

上海光源 Canted 光束线安全联锁系统设计

朱周侠 龚培荣

(中国科学院上海应用物理研究所 张江园区 上海 201204)

摘要 上海光源(Shanghai Synchrotron Radiation Facility, SSRF)光束线站安全联锁系统的目的是在光束线站运行期间,一旦出现紧急情况,安全联锁系统会及时关闭活动光子挡光器或通知储存环控制系统剔除电子束流,以保障实验人员的人身安全及光束线站的设备安全。在 SSRF 第一条 Canted 光束线安全联锁系统设计过程中,通过分析 Canted 光束线与常规插入件光束线在布局与安全联锁要求方面的区别,实现了 Canted 前端的设备联锁控制要求,并提出了利用束线仲裁信号实现两条光束线和谐相处的设计方法,最终完成了两条光束线的安全联锁系统的安装调试及其验收。Canted 光束线安全联锁系统自 2013 年 7 月投入试运行以来运行正常,为光束线和实验站的正常调试提供了保障。

关键词 前端区, Canted 光束线, 安全联锁系统, 设备控制层

中图分类号 TP277

DOI: 10.11889/j.0253-3219.2014.hjs.37.090102

近年来,为了增加第三代同步辐射装置中插入件光束线的数量,采用了将两个插入件光源呈一定夹角级联后放置于同一个直线节,然后用光学方法将光束引出至各自实验站的方法^[1],这样的两条光束线称之为 Canted 光束线。因此 Canted 光束线的前端区是一个级联插入件公用前端区,两条光束线共用大部分前端区和部分光束线的设备,最大程度地利用了光源和光束线空间,所以光束线的布局非常复杂和紧凑。与常规的插入件光束线安全联锁系统相比,Canted 光束线的安全联锁系统有其特殊的控制逻辑。

上海光源(Shanghai Synchrotron Radiation Facility, SSRF)第一条 Canted 光束线由复合物晶体结构光束线(BL19U1)和生物小角散射光束线(BL19U2)组成,两条光束线在水平方向呈 6 mrad 的夹角引出至两实验站。Canted 光束线安全联锁系统包括前端区联锁控制、人身安全联锁保护和光束线设备保护三个子系统,为了方便信号的传输、存储及系统维护,三个子系统采用了相似的控制结构框架,均融合了设备控制层(Programmable Logic Controller, PLC)技术、触摸屏技术和网络技术进行设计制造,并遵循关键部件双信号判断、失效即保护和冗余控制的光束线站建设原则,以解决系统信号的可靠性和稳定性问题,实现平均无故障间隔时间(Mean Time Between Failures, MTBF) 1 000 h 以上的设计目标。

1 Canted 前端区联锁控制子系统

前端区位于储存环隧道锯齿墙内,是连接储存环与光束线的纽带,其主要功能包括同步光束的尺寸限制、高热负载吸收、光学元件的安全保护和真空保护等^[2]。沿光束方向,Canted 前端区的设备布局如图 1 所示,依次为真空阀门 1(V1)、前置光阑(Pre-Mask, PreM)、活动光子挡光器 1(Photon Shutter 1, PS1)、分光光阑(Mask)、真空阀门 2 (V2)、快阀(Fast Closing System, FCS)、荧光靶(Fluorescence Screen, FS)、光束位置探测器(X-ray Beam Position Monitor, XBPM)、活动光子挡光器 2(PS2-1、PS2-2)、真空阀门 3(V3-1、V3-2),即大部分设备为两条光束线共用,仅活动光子挡光器 2(PS2)和真空阀门 3(V3)独用。其中,PS1 只能承受弯铁同步光的照射,PS2 能承受插入件发出的同步辐射光的照射。

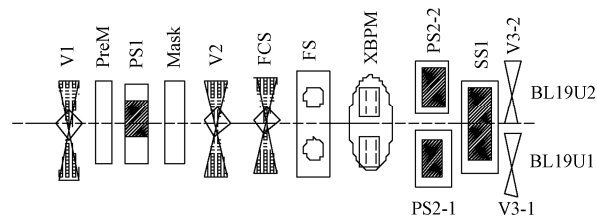


图 1 Canted 前端区设备布局示意图
Fig.1 Layout sketch of Canted front end.

