论文

在电子冷却存在情况下 HIRFL-CSR 上观测到的束流不稳定现象

杨晓东^{①*}, 李杰^{①②}, 冒立军^①, 李国宏^①, 马晓明^①, 晏太来^①, 毛瑞士^①, 赵铁成^①, 武军霞^①, 原有进^①, 杨建成^①, 李朋^①

① 中国科学院近代物理研究所, 兰州 730000;

② 中国科学院研究生院, 北京 100049

*联系人, E-mail: yangxd@impcas.ac.cn

收稿日期: 2012-05-31; 接受日期: 2012-07-11; 网络出版日期: 2012-08-28

国家自然科学基金资助项目(批准号: 10975166, 10905083)

摘要 本文描述了冷却储存环运行过程中得到的一些 Schottky 信号和束流位置探测器上的信号, 这些信号与束流的不稳定性有一定的关系, 有些是由于硬件引起的, 有些是束流本身产生的, 分别给出了注入时、冷却后和冷却力测量过程中离子束中心频率随时间的变化, 分析了产生这些现象的原因, 尝试寻找解决的方法, 以期提高束流的稳定性, 为下一步 Schottky 质量测量实验做准备。

关键词 冷却储存环, 电子冷却, 离子束不稳定性, Schottky 信号

PACS: 29.20.Dh, 29.27.Ac, 41.75.Lx, 41.85.Ew

doi: 10.1360/132012-503

兰州重离子加速器冷却储存环 HIRFL-CSR^[1]已投入运行达 5 年, 储存环能够提供能量从几个 MeV/u –1000 MeV/u 的、质量从质子到铀的重离子束, 其主要的物理实验集中在质量测量、重离子束治疗癌症及相关的实验、高离化态离子物理及原子分子实验, 以及高能物理实验。根据机器状态及用户要求, 每年提供约 7000 h 的束流时间, 其中 3000 h 为储存环的束流。在过去的两年中所取得的研究结果在很多会议和文章中都有详细的报道^[2–6]。

从多年的运行情况来看, 在电子冷却存在的情况下, 观察到了一些束流的不稳定情况, 这些不稳定

有时发生在冷却累积阶段, 有些发生在冷却后, 还有一些发生在冷却力测量过程中。

束流不稳定将导致束流损失和发射度增长, 从而限制能够累积的最大束流强度、限制实验测量的精度; 不同的加速器所表现出来的不稳定性的形式各不相同^[7–10]。研究束流不稳定性可以理解不稳定发生的物理机理及其产生的原因, 探索可能的减轻或抑制不稳定的措施与途径。本文侧重于在电子冷却存在的情况下重离子冷却储存环上观察到的一些束流不稳定现象, 呈现了观察到的几种典型的不稳定信号, 并对它们进行了简要的分析。

引用格式: 杨晓东, 李杰, 冒立军, 等. 在电子冷却存在情况下 HIRFL-CSR 上观测到的束流不稳定现象. 中国科学: 物理学 力学 天文学, 2013, 43: 76–84
Yang X D, Li J, Mao L J, et al. Beam instability phenomena observed at HIRFL-CSR in the presence of electron cooler (in Chinese). Sci Sin-Phys Mech Astron, 2013, 43: 76–84, doi: 10.1360/132012-503

肖特基质谱测量^[11]是基于冷却储存环的一种高精度的质量测量方法, 测量精度 $\Delta m/m$ 能够达到 1×10^{-6} 以上. 从 2007 年开始已经在 CSR 实验环上开展了等时性模式下的质量测量^[12,13], 下一步将开展肖特基质量测量^[14]. 肖特基质谱分析(Schottky Mass Spectrometry)^[15-18]要求在 CSR 实验环中保持 $\Delta f/f < 5 \times 10^{-7}$ 的测量精度能够长时间(>1000 s)测量冷却后存储在实验环中的单个离子的肖特基信号, 来实现粒子高精度的质量测量.

