

文章编号: 1671-7449(2023)03-0185-09

运载火箭地面测发控系统架构研究

王子瑜, 胡钰, 彭越, 牟宇

(北京宇航系统工程研究所, 北京 100076)

摘要: 地面测发控系统是运载火箭的重要系统之一。经过六十多年发展,我国长征系列运载火箭地面测发控系统技术得到长足进步,支撑了航天运输系统的快速发展。近年来,随着一体化设计、射前无人值守、产品通用化、重复使用等新需求的出现,使得地面测发控系统不足之处逐渐显现。通过总结国内外运载火箭地面测发控系统的技术发展趋势,提出了我国运载火箭地面测发控系统架构设计思路,通过三层架构模型设计规范地面测发控系统技术体系、简化系统组成、提升系统整体性能。同时,结合我国下一代航天运输系统的技术发展需求,对我国下一代火箭地面测发控系统进行了设计构想,为后续运载火箭地面测发控技术发展提供建议。

关键词: 运载火箭; 地面测发控; 架构; 演进; 技术

中图分类号: V556 **文献标识码:** A **doi:** 10.3969/j.issn.1671-7449.2023.03.001

Research on Architecture of Test and Launch Control System in Chinese Launch Vehicle

WANG Ziyu, HU Yu, PENG Yue, MOU Yu

(Beijing Institute of Astronautical Systems Engineering, Beijing 100076, China)

Abstract: As one of the most important subsystems of the launch vehicle, the test and launch control system is responsible for power supply, system test, parameter measurement, failure diagnosis, and launch control. With the development of electronic technology, the Chinese Long March launch vehicle test and control system has made great progress. In this paper, we first introduce the recent development trends of test and launch control system technology of national launch vehicles. Based on the Chinese next-generation launch vehicle technology development needs, we then propose the launch vehicle test and launch control system architecture and technology. Last, a direction for developing the launch test and control system of next-generation launch vehicles is also discussed.

Key words: launch vehicle; test and launch control system; architecture; evolution; technology

0 引言

运载火箭地面测发控系统(test and launch control system of launch vehicle)是指对运载火箭进行测试及发射控制的电子设备和软件,负责实现运载火箭地面测试及射前发射过程中的产品供

配电、系统参数测量、激励加载及点火控制等功能。

我国运载火箭研制起步于20世纪50年代^[1],经过六十多年的技术发展,长征系列火箭已成功发射超过400次。地面测发控系统作为火箭关键系统之一,经历了从近控到远控、从直连电缆通

收稿日期: 2022-05-10

作者简介: 王子瑜(1985-),男,高级工程师,硕士,主要从事运载火箭电气总体设计研究。E-mail: wzy8564@163.com。

信到数字总线通信、从大量人工操作到自动化测试应用的发展，测发控技术取得了长足进步，支撑了航天运输系统的快速发展。特别是长征五号、长征七号等新一代运载火箭相继完成研制，测发控设备冗余设计、有线 PCM 数据箭地传输、射前闭式增压等应用，使我国运载火箭地面测发控系统任务适应性显著增强^[2-3]。

近年来，运载火箭面临新的技术挑战，快速测发、健康管理、重复使用等对运载火箭地面测发控系统提出了新的更高的要求。此外，随着以美国 Falcon9、美国 SLS、日本 Epsilon 等为代表的火箭相继进入应用发射阶段，其地面测发控系统向着更加便捷、智能的方向发展。

本文回顾了国外运载火箭地面测发控系统技术发展情况，对技术特点进行剖析，以期从中梳理出技术发展趋势。同时，对标飞机航电系统的发展理念，对国内火箭地面测发控系统开展了基础架构与演进研究。之后，针对我国新一代载人运载火箭、重型运载火箭等下一代运载火箭的研制需求，提出地面测发控系统技术发展路线，为后续地面测发控系统技术发展提供参考。

1 国外运载火箭地面测发控系统技术概况

1.1 美国 Falcon 9 火箭

SpaceX 公司鲜有发布关于 Falcon 9 火箭地面

测发控系统的技术资料。从已知素材得知，Falcon 9 火箭采用工业以太网技术实现火箭的远控测发，地面测发控设备普遍采用工业器件或产品，利用更加先进的系统架构和设计理念，获得整体可靠性与经济性的最优。同时，应用了自动试验与监控系统，采用并行算法对火箭测试发射过程进行实时监控，如图 1 所示。



图 1 Falcon 9 火箭测发大厅

Fig. 1 Falcon 9 launch vehicle test and launch hall

1.2 美国 SLS 火箭

刚刚完成首飞的美 SLS 火箭，首次在箭上电气系统与地面测发控系统之间使用百兆以太网进行箭地通信，如图 2 所示。以太网的应用大幅简化了箭地间电气接口，实现了箭地之间测试数据、控制指令的交互^[4-5]。但从有限的技术资料看，该接口仅完成箭地数据交互，不参与测试发射过程中的实时控制。

