

# 靶弹一体化技术支援系统设计与实现

杜江, 王刚

(中国人民解放军 91851 部队, 辽宁 葫芦岛 125001)

**摘要:** 靶弹系统建设对于防空兵器试验和部队训练具有重要作用; 传统的靶弹技术支援系统大都由分立设备组建, 通用性差, 拓展能力有限, 严重制约着供靶保障能力和战备水平的提高; 采用 PXI 总线技术构建了一套性能先进、结构灵活、可充分重组的靶弹一体化技术支援系统; 阐述了系统总体架构和软硬件设计实现过程; 实践表明, 该系统能够满足测试、遥测、遥控等专业多样化的保障需求, 形成从技术准备、发射供靶到训练效果评估的全流程技术支持能力, 有效提高保障效率, 提升靶弹技术保障的水平和层次。

**关键词:** 靶弹; 一体化保障; LXI 总线; 设计方案

## Design and Realization of Integrated Support Technology for Target Missile

Du Jiang, Wang Gang

(Unit 91851 of the PLA, Huludao 125000, China)

**Abstract:** The construction of target missile system plays an important pole in air defense weapon test, army battle and training. Because of poor versatility and limited development capability constructed by discrete devices, the traditional support technology system restricts the capability of equipment support and combat readiness level. This dissertation elaborates the system architecture, the design and the realization of hardware and software. It is shown that the system can satisfy the flexible support requirement of test, telemetry and remote control, build the whole process technical support ability from technical preparation, launching to evaluation requirement of training effect, reduce the operator's skill request, and improves the technical lever of support equipment for target missile effectively.

**Keywords:** target missile; integrated support technology; LXI bus; design scheme

## 0 引言

靶弹是模拟敌方来袭导弹类目标的实体靶标, 在防空兵器试验和部队训练中发挥着重要作用<sup>[1-2]</sup>。在实战化试训背景下, 靶弹技术性能不断升级, 使用保障要求也越来越高。以往的靶弹技术支援系统大都按由分立设备组建, 通用性差, 拓展能力有限, 各专业的维修保障经验不能有效共享, 严重制约着供靶保障能力和战备水平的提高。

本文采用 PXI 总线技术和以太网构建了一套性能先进、结构灵活、可充分重组的靶弹一体化技术支援系统。系统功能高度集成, 能够满足测试、遥测、遥控等专业多样化的保障需求, 形成从技术准备、发射供靶到训练效果评估的全流程技术支持能力, 有效提升靶弹技术保障的水平和层次。

## 1 系统总体架构

### 1.1 系统功能需求分析

靶弹工作流程可分为技术阵地准备、发射阵地供靶和事后分析评估 3 个阶段, 综合分析每个阶段的特点与需求, 系统应具备以下具体功能:

- 1) 具备靶弹平台的测试功能;

- 2) 具备靶弹任务设备(遥测、外测、安控)的测试功能;

- 3) 具备遥测信号的无线接收、实时处理(挑路、显示、输出)及事后处理功能;

- 4) 具备靶弹遥控功能;

- 5) 具备系统自检、标校、工作数据存储与分析功能。

### 1.2 系统架构设计

系统利用 PXI 系统开放性<sup>[3-5]</sup>的特点, 以以太网(Ethernet)和 PXI 测控模块为基础, 构建了一套实时性好、结构灵活、数据共享的测控平台。系统由综合检测控制台和多个便携式测控站构成。综合检测控制台是系统的控制核心, 负责靶弹测控、管理调度、系统维护等任务。便携式测控站负责遥测信号的接收与遥控指令的发射。综合检测控制台和便携式测控站采用网络连接, 构成分布式测控系统。系统总体结构如图 1 所示。

