

# 利用直流辅助凸轨设计 HLS 注入系统研究

樊宽军<sup>1)</sup> 王相蓁 裴元吉

(中国科学技术大学国家同步辐射实验室 合肥 230029)

**摘要** 合肥同步光源的现有注入凸轨由3块冲击磁铁产生,不同的运行模式具有不同的凸轨.为了改变这种凸轨参数与储存环参数的相互依赖,提出采用集中布局的方案,即在注入长直线节形成注入局部凸轨.由于HLS的注入长直线节很短,需要冲击磁铁为束流提供较大的偏转角度.为此,本文研究了采用辅助直流凸轨的方案,以减小对冲击磁铁强度的要求,并分析该注入系统对储存环动力学孔径的改善.

**关键词** 注入系统 直流凸轨 冲击磁铁 Lattice 参数

## 1 引言

现有合肥同步光源(HLS)的注入系统由3块冲击磁铁和2块切割磁铁组成.由于凸轨跨越了弯铁和四极铁,因此凸轨参数与储存环的聚焦结构参数(Lattice)相互依赖,不同的Lattice将有不同的凸轨.目前的注入系统只能满足两种Lattice结构,即通用光源模式(GPLS)和高亮度光源模式1(HBLS-1)(见图1).其中两个冲击磁铁 $K_2, K_3$ 占据了安装

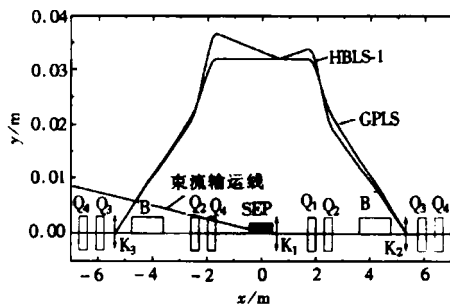


图1 现有注入系统凸轨

六极铁的位置,储存环只能安装14个六极铁,破坏了储存环的对称性.高亮度光源模式2(HBLS-2)虽然具有很低的发射度,但现有注入系统不能形成合理的注入凸轨,无法投入运行.凸轨参数与Lattice参数相互依赖制约了对储存环参数的优化<sup>[1,2]</sup>.如果采用集中布局,把4个冲击磁铁安装在同一直线节上,凸轨在漂移段产生,则凸轨参数与Lattice相互独立,不同的运行模式具有相同的凸轨.这样HBLS-2也可以形成注入凸轨,同时取消了原有的 $K_2,$

$K_3,$ 为安装六极铁留下的位置,储存环将可以安装16个六极铁,使之对称分布.

1999-05-31 收稿

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

但是由于注入直线节很短,4个冲击磁铁和脉冲切割磁铁安装在仅3m长的空间里,每块冲击磁铁的安装空间约为280mm.为了满足多圈注入,设计凸轨的最大高度为32mm,因此每块冲击磁铁必须使束流最大偏转约52mrad,目前加速器的注入系统很少有如此大的偏转角.冲击磁铁必须在很小的范围内产生很强的磁场,增大了冲击磁铁及其脉冲电源的建造困难.所以提出了采用直流辅助凸轨加脉冲凸轨的注入系统方案,即在注入过程中,产生辅助直流凸轨,减小冲击磁铁的强度;注入结束后,直流凸轨消失.SPEAR和PEP的注入系统采用类似的技术<sup>[3,4]</sup>.

## 2 直流辅助凸轨

注入直线节上的元件布局见图2,其中 $Q_n$ 表示四极磁铁, $K_n$ 为冲击磁铁.可以在 $Q$ 铁上附加线圈作水平校正磁铁,利用它来产生辅助直流凸轨.