为了了解和抑制这些不稳定现象, 仔细深入地研究这些现象发生的物理机理是很有必要的, 其研究结果将为下一步 CSR 的改进提高提供了依据, 并将为在 CSR 实验环上开展肖特基质谱测量实验提供保障.

1 CSR 主环束流的冷却累积

CSR 主环电子冷却的主要功能是束流的冷却累积^[19,20], 图 1 为累积过程一个典型的离子束冷却累积过程 Schottky 频谱图.

达到最佳电子冷却效果的基本要求是离子束与电子束的纵向平均速度相等、离子束与电子束平行且同轴. 可以清楚地看到, 电子束与离子束纵向速度匹

图 1 一个典型的离子束冷却累积过程的 Schottky 频谱图
Figure 1 A typical Schottky spectrum of ion beam accumulation under electron cooling.

配得很好, 也就是动能匹配得很好, 离子束中的离子从左右两侧对称地被冷却到束流的中心速度, 也说明主环的高频频率、二极铁磁场与离子束的动能对应得很好. 随着注入次数的增多, 离子束的强度逐渐增大, Schottky 信号中心的颜色逐渐变深.

从该图模拟得到的纵向冷却时间比较合理, 说明离子束与电子束是平行的. 最重要的一点是在两个相邻的谐波之间没有明显的边带信号出现, 说明储存环的工作点设置比较合理, 束流寿命比较长, 束流损失也不是很严重. 同时, 很明显地, 在累积过程的最后, 束流的中心频率向左略微有点移动, 这说明某个注入元件影响了离子束的注入轨道, 或者注入的束流在注入点的位置或角度发生了变化, 从而导致了离子束在储存环中的回转频率变小.

2 累积后高密度束流的不稳定性

束流累积后, 高密度束流的振荡在许多储存环中都观察到了^[21-23], 图 2 为束流位置探测器 BPM 一个极板上获得的信号, 可以看出, 由于束流横向膨胀, 使得 BPM 信号迅速增大, 直到部分离子损失, 相应的束流变压器 DCCT 上的信号如图 3 所示. 束流累积到一定值后, 突然降低, 表明束流损失很严重.

在间断注入的情况下, 储存环中的束流不是一直线性增加的, 而是增加到某一个值, 突然快速下降, 也不是一直下降到零, 会保留一部分, 然后又向上增加, 如此反复.

图 2 束流不稳定时束流位置探测器一极板上的束流信号
Figure 2 The signal from one electrode of beam position monitor during beam instability.

图 3 束流不稳定时束流变压器 DCCT 上的束流强度信号
Figure 3 The corresponding beam intensity signal from DC current transformer during beam instability.

CSRm 储存环的工作点设计值为 3.65/2.62, 在束流累积过程中, 随着束流流强的增大, 空间电荷的作用逐渐加强, 这将引起储存环工作点的移动, 可能会发生 $Q_x+Q_y=6$, $Q_x-Q_y=1$ 的共振, 其中差共振更严重一些, 这也是束流快速损失的原因, 更确切的结论要在进一步测量工作点及模拟计算的基础上得出。

3 注入累积阶段的不稳定性

为了保证来自注入线的束流能够注入到储存环中^[24], 在注入阶段在注入点附近由四个凸轨磁铁造

成一个凸轨, 待离子进入储存环, 这个凸轨很快消失, 以免影响储存环内转圈的束流。除此之外还有一个切割铁, 改变注入束的曲率半径, 使得在注入线中直线运动的离子束与储存环圆形闭合轨道相切, 相重合。电子冷却一直处于开启状态。图 4(a)为一个完整的注入过程的 Schottky 信号, 可以看出, 与图 1 相比较, 注入时束流的频率发生了振荡, 而且离子束的中心频率与电子束动能不相匹配。实验中如果将电子束动能调节到频谱中心或左侧, 离子束累积就变小, 这与储存环二极场的设置有关, 与注入束的能量不匹配。为了更清楚地了解振荡过程, 图 4(b)给出了开始注入时的情况, 图 4(c)给出了注入停止后的情况。可以看出, 注入结束后离子束依然在振荡。当时记录电子冷却高压数据表明, 高压的变化周期为 4.5 s, 而离子束的振荡周期为 0.63 s。由于当时没有记录其他元件的状态及参数变化, 无法确认引起振荡的具体元件和原因。

