

具有大区域均匀场强的磁体

李银安 李世恕¹⁾ 张 晔 范松华

(中国科学院物理研究所)

我们研制了螺旋管磁体,在磁体两端附加了补偿线圈。该磁体的轴向磁场均匀区拓宽到磁体总长度的80%,场强测量值与计算值很好符合。

在纯电子等离子体(非中性等离子体)实验中,等离子体柱内的粒子在径向的约束是由轴向磁场实现的。磁场的对称性和均匀性是影响粒子约束时间的重要因素之一。为了使等离子体能被约束较长时间,磁场必须足够均匀,同时,为了便于研究等离子体柱中粒子在径向的输运性质,要求等离子体柱有较大的截面,因而也就要求磁场有足够大的均匀区。根据以上实验要求,我们研制了一个场强足够均匀且均匀区又较大的磁体。

一、磁体设计和结构

产生均匀度较高的磁场最简单的方法是利用多层螺旋管磁体。但是,对于通常的有限长度螺旋管磁体在管中可利用的磁场均匀区很小,不能满足实验要求。为了扩大均匀区,我们考虑了两种设计方案:一是利用多个层数相同的圆饼形线圈,使其间距不等地同轴排列,各线圈中通以相同的电流,类似于文献[1]中的磁体结构。计算表明,只要线圈间距适当,且线圈宽度不大时,可以得到所要求的磁场。但是,磁场均匀度对线圈间距及线圈宽度十分敏感,这样便增加了加工和安装的困难,同时合乎尺寸要求的绕阻也难于获得,因而此方案未被采用。二是利用多个层数相同的圆饼形线圈,使其紧密地同轴排列,并在其两端向外延伸的方向增加了层数逐渐递增的线圈以补偿此处磁场的减少。具体结构是:磁体的中间部分由22个饼线圈紧密地同轴排列而成,每饼线圈均为六层,在两端各有三个饼线圈,其层数分别为7,8和10,各线圈的排列方式示于图1。出于对造价、线圈绕制工艺以及可得到的绕组尺寸的考虑,

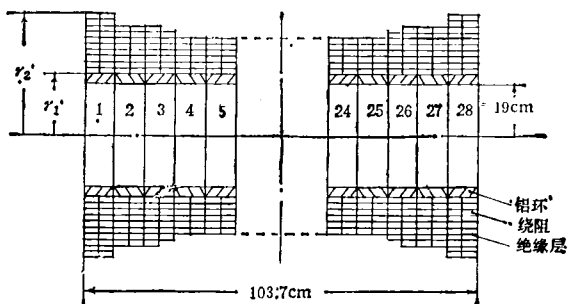


图1 磁体线圈的相互配置
(填充因子 $\lambda = 0.907$)

我们依此方案研制了磁体。

各线圈均由宽度为18mm、厚度为3.28mm的紫铜条在宽度为36mm、厚度为5mm、外半径为100mm的铝环上绕成,铜条外部缠以两层厚度为0.1mm的黄蜡绸,使绕组之间相互绝缘。绕组采用扁平线圈的绕法,使两个抽头均在线圈外侧,便于线圈间相互连接。

各线圈分别固定在位置可以做三维调节的玻璃罩座架上。线圈位置调整好后,使用不锈钢夹具将所有线圈在轴向夹紧而成一整体。磁体内径为19cm,总长103.7m。

二、磁场的计算和测量

磁场的计算方法如下。根据公式^[2]

$$B_z = \frac{\mu_0 \lambda J}{2} \left\{ z_2 \ln \left[\frac{r_2 + (r_2^2 + z_2^2)^{\frac{1}{2}}}{r_1 + (r_1^2 + z_2^2)^{\frac{1}{2}}} \right] - z_1 \ln \left[\frac{r_2 + (r_2^2 + z_1^2)^{\frac{1}{2}}}{r_1 + (r_1^2 + z_1^2)^{\frac{1}{2}}} \right] \right\}$$

编出程序,逐个算出每饼线圈在轴上某点的场强,然后将其叠加便得到在该点的总场强。式

1) 李世恕现在中国科学院低温技术实验中心工作。

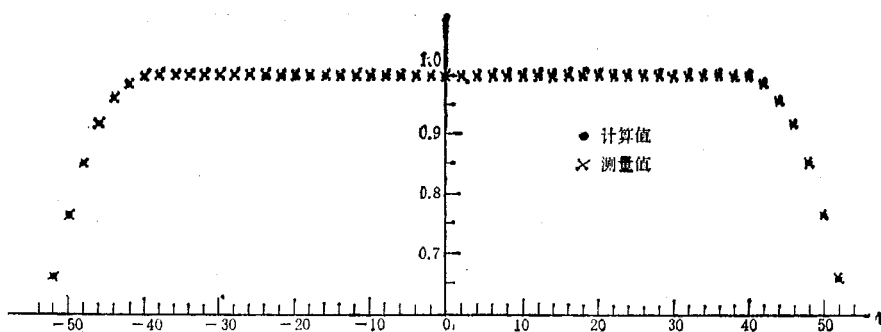


图2 轴上磁场强度测量值与计算值的比较

中 B_z 的单位为 T, $\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7} \text{H/m}$, λ 为填充因子(绕组体积/线圈体积), J 为电流密度(单位为 A/m^2), r_1 和 r_2 分别为线圈的内半径和外半径(单位为 m), z_1 和 z_2 分别为计算场强的那点到达线圈左端和右端的距离(单位为 m). 计算表明,对于以上结构的磁体,轴上场强的均匀度可达 $\pm 0.2\%$,均匀区域为磁体总长的 80% 左右.

场强是用霍耳探针配以数字磁强计测出的.霍耳探针装在特制的探针架上,可以做三维磁场强度测量.在磁强计的测量精度范围内,测量值与计算值很好符合(见图2).图2所示各点场强均以磁体对称轴中点的场强归一化.

三、讨论

由于造价所限,磁体未备冷却系统.磁体在运行时产生的热量只能靠空气对流自然散失.实验表明,当磁场强度为 0.02T 左右时,磁体连续工作数小时后线圈温升不显著,但当场强为 0.3T 左右时,磁体工作一小时之后,线圈温升明显.

赵庆祥、冯小萌和樊世勇慷慨、友好地提供了测量设备,作者对此深致谢意.

- [1] M. S. Dewey and R. W. Dunford, *Rev. Sci. Instrum.*, **56-6** (1985), 1239.
 [2] T. J. Dolan, *Fusion Research*, Pergamon Press (1982), 607.

(上接第 63 页)

地址: 美国 加州 安娜赫姆
 组织者: Optical Society of America
 1816 Jefferson Place, NW
 Washington, DC 20036
 USA

地址: 捷克斯洛伐克利伯列斯
 组织者: Prof. P. Exner
 Prof. J. Dittrich
 Nuclear Physics Institute
 Academy of Sciences
 CS-250 68 RE7
 CZECHOSLOVAKIA

C18 数学物理委员会

C18.1 物理中群论方法会议

日期: 6月4日—9日
 地址: 苏联莫斯科
 组织者: Prof. M. A. Markov
 Prof. V. I. Manko
 P. N. Lebedev Inst. of Phy.
 Leninsky Pr. 53
 Moscow, USSR

C18.2 量子力学中的严格解会议

日期: 6月10日—15日

C19 天体物理学委员会

C19.1 早期宇宙原始核合成和演化会议

日期: 9月4日—7日
 地址: 日本东京
 组织者: Prof. Katsuhiko Sato
 Department of Physics
 University of Tokyo
 Tokyo 113, JAPAN

(中国科学院物理研究所 杨国楨)