

活动发射平台环境监测系统设计与实现

摘要：为解决以往发射平台上模拟仪表人工读取记录效率低下，无法远程监控且不能获取平台执行任务前后监控点关键数据的问题，提出了基于**分布式远程监控技术**的环境监测系统设计方案，采用**分布式前端控制箱**获取各传感器信号，设计**双点双线的**电气连接方法完成前端测控箱与信号转接箱之间的信号传输；使用冗余热备的 CompactRIO 终端进行实时系统下的数据采集、保存、阈值判断与报警输出；基于 TCP/IP 协议的前端上位机采用了**模块化参数配置**、区域数据回放的方法，实现实时曲线显示、数据库读写及历史数据回放等功能。采用了抗振及耐盐雾等防护技术，通过了发射平台各试验及发射任务的检验，为活动发射平台日常调试及执行任务提供了及时可靠的环境数据。

关键词：活动发射平台；远程监控；分布式；模块化

中图分类号：TP274 **文献标识码：**A

Design and Implementation of environmental monitoring system on mobile launching platform

Yang Yanming

(Beijing Zhong Ke Fan Hua Measurement & Control Technology Co., Ltd.)

(Beijing Zhong Ke Fan Hua Measurement & Control Technology Co., Ltd. (Pansino Ltd.) Beijing, 100192, China)

Abstract: An innovative approach of monitoring relying on **distributed and remote technology** was proposed, in order to solve the problems of inefficiency on manual record, un-remote monitoring and key data losing between executing the task based on analog instrument in the mobile launching platform. Sensors signal was acquired with the **distributed front-end control box**, and the electrical design of **double point double connection** method was designed to complete the signal transmission between the front-end control box and signal transfer box. The main control box was applied based on hot backup in CompactRIO to accomplish data acquisition, data storage, threshold judgment and alarm output in the condition of real-time operating system. The front upper machine based on TCP/IP protocol achieved the real-time curve display, database to read and write and historical data playback, with the method of **flexible parameter configuration** and specified district data playback. The technologies of **anti vibration and anti-corrosion** was promoted, which had been carried out by the tests of mobile launching platform and the rocket launching mission. It was provided the reliable data of the mobile launching platform in case of routine debugging and task performing.

Key word: mobile launching platform; remote monitoring; distributed; modularization

引言

为了有效保护人员和发射场设备的安全，现代运载火箭普遍采用远程发射控制模式^[1]，但火箭发射平台的环境监测则多依赖于现场模拟仪表的数据读取，该类仪表多安装于固定管路或通道上，且仅能由发射平台

上工作人员人工查看，未能实现远程监控及自动记录，对于发射平台执行任务期间的关键环境数据也未能有效保存。全面的发射平台环境参数监测可为平台调试人员提供实时数据，便于掌握各区域及关键部位环境信息，如发射平台四个前置设备间内温湿度及机柜减震前后的振动情况，平台上氢氧塔内

实时浓度情况，平台井子裸外侧温度情况，脐带塔摆杆控制间内温度、氢氧浓度及噪声情况等。

本文提出的活动发射平台环境监测系统，基于分布式远程监控技术，将自动测试、数据实时显示、ms 级报警响应、高速原始数据保存、大容量历史数据查询及回放、远程监控等功能融为一体，硬件实现上采用了电源及下位机终端双机冗余热备、网络通信在线热备、信号双点双线传输、关键信号二级保护等技术，此外还将部分抗振及耐盐雾防护技术应用到系统中，提高了系统的稳定性及可靠性。本系统实现的本地/远程自动监控及数据记录功能，为活动发射平台在日常调试，尤其是执行任务前后提供了宝贵的现场数据。

