

【产品开发与设计】

弹箭气动外形设计方法

张宏飞

(总参陆航部驻北京地区军事代表室, 北京 100176)

摘要:为了探寻一种弹箭气动外形设计的新方法,对某弹采用数值仿真的方法进行外流场仿真分析,得到相关的气动参数,并将仿真结果与工程算法结果进行比较,结果基本吻合,从而验证了采用数值仿真方法进行弹箭气动外形设计是有效可行的。

关键词:弹箭;气动设计;数值仿真

中图分类号:V211.73

文献标识码:A

文章编号:1006-0707(2008)01-0097-03

气动外形设计是弹箭设计的核心部分,设计的优劣将会直接影响弹箭的射程、飞行稳定性、机动性、操纵性以及它的作战效能,同时气动外形设计也是弹箭研制过程中首先遇到的总体设计问题,是弹箭初步设计工作中的一个主要部分。传统气动外形设计方法是在对不同设计方案进行风洞实验综合分析的前提下,得到最优的设计方案。该方法设计周期长、效费比低的缺点在现代武器设计中越来越明显,因此,急需一种高效、快捷的设计方法。随着计算机科学技术的不断进步和计算流体力学的发展,采用数值仿真的手段进行气动外形设计成为一种高效、快捷的方法。该方法在一定程度上可以代替风洞实验,并且可以模拟风洞实验无法模拟的条件,是目前研究的重点和热点问题。本研究主要采用数值仿真方法对弹体进行外流场数值仿真,并对仿真结果作了系统分析,分析表明仿真结果能充分体现弹体流场特征,并且与理论上流场分布规律一致,仿真结果与工程计算结果基本吻合,从而验证了采用数值仿真方法进行弹箭气动外形优化设计是有效可行的。

1 外流场数值仿真

应用商用流体动力学分析软件 FLUENT,按照外流场数值仿真步骤(建模-划分网格-定义边界条件-迭代计算-结果分析)进行仿真分析,该弹体主体为圆柱体,头部为平头,长细比为5,几何模型如图1所示。



图1 弹体模型

1.1 数值仿真模型的建立

1.1.1 划分网格

由于弹体近似为圆柱体,为了避免在计算中出现假离散^[1]现象,采用结构网格。按照结构网格划分方法^[2]在弹体的仿真中取圆柱形计算域。为了捕获弹体上的特征,对弹体表面网格进行加密。由于在此主要计算0攻角时的气动参数,此时流场对称且弹体也对称,为了提高计算速度,采用1/4模型进行计算。计算域如图2所示,对

* 收稿日期:2007-11-01

作者简介:张宏飞(1980—),男,山西忻州代县人,硕士研究生,主要从事弹箭气动外形优化设计研究。

称面计算网格如图3所示。

1.1.2 定义边界条件

弹体表面为无滑移壁面边界,对称面为对称边界条件,计算域定义为压力远场.选择理想气体模型.

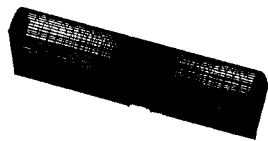


图2 弹体计算域

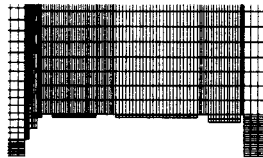


图3 弹体对称面网络

1.1.3 迭代计算

选择隐式耦合求解器 K-ERNG^[3] 湍流模型,工作压强为 0 Pa、总压为 101 325、温度为 288.15 ℃、攻角为 0、收敛残差为 10e-5,为了保证计算精度,在迭代过程中,以前一步收敛的结果作为下一步迭代的初始值开始迭代,选择一阶迎风格式,使计算中考虑了来流方向上相邻网格节点的值的影响,为了提高仿真的准确性,在一阶迎风格式收敛后改用二阶迎风格式继续迭代直到收敛为止.按照以上设定马赫数从 0.6 到 2 进行数值仿真.

