

HT-7 中性束注入装置真空监控系统的设计

朱武^{1*} 王莉¹ 胡纯栋²

(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)

Computerized Vacuum Control and Monitoring System of
Neutral Beam Injection Device in HT-7 TokamakZhu Wu^{1*}, Wang Li¹ and Hu Chundong²(1. School of Mechanical and Automobile Engineering, Hefei university of Technology, Hefei, Anhui, 230009, China;)
(2. Institute of Plasma Physics, Chinese Academy of Sciences, Hefei, Anhui, 230031, China)

Abstract A remote vacuum control and monitoring system of the neutral beam injection device in superconductor HT-7 Tokamak has been successfully developed out of safety consideration when extremely high magnetic field is turned on during the operation of HT-7 Tokamak. The discussion focuses on its design requirements, its operating principle as well as its hardware and software. Preliminary results are also discussed.

Keywords Super conducting Tokamak, Neutral beam injection, Vacuum, Real time, Remote monitoring and control

摘要 超导托卡马克装置 HT-7 中性束注入系统运行期间, 实验环境中存在强磁场而要求封闭, 因而对系统运行状况只能进行远距离监控, 真空实时远程监控系统是整个监控系统的重要组成部分。本文介绍了真空实时远程监控系统的设计要求, 讨论了该系统的硬件设计、软件设计及其工作原理, 给出了部分实验结果。

关键词 超导托卡马克 中性束注入系统 真空 实时 远程监控

中图分类号: TL62⁺9 文献标识码: A 文章编号: 1672-7126(2004)01-0059-04

中性束注入加热等离子体, 是提高托卡马克离子温度的有效方法之一^[1]。近年来, 大功率中性束注入在国际大型受控核聚变装置的实验应用中取得了良好的效果, 因而得到日益发展, 成为等离子体辅助加热研究中的重要课题之一^[2]。随着国家中型超导托卡马克装置 HT-7 实验研究的不断深入, 对大功率中性束注入的要求日益迫切, HT-7 中性束注入系统即是为此而设计建造的。中性束注入系统运行时周围存在有强磁场, 要求实验环境封闭, 因此相应的远程控制系统也随之发展起来。最先被设计建造的是最重要的系统组成之一——真空监控系统。

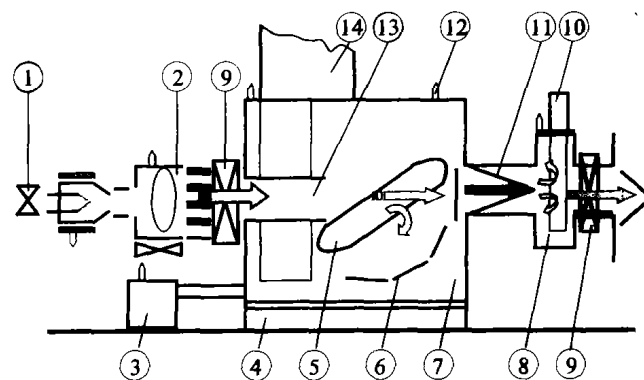


图1 中性束注入系统结构图

Fig.1 Schematic diagram of the structure of neutral beam injection system

1 中性束注入系统

HT-7 中性束注入系统的主体结构如图 1(图中: ①进气阀; ②离子源; ③预抽系统; ④支撑架; ⑤偏转磁铁; ⑥离子收集板; ⑦主真空室; ⑧漂移室; ⑨快速

隔离阀; ⑩2 万升低温泵; ⑪量热计; ⑫真空计; ⑬中性化室; ⑭40 万升低温泵), 它主要由离子源、中性化室、主真空室、偏转磁铁、漂移管道、真空系统、束能测量装置和各部分电源系统等组成。它是利用由

离子源引出的一束高能离子,进入中性化室与气体分子相互作用,使其中的一部分转化为高能中性粒子束,然后经漂移管道输送到 Tokamak 装置,对 Tokamak 内的等离子体进行加热^[3]。