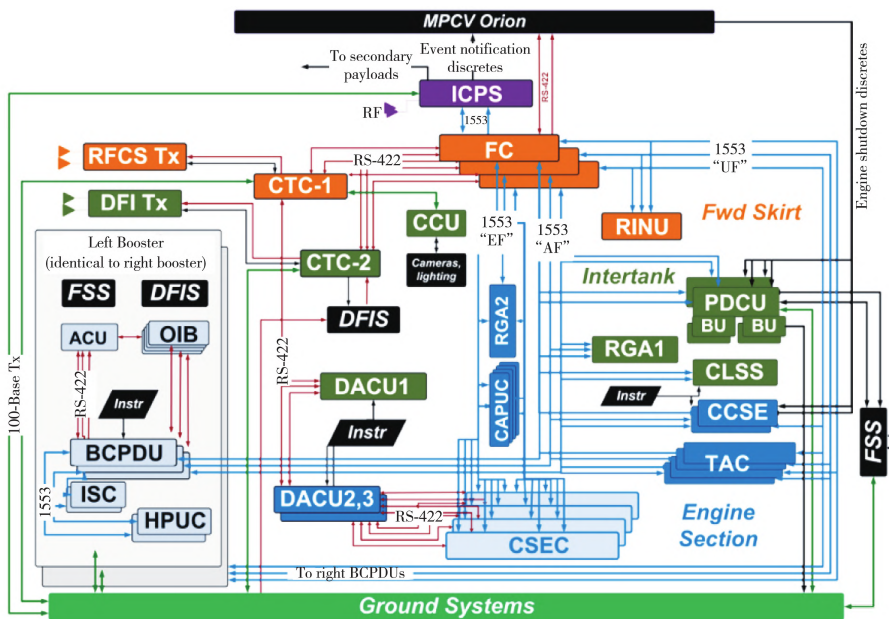


图 2 SLS 火箭航电系统原理图

Fig. 2 Avionics system architecture of SLS

1.3 日本 Epsilon 火箭

日本 Epsilon 火箭^[6]应用了基于“人工智能”箭上自主测试技术,同时配合地面测发控一体化设计技术,显著减少了地面测发控设备规模。该火箭对箭上电气系统与地面测发控系统接口进行优化,仅

保留供配电、数据监视与测发控制通路,并采用远程发射支持系统,通过网络实现火箭地面测发控设备与发射场控制中心、遥测通信站的实时通信,如图 3,图 4 所示。此外,日本下一代 H-2A 等火箭还通过采用商用货架产品(Commercial-off-the-shelf, COTS)器件打造低成本电子系统。

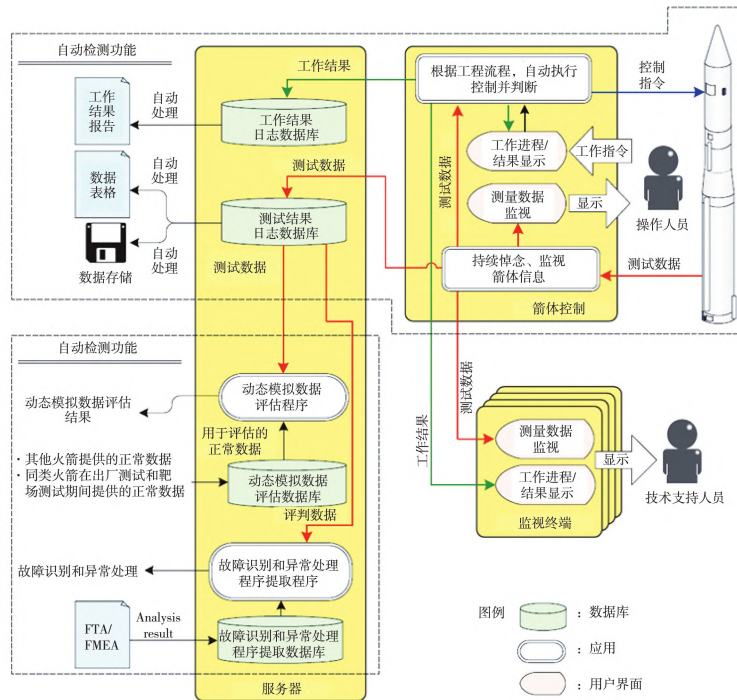
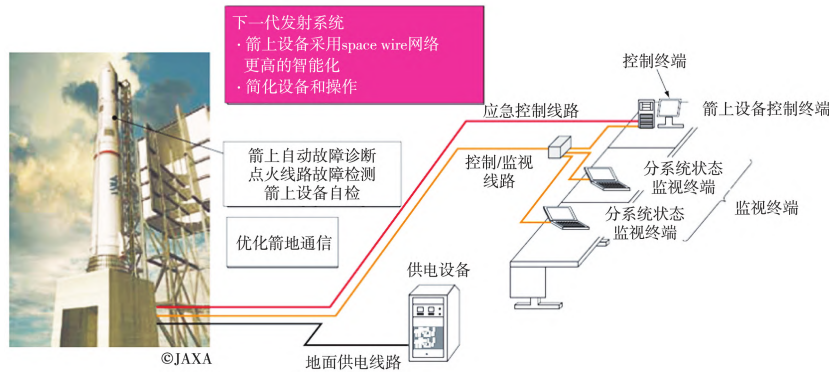


