

doi: 10.7690/bgzd.2025.08.011

基于 CompactRIO 的级间分离试验装置安全监控系统

潘 苇, 周 波, 王琪山

(中国空气动力研究与发展中心高速空气动力研究所, 四川 绵阳 621000)

摘要: 为避免风洞试验分离过程中分离体与母体之间发生碰撞, 或机构超限、超载等情况的发生, 研制一种安全监控系统。安全监控系统采用 CompactRIO 模块化架构和 LabVIEW 开发平台, 通过传感器、数据采集模块及上/下位机软件实现级间分离装置的相关信息采集、状态显示、信号处理和报警急停功能。结果表明: 该系统在实际运用中能够及时发现超限、碰撞等情况发生并及时停机或断电, 在超声速风洞试验过程中能保护设备安全。

关键词: 风洞; 级间分离; 安全监控

中图分类号: TP27 **文献标志码:** A

Safety Monitoring System of Stage Separation Test Device Based on CompactRIO

Pan Wei, Zhou Bo, Wang Qishan

(High Speed Aerodynamics Research Institute, China Aerodynamics
Research and Development Center, Mianyang 621000, China)

Abstract: In order to avoid the collision between the separation body and the parent body, or the occurrence of overloading and overloading of the mechanism in the separation process of wind tunnel test, a safety monitoring system is developed. The safety monitoring system adopts CompactRIO modular architecture and LabVIEW development platform, and realizes the relevant information acquisition, status display, signal processing and alarm emergency stop functions of the inter-stage separation device through sensors, data acquisition modules and upper/lower computer software. The results show that the system can detect the occurrence of overrun and collision in time and stop or power off in time, and can protect the equipment safety in the process of supersonic wind tunnel test.

Keywords: wind tunnel; stage separation; safety monitoring

0 引言

级间分离是运载火箭、导弹等飞行器研制中经常遇到的问题, 其目的主要是分离助推发动机或导弹以满足任务要求^[1]。风洞级间分离试验的目的是研究飞行器在分离过程中所受干扰流场的气动载荷情况^[2]。笔者基于 CompactRIO 平台和虚拟仪器技术开发一套安全监控系统, 实现对分离体模型的振动监测、碰撞监测以及其支撑机构的极限位置反馈与故障诊断并加以分析保存, 设计友好的人机交互界面, 使操作者直观快速地操作安全监控系统。结果表明: 该系统测量精准, 自动化程度高, 满足风洞试验使用要求^[3-4]。

1 风洞级间分离试验装置及运动轨迹特性

某风洞级间分离试验装置结构如图 1 所示。级间分离装置是一个六自由度机构, 支撑座安装于风洞试验段上壁板处, 支撑座上的滑块使模型在 Y 轴方向运动, 该滑块同时支撑模型在 Z 轴方向运动,

底部与径向滑块支撑模型在 X 轴方向运动。 X 轴支撑装置前端依次是控制模型偏航状态的 β 轴、俯仰状态的 α 轴和滚转状态的 γ 轴。级间分离装置主要用于模拟分离体与母体的分离过程。试验时, 母体由风洞支撑机构支撑并保持静止, 六自由度机构在其行程范围内做组合运动, 运动过程中会带动试验模型(即分离体)按系统的指令动作。

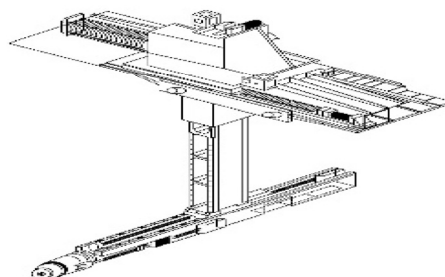


图 1 级间分离试验装置结构

相较常规试验, 级间分离试验模型的运动轨迹具有无法预知性, 使得六自由度机构(含试验模型)与机构运动空间范围内其他物体(母体模型及其支

收稿日期: 2024-09-03; 修回日期: 2024-10-04

第一作者: 潘 苇(1990—), 男, 四川人。

撑装置、上下左右四周壁板)之间的相对位置不确定,可能产生碰撞干涉。碰撞发生后如果不能及时自动停止运动,就会造成设备财产损失^[5];因此,针对级间分离装置设计一套安全监控系统以保证试验安全顺利进行变得极为必要。

2 总体设计方案

某风洞级间分离装置的安全监控系统硬件由 CompactRIO 控制器(下位机)、监控管理计算机(上位机)、各子系统通过以太网连接组成。安全监控系统采用分布式测控技术,其功能主要包括安全联锁和故障诊断,当出现限位、紧停、碰撞、振动、掉电、伺服系统力矩速度异常等紧急情况时,向上位机和数据采集运算系统发送报警指令,使六自由度运动控制装置按照预先设定的逻辑停机或断电。安全监控系统如图 2 所示。

