

doi: 10.7690/bgzdh.2020.05.009

某小型遥控武器站发射动力学仿真

胡晟荣, 张瑞洁, 沈嫣秋

(南京理工大学机械工程学院, 南京 210094)

摘要: 为得到遥控武器站精度较好的工况, 对小型遥控武器站进行发射动力学分析。将搭建小型遥控武器站的 3 维模型导入 ADAMS 软件中, 进行发射动力学仿真。在 ADAMS 软件中建立小型遥控武器站的刚柔耦合动力学虚拟样机模型。在 3 种不同姿态下进行单发和三连发 2 种不同工况下, 对小型遥控武器站进行仿真模拟。结果表明: 其射击精度与发射时的姿态存在明显关系, 其俯仰角度越大, 精度越差。该研究对遥控武器站的设计研发和性能评价提供一定的参考。

关键词: 遥控武器站; 无人化; 发射动力学; 仿真分析

中图分类号: TJ2; TP391 **文献标志码:** A

Dynamic Simulation of Certain Type Small Remote Control Weapon Station

Hu Shengrong, Zhang Ruijie, Shen Yanqiu

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

Abstract: In order to obtain the relatively high precision of the remote control weapon station, the launch dynamics analysis for small remote control weapon station is carried out. The 3D model of a small remote control weapon station is imported into ADAMS software to simulate the emission dynamics. In ADAMS software, a prototype of the soft-coupled dynamics virtual prototype of a small remote control weapon station is established. In 3 different attitudes, the small remote control weapon station is simulated under 2 different operating conditions, including single and three rounds. The results show that there is a clear relationship between its shooting accuracy and the attitude of the launch, and the larger the pitch angle, the worse the accuracy. This study provides some reference for the design, development and performance evaluation of remote control weapon station.

Keywords: remote control weapon station (RCWS); unmanned; firing dynamics; simulation analysis

0 引言

遥控武器站可配置多种武器和不同组合的火力控制系统, 是具备目标搜索、识别、跟踪、瞄准和行进间稳定射击的武器系统^[1-3]。对于遥控武器站的结构以及射击时的发射动力学响应, 国内外都有诸多研究。例如: 搭载在小型地面移动平台的遥控武器站^[4]、搭载 12.7 mm 机枪遥控武器站的滑模控制^[5]、遥控武器站的动力学分析研究^[6], 以及遥控武器站的控制问题^[7]等。

将建立的 3 维模型简化后导入 ADAMS 软件, 在完成设置参数和施加载荷及约束后, 可以得到遥控武器站的虚拟样机^[8]。针对遥控武器站的射击精度问题, 在综合考虑遥控武器站射击精度影响因素的基础上, 为了更逼真地模拟实际物体的情况, 引进柔性体, 建立了刚柔耦合模型^[9-10]。

笔者通过在 ADAMS 软件中建立虚拟样机, 对小型遥控武器站在不同工况进行发射动力学仿真。

获得在不同工况下的位移曲线, 进而得到使得遥控武器站精度较好的工况。

1 建立虚拟样机模型

1.1 建立 3 维模型

小型遥控武器站的发射动力学分析采用虚拟样机技术, 将之前建立的 3 维模型, 导入 ADAMS 软件中, 对其进行仿真分析。仿真是为了预测和描述在已知输入的前提下, 尽可能地预测即将完成的动作, 因此, 模型应当尽可能贴近原实物^[11]。

使用 Solidworks2015 3 维制图软件建立了小型遥控武器站的 3 维模型。为了适当简化计算, 对小型遥控武器站的模型做了简化处理。简化过程包括对模型外形进行简化, 去除不必要的部分, 保留需要分析的关键零件。此外将去除的零件进行配重调整, 在减少仿真计算量的同时, 能够保证其整体的重心和质量与实际情况大致相符。

为建立虚拟样机的过程作出假设如下:

