

基于 PAC 的测控系统设计与实现

黄定卫, 赵新华, 赵建伟, 周崇阳, 黄晓飞

(西北核技术研究所, 西安 710024)

摘要: 为实现某化学分析测量仪器自动化测控需求, 设计并组建了一套基于工业计算机与可编程自动化控制器 (programmable automation controller, PAC) 的测控系统; 系统上位机通过以太网监控下位机的运行状态, 实时显示该仪器中电磁阀开关状态、温度、压力和流量等参数信息; 下位机按仪器流程需要设定控制程序, 实现对各单元设备的控制和数据采集; 并通过设计基于工作流程的数据结构、模块化开发和多线程等技术, 编制了系统测控软件; 系统具备工作流程定制、数据自动记录、自动报警和自动运行等功能, 成功与用于该仪器中; 经过多次实验验证和现场工作, 测控系统稳定可靠。

关键词: PAC; 控制程序; 测控系统; 多线程技术

Design and Realization of Measurement and Control System Based on PAC

Huang Dingwei, Zhao Xinhua, Zhao Jianwei, Zhou Chongyang, Huang Xiaofei

(Northwest Institute of Nuclear Technology, Xi'an 710024, China)

Abstract: In order to realize automatic measurement and control of a chemical instrument, a system of control and measurement based on an industrial computer and PAC (Programmable Automation Controller) is designed and set up. The state of lower computer is monitored by the upper computer through Ethernet, the upper computer shows the state of each value switch and the information of temperature, pressure and flow in the instrument. The measurement and control software based on modular development, data structure of workflow and multithreading technology is written. The system was designed to have functions of workflow customization, automatically alarming, automatically data recording, automatically running, and has been successfully used in chemical instrument. After many experiments and field work, the stability and reliability of the measurement and control system is stable and reliable.

Keywords: PAC; control procedures; measurement and control system; multithreading technology

0 引言

为了满足不断增长的机器和工业控制系统开发需求, 处于领先地位的自动化厂商开发出新一代的工业控制器, 即可编程自动化控制器 (Programmable Automation Controller, PAC), 该控制器结合了 PC 处理器、RAM 和软件的优势, 以及 PLC 固有的可靠性、坚固性和分布特性, 非常适合于工业环境, 具有可伸缩性, 易于维护和具有较低的发生故障时间等特性, 极大地满足了现代工业应用中愈来愈多的复杂需求。

某化学分析测量仪器, 运行过程中有以下需求: 1) 测量: 实时监测、跟踪并记录相关系统的状态参数; 2) 控制: 被控单元控制, 可定制控制时序, 按控制时序自动或交互控制方式完成系统操作。另外, 仪器分析测量过程时间较长, 要求系统能够无人值守及自动运行。针对该需求, 本文设计并实现了基于工业计算机和 PAC 的数据测量与控制系统。

1 硬件系统设计

1.1 系统组成

系统主要实现各传感单元 (如温度传感器、压力传感器等) 的数据采集及被控单元 (电磁阀、真空泵等) 的实时控制等功能。由于各监控单元电气参数并不相同, 并且工作过程中

各单元相对独立, 为减小各监控单元相互影响, 提高系统可靠性, 便于系统的装配与维修, 控制系统采用组件式结构进行设计, 即以 PAC 为核心, 基于 RS485 与 UDP 协议, 结合模拟量输入输出模块、继电器控制模块、数字 I/O 模块等组成系统, 如图 1 所示。

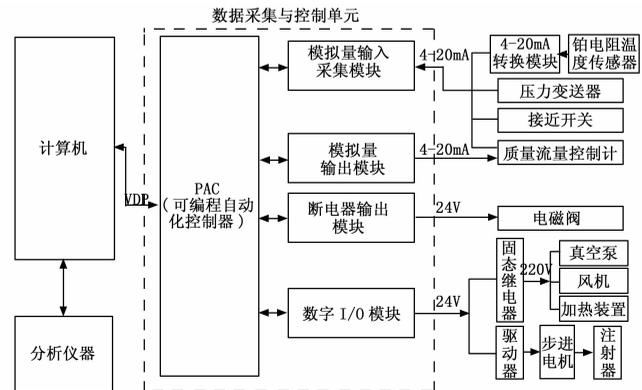


图 1 系统组成框图

数据采集与控制单元是整个测控系统的核心, 实现电磁阀开关状态、流量、温度、压力和接近开关等参数的监测, 并根据定制的工作流程或操作人员的需求对电磁阀的开关、加热装置、流量大小、真空泵运行以及步进电机的动作进行控制。系统采用可编程自动化控制器 (PAC) Advantech APAX-5520CE 进行开发, 模块均基于 WINCE6.0 操作系统, 具有集

