

卫星多体制测控地面测试系统设计

冯志强, 李宗德, 纪春国, 何涛, 陈娟

(上海微小卫星工程中心, 上海 201203)

摘要: 随着航天技术的不断发展, 卫星功能日趋复杂, 对卫星测控分系统的功能提出更高的要求, 要求同时支持对地非相干扩频测控、中继测控、扩跳频测控及测量数传测控体制, 对卫星测控系统地面测试平台多体制支持、通用化及自动化测试能力、可靠性提出了更高要求; 文章研究了卫星多体制测控地面测试平台系统设计方法, 采用了多通道测控地检通道复用、基于数据库的通用化配置及自动化测试技术, 应用于某遥感卫星的地面测试, 测试结果表明: 该平台运行稳定, 取得了良好的使用效果, 满足了卫星多体制测控地面测试需求。

关键词: 测控系统; 地面测试; 多体制测控; 测试系统; 扩跳频

Design of Satellite Multi-system TT & C Ground Test System

FENG Zhiqiang, LI Zongde, JI Chunguo, HE Tao, CHEN Juan

(Shanghai Engineering Center for Microsatellites, Shanghai 201203, China)

Abstract: With the continuous development of space technology, satellite functions become more and more complex, higher requirements for satellite tracking, telemetry and control (TT&C) subsystem are proposed. It is simultaneously required to support the TT&C such as incoherent spread spectrum, relay terminal, DS/FH hybrid spread spectrum, measurement data transmission, which puts forward the higher requirements for multi-system support, generalization, automatic testing capability, and the reliability of ground test platform on the satellite TT&C system; The satellite multi-system TT&C ground test platform system design is studied in this paper, the multi-channel TT&C ground test channel reuse, database-based universal configuration and automatic test technology are applied in the ground test of a remote sensing satellite. The test results show that the platform operates stably, achieves good application results, and meets the requirements of the satellite multi-system TT&C ground test.

Keywords: TT&C system; ground test; multi-system TT&C; test system; DS/FH

0 引言

卫星广泛应用于气象侦察、定位、军事侦察等领域, 随着空间技术的不断发展, 对卫星也提出越来越高的应用要求, 包括在境外依然可以进行测控的能力、抗干扰能力更强以及上下行速率更高。典型的军事卫星测控分系统通常要求同时具备对地非相干、中继、扩跳频、测量数传等多种体制, 卫星在发射入轨及在轨运行过程中, 多体制下不同工作模式、传输速率组合众多, 均要求在地面完成遍历测试, 对卫星测控分系统地面测试提出了更高的要求, 包括支持多体制测控测试的能力。

目前国内也有许多关于卫星测控地面测试平台的研究, 文献 [1] 介绍了我国小卫星综合测试技术的发展现状, 对多级分布式自动化测试、智能批量测试等技术发展进行展望, 文献 [2] 介绍了多星并行测试卫星地面测试系统软件的体系结构与功能, 通过对卫星数据格式的配置, 可适用不同类型卫星的地面测试需求, 支持在 1 台计算机上同时测试多颗卫星。文献 [3-4] 主要介绍了测控地面测试平台软件通用化设计, 采用通用化数据结构、数据处理流程、接口封装方法满足多颗不同卫星并行测试。文献 [5-6] 研

究了星座及批产卫星自动化测试系统设计, 文献 [7] 针对导航终端批量测试系统进行设计研究, 提升对相同技术状态星上设备的测试效率。文献 [8] 针对传统遥控软件测试模式出现的测试周期长、适应能力差、效率低等问题, 设计并实现一种通用的遥控软件自动化测试仿真平台, 提升了软件的自动化测试水平。文献 [9] 研究了测试系统开放式硬件、模块化软件和标准接口设计, 增强测试系统可操作性及可移植性, 提高测试效率和质量。上述文献分别从并行测试、提高批产产品测试效率, 软件支持格式通用化、自动化测试等角度分别进行研究, 需要组合考虑优化设计卫星测控地面测试系统。文献 [10] 给出多通道测控测试系统设计方法, 完成了多通道地面测试系统设计及综合测试软件设计, 可满足卫星测试要求且具备灵活高可靠性, 但是该方案仅支持常规卫星对地、中继通道测控地面测试, 需要对软硬件进行改进来满足卫星多体制测控地面测试需求。

本文以某遥感卫星为例, 讨论了卫星多体制测控系统地面测试平台设计方法, 该平台实现了卫星对地、中继、扩跳频、测量数传体制下不同工作模式场景测控测试的需

收稿日期: 2022-06-15; 修回日期: 2022-07-13。

作者简介: 冯志强(1991-), 男, 上海人, 硕士, 工程师, 主要从事航天器测控方向的研究。

引用格式: 冯志强, 李宗德, 纪春国, 等. 卫星多体制测控地面测试系统设计[J]. 计算机测量与控制, 2023, 31(1): 1-7, 14.

