

# Libera BPM在BEPC II 调束中的应用

曹建社<sup>1)</sup> 马力 麻惠州 郭志军 雷革

(中国科学院高能物理研究所 北京 100049)

**摘要** 软件无线电技术的发展, 不仅带来了现代通信领域的技术革命, 同样在加速器束测领域中也带来了技术的革新. 基于软件无线电技术和数字接收机架构的数字BPM首先在瑞士光源得到了成功的应用, 斯洛文尼亚的Instrumentation Technologies公司把该项技术进行了市场化并进行了不断改进, 形成了现在的Libera系列产品. 它集模拟信号采集、模数转换、数字信号处理以及外同步于一体, 是一个真正all-in-one的宽带测量系统. 它可以完成束流位置的First Turn、Turn by Turn和COD等测量工作. 在BEPC II的初期调束中, 在电子环和正电子环的束流闭环、储存和积累、故障查处以及同步环的注入残余振荡测量方面, Libera BPM发挥了出色的作用, 加快了调束进程.

**关键词** Libera 软件无线电 残余振荡 First Turn

## 1 BEPC II Libera测量系统简介

### 1.1 BEPC II 简介

BEPC II 作为BEPC的升级改造工程, 升级后仍将是“一机两用”, 服务于高能物理实验和同步辐射应用. 它是有电子环(BER)、正电子环(BPR)和同步环(BSR)三个环组成, 其中作为对撞机工作于对撞模式时, 只使用BER和BPR, 而作为专用同步辐射应用模式时, 则只使用BSR, 其BSR是有BER和BPR的各自外半环加上一个旁路管道构成的. 在南对撞点两边, 有两套复杂的组合超导磁铁(包括二极B铁和四极Q铁等)和一套超导螺线管, 它们既要用来在对撞模式时满足对撞点小包络函数和交叉角的双束对撞, 又要满足同步模式时两个外半环的连接. 由于这些超导装置的复杂程度和国内首次采用缺乏经验, 因此它们的工程进度稍微滞后于常规装置的进度. 为了保障同步辐射用户早日用光以及积累双环对撞调束的经验, 一套常规磁铁的备用方案被先期采用. 备用方案和正式方案有着相似的Lattice结构, 只是对撞点的包络函数稍大. 本文中所有的测试内容都是在备用方案条件下完成的.

### 1.2 BEPC II Libera测量系统简介

Libera利用带通采样原理来完成对高频模拟信号的A/D转换. 对于BEPC II所定制的Libera参数

为: RF频率=499.8MHz, 谐波数396, A/D采样频率为116MHz, 数值抽取因子为92, 即带通采样工作在第九Nyquist区. Libera内部有一个嵌入式的Linux操作系统, 其CPU为ARM类型, 需在linux-x86计算机上建立linux-x86到arm的交叉编译环境<sup>[1]</sup>. 在BEPC II储存环上, 16套Libera利用两套切换开关组件可完成对电子环和正电环任意BPM信号的采集. Libera软件接口提供了支持EPICS的可扩展静态程序库, 和BEPC II控制系统兼容. 图1给出了BEPC II Libera信号处理数据流的框图. 从图中可以看出根据不同的抽取因子, Libera可以完成First Turn, Turn by Turn, COD等测量任务.

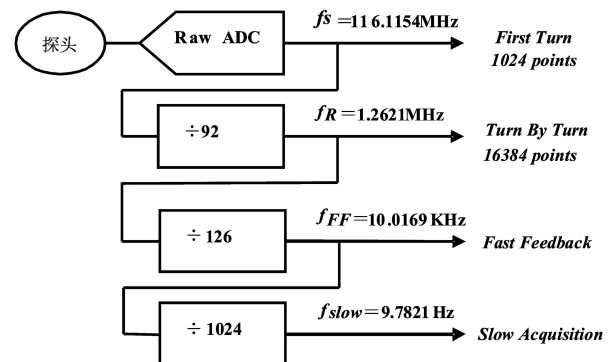


图1 BEPC II Libera信号处理数据流框图

## 2 Libera在B2调束中应用

### 2.1 BER和BPR第一圈注入和束流积累调试

在2006年11月份开始的BEPC II同步环首轮调束时,当时我们未使用Libera,因当时我们订购的Libera刚刚到货,还来不及调试.我们只能利用传统的测量手段帮助调束,共用了五天的时间完成了BSR环束流闭环和积累的调束.为了能在接下来的BER和BPR调束时用上先进的束测设备—Libera,在Diamond光源Dr. Michael Abbott的帮助下,我们完成了Libera的软件调试.在BEPC II定时人员的协助下,同时利用已调好的BSR环,我们完成了First Turn触发时序的调试.另外我们还验证了Libera测量的重复性,方法是将每一个Libera的头8圈测量值取平均(我们称其为准闭轨),然后比较4次准闭轨测量值的差别.测试结果表明,无论kicker on或off,所测束流准闭轨基本一致,Libera单次测量重复性优于0.5mm.

采用Libera BPM系统,可以简单、直观地进行第一圈轨道校正和调试多圈.图2是用Libera测量电子环(BER)和正电子环(BPR)调试多圈的测量结果.

由于Libera功能的强大,使得电子环(BER)的调束仅用了3个小时便实现了束流的储存.同样,正电子环(BPR)的首轮调试,Libera仍继续发挥作用,比预想要顺利的多,我们仅用了一天时间便实现了正电子环束流的存储和积累.在束流储存以后,还利用全环15套Libera进行了束流轨道的在线初步校正.

