

集成智能化测试系统技术研究应用

袁企乡, 王海奇, 向军, 花伟峰, 石同武, 徐昕

(上海航天计算机技术研究所, 上海 201109)

摘要: 运载火箭集成智能化测试系统是实现快速发射的重要条件, 是未来运载火箭在技术上发展的主要方向; 对于目前运载火箭测试周期较长、地面测试环节复杂、设备体形庞大、单体数量众多、结构上集成度低等问题, 研究了运载火箭集成智能化测试系统在实现快速测发上的应用, 从集成、智能、移动与环境适应性方面提出了具体技术实现途径; 高速数字总线和 BIT 箭地一体化综合测试、智能实时判读等技术应用, 为实现快速发射创造条件, 指出了今后运载火箭快速测试发射技术发展方向。

关键词: 运载火箭; 箭地总线一体化; 集成测试; 智能实时判读

Integrated Intelligent Test System Technology Research and Application

Yuan Qixiang, Wang Haiqi, Xiang Jun, Hua Weifeng, Si Tongwu, Xu Xin

(Shanghai Institute of Aerospace Computer Technology, Shanghai 201109, China)

Abstract: Launch vehicle integrated intelligent test system is an important factor in quick launch, is the main development direction of future launch vehicle in technical. For the hair cycle is long, ground test launch vehicle test link complex number, structure, equipment, large size, monomer on the low level of integration, this paper studies the vehicle integrated intelligent test system of the hair in achieving rapid test applications, from the aspects of integration, intelligence, movement and environmental adaptability proposes the specific technical implementation way. High speed digital bus and BIT the arrow to the integration of comprehensive test and real-time intelligent interpretation technology, create conditions for the realization of the quick launch, points out the technology to quickly test launch rocket development direction in the future.

Keywords: carrier rocket; arrow to bus integration; integration testing; intelligent real-time interpretation

0 引言

地面测试系统是运载火箭的重要组成部分, 它使用于实现运载火箭在分系统综合试验、全箭集成综合试验及发射场飞行试验的整体工作过程之中, 并且在发射场的飞行试验中最终实施点火发射的功能, 在火箭发射的整个环节中具有重要功能。

地面测试系统目前在技术上均采用模拟方式来构建控制回路, 存在整个测试环节复杂, 设备体积庞大, 在阵地上测发周期长的问题。根据今后运载火箭的发射当量, 以现行的测试体制和测试设备规模, 需要耗费大量人力、时间资源。为了适应当前和今后发展需求, 要对现有测发体制、测试时间、数据处理模式进行必要优化调整与改进, 使测试系统更好地做到具有快速性、可靠性、稳定性的能力与功能, 这是未来地面测试系统技术领域的重要发展方向, 也是迫切需要进行研究的课题。

