

# 4W1 磁铁电源控制系统的改造

王春红 刘佳 赵籍九

(中国科学院高能物理研究所 北京 100049)

**摘要** 在北京正负电子对撞机(BEPC)中用于同步辐射 X 光研究的插入件 4W1 磁铁由主线圈绕组和补偿线圈绕组组成, 由两台高精度直流电源(主电源和辅助电源)供电. 2004 年 11 月, BEPC 开机使用的两台主电源和辅助电源是重新设计制造的, 采用新的控制接口 PSI 和控制器 PSC 进行控制. 这套系统是在 BEPC II 磁铁电源控制样机 PSC/PSI 完成的基础上仅用 1 个月的时间完成的. 在运行初期经过多次调试和修改后, 安全无故障运行历时 4 个月, 为同步辐射提供两条 X 光束线, 保证了用户顺利地进行实验. 它是第一个投入运行的 BEPC II 储存环控制系统的一个新系统. 介绍了基于 EPICS 平台开发的 4W1 磁铁电源新的控制系统和 4W1 磁铁升降流的特点以及控制升降流应用程序的研制.

**关键词** BEPC 磁铁电源 控制 电源控制器 PSC/PSI EPICS

## 1 引言

在北京正负电子对撞机(BEPC)中目前用作同步辐射光源的插入件 4W1 磁铁是一台单周期电磁扭摆器(或称为波长移动器)<sup>[1]</sup>. 从 4W1 磁铁前端引出两条光束线, 供同步辐射 X 光领域的科研需要. 4W1 磁铁是由主线圈绕组和补偿线圈绕组组成, 由两台高精度直流电源(主电源和辅助电源)供电. 4W1 磁铁工作原理是主磁铁升流, 辅助绕组进行同步电流补偿. 补偿电流仅在升、降磁场过程中使用, 在最高磁场时, 可以关闭辅助电源. BEPC 本轮开机使用的这两台主电源和辅助电源是重新设计制造的, 采用新的控制接口 PSI 和控制器 PSC 进行控制. 这种电源控制器和接口 PSC/PSI 是美国 SNS 实验室研制的, 将用于北京正负电子对撞机二期改造工程(BEPC II)储存环所有磁铁电源的控制<sup>[2]</sup>. 美国 SNS 实验室已对这种电源控制器 DAC/ADC 的分辨率、线性度和稳定度以及环境温度变化对系统稳定度的影响作了详细的测试<sup>[3]</sup>. 测试结果表明 DAC/ADC 的分辨率为 16bit, 稳定度为 30ppm, 环境温度变化对系统稳定度的影响为 5ppm/°C. 并且这种控制器已成为商用产品, 由美国 Apogee Lab 公司生产销售. 在将其用于 BEPC II 储存环所有磁铁电源的控制之前, 作者用这种电源控

制器 PSC/PSI 对 Q 铁电源样机进行了在线测试, 满足了 Q 铁电源控制功能的要求, 进行了多次长时间稳定度测试, 结果证明其控制精度和稳定度均可达到  $5 \times 10^{-5}/4h$ . 这种控制器于 2004 年 6 月 9 日通过了国内专家鉴定, 性能指标均达到 BEPC II 高精度电源的控制要求. 4W1 磁铁电源新的控制系统是在 BEPC II 磁铁电源控制样机 PSC/PSI 完成的基础上仅用 1 个月的时间完成的, 及时保证了 BEPC 2004 年—2005 年度同步辐射运行. 它是第一个投入运行的 BEPC II 储存环控制系统的一个新系统.

这套系统完全是基于 EPICS 平台开发的. 作者首次将 EPICS<sup>[4]</sup>系统和电源控制器及接口 PSC/PSI 用于 BEPC 储存环磁铁电源在线控制和运行中, 提前将 BEPC II 磁铁电源控制系统投入到实际中进行验证.

## 2 4W1 磁铁电源控制系统体系结构

4W1 磁铁电源控制系统采用国际加速器控制界“标准模型”<sup>[4]</sup>的分布式控制体系结构, 由图 1 所示. 由一台操作员控制台计算机、网络、前端控制计算机和一块电源控制器及两块电源接口 PSI 组成.

