

doi: 10.7690/bgzd.2014.10.015

射速对顶置武器站连发精度的影响

毛保全, 胡涛, 吴永亮, 邓威, 冯帅

(装甲兵工程学院兵器工程系, 北京 100072)

摘要: 为获得射速对某型顶置武器站连续射击精度的影响规律, 分析射速对武器站连续射击炮口扰动的影响规律。运用虚拟样机技术, 借助三维建模软件 SolidWorks 以及动力学分析软件 RecurDyn, 建立了路、车、炮一体化动力学模型, 并对车载顶置武器站在不同射速的条件下分别进行了停止间和行进间连续射击的动力学仿真。仿真结果表明: 通过分析武器站炮口振动特性的曲线, 得到了不同射速下炮口振动特性规律, 可为国内顶置武器站的研制设计和改进升级提供理论借鉴和技术参考。

关键词: 武器站; 虚拟样机; 射速; 连发精度

中图分类号: TJ810⁺.37 **文献标志码:** A

Influence of Firing Rates on Overhead Weapon Station's Continuous Shooting Precision

Mao Baoquan, Hu Tao, Wu Yongliang, Deng Wei, Feng Shuai

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

Abstract: In order to obtain the influence law of the firing rate on a certain type of overhead weapon station's continuous shooting precision, analyzed the influence of firing rate for weapon station continuous shooting muzzle disturbance. Through used the virtual prototyping technology, with three-dimensional modeling software SolidWorks and dynamic analysis software RecurDyn, built the road, vehicle, guns integrated dynamic model. Carry out the dynamics simulation of the overhead weapon station for the continuous firing at different firing rates under conditions of stopping and moving. The simulation results show that by analyzing the muzzle vibration characteristics curve of weapon station, obtain the muzzle vibration characteristics law under different rate of fire, it provides theoretic and technological reference of domestic overhead weapon stations for its development design and modification upgrade.

Keywords: weapon stations; virtual prototyping; firing rate; continuous shooting precision

0 引言

近年来, 顶置武器站作为一种新型车载武器系统在国内外引起广泛重视, 并逐渐成为武器领域的研究热点, 在各国军队中得到了迅速发展和应用。与传统车载武器相比, 武器站操作手在装甲车内即可完成对目标的搜索、瞄准和射击, 而不必将身体探出车外, 从而有效避免了敌人的打击, 极大地提高了乘员的战场生存能力^[1]。武器站主要用于满足城市、山地、丛林等复杂环境的作战需求, 需要具备在行进间对目标实施连续、精确射击的能力。

射速是指自动武器在单位时间内能够发射炮弹的数量^[2], 射速的高低会对下一发弹药发射的初始状态产生不同程度的影响。某型顶置武器站采用 30 mm 链式自动炮为主要作战武器, 射击时, 在不同的射速下弹丸出膛口的瞬间^[2], 炮口的位移和速度等参量发生很大变化, 严重影响火炮的射击精度。

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, 建立了路、车、炮一体化动力学模型, 并进行动力学仿真分析。

1 建立路、车、炮整体发射动力学模型

要进行顶置武器站在行进间的发射动力学仿真分析, 得到 30 炮炮口振动特性曲线, 需建立路面模型、车辆底盘模型和武器站模型, 后将这 3 大模型导入到动力学仿真软件 RecurDyn 中生成发射动力学模型^[3], 再添加约束, 施加载荷, 进行仿真分析。

1.1 建立顶置武器站动力学模型

在三维实体建模软件 SolidWorks 中建立顶置武器站三维模型, 并生成*.x_t 文件, 将该类型文件导入到 RecurDyn 中, 建立武器站的动力学模型。

