

基于 PLC 和组态软件的螺杆压缩机组监控系统

Based PLC and Configuration Software for Supervisory System of Screw Compressor Station

金毅彬 庄明

Jin, Yibin Zhuang, Ming

摘要: HT-7U 低温系统是为保证 HT-7U 托卡马克全超导先进稳态可控核聚变实验装置的纵场和极向场超导磁体稳定运行提供冷量, 螺杆压缩机组是 HT-7U 低温系统的子系统之一。本文详细论述了基于 PLC 和组态软件的螺杆压缩机组监控系统, 给出了监控系统的硬件结构、控制思想、软件结构和实现的功能。

关键字: HT-7U; 监控系统; PLC; Controller Link 网络; 组态软件

中图分类号: TP273 **文献标识码:** B

文章编号: 1008-0570(2004)02-0003-02

Abstract: The HT-7U fully superconducting tokamak is an advanced steady-state plasma physics experimental device. The cryogenic system for HT-7U tokamak supplies the forced flow supercritical helium to cool down the 16 TF coils and 14 PF coils which are made of NbTi/Cu CICC and operate at 3.8K. Screw compressor station is a subsystem of HT-7U cryogenic system. The paper discusses the survey system of screw compressor station based on PLC and configuration software in detail. The hardware and software structure, control philosophy and functions of the survey system are presented.

Keywords: HT-7U; supervisory system; PLC; Controller Link network; configuration software

引言

HT-7U 超导托卡马克核聚变实验装置是中科院等离子体物理研究所承担的国家级大科学工程项目, 其目标是在装置上对建造稳态先进的托卡马克核聚变堆的前沿性物理问题开展探索性的实验研究。HT-7U 低温系统, 作为该项目中主要子系统之一, 是为 HT-7U 超导托卡马克的纵向和极向场超导磁体稳定运行提供冷量, 同时该系统的 2KW/4K 制冷机还用来生产液氦以满足其他实验及用户的需求。低温系统由三部分构成: 压缩机组、制冷机冷箱部分、托卡马克磁体冷却部分。采用 OMRON 公司的 CS1G CPU44 PLC 作为数据采集、控制回路、自动顺序操作和运算的主要设备, 其它测量监控设备为辅的方案, 实现了压缩机组的实时监测、自动控制和系统运行诊断, 满足了系统可靠性、稳定性和实时性的要求。

1 系统介绍

HT-7U 氦低温系统的压缩机组部分包括两级螺杆压缩机组、除油系统等设备, 其系统流程图见图 1。

压缩机组部分由低压级和高压级二级串联组成, 低压级为三台 LG25 II 型螺杆压缩机并联, 将氦气从 0.104Mpa(P0)压缩至 0.51Mpa(P1), 总的质量流量 250g/s; 高压级为两台 LG20 II 螺杆压缩机并联, 将氦气从 0.51Mpa(P1)压缩至 2Mpa(P2), 总的质量

流量超过 360g/s。压缩机组的作用是为制冷机的降温、回温、液化、制冷等各种运行模式提供需要的稳定压力和高纯度的氦气流量, 它对整个低温系统的稳定性和制冷机的工作效率至关重要。根据制冷机需要的氦气流量选择投入或停止压缩机的台数, 通过对螺杆压缩机能量滑阀和五个控制阀门的调节使 P0、P1、P2 稳定在要求的精度范围之内。螺杆压缩机组需要测量的工艺参数主要有: 压力、温度、差压、流量、液位、转速、真空度、气体纯度、阀门开度、电机电流、压缩机能量滑阀位置, 系统共有数字量输入 99 路, 模拟量输入 59 路, 数字量输出 59 路, 模拟量输出 6 路; 需要控制的主要过程有螺杆压缩机的启动、停车和安全运转, 压缩机油温的调节, 各设备故障时的处理等。

