

BEPC II 储存环真空控制系统

李刚, 赵籍九, 陈伯飞, 王克祥, 江波, 戴明辉

(中国科学院高能物理研究所, 北京 100049)

摘要:北京正负电子对撞机重大改造工程(BEPC II)的储存环真空控制系统是基于分布式实时控制软件EPICS架构设计的。真空控制系统负责储存环真空数据的采集、监测和真空阀门的联锁控制,确保真空设备维持超高真空状态。该系统自2006年11月初投入运行至今,一直工作稳定。

关键词:BEPC II; EPICS; 真空控制; 联锁

中图分类号: TP273

文献标志码: A

文章编号: 1000-6931(2010)04-0504-04

Vacuum Control System of BEPC II Storage Ring

LI Gang, ZHAO Ji-jiu, CHEN Bo-fei, WANG Ke-xiang, JIANG Bo, DAI Ming-hui

(*Institute of High Energy Physics, Chinese Academy of Sciences,*

P. O. Box 918-10, Beijing 100049, China)

Abstract: The vacuum control system of the storage ring was designed for the Beijing Electron-Positron Collider Upgrade Project (BEPC II). To keep the pressure of vacuum chamber in ultra high vacuum (UHV) status, the system is based on the structure of the distributed real time software EPICS, which is responsible of gathering, monitoring vacuum data and of the interlock control of the vacuum valves. The vacuum control system has worked well since November in 2006.

Key words: BEPC II; EPICS; vacuum control; interlock

北京正负电子对撞机重大改造工程(BEPCII)的设计亮度为 $1 \times 10^{33} \text{ cm}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ @ 1.89 GeV, 是BEPC亮度的100倍, 对撞模式下流强为 910 mA@1.89 GeV。同步辐射模式工作能量为 2.5 GeV, 流强为 250 mA^[1]。BEPC II 储存环真空控制系统体系结构基于EPICS架构设计和研制^[2], 负责监测和控制分布在储存环上的317台离子泵电源、48个真空计及16个真空阀门等真空设备。

1 真空控制系统体系结构

1.1 EPICS 软件体系结构

EPICS是基于客户机/服务器标准模型的先进的分布式控制软件系统,其结构如图1所示。EPICS软件结构由3个主要部分组成:运行在客户端的操作员接口应用(OPI)、运行在服务器上的输入输出控制器(IOC)和通道访问(CA)。客户端一般运行在Unix/Linux操作系统平台上,服务器端则运行在VxWorks、RTEMS、Linux和Windows等操作系统平台上。

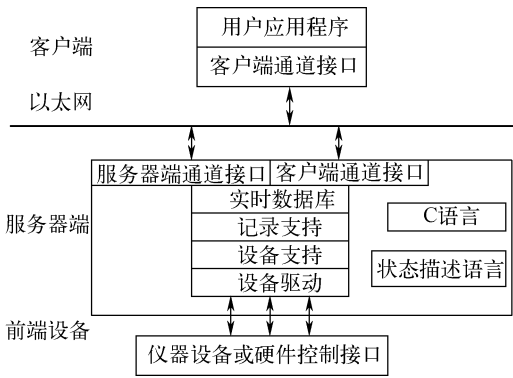


图 1 EPICS 系统结构图

Fig. 1 System structure of EPICS

BEPC II 储存环真空控制是 BEPC II 储存环控制系统的子系统,也将采用 EPICS 作为系统控制的开发工具。

1.2 真空控制系统硬件结构

图 2 所示为基于 EPICS 的真空控制系统的硬件结构框图,中央控制室 OPI 显示了前端真空设备实时工作状态的参数,提供友好的人机交互界面,供中控人员操作。基于 VME 总线的 EPICS/IOC 运行 VxWorks 操作系统,它分别通过 RS232 协议和 ControlNet 协议与真空计控制器、离子泵电源控制器和真空联锁保护系统控制接口实现数据通信。真空联锁保护系统由美国 Allen Bradley 公司 ControlLogix 的 PLC 组成^[3],负责真空阀门的联锁控制,同时,将联锁信号发送给其他相关子系统如高频

系统和机器联锁保护系统等。

真空控制系统由 2 台独立 IOC/VME 系统和 1 套 PLC 系统组成,负责正负电子环 317 台离子泵电源、48 个真空计的监测及 16 个真空阀门的控制。PLC 系统的控制信号经 ControlNet 现场总线与 VME/IOC 内的数据库进行通信,EPICS 上层用户通过 Ethernet 访问 IOC 数据库,实时监测真空系统的运行模式以及真空状态。在真空本地控制站安装工控机(IPC)和触摸屏,分别用于真空控制人员调试设备和真空人员对储存环真空系统维护。触摸屏对阀门的开关操作需要用户提供操作密码,目前仅真空人员具有对储存环真空阀门的操作权限,防止其他系统人员对阀门进行误操作。