4 束流累积过程中的边带问题

一般地, 为了测量储存环的工作点, 采用横向激励束流的方法, 使得稳定运动的束流在横向产生振荡, 这样束流的 Schottky 信号中出现了边带, 通过测

图 4 一个完整的冷却累积注入过程的 Schottky 频谱图

(a) 整体; (b) 注入开始; (c) 注入结束时

Figure 4 The Schottky spectrum of a complete accumulation and injection under electron cooling. (a) Whole; (b) beginning of injection; (c) end of injection.

量边带的频率差,可以得到束流横向两个平面的振荡频率^[25].在 CSR 主环的运行中,在没有加入外部的横向激励的情况下,在冷却累积过程中也观察到了明显的边带信号,如图 5 所示.从图中可以看出,在相邻两次谐波的 Schottky 信号中间,两个边带信号非常明显.依照工作点测量的原理,边带出现的原因是束流有横向的振荡,且横向振荡的振幅越大,边带信号越强,同时振荡严重影响最大的累积束流的强度.对这个问题的深入研究,有利于理解振荡产生的原因,寻求抑制振荡的方法和途径,提高累积束流的强度.

5 冷却后离子束的不稳定性

离子束经主环加速提高能量后,被注入到实验环,进行加速后的冷却,并进行相关的物理实验,如内靶实验,离子俘获电子实验等.在存储离子数目比较小的情况小,可以进行晶化束的研究^[26-29].下一步的计划是在实验环 CSRe 开展肖特基质量谱学的研究工作,为此研发了新的共振肖特基探针^[30],这就要求很高的离子束的稳定性.图 6 为 200 MeV/u 的 $^{86}\text{Kr}^{36+}$ 离子束在 CSR 实验环冷却后的 Schottky 信号,可以看出,束流发生了明显的不稳定,从频率范围来看,大约 $\pm 25 \text{ kHz}/243 \text{ MHz} = \pm 1 \times 10^{-4}$.

图 5 带有明显边带的 Schottky 频谱图

Figure 5 The Schottky spectrum with obvious sideband.

分析其原因,有以下几个因素,实验环二极铁磁场、实验环四极铁磁场、电子冷却高压等.由于缺乏相应的束流和磁场监测手段,没有相应的高精度的磁场监测手段,各个信号之间无法相互关联,给指定引起不稳定的具体原因带来了困难.拟建立同步的

图 6 实验环中离子束冷却平衡后的 Schottky 频谱图

Figure 6 The Schottky spectrum of ion beam after cooling equilibrium in CSR experimental ring.

高精度的磁场和高压监测系统, 获得同一时间刻度下束流变化信号和磁场、高压等变化的信号的关系, 将对分析原因有一定的帮助。

图 7 为没有电子冷却情况下, 实验环等时性模式下记录的 434.8 MeV/u 的 $^{86}\text{Kr}^{36+}$ 束流的 Schottky 信号, 可以看出, 离子束也存在不稳定, 但是幅值比上述的要小. 这可能与储存环工作模式、二极场磁场强度, 获取数据的时间段有一定的关系. 另外由于储存环及其电源没有处于恒温状态, 温度会随着自然环境变化, 冬季稳定性高于夏季, 一天之内凌晨稳定性最好, 一天之内环境温度的变化, 外电网随时间的变化等都会对束流产生影响。

