

上海光源储存环新注入方式

张满洲 田顺强 王 坤 张庆磊 姜伯承

(中国科学院上海应用物理研究所 张江园区 上海 201204)

摘要 上海光源储存环的新工作模式和新装插入件会导致动力学孔径和注入效率的减小,传统的注入方式不再满足恒流注入要求。分别从改变注入方式和减小注入束流发射度两个角度解决注入对动力学孔径的需求。脉冲多极铁与凸轨相结合的注入方式可以将动力学孔径的要求降低到7 mm以下。利用斜四极铁在高能输运线上进行水平和垂直发射度互换可以将注入束流发射度降低到近1/10而降低注入点的束斑尺寸。两者都可以将注入效率提高到95%以上。二者在更小动力学孔径的情况下同时使用还可以减小脉冲多极铁的强度。

关键词 注入效率,脉冲多极铁注入,发射度交换

中图分类号 TL51

DOI: 10.11889/j.0253-3219.2017.hjs.40.110101

Study of new injection schemes for the SSRF storage ring

ZHANG Manzhou TIAN Shunqiang WANG Kun ZHANG Qinglei JIANG Bocheng

(Shanghai Institute of Applied Physics, Chinese Academy of Sciences, Zhangjiang Campus, Shanghai 201204, China)

Abstract Background: Several new operation modes were designed and commissioned in Shanghai synchrotron radiation facility (SSRF), and these new modes and insertion devices reduced the dynamic aperture and the injection efficiency of the storage ring. **Purpose:** This study aims to improve the injection efficiency of SSRF store ring. **Methods:** A new injection scheme employing multipole magnet and injection emittance reducing at the high energy transport line have been studied. **Results:** Pulsed multipole magnet with orbit bump reduced the dynamic aperture to less than 7 mm. Emittance exchange, by installing skew quadrupoles at the high energy transport line, scaled-down the horizontal emittance by an order, and then reduce the injection beam size. Both methods can increase the injection efficiency to higher than 95%. **Conclusion:** The new injection scheme with emittance reduction showed efficiency to improve the injection. The two methods also can work together to reduce the strength of pulsed multipole magnet or for smaller dynamic aperture.

Key words Injection efficiency, Injection by pulsed multipole magnet, Emittance exchange

上海光源(Shanghai Synchrotron Radiation Facility, SSRF)是我国第一台第三代同步辐射装置,于2009年5月开放给用户使用^[1]。开放以来,一方面为减小发射度做了很多新的尝试^[2-4],另一方面为光源二期还设计了新的工作模式^[5]。这些新设计的模式都伴随着动力学孔径的减小。动力学孔径的减小导致注入效率的下降,例如:在正常模式下注入

效率为95%以上,而小发射度模式下注入效率低于50%。在恒流注入模式下,这意味着辐射剂量的上升。上海光源的插入件数量也从5台增加到10台,而2016年底开工建设的光源二期^[2]还有13台插入件,这些插入件的使用特别是双椭圆极化波荡器(Double Elliptical Polarization Undulators, DEPU)和超导波荡器对上海光源储存环的动力学孔径影响很

国家重点研发计划(No.2016YFA040200)和中国科学院青年学者创新促进会(No.20150210)资助

第一作者:张满洲,男,1981年出生,2009年于中国科学院上海应用物理研究所获博士学位,研究领域为加速器物理与技术

收稿日期:2017-01-22,修回日期:2017-04-16

Supported by National Key Research and Development Program (No.2016YFA040200) and the Young Scholars Innovation Association, Chinese Academy of Sciences (No.20150210)

First author: ZHANG Manzhou, male, born in 1981, graduated from Shanghai Institute of Applied Physics, Chinese Academy of Sciences with a doctoral degree in 2009, focusing on accelerator physics and technology

Received date: 2017-01-22, accepted date: 2017-04-16

大^[6-7]。本文通过新的注入方式和减小注入束流发射度两种手段来减小注入过程对动力学孔径的要求，从而提高注入效率。

1 上海光源现有注入方式

上海光源储存环采用传统的单圈凸轨注入方式，同一长直线节的4块脉冲冲击磁铁形成一个闭合的凸轨，拉近注入束流和循环束流的距离，让注入束流进入循环束流的接受度内，如图1所示。注入束流距储存环中心24.6 mm，凸轨高度A为14.5 mm，在凸轨高度下要保证循环束流到切割磁铁的距离大于5倍循环束流尺寸。注入所需动力学孔径满足：

$$G_{\min} > 6\sigma_{\text{inj}} + 5\sigma_{\text{sto}} + S_{\text{septum}} \quad (1)$$