求, 基于地检设备通道复用, 灵活加载参数配置、通用化测控前端软件实现自动统计和对结果进行分析的功能, 大大提高测试效率。

1 系统功能

卫星多体制测控地面测试平台主要功能包括对地、中继、扩跳频^[11]、测量数传^[12]等模式测控通道功能测试及测控相关软件功能测试。

对地、中继非相干测控通道测试: 基于通用双通道非相干、高速测控综合测试地检设备, 通过配置频点、码组、编码方式可支持中继、对地两个测试通道并行测试, 包括测速测距精度统计、误码率统计等功能, 且两通道相对独立, 互不干扰, 从硬件设备、处理软件到记录数据存放位置都区分开, 方便管理、问题排查且提高了测试可靠性;

测量数传测控通道测试: 基于通用双通道非相干、高速测控综合测试地检设备, 通过加载配置文件方式可设置地检支持测量数传测控功能测试, 支持 262 kbps、1 Mbps 等多种数据速率, 自闭环功能, 上下行原始数据存储功能, 灵活可配置, 覆盖测量数传测控测试场景;

扩跳频测控通道测试: 基于独立的扩跳频综合测试地检, 产生扩跳频遥控信号, 接收扩跳频遥测并解析处理, 支持自闭环功能, 可记录遥控指令及接收遥测原始数据, 方便上下行数据排查。

测控相关软件功能测试: 基于通用化综合测试平台软件进行多通道遥控指令生成、多通道遥测数据解析、自主判读, 完成对测控分系统模式功能、出入境动作、安全防护措施、遥测存储逻辑等软件功能的覆盖测试。平台软件具有遥控指令发送执行结果遥测自主判读和遥测自动化统计功能, 具体包括各通道发送遥控指令后判断卫星“指令接收计数”、“指令执行计数”是否正常增加, 并将结果反馈显示, 卫星出境遥测停发时, 平台软件自主统计本次入境期间各通道遥测接收情况, 包括帧校验情况、包计数连

续性、有无遥测量超出正常范围等, 并将结果保存日志。

2 系统硬件设计

卫星测控系统支持 4 种测控体制通信链路, 分别是星地非相干扩频测控链路、卫星与中继星进行通信的中继链路、星地扩跳频测控链路和星地测量数传一体化测控链路。其中星地非相干扩频测控和中继测控的通信方式都为扩频通信, 差别是上下行频点、伪码序列不同, 因此基带可以相同, 读取不同配置文件即可。星地测量数传一体化测控上下行速率更高, 编码及调制方式也不同, 需要切换处理基带进行数据处理。扩跳频测控频点、编码及调制方式更加复杂, 需要独立专检设备进行数据处理。

对于地面测试系统而言, 可采用两套地面专检设备。其中双通道非相干、高速测控综合测试地检支持非相干扩频、测量数传测控上下行数据通道收发处理能力, 包括调制、解调、编码、译码等功能。扩跳频专检具备扩跳频上下行信号调制、解调、编码、译码等功能。

卫星进行有线测试状态下, 地检设备经合分路器、环形器、衰减器与卫星一体化应答机、扩跳频测量数传一体化应答机射频接口直接通过高频电缆连接, 如图 1 所示。在卫星无线测试状态下, 地检设备经合分路器、环形器、衰减器、高频电缆、地面测控天线与卫星星上测控天线通信, 如图 2 所示。

测试过程中地面测试系统可通过加载不同的地检配置文件即可快速切换对地、中继、测量数传、扩跳等模式, 并且可以根据不同模式下的不同参数(如码组、速率、衰减等)存储多个配置文件, 实际测试过程中根据不同的测试场景调用对应的配置文件即可, 整个切换过程可在数秒内完成。

