Solver

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 算法 | 介绍 | 求解器 | 求解过程的稳定性与收敛速度 |
| 非耦合隐式算法  (Segregated Solver) | 该算法源于经典的SIMPLE算法。其适用范围为不可压缩流动和中等可压缩流动。这种算法不对Navier-Stoke方程联立求解，而是对动量方程进行压力（pressure）修正。该算法是一种很成熟的算法，在应用上经过了很多广泛的验证，这种方法拥有多种燃烧、化学反应及辐射、多相流模型与其配合，适用于低速流动的CFD模拟。 | 基于压力的求解器pressure Based | Under-Relaxation Factors  松弛因子 |
| 耦合显式算法  (Coupled Explicit Solver） | 这种算法由FLUENT公司和NASA联合开发，主要用来求解可压缩流动。该方法与SIMPLE算法不同，而是对整个Navier-Stoke方程组进行联立求解，空间离散采用通量差分分裂格式，时间离散采用多步Runge-Kutta格式，并采用了多重网格加速收敛技术。对于稳态计算，还采用了当地时间步长和隐式残差光顺技术。该算法稳定性好，内存占用小，应用极为广泛。 | 基于密度的求解器Density Based  耦合显式求解器虽然也耦合了流动和能量方程，但所占的内存比耦合隐式求解器的要小，当然收敛性也相应差一些 | Courant Number(库兰数)设置来控制  库朗数越大，收敛越快，同时算法越容易发散。  原则上来说，只要收敛没问题，库朗数不影响最终的计算结果。  显式算法:  取值范围（0，2√2），实际取值一般**（0，2）**  隐式算法:  取值范围（0，∞），实际取值一般**（0，100）** |
| 耦合隐式算法  (Coupled Implicit Solver） | 该算法是其他所有商用CFD软件都不具备的。该算法也对Navier-Stoke方程组进行联立求解，由于采用隐式格式，因而计算精度与收敛性要优于Coupled Explicit方法，但却占用较多的内存。该算法另一个突出的优点是可以求解全速度范围，即求解范围从低速流动到高速流动 | 基于密度的求解器Density Based  耦合隐式求解器占用的内存较大，约为分离求解器的1.5~2倍 |

