

基于通用测试平台的平流层 飞艇北斗安控测试

翟嘉琪, 张永栋, 王紫薇, 阴鹏, 刘鑫

(西北核技术研究所, 西安 710024)

摘要: 为保证平流层飞艇飞行试验安全, 放飞前需在地面试验场对飞艇各分系统与全系统进行集成测试, 北斗安控测试是试验场集成测试的重要内容; 在分析北斗安控分系统组成以及工作模式的基础上, 提出了基于通用测试平台的平流层飞艇北斗安控测试方法; 通用测试平台是基于高速信息交换架构、合成仪器、公共测试接口等测试资源的新一代自动测试, 在该通用测试平台的基础上设计了北斗安控系统的测试模式与测试流程, 编写了测试程序, 并且在某型平流层飞艇北斗安控测试中得到了应用, 在测试结束后给出测试成功率, 测试结果与人工监测记录结果一致, 表明该方法合理可行。

关键词: 平流层飞艇; 北斗安控系统; 通用测试平台

Test of The Stratospheric Airship Safety Control System with Beidou Terminal Based on the Universal Test Platform

Zhai Jiaqi, Zhang Yongdong, Wang Ziwei, Yin Peng, Liu Xin

(Northwest Institute of Nuclear Technology, Xi'an 710024, China)

Abstract: In order to ensure the safety of stratospheric airship flying test, the integration test of subsystems and full system of stratospheric airship on the proving ground should be finished before flight. The test of safety control system with Beidou terminal is an important part among integration test. the test methods of stratospheric airship safety control system with Beidou terminal based on universal test platform are presented, after the system composition and work mode are analyzed. The universal test platform include high speed information exchange architecture, the synthetic instrument, the common test interface and so on, which is new generation test system. the test pattern and flow are proposed, the testing program of safety control system is finished, which were used to test safety control system with Beidou terminal on some stratospheric airship. The universal test can platform provide testing results that agree with manual records. The results show that the test methods are reasonable and feasible.

Keywords: stratospheric airship; safety control system with Beidou terminal; universal test platform

0 引言

平流层飞艇是指在囊体内充入轻于空气的气体来产生上升所需要的浮力, 同时带有动力驱动, 可以进行飞行控制, 工作在平流层底部(海拔 18~25 km)的浮空飞行器^[1]。平流层稳定的气象条件和良好的电磁特性, 使平流层飞艇在通信、预警和侦查、电子对抗等军民领域有着广阔的应用前景。目前, 我国多个单位已开展了平流层飞艇的研制工作, 并成功完成了多次平流层飞艇飞行试验。

一般而言, 平流层飞艇主要由囊体分系统、能源分系统、推进分系统、测控通信分系统、飞控分系统、安控分系统等组成。飞艇平台系统复杂, 影响飞行试验安全的因素较多, 风险性较高。为保证平流层飞艇飞行试验安全, 放飞前需在地面试验场对飞艇各分系统与全系统进行集成测试, 获取关键测试数据, 以便评估飞艇系统状态。其中, 安控分系统是平流层飞艇飞行试验安全的重要保证。安控分系统主要通过视距链路或卫星通信链路来控制安控执行机构(氦气释放装置或囊体切割装置)的作动以实现飞艇突发情况下的应急降落。因此, 安控分

系统的工作可靠性测试是试验场集成测试的重要内容。

北斗卫星导航系统是我国自主研发、独立运行的全球卫星定位与通信系统, 性能稳定、使用方便, 具有覆盖范围广、组网灵活、不易受环境影响等优势^[2]。由于平流层飞艇的技术特点, 北斗卫星能为其提供全天候、全天时的高精度、高可靠的定位、导航和授时服务^[3]。而其北斗安控系统是安控分系统的重要组成部分, 其依托于北斗一代卫星通信系统, 通过发送、接收短报文的形式^[4], 实现飞艇地面测控站与艇载安控设备之间的通信。视距链路易受到通信距离与复杂地形环境的影响; 与之相比, 北斗链路可实现整个试验空域的有效覆盖, 从而有效控制安控执行机构的作动。