如图 1 和图 2 所示, 典型卫星多体制测控分系统星上测控单机包括对地中继一体化应答机(包含星地非相干测控模块、中继测控模块), 扩频应答机(星地非相干测控备

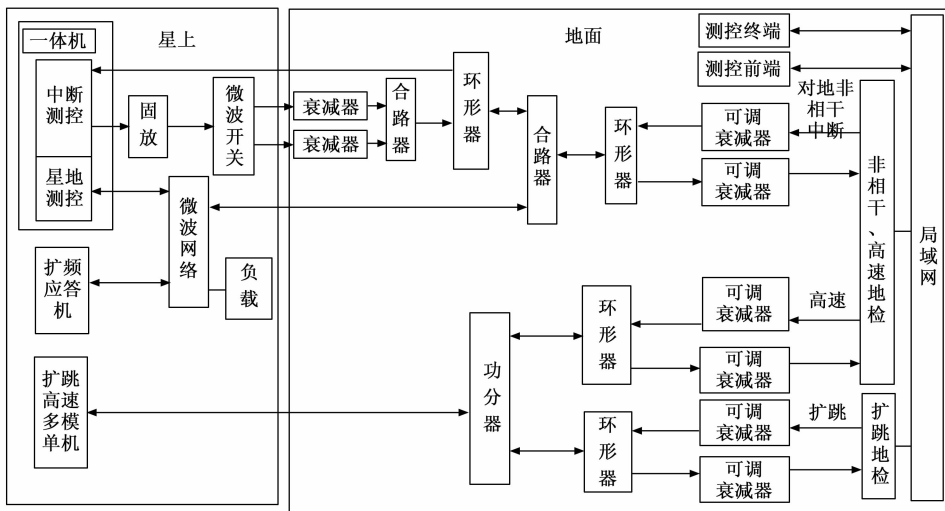


图 1 多体制测控地面有线测试系统连接关系图

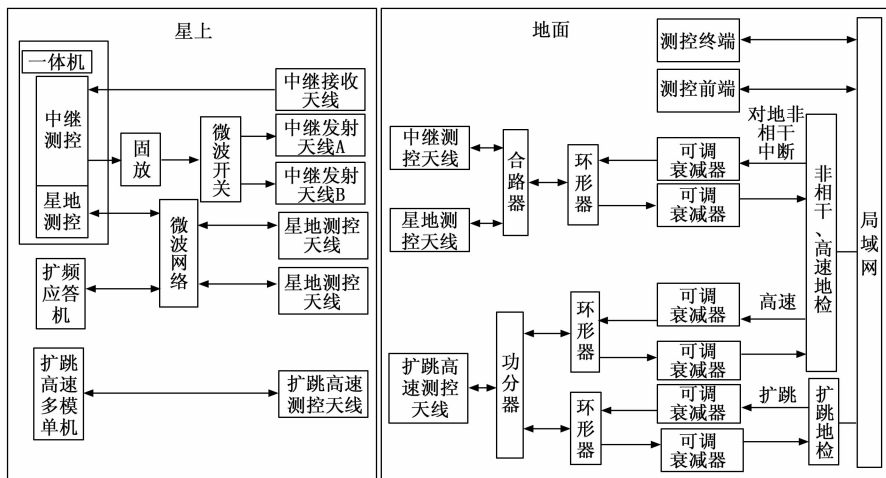


图 2 多体制测控地面无线测试系统连接关系图

份), 扩跳高速多模单机 (包含扩跳频测控模块、测量数传一体化测控模块)、固放、微波开关等。有线测试情况下星上测控单机射频口可直接通过高频电缆与地面设备相连, 无线测试情况下通过星上测控天线与地面测控天线无线通信方式进行连接。

典型卫星多体制测控分系统地面部分主要包括测控前端、测控终端、非相干及高速测控地检设备、扩跳频测控设备、可调衰减器、合分路器、环形器等设备。其中测控前端、测控终端、测控地检均接入同一个局域网, 通过 TCP/IP 网络连接进行数据通信。测控终端可以有多个, 作用是可产生遥控指令通过网口发送到测控前端, 同时接收解析处理遥测数据并显示在界面上。测控前端主要与测控地检设备进行数据通信及完成数据编码、加扰、解码、解扰等操作。测控综合地检设备主要功能是通过网口接收测控前端发送的加密、编码、加扰后的遥控指令数据流, 根据不同通道调用不同参数配置文件, 分别生成对地上行、中继前向、扩跳频上行及测量数传上行调制射频信号发送给卫星应答机。并且能接收对地下行、中继返向、扩跳频下行及测量数传下行射频信号, 进行下变频、捕获、跟踪、解调、解扩等操作, 最终将遥测完整帧以固定协议通过网口发送到测控终端。

2.1 测控终端

测控终端是作为测控前端接收遥测数据的分发展示的节点, 同时也是用户可以直接操作进行遥控指令加工并发送给测控前端的节点。测控终端提供一个良好的用户界面, 可同时部署多台 PC 机, 供不同分系统卫星测试测试人员使用, 各节点用户均可实时监测卫星完整遥测, 或者查询历史遥测及日志信息等, 但是对不同用户设置不同指令发送权限, 只有管理员以上权限才能加工指令并发送卫星, 限制多用户同时上注, 防止冲突。

2.2 测控前端

测控前端主要是作为后台程序运行的平台, 可处理大量的星上下传的不同通道的遥测数据, 并可以分发给不同

的测控终端软件进行显示, 同时可以接收不同终端发过来的遥控指令, 经过加扰、编码等处理后发送给测控综合地检设备。因此测控前端软件需要运行在具备较高性能的 PC 机上, 才能保证所有测试数据收发的连续性。

2.3 非相干及高速测控地检设备

非相干及高速设备是测控测试系统中重要的地面测试设备, 包含两个独立通道, 每个通道均具有非相干调制模块、高速测量调制模块、上变频模块、测量计算模块、非相干解调模块、高速测量解调模块、下变频模块, 均可以通道加载配置文件的方式快速切换地面设备的工作体制, 包括非相干扩频星地测控、非相干扩频中继测控、测量数传测控 3 种工作模式。其中测量数传测控与非相干测控模式进行切换时, 需要切换相应的调制、解调器, 完成对不同体制中频信号的调制、解调。另外不同工作模式下, 频点、码组、帧格式都需要调用对应的配置, 对应切换上、下变频器, 伪码生成模块、帧同步模块的配置, 从而适应不同体制测控信号的收发。非相干、高速测控综合地检设备原理如图 3 所示。非相干模式测控上下行数据速率要求支持最大 32 Kbps, 高速测控要求支持 262 Kbps 和 1 Mbps 两档数据速率。