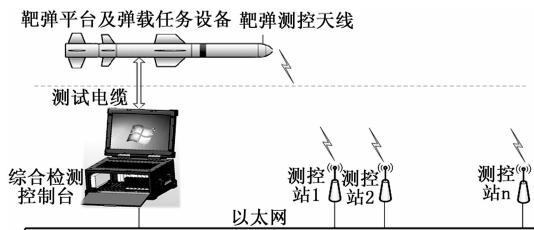


图 1 系统总体结构示意图

收稿日期: 2019-04-11; 修回日期: 2019-06-13。

作者简介: 杜江(1976-), 男, 天津人, 硕士研究生, 主要从事控制理论与控制工程方向的研究。

## 2 系统硬件设计

### 2.1 综合检测控制台设计

#### 2.1.1 综合检测控制台组成及模块选型

综合检测控制台采用基于 PXI 体系结构的虚拟仪器测控方案, 由测试机箱、测试计算机、测试功能模块、信号调理模块等部件组成。其中测试计算机及测试功能模块是系统的测量与控制中枢<sup>[6]</sup>。测试计算机选用 NI 公司的 PXIe-8821 嵌入式控制器。测试功能模块提供数据采集、模拟量输出、开关量电平判断、开关量输出、串口通信等具体测控功能, 各类测试资源<sup>[7]</sup>如表 1 所示。

表 1 综合检测控制台测试资源列表

模块型号	A/D 输入	D/A 输出	定时/计数	开关量	数字 I/O	串口通信
PXI-6229	16 路 (双端)	4 路	2 路 (32 位)	0	48 路	0
PXIe-6738	0	32 路	4 路 (32 位)	0	10 路	0
PXI-6528	0	0	0	24 路入 24 路出	0	0
PXI-2566	0	0	0	16 路出	0	0
PXI-8431/8	0	0	0	0	0	8 路
合计(路数)	16 路 (双端)	36 路	6 路 (32 位)	24 路入 + 40 路出	58 路	8 路

#### 2.1.2 测试机箱设计

测试机箱采用垂直插卡结构和背板定制化设计, 计算机模块、测试功能模块、信号调理模块均采取带助拔器的机构形式, 插入机箱对应槽位与背板连接, 并通过插拔器与横梁锁紧。这种连接方式结构紧凑、拆装方便、具有良好的电气机械性能和高可靠性。综合检测控制台内部结构如图 2 所示。



图 2 综合检测控制台内部结构示意图

为保证测试机箱具有良好的环境适应性, 将发热量大的模块布置在外层, 通过机箱壳体传导散热, 同时选择风扇进行散热。根据 PXI 规范的要求, 风流必须是由下往上散热<sup>[8-9]</sup>, 所以将风扇配置于机箱上方, 采取向外抽风的设

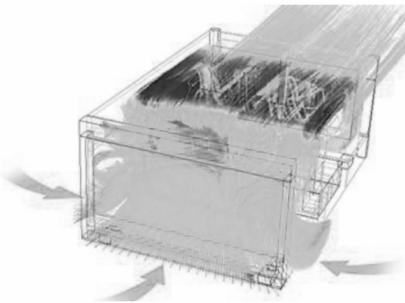


图 3 综合检测控制台散热设计

计。综合检测控制台散热模型如图 3 所示。

#### 2.1.3 信号调理模块设计

由于靶弹平台及任务设备输入/输出信号的逻辑关系错综复杂, 动作时序要求极为苛刻, 因此系统设计时重视各种测控信号的调理适配。严格保持与靶弹全备(各任务设备均加载)状态良好的电气接口匹配, 决不容许对靶弹系统及运行参数产生不良影响。所有开关量输入信号全部采用光电方式隔离; 所有开关量(指令信号)输出信号全部采用继电器方式隔离; 模拟量采集模块选用双端差动输入, 实现设备地线与外部地线的隔离; 模拟量输出模块采用由被测对象提供电源的差动运算放大器输出, 实现设备地线与外部地线的隔离。

1) 模拟量输入信号调理: 模拟量输入信号的幅值与类型各有不同。交流信号有两相 115 V 和三相 36 V 两路。直流信号有 12 路, 幅值范围分别为 +5 V、±15 V、±30 V、+50 V。模拟量采集模块 PXI-6229 的采集范围是 DC±10 V, 超出此范围的信号会给模块造成不可逆的损坏。

确保检测安全, 对于交流信号, 系统首先进行检波, 将其转换成 10 V 以内的直流信号然后再进行采集, 交流输入信号调理电路如图 4 所示。对于输入信号范围在 ±10 V 以内的直流信号, 由射随器跟随处理后直接进行采集; 对于超过量程范围的直流信号, 高精度运放分压后再进行采集, 匹配电阻选用 1% 精度, 累计误差不大于 0.5%。直流输入信号调理电路如图 5 所示。