2 真空监控系统的设计要求

根据中性束注入系统的特点、真空监控系统的设计要求可概括为如下几点:

(1)采集中性注入真空系统中各点真空度、低温系统中多点温度、电源状态参数、冷却水流量等相关数据,可进行网络通信以便与 HT-7 Tokamak 及其他子系统进行数据交换;

(2)能够为注入系统的各种真空阀门和安全闸提供手动操作、自动控制、状态显示、故障报警和自动记录阀门使用寿命等功能,为系统良好运行和维修提供科学依据;

(3)具有自动防止误操作功能。这种智能功能旨在保护超高真空阀门和 Tokamak 的真空系统;

(4)系统运行期间出现故障,如泄漏、停电、断水、缺水等,能及时开关有关阀门和安全闸,以保护真空泵、真空阀门等不受侵害^[4];

(5)系统运行期间发生重大真空事故时,能够快速切断中性注入系统与 Tokamak 装置的联系,使 Tokamak 装置及其他子系统免受破坏,维持正常运行;

(6)能够与 HT-7 Tokamak 总控制系统相配合,以便未来整体实验时的统一控制和管理。

3 系统设计

HT-7 中性束注入真空监控系统集数据采集、状态监测与控制,真空联锁,冷却水联锁于一体。主要可分为监测部分、控制部分和保护部分。

3.1 硬件设计

由于中性束注入实验的特点,真空监控系统的管理计算机安排在控制室,它是一台基于 WINDOWS 2000 的 PC 机。完成测量采集、控制保护的下位机设置在实验现场。测量采集主要通过真空计及其他传感器配合工业控制机、数据采集卡、I/O 接口卡等完成。而控制保护功能主要依靠可编程控制器 (PLC) 完成^[5]。监控系统的结构图如图 2 所示,系统测量采集的核心元件为数据采集卡。本系统选用的是台湾 ADLINK 公司的 PCI9112 型数据采集卡,它所具有的 12 位模拟量输入分辨率、最高 110 kHz A/D 采样频率、通道自动扫描等特性,很好地满足了本

系统运行要求;其三种 A/D 触发模式、增益可编程也为软件设计带来了方便。真空度测量仪器分别选用的是 ZDF-III 型复合真空计、DL-7 型电离真空计和瑞士 Balzers 公司的 TPG256A 型 MAXI 真空计。MAXI 真空计具有 6 个通道,在一个控制单元上接了皮拉尼规、冷阴极规、热电离规、皮拉尼/冷阴极复合规、电容规、电阻规等 6 个规头,可实现真空度全量程的测量。为了使系统具有可靠性高、组态灵活、操作方便和易于运行维护等特点,控制系统的核心选用了 OMRON 公司的 CPM2A 型 PLC,它最多可实现 120 点输入输出。用 PLC 代替传统的继电器控制电路,不仅使开关控制更加准确,而且真空联锁可通过软件编程实现,使系统中电路的硬接点和元器件之间的连接线路大大减少,对提高运行效率降低故障率具有重要意义^[4]。整个监控系统中的单元与计算机,计算机与计算机之间的通信,采用串行异步通信和以太网通信相结合的方法。MAXI 真空计与工控机间采用的是 RS232C 串行通信,而工控机与管理机,管理机与 HT-7 总控系统间,采用的是网络通信。这样既满足了某些单元的特殊通信要求,又配合了 HT-7 整个控制系统采用网络通信的方式。

