

基于 EPICS 的 X 射线小角散射实验站 控制和数据采集系统

周平, 杨春明*, 洪春霞, 边风刚, 王玉柱, 王劼

(中国科学院上海应用物理研究所, 上海 201800)

摘要: 上海光源 (Shanghai Synchrotron Radiation Facility, SSRF) X 射线小角散射 (small angle X-ray scattering, SAXS) 光束线站的常规样品台、掠入射样品台、变温热台的控制程序及数据采集程序均是在 LabVIEW 环境下开发的, 而基于步进电机的狭缝控制系统等则是在分布式控制的 EPICS (Experimental Physics and Industrial Control System) 环境下开发的。由于开发和运行环境不同, 这些设备在联动控制时不可避免地存在网络延时的缺陷。本工作在 EPICS 环境下对运动控制、探测器数据采集和光强检测等控制进行集成, 形成了统一的用户操作界面, 操作简单, 能极大提高实验效率, 并在 SAXS 实验站得到了稳定应用。

关键词: X 射线小角散射; 实验物理及工业控制系统; 控制系统工具箱; 数据采集系统

中图分类号: TL99 **文献标志码:** A **文章编号:** 1000-6931(2017)08-1521-06

doi: 10. 7538/yzk. 2017. 51. 08. 1521

EPICS-based Control System and Data Acquisition System of Small Angle X-ray Scattering Beamline

ZHOU Ping, YANG Chun-ming*, HONG Chun-xia,

BIAN Feng-gang, WANG Yu-zhu, WANG Jie

(Shanghai Institute of Applied Physics, Chinese Academy of Sciences, Shanghai 201800, China)

Abstract: The control software of normal sample stage, grazing-incidence small-angle X-ray scattering (SAXS) sample stage and temperature stage and the program for data acquisition were all developed in LabVIEW environment in small angle X-ray scattering beamline of Shanghai Synchrotron Radiation Facility. Based on stepper motor, slits control system was developed in Experimental Physics and Industrial Control System (EPICS) which is a distributed control system. Due to different environments, the network transmission delay occurs at the communication between these devices. In the present work, the software of the system was developed in EPICS and the control of motor, data acquisition of detector and light intensity detection were integrated and

收稿日期: 2016-11-09; 修回日期: 2017-02-04

基金项目: 国家自然科学基金资助项目 (11405259)

作者简介: 周平 (1984—), 男, 江西丰城人, 工程师, 从事同步辐射光束线站控制系统和数据采集系统研究

* 通信作者: 杨春明, E-mail: yangchunming@sinap. ac. cn

formed a unified graphical user interface (GUI). The operation of GUI is simple and convenient and can greatly improve the efficiency of the experiment and was stably applied in SAXS beamline.

Key words: small angle X-ray scattering; Experimental Physics and Industrial Control System; control system studio; data acquisition system

上海光源 (Shanghai Synchrotron Radiation Facility, SSRF) 是第三代同步辐射装置, 是世界上同能区正在建造或设计中性能指标最先进的第三代同步辐射光源之一。目前已有 13 条光束线和 16 个实验站投入运行。X 射线小角散射 (small angle X-ray scattering, SAXS) 光束线站是上海光源首批建造的 7 条光束线中第 1 条调光成功的光束线。其科学目标是面向化学、材料科学、生命科学等领域, 以聚合物、纳米材料、生物分子、液晶等为主要研究对象, 提供一个以常规小角散射为主、兼顾反常小角散射、掠入射小角散射、小角散射和广角散射同时测量以及动态过程研究的实验平台^[1-3]。

上海光源的电机运动控制系统采用的实验物理与工业控制系统 (Experimental Physics and Industrial Control System, EPICS) 是国际通用的分布式控制系统, 运行于 Linux 操作系统。而上海光源 SAXS 实验站的 SAXS 样品台、掠入射样品台、热台的控制系统和数据采集系统采用美国 NI 公司的 LabVIEW 开发, 运行于 Windows 操作系统中。电机运动控制系统因硬件条件限制, 只能运行于 EPICS 环境下, 而其他设备运行于 LabVIEW 中, 为便于操作, 可将 EPICS 应用于 LabVIEW 中。但在实际应用中, LabVIEW 调用 EPICS 库时会出现 10 s 以上的延时。由于开发环境及运行环境的不同, 原系统在数据通信和联动控制等方面存在延时和不确定性。为此, 本文在现有硬件条件下设计基于 EPICS 的 SAXS 样品台、掠入射样品台、热台的控制系统和数据采集系统, 以实现系统的统一控制。

