

用于“嫦娥一号”卫星研制的 新型国产通用自动测试平台

New-Type Domestic General Automatic Testing Platform Used for Development of Satellite Chang'e-1

北京康拓工控工业电脑公司 王军鹰



王军鹰

毕业于北京信息工程学院, 现任北京康拓工业电脑公司、国家工业控制机及系统工程技术研究中心副总工程师, 主要从事工业自动化、自动测试仪器等领域的研究及技术管理工作。

2007年10月26日18时05分, 位于中国西北的西昌发射基地, 再次响起了隆隆声, 长征5号运载火箭载着中华民族第一颗深空探测卫星“嫦娥一号”顺利升空, 开始了190万km的探月之旅。

2007年11月5日, “嫦娥一号”经过114h飞行, 走完地月转移轨道

KT8000通用自动测试平台作为“嫦娥一号”卫星GNC测试系统, 首次实现了奔月轨道及其控制的高精度仿真, “嫦娥一号”探月的成功, 标志着我国自主研发的通用自动测试平台达到了一个新的高度。

行程, 抵达月球。至今, “嫦娥一号”已经发送回大量的月球信息。

“嫦娥一号”卫星是我国研制的第一颗深空探测飞行器, 拥有5万多个完全自主研发的元器件, 98.8万个飞行控制源代码。一般卫星进入地月转移轨道的允许误差是2%, 而“嫦娥一号”卫星的实际误差仅为0.03%, 仅一次修正就准确进入了绕月轨道, 为卫星节省了大量燃料, 大大延长了卫星的寿命。“嫦娥一号”这样低的误差率, 在世界航天领域实属罕见。

“嫦娥一号”卫星的先进性、可靠性和精确性, 在中国航天史上是空前的, 除了因为采用最新科技成果、设计合理、器件可靠、控制准确等因素外, 卫星研制过程中的地面测试仿真也起了极其重要的作用。“嫦娥一号”包括结构分系统、测控数传分

系统、GNC(制导、导航、控制)分系统、推进分系统、供配电分系统、热控分系统、星上数管分系统、有效载荷分系统等。其中GNC分系统是卫星极其关键和复杂的系统, 对卫星准确可靠运行起到了决定性作用。“嫦娥一号”GNC分系统的测试采用了北京康拓工控自主研发的KT8000通用自动测试平台, 在“嫦娥一号”3年的研制、调试、测试过程中, 该平台发挥了重要作用。“嫦娥一号”卫星的成功, 也证明了我国自主研发通用自动测试平台的能力。

KT8000通用测试平台的研制

KT8000通用自动测试平台的研制始于2003年, 当“嫦娥一号”还处于方案设计阶段时, 一项用于卫星地面测试的、国内最新型的“GNC自动测试平台”项目已同期展开。



由于“嫦娥一号”卫星是我国第一颗深空探测卫星,将要面对很多以往绕地卫星未曾遇到过的问题,如非重复轨道长、运行环境复杂、自主控制时间长、新型器件多、新的轨道控制算法等。为了解决这些问题,保证卫星控制的可靠性和精准性,需要在地面进行长时间精确的测试,因此,就需要一套与传统测试仪器完全不同的测试设备,这套设备需具备以下特点:能够连续 90 天进行实时测试仿真,精度达到 1ms;能够完全测试和

卫星的测试需求,并能大大提高测试的有效性,降低测试的劳动量。

KT8000 通用测试平台架构

KT8000 通用自动测试平台包括测试机、调度机、服务器、客户端、OBDH (On-Board Data Handling, 星上数据处理) 站 5 个部分,以高速以太网网络联接。

