

# 火炮行进间射击动态参数测试与数据分析

白力强<sup>1</sup> 王士学<sup>1</sup> 王磊<sup>2</sup> 苏忠亭<sup>2</sup>

(1. 石家庄陆军指挥学院 石家庄 050084; 2. 装甲兵工程学院 北京 100072)

**摘要:** 针对火炮行进间射击过程中动态测试实施困难的问题,应用 DH5902 坚固型动态数据采集系统搭建了车载便携式数据采集平台,并应用 LabVIEW 软件对测试数据进行了时域与频域分析。首先分析了火炮行进间射击过程中的待测参数,选用相应传感器建立了测试方案。将 DH5902 数据采集仪中存储的测试数据导入计算机硬盘,应用 LabVIEW 软件建立相应的消除趋势项与滤波处理程序,对测试数据进行了预处理,并对处理后的数据进行了时域与频域分析,获取了火炮关键部件的振动特性。分析结果可为装备可靠性设计与校核提供指导,并为火炮行进间射击精度分析提供理论依据。

**关键词:** 动态测试;火炮;LabVIEW;数据分析

**中图分类号:** TJ301 **文献标识码:** A **国家标准学科分类代码:** 510.4030

## Dynamic parameter test and data analysis of gun firing on the move

Bai Liqiang<sup>1</sup> Wang Shixue<sup>1</sup> Wang Lei<sup>2</sup> Su Zhongting<sup>2</sup>

(1. Shijiazhuang Army Command College, Shijiazhuang, China; 2. Academy of Armored Force Engineering, Beijing, China)

**Abstract:** The vehicle portable data acquisition platform is built up by DH5902 hardened dynamic data acquisition system and the test data is time-domain analyzed and frequency-domain analyzed applying LabVIEW software aiming at the dynamic test problem of gun firing on the move. First of all, the parameters to be measured of gun firing on the move are analyzed and test project is built up. Then the test data saves in the DH5902 data acquisition device is import into the computer disk, the eliminating trend item program and filtering program are built up by LabVIEW software and the data is preprocessed. Lastly, the data is time-domain analyzed and frequency-domain analyzed, the vibration characteristics of the gun firing on the move is obtained. The analysis results could afford guidance for reliability design and adjustment and afford theory according for further firing on the move dynamic simulation.

**Keywords:** dynamic test; gun; LabVIEW; data analysis

## 1 引言

现代战争中,火炮行进间射击工况越来越复杂,对行进间射击精度的要求也越来越高。火炮行进间射击时,履带系统与起伏路面的相互作用使得装甲车辆处于高低起伏状态,持续的振动影响武器系统可靠性,同时使得火炮身管轴线与原瞄准位置产生偏差,对弹丸起始扰动具有一定的影响,从而降低射击精度<sup>[1]</sup>。

火炮的射击过程本身即为极其复杂的物理化学变化过程,发射过程中,高温高压的火药气体在膛内推动弹丸高速运动的同时,强大的后坐力也通过身管、反后坐装置、耳轴、高低机齿轮齿弧、炮塔、炮塔座圈等传递至车体,导致结构的疲劳损坏,甚至使得装备仪器设备发生功能性失效,造成系统故障,同时炮口冲击波也会对身管、炮塔等结构造成一

定的影响,因此火炮的射击载荷会影响整个装甲装备。随着对火炮射击过程中装备可靠性、射击精度影响因素和动力学仿真研究的深入,对火炮行进间射击过程中各结构动态响应的参数测试要求也越来越高,一方面对各结构响应信号采集的采样率、测试带宽、传感器量程等具有不同的要求,一方面要求测试设备具有一定的便携性,可随车进行机动,传统火炮测试中,一般均将火炮停止,并将测试设备固定于火炮特定距离处,通过足够长度的测试电缆连接传感器于火炮上,实现动态测试。这种传统的针对火炮停止间射击的固定式的测试手段已经无法满足火炮行进间射击中动态参数的实时、同步和高速采集。