收稿日期: 2015-04-30; 修回日期: 2015-06-02。

作者简介: 黄定卫 (1982-), 男, 重庆渝北人, 主要从事自动化控制和电子测量方向的研究。

成度高、稳定性和可靠性强的特点，且易于扩展和开发。通过 UDP 协议与上位计算机进行通讯，计算机端实现数据显示分析及控制命令的发送。

1.2 控制单元

1) 温控系统：

温控系统由加热器和温度传感器构成，温度传感器布于加热箱内，测量加热箱内的温度，系统根据测量温度和设定温度通过控制与加热器相连的固态继电器的通断实现对加热器的控制。

系统有多个加热装置，各装置加热器效率也不相同，并且每个控制点在流程中存在不同的目标温度。在低温段，加热器加热效率较高，温升比较快，系统超调比较大。而在高温段，受加热装置保温效果和周围环境温度影响比较大，加热器的加热效率比较低，温升比较慢，系统达到目标温度时间比较长，采用传统的 PID 控制并不合适。为解决此问题，系统采用自适应 PID 温控方法。根据控制系统的实际响应，不同温度分段设置 PID 参数，实现温控过程中 PID 参数的自适应调整^[1-4]。

2) 注射器控制：

注射器用作控制分析气体的体积，注射器的动作通过控制步进电机进行实现，步进电机的控制直接通过输出脉冲控制电机驱动部分进行实现。

由于注射器的实际运动行程大于系统有效行程，在运行过程中可能出现空转和超出行程的情况，容易引起电机故障及注射器非正常运行。为解决该问题，在注射器有效行程两端安装接近开关，当注射器达到指定位置时，接近开关信号给出到达信号，同时停止注射器的运行，保证注射器的正常准确运行。

3) 其他控制单元：

电磁阀、真空泵通过继电器模块进行控制，流量通过模拟量输出模块控制。

1.3 采集单元

对于整个系统的各监控量，可根据其电气参数，直接通过各模拟量输入模块进行采集，由 PAC 记录处理，也可将各监测量上传至 PC 中进行显示。

2 软件系统设计

软件系统是控制系统重要组成部分，承担数据采集、显示、存储、传输与流程编写、操作、运行等功能，且程序设计时应该考虑仪器运行的工作特点：

- 1) 按照气体运移过程进行操作，总体上是依据时间进程的顺序操作；
- 2) 气体运移的每个流程为一独立操作过程，在此期间严禁相关器件的操作。每个流程的终止及下一流程的开始依据时间、压力、温度等状态的变化满足条件；
- 3) 气体分离纯化过程周期长，期间大多无人操作，仪器运行过程中各参数的变化量需进行详细记录；
- 4) 气体运移的流程步骤大多基本固定，但调试过程中需做灵活调整，必要时进行大范围调整；
- 5) 测量单元独立运行，脱离上位机也可正常操作。

2.1 系统设计

依据仪器工作特点，系统软件设计分为两部分：仪器端的数据采集控制软件、上位机的监控软件。

1) 采集与控制软件：

数据采集控制软件采用 Microsoft Visual C# 进行开发，软件编制调试后可下载到 APAX-5520CE 的 Flash Rom 中。该部分软件开发包括各 I/O 模块通讯、数据处理与存储、工作时序设置、上位机通讯等。

2) 上位机监控软件：

上位机运行于 Windows XP 系统下，采用 Microsoft Visual C# 进行开发。该部分软件包括人机交互设计、数据通讯、数据处理与存储、安全设置、历史记录查询、报表打印等。人机交互分为工作状态监控与参数调整两部分，其中状态监控部分以系统气路为基础进行设计；参数调整部分可根据不同用户设计不同的操作权限，能够对工作时序，工作参数进行调整，可对不同的工作参数和时序进行记录，监控过程中可根据需要选取适用的参数和时序，工作时序可单步也可顺序自动执行，以便调试。监控过程中若拥有足够权限也可对控制元件进行单独控制和操作。

