

DCS在 EAST 低温系统中的设计与应用

The Design and Application of DCS in EAST Cryogenic System

(合肥中科院等离子体物理研究所) 邵新安 庄明 金毅彬

Shao, Xin'an Zhuang, Ming Jin, Yibin

摘要: 本文介绍了 DCS 在 EAST 低温系统中的设计与应用, 特别是对系统的工艺设计、硬件结构和软件设计作了详细介绍。

关键词: 集散控制系统; EAST; 低温系统; 组态软件

中图分类号: TP392

文献标识码: A

文章编号: 1008-0570(2005)10-1-0004-03

Abstract: This paper introduces the design and application of DCS in EAST cryogenic system. The craft design, hardware configuration and software design of the whole system are discussed in detail.

Keywords: DCS; EAST Cryogenic System; Configuration Software

引言

随着科学技术的发展, 工业生产的自动化水平越来越高, 尤其是计算机在控制中的应用, 更是在工业控制领域掀起了一场革命。伴随着对工业控制的研究和应用日益深入, 计算机技术也日益成熟, 出现了 DCS 等先进的控制系统。DCS 在石油化工企业的应用已十分广泛, 在电力方面的应用也日益增加, 但是, 在低温装置方面的应用研究、控制方案的具体设计及实施方法等工作在国内却几乎是空白, 尤其是对液氮运行的超低温环境下的系统控制。

EAST (Experimental Advanced Superconducting Tokamak) 托卡马克核聚变实验装置, 又称 HT-7U, 是中国科学院等离子体物理研究所承担的国家级大科学工程项目, 它的建成将使中国在人类开发清洁而又无限的核聚变能的领域内做出自己应有的重大贡献。EAST 低温系统, 作为该项目的主要子系统之一, 是为 EAST 装置的纵场和极向场超导磁体运行提供冷量, 对 EAST 超导托卡马克装置能否成功稳定运行起到非常关键的作用。这就对低温系统控制的稳定性和可靠性提出了很高的要求。本文就 DCS 在 EAST 低温系统中的应用作一介绍。

1 系统结构及工艺设计

大型核聚变装置 EAST (Experimental Advanced Superconducting Tokamak), 又称 HT-7U, 是一个能够改善等离子体约束状况的大拉长非圆截面的等离子体位形的全超导托卡马克实验装置, 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。EAST 低温系统, 作为该项目中主要子系统之一, 就是为 EAST 装置的纵场和极向场超导磁体稳定运行提供冷量, 同时该系统的 2 kW/4 K 氮制冷机还可用来生产液氮以满足其他实验需求及贮存的目的。EAST 低温系统主要由以下几个部分组成: 螺杆压缩机站、冷箱、阀箱、氮气贮存及回收系统、控制杜瓦、装置真空室、10000 L 液氮杜瓦及液氮罐等。系统结构如图 1 所示。

氮气首先由氮气罐吸入压缩机站, 由两级螺杆压缩机将氮气从 1.04 bar 压至 5.1 bar 再压缩至 20 bar。再经过三级滤油器、活性炭吸附器、干燥器、粉尘过滤器后进入制冷机冷箱。20 bar 的氮气进入冷箱后分成两路, 一路 110 g/s 提供给透平膨胀机 T4, 经膨胀降温后给 80 K 装置冷屏制冷; 另一路 210 g/s 制取 4 K 温度级的冷量给磁体降温。4 K 温度级的制冷循环由五个冷却级组成, 依次为液氮冷却级、透平膨胀机 T1、透平膨胀机 T2、透平膨胀机 T3 和节流级。当需要 3.5 K 的制冷量时, 制冷机采用氮循环泵减压来实现。10000 L 液氮杜瓦是为制冷机液化储存液氮, 并且在实验运行需要的冷量增加时给予液氮补充。

阀箱主要由测试液氮槽、测试过冷槽和低温阀门组成, 用于在制冷机单独运行时, 辅助测试制冷机的性能指标。它和冷箱都属于制冷机系统, 制冷机部分主要用于实现氮气从高压、常温 (20 bar/300 K) 到“常压”、低温 (4.2 bar/4.5 K) 的转变, 在不给磁体供冷时, 也可以保持自身温度处在某一个待命状态 (如 80 K、4.5 K) 或者进行制冷机自检。所有超导磁体及相关装备均处在真空室里, 与外界隔绝热量传递。

