文章编号:1671-4598(2026)07-0133-07 DOI:10.16526/j.cnki.11-4762/tp.2026.07.017 中图分类号:TP273 文献标识码:A

基于国产 PLC 的偏二甲肼废气处理控制系统设计与实现

刘杰强[1,2]，张 显[1,2]，刘宝书[1,2]，唐 琰[3]
（1. 北京东方计量测试研究所，北京 100094；2. 国家市场监督管理总局 重点实验室（空间计量技术），北京 100094；3. 中国人民解放军 63601 部队，甘肃 酒泉 732750）

摘要：针对偏二甲肼废气处理控制系统依靠国外 PLC 设备导致自主性差、运维成本高等问题，对基于国产 PLC 的偏二甲肼废气处理控制系统进行了研究；构建了涵盖国产传感装置、执行组件及基于麒麟操作系统自主研发软件的完整控制架构，并在航天发射场进行应用验证；采用模块化和分层设计，开发了具备数据采集、工序控制、故障联锁等功能的 PLC 控制程序和集监测、控制、管理于一体的上位机监控软件；经实验验证，系统通过全部功能测试，可实时精准处理流量、压力、温度等多类信号，可靠执行各类控制指令与故障联锁；经航天发射场实际应用验证，系统运行稳定、可靠且高效，满足工艺要求，成功实现了偏二甲肼废气处理系统软硬件的全国产化替代，为有毒及有害气体的安全处置提供了一种可供参考的解决办法。

关键词：偏二甲肼；废气处理；控制系统；国产 PLC；推进剂

Design and Implementation on the UDMH Exhaust Gas Treatment Control System Based on Domestic PLC

LIU Jieqiang[1,2], ZHANG Xian[1,2], LIU Baoshu[1,2], TANG Yan[3]
(1. Beijing Orient Institute of Measurement & Test, Beijing 100094, China;
2. Key Laboratory of Spatial Measurement Technology, State Administration for Market Regulation, Beijing 100094, China; 3. Unit 63601 of PLA, Jiuquan 732750, China)

Abstract: To address the issues of low autonomy and high operational costs relied on foreign PLC equipment in traditional unsymmetrical dimethylhydrazine (UDMH) exhaust gas treatment control systems, research was conducted on a domestically developed PLC-based UDMH exhaust gas treatment control system. A comprehensive control architecture was established, incorporating domestic sensing devices, execution components, and self-developed software based on the Kylin operating system, and was applied and verified at the aerospace launch site. By adopting modular and layered design, a PLC control program with functions such as data acquisition, process control, and fault interlocking was developed, along with an upper computer monitoring software integrating detection, control, and management. Experimental verification confirms that, the system passes all functional tests, accurately processes signals such as flow, pressure, and temperature in real time, and reliably executes control commands and fault interlocking. Application verification at space launch sites shows that, the system operates stably and efficiently, meets process requirements, achieves the domestic localization of software and hardware in the UDMH exhaust gas treatment system, and provides a reference solution for the safe treatment of toxic and hazardous gases.

Keywords: UDMH; exhaust gas treatment; control system; domestic PLC; propellant

0 引言

作为航天发射领域常用推进剂之一，偏二甲肼归为第三类有毒物质。在航天发射的多个环节，不可避免地产生偏二甲肼废气，其废气处理效果及安全保障对生态保护与人员健康均有重要意义[1-3]。一旦处置措施不到

收稿日期:2026-02-07； **修回日期**:2026-04-07。

作者简介:刘杰强(1985-),男,硕士,高级工程师。

引用格式:刘杰强,张 显,刘宝书,等.基于国产 PLC 的偏二甲肼废气处理控制系统设计与实现[J].计算机测量与控制,2026,34(7):133-139.

位，会给大气环境及人员身体健康带来极大损害，已成为影响航天发射场绿色安全运维的难题之一[4-5]。目前，针对偏二甲肼废气处理方法的研究已较为广泛，主要包括燃烧法、水吸收法、溶液中和法、活性炭吸附处理法、高空排放法、催化氧化法[6]以及一些新型处理技术[7-11]。然而常规处理工艺在应对高浓度毒害气体时，处理效能有待提升，难以满足严苛的排放标准要求，可能导致部分污染物残留并产生二次污染物（如废水、废渣等），对环境和健康构成威胁[12]。与之不同的是，燃烧法借助热力燃烧或催化燃烧的方法对废气进行处理，具有去除率高、处理速度快、设备灵活机动、成本较低等优点，特别契合航天发射场试验工位分散、工作间歇的特点[13]，成为该领域的一个研究方向[14]。