某型顶置武器站的虚拟样机拓扑模型以及各构件之间的约束如图 1 所示。身管与自动机采用固定副连接, 观瞄装置和供弹机构分别安装在炮塔的左

收稿日期: 2014-05-12; 修回日期: 2014-07-10

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。

右 2 个耳轴上。

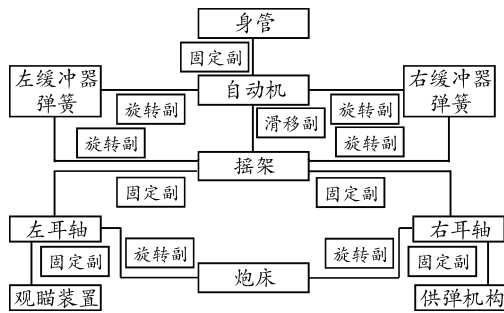


图 1 顶置武器站虚拟样机的拓扑模型

利用平动弹簧阻尼驱动器 (TSDA) 力元件模拟安装在自动机前侧左右两边的缓冲簧，设置缓冲簧的性能参数。采用经过 Matlab 拟合处理的实弹射击数据，利用 spline 曲线模拟武器站射击时产生的冲击载荷。武器站的设计射速为 300 发/min，武器操作手可根据战场实际情况对射速进行调节，笔者采用 300、200、100 发/min 3 种射速开展仿真研究和对比分析。图 2 为射速为 300 发/min 时十连发射击载荷曲线。

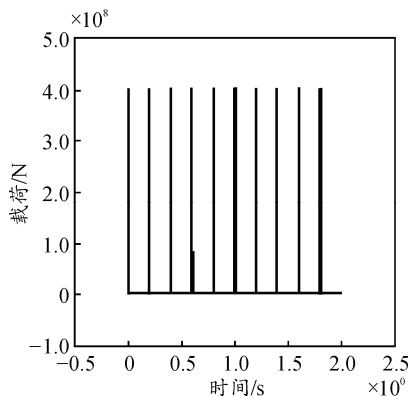


图 2 火炮射击载荷曲线

1.2 建立车辆底盘动力学模型

底盘部分由车体和履带子系统组成。履带子系统^[3]主要包括负重轮、主动轮、诱导轮、拖带轮和悬挂装置 5 个部分。每侧履带环子系统有 96 块履带板，这些履带板相互之间通过履带端连接器连接，构成封闭的环状结构。在车体的左右两侧分别包括 5 个负重轮、1 个主动轮、1 个诱导轮、3 个拖带轮以及 5 个平衡肘。

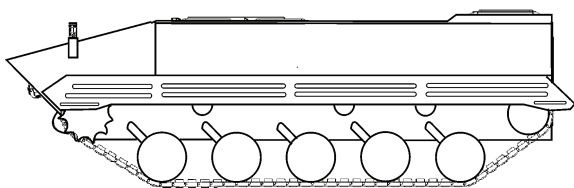


图 3 车辆底盘的动力学模型

在车辆底盘的虚拟样机中主动轮前置，负重轮采用双轮缘式，履带采用双销式；采用油气悬挂系统，利用转动弹簧阻尼驱动器 (RSDA) 力元件在虚拟样机中模拟实现悬挂系统的刚度和阻尼特性。负重轮和车体之间采用平衡肘连接。根据工程设计图纸确定虚拟样机中履带板实体建模参数，对于其他不能直接得到的参数，则依据经验值的范围通过不断调整最终确定。建立的车辆底盘虚拟样机模型如图 3 所示。

在车辆底盘虚拟样机中，车体、履带板等各个组成部分之间的约束关系如表 1 所示。

表 1 车辆底盘虚拟样机模型部件及约束关系

名称	数量	约束	备注
车体	1	平面	同地面
主动轮	2	旋转铰	同车体
诱导轮	2	旋转铰	同车体
托带轮	6	旋转铰	同车体
负重轮	10	旋转铰	同车体
履带板	192	轴套	履带板间

1.3 建立路面模型

建立路面特性模型时，既要考虑到路面不平度的影响，又要考虑到路面材质的影响。根据国标 GB 7031—86《车辆振动输入—路面平度表示方法》^[4]，如表 1，用路面不平度系数可将路面分为 A~F 共 8 个等级，为降低路面对炮口振动特性的影响，同时又能虚拟真实路面的状况。笔者利用谐波叠加法拟合 A 级路面的路面不平度，模型局部图如图 4。

表 2 国标中 A 级路面的不平度系数

路面等级	$G_d(n_0) \times 10^{-6} \text{ m}^2 / \text{m}^{-1} (\Omega_0 = 0.1 \text{c} / \text{m})$		
	下限	几何平均值	上限
A	8	16	32

