

文章编号: 1001—4322(2000)05—0624—05

合肥光源储存环注入凸轨系统 满能量注入可行性研究

樊宽军, 冯光耀, 王相纂, 王琳, 尚雷, 裴元吉

(中国科技大学国家同步辐射实验室, 合肥6022信箱 230029)

摘要: 合肥同步辐射光源现有的注入系统采用1/4能量注入。二期工程改造后, 注入系统采用集中布局方案。以改造后的机器为基础, 针对合肥同步辐射光源的两组运行模式, 探讨实现满能量注入的可行性和实施方案。

关键词: 注入; 凸轨; 冲击磁铁; 校正磁铁; 动力学孔径

中图分类号: TL 53, TL 594 **文献标识码:** A

合肥同步辐射光源(HLS)的加速器主要由两部分组成: 作为注入器的200MeV 直线加速器和800MeV 的电子储存环。注入方式为1/4能量注入, 即把200MeV 的电子注入到储存环中, 积累到一定流强后再慢加速(Ramping)至800MeV。这种运行方式已成功地运行了十多年, 取得了丰富的经验, 但是这种方式有很多缺点。首先储存环的磁铁系统在束流由200MeV 慢加速至800MeV 的过程中, 必须保持同步稳定地线性增长, 增加了制造和运行难度; 其次当需要再次注入时, 必须“踢掉”储存环中剩下的束流, 降低了束流的利用效率。此外慢加速过程中出现的不稳定因素会造成束流丢失, 以及磁铁系统和高频系统工作点的经常改变使得运行的可靠性降低等。所以国内外的加速器储存环大多通过直线加速器(LINAC)或增强器(Booster)进行满能量注入, 如美国SLAC的PEPII^[1], 北京的BEPC^[2], 日本KEK的PF^[3]等。

基于上述原因和HLS的未来发展, 考虑在不改变储存环基本结构的基础上, 研究利用二期工程后的注入系统实现满能量注入的可行性。因为HLS具有多种运行模式, 本文仅以两种典型的模式, 通用光源模式(GPLS)和高亮度光源模式I(HBLS-I)说明凸轨方案。

1 二期工程改造后的注入系统

HLS二期工程改造后, 注入系统采用集中布局方案^[4], 即四个冲击磁铁对称地安装在同一注入长直线节上以形成梯形凸轨。因为四个冲击磁铁之间没有其它聚焦元件, 所以凸轨与储存环的Lattice参数无关, 有利于对储存环聚焦结构参数的优化。图1显示了注入系统布局及凸轨。

从图1中可以看出, 冲击磁铁的“踢角”可简单地从几何关系中得到

$$\Delta K_1 = \Delta K_2 = \Delta K_3 = \Delta K_4 = \frac{H}{L_{12}} \quad (1)$$

式中 $\Delta K_n(n=1, 2, 3, 4)$ 为冲击磁铁的“踢角”, H 为凸轨的高度, L_{12} 为冲击磁铁 K_1, K_2 的中心距。

冲击磁铁的“踢角”与注入束流能量的关系近似为

$$\Delta K = \frac{300BL}{W} \quad (2)$$

其中: ΔK 是冲击磁铁的“踢角”(rad), W 为注入束流的能量(MeV), B 为冲击磁铁的磁感应强度(T), L 为冲击磁铁的长度(mm)。

为了满足多圈注入, 注入系统二期工程改造方案设计凸轨的最大高度为32mm。由于冲击磁铁的安装空间只有270mm, 且形成凸轨的间距小, 因此冲击磁铁使束流偏转的角度较大(约52.5mrad), 需要

