

# 某型直升机机载电子系统原位检测设计与实现

吴国宝, 宋帆, 陈德军, 邓细凤

(中国直升机设计研究所, 江西景德镇 333001)

**摘要:** 针对某型直升机机载电子系统性能先进、种类繁多而外场保障又缺乏快速、有效检测手段的情况, 研究设计了一种小型组合式多功能原位检测设备, 该设备主要由便携维护诊断检测仪器 (PIP) 及便携维护辅助设备 (PMA) 两大部分组成; 其中 PIP 用于提供原位检测所需的激励、测量资源是原位检测设备的主要部件; PMA 通过网络接口对 PIP 进行控制, 是 PIP 的主要人机交互载体, 通过在 PMA 上运行相应测试程序完成机载电子系统的故障检测; 针对不同机载电子系统的原位检测只需在 PIP 主机中更换相应资源模块及在 PMA 中运行对应测试程序即可; 所设计原位检测设备为某型直升机外场保障提供有效的排故检测手段, 可提高外场维护效率、降低全机电子系统保障费用、能满足野战环境下快速保障的要求。

**关键词:** 直升机; 机载电子系统; 原位检测; 设计

## Design and Implementation of In-situ Detection for Airborne Electronic System of Helicopter

Wu Guobao, Song Fan, Chen Dejun, Deng Xifeng

(China Helicopter Research and Development Institute, Jingdezhen 333001, China)

**Abstract:** Aiming at the advanced performance and variety of a helicopter's airborne electronic system and the lack of fast and effective detection means for field support, a small combined multi-function in-situ inspection equipment is designed. The equipment is mainly composed of PIP and PMA. The PIP is used to provide the excitation and measurement resources needed for in-situ detection. It is the main component of the in-situ detection device. The PMA controls the PIP through the network interface. It is the main human-computer interaction carrier of the PIP. By running the corresponding test program on the PMA. Complete fault detection of the onboard electronic system. For in-situ detection of different onboard electronic systems, it is only necessary to replace the corresponding resource module in the PIP host and run the corresponding test program in the PMA. The designed in-situ inspection equipment provides an effective detection method for the outfield protection of a helicopter, which can improve the maintenance efficiency of the field, reduce the maintenance cost of the whole electromechanical subsystem, and meet the requirements of rapid protection in the field environment.

**Keywords:** helicopter; airborne electronic system; in-situ detection; design

## 0 引言

现代直升机为满足新形势下战争需要, 往往配备有大量性能先进, 结构复杂的机载电子系统, 当这些复杂的机载电子系统在外场执行任务出现故障时, 仅靠机内测试 (Build-in Test, BIT) 来隔离到外场可更换单元 (Line Replaceable Unit, LRU), 往往无法实现故障检测率全覆盖<sup>[1]</sup>。按照某型直升机测试性设计要求, 机载机电系统的故障检测率要在 90% 以上, 机载机电系统的故障检测率要求在 70% 以上, 其中还需考虑虚警率等问题<sup>[2]</sup>。

目前, 由于一线作战部队外场缺少有效的加载电子系统外部检测手段, 以往当发生直升机在外场执行任务出现

机载电子系统故障而机内 BIT 无法定位到 LRU 的情况时<sup>[3]</sup>, 往往是通过采取拆换件或者联系生产厂商技术人员现场协助排故的方式解决, 但此种方式排故周期长、对机载电子系统故障排除能力有限, 特别是在战场环境下, 对后勤保障要求极高<sup>[4-5]</sup>。

若针对每个机载电子系统采用专检方式, 研制用于支持其维修的保障设备, 则全机机载电子系统的维修保障设备将相当庞大, 非常不利于部队外场的使用<sup>[6-8]</sup>。这与新形势下, 我军对直升机外场保障的便捷性、准确性, 在最短时间内定位故障, 更换备件, 特别是在战场环境中保证直升机的出勤率的总要求不符。

