

文章编号: 1672-8785(2014)01-0024-03

基于 CFD 流体仿真软件的反舰导弹 红外辐射特性分析

宋敏敏

(上海航天控制技术研究所, 上海, 200233)

摘 要: 采用 CFD 流体仿真软件对反舰导弹在高速巡航时的气动加热进行分析是近年来研究蒙皮辐射的一种新方法。通过采用 CFD 仿真软件以及大气透过率 MODTRAN 软件对反舰导弹在高速巡航时的红外辐射特性进行分析, 获得了大气背景下反舰导弹的红外辐射特征。

关键词: CFD; MODTRAN; 大气透过率; 辐射对比度

中图分类号: TN215 **文献标识码:** A **DOI:** 10.3969/j.issn.1672-8785.2014.01.005

Analysis of Infrared Radiation Characteristics of Anti-ship Missile Based on CFD Flow Simulation Software

SONG Min-min

(Research Institute of Shanghai Academy of Spaceflight Technology, Shanghai 200233, China)

Abstract: Using a CFD flow simulation software to analyze the aerodynamic heating of an anti-ship missile cruising at a high speed is a new method for studying skin radiation in recent years. The infrared radiation characteristics of an anti-ship missile in the atmosphere background are obtained by using both a CFD simulation software and a MODTRAN software to analyze the infrared radiation characteristics of the missile when it is cruising at a high speed.

Key words: CFD; MODTRAN; transmittance; radiance-contrast

0 引言

为了提高舰艇的生存能力, 舰艇上的防御系统对反舰导弹需要有足够的反制能力。所以对反舰导弹的红外辐射特性^[1,2]展开充分的研究很有必要。

舰艇在面对反舰导弹时, 主要是“正面”相对, 所以本文将从迎攻方向的角度分析反舰导弹的红外辐射特性。在迎攻方向, 反舰导弹的辐射主要来自于反舰导弹的蒙皮。考虑到气动加热和反舰导弹自身辐射对反舰导弹蒙皮的辐射

有影响, 采用 CFD 流体仿真软件进行计算, 获得反舰导弹在高速巡航时蒙皮的温度场分布, 最后获得反舰导弹蒙皮的红外辐射特性^[3,4]。

1 反舰导弹表面红外辐射计算的物理基础

1.1 CFD 软件计算的物理基础

反舰导弹的最高飞行速度超过音速, 因此反舰导弹的蒙皮在气动热的影响下会迅速升温。由于反舰导弹表面温度场受外部气动加热和舱内传热的耦合作用, 可以针对反舰导弹流场与

收稿日期: 2013-08-29

作者简介: 宋敏敏(-), 男, 江苏启东, 工程师, 主要研究红外辐射。

E-mail: smm0102@hotmail.com

蒙皮区域分别建立计算网格, 并求解不同的能量方程^[5]。计算流场的传热需求解能量方程为

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho E) + \nabla \cdot (\nu(\rho E + p)) = \nabla \cdot (\kappa_{eff} \nabla T - \sum h_j J_j + (\tau_{eff} \cdot \nu)) \quad (1)$$

式中, κ_{eff} 为有效导热率, $\kappa_{eff} = \kappa + \kappa_f$, κ_f 为湍流引致的导热率, 由 $\kappa - \varepsilon$ 二方程湍流模型确定。 J_j 为组分 j 的扩散通量, ρ 为密度。

1.2 MODTRAN 软件的基本介绍

MODTRAN 软件可以计算从 $0 \sim 50000 \text{ cm}^{-1}$ 波段的大气透过率、大气背景辐射、单次散射阳光和月光辐射、太阳直射辐照度等。软件程序考虑了连续吸收、大气中的微粒(分子、气溶胶、云、雨)的散射和吸收、地球曲率及折射对路径及总吸收物质含量计算的影响。

