

弹丸外弹道及引信活击体爬行力数值仿真

岳明凯, 邱浩, 焦志刚

(沈阳理工大学 装备工程学院, 沈阳 110159)

摘要:针对惯性触发引信设计过程中引信零件爬行力计算问题,分析了引信及弹丸在外弹道飞行时的受力情况,运用计算流体力学软件(FLUENT)对弹丸空气动力进行了仿真分析,得到了弹丸在外弹道飞行的阻力和翻转力矩。再由虚拟样机软件(ADAMS)对弹丸整个飞行过程进行模拟计算,得到弹丸在整个外弹道的稳定性情况、飞行轨迹和引信活击体受到的爬行力。所得结果和分析对弹丸外弹道分析及引信惯性触发机构的设计和具有一定参考意义。

关键词:引信;外弹道;活击体;爬行力

本文引用格式:岳明凯,邱浩,焦志刚. 弹丸外弹道及引信活击体爬行力数值仿真[J]. 兵器装备工程学报,2016(3): 20-22.

Citation format:YUE Ming-kai, QIU Hao, JIAO Zhi-gang. Numerical Simulation of Projectile Exterior Ballistic and Creep Force of Fuze Active Inertia Body[J]. Journal of Ordnance Equipment Engineering,2016(3):20-22.

中图分类号:TJ430.2

文献标识码:A

文章编号:1006-0707(2016)03-0020-04

Numerical Simulation of Projectile Exterior Ballistic and Creep Force of Fuze Active Inertia Body

YUE Ming-kai, QIU Hao, JIAO Zhi-gang

(Equipment Engineering College, Shenyang Ligong University, Shenyang 110159, China)

Abstract: Aiming at the problem of calculating the creep force of the fuze parts in the design process of the inertial trigger fuze, the force of the fuze and the projectile flew in the exterior ballistic were analyzed. The aerodynamic force of the projectile was simulated and analyzed by using the computational fluid dynamics (FLUENT) software. The resistance and the overturning moment of the projectile in the exterior ballistic were obtained. And then by the virtual prototype software (ADAMS) to simulate the whole flight process, we got the stability of the projectile in the whole exterior ballistic, the trajectory of the flying and the creep force of the active inertia body. of fuze The results and analysis have a certain reference value for the design and research of the ballistic trajectory analysis and the inertial trigger mechanism of the projectile.

Key words: fuze; exterior ballistic; active inertia body; creep force

爬行力是弹丸外弹道飞行过程中引信零件受到的重要环境力,它可作为引信解除保险的环境力,也可作为反恢复机构的原动力^[1-3]。爬行力有可能引起已解除保险的活击体误动作,需要采用保险零件予以克服。因此在惯性触发引信设计过程中,对活击体爬行力进行计算是十分必要的。随着计算机仿真技术的快速发展,运用计算流体力学软件FLUENT仿真可得到弹丸外弹道飞行的气动参数^[4-7]。依据仿真得到的弹丸气动参数,通过虚拟样机软件ADAMS对弹

体及引信零件外弹道飞行进行数值模拟,可以获取弹丸的外弹道飞行姿态、飞行轨迹,同时得到引信活击体爬行力。

1 受力分析及外流场仿真

1.1 弹丸受力分析

弹体飞行过后效期后,不再承受火药气体压力,不再做加速运动。相反,弹体在空气等非目标介质中做减速运动,

引信零件受到与载体减速度方向相反的轴向惯性力,一般用 F_p 表示^[8]。表达式为

$$F_p = mJ \quad (1)$$

式(1)中: m 为引信零件的质量; J 为弹体的减速度。

旋转稳定弹在空气中运动时, J 表示的空气阻力加速度,一般表达式为

$$J = C_d \pi(y) F(v_r) \quad (2)$$

式(2)中: C_d 为弹道系数; $\pi(y)$ 为气压函数; $F(v_r)$ 为空气阻力函数。如图1所示为弹底引信零件受到的爬行力 F_p 和弹丸受到的阻力 R 。