1 快速测试系统组成及原理

该系统组成及原理如图 1 所示^[1]。

收稿日期: 2016-02-01; 修回日期: 2016-02-18。

作者简介: 袁企乡(1958-), 男, 上海市人, 大学, 工程师, 主要从事机电结构集成技术方向的研究。

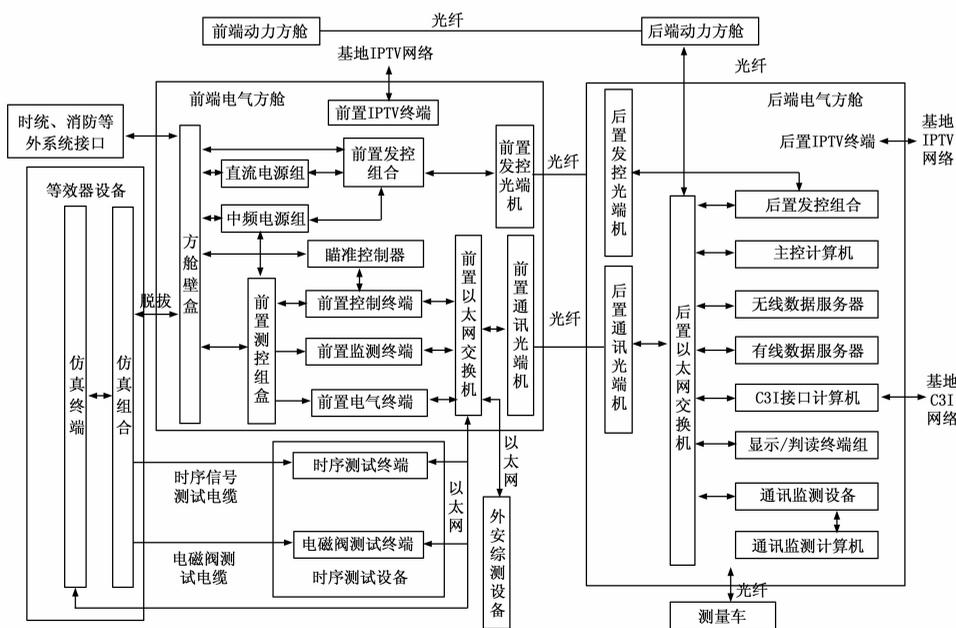


图 1 快速测试系统组成及原理

1.1 总控网

总控网为测发控系统(即测试系统)信息传输和处理的载体, 是测发控系统各单机设备信息交互的主要路径, 是系统集成的关键设备。总控网设备可分为 4 个部分, 分别是远距离测发网络平台、指挥监控设备、数据服务设备和网络监控设备。总控网构成见图 2。

其中远距离测发网络平台由光端机、交换机构成, 实现远程的数据通讯功能。系统需要通讯模式包括以太网通讯、串口通讯、视频通讯等, 通讯链路设计有冗余通道, 保证系统可靠

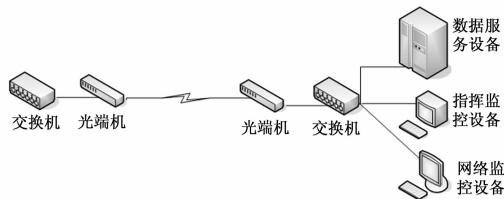


图 2 总控网

性。指挥监控设备包括系统控制执行机构、控制指令的发起和判别机构, 数据服务设备为系统提供数据的存储与发布。网络监控设备可实时监控系统所有网络设备、计算机联网状态和数据包传输情况等。总控网为集成一体化测发控系统提供了统一的数据链路, 实现分布式系统的集中管控。

在总控网络一般采用高速以太网进行传输, 在航天测控应用中首先考虑通讯的可靠性和实时性, 可靠性方面要求全时网络无故障, 测发控系统网络设计时考虑了冗余设计, 采用双路或多路冗余技术, 实现通讯链路冗余。系统网络拓扑图采用交叉网络或环形网络见图 3。

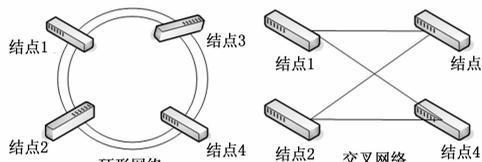


图 3 网络拓扑结构

环形网络主要适用于分布式多终端网络, 交叉网络主要适用于节点较少的网络拓扑。

1.2 控制系统测发控

测发控系统^[2]主要由发控(含电缆网)、测控(含便携式时序测试设备)、地面电源、数传网络及计算机、结构(含方舱、转运工装等)、基础应用软件(含等效器对接测试软件)、等效器等部分组成。发控部分主要由前置发控组合、后置发控组合、发控台面组合、电缆网等组成。发控逻辑功能主要应用 PLC 可编程逻辑控制器技术, 前后置发控组合内各设计一套独立工作的 PLC。在某型号火箭的箭地通道采用了 1553B 总线, 只有自检、瞄准等少量信息仍然通过 422 通道传输。测试控制部分主要应用了 PCI 总线技术、1553B 总线技术、422 通讯技术、PC/104 架构技术等。

该系统主要采用 PCI 总线测试技术、可编程逻辑控制技术、网络通讯技术、光通讯技术等多项先进技术, 以 PCI 总线测试技术为主实现测试功能; 以可编程逻辑控制技术为主实现控制功能; 以局域网技术为主实现测发系统内的信息传输; 通过光纤和光通讯技术实现远距离测试发射的信息传输; 通过网络通讯技术汇集传输测试过程中有线、无线遥测测试数据, 并对有线、无线测试数据进行实时、同步的自动判读比对, 具有对测试数据的回放检索能力。该系统以计算机自动化测试、发射为主, 降低手动操作的风险, 同时具备紧急情况下可应急控制的能力。

在整个测试结束后由两个服务器对获取的有线、无线遥测测试数据进行自动比对、判读, 并给出结论。各系统测试信息分别在显示终端上显示, 采用数值、文字、曲线等多种不同的显示方式, 用颜色区分各种不同类型的测试信息和对其进行判读后的结论。

1.3 测量系统

测量系统主要包含遥测、外测、安全控制、图像测量、天

基测控、附加监测等功能。遥测采用 PCM-FM 体制、2 个 S 波段高码率点频完成全箭参数的测量与传输。采用卫星导航定位+地基两种测量模式完成火箭的外弹道测量, 卫星导航定位主要基于 GPS, 根据时机加入我国的导航模式, 地基测控采用单脉冲雷达测量加光学测量模式。无线安全控制采用多音组合调频体制。天基测控子系统采用我国中继卫星系统的 S 波段返向数传, 完成关键遥测参数的下传。

