

超导镀膜测量装置远控系统研究

李爱玲¹, 赵伟华², 郑健¹, 彭朝华¹, 周立鹏¹

(1. 中国原子能科学研究院, 北京 102413; 2. 原子高科股份有限公司, 北京 102413)

摘要: 为了测量镀铅样品腔在液氦低温环境下的超导性能, 建立了一套超导镀膜测量装置, 包括测量平台、氦气制冷机系统、真空系统、加热系统、温度测量系统和网络分析仪等设备; 其远控系统基于 EPICS 分布式设计, 设备控制器采用 SIMENS 1500 系列 PLC 控制模块, 开发环境选择 PORTAL V14 SP1, 梯形图编写设备控制流程; 在 IOC 控制器上配置 PLC 设备驱动程序和实时数据库 Database, 对设备进行控制和数据交互; 由 CSS 生成操作界面供操作人员设置参数和回读状态; 历史数据存储采用 Archiver Appliance 实现, 使用 CSS 的 data browser 显示趋势和数据查询; 通过实验, 该控制系统实现了真空低温环境, 测量了镀铅膜的超导性能, 确定了镀铅溶液配比, 较好地满足了工程的实际应用需求。

关键词: 镀膜; EPICS; 数据库; IOC 控制器; 通讯接口

Study of Remote Control System for Superconducting Coating Measuring Device

Li Ailing¹, Zhao Weihua², Zheng Jian¹, Peng Zhaohua¹, Zhou Lipeng¹

(1. China Institute of Atomic Energy, Beijing 102413, China; 2. HTA Co., Ltd. Beijing 102413, China)

Abstract: In order to measure the superconductivity of lead-plated sample chamber in liquid helium cryogenic environment, a set of superconducting coating measuring device was established, including measuring platform, helium refrigerator system, vacuum system, heating system, temperature measuring system and network analyzer. The control system is based on EPICS. The device controller adopts SIMENS 1500 series PLC module. The development environment chooses PORTAL V14 SP1 and ladder diagram to compile the device control flow. The device driver and real-time database are configured on the IOC controller to control and interact with the data. The operation interface is generated by CSS for operators to set parameters and read data back. Archiver Application is used to store historical data, and CSS data browser is used to display trends and data queries. Through the experiment, the control system realizes the vacuum and low temperature environment, measures the superconductivity of the lead-plating film, determines the proportion of the lead-plating solution, which satisfies the practical application requirements of the project.

Keywords: coating; EPICS; data base; IOC controller; communication interface

0 引言

直线超导加速器用来加速质量为 25~240 的重离子, 可使每核子平均能量提升 4MeV。超导腔是加速器的核心组成部分, 它是四分之一波长腔 (QWR), 即一端短路, 另一端为电容负载的同轴线; 腔体为无氧铜基上电镀一层约 2 微米厚的铅膜, 室温下其品质因数约为 7000, 超导下约为 5×10^7 。加速器运行时, 温度低于 7K (-266℃), 铅膜的电阻值变得很小, 此时把射频功率馈入腔内, 由于高频的趋肤效应, 超导腔工作时电损耗只发生在超导铅膜中, 极大降低了建立加速场的功率损耗^[1]。

超导腔内部镀膜的超导性能直接影响腔的加速梯度。为此建立的超导镀膜测量装置, 其远控系统基于 EPICS 分布式设计, 提供一个真空、液氦低温的环境, 测量样品腔

镀铅后的超导性能, 快速判定镀铅膜低温超导性能, 为镀铅工艺研究和镀铅工艺线建设提供技术支持, 同时还可评估镀铅溶液配比能否满足使用要求。

1 系统简介

超导镀膜测量装置是一个圆柱形密闭容器, 中间有立柱, 上有法兰与镀铅样品腔用螺钉紧固; 在外围容器与中间部分设置一个冷屏; 内部抽真空降低热传导; 在样品腔、冷屏和立柱上分布三个温度探头测量温度分布; 在 4.2 K 低温环境下, 用网络分析仪测量样品腔的 Q 值以评估镀铅溶液配比。

