

500亿电子伏特加速器用LEBT 高导磁测流器的研制

王 灵 孙凤珍 杜桂香

摘要:本文介绍用我国材料和技术研制成LEBT高导磁测流器的问题。特别是在防止高导磁材料磁性下降方面进行了各种尝试,从中取得一定的经验,使得测流器的性能优于国外同类产品。

一、前 言

500亿电子伏特高能加速器,需要用LEBT高导磁测流器测量高能粒子流的强度。LEBT测流器是用超高导磁材料制成的,其初导磁率要求为 40000Gs/Oe ,超出了国内同类材料标准一倍之多。国外介绍这种器件的制造需要电子束焊接外壳体,并用特殊的弹性环氧树脂灌封,设计和制造这种电磁器件面临的困难是较多的。但是,在冶金部和西安752研究所的支持和协助下,用两年多的时间,试制出性能高于国外同类产品的两种规格的高导磁测流器成品器件的初导磁率 $\mu_0 = 40000 \sim 60000\text{Gs/Oe}$,已用于高能加速器上,使用情况良好。

二、LEBT高导磁测流器的原理、结构和制造

1. LEBT高导磁测流器的原理

LEBT高导磁测流器与脉冲变压器相似,不同点是LEBT高导磁测流器把高能加速器的粒子流当做一次线圈(初级),而绕在磁芯上的感应线圈当做二次线圈(次级)。图1是高能加速器用LEBT高导磁测流器的简单原理图。

根据电磁感应原理,高能粒子流过磁芯中心时,次级将产生电势,粒子多少的变化导致感应电势的大小不同,从而实现高能粒子流的控制和测量。

2. LEBT高导磁测流器的结构

该器件的结构如图2。

3. LEBT高导磁测流器的制造

LEBT高导磁测流器有时在 10^{-6}Torr 以上的高真空腔体里工作,高真空系统里工作的LEBT高导磁测流器所用的灌封材料应是不易挥发,不影响真空度的降低。LEBT测流器安装、灌封和焊接完了之后,测其磁芯的静态磁性参数 $\mu_0 \geq 40000\text{Gs/Oe}$ 。

为了满足上面的要求,在制造过程中需要进行一些新的试验,下面把磁芯的制造、热处理和灌封等做一介绍。

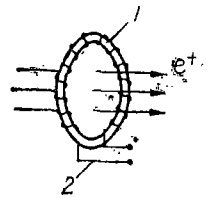


图1 LEBT测流器原理图

- e^+ 粒子
- 1 磁芯
- 2 线圈

磁芯的形状和尺寸如图 2 所示。

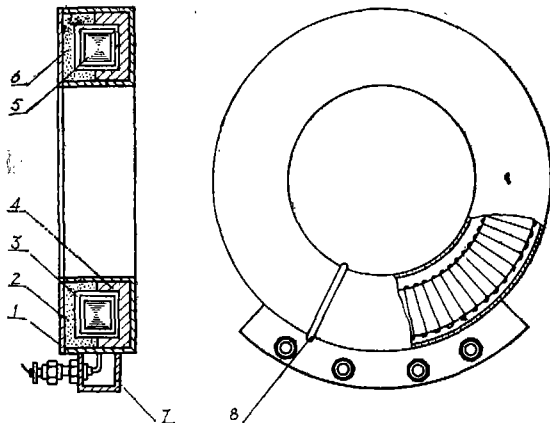


图 2

- | | | | |
|--------|-------|-------|--------|
| 1 屏蔽箱体 | 3 保护盒 | 5 磁芯 | 7 线盒 |
| 2 硅橡胶 | 4 固定座 | 6 硅橡胶 | 8 校准线圈 |

(1) 磁芯的绕制和热处理规范

磁芯做成环形,是用厚0.05mm宽10mm、初导磁率非常高的软磁材料剪成条材,电泳涂层后绕制而成。磁芯见图3。涂层厚双面控制在0.002~0.01mm,涂层的绝缘性要好,真空或氢气热处理后,初导磁率 $\mu_0 \geq 40000 \text{Gs/Oe}$ 。本件采用的是高温氢气保护热处理,热处理规范见下面图4的曲线。

