

循环预冷试验中测量系统干扰问题分析与措施

李山峰, 汤 伟

(北京航天试验技术研究所, 北京 100074)

摘 要: 针对某型号发动机循环预冷试验中的电机干扰问题, 通过研究试验测量系统信号线连接模式, 测量系统及电机系统供电模式, 确定了相邻导线耦合/公共地线耦合及公用电源线耦合 3 种可能的耦合途径。结合对试验系统的分析, 逐一研究了 3 种干扰耦合途径的耦合原理, 并进行了实验验证, 确定了循环电机干扰的耦合机理; 通过研究干扰抑制方法, 结合本试验系统, 制定了适合本系统干扰模式的干扰抑制方法, 切断了干扰耦合途径, 彻底解决了干扰问题。

关键词: 测量系统; 电机; 干扰; 耦合途径

中图分类号: V434-34 **文献标识码:** A **文章编号:** 1672-9374 (2014) 04-0077-06

Analysis and solution for interference with measurement system in cycle precooling test

LI Shan-feng, TANG Wei

(Beijing Institute of Aerospace Testing Technology, Beijing 100074, China)

Abstract: For motor interference problems in cycle pre-cooling tests, the three possible coupling paths of coupling between adjacent wires, common earth wire coupling and public utility power line coupling were determined by studying the signal line connection mode, the measuring system and the motor system power mode of test measurement system. Combined with analysis of the testing system, the coupling principles of the three interference coupling paths were researched one by one, the experimental verification was conducted and the coupling mechanism of the loop motor interference was determined. With the research of interference suppression method, an interference suppression method suitable for the testing system interference pattern was determined by means of the testing system, the interference coupling ways were cut off, and the interference problem was solved completely, by which progress of engine cycle pre-cooling tests was ensured. The debugging method, verification means and the methods to suppress the interference have a certain reference value for solving the similar problems faced by other testing benches.

Keywords: measurement system; motor; interference; coupling path

收稿日期: 2014-02-13; 修回日期: 2014-06-29

作者简介: 李山峰 (1983—), 男, 硕士, 研究领域为测试计量技术及仪器

0 引言

随着火箭发动机研制进程的逐步深入,为更好地评价发动机性能,设计部门对发动机各项参数测量的准确性也提出了更高的要求,作为反映发动机性能的系统——测量系统的指标也变得更加重要。测量系统的主要功能是对火箭发动机工作时的温度、压力和流量等参数进行采集、存储,并通过对采集到的数据进行分析计算,得到对发动机性能的客观评价。然而,测量系统信号较弱,很容易受到其他强电系统的干扰,其中电机是普遍存在的干扰源,电机启动后会产生频率丰富的干扰信号,对测量系统的影响非常明显。

在某型号循环预冷试验中,循环电机启动后,对试验测量信号影响很大,严重时干扰信号已经淹没了正常信号,导致试验无法进行。针对此问题,通过对试验测量系统连接模式、测量及电机系统供电模式的研究和上百次的调试验证,最终使该问题得到彻底解决,确保了试验正常进行。

1 干扰现象描述

该循环预冷试验测量系统以 Pacific 6000 采集装置作为主采集设备。测量系统及循环电机系统结构如图 1 所示。

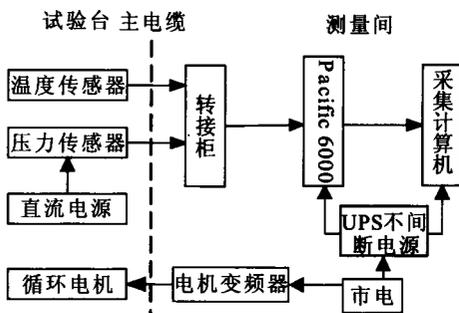


图 1 试验系统连接图

Fig. 1 Connection diagram of test system

测量系统主要由压力传感器(中航电测 YB-1 型压力传感器)、热电偶温度传感器(Au 型热电偶传感器)、Pacific 6000 采集装置和采集计算机等组成,传感器电压信号经过主电缆、转接柜传

至 Pacific 6000 采集装置进行采集,由采集计算机存储数据。循环电机系统由循环电机和电机变频器组成,市电通过电机变频器给循环电机供电,循环电机带动循环泵达到使试验介质循环流动的目的。

由试验现象得知,当循环电机启动时,测量系统测量信号会受到较大干扰,造成试验无法继续进行。经分析发现,温度、压力测量信号均受到不同程度的干扰,从量值上看,压力测量信号受到的干扰较小,温度测量信号受到的干扰较大,干扰形式均表现为台阶形式,测量信号干扰现象如图 2 所示,当电机停止工作后,测量信号即恢复正常。

