

BPS 的束团同步传输方法

方守贤 国智元 吴英志
(中国科学院高能物理研究所)

摘 要

本文针对曾经设计的北京质子同步加速器(简称 BPS)其增强器引出能量接近临界能量的特点,提出了主加速器与增强器周比不严格等于高频谐波数之比的束团同步传输方法,并对该方法的物理图象及有关参数的选择原则作了探讨。

一、通常采用的束团同步传输方法

为了使增强器每一循环中输出的束团,都能准确地注入到相应的主加速器稳定区的中心,必须用一套能使增强器束团相对主加速器稳定区在相位方向上滑动的方法,以消除两者之间的相位差,然后再进行传输。这一过程称为束团同步。

束团由增强器向主加速器传输,有几种不同的束团同步传输方法,例如日本高能物理研究所(KEK)的加速器^[1]和美国费米实验室(FNAL)的加速器^[2],通常都取增强器与主加速器的周比严格等于高频谐波数之比,即:

$$\frac{h_b}{h_m} = \frac{R_b}{R_m} \quad (1)$$

式中 h 为高频谐波数, R 为加速器的平均半径,脚标 m 、 b 分别表示主加速器和增强器有关参量的相应之值。

二、周比不严格等于高频谐波数之比的同步方法

如果在设计加速器时,增强器的半径 R_b 不满足(1)式,而与该式规定之值相差一微量 ΔR_b , 即:

$$\frac{R_b + \Delta R_b}{R_m} = \frac{h_b}{h_m} \quad (2)$$

则在增强器加速终端自然形成如下的频率差 Δf :

$$\frac{\Delta f}{f} = \frac{\Delta R_b}{R_b + \Delta R_b} \quad (3)$$

相应的滑相为:

$$\frac{d\varphi}{dt} = 2\pi\Delta f \quad (4)$$

这样,在增强器中不会人为地引起束团中心轨道的偏离,从而避免由于 BPS 增强器的临界能量比较接近引出能量,给同步过程带来的困难.为了减小对束流性能的影响,(2)式中的 ΔR_b 应该取正值.

这种同步方法的匹配偏差主要来自以下两个方面:

首先,由于相位宽度所对应实际长度上的差别,如图 1,可能引起的最大相位偏差为:

$$\Delta\varphi_s = 2\pi(h_b - 1) \frac{\Delta R_b}{R_b + \Delta R_b} \quad (5)$$

而等待主加速器中一系列束团尾部后的第一个空稳定区到达注入点,可能产生的最大相位偏差为:

$$\Delta\varphi_t = \frac{1}{2} \frac{d\varphi}{dt} t_m \quad (6)$$

式中 t_m 是主加速器中束团旋转一圈所用的时间.因此总的相位偏差 $\delta\varphi$ 为(5)、(6)式之和.

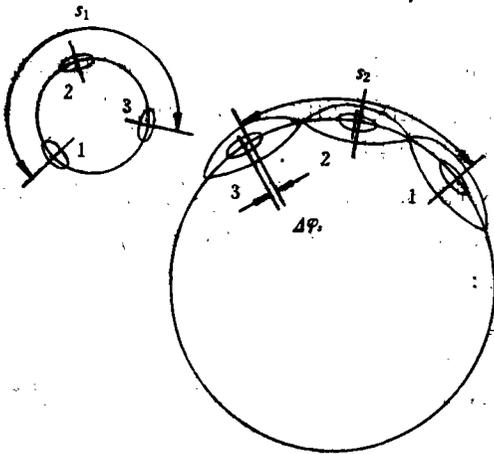


图 1

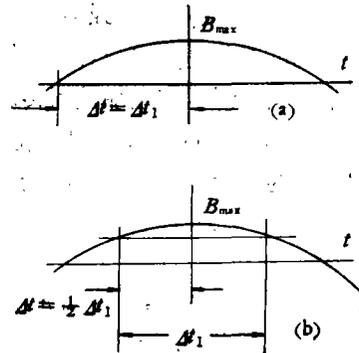


图 2

另一方面,引出束流的动量偏差是由于引出时间浮动所引起的,为了减小这一偏差量,可以将比较束团中心与稳定区中心相位差的起点向磁场的顶点方向推延 $\Delta t_1/2$,如图 2. 相应的动量偏差为:

$$\frac{\delta p}{p} = \frac{B_{\max} - B_{\min}}{2B_{\max}} [1 - \cos(\pi f_r \Delta t_1)] \quad (7)$$

式中 $\Delta t_1 = \frac{1}{\Delta f}$, B_{\max} 、 B_{\min} 分别表示增强器磁场的最大值和最小值, f_r 表示增强器的脉冲重复频率.