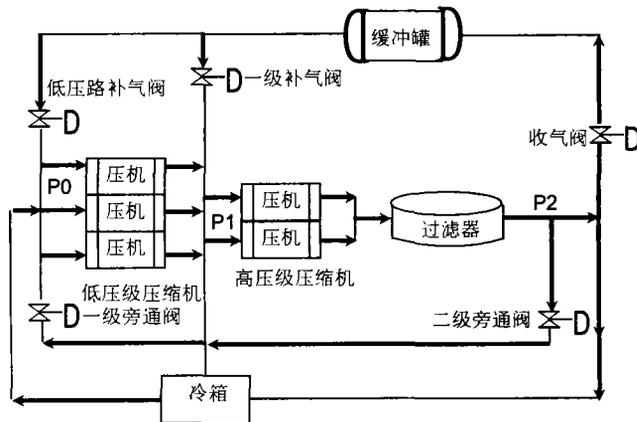


图 1 压缩机组系统流程图

2 监控系统硬件结构

压缩机组监控系统采用上位机和下位机组成, 压缩机组监控系统硬件结构图略可向作者索取。上位机使用两台研华工控机, 一台作为操作站实现整个系统的监控和数据检测, 另一台作为工程师站完成组态软件的设计和开发、PLC 程序的开发以及将软件通过串口传送至 PLC 的 CPU 单元。下位机采用功能强大、可靠性高、维护方便且抗干扰能力强的可编程控制器 OMRON CS1G-CPU44 PLC 实现压缩机组大多数参数的采集和控制, 一些不参与压力控制的参数如油吸附器压力、缓冲罐压力等信号由研华的 ADAN 数据采集模块采集, 并以串行数据的形式传送给上位机, 采用屏蔽电缆作为工控机串口与 PLC 和 ADAM 模块串行通信的介质。采用 ADAN 4520 RS485/232C 转换器是为解决 RS232C 的通讯距离短和干扰较大等问题。

监控系统的硬件配置为: 研华工控机, CPU 为 PIII 733, 操作站还扩展了 Controller Link 支持卡 3G8F5 CLK01-E, PLC 配置的模块有基本 I/O 单元; 3 块 16 点输入单元 ID212、6 块 16 点输出单元 OC225, 高密度 I/O 单元; 2 块 32 点输入单元 ID216, 特殊 I/O 单元; 4 块 8 路模拟量输入单元 AD003、1 块 8 路模拟量输出单元 DA004、3 块温度传感器单元 TS102, Controller Link 通讯单元 CS1W CLK21, ADAN 模块有 4 块 8 通道模块 ADAN 4017、2 块 3 通道模块 ADAN 4013 和 1 块 RS485/232 转换器

ADAN 4520。

表1 Controller Link 通信单元参数设置表

	CLK21	3G8F5 CLK01-E
单元号	0	无
节点号	2	1
波特率	2Mbps	2Mbps
终端开关	ON	ON
中断号	无	11
内存地址	CI01500~CI01524	C8000~C9FFF Hex

通过在现场级 PLC 的 Controller Link 线缆通信单元 CLK21 和操作站 ISA 插槽上扩展的通信单元 3G8F5-CLK01-E, 将上位机和下位机组成 Omron Controller Link 网络。OMRON 公司的 Controller Link 网络(控制器网)是 OMRON 主要的 FA(工厂自动化)级别的网络, 是一种使用令牌总线通信的网络, 网络中的每个节点都可作为主站进行数据的发送和接收, 通过设置数据链接节点间可以自动交换预置区域的数据。该网络中控制通信的节点称为令牌单元, 它控制令牌, 检查网络和执行相关的任务。这种总线型拓扑结构具有最大的灵活性, 易于扩充和维护, 满足了系统可扩展性要求。由于采用了分布式控制技术, 可确保 Controller Link 网络不会因某个站点故障而崩溃, 提高了系统的稳定性。本系统中采用屏蔽双绞线作为 Controller Link 网络的通信介质, 由于各节点距离小于 500m, 所以传输速率达 2Mbps, 可满足系统实时性要求。PLC 网络在完成物理连接后, 必须对进行必要的参数设置并建立路径表, 这是整个网络配置过程中最重要的部分。设置的参数包括通信单元的单元号、所在网络的节点号、I/O 表、数据链接等。只有在完成这些必要的工作后, 才能实现 PLC 网络的互连。本系统中 CLK21 和 3G8F5 CLK01-E 模块的参数设置见表 1。

