

doi: 10.7690/bgzdh.2021.02.001

## 便携式特种麻醉枪注射弹结构设计

张哲伟<sup>1</sup>, 杨臻<sup>1</sup>, 马营<sup>1</sup>, 蔡翘楚<sup>2</sup>

(1. 中北大学机电工程学院, 太原 030051; 2. 中国兵器工业第二〇八研究所, 北京 102202)

**摘要:** 为解决目前我国特种麻醉枪隐蔽性较差, 不能适应较多作战环境的不足, 设计一种便携式特种麻醉枪。给出麻醉枪注射弹总体方案和工作原理, 建立注射弹 3 维模型, 通过有限元仿真软件对注射弹的关键零部件进行有限元分析, 并通过实验验证。结果表明: 该结构设计可靠, 原理可行, 能达到预期目标。

**关键词:** 注射弹; 总体方案; 工作原理; 有限元分析; 实验验证

**中图分类号:** TJ203 **文献标志码:** A

## Injection Bullet Structural Design of Portable Special Anesthesia Gun

Zhang Zhewei<sup>1</sup>, Yang Zhen<sup>1</sup>, Ma Ying<sup>1</sup>, Cai Qiaochu<sup>2</sup>

(1. School of Mechanical Engineering, North University of China, Taiyuan 030051, China;  
2. No. 208 Research Institute of China Ordnance Industries, Beijing 102202, China)

**Abstract:** In order to solve the problem that domestic special anesthesia gun has poor concealment and cannot adapt to various combat environments, a portable special anesthesia gun is proposed. The overall scheme and working principle of the injection bullet of the anesthesia gun are given, the 3D model of the injection bullet is established, and the key components of the injection bullet are analyzed by finite element simulation software and verified by experiments. The results show that the structure design is reliable, the principle is feasible, and the expected goal can be achieved.

**Keywords:** injection bullet; overall plan; working principle; finite element analysis; experimental verification

### 0 引言

我国正面临着复杂多变的安全和发展环境, 各种可以预见和难以预见的风险因素明显增多, 维护国家和社会稳定任务繁重艰巨。当前国外敌对势力、分裂组织更是借机对我国政治、军事乃至经济各个领域进行多重渗透, 敌对势力的破坏能力、破坏范围也在不断扩大; 因此, 迫切需要研究特种武器以适应此作战背景。

特种麻醉枪可以在不伤及性命的前提下制服对方, 但国内目前在这方面发展比较滞后。1988 年设计定型的 BBQ-901 式特种麻醉枪, 微声性能好, 速麻制动快, 外形类似 80 冲锋手枪。1991 年由兵器工业第二〇八研究所应外商要求设计的 BMQ 特种麻醉枪, 其主要组成部分为枪管、握把、护手和棘轮等 15 个零件, 外形酷似匕首<sup>[1-3]</sup>。这 2 种特种麻醉枪外形隐蔽性较差, 不能适应较多的作战环境。

针对上述问题, 笔者设计了一种便携式特种麻醉枪, 结构简单, 隐蔽性好, 应急响应快。在执行特种作战时, 可使用麻醉枪远距离对目标进行快速射击, 使它暂时性麻醉而失去战斗力, 方便控制目

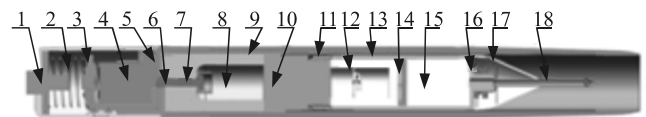
标, 有利于保护作战人员自身安全<sup>[4]</sup>。

### 1 枪弹整体结构方案

便携式特种麻醉枪总体外形如图 1 所示, 总体外形微小, 质量轻, 便于携带。便携式特种麻醉枪主要由发射系统、电池系统、击发系统和注射弹组成, 其装配如图 2 所示。



图 1 便携式特种麻醉枪总体外形



1,2,3: 击发机构; 4,5,6: 电池模块; 7,8,9,10: 发射模块;  
11,12,13,14,5,16,17,18: 注射弹。

图 2 便携式特种麻醉枪装配

便携式特种麻醉枪采用密闭火药燃气间接作用的原理发射。特种麻醉枪击发时, 火药燃气通过活塞推动注射弹, 火药燃气封闭在密闭空腔内, 降低发射时的噪声。注射弹通过活塞获得较大动能飞出枪口, 命中目标后注射弹的针头侵入目标, 触发弹头引信, 点燃弹内活塞槽内的火药, 推动活塞压迫