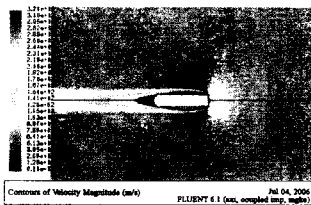


图4 当 MA = 0.6 时弹体对称面速度云图

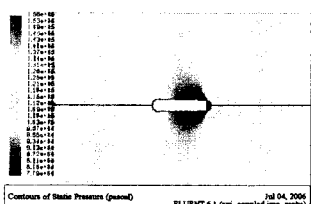


图5 当 MA = 0.6 时弹体对称面压强云图

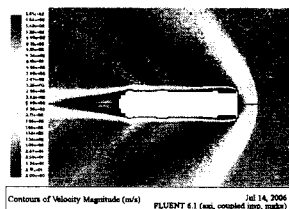


图6 当 MA = 1.5 时弹体对称面速度云图

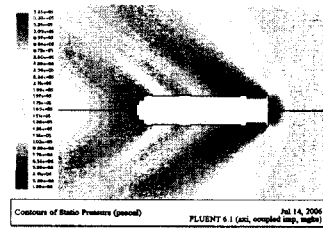


图7 当 MA = 1.5 时弹体对称面压强云图

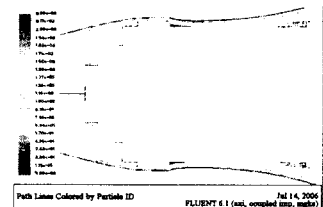


图8 当 MA = 0.6 时弹体底部流线

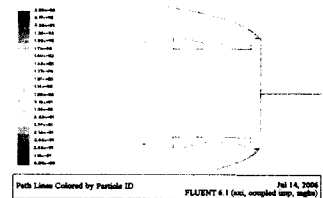


图9 当 MA = 0.6 时弹体头部流线

1.2 结果分析

根据仿真得到的弹体在亚音速和超音速条件下的压力云图,速度云图,弹体表面压强分布和流线图,可以充分反映弹体在飞行过程中的空气动力特性.首先从压力云图和速度云图可以看到,当来流气体与弹体相遇时,受到弹体的阻挡,使气体的速度减小,压强增大,在超音速条件下,由于气体在弹头部发生较强的压缩,在头部产生激波.随着气流的向后流动,气流的方向逐渐转向与弹体平行,但是在弹头部后面的一段距离内,由于弹体边界层发生分离,所以阻止了外面的气体靠近弹体,使得外面气体与弹体附近气体被隔离开,导致发生涡流,这个特征在图9中有明显的表现.随着气流的继续向后流动,分离的边界层开始附体,弹体表面流动变得较平稳.当气体到达弹体的尾部时,又发生气流的分离,由于该弹体底部本身的结构特点,在弹底部形成3个漩涡,其中弹底的最强,其余2个过渡处较弱.这些特征与理论上得到的特征完全符合.

2 气动参数工程计算

对于弹体为旋转体的情况,根据参考文献[4]中介绍的气动力参数工程计算方法进行计算,对于定心带阻力计算,由于该弹体上几何结构上有3个凹槽,并且3个凹槽的半径相等,为了提高计算的精度,在此将这3个凹槽视为定心

带处理,凹槽高度为 $H=0.055D$.在计算定心带的阻力系数时,以 $H=0.01D$ 的定心带阻力系数为参考,并且 $H=0.01D$ 的定心带阻力系数随马赫数变化规律已经由风洞实验数据得到,根据定心带与标准的比例关系即可求出该弹体的定心带阻力.该弹体总阻力系数与马赫数的对应关系如表1.

表1 弹体各部分阻力系数值

马赫数	摩擦阻力	头部阻力	底部涡阻	定心带	总阻力
0.6	0.080 006 4	0.800 0	0.006 200	0	0.886 206 432
0.7	0.076 663 2	0.840 0	0.006 300	0	0.922 963 224
0.8	0.073 262 4	0.912 5	0.006 400	0.003 50	0.995 662 374
0.9	0.070 706 9	0.987 5	0.006 500	0.014 20	1.078 906 934
1.1	0.066 359 8	1.200 0	0.184 320	0.031 90	1.482 579 802
1.2	0.063 828 4	1.210 0	0.188 928	0.029 46	1.489 144 379
1.3	0.061 345 0	1.245 0	0.196 608	0.026 62	1.524 196 990
1.4	0.059 463 2	1.280 0	0.199 680	0.024 90	1.560 971 234
1.5	0.057 610 3	1.330 0	0.211 200	0.023 08	1.614 978 299
1.6	0.056 128 4	1.360 0	0.213 504	0.021 30	1.646 324 432
1.7	0.054 183 0	1.400 0	0.218 112	0.020 60	1.689 823 031
1.8	0.052 266 5	1.430 0	0.224 256	0.019 90	1.721 814 450
1.9	0.050 378 7	1.450 0	0.230 400	0.019 20	1.742 298 690
2.0	0.048 815 2	1.470 0	0.233 472	0.018 80	1.763 407 164

3 结果分析

将采用仿真方法与采用工程算法得到的弹体零升阻力系数随马赫数的变化关系进行拟合,如图10所示.从图10可以看到仿真结果与工程算法结果随马赫数变化的趋势相同,在音速附近误差较大,而在音速之外误差为4%~6%.因此,可以验证采用数值仿真方法,当网格质量好,参数设定合理的情况下可以快速得到准确的气动力系数,是弹箭优化设计的一种快速高效的方法.