2 真空控制

在高流强的电子储存环中,粒子在弯转时沿切线方向产生同步辐射光,高能光子打在真空盒上将引起真空盒温度和压强上升,限制了束流寿命,且引起对撞区本底的提高。因此,为满足束流寿命大于 15 h 的 ($E=1.89 \text{ GeV}, I=0.91 \text{ A}$) 设计指标,储存环真空系统的动态压强必须优于 $6.67 \times 10^{-7} \text{ Pa}$ 。真空系统采用离子泵、干机械泵、无油涡轮分子泵机组、吸气剂泵、钛升华泵等真空泵用于真空设备的排气和高真空状态的维持。在高频腔、冲击磁铁处安装了热阴极真空计,在弧区

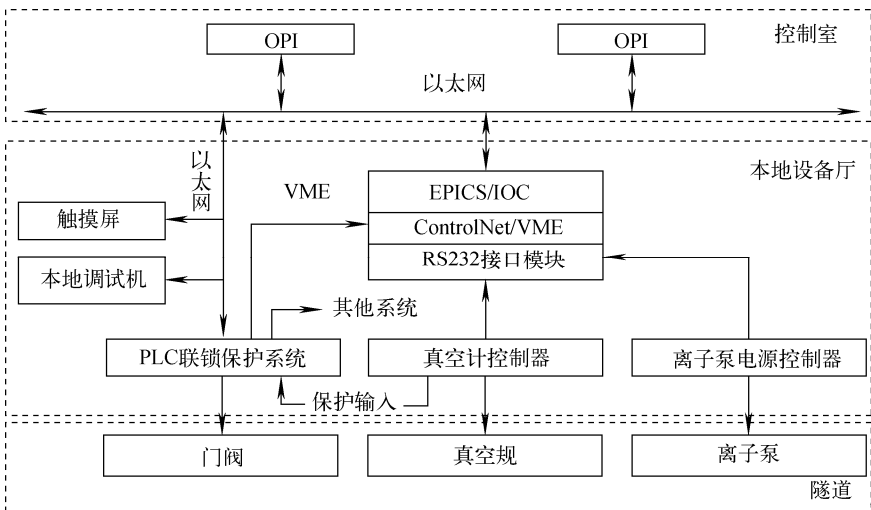


图 2 基于 EPICS 的 BEPC II 真空控制系统硬件结构

Fig. 2 Hardware structure of vacuum control system of BEPC II based on EPICS

安装了冷阴极真空计,监测实时真空状态。采用残余气体分析仪来测量真空系统的分压强。

2.1 离子泵电源控制

离子泵电源控制采用上海三井公司溅射离子泵电源控制器,每台控制器驱动 2 台离子泵。IOC 通过离子泵电源控制器的 RS232 串行通信接口实现对离子泵高压的开关操作、读取泵电流、压力和泵高压等工作参数。最初,厂家的

离子泵电源控制器无 RS232 接口,经 BEPC II 控制组和上海三井厂商多次讨论该设备控制接口方式和通信协议,最终由 BEPC II 控制组提供设备的通信协议(表 1),并经双方测试确认。该协议不但被三井厂家采纳,也直接应用到上海光源项目的真空控制系统中。BEPC II 储存环真空系统通过 159 台离子泵电源控制器控制 317 台安装在储存环隧道内真空盒上的离子泵维持真空盒的超高真空。

表 1 离子泵电源控制器的通信协议

Table 1 Communication protocol for power supply controller of ion pump

命令格式	响应格式
OffV3K(关高压 3 kV)	3OffOk1(3 k 高压关闭)或 3Error0(不能关闭)
OnV5K(开高压 5 kV)	5OnOk1(5 k 高压打开)或 5Error0(不能打开)
OffV5K(关高压 5 kV)	5OffOk1(5 k 高压关闭)或 5Error0(不能关闭)
OnV7K(开高压 7 kV)	7OnOk1(7 k 高压打开)或 7Error0(不能打开)
OffV7K(关高压 7 kV)	7OffOk1(7 k 高压关闭)或 7Error0(不能关闭)
OnHV1(开泵 1)	1OnOk1(泵 1 打开)或 1Error0(不能打开)
OffHV1(关泵 1)	1OffOk1(泵 1 关闭)或 1Error0(不能关闭)
OnHV2(开泵 2)	2OnOk1(泵 2 打开)或 2Error0(不能打开)
OffHV2(关泵 2)	2OffOk1(泵 2 关闭)或 2Error0(不能关闭)
OnRoa(开烘烤)	ROnOk1(烘烤打开)或 RError0(不能打开)
OnStar(设置启动状态)	SOnOk1(设置启动状态)或 SError0(不能设置)
OnWork(设置运行状态)	WOnOk1(设置运行状态)或 WError0(不能设置)
Reset(故障复位)	ResOk1(故障复位)或 EError0(不在故障状态)
ReadV(读电压值)	d. dE±dd(返回的电压值)
ReadI(读电流值)	d. dE±dd(返回的电流值)
ReadP(读真空度)	d. dE±dd(返回的真空度)
ReadS(读状态)	ddddddd(返回的状态值)