挂在以太网上的一台 PC/Linux 计算机作为操作员控制台, 安装了 EPICS 软件包和上层软件工具

EDM等. 操作员界面是由EDM产生的, 用于远程控制 and 监视4W1磁铁电源的运行. 前端控制计算机是基于VME总线的VMEPowerPC750系列单板机MVME5100, 通过网络从主机PC/linux下载和运行

VxWorks实时操作系统、实时数据库、PSC/PSI驱动程序和EPICS设备驱动程序及数据库记录支持程序. 电源的开/关控制和电流值的设置/采集以及故障报警均在前端机MVME5100上进行.

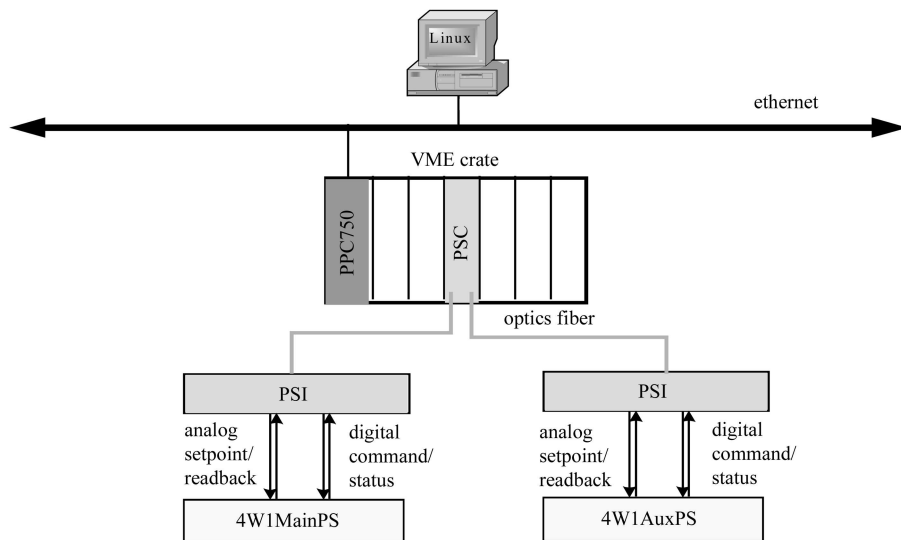


图 1 4W1 磁铁电源控制系统体系结构

电源控制器PSC(Power Supply Controller)是一块标准的VME插件, 安装在VME机箱里. 电源控制接口PSI(Power Supply Interface)是一块与VME插件尺寸相同的插件, 安装在带有供电电源的一个1U高, 19英寸宽的盒子里, 插在电源机柜里<sup>[5]</sup>. 4W1磁铁主、辅电源各有一块盒装的PSI. 电源控制器PSC和电源接口PSI之间采用光纤通讯, 一个PSC可控制6个PSI, 不需要额外数字和模拟信号传输的隔离电路, 避免了电源设备对控制系统引起的电磁干扰的问题. 安装简单, 布线简单, 电源接口与电源控制器之间一根光缆, 电源接口与电源之间两根电缆, 一根为数字信号, 一根为模拟信号. 这大大简化了控制系统与电源的接口.

PSC可以通过VME总线接收数据和命令. PSI有一个16位的D/A转换器和4个16位A/D转换器. PSC与PSI之间通过光纤传递信息, 光纤的传输速率为5Mb/s. 最长的命令和响应时间是约80.2 $\mu$ s.

### 3 软件的开发和研制

运行Linux的PC机负责加载VxWorks和EPICS

应用到前端机MVME5100上. 由显示软件EDM开发的操作系统运行于Linux上. 软件是在主机PC/Linux上开发的, 包括EPICS软件包的安装和应用环境的建立, PSC/PSI驱动软件的安装、修改和调试, 数据库的配置, EPICS IOC的建立和实时数据库的调试以及操作界面的研发. 这些软件的研发全部遵循EPICS规范, 这里不再详述, 下面主要介绍4W1磁铁升降流的特殊性和控制升降流应用程序的研制.