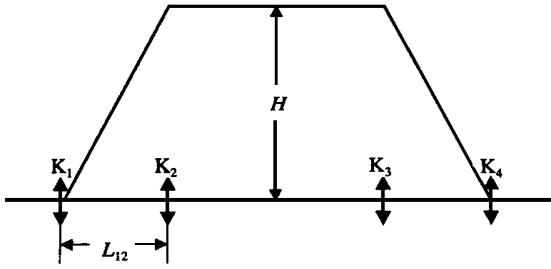


Fig 1 Ladder-shaped bump
图1 梯形凸轨

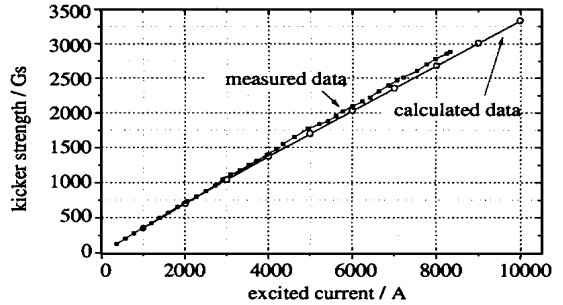


Fig 2 Kicker strength and excited current
图2 冲击磁铁强度与励磁电流关系

的脉冲磁场强度约为1297Gs。

2 满能量注入方案

当注入能量由20MeV 增至80MeV 时,如果凸轨高度不变,则相应地冲击磁铁强度必须增加4倍,即冲击磁铁的强度增至约5190Gs。采用MnZn 铁氧体材料的冲击磁铁,其磁感应强度与励磁电流的关系见图2。由此可见80MeV 注入所需的磁感应强度已经超出了这种铁氧体材料的应用范围。如果采用新型饱和磁感应强度高的铁氧体材料,有可能得到这么高的脉冲磁场,但是励磁电流也非常大,建造困难且成本高。

2.1 降低凸轨高度

一种可能的解决方法是降低凸轨高度,但是凸轨高度的降低会增加入射电子的起始振幅,增大电子的β 振荡,降低注入效率。

HLS 的注入方式为水平注入,其储存环的真空室水平横向尺寸为±40mm。分别对GPLS 和HBL S-1的注入过程进行计算机模拟。在GPLS 运行模式下,当凸轨高度为7mm 时仍可以进行一圈注入,此时冲击磁铁的踢角为11.5mrad,冲击磁铁的强度分别为1135Gs。在HBL S-1运行模式下,可以注入一圈的最低凸轨为2mm,此时对应的冲击磁铁的踢角为34.4mrad,由此计算得到冲击磁铁的强度3398Gs。

注入轨道的计算机模拟计算表明,如果两种运行模式在最低凸轨条件下进行注入,则注入束流在储存环中的振荡幅度非常大,处于临界状态,几乎碰壁。考虑到实际储存环上的各种误差会造成电子振荡幅度增大,因此注入凸轨必须大于理想的最低凸轨。所以同时满足GPLS 和HBL S-1两种运行模式的注入凸轨至少大于22mm,相应计算出脉冲磁场的强度为 $B = 3568Gs$,励磁电流大于10kA。显然图2所示的冲击磁铁无法满足要求。

2.2 采用局部辅助直流凸轨

HLS 储存环是四重对称的,图3显示了1/2储存环元件布局。图中 BL_n 和 BR_n 为二极铁上的校正线圈, Q_n 为四极铁上, K_n 为冲击磁铁。

为了降低冲击磁铁的强度,可以设想用直流凸轨来弥补脉冲凸轨高度的不足。即在脉冲凸轨形成的区域,使束流轨道平行地偏移中心轨道,靠近脉冲切割磁铁。

由于HLS 储存环结构紧凑,没有多余的空间来安装直流凸轨磁铁,考虑利用在Q 铁和B 铁上的水平校正线圈作为直流凸轨磁铁。其中由于Q 铁的纵向长度小,且Q 铁成对分布,可以采用一对Q 铁上的校正线圈作为一个直流凸轨磁铁,以降低校正线圈的电流强度。这样以注入点为中心,在半个储存环上可以利用14个水平校正线圈,分别为Q 铁上的 $CL_1 \sim 4, CR_1 \sim 4$ 和B 铁上的 $BL_1 \sim 3, BR_1 \sim 3$ (见图3),全环共有28块。

由图2知,现有的冲击磁铁可以提供约3000Gs 的脉冲磁场,由此推算出在80MeV 条件下可产生的凸轨高度约为18.5mm,因此需要直流凸轨的高度约为13.5mm。

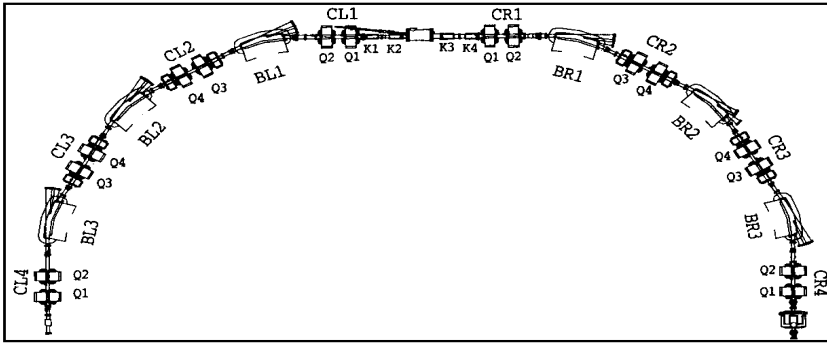


Fig 3 Structure of storage ring (Part)

图3 储存环结构 (部分)

