

合肥光源基于同步光的测量与研究^{*}

孙葆根¹⁾ 王宝云 王季刚 王筠华 卢平 申超波

(中国科学技术大学国家同步辐射实验室 合肥 230029)

摘要 介绍了合肥光源同步光测量系统,包括条纹相机系统、快速光电测量束团长度系统、束团横向截面测量系统和光位置测量系统.利用条纹相机系统和快速光电测量束团长度系统进行了束团长度测量和束团伸长效应的研究.利用束流截面测量系统进行了六极铁对横向不稳定性抑制效果和横向反馈系统反馈效果的测量研究.光位置测量系统采用丝型光位置检测器和自行研制了对数处理器,用于测量光源点的束流位置和角度.

关键词 条纹相机 快速光电接收机 束团长度 束流截面 光位置

1 引言

对于同步辐射光源,利用同步光进行束流特性的诊断越来越广泛,人们利用同步光可以进行束流的纵向参数和横向参数以及光位置测量.

合肥光源,在科学院创新项目的支持下,建立了一条机器研究光束线,并研制了一套同步光测量系统.机器研究光束线利用B3E的A(2°)出光口,分为同步光位置测量和光电解析两条支线.在光电解析支线的上游端有一个可移动反射镜,引出同步光,用于条纹相机和快速光电接收机进行束团纵向参数测量,它与后端的光电解析分时使用.由于束流截面测量系统需要在线测量,所以安装在B3W的A(2°)出光口,它与B3E的A出光口对称.

2 束团长度测量

在合肥光源,基于同步光的束团长度测量有两种方法,即条纹相机法^[1]和光电测量法^[2].图1给出了光路示意图.分光镜将同步光分成两路,一路送至条纹相机,另一路送至光电接收机,这样可以用两种方法同时进行束团长度测量.考虑到B3E-A出光口的同步光尺寸约为 $0.5 \times 0.25 \text{mm}^2$,为了保证足够多同步光进入条纹相机和光电接收机,采用2:1成像,且透镜通光口径为 $\Phi 80 \text{mm}$.由于采用同步光中可见光部分进行测量,所以采用 $532 \pm 20 \text{nm}$ 滤光片.

由于同步光的纵向分布反映电子束团的纵向分

布,对于高斯分布束团,则其束团长度为均方根值 σ_r ,若用半高全宽值(FWHM)表示束团宽度,则 $\sigma_r = \text{FWHM}/2.3548$.

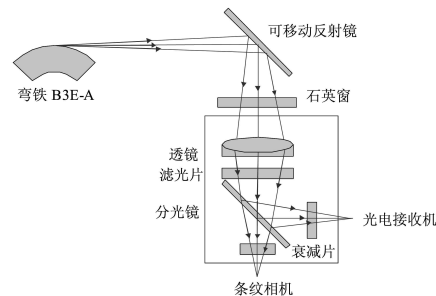


图1 束团长度测量的光路示意图

2.1 条纹相机测量束团长度

我们采用Optronis公司具有双扫描功能的条纹相机.条纹相机系统由光路系统、条纹相机、定时系统以及图象获取系统组成.条纹相机配备不同扫描单元,允许下列工作模式:单轴扫描和双轴扫描.第一扫描单元包括快速触发单元FTSU1和快速同步扫描单元FSSU1,分辨率为2ps.定时系统为条纹相机提供与同步光同步的扫描和触发信号.图象获取系统包括图象读取单元、PC图象卡和获取软件.

利用条纹相机的单轴扫描功能进行了束团长度测量,图2给出了合肥光源800MeV运行时束团长度的测量结果,其中水平刻度(全屏)为1.95ns.图2(a)为在单束团流强为5.3mA时测量结果,其FWHM为

2008 - 01 - 07 收稿

^{*} 国家自然科学基金项目(10675118)和科学院创新项目(KY4206)资助

1) E-mail: bgsun@ustc.edu.cn

236.9ps, 束团纵向分布为高斯分布. 图2(b)为多束团流强为124mA时测量结果, FWHM为628.5ps, 束团纵向分布稍微偏离高斯分布.

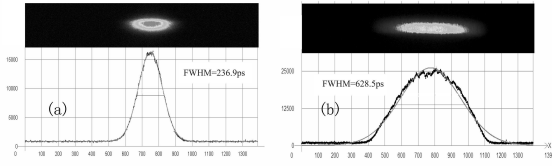


图2 利用条纹相机测量束团长度

(a) 单束团: 5.3mA; (b) 多束团: 124mA.

