

面向批产化的小卫星自动化测试系统设计研究

程 城, 仇梦宇

(航天东方红卫星有限公司, 北京 100094)

摘要: 自动化、智能化的远程测试模式是小卫星研制降本增效的一种有效技术途径; 研究面向未来小卫星大规模组网应用的需求, 提出了一种面向批产化的小卫星自动化测试系统设计方法, 设计了小卫星多星测试的系统布局, 研究了各系统功能分区的功能, 给出了基于自动化测试和虚拟仿真测试的系统搭建方法, 研究了小卫星远程测试网络布局, 给出了测试工位电缆转接箱的结构设计方法; 目前小卫星的研制与测试将进入批量化模式, 研发更具竞争力而且效率高的 AIT 平台系统才能满足小卫星批产化的研制需求, 经过对小卫星型号测试的需求分析, 提出了一种方法能够实现小卫星批产化与自动化, 可以节约人员与时间成本, 并且保证了小卫星测试的质量与效率, 对多星测试有极大的帮助。

关键词: 小卫星; 批产化测试; 自动化测试; 系统设计

Research on Design of Automatic Test System for Small Satellite Based on Batch Production

Cheng Cheng, Qiu Mengyu

(DFH Satellite Co., Ltd., Beijing 100094, China)

Abstract: The remote test mode with automation and intelligence is an effective technique for both reducing the cost and improving the performance of small satellite. Research on aims at providing designing aspects of largely networked small satellites. The paper proposes a design of automatic test system for small satellites in mass production and designing systematic arrangements for testing multiple small satellites, discusses the functionality of each section in the system. Provides a system construction method based on automatic tests and simulated tests, discusses the network layout for remote testing small satellites. Provides a structural design for cable switch boxes in testing station. Small satellite development will enter the mass production mode. In order to meet the development requirement of small satellite batch production, we must study and develop a more competitive and efficient AIT platform and testing system. The model test requirements of small satellites are analyzed. A design of automatic test system for small satellites for batch production is proposed, The design logic architecture of the system is given. It saves people and time costs, and ensure the quality and efficiency of small satellite testing, It is of great help for satellite testing.

Keywords: small satellite; batch test; automatic test; system design

0 引言

航天技术是现代科学技术中发展最快的尖端技术之一, 是一个国家科学技术发展水平的重要标志, 也是综合国力的象征。航天技术的发展对促进人类的文明和社会的进步有着十分重要和积极的作用。近年来, 全球小卫星发展态势强劲, 发射数量逐年大幅增长, 已成为世界航天活动的主要构成部分之一, 如图 1 所示。随着微光机电系统技术、微纳加工技术以及创新系统设计理念、创新系统运营模式不断发展, 小卫星进一步朝着微型化发展, 在成本更低、周期更短、发射更便捷等需求驱动下, 微小卫星逐渐成为小卫星发展最活跃的领域。

随着测试型号的极具增加, 型号测试任务的繁重, 测试人员的年轻化, 原有的自动化测试系统已经不能满足现有的型号测试需求, 面向批产化的小卫星自动化测试系统不但可以解决现在存在的人手紧张问题, 还能大大提高测试效率。

总体来看, 未来微小卫星的发展前景十分广阔, 将迎来高速发展的黄金时期。如何抓住机遇, 迎接挑战, 在大量工程项

目实践中迅速提升小卫星在小卫星设计、制造、集成、测试领域的技术水平, 确保高效、高质量的完成未来小卫星制造发射任务, 是各个卫星承研单位的当务之急。

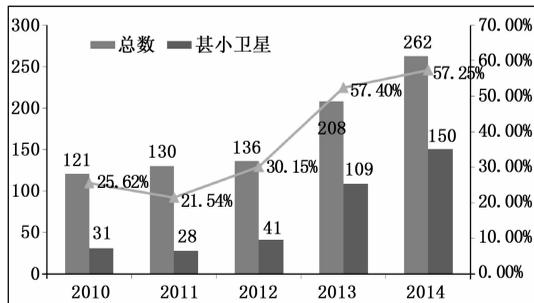


图 1 2010—2014 年发射微小卫星数量统计

因此, 小卫星研制将进入批量化生产模式, 而为了适应小卫星批产化的研制需求, 必须研究和开发更具竞争力的、高效的 AIT^[1] (Assembly Integration & Testing) 平台和测试系统。本文通过对小卫星型号测试需求进行分析, 提出了一种面向批产化的小卫星自动化测试系统设计, 给出了系统的设计逻辑架构, 设计了自动化测试系统组成和各单元设计方法。

