

doi: 10.3969/j.issn.1006-1576.2012.10.025

多管火箭炮发射系统检测设备的技术研究

顾乐明, 周子锐, 李波, 任萌喆

(上海电控研究所机电控制技术研究室, 上海 200092)

摘要: 针对传统检测方法不能满足新型火箭炮发射系统的使用要求问题, 提出一种基于嵌入式技术的发射系统自动检测方法。在研究火箭炮发射系统结构和工作原理的基础上, 开发相应的便携式自动检测设备, 对火箭弹发射系统关键状态参数进行全面的检测分析和故障定位, 并已经过长期试验验证。试验结果表明: 与以往的检测方法相比, 该系统在测试的完整性、实时性、准确性及可靠性方面均有提高。

关键词: 故障诊断; 火箭炮; 发射系统; 检测; 嵌入式

中图分类号: TJ393 **文献标志码:** A

Technology Research on Detection Equipment of Multi-Tunnel Rocket Artillery Launch System

Gu Leming, Zhou Zirui, Li Bo, Ren Mengzhe

(Electrical Control Technology Laboratory, Shanghai Electric Control Research Institute, Shanghai 200092, China)

Abstract: The traditional detection method can not satisfy the new type rocket artillery launch system operation requirement, puts forward an automatic detection method of launch system based on embedded technology. On the basis of researching rocket artillery launch system structure and working principle, develop the portable automatic detection equipment. Carry out the detection analysis and failure location of system key status parameter, and it was tested by long time test. The test results show that, comparing with the traditional detection method, the system detection result is more integrity, real-time, accurate and credible than before.

Key words: fault diagnosis; rocket artillery; launch system; detection; embedded type

0 引言

火箭炮发射系统的主要功能是: 按指令要求规定的顺序和时间间隔对各种型号的火箭弹实施发射。为了确保火箭弹按设定的时序发射, 保证发射系统动作可靠, 必须发出具有一定电位和电流的时序脉冲。因此, 使用前要对发射系统动作可靠性、输出的电压和电流脉冲、绝缘性能等进行检测。由于发射系统的检测复杂而且要求较高, 以往的检测方法已不能满足使用要求。随着嵌入式系统和检测技术的不断发展, 笔者在研究火箭炮发射系统结构和工作原理的基础上, 设计一种基于嵌入式技术的火箭炮发射系统检测设备。

1 发射系统检测原理及组成

1.1 发射系统检测的基本要求

为确保火箭弹可靠按时序发射, 应保证发射系统输出一定时序的点火脉冲; 因此, 要对火箭炮发射系统的发射时间间隔, 端电压、电流, 回路电阻, 以及发火器的电气特性、通信和恒流源进行检测。这就要求检测设备能够用于对发火控制器的工作状态及输出的发控时序进行检测, 能够稳定测控不同发射要求输出的点火信号的电压、电流、时序、脉宽和时间间隔, 也可对自行火箭炮发射回路进行检测和故障定位^[1]。

1.2 检测原理

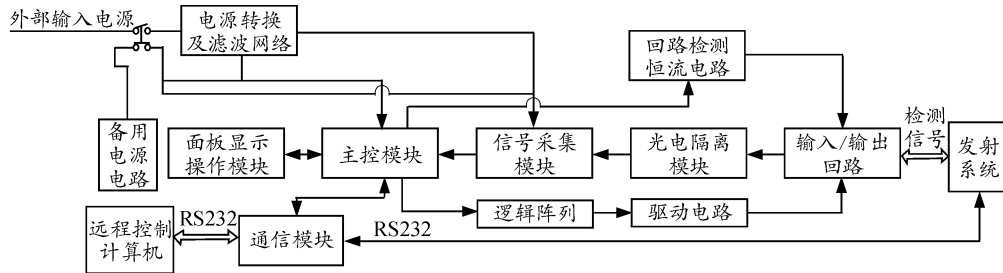


图 1 发射系统检测设备工作原理图

收稿日期: 2012-05-12; 修回日期: 2012-06-07

作者简介: 顾乐明(1955—), 男, 江苏人, 硕士, 研究员级高级工程师, 从事控制技术、检测技术及半实物仿真技术研究。

根据发射系统的工作原理, 针对不同的检测对象, 按照战技指标的要求设计出合理的检测方案, 检测实际试验条件下发射系统正常工作和运转的性能。同时, 检测设备要兼顾人机互交性、操作简单、自动化程度高和数字化传输等特性, 这对日常及战时火箭炮武器系统的检测维修起到至关重要的作用。检测设备原理图如图 1。