1 SAXS 实验站控制和数据采集系统的硬件结构

SAXS 实验站控制和数据采集系统的硬件结构如图 1 所示。系统主要包括光强检测系统、电机运动控制系统和探测器系统。光强检

测系统主要由电离室、二极管和皮安表组成, 其中电离室选用 OKEN 公司的 S-1194A, 皮安表选用 Keithley 公司的 6485, 主要负责检测光强数据。电机运动控制系统主要由电机、电机驱动器、电机控制器和 CPU 卡组成, 其中电机驱动器选择上海光源自行研制的电机驱动器 SMD200X, 电机控制器选择 MAXv8000, CPU 卡选择 MVME5500, 主要控制 SAXS 样品台、探测器支撑台、Beamstop 移动台和二维广角样品台的姿态调整。探测器采用 MarCCD 探测器, 型号为 SX165, 负责采集小角散射数据和广角散射数据。

2 SAXS 实验站控制和数据采集系统的软件设计

2.1 系统软件架构

SAXS 实验站控制和数据采集系统的软件架构如图 2 所示。整个系统均运行于 EPICS 软件系统中。实验站设备通过 EPICS IOC (input/output controller) 服务器将需要控制的 PV (process variable) 值共享到网络中, 而客户端通过访问 PV 值的方式来控制实验站设备^[4-9]。

电机控制系统运行于以 VME 机箱为基础的硬件 IOC 服务器中, EPICS 开发平台包含许多常用电机驱动模块, 直接调用编写即可。对开环步进电机的控制, 主要的电机记录域是 VELO (运行速度)、VBAS (最小速度)、ACCL (加速度)、MRES (电机步长)、SREV (电机每转步数)、DVAL (电机值)、RBV (电机读回值) 和 STOP (电机停止)。为保护设备, 空闲时需 SMD 关闭对步进电机的驱动, 这就要用 MAXv 的 AF 命令使能 SMD 的各轴, 插在机箱中的驱动器才能接收 MAXv 的控制信号, 驱动与之相连的步进电机。用到的模块有 motor 模块、asyn 模块、autosave 模块和 calc 模块^[10]。