国家自然科学基金的联合基金项目(No.U1232115)资助

第一作者:朱周侠,女,1977 年出生,2003 年于西安交通大学获硕士学位,高级工程师,专业方向为光束线控制技术

收稿日期:2014-06-26,修回日期:2014-07-14

Canted 前端区联锁控制子系统通过监测前端区设备的温度、水流量和真空度来实施对设备的安全联锁保护和控制, 属于标准的分布式控制系统, 它包括管理层(Operator Interface, OPI)、输入输出控制层(Input/Output Controller, IOC)和设备控制层 PLC^[3], 其结构框图如图 2 所示。该系统承担着 3 个活动光子挡光器、1 个安全光闸、1 个荧光靶及 4 个真空阀门的开关控制, 以及与储存环控制系统、插入件控制系统、光束线设备保护子系统和人身安全联锁保护子系统进行信息传递的任务, 以确保引出同步光至实验站的过程中各设备的安全。

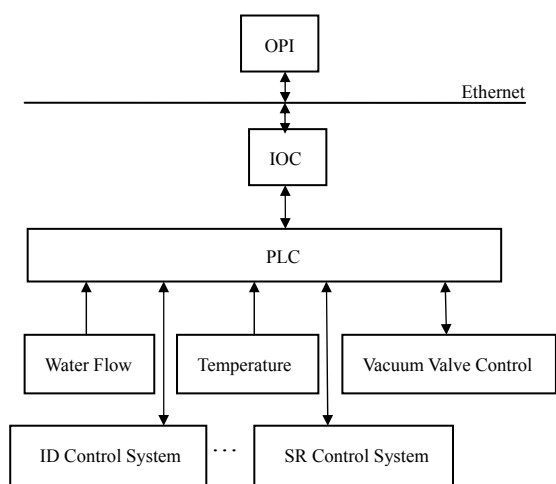


图 2 Canted 前端区联锁控制子系统结构框图
Fig.2 Block diagram of interlock control sub-system of the Canted front end at SSRF.

与常规的插入件前端相比, Canted 前端区联锁控制子系统具有以下特点:

(1) 双插入件的信号与 PS1 进行联锁: 当任一插入件处于工作状态时, 如需关闭 PS1, 该系统需先向储存环插入件控制系统发送信息, 请求拉开插入件的磁隙, 待两个插入件的磁隙都拉开到位后, 该系统才允许关闭 PS1。

(2) 安全光闸 1(Safety Shutter 1, SS1)的开关受 PS2-1、PS2-2 的制约: SS1 能阻挡韧致辐射, 但不能承受同步辐射光的照射, 必须由 PS2 予以保护。SS1 打开后, 才能打开 PS2-1 和 PS2-2; PS2-1、PS2-2 均关闭到位后, 才能关闭 SS1。

(3) PS2 与 V3 的联锁: 即 PS2-1 与 V3-1 联锁, PS2-2 与 V3-2 联锁。打开 V3-1 后, 才能打开 PS2-1; 关闭 PS2-1 后, 才能关闭 V3-1。PS2-2 与 V3-2 的联锁关系与之类似。