现有航天发射场偏二甲肼废气处理控制系统多采用进口 PLC 搭建，尽管其功能和效能已达到应用标准，然而在实际应用中仍面临关键技术依赖外部产品、运维成本高、响应迟缓等状况，难以满足航天装备国产化的战略发展需求[15-17]。面对这些挑战，国产 PLC 技术水平实现了飞跃性提升，以中电智能、中控技术、汇川等为代表的 PLC 产品已具备替代进口同类产品的能力，为偏二甲肼废气处理控制系统的国产化提供了关键技术支撑[18-22]。

为实现偏二甲肼废气处理系统的完全国产化，本文基于中控 ZC-1300 系列 PLC，设计并实现了一套具备数据采集、工序控制、故障联锁等功能的 PLC 控制程序和集监测、控制、管理于一体的上位机监控软件，并在航天发射场进行了相应的测试验证。验证结果表明，系统满足航天发射场偏二甲肼废气处理的工艺要求，为同类型工业控制系统的国产化替代提供了可行参考案例。

1 总体设计

1.1 系统架构设计

偏二甲肼废气处理系统主要由化工处理本体、各类控制阀门、传感器、PLC 控制柜及控制台组成，其架构设计如图 1 所示。其中，化工处理本体包含燃烧炉、煤油储罐、点火器、主油泵、风机；传感器涵盖涡街流量计、温度传感器、压力表及传感变送器、在线浓度监测装置、液位计等，用于实现现场参数的全面采集。废气处理控制柜通过数字量输入/输出模块、模拟量输入/输出模块与各组件进行信息交互，其中数字量输入反馈气动阀、电磁阀开关到位和主油泵、风机的运行、故障等信号，数字量输出控制气动阀开关、电磁阀开关、风机启停等，模拟量输入反馈温度、压力、流量、风机频率、调节阀开度等信号，模拟量输出设定风机频率、调节阀开度等。

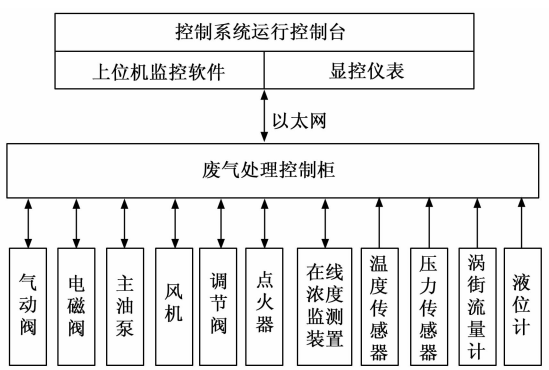

图 1 系统架构图

1.2 网络架构设计

系统主要包括主机架、分布式 IO、现场设备、控制台、工控机、服务器以及交换机，其网络架构如图 2 所示。为了提升系统的可靠性，对 CPU、电源、通信网络及输入输出模块进行了冗余设计。

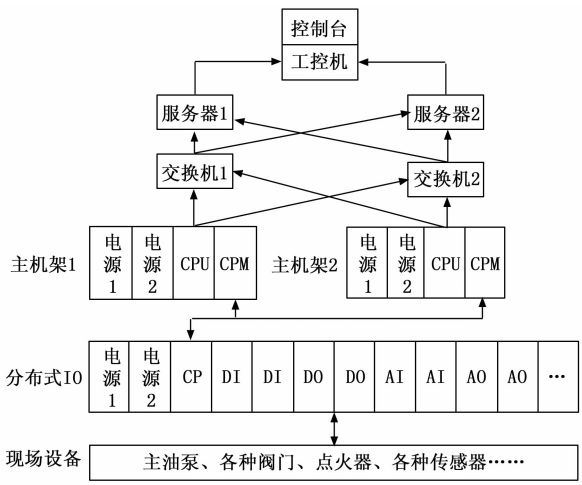

图 2 系统网络架构图

系统采用上下位机控制模式，PLC 作为下位机负责现场控制，工控机作为上位机负责监控和管理。监控设备与执行组件通过标准总线把采集到的信号传送至 PLC，PLC 再通过交换机将信号传至上位机，形成完整的信号传输链路。两组服务器、交换机、CPU 构建了多种独立的通信链路，确保系统可靠运行。系统支持远程控制与状态监视，可实现无人值守与远程运维。

1.3 系统接口设计

系统中各信号的可靠传输依赖于完备的接口设计，接口主要包括两类：PLC 与现场设备间的硬件接口，以及 PLC 控制软件与上位机监控软件之间的信息接口。两类接口相互协作，共同确保系统信号传输和数据交互的准确性和稳定性，为系统整个流程管控提供基础支撑。