#### 3.1 4W1磁铁电源升流过程

4W1磁铁升流的工作机理是主磁铁升流, 辅助绕组进行电流补偿. 根据主磁铁和辅助绕组的磁测数据如图2所示, 用多项式最小二乘法拟和编程得到三次多项式, 如公式(1)所示. 根据此公式得到的主铁电流 $I_{\text{main}}$ 与辅助绕组补偿电流 $I_{\text{aux}}$ 的关系曲线如图3所示, 依据此关系使用EPICS提供的状态描述语言(State Notation Language)<sup>[6]</sup>研制了Ramp程序. 用多项式最小二乘法拟和的多项式为

$$I_{\text{aux}} = -2.7196e - 06I_{\text{main}}^3 - 1.4463e - 03I_{\text{main}}^2 + 1.7365I_{\text{main}} - 59.4592. \quad (1)$$

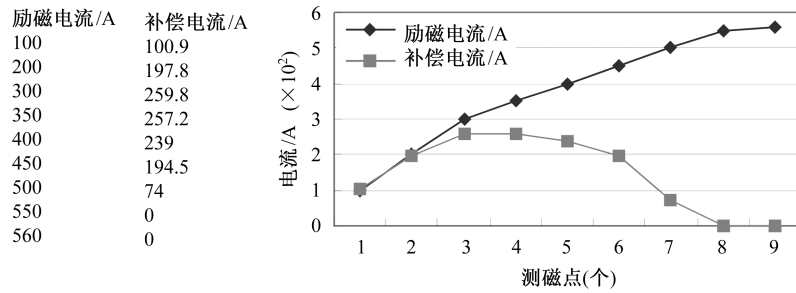


图 2 磁铁测量的激励电流与补偿电流之间的关系

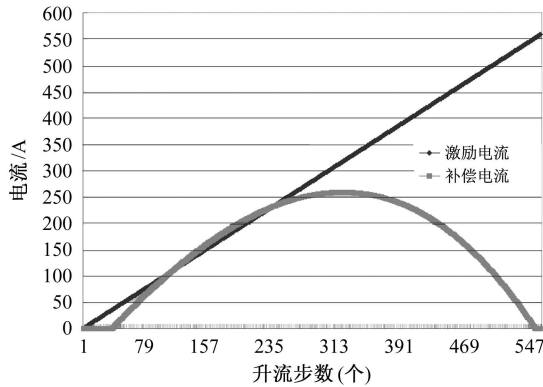


图 3 多项式最小二乘法拟和的主铁电流与辅助绕组补偿电流的关系

### 3.2 4W1 磁铁电源 Ramp 编程

Ramp 是完成主磁铁升流, 辅助绕组进行同步电流补偿的跟踪控制. 4W1 磁铁电源 Ramp 编程是用 EPICS 提供的实时工具状态转换处理器 Sequencer 和状态描述语言(State Notation Language)实现的. Ramp 程序是在主机 PC/Linux 上开发的, 下载到前端

机 MVME5100 上运行的. 它在实时的环境下, 监视来自操作员的命令, 执行相关的动作, 实施实时数据的设置和监测, 实现主磁铁升流, 辅助绕组进行同步电流补偿的跟踪控制. 它主要由 3 部分状态集组成: RampUp, RampDown 和 RampAbort.

4W1 用于同步辐射 X 光的设计电流值分别为: 主磁铁电源最大电流为 700A, 理想电流值为 500A. 辅助绕组电源的最大电流为 300A, 补偿电流理想值为 100A. 为此, RampUp 状态集负责将主磁铁电流和辅助绕组的补偿电流同步地按相同速率分别升到各自的理想电流值. RampDown 状态集负责将主磁铁电流和辅助绕组的补偿电流从当前值同步地按相同速率分别降到零. RampAbort 状态集负责随时终止 4W1 磁铁升流或降流的过程.

### 3.3 4W1 磁铁电源的控制页面

4W1 磁铁电源的控制操作员主界面如图 4 所示, 它以表的形式组成.

