

doi: 10.7690/bgzd.2014.11.001

底凹装置对弹丸阻力系数的影响

王芳¹, 郎田², 魏志芳¹

(1. 中北大学机电工程学院, 太原 030051; 2. 中国人民解放军驻 763 厂军事代表室, 太原 030008)

摘要: 为增大射程、增大弹丸的破坏威力和提高射击精度, 采用 Fluent 软件研究底凹装置对弹丸阻力系数的影响。以某 122 底凹榴弹为例, 利用 UG 建立 122 mm 普通榴弹和 122 mm 底凹榴弹的三维立体模型, 并分别在不同马赫数和不同底凹深度条件下对其进行仿真对比分析。结果显示, 当马赫数小于 1 时, 阻力系数减小百分比最大, 并且在底凹深度为 100 mm 时, 弹丸具有最佳的减阻效果。仿真结果表明: 底凹装置对弹丸有一定的减阻增程效果, 在亚音速情况下效果最为明显; 而增大底凹深度能增大减阻效果, 但底凹深度有一最佳值。

关键词: 弹丸; 底凹; Fluent; 阻力系数

中图分类号: TJ413.5 **文献标志码:** A

Effect of Base Cavity to Projectile Drag Coefficient

Wang Fang¹, Lang Tian², Wei Zhifang¹

(1. School of Mechatronics Engineering, North University of China, Taiyuan 030051, China;

2. Military Representative Office in 763 Factory of PLA, Taiyuan 030008, China)

Abstract: For putting up the range of fire, improving the firing accuracy and enlarging the breaking brisance of the projectile, use Fluent software to research the effect of the base cavity to drag coefficient of the projectile. Based on 122 mm base cavity projectile, use UG to establish 3D model of 122 mm common projectile and 122 mm projectile with base cavity, carry out simulation comparison analysis under different Mach number and different base cavity depth conditions. The result showed that the reducing percentage of the drag coefficient was the largest when the Mach number less than 1; at the same time, when the base cavity depth was 100 mm, the projectile had the best effect of reducing the drag coefficient. The simulation result unfolded that the base cavity had the effect of reducing the drag coefficient and putting up the range of fire to a certain degree, especially, on condition of the subsonic speed; at the same time, putting up the base cavity depth could raised the effect of reducing the drag coefficient, while, the base cavity depth had a best value.

Keywords: projectile; base cavity; Fluent; drag coefficient

0 引言

远射程、大威力、高精度是火炮弹药发展的必然趋势。为提高常规火炮武器的综合作战性能, 以美国为代表的西方国家一直在进行探索研究, 陆续研制出了采用各种增程技术的新型弹药, 如底凹弹、底排弹、火箭增程弹以及制导滑翔弹等。随着弹丸研究的深入发展, 为了增大射程, 提高射击精度, 增大破坏威力, 底凹弹逐渐被人们所重视。

底凹弹是指底部带有凹窝的旋转稳定式炮弹, 可用于杀伤爆破弹、子母弹和特种弹等^[1-2]。这种弹是美国在 20 世纪初最先开始研制的, 装在弹体后部带有底凹的船尾, 使整个弹丸具有良好的空气动力外形。榴弹的底凹装置由铝合金制造, 可使弹丸重心前移, 提高弹丸的飞行稳定性及射击精度, 而且拆卸方便, 可随时将弹丸改成底喷弹。对于同样弹形的照明弹、烟幕弹和子母弹等, 弹体一般分为 2 部分: 靠弹顶的部分采用铝合金材料, 而弹体下部

和底凹装置采用钢材, 以此来调节弹丸质量和重心位置, 可达到与榴弹相同的弹道性能^[3]。随着弹丸的发展, 第 2 代底凹弹丸直接取消了圆柱部, 将弹头部与弹尾部直接相连, 增加了定心舵。而为了进一步减小阻力系数, 增大射程, 许多底凹弹丸在侧向开有进气孔。