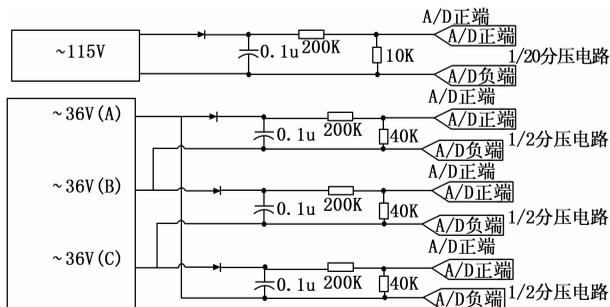


图 4 交流输入信号调理电路示意图

2) 模拟量输出信号调理: 模拟量输出信号采用两种调理方式, 对于输出电压小于 DC10 V 的信号, 由 PXIe-6738 模块输出后经运放跟随输出。对于大于 DC10 V 的电压信号采取高精度运放分压后进行放大, 匹配电阻选用 1%

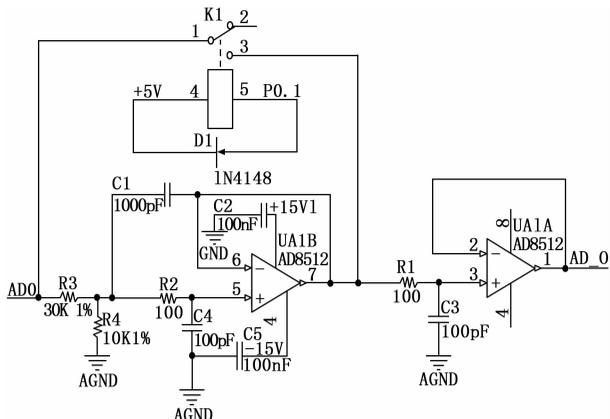


图 5 直流输入信号调理电路示意图

精度，累计误差不大于 0.5%。

3) 开关量检测信号调理：开关量输入信号有 +27 V/悬空和地/悬空两种类型，在信号调理时 +27 V/悬空信号连接到高有效采集通道，地/悬空信号连接到低有效采集通道。开关量检测模块 PXI-6528 输入范围为 ±60 VDC，将外部电平信号经限流电阻后可直接与模块相应端口相连。

4) 开关量输出信号调理：开关量输出信号分为悬空 → +27 V、悬空 → 地、地 → +27 V 三种类型，在信号调理时继电器输出模块 PXI-2566 的常开/常闭触点上连接相应形式的信号，通过继电器切换可输出需要的开关电平。开关量输出信号调理电路如图 6 所示。

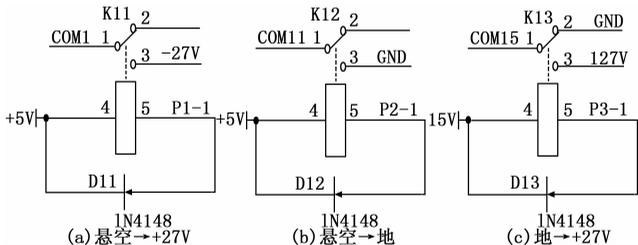


图 6 开关量输出信号调理电路设计示意图

## 2.2 便携式测控站设计

便携式测控站以超大规模 FPGA 器件为核心搭建，由计算机模块、接收机模块、PCM 模块、安控指令发射模块、天线及放大模块等组成，包括下行和上行两个链路。其下行链路是：靶弹遥测信号由天线接收并进行低噪声放大；放大后的信号由接收机模块将载波频率下变频为 70 MHz 后输入到 PCM 模块；PCM 模块完成中频接收、信号解调及位同步，同步后的信号通过以太网传送到综合检测控制台，进行遥测数据的实时及事后处理。其上行链路是：安控指令发射模块产生安控发射信号，经安控功放实现信号放大后接入天线向靶弹发射安控指令。便携式测控站工作链路如图 7 所示。

## 3 系统软件设计

### 3.1 软件结构设计

系统选用 Windows 7 操作系统和 Labwindows/CVI 软件构建了一个数据共享的软件平台。系统应用软件划分为靶

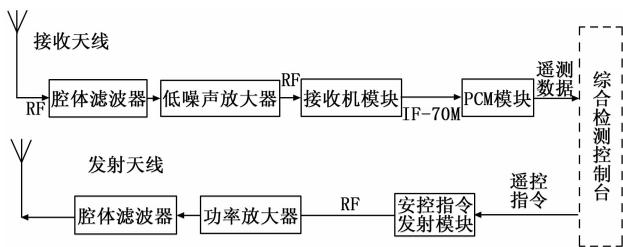


图 7 便携式测控站工作链路示意图

弹使用维护数据库、系统功能软件和系统主控软件三大部分。靶弹使用维护数据库用于保存管理靶弹寿命周期中所需的各种数据信息；系统功能软件用于实现具体的测量控制功能；系统主控软件是个通用性很强的控制程序，用于人机对话以及靶弹使用维护数据库与各功能软件之间的交互，实现基于信息的程序管理与调度。其中，系统功能软件是系统应用软件的主体，主要包括有线测量与控制软件、遥测与遥控软件、系统自检与维护软件三部分。