测量装置设备包括氦气制冷机系统、机械泵、分子泵、真空计、腔体及冷屏加热电源、温度仪表、网络分析仪等, 远控系统通过对这些设备的监测和控制, 实现对各类设备开/关机和参量调节, 对测量的数据进行计算和处理, 对设备的运行状态进行定期巡检等操作; 提供一套快速可靠、用户友好的图形操作界面, 运行人员可随时掌握各种运行信息, 调整和控制设备的各种参数; 建立存放大量实时数据的实时数据库和存放历史数据的历史数据库, 分别供控制系统人员在线和离线分析使用; 具有异常报警功能, 当

收稿日期: 2019-06-18; 修回日期: 2019-07-18。

基金项目: 国防科工局重大专项—重离子辐照条件建设项目 (FZTJ)。

作者简介: 李爱玲(1973-), 女, 河南郑州人, 博士, 高级工程师, 主要从事加速器控制技术方向的研究。

设备的参数超出设定值时报警并记录到事件数据库中。

在这些设备中，氦气制冷机系统不断收集回路系统中的低压氦气，将其压缩、冷却、滤油后，通过供气管路将气体输送到冷头，为装置提供高压无油的低温氦气。在其前面板上有一个用于诊断压缩机运行状态和远程控制的接口，型号为 DB-25，控制信号包括系统启动与关闭、冷头电机运行与暂停、系统运行状态、电磁阀工作状态等共 4 个数字量输出 (DO)、9 个数字量输入 (DI) 与 1 个模拟量输入 (AD) (0~5 V)。

真空设备前级为机械泵，通过接触器控制 220 V 电源连接与断开；当真空度为 10^{-2} Pa，切换到分子泵继续抽真空，分子泵采用 OSAKA 的 TC76，其电源通讯接口为 RS232；真空计监测系统真空度，在液氮温度下，真空度达到 3×10^{-6} Pa，使用 LeyboldGraphix Controller 控制器，通讯接口有 RS232 和 RS485 两种，编程时，使用 CENTER 通讯模式，GRAPHIX 会自动向上位机传输当下的真空压力值。加热电源的作用是系统在液氮温度下，做完实验后，加热使其快速回温到常温状态，通讯接口为 RS485，MODBUS 通讯协议。测量系统分布 3 个温度探头测量液氮温度，温度仪表 Lakeshore218E 连接测温探头显示温度，通讯接口为 RS232；一台网络接口的网络分析仪分析样品腔镀铅后的超导性能参数。设备与信号量统计如表 1 所示。

表 1 设备与控制量信号统计表

设备名称	数量	型号	RS232	RS485	以太网	DI	DO	AI	备注
氦气制冷机	1	KDC6000V				9	4	1(0~5V)	
分子泵电源	1	TC76-10	1						
加热电源	1	HSPY		1					Modbus RTU
温度仪表	1	218E	1						
真空计	1	GRAPHIX		1					
机械泵	1					2	1		220V
网络分析仪	1				1				
总计			2	2	1	11	5	1	

2 控制系统技术方案

EPICS (实验物理和工业控制系统) 是由美国洛斯阿拉莫斯国家实验室和阿贡国家实验室等联合开发的典型的分布式控制系统软件开发工具，它采用了分布式控制系统的标准模型，具有可移植性、可互操作性、可裁减性以及可重用性特点；而且经过大量实例证明，EPICS 还具有运行稳定、系统结构灵活、开放性好、可扩展性好等诸多优点；同时目前的发行版本中大量工具都是免费的且提供丰富的支持文章，因此 EPICS 现已逐渐成为国际大型加速器控制系统的一个主流开发和运行环境^[2]。

