

液氧/煤油发动机摇摆测控系统 技术要求及实现

张 辉, 郭 立

(西安航天动力试验技术研究所, 陕西 西安 710100)

摘 要: 分析了伺服机构对发动机摇摆系统的技术要求, 在总结以往摇摆系统研制经验的基础上, 提出了一套可行的系统实现方法。对部分关键技术和子系统进行了较深入论述, 给出了系统构成方案技术实现方法。

关键词: 发动机试验; 伺服机构; 发动机摇摆

中图分类号: V434

文献标识码: A

文章编号: (2007) 01-0049-06

Development of the swinging measurement system for LOX/kerosene rocket engine

Zhang hui, Guo Li

(Xi'an Aerospace Propulsion Test Technique Institute, Xi'an 710100, China)

Abstract: The gimballed rocket specifications from the servo system were presented. A rational method was proposed on the basis of the experiences on the previous rocket engine. A thorough discussion was made on part of the key technologies and the subsystems. The system composition and the realization methods were also given.

Key words: engine experiment; servo mechanism; gimballed rocket engine

1 引言

伺服机构分别由两个设计部门进行设计, 故在伺服机构结构形式、接口参数和测试要求上都

存在差异。两型号伺服机构均采用发动机一级煤油泵出口的高压煤油作为动力, 在结构上都采用了余度技术来提高可靠性, 在结构组成上, 都保留了油箱、蓄压器、大小油泵、作动器及反馈电位计、采用余度技术的伺服阀等。伺服机构工作

收稿日期: 2006-08-14; 修回日期: 2006-08-30。

作者简介: 张辉 (1967—), 男, 研究员, 研究领域为液体火箭发动机试验技术。

方式有两种,第一种方式由伺服机构小电机带动小油泵为作动器提供动能,试验系统为其小电机提供满足要求的中频电源;第二种方式由试验系统或发动机提供满足要求的高压煤油驱动其大油泵驱动作动器动作,其内部建压工作介质仍为高压红油。在控制测量方式上两伺服机构存有很大不同,一个为伺服机构配套有伺服控制器,测控系统必须通过 1553B 数字总线给伺服控制器发送控制信号,在从伺服控制器通过数字总线回读测量数据,同时,在伺服机构遥测接口为测控系统提供模拟参数采集给出了电气连接定义;另一型号则采用由试验测控系统直接进行模拟量控制和参数采集方式,没有设置伺服控制器和数字通讯接口。故研制的发动机摇摆测控系统需要很好地兼容两伺服机构的不同接口和测试要求,既可以通过 1553B 数字总线进行控制,也满足模拟控制的试验要求。同时对两型号伺服机构诸多不同的其它要求,在保证系统良好的性能价格比的前提下均有良好的兼顾。

2 系统的功能要求及其技术指标

2.1 系统的功能要求

由于两型号伺服机构采用的控制方式差异,摇摆测控系统要兼容两不同型号伺服机构的接口参数和测试要求,则该系统包含以下主要功能:

- (1) 系统应具备 1553B 数字总线通讯及监视能力;
- (2) 摇摆控制系统应具备 32 通道无相位差采集功能,并有扩展成 64 通道的能力;
- (3) 系统应具有 32 通道(有扩展成 64 通道的能力)模拟信号三方隔离,并有扩展成 64 通道的能力;
- (4) 系统具有 32 通道对关键参数的参数复记能力;
- (5) 系统具有为伺服机构控制器和角位移等传感器供电的能力;
- (6) 系统可为伺服机构提供测试用地面能源及其配套设施;

(7) 系统应具备方便的自检联试、系统测试及故障设备离线检测维护能力;

(8) 系统应具备相应的紧急处理能力,包括对 1553B 信号控制方式的伺服机构,实现相应的紧急归零等功能。

2.2 系统主要技术指标

(1) 数字总线 STUB 直线长度小于 6 米,数据发送频率满足 64kB/S;

(2) 模拟参数采集通道垂直分辨率不低于 16bit,单通道最大采样能力 20kps,输入电压范围为 $\pm 10V$;

(3) 三方隔离放大器增益为 1~10 倍,幅值变换精度优于 5‰,相位误差小于 2° ($\pm 10V$ 、100Hz 正弦波);