3 监控软件结构设计

工业控制组态软件是可以从可编程控制器、各种数据采集卡等设备中实时采集数据、发出控制命令并监控系统运行是否正常的一种软件包, 组态软件能充分利用 Windows 强大的图形编辑功能, 以动画方式显示监控设备的运行状态, 方便地构成监控画面和实现控制功能, 并可以生成报表、历史数据库等, 为工业监控软件开发提供了便利的软件开发平台, 从整体上提高了工控软件的质量。北京亚控公司开发的 KingView 5.1 是运行在 Window98/NT 上的一种组态软件, 由工程浏览器 TouchMAK 和画面运行系统 TouchVIEW 两部分组成。TouchMAK 是 KingView 软件的核心部分和管理开发系统, 它的功能是建立动画显示窗口。通过它提供的工具箱可方便建立实时曲线图、历史趋势图和报警记录显示。TouchVIEW 是显示 TouchMAK 中建立的图形窗口的运行环境。在螺杆压缩机监控系统中, 工程师站可运行 TouchMAK 和 TouchVIEW, 而操作站只允许运行 TouchVIEW。图 2 是监控软件的结构。KingView 5.1 驱动程序通过 Controller Link 网络与 PLC 进行通信, 通过串口与 ADAN 模块进行通信, 分别访问相应的寄存器, 以获取压缩机现场各工艺参数的实际值或对现场的开关量和模拟量如各控制阀门的开度进行控制。本系统中将 PLC 的 DM0~DM199 设置为可读写区, 即上位机可对下位机该区域进行读写操作; 将 DM200~DM399 设置为只读区, 即上位机只能读出下位机该区域的值而不能改变。

螺杆压缩机站测量和控制系统上位机的组态软件基本实现了螺杆压缩机站测控的要求。简洁且形象的模拟了压机站的工艺流程, 操作人员能在中央控制室的计算机屏幕上了解压机站的全部运行状况, 包括各种报警。取得权限的操作人员能在中央控制室实现对任何一台压缩机单独操作或联机操作, 所有的自动与

半自动之间的切换都是无扰切换。每个控制按钮和每个自动与半自动切换按钮都有进一步的确认或取消, 防止误操作。

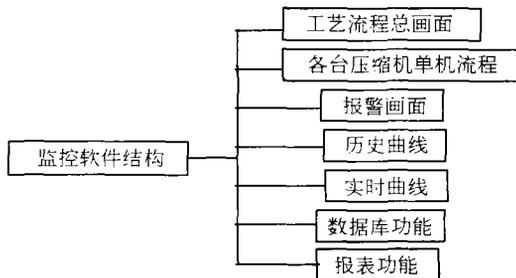


图2 监控软件结构图

4 控制系统设计思想

采用低压级和高压级二级串联的大型螺杆压缩机组系统在德国、日本和法国等国家有过成功例证, 在国内尚应用不多。这种系统的压力控制方法主要有二种: 一为前级控制, 二为后级控制。前级控制把压缩机进气压力作为控制依据, 这种方法使系统耦合减小, 但压缩机排气压力波动较大; 后级控制把压缩机排气压力作为控制依据, 压缩机排气压力控制精度高, 但系统耦合程度大, 系统实现复杂。螺杆压缩机依靠被称为能量滑阀的结构元件的增减载(由电磁换向阀的通断实现)来调节压缩机的容积流量。补气阀和收气阀调节系统中的气体流量。

压缩机控制系统要求在保证压力稳定的前提下, 提供给制冷机在各个工况下不同的气体流量, 所以压缩机控制系统首先要保持氦气循环系统的流量平衡; 同时要保证供气压力(二级压力)的稳定性。按照压缩机系统的结构体系, 将图 1 中 P0、P1、P2 分别单独进行控制, 然后形成串级控制, 这种控制方案可降低系统内部的耦合程度, 减少控制的复杂性。由于压缩机控制系统属于大滞后强耦合多变量过程控制系统, 控制系统的数学模型难以辨识, 调节各阀门开度的 PID 控制器参数采用凑试法整定。基于操作人员的手动控制经验, 采用模糊控制+专家控制+PID 控制的方案来实现系统的控制要求, 控制系统结构图略可向作者索取。