收稿日期: 2020-09-30; 修回日期: 2020-10-12

作者简介: 张哲伟(1996—), 女, 山西人, 硕士, 从事自动武器结构设计仿真分析研究。E-mail: 1366305547@qq.com。

药剂胶囊，使药剂注射到侵入目标体内。便携式特种麻醉枪的发射原理如图 3<sup>[5]</sup>所示。

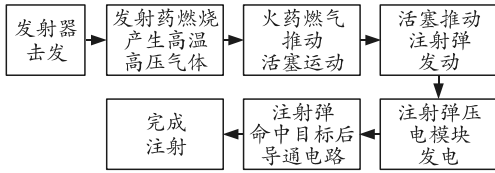


图 3 便携式特种麻醉枪的发射原理

## 2 注射弹总体方案

### 2.1 注射弹结构设计

便携式特种麻醉枪注射弹的总体外形如图 4 所示，主要由针头、封帽、麻醉剂药囊、活塞、机械开关和压电陶瓷发电装置等零部件构成。麻醉枪注射弹结构如图 5 所示。



图 4 麻醉枪注射弹总体外形

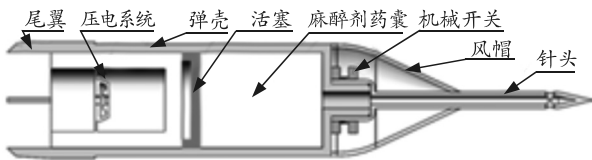


图 5 麻醉枪注射弹结构

### 2.2 注射弹的发射过程

如图 6 所示，装具击发后，活塞在火药燃气的推动下推动注射弹在身管内运动。如图 7 所示，当活塞和注射弹运动到膛口时，活塞在身管内壁导轨的作用下停止运动，活塞和注射弹分离。如图 8 所示，注射弹飞行采用尾翼稳定方式，注射弹离开身管后，其尾部的尾翼迅速打开，在空间内平稳飞行。在注射弹发射过程中，由于活塞对注射弹尾部的冲击，使压电陶瓷产生电能并且贮存在压电系统的电容器里，待注射弹注射药剂过程中放电。



图 6 活塞推动注射弹在膛内运动



图 7 活塞止动和注射弹分离



图 8 注射弹尾翼打开

### 2.3 注射弹注射技术

对注射弹有较为特殊的要求，即将注射弹发射出去，待其刺入目标后才能开始麻醉剂注射，并且要通过控制注射开始时间来保证一定的注射量。

根据麻醉剂的注射要求，确定注射弹的结构。在注射弹内部集成微型电容电路，由电路来控制麻醉剂的注射，电路流程如图 9 所示。当注射弹命中目标时，弹内电路导通，点燃注射火药，产生火药燃气，推动注射弹活塞使其压迫药囊，将药剂瞬间从针孔高速注入目标体内<sup>[6]</sup>。

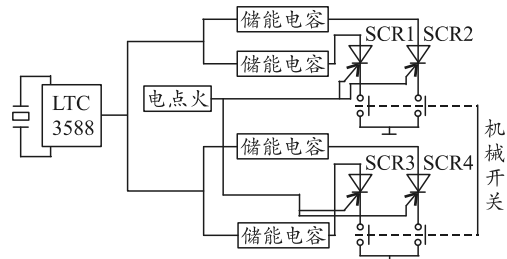


图 9 电子线路

利用弹丸发射时活塞的冲击力，当压电晶体受到压力作用时，晶体内部产生电极化增量 $\Delta p$ ， $\Delta p$ 又在晶体两极面感应出自由电荷，卸去外力后， $\Delta p$ 消失，两极面上束缚电荷被释放成为自由电荷积累在两极面上，即实现储电。压电晶体的压电效应可以实现膛内储电。