测控综合地检设备还具有原子钟模块, 可外部时钟参考及 GPS 信号进行时钟同步, GPS 天线放置于室外, 通过射频电缆将 GPS 信号传给原子钟, 地检设备接收解析 GPS 时间并同步测控地检当前系统时间, 在地检接收到一帧完整遥测后会根据当前系统时间打上时间戳。星上也通过 GPS 天线信号进行时间同步后, 通过测试每帧遥测自带的星上时间和地检所打的时间戳之差可计算星地时延^[13]。

2.4 扩跳频测控地检设备

扩跳频测控地检设备具有 DS/FH 上行信号产生, 下行信号接收处理等功能^[14]。由中频调制器、上变频器、伪码生成单元、测量计算单元、中频接收机、下变频器及时码和频率参考单元组成。中频调制器接收网口遥控数据, 并依次进行组帧及信道编码、直扩调制/测量、跳频变频、上

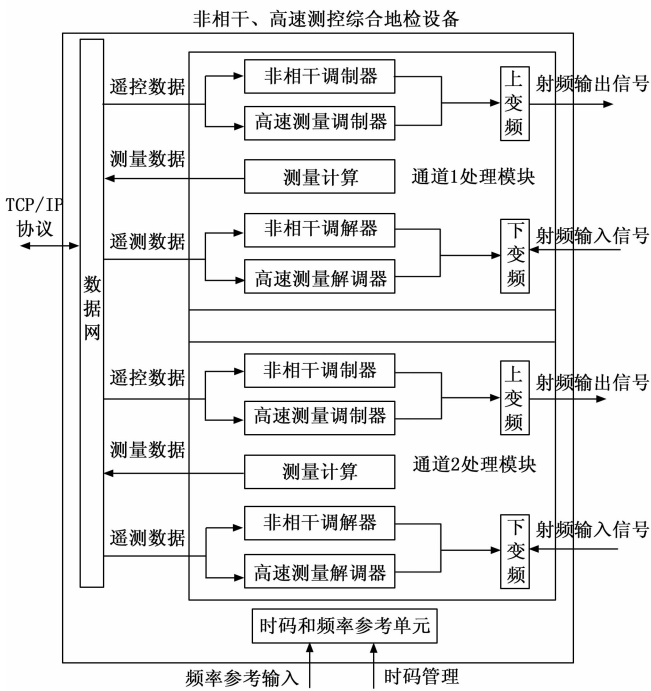


图 3 非相干、高速测控综合地检设备原理图

变频后生成上行遥控信号。下行射频输入信号依次经过下变频、干扰抑制、捕获、跟踪、信道译码、数据同步后生成遥测数据并通过网口发出。伪码生成单元负责生成直扩伪码和跳扩伪码序列。测量计算模块接收上下行测量采样信息，解算得到测距、测速结果。扩跳频地检也具有自闭环测试功能，可以查看指令上注情况，上注指令码字，信号调制、解调等正确性。扩跳频测控地检设备原理组成如图 4 所示。

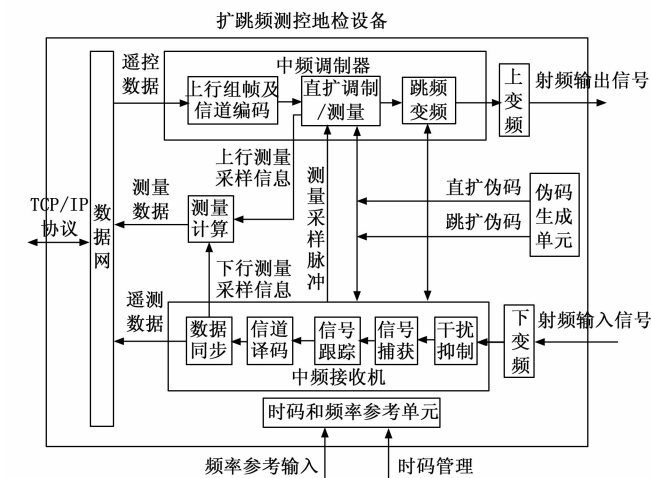


图 4 扩跳频测控地检设备原理图

2.5 中间链路

中间链路主要是星上应答机与测控地检设备之间的射频通路，由高频电缆、合路器、环形器、可调衰减器、天

线等设备组成。其中可调衰减器用于调节上下行信号的强度，测试一体化应答机、扩跳频测量数传一体机接收机入口在灵敏下，中强电平情况下的接收功能、性能指标，下行接收信号不同强度下遥测接收功能、性能及误码率测试情况。地面天线旋向、频率使用范围一般与星上对应天线指标一致。

