

无柄手榴弹空气动力特性和引信爬行系数

殷永亮¹, 王雨时¹, 武波涌², 闻 泉¹, 严东坡², 张志彪¹

(1. 南京理工大学机械工程学院, 南京 210094;

2. 湖南兵器建华精密仪器有限公司, 湖南 永州 425024)

摘要: 为了为某无柄手榴弹引信弹道炸原因分析提供弹道环境, 运用 FLUENT 软件对在空气中以不同姿态飞行的手榴弹进行空气动力学特性仿真, 得到了该手榴弹的阻力系数以及其引信的爬行过载系数; 因方位不同, 手榴弹的阻力系数和爬行过载系数也不同; 在相同速度条件下, 爬行过载系数的极大值约是极小值的 5 倍; 该手榴弹空中飞行时平均阻力系数约为 0.932 5。

关键词: 手榴弹; 空气动力特性; 爬行系数; 动力学仿真

本文引用格式: 殷永亮, 王雨时, 武波涌, 等. 无柄手榴弹空气动力特性和引信爬行系数[J]. 四川兵工学报, 2015(7): 35-37.

Citation format: YIN Yong-liang, WANG Yu-shi, WU Bo-yong, et al. Aerodynamic Characteristics and Fuze Creep Overload Coefficient of Non-Stick Hand Grenade [J]. Journal of Sichuan Ordnance, 2015(7): 35-37.

中图分类号: TJ410.32

文献标识码: A

文章编号: 1006-0707(2015)07-0035-04

Aerodynamic Characteristics and Fuze Creep Overload Coefficient of Non-Stick Hand Grenade

YIN Yong-liang¹, WANG Yu-shi¹, WU Bo-yong²,
WEN Quan¹, YAN Dong-po², ZHANG Zhi-biao¹

(1. School of Mechanical Engineering, Nanjing University of Science & Technology, Nanjing 210094, China;

2. Hunan Ordnance Jianhua Precision Apparatus Co., Ltd., Yongzhou 425024, China)

Abstract: In order to provide a reference for analysis on ballistic blasting of the fuze in non-stick hand grenade, aerodynamic characteristics of hand grenade when flying in different attitude were simulated by FLUENT, and then drag coefficient and fuze creep overload coefficient of the non-stick hand grenade were obtained. The drag coefficient and fuze creep overload coefficient is different at different attitude. At the same velocity, the maximum value of creep overload coefficient is about five times of the minimum value; the average drag coefficient of the hand grenade when flying in ballistic is about 0.932 5.

Key words: hand grenade; aerodynamic characteristics; drag coefficient; dynamic simulation

手榴弹体积小、重量轻、结构简约、使用灵活, 是一种可随身的武器装备, 在近战、防暴、反恐斗争中不可或缺^[1-2]。传统手榴弹功能单一、性能偏低, 手榴弹的发展曾一度迟滞不前, 引信是限制其发展的主要瓶颈。

手榴弹弹道由投掷形成。投掷习惯不同、方法不同, 手榴弹的弹道也不同。此外, 手榴弹无稳定性设计, 在外弹道上有可能会翻滚。手榴弹外形是三维结构, 不同飞行姿态(方

位)阻力特性和由此产生的引信爬行环境也不同。手榴弹空中翻滚产生的离心惯性和爬行力, 可能是引起手榴弹引信惯性触发机构意外作用从而发生弹道炸的弹道环境因素。

随着计算机技术的高速发展, 计算流体力学(CFD)已经成为继理论流体力学和实验流体力学后的一种重要研究手段。许多学者已经通过仿真计算的方法研究了单兵火箭弹、大型捆绑式运载火箭、迫击炮弹和经典旋转弹丸等弹种的气

动力特性^[3-6]。但是目前尚未见有利用计算流体力学对手榴弹气动特性进行研究。

为了对手榴弹外弹道分析和引信弹道炸原因分析提供参考,本文运用计算流体力学仿真软件 FLUENT 对手榴弹在空中以各种姿态飞行时的空气动力特性进行仿真分析,得到了其在空中飞行时的阻力系数以及其爬行过载系数。

1 空气动力学基础

1.1 流体基本方程^[7]

(1) 连续方程

$$\frac{d\rho}{dt} + \left(\frac{\partial V_x}{\partial x} + \frac{\partial V_y}{\partial y} + \frac{\partial V_z}{\partial z} \right) = 0 \quad (1)$$