图 3 Epsilon 火箭地面测发控系统原理图

Fig. 3 Epsilon launch vehicle test and launch control system schematic

通过对国外运载火箭最新地面测发控系统技术发展分析,可以看到:1)地面测发控系统采用统一供配电模式,实现全箭供配电一体化设计;2)地面测发控设备已经由功能分立、接口专用、软硬件紧耦合的联邦式结构逐步向功能集成、接口标准、软硬件解耦的分布式架构转变;3)地面测发控设备普遍采用软件配置的模块化结构,设备种类显著减少,产品扩展和升级便捷性显著增强;4)工业元器件和产品大量应用,不再追求单

一产品的极致可靠性,而是通过先进的整体架构实现系统整体效能最优;5)箭地间接口优化,开始应用高速以太网实现箭地互联互通,可实现箭地、地-地间“一张网”,确保数据通信的确定性和可靠性,显著减少不同种类接口的转换;6)采用自动化测试与发射技术,同时故障诊断系统全面应用,不仅实现了射前流程的自动化和前端无人值守操作,还能在发生故障时及时、自动终止发射流程;7)普遍应用远程支持技术,充分利用远

程专家系统智力资源,显著减少测试发射现场的工作人员。

我国长征系列运载火箭地面测发控系统技术经过六十多年发展,以高可靠性要求为目标,形成了特点鲜明的高可靠设计技术,如基于三冗余表决机制的射前地面增压控制、基于故障的单机级容错设计、元器件级并联/并串联/串并联冗余应用等等^[7]。但与此同时,长征系列运载火箭地面测发控系统还普遍按照功能划分为控制、测量、

动力测控、总控网等系统,各系统相对独立,造成整个地面测发控系统组成设备较多、系统间互联复杂、信息交互效率低、全系统故障诊断技术应用难度大、现场人工保障环节多等问题。随着我国下一代火箭对缩短测发流程、射前自动故障诊断及测试发射、重复使用后快速检测评估等需求,需要对地面测发控系统架构进行设计,通过架构的标准化约束和牵引测发控技术发展。