2 关键技术和实现方法

经过对新一代快速、发射运载火箭的新型快速测发控系统研究制造, 已经首次实现了新一代运载火箭快速简易发射。对测发控系统关键技术今后发展有了整体判断, 为测发控系统技术的研发工作提供了经验。

2.1 集成智能化测试系统^[3]关键技术

要减短运载火箭在靶场的测发周期, 必须减少发射场参试设备、简化运载火箭操作工序、减少状态的变化。根据目前国内、外运载火箭快速发射的经验, 运载火箭采取水平总装、整体检查测试、水平整体运输、整体起竖与发射台对接是中、小型运载火箭达到简化工序、减少技术变化的最佳途径与方向。与此相对应研制出高可靠、高集成、快速判读的测发控系统是十分必要的, 从而可以看出, 今后以下几项关键技术会得到快速应用与发展:

2.2 系统结构趋于集成、智能、移动、环境适应性强

使用方舱平台集成是一种理想的模式之一, 尤其是在移动性、环境适应性上方舱平台表现出其特有的优点和长处。通过使用对舱体空间特征、要素分析, 依据人机工程设计原理来对整个系统设备的集成与设计工作进行全面研究与设计, 以求得系统结构上最优的设备操控性、视觉上直观性和、环境上适应性, 同时也获得系统整体上的便捷移动能力。在这过程中, 进行细致、方案设计, 综合平衡系统、操控、集成、环境等方面要求, 做到设计上考虑全面、技术与设备应用上切实可行。我们进行的设计应用实例见图 4、图 5 所示。

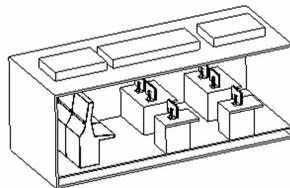


图 4 后端设备方舱

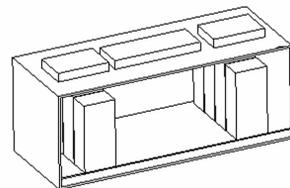


图 5 前端设备方舱

方舱平台集成化需要解决问题有: 设备的集成、操控性、视觉直观性、环境上适应性与移动性等。就目前现有设计与工程制造技术上条件与能力, 均可以做到整个地面测发控系统进行方舱集成上的良好实现, 尤其是系统的移动性上获得根本提高, 这是对系统总体要求的一大支撑。

2.3 应用高速数字总线和 BIT 箭地一体化综合测试模式

随着测发控技术发展, 系统集成化、自动化程度及可靠性等重要技术指标有很大提高。专业细化, 受统格局制约, 分系统各自独立, 系统设备多、接口种类多的问题日益显现。在目前测试体制下, 箭、地交联关系复杂, 模拟量、数字量、开关量多种信号并存, 监测信号总体数量有限, 箭、地之间相互牵制加大, 为在使用、维护、升级过程中带来极大不便, 致使测试发射周期长、效率低。故要研究高效率、高可靠、低成本、通用性强的测发体系, 合理分配与利用资源, 最大限度实现

箭、地一体化测试的要求显示出它的迫切性。

在系统设计阶段就要并行地开展设计工作，科学规划测试流程，合理分配测试资源，实现运载火箭与地面测试^[4]的一体化程度。根据前期分析与研究，在航天器上配置 BIT (Build in Test)、智能传感及自我诊断设备，利用设计在被测单元内的自测试硬件和软件进行测试及故障检测、诊断工作，简化有线地面测试需求，从而降低地面测试硬件负担，形成箭地一体化测试，提高测试准确性和测试的效率。系统任务之一，就是要求火箭的各个系统之间进行大量信息交换，采取地面激励——箭上反馈——地面采集的模式方法。

2.4 系统精简测试设备，提高集成度^[5]

长期以来，各国新型运载火箭突破了原来在导弹基础上发展所带来的限制，把可靠性、安全性、经济性作为十分主要的设计目标。运载火箭的测发控设备采用大量先进的智能化、自动化技术设计。运载火箭快速测发需求，要做到测发控系统工作可靠，并要求布局合理、结构精简、研制价格适中、性能先进和使用方便。箭地数字化总线技术的应用，为测发控系统前端设备的精简创造了有利条件。今后基于前、后端布局的测发控系统模式，前端作为测试功能硬件的载体，主要包括有发射控制部分、测试控制部分、地面电源部分 3 大块；后端作为控制部分、判读功能部分的载体，以控制终端、判读终端、数据库、智能诊断专家系统等构成组合。