PLC 与现场设备的硬件接口包括各类开关量、模拟量输入输出信号。对于输入信号，通过继电器、安全栅等接入 PLC 相应的模块；对于输出信号，通过切换继电器的常开触点传送至现场设备，实现对现场执行机

构的精准控制。

PLC 控制软件与上位机监控软件之间通过标准化交换数据表实现高效数据交互，数据表中明确规定了通信变量、数据格式、传输频率及其具体意义，以此确保数据交互的准确性与一致性。

PLC 内部处理的控制命令主要分为两类：一类是上位机监控软件下发的启动、停止、吹扫等指令；另一类是 PLC 自动生成的运行状态、故障状态、工序阶段等进程标志，这类指令与相关标识协同运作，为工艺流程的有序进行及逻辑控制提供了可靠保障。

2　硬件设计

2.1　PLC 产品选型

控制系统核心 PLC 选用浙江中控的 ZC-1300 系列 PLC，为国产品牌，性能指标不低于西门子 S7-300 系列 PLC。模拟量、开关量等通道保留 25%以上的余量，满足系统扩展、设备升级及故障冗余需求，适配系统长期稳定运行。

浙江中控 ZC 系列由中控研究院对标国际主流品牌研制的 100%国产化可编程系统，具有完全自主知识产权；其自主研制的 ECN 工业实时以太网总线，在 EPA 协议标准和现有 ECN 总线基础上，进一步提升了 ECN 总线的扩展性、实时性、可靠性和安全性，实现网络全国产化。中控 ZC-1300 系列产品与西门子 S7-300 系列产品指标对比如表 1 所示。

表 1　浙江中控与西门子 PLC 参数对比表

对比型号	ZC-1300	S7-315-2DP
国产化程度	100%国产化	进口品牌
总线	自主协议 ECN	PROFIBUS
单机架	支持	支持
处理器	双核 64 位	单核 32 位
I/O 点位	5 000	2 048
字指令执行时间	4 ns	90 ns
备份冗余	支持	不支持
组态开发环境	IL、ST、LD 等	LAD、FBD 等
支持平台	麒麟、Windows	Windows
工作温度	－40～65 ℃	0～60 ℃

2.2　PLC 控制柜设计

PLC 废气处理系统控制柜内包括主机架、分布式 IO 机架、空气开关、开关电源、数字量输入输出模块、模拟量输入输出模块、冗余模块、模拟量输入输出光栅、接触器、继电器、变频器等。

主机架与分布式 IO 机架是组成控制系统的核心，负责气动阀与电磁阀开关、油泵启停、风机启停与速度控制，调节阀开度控制，温度、压力、液位的模拟量处理。仪表、设备供电通过空气开关，确保设备检修、调试、运行阶段安全可靠。开关电源将 AC 220 V 转换成 DC 24 V，冗余模块负责开关电源冗余互备，提升电源的可靠性。模拟量输入输出光栅可对干扰、雷击的隔离处理，确保模拟量采集模块的安全。数字量输出模块带载能力弱，通过中间继电器控制外部设备可避开带载和电压不同的问题。通过变频器的 VF 模式可实现风机的无级调速，更灵活调整风机的风量，使系统的可控性更高。

2.3　PLC 模块配置设计

根据偏二甲肼废气处理工艺流程，对 PLC 点位进行分配设计，并对 IO 进行余量设计，点位需求如表 2 所示。

表 2　PLC 点位需求表

类型	使用点位数	备用点位数	配置点位数
DI	49	15	64
DO	27	37	64
AI	32	0	32
AO	10	6	16
合计	118	58	176

由表 2 可知，系统共需 64 个 DI 点位、64 个 DO 点位、32 个 AI 点位和 16 个 AO 点位。根据点位需求分析，对 PLC 模块进行选型配置，具体配置表如表 3 所示。

表 3　PLC 模块配置表

模块	型号	数量(块)
PLC-电源	PS132C-1	6
PLC-CPU	CPU1311-1	2
PLC-CPM	CPM1300-1	2
PLC-CP	CP1300-1	1
PLC-DI	DI1332-1	2
PLC-DO	DO1332-1	2
PLC-AI	AI1316-3	2
PLC-AO	AO1308-1	2
PLC-CM	CM1301-2	1
PLC-CM	CM1302-1S	1
PLC 底板	CMB1304-2	1
PLC 底板	CMB1312-1	1

3　软件设计

系统开发以麒麟操作系统为运行平台，采用监控组态类工具 icsView 和可编程控制器类工具 icsProg，调试阶段通过 icsProg 工具完成。系统的应用程序主要由监控组态类程序与可编程控制类程序构成，涵盖了 PLC 控制程序及上位机监控软件。

icsView 监控组态软件是数据采集与过程控制的专用软件，用于上位机可视化图形组态，实现数据、报警可视化以及人机交互操作，可单独使用，或与 PLC 系统配套使用；可应用于自动控制系统监控层，使用灵活的组态方式为用户提供快速构建自动化控制系统监控功