湍流模型（Viscous Model）

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| The Spalart-Allmaras | 对于解决动力漩涡粘性，Spalart-Allmaras 模型是相对简单的方程。它包含了一组新的方程，在这些方程里不必要去计算和剪应力层厚度相关的长度尺度。Spalart-Allmaras 模型是设计用于航空领域的，主要是墙壁束缚流动，而且已经显示出和好的效果。在透平机械中的应用也愈加广泛。  在原始形式中Spalart-Allmaras 模型对于低雷诺数模型是十分有效的，要求边界层中粘性影响的区域被适当的解决。在FLUENT中，Spalart-Allmaras 模型用在网格划分的不是很好时、精确的计算在湍流中并不是十分需要时。在模型中近壁的变量梯度比在k-e模型和k-ω模型中的要小的多。  Spalart-Allmaras 模型是一种新出现的模型，现在不能断定它适用于所有的复杂的工程流体。单方程的模型经常因为对长度的不敏感而受到批评，例如当流动墙壁束缚变为自由剪切流。 | 从计算的角度看Spalart-Allmaras模型在FLUENT中是最经济的湍流模型，虽然只有一种方程可以解。 |
| 标准k-e模型 | 最简单的完整湍流模型是两个方程的模型，要解两个变量，速度和长度尺度。在FLUENT中，标准k-e模型是工程流场计算中主要的工具了。适用范围广、经济，有合理的精度。它是个半经验的公式，是从实验现象中总结出来的。  k-ε模型中的K和ε物理意义：k是紊流脉动动能（J）， ε是紊流脉动动能的耗散率（%）；k越大表明湍流脉动长度和时间尺度越大，ε越大意味着湍流脉动长度和时间尺度越小，它们是两个量制约着湍流脉动。 | 由于要解额外的方程，标准k-e模型比Spalart-Allmaras模型耗费更多的计算机资源。 |
| RNG k-e模型 | 由于人们已经知道了k-e模型适用的范围，因此人们对它加以改造，出现了RNG k-e模型和带旋流修正k-e模型。  标准k-e模型是专为轻微的扩散设计的，然而RNG k-e模型是为高张力引起的湍流粘度降低而设计的。这就是RNG模型的缺点。  •RNG模型在e方程中加了一个条件，有效的改善了精度。  •考虑到了湍流漩涡，提高了在这方面的精度。  •RNG理论为湍流Prandtl数提供了一个解析公式，然而标准k-e模型使用的是用户提供的常数。  •然而标准k-e模型是一种高雷诺数的模型，RNG理论提供了一个考虑低雷诺数流动粘性的解析公式。这些公式的效用依靠正确的对待近壁区域  这些特点使得RNG k-e模型比标准k-e模型在更广泛的流动中有更高的可信度和精度。  RNG k-e模型来源于严格的统计技术。 | 由于控制方程中额外的功能和非线性，RNG k-e模型比标准k-e模型多消耗10～15%的CPU时间。 |
| 带旋流修正的 k-e模型 | 带旋流修正的 k-e模型是近期才出现的  •带旋流修正的 k-e模型为湍流粘性增加了一个公式。  •为耗散率增加了新的传输方程，这个方程来源于一个为层流速度波动而作的精确方程。  术语“realizable”，意味着模型要确保在雷诺压力中要有数学约束，湍流的连续性。  带旋流修正的 k-e模型直接的好处是对于平板和圆柱射流的发散比率的更精确的预测。而且它对于旋转流动、强逆压梯度的边界层流动、流动分离和二次流有很好的表现。带旋流修正的 k-e模型和RNG k-e模型都显现出比标准k-e模型在强流线弯曲、漩涡和旋转有更好的表现。  由于带旋流修正的 k-e模型是新出现的模型，所以现在还没有确凿的证据表明它比RNG k-e模型有更好的表现。但是最初的研究表明带旋流修正的 k-e模型在所有k-e模型中流动分离和复杂二次流有很好的作用。带旋流修正的 k-e模型的一个不足是在主要计算旋转和静态流动区域时不能提供自然的湍流粘度。这是因为带旋流修正的 k-e模型在定义湍流粘度时考虑了平均旋度的影响。这种额外的旋转影响已经在单一旋转参考系中得到证实，而且表现要好于标准k-e模型。由于这些修改，把它应用于多重参考系统中需要注意。 | 带旋流修正的k-e模型比标准k-e模型稍微多一点。 |
| 标准 k-ω模型 | 标准k-ω模型是基于Wilcox k-ω模型，它是为考虑低雷诺数、可压缩性和剪切流传播而修改的。Wilcox k-ω模型预测了自由剪切流传播速率，像尾流、混合流动、平板绕流、圆柱绕流和放射状喷射，因而可以应用于墙壁束缚流动和自由剪切流动。 | k-e模型，k-ω模型也是两个方程的模型，所以计算时间相同。 |
| 剪切应力传输（SST） k-ω模型 | 标准k-e模型的一个变形是SST k-ω模型。以便使得在广泛的领域中可以独立于k-e模型，使得在近壁自由流中k-ω模型有广泛的应用范围和精度。为了达到此目的，k-e模型变成了k-ω公式。SST k-ω模型和标准k-ω模型相似，但有以下改进：  •SST k-ω模型和k-e模型的变形增长于混合功能和双模型加在一起。混合功能是为近壁区域设计的，这个区域对标准k-ω模型有效，还有自由表面，这对k-e模型的变形有效。  •SST k-ω模型合并了来源于ω方程中的交叉扩散。  •湍流粘度考虑到了湍流剪应力的传波。  •模型常量不同。  这些改进使得SST k-ω模型比标准k-ω模型在在广泛的流动领域中有更高的精度和可信度。 |  |
| 雷诺应力模型（RSM） | 放弃等方性边界速度假设，RSM使得雷诺平均N-S方程封闭，解决了关于方程中的雷诺压力，还有耗散速率。这意味这在二维流动中加入了四个方程，而在三维流动中加入了七个方程。由于RSM比单方程和双方程模型更加严格的考虑了流线型弯曲、漩涡、旋转和张力快速变化，它对于复杂流动有更高的精度预测的潜力。但是这种预测仅仅限于与雷诺压力有关的方程。  压力张力和耗散速率被认为是使RSM模型预测精度降低的主要因素。要考虑雷诺压力的各向异性时，必须用RSM模型。例如飓风流动、燃烧室高速旋转流、管道中二次流。 | RSM模型比k-e模型和k-ω模型要多耗费50～60%的CPU时间，还有15～20%的内存。 |
| 大漩涡模型LES | 所有湍流都可以模拟，理论上大尺寸旋涡用LES，小尺寸用 | 高性能CPU才能运行 |

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 低雷诺数湍流 | 雷诺压力的各向异性 | 高雷诺数 |
| 选择模型，保持对话框打开。  在命令行输入define——models——viscous——t-e——lrk——y  这时会出现 | 雷诺应力模型（RSM） | * 剪切应力传输（SST） k-ω模型 * 带旋流修正的 k-e模型 * RNG k-e模型 * 标准 k-e模型 * 雷诺应力模型（RSM） * 大漩涡模型LES |
| * The Spalart-Allmaras * 标准 k-ω模型 * RNG k-e模型 |  |  |