

飞行器综合测试设备可靠安全接地设计

张翔, 潘江江, 杨友超, 冯京京

(中国运载火箭技术研究院研究发展中心, 北京 100076)

摘要: 飞行器综合测试主要对电气系统各功能及接口的协调性和匹配性进行全面的综合检查; 测试设备接地不正确, 可能干扰地面设备和飞行器产品, 甚至将危险电压引到飞行器上; 为实现综合测试可靠安全接地, 简要介绍接地的概念和作用, 说明良好的接地是保护人身安全、保障电气系统正常运行、防止雷击和静电危害的有效方法; 结合飞行器综合测试系统功能和组成, 将系统划分为供电设备、测试设备和控制设备, 分析了各类设备的接地原则和方法, 即确保安全和兼顾电磁兼容特性, 测试设备接口不能干扰飞行器上产品正常工作, 最后提出测试设备接地安全保证措施, 包括试验前, 对场地和设备接地的检查、设备接地与供电要求、操作规定、连接前测试等方面, 为航天项目产品研制提供参考。

关键词: 综合测试; 接地; 电磁兼容

Integrated Test Equipments on Aircraft Reliability and Safety Grounding Design

Zhang Xiang, Pan Jiangjiang, Yang Youchao, Feng Jingjing

(China Academe of Launch Vehicle Technology R&D Center, Beijing 100076)

Abstract: The integrated test system on aircraft is used to comprehensive examinations about any function coordination and interfaces compatibility. If the groundings of the equipments are false, equipments on the ground and products on the aircraft are disturbed, even a hazard voltage imports the aircraft. In order to achieve reliability and safety grounding, the functions of grounding was introduced, the suitability grounding is the effective way of protecting the personal safety, ensuring the equipment normally work and preventing the lightning strike and electrostatic discharge damage. Combining the functions and components of the integrated test system, the system was divided to power equipment, measure equipment and control equipment. The grounding principles and methods of the test equipments were analyzed. That is ensuring safety and considering EMC characteristic, and the interface of the measure equipment can not disturb the normally work of products. Finally, the guaranteed safety measures of grounding were proposed, including examining the field and equipment grounding, the demand of the equipment grounding and power, operation regulation and so on. This paper is a useful reference for the manufactures of the aircraft products.

Keywords: integrated test; grounding; EMC

0 引言

飞行器综合测试主要对电气系统各功能及接口的协调性和匹配性进行全面的综合检查, 以判断系统整体功能是否良好, 指标是否合格, 工作是否稳定^[1]。在功能上, 目前的综合测试系统将所需全部激励与测量设备集成在一起, 由计算机高效控制完成各种模式的激励以及响应信号的采集、存储与分析, 改变了以往分立式测试设备的组成架构。但对集成后设备的电磁兼容等要求也更高, 而接地是提高电磁兼容和安全性的最有效手段, 涉及到了电力电气、电子仪器设备、电磁兼容性等诸多领域^[2]。各类设备接地要求和技术的实现方式各有不同, 不正确的接地, 会给飞行器带来干扰, 甚至会将危险电压引入飞行器上, 烧毁产品或设备。因此, 必须正确认识测试设备中接地作用, 正确设计并连接接地线, 采取必要措施防止接地不当带来的损失。

本文简要介绍了良好的接地对飞行器综合测试的重要作用, 结合系统功能和组成, 分别分析了各类测试设备的

接地设计和方法, 对典型的接地环节进行测试, 并提出测试设备有效的接地安全保证措施, 为航天产品的研制提供技术保障。

1 接地概念和作用

所谓“地”, 可以看作电容量很大的物体。“接地”就是指将设备中电路某点与地短路, 连接到作为参考电位点(或面)的良导体。对飞行器上设备而言, “接地”就是将设备壳体等接地点与飞行器结构搭接形成等势体; 而对综合测试设备而言, “接地”往往指接设备机壳或电路中某一电位基准点通过供电或接地桩与厂房接地等势体箱中端子相连, 形成良好接地。良好的接地能起到保护人身安全、保障电气系统正常运行、防止雷击和静电危害的作用^[3-4]:

1.1 保护人身安全

测试设备正常运行时, 将内部机壳或电路基准点通过导体与厂房接地系统的接地极之间作良好连接, 可以防止人身遭受电击。如果没接地的电气设备在供电线路上出现绝缘损坏问题, 一旦人体触及设备外壳, 供电电压将作用在人体上形成电流通路, 使人体遭受电击伤害。而接地正确的电气设备, 接线绝缘损坏后即使外壳带电, 接地电流同时沿接地极和人体两条通路流过。相对人体电阻, 接地电阻极小, 相当