能的通用组态软件；软件基于 Linux 系统开发，兼容 Windows、Unix 等操作系统，由工程管理系统、变量管理系统、图形系统、报警系统、趋势记录系统、事件记录系统、报表系统、安全管理系统等组成[23]。

icsProg 编程组态软件基于跨平台操作系统，全部功能完全国产化，做到代码级国产化；支持符合 IEC61131-3 规范的 IL 语言、ST 语言、LD 语言、FBD 语言、SFC 语言和扩展的 CFC 语言及程序调试，支持 PLC 仿真运行调试；支持基本数据类型和数组、结构化数据类型等复杂数据类型，拥有功能全面的变量及变量编辑功能，支持多站管理、多站开发、在线监视、在线调试、离线仿真、库管理等功能，满足各类组态编程需求[24]。

3.1 PLC 控制软件设计

PLC 是控制系统的关键控制部件，通过 CPU 模块的以太网接口与上位机连接。PLC 控制软件部署于偏二甲肼废气系统控制器上，在上位机的统一调度下完成全部控制任务，通过双向交互实现系统的全流程管控。

PLC 控制软件由初始化、数据采集、自检和氮气吹扫、报警和故障联锁、预处理、正常处理、转等待处理、停炉、系统仿真、手/自动输出、串口通信等模块组成，其数据处理流程如图 3 所示。PLC 接收上位机的控制命令和参数装订，完成系统所有工序的监测和控制任务，实时对系统废气流量、一次风流量、压力等参数进行超限报警，并检测关键设备的状态反馈，及时执行故障联锁处置。

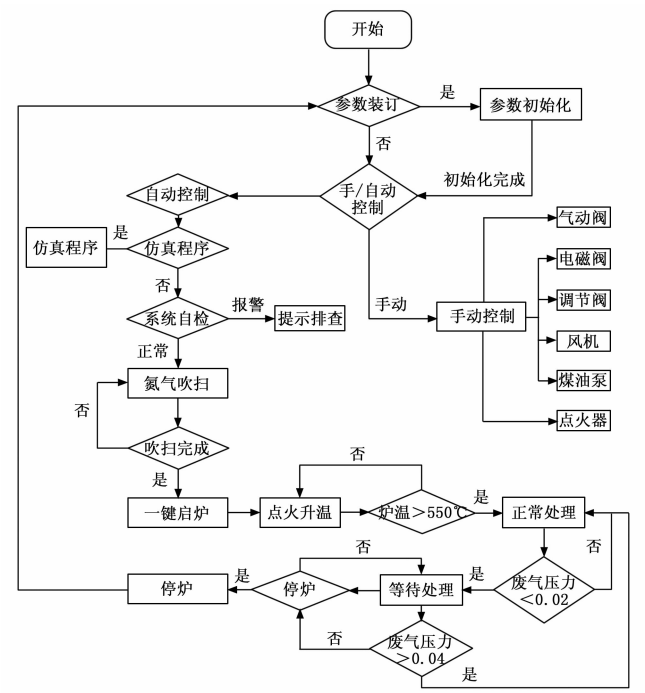

图 3 PLC 控制软件数据处理流程图

PLC 控制软件在 icsProg 编程环境中用 ST、LD 编程语言进行编制，应用程序由多个功能单一的子程序模块组成，包括函数、功能块、主程序块和循环任务块等，各模块设计避免复杂的条件判断和跳转，确保程序运行可靠。开发完成后，控制软件通过编程线下载到 CPU 模块存储器中。

组态软件与编程软件为系统软件研发提供了可靠的工具支撑，PLC 控制软件作为系统现场控制的核心，直接决定了废气处理工序的有序推进与设备运行安全，其核心功能涵盖多方面：实时采集温度、压力、流量、阀位、设备状态、手/自动设置等各类测量及控制点的数字与模拟量信号，全面监测现场工况；解析并执行上位机下发的控制指令，保障工序执行，同时反馈运行数据，实现上下位机协同管控；对燃烧炉进行全方位保护，异常时触发故障联锁停炉机制，并对设备故障、参数超限等情况及时报警。

3.2 上位机监控软件设计

上位机监控软件运行于工控机上，操作系统为麒麟银河 V10 国防版，组态软件为 icsView-银河麒麟飞腾-V2.1。上位机运行 icsView 组态软件，主要完成废气处理任务中各设备状态监视、参数装订和控制指令下发。

