

脉冲四极透镜等效长度的测量

刘玉成 石才士 曹 围

(中国科学院高能物理研究所)

摘 要

本文叙述一种用组合线圈测量脉冲四极透镜等效长度的方法, 这种测量方法速度快, 数据处理简单. 线圈用印制工艺制作.

一、测量原理

四极透镜的等效长度是标志它的聚焦强度的重要参数之一, 通常用下式表示一个四极透镜的等效长度

$$L_{\text{eff}} = \frac{1}{G_0} \int_{-\infty}^{+\infty} \frac{\partial B_y}{\partial x} dz = \frac{1}{\frac{\partial B_y}{\partial x} \Big|_{z=0}} \int_{-\infty}^{+\infty} \frac{\partial B_y}{\partial x} dz. \quad (1)$$

或

$$L_{\text{eff}} = \frac{1}{\frac{\partial B_x}{\partial y} \Big|_{z=0}} \int_{-\infty}^{+\infty} \frac{\partial B_x}{\partial y} dz. \quad (2)$$

其中 G_0 表示 $z = 0$ 处的磁场梯度. 一般可以采用逐点测量磁场梯度沿 z 轴分布曲线, 然后再对此曲线作积分处理, 求出等效长度. 图 1 表示某四极透镜的磁场梯度沿 z 轴的分布. 这种逐点测量方法, 既烦琐误差又大.

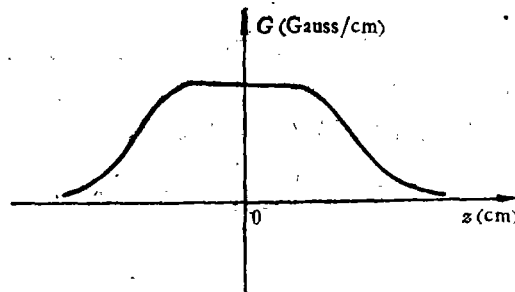


图 1 透镜磁场梯度沿 z 轴的分布

下面介绍组合线圈法. 此方法中使用的组合线圈是由两对线圈组成的, 一对为短线圈, 在测量时, 将它放在 $z = 0$ 附近透镜的均匀场区域内. 另一对为足够长的长线圈, 使

透镜的边缘场都包括在其长度之内。并且，长线圈和短线圈的公共段完全重合。图2是放置在透镜中的组合线圈的示意图。

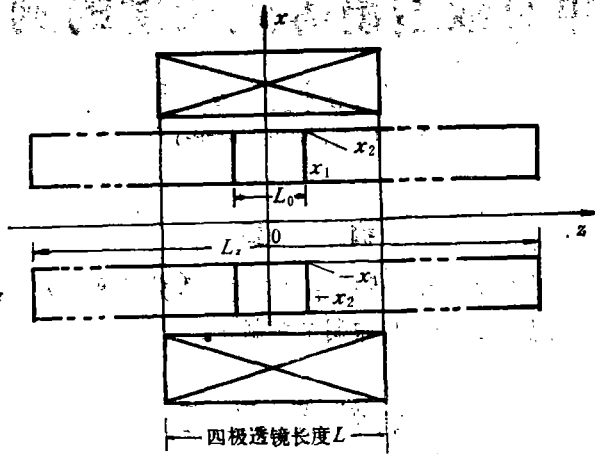


图2 测量线圈在四极透镜中放置的情况

图3为测量电路原理图，其中QM为四极透镜， R_0 为监测脉冲电流峰值的取样电阻。 p 和 p_0 分别为一对长线圈和一对短线圈，它们的每对都串联反接， K 为接通这两组线圈的开关，测量电路由积分器和采样保持电路组成，它们分别受零漂和时间控制电路控制，数字电压表上显示出采样保持电路的峰值电压。

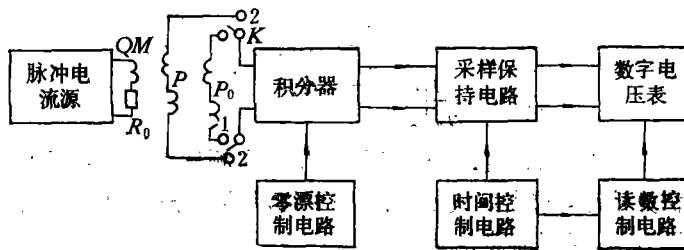


图3 测量电路原理方框图

为简便起见，假定两对线圈放在 xoz 平面内的位置对 z 轴是对称的，且磁场沿 x 轴具有理想的线性分布，(可以证明，两对线圈对 z 轴对称放置，或不对称放置，所得的结果是相同的。)当透镜在某电流下励磁时，开关 K 接通长线圈，经积分器后获得的电压为

$$E(t) = -\frac{1}{RC} \int_{-\infty}^{+\infty} \int_{x_1}^{x_2} G(z, t) x dx dz \quad (3)$$