1 系统整体方案设计

活动发射平台环境监测系统整体设计方案如图 1 所示：

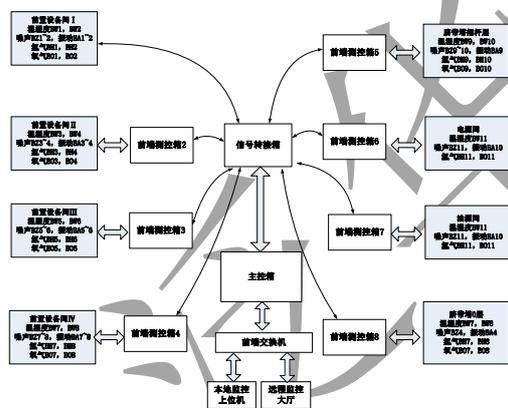


图 1 系统整体方案设计原理

整个监测系统的核心是基于分布式测控技术的主控箱、信号转接箱及各前端测控箱，发射平台监测范围包括前置设备间 I、II、III、IV，平台电源分配间、油源间、脐带塔 0 层、脐带塔摆杆层、氢氧塔内的温湿度情况、区域内设备减震前后振动情况、噪声情况、氢氧浓度情况、烟雾情况以及转换装置压力情况等。

各监测区域内的所有传感器均由其前端测控箱完成信号接线，通过干路电缆进入信号转接箱进行信号分类汇总，属于典型的

分布式采集控制系统，之后进入主控箱完成数据采集、保存、控制、阈值判断等操作，最后可由监控上位机完成曲线显示、数据二次保存、数据库操作、参数配置远程下载以及下位机（位于主控箱内）各系统参数的获取：下位机工作温度、系统 CPU 及内存占用率、磁盘可用空间、网络状态等信息的实时监控。

监控上位机显示所有区域内传感器的实时数据，数据超限后软件将自动报警，且位于各区域内的前端测控箱上声光报警器也会及时工作，提示指定区域内有某类监测信号超限，以便调试人员能够及时进行检修或者采取其他措施保障工作人员、关键设备的安全。

另外本系统也实现了长距离远程监控，在活动发射平台上的上位机所有信息，均可在位于发射平台一公里之外的监控大厅计算机上复制显示，并具有和现场上位机一致的操作权限，以便发射平台执行任务时监控大厅的工作人员也可实时查看平台上各区域的环境情况，为火箭发射提供可靠及时的环境数据。

2 系统硬件组成

2.1 主控箱设计

由于主控箱是整个分布式测试系统的核心，因此需对主控箱的设计做详细说明，重点阐述冗余热备份技术在主控箱设计中的应用。

考虑到发射平台对振动、冲击、工作稳定及可靠性等有较高要求，主控箱内部选用基于实时操作系统的 CompactRIO^[2]终端。该终端基于模块化设计，系统所需的电流采集模块、DIO 采集控制模块^[3]、振动/噪声采集模块均独立可更换，如图 2 所示：

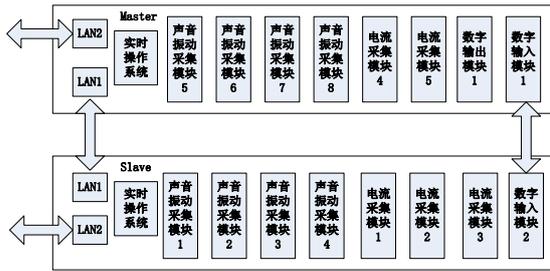


图 2 主控箱内部 CompactRIO 终端实现框图

由于活动发射平台区域较大，前端传感器信号距离主控箱传输路径差别大，如设备间 I 区的传感器距离主控箱不超过 7 米，而脐带塔 17 层的传感器距离主控箱超过 80 米，为此选用了电流输入模块作为各类传感器信号的采集，以便减小信号受干扰程度，提高采集精度。主控箱两台 CompactRIO 终端内电流采集模块共配置了 5 块，每个模块 16 个通道；声音振动采集模块共配置了 8 块，每块 4 个采集通道，单通道采样率 51.2KS/s；数字输入模块配置了 2 块，每块 16 通道，用来实现主控箱内两台 CompactRIO 终端硬件握手以及烟雾传感器触点信号的采集；数字输出模块配置 1 块，共计 32 个通道，用来输出系统判断结果指示各区域内声光报警器工作，同时在校主控箱面板上通过指示灯显示当前是否有温湿度、氢气、氧气等关键数据超限报警。另外，为提高数字信号抗干扰能力，本系统所有数字输入输出包括硬件握手信号等均采用工业 24V 电平。