式中： σ_{inj} 为注入束流尺寸； σ_{sto} 为储存束流尺寸； S_{septum} 为切割磁铁厚度。上海光源储存环的注入束流尺寸为1 mm，储存束流尺寸0.28 mm，注入切割磁铁厚度为3 mm，所需最小动力学孔径为10 mm。注入束流进入储存环接受度之后，围绕储存束振荡，经过几毫秒的阻尼之后就完全汇入储存束之中。在上海光源储存环的4个脉冲凸轨磁铁之间没有六极铁、四极铁等元件，凸轨的闭合性只受这些凸轨磁铁的倾角、一致性、定时抖动等误差的影响。经过仔细调节后，水平和垂直方向的注入扰动30 μm 左右，对用户基本没有影响。

正常模式的动力学孔径大于15 mm，而小发射度模式的动力学孔径仅有7 mm。根据式(1)可知仅有不到一半的注入束在储存环的动力学孔径中。注入点的动力学孔径以及注入束和储存束都与 $\sqrt{\beta}$ 成正比。通过提高注入点的 β 函数会减少切割磁铁占所需孔径的比例，注入所需孔径占动力学孔径的比例会有所改善。

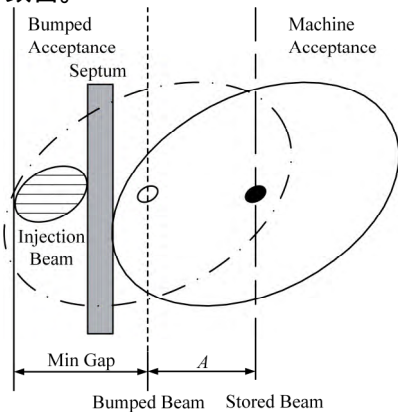


图1 注入示意图
Fig.1 The schematic diagram of injection.

2 脉冲多极铁注入

国际上为小动力学孔径的注入研究了多种方法：1) 脉冲多极铁注入^[8]；2) 束流交换(Swap Out)^[9]；3) 双高频纵向注入^[10]。脉冲多极铁是日本的光子工厂最先提出来的和应用的，采用脉冲四极磁铁(Pulsed Quadrupole Magnet, PQM)或脉冲六极磁铁(Pulsed Sextupole Magnet, PSM)注入，在较大动力学孔径（如光子工厂）和较小动力学孔径（如北方光源）^[11]中都可以使用，上海光源储存环改造的工作量也较为适中，是升级改造项目的较好选择。后两者都属于在轴注入，近年开始用于衍射极限环低达2-3 mm动力学孔径的注入。

2.1 脉冲多极铁注入原理

多极磁铁的特性是位于磁铁中心的粒子不受到磁场作用，偏离中心越大的粒子受力越强。第三代及衍射极限环光源储存环在注入点的储存束尺寸为百微米甚至更小，在脉冲多极铁中心几乎感受不到作用。而注入束在动力学孔径边缘，距多极铁中心从几毫米到十几毫米，受到的力比储存束大数十倍。脉冲多极铁注入过程在归一化相空间中^[8]如图2所示。脉冲多极铁注入束流在大圆 A_{inj} 代表的相空间运动，越过切割板之后，在脉冲多极铁踢力的作用下，进入较小相空间圆 A_{req} 上运动， A_{req} 要小于储存环的动力学孔径，满足一定的注入效率要求。脉冲多极铁作用的位置可以是A、B、C、D任意点的一个。

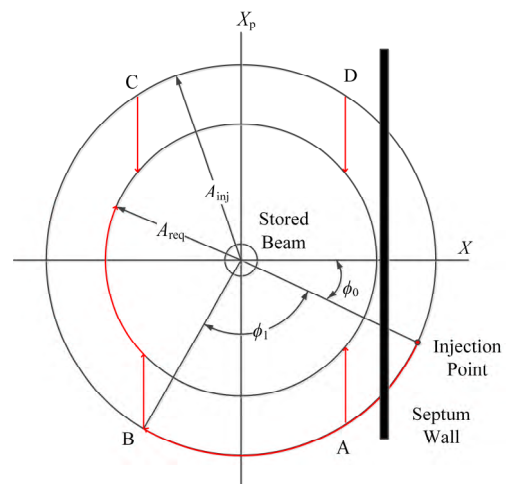


图2 归一化相空间中脉冲多极铁注入的轨迹
Fig.2 A trajectory of an injected beam in PSM injection on a normalized phase space.