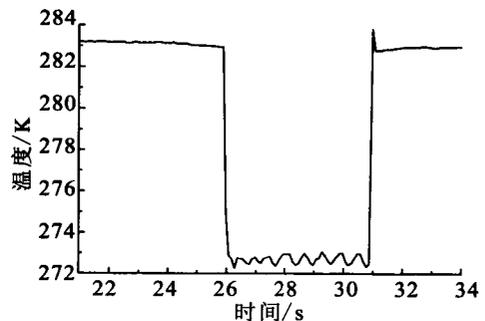


图 2 温度测量信号干扰现象图

Fig. 2 Interference phenomenon of temperature measuring signal

2 干扰原因分析

2.1 研究对象选取

由于在试验过程中,热电偶温度测量信号受到的影响最大,干扰现象最为明显,通过研究热电偶温度测量信号的干扰源及耦合途径解决其干扰问题,会使整个测量系统受到的干扰得到很好的抑制,因此选取热电偶温度信号通路作为研究对象,如图 3 所示,热电偶温度传感器信号传输电缆的屏蔽层一端直接接于试车台架,通过台架与大地电极分系统连接,另一端接到 Pacific 6000 系统接地端。

2.2 干扰耦合途径分析

2.2.1 干扰源分析

测量系统的干扰源可分为外部干扰源和内部

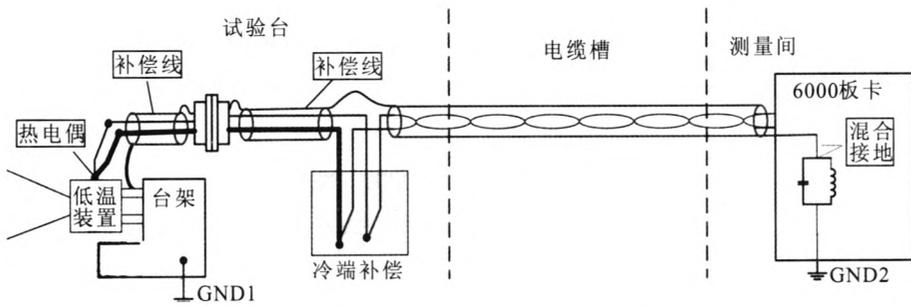


图 3 热电偶温度信号通路连接示意图

Fig. 3 Path connection diagram of thermocouple temperature signal

干扰源 2 种：外部干扰源是指测量系统外部的电气设备在接通与断开时产生的瞬变电火花或辐射电磁波；内部干扰是指系统内部固有的噪声，系统内信号间的串扰等。本试验测量系统在未启动电机前测量参数均正常，因此不可能为内部干扰源造成，主要考虑外部干扰源因素。

外部干扰源又可分为来自自然界的干扰和来自电气设备的干扰。因循环电机启动前，测量系统运行正常，因此来自自然界的干扰不予考虑；来自电器设备的干扰主要有大电流及电压变化率引起的噪声。当大型感性负载通断时，在开关接点处会产生电弧，还有高压输电线引起的电晕放

电，金属电焊引起的弧光放电等，这种瞬变过程形成的噪声可通过 3 种方式引入到信号电路中：①相邻导线耦合；②公共地线耦合；③公用电源线耦合。

试验系统接地连接方式如图 4 所示。由图可见，试验系统中有 2 处接地点，分别在试验台和测量间内，热电偶温度测量信号传输电缆屏蔽层一端接至试验台地网，另一端接至 Pacific 6000 采集装置接地端。在测量间内，Pacific 6000 采集装置通过计算机及其供电设备接入测量间地网。