DH5902 坚固性动态数据采集系统具有良好的抗震、抗冲击、宽温特性,且其密封性能良好,能够使用尘土飞扬的恶劣环境<sup>[2]</sup>;其内置的大容量固态硬盘可实时存储检测

数据,便于事后分析处理;通过前期将计算机软件与测试设备连接,进行参数设置、现场调试,即可实现测试设备脱离计算机进行数据采集,待车辆停止后,连接计算机与 DH5902 坚固性动态数据采集系统,应用 DHDAS 软件将内置固态硬盘中的测试数据导入计算机硬盘,并进行格式转化,在 LabVIEW 中进行数据分析与处理。论文以 DH5902 坚固性动态数据采集系统为核心搭建便携式数据采集分析平台,建立测试方案,并对测试数据进行分析与处理,有效解决了火炮行进间射击过程中动态参数测试困难的问题。

## 2 火炮动态参数测试方案

火炮行进间射击过程中,由于路面激励导致车体俯仰,使得身管空间指向发生变化,引起身管发生由于路面载荷与弹丸发射造成的振动的叠加,影响弹丸的外弹道特性。具体表现为车体、炮塔、身管的三向振动。由于身管的悬臂梁特性,炮口与炮尾相比,横向振动加剧,需要对身管的炮口振动与炮尾振动进行检测,研究火炮行进间射击过程中的装备振动情况与炮口扰动量。

炮门是火炮系统关键部件,对于待测装备,即可能因零部件磨损导致间隙变大,影响其正常使用。以往针对炮门的检测,都是将炮门拆卸下来应用检查量规进行静态的细

致检查,费时费力。根据对炮门工作原理的分析,可知开门速度与抽筒速度可全面反映炮门技术状态的评估指标。因此在火炮行进间射击动态测试中,由于复进过程中要进行开门与抽筒,可对开门速度与抽筒速度进行动态检测,从而掌握炮门的技术状态。

开门速度可用激光位移传感器进行动态检测。首先在炮尾安装激光位移传感器<sup>[3]</sup>,在炮门某位置定义标记点,激光进行垂直照射<sup>[4]</sup>,当门体打开时,传感器电平输出发生变化,根据门体尺寸与变化持续时间,即可计算平均开门速度。

应用光电传感器检测抽筒速度,首先在炮尾安装光电传感器<sup>[5]</sup>,将光电开关对正火炮轴线。在火炮行进间或后坐过程中,光电传感器输出低电平,当药筒底缘被抽出时,光电开关检测到药筒出现,即输出高电平,当药筒完全抽出时,恢复低电平。根据采样频率与药筒长度,即可计算出抽筒速度<sup>[6]</sup>。

论文应用 DH5902 坚固性动态数据采集系统进行数据的采集与存储,应用三轴加速度传感器对炮口、炮尾、炮塔的轴向、横向和垂向振动进行检测,应用光电传感器对抽筒速度进行检测,应用激光传感器对开门速度进行检测,其中光电传感器与激光传感器添加信号调理模块,建立火炮行进间射击动态测试方案如图 1 所示。