收稿日期: 2020-01-09; 修回日期: 2020-02-23

作者简介: 胡晟荣(1997—), 男, 福建人, 学士, 从事武器系统与工程-自动武器研究。E-mail: 2428304940@qq.com。

1) 简化 85 式冲锋枪在射击自动循环过程中的自动机运动, 只考虑枪机在火药燃气压力作用下的运动。

2) 忽略 85 式冲锋枪中不运动部件之间的材料差异, 将其视作统一刚体, 根据实际的体积和总质量, 由密度公式可以计算出对应的等效密度, 将其看作刚体所具有的密度, 并赋予材料特性中。

3) 假设 85 式冲锋枪外壳上由于夹持或者其他情况产生的微小形变均忽略不计, 视为刚体。只对小型遥控武器站的重要零件做柔性化处理, 侧重研究其形变。

4) 仿真时所有的运动机构和缓冲机构采用对应的运动副来替代。

5) 小型遥控武器站上所使用的各种电子元器件, 只保留其外形尺寸大小。通过后续添加质量, 调节重心位置与实际测量结果相符合。

简化后的 3 维建模如图 1 所示。其中各个零件已赋予相应材料属性, 外观为默认颜色。将底板零件作为“地面”。

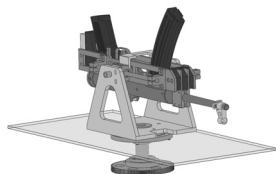


图 1 简化后小型遥控武器站 3 维模型

1.2 仿真参数设置

ADAMS 自动识别在 Solidworks2015 中设置好的零件材料参数, 其中 45 钢的弹性模量为 $E=210\ 000\ \text{N/mm}^2$, 泊松比为 $\lambda=0.28$, 密度 $\rho=7\ 830\ \text{kg/m}^3$ 。铝合金的弹性模量为 $E=69\ 000\ \text{N/mm}^2$, 泊松比为 $\lambda=0.33$, 密度 $\rho=2\ 700\ \text{kg/m}^3$ 。

设置单位制为 MMKS, 长度单位为 mm, 质量单位为 kg, 力单位为 N, 时间单位为 s, 角度单位为($^\circ$), 频率单位为 Hz。工作栅格间隔为 $10\ \text{mm}\times 10\ \text{mm}$, 尺寸为 $750\ \text{mm}\times 500\ \text{mm}$ 。设置重力加速度为 $9.806\ 65\ \text{m/s}^2$ 。

该模型设置的运动副有:

1) 固定副: 夹持机构零件之间的固定, 回装轴承与底板之间的固定, 以及各种通过螺丝连接配合的零件也设置为固定连接, 视为没有相对位移。

2) 移动副: 直线轴承设置为沿着硬轴方向平行移动, 85 式冲锋枪在夹持机构中平移运动, 与前后限位块刚性接触。

3) 转动副: 各个轴孔之间均设置为转动副。

小型遥控武器站缓冲机构采用弹簧加橡胶垫圈组成。橡胶垫圈兼具有弹簧和阻尼的作用。弹簧的刚度系数为 $20\ \text{N/mm}$, 阻尼为 $0.05\ \text{N}\cdot\text{s/mm}$, 预载荷为 $50\ \text{N}$ 。橡胶刚度系数为 $10\ \text{N/mm}$, 阻尼为 $0.2\ \text{N}\cdot\text{s/mm}$ 。

1.3 关重件柔性化

对武器云台的关重件进行柔性化处理, 建立刚柔耦合模型。对关重件进行柔性化后, 可在确保模型可靠的情况下, 忽略一些不必要的因素。同时, 减少仿真过程中的计算量, 使得仿真效率得到提高。可着重验证关武器云台重件在动态冲击下的响应情况以及可靠性。使用自带的 ADAMS/Auto Flex 模块, 直接在 ADAMS/View 中建立柔性体文件 MNF 文件, 替换原有的刚体文件^[12]。

主要对武器云台的俯仰基座、传动轴和夹持机构的夹板进行柔性化处理。其余部件为刚体。柔性化后的情况如图 2 所示。该软件的柔性化可以自动替换原刚体零件, 新的柔性体在原名字后方添加“_flex”。