现代科学技术的发展迅猛, 武器、航空、航天系统的技术水平不断提高, 对测试技术提出了更高的要求^[5]。随着计算机技术与集成电路技术的不断发展^[6], 自动化测试通过减少测试过程中必要人工操作的步骤, 是的测试人员得以分配更多的时间用于提高产生设计工作核心价值^[7]。同时由于自动测试技术的快速可靠、机动灵活、高效低费等显著优势, 已成为国际航空和武器装备测试的主流技术途径^[8]。

本文在研究平流层飞艇北斗安控系统组成以及功能构成的基础上, 给出了基于通用测试平台的北斗安控系统测试模式和流程, 编制了测试流程, 并完成了对某型飞艇北斗安控系统的

收稿日期: 2018-01-16; 修回日期: 2018-01-26。

作者简介: 翟嘉琪(1993-), 女, 河南焦作市人, 助理工程师, 主要从事平流层飞艇测试方向的研究。

测试与分析。

1 飞艇北斗安控系统的组成

飞艇北斗安控系统一般由地面测控站、地面北斗终端、艇载北斗终端、艇载飞控/安控计算机、安控电源以及安控执行机构组成,如图1所示。安控执行机构一般包括氦气释放装置(风机、阀门等)与囊体切割装置(一般利用火工品产生的爆炸冲击推动切割设备来撕裂囊体),主要用于囊体内氦气的快速释放,使飞艇快速降落以避免飞艇飞出指定空域。

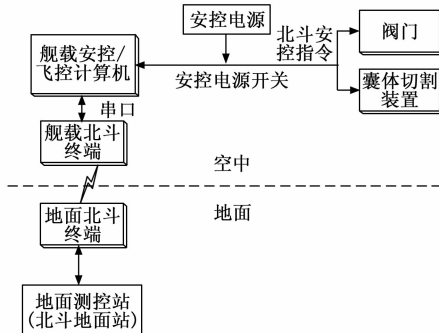


图1 北斗安控系统组成

北斗安控系统的工作模式如下:地面北斗终端与艇载北斗终端以短报文形式通过北斗一代卫星系统相互通信;地面测控站通过地面北斗终端发送安控指令;艇载北斗终端通过北斗链路接收到安控指令后由艇载安控计算机/飞控计算机编译并控制安控执行机构动作;安控执行机构动作状态由艇载安控计算机/飞控计算机编译并通过艇载北斗终端经由北斗链路传递给地面北斗终端;北斗地面站解析地面北斗终端接收的状态信息显示安控执行结构动作状态。

2 基于通用测试平台的北斗安控系统测试模式与测试流程

2.1 通用测试平台

针对平流层飞艇试验场地面测试需求,根据平流层飞艇技术特征,基于新一代综合自动测试系统技术,构建功能可重构、通用化强、应用灵活的平流层飞艇通用测试平台。该平台硬件环境基于高速信息交换架构,集成数字多用表模块、模拟量输入输出模块、传感器采集模块、转速测量模块,转速测量模块、多串口通信接口模块、CAN/1553B总线通信模块、数字IO模块、矩阵开关模块等测试资源,扩展集成了扩展集成频谱分析仪、示波器、功率计等台式测量仪器与仪表,这些测试资源集中于可变规模公共测试接口(common test interface,CTI),并通过测试适配器和测试线缆与测试对象连接,实施测试。

软件平台基于北京航天测控技术有限公司开发的虚拟仪器测试环境。该软件集成了基于ATML的全生命周期内测试信息共享、TPS图形化开发、IEEE1641信号模型、IVI仪器互换架构、执行界面定制、故障诊断等关键技术,可实现被测对象建模、测试流程开发、系统执行服务、诊断处理分析、系统资源管理等主要功能,且包含传统的面向仪器的操作内核和支持ATLAS的面向信号的操作内核,可以设置断点,测试程序运行过程中具有连续执行、区间执行、单点执行等功能^[9],同时具备基于ICD的总线协议配置解析模块,保证同机型的通用性和可扩展性,在测试过程中能实时给出指令判断结果并在测试结束后给出测试结论。