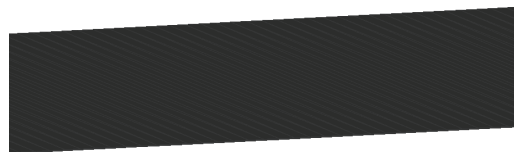


图 4 A 级路面模型局部图

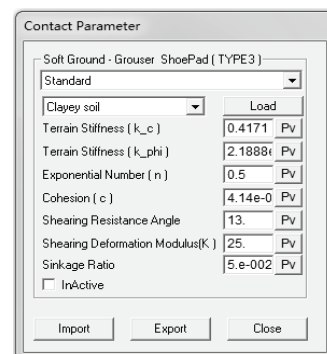


图 5 路面材质设置界面

路面材质可分为干沙、粘土、柏油、雪地等路面，在 RecurDyn 动力学仿真软件中有可进行对应的设置，本次仿真采用粘土这一常用的路面材质进行仿真研究。履带与路面之间的碰撞参数决定了接触压力，路面材质^[4]在履带子系统进行定义，路面材质设置界面如图 5。

1.4 路、车、炮模型耦合

路面模型、车辆底盘模型和武器站模型三者之间的接触关系是模型耦合的关键所在。路面模型和车辆底盘模型之间耦合，需要对车体履带子系统和路面文件之间的接触特性进行定义，使路面激励能够传递到车辆底盘；武器站模型与车辆底盘之间的耦合通过采用旋转副连接实现^[5]。在车载顶置武器站行进过程中，路面产生的激励传递到武器站炮口影响炮口振动特性的路线如图 6 所示。

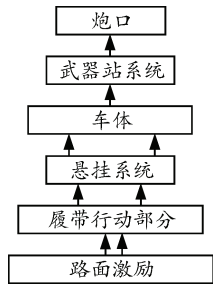


图 6 路面激励传递路线

2 仿真结果

在进行动力学分析之前，可以通过静平衡位置分析对模型进行验证，检验模型初始条件和约束条件等是否正确。在只受自身重力作用的条件下，让车载顶置武器站动力学模型自然落在水平地面上，如图 7 所示，为车体质心在垂直方向的位置变化曲线。由图中曲线变化可知，模型落在水平地面上，车体质心在垂直方向位置开始时上下振动，但大约过了 2 s 后质心位置不再发生变化，这说明所建立的发射动力学模型有效。

