

# 一种新型便携式弹药通用自动测试设备研制

王义冬<sup>1</sup>, 余周辉<sup>1</sup>, 屈松<sup>2</sup>, 陈明<sup>3</sup>

(1. 中国人民解放军 92228 部队, 北京 100074;

2. 中国人民解放军 第四八零一工厂虎门军械修理厂, 广东 东莞 523000;

3. 天津松果测控技术有限公司, 天津 300380)

**摘要:** 随着弹药武器技术的高速发展, 测试设备的便携化、通用化、高性能是提高弹药技术保障效率的关键因素; 研制一种新型便携式弹药通用自动测试设备, 将综合检查台和火工品检查台“合二为一”, 通过高集成、模块化设计将主控单元与静态检测单元、通电检测单元两两组合, 实现对弹药武器静态和通电两种技术状态的检测; 经验证, 新型便携式弹药通用自动测试设备满足复杂场景的使用要求, 执行任务时便于携带; 能够完成对 30 型弹药的点火回路以及信号线对地电阻的静态检测和综合检查的通电检测, 检测通用性高; 设备通过高效串并组合静态检测技术、供电散热与电磁兼容性耦合设计技术、测量安全性设计技术等关键技术大幅提升检测性能和检测效率; 新型便携式弹药通用自动测试设备具备便携化、通用化、自主可控、可快速资源扩展集成使用等能力, 满足特定场景下覆盖现有弹药武器使用, 兼容未来新型号集成使用要求。

**关键词:** 弹药测试; 便携化; 通用化; 静态检测; 通电检测

## Development of New Portable General Automatic Testing System for Ammunition

WANG Yidong<sup>1</sup>, YU Zhouhui<sup>1</sup>, QU Song<sup>2</sup>, CHEN Ming<sup>3</sup>

(1. Unit 92228 of the PLA, Beijing 100074, China;

2. 4801 Factory Humen Ordnance Repair Factory of the PLA, Dongguan 523000, China;

3. Tianjin Pine Cone Measurement and Control Technology Co., Ltd., Tianjin 300380, China)

**Abstract:** With the rapid development of ammunition weapon technology, it is of great significance for the portability, universality, and high performance of testing equipment to improve the efficiency of ammunition technology. Develop a new portable ammunition universal automatic testing equipment, which integrates the comprehensive inspection platform with the pyrotechnic inspection platform. Through highly integrated and modular design, the main control unit is combined with static and power-on detection units to achieve the detection of ammunition weapons in both static and power-on states. After verification, this equipment meets the requirements of complex scenarios and is easy to carry during task operation, and can complete static detection and comprehensive inspection of the ignition circuit and signal line to ground resistance for 30 types of ammunition, with high universality in power-on detection; The equipment has significantly improved detection performance and efficiency through key technologies such as efficient serial parallel combination static detection, power supply, heat dissipation and electromagnetic compatibility coupling design, and measurement safety design. The new portable ammunition universal automatic testing equipment has the ability to be portable, universal, autonomous and controllable, and can quickly expand and integrate resource usage. It meets the requirements of existing ammunition weapons in specific scenarios, and is compatible with the integration requirements of future models.

**Keywords:** ammunition testing; portability; generalization; static detection; power-on detection

收稿日期: 2023-12-14; 修回日期: 2024-04-01。

作者简介: 王义冬(1977-), 男, 博士, 高级工程师。

通讯作者: 陈明(1980-), 男, 硕士, 工程师。

引用格式: 王义冬, 余周辉, 屈松, 等. 一种新型便携式弹药通用自动测试设备研制[J]. 计算机测量与控制, 2025, 33(3): 145-152, 160.

## 0 引言

自动测试设备 (ATE) 由计算机、信号采集接口等硬件和软件组成, 通过计算机操作系统平台开发应用程序来控制测试仪器和相应外围电路设备, 满足专用测试的技术要求。ATE 由计算机实现对整个系统的控制, 包括各种测量仪表、信号源、程控电源、示波器、分析仪、总线通讯接口和矩阵切换开关等。

自动测试设备随着科技的发展而不断发展, 尤其是在军事方面, 凭借其集成功能多、使用灵活、移植性强等特点, 广泛应用于武器弹药测试领域。目前, 弹药自动测试设备经历了 4 个发展阶段:

**第一阶段: 专用测试设备时期。**20 世纪 60 年代后期, 各国为满足不断发展的武器弹药的需求, 提高武器测试水平, 研发了各种专用测试设备, 以应对这一情况。随着武器弹药技术发展日新月异、种类繁多化, 长期缺乏统一的行业标准和计算机总线接口标准的弊端日益显现, 严重阻碍了计算机与外围采集接口设备之间的沟通。进而导致专用测试设备操作复杂、测试效率低、测试误差大, 设备间无法兼容。自动测试设备的建立受到上述问题的严重影响, 阻碍了测试技术的进一步发展。