理论上全环28块直流凸轨磁铁可以产生多种符合要求的辅助直流凸轨, 以下仅以两种典型4磁铁的凸轨方案为例, 分析计算其可行性。

2.2.1 直流凸轨跨度最小(方案 1)

从图3可见, 如果用距注入点最近的四个校正线圈 BL 1、CL 1和 CR 1、BR 1作为直流凸轨磁铁, 则产生的直流辅助凸轨跨度最小。

假设注入凸轨的高度仍然是32mm, 直流辅助凸轨高13.5mm, 分别计算 GPLS 和 HBL S-1有直流辅助凸轨时的注入凸轨, 如图4所示, 直流凸轨磁铁的偏转角度见表1。

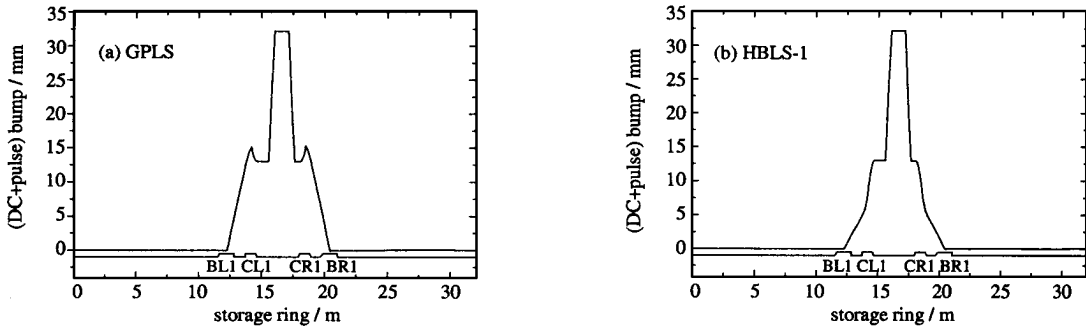


Fig 4 DC bump and pulse bump (Scheme1)

图4 直流辅助凸轨与脉冲凸轨(方案1)

表1 直流凸轨磁铁偏转角度

Table 1 Deflecting angles of DC bump magnets

	BL 1	CL 1	CR 1	BR 1
$\theta_{GPLS}/m \text{ rad}$	8.928	- 11.912	- 11.912	8.928
$\theta_{HBL S-1}/m \text{ rad}$	3.574	- 0.501	- 0.501	3.574

2.2.2 直流凸轨磁铁偏转角度最小(方案 2)

方案1中的凸轨跨度虽然最小, 但是在 GPLS 模式下, 需要的直流凸轨磁铁强度较大, 校正线圈产生磁场越大, 对储存环的影响也越大。为了降低直流凸轨磁铁的强度, 需寻找最佳的直流凸轨组合方式。计算模拟表明, 当用 BL 3、BL 1和 BR 1、BR 3产生直流凸轨时, 在两种运行模式下直流凸轨磁铁强度较小。

图5为方案2的凸轨示意图, 表2为直流凸轨磁铁的偏转角度。

储存环上可利用的直流校正磁铁很多, 因此理论上有许多种直流凸轨方案。考虑到实际储存环上的各种磁铁误差, 直流凸轨的跨距应可能地小, 以减少其它元件对凸轨的影响。同时要兼顾直流校正磁铁

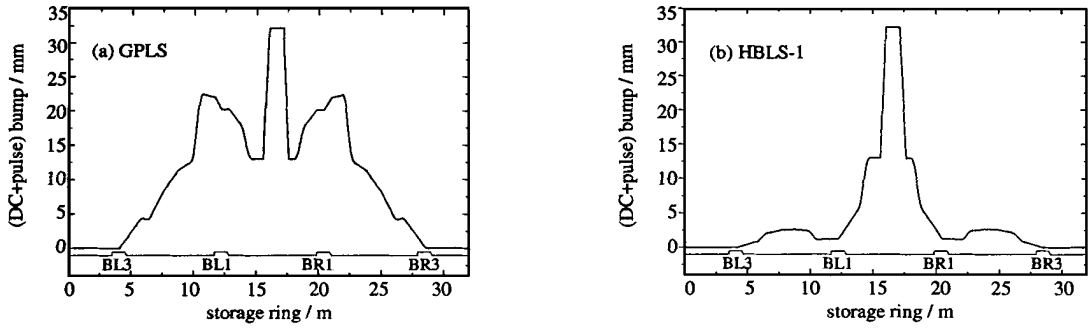


Fig. 5 DC bump and pulse bump (Scheme2)

图5 直流辅助凸轨与脉冲凸轨(方案2)