2.2 测试模式与测试流程

由北斗安控系统的工作模式可知,北斗安控系统测试主要侧重于北斗终端以短报文形式发送指令/状态数据的可靠性、安控逻辑的正确性以及安控执行机构长时工作的可靠性。因此,北斗安控系统测试采用以一定频次(一般为1min/次)发送安控指令并监测安控执行机构动作及反馈状态的方法。在测试中,安控指令与飞艇状态数据的转发依靠北斗一代卫星通信系统,该系统因信号衰落、信道堵塞等因素会产生短报文丢失的现象。为避免因北斗一代卫星通信系统自身原因造成的测试误差,在测试的同时利用天线与频谱分析仪构成的监测系统来监测地面北斗终端与艇载北斗终端发送短报文时所发射的微波信号以确定安控指令和飞艇状态数据正常发送。地面北斗监测系统监测的是北斗终端发射的L波段信号,该信号频率覆盖1.61~1.62 GHz的带宽范围^[10]。

北斗安控系统测试模式如图2所示。测试中包含地面及艇载两套北斗终端,需同时监测发送短报文时所发射的微波信号,利用两套天线与频谱分析仪构成的监测系统分别来实现,测试时需注意设备布局,以避免微波信号交叉影响。

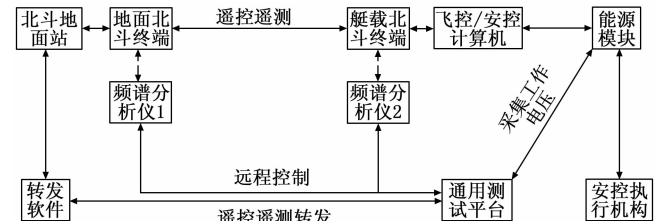


图2 北斗安控系统测试模式

转发软件主要功能为:将测试指令转换为遥控指令,发送至北斗地面站;判断该测试指令是否具备执行条件,将判断结果发送给通用测试平台;若具备执行条件,执行机构做出相应动作后,将遥测状态信息发送至通用测试平台。由于转发软件的存在使得通用测试平台不直接控制北斗链路,避免试验场测试人员误操作损害飞艇设备。

测试时,由通用测试平台通过转发软件发送测试指令给飞艇北斗地面站;北斗地面站确认测试指令并确认是否具备执行条件,并将判断结果通过转发软件转发给通用测试平台;在具备执行条件下,北斗地面站将测试指令转换为飞艇自身对应的遥控指令,并通过地面北斗终端发送出去;通用测试平台在发送测试指令后,程控频谱分析仪1开始监测信号频谱信息,并给出采集到的信号频率和功率电平信息,当信号频率在1.61~1.62 GHz的带宽范围内且功率电平大于频谱分析仪本底噪声电平10 dB以上时,则认为地面北斗终端发送短报文成功;艇载北斗终端在接收到短报文后通过艇载安控/飞控计算机控制安控执行机构动作,并将安控执行机构的状态信息以短报文形式发送给地面北斗终端,此时,通用测试平台程控频谱分析仪2开始监测信号频谱信息,并给出采集到的信号频率和功率电平信息,1.61~1.62 GHz的带宽范围内且功率电平大于频谱分析仪本底噪声电平10 dB以上时,则认为艇载北斗终端接收短报文成功;北斗地面站在接收到地面北斗终端转发的安控执行机构状态信息时,通过转发软件将状态信息转发给通用测试平台;通用测试平台根据监测到的信号频谱信息与安控执行机构状态信息判断测试执行情况,测试后给出北斗安控系统的执行成功率。

北斗安控测试流程如图 3 所示。在具体测试实施中, 出现以下情况需要重新发送测试指令: 地面北斗终端发送短报文不成功; 转发软件判断接收超时或校验错误; 连续两次接收到错误的遥测状态信息。第一种情况是由于地面北斗终端问题导致重新发送指令, 北斗指令发送次数会累加; 第二种情况是由转发软件与通用测试平台之间的通信问题引起的, 与地面北斗终端无关, 此时重发, 测试指令发送次数不会累加; 第三种情况是由于艇载北斗终端以一定频次将安控执行机构状态自动下传并不依赖于测试指令, 因短报文传输延迟可能出现安控执行机构已经完成作动而状态信息显示未作动情况, 此时通用测试平台接收到的遥测状态信息为执行机构未执行之前的状态, 与设定的判据不一致, 此时, 飞艇通用测试平台继续接收一条状态信息。若接收到的两条状态信息都为错, 重新发送指令, 北斗指令发送次数会累加。