**第二阶段: 依靠不同功能模块 (或设备) 堆叠组成的自动测试设备到了 1980 年代,**随着 GPIB 接口总线技术的出现, 并被接收为 IEEE 标准 488, 使得自动测试设备找到了新的研究方向。不同的功能单元, 通过 GPIB 总线实现业务互通互连, 提高测试覆盖能力。这个阶段虽然基于 GPIB 总线技术的武器弹药自动测试设备不断涌现, 由于计算机仅仅扮演控制角色, 各个功能单元设备独立完成自己的任务, 从而限制了测试设备的性能发挥。

**第三阶段: 模块化自动测试设备 20 世纪 90 年代,**各国武器弹药的发展逐渐放缓, 技术逐渐趋于成熟。研究目标集中在测试设备上, 以确保测试设备能够随时随地检测武器弹药的各项关键指标。为了降低成本、缩短开发周期并提高设备互通性, 自动测试设备在设计阶段主要运用成熟的元器件作为基础硬件产品, 而软件则使用开放式开发环境。随着 VXI 总线技术和 PXI 总线技术的问世, 计算机与测试设备之间的传输速率得到了巨大的提升。在这个阶段, 由于采用了高速总线技术作为系统链路架构, 并且使用了功能模块组成的自动测试系统, 完成了一次新的技术迭代。模块化自动测试设备虽然降低了开发成本、缩短了开发时间, 但存在生命周期维护成本高的缺点。

**第四阶段: 通用自动测试设备的出现推动了测试技术的快速发展和技术人员的科技能力大幅提升。**在这期

间, 新的测试原理、方法和技术不断出现。自动测试设备不断向标准化和网络化等方面转型。随着信息技术的不断提高, 微电子、微机电等技术在武器弹药测试系统研发中得到了广泛应用, 进而武器弹药的信息化和智能化水平持续提升。国外军事领域已经开发了一种通用自动化测试平台, 以节约研究资金并提高测试效率, 该平台可用于对海、陆、空三军的弹药进行测试。

我国从 60 年代中期开始, 便为弹药开展了自动测试系统的研究工作, 经过几十年的探索和实践, 已陆续为部队研制并装备了多套弹药综合测试系统。目前, 我国弹药测试系统已经不再局限于 GPIB 总线和 CAMAC 总线, 多采用 VXI、PXI 或 LXI 总线实现, 尽管新型测试系统具有更强的测试功能、更高的系统集成及更大的数据吞吐量, 但仍然存在体积大、重量大和机动性差等问题。因此, 为了满足弹药快速保障和维护的作战要求, 便携式测试系统的研究需求应运而生。现阶段, 国内的便携式测试系统类别虽多, 但较常见的可分为以下 3 类: 基于 PXI 总线的便携式测试设备、基于 LXI 总线的便携式测试设备、基于嵌入式技术为核心的便携式测试设备。

总体来说, 基于现有技术研制的便携式测试设备没有逃脱原属自动测试系统的理念和概念范畴, 只是针对使用场景进行了裁减化, 比如火工品线路测试仍然使用便携式火工品测试仪, 弹药通电检测使用便携式测试设备等。

### 1 便携式通用自动测试设备需求分析

传统弹药武器系统和技术准备中需要使用综合测试系统用于开展整机单元及综合测试; 使用火工品检查台对安装火工品前/后状态进行火工品安装后检查, 即静态检测; 使用综合检查台对一级产品 (安装火工品封舱后状态) 进行综合检查, 即通电检测。随着军用高科技技术的快速发展, 新型弹药武器保障性设计的逐步落实加强, 陆续采用全备方式交付出厂使用, 并根据用户使用需求大幅优化技术保障流程, 只需要使用综合检查台或火工品检查台进行技术准备流程或定期维护中的综合检查或火工品检查, 综合测试系统则逐步转型定位于基层/基地级维修保障使用。

随着测试技术快速发展, 采用便携式、通用化、小型化的检测设备, 满足在空间狭小、条件复杂及强电磁环境下正常工作, 完成对弹药的快速检测需求越来越明显。

新型便携式弹药通用自动测试设备主要使命任务为在特定作战场景中使用更为便携化、小型化和通用化测试系统替代传统弹药配套的火工品检查台和综合检查台, 完成弹药武器装备的静态检测和通电检测, 简化弹

药武器装备保障流程、减少保障装备规模、降低人员站位数量、提高保障效率,提升遂行保障能力。

本文研制的新型便携式弹药通用自动测试设备,应用背景定位于便携使用场景需求下替代传统弹药装备配套的综合检查台和火工品检查台,在功能层面进行面向综合检查台和火工品检查台“合二为一”的通用化设计,具备便携化、通用化、自主可控、可快速资源扩展集成使用等能力,能够覆盖现有弹药武器使用,兼容未来新型号集成使用。

## 2 系统结构及原理

便携式弹药通用自动测试设备总体设计以静态检测及通电检测业务为功能出发点,充分考虑接口资源规划和功能拓展的可实施性。在满足功能性能等指标的基础上,结合测试仪器特点开展小型化、便携化、模块化、组合化设计,重点关注产品实际场景及人机交互使用设计。在测试仪器自主可控方面把握当前国产化主流脉络,充分借鉴已有成熟技术及解决方案,实现覆盖电子元器件、基础机电和软件产品的自主可控解决方案。