收稿日期: 2017-05-20; 修回日期: 2017-06-29。

作者简介: 程 城 (1986-), 男, 北京市人, 硕士, 工程师, 主要从事宇航型号管理方向的研究。

1 系统建设目标

以往的测试模式已经不能满足现在卫星型号众多,人手短缺的情况,测试过程全程需要大量人员参与的测试模式应该被取代,面向超大规模小卫星批量化研制需求,设计高密度小卫星研制生产任务需要的批产化测试模式和系统布局,建立成熟稳定的 AIT 平台流水作业线,研究基于标准化的小卫星测试流程,设计自动化测试过程,设计标准化的总装测试工位,建立小卫星远程测试模式和测试网络支持系统,最终满足小卫星的多星并行测试需求,提高卫星参数判读的精准性。

2 系统总体设计

随着国内外用户对小卫星应用需求的快速增长,卫星市场正在迅速扩大。很快卫星研制将进入批量化研制模式,而为了适应卫星批产化的研制需求,必须研究和开发更具竞争力的高效的自动化测试流水线模式。面向批产化的小卫星新型测试间、总装工位、大型试验区的的设计布局如图 2 所示,主要包含测试技术区、总装技术区、大型实验区、故障处理区、地沟电缆区以及转接电缆区等功能分区组成。

卫星总装技术区是卫星在卫星测试前进行卫星总装的唯一环节。在该环节中,需要进行卫星结构总装、卫星温控部件的安装、卫星仪器设备的安装、卫星电缆敷设等工作。电测技术区主要是检验卫星总体电气设计的正确性、合理性、匹配性及接地系统的正确性,各分系统之间接口关系的匹配性,包括机电、光电、热电接口在内的正确性,各分系统在整星电磁环境下电性能的稳定性。大型试验区主要用于开展卫星的热试验、力学实验、EMC 试验、磁试验等各项试验,检验卫星设计的合理性。故障区负责维修或者检查有故障的卫星,即当某个卫星在 AIT 流程中出现异常情况,可将该卫星送至故障港进行相应处理。复现卫星测试过程中出现的异常,准确定位故障机理,完成归零报告。地沟电缆主要铺设测试连接电缆和通信网络。

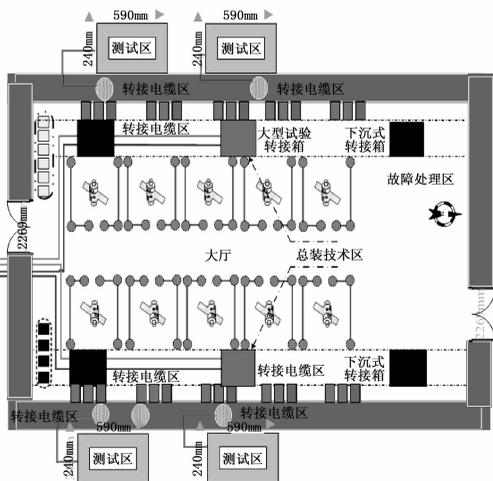


图 2 面向多星批产化测试的小卫星系统布局设计

2.1 可测试性设计

在批产化测试管理模式下,测试工程师从一开始就要参与卫星产品研制的定义阶段,清楚地了解卫星系统的功能。在设计阶段和系统设计工程师一起参与卫星的设计工作,对该卫星的可测性进行研究分析,找到综合测试中影响整星可靠性和测试质量的薄弱环节,开展卫星的可测试性再设计,确保功能设