电源由压电陶瓷 PZT 与能量收集芯片 LTC3588 组成，压电陶瓷 PZT 在后坐力的作用下，产生高幅值的电压信号，经过 LTC3588 整流，稳压后将稳定的电源送到电容  $C_1$ 、 $C_2$ 、 $C_3$  和  $C_4$  上储能<sup>[7-9]</sup>。LTC3588 芯片如图 10 所示。

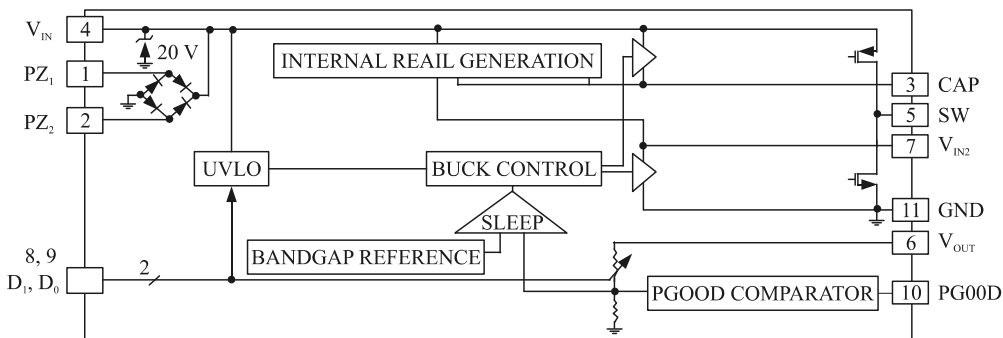


图 10 LTC3588 芯片

注射弹命中目标后,注射弹前端机械保险打开,电路导通,储能电容工作,可控硅 SCR 收到工作脉冲导通,原机电点火,注射弹实现注射<sup>[10]</sup>。

## 2.4 注射弹的注射过程

如图 11 所示,注射弹击中目标后,注射弹的钢针刺入目标,在注射弹和目标之间的冲击力作用下,使注射弹前端的触关闭合。如图 12 所示,机械开关闭合后,整个电路导通,压电系统的电容开始放电,使电路回路里面的电底火发火,点燃活塞后端凹槽内的发射药,发射药燃烧产生高压气体推动活塞向前运动,活塞将麻醉剂药囊压破,开始注射药剂。在活塞的推动下将药剂压出针头,完成注射。



图 11 机械开关闭合



图 12 在活塞推动下特种药剂注射

一般情况下,电容在整个电路里面没有电压,只有击发后才会产生电压,相当于一个电路保险,可以防止药剂误注射和防止药剂跌落注射。注射弹前端的机械保险是第二级保险,只有触碰目标后才能使整个电路导通,所以只有电容充完电,注射于弹触碰到目标后才会击发并注射药剂。即前后 2 个保险均打开后,注射弹才会实现药剂注射。否则,任何一个保险没有打开,注射弹都不会开始注射<sup>[11-13]</sup>。

## 3 有限元分析

### 3.1 静力学分析

因为注射弹外壁和活塞直接承受火药气体的作用力,属于易损零部件,为确保安全性,需要对其进行结构强度分析;因此,通过 ANSYS Workbench 有限元分析软件对身管和活塞进行强度分析,为便携式麻醉枪注射弹工程任务的进一步研究提供依据<sup>[14]</sup>。

#### 3.1.1 模型的导入

将在 NX12.0 中建立的注射弹 3 维模型导入 ANSYS 软件中,进行材料属性设置,注射弹的活塞和针头使用钢,其余部件采用碳纤维改性环氧树脂复合材料,风帽材料用软橡胶(此处只进行静力学分

析,不考虑风帽)。各材料属性如表 1 所示。

表 1 材料属性

材料名称	密度/ (kg/m <sup>3</sup> )	弹性模量/ GPa	泊松比	屈服强度/ MPa
钢	7 800	206	0.29	950
其余	1 620	0.114	0.33	480