试验系统配电连接方式如图 4 所示，由图可见，试验系统在测量间及试验台分别使用 1 台变

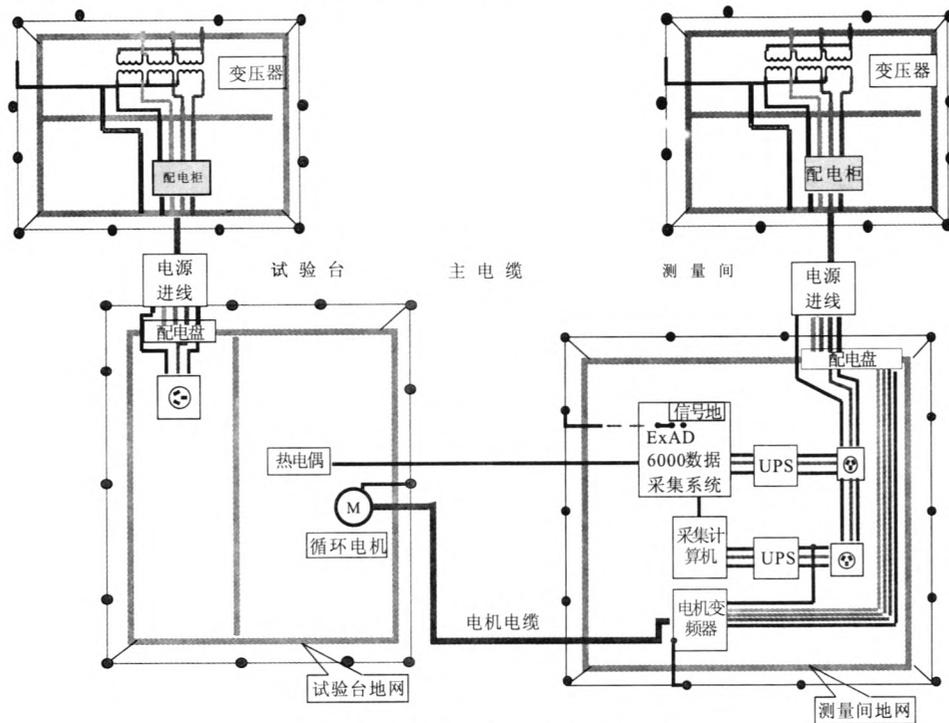


图 4 试验系统配电、接地连接图

Fig. 4 Diagram for power distribution and ground connection of test system

压器供电。在测量间内，变压器同时为测量系统（Pacific 6000 采集装置及采集计算机）和电机变频器供电，电机变频器再通过电机电缆给循环电机供电。其中，测量间采用三相五线制连接方式，测量系统由其中一相供电，电机变频器采用三相供电连接方式。

2.2.2 干扰耦合途径的可能性分析

2.2.2.1 相邻导线耦合

由于试验现场情况限制，从测量间到试验台只有一条电缆桥架，因此循环电机供电电缆无法与测量信号线保持安全距离。因此，相邻导线耦合途径不能排除。

2.2.2.2 公共地线耦合

循环电机正常工作时，电机机壳上会产生数值较高的感应电压，该感应电压无法通过其他途径释放，只能通过试验台架直接进入试验台地网。由图 3 可见，热电偶温度传感器直接与试验台架相连，这样就对传感器输出信号造成了影响，引入了干扰。因此，公共地线耦合途径不能排除。

2.2.2.3 公用电源线耦合

由电机工作原理可知，循环电机工作时，当电机三项供电平衡时，电机中线处于无电流状态，当电机三项供电不平衡时，中线上会出现较大电流，该电流会通过电机变频器接地端流入测量间地网。由图 4 可知，Pacific 6000 采集装置地线也同样接入了测量间地网，当有较大电流流入测量间地网时，测量间地电位会被抬高，从而干扰测量装置。

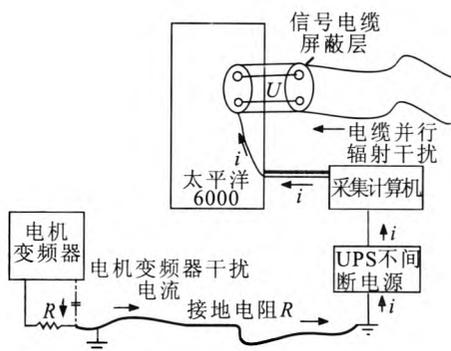


图 5 干扰电流耦合途径示意图

Fig. 5 Schematic diagram of interference current coupling pathway

如图 5 所示，干扰电流进入测量间地网后，通过 UPS 不间断电源、采集计算机影响 Pacific 6000 采集装置，同时，Pacific 6000 采集装置的接地段、信号传输电缆屏蔽层及供电电源线地线三者互联，最终使干扰电流耦合入信号电缆屏蔽层。因此，公共电源线耦合途径不能排除。