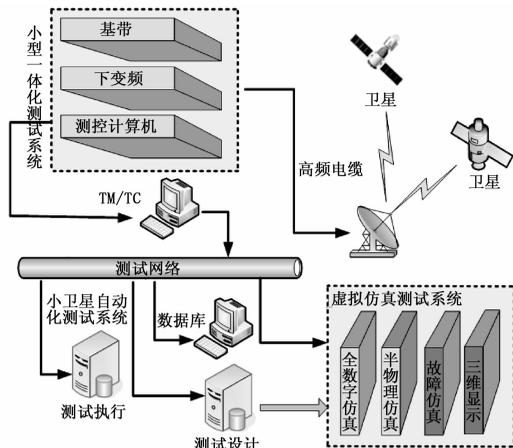


图 3 小卫星综合测试系统系统整体框架

计地面可验证,可测试性设计的信息关系如图 4 所示。

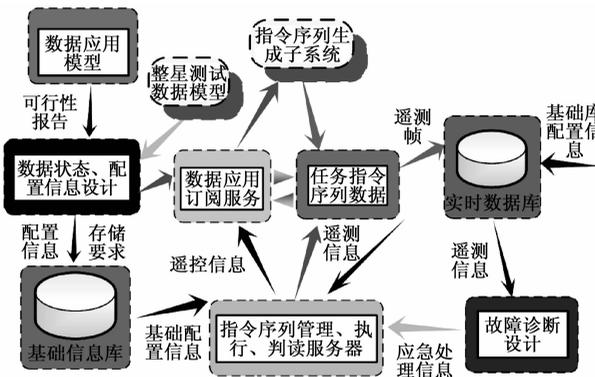


图 4 小卫星可测试性设计关系图

定义一整套卫星测试方案、测试用例以及测试流程,限定测试的数量和复杂性,明确哪些需求是确实应该在系统级测试和验证的,明确哪些需求是应该在分系统级测试和验证,避免重复大量的已经在分系统级进行的测试内容,并就卫星的可测试性对卫星设计提出合理建议。

在卫星的开发阶段,测试工程师在分系统测试阶段参与进来,根据设计阶段对可测试性的分析,对分系统级的测试项目及测试结果进行认可,在整星系统级就不再进行重复测试。在综合测试阶段就可以简化 AIT 的流程并节省测试时间。

2.2 并行测试流程

并行测试包括横向并行测试和纵向并行测试。横向并行测试指的是在某一个测试阶段,可以有多颗卫星同时进行并行测试,例如,多颗卫星同时进行平台测试或多颗卫星同时进行振动试验。纵向并行测试指的是卫星的流水线式测试方法,即在卫星的不同测试阶段均有卫星在进行测试,例如,在同一个时刻,有的卫星在进行载荷测试,有的卫星已经到达大型试验阶段,比如在进行热真空试验等。

1) 测试执行:测试执行是测试细则的执行过程,其中包括测试状态确认、测试指令发送以及测试结果判读等关键过程。在这个阶段,小卫星测试平台在控制台提供测试细则自动执行工具,测试人员可以根据实际情况选择自动或者手动执行方式。采用自动执行,指令发送前、后,智能判读软件自动完成对相关参数的判读,并依靠预先定义的判读条件自动向测试

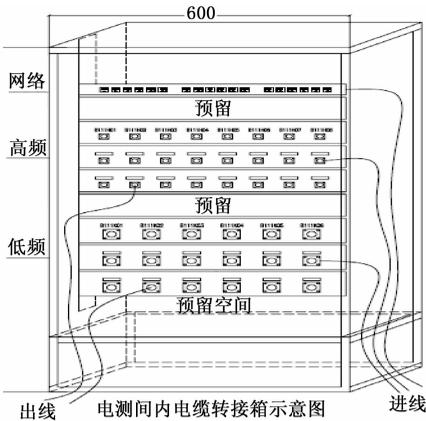


图7 立式转接箱结构示意图

3.2 下沉式电缆转接箱

下沉式电缆转接箱体设计长方体外形，箱体共设计4层，上面为盖板，盖板可拆卸，4边有出线口，长20~30 cm，宽10~20 cm，中间两层按照高频、低频、网络转接电缆，高频电缆设计三排，每排8个法兰，共24个，低频2排，每排6个法兰头，共12个。最下层设计暗装箱的下方设置一处托线杆，对引上的电缆进行绑扎、整理、固定。

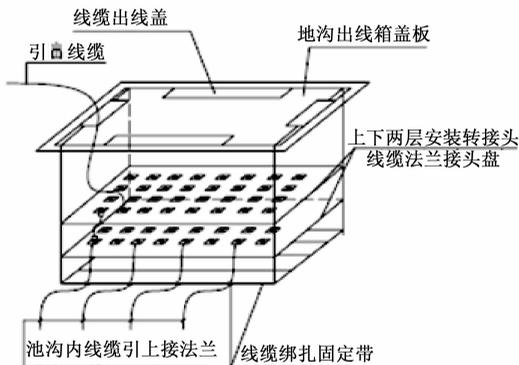


图8 下沉式电缆转接箱结构示意图

4 试验结果与分析

批产化小卫星自动化测试方法是未来趋势，经过一段时间的实践，在航天东方红卫星有限公司的小卫星的多星测试中得到了很好的应用，相比以往的测试模式，测试效率得到了很大

(上接第4页)