检测发火信号时, 检测设备处于轮询状态, 对每一路发射端口进行扫描, 一旦采集到发射信号, 随即启动 A/D 转换功能, 对发射顺序、发火电压、电流、脉冲宽度和发射间隔分别进行采集计算, 以判定发射信号是否符合点火要求。检测发射回路连接状态时, 检测设备依次按顺序控制每一输出回路通断, 采用比对式测量方法对每一回路电阻值分别进行检测。检测发火控制器时, 检测设备通过串口对发火控制器进行操作, 并通过发火控制器预留检测口对其内部主要工作状态参数和相应的发射参数进行检测。以上所有的检测结果均通过人机交互界面显示出来, 直观清晰, 并且可通过串口进行检测结果的数据传输。

1.3 系统组成

发射系统检测设备由输入电源滤波转换及接口电路模块, 主控及信号采集模块, 显示操作部件组成。系统组成图见图 2。

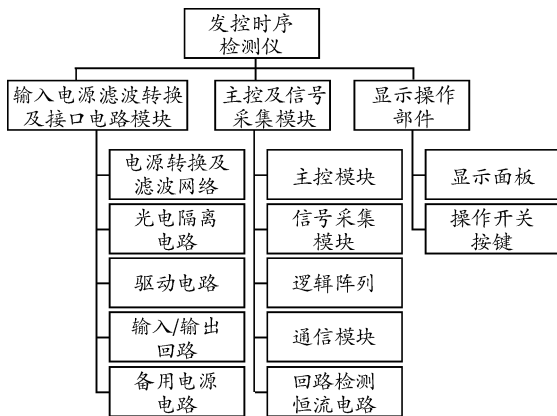


图 2 发控时序检测仪系统组成图

1.3.1 硬件设计

输入电源滤波转换及接口电路模块主要是承担发控时序检测仪的输入电源滤波转换、内外供电切换以及配置检测通路的选择。为保证检测精度并达到军用设备电磁兼容性的要求, 进一步隔绝外电源电网对系统的相互干扰, 在设计中选用了军用级的 DC/DC 功率变换模块和前置输入滤波模块作为产

品的直流电源的转换和配置, 这些模块采用了将外电源电网与内部电源进行隔离的结构, 因此电源对输入电网波动具有很强适应性能力, 且具有相当的抗干扰能力。在滤波的设计上对输入、输出接口均采用穿芯电容的安装方式进行信号滤波, 选用了符合航空技术标准的电磁兼容型电连接器。在电源的输入端设置了反向截止大容量的储能电路和双极性瞬态电压抑制器, 其作用是增加产品承受来自外电源瞬态高压尖峰脉冲的冲击, 从而提高抗电源浪涌冲击和抗尖峰脉冲干扰的能力。为达到检测功能要求, 在设计中必须对每一路测试通道依据具体检测项目的要求进行相应的开关控制, 并且要求各测试通道间的完全电气隔离, 因此采用军用级高可靠性的密封电磁继电器作为输入输出通道切换选择的执行器件, 由 I/O 输出通过光电隔离后驱动并控制。

主控及信号采集模块主要由主控单元以及信号采集单元组成。信号采集单元主要功能是对发射系统各种检测项目参数进行实时采样, 采样信号经过信号调理后送入主控单元进行显示。主控单元对调理完成的数据进行分析比对, 并自动生成故障诊断报告和故障定位信息, 以方便发火控制器的检测维修。采集与控制系统结构紧凑, 设计中充分考虑了小信号采集的高可靠性。模块的主要配置参数如下:

- 1) 具有 40 通道 12 位 A/D 分辨率的单端模拟输入, 其最大采样率为 100 kS/s, 输入范围为 0~12 V;
- 2) 具有 5 通道 12 位 D/A 分辨率的单端模拟输出, 其输出范围为 0~12 V;
- 3) 数字量输入/输出: 16 通道带有上拉电阻的 TTL 输出接口, 16 通道不带上拉电阻的 TTL 输入接口, 输入输出范围均为 0~5 V;
- 4) 两路 RS232 串口通信接口。

由主控单元以及数据采集单元组成的主控及信号采集模块包括 I/O 逻辑阵列部分、A/D 采集部分、存储单元部分以及串口通信部分。I/O 逻辑阵列驱动部分的主要功能是控制接口电路中测试通道的选择切换以及对显示部分的驱动。A/D 输入部分的主要功能是对输入的点火脉冲信号、发射回路电阻以及发火控制器的状态参数等检测信号进行数据采集, 经过检测程序分析计算, 产生最终结果并显示, 并自动生成故障诊断报告。串口通信部分的主要功能是与远程控制计算机(检测维修车控制终端)完成数据交换和远程自动操控功能。

1.3.2 软件设计

发射系统检测设备的软件采用模块化设计，根据检测功能可分为检测发火信号模块、检测发射回路模块、检测发火器模块、串口通信模块及远程自动控制模块 5 大模块，其软件框图见图 3。

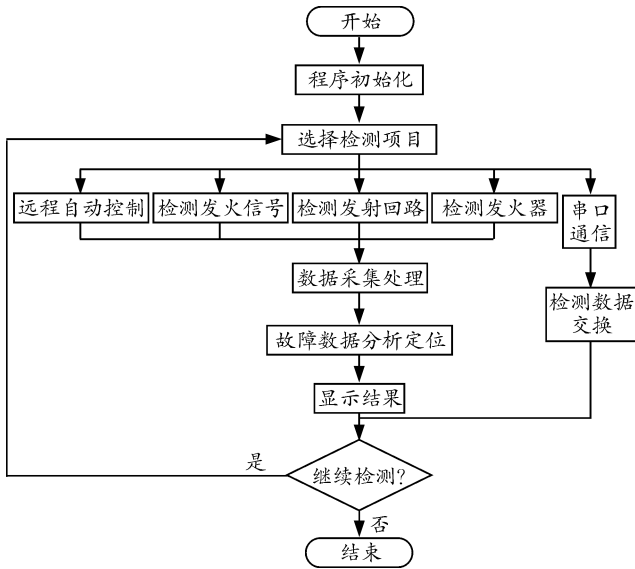


图 3 软件框图

发控时序检测仪软件在 μCOS 操作系统下运行，采用 C 语言编写，开发环境为 ARM-IAR。 μCOS 是典型的实时操作系统，结构小巧，采用可剥夺型实时操作内核，可以满足较高的实时性要求^[2]。

软件设计中充分考虑人机交互及可操作性，采用图形化界面使操作简单、直观，系统人机界面如图 4、图 5 所示。系统运行后进入主菜单，通过菜单上的功能按钮可分别选择检测发火信号、检测发射回路电阻以及检测发火控制器功能等功能。通过选择相应的功能按钮开始检测、查询、保存以及故障诊断等操作。同时检测设备可切换到远程自动控制状态，即接受上位机(如检查维修车)的串口指令控制完成相应的检测功能。