三、最佳 Δf 的选择

我们应该根据同步传输的偏差在横向和纵向引起的束团发射度的增长关系,选取最

佳 Δf . 匹配偏差 $\delta p/p$ 、 $\delta\varphi$ 引起的纵向发射度的有效增长为:

$$\delta\epsilon_1 = \pi \left\{ \Delta\varphi_{bu} \left[\left(\frac{\delta p}{p} \right)^2 + c_1^2 \delta\varphi^2 \right]^{1/2} + \frac{\Delta p}{p_{bu}} \left[\frac{\left(\frac{\delta p}{p} \right)^2}{c_1^2} + \delta\varphi^2 \right]^{1/2} + c_1 \left[\frac{\left(\frac{\delta p}{p} \right)^2}{c_1^2} + \delta\varphi^2 \right] \right\} \quad (8)$$

其中

$$c_1^2 = \frac{eV}{2\pi\gamma E_0 h\eta\beta^2}$$

式中 $\Delta\varphi_{bu}$ 和 $\Delta p/p_{bu}$ 分别表示束团在纵向相空间的半宽度和半高度. 显然, 存在着使得 $\delta\epsilon_1$ 取得极小值的 Δf , 满足:

$$\frac{d\delta\epsilon_1}{d\Delta f} = 0 \quad (9)$$

此外, 令 $\frac{\Delta f}{f} \Delta\varphi_{bu}$ 引起的束团纵向发射度变化为 $\delta\epsilon_2$, 则总的纵向有效发射度增长 $\delta\epsilon = \delta\epsilon_1 + \delta\epsilon_2$.

另一方面, 引出时间浮动 Δt 要求引出磁铁有足够的脉冲宽度 $T/2$, 才能减小由此产生的引出束流偏转角偏差 $\Delta\theta_e$:

$$\Delta\theta_e = \theta_e \left[\frac{(\pi\Delta t)^2}{4(T/2)^2} - \frac{\delta p}{p} \right] \quad (10)$$

式中 θ_e 表示引出磁铁的额定偏转角, $\delta p/p$ 为引出束流的动量偏差. $\Delta\theta_e$ 使引出束流到达输运线入口时发生位置和角度偏离 Δx 和 $\Delta x'$, 引起束流横向有效发射度 ϵ_x 增长到 ϵ_{x_1} :

$$\epsilon_{x_1} = \frac{1}{\gamma} \{ [\gamma(\gamma\Delta x^2 + 2\alpha\Delta x\Delta x' + \beta\Delta x'^2)]^{1/2} + [\gamma\epsilon_x]^{1/2} \}^2 \quad (11)$$

式中 α 、 β 、 γ 表示输运线入口处的机器自由振荡函数值.

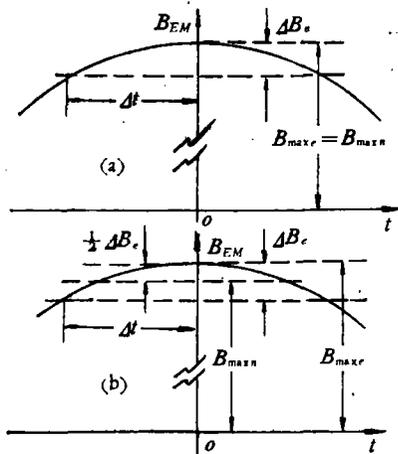


图 3

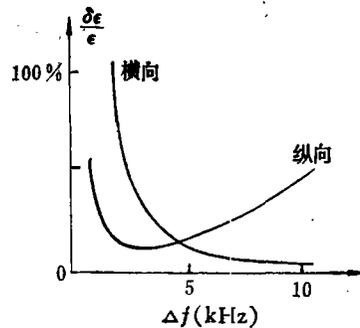


图 4

为了减小引出时间浮动 Δt 可能引起的偏差,我们将引出磁铁的峰值磁场强度取为:

$$B_{\max c} = B_{\max s} + \frac{1}{2} \Delta B_c \quad (12)$$

如图 3 所示.

图 4 给出对于 BPS 参数^[3],束流有效发射度增长 $\delta\epsilon/\epsilon$ 与频率差 Δf 之间的关系. 计算表明,如果选取 $\Delta f = 5$ 仟赫,则所需要的 ΔR_c 约为 2 厘米.

四、小 结

分析和计算表明,根据 BPS 的特点,采用周比不严格等于高频谐波数之比的束团同步传输方法是合理可行的. 这种方法的优点是: 1. 同步过程在增强器中不会引起束团中心轨道偏离; 2. 节省设备,技术简便; 3. 可以达到比较高的匹配精确度.

本文所讨论的束团同步传输方法,作者之一曾与西欧核子研究中心,美国费米实验室,和日本 KEK 实验室的有关专家以及徐建铭同志等进行了有益的讨论,深表感谢.

参 考 文 献

- [1] Y. Kimura et al., IEEE Transaction on Nuclear Science, Vol. Ns-24, No. 3 pp. 1461—1463 (June 1977).
- [2] J. A. Dinkel et al., IEEE Transaction on Nuclear Science, Vol. Ns-20, No. 3 pp. 351—354 (June 1973).
- [3] 500亿电子伏质子同步加速器初步设计, 1980年6月, 北京.

SYNCHRONOUS TRANSFER OF BEAM IN THE BPS

FANG SHOU-XIAN GUO ZHI-YUAN WU YING-ZHI

(Institute of High Energy Physics, Academia Sinica)

ABSTRACT

A method of synchronous transfer of beam from the booster to the main ring is proposed. In order to meet the character of the BPS, the ratio of the radii is not strictly equal to the harmonic ratio between two machines. The physical picture and the choice of parameters in this method are discussed.