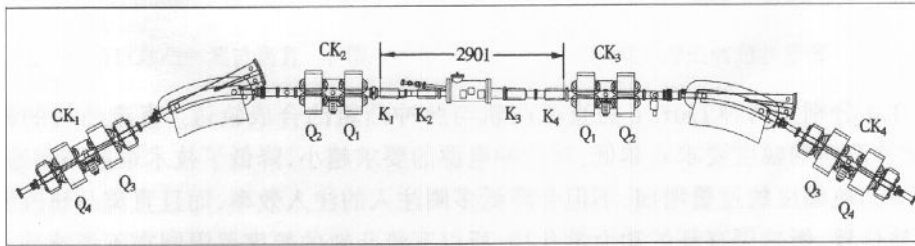


图2 注入区域的储存环布局

如果仅用直线节上的4个四极铁上的校正线圈来产生直流凸轨,由于相距太近,直流凸轨的幅度难以提高,否则校正铁强度太大,影响 $Q$ 铁的正常工.为此考虑采用4对校正线圈产生直流凸轨,即每对校正铁作一个直流凸轨磁铁 $CK_n$ ,减小了校正铁的强度,有利于实现,且减小对储存环的影响.

以下分别以GPLS和HBL-2模式为例,讨论凸轨方案.为了有利于脉冲凸轨的产生,让直流凸轨的顶部在注入直线节中水平( $X=H, X'=0$ ),这样每块冲击磁铁的偏转角相同可以产生梯形局部凸轨,简化脉冲凸轨的设计.直流凸轨的产生条件为

$$\Delta x'_1 = \frac{\cos\psi_{2,B} - \alpha_B \sin\psi_{2,B}}{\sqrt{\beta_1 \beta_B} \sin\psi_{1,2}} H,$$

$$\Delta x'_2 = \left[ \frac{(1 + \alpha_2 \alpha_B) \sin\psi_{2,B} + (\alpha_B - \alpha_2) \cos\psi_{2,B}}{\sqrt{\beta_2 \beta_B}} - \frac{[\cos\psi_{1,2} - \alpha_2 \sin\psi_{1,2}][\cos\psi_{2,B} - \alpha_B \sin\psi_{2,B}]}{\sqrt{\beta_2 \beta_B} \sin\psi_{1,2}} \right] H,$$

$$\Delta x'_3 = \left[ \frac{(1 + \alpha_B \alpha_3) \sin\psi_{B,3} + (\alpha_3 - \alpha_B) \cos\psi_{B,3}}{\sqrt{\beta_B \beta_3}} - \frac{[\cos\psi_{3,4} - \alpha_3 \sin\psi_{3,4}][\cos\psi_{B,3} - \alpha_B \sin\psi_{B,3}]}{\sqrt{\beta_B \beta_3} \sin\psi_{3,4}} \right] H,$$

$$\Delta x'_4 = \frac{\cos\psi_{B,3} + \alpha_B \sin\psi_{B,3}}{\sqrt{\beta_B \beta_4} \sin\psi_{3,4}} H.$$

式中  $\Delta x'_i$  为每个直流凸轨磁铁  $CK_n$  的偏转角、 $H$  是直流凸轨的最大高度, 脚标 1, 2, 3, 4 分别代表  $CK_1$ — $CK_4$  处,  $B$  代表直线节的中心处.  $\alpha_i, \beta_i$  是元件  $i$  处的 Twiss 参数,  $\psi_{x,y}$  是  $x$  点与  $y$  点之间的相移. 计算表明, 直流凸轨磁铁的踢角很小, 就可以在注入直线节上产生高  $X_B = 10\text{mm}$ , 方向水平  $X'_B = 0$  的直流凸轨.