3.2.1 软件架构设计

上位机监控软件基于组态软件开发，采用 B/S 架构，支持多用户访问，运行稳定可靠，人机交互界面友好直观，操作简单易懂。软件采用分层架构设计，自上而下分为数据层、处理层和应用层。

数据层与在线浓度监测装置和 PLC 控制软件通信，接收气体浓度数据与设备状态信息，并存储至数据库中。数据内容包括偏二甲肼浓度、设备运行状态等。

处理层接收数据层传递的气体浓度数据，进行实时分析处理，判断是否触发报警，支持气体探头检测参数和报警参数的修改与设定；实现联锁控制、浓度报警限值设置、故障诊断、操作记录查询、历史数据归档、作业管理等功能。处理设备故障（包括 PLC 系统本身故障或状态参数超过限定值）时，发出报警信号，并将故障参数或异常状态参数、正常情况下的参数范围或对照值、报警信息、报警时间在上位机上记录并显示。

应用层实现对检测探头参数设置、监视与实时展示，显示控制系统整体运行状态，完成设备控制与状态展示，并提供设备故障查看、故障报警提示、操作日志查询、数据分析与保存、数据趋势曲线展示等功能，为操作人员提供直观的操作与监控界面。

3.2.2 软件功能设计

上位机监控软件具备全面的偏二甲肼废气处理功能，包括参数修改与装订、氮气吹扫、燃烧炉启停等控制指令下发，实现废气流量和风流量的调节，并具备故

障应急处置、全工况仿真、工艺流程动态显示、设备状态与故障信息记录、数据查询及模拟量参数趋势曲线展示等功能，全面支撑操作人员的监控操作、故障处置与数据分析。

上位机监控软件功能划分为监测管理、控制管理、故障管理、趋势曲线、报警管理、数据管理、系统管理七大模块，各个功能包括多个子功能，组成如图 4 所示。

1）控制管理模块设计：

控制管理模块通过 Modbus 标准协议将控制指令下发至 PLC，实现对现场设备的精准控制，如燃烧炉运行参数、尾气阈值、流量调节参数、氮气吹扫命令等。模块通过传感器实时采集现场数据，利用数据处理和分析技术确定系统最佳工作条件，并通过 PLC 自动调整设备参数，实现系统最优运行。同时，模块提供人性化的用户界面，允许操作人员实时监控与手动干预，提供一键启炉等便捷的手动控制功能，有效提高系统的运行效率和用户操作体验。

2）监测管理模块设计：

监测管理模块通过图形化界面为用户提供直观、全面的监控信息，实时监测在线浓度监测系统、风机等现场设备的运行状态及安全状况，涵盖废气浓度监测、声光报警器、控制柜、控制台等设备状态监测信息。

状态监测功能可实时监测燃烧炉、油泵、点火器、风机、流量计、煤油罐、分气缸和各控制阀等设备，以及各类压力、废气流量、风流量、温度、调节阀开度等模拟量参数，并全面实时监控煤油电磁阀及相关管道运行状态，确保操作人员及时掌握现场工况。

3）故障管理模块设计：

故障管理模块实时显示和记录系统故障，具备软件异常检测、故障定位、故障报警、故障数据查看、存储、导出等功能，包括实时故障管理和历史故障管理两个子模块，为故障处置和分析提供支持。

实时故障管理子模块可实时显示系统中出现的故障信息，包括提供实时故障显示列表、提供多种条件查询实时故障数据、出现故障时在界面上弹窗告警、支持多种格式的故障信息导出等。历史故障管理子模块提供关于故障记录内容的相关操作，包括关键字查询、多种格式文件导出等。

4）趋势曲线模块设计：

趋势曲线模块通过绘制曲线直观展示系统各类数据随时间变化趋势，分为实时趋势曲线和历史趋势曲线两个子模块。

实时趋势曲线子模块可实时接收现场采集的数据，并展示当前数据的变化情况，便于操作人员观察最新的数据变化动态，快速响应和处理异常情况，实时掌握系统运行状态，包括通过不同颜色或线条同时展示多个变量数据变化、支持动态刷新数据、支持曲线缩放和平移、支持设置参数阈值、支持图片或 Excel 格式文件导出。同时，实时趋势曲线支持趋势分析功能，可预测未来的数据变化规律，为工作人员决策提供支持。

历史趋势曲线子模块用于查看过去某一时间段的数据变化情况，可从数据库中查询相关历史数据，并以二维曲线的形式进行展示，便于工作人员直观观察变量随时间的变化趋势，追溯系统运行历史，开展性能分析。

5）报警管理模块设计：

报警管理功能根据系统数据和分析结果设置报警阈值，数据超过设定阈值时立即发出报警通知，支持弹窗提醒、声光报警等多种报警方式，确保操作人员及时获取系统报警情况。不同级别的报警信号在所有操作员站同步接收，未确认报警将持续保持指示灯亮起状态，直至操作人员确认处置。报警管理模块主要包括实时报警管理和报警记录管理两个子模块。