2.2 真空计控制

BEPC II 真空控制系统采用冷阴极规(CCG)和热规(BAG)两种真空计监测真空设备的真空状态。美国 MKS 公司的 937A 多通道控制仪可连接 3 个 CCG,共使用了 12 台该型真空计控制器控制 33 个 CCG,其测量范围为 $0.133 \sim 0.133 \times 10^{-8}$ Pa。热规采用美国 Granville-Phillips 公司的 350 型真空计控制器控制 BAG,每个 350 型控制器可控制 1 个 BAG,共使用 15 个 350 型真空控制器,其真空

度为 $0.133 \times 10^{-2} \sim 0.133 \times 10^{-8}$ Pa。

每个真空计控制器提供 RS232 通信接口和继电器报警输出,真空计采集的真空数值和其他状态参数通过 RS232 接口与上位机 VME/IOC 通信,而继电器报警输出信号直接用于启动真空联锁保护系统。

BEPC II 真空控制系统使用残余气体分析仪分析监测储存环真空盒内的气体或真空变化过程,检查真空部件是否有泄漏(漏水、漏气)及设备除气研究。

3 PLC 联锁保护

安装在正、负电子环中的 8 个真空阀门将储存环分为 16 个区段,如果某个区段内的真空度突然变坏,相应区段两边的真空阀门立即关闭,隔离故障区段,避免整个真空系统遭受致命性破坏。

BEPC II 真空控制系统选用美国 Allen-Bradley 公司 ControlLogix5555 型 PLC 为真空联锁的控制器。真空超限报警值由真空计控制器设定,当真空计控制器检测到真空超限时,产生报警信号,真空联锁保护系统接到报警信号后,根据联锁保护算法立即执行保护动作,关闭相应的真空阀门。

真空阀门控制逻辑的设计应具有自动防故障功能。只要下面任何 1 个条件成立,真空联锁保护系统必须立即关闭阀门: 1) 电源掉电; 2) 操作员操作; 3) 真空计发出报警信号。

由于外界干扰或设备故障,单一的真空计控制器可能给出错误的真空报警输出,导致 PLC 真空联锁保护系统误动作,造成加速器停机。因此,在 PLC 真空联锁保护算法中引入表决机制,根据相邻 3 个真空监测点的真空计报警输出的表决结果来确定是否关闭相应位置真空阀门。

4 上层用户界面

BEPC II 真空控制系统采用美国 NI 公司提供的图形化虚拟仪器集成开发工具 LabView 开发上层用户界面^[4]。美国洛斯阿拉莫

斯实验室开发了基于 ActiveX C/S(ActiveX 客户/服务器)方式的 LabView 与 EPICS 数据通信方式,使得 LabView 通过 Ethernet 直接访问 IOC 内的数据库。真空系统本地调试界面采用 EPICS 提供的图形界面工具 EDM。

5 结束语

自 2002 年以来,真空控制系统经过了用户调研、系统设计、方案论证以及样机的预制研究等阶段。在样机预制研究中,解决了真空控制系统开发过程中遇到的许多关键技术难题,如 RS232 串口通信开发时,真空计通信协议中空格字符处理,离子泵电源控制器通信协议的制定;实验室离线联合调试时,VME/RS232 与 VME/ControlNet 总线地址冲突等。真空控制系统自 2006 年 11 月初投入运行至今,一直工作稳定。

参考文献:

- [1] ZHANG Chuang. Introduction of the project BEPC II [R]. Beijing: [s. n.], 2005.
- [2] MARTIN R K. EPICS input/output controller (IOC) application developer's guider[EB/OL]. [2003]. <http://www.aps.anl.gov/epics/docs/USPAS2003.php>.
- [3] 罗克韦尔自动化公司. ControlNet 技术概要 [R]. 美国:罗克韦尔自动化公司,2000.
- [4] 杨乐平. LabView 高级程序设计[M]. 北京:清华大学出版社,2003.