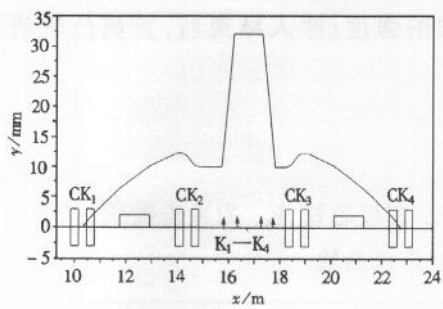


图 3 直流与脉冲凸轨(GPLS)

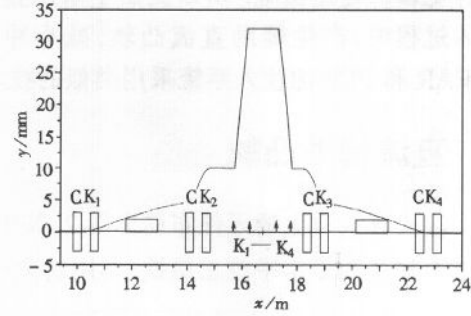


图 4 直流与脉冲凸轨(HBLS-2)

图 3, 4 分别为两种 Lattice 的直流凸轨与脉冲凸轨的合成轨道. 直流凸轨的幅度越大, 对脉冲凸轨的幅度要求就越低, 对脉冲电源的要求越小, 降低了技术难度与制造成本. 但是直流凸轨幅度的过量增加, 不但会降低多圈注入的注入效率, 而且直流凸轨改变了其间的闭轨位置, 影响储存环的动力学孔径, 所以直流凸轨的幅度要限制在不影响动力学孔径的范围为宜.

### 3 脉冲凸轨

冲击磁铁基本以注入点为中心, 对称分布. 由于脉冲凸轨是在直线漂移段产生, 因此脉冲凸轨的形状都与储存环的 Lattice 参数基本无关, 凸轨为梯形状. 脉冲凸轨的条件可以简化为<sup>[2]</sup>.

$$\Delta x'_1 = -\Delta x'_2 = -\Delta x'_3 = \Delta x'_4 = \frac{h}{L_{1,2}}$$

其中,  $h$  是脉冲凸轨的最大高度,  $\Delta x'_1$ — $\Delta x'_4$  分别代表 4 个冲击磁铁  $K_1$ — $K_4$  的偏转角,  $L_{1,2}$  是  $K_1$  和  $K_2$  的中心距离.

## 4 新注入系统的优点

### 4.1 改善动力学孔径

该注入系统方案中, 可以安装 16 块六极铁, 使储存环的元件对称分布, 有利于储存环动力学孔径的改善. 但是, 直流辅助凸轨的加入, 相当于在储存环上增加了二极铁, 因此储存环的部分参数将发生改变. 如果直流凸轨的幅度适当, 这种参数改变是可以接受的. 利用 New-PATRICIA<sup>[5,6]</sup> 分别计算以下 3 种情况的注入能量下的动力学孔径: 现有的储

存环、集中布局方案中 16 块六极铁的储存环、加有直流辅助凸轨的储存环. 令束流的动量分散为 1%, 两种 Lattice 参数的计算结果见图 5, 6 为计算结果,

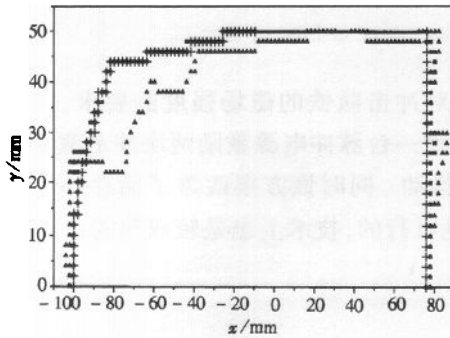


图 5 GPLS 的动力学孔径

▲ 储存环装 14 块六极铁, ■ 储存环装 16 块六极铁,  
+ 储存环装 16 块六极铁和直流凸轨磁铁.  
物理坐标:  $x(-110, 90) = (-63.1\sigma_x, 52.92\sigma_x)$ ,  
 $y(0, 50) = (0, 107.56\sigma_y)$ .

