>Preprocessor>FLOTRAN Set Up>Restart Options
>Restart/Time
Main Menu>Solution>FLOTRAN Set Up>Restart Options
>Restart/Time**

该四个 Lable 的菜单形式极其类似，在此将 NSET 的菜单形式显示如下：



RFIL: 定义是否读入 CFD 数据结构重启动文件 *Jobname.CFD* 以用于重新启动分析。其 Value 为“是(T)”或“否(F)”，若将其设为 T，则下面的 WFIL 项将在程序内部被设为 F。其缺省值为 F

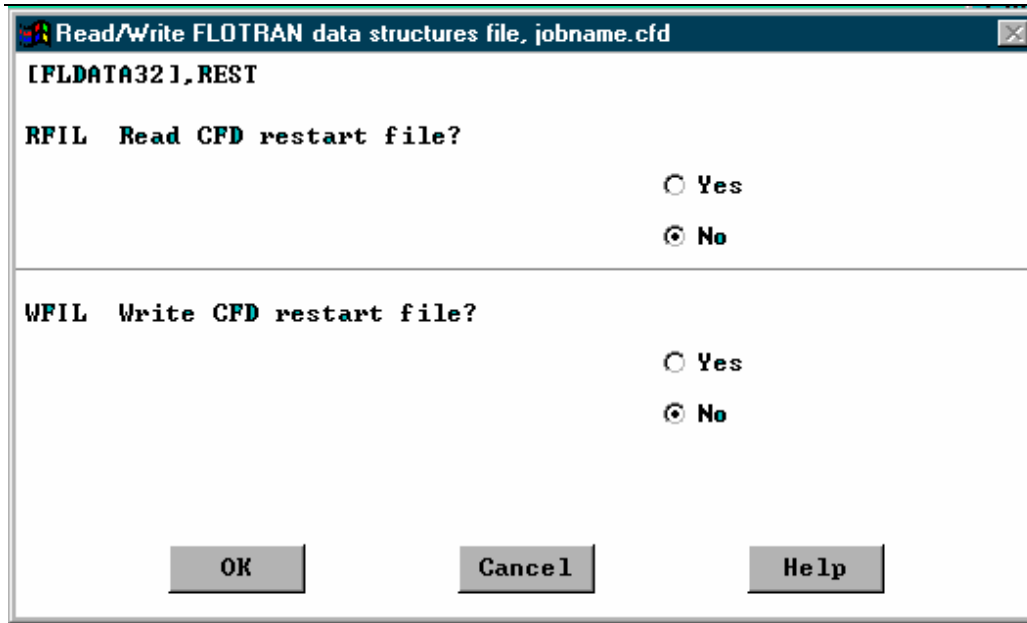
WFIL: 定义是否将 CFD 数据结构写入重启动文件 *Jobname.CFD*。其 Value 为“是(T)”或“否(F)”，若将其设为 T，则上面的 RFIL 项将在程序内部被设为 F。其缺省值为 F

该两个 Lable 的菜单路径如下：

**Main Menu>Preprocessor>FLOTTRAN Set Up>Restart Options
>CFD Restart File**

**Main Menu>Solution>FLOTTRAN Set Up>Restart Options
>CFD Restart File**

该两个 Lable 的菜单形式如下：



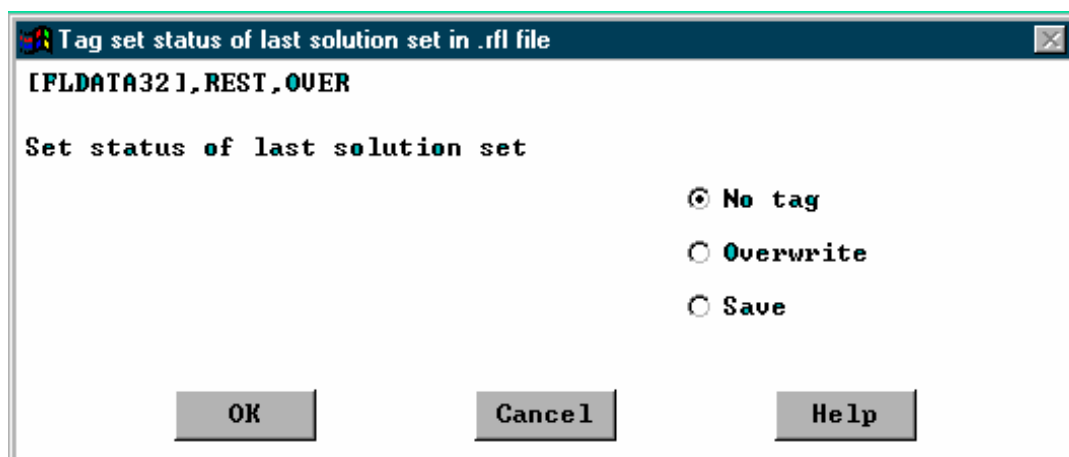
OVER: 定义是否覆盖作为重启动位置的那个解集，其值有：

- 1: 要覆盖该解集 (Overwrite)
- 1: 保留该解集 (Save)
- 0: 只有当该解集为一个收敛解时才保留 (No Tag, 此为缺省值)