实时报警管理子模块实时监测控制系统数据，报警产生时立即发出报警通知，并在实时报警页面中显示报警时间、类型、参数、位置等详细信息，便于操作人员快速处置。

报警记录管理子模块全面记录系统所有警报及其相关详细信息，包括报警时间、报警内容、处置时间、操作人员等，便于后续查看报警历史、开展数据分析。

6）数据管理模块设计：

数据管理模块实现系统数据的实时显示和历史数据管理，实时记录系统状态参数及其变化时间，提供历史数据记录功能，设置专门的历史数据查阅界面，可根据查询结果绘制数据变化趋势曲线。数据管理模块主要包括实时数据管理和历史数据管理两个子模块。

实时数据管理子模块以列表形式实时显示系统数据，包括气体浓

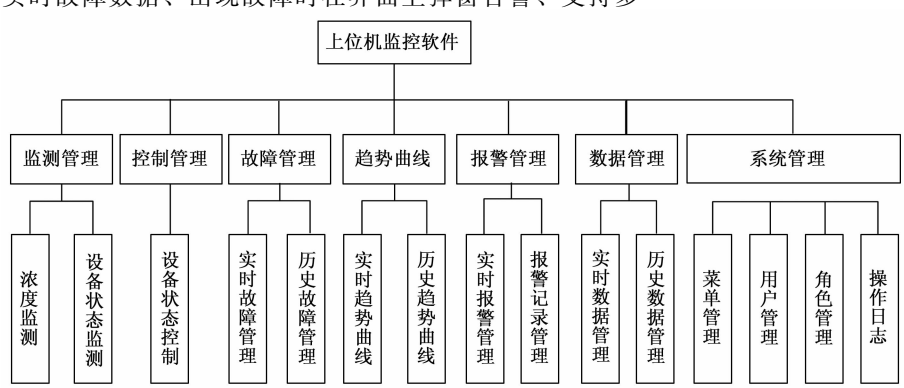

图 4　上位机监控软件功能组成图

度数据、风机运行状态、工艺参数等，便于操作人员及时、全面掌握系统实时运行情况。

历史数据管理子模块支持历史数据进行查询、导出等操作，便于操作人员掌握系统历史运行情况、开展性能分析和数据追溯。

7）系统管理模块设计：

系统管理模块是对上位机监控软件进行全面管理和控制的核心模块，软件调试完成后将相关配置固化至上位机。模块实现权限管控功能，未授权人员无法进行上传、下载、修改等关键操作，也无法进行画面操作、信息查询、参数设置等操作，确保软件稳定运行和数据安全。模块包括菜单管理、用户管理、角色管理、操作日志、帮助文档等功能子模块。菜单管理子模块支持管理员自定义编辑菜单目录结构，采用结构化设计使操作人员可快速定位所需功能模块。用户管理子模块支持新增用户信息，管理员或具备相应权限的操作人员修改已有用户信息；管理员可根据实际管理需要为不同操作人员分配不同权限，以确保系统访问和数据安全，且可随着操作人员岗位或角色变化及时调整其相应权限。角色管理子模块用于管理和控制用户权限，通过将不同权限和职责分配给特定角色，每个角色具有不同的权限集合。操作日志子模块实时记录软件所有操作信息。帮助文档子模块将系统使用手册、维护手册等文档内嵌至软件中，便于为操作人员提供详细的使用指导、故障排除方法和软件配置建议，同时支持下载、上传文档到本地文件系统中。

3.2.3 界面设计准则

上位机监控软件界面是操作人员与系统信息交互最频繁、最直接的“窗口”。为提升操作人员对系统的认知度、执行效率，以及提升指令、数据交互效率，结合操作现场实际需求，界面设计遵循人因工程学的基本原则。

针对偏二甲肼废气处理工艺要求和实时监控报警时效性要求，建立基于色彩心理学和带有明显航天元素的视觉布局体系，图文并茂，界面的基本底色是蓝色。除了基本的文字描述外，通过不同色彩标识不同状态。如红色表示紧急报警，且持续闪烁，确保操作人员在第一时间获取异常信息；黄色表示预警信息，提示操作人员需关注该条信息；白色表示正常信息。对于偏二甲肼废气处理工艺中的关键工艺参数，字体统一设定为 24 pt，与辅助信息的 18 pt 形成显著层级区分，操作人员在 2 米外距离可清晰辨认。

