

## 红外组件可靠性试验的自动保护系统设计

曹 岚<sup>1</sup>, 龚海梅<sup>2</sup>

(1. 上海电力学院, 上海 200083; 2. 中国科学院上海技术物理研究所, 上海 200090)

**摘要:** 针对红外组件可靠性试验环境的自动控制及失效保护要求, 设计了一种自动化试验环境监控系统。系统采用可编程逻辑控制器(PLC)为控制核心, 通过 Profibus-DP 总线通信对整个监控系统进行高速集中控制, 实时监测现场设备状态, 协调控制现场设备按序运行, 实现试验真空的自动维持以及在真空失效时的报警保护。同时基于 Wincc flexible 软件设计了触摸屏人机操作界面, 对设备运行数据的实时显示及存储。最后对该监控系统进行了实验验证, 实验结果表明, 该系统运行稳定可靠, 自动维持的真空度优于  $10^{-4}$  Pa, 自动维持的温度低于 90 K, 可满足红外组件寿命试验的要求。

**关键词:** 红外组件; PLC; 真空; 寿命试验

**中图分类号:** TN406 **文献标志码:** A **文章编号:** 1007-2276(2015)S-0013-04

## Design of automate protecting system for infrared component reliable test

Cao Lan<sup>1</sup>, Gong Haimei<sup>2</sup>

(1. Shanghai University of Electric Power, Shanghai 200083, China;

2. Shanghai Institute of Technical Physics, Chinese Academy of Sciences, Shanghai 200090, China)

**Abstract:** To deal with the requirements of automatic control and failure protection during the reliable test of IR component, a system to monitor the testing was proposed. Programmable logic controller (PLC) was used as the control center. By use of the profibus-DP bus as the communication bus, the field device was monitored in real time and coordinated to operate in sequence. And then the testing environment was automatically maintained. The failure protection would automatically run when the testing environment failures. Meanwhile, based on Wincc flexible, the operational status of equipment was displayed and stored the operational status of equipment in real-time with the human-machine interface. Finally, a reliable experiment was performed by use of the monitoring system, and the results show that the monitoring system can run stably. By use of which the auto maintaining vacuum is superior to  $10^{-4}$  Pa, and the auto maintaining temperature is lower than 90 K, which can satisfy the requirements of the reliable test of IR component.

**Key words:** infrared component; PLC; vacuum; lifetime test

## 0 引言

航天应用红外组件的可靠性要求高<sup>[1-4]</sup>,其在发射升空之前,一般均须在地面上对其进行可靠性试验,获取可靠性指标。由于红外组件数目少且价格昂贵,试验过程中应避免试验组件之间互相影响,避免试验环境的失效损害组件,以保障试验组件安全。

针对以上问题,文中设计了一种试验环境实时自动监控系统,其设计目标如下:(1) 试验真空度自动维持,真空度优于  $3 \times 10^{-4} \text{Pa}$ ,以满足红外组件的试验要求;(2) 试验的温度低于 90 K,以满足红外组件可靠性试验的低温要求;(3) 失效保护,实时监测试验环境,当试验真空压力或温度失效时,系统对试验组件进行

故障保护;(4) 各个组件试验过程中互不干涉。

## 1 监控系统设计

红外组件可靠性试验系统包括两个子系统,分别为真空系统和低温系统,如图 1 所示。其中真空系统由主真空抽气回路、组件抽气支路、烘烤系统等组成<sup>[5]</sup>。主真空抽气回路将主真空室进行排气,组件抽气支路将组件连接到主真空室进行排气,烘烤系统将为试验组件获取更好的真空。在主真空室处和杜瓦等工位处分别安装真空规管,以测量真空梯度分布。低温系统由液氮制冷获取,每个工位处有一个液氮冷阱,为组件试验提供低温环境,冷阱的内部和冷头处分别安装液位传感器和温度传感器。