所需要的脉冲多极铁归一化强度可以写成：

$$|\Delta X_p| = A_{\text{inj}} |\sin(\phi_1 + \phi_0)| - \sqrt{A_{\text{red}}^2 - A_{\text{inj}}^2 \cos^2(\phi_1 + \phi_0)} \quad (2)$$

式中： ϕ_0 、 ϕ_1 分别是注入点和脉冲多极铁位置的相进展。对应的脉冲多极铁的真实强度 θ 是 $\Delta X_p = \sqrt{\beta\theta}$ ，其中： β 是 β 函数。具体到脉冲四极铁积分强度 K_1L 可以写成：

$$K_1L = \frac{A_{inj} |\sin \phi_1| - \sqrt{A_{red}^2 - A_{inj}^2 \cos^2 \phi_1}}{\beta X_1} \quad (3)$$

脉冲六极铁强度 K_2L 可以写成：

$$K_2L = 2 \frac{A_{inj} |\sin \phi_1| - \sqrt{A_{red}^2 - A_{inj}^2 \cos^2 \phi_1}}{\beta^{3/2} X_1^2} \quad (4)$$

式中： X_1 表示注入束流在脉冲多极铁处距离其中心的偏移（图 2 中 A、B、C、D 四点距离 X_p 轴的距离）。从式(3)、(4)可见，脉冲多极铁强度强烈地依赖于所需孔径 A_{req} 以及动力学孔径的大小。如果动力学孔径太小就需要很强的强度或者如北方光源曾经设计一样数台脉冲多极铁同时使用^[11]，这时就需要考虑每块脉冲多极铁处的注入束流位置不同。

2.2 上海光源储存环脉冲多极铁注入布局

脉冲多极铁注入的布局设计主要是选择脉冲多极铁的安装位置和强度。从式(3)可知，脉冲四极铁的强度与 β 函数成反比，此外选择 β 函数较大的直线节还可以提高脉冲多极铁处的注入束流位置 X_1 ，两种都可以降低脉冲多极铁的强度要求。 β 函数在式(4)中的作用就更加明显。

上海光源储存环是四折对称结构，有 4 个 β 函数较大的长直线节，其中两个用于安装注入元件和高频腔，另外两个安装插入件。为了让振荡较大的注入束流不经过高频腔和影响其他长直线节，同时少受环中的磁铁和插入件如 DEPU 的影响，选择将脉冲多极铁安装在注入直线节。为了减少改动的工作量和不影响上海光源正常模式的运行，注入点的位置 h 保持不变。为了使绝大部分（95%以上）注入束进入动力学孔径，脉冲多极铁处的注入束流高度 d （对应式(3)中的 X_1 ）定在 5 mm。对应的脉冲多极铁踢角可以简化成：

$$\theta = \frac{h-d}{L} \quad (5)$$

式中： L 表示注入切割磁铁出口到脉冲多极铁中心的距离。相应的脉冲四极铁和六极铁积分强度分别是 10 T 和 4000 T·m⁻¹，这需要多台脉冲多极铁级联来完成，而注入直线节没有空间安装。

如图 1 所示，凸轨可以将注入束距离储存束的高度 h 降低到 10.1 mm。那么根据式(4)，所需的脉冲四极铁和六极铁强度就能够降低到 2.5 T 和

1000 T·m⁻¹。在比较了不同脉冲多极铁位置和注入束流角度下，选择了如图 3 所示的注入布局，保留了 4 台脉冲凸轨磁铁和注入切割磁铁位置不变，仅在脉冲凸轨磁铁之后安装了一台脉冲多极铁。这样布局的优点是脉冲多极铁的强度较低，对上海光源的改造工作量很小。缺点是对脉冲多极铁和凸轨磁铁有一定同步性要求。

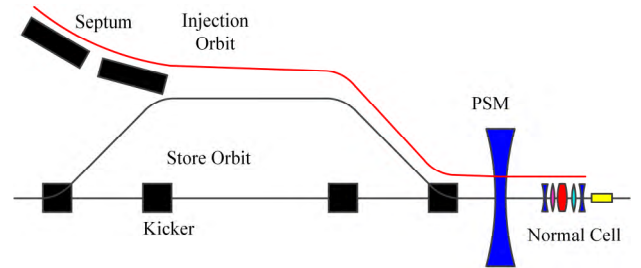


图 3 脉冲多极铁注入布局

Fig.3 The Injection scheme of pulsed multipolar magnet.