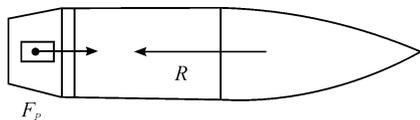


图1 爬行力及阻力简图

弹丸在空中飞行时,当弹轴与速度矢量不重合时,空气对弹丸作用力的合力 R 不再与弹轴 ξ 及速度矢量 v 共线反向, R 的作用点即压力中心对旋转弹在弹顶和质心 O' 之间。 R 的指向不与 ξ 和 v 平行,而是以速度矢量 v 为准向弹顶一方偏离,如图2所示。这一方面使 R 在沿速度矢量 v 的方向及垂直于 v 的方向分别产生了分量,即切向阻力 R_x 和升力 R_y ,另一方面 R 对质心产生了力矩 M_z 。除此之外,由于弹丸绕弹轴和绕赤道轴的转动等原因,又产生了极阻弹尼力矩 M_{xz} 、赤道阻尼力矩 M_{yz} 、马格努斯力 R_z 和马格努斯力矩 M_y 等空气动力和力矩^[9]。

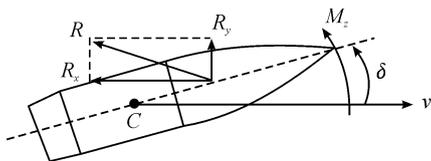


图2 有攻角时弹丸空中飞行受力简图

1.2 弹丸外流场仿真

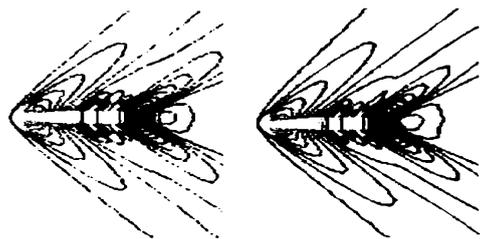
利用 ICEM CFD 建立一个围绕弹丸的圆柱体流场计算域,采用 ICEM CFD 中先进的块网格划分技术,划分结构化网格,以保证网格品质,整个流场域划分了 7 771 385 个网格^[9]。计算域如图3所示。

将网格导入 FLUENT 中,外边界设为压力远场条件,弹体设为固壁条件。取来流为理想气体,攻角 $\delta = 0 \sim 3^\circ$;马赫数 $Ma = 0.4 \sim 3$,对弹丸进行气动力分析。图4所示为攻角为零和攻角不为零时仿真得到的弹体周围压力分布图。



图3 计算域

从图4中可看出弹丸头部,上下定心部以及弹尾部产生了明显的激波,同时当存在攻角时可明显观察到弹丸上下两侧的激波不对称。



(a) 攻角为0

(b) 攻角不为0

图4 弹体周围压力分布图

2 外弹道及活击体爬行力分析

建立弹体及活击体等三维模型如图5所示,在 ADAMS 中设定弹丸的初速为 980 m/s,转速为 2 646 rad/s,射角为分别为 15° 、 30° 和 45° ,将前面气动分析得到的阻力和翻转力矩以数表的形式给出^[10-11]。弹丸阻力如表1所示,翻转力矩如表2所示,取仿真步长为 0.01 s;设置传感器,当弹丸质心高度为零时,结束仿真。

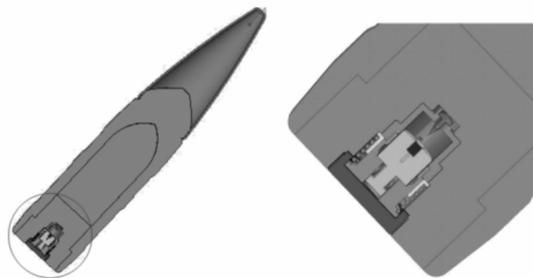


图5 弹体及活击体等三维模型

表1 阻力数

马赫数	0.6	0.8	1.0	1.2	1.4	1.6	1.8	2.0	2.2	2.4	2.6	2.8	3.0
阻力/N	27	51	160	248	310	376	443	511	579	647	715	784	853

表2 翻转力矩数

攻角/ (°)	马赫数												
	0.6	0.8	1.0	1.2	1.4	1.6	1.8	2.0	2.2	2.4	2.6	2.8	3.0
0.5	0.33	0.62	0.89	1.34	1.83	2.37	2.93	3.5	4.1	4.76	5.41	6.1	6.8
1	0.68	1.24	1.78	2.67	3.7	4.74	5.8	7.0	8.2	9.52	10.83	12.2	13.65
1.5	1.02	1.86	2.7	4	5.5	7.1	8.8	10.5	12.3	14.3	16.2	18.3	20.5
2	1.37	2.47	3.62	5.4	7.3	9.5	11.7	14	16.5	19	21.7	24.4	27.3