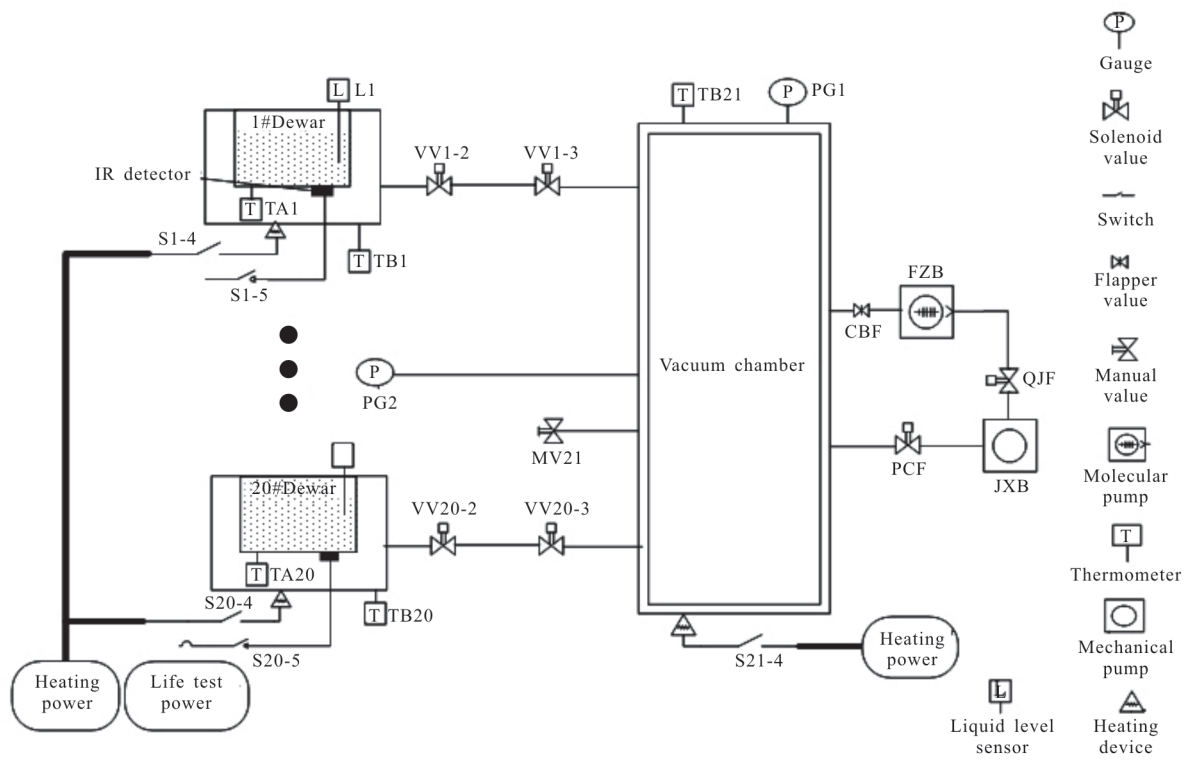


图 1 可靠性试验系统的控制框图

Fig.1 Control block diagram of the reliable test system

### 1.1 硬件设计

基于西门子 S7-300 系列 PLC 的高稳定性、抗干扰性、扩展性<sup>[6]</sup>,监控系统以其为控制中心,采用模块化机架结构,实现真空环境和低温环境的监控。为保证整个系统高速集中控制,现场的通讯使用

Profibus-DP 总线,保证现场设备间的实时数据交换<sup>[7]</sup>。现场安装了西门子触摸屏(MP277),方便用户进行参数设置及数据实时显示,实现真空度和温度等数据存储。根据控制对象的信号类型的要求,系统的硬件结构如图 2 所示。

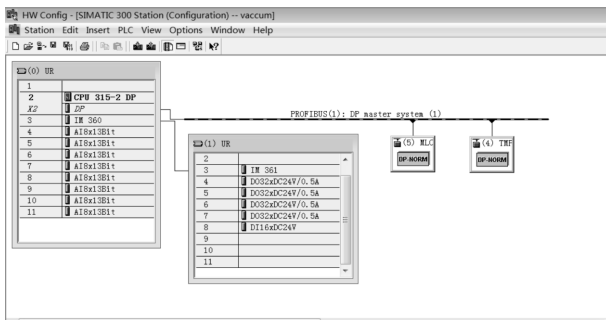


图 2 VMS 硬件结构图

Fig.2 Hardware configuration of the control unit

本地控制主要功能块有:(1) Profibus 转换模块 TMP,将分子泵的通讯方式从 MODBUS 总线转换成 Profibus-DP 总线,实现分子泵与 S7-300 间快速实时数据交换;(2) Profibus-DP 总线通讯模块 BM240-PB,实现温控系统 MLC 9000+与 S7-300 之间的数据交换,完成烘烤温度的参数设置和实时温度采集;(3) 回路控制器模块 Z4620:24 个 SSR 驱动输出,解决各工位的烘烤温度高精度、独立控制问题。