### 3.2 有线测量与控制软件设计

有线测量与控制软件主要负责靶弹在技术阵地的有线检测和维修保障。被测靶弹系统与综合检测控制台采用测试电缆连接，有线测量与控制软件调用 PXI 测控功能模块向靶弹输出激励信号并检测反馈信号，以此判断被测靶弹是否正常。激励信号和反馈信号包括模拟量、开关量和数字量。检测项目包括靶弹静态测试和动态测试。

#### 3.2.1 靶弹静态测试

靶弹静态测试包括靶弹各分系统（电气、飞控、安控等）的单元测试。在静态测试中，仅被测分系统加电工作，靶弹其他系统并不运行。静态测试界面一般可分为 3 个区域：测试数据表格区域、测试进程提示区域和测试状态说明区域。

测试表格区域包括测试序号、测试项目、技术条件、实测值和结果判断 5 个列表项。测试进程提示区域给出了测试中的一些主要步骤（包括各种读写信号操作以及必要的测试过程说明等）。测试状态说明区域告知操作者测试过程进行的时间、已测试的项目数量、正确和错误的项目数量等测试信息。测试数据表格和测试进程提示两个区域采用滚屏显示，超出屏幕显示范围的部分可通过滚动条的拖拽来查看。为了对自动测试过程中出现的故障进行精确定位，每个自动测试过程均有对应的手动测试功能。

#### 3.2.2 靶弹动态测试

与静态测试相比，靶弹动态测试不只局限于测试某些定点的输出值，而是面向线和面，对被测靶弹系统的动态响应过程进行检测与分析。因此靶弹动态检测包含更多的测试信息，更利于精确评价分析靶弹系统的性能和进行故障诊断。

在靶弹动态测试中，有线测量与控制软件首先向靶弹弹装订飞控参数与安控管道，然后发出模拟起飞指令，表征靶弹已离轨起飞。在发出模拟起飞指令的同时，控制数字通信模块 PXI-8431/8 产生靶弹位置信息串行数

据, 模拟靶弹正常弹道和左偏、右偏等错误弹道(弹道形态如图 8 所示), 代替弹上 GPS/北斗接收机的真实位置信号输出至靶弹控制系统, 可检测靶弹在不同弹道形态下的飞行控制和安全控制是否正常, 实现靶弹系统的模拟飞行测试<sup>[10]</sup>。

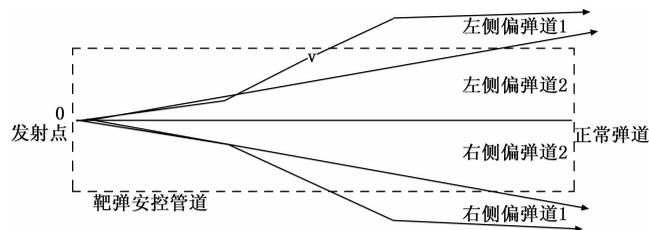


图 8 靶弹动态测试弹道形态示意图

### 3.3 遥测与遥控软件设计

遥测与遥控软件主要负责靶弹在发射阵地的无线测控和供靶保障。靶弹的遥控与测控由综合检测控制台和各便携式测控站联合完成。综合检测控制台通过以太网向测控站发送测控任务指令, 各测控站接受任务后, 遥控靶弹系统加电工作并接收靶弹系统下传的工作数据, 回传给综合检测控制台。综合检测控制台将测控站传来的遥测原始数据, 采用挑路、组合和计算等方式形成关键参数(例如靶弹姿态、航迹、高度、经度、纬度、距离等)数据进行实时显示, 用于供靶飞行时的状态监视与安控控制。在实时显示的同时, 遥测与遥控软件还对遥测数据进行不丢帧存储, 用于事后处理。遥测与遥控软件工作流程如图 9 所示, 便携式遥测站工作流程如图 10 所示。