便携式弹药通用自动测试设备根据业务功能特点对传统综合检查台与火工品检查台进行面向功能的配置组合设计,分为主控单元、静态检测单元和通电检测单元。其中主控单元作为通用显控能力实现单元,可与静态检测单元组合形成便携式静态检测设备实现弹药火工品检查台功能;可与通电检测单元组合形成便携式通电检测设备实现弹药综合检查台功能,设备组成如图1所示。

通过多元模块组合设计,主控单元可与静态检测单元或通电检测单元组合,合并传统上综合检查台与火工品检查台的主控单元功能,减少弹药武器系统技术支持保障设备的同质化功能组件配置,以功能组合的形式提升主控资源利用率,降低设计开发、生产及维护成本,提升系统保障性;主控单元采用国产触控一体化显示方案,配套图形化、可视化测试软件,具备较为直观的人机交互体验。采用基于国产处理器、内存等解决方案,实现从运算处理到存储的核心器件全自主可控,配套外围成熟国产接口电路实现元器件级100%国产化要求,内置国产操作系统实现操作层面的安全可控,基于国产操作系统下适配国产数据库实现应用层数据存储的安全可控。整机结构采用镁铝合金材料配合铣加工工艺技术,在保证设备刚性的前提下,最大程度降低设备的重量。

静态检测单元用于配合主控单元实现对火工品回路电阻阻值检查及对地阻值检查功能,在满足测试范围及精度的前提下,实现回路电路小信号抗干扰设计以降低外界环境对被测信号采集精度的影响;提供基于电池供

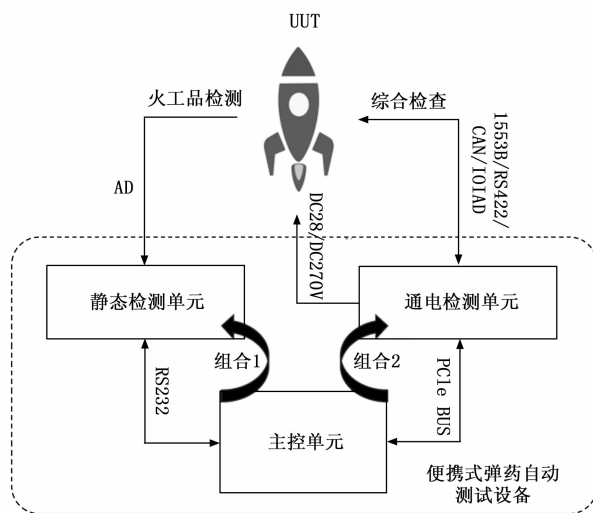


图1 设备组成图

电的扩展性设计,兼容已设计定型型号电池供配电静态检测要求,回避外部平台公共配电对小信号高精度测量的干扰,同时拓宽使用场景,提升设备便携性和灵活性;构建灵活的检测通道配置能力,通过插拔检测通道板快速变更设备检测通道容量,具备灵活扩展能力;通过可重构串并采集组合设计,实现面向不同战术指标要求的检测通道快速串并组合设计。静态检测单元采用基于国产MCU、国产CPLD配合国产接口芯片集成,可实现元器件级100%国产化要求,采用开源嵌入式系统及自主可控的软件开发环境,软件运行及开发环境安全可控。

通电检测单元用于配合主控单元实现各型弹药通电测试功能,在满足常见弹药总线接口类型的基础上,重点开展基于PCIe高速总线接口的功能扩展性设计和高密度供配电扩展性设计,实现各单元基于PCIe总线满足现有功能性能的基础上,预留多路PCIe扩展接口实现测试功能快速扩展的能力;供配电设计可适配AC220V、DC28V供电输入,实现弹药测试一般供电输出功能,最大输出功率不小于2000W,具备供配电组件适配更换满足上述输入输出功能的需求。通电检测单元采用国产MCU、国产FPGA、国产PCIe Switch、国产接口芯片、国产收发器等实现总线接口功能,采用国产高效率电源模块实现外部供电,元器件国产化率可达100%,满足自主可控要求,设备外观如图2所示。

## 3 系统硬件设计

### 3.1 主控单元

主控单元作为控制与显示终端,基于结构电气一体化技术设计,可实现与静态检测单元或通电检测单元的组使用,其原理组成如图3所示。主控单元主要由加固机箱、国产化主板、触控显示一体屏、触摸屏控制