### 1.2 软件设计

控制系统软件分为 PLC 控制软件、触摸屏人机界面软件两个部分。PLC 控制软件采用西门子 Step7 编写。系统的整体模块调用结构示意图如图 3 所示。从图中可以看出,其采用模块化的编程方法,不同模块实现不同功能。当 PLC 从 STOP 状态到 RUN 状态时,PLC 的操作系统自动调用 OB100 初始化模块,其后操作系统循环调用 PLC 程序的主体 OB1 的各个功能块,完成控制程序的绝大部分功能。触摸屏监控界面软件采用 Wincc flexible 设计<sup>[8]</sup>,包括初始界面、主界面、排气控制界面等。

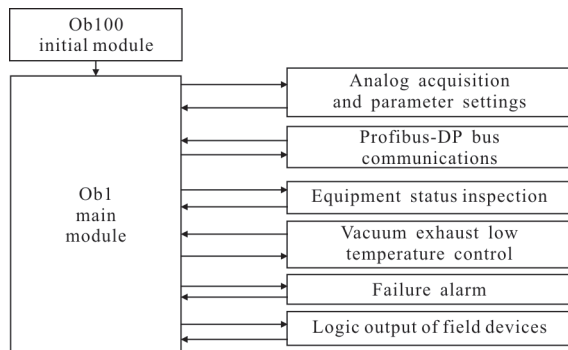


图 3 PLC 整体模块调用结构示意图

Fig.3 Whole calling diagram of the PLC module

为实现各工位试验互不影响,在软件设计方面,

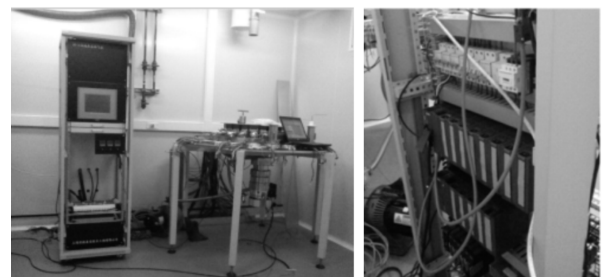
系统采用双字型的控制字表示各个工位的工作状态,控制字数值二进制形式的 D0 为最低位,D31 为最高位,其中 D0~D19 分别表示 1~20 工位的各个工位所处状态。

### 1.3 失效保护设计

对红外组件的试验环境失效保护方面,设计内容包括:(1) PLC 逻辑控制程序对系统状态进行巡检,当检测到真空压力或温度超出设定范围时,断开各个工位上红外组件的可靠性试验电源开关,同时发出声光报警,对失效进行报警保护;(2) 工位烘烤温度采用两级控制,在采用 MLC 9000+输出脉冲进行一级控制外,增设由 S7-300 开关量控制的加热开关进行二级控制,当检测到温控仪输出异常时,及时断开加热开关,以免红外组件在烘烤过程造成损坏。对系统的失效保护方面,设计内容包括:(1) 分子泵启停连锁插板阀的到位状态,即在分子泵开启状态下,若插板阀关闭到位信号为 0(未到位信号),控制系统将禁止对杜瓦支路进行开阀操作,其可在插板阀失效下,对分子泵进行保护,防止大气冲击分子泵。(2) 在 PLC 程序中增添了 S7-300 诊断故障 OB 程序,当扩展机架、DP 主站系统或分布式 I/O 出现故障时,CPU 将在故障出现和消失时分别调用一次诊断故障 OB86,避免系统进入 STOP 模式而影响系统的正常运行。

## 2 试验结果

在控制系统硬件和软件设计完成后,进行了系统的集成,集成后的实物图如图 4(a)、4(b)所示。通



(a) 正面

(b) 背面

(a) Front side

(b) Back side

图 4 集成后的真空监控系统

Fig.4 Integrated vacuum monitoring system

过触摸屏进行以下设置:(1) 将分子泵的开启条件设

为:真空压强小于等于 1 Pa 且压强持续时间大于等于 10 min;(2)将 6# 工位、7# 工位加入试验,其余工位无操作。完成上述设置后,采用监控系统进行可靠性环境检测试验。

试验监测得到等工位处的真空度随时间的变化如图 5 所示。从图中可以看出,抽气一开始,6# 工位、7# 工位的组件抽气支路阀门、主抽通道阀门及机械泵开启,真空度由大气压( $10^5$  Pa)迅速下降。下降到 1 Pa 时,真空度变化缓慢。当真空度平缓 10 min 后分子泵开启,真空度再次迅速下降,随着排气时间的增长,真空度自动维持在  $10^{-4}$  Pa 以下,其真空度可以满足可靠性试验真空度优于  $3 \times 10^{-4}$  Pa 的要求。