3 系统软件设计

卫星测控系统地面测试平台的软件主要包括位于前端机上的前端处理软件、位于测控终端机上的测控终端处理软件、加解密软件等。软件之间交互接口关系如图 5 所示，接口标准化，具有通用性好，扩展性强等优点^[15]。

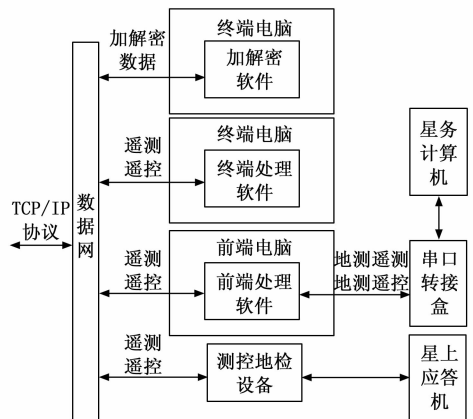


图 5 卫星测控系统地面测试平台软件原理图

其中前端处理软件主要完成与地测串口连接、完成星务串口数据收发，与测控地检设备网络连接、与加解密软件网络连接、TCP/IP 数据传输，同时具备编码/译码、加扰/解扰、组帧/解帧、遥测解包等功能。

加解密软件是作为独立的软件运行于终端电脑上，并通过网线连入综测系统局域网中，加解密软件一般作为服务器运行，由终端处理软件发起连接申请，连接成功后，加解密软件可完成对遥控数据的加密，并将加密数据返回给终端处理软件，同时可以接收前端处理软件传过来的加密遥测进行解密操作，解密后数据发送给终端处理软件进行显示。

终端处理软件是集成了用户界面、网络通讯、数据库管理、实时数据处理、回放等技术的复杂软件，具有包含用户管理、遥控指令加工、遥测数据实时处理、历史日志数据查询等功能。该软件主要由初始化模块、遥控处理模块、遥测处理模块、自主测试模块、数据库存储查询模块和图形操作界面组成。

3.1 初始化模块

初始化模块为整个程序最初执行的程序，初始化程序设计主要包括系统初始化（包括地面时间，遥测保存文件，网络配置，配置文件等）数据库连接。

3.2 遥控模块

遥控模块基于卫星相关遥控指令数据格式，根据指令

格式生成要求不同, 具备直接指令、间接指令、注入数据、星间数据等几种格式, 支持 CCSDS 协议、AOS 帧协议格式要求, 生成指令码并发送到测控前端处理软件, 由测控前端处理软件发送到对应通道地检设备或转接盒, 并具备日志存储功能。

3.3 遥测模块

遥测模块的任务是实时接收来自测控前端处理软件接收到的数据并进行要测量解析显示等操作, 包括卫星星务计算机通过地测通道下发到串口盒的遥测数据、经非相干扩频测控通道下发到测控综合地检设备的非相干遥测数据、经扩跳频通道下发到扩跳频地检的遥测数据等, 并对数据进行实时处理与分列显示, 同时支持回放原始遥测及地测数据。

3.4 自主测试模块

自主测试模块主要功能是预先设定测试方案, 包括每一步需要发送的指令, 发送间隔, 发送条件等, 各环节需要监视的遥测量值及统计状态预期结果。自主测试模块可用于卫星测控功能软件项目测试中, 包括遥控、遥测误码率测试、多帧上注测试、指令遍历测试、时钟稳定度测试等, 需要大量重复机械性性的发送指令, 判断遥测状态, 通过软件自主测试可以大幅提高策略效率, 同时减轻测试人员的工作量并提高测试可靠性。

举例说明, 遥测误码率测试过程需要实时统计下发遥测帧中固定字段的误码情况, 显示并保存误码情况及已统计的数据量。星地时延测试过程需要实时显示并记录遥测帧中的星上当前帧时间信息、地检通过原子钟 GPS 同步后打的当前时间戳信息、及两者之差即为 (星地时差), 通过连续统计星地时差随时间漂移情况可以计算星上时钟稳定度。

自主测试模块自动化监测统计功能包括遥控指令执行判读监测和遥测数据正确性自主监测正确性, 处理流程如图 6 所示。

3.5 数据库存储查询模块

使用对象数据库进行卫星数据格式库设计, 并基于此进行通用化的卫星测试软件设计^[16-17], 基于数据库的卫星通用测试软件具有良好的通用性, 能够满足不同卫星项目的设计和测试需求, 支持数据格式的快速变动和修改, 实现卫星测试系统的快速开发, 并具有良好的应用外延^[18]。数据库存储查询模块主要处理数据包括遥控遥测相关配置表和历史数据记录。