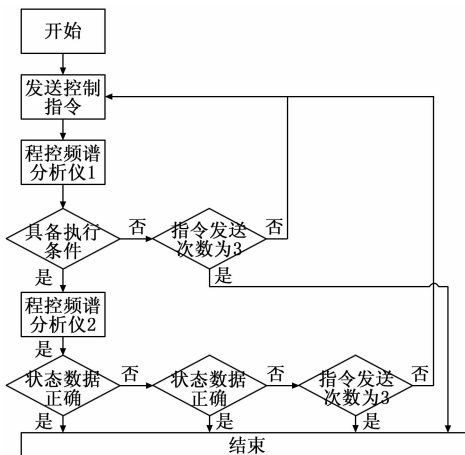


图 3 北斗安控测试流程

本次测试指令发送次数定为最多 3 次, 可根据实际情况增加或者减少。

测试指令成功的标准为地面北斗终端发送短报文成功, 执行机构正常作动且艇载北斗终端反馈状态数据短报文成功。通过统计测试成功次数与测试指令发送次数给出北斗安控测试的成功率。

3 试验结果与分析

3.1 试验布局

平流层飞艇北斗安控测试在平流层飞艇航电系统集成完成后开展。艇载飞控计算机/安控计算机安装集成于飞艇系统航电设备吊舱内。试验时, 转发软件布设于北斗地面站。北斗地面站、地面北斗终端、艇载北斗终端、安控执行机构布置于室外空旷环境, 保证北斗终端能正常接收北斗卫星信号。艇载北斗终端与地面北斗终端距离 1 km 左右。由频谱分析仪以及天线组成的监测系统分别置于两套北斗终端附近, 通用测试平台通过试验网络程控频谱分析仪采集北斗终端发送短报文时发射的微波信号并与转发软件进行测试指令发送等信息交互。

3.2 测试步骤

针对某型平流层飞艇的北斗安控系统开展测试。该北斗安控系统的执行机构主要包括囊体切割装置和阀门, 通过囊体切割装置撕裂囊体和阀门开启来释放囊体内的氦气。囊体切割装置利用火工品产生的爆破冲击力推动切割装置来撕裂囊体, 为

易损件, 因此实际测试时并没有直接控制囊体切割装置, 而是通过监测其供电电压的形式来开展测试。

正式开展测试前需通过北斗地面站发送指令, 确保整个测试链路状态正常、执行机构作动及反馈正常, 具备测试条件。通过网线连接通用测试平台与转发软件实现通信, 确认两者之间能正常发送、接受数据帧。网线连接通用测试平台与频谱分析仪, 程控频谱分析仪确认具备测试条件。

此种型号的北斗安控系统遥控指令分为解锁、阀门开启/关闭、囊体切割装置开启/关闭以及解锁复位等几种, 因此通用测试平台发送的测试指令亦包含上述几种类型。根据安控执行机构的数量, 以及实际安控逻辑, 同时考虑到测试过程中可能遇到的各种问题, 完成测试程序编写, 如图 4 所示。

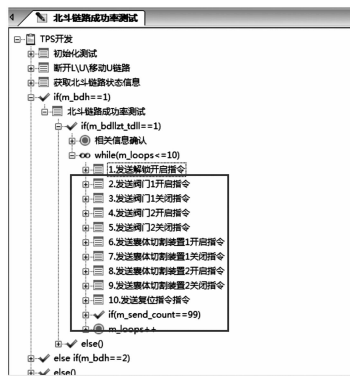


图 4 北斗安控测试程序

图 4 为北斗安控测试程序的主要流程, 包括状态信息确认、指令发送等, 由图 4 可知, 每 10 条指令为一个循环, 共执行 10 个循环, 即发送 100 条指令, 一个循环中包括解锁、阀门开启/关闭、囊体切割装置开启/关闭以及解锁复位等 10 条指令; 同时, 该循环严格按实际安控逻辑执行流程进行, 只有解锁完成之后囊体切割装置开启指令才有效。