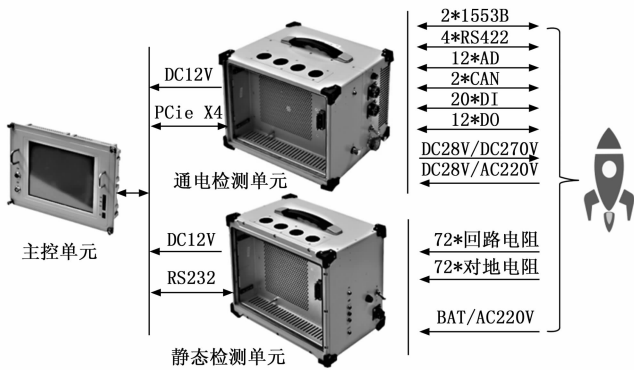


图 2 设备外观示意图

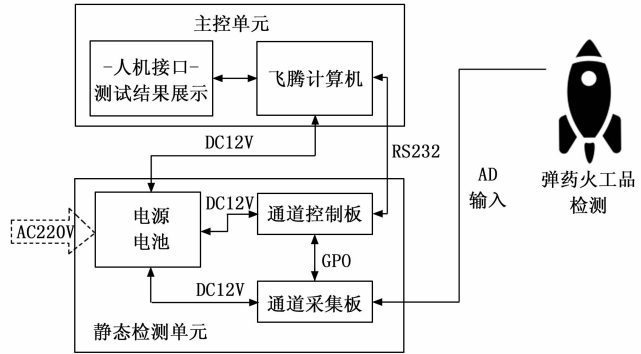


图 6 静态检测单元原理框图

器、接口连接器组成，结构组成如图 4 所示，外观如图 5 所示。

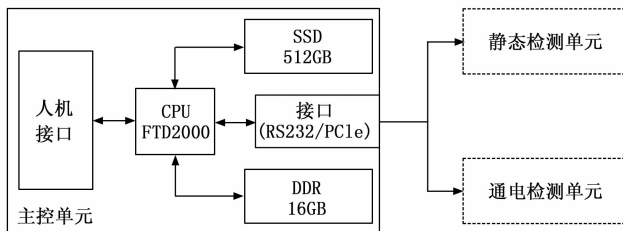


图 3 主控单元原理框图

组件、滤波器组成，每台设备还配有自检插头，如图 7 所示。

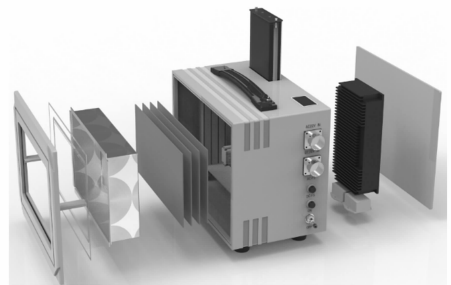


图 7 静态检测单元结构组成图

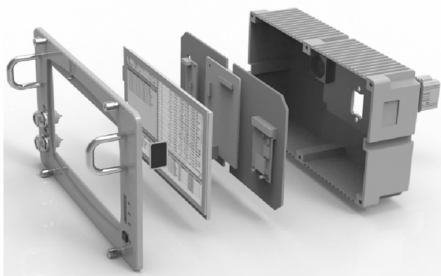


图 4 主控单元结构组成图



图 5 主控单元外观示意图

### 3.2 静态检测单元

静态检测单元用于主控单元组合实现弹药火工品线路测量，基础设计具有对 80 路电阻通道测量的能力，为了解决跨型号通用化使用，设计第 1 路通道用于弹药型号识别，与配套火工品检测软件流程关联使用，其余 79 路用于实际测量，其设计原理如图 6 所示。

静态检测单元由结构外壳、主控板、通道板、电气

主控板作为静态检测单元的核心处理模块，采用 MCU+CPLD 的架构实现对数据的采集、通道的控制、数据的处理和传输。其中 MCU 采用国产高性能互联型微控制器，整合了强大的运算效能和丰富的外设接口。MCU 主要完成对数据的采集数据采集、数据的处理、命令交互和数据传输，主控板还集成了温度采集单元，可通过 RS422 把温度数据上报给主控单元。CPLD 采用国产安路 EG4X 系列高性能 CPLD 作为逻辑控制和通道选择控制，EG4X 具有 19600 个 LUTs，用户 IO 数量从 71 到 193 个，CPLD 通过 MCU 的 2 组 8 路 GPIO 进行通信，通过 CPLD 大量的 IO 管脚可模拟对不同测量通道进行选择控制，采用 CPLD 方式大大减小了原有硬件逻辑电路造成电路复杂性，提高了系统可靠性。另外在软件方面安路 EG4X 还具有自主可控的 TD 软件开发环境，支持 VHDL 和 Verilog HDL 编程语言，无软件开发风险。

通道板通过主控板输入的控制信号，对 80 路电阻通道（1 路用于型号识别，79 路用于实际测量）进行选择，形成电阻测量回路，从而把所需模拟量输出给主控板。静态检测单元预留 1 个通道板位置，用于测量通道扩展，最多可扩展通道数量为 40 路，配合并行检测软件设置，可支持多检测板/多通道并行检测，提升检测效率。

交直流电源可将输入的 18~40 VDC 或 220 VAC 电压转换为系统所需的供电以及主控单元所需的 12 V 电压。此电源可具备 100 W 输出能力, 其中 25 W 用于系统内部供电, 另外 35 W 对外输出至主控单元, 其他 45 W 为降额预留。交流电源和直流电源均可对系统进行正常供电, 当交直流供电同时存在时, 默认使用交流供电方式。

滤波器用于对外部供电输入的滤波, 实现对供电共模或差模干扰的抑制, 防止电源中的干扰传导至测试系统内部, 影响测量结果, 同时也提高了静态检测单元电磁兼容性。

电气组件包含连接器、开关、保险等, 连接器用来与外部电源和被测火工品进行连接, 开关用来控制静态检测单元供电。

### 3.3 通电检测单元

通电检测单元与主控单元组合实现各型弹药通电测试功能, 支持 AC220V、DC28V 两种电压任一种电源供电输入, 可实现多种通信信号、IO 信号以及模拟量信号采集等, 配合测试软件完成通电检测功能, 其设计原理如图 8 所示。

