

doi: 10.7690/bgzd.2018.11.012

某口径微声枪发射系统原理及强度分析

孙 朋, 解志坚, 杨 臻

(中北大学机电工程学院, 太原 030051)

摘要: 针对国内特种枪弹发展较为滞后的问题, 设计一种微声枪。采用活塞杆结构来实现消声的原理, 进行内弹道仿真和强度计算, 并分析设计的合理性。结果表明: 该微声枪能达到隐蔽效果, 提高任务成功率, 尽可能保证特勤人员生命安全。

关键词: 特种作战; 微声枪; 活塞杆; 隐蔽

中图分类号: TJ202 **文献标志码:** A

Principle and Intensity Analysis of Certain Caliber Micro Acoustic Gun Launching System

Sun Peng, Xie Zhijian, Yang Zhen

(School of Mechanical & Electrical Engineering, North University of China, Taiyuan 030051, China)

Abstract: Aiming at the bad development of special bullet in China, design the micro acoustic gun. The piston rod structure is used to realize the principle of noise reduction, and the interior ballistic simulation and strength calculation are carried out, and the rationality of the design is analyzed. The results show that the micro acoustic gun can achieve the concealment effect, improve the mission success rate and ensure the life safety of the secret service personnel as far as possible.

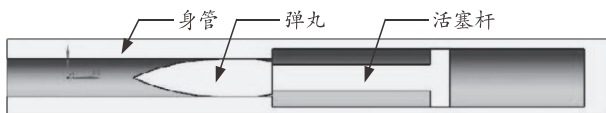
Keywords: special operations; micro acoustic gun; piston rod; concealment

0 引言

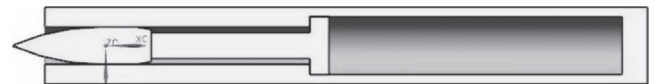
随着科学技术的发展及世界各国综合国力的提高, 大型威慑武器诸如大口径火炮、超远程导弹以及核武器等技术发展已相当成熟, 如今世界各国经济合作、共同发展, 几乎不可能发生大型战争。基于此背景, 小规模冲突特种作战方式应运而生。世界各国对特种武器的发展更加重视。我国特种作战武器发展较为落后。笔者设计一种特种微声枪, 以满足特种作战人员的需求^[1-3]。

1 微声枪发射原理

笔者仅介绍微声枪发射系统原理。如图 1 所示, 微声枪发射系统主要由身管、弹丸以及活塞杆组成。发射时底火击发药点燃发射药, 推动活塞杆向前运动, 活塞杆推动弹头从枪管内发射出去。此后, 活塞杆被身管限制在身管内部, 高温高压的火药气体被密闭在身管内, 从而达到消声的目的。由于采用电击发原理, 发射过程中几乎听不到声响^[4-7]。



(a) 发射前



(b) 发射后

图 1 微声枪结构原理

2 内弹道计算

由于活塞杆的存在, 在编写内弹道程序时需要考虑活塞杆的质量, 即“弹重”为弹丸和活塞杆的总质量。利用 Matlab 编写内弹道程序求解身管膛压曲线, 主要的内弹道参数如表 1^[8]所示。

表 1 主要内弹道参数

参数名称	数值	参数名称	数值
枪膛横截面积/dm ²	0.002 642	火药力/(kg·dm/kg)	950 000
弹质量/g	4.82	余容/(dm ³ /kg)	1
药室容积/dm ²	0.000 9	装药量/kg	0.000 8
身管行程/dm	0.25	燃速指数	0.85
启动压力/kPa	35 200	燃速系数/(dm ³ /(s·kg))	6.4e-5
火药热力系数	0.2	1/2×火药厚度/dm	0.003
次要功系数	1.08	1/2×药粒长度/dm	0.009
火药密度/(kg/dm ³)	1.6	1/2×药宽	inf

