

液氧/煤油发动机 试车测量系统的抗干扰技术

¹ 蒋兴加, ² 李正兵, ² 陈 刚

(¹ 兰州师范高等专科学校, 甘肃 兰州 730070;

² 西安动力试验技术研究所, 陕西 西安 710100)

摘 要: 结合液氧/煤油发动机试车台测量系统设计、安装实际情况, 全面系统地阐述了测量系统中的抗干扰技术及其在液氧/煤油发动机试车中的具体应用。主要包括: 隔离技术、滤波技术、长线传输技术、接地技术、供电系统抗干扰技术。试车证明测量系统的信噪比优于 50dB, 且性能稳定、工作可靠、测量数据准确有效。

关键词: 干扰; 抗干扰技术; 测量系统

中图分类号: V434

文献标识码: A

文章编号: (2005)03-0054-05

Anti-interference technique of measuring system in the LOX/kerosene engine test

¹Jiang Xingjia, ²Li Zhengbing, ²Chen Gang

(¹Lanzhou Normal College, Lanzhou 730070, China; ²Xi'an Aerospace Propulsion Test
Technique Institute, Xi'an 710100, China)

Abstract: The anti-interference technique of measuring system and its usage in the LOX/kerosene engine test is studied. They are insulation technique, filter technique, long wire transmission technique, grounding technique and anti-interference technique of power supply system. The obtained basic knowledge of interference has been combined with the design and installation of measuring system of LOX/kerosene rocket engine test bed. The hot run tests indicate that the measuring system operation is stable and credible, the measured data are valid and accurate, and the SNR(Signal Noise Ratio) of the measuring system is better than 50dB.

Key words: interference ; anti- interference technique ; measuring system

收稿日期: 2005-03-07; 修回日期: 2005-05-18

作者简介: 蒋兴加(1969—), 男, 讲师, 研究领域为计算机测控系统应用开发。

1 引言

液氧/煤油液体火箭发动机试车，测量参数有压力、推力、温度、流量、转速、振动、位移及应变等多种类型，被测参数数量多，用于测量的采集系统多。在试车过程中，传感器输出通常为毫伏级小信号，传输过程中易受到各种干扰，如何消除外部干扰，抑制系统内部噪声，防止采集系统之间干扰相互耦合，提高测量系统的稳定性与可靠性，提高采集数据的准确度，非常重要。

2 干扰的定义与分类

2.1 干扰的定义

叠加在有用信号上，使原来信号发生畸变的变化电量称为噪声。噪声在一定条件下，影响或破坏设备或系统的正常工作，通常把具有危害性的噪声叫干扰。

2.2 干扰的分类

按照干扰的传导模式，干扰噪声可分为串模噪声与共模噪声。串模噪声是指干扰信号 U_N 与被测信号 U_S 串联在一起，如图 1 所示，产生的原因为：外部高压供电线交变电磁场通过寄生电容耦合进传感器输入一端；电源交变电磁场对传感器一端的漏电流耦合。共模干扰是指在信号地和仪器地之间产生的干扰，如图 2 所示，产生的原因为：测量系统附近存在大功率的电气设备，电磁场以电感或电容形式耦合到传感器和传输导线中；测量系统有不少于两个的接地点，接地点之间存在地电位差；电气设备的绝缘性能不良时，动力电源通过漏电阻耦合到测量系统的信号回路。

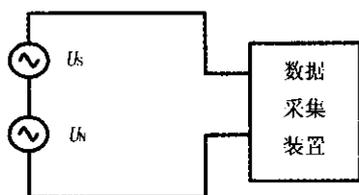


图 1 串模干扰

Fig.1 Series-mode interference

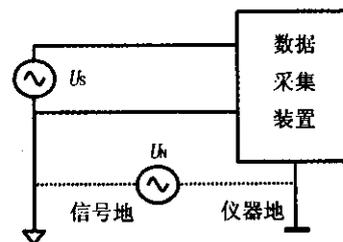


图 2 共模干扰

Fig.2 Common-mode interference

按照干扰产生的方式，干扰可分为静电干扰、磁场耦合干扰、电磁辐射干扰、公共阻抗耦合干扰。静电干扰是指干扰源与干扰对象之间存在分布电容，当电位不同时，干扰源通过电场在测试线路上产生干扰电压，故静电干扰又称电容耦合干扰；磁场耦合干扰是指在连接信号源的传输线路中，由于经过的空间存在交变的磁场，测试线路感应出交流干扰电压；电磁辐射干扰主要指中、高频电磁波在空间辐射的同时，其一部分能量耦合到测试线路而产生的干扰；公共阻抗耦合干扰是指测试电路与干扰源流经一个公共阻抗，引起测试信号发生改变形成干扰。