接通短线圈，经积分器后输出的电压为

$$e(t) = -\frac{1}{RC} G_0(z, t) L_0 \int_{x_1}^{x_2} x dx \quad (4)$$

其中 $G_0(z, t)$ 为 $z=0$ 附近处磁场的梯度， L_0 为短线圈在 z 轴方向的长度，由上二式得到

$$\frac{E(t)}{e(t)} = \frac{\int_{-\infty}^{+\infty} G(z, t) dz}{G_0(z, t) L_0} \quad (5)$$

由此得到四极透镜的等效长度为

$$L_{\text{eff}} = \frac{E(t)}{e(t)} \cdot L_0 \quad (6)$$

为了在时间上一致, 在测量 $E(t)$ 和 $e(t)$ 时, 都选在信号的峰值时刻, 即 $t = t_0$, 由此可见, 等效长度可以直接由 $E(t_0)$ 和 $e(t_0)$ 的测量结果和短线圈的尺寸 L_0 获得.

二、线圈的设计与制造

线圈和支撑杆如图 4 照片所示, 线圈结构示意图见图 5.

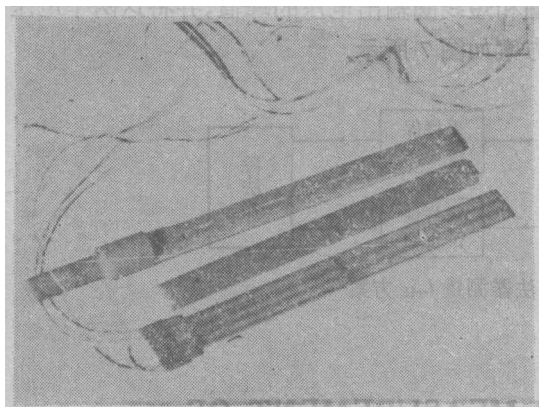


图 4 测量线圈及支架

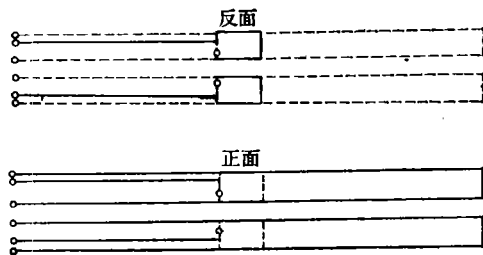


图 5 测量线圈结构示意图

在线圈设计中, 为使长线圈能覆盖住 x 轴方向的全部磁场, 长线圈的长度应不小于透镜孔径的三倍与铁长之和, 线圈宽度 x_2 应不小于束流包络达到的最大径向位置, 测量使用的线圈设计尺寸为

$$L_0 = 1\text{cm}$$

$$L_s = 12\text{cm}$$

$$W = x_2 - x_1 = 0.5\text{cm}$$

线圈的制造采用了印制板工艺, 选取高质量 1.5mm 厚的双面复铜板腐蚀制成。板上留下的铜线形成组合线圈, 应保证线宽均匀, 长线圈和短线圈重合的部分严格重合, 为防止线圈弯曲变形, 用强度较好的厚环氧树脂板做夹板。将线圈夹在中间, 支撑杆与夹板形成一体。

三、测量结果

使用该测量装置对孔径 22mm 的透镜, 在不同励磁电流下进行了测量。由测量数据绘制的曲线如图 6 所示, 由此可见, 等效长度随励磁电流增加而略有下降。

此装置测量速度快, 每组测量只需两个有效数据, 处理手续非常简单, 测量系统的精度约为 0.5%, 重复性好。测量结果与理论分析符合较好。

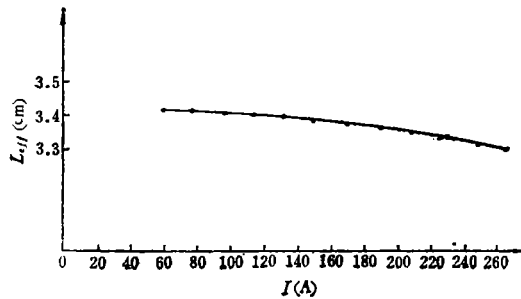
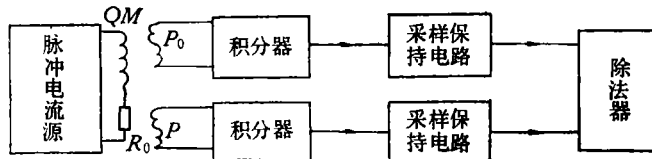


图6 等效长度与透镜励磁电流的关系

如果将装置改进一下,即同时测出长线圈和短线圈输出电压的峰值,并将这两个电压送到除法器,则可以一次测量出 L_{eff} 值。其方案如图7所示。

图7 双通道及除法器测量 L_{eff} 方案

EFFECTIVE LENGTH MEASUREMENT OF PULSED QUADRUPOLE LENSE

LIU YU-CHENG SHI CAI-TU CHAO WEI

(Institute of High Energy Physics, Academia Sinica)

ABSTRACT

A method using coils to measure effective length of pulsed quadrupole lense is described. This method is fast in picking up signals and simple in data processing. The coupling coils are made of printed circuit.