(4) 伺服放大器控制精度优于 5‰,线性度优于 2‰;

(5) 伺服机构控制器直流供电:

$+28V \pm 3V$, $\geq 6A$;

(6) 角位移传感器激励:

$\pm 10V \pm 0.1V$, $\geq 120mA$;

(7) 线位移传感器激励:

$\pm 15V \pm 0.05V$, $\leq 300mA$;

(8) 压差传感器激励:

$\pm 15V \pm 0.05V$, $\leq 300mA$;

(9) 蓄压器压力传感器激励:

$6V \pm 0.03V$, $\leq 100mA$;

(10) 油面电位计电源:

$\pm 15V \pm 0.05V$, $\leq 300mA$ 。

3 系统总体设计重点考虑以下几方面问题

(1) 两型号伺服机构对摇摆系统的不同要求

由图 1 可见,考虑到伺服机构模拟控制的需求,系统设计有 HP E1434A 信号发生器、控制器、伺服放大器等板卡。对数字总线控制的伺服机构,该部分设备不起作用,伺服机构的控制是通过插在计算机中的 1553B 数字通讯板向伺服机构控制器发出控制命令。

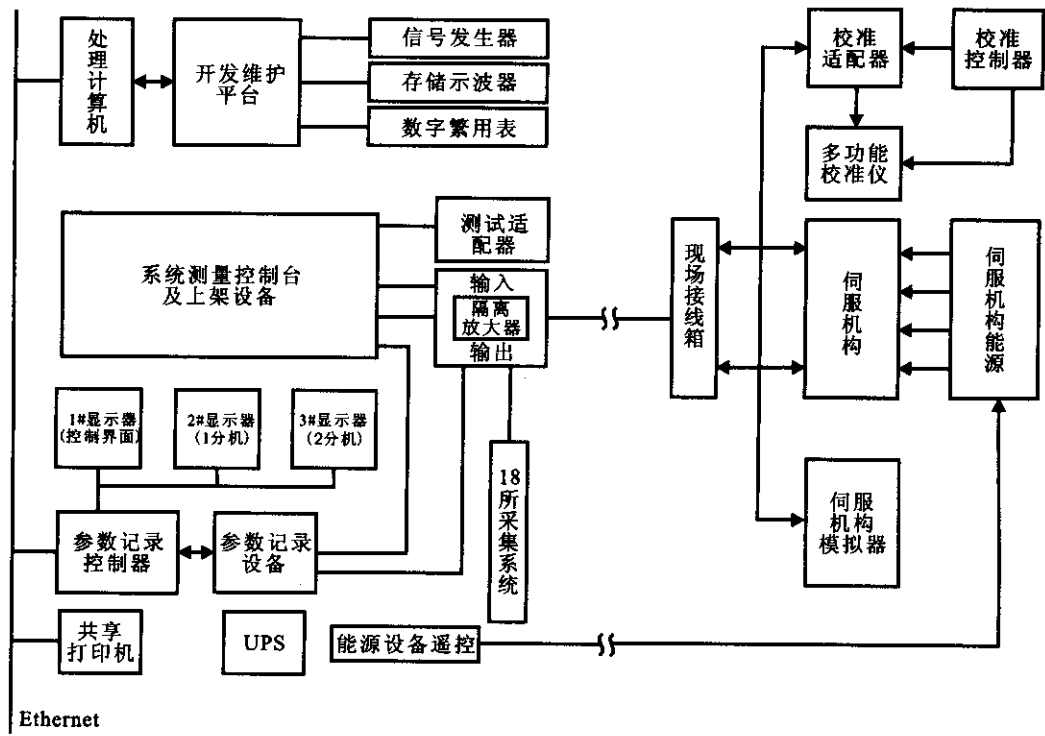


图 1 摇摆测控系统组成框图

Fig.1 Block diagram of the swinging measurement system

(2) 1553B 数字总线通讯线路布局

1553B 数字总线通讯线路布局见图 2，1553B 数字总线通讯协议规定其通讯带宽为 1MB/S，为

保证通讯可靠性其 STUB 支线长度限制为 6 米，主总线长度在超过 100 米时可以视现场情况在线路中安装中继器。

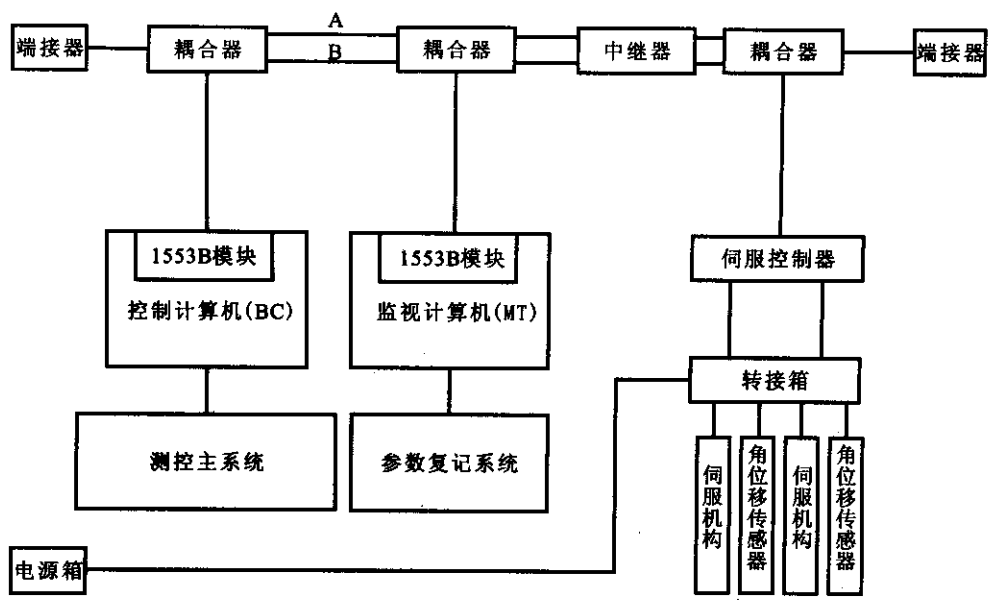


图 2 1553 数字总线通讯部分结构图