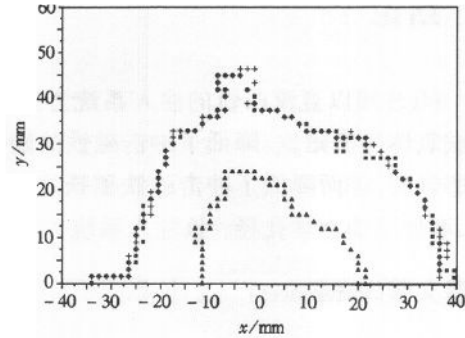


图 6 HBLS-2 的动力学孔径

图示与图 5 相同  
物理坐标:  $x(-40, 40) = (-114.93\sigma_x, 114.93\sigma_x)$ ,  
 $y(0, 60) = (0, 212.12\sigma_y)$ .

从图中可见, 由于增加了两个六极铁, 改善了储存环的对称性, 动力学孔径大大增加, 尤其对 HBLS-2, 使得高亮度模式的运行成为可能. 而且直流辅助凸轨的幅度不大, 对储存环的影响很小.

#### 4.2 改善了注入过程

由于增加了辅助直流凸轨, 对冲击磁铁的强度要求大为降低, 因此使得用一台脉冲电源激励 2 块冲击磁铁变得相对容易. 这不但降低了工程造价, 而且降低了冲击磁铁之间的时间抖动, 使得注入凸轨更加符合注入要求. 表 1 列出了在 3 种情况下的参数及它们的冲击磁铁偏转角和激励电流.

表 1 几种注入系统凸轨参数比较

	GPLS	HBLS-2
	$K_n$ (mrad), $I_n$ (kA)	$K_n$ (mrad), $I_n$ (kA)
现有注入系统 (3 冲击磁铁, 空芯线圈型)	$K_1 = -0.0095, I_1 = -0.0031$ $K_2 = 8.0491, I_2 = 2.605$ $K_3 = 8.0501, I_3 = 2.605$	不能形成注入凸轨
集中布局注入系统 (4 冲击磁铁, 铁氧体磁轭)	$K_1 = K_2 = K_3 = K_4 = 52.6$ $I_1 = I_2 = I_3 = I_4 = 2.17$	与 GPLS 相同
辅以直流凸轨的注入系统 (4 直流凸轨磁铁 + 4 冲击磁铁, 铁氧体磁轭)	直流凸轨: $CK_1 = CK_4 = 5.2$ $CK_2 = CK_3 = -3.9$ 脉冲凸轨: $K_1 = K_2 = K_3 = K_4 = 35.7$ $I_1 = I_2 = I_3 = I_4 = 1.491$	直流凸轨: $CK_1 = CK_4 = 1.01$ $CK_2 = CK_3 = -0.75$ 脉冲凸轨: 与 GPLS 相同

现有的冲击磁铁采用空芯线圈结构, 新注入系统采用铁氧体冲击磁铁<sup>[7]</sup>, 以提高励磁

效率,降低激励电流.

## 5 结论

HLS 辅以直流凸轨的注入系统方案,减小了对冲击磁铁的磁场强度的要求,同时采用铁氧体冲击磁铁,降低了冲击磁铁的励磁电流,使一台脉冲电源激励两块冲击磁铁变得更加容易,进而降低了冲击磁铁之间的时间抖动. 同时该方案改善了储存环的对称性,增加了动力学孔径. 该注入系统方案理论上是可行的,技术上也是较成熟的.

### 参考文献 (References)

- 1 WANG X Q, PEI YuanJi et al. The Multi-Turn Injection System for the HESYRL Electron Storage Ring. Pro. Int. Conf. Synchrotron Radiation Appl. 1989.
- 2 SHANG Lei, WANG X Q et al. Nuc. Ins. & Meth. In Phys. Res., 1998, A406:177—181
- 3 LIU R Z, First Considerations on Three Kicker Injection Into Low Emittance Configuration. SPEAR 3, SSRL ACD-NOTE 23, 1984
- 4 Fieguth T, Bloom E et al. Injection System for the PEP II Asymmetric B Factory at SLAC. SLAC-PUB-5775, LBL-32075, March 1992(A)
- 5 LIU R Z. Additions To "PATRICIA" the Non-linear Effects Treating Program. SSRL ACD-NOTE, April 1984
- 6 Wiedemann H. User's Guide for PATRICIA. PTM-230, Feb. 1981
- 7 WANG XiangQi, PEI YuanJi et al. The Progress of Four-Kicker-bump Injection. In: Pei Yuanji ed. Pro. of 2th National Symp. On Part. Acc. Tech. 1998. 121—124  
(王相兼, 裴元吉等. 四冲击磁铁凸轨注入系统的研制进展. 见:裴元吉等编. 第二届全国加速器技术交流会论文集. 合肥. 1998. 7. 121—124)

