

合肥国家同步辐射实验室电子储存环束流损失监测系统中的几个物理问题

崔永刚¹ 李裕熊² 邵贝贝¹ 李珏忻² 李为民²

¹(清华大学工程物理系 北京 100084)

²(中国科学技术大学国家同步辐射实验室 合肥 230029)

摘要 电子储存环中损失的束流电子,在撞击真空室壁时,引起‘电子- γ -电子’簇射,在撞击点的下游,真空室的外表面形成次级电子(shower 电子)的分布。通过探测这些 shower 电子,可以知道上游某处的束流损失状况。“合肥国家同步辐射实验室加速器二期工程”中的电子储存环束流损失监测系统,就是利用了这个原理。在分析了原有加速器束流损失监测系统的缺陷并对国际上各大型加速器进行了调研的基础上,对该系统中的探测器选型、探测器安装位置的选择以及系统的整体结构等物理问题作了阐述。

关键词 加速器,电子储存环,束流损失

中图分类号 TL594, TL571, O571.221

合肥国家同步辐射实验室,是我国第一个专用同步辐射国家级实验室。该实验室由作为注入器的电子直线加速器、800MeV 电子储存环(图 1)和若干条光线实验站组成。在一期工程后的十年运行期间,原来为人员辐射安全设计使用的辐射监测系统曾为发现机器本身的问题和寻找储存环真空泄漏起过一定的作用。储存环周围辐射场的分布情况与储存环的运行状况有着密切关系,正确地选择探测器和监测位置,就能够及时发现与束流损失相关的问题。出于这样的原始想法,在“合肥国家同步辐射实验室二期工程”中,提出了一个建造新型电子储存环束流损失监测系统的项目。

这样一个沿整个储存环分布的束流损失监测系统,选择合理的探测器,测量由于束流电子损失造成的真空室外辐射水平的局部变化,从而得知有关束流损失的信息。各个测量点通过网络由控制台集中管理,从而达到对全环束流损失有效监测的目的。

1 用于束流损失监测的探测器

在世界各国的同步辐射装置中,绝大多数的储存环都建有束流损失监测系统。它们基本上都是采用电缆电离室的监测方法。即在储存环上方或下方装有长 3—6m 的空心电缆,每个

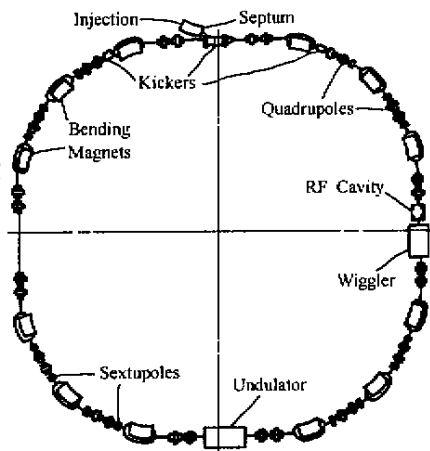


图 1 NSRL 电子储存环 HLS
Fig.1 Storage ring HLS of NSRL

都做成一个电离室,采集各电离室的信号以收集储存环各处的束流损失信息。这种形式的束流损失监测系统在储存环调试初期是很有用的,它可以清楚地表明注入束流已到达何处,但在进一步调好机器参数和发现细微真空泄漏方面却不能进一步起作用。这是由于该系统存在以下缺陷造成的:

- (1) 横向跨越较长,距真空室的距离又较远,所以信号微弱,背景噪声大;
- (2) 只在一个方向做监测,这样,没有同一个位置上不同方向辐射水平差异所反映的信息。

由电子和物质相互作用可知,储存环束流损失的高能电子与真空室壁撞击的过程是一个“电子- γ -电子”的簇射过程,会在真空室的外表面产生次级电子(shower 电子)的分布。新的束流损失探测系统采用了德国 DESY 设计的双 PIN 光电二极管 BLM 探测器来探测这些 shower 电子^[1-3]。如图 2 所示,该探测器主要原理是一面对面安装的双 PIN 光敏二极管,中间有屏蔽层,双 PIN 光敏二极管的输出相‘与’的结果为输出信号。原理上,该探测器对电子敏感,而对同步辐射光和 γ 射线不敏感,从而降低本底计数。