该 Label 的路径菜单如下：

**Main Menu>Preprocessor>FLOTRAN Set Up>Restart Options
>CFD Restart File**
**Main Menu>Solution>FLOTRAN Set Up>Restart Options
>CFD Restart File**

该 Label 的菜单形式如下：



23 设置并执行一个零迭代 FLOTTRAN 分析

命令: **FLOCHECK**, *Key*

功能: 生成第 0 次代或当前迭代的结果总结, 以便于检查边界条件和流体性质的设置

菜单: **Main Menu>Preprocessor>FLOTTRAN Set Up>Flocheck**

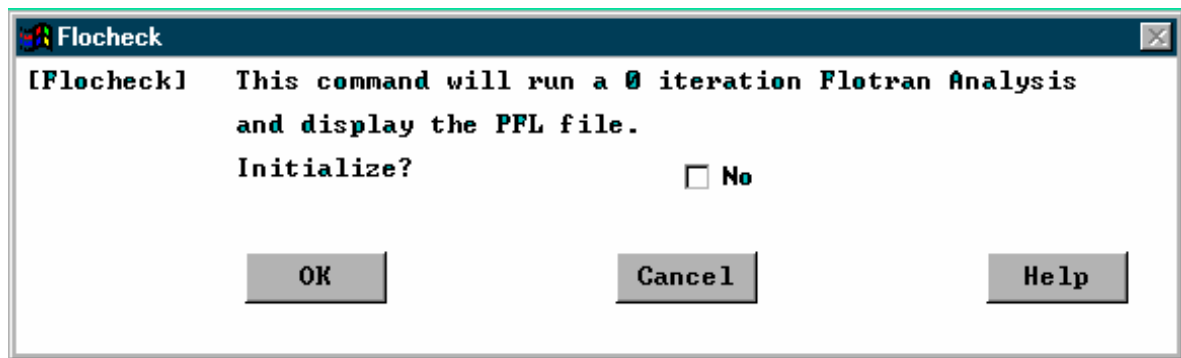
Main Menu>Preprocessor>FLOTTRAN Set Up>Flocheck

其中, *Key* 的值及其含义如下:

0: 不执行零次迭代 (但会生成当前迭代的结果总结, 此为缺省值)

1: 执行零次迭代 (生成第 0 次代的结果总结)

该命令的菜单形式如下:



第四章 FLOTTRAN 边界条件

1 边界条件的类型

- 进口边界/出口边界
- 对称条件
- 固定壁面和移动壁面
- 周期边界
- 恒定温度
- 热流
- 体积热源
- 传热系数
- 辐射

2 进口/出口边界条件

- 可以指定分析区域的进口和出口速度
 - 恒值速度
 - 用宏定义的非恒值速度
- 可以沿边界指定压力条件
 - 流体或进或出
 - 局部压力边界条件通常来自于显著的几何变化
- 湍流边界条件
 - 指定所需选项
 - 若无定义，FLOTTRAN 将使用缺省值

3 对称边界条件

- 表示对称面或轴对称的中心轴
- 假定流场特性为对称
- 对称边界法向上的速度分量为零
- 防止通过边界的质量或热传输
- 对称边界必须以总体坐标轴来进行指定

4 固定壁面

- 施加无滑移边界条件
 - 所有速度分量都设为零
- 湍流模型的边界条件是自动施加的
 - 壁面律、壁面 Log 律
- 若壁面未定义热边界条件，则以绝热对待
- 无须定义压力条件
 - 垂直于壁面的压力梯度为零

5 移动壁面

- 移动壁面—稳态条件
 - 分析区域在分析过程中不能改变
- 壁面将“拖拉”流体或随流体一起移动

- 垂直于壁面的速度分量为零
- 定义与壁面相切的速度为壁面速度
- 设置标志以使 FLOTTRAN 知道该壁面不是一个流场的进口
标志为：将湍流动能设为-1

6 内流

- 由壁面、对称面、进出口边界包围起来的流场为内流
- 可以没有进出口边界
- 可以有未定义边界，但可能会不稳定

7 外流

- 流场边界必须远离流场中的固体区域
- 通常，在流场边界的后半段施加零相对压力边界条件
- 对于超音速问题，通常在流场边界的前半段定义压力和速度边界条件而在后半段不定义任何边界条件
- 一定要确定任何激波都不能延伸到有确定值的边界上，如果发生这种情况，则应将该边界上的边界条件值去掉
- 有时可在整个外边界上定义速度边界条件
- 流场边界与流场中固体区域之间的距离应为该固体区域尺寸的 30 到 100 倍

