

doi: 10.3969/j.issn.1006-1576.2012.12.004

## 缓冲器对某型遥控武器站炮口扰动的影响

毛保全, 戴东明, 纪兵, 邓威

(装甲兵工程学院兵器工程系, 北京 100072)

**摘要:** 为减小某型遥控武器站连续射击时的炮口扰动, 提高其射击精度, 建立了一种遥控武器站动力学模型, 对其缓冲器进行研究。按照炮身运动环 4 个阶段建立了运动微分方程得到炮身运动诸元以及缓冲簧的受力情况, 并通过三维建模软件 SolidWorks 以及动力学分析软件 RecurDyn, 在缓冲器不同刚度、阻尼和预压力等条件下, 对遥控武器站进行了连续射击的动力学仿真。该研究获得了炮口振动特性曲线, 掌握了缓冲器对武器站连续射击炮口扰动的规律。

**关键词:** 遥控武器站; 缓冲器; 炮口扰动; 多体动力学

**中图分类号:** TJ302 **文献标志码:** A

## Muzzle Disturbance Influence of Buffers on Certain Type Remote Control Weapon Station

Mao Baoquan, Dai Dongming, Ji Bing, Deng Wei

(Department of Weaponry Engineering, Academy of Armored Force Engineering, Beijing 100072, China)

**Abstract:** To reduce the muzzle disturbance of certain type remote weapon station when it continuous shooting and to improve the shooting accuracy, establish a dynamic model of the remote control weapon station and research its buffer. According to the four stages of the gun barrel movement, differential equations of motion for the gun barrel and buffer spring is establish, and use the 3D modeling software SolidWorks and dynamic analysis software RecurDyn to simulation the continuous shooting conditions in different stiffness, damping and pre-pressure of the buffer. Get the weapon muzzle vibration characteristic curve, and find out the influence of buffers on the weapon station.

**Key words:** weapon station; buffers; muzzle disturbance; multi-body dynamics

### 0 引言

遥控武器站<sup>[1]</sup>的武器操作手只需要通过遥控的方式在具有良好防护性能的车体内对目标进行搜索、瞄准和射击, 大大提高了士兵的战场生存能力, 与传统车载武器相比优势明显。武器站主要担负反恐、防暴、维和等低强度作战任务, 用于城市、山地等快速机动作战; 因此, 应具备在快速机动过程中对目标进行连续、精确射击的能力。

某型遥控武器站采用 30 mm 链式自动炮为主要作战武器, 在弹丸出膛的瞬间<sup>[2]</sup>, 炮口的线速度和角速度等炮口参量发生很大变化, 从而严重影响火炮的射击精度。对某型遥控武器站加装缓冲器, 借缓冲器弹性元件变形以减小射击时的炮口扰动, 有利于减小发射时炮架的受力变形, 提高武器站的射击精度。

因此, 笔者运用虚拟样机技术, 通过三维建模软件 SolidWorks 以及动力学分析软件 RecurDyn, 建立了遥控武器站动力学模型, 对不同刚度、阻尼和预压力等条件下的缓冲器对遥控武器站连续射击炮口扰动的规律进行分析。

### 1 缓冲器工作原理分析

缓冲器是将炮身与摇架联接起来, 通过弹性元件的弹性变形而工作的装置。设计合理的缓冲器能够减小炮口扰动、架座受力和振动, 从而提高武器的射击精度。

为使炮身在停射时保持在射前位置, 缓冲器的预压力应能克服炮身在最大射角时的重力作用, 因此, 武器站应采用有预压的双向缓冲器。缓冲器固定在炮身上不动, 以耳环与摇架联结。射击时, 炮身带动连杆一同后座, 使弹簧受压缩。后座到位后, 被压缩的缓冲簧伸张, 推动连杆与炮身复进。复进到位后继续前冲, 缓冲簧拉伸, 拉伸到位后又迫使炮身作返回运动。就这样按后座、复进、前冲、返回 4 个运动阶段周而复始的循环<sup>[3]</sup>。