#### 3.1.2 静力学分析结果

为减少计算量,取注射弹的 1/2 圆周设置边界条件、接触方式及施加载荷后进行计算分析,注射弹的总变形和应力云图如图 13 和图 14 所示。

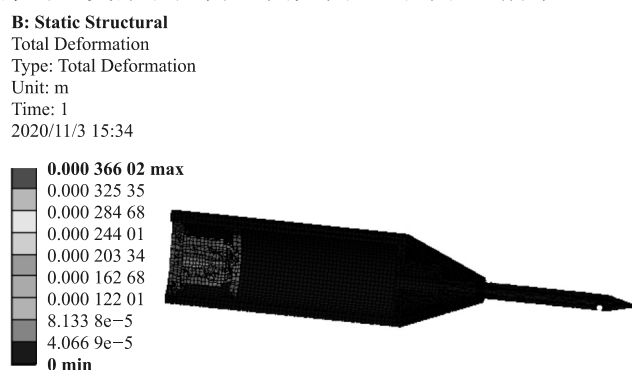


图 13 注射弹的变形分布云图

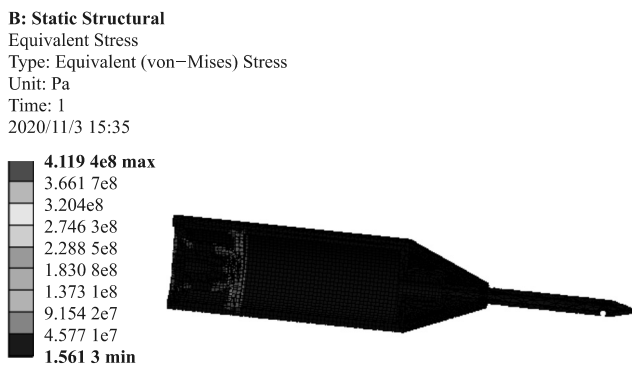


图 14 注射弹的应力分布云图

从静力学分析仿真结果可以看出:注射弹的最大变形处于压电陶瓷处,其值为 0.366 02 mm,此处变形较大,但是不影响注射弹的正常工作,在注射弹的弹壳上基本没有变形,满足要求。注射弹的最大等效应力处于活塞上,其值为 411.94 MPa。根据仿真结果分析得出注射弹的强度满足要求。

### 3.2 动力学分析

在完成结构设计的基础上,运用动力学仿真软件 LS-DYNA 对特种麻醉枪注射弹进行仿真分析,确保特种麻醉枪注射弹的侵彻可靠性,使注射弹能够达到一定的穿透效果及杀伤力。

考虑到人的头颅为目标的关键部位,而且头颅骨比较坚硬;因此,选择头颅为仿真分析的侵彻对象。人体头颅结构如图 15 所示,人的头颅相关参数

如表 2 所示。

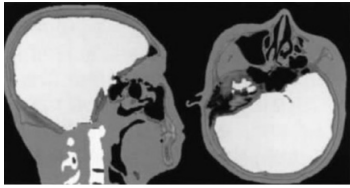


图 15 人体头颅结构

表 2 人体头颅相关参数

部位名称	弹性模量/Gpa	泊松比	密度/(kg/m <sup>3</sup> )
头骨	6.5	0.21	2.1×10 <sup>3</sup>
膜层	0.031 5	0.45	1.0514 6×10 <sup>3</sup>
颈椎骨	10	0.29	1.8×10 <sup>3</sup>
颈肩部骨骼	10	0.29	1.63×10 <sup>3</sup>
肩颈部肌肉	0.001	0.45	1.05×10 <sup>3</sup>
头部肌肉	0.001	0.45	1.07×10 <sup>3</sup>

### 3.2.1 模型导入

如图 16 所示，将在 NX12.0 中建立的注射弹 3 维模型导入 LS-DYNA 软件中建立物理模型。

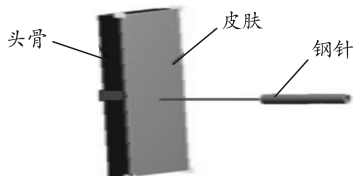


图 16 注射弹侵彻头骨仿真模型

### 3.2.2 动力学分析结果

对导入的 3 维模型设置边界条件、接触方式及施加载荷，然后从针尖距离人体 1 mm 时开始进行计算分析，针尖部分的压力反力曲线及侵彻过程中的应力云图如图 17、图 18 所示。

