

doi: 10.7690/bgzdh.2024.06.015

一种中心管式子母弹药抛撒技术

蔡金良, 徐杰, 赵丽霞, 蒋余胜, 丁方超, 杨旭
(重庆红宇精密工业集团有限公司, 重庆 402760)

摘要: 针对一种中心管式子母弹药技术需求, 提出泡沫架材料对子弹抛撒初速有影响的论述。对以抛撒装药驱动能源的子母弹药抛撒结构进行仿真计算、理论分析, 提出大质量子弹抛撒初速的理论计算公式; 设计中心管式子母弹药的梯度抛撒方案, 进行地面 2 组实验, 实验测得的子弹抛撒初速与理论计算结果相比, 相对误差为 4.79%。结果表明: 以抛撒装药方式和高密度泡沫架能很好地实现中心管式子母弹药均匀抛撒的功能, 相比传统子母弹药抛撒更为合理, 对子弹的抛撒过载防护更有利。

关键词: 子母弹; 泡沫架; 过载; 抛撒

中图分类号: TJ413⁺.3 **文献标志码:** A

Central Tube Type Submunition Dispersion Technology

Cai Jinliang, Xu Jie, Zhao Lixia, Jiang Yusheng, Ding Fangchao, Yang Xu
(Chongqing Hongyu Precision Industry Group Co., Ltd., Chongqing 402760, China)

Abstract: According to the technical requirements of a central tube submunition, the effect of foam frame material on the muzzle velocity of submunition is discussed. The gradient dispersion structure of submunition driven by dispersion charge was simulated and theoretically analyzed, and the theoretical calculation formula of the initial dispersion velocity of large-mass submunition was put forward. The gradient dispersion scheme of central tube shrapnel was designed, and two groups of ground experiments were carried out. The relative error between the measured initial dispersion velocity of submunition and the theoretical calculation result was 4.79%. The results show that the dispersion charge mode and high density foam rack can realize the function of uniform dispersion of central tube cluster ammunition, which is more reasonable than the traditional cluster ammunition, and is more beneficial to the dispersion overload protection of bullets.

Keywords: submunition; foam rack; overload; dispersion

0 引言

在现代高技术战争中, 特别是俄乌冲突发现: 对面对目标, 如对集结的坦克群、装甲车辆、火炮阵地、机群、人员等有防护的军事目标实施远距离精确压制和打击已成为战争的重要手段^[1], 对这类目标的有效毁伤, 需采用具备较强面毁伤能力的具有抛撒控制系统的子母弹^[2]。

笔者对中心管式子母弹药进行了常规结构中泡沫架强度、子弹抛撒速度和子弹抛撒角度的仿真计算和理论分析, 发现不同密度泡沫架对子弹弹道有一定影响。通过设计方案内弹道, 优化抛撒速度、泡沫架材料等设计参数, 为子母弹药总体方案设计提供技术支撑。

1 国内外研究概况

根据国内外资料研究, 20 世纪 50 年代末, 出现了杀伤子母弹药, 我国于 20 世纪 80 年研制了 122 mm 反装甲子母弹, 子母弹在继续提高有效射

程、威力和散布精度的同时, 朝着更先进的目标方向发展^[3]。随着弹药可用原材料技术发展和特性参数的提升, 例如泡沫材料的抗压、阻燃和制造等性能的提升, 但泡沫架等相关参数和组成材料对子母弹药抛撒的影响还未得到跟进研究, 很有必要加强对泡沫架材料、子弹的抛撒速度等特性的进一步理论研究。

2 子弹抛撒初速计算

2.1 不同装药直径子弹抛撒初速理论计算

对于低爆速特种装药, 大质量子弹抛撒初速修正公式如下:

$$v_0 = k\sqrt{2E_0} \sqrt{\frac{C/M_1}{1+C/3M_1}} \sqrt{1-\frac{r^2}{R^2}} \quad (1)$$

式中: r 为子弹装配半径; R 为装药半径; k 为抛撒炸药爆轰能量修正系数, 取 0.1。

从上式可以看出, 子弹的抛撒速度 v_0 可通过炸药的 Gurney 能 E 、子弹质量 M 、抛撒药质量 C 、装

收稿日期: 2024-02-23; 修回日期: 2024-03-22

第一作者: 蔡金良(1983—), 男, 四川人。

配半径 r 、装药半径 R 和爆轰修正系数 K 求得。上式可用于低速抛撒大质量子弹的速度计算。

经理论计算,当中心抛撒系统装药直径为 $\phi 7 \sim 9$ mm 时,子弹的抛撒速度分别为 22.77、28.84 和 48.75 m/s,通过理论计算可实现子弹梯度抛撒设计。