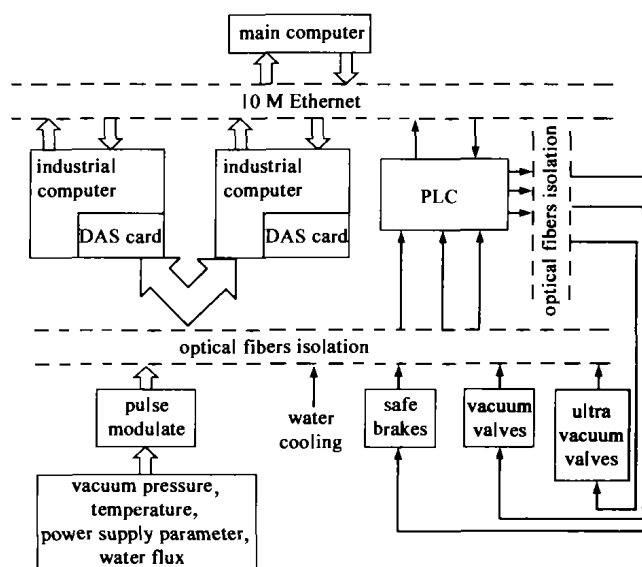


图 2 HT-7 中性束注入真空监控系统硬件结构图

Fig. 2 A schematic of computer monitoring and control system for vacuum system in HT-7 neutral beam injection system

3.2 软件设计

作为一套远程实时监控系,软件的实时数据处理能力是设计的首要考虑。另外,人机界面的友好性也十分重要,它可以使系统的操作简便易行。

本软件系统采用 delphi5.0 或 visualC ++ 6.0 语言编写了界面部分、I/O 操作、网络通信及数据库部分。它的主要特点有:可实时显示多通道数据,同时绘出各模拟量与时间的曲线图;可以修改如运行时间、真空