表2 直流凸轨磁铁的偏转角度

Table 2 Deflecting angles of DC bump magnets

	BL 3	BL 1	BR 1	BR 3
θ_{GPLS}/m rad	2 672	3 177	3 177	2 672
$\theta_{HBL S-1}/m$ rad	0 554	2 973	2 973	0 554

的强度不宜太大, 否则对储存环影响较大, 影响注入效率。

由计算机模拟知, 对于 GPL S 运行模式, 利用二期工程改造后的注入系统, 可以通过降低注入凸轨的高度来实现满能量注入, 但是注入效率降低。因此, 如果直流辅助凸轨满足 HBL S-1 的满能量注入需要, 则必满足 GPL S 的需要。

3 直流辅助凸轨对储存环的影响

直流凸轨磁铁等效矩形二极铁, 因此直流凸轨必然对储存环的参数(动力学孔径、自然色品等)产生影响。利用跟踪软件 *New-PA TR ICA* [5,6] 计算两种方案直流凸轨对储存环动力学孔径的影响(假设能散 $\delta = 1\%$), 结果如图6所示。

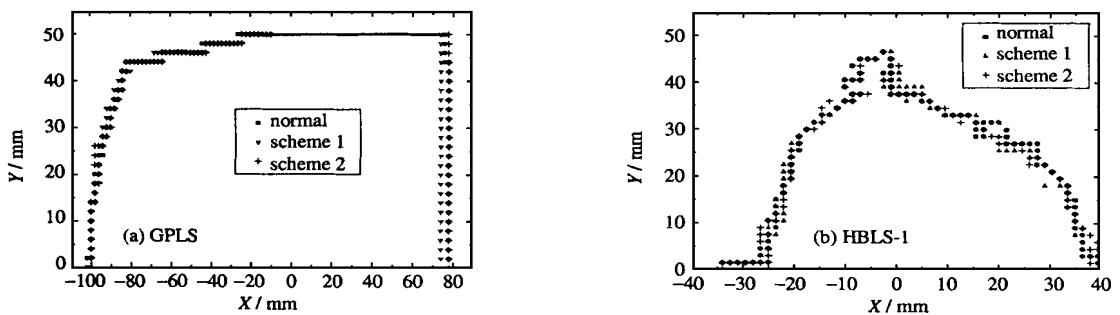


Fig. 6 Dynamic aperture, $\delta = 1\%$

图6 动力学孔径

从图6知, 直流凸轨对储存环动力学孔径的影响基本可以忽略。

4 结论

对于 H L S 改造后的储存环凸轨系统, 在 GPL S 模式下, 通过降低注入凸轨的高度可以实现80M eV 注入, 但注入效率降低。而对 HBL S-1 模式, 必须辅以直流凸轨才能满足80M eV 注入。如果适当采用直流辅助凸轨, 可以忽略对储存环正常运行的影响。整个储存环共有28块直流凸轨磁铁, 因此可以有多种实现方案。

参考文献:

- [1] Pappas G C, Donaldson A R, William s D. The PEP II injection kicker system [J]. SLAC-PUB-7589, July 1997.
- [2] Hao Yaodou, Han Q ian, Luo Xiaoan, et al. Kicker magnet of injection system of the BEPC storage ring [R]. B IHEP-A-92-05, July 1992.
- [3] Takayama K, Kihara M. KEK PF storage ring injection [R]. KEK-77-23, Feb. 1978.
- [4] Shang L, Wang X Q, Pei Y J. Tracking study of the new injection bump system of the HLS ring [J]. *Nuc Ins & Meth In Physics Research*, 1998, **A406**: 177~ 181.
- [5] Liu R Z. Additions To ATRICIA the Non-Line Effects Treating Program [R]. SSRL ACD-NOTE, April 1984.
- [6] W iedemann H. U ser 's Guide for PATRICIA [R]. PTM-230, Feb. 1981.

Feasibility Study of Full-energy Injection of HLS Injection Bump System

FAN Kuan-jun, FENG Guang-yao, WANG Xiang-qi, WANG Ling, SHANG Lei, PEI Yuan-ji
(National Synchrotron Radiation Laboratory, University of Science and Technology of China
P. O. Box 6022, Hefei 230029 China)

ABSTRACT: In Hefei synchrotron radiation light source (HLS), The energy of injected electron beam is 200 MeV, which is 1/4 of the storage ring energy. A compact injection scheme will be adopted after the upgrading of HLS. Based on the upgraded machine, this paper looks into the possibilities and schemes of injecting 800 MeV electron beam into the storage ring.

KEY WORDS: injection; bump; kicker; correcting magnet; dynamic aperture