

doi: 10.7690/bgzdh.2014.03.004

# 喷管提升机枪射击密集度技术研究

武时会, 廖振强

(南京理工大学机械工程学院, 南京 210094)

**摘要:** 针对某大口径机枪在连发射击中枪口跳动剧烈导致射击密集度下降的问题, 采用喷管反后坐相类似的方法来减小大口径机枪枪口振动。通过对该机枪进行运动学仿真模拟, 分析安装喷管前后内弹道变化, 枪口振动变化, 以及对三脚架振动的影响。结果表明: 利用安装喷管的方式可以有效减小枪口和三脚架振动, 提高了稳定性。

**关键词:** 射击密集度; 内弹道; 振动; 喷管

**中图分类号:** TJ203 **文献标志码:** A

## Research on Nozzle Improving Firing Dispersion Technology

Wu Shihui, Liao Zhenqiang

(School of Mechanical Engineering, Nanjing University of Science &amp; Technology, Nanjing 210094, China)

**Abstract:** In order to solve a large caliber machine guns in the verge of firing gun beating violently led to the decrease of the shoot density problem, put forwards a way to use similar methods to reduce large diameter nozzle reverse recoil machine gun muzzle vibration, this paper established the physical model of the scheme, and analyzed the change of interior ballistic data before and after the installation of nozzle, analysis the reason of the changes in the internal ballistic, compared before and after the barrel vibration nozzle in the installation of change. The results show that the method of installation of nozzle can effectively reduce the muzzle vibration, and stability of tripod, prove feasibility.

**Keywords:** firing dispersion; interior ballistics; vibration; nozzle

### 0 引言

随着大口径机枪的发展越来越迅速, 对其射击密集度的要求也就越来越高, 武器射击密集度是衡量一种武器的重要指标, 受射手、武器、环境气候等综合因素的影响。当枪械进行单发射击或者连射时, 每一发弹头飞离枪口的瞬间由于火药气体的冲量与弹头动量对枪口的反作用, 以及自动机运动到位的撞击等有周期的综合作用, 会使整个武器产生振动和跳动<sup>[1-2]</sup>。

影响射击密集度的因素很多, 但各因素对射击密集度的影响最终都集中反映在枪口的瞬时运动状态上<sup>[3]</sup>。通过在枪口安装喷管的方法, 来减少枪口的跳动。基于此, 笔者建立内弹道方程分析在安装喷管前后其膛压、弹丸出膛口速度等内弹道结果的变化, 同时对大口径机枪进行 ADMAS 仿真了安装喷管前后枪口振动位移以及振动速度前后的变化, 和三脚架跳动情况, 为提高此类大口径机枪射击精度提供新的改进方案。

### 1 喷管减振动的物理模型以及理论模型

#### 1.1 喷管减振动的物理模型

借鉴了喷管减后坐类似的方法, 在枪管离枪口

就近位置上设置导气孔, 将喷管与导气孔连接(如图1所示)。当火药点燃后, 膛内压力升高, 推动弹丸向膛口运动, 当弹丸尾部离开膛口时会逐渐打开导气孔, 弹底的高温高压火药燃气通过导气孔向喷管内传递, 通过对该喷管的加速作用向枪管高低方向高速喷出, 产生反推力, 起到减少枪口跳动的效果。

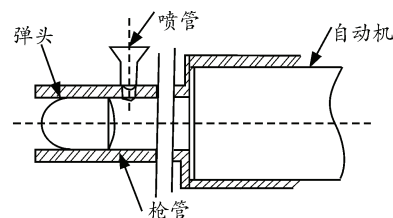


图1 枪口喷管安装后示意图

#### 1.2 膛内和喷管内两相流理论模型

笔者对这种结构的膛内和喷管内的两相流动进行数值仿真计算, 将膛内火药燃气的质量和能量作为喷管内所增加火药燃气质量和能量的源项, 以必要的假设为基础, 采用 MacCormack 差分方法对步枪膛内和喷管建立双一维两相流数值计算模型<sup>[4]</sup>。