1983 年, 英国、联邦德国、意大利合作研制的 SP70 式 155 mm 自行榴弹炮最先使用了底凹弹, 其射程由原来的 18.1 km 提高到 24 km; L15A1 式 155 mm 底凹榴弹, 既减小了弹底阻力, 又调整了弹体重量, 杀伤面积几乎是原榴弹的 2 倍, 提高了对软目标和半软目标的杀伤效果^[4]。谷嘉锦对底凹弹丸进行了风洞试验, 验证了底凹对弹丸的减阻作用, 且绕尾部带有导气孔的底凹弹丸具有更为理想的减阻效果^[5]。浦发、王中原等提出了一种底凹弹在超音速条件下侧壁开孔减小底阻的数学力学模型^[6-8]。鞠玉涛等数值模拟了标准与底凹弹形的绕流流场,

收稿日期: 2014-06-09; 修回日期: 2014-07-23

作者简介: 王芳(1990—), 男, 湖南人, 在读硕士, 从事武器系统现代化设计理论与方法研究。

得到了流场的宏观结构及底部涡流结构的变化规律，为底凹减阻机理研究提供了帮助^[9]。Jiayi Cao 等对某一潜艇发射的底凹弹丸进行了研究，证明了弹丸尾部底凹体积和底部压力在弹丸离开水雷发射管后会有波动，会对弹丸的运动轨迹有影响^[10]。A.Dyment 等分别运用渐进分析法、实验法和数值计算方法对潜艇发射底凹弹丸进行了分析计算，热力学方面的问题得到了验证^[11]。Thau Do 等运用 URANS 方法对底凹进行了两相流数值模拟，验证了底凹虽

不能改变弹丸固有的斯特鲁哈数，但对尾流结构、局部压力波动和升力波动有明显的影响^[12]。笔者则使用商业仿真软件来验证底凹弹丸的减阻作用，并且分析了其减阻机理。

1 仿真模型及算法

以某 122 底凹榴弹为例，三维模型结构尺寸如表 1 所示，而 122 mm 普通弹丸结构尺寸与其大致相同，只是无底凹装置。

表 1 某 122 底凹榴弹的结构尺寸

弹丸型号	口径/mm	弹丸长/d	弹头部长/d	弹头曲率半径/d	圆柱部长/d	船尾部长/d	尾锥角度/(°)	底凹深/mm	底凹内径/mm
某 122	122	5.4	3.00	25	1.59	0.84	7	100.0	93