完成试验布局后在通用测试平台的软件平台上运行北斗安控测试程序。在测试程序运行过程中, 通用测试平台会实时显示每条测试指令发送状态、测试指令回读状态以及安控执行机构的实际执行状态, 并给出通过与否的判断。若判断通过, 如图所示, 显示正常, 若判断不通过, 则这条结果就会显示为红色, 能帮助测试人员快速做出应对措施。

由于主体的运行界面有限, 显示的内容是一些能表示测试过程成功与否的指令状态, 但是在变量监视区则可以对所有测试过程中的变量进行监视, 其中就包括北斗指令发送成功次数以及北斗测试成功次数等关键变量。具体测试程序执行界面以及执行结果如图 5 所示。

3.3 测试结果分析

针对某型平流层飞艇的北斗安控测试, 测试结果如图 5 所示, 图中测试指令发送成功次数为 100, 测试成功次数为 98, 北斗安控测试的成功率为 98%, 每条指令均能正常发出, 安控执行机构作动正常, 状态信息反馈正常, 且北斗监测系统也能准确采集到艇载/地面北斗终端的微波信号信息。

在测试过程中出现以下情况:

3.3.1 测试指令回读状态为 4

转发软件判断测试指令回读状态为 4, 表示飞艇平台目前状态无法执行测试指令, 该指令执行超时, 通用测试平台会重复发送该条测试指令, 第二次发送指令正常, 超时的第一次指

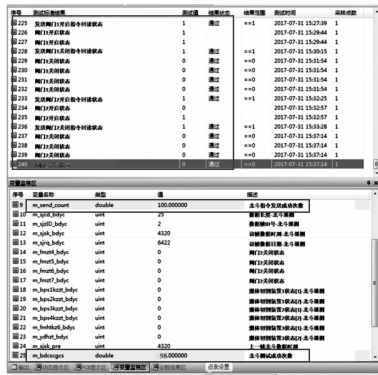


图 5 北斗安控测试程序执行界面

令不计入指令发送成功次数, 第二条正常发出的测试指令计入到指令发送成功次数中。

3.3.2 飞艇状态数据全部为 0

飞艇状态数据包括飞艇系统的所有设备状态, 不可能全部为 0。通用测试平台在一段时间内未收到飞艇状态数据, 则会将测试过程中的所有变量都置为 0。检查地面北斗终端监测系统没有收到微波信号, 且转发软件与北斗地面站、通用测试平台通信正常, 且安控执行机构已正常执行该条测试指令, 通用测试系统表示未收到此测试指令下行数据, 再次接收一次飞艇状态数据, 数据显示正常, 由于北斗链路状态不佳下行丢失导致, 但是一般来说, 不可能连续两次下行都丢失, 第二次接收正常, 判断该测试指令成功。

3.3.3 接收到的飞艇状态数据与安控执行机构状态不一致

测试指令发送成功且安控执行机构动作及反馈正常, 但是飞艇状态数据中安控执行机构的状态为未执行, 再次接收飞艇状态数据, 一致, 判断该测试指令成功。第一次状态不正常是由于北斗链路可能存在延时, 导致接收到的是前一条的状态; 不一致, 检查地面北斗终端监测系统接收到微波信号, 且转发

软件与北斗地面站、通用测试平台通信正常, 表示虽收到下行数据, 但不是该测试指令相对应的状态数据, 判断为该指令失败。

4 结论

本文分析了北斗安控分系统的组成、工作模式, 提出了基于通用测试平台的平流层飞艇的北斗安控测试方法, 确定了测试模式, 编写了北斗安控测试程序, 并利用测试程序完成了某型飞艇北斗安控系统测试, 按照测试要求完成了北斗安控测试, 通用测试平台的测试结果与人工监测记录的结果一致, 具有实用价值。

参考文献:

[1] 杨秋萍, 席德科. 飞艇技术发展现状与趋势 [J]. 航空制造技术, 2010 (19): 78-81.