6 冷却力测量过程中的现象

为了研究空心电子束与实心电子束冷却力的差别, 前几次实验在 HIRFL-CSR 主环、实验环分别进行了冷却力的测量^[31]. 图 8 左图为一个典型的冷却力测量过程的 Schottky 信号图, 是在实验环中测量对 400 MeV/u 的 $^{12}\text{C}^{6+}$ 离子束的冷却力过程中得到的. 从图中可以看出, 冷却后的离子束, 由于电子冷却作用和各种加热效应达到了平衡, 离子束的动量分散即峰的宽度基本保持不变, 离子数不变, 峰的面积也保持不变. 当电子束能量跳变后, 离子束会整体慢慢

图 7 没有电子冷却下, 实验环在等时性模式运行情况下离子束的 Schottky 频谱图

Figure 7 The Schottky spectrum of ion beam in the absent of electron cooling at the isochronous operation mode in CSR experimental ring.

地被拉到新的平衡点, 建立新的平衡. 图 8 中图为电子束与离子束在垂直方向存在夹角情况下, 电子束能量由 221.3 kV 突变到 220.9 kV 冷却力测量时的频谱图; 图 8 右图为电子束能量由 220.9 kV 突变到

图 8 实验环 400 MeV/u $^{12}\text{C}^{6+}$ 离子束冷却力测量过程中的 Schottky 频谱图

左: 离子束与电子束之间没有夹角; 中: 垂直方向存在夹角, 电子束能量由 221.3 kV 突变到 220.9 kV; 右: 垂直方向存在夹角, 电子束能量由 220.9 kV 突变到 221.3 kV

Figure 8 The Schottky spectrum of 400 MeV/u $^{12}\text{C}^{6+}$ during cooling force measurement in CSR experimental ring. Left: no angle between ion and electron beams; middle: with an angle in vertical direction; right: with an angle in vertical direction, opposite electron energy change.

图 9 实验环 200 MeV/u $^{129}\text{Xe}^{54+}$ 离子束冷却力测量过程中的 Schottky 频谱图

Figure 9 The Schottky spectrum of 200 MeV/u $^{129}\text{Xe}^{54+}$ during cooling force measurement in CSR experimental ring.

221.3 kV 冷却力测量时的频谱图.

可以看出,一部分离子按正常的规律在一定的时间内移动到新的平衡点,而另一部分几乎没有受到电子束能量变化的影响,继续在缓慢地移动,似乎没有被电子束拉动,出现拖尾现象.可能的原因:(1) 离子束与电子束轴不重合,部分离子没有被电子冷却;(2) 离子束不是高斯分布的,可能是分层的,或圆筒形的,部分离子受到的冷却力非常小;(3) 电子束的横向温度太高,不是冷却了离子,而是加热了离子.

另外一种现象是如图 9 所示,在电子冷却装置弯曲螺线管磁场优化的情况下,当电子束能量发生跳变在实验环中测量对 200 MeV/u 的 $^{129}\text{Xe}^{54+}$ 离子束的冷却力过程中得到的 Schottky 频谱图. 左图为一个正常的冷却力测量过程的 Schottky 信号图;图 9 中图为弯曲螺线管磁场比优化的值小的情况,电子束能量由 108.96 kV 突变到 109.16 kV 冷却力测量时的频谱图;图 9 右图为电子束能量由 108.96 kV 突变到 108.76 kV 冷却力测量时的频谱图. 离子束似乎受到相同的作用,开始向新的平衡点移动,只有很小部分离子按照常规的方式移动到新的平衡点并达到冷却,不是整体移动,在新的平衡点变成分散的,离子束的动量分散变大,说明在这种情况下,电子冷却装置弯曲螺线管磁场影响电子束的横向温度,电子束的温度直接影响平衡后的离子束的动量分散.