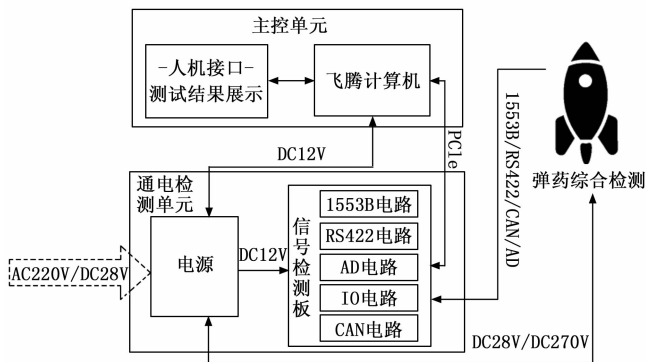


图 8 通电检测单元原理框图

通电检测单元由信号检测板、电源、电气件（空气开关、接触器、保险盒）及机箱结构等组成。

信号检测板各接口采用国产化 CH384 方案实现 4 路智能 RS422 接口的扩展, 波特率可支持 614.4 k, 支持波特率连续可调; 采用 CH368 国产化方案实现 PCIe 转 Localbus 的转换, 配合国产化 FPGA 实现 16 路开关量输入采集, 8 路继电器输出功能, 8 路 AD 采集功能; 基于国产 FPGA 实现 1553B 总线通讯协议, 配合国微 SM1573 1553B 收发器及国产总线变压器实现 1 路双通道 1553B 通讯接口, 可支持 BC/RT/MT 通讯模式; 采用 CH368 国产化方案实现 PCIe 转 Localbus 的转换, 配合国微的 SMSJA1000 CAN 总线控制器和国微的 SM1040 CAN 总线收发器实现 2 路 CAN 总线通信; 采

用 PEX8619 PCIe Switch 实现 4 路 PCIe×1 的扩展。

电源由电源电路及程控电路组成, 实现可控的 DC28V /DC270V 电源输出用于向弹供电, 1 路 DC28V 电源输出用于测试系统供电。

电源电路技术指标如下:

输入: 176~264 VAC;

输出: 程控 DC270V 输出 1 路, 稳态电流 8 A; 程控 DC28V 输出 3 路, 2 路可满足 DC28V@max40A, 1 路 DC28V@10 A 输出能力; 1 路 DC24V@5 A 设备自用输出供电。

DC28V 输出电压调节范围 18~40 VDC;

供电采用高频隔离输出方式;

输入输出与外壳之间耐压值为 2 500 VDC;

冷却方式: 导冷散热;

输出保护方式: 短路、过压、过流。

程控电路主要功能是监测输出电源的供电动态, 判定各路输出供电电流是否正常, 通过串口将电流状态进行上报, 上位机软件会根据所设置阈值进行判定, 通过对供电单元的供电输出控制实现对供电输出的安全控制。程控电路采用国产 MCU 实现控制及管理功能, 供电电源程各路控输出供电经过保险和电流传感器输出, MCU 可动态采集各路电流情况, 同时将数据通过 RS232 发送给上位机软件, 上位机软件经过判定可发送供电控制指令给 MCU, MCU 通过 IO 口对供电电源各路供电输出进行控制, 实现隐患发现并反馈控制的安全机制。

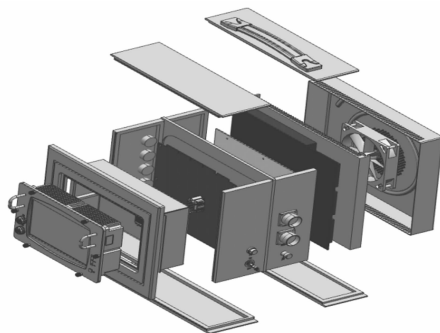


图 9 通电检测单元结构组成图

### 3.4 关键技术

#### 3.4.1 高效串并组合静态检测技术

技术难点: 单路电阻阻值测量需要执行串行的流程, 即主控单元发送采集命令→下位机解析→控制接通通道→等待测量线路稳定→调整运放增益→采集数据→断开通道→数据处理→向主控单元反馈阻值。根据计算, 每次采集最多需要消耗时间为 1.5 s, 按照全通道 80 路计算全部检测时间, 测试时长过长, 大于 2 min。

解决措施：1) 上位机进行多通道采集信息的一次下发，下位机并行自主进行所选通道的自主测量，实时上传到上位机，上位机实时并行处理数据，避免测试指令的重发下发，节省了交互时间；2) 对应两个输入插头，设置两块通道板，在多通道采集时，两块通道板同时开展静态检测，可以缩短全程采集时间。

测试验证：经试验及集中测试表明，通过高效的串并联设计，全通道火工品回路检测时间为 $<52$  s，满足指标要求。

#### 3.4.2 供电散热与电磁兼容性耦合设计技术

技术难点：通电检测单元配置了大功率程控电源，因此造成了散热设计与整体电磁兼容性设计需求的矛盾，需要通过必要的技术设计满足通电检测单元散热要求的同时兼顾电磁兼容性需求。