2.3 脉冲多极铁的多圈作用

经过脉冲多极铁作用后，注入束流在储存环中振荡运动，一圈后又到达脉冲多极铁。由于脉冲磁铁存在一定的脉宽，如果这时脉冲多极铁的磁场仍然存在，束流还会受到作用。如果相移合适，注入束流就会被踢到更小的相空间椭圆上去。如果不合适，将会被踢到更大的相空间椭圆上去。因此多圈效应与束流每圈相移息息相关。如图 4 给出了上海光源小发射模式，在脉冲四极铁和六极铁作用下，每圈注入束流所围绕的归一化相空间半径的大小，横轴是多极铁作用次数。

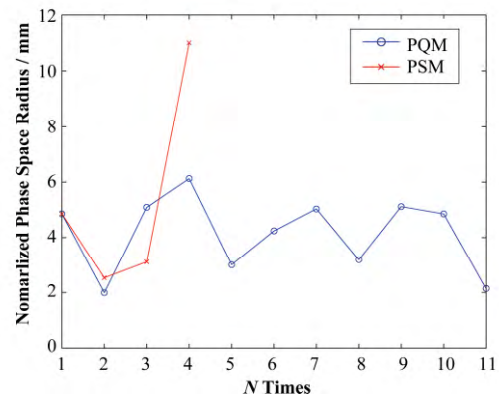


图 4 多圈作用

Fig.4 The multi-turn effect.

上海光源小发射度模式水平工作点 23.31 相移接近 $2\pi/3$ ，由图 4 可见，脉冲多极铁在作用第三次时就开始反向，因此，需要脉冲多极铁的磁场在两圈之内结束。多圈效应下，合适的相移会降低对脉冲多极铁脉冲宽度和强度的要求。

2.4 脉冲多极铁对储存束束斑的影响

虽然储存束尺寸较小,而且通过脉冲多极铁的中心,但还会受到脉冲多极铁的影响。如图5所示,利用粒子跟踪模拟了几圈之后储存束的变化情况。图5(a)是脉冲四极铁引入的束斑尺寸变化;图5(b)是脉冲六极铁引入的变化。前者对束流的扰动大一些。为了不对储存束产生任何影响,脉冲四、六极磁铁都可以用中心区磁场为零的非线性磁铁代替^[12]。上海光源的非线性脉冲四极铁也在设计之中。此外,由于注入束斑很大,不同位置的注入束流受到的踢力不同,脉冲多极铁对注入束的影响也很大。

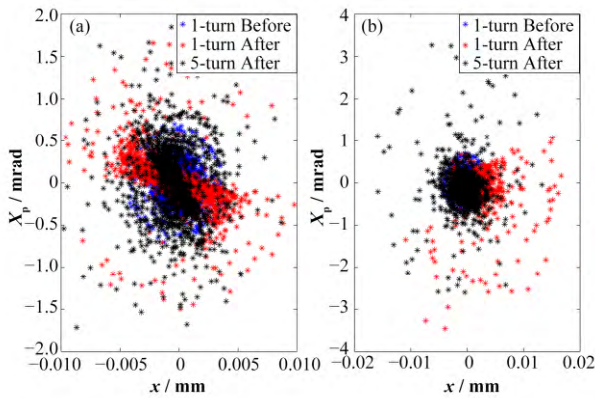


图5 注入前(a)、后(b)的束斑变化
Fig.5 The beam profile before (a) and after (b) injection.

3 发射度交换

从式(1)可见,在传统注入方式中注入束流的尺寸占孔径要求的一半以上。在脉冲多极铁注入中,注入束流的尺寸占动力学孔径的比例更大。如果能够减小注入束流尺寸,那么动力学孔径要求就会大幅度降低。在新光源的设计中,一般将增强器的发射度降低到 nmrad 水平,而上海光源增强器的发射度为 107 nmrad 通过增强器本身大幅度降低其发射度不现实,而增强器引出束流的垂直发射度一般小于水平发射度的 10%,如果能将水平和垂直发射度进行交换,就可以获得较小的注入束斑尺寸。

