

doi: 10.7690/bgzdh.2023.06.006

一种软硬件结合确保火工品测试安全的方法

段亚博, 韩旭, 关莹, 宋蔚阳

(北京航天长征飞行器研究所综合电子技术中心, 北京 100071)

摘要: 针对工程应用中如何确保含火工品类单机设备测试安全性的问题, 提出一种软硬件结合的火工品测试方法。在地面测试系统硬件中采用火工品动态识别技术, 在软件中增加火工品状态表征字。工程实践验证结果表明: 该方法在提高火工品测试覆盖性的同时确保了测试安全, 为工程设计领域提供一种可靠的方法。

关键词: 火工品; 测试; 安全性

中图分类号: TJ450.6 **文献标志码:** A

A Method to Ensure Safety of Initiating Explosive Device Test by Combining Software and Hardware

Duan Yabo, Han Xu, Guan Ying, Song Weiyang

(Integrated Electronic Technology Center, Beijing Institute of Space Long March Vehicle, Beijing 100071, China)

Abstract: Aiming at the problem of how to ensure the test safety of single equipment containing initiating explosive device in engineering application, a test method of initiating explosive device based on the combination of software and hardware was proposed. The dynamic recognition technology of initiating explosive device is used in the hardware of the ground test system, and the characterization word of initiating explosive device state is added in the software. The results of engineering practice show that the method can improve the test coverage of initiating explosive devices and ensure the test safety, which provides a reliable method for engineering design field.

Keywords: initiating explosive device; test; security

0 引言

火工品是装有火工药剂、受外界能量刺激后产生燃烧或爆炸, 用以引燃引信做机械功的一种装置^[1], 包含火工品的单机设备在武器系统中广泛应用, 通常是武器系统中重要工作设备, 在发射、级间分离、飞行过程中均有重要应用, 关系到武器系统作战成败^[2]。例如引信, 负责确保战斗部在勤务处理和地面测试中的安全, 并在飞行过程中的适当位置起爆战斗部, 实现对目标的有效毁伤。

引信测试是导弹发射前检查的关键环节, 同时也是交付后定期测试维护的重要内容, 其测试结果可以表征引信功能、性能是否合格, 是否处于安全状态。随着电子技术发展和引信更新换代, 引信中电子部件占比逐步提升, 例如直列式引信中已经不含传统的一次性机械解保部件, 全部由电子器件组成; 因此, 引信测试过程中可获取的指标也越来越丰富^[3]。提高引信测试覆盖性可显著提升武器系统的可靠性, 但测试过程中的安全性问题也日益凸显^[4-5]。“安全性”是产品所具有的不导致人员伤亡、

装备损坏、财产损失或不危及人员健康和环境的能力。本质上, 安全性就是产品不发生事故的能力。如果不从设计源头进行有效控制, 一旦发生产品故障或误操作, 就会造成严重事故。安全性作为 6 种通用质量特性之一, 需要放在至高无上的位置。

世界各军事强国均对安全性设计高度重视, 美军早在 1990 年就发布了 MIL-HDBK-764《陆军装备系统安全工程设计指南》, 我国在此基础上形成了 GJB/Z 99—97《系统安全工程手册》, 规定了安全性设计和与之相关的各项要求。在引信领域也有专门的 GJB 373B《引信安全性设计准则》^[6], 可见安全性是各种军用系统必须满足的首要设计要求, 对工业部门提出了严峻的挑战。鉴于此, 笔者在大量工程实践的基础上, 提出一种软硬件结合确保火工品测试安全的方法, 从设计上保证一定的容错率, 即使人为操作错误也能确保系统安全。

1 综合测试系统方案

在总装厂或者发射阵地, 需要进行武器分系统测试, 验证全弹各分系统的软硬件功能、性能是否

收稿日期: 2023-02-07; 修回日期: 2023-03-05

作者简介: 段亚博(1989—), 男, 河南人, 博士, 工程师, 从事引控系统设计与智能探测技术研究。E-mail: duanyabovip@126.com。

满足使用要求。如图 1 所示，笔者介绍的火工品综合测试系统主要由综合测试台、电源适配器、工控机、被测设备(例如引信或其他含火工品设备)和测试线缆组成。

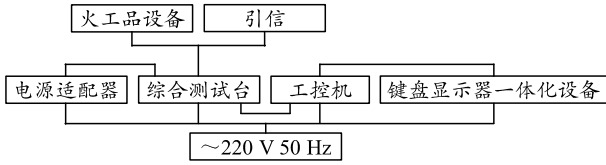


图 1 综合测试布置

综合测试台是测试系统的核心设备，外形如图 2 所示，测试台内部架构采用 PXI 总线架构，设备结构采用加固结构形式，对外输出为航插连接器，这些特点保证测试台能够更好地满足恶劣的试验测试条件，可完成被测产品的出厂检验、总装厂测试以及其他现场维护等多种测试任务。测试台与相应的测试线缆配套使用，可同时兼容不同状态的测试，通过内部各类功能模块实现对各类信号的控制和测量。测试台通过内部集成多种标准 PXI 总线仪器模块，用于实现各种电气功能、程控电源功能、A/D 采集功能、开关量输出功能、时序测量功能、模拟量输出功能、串口通讯功能和信号调理功能等。以上功能模块，配合测试软件完成测试任务，测试流程运行于该设备控制器内。