电流表 Keithley 6485、GISAXS 运动台、

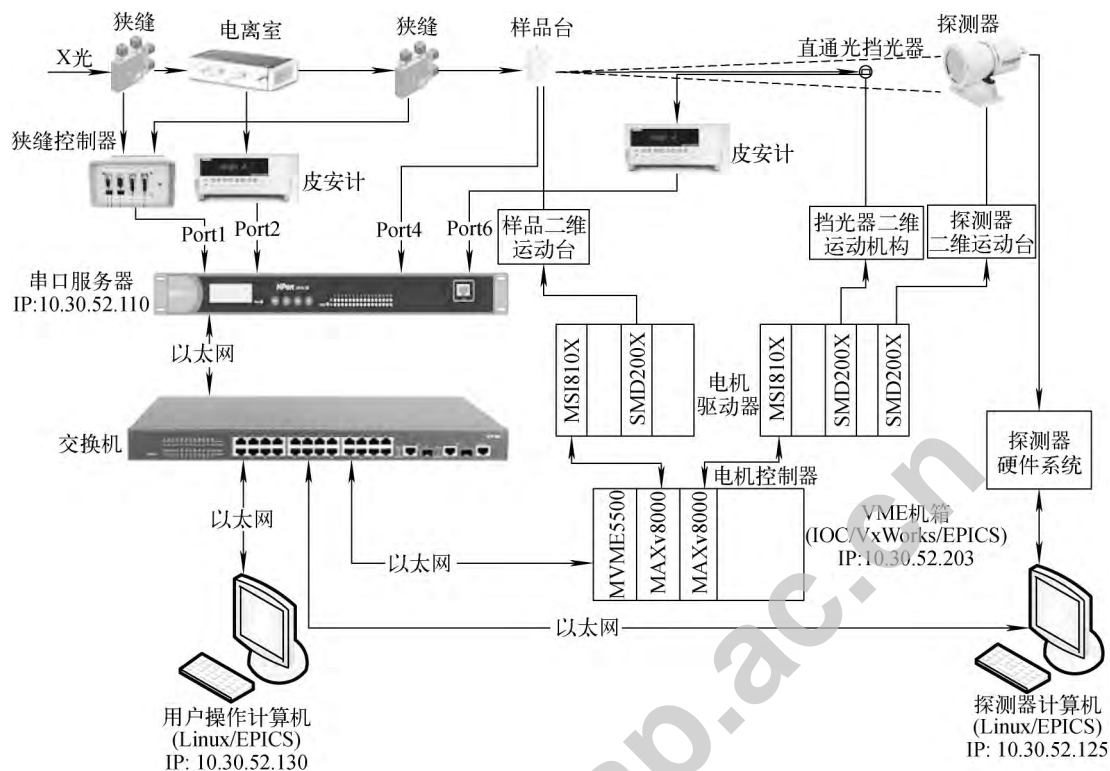


图 1 SAXS 实验站控制和数据采集系统的硬件结构

Fig. 1 Hardware architecture of control and data acquisition system for SAXS beamline

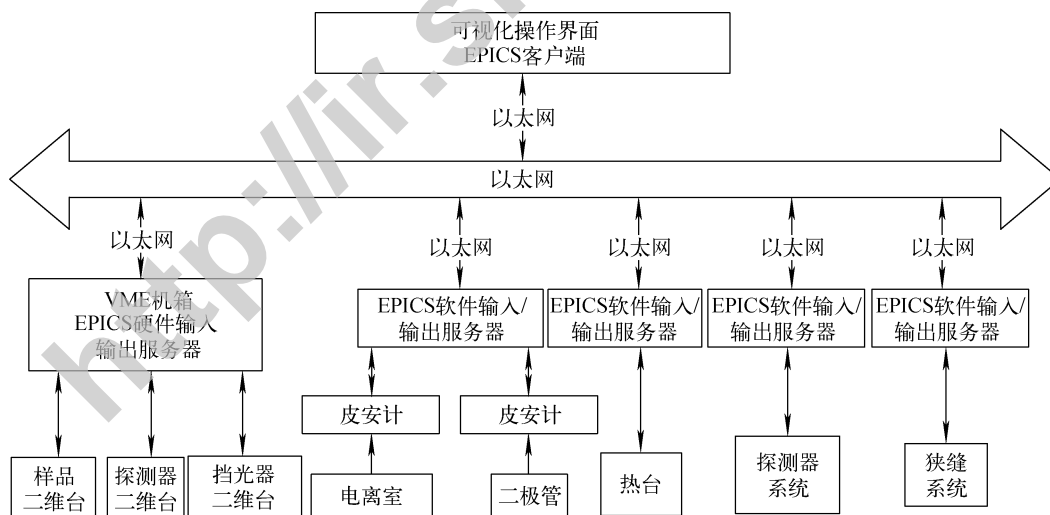


图 2 SAXS 实验站控制和数据采集系统的软件架构

Fig. 2 Software architecture of control and data acquisition system for SAXS beamline

Linkam 热台、狭缝和 MarCCD 探测器分别运行于各自的 SoftIOC(软件输入/输出服务器)中。电流表 Keithley6485 的数据采集控制软件基于 EPICS 下的 StreamDevice 模块进行开发。StreamDevice 是基于数据流设备的通讯

驱动软件模块,其接口方式有串口、IEEE-488 和 TCP/IP,它通过发送和接收字符串数据来实现对设备的远程控制。本控制程序将 StreamDevice 作为一种第三方外部模块,需在新创建的 EPICS softIOC 应用实例内的 RELEASE 文

件中指定其安装路径,并修改相关的配置文件添加数据库定义文件和库文件,加入 protocol 协议文件来指定如何控制设备的输入/输出,添加数据库 db 文件,修改启动文件 st.cmd,最后编译即可^[11]。

GISAXS 运动台基于 EPICS motor 模块实现,用到的模块有 motor 模块、asyn 模块和 calc 模块。Linkam 热台控制软件基于 EPICS 下的 StreamDevice 模块进行开发,用到的模块有 stream 模块和 asyn 模块。无散射狭缝的控制软件基于 EPICS motor 模块实现,用到的模块有 motor 模块、asyn 模块和 calc 模块。探测器数据采集系统的作用在于采集实验测量的小角散射信号,并将实验数据存储在电脑中。控制软件用到的模块有 aeraDetector 模块、asyn 模块、calc 模块、busy 模块、sscan 模块和 au-

tosave 模块^[12]。

2.2 系统可视化用户接口界面

系统界面采用 EPICS CSS 编写,CSS 是由美国 SNS、BNL 和德国 DESY 合作开发而成,采用了 Eclipse RCP 的框架结构,是一集成多个应用程序插件的开发工具软件,可实现控制系统的界面制作、语音报警、数据存档等功能,用于监控和操作大型控制系统^[13-15]。