MODTRAN 软件包括 13 种微量气体垂直廓线的大气模式^[6], 采用六种参考大气模式定义温度、气压、密度以及水汽、臭氧、甲烷、一氧化碳和一氧化二氮的混合比垂直廓线。程序采用带模式计算水、臭氧、一氧化二氮、甲烷、一氧化碳、氧气、二氧化碳、一氧化氮、氨气和二氧化硫的透过率。带模式包括取决于风的沙漠模式、卷云模式、云雨模式、有地理和季节代表的大气模式和气溶胶模式。该模式以逐线光谱为基础, 覆盖氧分子的紫外吸收带和臭氧的紫外带。通过多次散射参数化, 计算时采用双流近似和组合大气层累加法。文中比较了计算结果与实验测量结果。

2 反舰导弹蒙皮温度场的计算

2.1 反舰导弹蒙皮红外辐射温度场的计算方法

以反舰导弹为分析对象, 建立反舰导弹蒙皮红外辐射特征计算的理论模型, 求出反舰导弹蒙皮表面温度场。下面的仿真考虑了气动加热等对蒙皮温度的影响。

2.1.1 计算区域的确定与网格的划分

以反舰导弹为中心, 并以大小为飞行器 1000 倍的空间为计算区域。对飞行器流场和飞行器

蒙皮即计算区域与蒙皮区域内分别建立计算网格。反舰导弹蒙皮区域网格如图 1 所示。

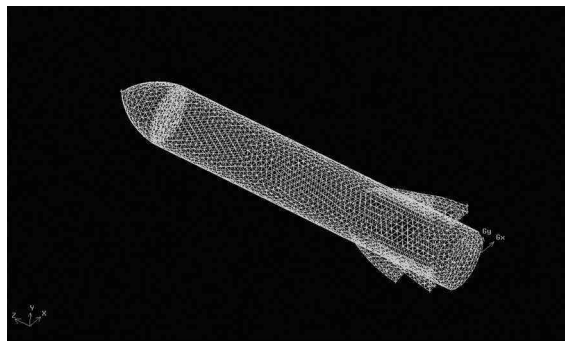


图 1 蒙皮区域网格划分

2.1.2 湍流模型

在计算中, 流场的控制方程选用一般曲线坐标系下的强守恒形式方程, 湍流模型选用整化群 (RNG) 二方程模型。采用有限体积法离散上述方程。为了提高收敛速度和求解精度, 空间离散格式采用二阶迎风格式, 扩散项采用中心差分格式。

2.1.3 边界条件

计算的边界条件为压力远场边界条件和壁面边界条件。压力远场边界条件是一种不反射边界条件, 需给定自由来流的静压、马赫数、静温及流动方向。

2.2 具体计算

算例以反舰导弹为计算对象, 假设反舰导弹在空中 20 m 高度以 0.9 Ma 的速度巡航, 采用 CFD 流体仿真软件计算得到在迎攻方向上反舰导弹蒙皮的温度场分布, 如图 2 和图 3 所示。