度、水流量等控制参数;建立了实验结果数据库系统;程序具有可兼容性,可与总控制程序连接。

3.2.1 监控主程序流程简图

HT-7 真空监控系统主程序流程图如图 3 所示。

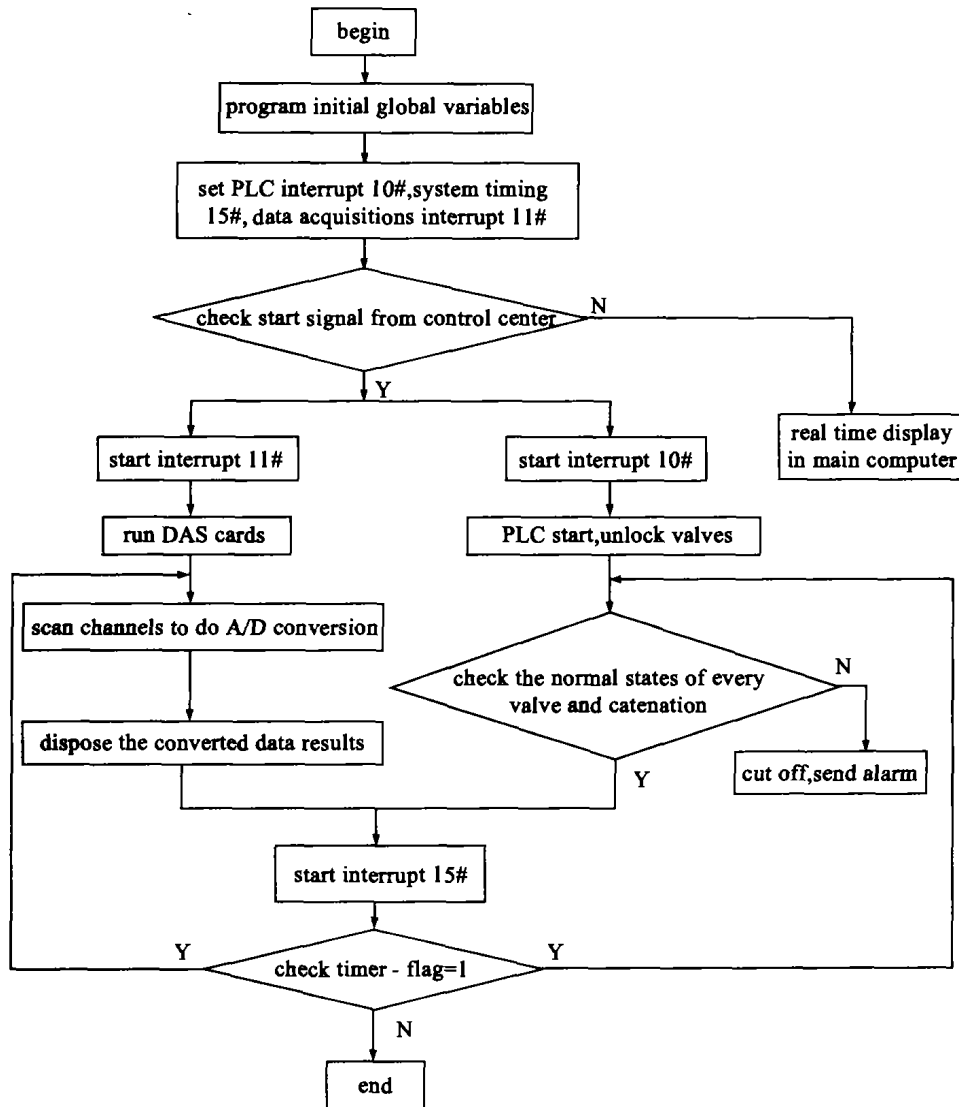


图 3 监控主程序流程简图

Fig.3 Flow chart of the main program of monitoring and control system

3.2.2 系统数据库

建立中性束注入实验数据库的目的是为了利用数据库管理软件,更有效、更方便地管理实验数据,大大提高实验数据的完整性、一致性、可靠性、共享性,同时为所有的实验工作者提供快捷、友好、简便的交互式数据分析手段。

本系统是建立在 ODBC 标准之上,基于 SQL SERVER 的数据库系统。ODBC 是微软公司提出的用于访问数据库的统一界面标准,是应用程序与数据库之间的中间件,它通过数据库驱动程序与应用

程序的交互来实现对数据库的操作,另外 ODBC 是基于结构化查询语言(SQL)的,使用 SQL 可大大简化其应用程序设计接口^[6]。SQL SERVER 是目前流行的一种大型数据库系统,这种先进的关系数据库平台能有机地与 Windows NT 网络操作系统相结合。SQL 语言不仅仅是一个查询工具,它还可以提供相关的管理功能,如定义数据的组织和结构及数据项之间的关系、数据检索、数据操纵、存取、数据共享等^[7]。

SQL SERVER 上的中性束注入实验数据是以若

干数据表的形式存储的,表结构之一如表1。这是为用户查询 HT-7 中性束注入实验所提供的的一个重要数据表,通过它能够基本了解一个运行周期的情况。它们有的是直接从服务器上的文件取得的(如:炮号、时间等),有的是从数据文件经过简单计算处理所得的。为了加速对数据库中数据的检索,有必要为数据表建立索引字段,索引字段上的数据要求总是唯一的,这里选择炮号字段作为索引字段。

表1 实验状态数据表

Tab.1 Data table of experiment state

Shot	Date	Time	Pressure	Flux	Temperature	Voltage
炮号	日期	时间	真空度	水流量	温度	电压
Dec(6,0)	Char(11)	Char(8)	Dec(6,2)	Dec(6,0)	Dec(5,0)	Dec(5,0)

4 系统实验结果

随着中性束注入实验的运行,真空监控系统也投入了实际应用:对实验运行时的电压、电流、真空度、温度等近数十路模拟量和电气开关、气动阀门、安全闸等数十路开关量实现巡检;对过流、过压、过脉宽进行自动保护;输出12路模拟量信号对电源的电压、电流、脉宽等进行预置和32点开关量启/停现场执行结构,实现时序控制。运行情况表明,真空监控系统达到了预期的设计目标,满足了实验要求。

图4是对主真空室真空度测定及低温系统性能测定所绘制的曲线。从曲线上可以看出,主真空室密封性和清洁度良好,获得了 10^{-3} Pa的真空度,符合实验要求;低温泵系统对中性注入器抽气,获得了 8.0×10^{-5} Pa的动态真空度。