8 周期边界

- 两个边界上对应节点的值虽不确定但却相等
- 两个边界上必须有相同的节点分布
- 每个周期对称节点对的所有自由度都将耦合
- 用 peri.mac 宏来施加该边界条件
选择边界上的节点
指定边界间的空间偏置量

9 热边界条件

- 指定温度
FLOTTRAN 自动计算用于保持该温度所需的热传导
- 指定热流
FLOTTRAN 自动计算与热流相联系的壁面温度和流场条件
- 指定导热系数
指定环境温度，FLOTTRAN 迭代计算热流和表面温度
- 体积热源
可在流体单元和非流体单元中定义
- 辐射
定义表面辐射系数和环境温度

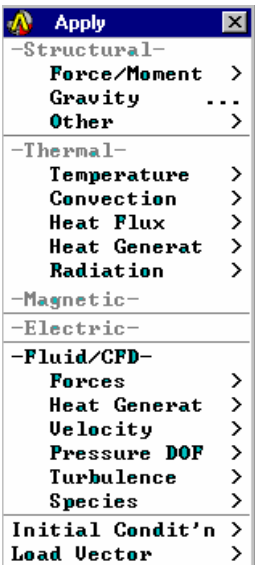
10 边界条件总结

边界类型	所需数据
进口	定义所有的速度分量或压力
出口	定义压力（通常为零）
固定壁面	将所有的速度分量都设为零

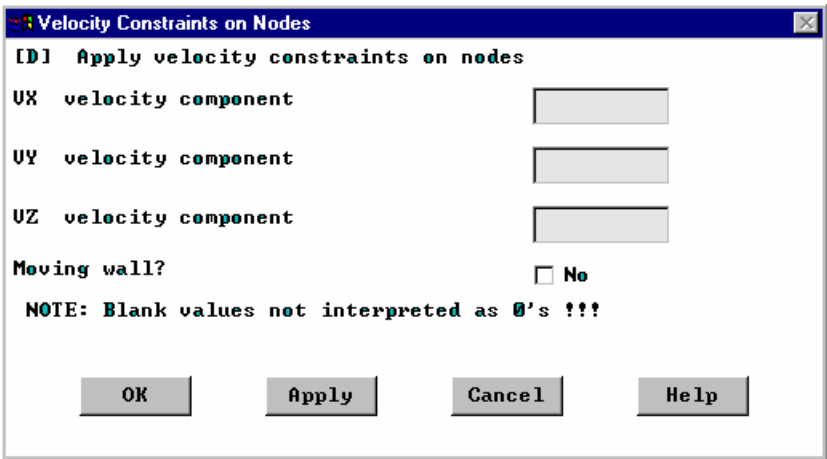
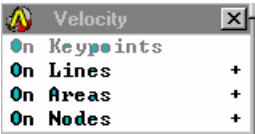
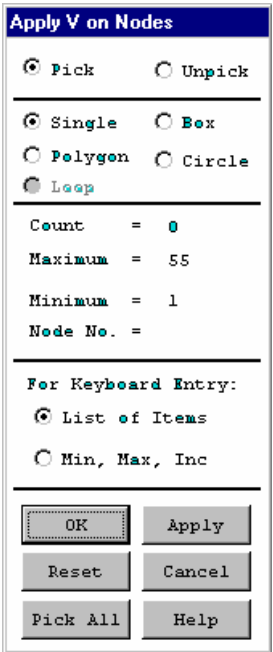
移动壁面	定义所有的速度分量并将湍流动能设为-1
对称边界	法向速度分量为零
已知温度	指定节点温度值
绝热边界	自然边界条件，无须定义
热流	在边界节点上定义热流
对流换热系数	在边界节点上定义对流换热系数
体积热源	定义单元的单位体积热生成率
周期边界	指定几何数据以判定周期边界节点

11 边界条件的菜单形式

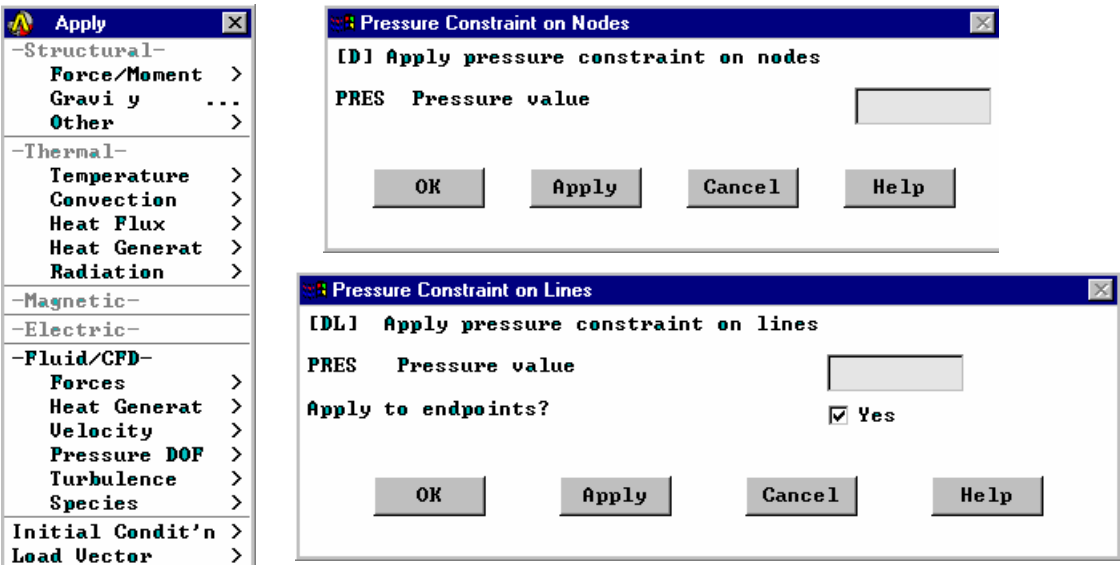
- 在前处理或求解菜单里面
- 只有定义了 FLOTRAN 单元之后该边界条件菜单才会显示出来