近年来,采用了诸多手段^[13],如通过全耦合进行发射度共享,将水平发射度降低到 1/2;共振跨越引起发射度交换,在工作点靠近耦合共振情况下,利用脉冲斜四极铁形成 π -pulse 发射度互换。这三者都是在储存环上进行的,对工作点等有一定要求,也会造成储存环束斑的变化。在高速运输线上利用斜四极铁或螺线管将水平和垂直束斑进行旋转也可以达到发射度互换或均衡的目的^[14-15]。

3.1 基于螺线管的发射度互换

如果要将水平和垂直发射度进行互换需要运输线传输矩阵满足:

$$M_{\text{new}} = R\left(\frac{\pi}{2}\right)M_{\text{old}} \begin{bmatrix} 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \\ -1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & -1 & 0 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} A_x & B_x & 0 & 0 \\ C_x & D_x & 0 & 0 \\ 0 & 0 & A_y & B_y \\ 0 & 0 & C_y & D_y \end{bmatrix} \quad (6)$$

式中: M_{old} 是未旋转时的传输矩阵。螺线管的传输矩阵可以写成^[15]:

$$M = \begin{bmatrix} C & 0 & S & 0 \\ 0 & C & 0 & S \\ -S & 0 & C & 0 \\ C & -S & 0 & C \end{bmatrix} \begin{bmatrix} C & S/K & 0 & 0 \\ -KS & C & 0 & 0 \\ 0 & 0 & C & S/K \\ 0 & 0 & -KS & C \end{bmatrix} \quad (7)$$

式中: $C = \cos(KL)$, $S = \sin(KL)$, K 和 L 分别是螺线管的强度和长度。螺线管可以看成将束流进行调节后再旋转一定角度。把螺线管旋转的角度固定为 90° 后,再利用非耦合部分的传输矩阵进行匹配重现,就可以完成式(5)的要求。将能量为 3.5 GeV 的束流旋转 90° 的螺线管积分场强为 37 T·m, 这需要做很长的超导螺线管来完成,不太现实。

3.2 基于斜四极铁的发射度互换

由两块斜四极铁、一些常规四极铁、漂移节等组成的传输矩阵可以写成如下形式:

$$M = M_s M_{\text{old}} M_s = R\left(-\frac{\pi}{4}\right)M_{k_1} M_{\text{old}} M_{k_2} R\left(\frac{\pi}{4}\right) = \frac{1}{2} \begin{bmatrix} A_x + A_y & B_x + B_y & A_y - A_x & B_y - B_x \\ C_x + C_y & D_x + D_y & C_y - C_x & D_y - D_x \\ A_y - A_x & B_y - B_x & A_x + A_y & B_x + B_y \\ C_y - C_x & D_y - D_x & C_x + C_y & D_x + D_y \end{bmatrix} \quad (8)$$

式中: M_s 是斜四极铁的传输矩阵; M_{old} 是其他元件的总传输矩阵; M_{k_i} 是斜四极铁对应的正四极铁传输矩阵。如果矩阵 $M_2 = M_{k_1} M_{\text{old}} M_{k_2}$ 的各项满足满足条件:

$$\begin{bmatrix} A_x & B_x \\ C_x & D_x \end{bmatrix} = -\begin{bmatrix} A_y & B_y \\ C_y & D_y \end{bmatrix} \quad (9)$$

就可以实现 $M=R(\pi/2)M_2$ 的功能。要达到式(8)的要求需要一些正四极铁的辅助,大部分运输线的功能

是将增强器和储存环进行匹配，很难同时满足这种要求。有一个特例是利用 5 块斜四极铁和漂移节形成被称为“Magic L”的组合^[13-14,16]：

$$M = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & L \\ 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & L & 0 & 0 \end{bmatrix} \quad (10)$$

“Magic L”大大简化了输运线匹配的工作量，且不影响其他段的参数，但是“Magic L”需要一定的长度空间，在比较现实的斜四极铁强度下所需的最小长度为 5.75 m 左右。

3.3 上海光源高能输运线的发射度互换

上海光源高能输运线布局如图 6 所示，其中最长的直线段在 Q6-Q10 之间，是消色散节，这里安装斜四极铁不会引入垂直色散函数而影响到储存环的匹配。但其长度仅有 3 m 左右，没有足够的空间安装“Magic L”。在这里安装斜四极铁，之间夹杂正四极磁铁，传输矩阵很复杂，无法理论计算，因此选择 Transport^[17]程序进行匹配，匹配目标为高能线入口到出口之间的传输矩阵旋转 90°。