EAST 低温系统要求具有较高的自动化程度, 控制系统上位机采用工控机, 在 WINDOWS 环境下进行监控软件的开发与设计。交互式界面实现对整个工作过程的监控和数据检测。同时, 数据送往 EAST 中央控制室主机。如果系统没有很高的可靠性和稳定性, 或者因通讯导致数据更新较慢没有及时处理相应情况造成失超等, 后果将不堪设想。为此, 我们最终选择了控制危险分散、管理和显示集中的 DCS (Distributed Control System) 控制系统。

2 EAST 低温控制系统硬件设计

我们所采用的 DCS 控制系统是由美国艾默生

邵新安: 硕士研究生

中国自控网: <http://www.autocontrol.com.cn>

- 4 - 360 元/年 邮局订号: 82-946

电话: 010-62132436, 62192616 (T/F)

(EMERSON)过程控制有限公司提供的 DeltaV 数字控制系统,该系统是在两套 DCS 系统 (RS3、PROVOX) 的基础上,依据现场总线基金会 FF (Fieldbus Foundation) 标准设计出的兼容现场总线功能的全新的控制系统。它充分发挥众多 DCS 系统的优势,例如:系统的安全性、冗余功能、集成的用户界面、信息集成等,同时克服传统 DCS 系统的不足,具有规模灵活可变、使用简单、维护方便的特点。

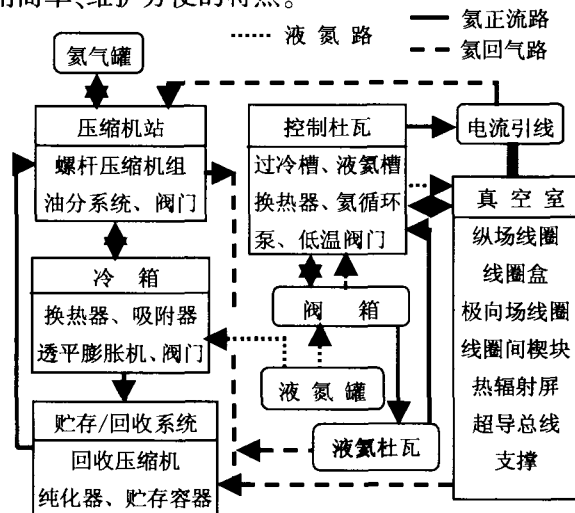


图1 EAST低温系统结构框图

EAST 低温控制系统的结构如图 2 所示。总控制点数约 769 点,其中 DI:155 点;DO:140 点;AI:289 点;AO:115 点;通过 OPC 采集的温度:67 点。控制范围包括有三大块:螺杆压缩机站、制冷机系统、装置分配系统。压缩机站由于离控制室有一定的距离,与 DeltaV 控制网络的连接采用冗余的 Modbus RTU 接口,控制室与压缩机站以数据包的形式通过 Modbus 总线交换数据。该自动化控制系统由三个现场站、Professional Plus 工程师站、三个操作员站及一台 OPC 服务器通过冗余的工业以太网构成。现场站采用三组冗余的 MD 控制器及相关 I/O 卡件组成三个控制机柜,分别负责压缩机站、制冷机部分和装置分配系统的数据采集及处理。MD 控制器接收所有 I/O 接口通道信号,实现各个过程的设备现场级控制,提供现场设备与控制网络中各节点之间的通讯功能,并通过冗余的工业以太网与中央控制室进行数据通讯。

工程师站是整个控制系统的核心,该工作站包含 DeltaV 系统的全部数据库,系统的所有工位号和控制策略在本站被下载到 DeltaV 系统的每个节点设备。除了完成过程历史数据的采集和处理、控制系统诊断、系统软件组态(包括画面组态和控制策略的组态)等任务外,同时也作为操作员站,结合低温控制系统工艺流程画面,将现场采集的数据以工艺参数化和图形化的形式提供给操作员,并将操作人员的控制思想通过相应的软件控制模块反映到过程控制的实际过程中。