如图 2 中，主控箱内的 CompactRIO 设备采用了有限双机热备份设计，即 CompactRIO 作为下位机终端，系统配置了两台。考虑到系统成本，在采集、输出等模块的选型上采用了通道合理预留的方式，模块并非完全备份。主控箱实际工作时，两台 CompactRIO 同时上电，运行实时操作系统，各终端上数据经硬件和软件双重握手后，通过内部网络接口 LAN1 互相备份数据至本地终端。两个终端各输出一路网络接口 LAN2 至前端交换机，位于前端的监控上位机也接入交换机，实现主控箱至上位机的数据链路

热备份。

而位于后端的远程监控大厅计算机经过光纤网络接入到前端交换机，实现前端数据至本地及远程数据全链路的在线热备。

2.2 信号转接箱设计

在本系统中，信号转接箱实现了两种功能：一是完成了传感器电气接点的双点双线操作，二是在箱内将前端传感器供电线、信号输出线等进行信号分类，将双线信号通过端子排并联短接后输出到主控箱，同时考虑到传感器功率情况，也在箱内对电源地线做了分流处理。

双点双线传输作为活动发射平台环境监测系统中另一项关键设计，原理如图 3 所示。

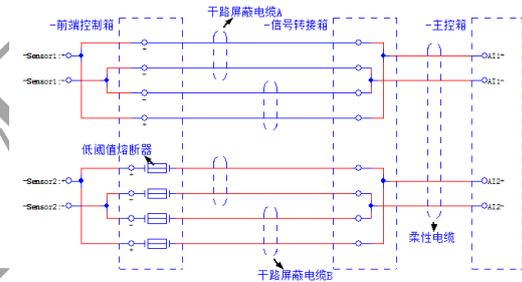


图 3 双点双线设计原理

图 3 中，Sensor1，Sensor2 传输路径即为双点双线。双点即为同一个监控点布置两只传感器，实现监控点的冗余热备份；双线即为每只传感器在供电和信号传输时，每个电气点在物理连接上均为两根线，并且这两根线分别设计在两根干路电缆中，该设计方式使得每个监控点都能够实现双机及信号物理连接双点在线，即使在一路传感器，甚至一路干路电缆损坏的极端情况下，系统仍然能够获取该监控点的实时信息，极大地提到了监控系统的可靠性。

2.3 前端测控箱与电缆设计

前端测控箱实现本区域内所有传感器信号的物理连接，将各类传感器专用电缆的输出信号连入箱内完成双线连接，之后统一按照双线方式输出两根干路电缆至信号转接箱。

另外，为了实现监测系统报警及时，在各区域的前端控制箱上安装了声光报警器，经主控箱终端实时系统检测判断后，可输出报警信号，便于平台调试人员及时查看当前区域情况。

本系统在信号传输干路上采用了 32 芯屏蔽电缆，设计为模拟与数字信号隔离，将其中 18 芯电流/电源信号线外层单独增加一级屏蔽网，由此模拟信号设计两级屏蔽，数字信号为一级屏蔽，有效提高了信号传输的可靠性。

2.4 供电回路设计

为了保证活动发射平台环境监测系统供电稳定及可靠，采用了双通道线性直流电源，应用方式仍然为双机热备。设计上每台电源的两个通道均进行交叉并联，即电源 1 的 A 通道与电源 2 的 A 通道并联，电源 1 的 B 通道与电源 2 的 B 通道并联，同时将电源 1 的 A、B 通道与电源 2 的 A、B 通道通过外接线实现均流控制，使供电系统更加稳定。