测量装置控制系统采用基于 EPICS 的分布式软件开发环境，结构上分为操作员接口层 (OPI)，输入输出控制层 (IOC) 和设备控制层^[3]，如图 1 所示。OPI 提供人机操作界面供操作人员参数设置和状态回读；IOC 对设备进行监测控制、故障报警和联锁操作，并建立分布式的 IOC 实时数据库，OPI 和 IOC 以客户机/服务器模式工作在网络环境中，实现数据和信息交换；EPICS 提供了 Channel Access 通道访问协议，通过它可使 Channel Access 客户与任意一个 Channel Access 服务器进行网络通信。设备控制层控制底层设备。

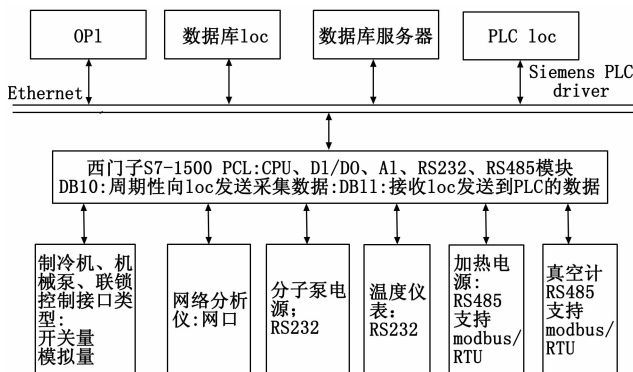


图 1 超导样品测量控制系统结构图

与 EPICS 的体系结构相对应，控制系统的硬件分为 OPI、IOC 控制器和设备控制器。设备控制器选用 SIMENS S7-1500 系列 PLC 模块，它体积精巧，支持大容量扩展，可容纳高达 8192 个输入/输出点，并配备有各种可用于多种不同应用的功能模块；同时它具有高速指令处理能力，适于需要高速度和快速响应的应用；CPU 集成 LCD 屏和键盘，便于设置和诊断，随时监控 CPU 的运行状态^[4]。PLC 模块由集成以太网通讯接口的 CPU 处理器、电源模块、I/O 模块和机架等组成，根据设备接口及控制量统计，PLC 选用 CPU 模块 1511，AI 模块、DO 模块、DI 模块各 1 块，RS232 和 RS485 通讯模块各 2 块。PLC 与这些设备相连，运行在 PLC IOC 上的 EPICS IOC Core 软件通过内部的 Device Drivers 与 Device Support 与 PLC 进行通信，从而将对 PV 值的读写对应到对实际设备值的读写上。

IOC 控制器通常对设备进行监测控制、故障报警和联锁操作，IOC 控制计算机、数据服务器和操作员控制台计算机通过以太网进行数据通讯。IOC 控制器选择安装 centOS 7 操作系统的 PC 机，在其上建立分布式的 IOC 实时数据库 Database，通过一定的数据结构将 PV 变量的各种属性、值进行保存。在 EPICS 中拥有大量的数据记录类型，如模拟输入输出、数字输入输出、字符串、波形记录等，用户也可以自行编写 Record Support 形成新的数据记录类型。IOC 提供数据库系统管理与访问的工具，并配置 PLC 设备驱动程序。由于实时控制在 IOC 控制机上运行且只执行专门的操作，因此系统可达到较高的可靠性和实时响应速度，同时简化了系统的工艺控制逻辑，降低了不同系统

间的耦合, 并具有良好的扩充功能。

OPI 层采用 PC 机用于系统的监控, 与 IOC 层通过局域网连接。在其上建立 EPICS 控制系统软件开发环境, 包括客户端操作系统、操作员界面、远程访问工具以及本地文本编辑工具。操作员界面的开发和运行环境采用 DESY 的 64 位 CSS (Control System Studio) 软件, 通过 Channel Access 协议与 IOC 控制器或者服务器建立连接, 改变现场设备的参数, 达到控制各子系统运行的目的。CSS 基于 Eclipse 的客户端接口框架, 由一系列 plugin 组成, 具有平台无关性, 可以在不同的操作平台进行移植。