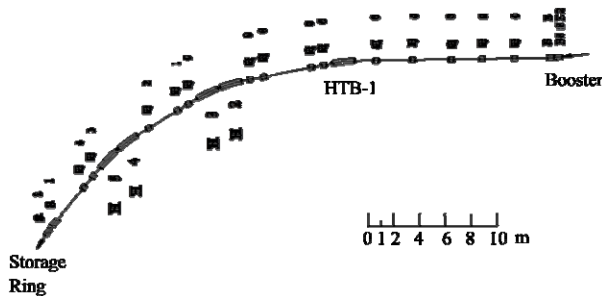


图 6 上海光源高能输运线布局
Fig.6 The layout of the high energy transport line of SSRF.

匹配结果显示，仅需要 3 块斜四极铁就可以使得传输矩阵的耦合项仅残余 0.01 左右。为了考察这些残余对注入效率的影响，通过粒子跟踪模拟了传统注入方式下发射度完全交换和实际设计的输运线的束流在小发射度模式下的注入效率区别。跟踪采用了上海光源增强器实际测量的水平发射度 107 nrad，垂直发射度未实际测量，假定耦合度为 10%。跟踪结果显示，注入效率的区别仅在 1%~2%。

实际上，这种发射度交换是完成了水平和垂直相空间的完全交换，Twiss 参数中除色散外， β 函数和 α 都进行了交换。为了只进行发射度交换而不进行 Twiss 参数交换，重新匹配了参数。图 7 给出了发射度交换前注入点水平束斑分布、水平垂直相空

间完全交换和仅发射度交换后的水平束斑分布。同样利用粒子跟踪考察了这两种交换后的注入效率情况。相空间完全交换后，注入束相空间与储存束接受度空间不再相似，但是由于发射度较小，整体仍在储存环的接受度内，且水平束斑尺寸较小。而仅进行发射度交换后，注入束相空间仍然与储存环接受度相似，但其尺寸较大。这样的特点使相空间完全交换的其注入效率比仅发射度交换来的要高，被选为最终方案。图 8 给出了粒子跟踪得到的交换前和水平垂直相空间完全交换的高能输运线全程束流包络(99%)的变化。发射度交换后的束流包络仍然在束流清晰区内，不会导致高能输运线的束流传输效率降低。

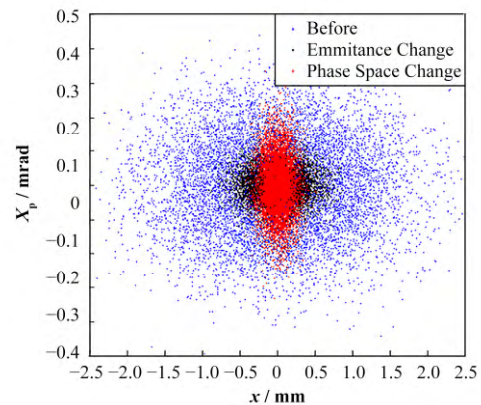


图 7 交换前后的水平相空间
Fig.7 The horizontal phase space of injection beam.

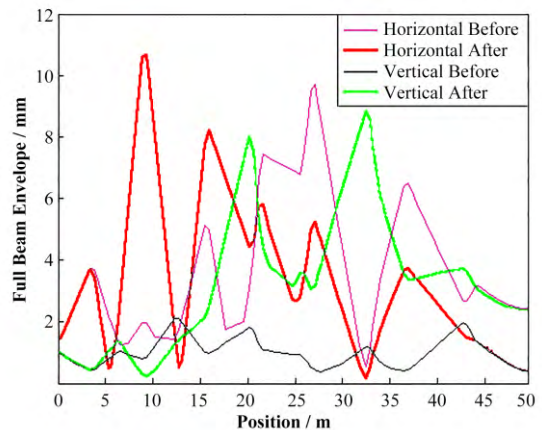


图 8 上海光源高能输运线布局
Fig.8 The beam envelope along the high energy transport line.