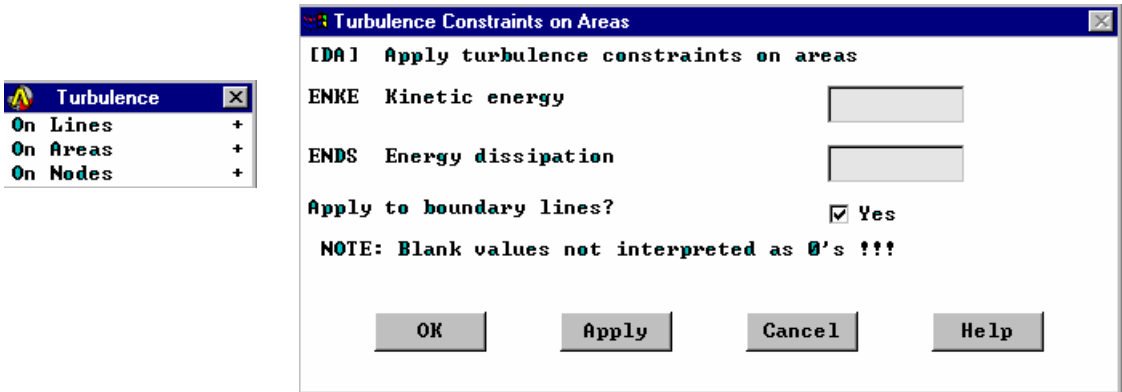
- 定义速度



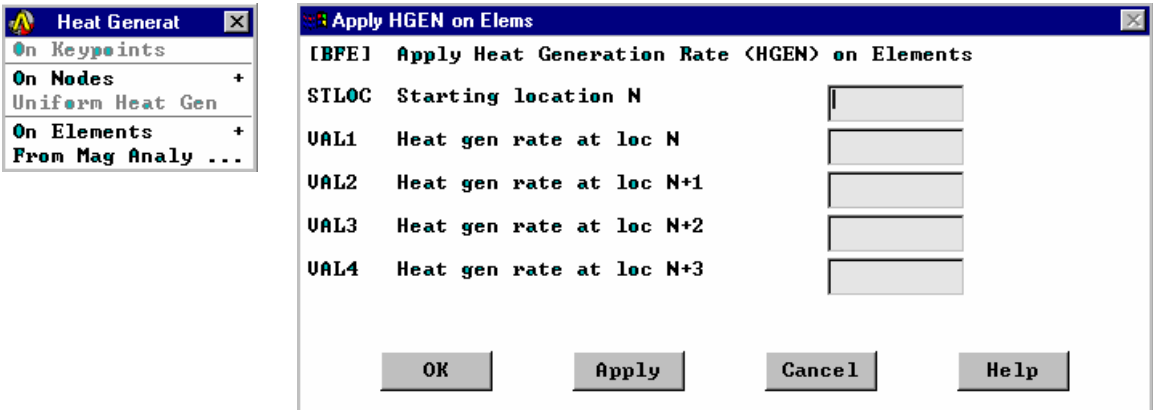
· 定义压力自由度



· 定义其它自由度



· 体积热源



· 热流

Heat Flux

On Lines +

On Areas +

On Nodes +

On Elements +

From Fluid Anal..

Apply HFLUX on Nodes

[SF] Apply Heat Flux (HFLUX) on Nodes

VALUE Heat flux value

OK Apply Cancel Help

Apply HFLUX on Elems

[SFE] Apply Heat Flux (HFLUX) on Elements

LKEY Face number 1

VAL1 Heat flux value

Optional heat flux at other face nodes
<leave blank for uniform heat flux>

VAL2 Heat flux at 2nd node

VAL3 Heat flux at 3rd node

VAL4 Heat flux at 4th node

OK Apply Cancel Help

· 对流换热

Convection

On Lines +

On Areas +

On Nodes +

-On Elements-
Uniform +
Tapered +

From Fluid Analy..