数据服务器运行 Linux 操作系统, 通过 Channel Access 协议读取 IOC 控制器的数据, 存储多个 PV 变量的历史数据, 可以使用 CSS 的 Data Browser 打开任何时间的数据进行趋势显示和数据查询。

3 软件设计

测量装置控制系统的软件与硬件相对应, 分布在 PLC 控制器、前端 IOC 以及 OPI 和数据服务器上。PLC 编程工作与设备相关, 主要完成控制流程、逻辑互锁等功能; 开发环境选择 SIEMENS 公司的 PORTAL V14 SP1, 采用简单直观、易于修改 PLC 程序的梯形图编写。IOC 控制器软件的核心是分布式运行数据库以及相关的输入输出支持模块, 比较重要的功能包括数据库扫描 (database scanning)、数据库访问 (database access)、记录支持 (record support)、设备/驱动支持 (device/driver support) 等几个部分; 数据库中记录的 I/O 操作, 通过 iocCore 中的扫描器 (scanner) 扫描数据库记录实现, 有周期扫描、事件触发扫描和被动扫描三种方式^[5]。

3.1 PLC 软件开发

测量装置 PLC 软件实现设备的控制功能: 通过温度仪表通讯接口实时读取 3 路温度数据; 加热电源开启/停止、设定和读取电压/电流值; 机械泵的启动和停止; 分子泵的启动/停止、转速设置和读取以及设备复位信息; 真空值的读取; 氦气制冷机的开关机控制、读取压力数值和报警状态。

开始实验时, 首先安装镀铅样品腔, 紧固后放下冷屏, 密闭外盖; 远控系统启动, 打开机械泵抽真空, 真空计显示真空度, 当真空到 10^{-2} Pa, 打开分子泵继续抽真空到 10^{-5} Pa; 启动氦气制冷机, 温度仪表监测温度, 在液氦温度下, 用网络分析仪测试样品腔频率 f 和品质因数 Q 值; 当设备出现故障, 会显示相应的故障状态并进行处理。

控制软件自动控制全部流程, 同时规定 DB10: 周期性向 IOC 发送采集数据; DB11: 接收 IOC 发送到 PLC 的数据。在编写 PLC 程序时, 根据每个设备接口, 编写相应的梯形图程序。对于 RS232/RS485 串口设备, 通讯协议都不相同, 以温度仪表 PLC 程序为例, 将连接的串口模块通讯设置为: 波特率 9600、1 起始位、7 数据位、奇校验、1 停止位, 建立 RS232 通讯模块与温度仪表的连接; 询问某通道温度数值的语句为 KRDG? n, 在 DB18 中与之对应的十六进制数组 {4B, 52, 44, 47, 3F, 3n, 0D, 0A}, 将该数组通过 Send_P2P 模块发至温度仪表, 仪表接收命令将温度数据回传至通讯模块, PLC 通过 Receive_P2P 模块读取数据, 经过 ZXB 运算模块数据处理得到温度值。PLC 依次计算得到各个通道的温度数值, 并将数据存入 DB10 模块等待 IOC 读取。使用梯形图编写的部分程序如图 2 所示。

名称	数据类型	偏移量	起始值
Static			
温度SEND	Array[0..7] o...	0.0	
温度SEND[0]	Byte	0.0	16#48
温度SEND[1]	Byte	1.0	16#52
温度SEND[2]	Byte	2.0	16#44
温度SEND[3]	Byte	3.0	16#47
温度SEND[4]	Byte	4.0	16#3F
温度SEND[5]	Byte	5.0	16#0
温度SEND[6]	Byte	6.0	16#0D
温度SEND[7]	Byte	7.0	16#0A