快速发射运载火箭测试系统的发控部分要充分简化发控逻辑的功能，可以使用成熟的 PLC 可编程逻辑控制器技术，前端利用 PLC 的开关量输入/输出模块实现发控逻辑指令的发出和执行结果检测，利用 PLC 的 A/D 采样模块来实现地面电源重要参数（电压、电流等）的循环检测。后端 PLC 可通过以太网接收主控计算机的发控流程指令，把指令传送给前端的 PLC。随着对可靠性要求增加，今后发控的 PLC 将逐步引入具有冗余功能模块，确保发控逻辑具有高度的可靠安全性能。采用 PWM 结合 IGBT 技术的数字化中频逆变电源，在满足中频电源各项性能指标的同时，还能够减小设备体积、简化设备控制、降低设备噪音、提高设备的转换效率，来满足系统需要。

2.5 应用测试数据一体化快速分析及智能专家故障诊断技术

运载火箭在测试过程中，会产生大量的测试数据，通过对测试数据的判读，来判别火箭的工作状态是否正常。传统的测试数据判读大都基于人工进行，效率低，容易出现测试数据的漏判甚至误判，造成质量隐患发生而不能及时发现错误。计算机自动判读可以排除人工判读带来的弱点与可能错误：计算机的运算速度快，远超过人工，并且软件的计算逻辑严谨，按照固定的判读算法，数据的分析结果必然一致。自动判读能够有效避免人为带来的差错，做到正确性高、效率高、时间短。在自动判读基础上对数据进一步利用，引入智能专家故障诊断系统，系统具实施的方法：

- 1) 明确故障类型的判别：根据故障的定位对故障类型进行判别，最后可以把故障类型精确定位为：元器件失效、输入条件变化、外界环境变化等类型。
- 2) 明确故障影响区域的分析：根据故障类别，系统给出影响区域。对影响区域的故障进行分析，可以给出此故障是否影响火箭安全飞行的建议。
- 3) 确定处理故障干预的方法：故障干预的方法可以主动中止主机测试流程，可以进行故障模式的测试。故障模式测试包括对故障点的检测、故障的复现测试、故障单元隔离测

试等。

4) 确定故障解决的方案：在定位到故障源之后，由故障诊断计算机给出故障类型的 ID，传输到专家系统数据库给出解决方案，并且自动形成报告。

具体实施情况如下：

- 1) 形成故障诊断系统的标准和规范。
- 2) 建立故障诊断系统自主管理原理样机（专家系统服务器和故障诊断计算机）。
- 3) 确定故障诊断算法，编制故障诊断软件和数据库软件。
- 4) 在实际测试中，出现故障时可以准确定位到故障单机。
- 5) 由故障诊断计算机给出故障类型的 ID，传输到专家系统服务器。
- 6) 由专家系统数据库给出解决方案，并且自动形成故障分析报告，故障解决报告。并且将结果显示在后端终端上。具体系统见图 6。

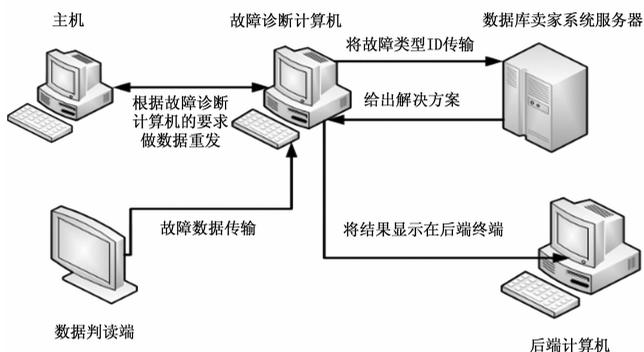


图 6 故障诊断系统框图

具体流程如图 7 所示。

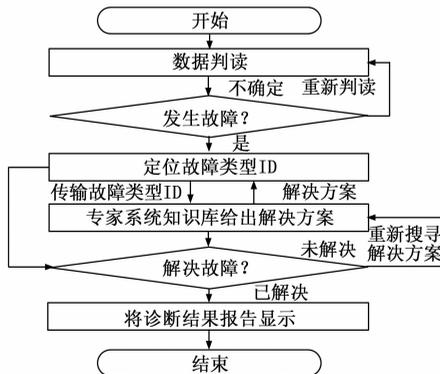


图 7 故障诊断系统流程图

系统包含有数据库、知识库、人机接口和推理机等。知识库是专家领域知识的集合，存放的知识可以是系统的工资环境，系统知识（反映系统的工作机理及系统的结构知识）；设备故障特征值，故障诊断算法（模糊算法、信息融合算法），推理规则等，反映系统的因果关系，用来进行故障推理。人机接口是操作人员与故障诊断系统进行信息交互的桥梁和窗口，是人机信息的交接点。推理机是故障诊断系统的组织控制机构，根据获取的信息综合运用各种规则，进行故障诊断，输出诊断结果。该系统使用到以下关键技术：