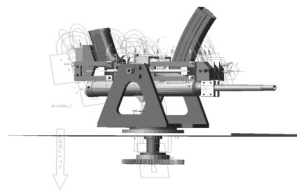


图 2 设置完仿真参数后虚拟样机

1.4 加载载荷

小型遥控武器站所搭载的武器为 85 式冲锋枪, 其后坐方式为自由枪机式。对于自由枪机式武器, 枪管固接在枪身上, 枪机相对于枪管运动。如图 3 所示, 以膛底压力作为载荷, 通过计算可以得到其发射过程中的膛压载荷曲线, 并将得到的膛压曲线导入 ADAMS。

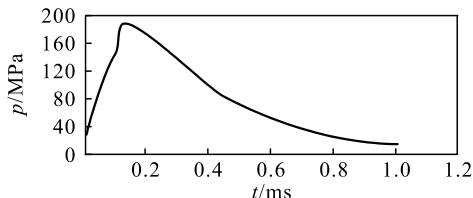


图 3 膛压曲线载荷

1.5 模型验证

在建模完成后需要对模型进行验证, 查看是否存在模型错误以及冗余约束。如果存在过约束, 则会影响仿真精度甚至导致仿真失败。通过验证结果可以看出, 该模型正确可信。模型验证结果如图 4

所示。

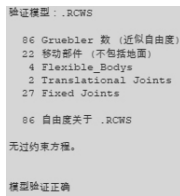


图 4 模型验证结果

2 平射时发射动力学分析

平射状态如图 5 所示。由图 6(a)可以看出：开火后在后坐力的作用下，85 式冲锋枪和夹持机构迅速后退，最大位移量约为 4 mm，在缓冲簧的作用下开始复进，最大位移量约为 6.5 mm，而后逐渐恢复到静止状态，用时约为 0.05 s；停止运动后仍有 1 mm 左右的残余量，且随着射击次数的增加而累加。可能原因为：仿真前的瞬间并不是唯一的静态位置，因为零件之间存在间隙，导致动能消失之后，在另一个位置处于静止状态；或者由于射击导致枪口上抬，姿态发生改变导致的。

由图 6(b)可以看出：在初次发射时，产生剧烈振动，而后逐渐减弱，0.05 s 时恢复稳定，之后在 0.086 s 时发射第 2 发，0.17 s 时发射第 3 发。后 2 发发射时，枪口沿原方向上下振动，持续时间为 0.03 s，位移最大值为 0.17 mm，峰值为 0.1 mm。

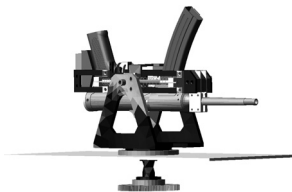
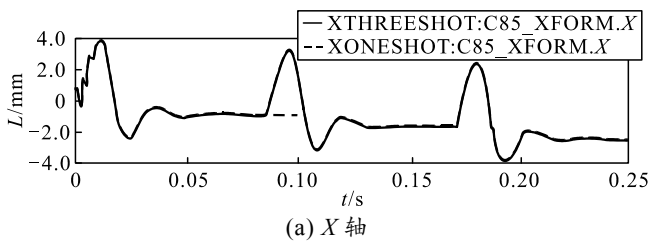
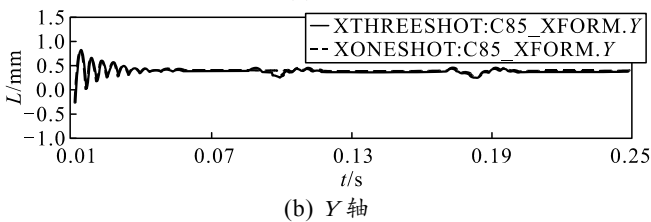