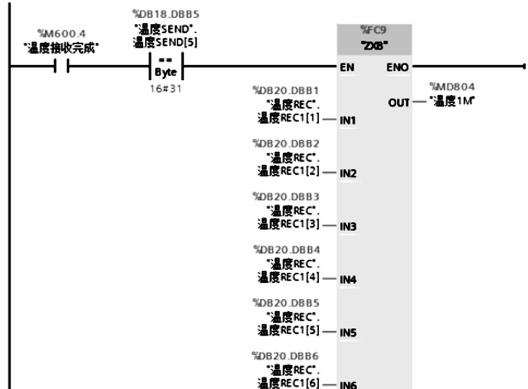
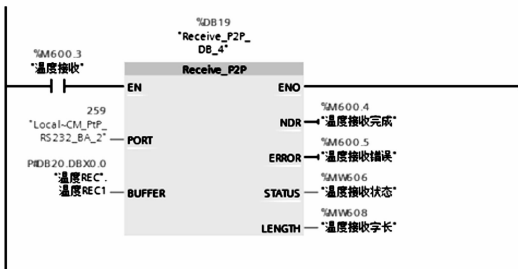
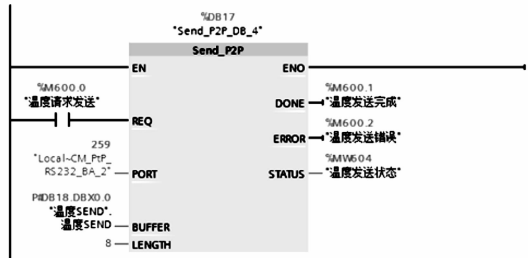


图 2 温度仪表串口通讯梯形图

3.2 IOC 设备驱动和记录编写

EPICS/IOC 安装在计算机上, 核心是一个常驻内存的分布式实时数据库系统, 进入数据库的实时数据都带有采样时的时间标记 (time stamp); IOC 提供数据库系统管理与访问的工具, 并提供了西门子 PLC 的驱动程序; EPICS 内置了 50 多种数据库记录 (DB record) 与 I/O 通道相连, 存放通道信息和实时数据。

西门子 S7-1500 系列 PLC 的 IOC 驱动 s7nodave, 支持通过 Ethernet/PROFINET (ISO-TCP) 连接的 PLC, 它的优点是在 PLC 侧不用编程, 只需要在 IOC 上配置。S7nodave 支持 IOC 设备直接读取和写入 PLC 内存数据, 在 EPICS 记录里使用这些地址编写 PLC 控制逻辑, 输出记录会把数据写入 PLC 相应地址, 输入记录可以回读 PLC 数据, 每个记录可以有不同的处理速率, 也可以配置 poll group 让所有数据同时传输^[6]。

在 IOC 计算机上首先安装编译 EPICSbase3.14.12, 它包含 EPICS 基本的记录类型; 因为 S7nodave 支持执行异步的设备, 所以需要编译 asynDriver 作为配置管理、日志管理和异步处理; 把编译时需要的 BoostC++ 库解压到某个文件夹里; 最后编译 s7nodave, 配置以下两个参数完成设备驱动安装。

```
s7nodaveConfigureIsoTcpPort("myPLC", "192.168.0.6", 0, 0, 0)
```

```
s7nodaveConfigurePollGroup("myPLC", "1s", 1, 0, 0)
```