此外，对于某几个核心区域的监测，如发射平台上氢气塔和氧气塔内传感器在执行任务时，很可能被外部高温环境影响，造成损坏，因此除了传感器本身具有防爆等级以及供电电源的过流保护外，还在前端控制箱内的供电线路上做了二级保护，见图 3 中 Sensor2 信号路由所示。通过低阈值限流方式保护测试系统供电回路即使在供电电源未触发过流且传感器已损毁时也不受影响。

3 软件设计

3.1 软件设计框架

系统软件开发平台选择 labVIEW，它的优势在于可以与硬件模块无缝连接，软件设计人员不需要对 CompactRIO 模块的驱动有深入了解，在开发过程中利用 labVIEW 提供的 API 即可进行程序开发，极大地提高了系统软件开发效率^[4]。

活动发射平台环境测试系统软件框图

如图 4 所示：

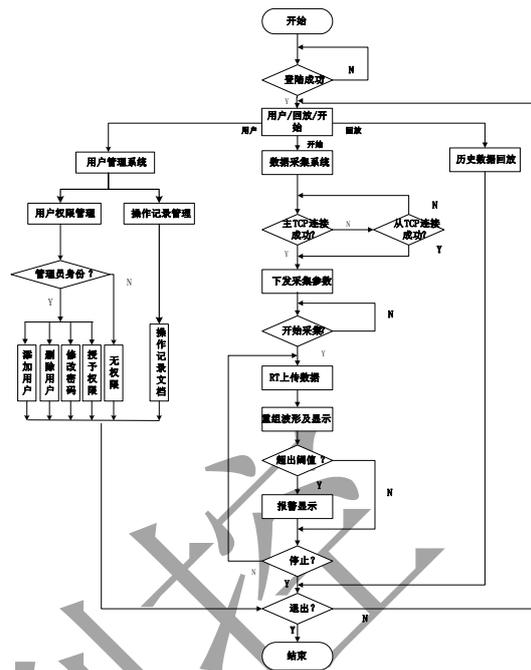


图 4 系统软件开发框图

软件框架设计为上位机软件——下位机实时系统软件——底层 FPGA 模块线程三部分。底层 FPGA 线程依据模拟采集信号、硬件握手、数字信号采集、数字报警输出、高速振动/声音数据采集与在线处理等功能设计为多个模块线程；两台 CompactRIO 实时系统上运行核心程序，实现与 FPGA 上各模块线程的数据交互与指令控制，包括所有低采样率传感器信号原始数据的本地保存，振动/声音信号设计了缓冲线程实现高速大数据量的实时保存，两台终端软件 TCP/IP 握手协议处理，看门狗监控线程，与上位机 TCP/IP 通信线程，阈值判断输出线程，系统错误代码记录处理线程，下位机终端自重启线程等。当然，终端的 Real-Time 实时系统也保障了整个监控系统对应报警信号的 ms 级响应。

本地及远程上位机实现人机交互界面，权限控制、各传感器的参数配置/标定，曲线数据实时显示、数据库保存与记录检索等功能。

3.2 参数配置设计

由于监测系统连接的传感器类型较

多，如温湿度传感器，氢气传感器，氧气浓度传感器，烟雾传感器，压力传感器，振动传感器，噪声传感器及声压传感器等，软件配置上实现了同类传感器参数的一键配置功能，包括采样率、上下限、配置位置及校准标定，该参数配置模块可实现其他任意类型传感器的添加与删除，可作为子功能模块移植至其他软件中，实现了较强的通用性和扩展性，且易于操作。