对于界面布局，符合人因工程学中的“扫视”理论，操作人员在主控界面中定位任一关键异常信息时间不超过 3 秒。界面左侧设计导航树，按照系统实现功能需求组织操作列表，符合操作员的设想；底部按照废气处理工序设计操作流程；中央画布区可通过二维或者三维形式展示系统运行的整体状态，包括组态化图形展示实时数据、异常数据差异化显示等。

针对燃烧炉启停、关键参数修改、报警解除、用户删除等高风险操作，要求操作人员进行二次确认，以避免出现误操作。

4 实验结果与分析

为验证软硬件系统是否满足实际应用需求，确保系统可靠性和稳定性，对 PLC 控制软件和上位机监控软件开展了各阀门功能测试、全工序功能测试。

4.1 阀门功能测试

对气动阀，通过手动控制打开和关闭，检查开关限位是否到位，回讯信号是否正常。对电磁阀，手动控制打开和关闭，检查点火情况，若点火正常则说明电磁阀工作正常。

对 4 个气动调节阀，手动按照 0%、25%、50%、75%、100%五个阶段输入阀门开度比例，依次比对反馈开度，死区控制在 2%以内，若超过 2%，则依次进行校准，其测量结果如图 5 所示，测试结果显示死区都控制在 2%以内。

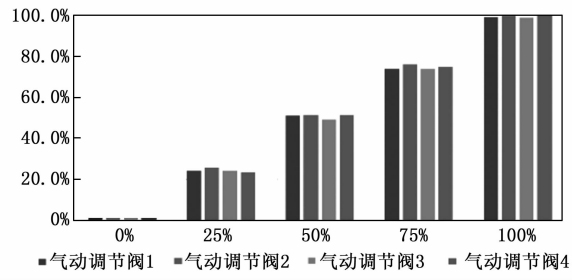

图 5 不同开度设定值下气动调节阀测量值图

对两个电动调节阀，手动按照 0%、25%、50%、75%、100%五个阶段输入阀门开度比例，依次比对反馈开度，死区控制在 1%以内，若超过 1%，则进行限位校准和零点校准，其测量结果如图 6 所示，测试结果显示死区都控制在 1%以内。

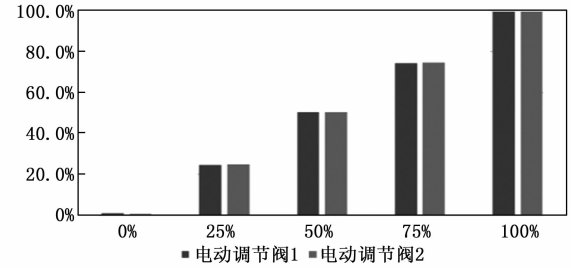

图 6 不同开度设定值下电动调节阀测量值图

经全面测试，各阀门功能性能正常，满足指标要求。

4.2 全工序功能测试

全工序功能测试包括氮气吹扫、点火升温、等待处理、等待处理转正常处理、停炉、紧急停炉等工序操

作，以及报警功能、故障联锁、状态变量记录、曲线趋势记录等核心功能。系统流程显示运行效果如图 7 所示。针对全工序功能测试，设计并使用 31 例测试用例，全部用例均通过验证，功能性能符合设计指标；其中最大废气处理流量比原系统提升了 44%。

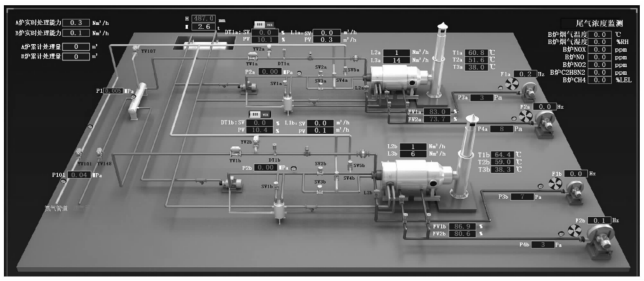

图 7　软件运行界面效果图

此外，为了全面验证系统的稳定性与可靠性，对系统进行了连续 7 天的测试验证，覆盖了全部工况，功能性能正常，满足发射场实际使用需求。

实验结果表明，系统各项功能满足偏二甲肼废气处理的工艺要求，运行安全、稳定、可靠，达到废气排放相关标准要求，可以替代原有控制系统。

5　结束语

本文设计并实现了一套基于国产 ZC-1300 系列 PLC 的偏二甲肼废气处理控制系统。通过总体设计、硬件配置、软件研发及实验验证，表明系统在硬件选型、软件研发、网络通信等方面实现了全流程国产化，核心器件、总线协议、控制算法均采用国产化技术，具备高可靠性、强实时性与良好扩展性。在航天发射场实际应用结果表明，系统安全、稳定、高效地满足航天发射场偏二甲肼废气处理的各项工艺要求，为推进剂废气处理系统的国产化替代和安全可控提供了可行的参考案例。

虽然系统取得了良好的应用效果，但在智能化方面存在优化改进空间，后续可借助人工智能算法进一步优化工艺参数和预测设备的健康度，同时可将应用场景从航天领域拓展至化工、国防等其他领域的有毒有害气体处理，以提升系统推广价值。

参考文献：

[1] 杨丹奇，卓丹晨，吴润生，等. NTO/UDMH 燃烧机理构建与着火特性分析 [J]. 火箭推进，2024，50 (5)：82 - 95.