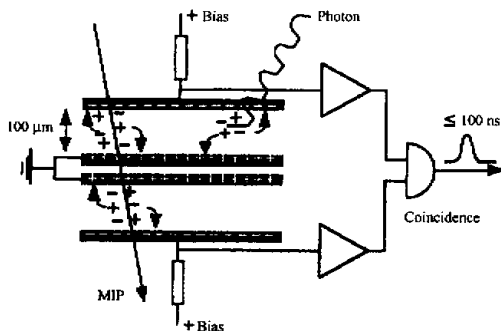


图 2 BLM 探测器——双 PIN 光敏二极管原理图

Fig.2 Schematic of BLM detector——two PIN photodiodes detector

该探测器具有以下特点:(1)体积小、重量轻。体积为 $68.5\text{mm} \times 33.5\text{mm} \times 10\text{mm}$,重量约 100g,因此,可以根据需要紧贴在真空室的外表面上。(2)灵敏度高。只要具有 MIP(Maximum Ionization Particle)能量的带电粒子,都有可能使探测器产生输出信号。对能量大于 MIP 能量的电子,探测效率大于 30%。(3)响应快。单脉冲脉宽加恢复时间 100ns。(4)无磁性。不会对束流电子的运动轨迹产生影响。(5)不接触束流。探测器在真空室外探测束流损失电子产生的次级带电粒子,故不会对束流产生影响。(6)对同步辐射光不敏感,本底噪声小。(7)探测器的输出信号是标准的 TTL 电平,而且驱动能力很强,便于后续电路进行处理。

2 BLM 探测器位置的选择

双 PIN 光电二极管 BLM 探测器是一个体积小,对电子敏感,而对同步辐射光或 γ 射线不敏感的探测器。BLM 探测器安装位置的选择将是该系统设计中至关重要的问题,安装位置选择的原则:(1)最具代表性。能尽快反映出储存环内尽量多的状态变化。(2)在束流损失相对较大处有较高的计数率。(3)每对探测器之间有相当的距离。

实际选择中还要考虑以下三点:(1)通过储存环 TBA 结构计算,选择出理论上沿束流轨道

方向具有代表性的位置。通过 Monte – Carlo 计算确定真空室外表面最佳的 BLM 探测器的位置。(2)用实际测量矫正选择位置。(3)储存环上安装空间的允许性。

由物理计算得到,TBA 结构决定的可能发生束流损失的位置如图 3 所示。图 3 中,纵坐标表示偏离束流管道中心线的距离。图中曲线从上至下,束流电子依次损失能量 1%—10%。

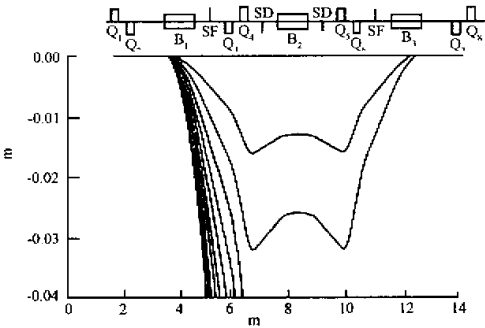


图 3 由 TBA 结构计算的可能发生束流损失的位置
Fig.3 Calculation of TBA structure for the path of beam electrons

从图 3 看出,损失能量 < 3% (精确的计算结果为 2.4%) 的电子,经过四极铁聚焦可以回到正常轨道 而损失能量大于该值的电子,大部分在二极铁后就丢失了。因此,二极铁后也就成了主要的探测点。

此外,利用 Monte – Carlo 计算知,当束流电子打在真空室内壁上时,在真空室外表面上,shower 电子的分布情况如图 4 所示。其中模拟了 10000 个入射电子的输运过程,电子入射角为 2 度,入射电子在 (Y,Z) = (0,0) 处。真空室壁厚 2.9mm,材料为不锈钢。