收稿日期: 2018-06-11; 修回日期: 2018-08-03。

作者简介: 张翔(1981-), 高工, 主要从事供电及测试方向的研究。

于接地通路将人体旁路, 将电流直接导入接地极, 而流经人体的电流几乎为零, 使得人体免于触电危险。

1.2 保护设备运行正常

目前, 测试环境中均为五线制供电体制, 供电等测试设备符合电子系统中性点接地要求, 有利于保证系统的稳定运行, 防止系统中控制信号和输出振荡, 还可以保证继电保护可靠动作^[5]。此外, 良好的接地可以防止故障电流和外部雷击电流作用在设备内引起的危险电压, 将危险电压通过接地极快速导入大地, 防止电子设备因瞬时干扰而受到破坏, 从而防止遭受雷击。

1.3 改善设备电磁兼容性能

如果测试设备不与大地连接, 将呈现电位差, 在外界干扰场作用下, 易导致电路系统工作不稳定^[6]。将测试设备与大地相连接, 处于真正的零电位, 就能有效地抑制干扰, 防止噪声源把噪声引导到设备中, 旁路杂散能量, 降低噪声, 提高电磁兼容性能。

2 系统组成和功能

飞行器综合测试设备包含供电设备、测试设备和控制设备^[7], 典型系统组成如图 1 所示。供电设备属于电力电子设备, 负责为飞行器提供测试电源, 通过地面电源和配电箱实现市电到多路低压供电; 测试设备属于高精度采集设备, 负责提供外系统等效和状态采集功能, 实现飞行器上模拟量、数字量和不带电触点等信号调理, 再由采集装置完成信号转换; 控制设备属于指令交互设备, 负责提供指令输出控制功能, 通过总线或 OC 门、开关量、不带电触点等硬线输出指令控制飞行器上产品和其他地面设备协同工作, 被控设备返回的指令、时序执行结果及状态信息送测试设备采集, 实现闭环测试。一般供电设备、测试设备和控制设备可接入总控网, 实现各设备的统一协同工作。

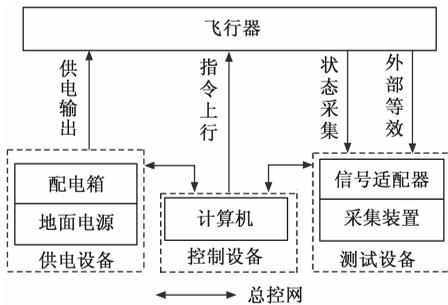


图 1 综合测试系统组成图

3 系统接地设计

3.1 系统接地原则

在飞行器综合测试中, 除需要保证飞行器安全可靠接地外, 还应掌握各类测试设备接地特点, 并正确可靠接地, 其接地的正确性和合理性直接影响测试的电磁兼容性和安全性, 保证飞行器研制工作的顺利进行^[8]。因此, 综合测试系统必须遵循以下基本原则:

1) 安全第一: 以安全为先, 必须保证人身安全、飞行

器安全及设备安全;

2) 兼顾 EMC 品质: 在安全的前提下合理接地, 抑制噪声干扰, 提高系统电磁兼容水平。

3.2 供电设备接地设计

供电设备输入来自于电力系统 380 V 或 220 V 交流电源, 输出直流送至飞行器上为各母线供电, 核心部件为 AC/DC 实现交直流转换和隔离, 地面电源组成示意图 2 所示。为保障人身安全, 设备壳体应接保护地; 而电源输出送至飞行器, 为防止供电交流地干扰器上产品, 应严格保证箭地之间供电地隔离, 即地面电源直流输出浮地, 仅通过共模电容接设备壳体, 减小噪声和纹波干扰。因此, 供电设备交流供电输入地与输出负端应彼此隔离, 一般将供电输入的 PE 线直接接壳体, 确保人身安全。除专用地面电源外, 飞行器综合测试还可能会使用市购稳压源或方阵模拟器完成供电功能, 或采用信号发生器输出激励, 设备接地情况见表 1。可见, 该类通用设备也满足输入输出隔离, 输入接 PE, 输出浮地的要求。