射击时炮架受力  $F_R$  可用式 (1) 表示:

$$F_R = F \pm F_t = F_1 + kX \pm F_t \quad (1)$$

其中:  $F_1$  为缓冲簧的预压力;  $k$  为缓冲簧刚度;  $X$  为枪身位移;  $F_t$  为炮身在摇架定向滑板上运动时的摩擦阻力。

收稿日期: 2012-06-23; 修回日期: 2012-07-18

作者简介: 毛保全(1965—), 男, 山西人, 博士后, 教授, 从事车载武器论证与总体集成仿真研究。

炮身后座运动微分方程为式 (2):

$$m_1 \frac{dv}{dt} = F_p - F_R \quad (2)$$

式中:  $\frac{dv}{dt}$  为炮身运动加速度;  $F_p$  为后坐力;  $F_R$  为炮架受力。

炮身运动一个循环的 4 个阶段中, 因有缓冲簧力与摩擦力的方向变化, 将  $F_R$  代入式 (2) 可得到不同阶段的运动微分方程, 如式 (3)~(6)。

$$\text{后坐阶段 } m_1 \frac{dv}{dt} = F_p - F_1 - kX - F_r \quad (3)$$

$$\text{复进阶段 } m_1 \frac{dv}{dt} = F_p - F_1 - kX + F_r \quad (4)$$

$$\text{前冲阶段 } m_1 \frac{dv}{dt} = F_p + F_1 + kX + F_r \quad (5)$$

$$\text{返回阶段 } m_1 \frac{dv}{dt} = F_p + F_1 + kX - F_r \quad (6)$$

通过对以上 4 式积分, 即可求出炮身运动诸元以及缓冲簧的受力情况。

## 2 遥控武器站动力学模型的建立

在三维实体建模软件 SolidWorks 中建立遥控武器站三维模型, 其零部件的结构尺寸以及材料属性均遵循设计图纸的标准。而后生成的 \*.x\_t 文件导入动力学仿真软件 RecurDyn 中, 建立动力学模型。

某型遥控武器站虚拟样机拓扑模型及约束如图 1 所示。其中身管与自动机固定, 射击时沿身管轴线作往复运动。观瞄装置、摇架、供弹机通过左右耳轴安装在炮塔上, 沿耳轴线作旋转运动。炮塔与车体相连, 在方向机的作用下作回转运动。

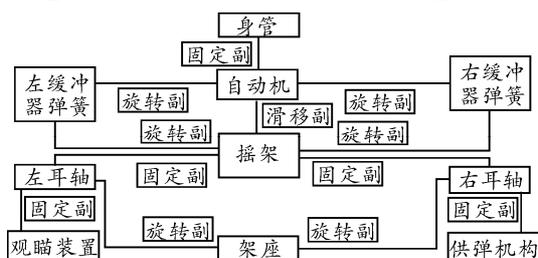


图 1 遥控武器站虚拟样机拓扑模型

缓冲器固定在炮身上不动, 以耳环与摇架联接, 运用平动弹簧阻尼驱动器 (TSDA) 力元件来模拟。缓冲簧的刚度系数、阻尼系数以及预压力根据同类型口径火炮缓冲器的设计参数预定。

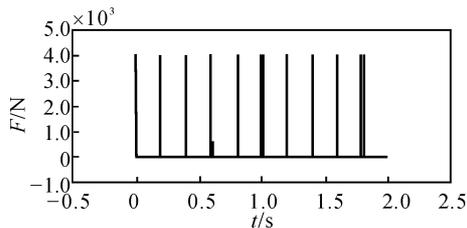


图 2 火炮射击载荷曲线

火炮射击时的冲击载荷通过 spline 曲线进行模拟, 数据来自经过 Matlab 处理后的实弹射击数据。为研究火炮连发过程中缓冲器的性能, 得到连续射击过程中炮口中心的振动曲线, 采用图 2 所示的十连发射击载荷曲线。