[2] 刘 艳. 北斗短报文电网状态监测及应急通信系统 [J]. 总线与网络, 2015 (1): 43-47.

[3] 刘艳丽. 北斗卫星短报文技术在输电线在线监测系统中的应用 [J]. 电力信息与通信技术, 2016, 14 (11): 28-32.

[4] 刘基余. GPS 卫星导航定位原理与方法 [M]. 北京: 科学出版社, 2003.

[5] 丁 宁. 基于测试管理软件的测试平台软件架构技术研究 [D]. 太原: 中北大学, 2014, 5.

[6] 吴良波. 基于 ATML 的平台管理模块开发测试系统设计与实现 [D]. 成都: 电子科技大学, 2016, 3.

[7] 张进星. 航天电子设备的地面测试系统自动化测试软件设计与实现 [M]. 中国科学院国家空间科学中心, 2016, 4.

[8] 蔡小斌. 法国通用自动测试平台 ATE 发展综述 [J]. 测控技术, 2000, 19 (6): 1-4.

[9] 刘 收. 平流层飞艇地面通用测试原型系统设计 [J]. 计算机测量与控制, 2016, 24 (7): 82-89.

[10] 商 锋, 赵 薇. 北斗一代 S 频段低噪声放大器的设计 [J]. 西安邮电大学学报, 2016, 21 (4): 76-82.

(上接第 23 页)

[3] Muruganatham B, Sanjith M A, Krishnakumar B, et al. Roller element bearing fault diagnosis using singular spectrum analysis [J]. Mechanical Systems and Signal Processing, 2013, 35 (1/2): 150-166.

[4] Hao R, Chu F. Morphological undecimated wavelet decomposition for fault diagnostics of rolling element bearings [J]. Journal of Sound and Vibration, 2009, 320 (4/5): 1164-1177.

[5] Cheng J, Yu D, Yang Y. Application of all impulse response wavelet to fault diagnosis of rolling bearings [J]. Mechanical Systems and Signal Processing, 2007, 21 (2): 920-929.

[6] Tang B, Liu W, Song T. Wind turbine fault diagnosis based on Morlet wavelet transformation and Wigner-Ville distribution [J]. Renewable Energy, 2010, 35 (12): 2862-2866.

[7] 左 来. 基于小波包分析和 LS-SVM 的柴油机故障诊断方法 [J]. 计算机测量与控制, 2009, 17 (11): 2150-2152.

[8] 蔡艳平, 李艾华, 石林锁, 等. 基于 EMD 与谱峭度的滚动轴承故障检测改进包络谱分析 [J]. 振动与冲击, 2011, 30 (2): 167-172.

[9] 胥永刚, 孟志鹏, 陆 明, 等. 基于双树复小波包和 AR 谱的滚动

轴承复合故障诊断方法 [J]. 北京工业大学学报, 2014, 40 (3): 335-340.

[10] 张 军, 陆森林, 和卫星, 等. 基于小波包能量法的滚动轴承故障诊断 [J]. 农业机械学报, 2007, 38 (10): 178-181.

[11] 赵庆恩, 黄宏伟, 冯 坤, 等. 基于小波包能量-决策树的滚动轴承混合故障诊断 [J]. 轴承, 2016 (06): 43-46.

[12] Chelly Z, Elouedi Z. Hybridization schemes of the fuzzy dendritic cell immune binary classifier based on different fuzzy clustering techniques [J]. New Generation Computing, 2015, 33 (1): 1-31.

[13] Khedr A, Gulak G, Vaikuntanathan V. scalable homomorphic implementation of encrypted data classifiers [J]. IEEE Transactions on Computers, 2016, 65 (9): 2848-2858.

[14] Fredman J S, Calvet L E, Bessiere P. Bayesian inference with Muller C-elements [J]. IEEE Transactions on Circuits and Systems I-regular Papers, 2016, 63 (6): 895-903.

[15] 张金萍, 白广彬. 基于主元分析与 KNN 算法的旋转机械故障识别方法 [J]. 机械设计与制造, 2017 (6): 23-25.

[16] 程正兴. 小波分析算法与应用 [M]. 西安: 西安交通大学出版社, 1998.