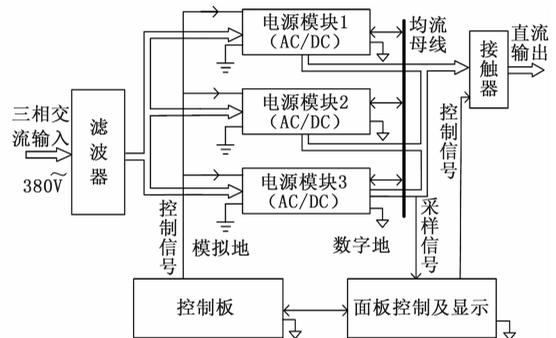


图 2 典型供电设备组成示意图

表 1 供电设备接地情况

仪器名称	机壳与保护地	输出地与保护地	输出地与机壳
方阵模拟器	导通	隔离	绝缘
稳压源	导通	隔离	绝缘
信号发生器	导通	隔离	绝缘

3.3 控制设备接地设计

控制设备主要为飞行器提供时序、流程控制指令和完成数据注入等, 一般为专业设备, 测试过程中应确保指令发送正确, 时序满足要求。控制设备供电来自 220 V 交流电源, 输出可采用模拟或总线多种接口形式。虽然接口形式不同, 但均要求输出信号与飞行器上隔离。其中, RS422、1553B、CAN 等总线实现指令收发和状态回传, 简化飞行器与地面接口, 按照标准电路连接便于实施隔离设计; 开关量或无源触点来源于继电器, 与线包控制端为隔离状态, 适于作为飞行器上时序控制。OC 门可直接驱动继电器线包, 但需要注意与控制驱动电路隔离, 还应注意采用二极管或继电器触点切断线路, 防止潜在通路造成系统功能异常。以 OC 门指令输出为例, 控制设备组成示意图 3 所示。

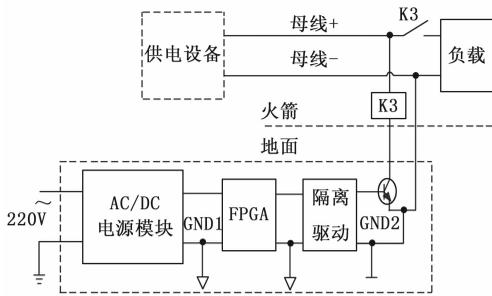


图 3 控制设备典型 OC 门接口电路示意图

为保障人身安全，设备壳体与供电输入的 PE 线直接相连。外部交流供电经 AC/DC 变换后为内部电路供电，输出部分与内部电路隔离，并与飞行器上电路共地，实现继电器驱动控制。设备内部和输出电路部分与壳体之间只有滤波电容存在，用于减小噪声和纹波干扰。因此，控制设备交流供电输入的 PE 线直接接壳体，输出信号可与飞行器上连接，但必须与设备内部电路隔离，确保人身安全和设备安全。为简化测试，可使用电池为控制设备供电，有利于便携测试和减少供电纹波，但同样需要隔离输出，避免对飞行器上干扰。

3.4 测试设备接地设计

采集设备主要为状态测量和等效外系统功能，主要关注测试精度，采集设备多采用货架 (COTS) 产品集成专用设备，还可采用通用设备。采集设备供电多来自 220 V 交流电源，测试输入对象一般为模拟量、电平信号、开关状态、数字量等。采集设备设计上在保证测量精度的同时，必须电气隔离保证对外接口安全性。其中，模拟量通过幅度调整、阻抗匹配和电气隔离后，再进行 AD 转换采集；电平信号和开关状态已经为电气隔离状态，直接采集或驱动光耦实现隔离采集；数字量信号与控制接口相对应，按照标准电路实施隔离处理。图 4 示意了典型采集接口及原理。

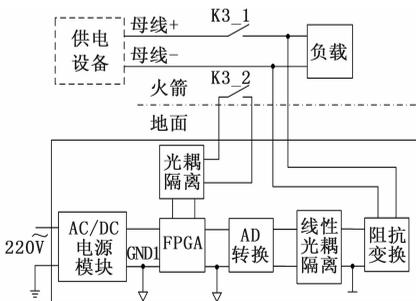


图 4 测试设备典型接口电路示意图

为保障人身安全，采集设备壳体与供电输入的 PE 线直接相连。外部交流供电经 AC/DC 变换后为内部电路供电，对外接口部分与内部电路通过光耦隔离，并与飞行器上电路共地实现等电位连接，确保箭地之间电气隔离。各路采集之间，采用隔离措施，避免因采集设备破坏箭上原有信号隔离状态。设备内部和输出电路部分与壳体之间只有滤波电容存在，有效地抑制干扰，降低噪声。因此，测试