2.2 不同装药直径子弹抛撒初速仿真计算

2.2.1 仿真计算模型

相对于整体式,子母式结构略为复杂,但通过子弹的分层分舱作用,能有效提高单发子弹的有效抛撒范围。方案主要由前框、中心抛撒系统、子弹、弹壳体和后框等组成,子弹在母弹壳体内分层成串排布。子母弹作用流程为中心抛撒系统作用,抛撒出子弹^[4],子弹设计不同速度抛撒,增加子弹散布面积和散布均匀性^[5],图 1 为方案组成。

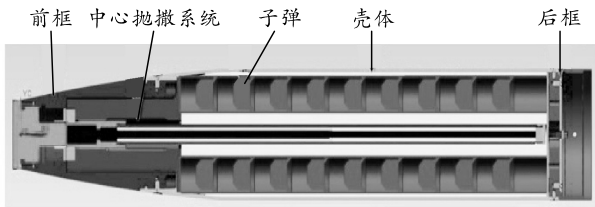


图 1 方案组成

2.2.2 针对子弹不同抛撒初速模型仿真算法

为验证子弹梯度抛撒设计的可行性,对子弹抛撒过程开展数字模拟验证。仿真对象为通过调整抛撒装药直径改变高速、中速和低速 3 个相邻子弹区,泡沫架和壳体,如图 2 所示。子弹材料采用 45#钢,壳体结构材料采用 2A12 铝材,泡沫架采用聚氨酯泡沫材料。

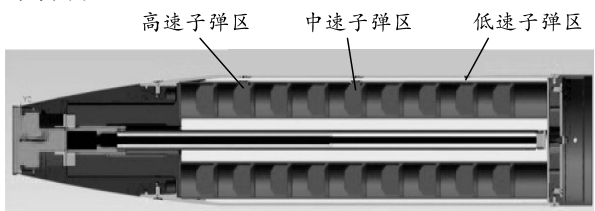


图 2 子弹分区排布

2.2.3 仿真计算结果

图 3 为不同子弹对应位置,图 4 和 5 为相应子弹在不同装药直径下速度及过载时间曲线,可以看出:随着装药直径增大,子弹在爆轰驱动作用下获得的初速明显增大,最大过载不断增大。当中心抛撒系统装药直径为 7、8 和 9 mm 时,子弹的抛撒速度仿真平均值分别为 28.2、35.1 和 49.6 m/s。

