

# 基于 PLC 现场总线通讯的 NBI 真空测量与控制系统设计

曾梅花<sup>1</sup>, 朱 武<sup>1</sup>, 宋士花<sup>2</sup>, 胡纯栋<sup>2</sup>, 刘智民<sup>2</sup>

(1. 合肥工业大学机械与汽车工程学院, 安徽 合肥 230009; 2. 中国科学院等离子体物理研究所, 安徽 合肥 230031)

**摘 要:**针对拟建的 NBI 综合测试平台, 设计了真空测量与控制系统, 介绍了系统的结构及功能。根据系统要求及操作规范, 以 PLC 作为控制核心, 梯形图作为编程语言, 触摸屏作为人机界面, 组建了完整的控制系统, 以实现自动运行。上位机的组态软件通过 RS485 总线通讯实现真空系统的自动控制以及真空度的在线实时监测与显示。该控制方案具有硬件简单可靠、组态灵活、软件运行稳定的特点, 能够满足 NBI 对辅助抽气系统的真空测量与控制的要求。

**关键词:** NBI 综合测试平台; 监控系统; 可编程控制器; 现场总线; 触摸屏

中图分类号: TP27; TB771 文献标识码: B 文章编号: 1002-0322(2011)01-0060-03

## Design of vacuum measurement and control system for NBI based on PLC field bus communication

ZENG Mei-hua<sup>1</sup>, ZHU Wu<sup>1</sup>, SONG Shi-hua<sup>2</sup>, HU Chun-dong<sup>2</sup>, LIU Zhi-min<sup>2</sup>

(1. School of Mechanical and Automobile Engineering, Hefei University of Technology, Hefei 230009, China;

2. Institute of Plasma Physics, Chinese Academy of Sciences, Hefei 230031, China)

**Abstract:** A vacuum measurement and control system was designed for the integrated testing platform of the neutral beam injection(NBI) system. The structure and function of the system were introduced. According to the requirements and operational procedures, a complet control system was established with PLC as controlling core, touch screen as man-machine interface and ladder diagram as programming language to realize automatic operation. The PC configuration software WinCC uses RS485 bus communication to achieve online real-time monitor of vacuum degree and automatic control of vacuum system. This control system has simple and reliable hardware, flexible configuration and stable operating software so as to meet the vacuum measurement and control requirements of the auxiliary pumping systems.

**Key words:** NBI integrated test platform; monitoring system; PLC; field bus ;touch screen

中性束注入(NBI)是加热核聚变装置等离子体的一种辅助方法<sup>[1]</sup>。由于其具有加热原理简单、技术理论成熟、注入功率高等优点,是世界各大聚变装置广泛采用的加热手段<sup>[2-3]</sup>。NBI 综合测试平台辅助抽气系统担负着为离子源起弧调试提供基本的真空环境的任务,此外还须为离子源提供独立的真空抽气支路以满足对离子源进行维护作业的需要和进行内部残余气体分析的需要<sup>[4]</sup>。本文介绍辅助抽气系统的真空测量与控制系统的的设计。

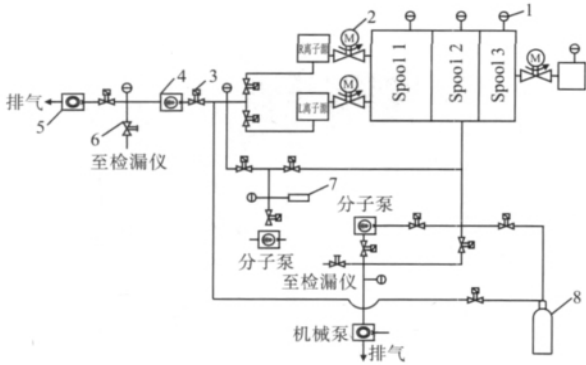
### 1 NBI 综合测试平台辅助抽气系统的组成及功能

NBI 综合测试平台辅助抽气系统如图 1 所

示,它由三个功能独立的抽气支路和一个高纯氮气充气支路组成。三个功能独立的抽气支路分别是:主真空室抽气支路,离子源抽气支路,离子源与主真空室残余气体成分分析抽气支路。主真空室抽气支路由 1800 L/s 的涡轮分子泵、300 L/s 的罗茨泵、70 L/s 的旋片式机械泵及相应的管道、阀门、真空测量仪器等组成。离子源抽气支路和残余气体成分分析抽气支路均选用 600 L/s 的涡轮分子泵、8 L/s 的旋片式机械泵构成泵抽系统。高纯氮气充气支路用于离子源的检修及必要时开展的低温抽气性能测试。