Apply Uniform CONV on Elems

[SFE] Apply Uniform Convection (CONV) on Elements

LKEY Face number 1

VAL1 Film coefficient

Bulk temperature

OK Apply Cancel Help

Apply CONV on Nodes

[SF] Apply Convection (CONV) on Nodes

VALUE Film coefficient

VALUE2 Bulk temperature

OK Apply Cancel Help

· 辐射

Apply RAD on Lines

☒ Pick

☐ Unpick

☒ Single

☐ Box

☐ Polygon

☐ Circle

☐ Loop

Count

=

0

Maximum

=

4

Minimum

=

1

Line No.

=

For Keyboard Entry:

☒ List of Items

☐ Min, Max, Inc

OK

Apply

Reset

Cancel

Pick All

Help

Radiation

On Lines

+

On Areas

+

On Nodes

+

On Elements

+

Apply RAD on Lines

[SFL] Apply Radiation (RAD) on Lines

UAL1

Surface Emissivity

UAL2I

Ambient Temperature

[STEF]

Stefan-Boltzmann Const.

1.19e-011

OK

Apply

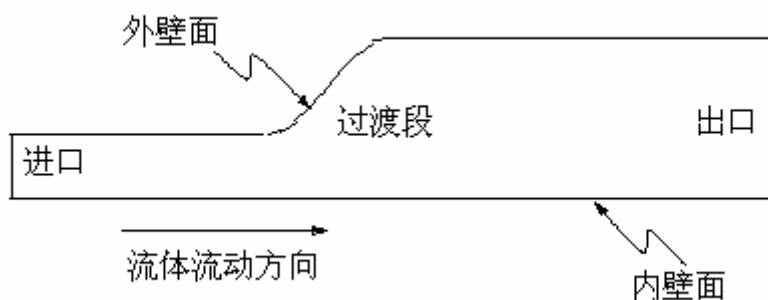
Cancel

Help

第五章 FLOTRAN 层流和湍流分析算例

问题描述

该算例是一个二维的导流管分析，先分析一个雷诺数为 400 的层流情况，然后改变流场参数再重新分析，最后再扩大分析区域来计算其湍流情况。该算例所用单位制为国际单位制。分析区域图示如下：



分析方法及假定

用 FLUID141 单元来作二维分析，本算例作了如下三个分析：

- 雷诺数为 400 的假想流的层流分析
- 降低流体粘性后（即增大雷诺数）的假想流的层流分析
- 雷诺数约为 260000 的空气流的湍流分析

分析时假定进口速度均匀，并且垂直于进口流场方向上的流体速度为零。在所有壁面上施加无滑移边界条件（即所有速度分量都为零）；假定流体不可压缩，并且其性质为恒值，在这种情况下，压力就可只考虑相对值，因此在出口处施加的压力边界条件是相对压力为零。

第一次分析时，流场为层流，着可以通过雷诺数来判定，其公式如下：

$$Re = \frac{\rho V D_h}{\mu}$$

第二次分析时，将流体粘性降低到原来的十分之一（雷诺数相应增大）后再在第一次分析的基础上重新启动分析

对于内流来说，当雷诺数达到 2000 至 3000 时，流场即由层流过渡到湍流，故第三次分析（空气流，雷诺数约为 260000）时，流场是湍流。对于湍流分析，上图所示的导流管的后端应加长，以使流场能得到充分发展。此时，应在该次求解之前改变 ANSYS 的工作名以防止程序在上一次分析结果的基础上作重新启动分析。

几何尺寸及流体性质

进口段长度	4 m
进口段高度	1 m
过渡段长度	2 m
出口段高度	2.5 m
层流分析时出口段长度	6 m
湍流分析时出口段长度	12 m
假设流体密度	1 Kg/m ³
假设流体粘性	第一次分析 0.01Kg/m-s；第二次分析 0.001 Kg/m-s

空气密度	1.205 Kg/m ³
空气粘性	1.8135*10 ⁻⁵ Kg/m-s
进口速度	2.0 m/s
出口压力	0 nt/m ²

分析过程如下：

第 1 步：进入 ANSYS

参见 ANSYS Operation Guide

第 2 步：设置分析选择

- 1 进入 **Main Menu>Preference**
- 2 点取 FLOTTRAN CFD 项
- 3 点取 OK

第 3 步：定义单元类型

- 1 进入 **Main Menu>Preprocessor>Element Type>Add/Edit/Delete**
- 2 点取 Add
- 3 在弹出菜单的左框中点取 FLOTTRAN CFD，右框中点取 2D FLOTTRAN 141
- 4 点取 OK
- 5 点取 Close