基于 EPICS 的 SAXS 实验站用户接口界面如图 3 所示。此界面按实验方法分成常规小角散射实验、变温小角散射实验(Linkam 热台)、二维广角散射实验和掠入射小角散射实验。用户操作界面将样品台、Linkam 热台、二维广角样品台、掠入射样品台和 MarCCD 探测器集成在一起,实现样品台与探测器的联动控制。

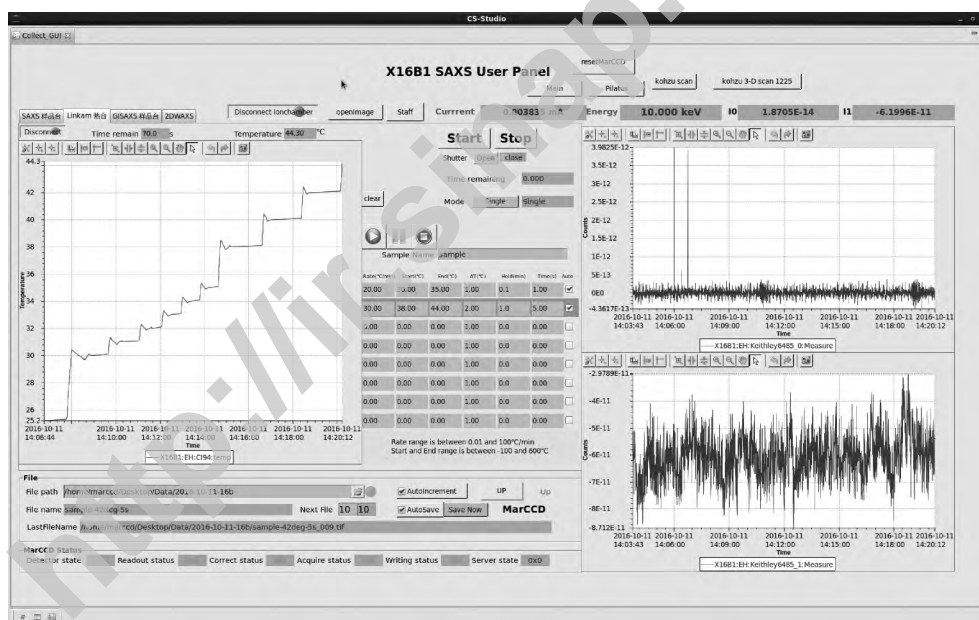


图3 SAXS 实验站用户操作界面

Fig. 3 User operation interface for SAXS beamline

小角散射变温实验操作界面的实现过程如下:设置 Rate、Start、End 等相关参数;按下 Start 按钮,取出 $Rate(j)$ 和 $Start(i) + i\Delta T(j)$ 的值分别作为热台的变温速率和变温温度值,此时温度开始变化;待温度到达设定的温度值后,保持一段时间;保持时间结束后,探测器开始采集数据;当探测器采集数据结束后,