针对某型直升机机载电子系统性能先进、功能强大、结构复杂、机载电子系统综合化、模块化程度高, 信号相互关联多的特点。研究设计了一种小型组合式多功能原位检测设备为其外场保障提供排故检测手段, 以提高直升机高机载电子系统的维护效率、降低全机电子系统保障费用、满足野战环境下快速保障的要求。

收稿日期: 2018-10-10; 修回日期: 2018-11-15。

基金项目: 国家重大科学仪器设备开发专项项目 (2016YFF0104000)。

作者简介: 吴国宝 (1988-), 男, 江西鄱阳人, 硕士研究生, 工程师, 主要从事直升机综合试验方向的研究。

# 1 原位检测设备总体设计

## 1.1 检测原理

原位检测以被测系统的地面通电检查技术条件、地面联试报告以及故障模式、影响及危害度分析 (Failure Mode, Effects and Criticality Analysis, FMECA) 报告为依据, 通过原位检测设备在系统不下电、不拆件的情况下对被测系统的外部信号交联、功能、性能、逻辑以及系统内部信号交联进行检测。

原位检测设备由便携维护诊断检测仪器 (Portable Maintenance Aid Instrument Pack, PIP) 及便携维护辅助设备 (Portable Maintenance Aid, PMA) 两大部分组成。其中 PIP 提供检测所需的激励、测量资源是原位检测设备的主要部件; PMA 可通过网络接口对 PIP 进行控制, 结合测试程序完成机载电子系统的故障隔离定位, 是 PIP 的主要人机交互载体, TUA 实现被测系统的信号转接。针对不同机载电子系统, 只需在 PIP 主机中更换相应资源模块及在 PMA 中运行对应测试程序即可实现该系统的原位检测。原位检测原理如图 1 所示。

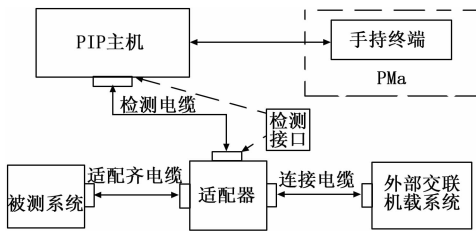


图 1 原位检测原理示意图

图 1 中, 适配器内部采用三通设计, 其一端通过适配器电缆与被测系统连接; 另一端通过连接电缆, 实现与其他机载系统的连接; 适配器实现机载系统与被测系统连接的同时, 将需要检测的信号从适配器的检测接口引出, 通过检测电缆连接到 PIP 的测试主机 (简称 PIP 主机)。PIP 主机通过检测接口获取被测系统的工作状态信息并将故障隔离、定位到被测系统的 LRU。

## 1.2 设备组成

原位检测 PIP 一般由 PIP 主机、测试接口适配器 (Test Unit Adapter, TUA)、检测电缆、电源电缆、TUA 电缆、自检模块等组成。PMA 可选用平板电脑等手持式终端设备。整套检测设备采用便携式机箱设计; TUA、TUA 电缆、检测电缆、220 V 交流电源电缆、28 V 直流电源电缆、自检模块以及 PMA 均存放于包装箱内, 包装箱内有根据存放物品尺寸设计的减震海绵。整套原位检测设备组成如图 2 所示。

# 2 原位检测硬件设计

## 2.1 PIP 主机设计

PIP 主机内部依据 PCI 标准 3.0 版本架构设计, 控制器和各类资源模块采用基于 IEC 60297-3、IEC 60297-4 以及 IEEE 1101.10 定义的 3U 欧式外形; 各类检测资源模