膛内和喷管内两相流模型包括: 气相质量守恒方程、固相质量守恒方程、气相动量守恒方程、固相动量守恒方程和气相能量守恒方程。由于膛内和

收稿日期: 2013-10-13; 修回日期: 2013-11-13

作者简介: 武时会(1989—), 男, 安徽人, 硕士, 从事武器系统与运用工程研究。

喷管两相流模型仅区别在于能源项，故只列出膛内和喷管内两相流能源部分  $H$  和  $H'$ 。

$$\begin{aligned}
 H &= \begin{bmatrix} \dot{m}_c A + \dot{m}_{ign} A + \dot{m}_G A \\ -\dot{m}_c A - \dot{m}_p A \\ -\dot{m}_c u_p A + \dot{m}_{ign} u_{ign} A + \dot{m}_G u_G A - f_s A \\ f_s A - \dot{m}_c u_p A + p \frac{\partial(1-\varphi)A}{\partial x} + (1-\varphi)R \frac{\partial A}{\partial x} - \dot{m}_p u_p A \\ -f_s A u_p - A_p A q + \dot{m}_{ign} H_{ign} A + \dot{m}_c A \left( e_p + \frac{u_p^2}{2} + \frac{p}{\rho_p} \right) - \dot{m}_G A \left( e_G + \frac{u_G^2}{2} + \frac{p}{\rho_G} \right) - \dot{m}_p A \left( e_p + \frac{u_p^2}{2} + \frac{p}{\rho_p} \right) \end{bmatrix} \\
 H' &= \begin{bmatrix} \dot{m}_c A + \dot{m}_{ign} A + \dot{m}_G A \\ -\dot{m}_c A - \dot{m}_p A \\ -\dot{m}_c u_p' A + \dot{m}_{ign} u_{ign}' A + \dot{m}_G u_G' A - f_s A \\ f_s A - \dot{m}_c u_p' A + P \frac{\partial(1-\varphi)A}{\partial x} + (1-\varphi)R \frac{\partial A}{\partial x} - \dot{m}_p u_p' A \\ -f_s A u_p - A_p A q + \dot{m}_{ign} H_{ign}' A + \dot{m}_c A \left( e_p + \frac{u_p^2}{2} + \frac{p}{\rho_p} \right) - \dot{m}_G A \left( e_G + \frac{u_G^2}{2} + \frac{p}{\rho_G} \right) - \dot{m}_p A \left( e_p + \frac{u_p^2}{2} + \frac{p}{\rho_p} \right) \end{bmatrix}
 \end{aligned}$$

式中： $p$  为膛内压力； $\rho_G$  和  $\rho_p$  分别为气相和固相密度； $u_G$  和  $u_p$  分别为气相和固相速度； $e_G$  和  $e_p$  分别为气相和固相比内能； $u_p$  和  $u_G$  分别为导引孔处的气相和固相速度； $\dot{m}_c$  和  $\dot{m}_p$  分别为气相和固相在导引孔处的单位体积质量流量； $\varphi$  为空隙率为相间阻力； $f_s$  为相间热传导； $A$  为膛内截面积。

### 1.3 计算方法和定解方法

对膛内和喷管内区域的守恒方程组采用 MacCormack 预估校正显格式差分离散。在计算过程中，把 2 个区域中的两相流动方程组联立求解，组成双一维两相流数值计算模型；因此，对于差分计算的时间步长，根据稳定性条件，取 2 个计算区域计算中所得出的较小值。在膛内，整个内弹道过程只有 2 种边界条件，凡是静止动的边界都是固壁边界，采用镜面反射法处理；当弹丸运动后，弹底边界就是运动边界，采用运动控制体方法处理<sup>[5]</sup>。

## 2 安装喷管前后机枪内弹道分析

通过对喷管内气固流分析，建立 Matlab 计算程序，计算在安装喷管前后膛压和弹丸出膛口速度的变化，并分析其中原因和规律。

### 2.1 枪口安装喷管前后膛压变化规律

当安装喷管后，弹丸打开导气孔时，膛内会有一部分气体从导气孔流出，致使机枪膛压发生改变，通过 Matlab 仿真得出了安装喷管前后膛压变化(如图 2 所示)，并从中找出变化规律。