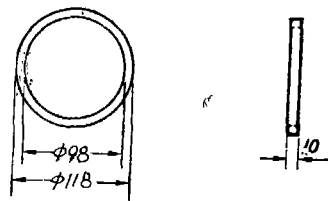


图 3

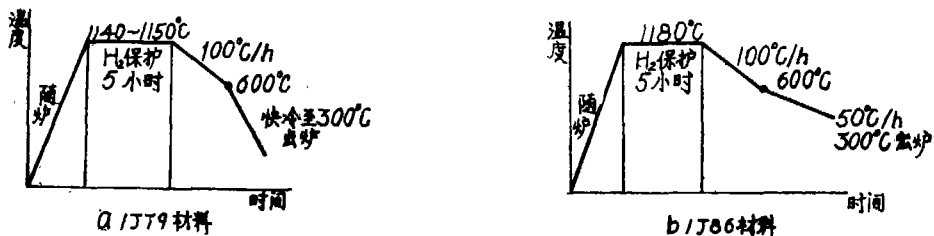


图 4

(2) LEBT高导磁测流器的灌封

在磁芯的磁性达到要求后,灌封是极为重要的一道工序。国外介绍用一种具有弹性的环氧树脂灌封,国内没有。试用了几种国产收缩小的环氧树脂效果都不好,磁性下降较多。采用一种新型硅橡胶试验后,发现这种材料很理想,灌封后的 μ_0 值下降甚小。这种材料具有弹性大、收缩小、固化时无应力、密封好、不挥发、耐烧和温度范围宽等很多优点。其中弹性大、耐烧性好、收缩小和工作范围宽这些优点,是环氧树脂难以达到的。实践说明用硅橡胶灌封的LEBT高导磁测流器,不仅保证了灌封后磁性基本不变的这一关键工序,而且还保证了在以后反复加工和频繁运输等过程中,磁性基本不变。这些优点对高导磁材料的应用尤为重要,过去往往因此而失败。

(3) LEBT高导磁测流器的焊接

这种器件的外壳体,需要用电子束进行快速焊接。电子束焊接的优点是电子束流很小,

焊缝表面光亮密封性好，它的突出特点是焊接过程快，温升不超过100℃，磁性不受高温的影响。但是由于我国电子束焊技术和电子束焊接设备水平所限，在焊接时容易使LEBT高导磁测流器的磁芯受到高温的影响。因此，在进行焊接时必须设计易散热的工卡具，焊接时在保证焊缝质量的基础上，焊接速度一定要快，设计选择壳体形状和材料要合理。

三、LEBT高导磁测流器的磁性测量

LEBT高导磁测流器要求全部加工完了之后，测其成品件 $\mu_0 \geq 40000 \text{Gs/Oe}$ 。过去的经验是热处理后尽管初导磁率很高，但难得保持不变。运输不当，温度过高、应力、振动和撞击等都有可能使初导磁率发生较大的变化。各种因素影响的程度，过去并不清楚，也难找到这方面的经验和技术指导。像LEBT高导磁测流器本身需要运输、灌封和焊接的高导磁器件，很有必要进行全面测试。为此，我们对磁芯在运输、灌封和焊接等每个环节都做了初导磁率的测定。为了测知运输、加工后无法测量的磁性参数，特采用了粗号线代替粒子流进行标定测试。测量和测定的线路图和标定方法如图5、图6。