2.1 弹丸飞行稳定性分析

当旋转弹有章动角时,其空气阻力在弹丸质心前方,将产生一个翻转力矩使攻角增大。但弹丸自转时,只要转速高于某个数值,弹轴将不会因翻转力矩的作用而翻转,而是围绕某一个平均位置旋转与摆动,这就是所谓的陀螺稳定性。追随稳定性是指弹丸在重力的作用下,弹轴能追随速度矢量的下降而下降。具有陀螺稳定性和追随稳定性的旋转弹,其弹轴相对弹道切线的摆动幅值沿弹道衰减的弹则称为具有动态稳定性的弹。弹丸在不同时刻的姿态图,如图6所示。

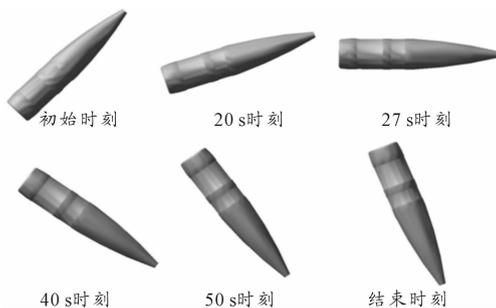


图6 弹丸在不同时刻的姿态

弹丸在整个飞行过程中没有发生翻转,弹轴随速度矢量下降而下降,满足了陀螺稳定、追随稳定及动态稳定的要求。直观地再现了弹丸在外弹道中的运动情况,同时说明前面气动分析得到的力和力矩是正确的。

2.2 弹丸弹道曲线及活击体爬行力分析

通过 ADAMS 的后处理可以得到弹丸飞行的弹道曲线(图7),以及活击体爬行力随弹丸飞行时间的变化曲线(图8)。

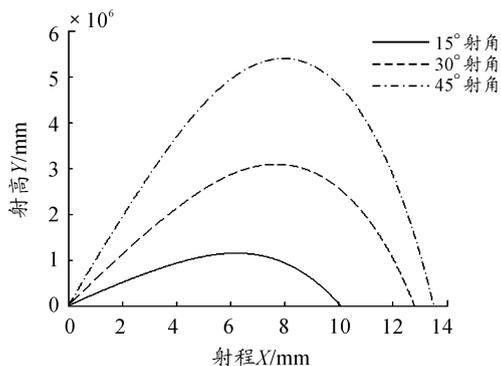


图7 弹丸飞行弹道曲线

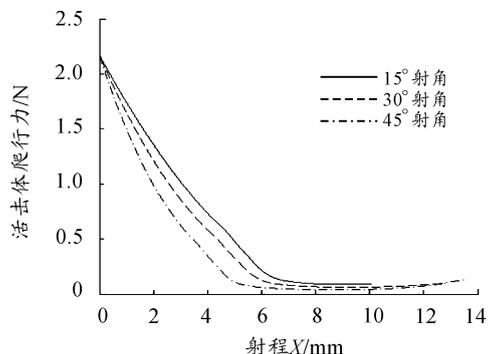


图8 活击体所受爬行力与X射程关系

通过上面曲线可知射角为45°时弹丸的射程最远,其飞行时间为63.5 s,最大弹道高为 5.3939×10^6 mm,射程为 1.35×10^7 mm。爬行力在整个弹道都是存在的,出炮口后爬行力迅速减小,在弹丸刚出炮口时活击体所受的爬行力最大,其最大值为2.18 N,保险零件满足强度要求。射角越大,活击体爬行力减小的越迅速。射角较小时,在整个弹道活击体的爬行力都较大。

3 结论

本研究利用数值仿真的方法,运用 FLUENT 计算流体力学软件仿真得到了弹丸在外弹道飞行过程中受到的阻力和翻转力矩。根据气动分析得到的弹丸气动力参数,利用 ADAMS 软件对弹丸外弹道进行了数值仿真。仿真得到了弹丸在整个外弹道飞行过程中弹道曲线及其引信活击体所受到的爬行力。分析结果对弹丸外弹道分析以及引信惯性触发机构具有一定的参考意义。

参考文献:

- [1] 顾强,安晓红,茅浩年,等.微旋弹引信爬行保险机构设计与分析[J].弹箭与制导学报,2010(4):101-103.
- [2] 齐杏林,杨清熙,文健,等.基于气体炮的引信动态模拟方法综述[J].探测与控制学报,2011(8):1-5.
- [3] 张合,李豪杰.引信机构学[M].北京:北京理工大学出版社,2007.