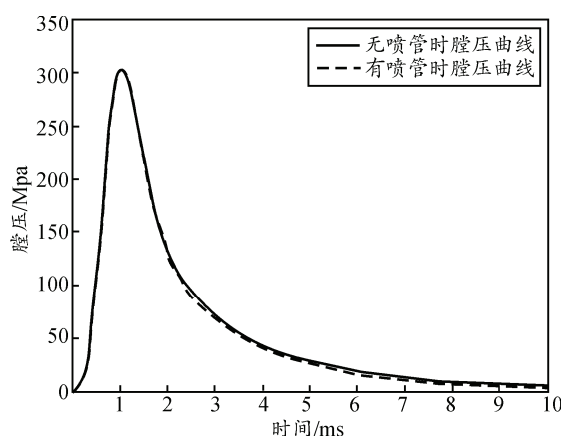


图 2 喷管安装前后膛压变化对比图

由图 2 中曲线对比可知：

- 1) 2 条曲线图在 2 ms 之前相互重合，说明此时喷管内尚无气体流出，弹丸还未运动至喷管处。
- 2) 当时间到达 2 ms 之后，2 条曲线开始分开，是因为此时弹丸运动至喷管气孔，导致喷管打开，喷管向外部喷出气流，从而导致膛压下降，但从图

2 可以看出, 安装喷管后, 其膛压下降很不明显, 几乎与原来膛压相同。

3) 综上所述, 喷管导气孔位置是影响 2 条曲线变化的主要因素, 也是膛压下降幅度的主要因素。

### 2.2 喷管安装前后出膛口速度变化规律

由于安装喷管后膛压发生了改变, 致使弹丸出膛口时的弹底压力相对发生改变, 弹丸出膛口的速度也会相应的发生改变(如图 3)。

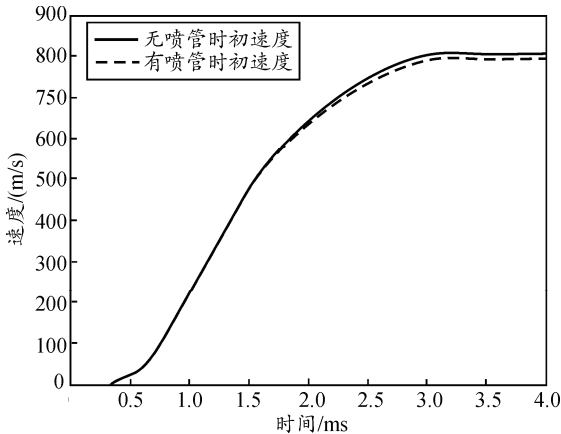


图 3 安装喷管前后初速度对比

由图 3 曲线对比可知:

1) 2 条曲线图在 2 ms 之前相互重合, 说明此时喷管内尚无气体流出, 弹丸还未运动至喷管处。

2) 当时间到达 2 ms 之后, 2 条曲线开始分开, 此时弹丸运动至喷管气孔, 喷管打开, 喷管向外部喷出气流, 从而导致膛压下降和弹底压力下降, 致使弹丸速度下降。但从图 3 可以看出, 安装喷管后, 其初速度下降极小, 仅仅由原来的 815 m/s 下降为 806 m/s。

由图 2、3 可以得出: 在枪口安装喷管会让膛压以及弹丸出膛口的速度下降, 但下降较小, 跟原膛压和原出膛口速度相差无几。

### 3 安装喷管前后枪口振动位移数据分析

考察机枪连发射击密集度时, 射击方式一般采用 4 到 6 发的点射<sup>[6]</sup>, 笔者取 4 发点射作为研究对象, 对整个机枪在安装喷管前后进行 ADMAS 仿真, 以比较安装前后枪口点横向振动位移以及纵向振动位移的变化, 分析数据, 论证安装喷管是否能降低枪口点振动位移。