保存数据并开始进入下一个循环。软件流程图如图 4 所示。

为了便于整个实验站设备的控制操作,在此界面上将光学棚屋和实验棚屋的设备控制界面集成在一起。SAXS 实验站设备控制界面如图 5 所示。

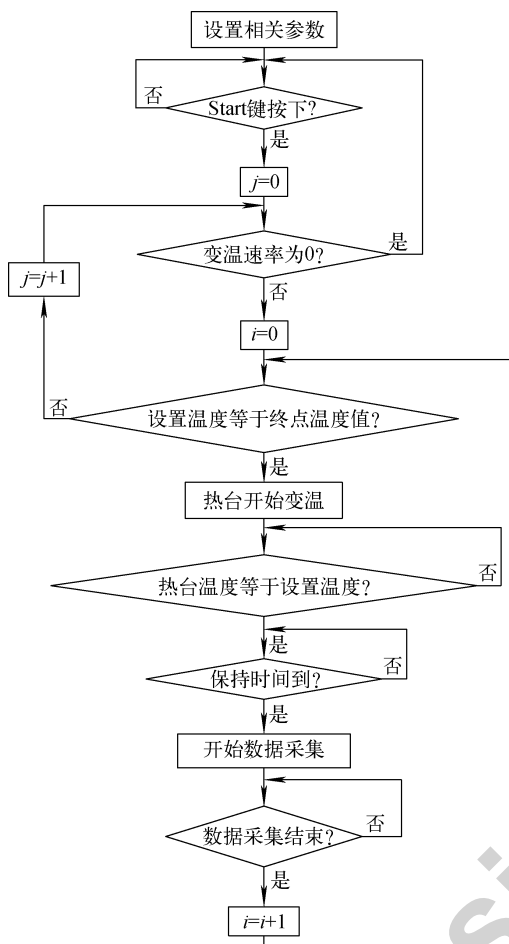


图 4 SAXS 变温实验的软件流程图

Fig. 4 Software flow chart of SAXS temperature experiment

3 实验结果及讨论

为验证系统的性能,在上海光源 SAXS 实验站对热台和探测器进行在线测试,获得了热台与探测器联动实验数据(图 6a)。实验条件为: rate=10 °C/min, start=40 °C, end=50 °C, ΔT=1 °C, hold time=15 s, expose time=1 s。温度在 40~50 °C 之间变温时,变温间隔为 1 °C,可得到每次变温的时间间隔=变温时间(6 s)+稳定时间(15 s)+保持时间(15 s)+探测器时间(6 s)=42 s。

为验证系统的稳定性和重复性,在相同的实验条件下获得 4 次热台和探测器联动实验数据(图 6b),结果显示,4 次实验的温度曲线具有相同的形状,系统具有非常好的稳定性和重复性。

4 结语

在 EPICS 环境下完成了对运动控制、探测器数据采集和光强检测等的集成化控制,解决了设备在联动控制时存在网络延时的缺陷。用户操作界面简洁、方便,极大提高了上海光源小角散射线站实验的效率。经线站的长期运行,该系统具有较好的稳定性,对同步辐射光源的实验站控制具有重要的应用意义。

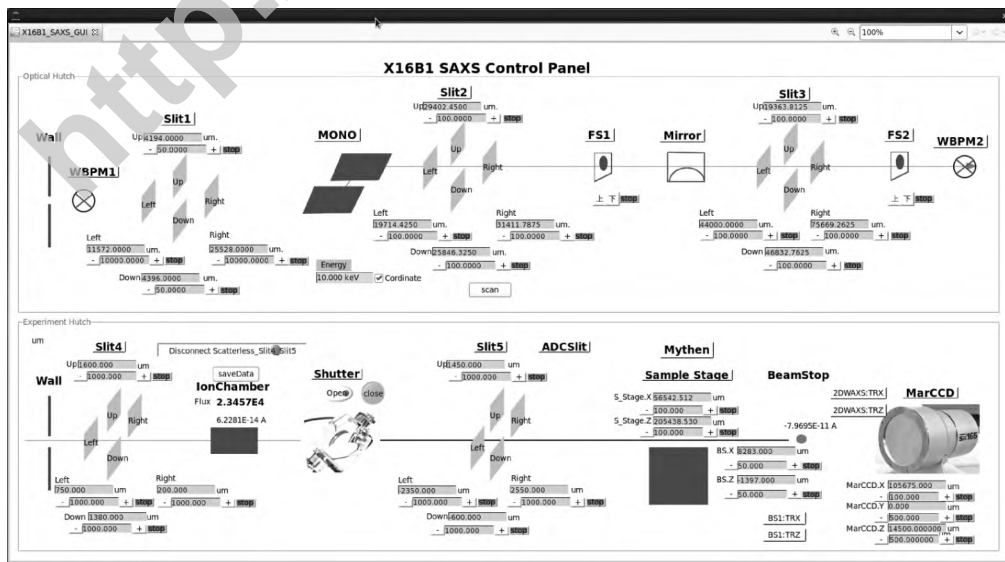


图 5 SAXS 实验站设备控制界面

Fig. 5 SAXS beamline device control interface

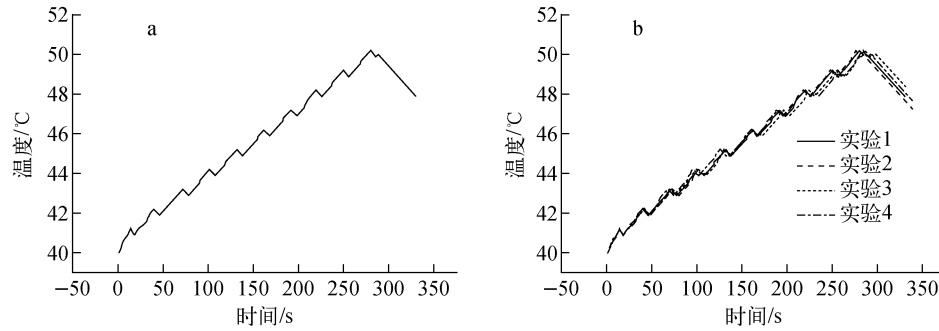


图6 热台与探测器联动单次实验数据(a)及4次实验数据的比较(b)