1 测试机

测试机是系统前端的测试和控制设备,通过调理箱与被测设备相连接,接收被测信号,发送控制信号。

平台的测试机采用北京康拓工控自主研发的 AP CI5000 系列工业控制机,工控机符合欧洲 AT96 标准。该工控机的后插针结构保证了在历经搬运、振动后,测试机各板卡信号仍能与母板可靠连接。测试机板卡为 6U 高度板卡,板卡面积大,可以容纳更多的被测信号。测试机采用具有 X86 架构的 CPU 板,主频达 1.4GHz,并具有低功耗、无风扇的特点,使测试机满足了热设计要求,保证整个系统可以长期、满负荷、可靠运行。在“嫦娥一号”后期测试中,CPU 负载稳定保持在 70% 左右,CPU 板的低功耗和散热设计对系统可靠运行起到了关键作用。

测试机 I/O 信号板卡采用了自主研发的通用高精度 I/O 板,保证了技术的成熟性,提高了板卡的可靠性,实现了整个测试机通用化、模块化、低成本的要求。测试机配备有专用的 AP CI 系列调理箱,内部有各种专用调理板卡,负责连接各种星上信号,完成了星上非标准信号与标准信号的转换。调理箱和调理板具有极好的隔离特性,使测试设备与星上设备完全隔离开,从而保证了星上设备

的绝对安全。

测试机内部执行实时操作系统和测试策略执行系统。实时操作系统以 1ms 为周期来执行内部任务,误差控制在 $3\mu\text{s}$ 之内,保证了整个卫星测试过程的实时性和准时性。测试策略执行系统负责在线接收、控制、执行测试策略,并实时收发测控数据,使得测试人员不但可以在线观察测试数据,还可以在线更改、调试测试策略和参数,随时更改测试方案,为长时间、连续试验提供了保证。

为了实现对一些高速部件,如动量轮、阀门等进行测试,测试机内部还配有一些智能、高速、高精度的 I/O 板卡,能在测试机调度下对被测对象进行长时间、连续 μs 级测控,使整个测试机的最高测试速度提高了 1000 倍,实现了对整星和高速部件的系统级同步测试。

针对嫦娥卫星不同的试验,由于测试信号数量不同,可以在试验前用软件调整、配置 1 台或多台测试机参与试验。测试机之间通过通信线实现同步,测试平台可以在一次试验中同步测试信号量达 1500 个以上,充分满足了“嫦娥一号”卫星 GNC 系统整星、部件的同步测试。

2 调度机

调度机是 KT8000 测试平台的指挥系统,所有“嫦娥一号”试验的配置、定义、测试策略、算法、参数等重要信息都可在调度机中设置。

调度机采用通用的高档 PC 机,内部运行 Windows XP 系统,同时安装有通用的工业组态软件和试验调度软件。北京康拓工控通过添加专用算法将原有的用于工业自动化的通用工业组态软件,改装成为可用于航天器的测试和仿真软件。该软件可以将测试策略、算法、参数等主要信息组态后,在线或离线下载到指定测试机,使该测试机具备特殊的功能,能够完成特定的测试内容,从而



仿真整星及各部件全轨道的运行状态;能够实时、准确、同步地记录整个测试过程中的全部信号;能够在线观察整星及部件的测试数据和调整控制策略及参数;能够在线或离线分析数据;能够自动完成预先设定的测试过程,并自动记录测试数据。

为了达到这些测试功能和指标,2003 年北京康拓工控开始立项研制通用自动测试平台。2004 年 3 月,“嫦娥一号”卫星工程正式立项,KT8000 通用自动测试平台经过 1 年半的艰苦研制,攻克一系列难题,在 2004 年研制成功,并马上应用于“嫦娥一号”的研制。使用过程表明,我国自主研发的 KT8000 通用自动测试平台完全能够满足“嫦娥一号”



PRÄZISIONSTECHNIK
UND MASCHINENBAU GMBH

德国DK新一代NC 微型螺纹攻丝机

GE系列攻丝机

- ★ 简便、快速、安全
获取微小精密螺纹
- ★ 最小攻丝:M0.5



LED/LCD显示设定:

- 攻丝类型/扭矩
- 转速/材料类型
- 图形显示品质控制
- 常用螺纹尺寸及材料参数存储

选配:

- 自动润滑系统
- 自动Z轴进给装置
- RS232通讯接口

中国总代理

上海德物机械有限公司

地址: 上海市中山北路2130号万千大厦2001室
电话: 021-52914389 52919640 传真: 021-52917086
电邮: sales@dimoral.com 网址: http://www.dimoral.com

使测试机成为可配置、可定义、可裁减的通用测试设备,使之既可以完成“嫦娥一号”整星测试工作,又可以完成部件测试工作。在线下载的功能使测试人员可以在试验过程中随时修改测试策略和参数,从而验证卫星控制算法和参数的正确性和精确性。在后期的整星仿真试验中,多次通过它验证、修正卫星控制算法和参数,在控制算法与参数上保证了“嫦娥一号”的圆满成功。

试验调度软件提供试验定义和控制。通过它可以随时启停试验,手动、自动发送控制指令,还可以编写、设置试验控制序列,使发送指令、修改参数、启停设备实现自动化。在无人值守的状态下,实现自动测试,为“嫦娥一号”卫星后期连续十几天的长时间整星仿真测试提供了条件。试验调度软件还具有“跳时”设置功能,可以任意设置“星时”,控制算法使卫星“跳”至所设时刻的状态;可以任意模拟、验证“嫦娥一号”漫长的奔月过程中任意一个时间段卫星的状态;可以针对不成熟的运行阶段反复测试仿真,使“嫦娥一号”模拟运行中的重要阶段得到多次测试验证。

试验调度软件具有各部件的仿真注入功能。“嫦娥一号”卫星研制周期紧,部件研制速度不同,导致一些部件在整星测试时不能到位。利用调度机将部件仿真算法下载至测试机,使测试机能够仿真缺少的部件,从而使系统测试得以顺利进行。

调度机具有故障注入功能。“嫦娥一号”卫星在深空运行,由于环境复杂,不可知因素太多,所以不能避免一些部件出现故障,因此卫星在设计时充分考虑了各种补救方法。在卫星测试时,通过调度机将各种故障状态输入测试策略,充分仿真各种故障的发生,从而使测试卫星能够可靠地应对各种灾难性后果,大幅提高“嫦娥一号”探月的成功率。

3 服务器

服务器位于测试网和管理网的中间,是KT8000通用自动测试平台的核心,负责实时存储测试数据,并提供数据查询分析功能。每个试验详细的过程数据都存储在数据库里,可以在线或离线分析,是发现问题和改进方案的依据。为保证数据存储的实时、可靠,采用了小型商用服务器,既满足了需要,也使测试平台的成本控制在一个合理的水平上。

KT8000通用自动测试平台前端测试机有大于1500个测控信号,每个信号都具有ms级的刷新周期。服务器需要存储每个信号、每个刷新周期的数值,同时,还要响应客户端的查询和数据分析请求,对服务器数据吞吐量和响应实时性的要求达到了很高的水平。

为了满足测试需要,同时达到通用性目的,KT8000通用自动测试平台服务器安装了大型商用数据库软件,作为历史数据库,用来存储测试平台的海量历史数据。同时,还安装了自主开发的小型实时数据库,用来存储测试平台的实时数据。2个数据库安装在一台服务器内,有效地降低了硬件成本。同时,2个软件大小匹配、快慢结合、互相协作、取长补短,实现了海量实时数据的高速存储、高速查询分析的功能。

在“嫦娥一号”研制过程中,所有的试验、每个信号的数据都

被准确、详实地记录下来。这个庞大的数据资料现在已成为宝贵的档案,充分证明了我国科学家在研制“嫦娥一号”过程中严谨、踏实、求实、进取的作风,也为“嫦娥一号”的可靠性提供了真实的证据,同时为我国以后深空探测器的研制积累了宝贵的技术资料。