构造两个模糊控制器 Fuzzy Controller 1 和 Fuzzy Controller 2, 以 Fuzzy Controller 1 为例说明模糊控制器的设计。根据螺杆压缩机运行中积累的人工操作经验, 确定被控制量和控制量的模糊子集如下: E1、EC1、U1; {负向偏差大, 负向偏差中, 负向偏差小, 无偏差, 正向偏差小, 正向偏差中, 正向偏差大}, 简记为 {NB, NM, NS, ZO, PS, PM, PB}, 其中 E1 为低压级压缩机出口压力 P1 偏差, EC1 为 P1 偏差变化率, U 为电磁换向阀的通电时间。选取被控量与控制量的基本论域为 $e1: [-1, 1]; ec1: [-0.3, 0.3]; u1: [-10, 10]$, 其中 $u1$ 为负值表示能量滑阀减载, 正值表示增载, E1、EC1、U1 的隶属函数根据专家经验确定, 模糊推理采用 Mamdani 合成运算法, 反模糊运算采用 Centriod 法。

1) 压缩机启动和运行时需要不断的吸入氦气, 通过补气阀的 PID 调节使压缩机吸入的氦气压力 P0

维持在要求的精度之内。

2) 模糊控制+专家控制: 当压缩机启动建立压力后, 随着制冷机需气量的变化 P0、P1、P2 会发生变化。在压力偏差较大时, 使用设计的两个模糊控制器分别调节低压级压缩机和高压级压缩机的能量滑阀的位置, 从根本上使压缩机排出的气量与制冷机的需气量平衡, 此过程中为避免由于能量滑阀的动作滞后而导致压力波动太大, 根据专家经验分别给定两个旁通阀相应的开度, 将能量滑阀来不及转移的气量通过旁通转移, 随着能量滑阀的动作旁通阀的开度逐渐减小。

3) PID 控制: 压力偏差较小(设定一阈值)时, 由于滑阀存在机械死区, 需要采用旁通调节阀的精细调节来弥补(见第 55 页)

线程由运行在用户模式下的代码处理,因此切换线程(在CPU)的代价远不及切换线程的代价,因为线程模式并不需要在内核模式和用户模式中进行切换。现成调度由SQL SERVER完成,而线程调度由WINDOWS NT或者WINDOWS 2000操作系统完成。在线程模式下,SQL SERVER为每一个并发用户命令创建一个线程。而在进程模式中,SQL SERVER为一个CPU分配一个线程,并为每个并发用户命令创建一个线程。在一个线程中可以运行多个线程,而线程可以在线程中切换。

4.3 WEB 页面实时刷新:

4.3.1 让 WEB 页面自动刷新:

对于获取数据库数据的实时监控页面,在其ASP文件中用VBSCRIPT完成数据库的连接,查询和显示,然后在文件的开头添加HTML的REFRESH标记,并在CONTENT内加入该页面自动刷新的时间间隔,以秒为单位。在一次刷新中,整个文件重新执行一次到数据库的连接、查询和显示,只要数据库中对应的数据发生了变化,该页面就能将数据的变化反映给用户。

4.3.2 消除画面闪烁问题:

远程监控软件包括数据表格实时显示和流程图动态显示,不经处理的页面刷新会有闪烁问题,这是由于浏览器重新载入页面资源所造成的,特别是当页面资源中有图片、ACTIVEX控件或JAVAAPPLET时,这个现象会更加明显。本系统中的流程图动态显示时,由于加入JPG图片资源,所以不经处理以高频率刷新时简直无法看清画面。为了达到理想的效果,对服务器端的ASP程序作了如下改进:将流程图动态显示分为流程图画面部分和实时测量数据部分,分别制作成两个单独的页面,简称画面页面和数据页面,前者为显示页面,后者为不显示页面。再用一个分为两帧的页面集成这两个页面。画面页面显示但不刷新,数据页面不显示但定时刷新,并将得到的数据定时地传递给画面页面。从而实现无闪烁但实时刷新数据的流程图动态显示画面。

5 结论

在总装备部某基地“低气压和温度冲击综合环境试验设备”测控系统中,基于B/S结构开发的实时监控实现了远程计算机监控,使工控信息走出了控制室,走进了管理人员办公室,使管理网络和工控网络结合到一起。随着INTERNET技术的发展,这种基于B/S结构下的DCS控制系统的实时监控系统具有很大的发展前途,它将极大的促进实时信息的获取和利用,从而实现生产过程全方位全过程的实时监控,提高企业的经济效益。