式(1)中 ρ 为流体密度; t 为时间; V_x 、 V_y 、 V_z 分别为流体速度在 x 、 y 、 z 方向的分量。

(2) 能量方程

$$u + \frac{V^2}{2} + \frac{p}{\rho} = C \quad (2)$$

式(2)中 u 为单位质量气体的内能; V 为流体的速度; p 为压强; ρ 为流体的密度; C 表示常数。

(3) 动量方程

$$\sum F = \iint_S \rho(V \cdot n) V dS \quad (3)$$

式(3)适用于定常流情况。式(3)中 $\sum F$ 为流体微团内流体的总作用力; V 为流体的速度; S 为流体微团的表面积; n 为元素面积 dS 的法向单位向量。

1.2 弹丸空气阻力

弹丸空气阻力:

$$R_x = \frac{\rho v^2}{2} S C_{x0}(\text{Ma}) \quad (4)$$

式(4)中 R_x 为空气阻力(N); v 为弹丸相对于空气的速度(m/s); ρ 为空气密度(kg/m^3); S 为弹丸的特征面积, $S =$

$\frac{\pi}{4} d^2$ 。 D 为弹丸的直径(m); $C_{x0}(\text{Ma})$ 为阻力系数。

2 有限元模型

2.1 几何模型

首先在 SolidWorks 软件中建立无柄手榴弹空中飞行状态下(握片已脱落)的三维模型,如图 1 所示。然后将建好的模型导入 FLUENT 软件中,建立空气域。本模型以手榴弹为中心在其周围建立圆柱体空气域,其长度为 10 倍弹长,直径为 20 倍弹丸最大直径^[4]。网格采用自适应混合非结构化网格技术,对空气域分层划分网格,越靠近手榴弹的空气域网格越密,全场计算区域的网格单元数为 665 792。手榴弹壁面生成网格后如图 2 所示。

2.2 初始条件和边界条件

假设来流为理想气体。取远处前方来流值作为来流初始条件,外边界取压力远场条件。根据投掷过程高速录像判读,手榴弹出手速度范围约为 15 ~ 25 m/s。文献[8]估取适

宜投掷的自然风速范围为 0 ~ 15 m/s。由此确定仿真分析的手榴弹速度为 15、25、40 m/s,对应的马赫数(Ma)分别为 0.043 22、0.072 03、0.115 2。手榴弹最大直径为 48 mm,故取特征面积 S 的值为 $1.809 6 \times 10^{-3} \text{ m}^2$ 。

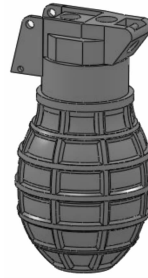


图 1 手榴弹仿真几何模型

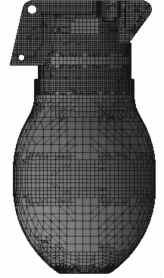


图 2 手榴弹壁面网格划分

湍流模型选取 Spalart-Allmaras 模型。该模型是一个相对简单的单方程模型,比较适用于壁面限制的流动问题,常用在空气动力学问题当中,例如对飞行器、翼型等绕流流场的分析。

3 仿真结果及分析

手榴弹投掷后在空中以任意姿态飞行,风速可以沿其周围壁面任意方向。在仿真过程中假定手榴弹静止,则只需将不同方向的风速分解到三个坐标轴上即可。图 3 中 V 即风速的方向矢量, x 、 y 、 z 为三个坐标轴, α 和 β 为描述空间任意矢量的两个角度。则风速矢量在不同坐标轴上的分量为

$$V_x = V \sin \beta \sin \alpha \quad (5)$$

$$V_y = V \cos \beta \quad (6)$$

$$V_z = V \sin \beta \cos \alpha \quad (7)$$

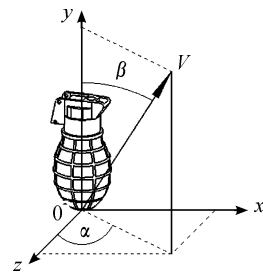


图 3 风向矢量示意图

手榴弹外形是关于 xoy 平面对称的,故风向的选取只需考虑一半边界环境。在此取 $\alpha = -90^\circ$ 、 -75° 、 -60° 、 -45° 、 -30° 、 -15° 、 0° 、 15° 、 30° 、 45° 、 60° 、 75° 、 90° 。 $\beta = 0^\circ$ 、 15° 、 30° 、 45° 、 60° 、 75° 、 90° 、 105° 、 120° 、 135° 、 150° 、 165° 、 180° 。

3.1 阻力系数 C_{x0} (Ma)

通过计算流体力学仿真软件 FLUENT 对不同情况下飞行的手榴弹进行仿真分析,得到对应特征面积 $S = 1.809 6 \times 10^{-3} \text{ m}^2$ 的阻力系数如图 4 ~ 图 6 所示和表 1 所列。