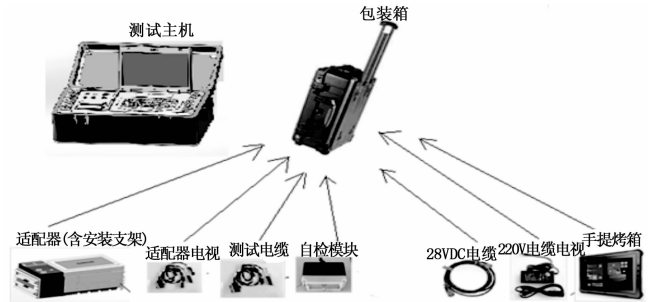


图 2 原位检测设备组成示意图

块通过背板与控制器连接; 检测资源模块包含离散量信号采集模块、开关量模块、模拟量信号采集模块、模拟量信号激励模块、1553B 总线通讯模块、串口总线通讯模块等; 28 V 直流工作电源通过电源接口输入。检测资源模块与控制器之间采用 PCI 总线通信, 主机内部原理如图 3 所示。

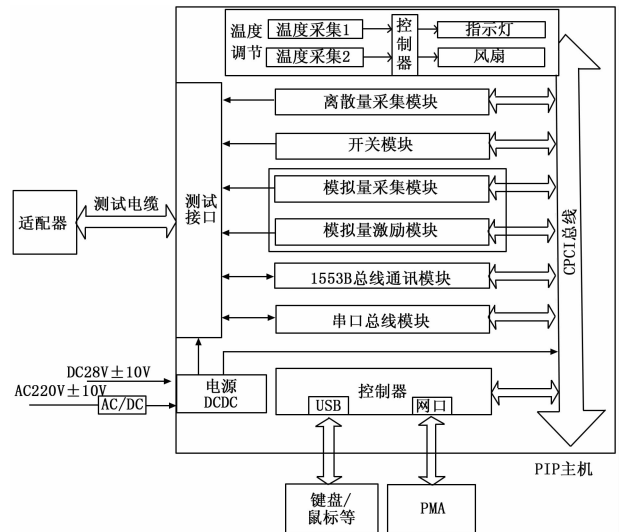


图 3 PIP 主机内部原理框图

PIP 主机采用便携式结构设计, 依据功能可将 PIP 主机前面板划分为: 检测接口区和人机交互区两大功能区。检测接口区包含: 1) 两个矩形接口, 主要实现离散量信号、模拟量信号、除串口总线信号的输入、输出功能; 2) 4 个 1553B 总线接口 (两路信号), 实现被测记载系统与外部交联系统 1553B 总线通讯的监控; 3) 外部电源接口, 实现 PIP 的供电。人机交互接口区包含: 1) 两个网络接口 (含 1 个备份接口), 实现 PIP 主机与 PMA 的通讯; 2) 4 个 USB 接口 (含 3 个备份接口), 现实 PIP 主机与其他外部设备的交互; 3) 一个 VGA 接口, PIP 主机通过 VGA 接口实现与显示器的连接, 便于 PIP 主机硬件及原位检测软件的调试。此外, 为加强 PIP 主机使用强电的安全性, 在 PIP 主机前面板配置两个强电保险插座, PIP 主机电源启动开关指示灯。

为保证 PIP 主机具有良好散热性, PIP 主机前面板采用铝合金材质, 内部设计有散热风扇, 并在面板的非功能区配置若干大小均匀的散热孔, 在散热孔下面贴有一层防尘

网, 防止灰尘通过散热孔进入 PIP 主机内部。

### 2.2 检测接口设计

由于原位检测所涉及的检测信号几乎均为小信号, 故 PIP 主机中的两个矩形检测接口, 设计时均采用普通的信号针脚, 每根针脚最大过流为 1A。为便于接口拓展在检测接口上仍预留最大过流为 10A 的大电流信号针脚 (占 20 根针脚)。

根据信号类型的不同, 其在 PIP 主机内部及 TUA 中布线时选用对应的单芯线、单芯屏蔽线、双绞屏蔽线或三绞屏蔽线。矩形接口连接器外壳设计有导向定位及防插错功能; 为防止连接器插合后脱落连接器还设计有锁定螺杆, 保障连接器连接的可靠性。