IOC 数据库的记录与 PLC 的每一个地址相对应, 用于实现工程量到物理量的转换和其它的一些控制逻辑。数据库的记录类型包括模拟输入 AI、模拟输出 AO、二进制输入 BI、二进制输出 BO 和计算 CALC 等, 除了计算记录外, 其余四种都与 PLC 里的数据类型相同。以加热电源为例, 编写的部分记录如下:

```
record(bo, "heat;ON") //打开电源
{
  field(DESC, "heat power ON")
  field(DTYP, "s7nodave")
  field(OUT, "@myPLCDB11.DBX11.5")
  field(OMSL, "supervisory")
}

record(ao, "heat;setV") //设置电压
{
  field(DESC, "set heat V")
  field(DTYP, "s7nodave")
  field(OUT, "@myPLCDB11.DBD34 float")
}

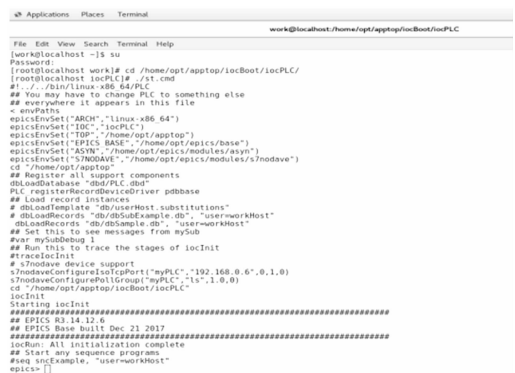
record(ai, "heat;V") //电压回读
{
  field(DESC, "read V")
  field(DTYP, "s7nodave")
  field(INP, "@myPLCDB10.DBD52 float")
  field(SCAN, "1 second")
}
```

在 st.cmd 文件里, 添加记录文件和与 PLC 驱动有关的参数, 在 EPICS 下编译成功如图 3 所示, 此时 IOC 与 PLC 里的数据开始交互共享。

3.3 历史数据存储

测量装置控制系统的历史数据存储采用 Archiver Appliance, 它运行在安装有 CentOS 系统的服务器上, 用来存储真空度、温度值、真空泵和制冷机状态等运行数据。Archiver Appliance 是基于 EPICS 的数据存取管理软件, 它具有数据提取快、获取百万量级 PV、组建应用程序集群的能力, 以及分段存储使数据存储速度更快^[7]。历史数据查看使用 EPICS 专用的数据查看软件 Archiver Viewer 或 CSS 的 Data Browser, 通过分析 Archiver 历史数据, 准确地诊断设备故障原因, 在系统运行过程中发挥着极其重要的作用。

Archiver appliance 的安装过程是: 首先在安装 64 位操作系统 centos7.4 的服务器上, 编译 EPICS base3.14.12.6; 安装 jdk-9.0.1, 配置环境变量; 安装 tomcat WEB 服务器; 最后安装 mysql 数据库^[8]。安装完毕, 启动/etc/init.d/sampleStartup.sh start, 打开网址 http://localhost:17665/mgmt/ui/index.html 便可添加欲存储的 pv 量, 并显示每个 PV 量的状态、是否连接、采样周期以及是否被监控等参数, 点击 quick chart 还能显示历史数据曲线。Archiver Appliance 程序根据配置文件的变量名及其相关的采集频率, 将需要保存的数据从 IOC 的实时运行数据库中取出, 保存到历史数据库中, 如图 4 所示。



```
Applications Places Terminal
work@localhost:~/home/opt/apptop/locBoot/locPLC
File Edit View Search Terminal Help
work@localhost ~$ ls
Password:
[root@localhost locPLC]# cd /home/opt/apptop/locBoot/locPLC/
[root@localhost locPLC]# ./st.cmd
# ./././bin/linux-x86_64/PLC
## You may have to change PLC to something else
## everywhere it appears in this file
< envPaths
epicset("ARCH", "linux-x86_64")
epicset("IOC", "locPLC")
epicset("TOP", "/home/opt/apptop")
epicset("EPICS_BASE", "/home/opt/epics/base")
epicset("ASYN", "/home/opt/epics/modules/asyn")
epicset("S7NODAVE", "/home/opt/epics/modules/s7nodave")
cd "/home/opt/apptop"
## Register all support components
dbLoadDatabase "db/PLC.dbd"
PLC_registerRecordDeviceDriver pdbase
## Load record instances
## dbLoadTemplate "db/userHost_substitutions"
## dbLoadRecords "db/dbSample.db", "user=workHost"
dbLoadRecords "db/dbSample.db", "user=workHost"
## Set this to see messages from epJob
#var mySubDebug 1
## Run this to trace the stages of locInit
#trace locInit
# s7nodave device support
s7nodaveConfigureIsoTcpPort("myPLC", "192.168.0.6", 0, 1, 0)
s7nodaveConfigurePollGroup("myPLC", "1s", 1, 0, 0)
cd "/home/opt/apptop/locBoot/locPLC"
locInit
Starting locInit
#####
## EPICS R3.14.12.6
## EPICS Base built Dec 21 2017
## s7nodave built Dec 21 2017
locRun: All initialization complete
## Start any sequence programs...
## see example, "user=workHost"
epics>
```