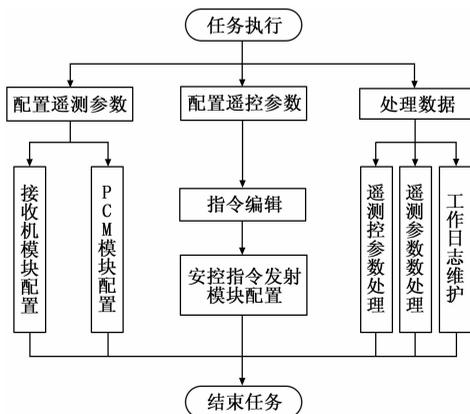


图 9 遥测与遥控软件任务配置流程图

### 3.4 自检与标校软件设计

自检与标校软件包括自检模块和标校模块。自检模块主要检查系统状态是否正常, 表征系统是否可以加电工作; 标校模块主要完成对电源、电压采集、电压输出等测量控制功能的校准, 确保系统的测试精度和可信度。

综合检测控制台自检时, 将模拟输出与采集、开关量输出与检测、每组 422 串口输入与输出闭环, 对比输出数据与与测量数据是否一致。便携式测控站自检时, 自动生成基带信号由遥测信号的接收端接收该信号, 经过解调、

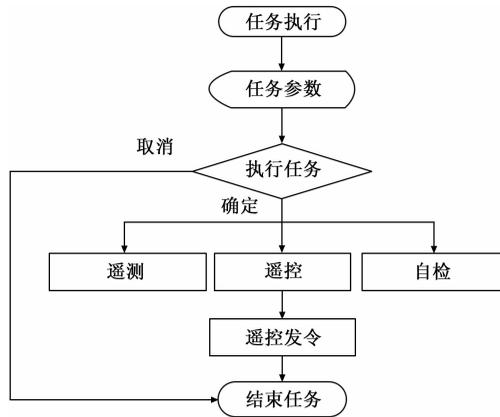


图 10 便携式遥测站执行任务流程图

分析和数据的事后比对处理, 完成遥测通道的自检; 发送遥控指令被回采经解调后与发射数据进行比对, 实现遥控通道的自检。

### 3.5 试验结果分析

在联调测试和试运行过程中, 该系统在设备数量减少一半、操作人员减少三分之一的情况下, 使靶弹技术准备与维护时间缩短 30%, 人工参与环节减少 65%, 测试精度高, 可靠性好。

## 4 结束语

本文采用 LXI 总线和以太网技术, 构建了一套性能先进、结构灵活的靶弹一体化技术支援系统靶载干扰机综合保障系统, 实现了靶载平台和任务设备的自动测试与维护。试验结果表明, 采用 LXI 总线技术构建一体化综合保障系统, 符合靶弹测试维护的客观要求, 有利于提升靶弹的综合保障水平, 实际应用意义较大。

### 参考文献:

- [1] 周旦辉. 靶弹系统发展的某些新特点 [J]. 现代防御技术, 2007, 35 (2): 27-30.
- [2] 刘从军. 防空兵器靶标 [M]. 北京: 航空工业出版社, 1997.
- [3] 杜里, 张其善. 电子装备自动测试系统发展综述 [J]. 计算机测量与控制, 2009, 17 (3): 63-65.
- [4] 连光辉, 等. 装备测试性设计与维修诊断一体化关键技术研究 [J]. 计算机测量与控制, 2007, 15 (1): 1-5.
- [5] 沈辉, 关振宏. 基于 PXI 的虚拟仪器测试技术 [J]. 现代科学仪器, 2004 (6): 16-18.
- [6] 杜江, 等. 基于测发一体化技术的导弹发射控制系统设计 [J]. 计算机测量与控制技术, 2010, 18 (3): 605-607.
- [7] NI Co.. NI PXI White Book [Z]. NI Co., 2013.
- [8] 邱成梯, 赵悌受, 蒋全兴, 等. 电子设备结构设计原理 [M]. 南京: 东南大学出版社, 2005.
- [9] 周静, 等. PXI 总线平台散热设计及测试 [J]. 计算机测量与控制, 2013, 15 (10): 2645-2647.
- [10] 叶厚良. 靶弹飞行安全控制器设计 [J]. 上海航天, 2015 (3): 68-72.