4 客户端

KT8000 通用自动测试平台的客户端,采用的是 X86 架构的通用 PC 机。通过客户端,可以实现在线



KT8000 系列测试系统

实时数据浏览、在线或离线历史数据浏览分析功能。

在客户端上,我们研发了通用的客户端数据分析软件。数据分析软件可以浏览、分析各种被测对象的实时、历史数据,数据以各种表格、曲线的形式显示。软件实现了曲线放大功能,使测试人员可以在发现曲线异常时局步放大曲线,在数亿个数据中最终定位一个或几个时刻的异常数值。软件还提供了多组曲线比对功能,实现了测试曲线与理论计算曲线

的拟合比对。使测试人员在测试过程中可以不断调整控制算法和参数,使“嫦娥一号”运行的真实数据与理想理论计算数据完美一致,为“嫦娥一号”卫星后来的飞行达到国际罕见的精准性提供了条件。

5 OBDH 站

OBDH 站是遥测遥控站,可以通过它模拟地面指挥,向“嫦娥一号”发送遥测遥控指令,并可以观察到卫星向地面模拟发送的信息。

OBDH 站采用了通用 PC 机,内部安装了自主研发的遥测遥控软件,可以收发控制指令和数据,并可以解析、分析卫星模拟发送的压缩数据。在后期整星仿真测试过程中,利用 OBDH 站一次又一次真实地模拟控制了“嫦娥一号”漫长的探月之旅。

OBDH 站还具有总控网接口,不但可以自身收发遥测遥控指令,还可以为远程总控网提供网络接口,可以使上级指挥机构通过远程总控网向正在测试仿真的“嫦娥一号”收发遥测遥控指令,使得 KT8000 通用自动测试平台具有开放特性,可以与上级远程网络融为一体,实现各大系统综合联试。

6 网络

KT8000 通用自动测试平台采用了三级网络架构,即测试网、管理网、总控网。三级网络全为高速以太网,通信速率 100Mbps。

测试网连接了所有测试机、调度机和服务器,主要传送实时测控数据,具有很强的实时性,负载大且稳定。由于采用的是通用的标准以太网,所以可以随时根据需要连接 1 台或多台测试机。这使得 KT8000 通用自动测试平台前端测试规模具有高度的可扩展性,满足了“嫦娥一号”不同时期、不同试验和不同被测对象的需要。

管理网联接服务器和客户端站,主要传送客户端站需要浏览的实时数据和历史数据的分析结果,数据传

输量有时非常巨大,且具有随机性。而采用通用的标准网络后,可以根据测试人员的需要扩充客户端站的数量,同时为更多的测试人员提供数据浏览分析平台。“嫦娥一号”研制周期紧,各部件研制人员利用 8 台客户端站同时并行工作,提高了研制效率,减少了试验次数,有效地缩短了“嫦娥一号”GNC 系统的研制周期。

总控网是为上级机构提供的控制网络,使用标准的以太网,使上级机构可以方便地通过 OBDH 站接入 KT8000 测试平台,收发遥测遥控指令,实现大系统综合联试。

KT8000 通用自动测试平台的推广

KT8000 通用自动测试平台是我国自主研发的具有国际先进、国内领先水平的、实用的测试平台。平台大量采用技术成熟的、通用的软件和硬件,具有实时性、通用性、模块化、低成本的特点,支持长时间、高速度、高精度的连续试验。事实证明,KT8000 通用自动测试平台充分满足了“嫦娥一号”卫星研制的需要,同时也能满足多领域、多种类测试对象的需要。

KT8000 通用自动测试平台作为“嫦娥一号”卫星 GNC 测试系统,首次实现了奔月轨道及其控制的高精度仿真,“嫦娥一号”探月的成功,标志着我国自主研发的通用自动测试平台达到了一个新的高度。

KT8000 通用自动测试平台研制成功已有 4 年的时间。4 年间,康拓工控又在 KT8000 通用测试平台基础上推出了多种不同配置的、针对不同型号、不同部件的测试系统,为多个型号的卫星及部件提供测试,充分体现了测试平台的通用性。从通用测试平台研制成功到现在,已有 100 多套不同配置的测试系统相继投入使用。

(责编 魏凉)