Fig.2 Structural diagram of the 1553 digital bus communication system

(3) 参数的适配及三方隔离

模拟参数的三方隔离要求在信号输入输出有良好的电气隔离并设置局部参照地, 考虑到摇摆测控系统的技术要求, 该隔离电路还应具有良好的精度和线性度、低的漂移和波形失真、快的摆速和良好的相位特性等。隔离电路输入为伺服机构待测参数及系统的关键控制参数, 参数隔离后输出分别连接摇摆测控系统、参数复记及显示系统和 18 所测控设备。

(4) 频率特性测试结果的比对分析

以前伺服机构频率特性测试均采用专用台式仪器直接测量, 再通过其配置的数字通讯接口回读测试结果, 其缺点是系统造价高, 灵活性差, 仪器间的同步性不好解决。因此, 在该系统设计中采用高速同步采集留盘, 试后软件进行相关性数据处理的方式, 这也与现伺服机构设计部门的测试方法基本相同, 使得热试车数据与实验室测试数据具有良好的可比性。

4 系统组成及工作原理

系统组成框图参见图 1。系统由摇摆控制及特性参数测量系统、1553B 数字总线系统、关键参数记录系统、校准维护系统、地面能源设备、伺服机构模拟装置、外线系统等组成。对于采用 1553B 数字总线控制的伺服机构, 首先由控制计算机根据摇摆程序要求进行代码转换, 然后通过 1553B 将控制指令发送至伺服机构控制器, 伺服机构控制器依据该指令控制伺服机构执行相应动作, 并完成特性参数的采集, 最后将采集数据再通过 1553B 上传至控制计算机。同时伺服机构模拟参数通过三方隔离电路分别送入 VXI 参数采集设备和 PXI 关键参数复记系统进行无相位差的高速同步采集。对于采用模拟余度控制的伺服机构, 姿态控制和伺服放大等功能均由摇摆测控系统完成, 测控系统向伺服机构传送相应的电流控制信号, 并将其反馈电位器作为反馈电压回送至伺服放大器, 与标准输入信号进行差值运算作为新的放大器输入, 由此构成电压反馈控制。伺服机构各传感器输出信号通过三方隔离电路后, 分