7 高频频率变化对离子束的作用

为了检验实验环高频系统^[32]的性能,由高频产生梯形波,观察其对 200 MeV/u 的 $^{12}\text{C}^{6+}$ 离子束的作用. 高频电压为 1 kV,高频频率为 6.60895 MHz,频率变化范围为 $\Delta f/f = \pm 3 \times 10^{-4}$,上升沿时间为 5 s,平顶为 50 s,下降沿为 5 s,频率变化的波形如图 10 所示,相对应的离子束 Schottky 信号频谱图如图 11 左图所示.

离子束几乎是整体跟着高频的变化移动到新的频率点,但是由于离子束与电子束的平均速度不相等,离子束没有被很好地冷却下来,动量分散比较大,

图 10 高频频率变化的波形图

Figure 10 Waveform of RF frequency.

图 11 外界因素变化引起的离子束 Schottky 频谱图

左: 高频频率变化的作用; 中: 电子束能量单侧调制的作用; 右: 电子束能量双侧调制的作用

Figure 11 The Schottky spectrum of ion beam under the action of external factor. Left: the action of the change of RF frequency; middle: the action of the unilateral change of electron energy; right: the action of the bilateral change of electron energy.

峰的宽度变大.

高频频率变化比较缓慢, 频率的变化导致离子束纵向速度的变化, 离子束基本跟随外力的变化规律. 这是一个慢变化的例子, 可以作为参考, 分析束流 Schottky 信号中的各种变化.

8 电子束能量调节对离子束的作用

为了在 CSR 上开展离子俘获电子实验, 在电子冷却装置上增加了电子束能量调节功能^[33], 即在达到最佳冷却累积的条件下, 在电子束高压上施加如图 12 波形的变化, 上升时间为 $20\ \mu\text{s}$, 平顶时间为 $100\text{--}1000\ \text{ms}$, 时间间隔为 $1\text{--}2\ \text{s}$, 幅值范围为 $5\text{--}1500\ \text{V}$. 图 11 中间图为一个典型的单侧电子束能量调节的 Schottky 频谱图, 可以看出离子束很快跟随电子束的能量变化, 移动到新的位置, 但是没有出现像前述高频作用一样的平顶. 图 11 右图为一个典型的双侧电子束能量调节的 Schottky 频谱图.

可以看出, 只有部分离子跟随了电子束能量的变化, 大部分离子开始变化, 还没有来得及到达新的平衡点, 反向的作用开始, 离子束又反向移动, 只是部分离子移动到新的位置, 长时间作用的结果为

图 12 电子束能量调制的波形图

Figure 12 Waveform of electron energy modulation.

将整个离子束的动量分散拉宽, 这是一个快变化的例子.

9 结论

本文仅对 CSR 运行中出现的与电子冷却相关的不稳定现象进行了简要的描述. 为了满足高精度物理实验的要求, 必须对所描述的每个现象逐个进行深入细致的研究, 建立相应的监测系统, 分析、测量

不稳定性现象, 从物理上研究其发生的规律和机理, 改进的建议, 提高 CSR 的运行水平, 满足高精度物理实验的要求。
在技术上寻求减轻、抑制不稳定的途径与方法, 提出