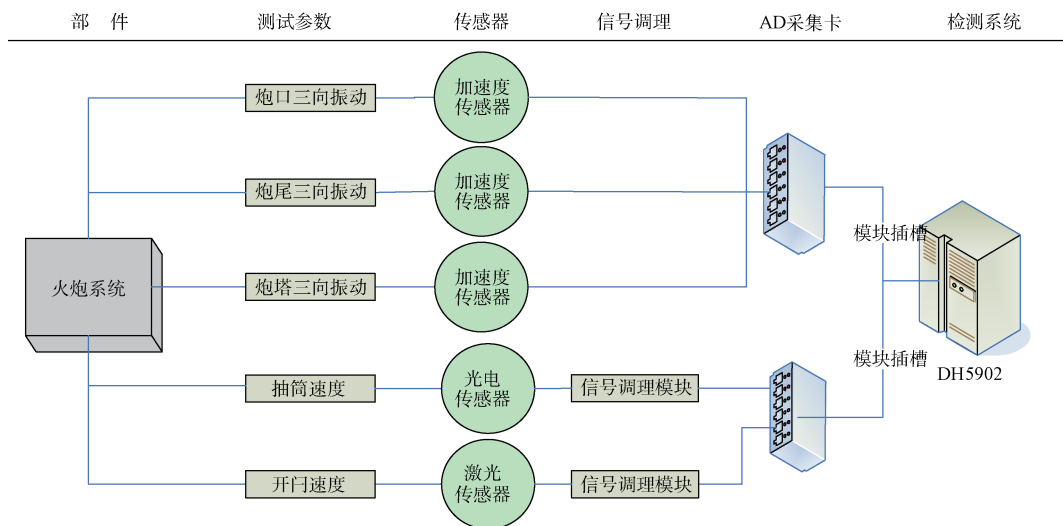


图 1 测试方案

## 3 火炮动态参数测试数据前处理

### 3.1 提取实测振动信号

DH5902 坚固性动态数据采集分析系统可方便、准确的实施便携式检测与存储,而 LabVIEW 软件可直观的进行数据回放与数据处理<sup>[7]</sup>。因此将应用 DH5902 实测采集得到的数据存储为 Excel 电子表格的形式,用读取电子表格文件控件将存储的 Excel 数据导入 LabVIEW,然后将两

列的数据利用数组转置控件转换成两行<sup>[8]</sup>,再将数据输出到波形图显示出来,程序框图如图 2 所示。

取火炮行进间射击过程中,炮口垂向振动信号与炮塔垂向振动信号为例,导入程序框图中,输入结果如图 3 所示。

### 3.2 消除趋势项与滤波处理

对导入的实测振动信号利用 LabVIEW 首先进行预处理消除趋势项<sup>[9]</sup>,调用最小二乘法拟合趋势项控件,然后

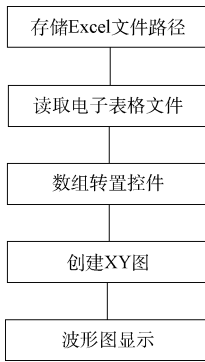


图2 导入 LabVIEW 程序

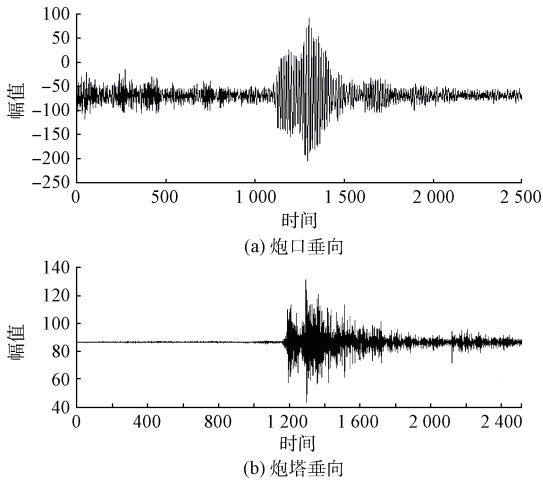


图3 LabVIEW 程序中振动信号

在数据中减去趋势项,得到消除趋势项后的信号<sup>[10]</sup>;对消除趋势项后的信号进行滤波,以去除信号的无用噪声信号,使用滤波器程序对数据进行滤波,在消除趋势项程序的基础上应用 ButterWorth 滤波器<sup>[11]</sup>,通过调节采样频率和滤波频率滤除无用信号,程序框图如图4所示。