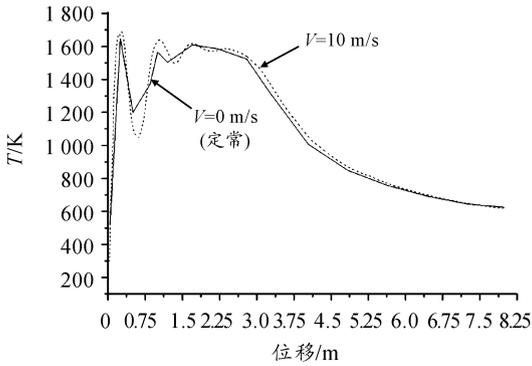


图 10 调整特征位置以后最高温度计算结果

从图 9 和图 10 可以看出,按照第 4 节的思路调整定常计算特征位置以后,两种计算方法得到的结果相符程度大大提高。

5 结论

不同火箭速度条件下,结构所受冲击作用随火箭行程变化趋势基本一致;结构所受射流冲击作用载荷峰值与火箭飞行速度呈反比关系;按定常方法计算时,计算的特征位置需要有针对性的选取,否则计算结果与用动网格计算结果差异较大;结合自由射流计算结果,将定常计算时的特征位置选取为射流的整数倍波长长度,可以得到与动网格方法较为一致的结果。

(责任编辑 周江川)

参考文献:

- [1] 刘琦,傅德彬,姜毅. 贮运发射箱内燃气射流的非定常冲击波流场数值模拟[J]. 弹箭与制导学报,2005,25(2): 382-384.
- [2] 刘群,姜毅,郝继光,傅德彬. 燃气射流对发射车轮胎作用仿真[J]. 弹箭与制导学报,2005,25(4):720-722.
- [3] 刘群,姜毅,郝继光. 燃气射流对发射车天线影响分析[J]. 弹箭与制导学报,2007(3):187-189.
- [4] 刘少伟,关娇,王伟,冯刚. 燃气射流对多联装导弹发射箱前盖影响[J]. 空军工程大学学报(自然科学版),2013(2):32-36.
- [5] 王伟,王学智,刘少伟. 倾斜发射导弹燃气流场数值模拟[J]. 弹箭与制导学报,2013(4):127-130.
- [6] 李军,马大为,曹听荣,林永明. 火箭发射系统设计[M]. 北京:国防工业出版社,2008:52-62.
- [7] 单时卓,张艳. 舰载导弹垂直发射过程中甲板面燃气流场仿真分析[J]. 火力与指挥控制,2014(3):73-76+80.
- [8] 傅德彬,姜毅. 用动网格方法模拟导弹发射过程中的燃气射流流场[J]. 宇航学报,2007(2):423-426.

(责任编辑 周江川)

(上接第 22 页)

- [4] 徐永杰,吴国东,刘强,等. 增阻式一维弹道修正弹气动分析[J]. 弹箭与制导学报,2013(6):133-137.
- [5] 王洋,佟惠军,杨林. 基于 FLUENT 的某型空空导弹空气动力学分析[J]. 四川兵工学报,2013(4):53-55.
- [6] 杨翔,王雨时,闻泉. 应用阻力系数拟合曲线解析式数值解算外弹道诸元[J]. 弹箭与制导学报,2014(5):151-155.
- [7] 李婧伟,吴国东,王志军. 伞型阻力器一维弹道修正弹气动特性分析[J]. 弹箭与制导学报,2014(6):123-126.
- [8] 钱林方. 火炮弹道学[M]. 北京:北京理工大学,2009.
- [9] 丁欣硕,焦楠. FLUENT14.5 流体仿真计算从入门到精

通[M]. 北京:清华大学出版,2014.

- [10] 郝永平,孟庆宇. 基于空气动力学及运动学的外弹道仿真[J]. 弹箭与制导学报,2012(12):121-124.
- [11] 陈锋华. ADAMS2012 虚拟样机技术从入门到精通[M]. 北京:清华大学出版社,2013.
- [12] 王晓鹏,王雨时,闻泉,等. 某高炮弹头触发引信机械零件质量分布特性[J]. 四川兵工学报,2015(5):63-68.
- [13] 王晓鹏,王雨时,闻泉,等. 非旋转弹外弹道绕质心运动引信受力分析[J]. 兵工学报,2014,36(1):53-57.

(责任编辑 周江川)