第 4 步：生成分析区域的几何面

该步定义三个面：分别表示进口和出口的两个矩形面，以及一个表示过渡段的面。

- 1 生成进口段，进入 **Main Menu>Preprocessor>-Modeling>Create>-Areas-Rectangle>By Dimensions**
- 2 在弹出菜单中的相应区域输入以下值：
X1 处输入 0
X2 处输入 2
Y1 处输入 0
Y2 处输入 1
- 3 点取 Apply
- 4 生成出口段，再在上面弹出菜单中输入以下值：
X1 处输入 6
X2 处输入 12
Y1 处输入 0
Y2 处输入 2.5
- 5 点取 OK
- 6 在工具栏 (Toolbar) 窗口中点取 SAVE_DB
- 7 进入 **Main Menu>Preprocessor>-Modeling>Create>Lines>Tan to 2 Lines**
- 8 点取左侧矩形的上面一条线作为第一条切线，再在点取菜单中点取 OK
- 9 点取该线的右端点作为第一切点，再在点取菜单中点取 OK
- 10 点取右侧矩形的上面一条线作为第二条切线，再在点取菜单中点取 OK
- 11 点取该线的左端点作为第二切点，再在点取菜单中点取 OK
- 12 在点取菜单中点取 Cancel。所生成的结果线是一条介于两个矩形之间的光滑曲线
- 13 进入 **Main Menu>Preprocessor>-Modeling>Create>-Areas-Arbitrary>Through KPs**

- 14 分别点取界于两个矩形之间的光滑曲线上的两个端点，再点取左侧矩形的右下角和右侧矩形的左下角
- 15 点取 OK
- 16 在工具栏窗口中点取 SAVE_DB

第 5 步：定义单元形状

- 1 进入 **Main Menu>Preprocessor>-Meshing->Mesher Opts**
- 2 将 Midside node placement 域改为 No Midside nodes，点取 OK
- 3 在弹出菜单中点取 QuadOnly
- 4 点取 OK
- 5 进入 **Utility Menu>Plot>Lines**
- 6 进入 **Main Menu>Preprocessor>-Meshing->Size Cntrls>-Lines->Picked Lines**
- 7 点取进口区（左侧矩形面）的上下两条直线
- 8 在点取菜单中点取 Apply
- 9 在弹出菜单的 No. of element divisions 域中输入 12
- 10 在弹出菜单的 Spacing ratio 域中输入-2
- 11 点取 Apply
- 12 点取过渡区（中间面）的上下两条线，并点取 Apply
- 13 在弹出菜单的 No. of element divisions 域中输入 9
- 14 在弹出菜单的 Spacing ratio 域中输入 1
- 15 点取 Apply
- 16 点取出口区（右侧矩形面）的上面一条直线，并点取 Apply
- 17 在弹出菜单的 No. of element divisions 域中输入 13 并在 Spacing ratio 域中输入 0.4
- 18 点取 Apply
- 19 点取出口区（右侧矩形面）的下面一条直线，并点取 Apply
- 20 在弹出菜单的 Spacing ratio 域中输入 2.5
- 21 点取 Apply
- 22 点取剩下的四条垂线，并点取 OK
- 23 在弹出菜单的 No. of element divisions 域中输入 10 并在 Spacing ratio 域中输入-2
- 24 点取 OK
- 25 在工具栏窗口中点取 SAVE_DB

第 6 步：划分有限元网格

- 1 进入 **Main Menu>Preprocessor>-Meshing->Mesh>Areas>Free**
- 2 在点取菜单中点取 Pick All

第 7 步：生成并应用新的工具栏按钮

在做类似于该例的分析时，定义一些诸如能“自动选择出与某条线相关的所有节点”、“关闭坐标系符号的显示”等的工具栏按钮是非常有助于方便地建立模型的。这一步的目的就是建立两个分别实现上述功能的工具栏按钮

- 1 进入 **Utility Menu>Menu Cntrls>Edit Toolbar**
- 2 在弹出菜单中的*ABBR 后输入 ns1,nsll,,1
- 3 点取 Accept
- 4 在弹出菜单中的*ABBR 后输入 tri,/triad,off
- 5 点取 Accept，然后点取 Close
- 6 在工具栏中点取刚生成好的 TRI 按钮，之后进入 **Utility Menu>Plot>Replot**，此

