

研究简报

强磁场磁铁几何参量的优化

茅乃丰 林树棧

(中国原子能科学研究院)

摘 要

综合利用磁路计算和磁场计算两种方法对强磁场磁铁的几何参量进行了优化。制作了一块磁感应强度为 31kG 的模型磁铁。磁场测量结果与计算吻合得相当好。

强磁场磁铁在核磁共振波谱仪、穆斯鲍尔谱仪和实验核物理工作中有着广泛的应用。超精细相互作用研究工作的开展需要磁感应强度在 3 万高斯左右的强场磁铁，并要求磁场在中心区的分布比较均匀。

Y. Ishikawa 等^[1]曾用磁矩方法对在气隙中产生最高场强所需要的极头锥角作了近似计算。本文则把磁路计算和磁场计算结合在一起，用“场路结合”的方法对强磁场磁铁的几何参量进行优化，使之在气隙中产生的场不仅尽可能高，尽可能均匀，而且磁铁各部

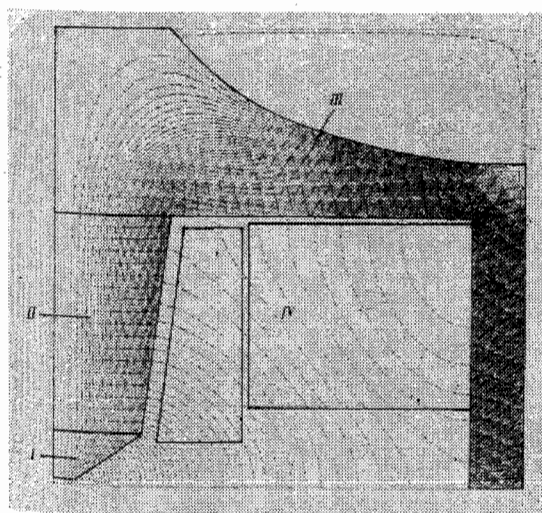


图1 模型磁铁的几何形状和等A线分布
I 极头，II 极芯，III 磁轭，IV 线圈

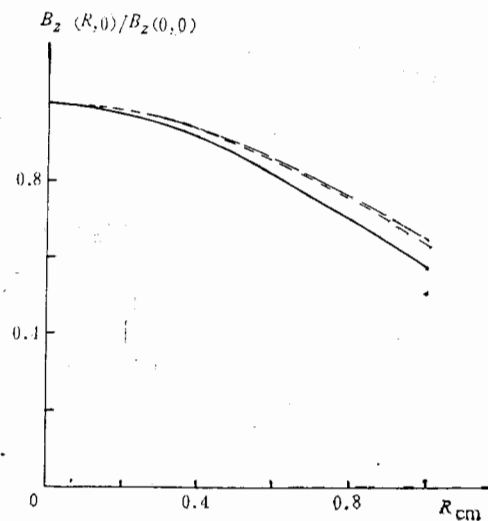


图2 不同极头锥角磁铁中间平面上的
归一化分布 $B_z(R, 0)/B_z(0, 0)$
—— 极头锥角 47.4° - - - - 极头锥角 54.7°
- · - · 极头锥角 62.0°

分不出现局部饱和现象。这些几何参量包括极头锥角、极头高度、极芯锥角和轭的形状。

为了使极头和极芯在气隙中产生尽可能高的磁场，而且极芯各部分磁感应强度基本均匀，极头采用高导磁铁钴合金（其余部分则采用工业纯铁），极芯和极头取截头圆锥，如图1所示。该图给出了下文提到的模型磁铁的几何形状和等 A 线分布。

磁铁几何参量的优化从磁路计算开始，以确定磁铁和线圈的结构轮廓。计算采用求解等效电路的方法^[2]。由于强磁场磁铁的非线性效应严重，以及磁场在磁路的各个横截面和纵截面上的分布不均匀等原因，磁路计算误差较大。因此，为了得到较好的几何参量优化结果，需要进一步进行磁场计算。

磁场计算采用国际上通用的解二维非线性静磁偏微分方程的 TRIM 程序^[3,4]。该程序利用不规则三角形网格和通量积分方法对矢量位 A 的方程进行离散。网格由程序自动产生。计算结果以数值和图形两种形式给出。对于H型磁轭的磁铁，计算时将它等效为轴对称的 Bitter 型磁铁。图1给出的就是等效后模型磁铁的磁轭形状。这一等效已为实验所证实。