在弹箭气动外形优化设计中,采用数值仿真的方法对弹箭进行外流场数值仿真,并且得到相关的气动力系数,在分析气动参数的基础上,综合各方面因素找出最优的设计方案,这样可以缩短设计周期、节省设计费用,克服以往传统设计中通过风洞实验来验证设计方案指导设计的方法存在的弊端,提高设计效率,同时仿真软件可以模拟一些风洞无法模拟的条件,因此,该方法具有广阔的前景和研究意义.但目前仿真软件也

存在一些有待解决的问题,诸如复杂的外形处理问题,由于网格的生成比较困难,在实际的计算中或多或少对绕流对象作了一些简化,考虑完全真实外形的 $N-S$ 数值解还不多见;其次复杂非定常绕流产生的气动弹性问题;以及飞行器在实际飞行过程中存在许多多体运动如多级火箭的级间分离、子母弹的抛散过程、弹片飞散过程都很难模拟.正是这些不完善的地方,也为我们提供了广阔的研究发展空间.

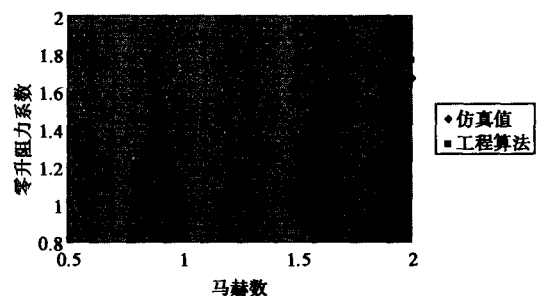


图10 仿真结果与工程计算结果比较

(下转第103页)

由表2可知:某型火炮经济寿命为24年.

某型火炮经济寿命的确定,既可为某型火炮的全寿命周期费用管理提供数据参考,便于费用的控制管理;又可为判断某型火炮寿命决策的控制模式是否合理提供依据;还可对某型火炮的退役报废工作起一定指导作用.由某型火炮的分析可知,经济寿命的分析对其他高炮武器也具有重要的现实意义.

3 高炮武器经济寿命分析的现实意义

通过高炮武器经济寿命确定,既便于定量研究高炮武器的使用寿命;又能够为高炮武器的全寿命周期费用管理提供依据.下面对高炮武器经济寿命分析的现实意义加以阐述.

一是有利于更好的确定高炮武器的全寿命周期费用.当高炮武器的使用寿命由高炮武器的经济寿命确定时,高炮武器在全寿命周期的生产阶段和使用阶段所花费的总费用将是最节省的,也是最便于定量计算的.相比较而言,若由物质寿命确定使用寿命,在计算高炮武器使用消耗费用时就很难不好把握;同样,若由技术寿命确定,因为没有经济尺度在里面,不便于高炮武器的全寿命周期费用管理研究.

二是有利于高炮武器总量控制决策.在高炮武器全寿命周期费用管理下,高炮武器总量规模的控制,应充分考虑高炮武器服役期限及高炮武器的使用寿命,避免在高炮武器服役期限结束时,还有大部分高炮武器的使用寿命很长,造成巨大的经济浪费.以高炮武器经济寿命来确定高

炮武器寿命决策的控制模式,在解决这个问题上是最经济的模式.

三是有利于更好的做好高炮武器的退役报废工作.从单一的高炮武器看,到了高炮武器的经济寿命期限,若其性能还较好,每年的使用费用也能承受得了,看似比购置一台新的装备费用少,但已增加了平均年消耗费,实际上是不合算的.因此,在高炮武器的退役报废研究中,以经济寿命作为高炮武器的寿命尺度是十分必要的.

以高炮武器的经济寿命作为其使用寿命进行研究,对高炮武器的全寿命周期费用管理有十分重要的现实意义.本研究在对某型火炮进行经济寿命分析时,仅考虑了单一型号的情况.在对某一高炮武器进行经济寿命分析时,既要考虑单一型号的情况,也要考虑新旧2种或多种型号的情况,而且在建模时应注意更加周密的考虑时间、货币等因素的影响,并努力将其应用于实践,不断提高我军装备管理的质量和理论水平.

参考文献:

- [1] 唐大德.高炮武器经济基本理论[M].北京:国防工业出版社,2002.
- [2] 余高达,赵潞生.军事装备学[M].北京:国防大学出版社,2000.
- [3] 江敬灼.军事系统工程研究与发展[M].北京:军事科学出版社,1999.
- [4] 杨俊生.新时期军队高炮武器管理研究[M].北京:军事谊文出版社,1996.

(上接第99页)

参考文献:

- [1] 王福军.计算流体力学分析—CFD软件原理与应用[M].北京:清华大学出版社,2004.

- [2] 朱基智,曹红松,张宏飞.结构网格在数值仿真中的应用[J].四川兵工学报,2006(4):47-49.
- [3] FLUENT Inc. FLUENT User's Guide[M]. USA:Fluent Inc,2003.
- [4] 臧国才,李树常.弹箭空气动力学[M].北京:兵器工业出版社,1956.