注：表中部分参数单位“d”为口径的倍数。

利用 UG 建立 122 mm 普通榴弹与 122 mm 底凹榴弹的三维立体模型，如图 1、图 2 所示。

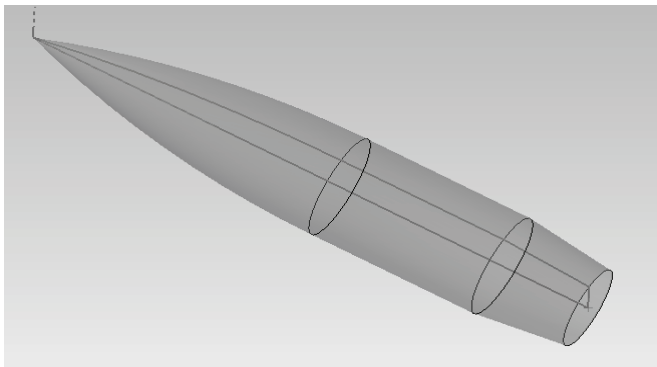


图 1 122 mm 普通弹丸三维模型

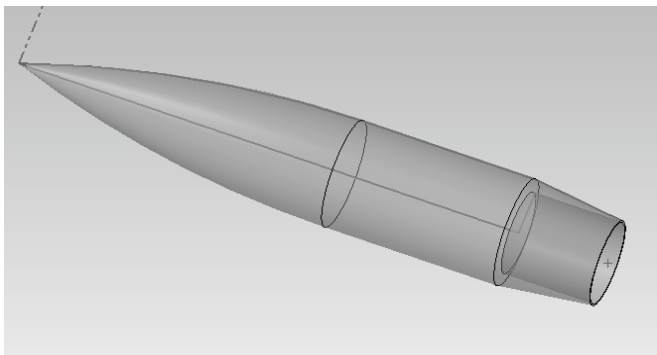


图 2 新 122 mm 底凹弹丸三维模型

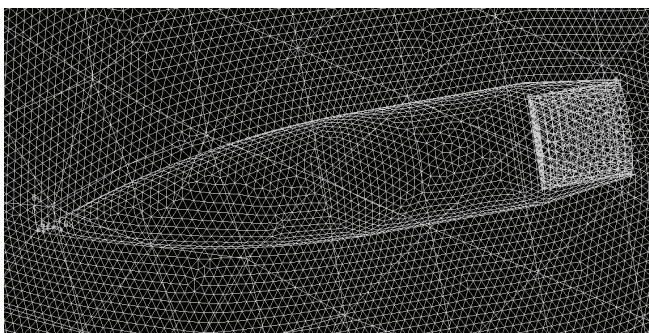


图 3 网格模型

Fluent 仿真时，鉴于笔者采用的弹丸为轴对称的回转体，为了减小计算时间，节省计算机内存，笔者采用 1/2 模型进行计算，得出的阻力系数值实际上为计算值的一半。

划分网格时，采用生成速度快，较容易划分的非结构性网格，网格如图 3 所示。

计算模型采用密度基耦合显示求解器来求解可压缩流动，采用基于节点的高斯克林函数求梯度的方法来计算梯度，对来流采用远场边界条件，湍流模型采用 Spalart-Allmaras 模型。除了通过残差判别收敛，还通过空气动力监视器来检查解的收敛情况。

2 仿真结果

2.1 第 1 组仿真

在亚音速情况下，取马赫数 $Ma=0.6$ ，将某 122 底凹弹丸与相同尺寸无底凹装置的普通弹丸进行仿真，比较其阻力系数。仿真结果如图 4 所示，对比分析如表 2 所示。

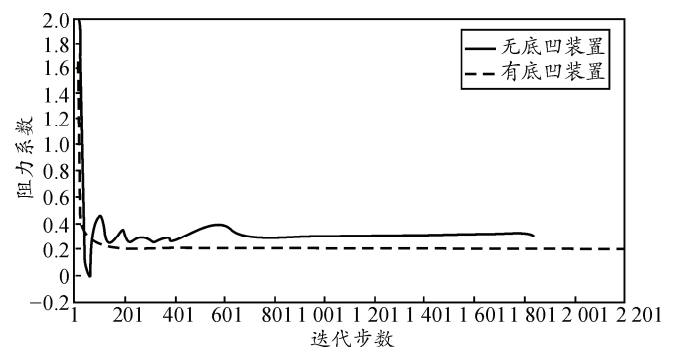


图 4 仿真结果 ($Ma=0.6$)

表 2 阻力系数对比 ($Ma=0.6$)

马赫数	有无底凹装置	阻力系数
0.6	无	0.322 8
0.6	有	0.202 8

2.2 第 2 组仿真

在跨音速情况下，取马赫数 $Ma=1$ ，将某 122 底凹弹丸与相同尺寸无底凹装置的普通弹丸进行仿真，比较其阻力系数。分析结果如图 5 和表 3 所示。

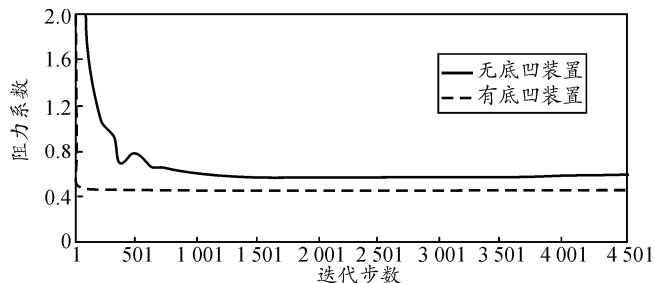


图 5 阻力系数比较 ($Ma=1$)

表 3 阻力系数对比 ($Ma=1$)

马赫数	有无底凹装置	阻力系数
1	无	0.596 0
1	有	0.456 0

2.3 第 3 组仿真

在超音速情况下，取马赫数 $Ma=2.5$ ，将某 122 底凹弹丸与相同尺寸无底凹装置的普通弹丸进行仿真，比较其阻力系数。分析结果如图 6 和表 4 所示。

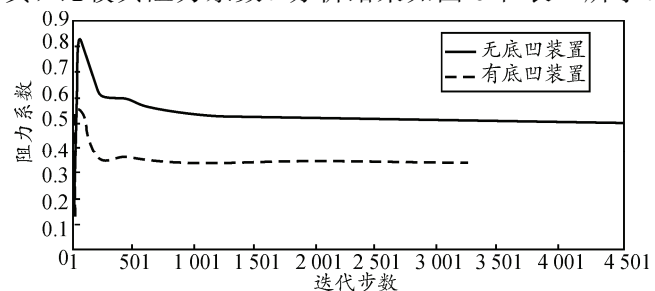


图 6 阻力系数比较 ($Ma=2.5$)