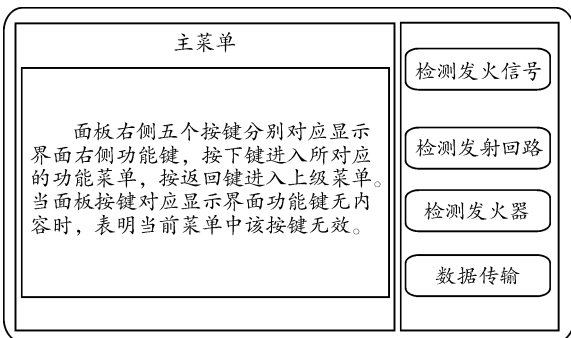


图 4 检测程序主菜单

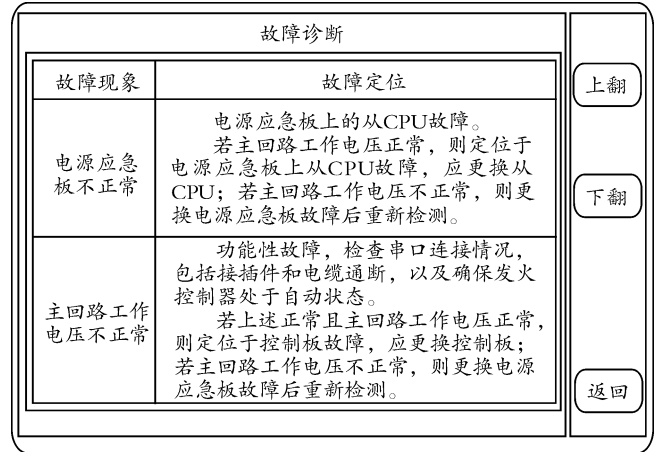


图 5 故障诊断示意图

2 技术应用

2.1 发射系统检测设备的故障定位技术

对于火箭炮发射系统的故障诊断，就是将每一路的发火信号、发射回路电阻以及发火控制器电气特性等检测结果与战技指标要求相比较，根据允许误差判断检测结果是否符合规定，定位显示出现故障的内容。鉴于故障诊断在整个检测维修中的重要性，在设计应用中建立了更加全面的故障诊断和故障机理分析数据库，主要包括编写故障测试程序，建立相关数学模型，利用智能解算方法，并将检测结果与故障诊断数据库进行链接比较，对发射系统主要性能进行自动测试，并对故障进行记录，根据具体情况提供监控、记录和告警的信号并能传输到监控、诊断系统，生成故障分析和诊断报告。

在进行不同测试项目时，对被测产品的动作进行监测、故障分析和数据比对，对被测产品相关的各项技术指标自动进行分析和判断；此外，软件还实现了故障诊断功能，能根据发射系统在检测时的状态和检测结果，把故障定位在部件级，方便检测人员快速查找解决发射系统的故障原因。这样，可大大降低发射系统的检测维修时间，提高检测维修的准确性和可靠性。

此项技术改进了我国火箭炮发射系统的设计开发和产品检测的方式，实现了对火箭炮发射系统中各部件的全自动检测流程与故障定位功能。

2.2 高精度、高稳定性的发射回路电阻检测技术

发射回路电阻检测主要反映的是发射系统各发射回路的连接状态，这直接关系到火箭炮能否对火箭弹进行可靠发射。为保证回路电阻的检测精度，

笔者选取直接式电流检测电阻的方法, 这种方法具有非常好的线性度, 不需要做任何补偿, 并有非常宽的动态检测范围、出色的长期稳定性和温度的性能。在选取采样标准电阻时, 着重考虑它的温度系数和长期稳定性。笔者选用锰镍铜合金材料制作的精度达到 0.001 的精密电阻, 其温度系统仅为 10 个 PPM。这种材料的电阻即使在 -5~100 ℃ 工作环境中, 其误差也保持在 0.001 5。而在运算放大器方面, 笔者选用了低失调、低温漂、低噪声和高增益的差分运放 INA118, 其失调电压和失调电流比通用型运放小 2 个数量级, 且开环差模增益和共模抑制比均大于 100 dB。