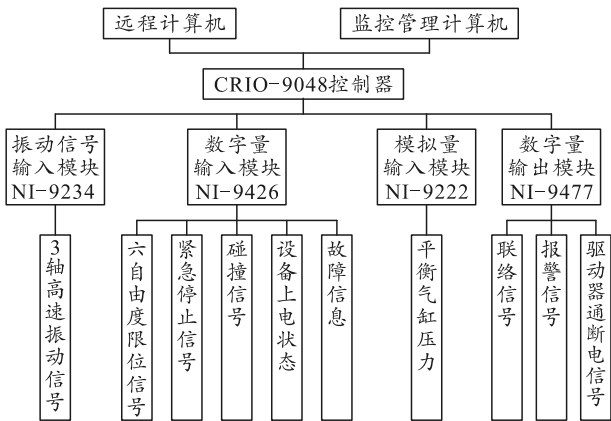


图 2 安全监控系统

机构 X 轴壳体与整个机构的安装基座(与大地为等电位体)之间是电绝缘的。在机构运动的空间范围内还有母体模型及其支撑装置、上下左右四周壁板,均为金属体。当 X 轴及其相连接的分离体与母体模型或风洞洞体发生碰撞时使得回路导通,触发碰撞报警信号,一旦检测到防碰撞信号安全监控系统分别控制 6 个轴紧急停止动作。其中 X、Y、Z、 α 与 β 这 5 个轴紧急停止运动并抱闸, γ 的电机没有抱闸,紧急停止电机动作则采用力矩保持方式禁止电机运动。软件上锁定输出动作,禁用动作指令,直到防碰撞信号解除。

3 硬件设计

3.1 安全监控系统硬件组成

安全监控系统硬件主要有监控管理计算机(上位机)、CompactRIO-9048 集成嵌入式控制器(下位机)、数字量输入模块 NI-9426、数字量输出模块

NI-9477、振动信号输入模块 NI-9234、模拟量输入模块 NI-9222、NI-9149 扩展机箱、NI PS 电源模块等。其中六自由度限位信号、紧急停止信号、碰撞信号、设备上电状态、故障信息由 NI-9426 模块输入,实现对相关信号的监测;联络信号、报警信号、驱动器通断电信号等由 NI-9477 输出,达到安全控制的功能。3 轴高速振动信号,由 NI-9234 4 通道同步高速数据采集模块进行采集,当超过阈值时,输出控制信号达到振动监测安全控制的目的。平衡气缸压力等其他系统中的模拟量信号由 NI-9222 模块进行数据采集。为保证网络通信顺畅,CompactRIO 控制器通过工业千兆交换机与监控管理计算机、运动控制器通信。

3.2 CompactRIO 和 PLC 的双系统安全联锁

针对六自由度装置的限位/急停/碰撞/上电状态/故障/其他状态等设计了信号转接盒,其中,机构限位/急停/碰撞信号一分二同时进入 PLC 六自由度运动控制装置和 CompactRIO 安全监控系统,达到了双重保护,在信号有效时,先由 PLC 软件控制执行机构减速、停机并抱闸,CompactRIO 安全监控系统控制执行机构断电。如果 PLC 软件失效,则由 CompactRIO 安全监控系统直接进行断电等操作,确保系统安全。

4 软件设计

4.1 下位机软件设计

安全监控系统下位机软件运行于 CompactRIO 控制器中,实现机构上电、刹车、断电等操作功能;对监视到的危及设备安全的情况采取紧急停车措施;采集、监视系统状态,生成报警信息,为故障诊断和解除提供接口信息;将系统状态信息上传给运行管理软件等功能。安全监控系统软件功能如图 3 所示。