解决措施：1) 电源部分整机散热采用双腔体的散热方式，电源块分别位于机箱不同的散热面，结构材质采用高导热率的铝合金材料主要发热电源模块通过导热硅脂直接贴合在机箱散热面背板，并通过隔离板实现热量与信号检测部分的隔离，整机外部采用强风风扇主动散热实现高效辅助散热功能；2) 电路部分的主要功率输入单元选用带有源功率因数校正的电源组件，配合输入滤波器及合理的接地措施来实现输入的低共模及差模干扰，将传导干扰抑制在较小数值下，整机设置有输入滤波器及输出滤波器来滤除电源产生的共模及差模噪声，保证 EMC 标准中的传导通过；3) 解决辐射干扰采用屏蔽和接地措施。电源主要功率变换单元具有独立的全金属屏蔽外壳，将功率开关产生的大部分的辐射干扰屏蔽于自身壳体内部。电源整体结构部分采用铝合金外壳的方案，设计采用凸凹槽、直角槽配合的设计方式；机箱的通风散热开孔，按电磁兼容性设计要求加波导屏蔽网进行电磁屏蔽；4) 电源针对电场和磁场的注入干扰主要采取电路滤波和结构防护相结合的措施处理。

测试验证：经试验及集中测试表明，通过上述设计实现大功率程控电源散热及电磁兼容性耦合性设计。设备通过了电磁兼容试验、温度试验和可靠性试验的考核。

#### 3.4.3 测量安全性设计技术

技术难点：测试系统通电对象为安装了火工品的产品，特别是静态测试时，直接对火工品桥路进行加电，必须保证绝对安全，即测试时安全电流控制到不高于 10 mA。

解决措施：1) 点火回路短路保险设计，连接被测弹药后采用双刀双掷继电器实现通道切换功能，设计常闭点默认状态是将两端测试路径短路，实现测试环路中无电流；2) 火工品测量电流设计，测试时安全电流控制

到 4.7 mA 以下；3) 火工品对接状态识别。型号专用的测试电缆中设置与其他型号有别的识别电阻，避免检查流程与对接电缆不符合，造成潜在安全隐患；4) 远控接口功能，实现在特殊应用场景下采用远程方式实现静态检测（火工品检查），实现对测试人员的安全防护。

测试验证：经试验及集中测试表明，通过上述设计并进行产品实现，试验及集中测试表明，实现了火工品回路不测试时的短路保护状态，测试时安全电流控制到 4.7 mA 以下。

## 4 系统软件设计

### 4.1 设计思路

针对新型便携式弹药通用自动测试设备功能性能需求，按照通用软件平台配置型号专用软件组件的思路设计测试系统软件，设计思想如下。

1) 自主可控设计：与自主可控操作系统的协调稳定，应用软件与国产操作系统无缝融合。

2) 标准化设计：采用 ATML 标准集开展技术设计，避免自定义的功能或信息格式，便于功能拓展与第三方软件接入。

3) 互联互通操作设计：TPS 的可移植性：支持第三方测试程序集的导入与能力生成；仪器的互换互操作：合理划分软件系统模块，提高功能的独立性，降低耦合程度，以利于系统后续的局部功能升级。

4) 并行测试设计：通过使用多任务调度算法和多线程管理技术，实现对测试资源的动态分配和优化管理。达到在同一时间内完成多项测试任务的技术需求，满足多个被测对象并行测试的需要。

5) 云服务设计：测试能力云化设计：采用标准私有云架构，将测试能力与服务集中在云端，实现对测试设备任务调度与能力推送。测试数据的边缘计算与云端收集：充分利用测试设备计算能力，实现设备现场数据收集、分析能力，同时具备接入云端能力。

6) 数据服务设计：具备测试数据过程解析及实时状态监测能力，形成针对固定装备成功数据包络，实现测试曲线自动判读与故障诊断及健康管理服务。

### 4.2 运行环境要求

硬件运行环境：飞腾架构计算机。

软件运行环境：国产麒麟操作系统。

软件开发环境：Qt Creator、支持达梦数据库，以及支持跨平台应用的脚本语言。

### 4.3 平台架构

#### 4.3.1 基于 ATML 标准软件架构

通用平台可生成面向信号的 ATML 测试描述、UUT 描述、TUA 描述、仪器描述、测试站描述。能够

根据仪器信号映射结果, 将 ATML 测试描述转化为测试引擎支持的测试序列文件, 进而调用 VISA、IVI 等仪器驱动程序, 实现测试任务的控制执行。测试完成后, 可根据仪器驱动程序返回的数据, 生成 ATML 测试结果描述, 系统架构组成如图 10 所示。