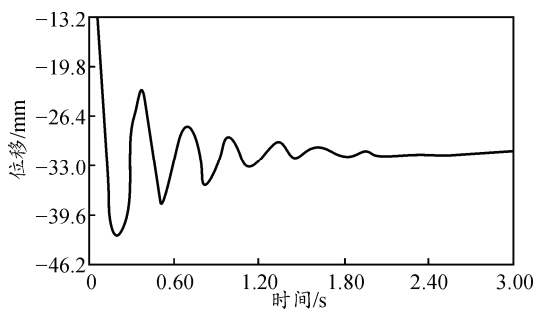


图 7 车体质心垂向位置变化曲线

图 8~图 10 分别是顶置武器站在车体停止条件

下实施连发射击，炮口中心的垂直振动曲线。

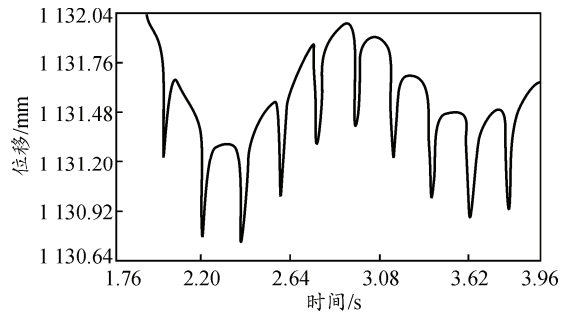


图 8 射速为 300 发/min 时炮口中心位移曲线

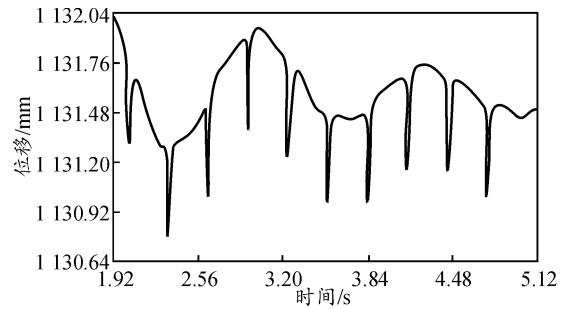


图 9 射速为 200 发/min 时炮口中心位移曲线

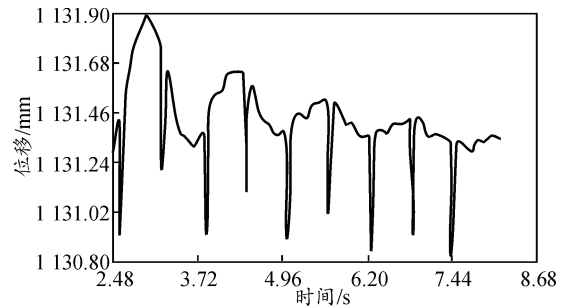


图 10 射速为 100 发/min 时炮口中心位移曲线

从停止间十连发射击炮口中心位移曲线中可以看出：300 发/min、200 发/min 2 种射速的曲线均有明显的波动现象，其波动的主要原因是车体的俯仰运动，而射速为 100 发/min 位移曲线的中后段则显得非常有规律，说明射击后坐力与车体的振动达到了一个相对平衡的状态。影响弹丸初始状态的因素除了炮口位移外，还有速度，下面进行速度曲线的分析^[5]。

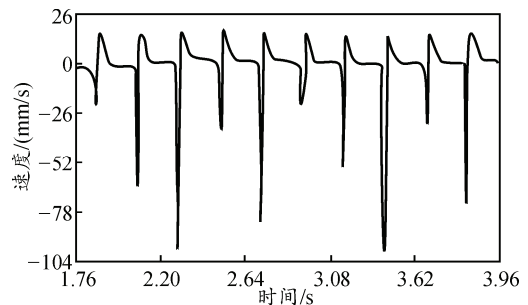


图 11 射速为 300 发/min 时炮口中心速度曲线

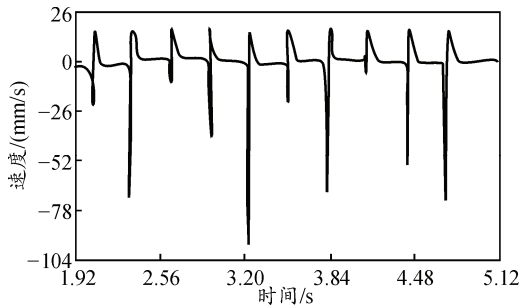


图 12 射速为 200 发/min 时炮口中心速度曲线

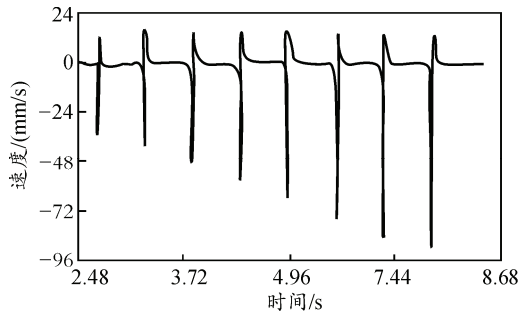


图 13 射速为 100 发/min 时炮口中心速度曲线

图 11~图 13 为不同射速的炮口中心速度曲线,比较可知,射速 100 发/min 时,速度曲线十分有规律,在前几发时,速度分量较小,之后逐渐增大。表 3 为曲线振幅的对比,可以看到停止间射击时,曲线总体的振动幅度差异不大。

表 3 不同射速下炮口中心振动曲线振幅

振动特性参数	射速		
	100 发/min	200 发/min	300 发/min
位移/mm	1.02	1.29	1.29
速度/(mm/s)	58.3	60.3	60.5