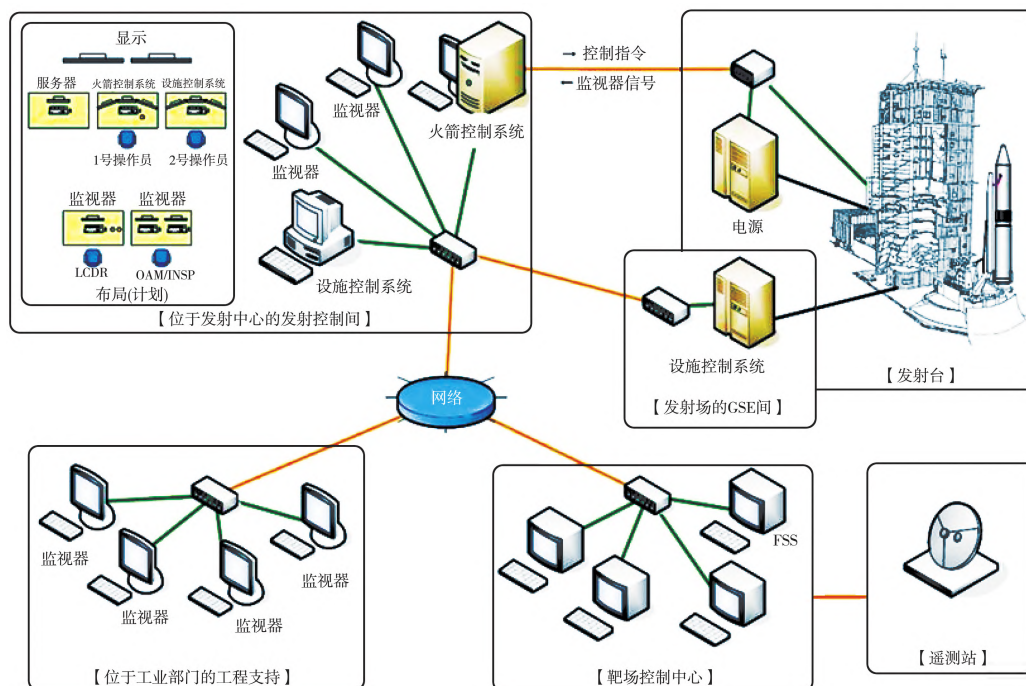


图4 Epsilon火箭远程发射支持拓扑图

Fig. 4 Epsilon launch vehicle remote support system diagram

2 地面测发控系统架构研究

2.1 地面测发控系统架构模型

在对我国长征系列运载火箭地面测发控系统需求分析基础上,提出我国下一代运载火箭地面测发控系统架构设计理念,通过统一的系统架构,规范技术体系、简化系统组成、提升系统整体性能,具体如图5所示。地面测发控系统架构模型分为功能层、基础架构层和物理实现层。

1) 功能层凝练为供配电、负载测控、数传通信和信息管理四部分。其中,供配电功能负责为箭上、地面设备及各类型负载提供能源;负载测控功能负责按测发流程采集相关参数、控制相关负载对象;数传通信功能实现地面测发控系统设备间互联互通,并负责完成火箭与地面的数据交

互;信息管理功能负责火箭测发流程控制、射前故障诊断与数据挖掘、测试后的数据判读等。

2) 物理实现层是实现功能的设备载体,主要包括测控设备、电源设备、遥测数据解调设备、网络通信设备、操作系统和各种软件,用于实现系统具体的某项或多项功能。

3) 基础架构层分解为能源管理架构、测控设备架构、网络通信架构和软件应用架构。基础架构层不仅约束了地面测发控系统功能组成及技术体系,也是牵引技术地面测发控系统技术演进的抓手。

通过基础架构层实现地面测发控系统功能与实体的解耦,便于地面测发控系统能源与网络的一体化设计、数据资源的一体化应用、故障诊断的一体化管理,同时可极大提升系统后续功能扩展的便捷性。

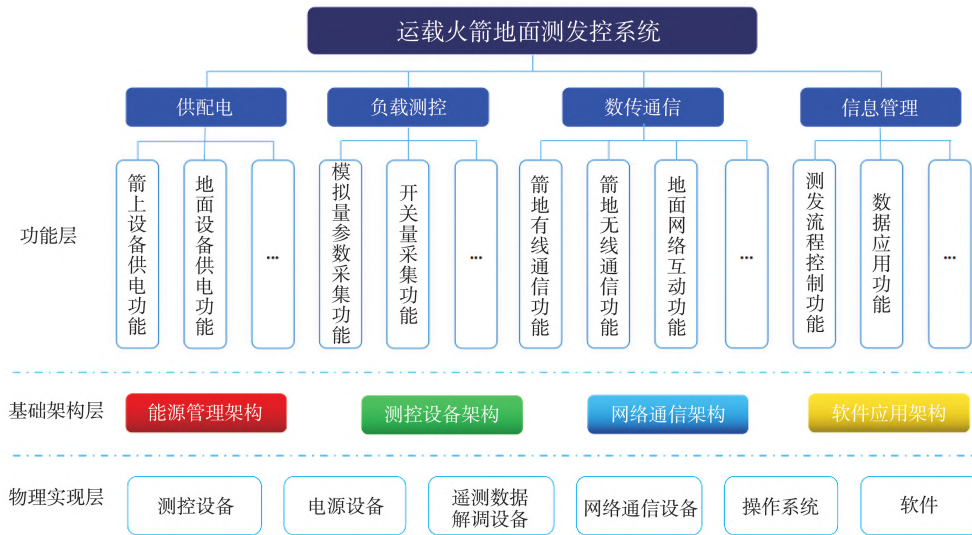


图 5 运载火箭地面测发控系统架构

Fig. 5 Architecture of test and launch control system

2.2 地面测发控系统演进研究

随着电子技术的快速发展，我国长征系列运载火箭地面测发控系统演进过程如表 1 所示。从地面测发控系统发展历程可以看出：地面测发控系统技术演进的实质是系统基础架构的升级，基

础架构中任一技术要素的升级，都会涉及地面测发控系统中设备、软件和测发使用模式等的状态变化和整体性能提升。同时，地面测发控系统基础架构模型使地面测发控系统技术抽象成 4 个方面，使各部分实现低耦合度，可以分级独立实现技术演进与技术通用。