参考文献

- 1 Yuan Y J, Xia J W. Present status of storage rings at HIRFL. In: 8th International Conference on Nuclear Physics at Storage Rings (Stori11) Laboratori Nazionali di Frascati dell'INFN. Frascati: CERN, 2011
- 2 Wu Q F, Li Q, Jin X D, et al. Bystander effect in human hepatoma HepG2 cells caused by medium transfers at different times after high-LET carbon ion irradiation. Nucl Instrum Methods Phys Res B, 2011, 269: 153–158
- 3 Yu D Y, Xue Y L, Shao C J, et al. Observation of K- and L-REC in 200 MeV/u Xe^{54+} - N_2 collisions at HIRFL-CSR. Nucl Instrum Methods Phys Res B, 2011, 269: 692–694
- 4 Mei B, Tu X L, Wang M, et al. A high performance time-of-flight detector applied to isochronous mass measurement at CSRe. Nucl Instrum Methods Phys Res A, 2010, 624: 109–113
- 5 Tu X L, Wang M, Litvinov Y A, et al. Precision isochronous mass measurements at the storage ring CSRe in Lanzhou. Nucl Instrum Methods Phys Res A, 2011, 654: 213–218
- 6 Tu X L, Xu H S, Wang M, et al. Direct mass measurements of short-lived $A=2Z-1$ nuclides ^{63}Ge , ^{65}As , ^{67}Se , and ^{71}Kr and their impact on nucleosynthesis in the rp process. Phys Rev Lett, 2011, 106: 112501
- 7 Liu Y D, Guo Z Y, Qin Q, et al. Simulation of the electron cloud instability for BEPCII. In: Proceedings of APAC 2004. Gyeongju: CERN, 2004. 97–99
- 8 Wang J Q, Guo Z Y, Liu Y D, et al. Beam instability studies of BEPC and BEPCII. In: Proceedings of EPAC 2004. Lucerne: CERN, 2004. 2131–2133
- 9 Jiang B C, Chen G L, Chen J H, et al. Observation of beam instability in the SSRF storage ring. Chin Phys C, 2009, 33(Suppl. 2): 75–77
- 10 Hofmann I, Beckert K, Cocher S, et al. Diagnostics and instability studies of cooled ion beam. In: Proceedings of EPAC1990. Nice: CERN, 1990. 229–233
- 11 Dai G X. Schottky mass spectroscopy (in Chinese). Nucl Phys Rev, 1997, 14(4): 239–242 [戴光曦. 肖特基质谱仪. 原子核物理评论, 1997, 14(4): 239–242]
- 12 Tu X L, Xu H S, Xia J W, et al. A pilot experiment for mass measurement at CSRe. Chin Phys C, 2009, 33(7): 516–520
- 13 Tu X L, Wang M, Hu Z G, et al. Secondary electron time detector for mass measurements at CSRe. Chin Phys C, 2010, 34(3): 363–367
- 14 Franzke B, Beckert K, Eickhoff H, et al. Schottky mass spectrometry at the experimental storage ring ESR. Phys Scr, 1995, T59: 176–178
- 15 Hausmann M, Attallah F, Beckert K, et al. First isochronous mass spectrometry at the experimental storage ring ESR. Nucl Instrum Methods Phys Res A, 2000, 446: 569–580
- 16 Litvinov Y A, Geissel H, Novikov Y N, et al. Precision experiments with time-resolved Schottky mass spectrometry. Nucl Phys A, 2004, 734: 473–476
- 17 Litvinov Y A, Geissel H, Radon T, et al. Mass measurement of cooled neutron-deficient bismuth projectile fragments with time-resolved Schottky mass spectrometry at the FRS-ESR facility. Nucl Phys A, 2005, 756: 3–38
- 18 Geissel H, Litvinov Y A, Beckert K, et al. Present and future experiments with stored exotic nuclei at the FRS-ESR facility. Eur Phys J, 2007, 150: 109–115
- 19 Yang X D, Li G H, Li J, et al. Electron cooling experiments in CSR. Sci China-Phys Mech Astron, 2011, 54(Suppl. 2): s274–s278
- 20 Yang X D, Li J, Mao L J, et al. Electron cooling performance at IMP facility. In: Proceedings of COOL'11, Alushta, Ukraine. Geneva: CERN, 2011. 1–5
- 21 Bosser J, Carli C, Chanel M, et al. Stability of cooled beams. Nucl Instrum Methods Phys Res A, 2000, 441: 1–8
- 22 Uesugi T, Fujisawa T, Noda K, et al. Observation of beam-size blowup due to half-integer resonance in a synchrotron. Phys Rev, 2004, 7: 064203
- 23 Uesugi T, Noda K, Syresin E, et al. Cooled-stacking injection and damping of a transverse ion-beam instability at the HIMAC synchrotron. Nucl Instrum Methods Phys Res A, 2005, 545: 45–56
- 24 Tang J Y. Injection and extraction techniques in circular accelerators (in Chinese). Chin Phys C, 2008, 32(Suppl. 1): 256–258 [唐靖宇. 圆形加速器的注入和引出技术. 中国物理 C, 2008, 32(Suppl. 1): 256–258]
- 25 Zhao T C, Mao R S, Zheng J H, et al. Tune measurement system for HIRFL-CSR (in Chinese). At Energy Sci Tech, 2009, 43(3): 263–265