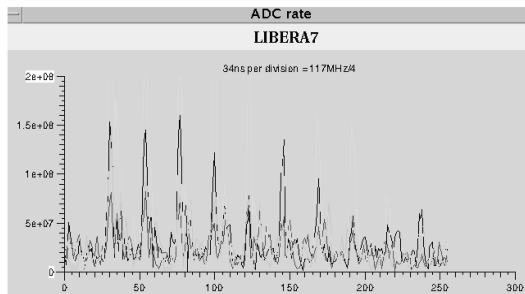


图2 Libera调试BER和BPR多圈

### 2.2 测量正负电子环kicker的最佳延时

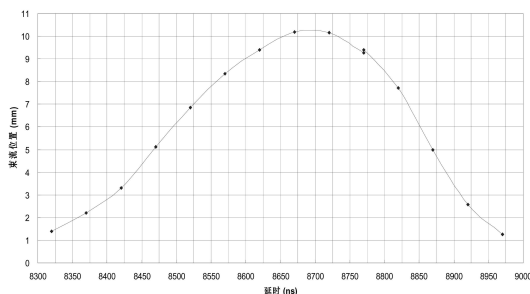


图3 电子环K2最佳延时测量结果

为了优化注入效率,确保注入Kicker的时序搭配合理、正确,利用Libera对BER和BPR的Kicker延时进行了测量,图3是其中的测量结果之一.

### 2.3 测量闭轨残余振荡

在BER和BSR的注入过程中,我们发现两台注入Kicker(K1和K2)在强度搭配相同条件下注入时会踢掉循环束.为此利用Libera测量了注入束的残余振荡情况,图4是BSR环实验测量结果.

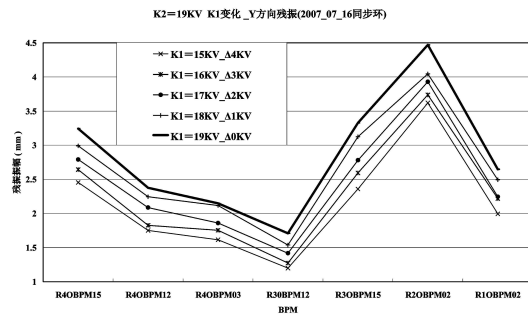


图4 BSR环注入束流Y方向残余闭轨振荡测量结果

BEPC II每个环的注入组件由两块水平相位差为 $\pi$ 的冲击磁铁K1、K2和一块垂直弯转水平切割磁铁LS (Lambertson)组成.根据注入束闭轨残余振荡测量结果,我们发现随着K1和K2不同搭配时的Kicker强度差越来越小,尽管X方向残余振荡幅度越来越小(说明K1和K2在X方向的相位差基本为180度),但Y方向残余振荡幅度却越来越大,进而造成循环束丢束.初步的分析结论是怀疑注入区的两块大孔径Q铁在束流轨道变化时引起了耦合,更仔细的研究有待下轮调束时进行.

### 2.4 测量阻尼时间和工作点(Tune)

另外还利用Libera进行了初步的阻尼时间(Damping Time)测量(包括有和无插入件条件下的比较)和工作点(Tune)测量等研究.

## 3 总结

先进设备Libera的投入使用,对BEPC II初期调束,尤其是在BER和BPR环束流的闭环和束流存储、积累等调束过程中发挥了极大地作用,明显加快了调束进程.在随后的机器研究中,利用Libera,进行了初步的注入束流闭轨残余振荡实验、注入Kicker最佳延时测量、阻尼时间和工作点等测量工作,同时也开展了初步的相空间测量和束流耦合测量方面的研究,并取得了一定进展.当然对Libera的更多功能的开发还在继续,利用Libera进行更仔细的机器研究也在计划中,希望能从Libera中获得更多的机器参数和束流信息以求更进一步地优化BEPC II的运行.

**参考文献(References)**

1 Michael Abbott. Electron Beam Diagnostics with Libera.

The 2006 EPICS Collaboration Meeting. APS. Argonne National Laboratory, Argonne, Illinois

## Application of Libera BPM at BEPC II for the Early Commissioning

CAO Jian-She<sup>1)</sup> MA Li MA Hui-Zhou GUO Zhi-Jun LEI Ge

(Institute of High Energy Physics, CAS, Beijing 100049, China)

**Abstract** With the developments of software radio technique, it not only revolutionizes the technique in modern communication field, but also brings about technical innovation on the beam instrumentation for accelerators. The digital BPM based on software radio and digital receiver, has gained first successful application in accelerator at SLS. The company of Instrumentation Technologies made many efforts to update this device and finally the family devices-Libera were formed. It integrates the analog RF front end electronics, A/D converter, digital signal processing and synchrony trigger into an all in one measurement system with wideband. The Libera can be used at different types of accelerators and it has the functions of first turn, turn by turn and COD measurement. It plays an important role in the BEPC II early commissioning, especially in the beam circulating and stacking of BER and BPR, and also in the residual orbit oscillation measurement. In this paper, we introduce some measurement results by using the multifarious function of Libera, such as first turn, tune, residual orbit oscillation and optimum delay time of injection kicker.

**Key words** Libera, software radio, residual orbit oscillation, first turn