卫星指令包括固定参数指令和可变参数指令, 其中指令码、参数等格式内容均储存在数据库中, 便于快速更新, 变参指令需要编写对应的变参函数来实现相应指令参数生成功能。遥测数据帧格式、包格式、遥测量解析方法也是以标准化格式存在数据库中, 除一些复杂遥测解析方法需要专门写函数去实现, 其它遥测解析均可通过数据库进行配置。

数据库存储查询模块还支持查询分析历史遥测数据及

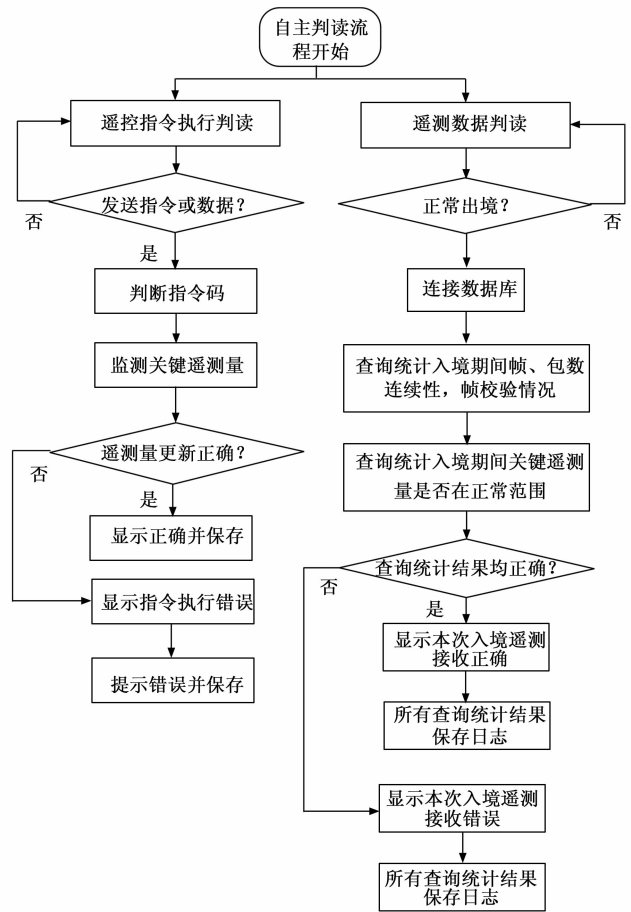


图 6 自主判读模块处理流程图

接收情况, 软件能够根据用户需要调取数据库中对应时间段的遥测帧数据、包数据、关键遥测量的历史信息数据, 包括遥测帧、包数据连续性、校验情况、遥测量数据具体解析前源码, 解析后值、遥测范围等信息, 并根据要求绘制图形及数据曲线进行显示, 方便用户分析和排查问题。

3.6 图形操作界面

测控终端软件为测控人员提供一个友好的图形操作界面, 用户可便捷的实时查看各分系统遥测状态同时可根据自己需求自定义遥测界面, 最大化满足不同分系统测试人员特定的测试需求。同时软件能够比较方便的调用不同分系统测控指令, 同时根据各用户需求预先制定好指令清单并保存。软件还采用丰富的图形显示控件, 既可在实时接收遥测数据时绘制实时遥测变化的曲线, 也可在查询的历史数据时对遥测量进行绘曲线的方式进行显示。图形界面主要由遥测、遥控、测试、历史等子页面组成。

3.6.1 遥测子页面

测控终端处理软件测试操作界面遥测子页面如图 7 所示, 遥测子页面功能主要是查看星上各分系统的遥测量状态, 按不同传输通道传下来的遥测数据分列进行显示, 包括地测、非相干、扩跳频、测量数传等通道, 并且可以自定义关键要测量页面, 将各分系统中关键遥测保存到一个

页面上,方便监视和判读。

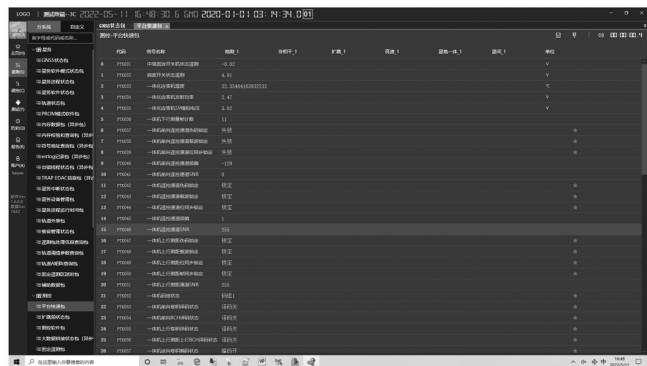


图 7 遥测状态监测页面

3.6.2 遥控子页面

遥控子页面支持直接指令、间接指令、注入数据、自定义数据等不同数据类型指令的加工生成能力。不同类型指令生成指令码可保存清单、并支持调用、插入、更新、删除、调整顺序等功能。根据不同通道的指令发送需求,可以选择发送通道,包括地测、非相干、扩跳、测量数传、星间等通道,软件可根据对应通道的数据格式要求进行相应的组帧、送加解密软件进行加密等操作。