Fig. 6 Single experiment result of simultaneous control between Linkam stage and detector (a) and comparison of multiple experiment data (b)

参考文献:

- [1] X射线小角散射光束线站[EB/OL]. [2016-03]. <http://ssrf.sinap.ac.cn/6/BL16B1/X射线小角散射光束线站.pdf>.
- [2] 刘倩,边风刚,柳义,等. 基于EPICS的SSRF-X射线小角散射实验站运动控制系统[J]. 光学精密工程,2009,17(8):1 804-1 809.
LIU Qian, BIAN Fenggang, LIU Yi, et al. EPICS-based motion control system of SSRF-SAXS[J]. Optics and Precision Engineering, 2009, 17(8): 1 804-1 809(in Chinese).
- [3] TIAN Feng, LI Xiuhong, WANG Yuzhu, et al. Small angle X-ray scattering beamline at SSRF[J]. Nuclear Science and Techniques, 2015, 26(3): 030101. DOI: 10.13538/j.1001-8042/nst.26.030101.
- [4] 米清茹,郑丽芳,刘松强. EPICS控制系统软件开发环境[J]. 核技术,2008,30(1):1-4.
MI Qingru, ZHENG Lifang, LIU Songqiang. EPICS software development environment[J]. Nuclear Techniques, 2008, 30(1): 1-4(in Chinese).
- [5] 洪春霞,周平,李怡雯,等. 一种生物X射线小角散射光束线站自动换样溶液蠕动装置[J]. 核技术,2016,39(1):010102. DOI: 10.11889/j.0253-3219.2016.hjs.39.010102.
HONG Chunxia, ZHOU Ping, LI Yiwen, et al. An automatic solution-sample-changing peristaltic device at biological small angle X-ray scattering beamline[J]. Nuclear Techniques, 2016, 39(1): 010102. DOI: 10.11889/j.0253-3219.2016.hjs.39.010102(in Chinese).
- [6] 贾文红,马世伟,郑丽芳. 基于EPICS的水冷双晶单色器控制系统[J]. 核电子学与探测技术, 2013,33(8):945-949.
JIA Wenhong, MA Shiwei, ZHENG Lifang. EPICS-based control system in the water cooled DCM[J]. Nuclear Electronics & Detection Technology, 2013, 33(8): 945-949(in Chinese).
- [7] DALESIO B. EPICS overview[CP/OL]. [2013-12]. <http://www.aps.anl.gov/epics/docs/training.php>.
- [8] EPICS R3.14 channel access reference manual[EB/OL]. [2015-05]. <http://www.aps.anl.gov/epics/base/R3-14/12-docs/CAref.html>.
- [9] EPICS 3-14 record reference manual[EB/OL]. [2014-12]. https://wiki-ext.aps.anl.gov/epics/index.php/RRM_3-14.
- [10] Motor record and related software[EB/OL]. [2015-01]. <http://www.aps.anl.gov/bcda/synApps/motor/R6-9/motorRecord.html>.
- [11] EPICS StreamDevice[EB/OL]. [2015-08]. <http://epics.web.psi.ch/software/streamdevice/doc/>.
- [12] areaDetector; EPICS area detector support[EB/OL]. [2016-03]. <http://cars.uchicago.edu/software/epics/areaDetectorDoc.html>.
- [13] 郭冰,张宁,徐海霞,等. TMSR CSS集成开发工具软件的实现与应用[J]. 核技术,2013,36(11):110602.
GUO Bing, ZHANG Ning, XU Haixia, et al. Research and implement of control system studio for TMSR[J]. Nuclear Techniques, 2013, 36(11): 110602(in Chinese).
- [14] Control System Studio (CSS) at KEK[EB/OL]. [2013-08]. <http://www-linac.kek.jp/cont/epics/css>.
- [15] CODAC core system overview[EB/OL]. [2013-08]. http://static.iter.org/codac/cs/CODAC_Core_System_Overview_34SDZ5_v4_1.pdf.