利用 TRIM 程序计算了结构与图1基本相同，但极头锥角分别为 47.4° 、 54.7° 和 62.0° 的磁铁的场分布。当线圈励磁为 20.4 千安匝时，气隙中心处的磁感应强度 $B_z(0, 0)$ 分别为 35.71kG、35.28kG 和 34.84kG。可见随着锥角的加大， $B_z(0, 0)$ 减小。但与此同时磁场在中心区的均匀性却改善了，如图2所示。综合考虑磁场强度和均匀性，我们选 54.7° 为极头的锥角。

根据计算结果制作了一块模型磁铁。磁铁的极头锥角为 54.7° ，其它参量为：极芯锥角 7.3° ，极面直径 12mm，气隙 3mm，额定励磁为 12.1 千安匝。

用 TRIM 程序计算了模型磁铁的磁场。矢量位 A 的等位线分布如图1所示。整个计算结果与用 V-F 法^[5] 测量所得的结果吻合得相当好：

(1) 在额定励磁下气隙中心处的磁感应强度的测量和计算结果分别为 31.1kG 和 31.4kG。这也证实了磁场计算中轴对称等效的合理性。

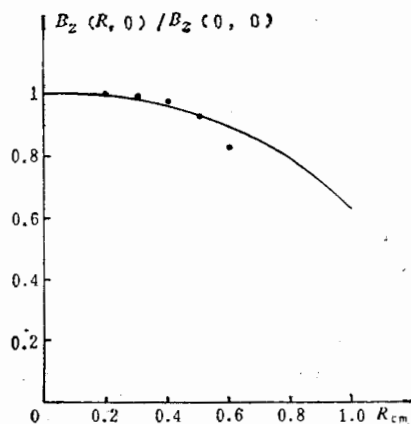


图3 模型磁铁中间平面上场的归一化分布 $B_z(R, 0) / B_z(0, 0)$

— 计算曲线 · · 测量点

图
轭
更
极
强
匀

致

[]
[:
[:
[:
[:
[:

p
n
a

(2) 中间平面上磁场均匀度达千分之一的均匀区的直径为 4mm, 如图 3 所示. 该图给出了额定励磁下场的归一化分布 $B_z(R, 0)/B_z(0, 0)$. 实验曲线是在 H 型磁铁的无轭方位测量的, 与等效轴对称轭计算结果相比可以看出: 平区扩展了, 但边缘场的下降却更快些. 可以这样定性地去解释这个现象: 当没有轭作为磁力线的回路时, 磁力线通过极头外的漏气隙闭合, 这时磁力线要向极头中心附近收缩, 从而使中心附近的场得以加强, 边缘处却减弱了.

(3) 测量和计算结果证实了极芯和磁轭各部分磁感应强度平均值的分布基本上均匀的, 没有局部饱和现象, 因而证实了整个磁路几何形状也是合理的.

数值计算得到了王学萍同志的协助, 模型磁铁制作得到了刘东海等同志的协助, 特此致谢.

参 考 文 献

- [1] Y. Ishikawa and S. Chikazumi, *Japan. J. of Appl. Phys.*, 1(1962), 155.
- [2] 孙亲仁等, 粒子加速器, 1979 年全国加速器技术交流会论文选集, 第 384 页.
- [3] A. M. Winslow, *J. Comput. Phys.*, 1(1966), 149.
- [4] 茅乃丰, 带电粒子光学系统设计和计算机程序, 北京电机学会加速器专业委员会专题讲座讲义, 1981 年, 北京.
- [5] 孙亲仁等, 原子能科学技术, 9(1975), 270.

GEOMETRIC PARAMETER OPTIMIZATION OF HIGH FIELD MAGNETS

MAO NAI-FENG LIN SHU-YAN

(Institute of Atomic Energy, Beijing)

ABSTRACT

The geometric parameter optimization of high field magnets is studied in this paper by using both magnetic circuit calculation and magnetic field calculation. A model magnet of 31 kG in magnetic induction was made. The magnetic field measurements are in good agreement with the calculations.

本
如
求
横
参
程
自
效
为
和
0,
但
我
锥
整
和