需要注意的是，发射度交换不仅可以用到传统注入方式中，还可以用到脉冲多极铁注入中。较小的束斑尺寸使得为保持注入效率而要求的动力学孔径就可以减少，或者提高注入束偏离脉冲多极铁中心的距离，在同等的踢角要求下减小其强度。

4 结语

上海光源储存环为了光源二期以及减小发射度所做的新模式以及安装的插入件等都会造成动力学孔径的减小和注入效率的降低。为了提高注入效率,分别从新的注入方式和减小注入束流发射度两个角度进行了研究。设计了凸轨加脉冲多极铁结合的方式,即减少上海光源的改造量,又提高了注入效率。通过在高能输运线上安装斜四极铁,在注入点处将注入束的水平 and 垂直相空间进行互换,把注入束流的水平发射度降低到原来的 10%,即使在传统注入方式下,仍能将小发射度模式的注入效率提高到 95%以上,且不影响高能线的传输效率。这两种手段还可以结合在一起使用,降低脉冲多极铁强度或是降低对动力学孔径的要求。

参考文献

- Xu H J, Zhao Z T. Current status and progresses of SSRF project[J]. Nuclear Science and Techniques, 2008, **19**(1): 1-6. DOI: 10.1016/s1001-8042(08)60013-5.
- Zhao Z T, Yin L X, Leng Y B, *et al.* Consideration on the future major upgrades of the SSRF storage ring[C]. Proceedings of IPAC2015, Richmond, VA, USA, 2015: 1672-1674.
- Tian S Q, Zhang Q L, Zhang M Z, *et al.* Low emittance lattice design with Robinson wiggler in the arc section[J]. Nuclear Science and Techniques, 2017, **28**: 9. DOI: 10.1007/s41365-016-0166-7.
- Tian S Q, Jiang B C, Zhang M Z, *et al.* Design and commissioning of the very low emittance optics in the SSRF storage ring[C]. Proceeding of IPAC2012, New Orleans, Louisiana, USA, 2012: 1647-1649.
- Tian S Q, Jiang B C, Leng Y B, *et al.* Double-mini- β optics design in the SSRF storage ring[J]. Nuclear Science and Techniques, 2014, **25**(3): 030101. DOI: 10.13538/j.1001-8042/nst.25.030101.
- Zhang Q L, Tian S Q, Jiang B C, *et al.* Effects estimation of superconducting wiggler in SSRF[C]. Proceedings of IPAC13, Shanghai, China, 2013: 1946-1948.
- Zhang M Z, Zhang Q L, Tian S Q, *et al.* Compensations of the DEPU effects at the SSRF storage ring[C]. Proceedings of IPAC15, Richmond, VA, USA, 2015: 307-309.
- Takaki H, Nakamura N, Kobayashi Y, *et al.* Beam injection with a pulsed sextupole magnet in an electron storage ring[J]. Physical Review Special Topics-Accelerators and Beams, 2010, **13**: 020705. DOI: 10.1103/PhysRevSTAB.13.020705.
- Borland M, Emery L. Possible long-term improvements to the APS[C]. Proceeding of PAC 2003, Portland, Oregon, USA, 2003: 256-258.
- Jiang B C, Zhao Z T, Tian S Q, *et al.* On-axis injection scheme for ultimate storage ring with double RF systems[C]. Proceedings of IPAC2015, Richmond, VA, USA, 2015: 1659-1660.
- Jiao Y, Xu G. Pulsed sextupole injection for BAPS[C]. Proceedings of IPAC2013, Shanghai, China, 2013: 2168-2170.
- Atkinson T, Dirsat M, Dressler O, *et al.* Development of a nonlinear kicker system to facilitate a new injection scheme for the BESSY II storage ring[C]. Proceedings of IPAC2011, San Sebastián, Spain, 2011: 3394-3396.
- Kuske P, Kramer F. Transverse emittance exchange for improved injection[C]. Proceedings of IPAC2016, Busan, Korea, 2016: 2028-2031.
- Aiba M, Ehrlichman M, Streun A. Round beam operation in electron storage rings and generalisation of möbius accelerator[C]. Proceedings of IPAC2015, Richmond, VA, USA, 2015: 1716-1719.
- Li J H, Tang J Y. Matching of non-axisymmetric beams by solenoids in an LEBT[J]. Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section A, 2007, **574**: 221-225. DOI: 10.1016/j.nima.2007.01.163.
- Chao A W, Tigner M. Handbook of accelerator physics and engineering[M]. World Scientific, 1998: 67-68.
- Carey D C. Third-order TRANSPORT with MAD input - a computer program for designing charged particle beam transport systems[R]. SLAC-R-530, Feimilab-Pub-98-310, SLAC National Accelerator Laboratory, 2575 Sand Hill Road, Menlo Park, CA 94025, 1998.