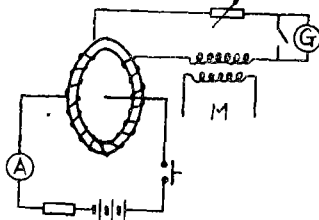


图5

A—毫安表
M—标准互感器
G—检流器

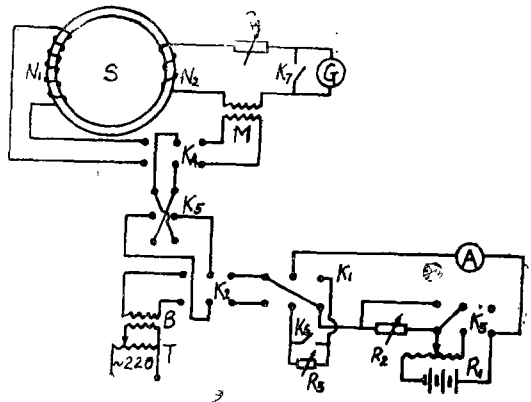


图6

K₁-K₇—单刀,双刀开关
R₁—滑线电阻
R₂-R₄—电阻箱
A—多量程电流表
B.T—变压器
S—试样
G—检流计
M—互感器

LEBT高导磁测流器的测量是用自己的仪器反复测定后又与吉林大学、752研究所进行了对比测定。表1、表2是LEBT高导磁测流器试制过程中做的记录和试验。

从表1看出火车运输不当会使磁性下降较多，特别是包装不当就更甚。分析 μ 值下降的原因可能是铁芯包装简单，互相撞击和振动造成的。将磁芯装在保护盒内，周围余隙全部填充硅橡胶，待硅橡胶固化后，磁芯如同被一层弹性体包裹着。同样全用木盒填棉花包装运输的试件，火车就不如空运好。用硅橡胶灌封的磁性器件，坐火车携带磁性基本不变。从表2看到，LEBT高导磁测流器外壳体焊接，电子束焊就比点焊好，电子束焊接适当，磁性变化很小。实践说明硅橡胶是灌封、固定磁性器件的理想材料。这种材料无毒、经济、工艺性好。

表1 运输条件对导磁率的影响

编号	磁芯材料尺寸 mm	运输距离	包装方式	运输工具	运前 μ_0 值 Gs/Oe	运后 μ_0 值 Gs/Oe	备注
1	1 J86 环 Φ 98/118 \times 10	西安—长春	木箱棉花	火车	69000	45000	人随车携带
2	"	"	"	"	70000	44000	"
3	"	"	"	"	75000	55000	"
4	"	"	灌封硅胶	"	74000	72000	"
5	"	"	"	"	71000	69000	"
6	1 J79 环 Φ 98/118 \times 10	"	"	"	54000	51000	"
7	1 J86 环 Φ 98/118 \times 10	"	木箱棉花	航空	74000	69000	人坐飞机携带
8	1 J79 环 Φ 98/118 \times 10	"	"	"	46000	43000	"
9	1 J79 环 Φ 78/98 \times 10	"	"	"	50000	47000	"

表2 焊接对导磁率的影响

编号	磁芯材料尺寸 mm	焊接种类	焊前 μ_0 值 Gs/Oe	焊后 μ_0 值 Gs/Oe	备注
1	1 J86 环 Φ 98/118 \times 10	点焊	69000	50000	电阻点焊机
2	1 J79 环 Φ 98/118 \times 10	"	51000	40000	"
3	1 J86 环 Φ 98/118 \times 10	电子束焊	72000	71000	进口电子束焊机
4	1 J79 环 Φ 78/98 \times 10	"	47000	44000	"

LEBT高导磁测流器达到并超过原设计的指标40%以上，主要成功点在于采用了硅橡胶。它不仅起到了代替环氧树脂的作用，而且也起到了保护器件在加工运输等过程中磁性不变的作用。

四、结 束 语

采用硅橡胶灌封高导磁器件、用电子束焊接，这些都是新的尝试。通过LEBT高导磁测流器的试制，摸索到一些这方面的经验。过去认为高导磁合金做成的电磁器件十分不稳定，事实说明国产的一些高导磁材料，它们的磁性还是很稳定的，只要措施得当就会使高导磁元件的磁性性能更加稳定和提高了。

参 考 文 献

[1] 北京高能物理所，500GeV BPS加速器设计摘要，1979年。

- [2] 焦正宽等，超导电技术及其应用，国防工业出版社，1975年。
- [3] 《电磁现象》，上海教育出版社，1961年。
- [4] 微特电机设计参考手册，四机部。
- [5] 国外软磁材料，上海钢研所。
- [6] 牧野昇编；磁性材料としての応用，日本東京オーム株式会社。

Development of LEBT Beam Transformers Used for 500 GeV Accelerator

Wang Ling

Abstract

This paper represents technological problems in the development of LEBT beam transformers with native materials. A variety of attempts has been taken to prevent the LEBT from the descent of its magnetism, and certain experiences have been obtained, which make the performance of the beam transformers better than that of similar types in both China and other Countries.