由图 4 可以看出, 在未安装喷管前, 枪口点振动在平衡位置前后振动, 最大振幅在 8.5 mm 左右, 而且振动较为剧烈, 在安装喷管后枪口点最大振幅

降为 3.5 mm, 较原有振动幅值减小明显, 致使枪口振动位移下降, 提高了机枪的射击密集度。

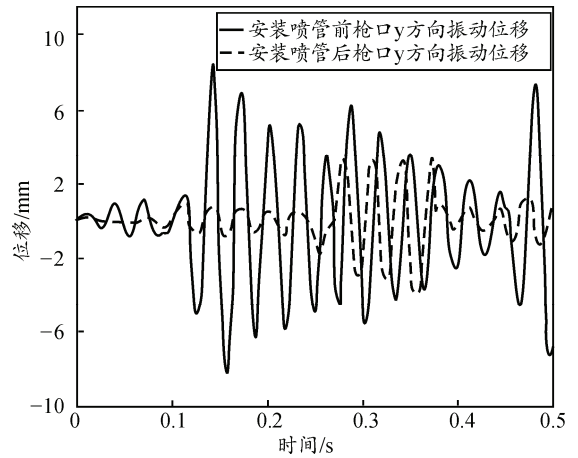


图 4 安装喷管前后枪口高低方向振动比较

由图 5 可以看出: 由于该机枪为枪管短后坐与导气混合式, 所以在安装喷管前, 在水平方向振动位移比较大, 在安装喷管后左右振动变化较为明显, 但水平方向为枪管轴向并不影响枪管的射击密集度。

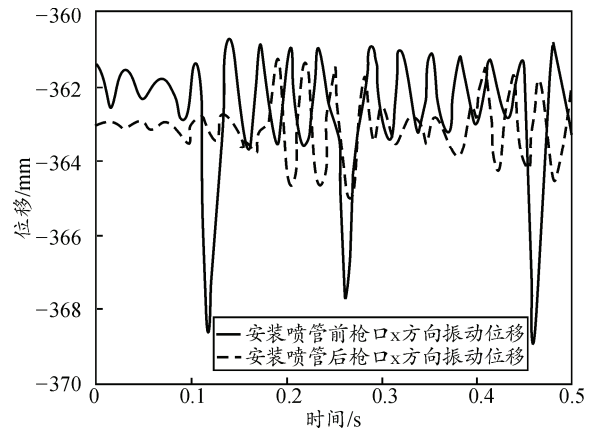


图 5 安装喷管前后枪口水平(左右)振动比较

### 4 安装喷管前后对三脚架振动的影响分析

在建立三脚架仿真模型的过程中应基于以下几条假设<sup>[7]</sup>:

- 1) 机枪(包括枪身、枪架)为一空间刚架结构, 各连接部位均为刚性连接;
- 2) 自动机的运动与机枪的运动无关, 其影响因素以集中质量、惯性力载荷及冲击碰撞的形式计入;
- 3) 非均匀截面的单元采用等效截面、等效惯性矩的方法进行简化。局部结构看作集中质量加在相近的节点上, 非节点集中质量按杠杆原理分配;
- 4) 驻锄板插入土壤中, 在射击的过程中不发生位移和下沉。其与土壤之间的相互作用简化为质量、