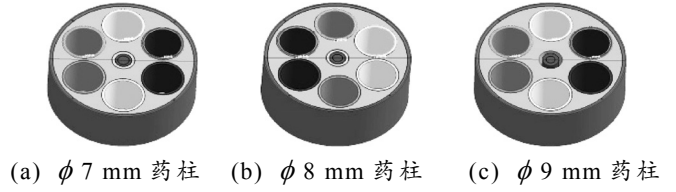


图 3 典型子弹位置

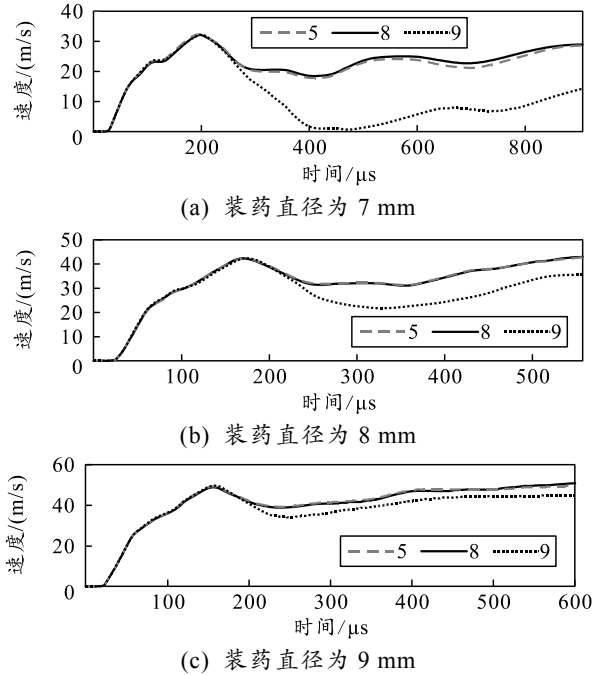


图 4 不同装药直径的速度时间曲线

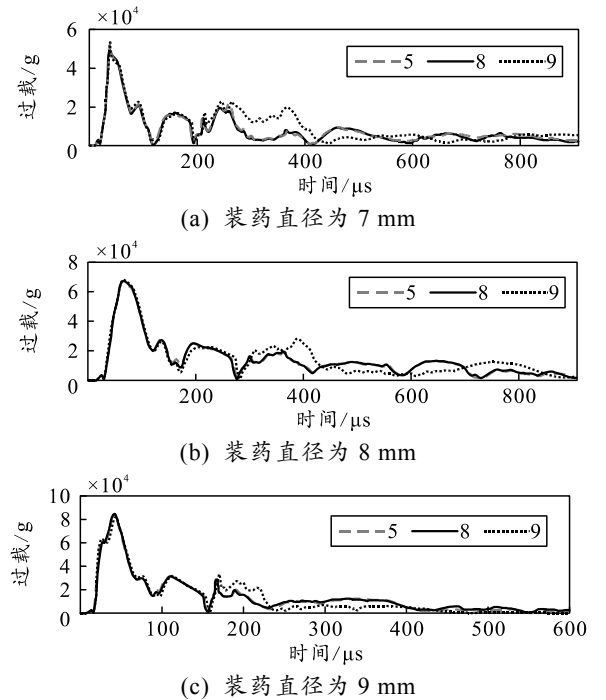


图 5 不同装药直径的过载时间曲线

2.2.3.1 带抛撒初速影响的计算说明

本文中子母弹包含子弹等细节特征尺寸小,如

建立子弹母弹全模型将导致有限元模型巨大。为减小计算规模，子弹母弹中 9 层子弹仅取高、中、低速层其中中间一层子弹采用 1/2 模型进行计算。

先在 CAD 简化处理模型，输出块导入 UG 建立 3 维实体模型，再用 Hyper mesh 划分有限元网格，网格间的尺寸差距不宜过大，炸药和弹壳体之间不共节点，再建立包含整个模型的空气域，空气与炸药设为欧拉域，整个欧拉域共节点^[5]，网格单元尺寸为 1 mm，整个有限元模型单元总数 49 万，简化后的弹有限元模型，采用标准条件下质心运动方程基本假设^[6-7]，如图 6 所示。

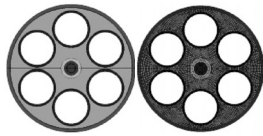


图 6 简化后的爆轰驱动子弹有限元模型

2.2.3.2 带材料特性影响的计算说明

本次仿真涉及材料有抛撒药 DHF-6、聚氨酯泡沫、铝合金 2A12、子弹壳体 45#等。

1) 炸药。

炸药 JWL 状态方程^[8]通常采用圆筒爆炸试验进行动态标定，中心抛撒炸药采用 DHF-6，临界爆轰直径为 5 mm，其主要配方如表 1 所示，计算得到的 JWL 参数值如表 2 所示。

表 1 DHF-6 配比 %

| 成分百分比 | RDX | JSFYX |
|-------|-----|-------|
| | 34 | 64.5 |

表 2 JWL 参数值 GPa

| JWL 参数数值 | A | B | C |
|----------|---------|-------|-------|
| | 328.324 | 1.634 | 1.524 |

2) 金属。

终点效应的金属材料一般采用 J-C (JOHNSON-COOK) 模型^[9]。J-C 模型假设材料各向同性，能较好地描述金属材料的加工硬化效应，应变率效应和绝热升温引起的软化效应，适用于金属由准静态到大应变、高应变率和高温情况下的计算。其本构关系为：

$$\sigma_y = [A + B(\epsilon_{eff}^p)^n] (1 + C \ln \dot{\epsilon}^*) \left[1 - \left(\frac{T - T_r}{T_m - T_r} \right)^m \right] \quad (2)$$

式中： σ_y 为材料屈服极限；A, B, C, n, m 为材料常数； ϵ_{eff}^p 为等效塑性应变； $\dot{\epsilon}^*$ 为无量纲等效塑性应变率；T 为温度； T_r 为室温； T_m 为熔点温度；相应的 J-C 模型参数如表 3 所示。