三台操作员站用于生产过程的监视和操作控制、历史趋势和过程报警指示。DeltaV 作为一个独立的控制系统,通过 OPC (OLE for Process Control) Server 实现与外网的数据交换。

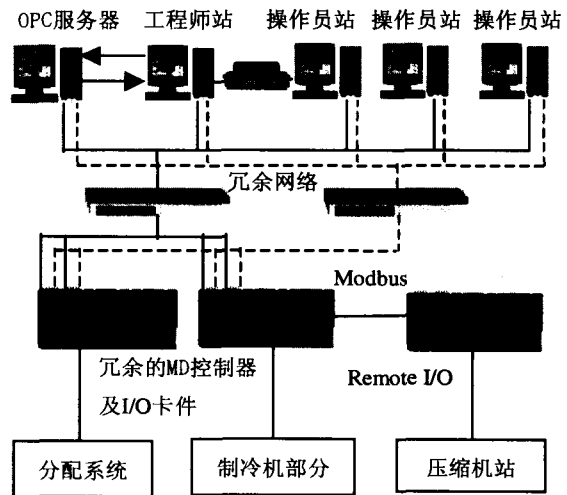


图2 EAST低温控制系统结构框图

3 软件实现

本系统的软件设计均在 Windows NT4.0 环境下采用 DeltaV 工程软件实现,系统的软件设计包括控制策略的实现、监控画面的生成、画面数据的动态连接、历史纪录及报警的生成等。

3.1 控制策略实现

根据工艺流程和系统降温试验的需要,首先画出对应的控制流程框图和相关的控制策略(见图4)。利用 DeltaV 系统标准的预组态模块及自定义模块完成控制策略的组态工作。组态模块包含有两种:顺控模块(SFC)和功能模块(FBD)。顺控模块实现控制流程的顺序控制,功能模块可以实现回路的控制、单个信号的采集与处理等。除了控制方案外,模块还包括历史数据和显示画面定义。每个模块都有唯一的位号,模块系统中通过位号通讯,对一个模块的操作和调试完全不影响其他模块。在所有控制策略组态完成后,将其分配并下载到相应的控制器中,对系统所采取的控制思想即可以顺利的被执行。系统也具有部分下载的功能,即将组态好的部分控制方案在线地从工作站中下载到控制器而不影响其他回路或方案的执行。

控制策略的组态操作只可以在工程师站进行,也即只有工程师才有权限组态控制方案,普通操作员没有这个权限。这样提高了整个控制系统的安全运行系数,避免操作员级错误操作。

3.2 监控画面生成

图形画面用于模拟监测低温系统现场实际设备的运行状况和重要参数的实时值。所用的画图工具是 Itellution 公司的 IFIX 软件。该软件的图形功能很强,组态中提供树形结构图,能够浏览已画面中的所有

图形对象、组态信息。制作时结合使用 IFIX 软件内部图库和工具箱,同时根据对软件的熟悉程度最大限度的利用技巧使图形更加协调、视觉上更加舒服。运行时可以根据程序很方便地更换对象的连接数据源,使控制更灵活。另外,IFIX 组态软件支持 VB 编程,如系统中模式之间转换的画面,因为在转换时有很多的判断条件和转换方式选择,仅仅利用 IFIX 图库和工具箱已难以达到实际要求,而且实现起来非常复杂,我们采用 VB 脚本语句完成该画面,不仅功能实现简单、操作简洁,而且也使得画面显得流畅、更贴近实际要求。这同时也给组态人员多了一种组态方案的选择。

目前已做的控制界面有 29 屏,包括有低温系统总工艺流程图、模式转换图、三大部分(压缩机站/制冷机系统/装置分配系统)的细划图、三大部分重要参数表、报警表及重要设备的状态指示图。在画图的过程中根据需要增加了按钮功能、VB 语句功能实现及阀门、设备等的变色、动画功能。