图 3 IOC 启动界面

3.4 OPI 软件开发

OPI 软件是运行人员完成测量装置启动、参数调整、镀膜测量和停机的主要手段。CSS 是一套专门用于开发 EPICS 界面的工具集, 提供了多种输入/输出控件, 比如文本输入/输出、仪表控件、各种 2D 图形绘制工具、趋势图控件、LED 模拟以及各种按钮等, 并且 CSS 提供的所有控件都是可组态的; 此外, CSS 具有良好的可扩展性, 能够根据实际需要自定义控件, 也可以自行添加控件^[9]。

测量装置由 CSS 生成的控制界面如图 5 所示。将每种设备的参数集中在一起, 通过点击设备的相应参数, 即可实现对该设备的控制和显示。将样品腔镀膜后用高压纯净水清洗, 放于测量装置内, 从图上可以看出, 在真空度为

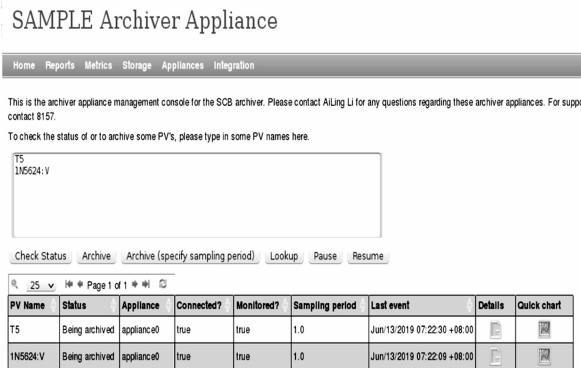


图 4 历史数据存储界面

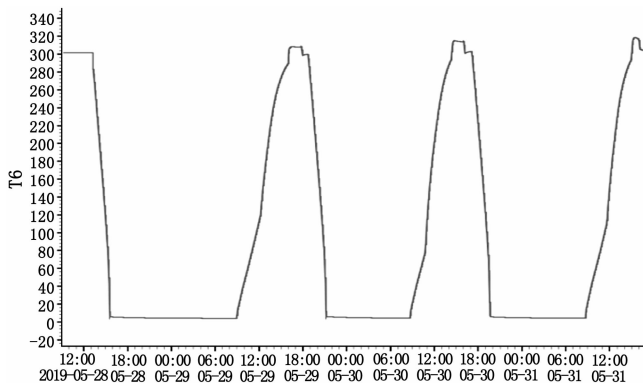


图 6 T6 历史数据查询

10^{-6} Pa, 液氮温度时, 测量镀铅样品腔的 f 为 1 635 021 GHz, Q 值为 2 508 743。将样品腔镀膜除铅后, 用同样的溶液在样品腔内电镀铅膜, 在高真空和低温下, 测量镀膜的超导性能, 重复多次实验, 测量的镀铅样品腔的 f 和 Q 值都很接近, 表明镀液配比能够满足工程需求。

历史数据显示采用 CSS 里的 data browser 与数据库连接, 设置地址为 pbrow: //192.168.0.12: 17668/retrieval, 即可获得 PV 量的历史数据^[10]。如图 6 所示为 T6 存储 4 天的数据, 右键单击 export data 将数据存储, 包括日期、数值、报警级别和状态等, 可以文本方式或其他工具打开数据。