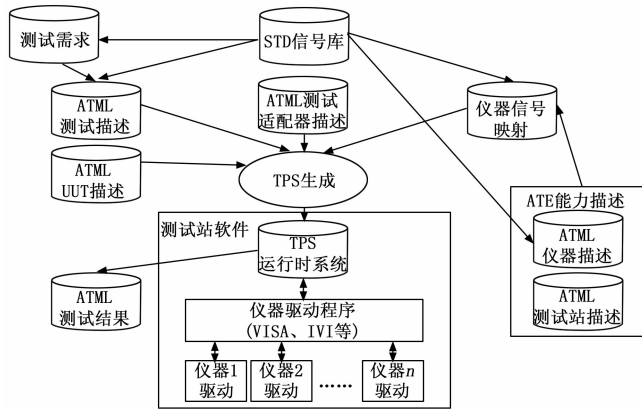


图 10 基于 ATML 测试软件平台系统

通用测试软件平台采用 ATML 文件分类对各元素进行标准化描述, 较好地实现了 TPS 和测试需求可移植性, 强化了测试软件的互操作性。

### 4.3.2 软件平台信息处理架构

1) 资源描述: 采用图形化程序生成测试描述, 为满足用户在 ATML 测试中的需求。使用仪器查找程序和适配器查找程序, 可以查找并解析设备的域名, 然后从设备内置的服务器端下载 ATML 仪器描述和适配器描述。根据用户配置信息和已获取的仪器描述, 利用测试站描述生成程序生成 ATML 测试站描述。将测试结果数据库进行分析, 并生成测试报表, 用以描述各仪器 ATML 测试结果。

2) 信号映射: 测试信号映射是依据 ATML 文件的测试资源描述, 在软件程序的帮助下, 依次进行信号路径、触发资源、测试资源、测试流程等分析, 建立信号描述库。将信号类型、参数和时序关系的进行比对, 完成测试描述信号至仪器描述信号的转化, 再根据损耗均衡和路径最优等调度措施将测试任务进行分解, 生成相应的 ATML 测试子任务。

3) 仪器操作: 将 ATML 的子任务下发至测试仪器端, 在将由仪器反馈的测试结果进行接收。使用虚拟机作为代理工具, 用以接收、解析 ATML 子任务, 可以完成对非局域网内的测试仪器的操作。软件平台数据处理架构如图 11 所示。

### 4.3.3 平台功能

通用测试软件平台通过采取测试任务和软件平台分离的设计思路, 成功实现了软件平台与硬件无关、软件平台与被测对象无关以及软件平台与测试流程无关的目标。能够完成测试项目建立、管理、测试资源接入、测试序列开发、自动测试执行到测试数据存储、分析、展现、管理等测试相关活动, 通过不同软件模块和硬件的组合, 支持对不同被测对象的自动测试软件的高效开发和全过程自动测试工作。平台组成如图 12 所示。

## 5 验证结果与分析

### 5.1 技术验证

#### 5.1.1 静态检测

- 点火回路阻值 (0.5~10 Ω) 测量误差: ≤0.01 Ω;
- 点火回路阻值 (10.1~50 Ω) 测量误差: ≤0.06%;
- 测量分辨率: 0.01 Ω;
- 检查时间≤52 s;
- 信号线对地阻值 (10 Ω~20 MΩ) 测量误差: ≤0.4%;

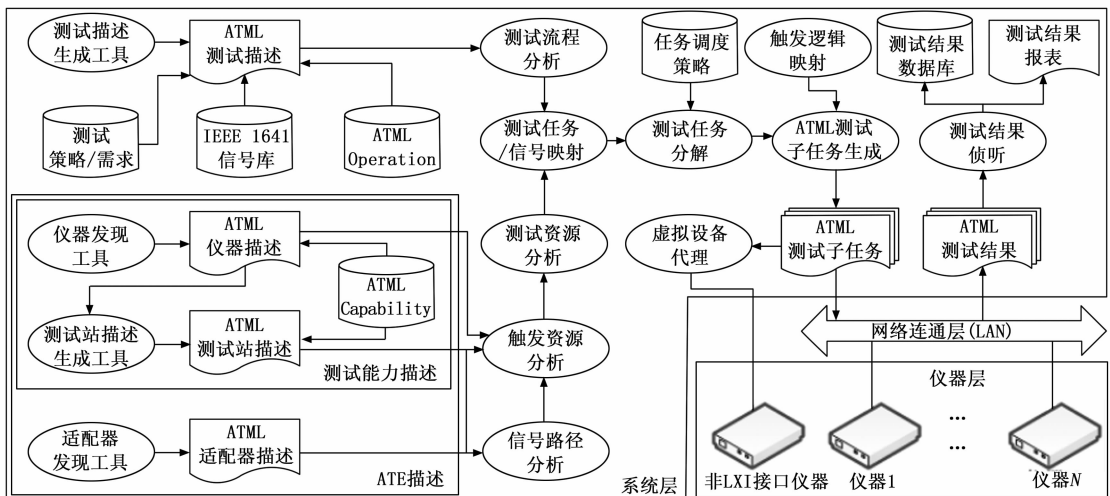


图 11 软件平台信息处理架构

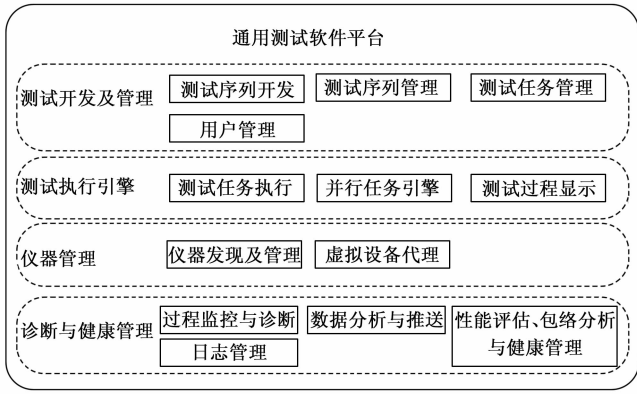


图 12 测试软件平台功能组成

点火回路阻值检测电流 $\leq 4.5$  mA;