## 3 缓冲器性能参数的选取与设置

### 3.1 缓冲器性能参数的选取

影响缓冲器性能的参数主要有缓冲簧的刚度、阻尼系数及预压力。其中缓冲簧的刚度是指缓冲簧产生单位变形所需的载荷, 既载荷增量  $F_R$  与变形增量  $d\lambda$  之比。刚度越大, 缓冲簧在压缩或者拉伸过程中, 单位位移吸收火炮后座或复进的能量就越大, 以达到减小炮身对架座的冲击的目的。根据 30 炮的战技指标, 以及小口径连发武器缓冲簧刚度的经验数据, 取 600, 1 200, 1 800 N/mm 进行模拟仿真。

由于缓冲簧只能吸收或释放炮身振动过程中的能量, 而不能对其进行消耗。因此, 需要阻尼可在火炮射击振动过程中, 对其运动能量进行转化, 逐渐减小炮身的振动幅度。本次仿真对阻尼系数的选定分 2 个阶段: 第一阶段是无阻尼状态, 即 0 N/(m/s) 起; 第二阶段是有阻尼状态, 为 5, 10, 20 N/(m/s)。

某型遥控武器站的射角范围为  $-10^\circ \sim 60^\circ$ , 要求在停射时, 缓冲簧需克服任何射角炮身的重力分量, 使火炮稳定在射前位置; 因此, 一般要求预压力略大于炮身重力。有时为了缩短振动周期, 可适当增加预压力。由于 30 炮炮身与自动机重量共 282 kg, 因此取预压力为 3 000, 6 000, 9 000 N 进行仿真。

### 3.2 缓冲器性能参数的设置

在 RecurDyn 动力学仿真软件中<sup>[4]</sup>, 利用平动弹簧阻尼驱动器 (TSDA) 力元件来模拟, 如图 3 所示。缓冲器前端与炮身固定, 后端与摇架相连, 射击时沿后座方向压缩, 以减小后坐力对炮架的影响。

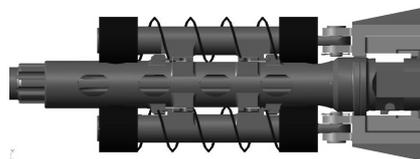


图 3 通过 TSDA 来模拟的缓冲器

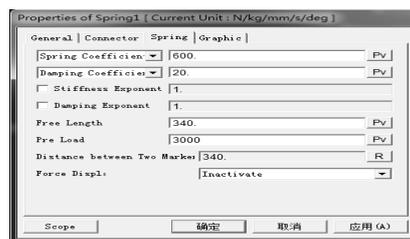


图 4 缓冲器性能参数设置

建立缓冲器动力学模型后，可对缓冲器性能参数进行设置，如图 4 所示，可对缓冲器刚度、阻尼、预压力等进行设置。

### 4 仿真结果与分析

对动力学模型进行静平衡分析后，得知模型共有 10 个链接关系、3 个运动副、2 个弹簧阻尼驱动器和 1 个轴向力，并且在重力作用下可以实现静平衡证明模型可用。图 5、6、7、8 均为在缓冲器不同的性能参数下进行十连发射击，炮口中心呈现的振动曲线。

在缓冲器刚度为 600, 1200, 1800 N/mm 的条件下，对武器站动力学模型进行仿真分析，得到图 5 曲线。在 3 种不同刚度的条件下，得到的炮口振幅分别为 15.77, 14.79, 14.59 mm。同时由曲线可以看出，刚度越大前冲阶段停留的时间就越长。