3 抗干扰技术在测量系统中的应用

3.1 隔离技术

干扰隔离技术就是从电路上把干扰源与测试电路部分隔离开来，使他们之间不存在电的联系，或者削弱它们之间的联系。试车台测量系统使用的隔离技术主要为光电耦合器和隔离放大器。由于光电耦合器的输入阻抗很低，干扰源的内阻一般很大，根据分压原理可知，馈送到光电耦合器输入端的干扰电压很小；干扰提供的能量一般很小，只能形成微弱的电流，不能使光电耦合器中的发光二极管发光，干扰不能传输到后面电路；光电耦合器输入端与输出端之间寄生电容极小，绝缘电阻非常大，输出端的干扰很难反馈到输入端。在试车过程中，为了防止控制系统对测量系统的影响，开关车等同步信号在进入测量系统前，通过光电耦合器进行隔离；流量、转速等信号放大后进入采集装置计数器板前需通过光电耦合器进行隔离。测量水击压力信号的尼高力采集系统，

前端采用隔离放大器，做到输入、输出和电源电路之间没有直接的电路耦合。

3.2 滤波技术

在发动机试车过程中，传感器输出的信号经过电缆廊传输到测量间，缓变信号易受到工频干扰，由于被测信号频率较低，幅值较小，压力、推力及温度在信号前置放大后采用四阶巴特沃斯有源滤波器进行低通滤波，截止频率可选 10、50、100Hz，倍频程为-24dB/oct，振动、脉动压力滤波器截止频率为采样速率的 2.56 倍，倍频程低于 -100dB/oct，应变与位移信号采用 RC 低通滤波器，大大消除了经导线传输，耦合到模数转换电路的噪声干扰。

3.3 长线传输技术

记录传感器输出的信号，最简单的办法是采用塑料绝缘的平行软线，但由于发动机试车过程中，信号微弱且传输距离长，平行线间分布电容较大，抗干扰能力差，不仅静电感应容易通过分布电容耦合，而且电磁场干扰也会在信号线上感应出干扰电流。屏蔽信号线的办法，一种是采用双绞线，另一种为采用金属网状编织的屏蔽线，金属编织网做屏蔽外层，芯线用来传输信号。抑制静电感应干扰采用采用金属网的屏蔽线，抑制电磁感应干扰使用双绞线。

3.3.1 双绞线抗干扰的原理及使用

双绞线对外来磁场干扰引起的感应电流如图 3 所示，双绞线回路空间中的箭头表示感应磁场的方向，若干扰信号线 I 的电流 i_c 为 ω 频率的正弦信号，双绞线中导线 II 的电阻为 R_{S1} ，电感为 L_{S1} ，干扰线 I 与双绞线的互感为 M ，则导线 II 的干扰电压 V_{S1} 为：

$$V_{S1} = \frac{d}{dt}(Mi_c) = M \frac{di_c}{dt} = j\omega Mi_c$$

V_{S1} 在导线 II 上产生的电流 i_{S1} 为：

$$i_{S1} = \frac{V_{S1}}{R_{S1} + j\omega L_{S1}} = \frac{j\omega M i_c}{r_{S1} + j\omega L_{S1}}$$

由于双绞线中导线 II、III 的电阻、电感均相同，导线 III 的感应电流 i_{S2} 与 i_{S1} 相同，感应电势的极性取决于磁场与线环的关系，由图 3 可以看出，干扰引起的感应电流在相邻绞线回路的同一根导线

上方向相反，从而相互抵消，使干扰得到抑制。在流量、转速等参数的测量中，均采用双绞线传输信号。

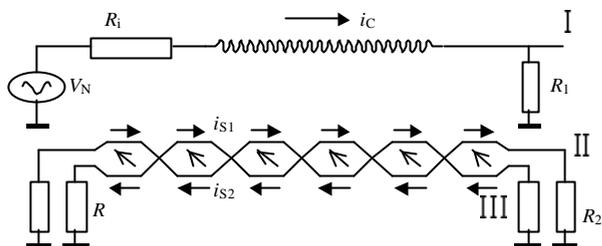


图 3 双绞线中的电磁感应

Fig.3 Electromagnetic induction of twisted wire pair

3.3.2 屏蔽线抗干扰的原理及使用

屏蔽线是在信号线的外面包裹一层铜或锌质金属网构成。屏蔽层若起静电屏蔽作用，其必须正确接地。若屏蔽层不接地，如图 4 所示，于是屏蔽体上的干扰电压 V_{PN} 为：