表 3 金属材料 J-C 模型参数

| 材料 | 弹性模量/GPa | 泊松比 |
|------|----------|-------|
| 45# | 200.0 | 0.629 |
| 2A12 | 71.7 | 0.330 |

3) 聚氨酯泡沫。

聚氨酯泡沫具有比重小、隔热和阻燃、很好的吸收动能等特性，广泛应用于结构内部填充，不同密度的聚氨酯泡沫力学性能差异大。不同密度下泡沫力学性能如表 4 所示。

表 4 不同密度泡沫力学性能

| 密度/(g/cm ³) | 弹性模量 MPa |
|-------------------------|----------|
| 0.25 | 245 |
| 0.50 | 667 |

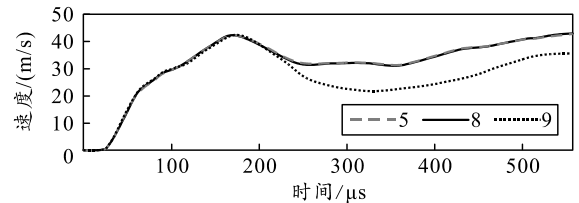
通过仿真获取在不同中心装药直径驱动下子弹的速度和过载及采用不同的泡沫架对子弹速度和过载的影响，仿真工况如表 5 所示。

表 5 仿真工况

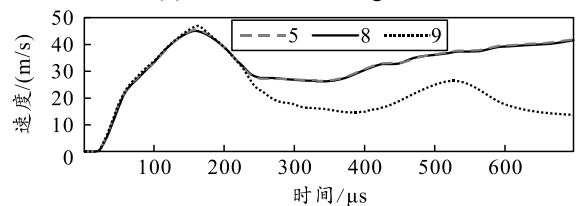
| 药柱直径/mm | 泡沫/(g/cm ³) | 压缩强度/MPa |
|---------|-------------------------|----------|
| 7 | 0.50 | 7.0 |
| 8 | 0.50 | 7.0 |
| 9 | 0.50 | 7.0 |
| 8 | 0.25 | 2.3 |

2.2.4 不同密度泡沫对子弹抛速和过载的影响分析

图 7 和 8 为不同泡沫密度下子弹速度及过载时间曲线。通过对比发现，2 种泡沫密度下子弹抛撒速度及过载时间曲线有一定差异，高密度高强度泡沫材料比低密度低强度泡沫材料缓冲效果更好：峰值过载降低(高密度泡沫材料峰值过载约 6.85×10^4 g，低密度约 7.62×10^4 g)，平均过载时间变长(过载大于 1×10^4 g 作用时间：高密度泡沫材料过载作用时间约 430 μ s，低密度约 410 μ s)；高密度泡沫材料对高速区子弹抛撒初速提高较好，低密度泡沫材料对低速区子弹抛撒初速降低较好。



