

文章编号: 1674-8085(2017)03-0083-04

密封盖翻转过程中的气动特性数值研究

*郭佳肄¹, 胡晓磊², 孙船斌², 杨 琪¹

(1.安徽工业大学工程实践与创新教育中心, 安徽, 马鞍山 243002; 2.安徽工业大学机械工程学院, 安徽, 马鞍山 243002)

摘 要: 为了研究密封盖的气动性能, 采用计算流体力学方法结合 k-ε 二方程湍流模型, 建立密封盖翻转过程数值模型, 在与实验数据对比验证的基础上, 研究了密封盖翻转过程中气动特性随迎角变化规律。结果表明: 密封盖的气动特性符合正弦规律变化趋势; 密封盖的升力系数、阻力系数和力矩系数与来流方向密切相关。研究结果为密封盖运动轨迹预测提供基础。

关键词: 密封盖; 计算流体力学; 气动特性; 数值模拟

中图分类号: TJ0

文献标识码: A

DOI:10.3969/j.issn.1674-8085.2017.03.014

NUMERICAL STUDY OF SEALING COVER TURNOVER AERODYNAMIC CHARACTERISTICS

* GUO Jia-yi¹, HU Xiao-lei², SUN Chuan-bin², YANG Qi¹

(1. Center of Engineering Practice and Innovation, Anhui University of Technology, Ma'anshan Anhui 243002, China;

2. School of Mechanical Engineering, Anhui University of Technology, Ma'anshan, Anhui 243002, China)

Abstract: To study the sealing cover turnover aerodynamic characteristics, computational fluid dynamic method and k-ε two-equation turbulent model were adopted to establish sealing cover turnover model. Compared with experimental results, the sealing cover aerodynamic characteristics changing with the attack angle were studied. Results showed that sealing cover aerodynamic characteristics are in accord with the trend of sine curve and the lift coefficient, drag coefficient and moment coefficient changes of sealing cover are closed related to flow direction. Results can provide reference for predicting sealing cover trajectory.

Key words: sealing cover; computational fluid dynamic method; aerodynamic characteristics; numerical study

0 引言

密封盖是箱式发射系统中重要的组成部分, 主要用于保护箱式储运发射系统中的武器。在武器发射时, 密封盖依靠爆炸装置弹出发射箱。目前, 公开发表文献主要集中在对密封盖的材料特性研究^[1-2], 而对密封盖弹出发射箱后的气动特性研究较少。由于密封盖弹出发射箱后遇到风的作用,

其运动轨迹不再符合抛物线规律。为了准确地预测密封盖被弹出发射箱后的轨迹, 首先需要获得密封盖的气动特性, 因此研究密封盖气动特性具有重要的工程意义。

针对物体的气动特性, 目前主要采用风洞试验和数值模拟的方法进行研究。由于风洞试验成本高昂, 因此在前期研究主要采用数值模拟的方法进行。文献[4-5]研究结果表明, 采用计算流体力学方法研究翼型的气动特性可以再现实验过程中的

收稿日期: 2017-03-24; 修改日期: 2017-04-19

基金项目: 安徽高校自然科学研究项目(KJ2017A062)

作者简介: *郭佳肄(1986-), 女, 安徽阜阳人, 助理实验师, 硕士, 主要从事计算流体力学研究(E-mail: hu0423@126.com);

胡晓磊(1987-), 男, 安徽寿县人, 讲师, 博士, 主要从事计算流体力学研究(E-mail: hu0423@126.com);

孙船斌(1988-), 男, 江苏南京人, 讲师, 博士, 主要从事计算流体力学研究(E-mail: S.Chuanbin@126.com);

杨 琪(1983-), 男, 安徽合肥人, 实验师, 硕士, 主要从事实验研究(E-mail: yangqi@163.com);

流动特性和气动参数变化规律。因此,本文采用计算流体动力学方法结合 $k-\varepsilon$ 二方程湍流模型,建立密封盖数值模型,在与相关文献实验数据对比验证的基础上,研究密封盖翻转过程中不同角度的气动特性。

1 密封盖数值方法和模型

密封盖流场采用三维雷诺平均的 Navier-Stokes 方程进行数值模拟,流体控制方程如下^[3]:

质量守恒方程

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x_i}(\rho u_i) = 0 \quad (1)$$

动量守恒方程

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho u_i) + \frac{\partial}{\partial x_j}(\rho u_i u_j) = -\frac{\partial p}{\partial x_i} + F_{\sigma+\mu} \quad (2)$$