图 5 平射状态



(a) X 轴



(b) Y 轴

图 6 位移曲线

3 30°仰角时发射动力学分析

30°仰角如图 7 所示。由图 8(a)可以看出：开火

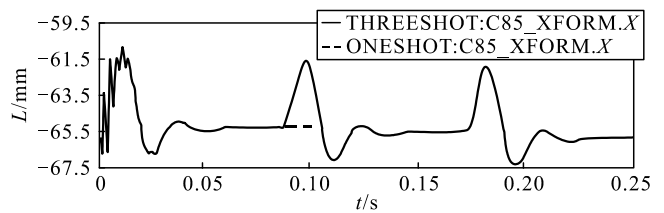
后在后坐力的作用下，85 式冲锋枪和夹持机构迅速后退，最大位移量约为 3.7 mm，在缓冲簧的作用下开始复进，最大位移量约为 5.4 mm，而后逐渐恢复到静止状态，用时约为 0.05 s。可以看出，停止运动后仍有 0.5 mm 左右的残余量。

由图 8(b)可以看出：在初次发射时，产生剧烈振动，而后逐渐减弱 0.06 s 时恢复稳定，之后在 0.086 s 时发射第 2 发，0.17 s 时发射第 3 发。后 2 发发射时，枪口沿原方向上下振动，持续时间为 0.06 s，位移最大值为 2 mm，峰值为 3 mm。且运动后仍有 0.2 mm 左右的残余量。

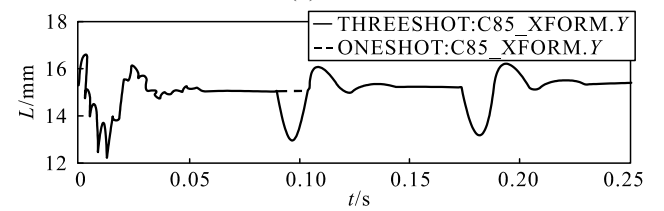
与平射时相比，30°仰角发射在 Y 轴方向上的振动明显增加，并且出现运动后的残余量。这是因为枪械和夹持机构旋转而出现 Y 轴方向上的分力导致的。



图 7 30°仰角



(a) X 轴



(b) Y 轴

图 8 位移曲线

4 10°俯角时发射动力学分析

10°俯角如图 9 所示。由图 10(a)可以看出：开火后在后坐力的作用下，85 式冲锋枪和夹持机构迅速后退，最大位移量约为 4 mm，在缓冲簧的作用下开始复进，最大位移量约为 6.3 mm，而后逐渐恢复到静止状态用时约为 0.05 s。可以看出，停止运动后仍有 0.6 mm 左右的残余量。

由图 10(b)可以看出：在初次发射时产生剧烈振动，而后逐渐减弱 0.06 s 时恢复稳定，然后在 0.086 s 时发射第 2 发，0.17 s 时发射第 3 发。后 2 发发射

时, 枪口沿原方向上下振动, 持续时间为 0.05 s, 位移最大值为 0.78 mm, 峰值为 0.5 mm。且运动后仍有 0.1 mm 左右的残余量。

与平射时相比, 10°仰角发射在 Y 轴方向上的振动明显增加, 并且出现运动后的残余量。这是因为枪械和夹持机构旋转而出现 Y 轴方向上的分力导致的。

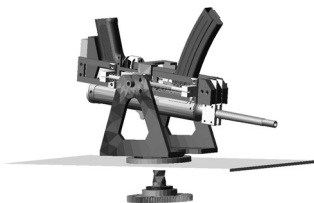


图 9 10°俯角

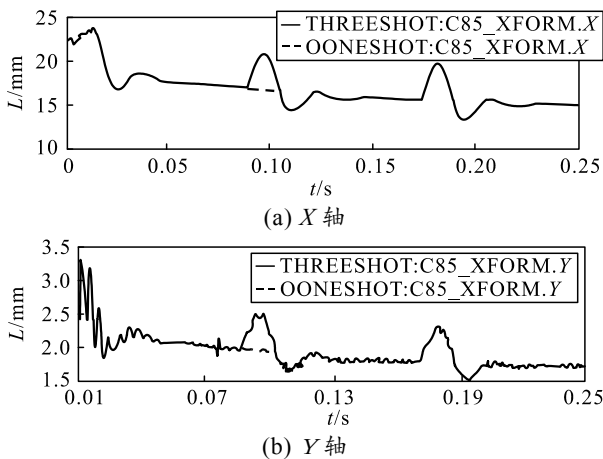


图 10 位移曲线

5 结束语

比较仿真结果发现, 在平射姿态时 Y 轴的位移最小。这是因为在平射姿态下 Y 轴上的分力最小, 只有射击造成枪口上抬导致姿态改变而产生的沿 Y 轴的分力。X 轴的位移, 是后坐力沿 X 轴方向的分力引起, 在缓冲机构的作用下, 进行有阻尼振动。