对于结构布局迥异的光束线, 安全联锁系统除了具备可靠性、稳定性外, 广泛适用性也是一个很

重要的方面^[4]。SSRF 每年要接待大量的实验用户, 很多用户需要在多条光束线上开展实验, 为了方便用户操作, Canted 前端区联锁控制子系统的操作方法设计成与常规线站的基本相似, 如该系统也配置了高性能、多功能的人机界面(Human Machine Interface, HMI)^[5], 其触摸屏的主界面如图 3 所示, 界面可显示该子系统各种可能的状态, 实验人员按下主界面上的各功能按钮, 屏幕上即跳出相应的显示界面, 但工作模式切换界面(Set up page)仅授权用户才能进入和操作。实验人员可以随时查询前端区的设备状态、运行情况及报警提示等重要信息。此外, 设备的温度、前端区真空、离子泵泵流等参数均以一定的扫描周期通过以太网存储在光束线运行数据库中, 便于今后的数据查询或故障诊断。

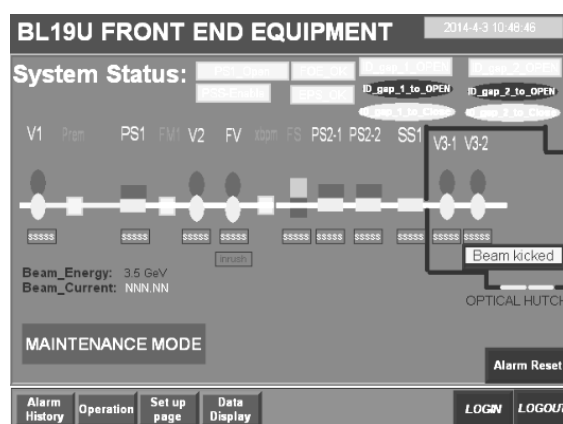


图 3 Canted 前端区联锁控制子系统触摸屏交互界面
Fig.3 HMI of the Canted front end interlock sub-system at SSRF.

2 Canted 人身安全联锁保护子系统

SSRF 光束线人身安全联锁保护子系统一般由棚屋(由铅等材料制造而成的具有辐射防护功能的屏蔽区域)、活动光子挡光器(可用于阻挡高功率 X 射线)、安全光闸(能够阻挡韧致辐射等)和控制机柜等组成。人身安全联锁保护子系统的控制逻辑设计遵循“未关闭棚屋门则不允许开光闸, 关闭光闸后才允许开棚屋门”的原则, 并设置棚屋的搜索清场功能以确保实验人员的人身安全。其中, 光学棚屋的供光状态与 PS2、SS1 的状态联锁, 实验棚屋的供光状态与 SS2 的状态联锁。

Canted 光束线共用一个光学棚屋, 有两个独立的实验棚屋。当某条光束线需要进入光学棚屋进行设备检修时, 必须要考虑到对方的运行情况, 不能随意关闭光闸或打开光学棚屋门。为此, 人身安全联锁保护子系统设置了束线仲裁信号, 以实现其联锁要求。当仲裁信号无效时对方可做操作, 否则,

禁止操作；两条光束线都有自己的束线仲裁信号，束线仲裁信号取自各条束线的光闸状态组合，这样既可以简化安全联锁系统的设计，又能方便地实现逻辑控制功能。即当各自的 PS2 和 SS2 都打开时，则视为束线仲裁信号有效，不能随便关闭光闸或打开棚屋门；PS2 打开且 SS2 关闭时，大多数为用户换样品时间，也应该视为束线仲裁信号有效；PS2 和 SS2 都关闭时，束线不用光，视为束线仲裁信号无效；而 PS2 关闭、SS2 打开时，该束线也没有用光，可视为束线仲裁信号无效。