能量守恒方程

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho E) + \frac{\partial}{\partial x_i}(u_i(\rho E + p)) = G \quad (3)$$

方程中 ρ 、 u 、 p 、 E 分别为空气的密度、速度矢量、压力和总能。

密封盖的物理模型如图 1 所示,包括盖体和爆炸装置,其中密封盖直径为 200 mm。密封盖的入口来流方向速度为 7.9 m/s。计算区域为盖体直径的 20 倍的正方体区域,计算网格为 80 万网格左右。其中湍流模型采用 $k-\varepsilon$ 二方程湍流模型^[4](见图 2)。

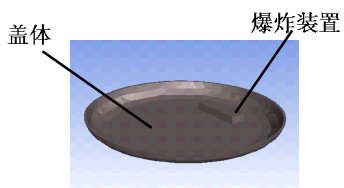


图 1 密封盖物理模型

Fig.1 Physical model of sealing cover

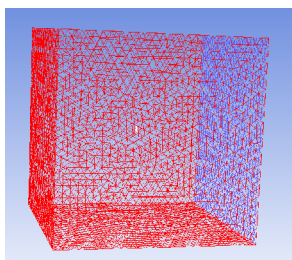


图 2 计算区域网格模型

Fig.2 Mesh model of computational zone

2 数值方法验证

由于目前针对密封盖的气动特性缺乏试验数据,为了验证数值方法的可靠性,采用文中建立的数值方法对文献[5]中的 S809 翼型的气动特性进行验证,结果如图 3 所示。从图中对比可见, S809 翼型的升力系数仿真值与试验值最大误差在 8% 以内。根据文献[6],表明工程范围内仿真值和实验结果误差在 9% 左右是可以接受的。这表明文中建立的数值模型是有效的。由于机翼随迎角的变化过程和密封盖的翻转过程具有一定的相似性,因此本文的数值方法可以用于分析密封盖翻转过程的气动特性。

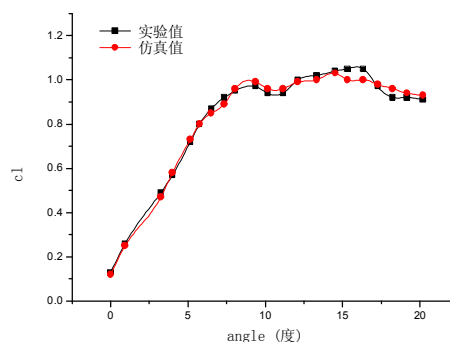


图 3 S809 翼型升力系数与实验对比曲线

Fig.3 Comparison of lift coefficient between simulation and experimental of S809 airfoil

表 1 试验值与仿真值误差对比

Table 1 Error between experiment and simulation

角度	试验值	仿真值	误差 (%)
0.00	0.13	0.12	8
0.93	0.26	0.25	2
3.25	0.49	0.47	5
3.99	0.57	0.58	-2
5.15	0.72	0.73	-2
5.75	0.80	0.80	0
6.50	0.87	0.85	2
7.33	0.92	0.89	3
8.03	0.95	0.96	-1
9.37	0.97	0.99	-2
10.16	0.94	0.96	-2
11.14	0.94	0.96	-2
12.11	1.00	0.99	1
13.32	1.02	1.00	2
14.52	1.04	1.03	1
15.31	1.05	1.00	5
16.33	1.05	1.00	5
17.26	0.97	0.98	-1
18.24	0.92	0.96	-4
19.16	0.92	0.94	-2
20.19	0.91	0.93	-2

注: 误差=(试验值-仿真值)/试验值

3 结果分析

图 4 为密封盖在 $0^\circ \sim 360^\circ$ 之间翻转过程中的压力云图(其中 360° 与 0° 相同), 图 5~图 7 为密封盖升力系数、阻力系数和力矩系数随迎角变化曲线。迎角的定义与翼型中迎角定义一致, 密封盖凸面正对来流方向为 0° , 其中爆炸装置位于密封盖正上方, 密封盖绕水平轴转动为正。

从图 4 (a)~(f) 可见, 随着密封盖在空中翻转, 由于密封盖的迎风面直接受到来流风速的影响, 其压力最大。从图 4 (c) 可见, 当密封盖凹面朝上时, 受到密封盖上爆炸装置的影响, 爆炸装置后部压力低于其他部位。这是由于空气绕过爆炸装置后, 在其后部产生回流, 形成低压区。

