

环形加速器中产生局部斜四极磁场的若干方法

尹兆升 徐建铭
(中国科学院高能物理研究所,北京)

摘 要

本文研究了环形加速器中产生局部斜四极磁场的若干方法。它用来探索消除束流横向运动耦合所需要的斜四极磁场合适的方位和量值。并以 BEPC 为例,给出计算的结果。

一、问题的提出

环形加速器聚焦磁铁由于加工组装及安装偏差所产生的斜四极磁场和磁铁端部的杂散磁场都会引起束流径向和垂直向运动的耦合。为了消除这种耦合,除使用斜四极磁铁集中校正外,如有可能最好还能局部校正。为此目的,需要在局部地区产生斜四极磁场。

局部地区产生斜四极场的可能方案有三种:(1)调整聚焦磁铁的位置,人为地将磁铁倾斜一定的角度,以产生斜四极分量。(2)在聚焦磁铁内增加一组微调线圈产生斜四极场。(3)在聚焦磁铁附近用小的空芯线圈产生斜四极场。

实行方案(1)需要停机操作,又不能边调边运行,调节工作量大。方案(2)和(3)均可在机器运行过程中参照束流运行情况平滑地调节,寻求最佳调节量。根据实验的结果再调节聚焦磁铁安装角度,可以减少调节工作量。本文主要讨论方案(2)和(3)两种方法,并以 BEPC 储存环为例,使用 POISCR^[1] 程序进行了计算。

二、微调线圈产生的斜四极磁场

在聚焦磁铁内增加一组微调线圈可以产生斜四极场。图1是 BEPC 储存环聚焦磁铁的截面图^[2]。它产生聚焦磁场(正四极场)的最大梯度为 1118Gs/cm。由图1可以看出,主线圈占据了大部分线圈窗口的位置。微调线圈只能放在位置1处或位置2处。我们分别计算了在位置1处和位置2处微调线圈所产生的斜四极场。

在聚焦磁铁内铁芯极头的主要作用是形成正四极场,它对用于产生斜四极场的线圈会起屏蔽作用。图2是位置1处微调线圈产生的斜四极场的通量图。可以看出,由于该

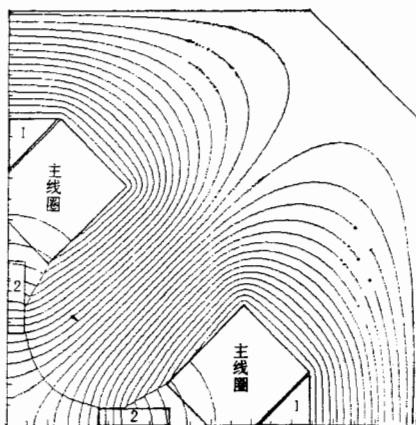


图 1 BEPC 储存环聚焦磁铁截面图

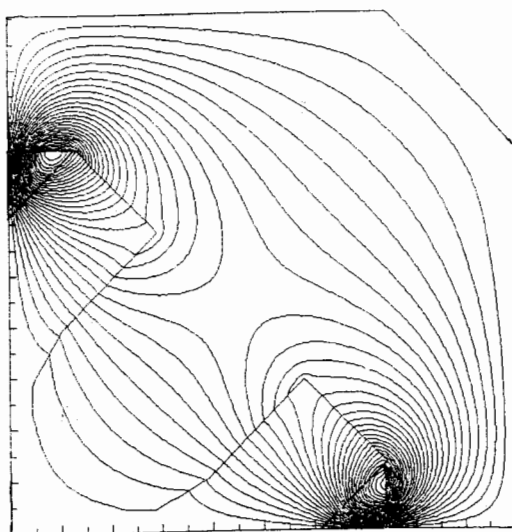


图 2 位置 1 处微调线圈产生的斜四极场

线圈位于极头的深部,它产生的磁场绝大部分被极头所屏蔽,在束流区几乎不能产生斜四极场。

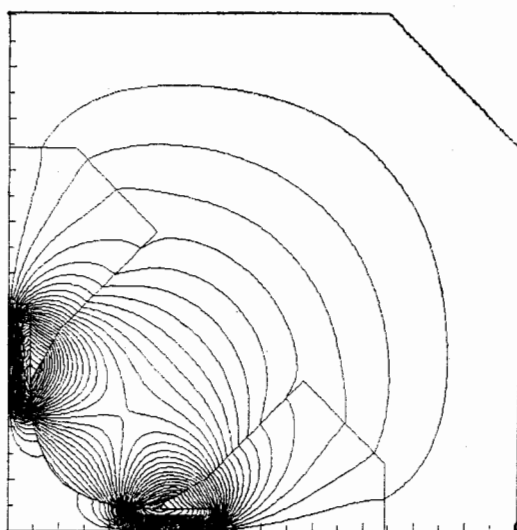


图 3 位置 2 处微调线圈产生的斜四极场

位置 2 处的微调线圈接近束流区,图 3 是该线圈产生的场图。虽然它的磁场大部分也为极头所屏蔽,但仍可在束流区建立起一个斜四极场。如果线圈励磁为 1000 安匝,电流密度 $1\text{A}/\text{mm}^2$,它产生的斜四极场梯度沿 x 轴(横向)的分布列于表 1。可以看出,在束流中心区域微调线圈产生的斜四极场约为 $0.25\text{Gs}/\text{cm}$ 。梯度的分布不大均匀,主要含有一个相对比较大的斜 12 极分量,其量值大约是 $0.0527\text{Gs}/\text{cm}^2$ 。在不同 x 处斜 12 极场与斜四极场的比值列于表 2。