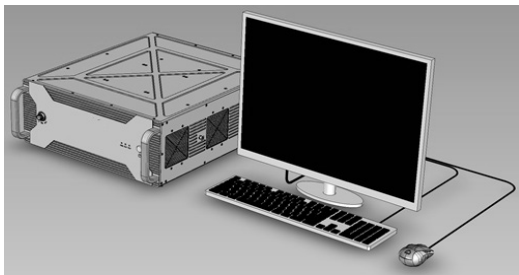


图 2 综合测试台外形

测试台主要技术指标包括 1 Mbps/4 Mbps 速率的 1 553 B 通讯，RS422 通讯，隔离电压采集，输出电压 5~36 V 程控可调，具有恒流源/恒压源功能等。综合测试台硬件总体框架图以及连接关系如图 3 所示。

2 传统的安全性测试方法

以引信测试为例，引信地面测试时，为提高测试覆盖性，须覆盖全工作流程，而解保信号和 XX 信号作用到引信会直接起爆引信内部火工品，引发重大安全性事故；因此，正确、可靠判断引信火工品已断开是地面全流程测试的先决条件。传统的测试方法如图 4 所示。

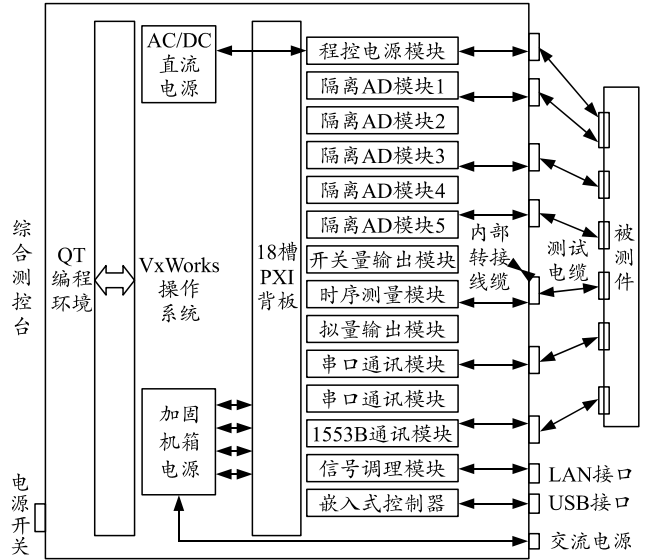


图 3 测试台硬件框架及连接关系

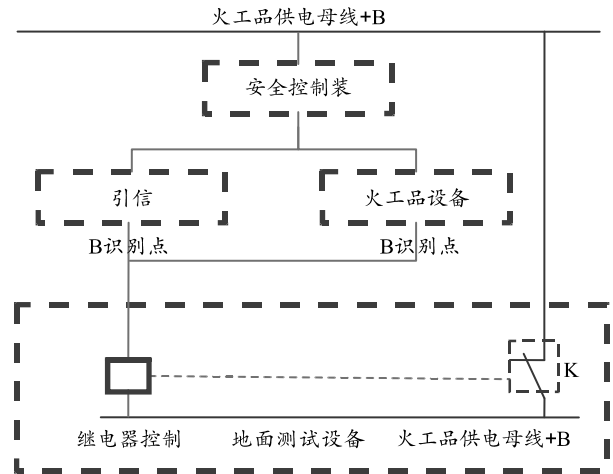


图 4 传统测试方法硬件原理

在引信或火工品设备上设置识别点，真火工品识别点接地(-B)，假火工品识别点悬空。

当真火工品接入地面测试设备时，其(-B)识别点与测试设备中的供电正(+B)构成回路，使得电磁继电器 K 动作，从而断开地面测试设备与火工品母线的供电回路，火工品母线无法上电，引信和火工品设备不带火工电，保证了测试安全性。

当假火工品接入地面测试设备时，其悬空识别点与测试设备中的(+B)不构成回路，继电器 K 不动作，火工品母线带电，地面测试系统的解保信号、XX 信号均可发出，可以进行全流程测试，保证了测试覆盖性。

