1. 控制方程



其中，q为宏观守恒量，F,G为无粘通量，S为重力源项。



其中，分别为密度、压强、单位质量的总能、x方向速度分量、y方向速度分量。其中，总焓、压强p可以通过以下方式计算得到：



比热比

1. 数值方法

在有限体积框架下，将方程（1.1）在网格上积分，可以得到以下常微分形式：



其中，为网格平均守恒量，为通量对流项，可以表示为以下形式：



其中，为方向的网格界面通量，为方向的网格界面通量。时间离散采用采用三阶龙格库塔方法：



其中，为时间步长，可以通过CFL条件得到：



其中，为声速，CFL数出于数值稳定性考虑应该小于1。

1. weno重构

wneo格式对于计算含激波的流动很有优势，本项目采用7个模板点构造了5阶

weno格式：





其中，分别为计算网格单位左侧和右侧通量所需的宏观守恒量。为第个模板的非线性WENO权重，可以通过以下方式计算：



其中，为防止除数为0的极小数，以保证最优五阶精度，分别表示光滑度，其表达式为：



为线性高阶格式的最优权值：



1. Rho黎曼求解器

基于Godunov定理，Roe提出了一个近似Riemann解算器，称为Roe Riemann求解器。在本项目中，采用通量差分分裂Roe格式，在x方向上计算界面通量的精确值:



其中，为通量差，表示为：



其中，



其中，表示右侧和左侧的差值，如。特征值定义为：，为平均状态下的声速，以上方程中波浪表示左右两个状态之间的密度加权平均值，即Roe平均值。Roe的平均值可以由以下方式计算得到：



其中，守恒变量的左右状态可以从WENO5重构得到。同时，为了修正膨胀波、激波中熵的大小， Roe平均特征值用以下方法进行了修正:



其中，，为小数，设为0.1。

类似的，沿方向，，界面通量：



其中，





其中，。