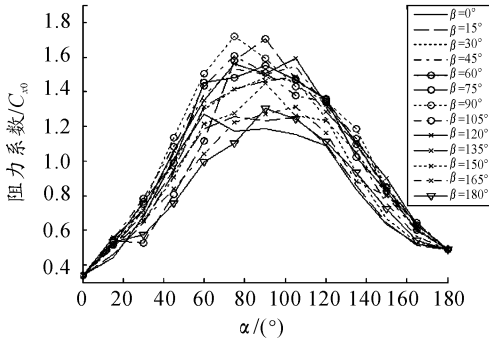


图4 速度 40 m/s 时手榴弹阻力系数

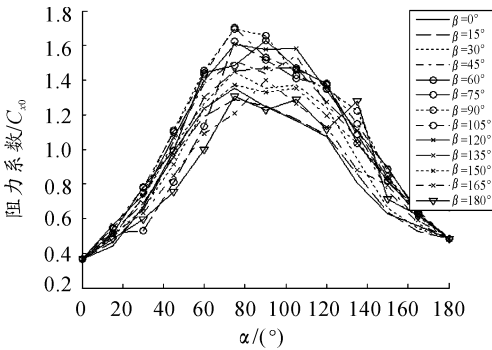


图5 速度 25 m/s 时手榴弹阻力系数

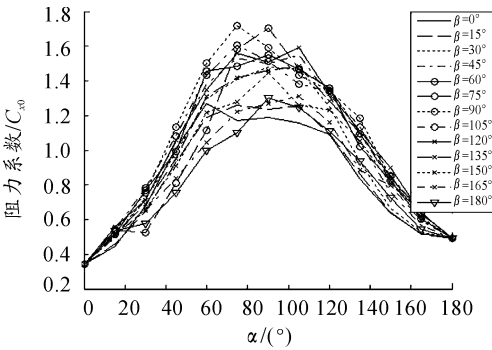


图6 速度 15 m/s 时手榴弹阻力系数

表1 手榴弹空中飞行时阻力系数特性

速度/ (m · s ⁻¹)	最小阻 力系数 Cx0min	最大阻 力系数 Cx0max	比值 Cx0max/ Cx0min	平均阻 力系数 Cav
15	0.360 1	1.783 1	4.951 7	0.927 9
25	0.368 4	1.694 2	4.598 8	0.941 2
40	0.341 6	1.720 4	5.036 3	0.928 3
平均	0.356 7	1.732 6	4.862 3	0.932 5

3.2 爬行过载系数 K

由式(4)可得到手榴弹在飞行中的空气阻力 R_x。据此可得其引信爬行过载系数:

$$K = \frac{R_x}{mg} \tag{8}$$

式(8)中 m 为手榴弹质量。

联立式(4)和式(8)可得到手榴弹在空气中飞行的爬行过载系数,如表 2 所列。

表2 手榴弹气动特性爬行过载系数

速度/ (m · s ⁻¹)	最小爬行 过载系数 (K _{min})	最大爬行 过载系数 (K _{max})	比值 K _{max} / K _{min}	平均爬行 过载系数 (K _{av})
15	0.037 13	0.183 8	4.950 2	0.095 67
25	0.105 5	0.485 2	4.599 1	0.269 5
40	0.250 5	1.261 4	5.035 5	0.680 6

文献[10]中给出光滑圆球的阻力系数:

$$C_{x0} = \frac{24}{Re} + \frac{6}{1 + \sqrt{Re}} + 0.4 \tag{9}$$

式(9)中 Re 为雷诺数。

式(9)的适用范围是 10³ ≥ Re ≥ 5。由此得光滑圆球不同速度下的阻力系数如表 3 所示。

表3 经典文献给出的光滑圆球阻力系数

速度/(m · s ⁻¹)	阻力系数(C _{x0})
15	0.427 3
25	0.421 4
40	0.416 7

另由文献[11]查得表面很粗糙(外表突出高度 Δ = 0.08d)的圆球状物体阻力系数 C_D = 0.8。本文仿真研究的手榴弹外表不十分规则但近似呈圆形,所得阻力系数与此接近且略大,表明仿真结果较为可信。

4 结论

手榴弹空中飞行时姿态众多,使得其阻力系数变化范围较大。手榴弹飞行速度 15 m/s 时,其阻力系数范围:0.360 1 ~ 1.783 1;速度为 25 m/s 时,其阻力系数变化范围:0.368 4 ~ 1.694 2;速度为 40 m/s 时,其阻力系数变化范围:0.341 6 ~ 1.720 4;最大值与最小值相差约 5 倍;手榴弹飞行速度 15 m/s 时,爬行过载系数范围:0.0371 3 ~ 0.183 8。