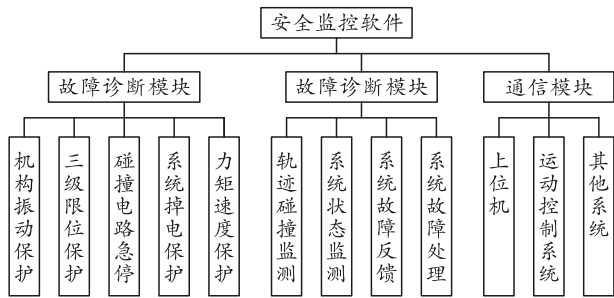


图 3 安全监控系统软件功能

试验准备过程中若安全监控系统出现限位报警、振动超限、力矩超限、速度超限、碰撞预警等

情况,则直接硬件关车结束试验。试验过程中,若出现系统掉电报警,则通知上位机与各子系统断电进入关车流程。安全控制软件流程如图 4 所示。

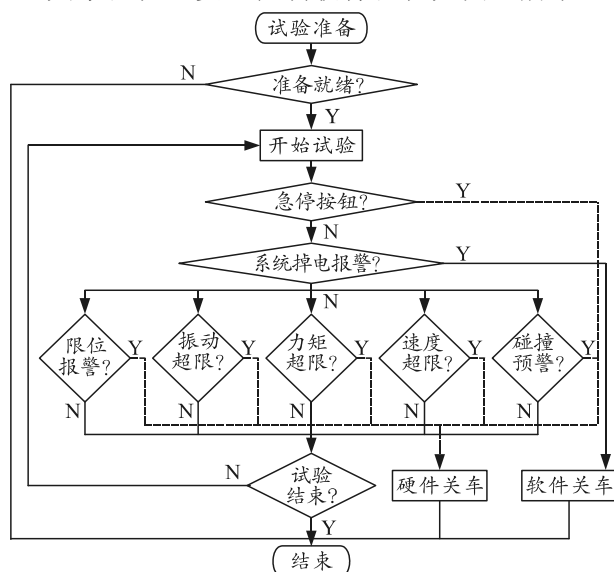


图 4 安全监控软件流程

4.2 上位机软件设计

安全监控上位机软件采用 LabVIEW2018 软件平台通过以太网与 NI CompactRIO 控制器通信。上位机功能主要包含机构状态操作、参数状态显示、历史数据记录、实时报警功能等内容。安全监控上位机软件界面如图 5 所示。

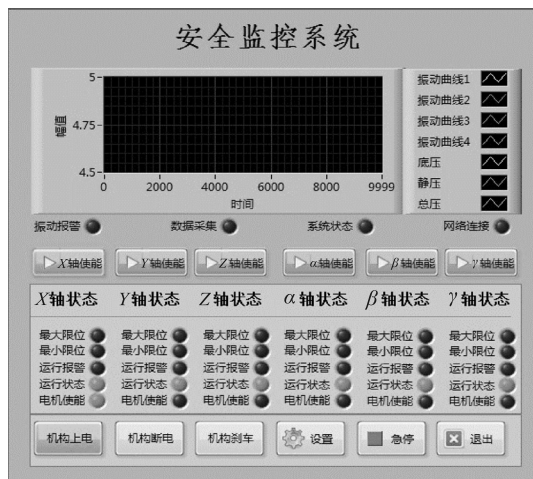


图 5 安全监控上位机软件界面

1) 机构状态操作: 具备机构上电/使能/断电、机构刹车、急停等操作,在运行过程中能更加快速准确地操作机构运行状态。

2) 参数状态显示: 具备机构状态、关键数值和其他子系统网络连接状态显示功能,实时曲线显示能够更加直观地反映出关键数值异常变化。

3) 历史数据记录: 将安全监控系统的指令参数、状态参数通过日志记录到历史数据库。

4) 实时报警功能: 实时显示压力、振动、碰撞、限位等报警信号并与其他子系统进行通信。

5 结论

该级间分离装置安全监控系统将网络延伸到机构各关键部位,综合反馈了试验机构安全所需的相关信息。该控制系统以运行安全可靠为前提,采用基于现场总线和网络化的开放式集散结构等成熟技术,实现了对设备运行状态远程监控,及时发现异常情况并报警、记录、紧急停车功能,能够满足级间分离试验对安全性和可靠性的要求。

同时,建立的数据信息管理系统,能够完成对监测数据的管理、查询、分析、故障经验支持,提供可能发生故障的原因,给出查找处理故障的方法和建议,为保障级间分离试验的顺利进行提供了有力的支持。

参考文献:

- [1] 杨胜江,刘超逸. 美国高超声速飞行器级间分离控制技术[J]. 飞航导弹, 2014(11): 34-42.
- [2] 赵伟鹏. 分离试验台设计与级间分离过程仿真研究[D]. 沈阳: 哈尔滨工程大学机电工程学院, 2019.
- [3] 周凌青,胡永祥,姚振强. 基于 LabVIEW 和 CompactRIO 平台的数控机床实时信号监测系统的开发[J]. 组合机床与自动化加工技术, 2016, 10(10): 83-86.
- [4] 周宇浩,李晓健,张成龙,等. 基于 CompactRIO 的真空断路器机械特性在线监测系统的设计[J]. 实验室研究与探索, 2015, 34(3): 137-141.
- [5] 刘奇. 0.6 米×0.6 米风洞级间分离与网格测力试验设计[D]. 重庆: 重庆大学光电工程学院, 2015.