该方法的优点是电路简单，但是也有缺点：

1) 当引信中的识别点异常或继电器异常时，火工品母线会在真火工品在线状态下带电，在测试过程中存在发生安全性事故的风险。

- 2) 安全性保障措施较少，当出现 I 度故障时，易引发安全性事故。
- 3) 电磁继电器失效率较高。

3 软硬件结合的安全性测试方法

针对传统测试方法中安全性措施采用继电器的不足，笔者提出改进型测试方法。硬件措施与软件设计隔离，在硬件出现故障或者软件流程错误的情况下也能确保测试过程的安全性。

3.1 火工品在线识别技术

改进型测试方法将所有火工品识别点并联，地面测试系统通过火工品动态识别技术，对火工品在线状态进行识别。当识别结果为所有真火工品均不在线时，地面测试系统通过软件控制闭合开关 K 为火工品母线供电，原理如图 5 所示。

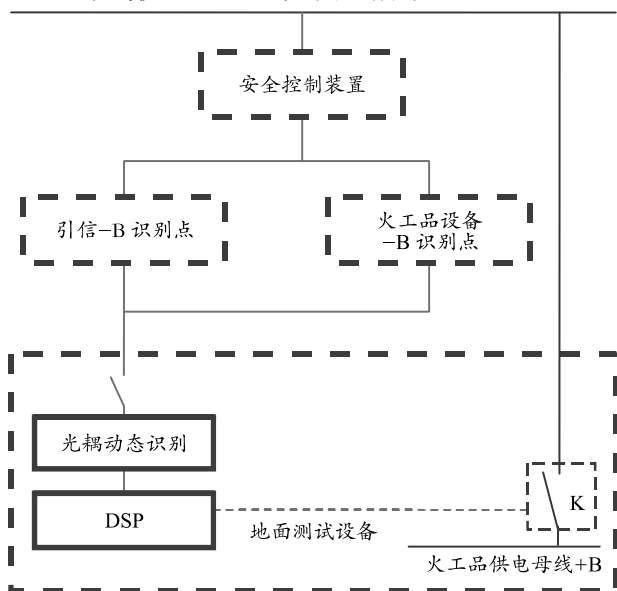


图 5 改进型测试方法硬件原理

优点如下：

- 1) 引入火工品在线动态识别技术。

为进一步保证测试安全，提高识别火工品是否接入系统的可靠性，设计了火工品在线动态识别技术。动态识别技术采用 DSP 芯片驱动光耦对识别点进行动态识别，通过多次状态识别确认识别结果。例如，若 2 次动态识别结果与预定值相同，则认为引信未接入系统。若 2 次动态识别结果与预定值不同，地面测试系统会切断地面电源向被测设备的供电通路，中断测试流程。该技术的引入，可避免元器件失效后的误判断，精准判断火工品在线状态，确保不出现安全事故。

- 2) 增加发出解保和 XX 等涉及到火工品信号

的前提条件。

火工品在线动态识别技术可对火工品在线状态进行软件精准识别，闭合火工品母线供电通路、发出后续的测试信号均以软件识别结果作为前提条件，提高了系统测试安全性。

3.2 软件安全性设计

通过在含火工品设备的通讯过程中增加反馈自身状态的字节，地面测试系统可准确地判断引信或者其他火工品设备的状态，确保地面测试过程安全。

例如地面测试系统与引信采用 RS422 异步串行通信方式，波特率为 9 600；数据格式：1 个起始位，8 个数据位，1 个奇校验位，1 个停止位；串口通信按照 Q/Y 520《软件异步串行通信协议》标准帧格式执行，如表 1 所示。

表 1 串口通信数据格式

顺序	字段	字节数
1	帧头	2
2	数据区	1~249
3	填充字节	1
4	校验码	1
5	数据区长度	1
6	帧尾	2

测试过程中，地面测试系统给引信发送状态查询命令，引信回复如表 2 所示，地面测试系统通过判断字节 6 和字节 7 后确认引信为测试引信，才能进行后续的全流程测试，确保测试过程的绝对安全。

表 2 引信回复数据格式

序号	名称	描述	备注
字节 1	帧头 1	.....
字节 2	帧头 2	.....
字节 3	帧长度	.....
字节 4	命令字	.....
.....	
字节 5	通信状态	.....
字节 6	自检状态	.....
			全备状态：0x1111
字节 7	引信状态	.....	测试状态：0x2222
			其他状态：0x3333
字节 8	校验和	.....	字节 3~7 相加

4 结论

笔者在传统的火工品安全性测试方法基础上提出一种软硬件结合的测试方法。该方法同时使用了软件和硬件方法，可有效避免单一安全性措施故障带来的安全性风险，在提高火工品测试覆盖性的同时确保了测试安全性，对工程设计领域有一定的借鉴意义。