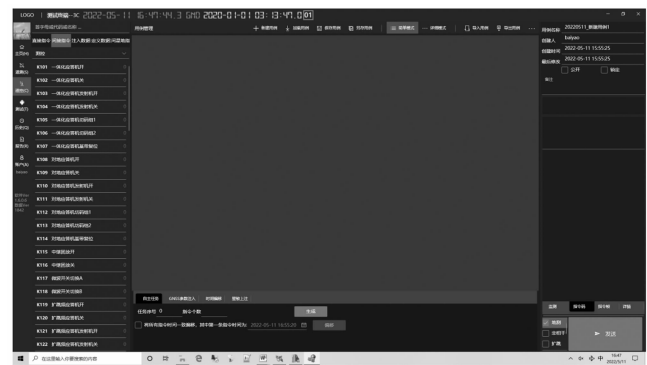


图 8 指令编制发控页面

3.6.3 测试子页面

测控终端处理软件测试操作界面测试子页面如图 9 所示,主要功能是实现自动化测试及统计功能,实现了预设指令发送逻辑设定及判读功能,遥控指令发送逻辑设定包括单指令连续发送、发送间隔设定,指令清单序列读取发送,间隔设定,不同指令执行效果自主判读设定等功能。同时软件支持对遥测帧、包信息自主检验,遥测量范围的自动统计,将统计结果存成日志文件并保存到数据库中,特别在模飞测试过程中,自动化测试统计可以自动对每次入境测控功能进行自动统计保存,比较实用。

3.6.4 历史子页面

测控终端处理软件测试操作界面历史子页面如图 10 所示,主要功能负责建立不同登录用户、通过不同通道发送遥控指令的历史记录存储管理及不同通道下发的遥测数据历史记录管理,方便用户形成测试总结及分析测试问题。



图 9 自动化测试页面

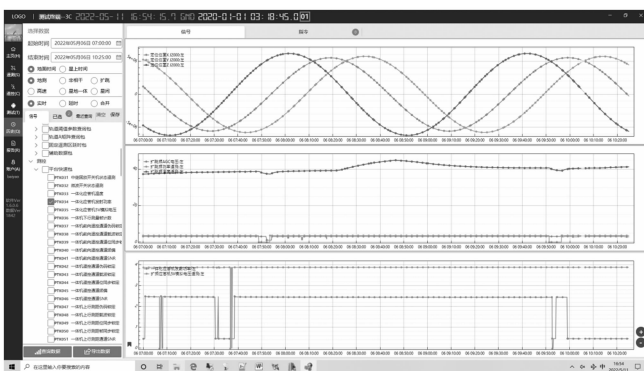


图 10 历史数据查询页面

4 试验验证

卫星多体制测控地面测试平台已作为通用化测试平台应用在多个卫星型号地面测试系统中,具体如下。

4.1 整星联试

整星联试是星上单机设备以单机形式在综测厂房桌面进行展开或者装星后,通过低频、高频等电缆进行连接。多体制地面测控测试系统以高频电缆有线方式与星载应答机相连,模拟卫星地面测控系统及中继星发送卫星单机测试指令,接收卫星下发的遥测数据,测试星上单机功能、性能及接口等指标满足情况及长时间模飞测试考核整星工作模式工作正确性。

4.2 整星环模试验

整星环境试验包括力学试验^[19]、EMC 试验^[20]、热真空试验^[21]、磁试验,其中力学试验和热真空试验主要考核卫星对力学、热真空的环境耐受能力,EMC 试验主要验证卫星各单机部件协同工作的相容性,磁试验主要分析卫星磁特性及对姿控磁特性单机的影响。多体制地面测控测试系统与卫星建立上下行或中继返回链路,通过上注指令对卫星进行控制,同时实时接收卫星遥测进行状态监测,是环境试验测试中的重要部分。