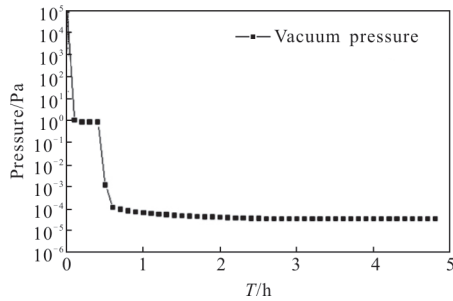


图 5 可靠性试验真空度变化图

Fig.5 Graph of the vacuum during the reliable test

6# 工位、7# 工位的低温控制的结果如图 6 所示。从图中可以看出,输液冷平台温度  $TA_6$ 、 $TA_7$  随温度变化很小,维持在 90 K 以下,两个工位控温稳定且互不干涉(仅在加液点处出现 5 K 的跳变,

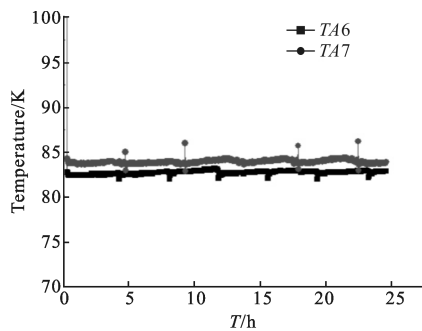


图 6 液氮冷阱温度时间变化图

Fig.6 Graph of the heating temperature at the station

这是因为输液管过于接近冷头,输液开始时,输送的是温度比较高的氮气,因此出现这个现象,可以通过缩短输液管的长度来改进这一问题),可以实现自动低温维持,满足红外组件可靠性试验的低温要求。

上述试验证明,各工位可独立进行试验,试验真

空度自动维持在  $10^{-4}$  Pa 以下,满足试验真空度优于  $3 \times 10^{-4}$  Pa 的要求;低温维持在 90 K 以下,满足试验的低温要求。

### 3 结论

针对红外组件可靠性试验的试验环境自动控制及失效保护问题,文中设计了一自动化试验环境监控系统。系统设计后,完成了加工和试验验证。试验结果表明,控制系统运行稳定可靠,实现了试验真空度自动维持、低温自动维持、失效保护、试验组件互不干涉等功能,真空度自动维持在  $10^{-4}$  Pa 以下,低温维持在 90 K 以下,可以满足红外组件可靠性试验的要求,为航天红外组件的可靠性指标获取提供了重要的依据。

### 参考文献:

- [1] Zhang Ying, Liu Su. Reliability research on foreign infrared focal plane assembly [J]. *Infrared Technology*, 2012, 34(3): 134-139. (in Chinese)
- [2] Gong Haimei, Shao Xiumei, Li Xiangyang, et al. Advanced technology and application of spaceborne infrared detectors [J]. *Infrared and Laser Engineering*, 2012, 41(12): 3129-3140. (in Chinese)
- [3] Brenière Xavier, Rubaldo Laurent, Dupont Frederic. Sofradir's recent improvements regarding the reliability and performance of HgCdTe IR detectors[C]//SPIE, 2014, 9097: 10-15.
- [4] Srivastav Vanya, Sharma R K, Bhan R, et al. Exploring novel methods to achieve sensitivity limits for high operating temperature infrared detectors [J]. *Infrared Physics and Technology*, 2013, 61: 290-298.
- [5] Cao Lan, Zhang Haiyan, Zhu Xianliang, et al. A kind of multi-station vacuum exhaust device for infrared detector with: China, CN103089592A [P]. 2013-05-08.
- [6] Liao Changchu. S7-300/400 PLC Applications Technology [M]. Beijing: China Machine Press, 2011: 60-63. (in Chinese)
- [7] Song Shihua, Liu Sheng, Jiang Caichao, et al. Control and real time monitoring of vacuum system of neutral-beam-injector test stand [J]. *Chinese Journal of Vacuum Science And Technology*, 2014, 34(4): 408-412. (in Chinese)
- [8] Liao Changchu, Chen Xiaodong. Siemens Human Interface Configuration and Applications Technology [M]. Beijing: China Machine Press, 2009: 151-155. (in Chinese)