图 5 为密封盖的升力系数随迎角变化曲线, 其中, 升力系数定义为:

$$C_l = \frac{F_l}{\frac{1}{2} \rho v^2 S}$$

式中, F_l 为升力, ρ 为空气密度, v 为空气粘性, S 密封盖的投影面积。

从图 5 中可以看出, 在 $0^\circ \sim 360^\circ$ 范围内, 密封盖升力系数曲线呈现先上升, 再下降, 然后再上升, 又下降, 最后上升的趋势。这是由于流场内密封盖的插入, 来流风被分为上下两股, 它们通过密封盖后, 又重新合成一股。由于密封盖前后、上下不对称, 因此升力系数呈现波动趋势, 当迎角为 120°

时, 升力系数为最小值-1.5; 当迎角为 210° 时, 升力系数为最大值 1.0。

图 6 为密封盖阻力系数随迎角变化曲线, 其中, 阻力系数定义为:

$$C_d = \frac{F_d}{\frac{1}{2} \rho v^2 S}$$

式中, F_d 为阻力, ρ 为空气密度, v 为空气粘性, S 密封盖的投影面积。

从图 6 中可以看出, 密封盖阻力系数曲线呈现先下降, 再上升, 然后再下降, 最后上升的趋势。当迎角为 90° 和 210° 时, 阻力系数为最小值 0.1, 当迎角为 180° 时, 即密封盖凹面正对来流方向, 阻力系数为最大值 1.7。这是由于凹面的表面积最大导致的。

图 7 为密封盖力矩系数随迎角变化曲线, 其中, 力矩系数为:

$$C_m = \frac{M}{\frac{1}{2} \rho v^2 S L}$$

式中, M 为密封盖的力矩, 力矩中心位于密封盖中心, ρ 为空气密度, v 为空气粘性, S 密封盖的投影面积, L 为密封盖的最大直径。

从图 7 中可以看出, 密封盖力矩系数曲线呈现先上升, 再下降, 然后再上升, 又下降, 最后上升的趋势。从力矩系数随迎角变化曲线可以看出, 当迎角为 50° 时, 力矩系数最大为 0.175; 当迎角为 300° 时, 力矩系数为最小值-0.2。