表 4 阻力系数对比 ($Ma=2.5$)

马赫数	有无底凹装置	阻力系数
2.5	无	0.480 0
2.5	有	0.343 0

2.4 第 4 组仿真

根据风洞试验^[5]可知，底凹深度可能对底凹弹丸的减阻效果有一定的作用，故此处将对不同底凹深度的弹丸进行仿真比较，分别取底凹深度为 60, 80, 100, 120 mm。对比分析结果如图 7 和表 5 所示。

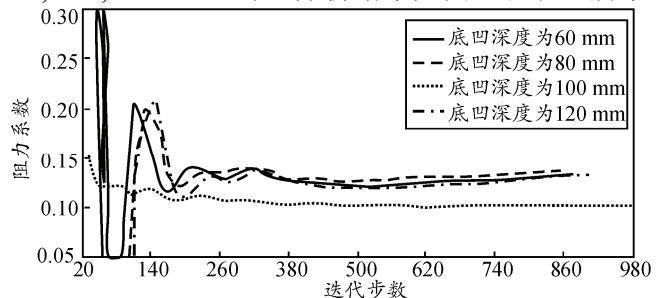


图 7 不同底凹深度的阻力系数比较

表 5 阻力系数对比(不同底凹深度)

马赫数	有无底凹装置	底凹深度/mm	阻力系数
0.6	无	无	0.322 8
0.6	有	60	0.272 7
0.6	有	80	0.265 3
0.6	有	100	0.202 7
0.6	有	120	0.265 2

3 仿真结果处理与分析

从第 1 组、第 2 组、第 3 组仿真可知：底凹无论在亚音速、跨音速还是在超音速的情况下，都能减小弹丸的阻力系数。在亚音速条件下，普通弹丸的阻力系数为 0.322 8，而底凹弹丸的阻力系数为 0.202 8，阻力系数减小百分比为 37%；在跨音速情况下，普通弹丸的阻力系数为 0.596，而底凹弹丸的阻力系数为 0.456，阻力系数减小百分比为 23.5%；在超音速情况下，普通弹丸的阻力系数为 0.480，而底凹弹丸的阻力系数为 0.343，阻力系数减小百分比为 28.5%。由上述结果可知，在亚音速情况下，底凹弹丸的减阻效果最明显。

从第 4 组仿真可看出：当底凹深度在 60, 80, 120 mm 时底凹的减阻效果近似，而底凹深度为 100 mm 时，具有最佳的减阻效果，即底凹深度对底凹弹丸的减阻有一定的影响，在一定范围内，底凹深度增加，能提高底凹弹丸的减阻效果，但超过一定的范围，底凹的减阻效果将会减弱，即一般情况下，底凹弹丸的底凹深度有一最佳值。

由于弹丸在飞行过程中冲开空气向前运动，从而造成了弹丸头部将承受较大的压力。而在弹丸底部由于惯性作用，弹丸向前运动后空气还来不及填充弹丸运动所造成的周部中空，从而使弹底所受的空气压力降低。这种弹丸头部和底部压力之差，就构成弹丸的底部阻力。采用底凹结构后，涡流强度减弱，局部中空区能被空气迅速填充，从而提高了弹底部的压强，致使底部阻力减小，达到减小阻力系数的效果。减小阻力系数的方法如图 8 所示。

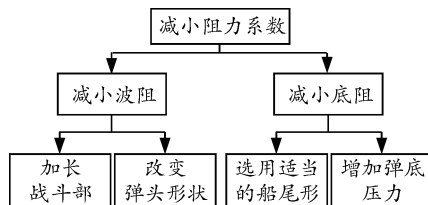


图 8 减小阻力系数方法

同时，由于底凹弹丸在船尾部存在一个空腔，必然会使弹丸质心相对前移，空气阻力中心相对后移，减短了作用在弹丸上的翻转力矩的臂长；