影响武器射击精度的主要因素是在其射击轴线垂直方向的运动。在该仿真模型中, 射击轴线方向为 X 轴, Z 轴方向固定, 无法左右摆动, 则对精度影响最大的只有 Y 轴上的位移, 即枪口的上下跳动。通过对比平射、30°仰角和 10°俯角 3 种不同姿态下的 Y 轴位移可知: 平射时 Y 轴方向的最大位移为 0.17 mm, 30°仰角时 Y 轴方向的最大位移为 2 mm, 10°俯角时 Y 轴方向的最大位移为 0.28 mm。平射时的枪口跳动最小, 而 30°仰角时枪口跳动最大, 但都在允许的范围内, 小型遥控武器站的整体精度能够得到保证。

此外, 在进行发射动力学仿真时发现, 枪械和

夹持机构在运动停止后会存在运动残余量, 并且随着射击次数的增加而累加。推断有可能的原因主要有 2 个: 1) 仿真前的瞬间并不是唯一的静态位置, 因为零件之间存在间隙, 导致动能消失之后, 在另一个位置处于静止状态; 2) 由于射击导致枪口上抬, 姿态发生改变导致的。

为了减少运动残余量, 可以通过设计补偿机构来消除由运动残余量产生的误差, 进而提高射击精度。

参考文献:

- [1] 李辉. 某车载遥控武器站的初步研究[D]. 南京: 南京理工大学, 2009: 1-10.
- [2] 王传有, 毛保全, 金敬强, 等. 遥控武器站结构形式对武器性能影响[J]. 火力与指挥控制, 2014, 39(5): 52-54, 59.
- [3] 孙浩天. 某小型无人车载狙击系统设计与分析[D]. 南京: 南京理工大学, 2018: 1-4.
- [4] RIJANTO E, SAPUTRA H M, MIRDANIES M. Recent results of robotics R & D in the Indonesian Institute of Sciences: Mobile robot, articulated robot, pan tilt mechanism, and object recognition[C]. International Conference on Advanced Mechatronics. IEEE, 2016: 167-172.
- [5] KRISTIAN H, NURHADI H, PRAMUJATI B. Sliding mode control as controller for remote control weapon station 12.7mm (RCWS)[C]. 2017 International Conference on Advanced Mechatronics, Intelligent Manufacture, and Industrial Automation(ICAMIMIA), 2017: 229-231.
- [6] 周陈霞. 某轻型武装机器人枪塔动力学特性分析研究[D]. 南京: 南京理工大学, 2011: 39-44.
- [7] CHANG H, SHIH T. Visual servo control of a three degree of freedom robotic arm system[C]. 2008 IEEE Workshop on Advanced robotics and Its Social Impacts, 2008: 1-6.
- [8] 李召宝. 某遥控机枪枪塔的动力学仿真与有限元分析[D]. 南京: 南京理工大学, 2009: 44-49.
- [9] 毛保全, 王传有, 邵毅, 等. 某型遥控武器站射击密集度仿真与优化[J]. 装甲兵工程学院学报, 2010, 24(2): 36-40.
- [10] 杨文青. 轻型遥控武器站弹性架座对枪口跳动影响分析[D]. 南京: 南京理工大学, 2015: 6-30.
- [11] 孙浩天. 某小型无人车载狙击系统设计与分析[D]. 南京: 南京理工大学, 2018: 21-49.
- [12] 郭卫东, 李守忠. 虚拟样机技术与 ADAMS 应用实例教程[M]. 北京: 北京航空航天大学出版社, 2018: 143-164.
- [13] 倪进峰, 徐诚, 王亚平. 基于虚拟样机技术的自动武器数值仿真[J]. 南京理工大学学报(自然科学版), 2005(4): 430-432, 445.