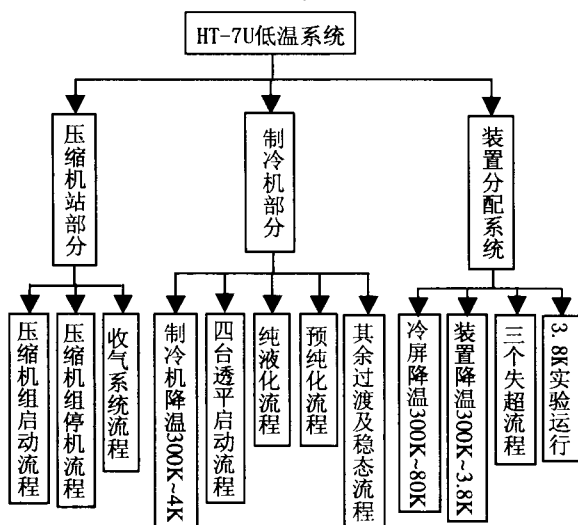


图3 EAST低温系统软件结构框图

3.3 数据的动画连接

动画连接是指把画面中的图形、对象通过脚本语句或者引用的方式与数据变量之间建立一种关系,当变量的值改变时,在画面上以图形对象的动画效果实时显示出来;或者也可以由工程师通过画面中的图形对象改变数据变量的值,实现图形界面与数据变量之间的双重“备份”和控制。本系统中的动画连接包括有开关阀的变色及调节阀开度的色标变化、数据的实时界面显示、各主要设备运行状态反馈、液氮/液氮槽液位高度实时显示等等。

3.4 历史纪录及报警

IFIX 软件借助动态数据交换(DDE)技术将实时数据库的动态数据按工程师设定的时间间隔进行采样与保存,以保证随时可以从历史数据文件中提取出来进行历史趋势曲线显示,也可以根据需要定义报表的输出时间和输出周期。历史曲线可以反映出各模拟

量的变化趋势。

通过点击 DeltaV 浏览器里需要做历史纪录的工厂区域并拖拉到一个工作站,就可以自动完成该区域中所有模块的历史记录。所有操作、维护和控制的改变都会被自动记录下来。也可以针对单个模块做历史纪录操作。本系统考虑到购买控制点位的限制,主要是针对一些重要位置的温度、压力、液位等的历史纪录生成。操作界面在运行状态下分为三个预先设计的区域(自上而下):按钮工具条、工作区、报警栏。报警栏提供五个优先级最高报警的概要信息,选中其中一个报警信息,操作员就能直接进入相应的工艺流程图或报警信息组画面,以快速处理报警。除工艺流程图显示的报警外,报警概要画面显示所有未确认的报警及其报警优先级。

4 系统调试工作

调试包括硬件调试、软件调试和系统联调,硬件调试主要是对控制站、现场仪表及控制柜进行接线及安装后检查现场的接地、通讯以及信号线是否正常;软件调试是针对控制策略的组态进行检查核对。

联调工作是在软硬件的单独调试后对系统的整体调试,检查从上位机到现场设备的通讯及操作是否正确。如对于 AI/DI 信号检查采用现场远端施加信号,用操作画面或者诊断软件包(Diagnostics)检测控制站接收信号是否正确来判断;对 AO/DO 模块则采取从控制站施加信号输出到现场控制器,用万用表检测信号是否一致来判断。当然,在调试过程中也会出现一些故障需要排除,如变送器故障、信号线错接、采集卡件以及功能模块都可能出现错误。

5 结束语

随着对制冷量要求的增加,以后还会添加一些新的制冷设备,这对于控制系统硬件和软件组态都是一个不断完善的过程。

本文介绍的 EAST 低温控制系统现已基本调试完毕,即将投入运行。较之以前对 EAST 低温系统的运行控制,系统的实时性、可靠性及自动化程度都提高了很多,DCS 低温控制系统的建成,也为以后全自动控制整套 EAST 系统的建设目标奠定了基础。

参考文献

31王如竹等编,低温系统,上海,上海交通大学出版社

作者简介:邵新安,男,1980年9月,汉族,中科院合肥等离子体物理研究所硕士研究生,研究方向:计算机应用、低温系统控制。Email:shaoya@ipp.ac.cn;庄明,男,1961年生,汉,高级工程师,主要研究方向:低温控制工程,DCS,PLC应用。

(230031 合肥中科院等离子体物理研究所) 邵新安 庄明 金毅彬

通信地址:(230031 合肥市 1126 信箱合肥中科院等离子体物理研究所)邵新安

(投稿日期:2005.3.24) (修稿日期:2005.4.5)

电话:010-62132436, 62192616(T/F)