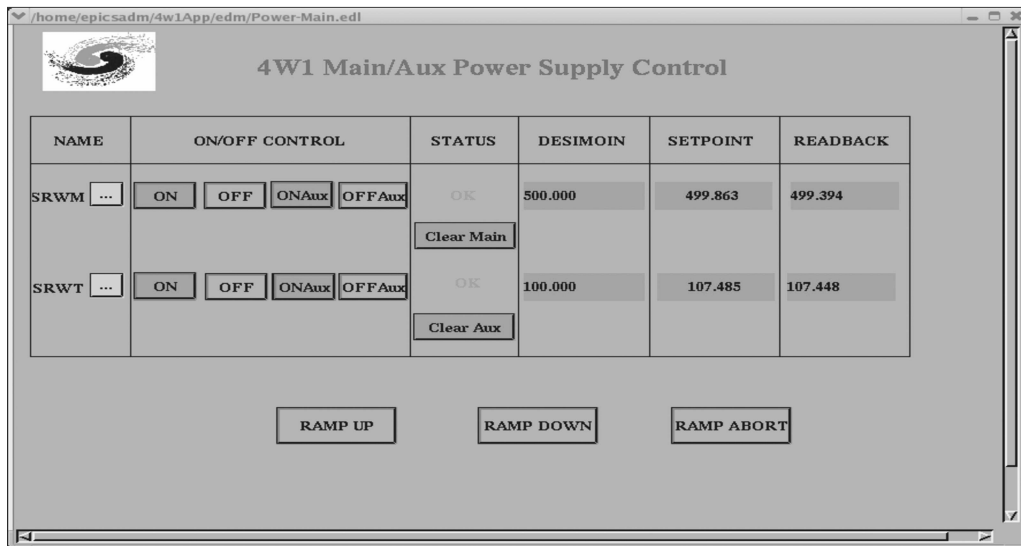


图 4 4W1 磁铁电源的控制主操页面

每台电源有4个控制按钮分别控制主回路/辅助回路的开、关. 状态栏显示每台电源与PSC/PSI的连接状态OK/ERROR. 每台电源的理想电流值和当前设置值以及电源的电流回采值分别显示在相应的列上. 有3个按钮分别用于4W1磁铁电源的同步升流(RampUp)、同步降流(RampDown)、终止升降流过程(RampAbort). 每台电源都有一个进入单台控制的操作页面,如图5,图6所示,可实现单台的开关、升降流操作. 单台控制的操作页面采用统一的标准模板设计,功能相同、样式相同,磁铁电源的名字使用宏替代自动生成,可使多台磁铁电源的单台控制操作页面批量生成,缩短了磁铁电源的控制操作页面研制时间.

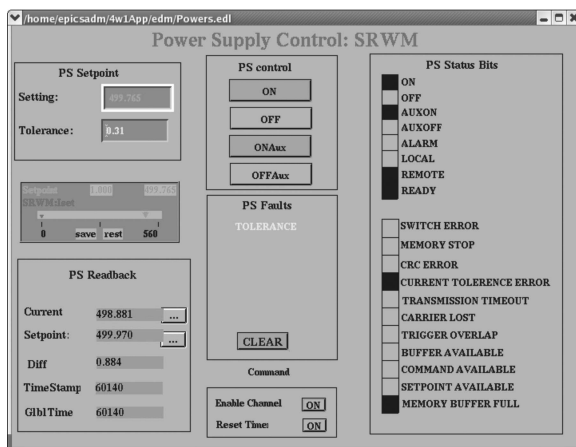


图 5 主电源操作页面

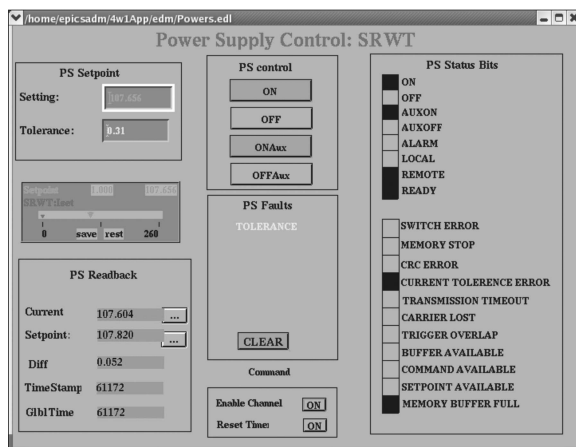


图 6 辅助电源操作页面

这大大提高了操作页面的研制自动化程度. 4W1磁铁主、辅电源的同步升流的实时曲线如图7所示,它是由EPICS OPI工具StripTool实时监视主电源和辅助电源的电流设置值和回采值汇制而成的,它真实地反映了主铁电流与辅助绕组补偿电流的升流过程和二者之间的关系,与用多项式最小二乘法拟合编程得到三次多项式是吻合的.