- [赵铁成, 毛瑞士, 郑建华, 等. HIRFL-CSR Tune 值测量系统. 原子能科学技术, 2009, 43(3): 263–265]
- 26 Danared H, Källberg A, Rensfelt K G, et al. Observation of ordered ion beam in CRYRING. In: Proceedings of the 2001 Particle Accelerator Conference. Chicago: IEEE, 2001
- 27 Danared H, Källberg A, Rensfelt K G, et al. One-dimensional ordering in a cold heavy-ion beam. In: Proceedings of EPAC 2002. Paris: CERN, 2002. 566–568
- 28 Shirai T, Ikegami M, Fujimoto S, et al. One-dimensional beam ordering of protons in a storage ring. Phys Rev Lett, 2007, 98: 204801
- 29 Wei J, Yu P C. Status and challenges in beam crystallization. In: Proceedings of COOL09. Lanzhou: Atomic Energy Press, 2009. TUA2MCIO01, 86–90
- 30 Zang Y D, Mao R S, Wu J X, et al. Schottky beam diagnostic system at CSRe (in Chinese). High Power Laser Part Beams, 2011, 23(7): 1899–1903 [臧永东, 毛瑞士, 武军霞, 等. CSRe 的 Schottky 束流诊断系统的研制. 强激光与粒子束, 2011, 23(7): 1899–1903]
- 31 Mao L J, Li G H, Li J, et al. Cooling force measurements with variable profile electron beam at HIRFL-CSR. In: Proceedings of COOL09. Lanzhou: Atomic Energy Press, 2009. THM1MCCO03, 107–110
- 32 Xu Z, Zhao H W, Wang C X, et al. RF system design and measurement of HIRF-CSRe. Chin Phys C, 2009, 33(5): 387–392
- 33 Meng L J, Ma X, Liu H P, et al. The first test experiment performed at the electron cooler of storage rings in Lanzhou. J Phys-Conf Ser, 2009, 163: 012031

Beam instability phenomena observed at HIRFL-CSR in the presence of electron cooler

YANG XiaoDong^{1*}, LI Jie^{1,2}, MAO LiJun¹, LI GuoHong¹, MA XiaoMing¹,
YAN TaiLai¹, MAO RuiShi¹, ZHAO TieCheng¹, WU JunXia¹, YUAN YouJin¹,
YANG JianCheng¹ & LI Peng¹

¹ Institute of Modern Physics, Chinese Academy of Sciences, Lanzhou 730000, China;

² Graduate University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China

Some signal samples acquired from Schottky probes and beam position monitor during operation were presented in this paper, and they were observed in the different operation periods such as during injection, after cooling and cooling force measurement. These signals were considered related with the ion beam instability. The central frequency of ion beam varied with the time. Some were caused by the ripple of hardware, others were created by ion beam itself. The reasons which caused these phenomena were analyzed. The possible solutions were suggested, and some necessary upgrade and improvements were expected. These results were helpful to attempt the Schottky Mass Spectrometry measurement in the CSR.

cooler storage ring, electron cooling, ion beam instability, Schottky signal

PACS: 29.20.Dh, 29.27.Ac, 41.75.Lx, 41.85.Ew

doi: 10.1360/132012-503