为开展行进间射击研究,需要对履带系统的主动路添加驱动函数,设定为:

$$\text{STEP}(\text{TIME},0,0,5,720d)$$

该运动函数表示从 0 s 开始,整车开始运动并加速,到时间为 5 s 时,整车速度达到 10 km/h。仿真结果如图 14~图 16 所示。

从位移曲线可见:行进间射击受路面条件的影响较大,炮口中心位移曲线不具有明显的规律性。

从速度图 17~图 19 曲线图可以看出,炮口中心的速度分量同样受到路面激励的影响。

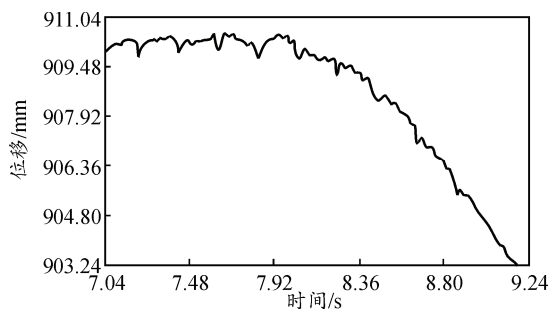


图 14 射速为 300 发/min 时炮口中心位移曲线

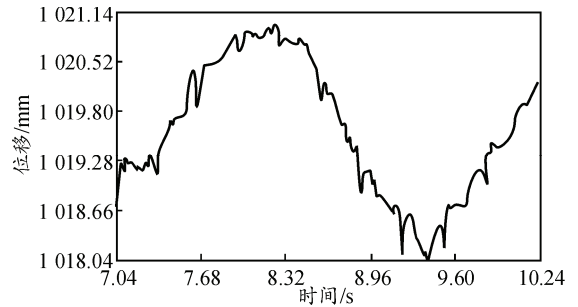


图 15 射速为 200 发/min 时炮口中心位移曲线

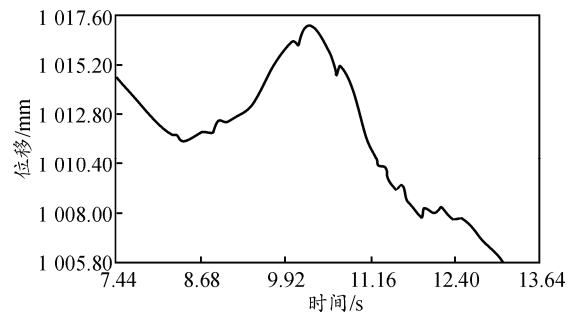


图 16 射速为 100 发/min 时炮口中心位移曲线

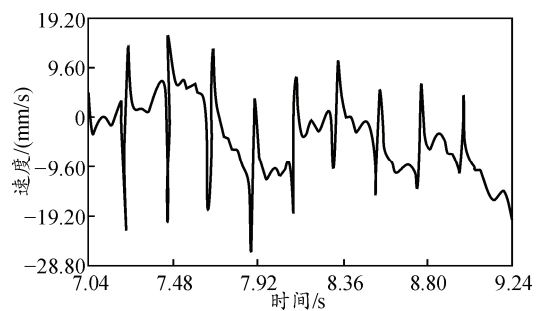


图 17 射速为 300 发/min 时炮口中心速度曲线

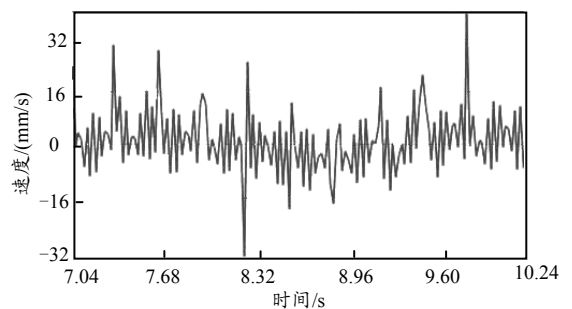


图 18 射速为 200 发/min 时炮口中心速度曲线

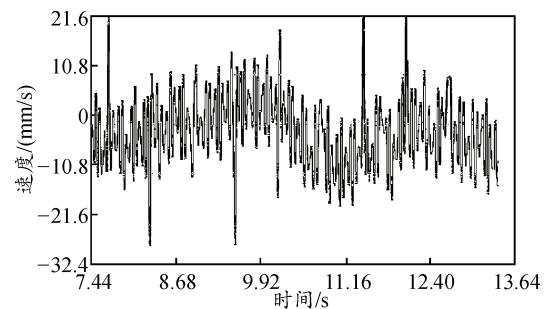


图 19 射速为 100 发/min 时炮口中心速度曲线