时，在图形窗口中，原来的座标系符号就会消失了。

第 8 步：施加边界条件

在模型的进口处加 X 方向速度为 2、其它方向速度为零的进口速度条件；在所有壁面处加两个方向速度都为零的速度条件，在出口处加零压力边界条件

- 1 进入 **Utility Menu>Plot>Nodes**
- 2 进入 **Utility Menu>Select>Entities**
- 3 在弹出菜单中选择 “Nodes” 和 “By Num/Pick”，并点取 OK
- 4 在弹出的选择菜单中选择 “Box”
- 5 按住鼠标左键，在模型左侧进口边的所有节点周围拉出一个方框
- 6 点取 OK
- 7 进入 **Main Menu>Preprocessor>-Loads->-Loads->Apply>-Fluid/CFD->Velocity>On Nodes**
- 8 点取 Pick All
- 9 在弹出菜单的 VX 域输入 2，VY 域输入 0
- 10 点取 OK
- 11 进入 **Utility Menu>Plot>Lines**
- 12 进入 **Utility Menu>Select>Entities**
- 13 在弹出菜单中选择 “Lines” 和 “By Num/Pick”，之后点取 OK
- 14 在图形窗口中点取表示上下六个壁面的六条线，之后点取选择菜单中的 OK
- 15 在工具栏菜单中点取 NSL 按钮，以选取上面六条线上的全部节点
- 16 进入 **Utility Menu>Plot>Nodes**
- 17 进入 **Main Menu>Preprocessor>-Loads->-Loads->Apply>-Fluid/CFD->Velocity>On Nodes**
- 18 点取 Pick All
- 19 在弹出菜单的 VX 域和 VY 域都输入 0
- 20 点取 OK
- 21 进入 **Utility Menu>Select>Everything**，然后再进入 **Utility Menu>Plot>Nodes**
- 22 进入 **Main Menu>Preprocessor>-Loads->-Loads->Apply>-Fluid/CFD->Pressure DOF>On Nodes**
- 23 在弹出的选择菜单中选择 “Box”，按住鼠标左键，在模型右侧出口边的所有节点周围拉出一个方框
- 24 在弹出菜单中将压力值设为零
- 25 点取 OK
- 26 进入 **Utility Menu>Select>Everything**
- 27 在工具栏中点取 SAVE-DB

第 9 步：求解层流

该步首先建立流体性质，然后设置执行控制，并开始求解

- 1 进入 **Main Menu>Solution>FLOTRAN SetUp>Fluid Properties**
- 2 将弹出菜单的 “Density” 域设为 “Constant”，点取 OK
- 3 将恒值密度设为 1.0，恒值粘性设为 0.01
- 4 点取 OK
- 5 进入 **Main Menu>Solution>FLOTRAN SetUp>Execution Control**
- 6 在弹出菜单的 “Global iterations” 域输入 20
- 7 点取 OK

8 进入 **Main Menu>Solution>Run FLOTTRAN**，开始进行求解

第 10 步：观察层流分析的结果

- 1 进入 **Main Menu>General Postproc>-Read Results->Last Set**
- 2 进入 **Main Menu>General Postproc>Plot Results>Vector Plot>Predifined**
- 3 在弹出菜单中选择 “DOF solution” 和 “Velocity V”
- 4 点取 OK
- 5 进入 **Utility Menu>PlotCtrls>Device Options**
- 6 将向量模式(vector mode (wire frame))设为 “ON”，之后点取 OK
- 7 进入 **Utility Menu>PlotCtrls>Style>Edge Options**
- 8 在弹出菜单的 “Edge tolerance angle” 域输入 1
- 9 将 “Element Outline for non-contour/contour plots” 域设为 “Edge Only/All”
- 10 将 “Replot upon OK/Apply” 域设为 “Replot”
- 11 点取 OK

第 11 步：确定流体粘性如何影响流场特性

诸如空气和水等常见流体的粘性都低于上例中的假想流体粘性。将该粘性缩小 10 倍将响应增大雷诺数。在本步中，返回 FLOTTRAN 的输入步，改变粘性值，重新求解。分析将从上面结束处重新开始，并执行附加的 20 次总体迭代。

- 1 进入 **Main Menu>Solution>FLOTTRAN SetUp>Fluid Properties**
- 2 点取 OK
- 3 将粘性值改为 0.001
- 4 点取 OK
- 5 进入 **Main Menu>Solution>Run FLOTTRAN**，开始进行求解
- 6 可进行与上面第 10 步类似的结果观察

第 12 步：进行湍流分析

从低粘性分析的结果可以看出，回流区已延伸到出口边界之后，若希望流体在出口之前得到充分发展，则必须给其更多的空间，对于空气则尤其更应如此，因其粘性比上面的 0.001 还低。下面所进行的本算例的第二部分，就是紧接着上面的层流分析来作一个空气的湍流分析，此时要延长问题的求解区域并对延长部分重新划分网格、重新施加边界条件、并激活湍流模型。在求解之前，还必须改变工作名 (Jobname)。

- 1 删除压力边界条件，进入：**Main Menu>Preprocessor>-Loads->-Loads->Delete>Fluid/CFD>Pressure DOF>On Nodes**，并在弹出菜单中选择 “Pick All”
- 2 进入 **Main Menu>Preprocessor>-Modeling>Create>-Areas>Rectangle>By Dimensions**
- 3 输入下面的座标值：
X1 处输入 12
X2 处输入 24
Y1 处输入 0
Y2 处输入 2.5
- 4 点取 OK
- 5 融合关键点，进入 **Main Menu>Preprocessor>Numbering Ctrls>Merge Items**
- 6 将弹出菜单的 “Type of item to merge” 域设为 “All”，然后点取 OK，忽略随后弹出的警告信息
- 7 进入 **Utility Menu>Plot>Lines**