$$V_{PN} = \frac{C_{1S}}{C_{1S} + C_{2g}} \times V_N$$

因为 C_{2S} 无电流流过，芯线感应的干扰电压 V_{SN}

$$V_{SN} = V_{PN}$$

可见，屏蔽不接地，对电容耦合的静电干扰没有屏蔽作用。如果屏蔽层接地，则干扰电压 V_{PN} 通过接地线流入大地，即 $V_{PN} = 0$ ，芯线上的干扰电压 V_{SN} 亦为零。在试车台测量系统设计时，传输参数的活动电缆、主电缆及采集柜转接电缆均采用屏蔽线传输，根据参数类型不同，在不同的位置实施屏蔽线接地。

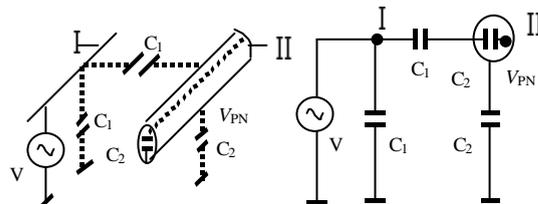


图 4 屏蔽不接地分析

Fig.4 Analysis of shield-wire ungrounding

3.4 接地技术

在液氧/煤油发动机试车过程中，传感器输出的信号一般在毫伏级，信号在传输过程中极易受到干扰影响。合理使用接地和屏蔽技术可以在很大程度上防止内部噪声耦合，屏蔽外部干扰。根据电气设备中回路性质和接地目的，可将接地方式分为三类：安全接地、工作接地、屏蔽接地。

3.4.1 安全接地

用电设备的金属外壳通常要进行安全接地，设备的外壳又称零电位点，当测试设备绝缘层受到机械损伤、系统过电压、导电杂质浸入或本身老化等原因，导致机壳出现较高对地电压，易引起人身或设备损坏，测试设备外壳均接电源零线，通过试验测量间安全接地端子接大地，安全地接地电阻小于 4Ω 。

3.4.2 工作接地

工作接地是指系统中信号回路基准电位点，通常又分为模拟地和数字地。模拟地指放大器、采样保持器和 A/D 转换器等模拟电路的零电位基准。数字地为数字电路的零电位基准，又称逻辑地。安装测量系统时需将数据采集装置模拟地和

数字地短接后连接到测量地。

3.4.3 屏蔽接地

测量设备为防止静电感应和电磁感应而设计的接地端子。电缆、变压器等屏蔽层通过该端子接测量地，测控接测量地接地电阻小于 0.4Ω 。

3.4.4 试车台接地技术

液氧/煤油发动机试车，被测参数的信号频率都小于 10MHz ，属于低频信号，遵循一点接地的原则。压力、温度参数采用 RVVP 多芯屏蔽电缆传输，其测量分别由两套太平洋采集系统完成，电缆屏蔽与传感器激励电源负短接连接到测量地，系统接地方法如图 5 所示。VXI 采集系统主要记录推力、真空压力和流量及转速信号，其接地方法如图 6 所示。振动和脉动压力等速变参数，其信号负与传感器外壳相通，并在传感器插头处与屏蔽相连，通过发动机和试车架单端接试车台测量地，接地电阻小于 1.2Ω ，信号采用低噪声同轴屏蔽线传输，由比利时 LMS 高速采集系统记录。应变与位移测量在后端测量间单端接测量地。液位平均流量测量系统在试车容器间单点接地，通过同轴电缆传输至测量间采集记录。