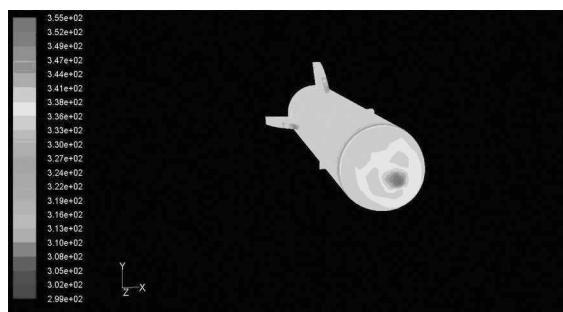


图 2 前视

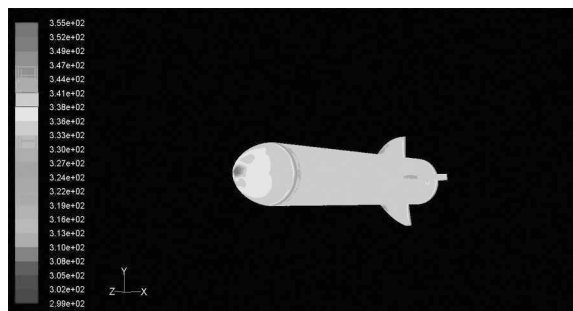
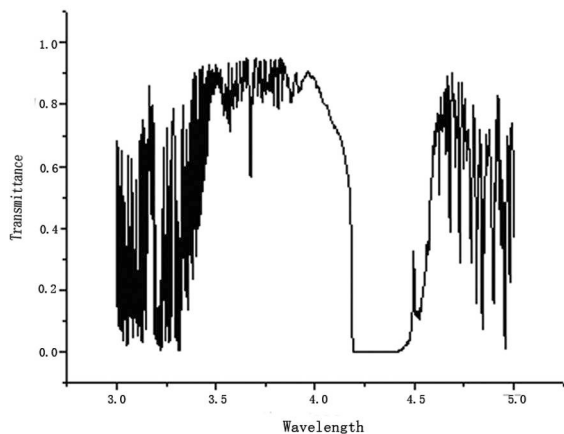


图 3 侧视

3 目标辐射的对比度分析

在迎攻(前视)方向,假设探测距离为 6 km,由仿真结果可获得辐射源的温度 355 K。在 3~5 μm 波段内,通过 MODTRAN 计算,可以得到随波长变化的大气透过率 $\tau(\lambda)$,如图 4 所示。

图 4 3~5 μm 波段的大气透过率

由普朗克公式可以得到光谱辐射出射度为

$$M_{\lambda} = \frac{c_1}{\lambda^5} \frac{1}{e^{c_2/(\lambda T)} - 1} \quad (3)$$

式中, c_1 是第一辐射常数, c_2 是第二辐射常数。假设辐射源遵守朗伯辐射规律,可得辐射源的光谱辐射亮度表达式:

$$L_{\lambda} = \frac{c_1}{\pi \cdot \lambda^5} \frac{1}{e^{c_2/(\lambda T)} - 1} \quad (4)$$

辐射对比度的表达式为

$$C_{\lambda} = \frac{L_{\lambda} \cdot \tau(\lambda) - L_B}{L_B} \quad (5)$$

式中, L_B 是只考虑在探测距离内的大气热辐射,可以通过 MODTRAN 计算得到,如图 5 所示。

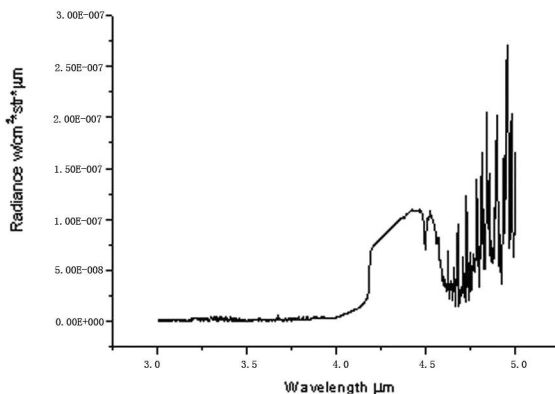


图 5 大气热辐射

由式 (3) 可以计算出辐射对比度 C_{λ} , 如图 6 所示。

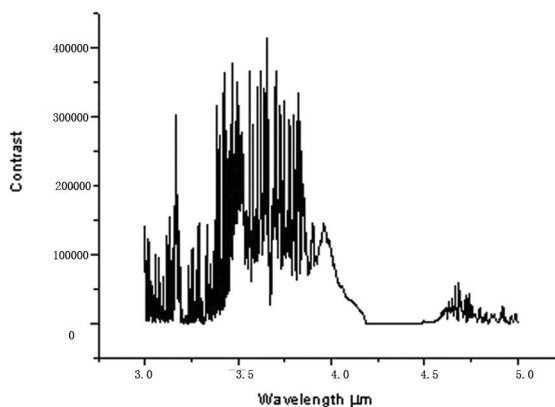


图 6 辐射对比度

4 总结

采用 CFD 流体仿真软件进行分析,得到了反舰导弹在高速巡航时的温度场分布。结合 MODTRAN 大气透过率软件,计算分析了在一定探测距离内目标的辐射对比度。为分析反舰导弹在高速飞行时的蒙皮辐射提供了新方法,仿真分析结果可为反舰导弹红外辐射特征的研究提供参考。

(下转第 32 页)