2.3 试验验证

经过上述分析，3 种耦合途径均有可能对测量信号产生干扰。下面通过试验验证的方式进一步确定干扰耦合途径及其严重程度。

2.3.1 相邻导线耦合试验

1) 验证手段

将原本在试验台上工作的循环电机移至测量间运行，同时更换电机供电电缆，不使用与测量电缆同桥架的原供电电缆，观察干扰信号变化情况，以评估相邻导线耦合的影响。

2) 试验结果

如图 6 所示，上方波形为循环电机在试验台上工作时热电偶温度测量信号波形，下方波形为循环电机在测量间内工作时热电偶温度测量信号波形，热电偶温度测量信号电压略有减小，同时干扰信号中高频成分消失，但还有频率较低的干扰信号存在。这说明循环电机供电电缆与测量系统信号电缆之间存在高频干扰。

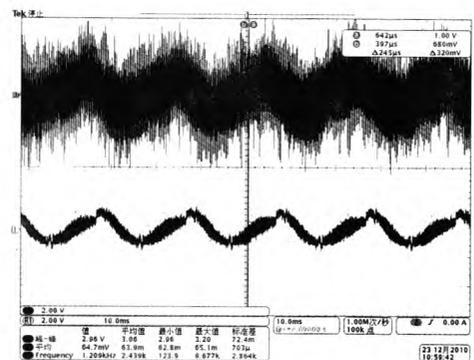


图 6 转移电机前后干扰现象对比波形

Fig. 6 Interference contrast waveforms of motor at different places

2.3.2 公共地线耦合试验

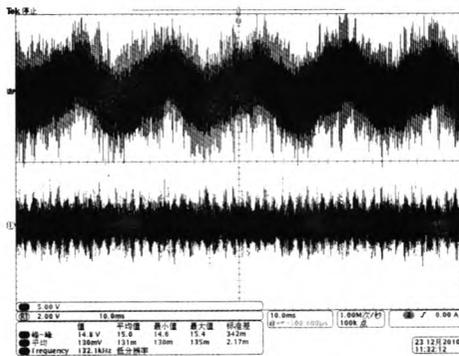
1) 验证手段

将热电偶温度传感器从试验台架上剥离，以

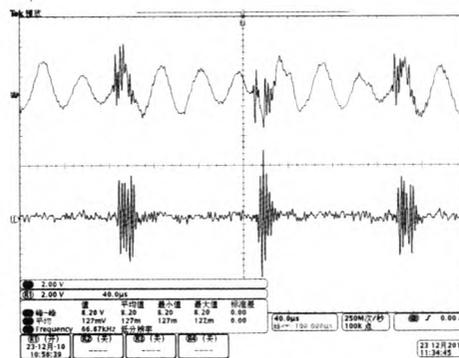
标准信号源输出代替传感器输出信号, 接入热电偶测量信号电缆, 观察干扰信号变化情况, 以评估公共地线耦合的影响。

2) 试验结果

如图 7 所示, 上方波形为传感器未剥离时的热电偶温度测量信号波形, 下方波形为用标准信号源输出代替热电偶测量信号后的波形, 经过对比发现, 热电偶温度测量信号电压略有减小, 但高频干扰成分未消除 (由上述分析可知, 此高频成分为相邻导线耦合方式引入)。这说明循环电机机壳带电会通过公共地线耦合方式对热电偶温度测量信号产生干扰。



(a) 信号电缆输出波形图



(b) 放大对比图

图 7 标准信号源代替传感器输出信号后干扰对比波形

Fig. 7 Interference contrast waveform of standard signal source instead of sensor signal

2.3.3 公用电源线耦合试验

1) 验证手段

将 UPS 不间断电源与市电断开, 使用 UPS 不间断电源电池给 Pacific 6000 采集装置和采集

计算机供电, 以切断公用电源线耦合途径, 观察干扰信号变化情况, 以评估公用电源线耦合的影响。

2) 试验结果

如图 8 所示, Pacific 6000 采集装置和采集计算机采用 UPS 电池供电后, 仍有干扰现象存在, 但干扰台阶幅值明显降低。这说明电机运行过程中产生的地电流会通过公用电源线耦合途径对热电偶温度测量信号产生干扰。