软件配置项界面图 5 所示：

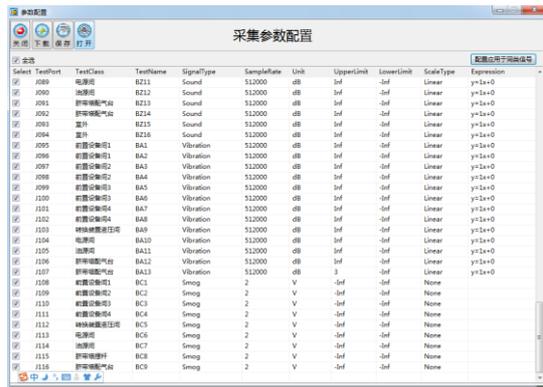


图 5 系统软件测试项配置界面

在该界面完成参数配置后，可保存在本地监控上位机，格式为.ini 文件，也可通过 FTP 方式下载至 CompactRIO 终端中，主控箱重启后即可完成配置参数的更新。

3.3 数据回放设计

活动发射平台环境监测系统在硬件和软件上都是基于区域进行监控设计的，对于指定区域数据的回放，可按照文件记录时间进行检索查询，回放界面如图 6 所示：

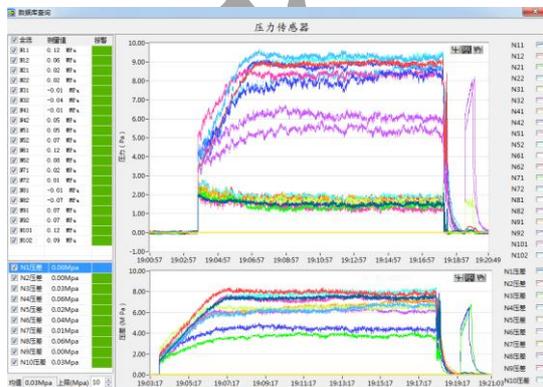


图 6 系统自动测试界面

在该界面可以清晰地看到各传感器某

时间点的实时数据且每路传感器的阈值实时显示，另外也可在右侧界面以曲线方式进行对比。

图 6 即为平台上 20 路压力传感器的数据回放，用户可通过曲线对比每路传感器的进出压差数据，可方便地调整实验参数。

4 系统技术难点实现

4.1 系统抗振设计

活动发射平台在行走或者执行任务时会产生较大的振动，监测系统设计上必须通过 GJB 相关振动试验才可满足要求。为解决系统抗振问题，监测系统主要采取了以下措施：

主控箱内部的 CompactRIO 终端及航插连接器等本身具有良好的抗振性，符合 GJB 振动相关指标要求，在机箱内部底板与箱体以及航插法兰螺钉连接处均垫有弹簧垫片，防止振动时螺母脱落；同时在前端测控箱、信号转接箱以及主控箱内部各连接紧固螺母上采用了螺纹锁固胶处理。

另外，信号转接箱以及主控箱内部指示灯、开关、网络连接、接触器等电气件连接上均采用了热熔胶固定，使焊接端保持一定角度，防止振动引起接线端产生较大应力造成损坏。

主控箱与信号转接箱之间的机柜内部电缆使用 AFR-250 单股线芯定制电缆，确保两个机箱之间连接电缆具有较好的柔性，减小连接应力，提高抗振性；对于系统中的分叉电缆、航插电缆等也采用了模缩套保护方式，可降低插头连接时拉拽应力，提高电缆连接的抗振性能。

主控箱和信号转接箱放置在机柜内部，在箱体底部固定处安装了减震垫片，同时在机柜底部 4 个支脚处安装了减震器^[5]，前端测控箱位于平台各区域，底部通过弹簧阻尼减震器与安装面连接。

4.2 系统耐盐雾防护设计

活动发射平台环境监测系统的另一实

现难点,即为整个系统的耐盐雾设计。盐雾对金属和防护层的腐蚀,主要是因为其中含有大量的氯离子。盐雾对金属的腐蚀是以电化学方式进行的,腐蚀激励与原电池相同^[6]。

为满足系统的耐盐雾要求,采取了如下措施:

监控系统主控箱、信号转接箱及前端测控箱均采用不锈钢结构,有足够的机械强度和温、湿度环境耐受能力,尤其拥有良好的耐盐雾能力^[7]。箱内的连接螺钉螺母材质均为不锈钢,且选用的电气件,如电源开关、指示灯、BNC插座等均采用不锈钢外壳,选用可防止喷水、盐水和盐雾进入同时可抗霉的涂层保护风扇等。

箱内接线端子金属部分采用铜,具有很好的抗腐蚀和导电性能,绝缘材料的选用满足UL94标准中规定的最高等级V0;系统中传输信号的航插选用符合GJB J599III标准的接插件:J599/20K系列,外壳不锈钢钝化,盐雾时间可达1000h;电源接插件选用XCD系列的不锈钢钝化材料;

系统中使用的所有印制电路板均做三防处理,装机前喷涂TS01-3绝缘清漆。

除了器件本身具有耐盐雾特性之外,对系统中的电气连接点,如端子排、接触器等连接点均使用了符合GJB要求的薄膜保护剂处理,其形成的保护膜可有效防止空气中盐雾对接触面的腐蚀;对于系统所有电缆插头也进行了电子灌封处理,按照灌封胶要求的配比及工艺进行操作,并通过绝缘特性检测验证了电缆灌封后符合指定绝缘要求。

5 试验结果与分析

活动发射平台环境监测系统实现了共计16路温度、16路湿度采集,采样率1KS/s;共计16路氢气浓度、16路氧气浓度测试,采样率5KS/s;共计7路振动、9路噪声信号采集,采样率51.2KS/s;共计20路压力信号采集,采样率5KS/s,共计2路声压信号采集,采样率51.2KS/s;共计4路高温传感器,采样率5KS/s;共计9路烟雾信号采集,采

样率1KS/s。模拟电流采集精度优于0.5%,阈值报警输出响应时间小于100ms。系统实现本地原始数据实时保存,采用了可保留原始数据有效时间10小时的滚动存储方式。上位机数据刷新速率0.2s,单文件最大记录时间16小时,可自动进行分类记,最大文件存储量依赖于上位机硬盘空间,无特殊限制。

另外监测系统主控箱、信号转接箱及前端测控箱均通过GJB150.16A振动试验及GJB150.11A盐雾试验,满足了设计要求。

6 总结

综上所述,本文提出的基于分布式远程监控技术的发射平台环境监测系统,实现了硬件及软件的模块化设计,将双点双线、冗余热备份等技术应用到实际系统中,另外本系统采用的抗振及耐盐雾设计也保障了系统更加稳定及可靠,达到了很好的使用效果,目前系统已运行在某发射平台,经各试验及发射检验,工作稳定良好。

参考文献:

- [1]张晨光,孙沂昆,刘巧珍等.载人火箭信息传输网络系统设计与关键技术研究[J].载人航天,2015,32(2):153-157
- [2]寇煜承.基于NI CompactRIO的分布式远程监控SCADA系统[J].国外电子测量技术,2016,35(4):17-20,27
- [3]徐涛,戚长森.基于CompactRIO的便携式航空发动机温度采集系统[J].测控技术,2016,35(3):50-53
- [4]陈锡辉,张银鸿.LabVIEW 8.20 程序设计从入门到精通[M].北京:清华大学出版社,2008
- [5]姜昊,张立中,李小明等.某车载平台电子设备抗振系统设计[J].长春理工大学学报(自然科学版),2016,39(5):5-10
- [6]马杰,姚静波,辛朝军等.航天电连接器盐雾试验方法探讨[J].试验与检测,2012,32(6):6-9
- [7]李箭.不锈钢耐盐雾性能应用研究[J].通信与广播电视,2008(4):61-64