(a) 泡沫密度为 0.5 g/cm³



(b) 泡沫密度为 0.25 g/cm³

图 7 不同泡沫密度的速度时间曲线

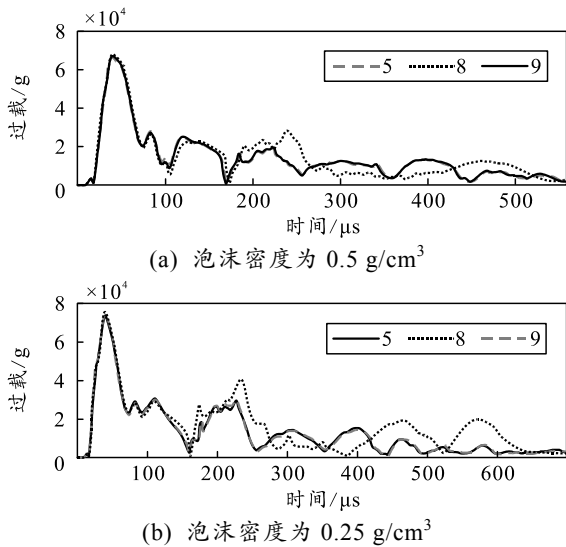


图 8 不同泡沫密度的过载时间曲线

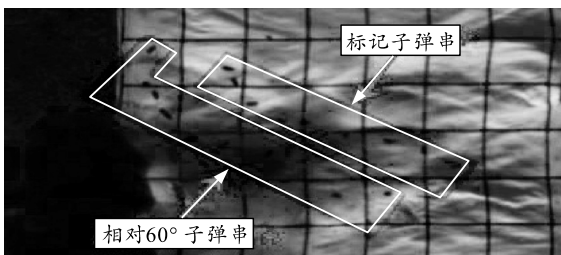
2.3 子弹抛撒初速理论、仿真、试验对比结果

通过地面静抛试验验证得到表 6 所示的靶试高、中、低速子弹平均抛撒初速。高摄判读标记子弹抛撒初速如图 9 所示。

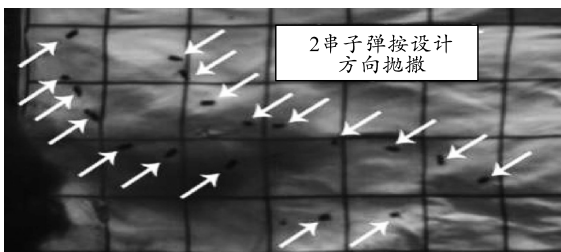
表 6 仿真与理论计算结果对比

| 药柱直径/ mm | 仿真计算 均值/(m/s) | 理论计算 均值/(m/s) | 靶试结果 均值/(m/s) |
|-------------|------------------|------------------|------------------|
| 7 | 28.2 | 22.77 | 24.32 |
| 8 | 35.1 | 28.84 | 31.17 |
| 9 | 49.6 | 48.75 | 49.02 |

从上表可计算出，仿真计算和理论计算的相对误差分别为 9.92%和 4.97%。



(a) 第 1 轮测试试验



(b) 第 2 轮测试试验

图 9 地面静抛试验子弹抛撒初速判读

以抛撒装药驱动能源的子弹梯度抛撒结构进行理论分析、仿真计算，并提出大质量子弹抛撒初速的理论计算公式。同时，通过仿真计算得到子弹抛

撒过载曲线，与实际抛撒过载相吻合，爆轰驱动时间为 450 μs，平均过载为 2×10⁴ g，设计中心管式梯度抛撒方案，进行地面 2 组实验：实验测得的子弹抛撒初速与仿真计算结果相比，相对误差为 9.92%；实验测得的子弹抛撒初速与理论计算结果相比，相对误差为 4.79%。

3 计算结果分析

笔者利用仿真计算模型，理论计算模型在一定假设条件下，计算了弹抛撒子弹内弹道，得到子弹抛撒过载、子弹抛撒初速情况。通过计算结果与分析，得到如下结论：

- 1) 仿真计算模型模拟抛撒过载较为合理。仿真计算模型得到的抛撒过载与实际抛撒过载大致相同，能够指导产品抛撒过载设计和子弹防护设计。
- 2) 不同密度泡沫架对子弹抛速初速和过载有影响。对不同密度不同强度条件下泡沫架仿真计算结果得到：高密度泡沫材料有利于子弹实现低过载高抛速，低密度泡沫材料有利于子弹实现低抛速。
- 3) 低速抛撒大质量子弹的理论初速计算公式误差较小。理论计算模型计算结果与实际子弹抛撒初速相吻合，相对误差为 4.79%，可较好地模拟子弹抛撒参数。

4 结论

笔者针对一种中心管式子母弹药技术需求，以抛撒装药作为驱动能源方案，采用高密度泡沫架结构，针对不同直径抛撒装药设计，提出低速抛撒大质量子弹初速的理论计算公式。通过数值模拟和理论计算校验了方案结构设计的合理性和理论分析方法的可信性。分析结果表明：以抛撒装药方式和不同密度泡沫架能很好地实现方案均匀抛撒的功能，相比传统抛撒更为合理，对子弹的抛撒过载防护更有利。设计了中心管式梯度抛撒方案，进行了 2 组实验，实验测得的子弹抛撒初速与理论计算结果相比，相对误差不大于 4.79%。

参考文献：

[1] 午新民, 王中华. 国外机载武器战斗部手册[M]. 北京: 兵器工业出版社, 2005: 7-10.

[2] 王在成, 江春兰, 马晓青. 机载布撒器子弹药的抛撒控制研究[C]//中国宇航无人飞行器学会弹与毁伤效率专业委员会第七届学术年会论文集. 中国宇航无人飞行器学会弹与毁伤效率专业委员会, 2001: 74-78.