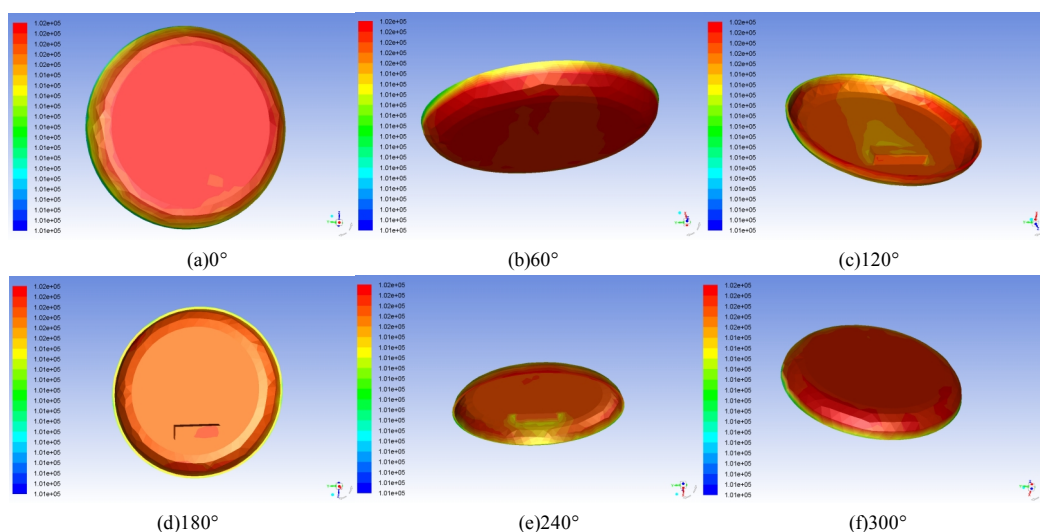


图 4 不同角度下密封盖表面压力云图

Fig.4 Pressure of sealing cover of different angle

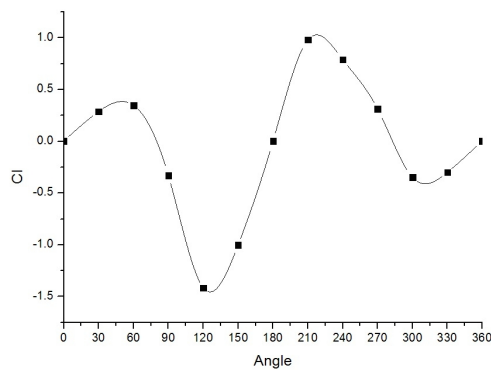


图 5 升力系数随角度变化曲线

Fig.5 Lift coefficient with different angle

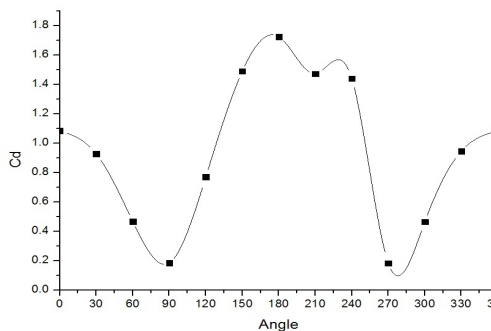


图 6 阻力系数随角度变化曲线

Fig.6 Drag coefficient with different angle

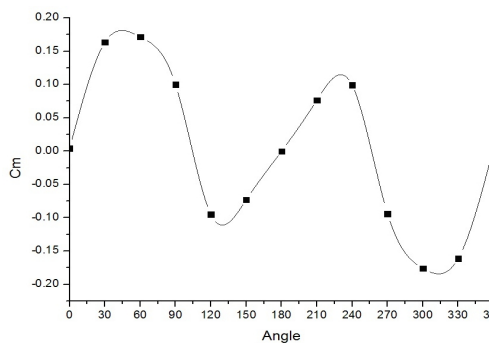


图 7 力矩系数随角度变化曲线

Fig.7 Moment coefficient with different angle

4 结论

从文中结果分析来看,本文建立的数值方法是可靠的,可以用于分析密封盖的气动特性。从气动特性曲线可见,密封盖的升力系数、阻力系数和力矩系数的变化趋势符合正弦曲线变化趋势。当密封盖与来流方向成 210° 夹角时,升力系数最大;当密封盖凹面正对来流方向时,阻力系数最大;当密封盖与来流方向成 45° 夹角时,力矩系数最大。

参考文献:

- [1] 张中利,于存贵,马大为,等. 冲击作用下易碎式密封盖数值仿真及实验分析[J]. 爆炸与冲击, 2008, 28(1): 62-66.
- [2] 崔二巍,于存贵,王松超. 火箭炮新型穿透式密封盖设计与仿真[J]. 兵工自动化, 2013, 32(10): 12-14.
- [3] 胡晓磊,盛文成,乐贵高,等. 车载导弹垂直发射系统双面导流器的研究[J]. 火力指挥与控制, 2013, 38(11): 53-55.
- [4] Shi T H. A new k- ϵ Eddy-viscosity model for high Reynolds number turbulent flows-model development and validation[J]. Computers & Fluids, 1995, 24(3): 227-238.
- [5] Yang S L, Chang Y L, Arici O. Incompressible Navier-Stokes Computation of the NREL Airfoils Using a Symmetric Total Variational Diminishing Scheme of Solar Energy Engineering[J]. Solar Engineering of Thermal Processes, 1994, 116(4): 174-182.
- [6] 郭涛,林丽,朱程香. 基于内外传热耦合的热气防冰系统仿真计算[J]. 航空动力学报, 2016, 31(11): 2621-2627.

(上接第 82 页)

- [4] Talón JLH, Ortega JCC, Gómez CL. Manufacture of a spur tooth gear in Ti-6Al-4V alloy by electrical discharge [J]. Computer-Aided Design, 2010, 42(3): 221-230.
- [5] 张国政,韩江,刘有余. 高阶椭圆齿轮加工方法及理论[J]. 计算机集成制造系统, 2014, 20(5): 1107-1112.
- [6] 刘有余,韩江,夏铤,等. 外啮合椭圆齿轮多方案插齿三维仿真与分析[J]. 机械科学与技术, 2014, 33(7): 1031-1035.
- [7] 刘炀,袁媛,韩江. 高阶变型椭圆类非圆齿轮副设计与仿真[J]. 机械传动, 2014, 38(12): 38-45.
- [8] 吴序堂,王贵海. 非圆齿轮及非匀速比传动[M]. 北京: 机械工业出版社, 1997: 115-160.
- [9] 李大柱. 自由节曲线非圆齿轮 CAD/CAM 技术研究与系统开发[D]. 合肥: 合肥工业大学, 2015.
- [10] Litvin F L. 齿轮几何学与应用理论[M]. 上海: 上海科学技术出版社, 2008: 285-287.