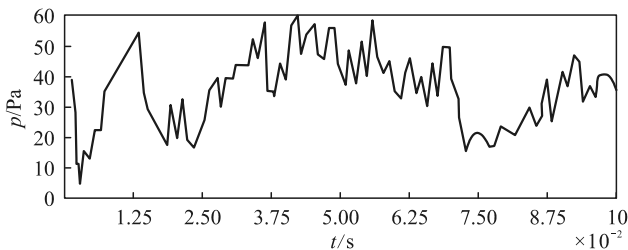


图 17 侵彻时针尖处的压力反力曲线

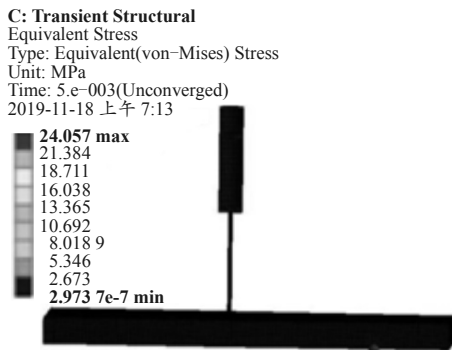


图 18 侵彻过中的应力云图

仿真结束后，针尖完全进入人体，侵彻效果明显。从动力学侵彻分析仿真结果可以看出：注射弹针尖处压力反力小于 59 Pa，使用普通的针尖可以满足，不会发生歪斜。注射弹的最大应力出现在钢针的根部，最大值为 24.06 MPa，满足材料强度要求。

## 4 实验验证

### 4.1 注射弹注射时间理论计算

根据注射弹的特殊要求，注射弹侵入目标后开始注射药剂，为了防止目标运动时，将甩掉注射弹，注射时间要尽可能小。注射弹命中目标后打开机械保险，活塞推动药剂开始进行药剂注射，注射弹如图 19 所示。

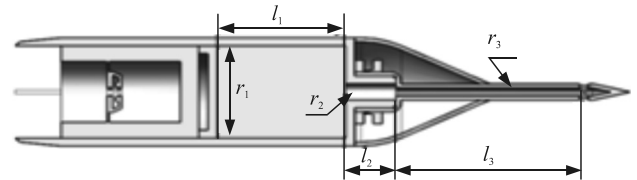


图 19 注射弹注射

注射弹注射时，药剂由活塞推动向前运动，药剂在注射弹里面分为 3 个圆柱部运动：由  $l_1, r_1$  构成了第 1 个圆柱部； $l_2, r_2$  构成第 2 个圆柱部； $l_3, r_3$  构成第 3 个针头圆柱部。

其中：

3 个圆柱部的长度： $l_1=20 \times 10^{-3}$  m， $l_2=5.5 \times 10^{-3}$  m， $l_3=22 \times 10^{-3}$  m；3 个圆柱的半径： $r_1=4.75 \times 10^{-3}$  m， $r_2=1 \times 10^{-3}$  m， $r_3=0.5 \times 10^{-3}$  m；活塞质量  $m_1: 0.38 \times 10^{-3}$  kg；药水质量  $m_2: 1.7 \times 10^{-3}$  kg。

火药给活塞压力  $p$  为  $0.01 \times 10^6$  Pa，人体内经过收缩压  $pp$  为  $0.009 8 \times 10^6$  Pa。

由此可得：

$$a = (p \cdot \pi \cdot r_1^2 - pp \cdot \pi \cdot r_3^2) / (m_1 + m_2) = 336.9 \text{ m/s}^2$$

$d_1$  部分注射完毕需要时间为  $t = \sqrt{L/a} = 0.008$  s，所以装具能在 0.5 s 内注射完毕。

### 4.2 注射弹注射时间实验测试计算

经协调，在某厂实验室进行药剂注射实验，并作视频记录，通过实验分析，得到药剂的注射时间。由于此次实验只验证注射弹的原理，所以使用等效注射弹进行实验，用火药作为动力驱动活塞完成液体对猪肉的注射，从而获得注射时间、注入药剂剂量等数据。