从图 4 可以看出,真空室外表面 shower 电子的峰值位于入射点后大约 5cm 处,而且大多数 shower 电子集中在入射点后沿束流方向下游的 12cm 内。shower 电子在垂直方向上的分布呈比较窄的峰。这在安装时,对探测器相对于束流管道中心的位置有一定的要求。

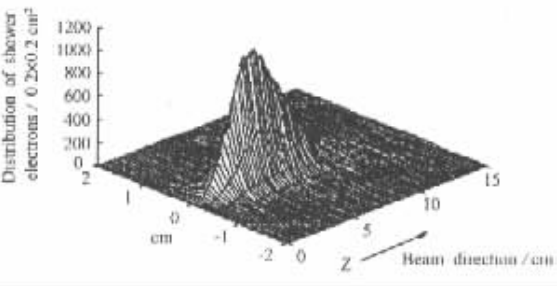


图 4 束流损失电子在束流管道外表面上产生的 shower 电子分布
Fig.4 Distribution of shower electrons on the side of the beam pipe surface

在实际选择确定安装位置中,我们发现,一般情况下,在选定位置内外侧成对同时使用极有意义,但上下侧意义不太大,故可以只装内外两侧 ;探测器的纵向位置对测量结果的变化是灵敏的,这是因为探测器的有效面积太小,探测器位置上下变化 1cm,计数率大约变化 30%。

3 系统结构

鉴于束流损失监测系统沿储存环有多个探测位置,而数据的最终显示、存储又位于主控室,因此,采用分布式系统结构建造该数据采集系统非常适合,如图 5 所示。

系统采用 68HC11A1 单片机和 CPLD 设计的专用计数器组成的数据采集器作为下位机,对每个采集点的一对探测器(分别安装于束流管道的内外两侧)的输出脉冲进行计数和临时存储。每台采集器通过 CAN BUS 及时地将采集到的数据送往 PC 机。PC 机是系统的中枢,控制整个系统的同步运行,显示、打印和存储系统的运行记录和数据。

4 结论

实际测量结果的分析表明,这种双 PIN 结构 BLM 探测器用于探测同步辐射环境下储存环束流损失是非常适合的。整个系统已经安装于合肥国家同步辐射实验室的电子储存环上,并通过了调试和试运行阶段。从采集到的数据看,系统工作正常,证明系统的设计原理是正确的。从测量结果来看,探测器位置的原则和理论计算的结果正确。

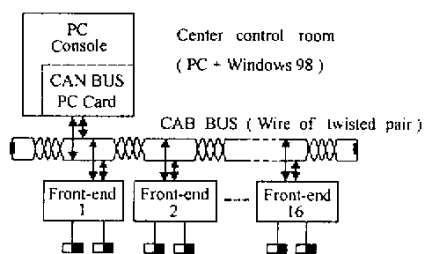


图 5 束流损失监测系统结构示意图

Fig.5 Structure of BLM system

参 考 文 献

- 1 Wittenburg K. Proceedings of 1st European Workshop on Beam Diagnostic and Instrumentation for Particle Accelerators, Montreux, 1993, CERN PS/93 - 35(BD), 11-20
- 2 Schlögl S, Wittenburg K. Int J Mod Phys A (Suppl), 1993, 1: 254-256
- 3 Bialowons W, Ridoutt F, Wittenburg K. Proceedings of 4th EPAC 1994, London, 1994. 1628-1630

Several physical problems in the beam loss monitoring system for HLS storage ring at NSRL

CUI Yonggang¹ LI Yuxiong² SHAO Beibei¹ LI Juexin² LI Weimin²

¹ (Department of Engineering Physics, Tsinghua University, Beijing 100084)

² (NSRL, University of Science and Technology of China, Hefei 230029)

Abstract

The electrons lost from the storage ring beam produce a shower of particles when striking the vacuum chamber, and the beam losses can be probed by detecting the shower electrons distributed on the surface of beam pipe. Based on this principle, a new Beam Loss Monitoring System (BLM System) was designed and installed during the upgrading of accelerator in NSRL. In this paper, the selection of BLM detectors, the position to install them, and also the structure of BLM system were discussed in detail.

Key words Accelerator, e⁻ storage ring, Beam loss

CLC TL594, TL571, O571.221