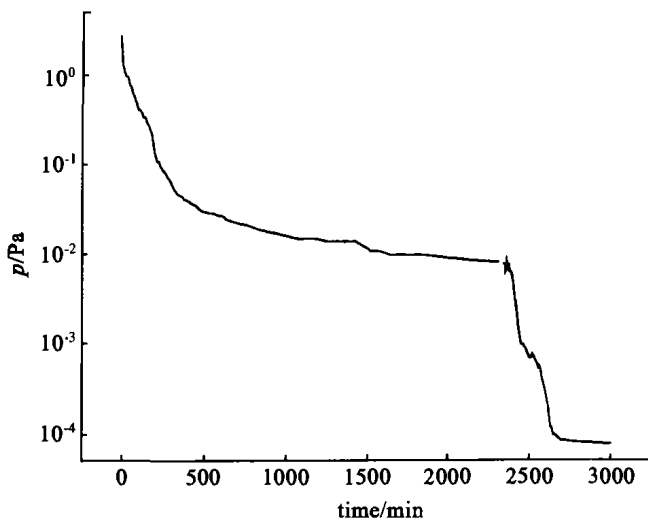


图4 主真空室真空度测定曲线

Fig.4 The time evolution of the pressure in the main vacuum

表2为进气系统的部分实验数据。

表2 进气系统部分实验数据表

Tab.2 The experimental data of the gas filling system

$V_{G.V}/V$	$q_{G.r}/Pa \cdot m^3 s^{-1}$	p_1/Pa	p_2/Pa
117.8	1.907	95.65	95.15
117.8	1.682	95.15	94.71
117.8	1.952	94.71	94.20
114.6	1.647	94.20	93.77
104.8	1.071	93.78	93.35
96.2	0.918	93.36	93.08
87.6	0.806	92.86	92.65
79.2	0.842	92.66	92.44
72.0	0.383	92.44	92.34
62.6	0.194	92.35	92.30
53.1	0.041	92.31	92.30
44.2	0.041	92.30	92.29

5 结论

设计、建造 HT-7 中性束注入真空监控系统,保证了中性束注入系统在封闭运行的情况下,对实验过程进行远程实时监控。数据自动采集与处理,运行状态自动监视,险情自动报警与保护,大范围内数据通信,这些功能的实现,保证了实验的稳定运行,具有十分积极的意义。系统的数据库部分随着实验数据量的增加,将不断得到改进和扩充,系统本身具有的开放性和灵活性,也为融入中性束注入总控系统 & HT-7 总控系统提供了保证。

参考文献

- 1 卢杰,张集泉,钟光武等. HL-1M 中性束注入期间离子温度的变化. 核聚变与等离子体物理, 1999, 19(3): 189 - 192
- 2 姜韶凤,周才品,王德泰等. HL-1M 中性束注入系统研制及中性束加热实验初步. 核聚变与等离子体物理, 1999, 19(4): 213 - 218
- 3 Johnson R L, Gardner W L, Michelotti R A *et al.* Design of upgrades to the PLT neutral beam injectors for use on PDX and ISX-B. Engineering Problems of Fusion Research, 1979: 1375 - 1378
- 4 熊慎寿,谭映雷. BSRF 3W1 高功率扭摆磁铁光束线真空控制保护系统的设计. 真空, 2000, 10(5): 30 - 33
- 5 Consorzio RFX, Associazione EURATOM-ENEA sulla Fusione. Design choices for control and data acquisition in RFX. Fusion Engineering and Design, 2002, 60: 361 - 366
- 6 David J. Kruglinski. Visual C++ 技术内幕(第四版). 北京: 清华大学出版社, 1999: 671 - 673
- 7 杨继平,吴华. SQL SERVER2000 自学教程. 北京: 清华大学出版社, 2000: 5 - 6