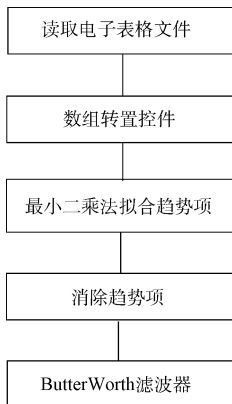


图4 消除趋势项与滤波器程序

将炮口垂向振动数据与炮塔垂向振动数据导入程序,运行结果如图5所示。

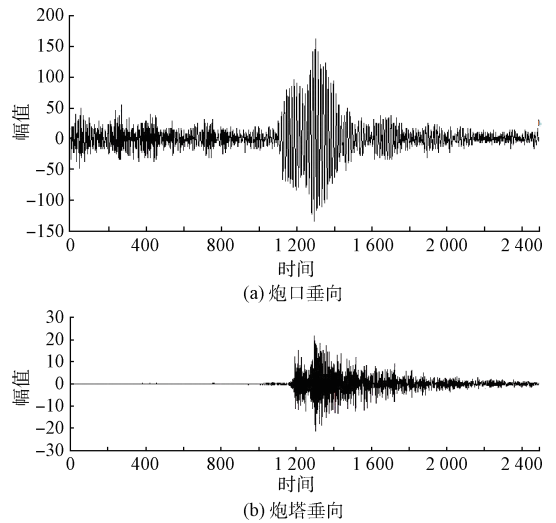


图5 消除趋势项与滤波处理后的数据

从运行结果可以看出,原始信号中存在线性项或缓慢变化的、周期大于记录长度的非线性成分很好地得到了消除,低频无用信号也得到了很好地滤除。

## 4 火炮动态参数测试数据分析

### 4.1 时域分析

对经过滤波后的信号进行时域分析,测量其直流值和均方根值<sup>[12]</sup>,在滤波程序基础上加入测量直流值和均方根值程序控件——基本平均直流-均方根<sup>[13]</sup>,将炮口垂向振动数据与炮塔垂向振动数据导入程序,运行结果如图6所示。



图6 振动信号时域分析结果

从运行结果可以看到,火炮行进间射击过程中,装备振动信号的时域分析结果表示的是火炮整个行驶过程中火炮激励与路面起伏激励的叠加,无法准确反映火炮发射振动信号的幅值特性,因此需要根据频域分析方法,分析火炮的振动频率,以分析火炮固有特性或验证火炮发射动力学模型。

### 4.2 频域分析

对滤波后的信号利用快速傅里叶变换进行频谱分析,在滤波程序框图的基础上利用快速傅里叶变换控件<sup>[14]</sup>,因为傅里叶变换输出的数据是复数,所以还要在傅里叶变换

控件后面再加入复数至极坐标变换的控件<sup>[15]</sup>,然后再将其输出为波形图,频谱分析程序如图 7 所示。

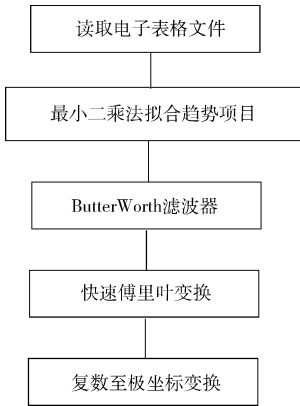


图 7 频谱分析程序

将行进间炮口垂向振动信号数据导入程序,运行结果如图 8 所示。

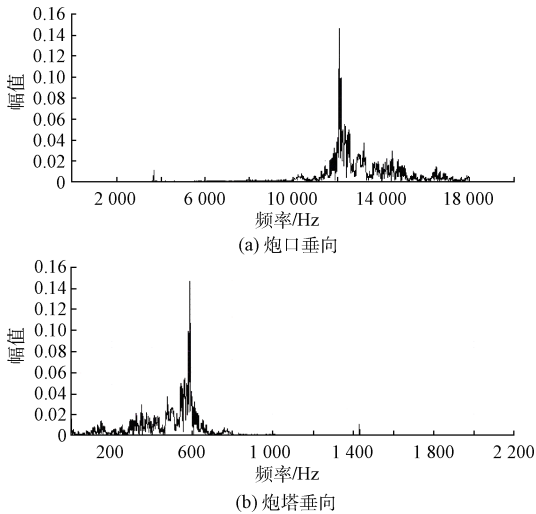


图 8 行进间射击炮口垂向振动信号频谱

从频谱图可以看到,火炮行进间射击过程中,身管振动频率为 12 000 Hz 时幅值最大,可知该频率与身管固有频率不相同,在射击时不会引起身管的共振,不会对火炮身管造成大的损伤;而炮塔振动频率为 600 Hz 时幅值最大,可知火炮射击载荷传递至炮塔时振动频率大大降低,也降低了对炮塔内的承载员与装备的影响。