### 2.3 电源系统设计

PIP 主机机箱设计有直流供电和交流供电两种方式, 既可满足外场检测时使用机上 28 V 直流电源供电, 也可满足在机库检测环境下采用 220 V 交流/50 Hz 市电供电。

PMA 内含有锂电池, 原位检测时无需外部供电, 只需要平时保持电量充足即可, 为其配备有专用充电电缆。

对于输入 PIP 主机的机上 28 V 直流电源, PIP 主机内部设计两级电压调理, 第一级为直流稳压模块, 第二级为电压变换模块能同时输出多个不同电压值得直流电压。机上 28 V 直流电压通过直流稳压模块后一部分直接接入到 PIP 主机的开关量模块级测试接口上, 另一部分进入电压转换模块, 将 28 V 直流电压转换为  $\pm 12$  V、 $\pm 5$  V、 $\pm 3.3$  V, 输出到 PIP 主机检测模块的背板和散热风扇, 作为 PIP 主机内部控制器及各类检测模块等的工作电源。此外直流稳压模块设计有宽范围输入、过压过流保护功能, 保护被测产品供电安全。检测供电如图 4 所示。

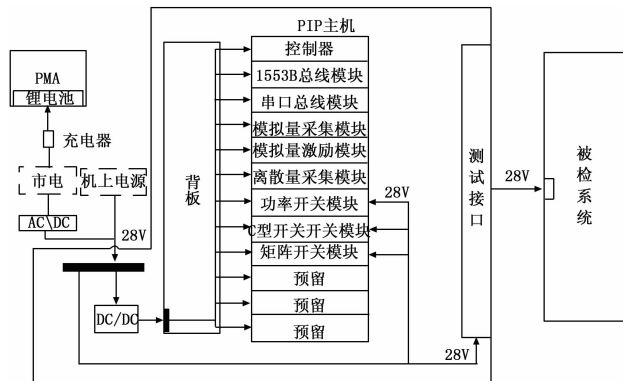


图 4 检测供电示意图

### 2.4 TUA 设计

原位检测 TUA 的主要功能为: 1) 实现 PIP 主机、被测机载系统与外部交联机载系统的机械和电气连接功能; 2) 根据测试需要, 实现对需要检测信号的滤波、整形、放大、变换等调理功能; 3) 实现必要的信号隔离, 确保 PIP 主机、被测机载系统与外部交联机载系统的安全功能。