4.3 对接试验

对接试验主要是与三亚、佳木斯等地面站测控设备及中继星开展对接试验,测试卫星非相干扩频、中继、扩跳频、测量数传等体制的功能、性能指标及与地面站及中继

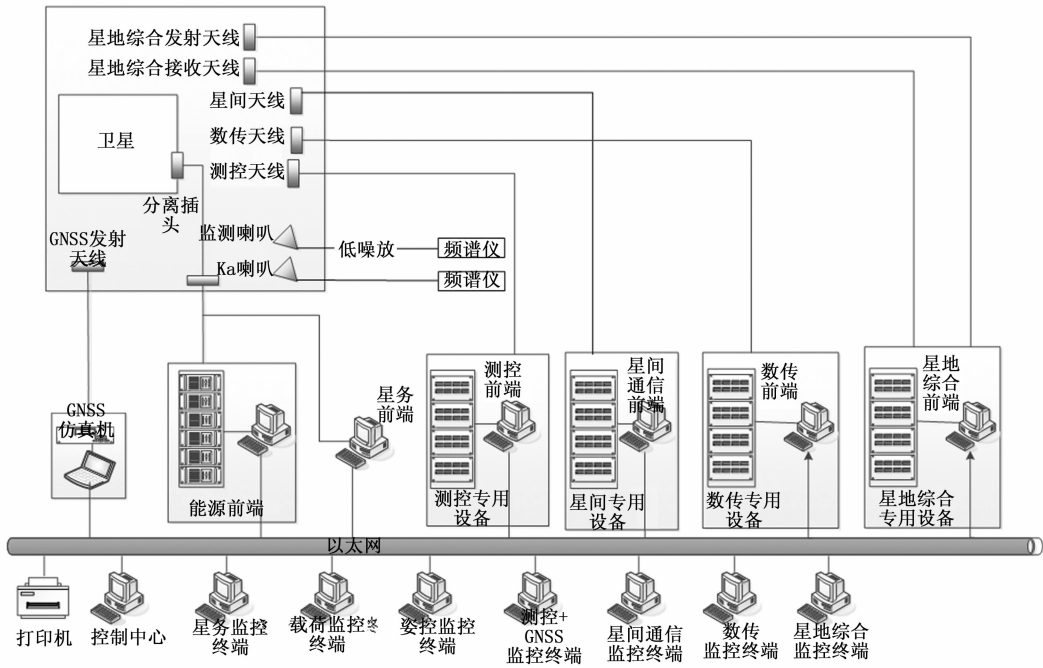


图 11 卫星地面试验系统连接关系

星之间的接口匹配情况。多体制地面测控测试系统与卫星建立上下行或中继前返回链路, 作为设置和监测卫星状态的重要手段, 在对接前的自检、对接过程中的状态监测等过程中都是必要的, 发挥着重要作用。

卫星典型无线状态地面测试系统连接关系如图 11 所示, 各分系统测试终端设备通过 TCP/IP 连入相同综测局域网, 测控、星间、数传等分系统终端设备通过天线辐射射频信号方式接入卫星系统。有线状态情况下, 无线测控、数传、星间、GNSS 等天线, 卫星与地面测试系统终端设备是直接通过高频电缆相连, 其它设备连接关系与有线完全一样。

在卫星各项测试及试验过程中通过地测、对地、中继、扩跳、测量数传等通道分别累计上注直接指令不小于 1 000 条, 间接指令不小于 3 000 条, 通过测量数传高速测控通道进行了多次星上软件上注测试, 合计成功上注超过 10 000 帧重构代码和指令数据, 星上接收指令执行均正确, 验证了地面测试平台的多体制遥控上注功能。各通道连续接收下行遥测帧均不少于 5 000 帧, 地面测试系统接收解析正常, 验证了地面测试系统多体制遥测接收解析功能。在模飞测试情况下, 卫星最长连续 10 天保持加电运行, 地面测试系统连续工作正常, 数据记录完整, 验证了软件长期运行可靠性。在整星联试和对接测试中均对测控加解密功能测试、误码率功能测试、帧包连续性自动化统计、星地时差等功能进行了充分测试, 验证了正确性。卫星多体制测控地面测试系统功能测试覆盖性如表 2 所示。

卫星多体制测控地面测试系统在各项试验中均进行了充分测试, 系统功能正常, 处理结果符合要求, 运行稳定可靠, 验证了测控系统测试平台多体制兼容能力及可靠性。

表 2 卫星多体制测控地面测试系统功能测试覆盖性

功能	测试项	验证情况
指令加工上注	对地非相干	在整星联试、整星环境试验、对接试验中对不同体制遥控指令上注功能、下发遥测解析处理功能、数据库存储、查询功能均进行了充分验证, 具体包括: 累计指令上注 ≥ 10000 帧; 累计遥测接收: ≥ 5000 帧; 历史记录时长: ≥ 1 年。
	中继	
	测量数传	
	扩跳频	
遥测处理解析	对地非相干	在整星联试、整星环境试验、对接试验中均进行了测试, 达到预期结果: 遥测误码率优于 10^{-5} 星地时差实测 69 ms 累计加密指令 ≥ 1000 条 累计解密遥测帧 ≥ 2000 帧 自动化统计圈次 ≥ 100 圈
	中继	
	测量数传	
	扩跳频	
数据库管理	遥控记录	
	遥测查询	
辅助测试	误码率测试	在整星联试的模飞测试及整星热真空环境试验中均进行了长期连续运行能力的考核。 最长连续运行时间 ≥ 10 天
	星地时差测试	
	加解密测试	
	自动化统计	
可靠性	长期运行	

5 结束语

卫星多体制测控地面测试平台将非相干扩频对地测控、中继测控、扩跳频测量、测量数传测控地面测试功能整合, 仅需切换地检配置即可支持多体制测控地面测试, 且支持多通道相互备份。同时, 采用多通道通用化、自动化测试软

(下转第 14 页)