根据内弹道计算程序, 求得压力曲线以及速度曲线如图 2、图 3 所示。

收稿日期: 2018-08-02; 修回日期: 2018-08-30

作者简介: 孙 朋(1993—), 男, 山西人, 硕士, 从事结构与仿真、自动武器发射技术研究。

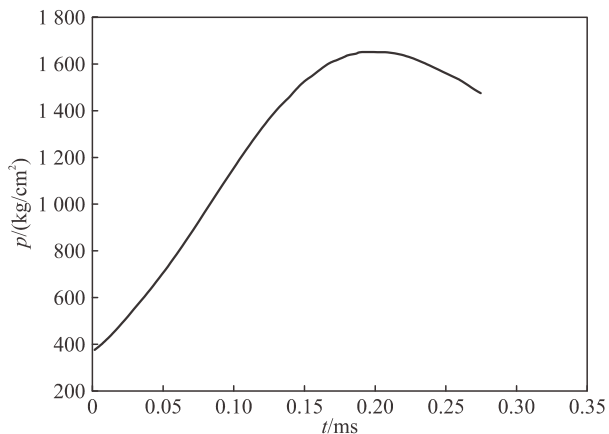


图 2 压力曲线

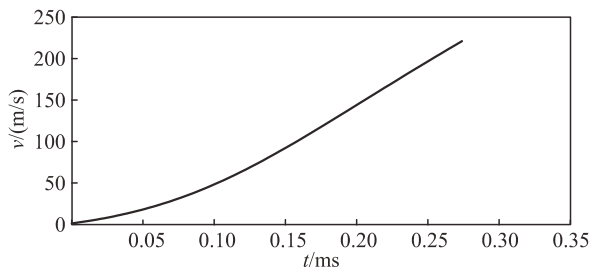


图 3 速度曲线

根据内弹道分析可以看出：最大初速约为 221.5 m/s，最大膛压约为 165 MPa。导出时间压力曲线所对应的数值如表 2 所示，方便后面添加强度分析压力载荷。

表 2 时间压力

T/ms	0.000 000	0.000 014	0.000 028	0.000 041	0.000 055	0.000 069	0.000 083	0.000 097	0.000 110	0.000 124
p/Pa	35 894 011	43 671 094	52 619 847	62 724 566	73 883 950	85 892 864	98 431 733	111 074 560	123 319 050	134 637 560
T/ms	0.000 138	0.000 152	0.000 166	0.000 179	0.000 193	0.000 207	0.000 221	0.000 235	0.000 248	0.000 276
p/Pa	144 540 580	152 640 630	158 695 280	162 626 320	164 507 360	164 530 740	162 964 510	160 109 740	156 266 120	146 731 610

3 ABAQUS 分析求解器选择

微声枪发射系统的性能分析过程伴随着材料的弹塑性变形、材料之间的磨损以及材料表面相互作用，本质上是一系列的复杂接触问题。ABAQUS 中动态分析包括显式 (explicit) 和隐式 (standard) 2 大类基本方法，分别对应直接积分法中的中心差分法 (显式) 和 Newmark (隐式) 法等。比较 2 种算法，显式中心差分法非常适合研究波的传播问题，以及碰撞、高速冲击、爆炸等瞬态问题，而 Newmark 法更加适合于计算低频占主导的动力问题；因此，笔者采用 ABAQUS/explicit 求解器来模拟整个发射系统的运动过程^[9-12]。

4 微声枪弹活塞杆及身管强度分析

4.1 分析前处理

进入 part 模块，依据微声枪发射系统的工作原理，通过 UG 3 维建模软件建立简化后的 3 维模型，忽略倒角、圆角等细节特征，并导入到 ABAQUS 仿真分析软件中，导入的比例因子为 0.001，装配后的分析模型如图 4 所示。



图 4 微声枪发射系统分析模型

4.2 材料属性

进入 property 模块，主要研究微声枪活塞杆以及身管的承压性能，为微声枪发射系统关键件的结构设计提供依据，其中各零部件的材料属性参数如

表 3 所示。

表 3 材料属性

组件名称	密度/(kg/m ³)	弹性模量/GPa	泊松比	屈服强度/MPa
身管	7 850	206	0.29	950
弹丸	9 456	206	0.29	875
活塞杆	2 700	69	0.32	370

依次创建 2 种不同的材料属性，并创建 Homogeneous 截面，赋予不同零部件相应的材料属性。

4.3 创建分析步

进入 step 模块，创建分析步 step-1，选择 Dynamic、Explicit 模块，根据内弹道计算结果，分析时间设置为 0.000 3 s，稍大于内弹道计算时间，便于观察弹丸运动状态。

4.4 边界条件

进入 Interaction 模块，创建 general contact 约束，接触属性选择罚函数，摩擦系数设置为 0.1。进入 Load 模块，给活塞杆的大端、身管创建压力载荷，压力曲线为内弹道计算结果，给身管尾部一端添加边界条件约束，添加 3 个方向的自由度约束 PINNED (U1=U2=U3=0)。

4.5 网格划分

进入 Mesh 模块，进行网格划分，网格属性采用六面体扫略网格，计算规模相对小，网格质量好。单元类型为 Explicit 3D Stress 下的 Hex 单元，即 C3D8R 单元，运动裂纹设置为正交，沙漏控制设置为增强，网格划分结果如图 5 所示。

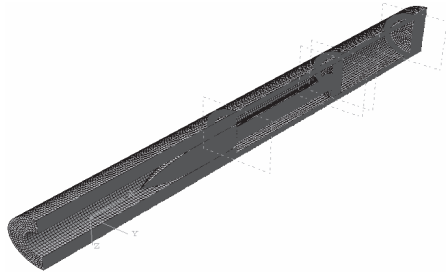


图 5 网格划分

4.6 分析计算结果

由于活塞杆和身管直接接触火药气体，因此应关注活塞杆和身管的应力情况及变形情况。为了更直观地观察仿真结束后各部件之间的相对位置变化，以及各零部件的承压情况，根据仿真结果，提取系统的各部件相对运动及应力分布云图如图 6 所示。