弹簧、阻尼系统；

5) 弹簧-液压阻尼器系统在建立模型的过程中简化为质量、弹簧、阻尼系统。

笔者通过建立 ADMAS 刚柔耦合模型，把三脚架作为柔性体来模拟三脚架的振动<sup>[8]</sup>，如图 6、图 7 所示。

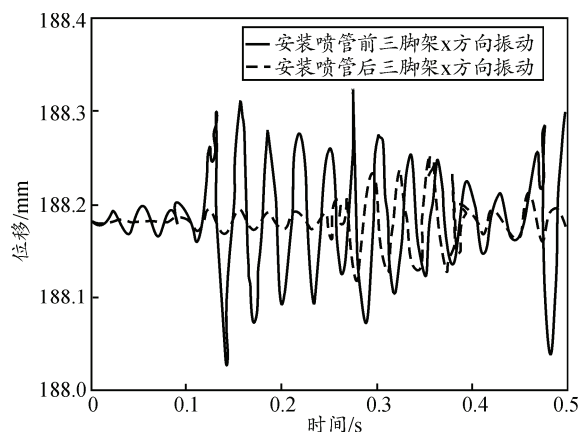


图 6 安装喷管前后三脚架水平方向振动对比

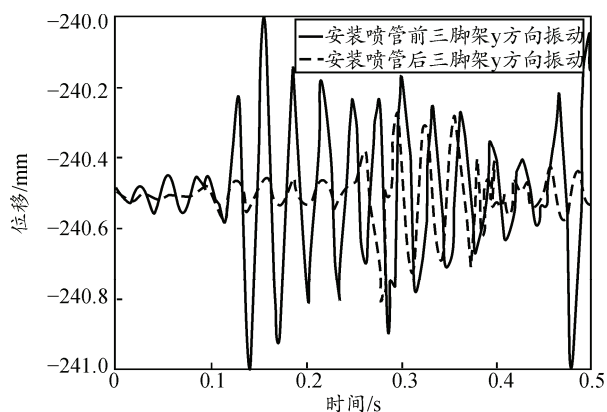


图 7 安装喷管前后三脚架高低方向振动对比

1) 从图 6 可以看出：在连发射击时，三脚架的水平振动规律具有明显的周期性。安装喷管后机枪三脚架的水平移动位移明显小于原枪的三脚架水平移动位移，每发弹出枪口瞬间，三脚架振动更接近平衡位置。这说明射击频率与结构的固有频率有更好的匹配关系，机枪的射向一致性更好，从而提高了武器的射击密集度。

2) 从图 7 可以看出：在连发射击时，三脚架的高低振动位移也具有明显的周期性。安装喷管后三脚架的高低振动位移幅度由原来的 0.4 mm 变为

0.1 mm，明显小于安装喷管前的高低位移，说明三脚架更趋于平衡位置，射击频率与结构的固有频率有更好的匹配关系，提高了武器的射击密集度。

3) 三脚架在安装喷管后其在水平方向和高低方向上的振幅减小，使其振动比原来平缓提高了三脚架的稳定性。

## 5 结束语

笔者建立了该方案的物理模型，分析比较了安装喷管前后内弹道的数据变化，分析了内弹道变化原因，并对该机枪进行运动学仿真模拟，分析枪口振动规律以及该方案对枪口振动的影响，比较喷管在安装前后三脚架振动变化。从仿真算例结果可以得出以下结论：

1) 在安装喷管后，其膛压和弹丸出膛口的速度几乎保持不变，不会对该机枪内弹道产生较大的影响。

2) 安装喷管可有效降低枪口高地方向以及水平的振动，使得射击频率与结构的固有频率能更好地匹配，机枪的射向一致性更好，从而提高了武器的射击密集度。

3) 计算结果表明，造成机枪膛口跳动的主要原因是后坐力造成的枪架变形。减小枪架振动可直接影响膛口跳动，安装喷管可有效防止枪架的变形。

## 参考文献：

- [1] 《机枪系统设计与实践》委会. 12.7 mm 重机枪系统设计与实践[M]. 南京：国防工业出版社，1998：45-53.
- [2] 王瑞林. 大口径机枪动力学特性与射击精度研究[D]. 南京：南京理工大学，2003.
- [3] 金志明，翁春生. 高等内弹道学[M]. 北京：高等教育出版社，2003：90-209.
- [4] 徐诚，王亚平. 火炮与自动武器动力学[M]. 北京：北京理工大学出版社，2006.
- [5] 翁春生，王浩. 计算内弹道学[M]. 北京：国防工业出版社，2006：97-98.
- [6] 戴成勋，等. 自动武器设计新编[M]. 北京：国防工业出版社，1990.
- [7] 陈锦喜，王瑞林，李永建. 某型重机枪刚柔耦合多体系统动力学仿真[J]. 系统仿真学报，2009，21(5)：1492-1494.
- [8] 薛鲁强，隋江波，王贵喜. 舰空导弹武器系统可靠性维修性试验设计[J]. 兵工自动化，2012，31(10)：45-47.