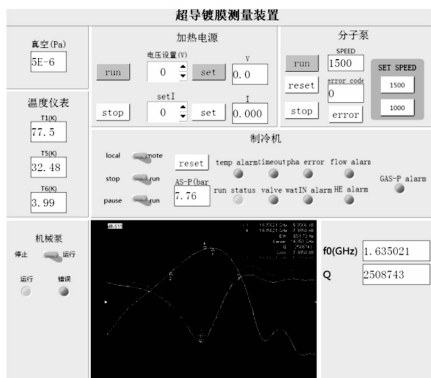


图 5 超导镀膜测量装置控制界面

4 结论

利用超导镀膜装置测量镀铅样品腔的超导性能, 其远控系统基于 EPICS 平台搭建, 实现了抽真空、样品腔体降温、回温加热和镀铅腔的超导性能测量的自动化控制, 满足

(上接第 62 页)

[9] Kingma D P, Ba J. Adam: a method for stochastic optimization [J]. Computer Science, 2014 (12): 69-80.

[10] Kumarshivas A, Kumar Dewangan A. An ensemble model for classification of attacks with feature selection based on KDD99 and NSL-KDD data set [J]. International Journal of Computer Applications, 2014, 99 (15): 8-13.

[11] 姚洪磊. 基于集成学习的 DDoS 攻击检测 [D]. 天津: 天津理工大学, 2018.

了工程应用需求。实验结果表明, 该装置能够安全稳定的运行, 为以后的超导腔镀铅工作顺利进行打下了重要基础; 同时该控制平台的建立也为实验室以后的控制工作拓展创造了条件。

参考文献:

[1] 彭朝华, 等. 直线超导加速器主工艺设计报告 [Z]. 中国原子能科学研究院, 2016.

[2] Argonne National Laboratory. Experimental physics industrial control [EB/OL]. <http://www.aps.anl.gov/epics/index.php/>.

[3] Kraimer R, et al. EPICS application developer's guide [EB/OL]. 2016. <https://epics.anl.gov/base/R3-14/12-docs/AppDevGuide/>.

[4] TIA 博途与 SIMATIC S7-1500 可编程控制器 [EB/OL]. <http://www.ad.siemens.com.cn/download/docMessage.aspx?Id=7366/>.

[5] EPICS 3-14 Record Reference Manual [EB/OL]. https://wiki-ext.aps.anl.gov/epics/index.php/RRM_3-14/.

[6] Sebastian M. s7nodave Device Support for EPICS [EB/OL]. <http://oss.aquenos.com/epics/s7nodave/>.

[7] Shankar M, Li L F, Davidsaver M, et al. The EPICS Archiver Appliance [R]. Proceedings of ICALEPCS, Melbourne, Australia, 2015.

[8] TheEPICS Archiver Appliance [EB/OL]. http://slacmshankar.github.io/epicsarchiver_docs/details.html/.

[9] 郭冰, 等. TMSR CSS 集成开发工具软件的实现与应用 [J]. 核技术, 2013, 36 (11): 06021-06025.

[10] Kay Kasemir, et al. Control System Studio Guide: For installers and maintainers of CSS [Z]. 2012.

[12] 吴东方. 基于机器学习的工业互联网入侵检测方法研究 [D]. 兰州: 兰州理工大学, 2018.

[13] Gaikwad D, Thool R C. Intrusion detection system using bagging with partial decision tree base classifier [J]. Procedia Computer Science, 2015, 49 (4): 92-98.

[14] 安尼瓦尔·加马力, 亚森·艾则孜, 木尼拉·塔里甫. 基于连接数据分析和 OSELM 分类器的网络入侵检测系统 [J]. 计算机应用研究, 2017 (12): 235-238.