表 1 我国长征系列运载火箭地面测发控系统演进
Tab. 1 Evolution of test and launch control system

基础架构	技术要素	演进路线
能源管理架构	供电体制	按电气系统需求，直流+交流→直流电源为主
	功率密度	单位体积供电输出功率不断提高
	供电传输形式	独立分散供电→统一供电，有线→无线
测控设备架构	集成化	单机功能板卡化，单位体积测控能力不断提高
	通用化	专用接口→接口适配多个型号
	设备体制	无总线→PLC/PXI→CPCI
网络通信架构	测控形式	独立集中测控→分布式测控
	前后端距离	近端→远端→远程
	数据带宽	百兆→千兆
软件应用架构	传输形式	点对点串口通信→以太网传输→无线传输(5G、卫通)
	终端形式	工作站→虚拟化服务器+瘦客户端
	操作系统	windows→国产化操作系统
	通用性	定制软件→软件平台可适配多个型号
	智能化	人工流程→部分自动化→自动化+健康管理

以地面测发控系统基础架构为基准，可将我国长征系统运载火箭地面测发控系统技术发展划分为以下阶段。

第一阶段：地面测发控系统采用近控模式，地面测发控设备布置在火箭发射工位附近。火箭各系统分别配置独立的地面测发控设备，设备普遍采用模拟分立器件，箭地之间、设备之间通过直连电缆互联。第一阶段地面测发控系统设备种类和数量多，规模大，自动化程度低，使用维护复杂。

- 1) 能源管理架构：各系统独立配置定制化电源。
- 2) 测控设备架构：各系统独立配置定制化的设备，设备普遍使用模拟分立器件，一台设备仅实现某种特定的功能。
- 3) 网络通信架构：采用近端测控模式，设备间采用点对点通信。
- 4) 软件应用架构：各系统独立配置计算机，定制化软件。

第二阶段：地面测发控系统采用远控模式，地

面设备分成前后端部署,中间通过光纤连接,内部采用以太网连接,解决了测发安全性问题。各系统分别配置地面测发控设备,采用设备级冗余设计提高任务可靠性;箭地之间采用数字总线通信;自动化测试和判读水平大幅度提升,但是各系统测试流程互相独立。第二阶段系统配置独立,设备复杂,数据判读、射前监测仍要人工确认。

1) 能源管理架构:各系统独立配置电源,采用冗余热备模式,电磁配电模式。

2) 测控设备架构:开始应用 VXI、PXI、PLC 等工业测控设备。

3) 网络通信架构:采用以太网实现远端测控。

4) 软件应用架构:各系统独立配置计算机、软件,初步应用故障诊断技术。

第三阶段:将传统分系统独立的地面设备和软件进行资源整合,简化系统规模。功能集成化的测控设备开始应用,并采用模块化、组合化及软件配置技术,支持箭地接口快速适配更换以满足不同火箭的测发需求。虚拟云技术开始应用。新一代长征五号、长征七号等火箭地面测发控系统正按第三阶段技术进行升级改造。

1) 能源管理架构:采用统一供配电技术,通用电源模块,SSPC 数字配电模式。

2) 测控设备架构:开始应用综合电子技术,采用通用模块+定制背板的组合化模式。各模块功能独立、接口标准、规格统一。

3) 网络通信架构:采用以太网实现设备间互联互通,带宽不断增加。部分采集设备开始采用 Zigbee 协议进行无线数据传输。

4) 软件应用架构:通用软件开发平台,云技术开始应用。

第四阶段:结合下一代重型运载火箭、新一代载人运载火箭需求及电子技术发展,我国下一代运载火箭地面测发控系统正向着第四阶段发展。

1) 能源管理架构:无线供电技术开始应用,箭地间电缆大幅优化,火箭射前及重复使用后处理无人值守,更加便捷。

2) 测控设备架构:分布式综合电子技术应用,形成物理上分布、功能上综合的松耦合结构,共享计算及 IO 资源,设备规模、种类大幅减少。

3) 网络通信架构:基于 5G、卫星通信等无线通信技术开始应用,地面测发控系统部署更加灵活,异地远程支持更加高效。

4) 软件应用架构:一体化的信息流管理,射

前自主故障诊断、自主测试发射开始应用,地面测发控系统更加智能。

3 我国下一代运载火箭地面测发控系统技术设想

3.1 发展趋势分析

我国长征系列运载火箭已经形成了小型、中型、大型、重型的系列化型谱规划,实现运载能力的全面有效覆盖,同时正加大故障诊断、重复使用等新技术攻关,进一步提升火箭可靠性、经济性、先进性等综合性能^[8]。基于我国运载火箭后续发展理念,结合国外运载火箭地面测发控系统发展趋势,我国运载火箭地面测发控系统可提炼形成高可靠、低成本、便捷化、智能化等维度的发展需求,地面测发控设备集成度大幅提升,设备种类、数量大幅减小,箭地间接口更为简化,无线通信、远程辅助支持、自主故障诊断等技术全面应用,实现我国下一代运载火箭地面测发控系统技术升级换代。