## Study of HLS Injection System with DC Assistant Bump

FAN KuanJun<sup>1)</sup> WANG XiangQi PEI YuanJi

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

**Abstract** Hefei synchrotron Light Source(HLS) presently has three kickers for injection, and different lattices will form different shapes of bump orbits In order to relieve the dependence between bump and lattice, a compact injection scheme, in which four kickers are located at the same straight section, is proposed. Because the straight section for injection is too short, it needs kicker to produce strong magnetic fields. This paper looks into the possibilities of using orbit correcting trim coils to make assistance DC bump orbit to reduce kickers strength. The different schemes and their advantages are discussed.

**Key words** injection system, DC bump orbit, kicker, Lattice parameter

Received 31 May 1999

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

效率,降低激励电流.

## 5 结论

HLS 辅以直流凸轨的注入系统方案,减小了对冲击磁铁的磁场强度的要求,同时采用铁氧体冲击磁铁,降低了冲击磁铁的励磁电流,使一台脉冲电源激励两块冲击磁铁变得更加容易,进而降低了冲击磁铁之间的时间抖动. 同时该方案改善了储存环的对称性,增加了动力学孔径. 该注入系统方案理论上是可行的,技术上也是较成熟的.

### 参考文献 (References)

- 1 WANG X Q, PEL Yuanji et al. The Multi-Turn Injection System for the HESYRL Electron Storage Ring. *Pro. Int. Conf. Synchrotron Radiation Appl.* 1989.
- 2 SHANG Lei, WANG X Q et al. *Nuc. Ins. & Meth. In Phys. Res.*, 1998, **A406**:177—181
- 3 LIU R Z, First Considerations on Three Kicker Injection Into Low Emittance Configuration. *SPEAR 3, SSRL ACD-NOTE 23*, 1984
- 4 Fieguth T, Bloom E et al. Injection System for the PEP II Asymmetric B Factory at SLAC. *SLAC-PUB-5775, LBL-32075*, March 1992(A)
- 5 LIU R Z. Additions To "PATRICIA" the Non-linear Effects Treating Program. *SSRL ACD-NOTE*, April 1984
- 6 Wiedemann H. *User's Guide for PATRICIA. PTM-230*, Feb. 1981
- 7 WANG XiangQi, PEI Yuanji et al. The Progress of Four-Kicker-bump Injection. In: Pei Yuanji ed. *Pro. of 2th National Symp. On Part. Acc. Tech.* July. 1998. 121—124  
(王相兼, 裴元吉等. 四冲击磁铁凸轨注入系统的研制进展. 见: 裴元吉等编. 第二届全国加速器技术交流会论文集. 合肥. 1998. 7. 121—124)

## Study of HLS Injection System with DC Assistant Bump

FAN KuanJun<sup>1)</sup> WANG XiangQi PEI Yuanji

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

**Abstract** Hefei synchrotron Light Source(HLS) presently has three kickers for injection, and different lattices will form different shapes of bump orbits In order to relieve the dependence between bump and lattice, a compact injection scheme, in which four kickers are located at the same straight section, is proposed. Because the straight section for injection is too short, it needs kicker to produce strong magnetic fields. This paper looks into the possibilities of using orbit correcting trim coils to make assistance DC bump orbit to reduce kickers strength. The different schemes and their advantages are discussed.

**Key words** injection system, DC bump orbit, kicker, Lattice parameter

Received 31 May 1999

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