第 13 步：对新的出口区划分网格

- 1 进入 **Main Menu>Preprocessor>-Meshing->Size Cntrls->Lines->Picked Lines**
- 2 点取新的出口区的最右侧的一条垂线，并点取 OK
- 3 在弹出菜单的 No. of element divisions 域中输入 10
- 4 在弹出菜单的 Spacing ratio 域中输入-2
- 5 点取 Apply
- 6 点取新出口区的上下两条线
- 7 点取 OK
- 8 在弹出菜单的 No. of element divisions 域中输入 20 并在 Spacing ratio 域中输入 1
- 9 点取 OK，并在工具栏中点取 SAVE-DB
- 10 进入 **Main Menu>Preprocessor>-Meshing->Mesh>Areas>Free**
- 11 点取新的出口区，并点取 OK
- 12 进入 **Utility Menu>Plot>Nodes**，图形显示节点

第 14 步：施加湍流分析的载荷

- 1 进入 **Main Menu>Preprocessor>-Loads->-Loads>Apply>-Fluid/CFD->Velocity>On Nodes**
- 2 在弹出的选择菜单中选择 “Box”
- 3 按住鼠标左键，在还未施加边界条件的上壁面节点周围拉出一个矩形框，然后在还未施加边界条件的下壁面节点周围拉出一个矩形框
- 4 点取 OK
- 5 在弹出菜单的 VX 域和 VY 域都输入 0
- 6 点取 OK
- 7 进入 **Main Menu>Preprocessor>-Loads->-Loads>Apply>-Fluid/CFD->Pressure DOF>On Nodes**
- 8 在弹出的选择菜单中选择 “Box”
- 9 在新的模型右侧出口边的所有节点周围拉出一个方框
- 10 点取 OK
- 11 在弹出菜单中将压力值设为零
- 12 点取 OK

第 15 步：改变 FLOTRAN 分析选项和流体性质

- 1 进入 **Main Menu>Solution>FLOTRAN SetUp>Solution Options**
- 2 将弹出菜单的 “Laminar or turbulent” 域设为 “Turbulent”
- 3 点取 OK
- 4 进入 **Main Menu>Solution>FLOTRAN SetUp>Execution Control**
- 5 在弹出菜单的 “Global iterations” 域输入 60
- 6 点取 OK
- 7 进入 **Main Menu>Solution>FLOTRAN SetUp>Fluid Properties**
- 8 将弹出菜单的 “Density” 域设为 “AIR”
- 9 点取 OK
- 10 确认所用的流体性质是 AIR，并点取 OK

第 16 步：进行求解

- 1 进入 **Utility Menu>File>Chang Jobname**

- 2 在弹出的警告信息菜单中点取 Close
- 3 在弹出的修改工作名的菜单中输入 “turb” 作为新的工作名
- 4 点取 OK
- 5 进入 **Main Menu>Solution>Run FLOTTRAN**，开始进行求解

第 17 步：将流体速度结果以向量图和路径图的方式进行显示

- 1 进入 **Main Menu>General Postproc>-Read Results->Last Set**
- 2 进入 **Main Menu>General Postproc>Plot Results>Vector Plot>Predifined**
- 3 在弹出菜单中选择 “DOF solution” 和 “Velocity V”
- 4 点取 OK
- 5 进入 **Utility Menu>Plot>Nodes**，图形显示节点
- 6 进入 **Main Menu>General Postproc>Path Operations>Define Path>By Nodes**
- 7 在图形窗口中，分别点取出口边的下面和上面两个节点
- 8 点取 OK，在弹出菜单的 “Define Path Name” 域中输入 “path1” 作为该路径的名字，点取 OK，并关闭随后弹出的信息菜单
- 9 进入 **Main Menu>General Postproc>Path Operations>Map Onto Path**
- 10 在弹出菜单的 “Lable” 域输入 “Velocity”
- 11 在 “Item to be mapped” 域选择 “DOF solution” 和 “Velocity VX”
- 12 点取 OK
- 13 进入 **Main Menu>General Postproc>Path Operations>-Plot Path Item->On Graph**
- 14 选择 “Velocity” 标号
- 15 点取 OK，该路径图显示出流场还是没有得到充分发展

18 绘制压力等值线图

- 1 进入 **Utility Menu>PlotCtrls>Style>Contours>Uniform Contours**
 - 2 将 “Number of contours” 域设为 25
 - 3 点取 OK
 - 4 进入 **Main Menu>General Postproc>Plot Results>-Contour Plot->Nodal Solu**
 - 5 在弹出菜单中，选择 “DOF solution” 和 “Pressure PRES”
 - 6 点取 OK，ANSYS 将显示出压力等值线图
-
- 19 退出 ANSYS
 - 1 点取工具栏中的 “QUIT” 按钮，在弹出菜单中随意点取一项
 - 2 点取 OK