3.2 下一代地面测发控系统设计构想

3.2.1 箭地无线传能技术

目前,长征系列运载火箭箭地供电接口主要采用脱拔或脱插等机械式电连接器实现,脱拔或脱插的可靠脱落、分离对运载火箭发射起到关键作用。一旦脱拔或脱插出现提前、延后分离,可能导致火箭发射前电气系统异常断电、发动机预冷失败、发射流程终止等重大问题。美国的 Antares 火箭就曾在 2013 年出现临射前 12 min 一级箭地供电脐带电缆异常断开而中止发射的案例。此外,随着后续运载火箭的重复使用,回收后箭体后处理过程要求无人值守,而自动对接电连接器技术尚不成熟,长时间后处理流程对供电的需求也较难通过箭上携带电池满足。

面对我国下一代运载火箭技术水平、可靠性提升与重复使用需求,从技术发展趋势分析,无线箭地传能技术将成为后续地面测发控系统的重要方向。无线传能技术是指利用电场、磁场、微波等实现电能从电网或电池以非电气接触的方式传输至用电设备的技术。目前,无线传能方式主要包括近场传输和远场传输两类^[9],近场传输技术主要采用磁场谐振耦合式,远场传输技术主要采用激光式,其主要指标比对如表 2 所示。

表 2 两种无线供电技术主要技术指标
 Tab. 2 Comparison of two technologies of wireless power transmission

项目	磁耦合式	激光式
传输功率	>10 kW 级	>1 kW 级
传输距离	≤1 m	可远至 km 级
发射/接收设备尺寸/m	1~2	0.04~0.1
效率/%	≥80	≥50
电磁兼容	较差	较好
是否需要精确对准	否	是
研制成本	优	较高

对运载火箭箭地无线传能互联角度，采用基于磁场谐振耦合方式，通过非接触的连接实现无线电能传输是较优的手段，其传输效能可满足火箭箭地间供电要求，如图 6 所示，同时极大优化箭地电气接口设计。

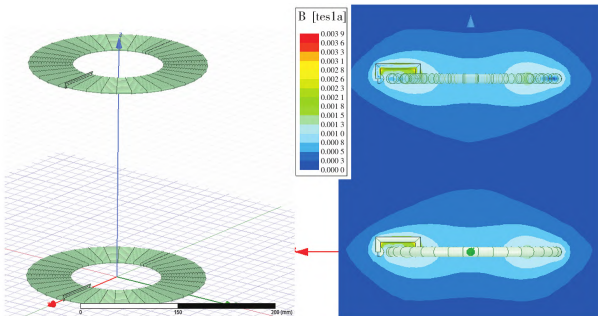


图 6 磁耦合线圈模型及仿真结果

Fig. 6 The magnetic coupling coil model and simulation results

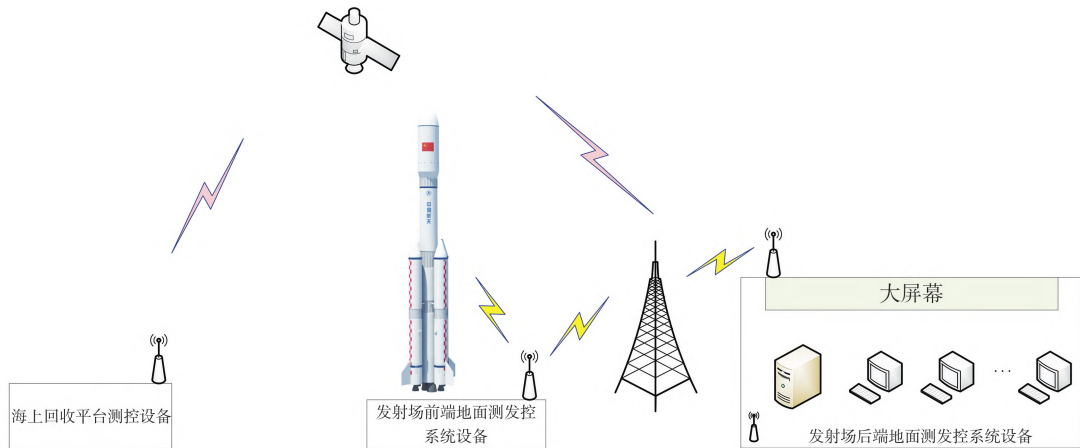


图 7 无线测发网络示意图

Fig. 7 Schematic diagram of wireless test and launch network

同时，针对航天应用发射的特点，需要开展无线数据传输正确性、实时性、确定性等可靠度技术研究；同时由于用于传输数据和指令的无线信道内在的弱点，无线通信中天然具有不安全性，需开展数据鉴别和安全机制研究，以确保航天任务数据的可靠、保密。

3.2.2 无线测发网络技术

目前，长征系列运载火箭地面测发控系统普遍采用有线电缆实现设备间、箭上电气系统与地面测发控系统之间、运载火箭前后端设备间的互联互通，电缆、网线等需要铺设或状态转换，在增加工作量的同时更是大大增加了射前的准备时间，拉长了测发周期。此外，随着后续运载火箭的重复使用，回收后箭体落在海上回收平台，平台与部署在发射场的地面测发控系统更是无法通过有线连接实现信息交互传输。采用无线测发控网络技术将是后续地面测发控系统发展的重要方向。