为了确保人员安全，Canted 光束线光学棚屋和实验棚屋内搜索点以及搜索路径的设置都是经过缜密考虑后决定的，既要方便搜索人员实施搜索，又要兼顾各个死角。搜索人员必须按照系统规定的路线依次按下各搜索按钮，为了最大程度地起到清场作用，当每个搜索按钮被按下时，会有不同频率的报警声响起。然后搜索人员可以按下关门按钮，待棚屋门关闭到位后，报警声音才停止，搜索过程完成。为了便于两条光束线都能方便地实施搜索，Canted 光束线的光学棚屋设置了三个搜索点和两种搜索方式，搜索点示意图如图 4 所示。其中，FOE 是公用的光学棚屋，EH1 为 BL19U1 的实验棚屋，EH2 为 BL19U2 的实验棚屋。若是 BL19U1 线站实施搜索，即选择从前门 2(Door 2)进出，则需先关闭后门(Door 3)和前门 1(Door 1)，然后按照搜索顺序 S1→S3→S2 进行搜索；若是 BL19U2 线站实施搜索，即选择从后门(Door 3)进出，则需先关闭前门 1 和前门 2，按照搜索顺序 S2→S3→S1 进行搜索。如果不按照设定顺序搜索，即使按下搜索按钮也不起作用，属无效操作。

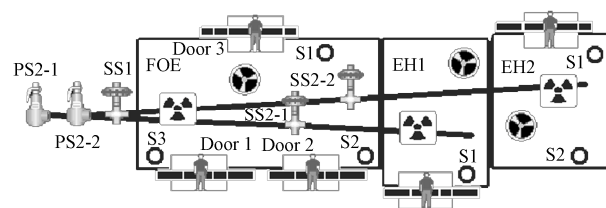


图 4 Canted 光束线光学棚屋搜索点示意图
Fig.4 Layout of search-button location in the FOE of the Canted beamline personal safety sub-system at SSRF.

3 Canted 光束线设备保护系统

SSRF 光束线设备保护系统的主要任务是负责光束线设备温度、水流量、液氮冷却系统的监测、真空状态监测、真空阀门及荧光靶等的开关控制，并根据设定的控制逻辑对设备予以保护。因为 Canted 光束线布局紧凑，复合晶体结构光束线和生物小角散射光束线的共用真空腔体较多，如图 5 所示，包括两台单色器、偏转镜和水平聚焦镜等重要光学元件，因此该保护系统的难点是两条光束线共用真空区间的联锁，涉及到的真空规和真空阀门数量较多，联锁关系较为复杂。如 BL19U2 光束线的真空规 2(G2)既要与本光束线的 V4-2 与 V5-2 联锁，还要与 BL19U1 光束线的 V4-1 与 V5-1 联锁等。一旦共用真空区间内的某个真空规监测到真空度比设定的报警阈值差，光束线设备保护系统会报警并关掉与之联动的所有阀门及活动光子挡光器 2，以最大限度地保护光束线其它区间内的真空，从而保证光束线设备的安全。

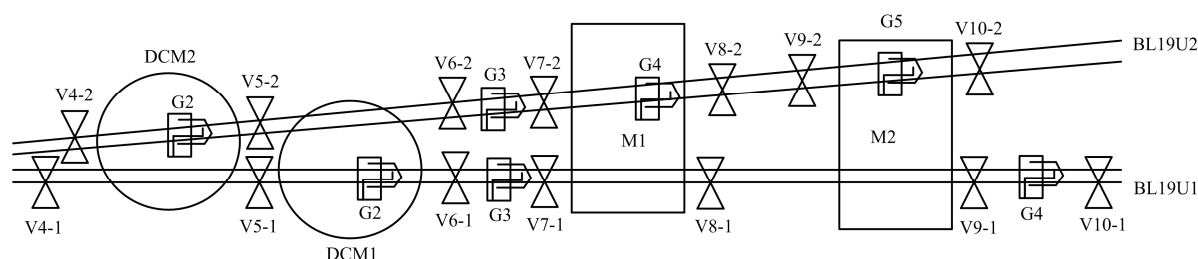


图 5 Canted 光束线共用腔体及其真空设备布局示意图

V4-V9: 真空阀门, G2-G5: 真空规, DCM1: BL19U1 单色器, DCM2: BL19U2 单色器, M1: 共用偏转镜, M2: 水平聚焦镜

Fig.5 Structure sketch of share vacuum chamber and correlative valve in Canted beamline of SSRF.