设备交流供电输入的 PE 线直接接壳体，飞行器上被采集信号必须与设备内部电路隔离，确保人身安全和设备安全。通用测试设备接地情况如表 2 所示。其中，高频测试设备多使用同轴电缆实现信号传输，其外导体屏蔽层也是信号地，由于电缆外导体屏蔽层与设备金属外壳相连，形成“接地”设备，即信号地与供电输入的零线 N 绝缘，但与机壳及供电输入保护地线 PE 连通。此外，通用设备一般属于商业品，为获得更洁净的信号品质，将信号地与保护地共地使用。而飞行器上某些敏感电子设备需要一个洁净信号地作为电位基准，因此用通用设备测试时，容易将其他设备的共模干扰通过保护地到信号地通路传导到测试设备，导致测试结果异常。因此，在使用示波器等通用设备测量飞行器上信号时，应尽量采用电池供电的便携示波器或存储记录仪，使信号地线不通过电源插座接入大地，实现浮地测量。避免信号地与保护地连通，由信号接口引入干扰，影响测试精度。

表 2 测试设备接地情况

仪器名称	机壳与保护地	信号地与保护地	信号地与机壳
存储记录仪	导通	隔离	绝缘
直流电阻测试仪	导通	隔离	绝缘
电子负载	导通	隔离	绝缘
便携示波器	导通	隔离	绝缘
示波器	导通	非隔离	导通
频率计	导通	非隔离	导通
信号分析仪	导通	非隔离	导通

4 实验结果与分析

综上所述，无论是供电设备、测试设备还是控制设备，接地电路都可以归结为外部 220 V 或 380 V 供电到内部直流转换过程中的接地处理。一般上讲，供电通过交流输入滤波和电源变换输出为直流电压。其中，输入滤波有 PI 型滤波器和 T 型滤波器等，差模滤波器主要为了防止高频开关噪声在相线和中线之间引起的差模干扰；共模滤波器主要为远鞭策的共模电流提供了一个低阻抗的旁路通道，抑制后级功率变换单元产生的共模噪声通过交流电源线向外扩散，影响同一个供电系统中的其他用电设备，增强电源的电磁兼容性。而接地作为共模噪声的旁路通道泄放点，输入对机壳共模电容，起到抑制干扰作用。同样输出对机壳也设置共模电容，形成输出对机壳的电容连接，用于降低开关频率出的纹波电压。

以供电设备为例，按照典型输入输出电路，设置输入对机壳、输出对机壳电容，进而实现接地，测试输出纹波，检查电容和接地对输出特性的影响，具体情况见表 2。从表中可见，输入对壳和输出对壳电容均起到减小微波的作用，提高电磁兼容特性。随着电容值的增加，滤波效果更好，输出纹波更小，但从输出特性上看，电容值的增大，对电压的建立和输出衰减时间有延迟的作用，在要求响应时间的场合需综合考虑电容的影响。

表 2 不同接地情况下输出纹波测试结果

序号	输入对壳电容	输出对壳电容	纹波(V _{p-p})/mV
1	1 μ F	1 μ F	86
2	100 μ F	10 μ F	50
3	10mF	1mF	20
4	无	无	120

5 接地安全保证措施

综合测试系统与飞行器安全紧密相关,是保证飞行器正常测试的前提。在使用过程中,必须按要求连接好保护地、信号地,采取必要的隔离措施,避免对飞行器上产品产生干扰^[9-10]。根据各类设备特点,测试系统中设备外壳均应接保护地,保证人员安全;供电设备、控制设备和低频测试设备内部电路应与外部供电输入保持隔离,与机壳也保持隔离;高频测试设备由于机壳与保护地、内部信号地相连,在进行有线测试时可能会导致设备与飞行器器共地,需采取断开保护地的特殊接线板或直接用电池供电。结合设备应用,综合测试设备参与相关试验需完成如下检查工作:

1) 试验开始前,需对试验场地进行技安检查,包括供电品质检查、配电盘和接线板检定、接地线检查等项目,确保供电和接地环境良好;

2) 需对设备进行功能测试,实行准用证制度,并检查设备接地正确、可靠,通用设备需有计量合格证且在有效期内;

3) 测试设备操作需明确岗位,由专人负责,并保证持证上岗;

4) 设备与飞行器连接前,需对设备接口进行测试,输出的激励信号或电压符合要求,不存在危险电压。

(上接第 283 页)

参考文献:

- [1] 杜人照. 基于多传感器信息融合与外形识别的四旋翼飞行器避障算法研究 [D]. 赣州: 江西理工大学, 2017.
- [2] 万富华. 基于多传感器的无人机定位和避障技术研究 [D]. 杭州: 浙江工业大学, 2017.
- [3] 潘峥嵘, 周宗儒, 朱 翔. 基于多传感器信息融合的无人机防撞系统 [J]. 自动化技术与应用, 2018 (3): 130-133.
- [4] Syed Ghafoor Shah. 基于立体视觉和三维激光扫描仪的无人机自主避障和导航技术研究 [D]. 南京: 南京航空航天大学, 2012.
- [5] 陈奕君. 基于多传感器信息融合的机器人避障研究 [D]. 大庆: 东北石油大学, 2014.
- [6] 张 煜. 基于多传感器数据融合的无人车避障导航研究 [D]. 西安: 西安工业大学, 2015.
- [7] 杨福增, 王 涛, 王元杰, 等. 一种基于多传感器信息融合的山地农业机器人避障系统: CN 103019245 A [P]. 2013.
- [8] 李圆圆. 毫米波避障雷达在无人机电力线巡检中的应用研究 [D]. 南京: 南京理工大学, 2014.
- [9] 王滨海, 郑天茹, 陈西广, 等. 一种基于毫米波雷达的无人机电巡线线路走廊方法与装置: CN102891453A [P]. 2013.

5 结论

综合测试设备正确、可靠接地,才能保证系统正常工作,满足飞行器测试需求。测试设备设计应贯彻货架产品和尽量简化的原则,测试人员应了解各类测试设备的基本原理,掌握各设备接地需求和特点,在测试过程中正确、可靠接地,确保人员和设备安全,采取必要措施抑制干扰,保证飞行器接地安全。

参考文献:

- [1] 俞 达, 岳 玮, 杨晓乐, 等. 一种飞行器电气系统综合测试平台设计 [J]. 计算机测量与控制, 2016, 24 (12): 3-5.
- [2] 张丽华, 孙拥军, 陈东栋, 等. 总装测试中的接地技术研究 [J]. 计算机测量与控制, 2010, 18 (2): 246-248, 271.
- [3] 王建军, 陈逢田, 李培华. 航天器综合测试中的接地技术研究 [J]. 计算机测量与控制, 2010, 18 (2): 246-248, 271.
- [4] 林守霖, 李子森. 复杂电子装备的防雷电设计 [J]. 安全与电磁兼容, 2008, (3): 34-37.
- [5] 卜云平, 成 斌, 马迎春. 电子设备接地及其抗干扰技术 [J]. 现代计量测试, 2000, (4): 13-18.
- [6] 米晓莉, 汪 非, 赵永刚. 战术飞行器电器系统电磁兼容性设计 [J]. 四川兵工学报, 2012, 33 (4): 18-22.
- [7] 张 翔, 徐海运, 陈春燕, 等. 飞行器供电系统通用测试方案设计 [J]. 计算机测量与控制, 2014, 22 (10): 3126-3128.
- [8] 李荣福. 卫星试验厂房的接地设计 [J]. 航天器环境工程, 2004, 18 (3): 7-10.
- [9] 鲜 峰. 载人航天器发射场总装测试厂房设计需求分析研究 [J]. 航天器环境工程, 2011, 28 (1): 87-90.
- [10] 张光升, 贾宝林, 郝引明. 载人航天发射场技术安全检查与控制 [J]. 载人航天, 2003, (5): 17-20.
- [10] 周士超. 无人机电力巡线视觉避障技术研究 [D]. 北京: 北京理工大学, 2016.
- [11] 杨 维, 朱文球, 张长隆. 基于 RGB-D 相机的无人机快速自主避障 [J]. 湖南工业大学学报, 2015, 29 (6): 74-79.
- [12] 史浩明. 基于嵌入式平台的无人机视觉跟踪避障方法研究 [D]. 南京: 南京航空航天大学, 2016.
- [13] 杜九江, 陈 伟, 丁 一, 等. 电力巡线无人机自主避障控制 [J]. 现代制造技术与装备, 2016 (10): 163-165.
- [14] Gary Bradski \ & Adrian Kaebler. 学习 OPENCV (中文版) [M]. 南京: 东南大学出版社, 2009.
- [15] 王卫红, 顾国民, 秦绪佳, 等. 基于栅格法的矢量路径规划算法 [J]. 计算机应用研究, 2006, 23 (3): 57-59.
- [16] 朱庆保, 张玉兰. 基于栅格法的机器人路径规划蚁群算法 [J]. 机器人, 2005, 27 (2): 132-136.
- [17] 陈超波, 张 煜, 高 嵩. 一种基于 A* 算法的虚拟力场避障导航算法 [J]. 计算机系统应用, 2014, 23 (9): 107-111.
- [18] 张玉堂, 邓鲁华, 宗光华. VFF+: 改进的虚拟力场移动机器人避障算法 [J]. 工业控制计算机, 2007, 20 (5): 26-27.
- [19] 关腾飞. 基于虚拟力场法的船舶避障功能的实现 [J]. 舰船科学技术, 2009, 31 (7): 99-102.