NBI 综合测试平台辅助抽气系统的模拟框

图如图 2 所示。采用 SIEMENS WinCC 组态设计了上位机监控系统,它模拟 NBI 综合测试平台辅助抽气系统。



1.薄膜真空计;2.电动阀;3.电磁阀;4.分子泵;5.旋片泵;6.手动阀;7.残余气体分析仪;8.氮气瓶

图 1 辅助抽气系统基本构成

Fig.1 Basic structure of the auxiliary exhaust system

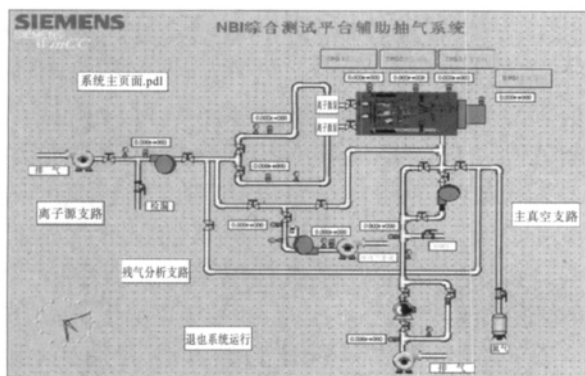


图 2 NBI 综合测试平台辅助抽气系统模拟图

Fig.2 Simulation diagram of auxiliary exhaust system for NBI integrated test platform

## 2 控制系统硬件设计

### 2.1 测控功能及要求

辅助抽气系统的安全稳定运行对实现 NBI 综合测试平台预期的功能至关重要。根据 NBI 综合测试的需要,结合辅助抽气系统自身的特点,提出了一系列测控功能要求,它们构成了测控系统控制逻辑、控制软硬件设计的依据。本系统的主要测控功能及要求包括:

(1) 主真空室抽气支路对离子源真空室抽气,确保离子源工作所需的真空条件,有严格的操作程序和参数要求。

(2) 主抽气支路事故态的处理。如遇异常,主真空室内的真空度会由正常值突变至超过预定值,为避免造成严重后果,应安排主抽气支路事故态处理程序。

(3) 主抽气支路正常工作时,可启动残气分析仪及其抽气支路进行残余气体分析工作。

(4) 若主抽气支路或残气分析抽气支路工作异常,则须按预定程序关闭相关阀门、真空计及真空泵,给出报警信息。

(5) 离子源抽气支路专事离子源抽气。离子源检修时,应与主真空室隔离,在暴露大气中检修,检修完毕再与保持真空的主真空室连通,必须先对离子源抽真空。

(6) 所有阀门初始为常闭状态,它们必须按一定的程序动作,相互间有配合有制约。

### 2.2 控制系统硬件设计

NBI 综合测试平台辅助抽气系统规模较大,被控量较多,既有水、电、气、真空等模拟量的实时监测与控制,又有各种开关量的输入输出,需统筹安排、合理设计各类接口。经详细设计,开关量达 60 点之多,模拟量也有 20 多路。这些决定了本控制系统必须由多种功能单元组成,包括工业控制计算机、可编程逻辑控制器(PLC)、触摸屏、真空测量仪器等,它们通过现场总线与工控机连接起来,从而构成了基于 PLC 现场总线通讯的 NBI 真空测量与控制系统。显然,该系统具有被控对象、PLC、工控机、总控室的层次关系,如图 3 所示。

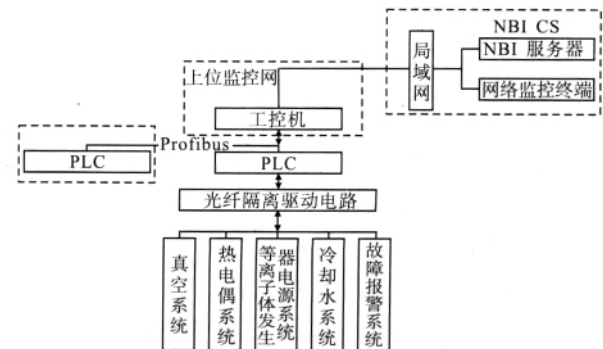


图 3 测控系统的层次结构简图

Fig.3 Schematic of the measurement and control system

#### 2.2.1 PLC

拟采用 PLC S7-300 和 S7-400 系列作为 NBI 控制系统的控制器之一。其主推的 Profibus 总线技术,可以解决系统缚线过多的问题。PLC 组网简单,有多种组网方案供选择,并且数据通讯安全快捷,可实现分布式 I/O 控制系统及实时监控<sup>[5]</sup>。这些特点在本系统中都得到了充分的体现。

PLC 专门用于各种开关量和模拟量输入输出的测控,在此与配套电器元件、真空规管、流量计等配合,实现对整个系统中的阀门、泵、电源的控制以及真空度、气/水流量的监测与控制,具有手动/自动两种控制方式。