通过对系统组件的功能扩展和不断地升级维护，系统功能完备性更强，可靠性更高。

5 结束语

有效载荷集成仿真测试系统采用分布式、客户机/服务器可扩展的网络结构框架，引入了组件化模块化的设计方法，自动化测试和智能化数据判读等功能，实现了面向用户的系统快速动态重构，具有可靠性高、灵活性强、自动化程度高、扩展空间大等优势，缩短了开发周期，降低了开发成本，通过迭代开发不断提高了系统的安全性可靠性，为后续载人空间站工程大规模有效载荷的生产和高密度测发任务提供了强有力的技术支撑。

本设计不仅仅适用于航天器有效载荷的系统级测试，对于其他领域的系统测试设计具有较强的参考价值。

的提高，大大减少了测试人员在测试准备与正式测试阶段的时间，在测试过程中，加入了自动化判读，也杜绝了因为人员疲劳而发生的事故。在自动化测试系统的执行过程中，也出现了一些问题，比如测试软件运行不稳定，自动化判读方法也有一定的漏洞，还需要在日后实践中不断完善与改进。

5 结论

随着小卫星的应用范围越来越广，面向批产测试的小卫星自动化测试技术越来越受到卫星研制企业的重视。本文针对小卫星批产化研制对测试工作的需求，提出了面向批产化的小卫星自动化测试系统设计方法，设计了小卫星批产测试模式和系统布局，分析了小卫星测试的系统架构，研究了自动化测试数据处理流程和自动化测试流程，给出了小卫星远程测试支持系统的网络拓扑结构，提出了电缆转接箱结构设计方法。自动化测试系统的设计与实现，是小卫星测试模式的进步，基本实现了无人化测试，还大大节省了测试时间，提高了测试效率。

针对批产化的小卫星自动化测试模式及地面测试系统设计研究是一个新的研究领域，多星测试的大数据处理、测试流程、智能故障诊断等理论与工程问题还需要进一步研究。

参考文献：

- [1] 王庆成. 航天器电测技术 [M]. 第一版. 北京: 中国科学技术出版社, 2007.
- [2] 孙亚楠, 涂歆滢, 向开恒, 等. 航天器仿真与测试一体化系统 [J]. 航天器工程, 2009, 18 (1): 73-78.
- [3] Lee M, Weidner R J, Lu W. Mission lifecycle modeling and simulation [A]. Aerospace Conference Proceedings, 2000 IEEE [C]. 2000, 379-388.
- [4] Karatza H D. Distributed systems simulation [J]. Simulation Modeling Practice and Theory, 2006, 14: 677-678.
- [5] 张晓清, 陈广旭. 通用卫星地面测试平台设计与实现 [J]. 指挥技术学院学报, 2000, 11 (06): 54-59.
- [6] 柯冠岩. 面向航天任务综合仿真的想定生成系统研究 [J]. 计算机仿真, 2006, 23 (12).
- [7] 崔晓峰. 基于HLA的航天飞行任务联合仿真系统设计 [J]. 飞行器测控学报, 2005, 24 (3): 22-26.
- [8] 毕于莲, 孟晓风, 王国华. 卫星地面测试通用MTP软件设计与实现 [J]. 中国测试技术, 2008, 34 (01): 11-14.
- [9] 路杨, 甘志华, 王剑斐. 基于案例推理的多故障诊断方法研究 [J]. 计算机应用研究, 2009 (3): 172-174.

参考文献：

- [1] 王庆成. 航天器电测技术 [M]. 北京: 中国科学技术出版社, 2007.
- [2] 朱维宝, 孙波, 李砥擎. 航天器综合测试系统设计 [J]. 计算机测量与控制, 2009, 17 (8): 1457-1466.
- [3] 孙波, 赵吉明, 白少华. 航天器综合测试系统体系结构设计 [J]. 计算机测量与控制, 2009, 17 (3): 440-451.
- [4] 同江, 蔡远文, 邢晓辰. 下一代自动测试系统在我国航天测试体系结构中的应用 [J]. 航天控制, 2011, 29 (2): 75-80.
- [5] 何永丛, 潘顺良, 李鸿飞, 等. 载人航天器自动化测试系统设计与应用 [J]. 计算机测量与控制, 2015, 23 (10): 3258-3263.
- [6] 尹佳, 王祖林, 冯文全, 等. 航天器数据管理系统通用测试平台的设计 [J]. 北京航空航天大学学报, 2010, 36 (3): 346-349.
- [7] 杨硕, 潘顺良, 李鸿飞, 等. 航天器数字化测试模式设计与应用 [J]. 计算机测量与控制, 2016, 24 (10): 6-8.