别由 VXI 参数采集设备和 PXI 关键参数复记系统进行无相位差的高速同步采集。

4.1 摇摆控制及特性参数测量系统

根据伺服机构测试要求, 试车台摇摆系统应具备发动机姿态控制、1553B 数字总线通讯、监视能力以及 32 通道无相位差采集功能。系统设计拟采用 1 套 Agilent 公司的模拟采集设备配以 1553B 数字通信设备和自行研制开发的功能电路构成发动机姿态控制测量系统。可实现 1553B 数字总线的远距离控制和数据通讯, 同时具备 32 通道 16bit 参数同步采集能力, 最大采集速率为 52KS/S。

(1) 设备模拟参数的无相位差采集留盘

由于伺服机构测试目标包含有对其相位特性的测试, 因此测控系统自身的相位特性在设计阶段也必须作为一个重要技术指标来考虑。该系统的模拟参数的多通道同步采集, 也就是无相位差采集留盘是在数字总线控制方式下通过一块 HP E1432A 发出同步信号, 由另一块 HP E1432A 接收该同步信号, 并进行相应参数的高速同步采集和留盘。由于采集留盘均在 VXI 机箱内完成, 并不占用计算机资源, 也保证了计算机通过 1553B 数字总线通讯时的可靠性和实时性。而在模拟控制方式下是通过 HP E1434A 发出同步信号, 由另两块 HP E1432A 接收该同步信号, 并进行响应参数的高速同步采集和留盘。

(2) 控制器

控制器通过控制字综合姿态控制状态, 并将综合结果信号分配至不同分机的伺服放大板, 同时可根据其它控制字完成设定故障状态模拟。另外, 在采用模拟控制方式时, 伺服机构归零电路也包含在该板卡上。

(3) 伺服放大器

伺服放大器把来自控制器的电压信号转换成与使用伺服机构型号相匹配的电流控制信号。同时该放大器还可根据相应控制字自动在程序模拟器和伺服机构间进行切换。在该摇摆测控系统设计时, 由于考虑到控制间和试验现场距离较远, 线路压降可能对控制精度产生影响, 因此伺服放大器的位置需进行了现场电校后确定, 该方案暂

时将其设置在后端。

(4) 程序模拟器

程序模拟器用于内线程序自检时模拟伺服机构线位移传感器回送反馈信号，与伺服放大器一同构成闭环控制电路。

(5) 测量适配器

测量适配器将各分机控制电压信号、控制电流信号、线位移反馈信号和角位移反馈信号等根据不同测试要求通过控制字综合将不同被测信号切换至适配器输出，供终端设备进行数字量变换和处理。

(6) 系统测试器

系统测试器用于对摇摆外线部分电缆、接插件的导通绝缘测试，在系统与伺服机构对接后，完成伺服机构力矩线圈、线位移反馈电阻等表征伺服机构及与控制系统连接状态检测。

4.2 1553B 数字总线部分

1553B 数字通讯总线是一个冗余的串型通讯总线，在航空领域应用较广泛。目前国内 1553B 数字总线产品有 Excalib、Condor 和 DDC 等公司的产品，技术成熟性差异不大，只是在产品设计上各有所侧重，Excalib 公司的产品特点设计简洁、上手快，DDC 公司产品特点是功能多、使用复杂，而 Condor 公司的产品硬件配置较高，更适用于较复杂通讯拓扑结构和通讯负载较重的场合。在该摇摆测控系统的设计中，参照伺服机构测试通讯带宽的要求和伺服控制器设计采用芯片情况，1553B 数字总线部分采用 Excalib 和 DDC 公司相关产品。

4.3 关键参数复记及状态参数记录系统

根据伺服机构测试要求，系统应设置关键参数复记及状态参数记录系统。该部分设备可选用 NI 公司的 PXI-1008 机箱和 PXI-4472 八路同步采集卡（16 位 A/D、100KS/S），传感器激励选用 Angilent 公司的 HP 6629 程控电源。

4.4 系统应用软件

软件操作系统为 Win2000 Profesional，开发平台为 NI 的 Labview 和 Angilent 的 VEE，系统应用软件兼容两伺服机构的测试要求，包含设计文件、测试程序、数据处理程序及系统校准程序