软件设计总的思路是设计合理的数据结构，以时间片作为驱动机制，以状态变化作为触发机制，上下位机独立工作，以通信控制字进行信息交换，如图 2 所示。

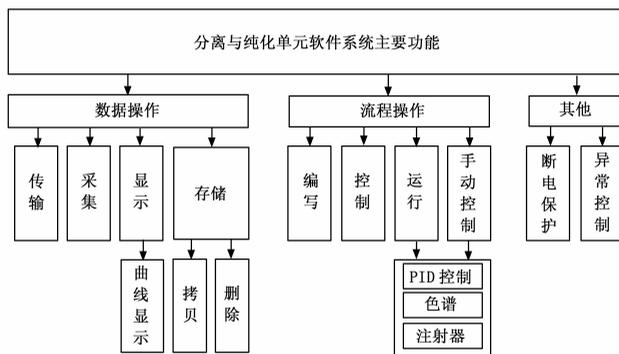


图 2 软件系统功能框图

2.2 软件设计技术

1) 模块化开发：

采用面向对象思想设计结构，按软件功能将程序分成独立模块，使程序编写更为灵活、容易扩展和维护。

2) 工作流程的数据结构设计：

为了实现工作流程的编写与运行，设计了合理清晰的数据结构，且由于工作流程在数据采集与控制单元执行，要求数据结构占用空间小、执行效率高、操作使用简单、结构清晰。因此将流程设计成若干时序，每一时序包含各被控单元的动作、结束条件等，流程按时序运行至结束。另外，在软件上行成流程二次开发平台（模块），操作人员可平台上定制系统工作流程，流程编写完成后，系统按指定流程自动运行。

3) 多线程技术：

由于系统运行中存在数据采集、IO 读写、网络传输、流程运行等多个任务，如果均在主线程中完成，会造成软件延迟假死、窗口消息循环阻塞等问题。因此对各任务分别创建独立线程进行管理，使系统能够及时响应各消息事件，保证软件正常运行^[5]。

4) 掉电自动恢复及温度保护等软件技术：

系统工作环境供电质量无法保证，可能出现断电情况。在

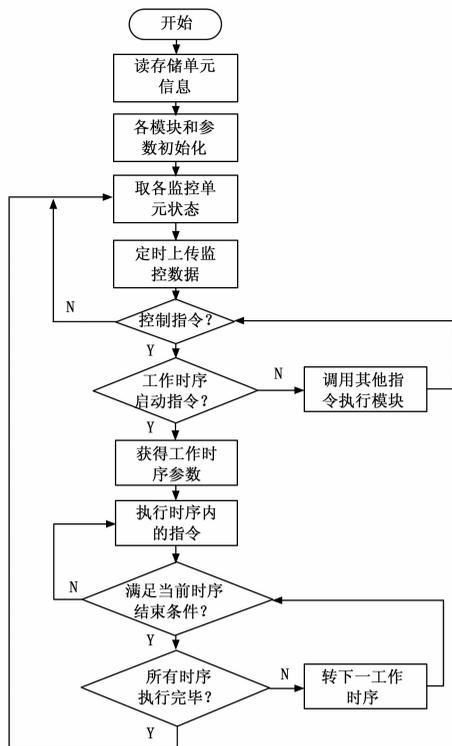


图 3 软件时序图

流程运行过程中, 软件可保存流程中间变量和状态, 系统断电恢复后可继续执行断电前执行的流程; 通过数字滤波技术, 即滤除异常数据, 保证数据的正确显示; 当程序出现异常、温度超过设定限值时或加热时温度数据不发生变化的情况时, 停止加热并终止流程, 并给出提示。

5) 容错设计:

系统设计中采用大量容错技术, 当流程运行时, 为防止误操作, 均给出提示信息。软件设计中采用互斥量的方法以保护被控单元, 如: 流程运行中对加热装置进行温控时, 不再响应

(上接第 2320 页)