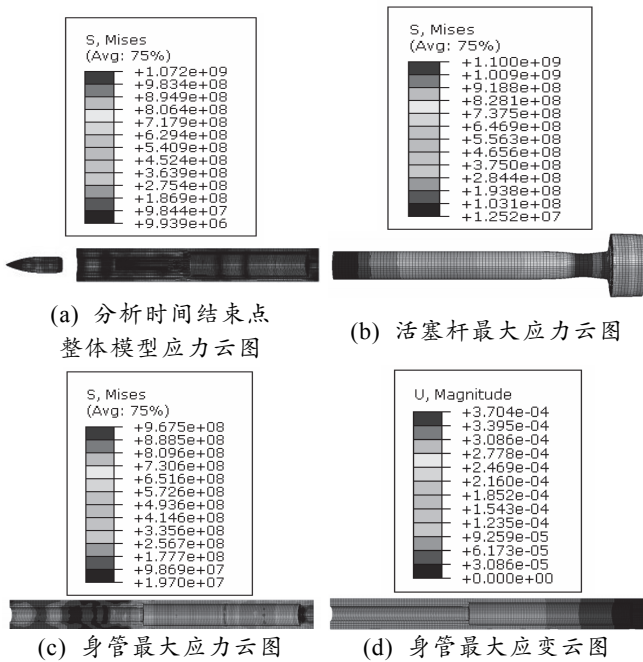


图 6 分析结果应力应变云图

对微声枪进行分析，通过云图可以看出：活塞杆局部受到的最大应力超过 1 000 MPa 而产生变形，但是作为一次性使用产品完全满足要求；身管与活塞杆接触部位最大应力超过 950 MPa，最大应变为 3.84×10^{-4} m，但变形量不大，完全可以将活塞杆限制在身管内部达到消声效果，从而满足设计要求。

5 结束语

笔者通过 UG 软件建立微声枪发射系统 3 维模型，阐述其发射原理，并通过内弹道计算出膛压曲线及速度曲线，设计微声枪活塞杆结构来实现消声原理。实验结果证明：最小口径的手枪噪声都在 80 dB 以上，而此结构由于没有火药气体流出，只有内部的轻微金属撞击声。通过 ABAQUS 软件分析活塞杆及身管的强度，并且计算出其最大膛压低于普通手枪，作用时间小于 0.2 ms，不会产生很大的冲量，保证了射击的安全性。微声枪能达到隐蔽效果，提高任务成功率，可以最大程度地保证特勤人员的生命安全，具有较为重要的意义。

参考文献：

- [1] 赫雷, 秦鹏, 兰慧, 等. 某防暴枪准两相流内弹道模型及数值模拟[J]. 兵工自动化, 2014, 33(7): 8-10.
- [2] 朱跃峰. 基于 ABAQUS 的显示动力学分析方法研究[J]. 机械设计与制造, 2015, 3(3): 107-113.
- [3] KALLESE B S. A low-order model for analyzing effects of blade fatigue loadcontrol[J]. Wind Energy, 2006(9): 421-436.
- [4] ESLIMY-ISFAAHANY S H R, Banerjee J R. Use of generalized mass in the interpretation of dynamic response of bending-torsion coupling beams[Z]. Journal of Sound and Vibration, 2000: 295-308.
- [5] 黄韬. 基于参数化的某型装备发射动力学分析[D]. 南京: 南京理工大学, 2017.
- [6] 刘卫明, 刘恩锦, 郑第称, 等. 基于 Pro/E 的通用机枪干涉检查与验证[J]. 兵工自动化, 2014, 36(2): 30-33.
- [7] 蓝仁恩, 王雷, 常晓权, 等. 某车载导弹发射动力学参数化仿真技术研究[J]. 战术导弹技术, 2015(5): 98-102.
- [8] 陈春华, 陈霞. 苏/俄微声枪弹与匕首枪的发展[J]. 现代兵器, 2006(4): 22-25.
- [9] ZHU Y F, REN Y R, DAI Q Y. Dynamic simulation of nonlinear vibration on large horizontal axis turbine blades using a finite differential method[J]. Journal of Vibro Engineering, 2013, 15(4): 2017-2028.
- [10] 钱林方. 火炮弹道学[M]. 2 版. 北京: 北京理工大学出版社, 2016: 55-70.
- [11] 金志明. 枪炮弹道学[M]. 北京: 北京理工大学出版社, 2003: 115-132.
- [12] HERMAN K. Interior ballistics of guns[M]. American Institute of Aeronautics and Astronautics, 1979: 43-57.