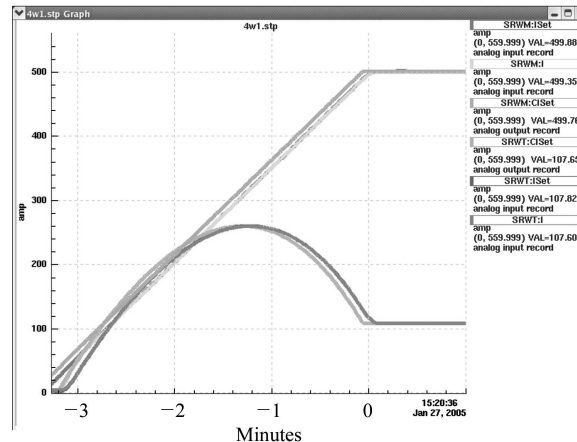


图 7 4W1磁铁主、辅电源的同步升流的实时曲线

## 4 结束语

改造后的4W1磁铁电源新控制系统在BEP C同步辐射运行中使用效果良好,4W1主磁铁升流过程中,辅助绕组可进行同步地电流补偿,证明了作者用多项式最小二乘法拟合的曲线是正确的,满足了4W1磁铁引出X光的要求;4W1主磁铁升流过程中,辅助电源升流,完全按照磁测的真实数据拟合的光滑的多项式三次曲线升流,其间没有任何畸变.而以前是采用多段的二次曲线进行升流,不是一个完整的光滑曲线,其间有突变点.根据中控台通过视频信号而获取的光斑实时图像如图8所示,通过值班人员观测发现与以前4W1磁铁电源工作时相比,束流光斑更稳定了,保证了X光的束束质量,达到了同步辐射的运行要求;这是4W1主、辅两台电源带新接口改造后的新控制系统带来的一大明显优点.



图 8 同步辐射光斑

4W1磁铁电源新控制系统的成功运行也证明了

智能控制器 PSC/PSI 用于 BEPC II 高精度电源控制是切实可行的, 为 BEPC II 整个电源控制系统的建造奠定了基础.

在 4W1 磁铁电源在线联调过程中, 电源组的同事给予了密切的配合和帮助, 在此表示感谢. 同时感谢加速器中心领导和有关同事在工作中给予的支持.

---

### 参考文献(References)

- 1 SHI Cai-Tu et al. The Insertion Device in BEPC Storage Ring. Workshop on Synchrotron Radiation between Chinese Mainland and Taiwan. October, 1993, Beijing, China (in Chinese)  
(石才土等. BEPC 储存环中的插入件. 第一次两岸同步辐射学术研讨会, 1993, 北京)
- 2 WANG Chun-Hong, LIU Jia, ZHAO Ji-Jiu et al. Nuclear Electronics & Detection Technology, 2004, **24**(4): 410—413 (in Chinese)  
(王春红, 刘佳, 赵籍九等. 核电子学与探测技术, 2004, **24**(4): 410—413)
- 3 Lambiase R F et al. BNL, Upton, NY, Performance Results for the BNL PSI Designed for the SNS and It's Application to Other Accelerators. EPAC 2002. June 3—7, 2002, Paris, France
- 4 EPICS homepage: <http://www.aps.anl.gov/epics>
- 5 Lambiase R F, Oerter B, Smith J. Power Supply Control for the Spallation Neutron Source. EPAC'00, Vienna, June 2000
- 6 Andy Kozubal. State Notation Language and Sequencer Users Guide

## Control System Reconstruction for 4W1 Magnet Power Supply in BEPC

WANG Chun-Hong LIU Jia ZHAO Ji-Jiu

(Institute of High Energy Physics, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China)

**Abstract** 4W1 magnet in BEPC for Synchrotron Radiation X-Ray beam lines consists of main resistance winding and auxiliary resistance winding which are respectively powered by two independent power supplies with high precision. These two power supplies called main power supply and auxiliary power supply are rebuilt with a new interface PSI (power supply interface). They are controlled by a PSC (power supply controller). This system is completed within one month after the control prototype for BEPC II magnet power supplies with PSC/PSI has been finished. During the beginning of this system running, it is modified many times to meet its operation requirements. It has been running for about four months without big problems so that it ensures synchrotron radiation research on the two X-ray beam lines. This paper describes a new control system based on EPICS for 4W1 magnet power supplies. The requirements to 4W1 magnet ramp and its ramp programming are also discussed.

**Key words** BEPC, magnet power supply, control, PSC/PSI EPICS