### 2.2.2 真空测量仪器

NBI 辅助抽气系统真空计采用瑞士 INFICON 公司的 B-A 皮拉尼电容薄膜真空计,共用了 11 只 BCG450 系列的规管及其配套仪器。它们的测量范围是  $1.0 \times 10^5 \sim 5.0 \times 10^{-8}$  Pa,精度为 0.01 Pa。测量得到的主真空室和三条抽气支路的真空度通过 RS485 总线传入上位监控机。

### 2.2.3 触摸屏

触摸屏选用西门子 SIMATIC TP177B,型号为 6AV6 642-0BC01-1AX1,蓝色 4 级灰度显示、彩色显示屏(256 色)、分辨率为  $320 \times 240$ ,内置 USB 接口(用于打印机和下载等),标准多媒体卡插槽,彩色型带“Profinet I/O”以太网接口,使用 WinCC flexible 2005 或以上高效组态编程。

## 3 控制系统软件设计

### 3.1 PLC 程序设计

PLC 控制程序采用 SIEMENS 公司提供的 Step7 编程开发软件编制,该软件支持 WIN98、WIN2000/XP 等操作系统,具有灵活易用的编程开发环境<sup>[6]</sup>。整个系统被控量较多,且各个变量之间相互连锁,为了更精确地达到综合测试平台的控制要求,对程序进行模块化设计。编写的子程序简化了程序结构、缩短了扫描周期。子程序包括:主抽气支路控制程序,主抽气支路事故态处理程序,残余气体分析抽气支路控制程序,离子源抽气支路控制程序,真空度显示格式转换程序等。整个程序具有完善的连锁保护功能、直观醒目的显示格式和报警方式,操作灵活方便。

### 3.2 人机界面程序设计

本系统的组态监控界面采用西门子公司的 WinCC 组态软件作为开发环境,全图形化编程,显示系统运行过程和状态条件。WinCC 还提供了多种通讯驱动程序和不同的通讯连接通道供选择,实现 WinCC 与 PLC 的连接<sup>[7]</sup>。通过数据交换实现远程控制、状态监控、测量值归档、过程显示以及管理用户及其访问授权等功能。界面包括:真空抽气系统主画面,三个分支抽气画面,真空度实时变化画面,真空故障状态等。

## 4 实验结果

真空测量与控制系统建成后,开展了实验运行,

各项监测控制功能均达到了预期目标。一次测试的真空度实时记录如图 4 所示。

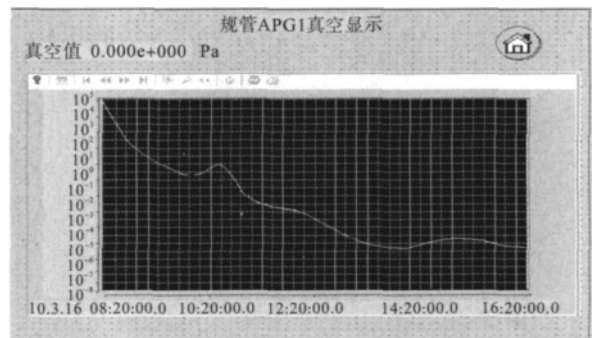


图 4 真空抽气系统真空度实时记录曲线

Fig.4 Real-time recording curves of vacuum for vacuum pumping system

## 5 结束语

本文所介绍的真空测量与控制系统充分利用智能仪表、智能控制器、高端 PLC 通讯协议的开放性及其与第三方组态软件的兼容性,对抽气系统进行实时监控,实现了 NBI 综合测试平台的各项功能。建成的 NBI 综合测试平台辅助抽气系统既可为测试平台提供离子源初期调试所需要的真空环境,还可为后期低温抽气系统的调试提供预真空并排出低温泵再生期间所释放的气体;此外,它还直接为 EAST-NBI 辅助抽气系统的建立提供了验证数据和经验借鉴,为进一步优化 EAST-NBI 辅助抽气系统的功能提供依据。

## 参考文献

- [1] Jones T T. Tritium operation of the JET Neutral beam systems[J]. Fusion Eng. Design, 1999, 47: 205-232.
- [2] 国家自然科学基金委员会. 等离子体物理学 [M]. 北京: 科学出版社, 1994: 57.
- [3] Wan Y X. Overview progress and future plan of EAST project [C]. 21st IAEA EFC, OV/1-1, Chengdu, China, 2006: 16-21.
- [4] 谢远来. NBI 综合测试平台辅助抽气系统实施方案 [R]. DOC0VS000000, 2008.
- [5] 廖常初. S7-300/400 PLC 应用技术. 2 版 [M]. 北京: 电子工业出版社, 2009.
- [6] Siemens AG. System Software for S7-300/400 System and Standard Function Reference Manual, 2006.
- [7] 苏昆哲. 深入浅出西门子 WinCC V6 [M]. 北京: 北京航空航天大学出版社, 2005.