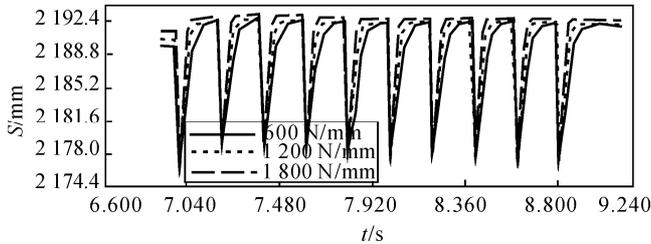


图 5 不同刚度下炮口中心的振动曲线

图 6 和图 7 为不同阻尼条件下，十连发炮口中心的振动曲线。在阻尼为 0 的情况下，振动非常紊乱，毫无规律，这主要是由射击载荷和弹簧作用力的合力所造成的。

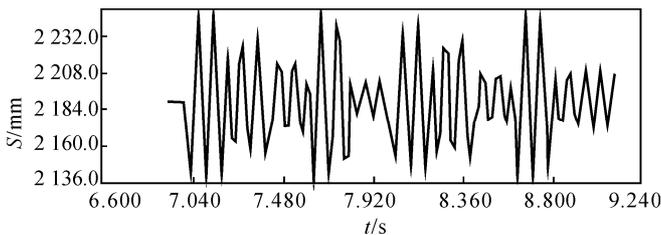


图 6 无阻尼情况下炮口中心的振动曲线

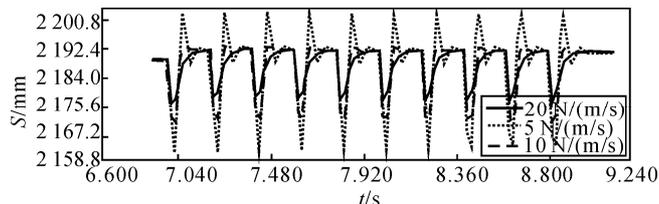


图 7 不同阻尼炮口中心的振动曲线

当加入阻尼后，炮口中心曲线显得十分规律，缓冲簧后座、复进、前冲、返回 4 个阶段在阻尼为 5 N/(m/s) 的时候清晰可见。随着阻尼的逐渐增加，振动曲线会变得越来越平滑，此外，振动幅度减小

明显，阻尼达到 20 N/(m/s)，每次射击时，炮口的振动情况规律，曲线平滑，炮口稳定性较好。

在不同预压力的条件下，炮口的振动情况非常接近，振幅和运动的曲线都基本一致。区别较大的是射击的起始位置，预压力越大，炮口的起始位置越前。

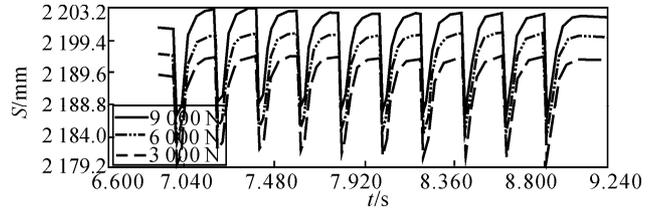


图 8 不同预压力炮口中心的振动曲线

### 5 结论

通过建立某型遥控武器站动力学模型，对遥控武器站进行了连发射击仿真分析。在缓冲器不同的性能参数下时，炮口中心的振动情况呈不同的特点。研究结果表明：

- 1) 缓冲簧刚度越大，炮口中心的振幅越小，且在前冲阶段停留的时间会加长。
- 2) 在无阻尼情况下，炮口中心振动情况十分紊乱；当阻尼逐渐加大时，振动曲线趋于平滑，且振幅减小明显。
- 3) 预压力的改变对振幅的影响不大，为安装缓冲器更加简便，预压力只需克服任意射角炮身的重力分量即可。

### 6 结束语

实验结果表明：为减小射击时炮口的振动而采取的增大弹簧刚度或阻尼的办法，对于预压力的改变影响不大。但是，过度增大弹簧和阻尼，理论上炮口的振动会越变越小，但会使缓冲器的作用减弱，最终退化成为一个刚体，使后座冲量变大，对炮架和耳轴造成更严重疲劳损伤。下一步，要对炮架作柔性体处理，结合缓冲器性能参数，进行应力应变分析，找出一个既能减小炮口的振动，又能减小炮架受力变形的方案。

### 参考文献：

- [1] 毛保全, 王传有. 某型遥控武器站射击密集度仿真与优化[J]. 装甲兵工程学院院报, 2010(4): 36-40.
- [2] 毛保全. 车载武器发射动力学[M]. 北京: 国防工业出版社, 2010(8): 41-44.
- [3] 申正宾. 自动武器架座设计[M]. 北京: 国防工业出版社, 1988(7): 57-65.
- [4] 焦晓娟, 等. RecurDyn 多体系统优化仿真技术[M]. 北京: 清华大学出版社, 2010(12): 171-175.