参考文献

- [1] 侯捷译,《WIN 32多线程程序设计》,武汉:华中科技大学出版社,2002
 - [2] 张云生著,《实时控制系统软件设计原理及应用》,北京:国防工业出版社,1998
 - [3] 张志操著,《实时数据库原理及应用》北京:中国石化出版社,2001
 - [4] 傅宇旭等著,《IIS 5.0与ASP网站建设》北京:科学出版社,2001
- 作者简介:李玉奇(1978-),男,河北省张家口市人,北京航空航天大学航空科学与工程学院,硕士,主要从事计算机过程控制方面研究,手机:13691006192。刘旺开(1953-),男,湖南省茶陵县,北京航空航天大学航空科学与工程学院,教授,主要从事控制理论与控制工程方面的研究。
- (100083 北京市北京航空航天大学)李玉奇 刘旺开
(收稿日期:2003.8.23)

(接第4页)滑阀的机械死区。此时能量滑阀不再动作,而是用旁通调节阀的PID控制P1、P2在要求的精度之内。

4) 当出现异常情况比如核聚变装置失超时,系统的回气量非常大,若能量滑阀和旁通阀同时动作仍然不能使P2有下降趋

势,此时应使用收气阀将回流的氦气收到缓冲罐中。

5 系统软件配置

操作站和工程师站:Windows 2000操作系统和KingView 5.1,此外操作站还需:用来设置Controller Link网络的数据链接表和监视网络运行情况的OMRON FinsGateWay软件,用来监视ADAN模块运行状态的ADAN。

工程师站还需:Omron CX-Programmer 2.0 梯形图的编程软件。

6 监控系统实现的主要功能

- 1) 显示功能:工艺流程、测量值、设备运行状态、操作模式、报警等显示、画面调用等功能;
- 2) 报警处理和报表生成功能:记录报警发生时间、故障内容等信息,并对报警信息进行管理,系统输出的报表有时报、日报、月报等;
- 3) 历史趋势功能:对现场的氦气压力、液氮高度、氦气温度、阀门开度等以曲线图形显示。每个趋势曲线显示的画面主要包括画面名称、时间、趋势、说明等;
- 4) 数据库存储与访问:实现Access历史数据库在每次系统运行时的自动创建并按分钟级记录,现场数据的存储;
- 5) 画面系统对系统参数、控制器参数进行修改与储存,能实现监控系统自动/半自动/手动操作模式间的无缝切换;
- 6) 管理权限:实现不同级别的系统管理权限,系统操作员可以选择操作模式,查看趋势曲线及报表等;系统工程师可以根据实际情况对监控软件和下位机软件进行修改。

7 结束语

本文研究的基于PLC和组态软件的螺杆压缩机监控系统利用了PLC抗干扰能力强、组网方便、适用于工业现场的特点,又利用了组态软件强大数据处理和图形表现的能力,融合了较先进的自动化技术、计算机技术、通讯技术、故障诊断技术和软件技术,具有可靠性高、组网简单、维护容易等特点。目前该系统已经成功的在HT-7托卡马克核聚变实验和超导磁体实验中应用,效果良好,对制冷机的运行效率乃至核聚变实验的顺利开展具有重要意义,同时极大得提高了自动化水平,降低了工人的劳动强度。

参考文献

- [1] 徐世许.可编程控制器原理应用网络[M].中国科学技术大学出版社,2000.
 - [2] 组态王 version 5.1 使用手册[Z].北京亚控自动化软件科技有限公司.
 - [3] OMRON Controller Link Support Board/Software Operation Manual [M]. OMRON Corporation, February 1999.
 - [4] 郁永章主编.容积式压缩机技术手册.机械工业出版社,2000.10.
- 作者简介:金毅彬(1980-),男,安徽人,1980年5月出生,博士研究生,主要研究方向:低温控制系统,智能控制;电话:0551-5593319; E-mail: jinyb@ipp.ac.cn; 庄明(1962-),男,硕士,高级工程师,主要研究方向:低温控制工程,PLC的应用; E-mail: zhm@ipp.ac.cn
- (230031 安徽省合肥市1126信箱中科院等离子体物理研究所八室) 金毅彬 庄明
(Institute of Plasma Physics Chinese Academy of Science, Hefei, Anhui province 230031, China) Jin, Yibin Zhuang, Ming

(收稿日期:2003.8.23)