点火回路阻值检测 80 通道，信号线对地阻值检测

160 路。

### 5.1.2 通电检测

通电检测时间： $\leq 8.5$  min;

2 路冗余 1553B 总线，兼容 1 M 和 4 M，收发数据正常；

2 路 CAN 总线，波特率可设，收发数据正常；

4 路 RS422 串口，波特率可设，收发数据正常；

12 路单刀双掷继电器，接通/断开控制器正常；

20 路开关量输入采集，支持 28 VDC 电平输入；开关量输入 28 为有效状态，采集正常；

8 模拟量采集正常，输入范围 $-40 \sim +40$  V；

供电输出 DC28 V；功率 $\geq 550$  W；

设备支持交流、直流两种供电方式：交流供电 176~264 VAC 设备工作正常；直流供电 18~40 VDC 设备工作正常。

### 5.1.3 通用质量特性测试

重量：

主控单元 $\leq 2.2$  kg；

静态检测单元 $\leq 4.9$  kg；

通电检测单元 $\leq 9.1$  kg。

外形（宽 $\times$ 高 $\times$ 深）：

主控单元：260 $\times$ 200 $\times$ 280 mm（ $\pm 1$  mm）；

静态检测单元：240 $\times$ 200 $\times$ 300 mm（ $\pm 1$  mm）；

通电检测单元：300 $\times$ 225 $\times$ 220 mm（ $\pm 1$  mm）；

可靠性 MTBF： $\geq 500$  h，试验验证；

维修性 MTTR： $< 4'29''$ （采用整件更换方式）。

通过 GJB151B—2013《军用设备和分系统电磁发射和敏感度要求与测量》中 CS112、CS114、CS115、CS116、RS103 试验项目测试；

使用温度： $-40 \sim 50$   $^{\circ}\text{C}$ ；

贮存温度： $-50 \sim +70$   $^{\circ}\text{C}$ ；

湿度条件：在相对湿度不高于 85%（30  $^{\circ}\text{C}$ ）的条件下满足使用要求。

## 5.2 结果分析

新型便携式弹药通用自动测试设备通过选用铝镁合金新材料、开发 SoC 高度集成电路，在满足产品功能的前提下实现了产品的小型化设计，且单个功能单元重量不大于 10 公斤极大的提升了产品的便携性。

新型便携式弹药通用自动测试设备通过自主可控技术，实现了弹药测试的功能全面覆盖和性能大幅提升，实现了产品使用的通用化。目前可完成不少于 30 型弹药的静态检测和通电检测。

新型便携式弹药通用自动测试设备环境适应性指标优于国内同类型地面测试设备，产品能适应更为复杂、恶劣的应用场景。

## 6 结束语

本文研制的新型便携式弹药通用自动测试设备具有较为确定的应用前景，能够对不同型号弹药的发射接口点火回路以及信号线对地电阻静态检测和通电检测；通用测试弹药型号不少于 30 种以上。新型便携式弹药通用自动测试设备测试资源丰富，应用型号众多，技术状态成熟可控。

### 参考文献：

- [1] 张如飞，周 军，于晓洲. 导弹自动测试系统面向对象设计及应用 [J]. 计算机测量与控制，2008，16（12）：1886-1889.
- [2] 苟新禹，肖明清. 国外新一代导弹测试技术 [J]. 航空兵器，2004，（2）：14-16.
- [3] 熊 威. 导弹测试技术智能化发展展望 [J]. 数字技术与应用，2019，37（10）：224-226.
- [4] 刘 阳，李 玺. 某型导弹测试系统模块化设计 [J]. 火力与指挥控制，2015，40（7）：168-169.
- [5] 董其义. 导弹自动测试系统电磁兼容性分析与测试研究 [J]. 海军航空工程学院学报，2009，24（5）：556-558.
- [6] 赵渊博. 浅析导弹通用测试系统的“三化”设计 [A]. 中国标准化年度优秀论文（2023）论文集 [C] //北京航天测控技术有限公司，2023：425-430.
- [7] 马 艳. 基于测试数据的战术导弹视情维修策略 [J]. 兵工自动化，2017，36（11）：23-25.
- [8] 陈遵银，王超勇. 航空反舰导弹综合测试系统设计与实现 [J]. 指挥控制与仿真，2017，39（1）：106-108.
- [9] 代 京，安茂春，张 平，等. 导弹智能诊断测试系统设计 [J]. 测控技术，2008（10）：10-13.
- [10] 贺友益. 战术导弹自动测试系统体系结构的选择 [J]. 计算机自动测量与控制，1999，（2）：28-31.

（下转第 160 页）