无线通信是利用电磁波信号可以在自由空间中传播的特性进行信息交互的一种通信方式。下一代运载火箭地面测发控系统可通过在发射场构建无线局域网，见图 7，将原本建立在有线以太网、有线电缆基础上的测发控设备通过无线技术进行互联^[10]，解决地面测发控系统地面电缆复杂繁多、地面设备快速接入困难的弊端，不仅可以提高射前准备的灵活性，而且可以实现缩短发射周期、优化测发流程的目标。针对重复使用需求，利用卫星通信链路，打通海上回收平台与发射场地面测发控系统间信息通路，实现在远端发射场完成回收箭体的后处理工作。

3.2.3 分布式综合电子技术

目前，长征系列运载火箭地面测发控系统普遍采用集中测控的架构，并应用设备级或板卡级冗余满足高可靠的要求。此架构虽然在一定程度上提高了系统可靠性，但不仅造成了地面测控设备资源不优化、电缆繁多，同时导致系统抵抗共

因失效的能力较弱。面对下一代重型运载火箭、新一代载人运载火箭更多、更复杂的测发控需求,利用分布式综合模块化电子技术,构建物理上分布、功能上综合的地面测发控系统测控架构是后续地面测发控系统发展的重要方向。

分布式综合电子架构本质是一个分布式实时计算网络,将以前集中测控架构划分为多个综合模块化子架构,形成了不同的功能域,在功能域内进行功能集成综合,并可以将综合后的结果在不同功能域之间共享^[11]。在分布式综合电子架构下,所有功能域分散运行在不同的测控负载附近,实时容错的测发网络将所有测控设备相连,协同实现地面测发控系计算与处理任务。这不仅可降低系统功耗、散热、线缆繁多的弊端,还可应用计算资源动态重构技术,在不增加更多重复硬件的情况下,有效提高系统资源的利用率与灵活性。

在硬件上,根据测控需求形成通信类、计算类、控制类、采集类等接口标准的功能模块,并通过通用模块化+定制背板的形式将不同种类、不同数量的功能模块根据测发需求集成在一个或多个综合电子产品内,相比传统分立的测控设备,其功能更加紧凑、集成程度更高。同时,各功能模块采用标准的接口和规范,使系统功能扩展和剪裁更加容易。在软件上,应用资源虚拟化技术,通过软件定义系统,使软件与硬件处理资源解耦,实现软件 APP 化。

3.2.4 远程辅助测试发射技术

目前,长征系列运载火箭已逐步应用远程测试发射系统,使各航天发射场与设计中心之间具备了远程支持能力,实现异地数据共享、异地远程判读、火箭测发流程/系统状态/测试数据实时远程支持的应用模式,初步形成了设计中心与各发射场测试发射的信息应用闭环。

随着下一代运载火箭对基于远程支持的测发模式需求越来越强烈,需大幅精简发射场测发大厅设备和岗位规模,将不涉及现场操作类的状态检查、数据判读、实时监控、诸元计算等工作转移至远程设计中心,应用远程辅助测试发射技术将是必然选择。应考虑增加前方数据获取手段、前后方数据传输带宽与传输链路的可靠性提升技术,应用无线数据获取技术、基于卫星通信的冗余数据链路传递技术、基于 AR 智能可穿戴的交互技术,不断拓展后方设计中心人员同步掌握运载火箭在发射场状态信息的能力,实现设计人员在异