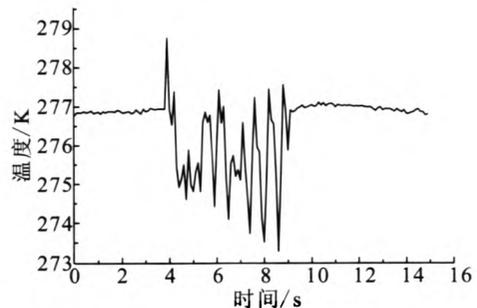


图 8 采用 UPS 电池供电后信号曲线图

Fig. 8 Signal curve after powered by UPS battery

3 干扰抑制方法

抑制干扰最根本的办法是消除或远离干扰源。如果受条件限制不能做到时, 就要采取如隔离、屏蔽、滤波和接地等防护措施。

3.1 电源噪声抑制

由前文分析可知, 公用电源线耦合途径为本试验系统干扰耦合途径之一, 故需采取测量系统供电与循环电机供电隔离的措施进行电源噪声抑制。

3.2 共模噪声抑制

Pacific 6000 采集装置信号传输电缆均采用屏蔽线, 且均正确接地, 同时 Pacific 6000 采集装置的共模抑制比至少为 60dB, 因此共模干扰很难造成影响, 故不需采取共模抑制措施。

3.3 设置远端放大器提高信噪比

由前文分析可知, 由公共地线耦合方式进入信号传输电缆的干扰信号从信号源头既引入, 因此设置远端放大器提高信噪比的措施效果不明显。

3.4 模拟信号滤波

Pacific 6000 采集装置中, 每个通道均加入了 10 Hz 的低通滤波器。

3.5 信号传输线的选择与铺设

本试验测量系统采用双绞屏蔽线, 具有较好的抗干扰性能, 但由于试验现场条件限制, 测量信号电缆与循环电机供电电缆公用同一电缆桥架, 未满足“易产生噪声的导线尽量远离低电平信号线”的条件, 故需采取此措施, 将测量信号电缆与循环电机供电电缆隔离。

3.6 接地

地线分为保护地、信号地和信号源地。保护地(又称为安全地)一般是指大地, 将仪器的外壳屏蔽层接地, 要求接地电阻小于 4Ω ; 信号地是电路中输入与输出的零信号电位公共地, 它本身可能与大地是隔离的; 信号源地是传感器本身的零信号电位基准公共线。

由前文分析可知, 本试验测量系统的信号地与保护地相连, 很容易受到来自大功率用电设备的影响, 故需采取措施, 将电机供电与测量系统供电隔离。

针对上述分析结果, 制定了如下措施:

- 1) 将循环电机供电电缆与测量系统信号线隔离, 以消除相邻导线耦合影响;
- 2) 将电机机壳通过加绝缘垫的方式与试验台架隔离, 以消除公共地线耦合影响;
- 3) 采用相互独立的变压器为电机变频器和测量系统供电, 以消除公用电源线耦合影响。

经过调试, 采取上述 3 项干扰抑制措施后, 彻底解决了循环电机干扰问题, 测量系统工作正常, 使该试验得以顺利完成。

4 结论

针对循环电机启动后对测量系统的干扰问题, 经过理论分析与试验验证, 确定了干扰源与耦合途径, 即循环电机是影响测量系统的主要干扰源, 主要途径为相邻导线耦合、公共地线耦合和公用电源线耦合的影响。通过制定有效的干扰抑制措施, 彻底解决了该干扰问题, 为后续试验的完成提供了保障。

参考文献:

- [1] 李广. 变频电机电磁噪声分析及改进[J]. 电机控制与应用, 2009, 36(4): 55-57.
- [2] 王鹏, 周凯, 吴广宁. 变频电机绝缘的局部放电检测技术[J]. 高电压技术, 2014, 40(2): 519-525.
- [3] 殷复莲, 卢满宏, 郭黎利. 测控通信干扰抑制技术综述[J]. 宇航学报, 2009, 30(5): 1757-1763.
- [4] 混平. 缓变测量系统的干扰及抑制方法[J]. 火箭推进, 2007, 33(2): 59-62
- [5] 曹杰, 姚远, 孙晓福, 等. 中国实验快堆核测量系统现场干扰问题的研究[J]. 核科学与工程, 2014, 34(1): 28-33.
- [6] 刘冰, 卢伟. 卫星干扰信号识别与测量系统设计[J]. 中国新通信, 2012, 14(6): 75-77.
- [7] 张迎新. 非电量测量技术[M]. 北京: 北京航空航天大学出版社, 2002.
- [8] 李宁. 模拟电路[M]. 北京: 清华大学出版社, 2011.
- [9] 宁国强, 张卫东, 候波, 等. 通信中干扰机抗干扰技术综述[J]. 四川兵工学报, 2011, 32(5): 115-119.
- [10] 张国雄. 测控技术[M]. 北京: 机械工业出版社, 2011.
- [11] 孙玉昆. 变频电机测试系统[J]. 变频器世界, 2009 (9): 97-99.

(编辑: 陈红霞)