在采样电路设计方面则采用比对式的测量方式, 可以有效消除恒流源和元器件的温漂对测试重复性和精度的影响。其测试原理如图 6 所示, 其中 U_S 为采样标准电阻 R_S 两端的电压值:

$$U_S = R_S \times I_S \tag{1}$$

U_X 为待测电阻两端的电压值:

$$U_X = R_{Xn} \times I_S \tag{2}$$

由式 (1) 和式 (2) 可得 $U_X/U_S = R_{Xn} \times I_S / R_S \times I_S = R_{Xn}/R_S$, 即 $R_{Xn} = U_X R_S / U_S$, 笔者选用电阻值为 1 Ω 的采样标准电阻, 所以待测电阻 $R_{Xn} = U_X / U_S$ 。

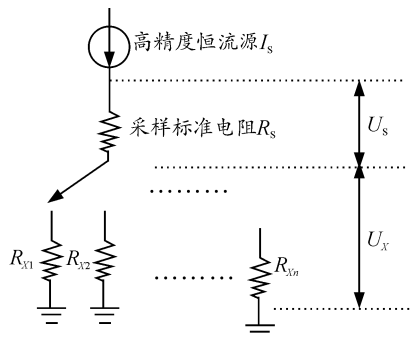


图 6 发射回路检测原理图

该测试方法采用高精度恒流源产生测试电流, 用于在采样标准电阻和被测回路电阻上产生压降, 由逻辑电路组成的四十选一开关选通相应的测试回路。该方法不受恒流源精度及温漂的影响, 采样精度只受采样标准电阻的误差的影响, 因此有效地保证了发射回路检测的精度, 提高了发射回路检测的可靠性, 大大降低了火箭弹发射失败的概率。

2.3 发射系统检测设备的远程自动控制技术

为保证发射系统检测设备在降级使用情况和特殊使用环境下仍能正常地完成检测工作。发射系统

检测设备的使用操作项中增加了远程操作模式, 实现了对发射系统检测设备远距离的自动控制操作, 满足了自动控制的要求。此项技术的实现, 增加了发控时序检测操作使用的多样性, 提高了检测过程的安全性, 同时也提高了发射系统检测设备的整体性能。

2.4 基于 SOC 嵌入式操作系统的集成测试技术

该检测仪在设计时, 借鉴 SOC 和嵌入式操作系统的设计思想, 检测仪采用了高速、高效的 ARM9 处理器为核心搭建嵌入式开发平台, 相对普通单片机, 选择 ARM9 处理器进行开发主要优点包括: 具有海量的数据处理能力, 更加可靠、高效; 传统的单片机开发中大多是基于中断的前后台技术, 对多任务的管理有很大局限性, 而采用嵌入式实时系统后则可以很方便地进行多任务开发。

在设计发控时序检测仪时, 笔者采用了嵌入式计算机技术、串口通信技术、冗余技术和数据补偿技术等成熟技术, 并将这些成熟技术有机地融合在一起, 使该检测仪具有技术应用集成度高和数据理解算高效准确的优点。这些技术的运用, 改进了以往采用全人工测试方法带来的测试程序不规范, 测试结果不直观, 测试效率低, 测试成本高等缺陷, 实现了对火箭炮发射系统测试的自动检测, 故障诊断等功能, 适应了装备检测维修的自动化、智能化的发展趋势。

2.5 嵌入式 GUI 图形用户接口技术

在发控时序检测仪的人机界面设计过程中, 笔者采用了嵌入式图形用户接口 (graphical user interface, GUI) 技术。该技术具有轻型、占用资源少、高性能、高可靠性、移植性强和可配置性等特点, 因此具有良好生动的人机对话界面和图形化的结果显示, 实现了高效的图形的解算和调用。通过采用图形化的可视窗口、功能菜单等方式保证了人机界面的规范性和图标识别的平衡性, 降低了用户的认知负担和设备的误操作概率, 极大地方便了用户的使用^[3]。

该检测仪同时综合了计算机工程学、人机工程学、视觉处理学和软件工程学等科学的研究成果, 使工程技术设计与使用者的身心行为特点相适应, 并在人机界面视觉和操作使用上符合人的思维特性和操作习惯, 提高了操作使用的效率和舒适性。