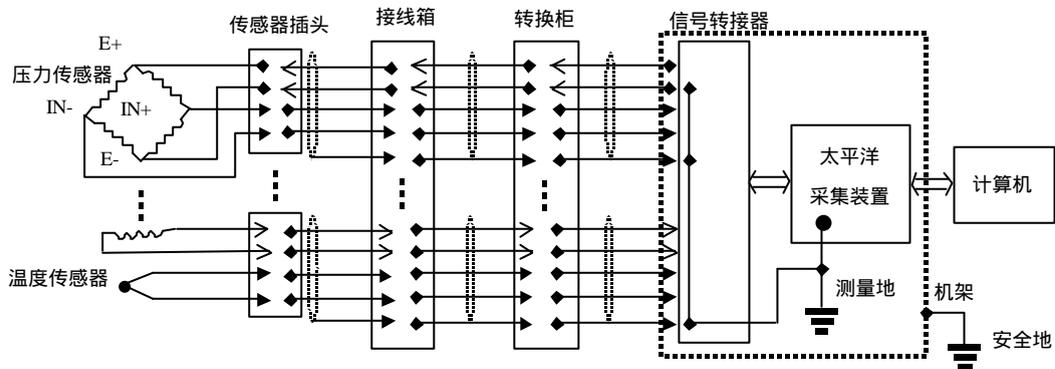


图 5 压力、温度测量系统接地框图

Fig.5 Grounding chart of measuring system of press and temperature

3.5 供电系统抗干扰技术

随着工业大电机的大规模使用，供电电路污染日趋严重。供电系统中的干扰主要有持续时间大于 1s 的过压与欠压，持续时间在几十到几百毫

秒的浪涌与下陷，持续时间在毫秒级的尖峰电压，防止电压波动影响采集系统正常工作，采集系统的供电电源均通过 UPS 滤波净化处理，输出供采集系统使用。

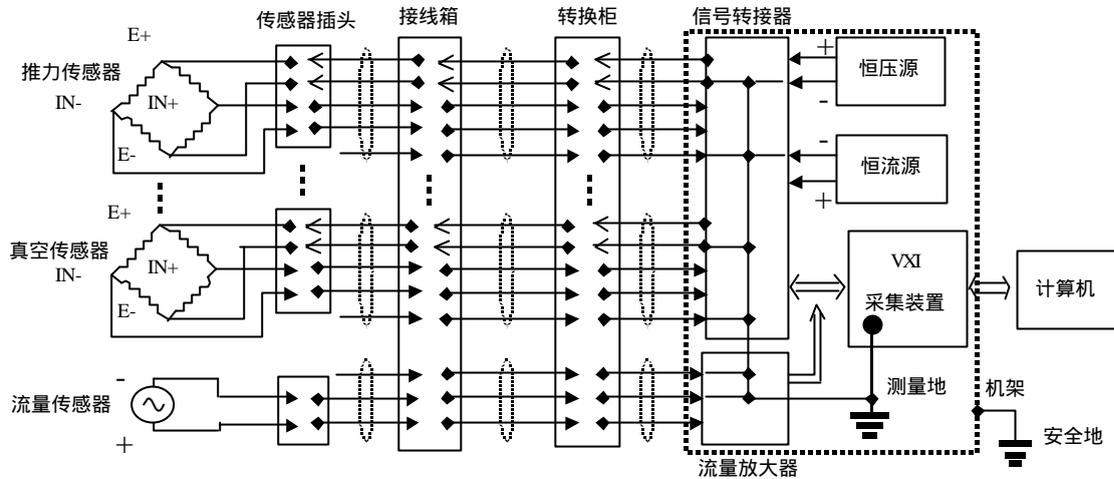


图6 推力、流量测量系统接地框图

Fig.6 Grounding chart of measuring system of thrust and flow rate

4 结论

通过对液氧/煤油火箭发动机试车台测量系统的抗干扰能力测试表明，测量系统的信噪比优于50dB。试车证明：测量系统性能稳定，工作可靠，测量数据准确有效，系统噪声电平满足设计要求。

参考文献：

- [1] 李世平. PC 计算机测控技术及应用[M]. 陕西：西安电子科技大学出版社，2003年。
- [2] 张基鑫，张鹤平. 液氧试验台系统设计与实现[J]. 火箭推进，2004，(4)。
- [3] 朱明策. 液体火箭发动机地面试验稳态参数测量技术综述[J]. 火箭推进，2003，(3)。
- [4] 王幸之. 单片机应用系统抗干扰技术[M]. 北京：北京航空航天大学出版社，2000年。
- [5] 雷震，代玉东. 液氧/煤油发动机热试车热敏电阻测温技术[J]. 火箭推进，2003，(4)。
- [6] 徐浩海，刘站国. 液氧/煤油补燃发动机系统稳定性分析[J]. 火箭推进，2005，(2)。
- [7] 燕永田. 工业控制计算机系统的设计与应用[M]. 北京：中国铁道出版社，1999年。

(编辑：侯 早)