[2] 王　鹏，徐圣法，刘杰强，等. 基于 ARIMA 模型的环境监测系统设计与实现 [J]. 计算机测量与控制，2020，28 (11)：27 - 29.

[3] 尹　婷，聂万胜，何浩波. 偏二甲肼液滴燃烧特性及影响因素实验研究 [J]. 火箭推进，2014，40 (5)：30 - 35.

[4] 李佳雯，张　岩，谢东怡，等. 偏二甲肼事故的环境影响与污染处置技术综述 [J]. 防化研究，2025，4 (3)：14 - 19.

[5] 陈　通，耿　葵，韩俊杰，等. 液体推进剂事故应急处置方法 [J]. 化学推进剂与高分子材料，2022，20 (4)：26 - 31.

[6] 黎　波，黄智勇，胡继元. 偏二甲肼废气处理技术的研究现状与前景 [J]. 化学推进剂与高分子材料，2017，15 (3)：50 - 54.

[7] 焦振江，姚艳敏. 偏二甲肼废气液处理技术进展 [J]. 化学推进剂与高分子材料，2021，19 (2)：43 - 47.

[8] 耿安康. 催化氧化偏二甲肼废气技术研究与工程应用 [D]. 兰州：兰州大学，2019.

[9] 王修东，任向红，李少朋，等. 偏二甲肼废水处理技术研究进展 [J]. 火箭军工程大学学报，2025，39 (1)：122 - 126.

[10] 唐　琰. 航天发射场常规推进剂废气处理控制系统设计与实现 [D]. 哈尔滨：哈尔滨工业大学，2023.

[11] 李　强，王登可，谢竞生，等. 燃烧调节剂对高能固体推进剂高压燃烧性能的影响机制 [J]. 中国粉体技术，2026，32 (1)：168 - 175.

[12] 李艳强，卞龙启，刘立山. 废气处理系统的自动化与环保优化设计研究 [J]. 华东纸业，2024，7 (7)：35 - 37.

[13] 陈　帆，牛晓辙，佘彩青，等. 航天推进剂废气废液燃烧处理实验 [J]. 火箭推进，2019，45 (5)：91 - 95.

[14] 李　慧，庄　杰，谢龙，等. 液体推进剂废气处理系统设计 [J]. 生态与环境工程，2020 (2)：104 - 108.

[15] 林　浩，杨政厚，霍玉鲜. 国产 PLC 发展现状及展望 [J]. 电子技术应用，2023，49 (4)：21 - 26.

[16] 徐　震，周晓军，王利明，等. PLC 攻防关键技术研究进展 [J]. 信息安全学报，2019，4 (3)：48 - 69.

[17] 沈传兵，苏　杭，朱子勇. 基于 PLC 和 WinCC 的火箭发动机热真空试验控制系统 [J]. 火箭推进，2015，41 (3)：94 - 97.

[18] 闵晓霜，蒯　亮，房志奇，等. 国产高性能 PLC 综合测试平台设计 [J]. 电子技术应用，2023，49 (2)：141 - 144.

[19] 张伟明，张　超，刘晨旭，等. 基于国产 PLC 和进口 PLC 的模拟加注系统设计 [J]. 自动化应用，2025，66 (5)：1 - 5.

[20] 张　超，刘晨旭，张伟明，等. 基于国产 PLC 的高可靠加注控制系统应用研究 [J]. 现代信息科技，2024，8 (23)：19 - 25.

[21] 刘晨旭，黄传虎，马　达，等. 基于超御 PLC 的风力发电机主控设计与研究 [J]. 电子技术应用，2024，50 (10)：31 - 35.

[22] 陈　晨，朱　娜. 国产 PLC 在舰船损管监控系统设计中的应用 [J]. 船海工程，2020，49 (6)：63 - 66.

[23] Z-Control Tech. IcsView SCADA Platform [EB/OL]. https://www.z-control.cn/products_detail-53.html.

[24] Z-Control Tech. IcsProg Programming & Configuration Software Platform [EB/OL]. https://www.z-control.cn/products_detail-52.html.