2.2 光电法测量束团长度

光电法测量束团长度是利用快速光电接收机将同步光转换为电信号, 再用宽带实时示波器进行测量. 快速光电接收机由FEMTO公司生产, 其频率响应为10kHz—2GHz, 上升时间为180ps. 宽带实时示波器为泰克公司的TDS7704B, 其带宽为7GHz, 实时采样率为20GHz/s, 上升时间为62ps. 该测量系统的上升时间约为191ps, 计算束团长度需扣除该影响^[3].

光电法测量束团长度的软件采用Labview编写, 图3给出了其软件界面. 该软件利用示波器提供的TekVISA来对示波器进行编程. 通过这个程序可以远程控制示波器, 并在线观测束团长度.

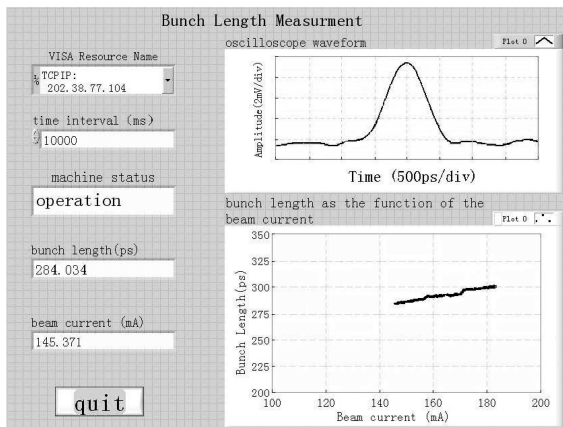


图3 光电法测量束团长度的软件界面

2.3 束团长度伸长效应

利用条纹相机和光电法可以测量束团长度随流强的变化, 即束团长度伸长效应. 图4给出了合肥光源800MeV多束团运行情况下, 束团长度随流强变化曲线的测量结果. 由于自然束团长度为93.6ps, 由此可见, 束团长度伸长随流强明显伸长, 且两种方法的测量结果相当一致. 由于光电法具有系统简单和实时在线测量等优点, 所以光电法可代替条纹相机进行束团长度在线测量.

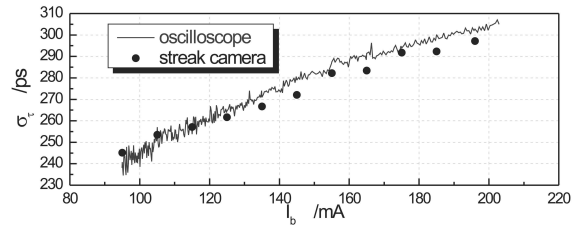


图4 束团长度随流强变化曲线

3 束流截面尺寸测量

合肥光源束流截面测量系统^[4]安装在B3W铁的A出光口, 该系统采用1:1成像. 为了减小衍射误差, 采用同步光的紫外部分进行测量, CCD探测器选用XC-EU50. 束流截面测量系统的软件界面采用LabVIEW编写.

在合肥光源800MeV运行时, 目前主要有两种方法抑制横向不稳定性, 一是通过增加六极铁强度进行过正色品校正^[5], 另一是利用横向逐束团反馈系统进行逐束团反馈^[6]. 为此, 利用束流截面测量系统进行了如下测量研究: (1) 六极铁对横向不稳定性抑制效果; (2) 横向反馈系统的反馈效果.

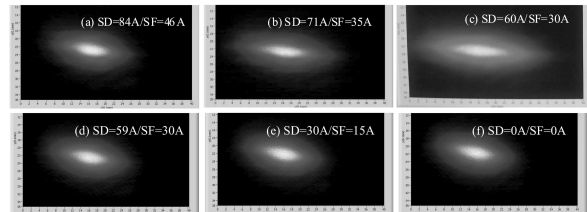


图5 有无横向反馈时不同六极铁电流情况下束流截面

为了观察六极铁对横向不稳定性的抑制效果, 在不同六极铁电流情况下, 利用束流截面测量系统进行束流截面测量, 测量结果如图5(a)、(b)和(c)所示. 由此可见, 随着六极铁的降低, 校正色品随之降低, 导致束团水平尺寸明显增加, 而垂直尺寸略有增加. 因此, 在无横向逐束团反馈系统情况下, 增加六极铁强度是抑制横向不稳定性的重要手段.

为了观察横向逐束团反馈系统的反馈效果, 在横向逐束团反馈系统工作情况下, 继续降低六极铁电流, 观察束团横向截面和尺寸变化, 其结果图5(d)、(e)和(f)所示. 由此可见, 横向逐束团反馈系统工作时, 将六极铁电流降低直至0时, 束团横向截面一直稳定, 横向尺寸基本不变. 因此, 横向逐束团反馈系统可以抑制束流横向不稳定性.

