

## 非结构动网格技术数值模拟弹舱开启过程

郭正\* 刘君\* 王巍\* 杨国伟†

(\* 国防科学技术大学航天与材料工程学院, 长沙 410073)

(† 中国科学院力学研究所, 北京 100080)

隐身飞机为了能够有效降低雷达反射面积, 达到隐身效果, 往往将机载武器置于内部弹舱内, 释放武器时必需先打开舱盖。由于内置弹舱尺度较大、开舱投放时间较长, 可能对飞机产生比较严重的干扰, 在设计控制系统时需特别关注这一时刻的气动特性; 其次, 开启式舱盖多采用铰链支板结构, 了解飞行条件下受到的气动力是舱盖设计和优化的基础。

对于这类在飞行中包含有物体相对运动的气动力问题, 地面风洞实验技术难度大、费用高, 人们开始尝试采用计算模拟手段开展研究。早期的计算方法是采用类似于风洞 CTS 实验的准定常方法, 给定状态、生成网格, 求解稳定流场、得到气动力, 在此基础上结合弹道方程确定下一时刻状态, 依此类推。国内阎超、张来平、杨永健等人在这一方面取得了较好的应用成果。这种方法本质上是定常的, 两个时刻流场之间并无关联, 因此时间精度较差; 为此, 近几年动态网格技术开始受到广泛关注。上海大学李孝伟等人发展了结构化动态嵌套网格技术; 西北工业大学李凤蔚教授则采用动态迪卡尔网格求解多体运动流动问题。

基于非结构动态网格技术, 建立了网格变形与网格重构技术相结合的计算方法: 采用弹簧近似方法使网格变形以适应边界的运动, 当出现严重扭曲的网格单元时, 进行局部重构网格。求解 ALE 形式的 Euler 方程, 积分面上变量的二阶近似采用泰勒展开线性重建, 然后用通矢量分裂方法解决积分面上的 Riemann 问题。变量梯度的计算采用传统的格林公式方法。限制器为改进的 Barth-Jespersen 限制器的三维推广。时间离散采用 4 步 Runge-Kutta 方法。为了克服网格变形引起的质量不守恒, 还需要增加几何守恒律的离散形式。

计算飞机外形仿自美国 F-117 隐身轰炸机, 内置导弹外形参考 AIM-120C, 弹舱按照装两枚导弹设计, 计算模型如下图所示。计算攻角为  $\alpha=3^\circ$ , 马赫数分别为 0.8 和 2.0。动态模拟结果显示, 由于舱盖开启, 原来流过飞机下表面的气流冲入类似空腔的弹舱, 在弹舱下游遇到固体壁面, 产生很大的冲击作用, 弹舱内压力沿轴向变化剧烈, 对全机产生附加气动力, 导致全机法向力和俯仰力矩在舱盖开启初期变化剧烈。在亚声速情况下, 随着舱盖开度增大, 其运动对流入弹舱的气流干扰变小, 升力不断增大; 在超声速情况下, 由于舱盖扰动影响区域有限, 在舱盖开度大于  $30^\circ$  以后, 其对舱内流场的干扰迅速减弱, 全机法向力和俯仰力矩呈现出稳定的趋势。本文同时还计算出了盖板转动轴上的铰链力矩。

为比较非定常计算与准定常计算的区别, 本文还针对开舱角度分别为  $30^\circ$ 、 $60^\circ$ 、 $90^\circ$  状态进行了定常流场计算。通过比较相同状态下定常与非定常气动力系数可知, 流动的非定常特性比较明显, 准定常计算结果并不能真实地反映实际的流动。