V4-V9: vacuum valve, G2-G5: vacuum gauge, DCM1: BL19U1 double crystal monochromator, DCM2: BL19U2 double crystal monochromator, M1: deflecting mirror, M2: focus mirror

4 结语

SSRF 第一条 Canted 光束线的特殊布局决定了

其安全联锁系统的特殊性与复杂性，该系统的设计需要综合考虑各种情况：如前端区共用设备的控制问题；如何保证两条光束线同时用光；光束线设备

保护系统共用真空区间内的联锁等。Canted 光束线安全联锁系统于 2013 年 7 月通过内部验收, 11 月开始配合光束线进入大束流调光和光束线测试指标优化阶段, 该光束线已于 2014 年 5 月通过专家组的测试验收。Canted 光束线安全联锁系统的顺利调试和验收为复合晶体结构光束线、生物小角散射光束线能按计划调光提供了基本保障。

在 SSRF 二期光束线站工程中, 有多条光束线站采用了 Canted 结构进行设计, 因此该 Canted 光束线安全联锁系统的设计经验及运行情况对于 SSRF 线站工程的建设有极其重要的参考价值。

参考文献

- 1 Berman L E, Allaire M, Chance M R, *et al.* Optics concept for a pair of undulator beamlines for MX[J]. Nuclear Instruments and Methods, 2011, **A649**: 131-135
- 2 金建峰, 刘学, 吴冠原, 等. SSRF 前端光子挡光器的结构设计和热应力分析[J]. 中国科学技术大学学报, 2007, **37**(10): 1231-1235
- 3 刘松强. 计算机控制系统的原理与方法[M]. 北京: 科学出版社, 2007: 8-10
- 4 Matsushita T, Nakatani T, Ishizawa Y, *et al.* Beamline interlock system and rfBPM interlock system in SPring-8[J]. Nuclear Instruments and Methods, 2001, **A467-468**: 816-819
- 5 Kai T, Sakai K, Nakatani T, *et al.* Users' beam interlock system at the materials and life science experimental facility of J-PARC[J]. Nuclear Instruments and Methods, 2009, **A600**: 176-178
- JIN Jianfeng, LIU Xue, WU Guanyuan, *et al.* Structure design and thermal stress analysis of photo shutter on SSRF front end[J]. Journal of University of Science and Technology of China, 2007, **37**(10): 1231-1235
- LIU Songqiang. The principles and methods of computer control system[M]. Beijing: Science Publishing House, 2007: 8-10

Design of the Canted beamline interlock system at SSRF

ZHU Zhouxia GONG Peirong

(Shanghai Institute of Applied Physics, Chinese Academy of Sciences, Zhangjiang Campus, Shanghai 201204, China)

Abstract Background: Shanghai Synchrotron Radiation Facility (SSRF) is one of the third generation synchrotron radiation light sources in the world. Canted beamline which means two underlators are installed in one straight section is designed to increase the capacity of SSRF beamlines and thereof the interlock system for the canted beamline.

Purpose: The aim of Canted beamline interlock system is to protect users and beamline components from the radiation of synchrotron light source, and ensure the Canted beamlines to run harmoniously. **Methods:** Based on Programmable Logic Controller (PLC), Canted beamline interlock system puts forward beamline arbitrary signals and two searching paths to solve a series of difficulties such as the interlock relationships of shared components and shared hutch area. **Results:** In case of emergency, Canted beamline interlock system closes the photon shutters or requests the storage control system to abort the stored electron beam to assure personal and beamline device safety according to preset interlock logic. **Conclusion:** The designed Canted beamline interlock system collaborates smoothly with other control systems and works well from July 2013 till now. The design methods presented here provides reference for the following Canted beamlines in phase-II beamlines project in the near future.

Key words Front ends, Canted beamline, Safety interlock system, Programmable Logic Controller (PLC)

CLC TP277