4 光位置测量

为了测量同步光位置和角度, 在机器诊断光束线上安装了两个光位置检测器, PBPM1处采用双丝型

光位置探测器^[7], PBPM2处采用带弹簧的丝型光位置探测器^[8]. 图6给出了光位置测量系统的方框图. 光位置信号处理器采用对数处理技术^[7], 将I/V转换、信号调理、数据采集、Ethernet接口等功能集成在一起, 具有高度集成化和较高的性价比.

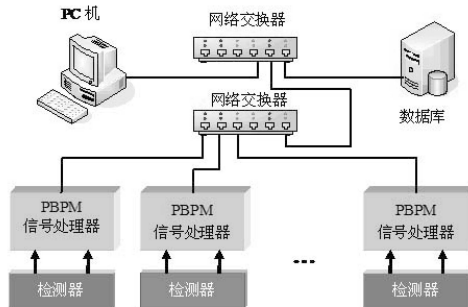


图6 光位置测量系统的方框图

图7为机器诊断光束线上PBPM1和PBPM2测得12小时内同步光位置变化. 由于PBPM2距离光源点更远, 而光源点的同步光存在位置和角度的漂移, 因此PBPM2处的同步光位置具有更大的漂移, 如PBPM1最大漂移约 $45\mu\text{m}$, PBPM2最大漂移约 $180\mu\text{m}$.

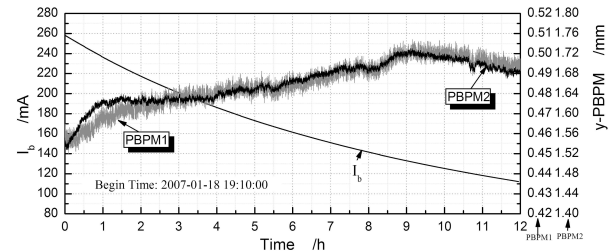


图7 PBPM1和PBPM2处测得的同步光位置变化

参考文献(References)

- 1 WANG Ji-Gang, SUN Bao-Gen et al. Proceedings of 27th ICHSP, 2006, **6279**(62792G): 1
- 2 WANG Bao-Yun, SUN Bao-Gen et al. Proceedings of PAC'2007. Albuquerque: 2007. 4108
- 3 SUN Bao-Gen, WANG Jun-Hua et al. Atomic Energy Science and Technology, 1996, **30**(4): 368 (in Chinese) (孙葆根, 王筠华等. 原子能科学技术, 1996, **30**(4): 368)
- 4 SUN Bao-Gen, ZHENG Pu et al. HEP & NP, 2000, **30**(8): 792 (in Chinese) (孙葆根, 郑普等. 高能物理与核物理, 2000, **30**(8): 792)
- 5 XU Hong-Liang, WANG Lin et al. High Power Laser and Particle Beams, 2005, **17**(4): 626 (in Chinese) (徐宏亮, 王琳等. 强激光与粒子束, 2005, **17**(4): 626)
- 6 ZHENG Kai. Thesis for Doctor Degree. Hefei: University of Science and Technology of China, 2007 (in Chinese) (郑凯. 博士论文. 合肥: 中国科学技术大学, 2007)
- 7 LIN Shun-Fu, SUN Bao-Gen et al. High Power Laser and Particle Beams, 2006, **18**(11): 1903 (in Chinese) (林顺富, 孙葆根等. 强激光与粒子束, 2006, **18**(11): 1903)
- 8 LIN Shun-Fu, SUN Bao-Gen et al. High Power Laser and Particle Beams, 2007, **19**(8): 1369 (in Chinese) (林顺富, 孙葆根等. 强激光与粒子束, 2007, **19**(8): 1369)

Research and Measurement of Synchrotron Radiation System for HLS*

SUN Bao-Gen¹⁾ WANG Bao-Yun WANG Ji-Gang
WANG Jun-Hua LU Ping SHEN Chao-Bo

(National Synchrotron Radiation Laboratory, University of Science and Technology of China, Hefei 230029, China)

Abstract The paper introduces the synchrotron radiation system for Hefei Light Source (HLS), which includes the streak camera system, the bunch length system using photoelectric method, the beam profile measurement system, and the photon beam position measurement system. The bunch length and bunch lengthening were measured using the streak camera system and the photoelectric method. The beam profile measurement system was used to observe the suppression effects of sextupole on beam transverse instability and the feedback effects of the transverse bunch-by-bunch feedback system. The photon beam position measurement system used two wire-type monitors and the logarithmic signal processor, which was used to detect the beam motions.

Key words streak camera, fast photo-receiver, bunch length, beam profile, photon beam position

Received 7 January 2008

* Supported by National Natural Science Foundation of China (10675118) and Knowledge Innovation Project of the CAS (KY4206)

1) E-mail: bgsun@ustc.edu.cn