#### 4.2.1 实验器材

- 1) 电点火头 2 个(1 个备用)；

- 2) 5 ml 注射器 2 个(1 个备用);
- 3) 黑火药 4 g;
- 4) 带穿孔直径为 2 mm 的堵头 2 个(1 个备用);
- 5) 内孔直径 1 mm 的针头 2 个(1 个备用);
- 6) 液体 10 ml;
- 7) 猪肉 0.5 kg;
- 8) 起爆器及摄像机等其他实验器材 1 套。

#### 4.2.2 实验方法

- 1) 用针头、注射器、黑火药、堵头和点火头等制作注射弹，装液体 1.6 ml;
- 2) 将注射弹的针头插入猪肉;
- 3) 接起爆线，用起爆器起爆。

#### 4.2.3 实验结果

为了保证实验弹后端的密封性，在堵头横向打孔穿入 3 mm 直径的钢柱。实验结果表明：弹体中部炸裂，活塞推动液体成功注入，弹内留有液体 0.2 ml，实验如图 20—23 所示。



图 20 注射弹



图 21 注射弹试验前状态



图 22 注射弹试验后状态

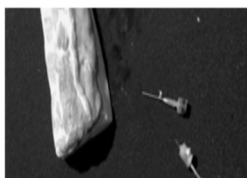


图 23 注射弹破片回收状况

由实验验证可知：

便携式麻醉枪注射弹可以完成预定动作，实现药剂注射。

安装内径 1 mm 的针头，有效注入量达到 1.4 ml，注射时间为 0.1~0.2 s。实验验证得到的注射时间与计算所得的注射时间有较大出入，是因为计算时忽略了各部件间的摩擦力，在较为理想的状态下计算所得；因此，实验验证所得到的注射时间更有参考价值。

从注射弹破片回收状况来看，针尖并没有歪斜，但人体骨骼相较猪肉，密度更高，硬度更大，如需

进一步提高注射器强度，在有体积要求的情况下，后续应该考虑使用钢材质弹体。

## 5 结论

笔者对便携式特种麻醉枪注射弹的结构进行详细的设计说明，通过 NX12.0 建立麻醉枪 3 维模型，阐述其各系统工作原理；并且通过 ANSYS 对麻醉枪的关键零部件进行有限元分析，注射弹各零部件满足强度要求。最后通过实验验证了注射弹原理的可行性，其结构可靠，达到了预期的设计目标。

## 参考文献：

- [1] 王采. 远距注射器[J]. 上海畜牧兽医通讯, 1959(3): 7.
- [2] 成勇. 远距离吹管式注射器[J]. 中国兽医杂志, 1994(20): 50.
- [3] 李进辰, 花云飞, 李继增. 远距离连续注射器[J]. 中国兽医杂志, 2000(26): 53.
- [4] 叶良芳. 《野生动物保护决定》若干适用问题探讨[J]. 法治研究, 2020(3): 24-36.
- [5] 蔡涛, 李强, 鹿麟, 等. 空化槽对弹丸水下运动特性的影响[J]. 兵器装备工程学报, 2020, 41(3): 36-40.
- [6] 金志明. 枪炮弹道学[M]. 北京: 北京理工大学出版社, 2003: 115-132.
- [7] HERMAN K. Interior ballistics of guns[M]. American Institute of Aeronautics and Astronautics, 1979(4): 43-57.
- [8] 司志松, 葛建立, 杨国来, 等. 迫击炮弹丸与身管配合间隙优化设计[J]. 兵器装备工程学报, 2016, 37(6): 53-56.
- [9] 李森, 钱林方, 陈龙森, 等. 弹丸卡膛规律影响因素分析[J]. 兵工学报, 2014, 35(8): 1152-1157.
- [10] 于情波, 杨国来, 葛健立. 基于随动边界的火炮身管热力联合效应数值分析[J]. 兵工学报, 2019, 40(4): 698-707.
- [11] 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.
- [12] 张睿, 陈卫国, 刘闯. 弹丸卡膛姿态测试系统设计与实现[J]. 兵器装备工程学报, 2016, 37(1): 27-30.
- [13] KALLESE B S. A low-order model for analyzing effects of blade fatigue load control[J]. Wind Energy, 2006(9): 421-436.
- [14] 买买提明·艾尼, 陈华磊. ANSYS Workbench 14.0 仿真技术与工程实践[M]. 北京: 清华大学出版社, 2013: 164-171.