等，伺服机构的特性测试类型和发动机摇摆参数参见下表。设计文件根据试验任务书提供的摇摆程序和伺服机构的测试要求，结合系统软硬件接口定义形成供试车测试程序 and 数据处理程序调用的数据文件；而测试程序必须同时满足 1553B 数字总线控制测量、多通道模拟参数同步采集和相关参数数据和曲线的实时显示等要求；数据处理程序参照设计数据文件按任务书要求对采集数据进行相应运算处理，形成最终的发动机摇摆热试车伺服机构测试报告。

表 1 伺服机构的特性测试类型表

Tab.1 Measurement table of the servo machanism

序号	特性	指令波形	幅值	频率/Hz
1	位置特性	正弦	±8°	0.05
2	暂态特性	方波	±2° ±4°	0.5
3	速度特性	三角波	±5°	0.25、0.5
4	频率特性	正弦	0.4° 0.8°	见附注

附注：0.318、1、2.38、3.18、4.78、6.36、7.95、9.55、11.15、12.73、14.32、15.92、17.5、19.1、20.96、22.28、23.87、25.46、27.05、28.65 Hz。

4.5 系统外线及伺服机构能源

地面能源设备包括高压煤油能源装置、变频器及遥控装置等。伺服机构对摇摆测控系统供电系统要求按照其地面能源设备的功率进行设计，地面能源供电为交流 380V 动力电，功率为单机 100kVA，双机 200kVA。901 试车台可在摇摆能源间设置控制配电柜，动力线入线通过试车台电源间入线跨接，再从摇摆能源间通过配电柜送至试车台 4 米平台，这样在试车前试车台断电的情况下不会影响到摇摆伺服机构的供电要求。

地面能源设备冷却水采用试车台消防用水，由消防阀门前引出，管路在靠近引出点和地面能源处分别设置手开关，冷却水流量应满足 100 升/分钟，排出的冷却水经管路引至指定处通空。

4.6 校准维护系统

为了满足摇摆系统开发、校准、维护维修的要求，系统需设置原位电校准、故障板件离线诊断测试和电路板快速修复等装置。系统校准采用

便携校准源和高精度源表在前后端分别加电标准信号,同时进行测量的方式。系统开发维护装置应能满足 VXI 板卡的开发及离线测试要求:有符合要求的电源及信号源、总线平台、必要的测试设备及工具、配套的负载调试模板。

其中 VXI 机箱及调试模板用于系统故障板件的离线测试维修和系统的原位电校准;考虑到设备性能指标的兼容性,该部分设备采用与摇摆测控系统同一厂家的产品。示波器和逻辑分析仪用于电路数字及模拟信号的分析;任意波形发生器用于为被测板件提供满足要求的波形输入;多功能校准源配合便携式 VXI 设备完成系统电校准;电路板维护装置用于损坏电路的维护制作及元器件的测试,在系统开发阶段提供样板电路的快速开发测试。

5 结束语

该系统建成后,能够兼容两种不同型号不同控制模式伺服机构,实现发动机摇摆的冗余数字通讯控制和模拟余度控制,具备在线故障模拟和多通道特性参数同步采集能力。为液氧/煤油发动机及伺服机构的联合试验提供保障条件,保证某型号运载火箭关键组件的研制进度和质量。

参考文献:

- [1] 陈光禹. VXI 总线测试平台技术[M]. 西安:西安电子科技大学出版社, 1996 年第一版.
- [2] 赵万明. 液氧/煤油发动机试车主要参数测量方法研究[J]. 火箭推进, 2006, (5).

(编辑:王建喜)

(上接第 58 页)

5 结束语

自应用以来,绘制了各次液氧煤油发动机试验数据曲线图,大大缩短了绘制数据曲线的时间。所绘制的数据曲线报告作为正式试验数据报告的补充,可供试验数据分析人员、发动机设计单位及有关领导参考,在试验数据分析工作中起到了很大作用。与同类单位使用的发动机数据曲线绘制软件如 Orion、Matlab 等相比针对性较强、实用性高、操作易上手、工作效率高、更符合数

据分析人员使用习惯。

本项目所采用的 ActiveX 和 OLE Automation 混合使用技术可广泛应用于工程测量等各种工业测量数据处理分析和办公自动化领域,进行应用程序快速开发。

参考文献:

- [1] 蒋瑜. 姿控发动机试验电流信号采集系统设计[J]. 火箭推进, 2006, (6).

(编辑:王建喜)