原位检测 TUA 内部设计与外部交联如图 5 所示。

由图 5 可知, TUA 右侧外部交联接口与外部交联机载

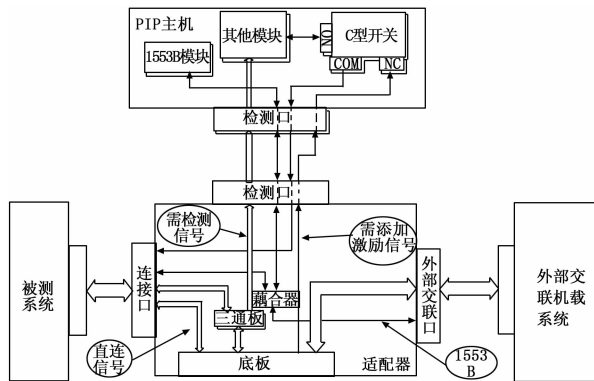


图 5 适配器内部接线示意图

系统连接, 将机上信号引入到 TUA 内部底板上。内部底板根据原位检测需要将信号分为以下三类: 1) 需 PIP 主机提供激励的信号, 如图 5 中黑线所示, 该类信号从底板通过 TUA 检测接口连接到 PIP 主机的检测接口, 一直连接到 C 型开关模块的 NC 端上, 然后再从 COM 端引出依次通过 PIP 主机检测接口、TUA 检测接口、TUA 连接接口直至被测检测系统上, 当需要 PIP 主机输出激励信号时首先将 C 型开关模块的开关切换到 NO 端, 断开与外部交联机载系统的连接, 然后通过 PIP 主机的其他模块给出相应激励信号; 2) 需 PIP 主机提供测量的信号, 主要用于信号的监控, 如图 5 中单向箭头所示, 该类信号从 TUA 底板分出后进入三通板一分为二, 一端从连接接口进入被测系统, 另一端从 TUA 检测接口穿过 PIP 主机检测口进入 PIP 主机内部相应信号测量模块, 其中由于 1553B 总线比较特殊, 需通过耦合器进行分线的; 3) 直连信号, 该类信号虽不需要 PIP 主机对其进行任务操作, 但却是被测机载系统与外部交联机载系统交互不可或缺的, 如图 5 中双向箭头所示, 信号从适配器底板引出后直接通过连接接口与被测系统相连。

### 2.5 电缆设计

原位检测电缆包括检测电缆、连接电缆和 1553B 总线电缆三类。其中检测电缆、连接电缆内部信号线设计采用高温导线制作, 依据信号抗干扰能力的需求分别对应选用单芯线、单芯屏蔽线、双绞屏蔽线和三绞屏蔽线, 所有电线屏蔽层均采用可靠接地设计。为保证电缆的柔软性, 所有电缆均选用绕包线, 该种电线与普通电线相比在同等规格线芯下整个电缆的直径会更小, 同时能有效提高电缆的柔软度。电缆还采用防差错螺钉设计, 保证检测电缆与连接电缆使用无误。

为保证 1553B 信号的完整传输, 1553B 电缆采用专用电缆制作, 接头采用符合 1553B 信号传输要求的专用连接器。

### 2.6 自检设计

为提高原位检测的安全性、有效性和稳定性, 在对被测机载系统进行原位检测前, 需先对 PIP 主机进行自检测试, 以确保 PIP 主机内各检测资源模块能正常有效工作。

由于 PIP 主机内部各检测资源模块均通过 PCI 总线连接控制器进行控制, 故在控制器中设计有快速自检检测出现,

通过该程序可快速检测各类资源模块是否能正常有效工作，从而达到快速自检目的。

自检测试，依据原位检测 PIP 主机内部资源的类型可分为：1) 总线类模块自检测试；2) 非总线类模块自检测试；3) 开关类模块自检测试。

其中，总线类模块包含：串口总线（含 RS232、RS429、RS485）、ARINC429 总线和 1553B 总线三类；非总线类模块包含有，模拟信号测量、模型信号激励、离散信号测量、离散量信号激励四类；开关类模块包含有，功率开关、C 型开关、矩阵开关等三类。

### 2.6.1 总线类模块自检测试设计

对于 1553B 总线模块，由于 PIP 主机设计使用的是双通道、双冗余 1553B 总线模块，在进行 1553B 总线模块自检时首先，通过自检测程序控制 1553B 总线模块某一通道的 BUS A 与 BUS B 相互间的数据收发以验证该通道性能是否降级；然后，通过自检电缆连接通道 1 的 BUS A 与通道 2 的 BUS A 进行数据收发，以验证 1553B 总线模块通道间的数据传输的稳定性。

在进行串口总线及 ARINC429 总线自检测试时，将自检连接器与 PIP 主机检测接口对接，自检连接器实现串口总线及 ARINC429 总线发送通道和接收通道对接，使总线模块的某一通道进行数据自发自收测试，以验证运串口总线模块及 ARINC429 模块功能的稳定性。

### 2.6.2 非总线类模块自检测试设计

对于非总线类模块中的模拟量信号、离散量信号，在自检连接器中设计有交叉互检，即利用激励模块作为测量模块的输入进行检测。通过观察测量数据与给定激励值是否一致，以验证非总线类资源模块的有效性。

### 2.6.3 开关类模块自检测试设计

对于 3 种类型的开关类模块的自检，可借助离散量测量模块来实现，在自检连接器中实现如图 6 所示的接线便可实现开关类模块的自检。

如图 6 所示，将开关的一端与离散量采集模块的信号地连接，另一端接到离散量测量模块的信号采集通道上，若开关正常闭合则采集到的信号为地信号，否则测得结果为开路信号。