表 2 报文参数工程涵义表

序号	参数	工程涵义	备注
1	RDA	ACMS 报头	ACMS 客户化参数
2	XXXXX	飞机尾号	飞机基本参数
3	100506	日期	飞机基本参数
4	0255	时间	飞机基本参数
5	1	1 号发动机减速异常	ACMS 客户化参数
6	0	2 号发动机减速正常	ACMS 客户化参数
7	0	1 号发动机加速正常	ACMS 客户化参数
8	0	2 号发动机加速正常	ACMS 客户化参数

4 结束语

目前, 上节所提到的 ACMS 报文已经作为标准被广泛用于 CFM56-7 世界机队的 HMU 设计缺陷监控。以国内某航空公司为例, 其对该报文设置了标准的处置方案“报文不过夜”, 即要求在接收到报文的当天有明确的处置方案。由于该报文的引入, 该航空公司 B737 飞机机队从未发生由于 HMU

手动控制对加热装置进行温控, 该方式可有效避免误操作而损坏被控单元, 干扰流程运行。

在监控界面中, 当前模式不能使用的操作按钮均处于无效状态, 除非能进入其有效操作模式。各控制单元和传感器均有不同量程限制, 若用户设定值超出其范围, 系统将会忽略用户操作并给出提示。

3 系统运用分析与结论

系统经过 500 多次运行考核, 共出现 2 次故障, 分别为温度传感器显示异常和数据采集异常, 故障发生后系统自动报警, 经检查发现异常原因分别为温度传感器损坏和数据采集模块松动, 进行相应修复后系统运行正常。仪器运行过程中, 测控系统可精确测量控制仪器分析测量过程中时间、流量、压力、温度等参数, 消除了人为操作失误环节, 能够自动记录和存储分析测量过程中各参数, 便于数据的分析与处理, 大大减轻了操作人员的工作强度。其组件式的设计方式, 减少了系统故障排除时间, 大大提高了系统的可维护性。

该化学仪器研制完成后, 参加了 2014 年在约旦举行的禁核试核查综合演练 (Integrated Field Exercise 2014, IFE14) 活动, 并成功运用。其中测控系统运行稳定、可靠, 能够长时间无人值守的稳定工作, 系统操作简单方便, 非技术人员简单培训即可实现控制与操作。

参考文献:

[1] 屈毅, 宁铎, 等. 基于模糊 PID 控制的温室控制系统 [J]. 计算机应用, 2009 (7): 248-251.
 [2] 李学军, 周元, 等. 基于三维模糊 PID 控制策略的水泥分解炉温度控制系统研究 [J]. 电子测量与仪器学报, 2009, 23 (10): 37-42.
 [3] 任一, 刘旺开, 等. 遗传算法模糊 PID 测控系统在环控试验台中的应用 [J]. 计算机测量与控制, 2012 (3): 690-693.
 [4] 李自强, 薛美盛. 用于 PID 参数自鉴定的性能指标仿真研究 [J]. 自动化与仪表, 2009 (2): 30-33.
 [5] 王永皎, 廖建军. Visual C# 2005 + SQL Server 2005 数据库开发与实例 [D]. 北京: 清华大学出版社, 2008.

的设计缺陷导致的发动机空中停车事件。

可见, ACMS 客户化编程技术的引入, 能够极大地提高航空公司的发动机状态监控和故障诊断水平, 方便航空公司日常的运营和维护工作, 最终提高飞机的利用率。

参考文献:

[1] Boeing. B737 Aircraft Maintenance Manual [Z].
 [2] Boeing. B777 Aircraft Condition Monitoring System Description Document [Z].
 [3] 徐爽, 王尔宝, 张希第. 客户化 ACMS 在引气系统的应用 [J]. 航空工程与维修, 2013, 261 (3): 57-58.
 [4] 黄加阳, 刘昕, 柏文华, 等. 民用飞机健康状态评估方法 [J]. 计算机测量与控制, 2014, 22 (10): 3526-3528.
 [5] 宋东, 屈娟, 陈杰. 基于数据挖掘技术的飞机故障诊断专家系统设计 [J]. 计算机测量与控制, 2012, 20 (10): 2603-2605.
 [6] CFMI. CFM56 Commercial Engine Service Memorandum 0015 [Z].
 [7] 张翹. A320 飞机引气系统的特点及故障分析 [J]. 航空工程与维修, 1999, 215 (5): 18-20.