## 5 结 论

在火炮射击过程动态检测中,由于行进间射击环境复杂,传感器安装困难,测试设备、电缆无法随车固定,因此一般只对火炮停止间射击工况进行测试。而现代战争中,火炮行进间射击是新型武器装备的主要作战方式,研究火炮结构在行进间射击过程中的动态特性,对分析武器装备可靠性及射击精度研究至关重要。

论文将 DH5902 坚固型动态数据采集设备固定于装

甲车辆,对火炮行进间射击过程中结构的振动数据与开门速度、抽筒速度进行了测试,并将测试结果导入 LabVIEW 软件进行数据的消除趋势项与滤波处理,然后进行了时域和频域分析,有效解决了火炮行进间射击动态测试实施困难的问题,为武器装备可靠性分析与发射动力学仿真模型的验证提供了理论依据。

## 参考文献

- [1] 田会,倪晋平,焦明星. 抛物线弹道弹丸飞行参数测量模型与精度分析[J]. 仪器仪表学报, 2016, 37(1): 67-74.
- [2] 张黎,蔡亮. 基于 LabVIEW 的虚拟信号发生器的设计与实现[J]. 国外电子测量技术, 2014, 33(1): 82-85.
- [3] 朱江森,曲玲玲,缪京元. 基于 TDR 的特性阻抗测量的数据处理[J]. 电子测量技术, 2015, 38(12): 116-120.
- [4] 郑磊,周严. 基于 LabVIEW 的天文定向测量软件的设计[J]. 电子测量技术, 2015, 38(12): 80-83.
- [5] 杨楠,王伟. 基于 LabVIEW 的新式 PID 控制算法机能剖析[J]. 电子测量技术, 2015, 38(11): 74-78.
- [6] 王仁波,汤彬,刘华,等. 基于 USB 总线的多点数据采集系统的设计[J]. 电子测量技术, 2015, 38(11): 88-91.
- [7] 王剑,王璋奇. 输电铁塔双轴加速度传感器多目标优化布置[J]. 仪器仪表学报, 2016, 37(2): 277-285.
- [8] 解小建,张娇,张大伟. 基于 RFID 的测试采集结果信息传输设计[J]. 电子测量技术, 2016, 39(1): 99-104.
- [9] 赵磊,殷兴辉. 电磁波 CT 数据预处理的研究[J]. 国外电子测量技术, 2015, 34(8): 52-54.
- [10] 吴霞,郑大腾. 基于 D-H 矩阵的柔性坐标测量机多测量模型研究[J]. 电子测量与仪器学报, 2015, 29(5): 760-765.
- [11] 任航. 基于拟蒙特卡罗滤波的改进式粒子滤波目标跟踪算法[J]. 电子测量与仪器学报, 2015, 29(2): 289-295.
- [12] 王林生,靳果,刘延寿. 便携式智能 LCF 测量仪的研制[J]. 国外电子测量技术, 2015, 34(11): 91-95.
- [13] 张宇鹏. 光电稳定平台角位移高精度测量方法研究[J]. 国外电子测量技术, 2015, 34(10): 54-59.
- [14] 刘昕. 基于 ATML/STD 标准的通用导弹测试软件平台开发[J]. 国外电子测量技术, 2015, 34(9): 1-8.
- [15] 代雷,吴迪,张健,等. 精磨光学元件面形的干涉检测技术研究[J]. 电子测量与仪器学报, 2015, 29(4): 558-563.

## 作者简介

白力强,石家庄陆军指挥学院硕士研究生,主要从事武器系统检测研究。