当然,由于铁磁材料的非线性,在主线圈励磁的条件下,微调线圈产生的磁场与上述结果将有不同。但是,由于铁

芯饱和程度轻微,这种改变不会很大。

表 1

$x(\text{cm})$	0.0	1.0	2.0	3.0	4.0	5.0	6.0
$\frac{dB_x}{dx} (\text{Gs}/\text{cm})$	0.2501	0.2553	0.2913	0.425	0.798	1.742	4.136

也的
内
出
场
为
极
也
3.
Gs,
表
安
却
用
密
积

$\frac{dB_x}{dx}$

表 2

$x(\text{cm})$	1.0	2.0	3.0	4.0	5.0	6.0
B_6/B_2	0.206	3.304	16.72	52.86	129.07	267.64

三、空芯线圈所产生的斜四极场

在聚焦磁铁内微调线圈产生的斜四极场由于极头的屏蔽作用其梯度值不很高, 分布也不很均匀. 因此, 可考虑在直线节上加空芯线圈以产生斜四极场. 根据 BEPC 真空室的几何形状设计了一个空芯线圈. 它的内径为 70mm, 外径为 80mm. 图 4 绘出了空芯线圈的形状和它产生的斜四极场图. 线圈励磁为 250 安匝, 电流密度为 $0.55\text{A}/\text{mm}^2$. 它在束流中心产生斜四极场的梯度值约为 $3\text{Gs}/\text{cm}$. 梯度分布也较均匀, 梯度沿 x 轴的分布值列于表 3. 它包含的 12 极矩值约为 $-0.0317\text{Gs}/\text{cm}^2$, 在不同 x 处的 B_6/B_2 值列于表 4. 空芯线圈仅用了前方案的 $\frac{1}{4}$ 的安匝数, 产生的斜四极场 (在束流中心) 却是前者的 12 倍.

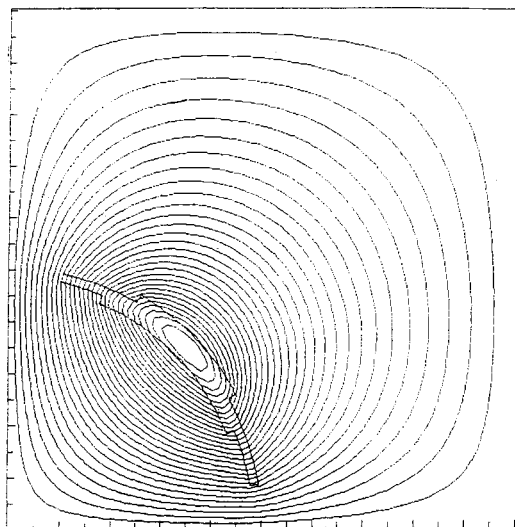


图 4 空芯线圈产生的斜四极场

空芯线圈的长度取决于直线节可利用的空间. 以 BEPC 为例, 若线圈电流密度为 $1\text{A}/\text{mm}^2$, 中心梯度为 $5.56\text{Gs}/\text{cm}$, 则长度为 72mm 的空芯线圈产生的斜四极场的积分值等于主聚焦磁铁 (长 400mm) 内产生 $1\text{Gs}/\text{cm}$ 的斜四极场.

表 3

$x(\text{cm})$	0.0	1.0	2.0	3.0	4.0	5.0	6.0
$\frac{dB_x}{dx} (\text{Gs}/\text{cm})$	3.160	3.161	3.148	3.084	2.899	2.480	1.582

表 4

$x(\text{cm})$	1.0	2.0	3.0	4.0	5.0	6.0
B_6/B_2	8.4×10^{-5}	1.34×10^{-3}	6.78×10^{-3}	2.14×10^{-2}	5.24×10^{-2}	0.109

四、结 论

利用安放在直线节上的空芯线圈或在聚焦磁铁内安放微调线圈,都会产生一定的斜四极磁场.将这种线圈做成可拆装的结构,安放在需要的位置上,参照束流运行情况调节其斜四极场的大小,从而找出校正束流运动耦合所需的斜四极场的合适位置及量值.据此再调整主聚焦磁铁安装的倾斜角,达到消除束流横向运动间耦合的目的.

作者感谢高能所曹瓚同志.他在本项研究中提出了宝贵的意见.

参 考 文 献

- [1] The Cern-Poisson Program Pacrge (Poiscr) User Guide, Cern computer centre program library T604, Chr. Iseiin (1984).
[2] “2.2 京电子伏储存环初步设计提要”,高能物理研究所储存环室,1984.2.

SOME METHODS OF PRODUCING LOCAL SKEW QUADRUPOLE FIELD IN ACCELERATOR RING

YIN ZHAOSHENG XU JIANMING

(*Institute of High Energy Physics, Beijing, Academia Sinica*)

ABSTRACT

In this paper, some methods of producing local skew quadrupole field in accelerator ring are studied. It can be used to find the suitable positions and strength of skew quadrupole field to remove the coupling between horizontal and vertical oscillations of beam, Taking BEPC as an example, some calculated results are given.

产
注
100