地、远程完成运载火箭的检查、测试及发射任务,如图 8 所示。

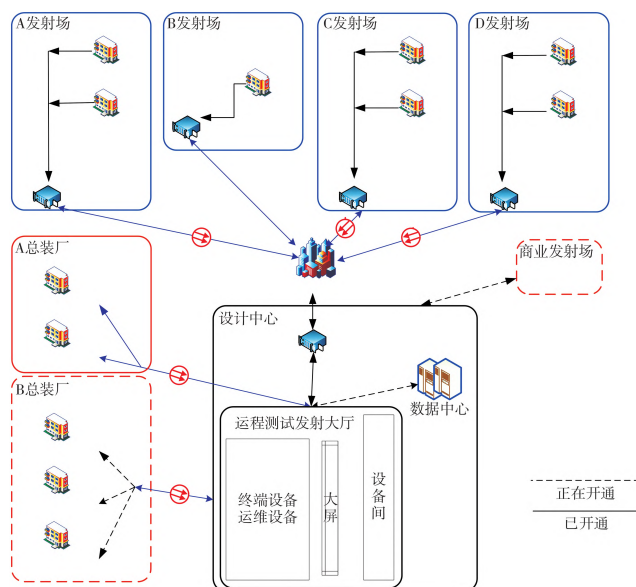


图 8 远程辅助测试发射总体拓扑图

Fig. 8 General topology diagram of remote auxiliary test and launch

4 结 论

本文在系统总结国外运载火箭地面测发控系统技术发展趋势基础上,提出了我国下一代运载火箭地面测发控系统架构模型,并基于基础架构分析了我国运载火箭地面测发控系统技术演进路线及各阶段技术特征。结合电子技术发展及我国下一代运载火箭测发需求,从箭地无线传能技术、无线测发网络技术、分布式综合电子技术及远程辅助测试发射技术给出了地面测发控系统设计构想,为我国下一代运载火箭地面测发控系统技术发展提供参考。

参考文献:

- [1] 龙乐豪. 我国航天运输系统发展展望[J]. 航天制造技术, 2010(3): 2-6.
LONG Lehao. The development outlook of China's space transportation system[J]. Aerospace Manufacturing Technology, 2010(3): 2-6. (in Chinese)
- [2] 韩亮, 张宏德, 彭越. 运载火箭地面一体化测发控系统设计[J]. 计算机测量与控制, 2021, 29(6): 5-8.
HAN Liang, ZHANG Hongde, PENG Yue. Design of integrated ground test launch and control system of launch vehicle[J]. Computer Measurement & Control, 2021, 29(6): 5-8. (in Chinese)
- [3] 王雨萌, 孙兆牛, 联盟, 等. 适应低温火箭发射的长

- 征五号系列运载火箭测发控架构[J]. 导弹与航天运载技术, 2021(3): 26-30.
- WANG Yumeng, SUN Zhaoniu, LIAN Meng, et al. The architecture of test launch control system in LM-5 adapted to cryogenic rocket launch[J]. Missiles and Space Vehicle, 2021(3): 26-30. (in Chinese)
- [4] MAY T. Space launch system; SLS at critical design review [EB/OL]. <http://ntrs.nasa.gov/archive/nasa/casi.ntrs.nasa.gov/20150019522.pdf>.
- [5] NOLA C L, BLUE L. NASA Ares I crew launch vehicle upper stage avionics and software overview[EB/OL]. http://www.ntrs.nasa.gov/archive/nasa/casi.ntrs.nasa.gov/20090020393_2008048231.pdf.
- [6] ISAS. On-board avionics system[EB/OL]. <http://www.isas.jaxa.jp/j/column/epsilon/07.shtml>.
- [7] 宋征宇. 新一代航天运输系统测发控技术发展的方向[J]. 航天控制, 2013, 31(4): 3-14.
- SONG Zhengyu. The development trend of test and launch control technology on future space transportation system[J]. Aerospace Control, 2013, 31(4): 3-14. (in Chinese)
- [8] 陈世强, 黄辉, 张青松, 等. 中国运载火箭液体动力系统发展方向研究[J]. 宇航总体技术, 2020, 4(2): 1-12.
- CHEN Shiqiang, HUANG Hui, ZHANG Qingsong, et al. Research on the development directions of Chinese launch vehicle liquid propulsion system[J]. Astronautical Systems Engineering Technology, 2020, 4(2): 1-12. (in Chinese)
- [9] 彭越, 牟宇, 宋静群. 中国下一代运载火箭电气系统技术发展研究[J]. 宇航总体技术, 2020, 4(2): 13-24.
- PENG Yue, MOU Yu, SONG Jingqun. Research on the development of avionics and electrical system in Chinese next generation launch vehicle[J]. Astronautical Systems Engineering Technology, 2020, 4(2): 13-24. (in Chinese)
- [10] 黄兴, 朱亚明, 张远明. 基于 5G 的运载火箭无线测发控系统[J]. 计算机测量与控制, 2022, 30(4): 8-13.
- HUANG Xing, ZHU Yaming, ZHANG Yuanming. Wireless vehicle test and launch control system based on 5G technology[J]. Computer Measurement & Control, 2022, 30(4): 8-13. (in Chinese)
- [11] 赵永库, 陈晓刚. 分布式航电系统架构研究[J]. 微电子学与计算机, 2022, 39(7): 86-93.
- ZHAO Yongku, CHEN Xiaogang. Research on architecture of network-centric distributed integrated modular avionics[J]. Microelectronics & Computer, 2022, 39(7): 86-93. (in Chinese)

声 明

本刊已许可中国知网、万方数据知识服务平台、超星网等多家单位以数字化方式复制、汇编、发行、信息网络传播本刊全文。本刊支付的稿酬已包含上述各家网络著作权使用费, 所有署名作者向本刊提交文章发表之行为视为同意上述声明。如有异议, 请在投稿时说明, 本刊将按作者说明处理。