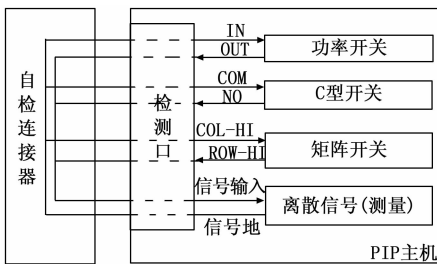


图 6 开关自检接线示意图

## 3 原位检测程序设计

在完成某型直升机机载电子系统原位检测设备硬件设计的基础上，还需完成原位检测测试程序的开发，才能对

某型机的机载电子系统进行原位检测。

为提高原位检测测试程序（Test Program, TP）的通用性和可移植性，本文设计采用面向信号通用自动测试软件（Signal Oriented General Test Software, SGTS）作为原位检测的 TP 开发平台<sup>[9,10]</sup>。SGTS 是一种基于自动测试标记语言（Automatic Test Markup Language, ATML）标准和基于测试和信号定义（Signal and Test Definition, STD）标准的面向信号编程软件，能很好地将测试需求与具体硬件检测设备分离，满足原位检测 TP 通用性和可移植性的需求。

SGTS 将作为 TP 开发和运行的核心，通过将 TP 测试需求与具体硬件平台分离，实现了 TP 的跨平台可移植，测试数据可交互，提高了测试设备的互换性。SGTS 平台软件采用层次化体系结构，自上至下分为用户交互层、数据交互层、运行期解析执行层和仪器驱动层，体系结构如图 7 所示。

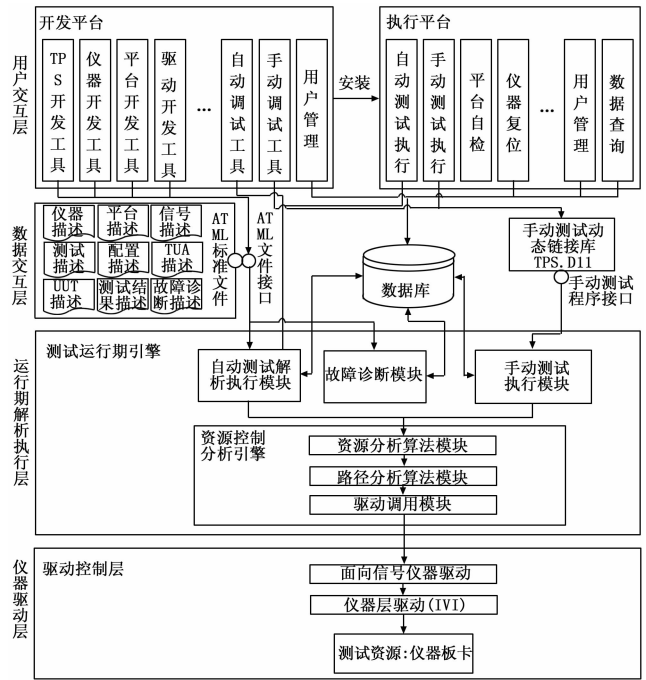


图 7 SGTS 体系结构框图

由图 7 可知，用户交互层提供交互式的开发工具，用户在开发界面编辑相关信息；数据交互层以可扩展标记语言（Extensible Markup Language, XML）文件接口形式完成测试资源信息的交互，运行期解析执行层解析 XML 文件包含的测试项目及测试动作，完成物理路径的匹配及虚拟仪器资源的映射，仪器驱动层通过调用面向信号的仪器驱动来实现整个测试任务。

## 4 结束语

本文设计了一种针对该型直升机的便携式原位检测设备。其中，硬件设备采用模块化设计，大大提高了硬件设备  
(下转第 110 页)