速度为 25 m/s 时,爬行过载系数范围:0.105 5 ~ 0.485 2;速度为 40 m/s 时,爬行过载系数变化范围:0.250 5 ~ 1.261 4,最大值与最小值相差约 5 倍;对应于手榴弹最大直径的特征横截面积,手榴弹空中飞行时的平均阻力系数为 0.932 5。

(下转第 89 页)

5 结论

航空相机像移的控制是提高成像质量的关键环节,像移补偿后的像移残差检测在相机设计、使用等阶段尤为重要。残差检测通常从硬件控制入手,着眼对系统各组件信号的测量。本研究通过建立像移残差数学模型,分析一幅图像像移残差基本一致性,提出了基于图像频谱特性分析的像移补偿残差检测方法。仿真结果显示检测精度能够满足航空相机使用阶段对像移补偿系统性能定检的要求,它避免了像移残差检测对相机系统软、硬件设计技术的依赖,具有较好的推广应用前景。

参考文献:

- [1] 许永森,丁亚林.推扫式航空遥感器像移补偿精度的分析[J].光学精密工程,2009,17(2):453-457.
- [2] Lareau A G. Electro-optical imaging array with motion compensation[J]. SPIE,1993,2023:65-79.
- [3] Doyle K B, Cerrati V J, Forman S E, et al. Optimal Structural design of the airborne infrared imager[J]. Proceedings of the SPIE,1995,2542:11-32.
- [4] 王智儒,杨成禹.航空相机补偿板的检测[J].长春理工大学学报:自然科学版,2010,33(4):20-22.

- [5] 李岷,马军.机载光电稳定平台检测技术的研究[J].光学精密工程,2006,14(5):847-852.
- [6] 吴宏圣.TDICCD全景航空相机像移补偿研究[D].长春:中科院长春光学精密机械与物理研究所,2003:31-61.
- [7] Sakano M, Suetake N, Uchino E. A PSF estimation based on Hough transform concerning gradient vector for noisy and motion blurred images[J]. IEICE Transactions on Information and Systems,2007,90(1):182-190.
- [8] 廖永忠,蔡自兴,何湘华.基于点扩散函数参数辨识的运动模糊图像的盲恢复研究[J].光学技术,2014,40(3):235-239.
- [9] Moghaddam M E, Jamzad M. Finding point spread function of motion blur using radon transformation and modeling the motion length[C]//Proceedings of the Fourth IEEE International Symposium on Signal Processing and Information Technology. Rome:IEEE,2004:314-317.
- [10] Moghaddam M E, Jamzad M. Finding point spread function of motion blur using Radon transform and modeling the motion length[C]//Proceedings of the 4th IEEE international symposium on signal processing and information technology. Rome, Italy:IEEE,2004:314-317.

(责任编辑 杨继森)

(上接第37页)

参考文献:

- [1] 王善武.浅谈手榴弹的发展趋势和展望[J].国防技术基础,2008(10):48-50.
- [2] 陈继业.手榴弹用火工品展望[J].火工品,1999(2):28-32.
- [3] 张连煜,甘小红,谭宗攀,等.单兵火箭弹空气动力特性的数值分析与试验研究[J].弹箭与制导学报,2012,32(4):167-169.
- [4] 孙为民,谭发生,夏南.大型捆绑式运载火箭气动特性数值模拟[J].上海大学学报:自然科学版,2000,6(6):502-506.
- [5] 杨翔,王雨时,闻泉.迫击炮弹空气动力特性攻角系数数值研究[J].弹箭与制导学报,2014,34(2):139-

141,156.

- [6] 王晓兵,李菁,廖忠全,等.基于FLUENT的弹丸外流场数值模拟[J].计算机辅助工程,2010,19(1):92-94.
- [7] 沈仲书,刘亚飞.弹丸空气动力学[M].北京:国防工业出版社,1984.
- [8] GB/T 28591—2012,风力等级[S].
- [9] 马永忠,赵田安,汪勇.弹丸破片速度衰减规律研究[J].弹道学报,2006,18(4):54-56.
- [10] Atkins P W. Physical Chemistry[M]. 3rd ed. Oxford:Oxford University Press,1986.
- [11] 沈鸿,周建南,汪道涵,等.机械工程手册[M].北京:机械工业出版社,1996.
- [12] 周明安,郭天天,程小冬,等.数码手榴弹引信研究与设计[J].四川兵工学报,2014(8):8-10.

(责任编辑 周江川)