

一种漂移室定位子性能反常现象的研究

王运永 王少敏 毛慧顺 刘荣光 李如柏 李金
宋晓非 张健 张德红 金艳 黄俊东 柯尊建
高树琦 谢佩佩 颜洁 顾建辉 李德

(中国科学院高能物理研究所 北京 100039)

摘要 研究了一种漂移室定位子性能的反常现象,它关系到定位子的使用寿命.着重测量了暗电流和随机噪声与时间、高压及温度的关系.

关键词 漂移室 定位子 寿命 暗电流 随机噪声 高压 温度

1 引言

漂移室是高能物理谱仪的重要组成部分.它在谱仪中的作用为:A.测量物理过程中终态带电粒子的空间参数,如 x, y, z 坐标. B.与磁场一起确定带电粒子的动量. C.测量带电粒子的能量损失 dE/dx 从而提供一种鉴别粒子的手段. D.参加触发判选以降低本底计数率.

定位子(Feedthrough)是漂移室的重要部件之一,利用它将漂移单元中的各种丝精确地固定在相应的位置上并提供高压引入和信号引出端子.

漂移室具有非常高的空间分辨率,要求定位子的加工精度高并有相当好的机械强度以免变形.漂移室的工作电压一般为数千伏,要求定位子有足够好的绝缘性能和很小的吸水系数.由于漂移室,特别是大型漂移室,制造周期长,造价高,要求定位子有一定的抗辐照能力和较长的使用寿命.漂移室问世以来,世界上已建造了大型漂移室数十个,绝大多数的定位子都基本上满足了上述要求.

北京谱仪-II(它是北京谱仪(BES)的改进型,原北京谱仪称之为“I”)主漂移室定位子是美国科罗拉多州立大学作为BES合作组成员提供的.工作半年多以后发现漂移室有较大的暗电流,随之又出现了较大的随机噪声.我们进行了多方面的研究最后跟踪到定位子.这是一种奇怪的、反常的现象.为了查明原因,利用这种定位子制造了一个模型漂移室和一些辅助测量装置.对它的使用寿命进行了研究.

2 定位子的结构

北京谱仪-II主漂移室定位子的结构如图1所示。它是由铜管、塑料体和定位体组成。塑料体部分全长为 $58.0 \pm 0.5\text{mm}$ 。柱体的外径为 $4.000 - 0.018\text{mm}$ 。定位体内定位孔的直径为 $0.250 \pm 0.025\text{mm}$ 。定位孔与柱体外圆的同心度为 0.025mm 。定位子内镀金铜管的直径为 1.6mm 。它插入定位子内部的长度为 40.0mm 。定位子塑料体部分的壁厚为 1.2mm 。材料为聚甲醛 500P,是美国杜邦公司的产品。整个定位子采用注塑工艺制成。

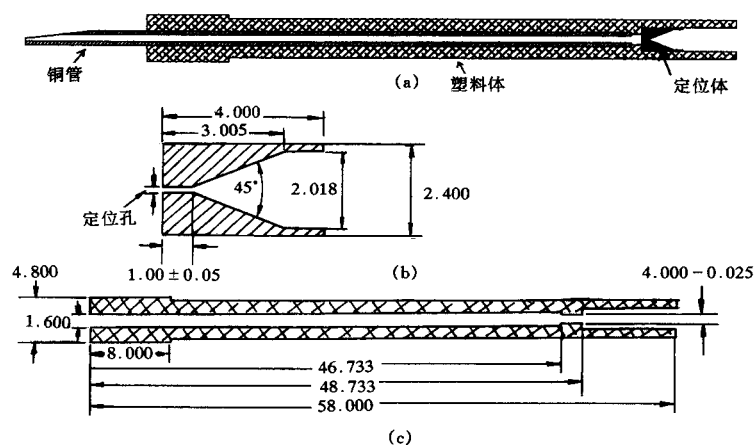


图1 北京谱仪-II主漂移室定位子结构图

(a) 总装图; (b) 定位体详图; (c) 塑料体详图。

3 实验步骤及结果

北京谱仪-II主漂移室定位子在装入漂移室之前,抽样做过如下测量:

A. 取 100 个定位子,加高压 6.0kV,持续 8 小时,测量定位子的暗电流,其值为 0。

B. 利用 5.0kV 兆欧表(漂移室的实际工作电压为 3.8kV)测量了 5000 个定位子的电阻,阻值都接近于无穷大。

定位子所用的材料聚甲醛是 20 多年来国际上通用的材料,定位子的结构与北京谱仪-I 主漂移室定位子相似,后者已在北京谱仪-I 上运行了 6 年多,性能可靠。由于受工程期限的限制,因此北京谱仪-II 主漂移室定位子未做长期的高压测量。就 A、B 两种常规测量来看,定位子制造出来时是合格的,使用过程中出现的暗电流和随机噪声是其寿命效应的表征。

定位子的使用寿命除了是时间的函数外,还与工作电压及温度有关。辐照损伤引起的寿命问题是一个专门的研究领域,本文未涉及。

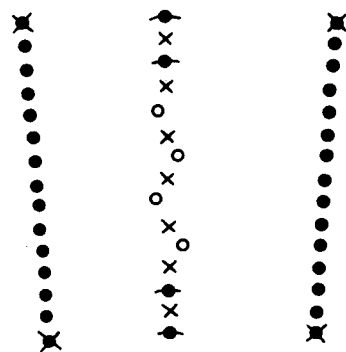


图2 模型漂移室漂移单元中丝的排列

● 场丝; ○ 信号丝; × 电位丝;
▲ 保护丝; X 粗场丝.

3.1 模型漂移室暗电流测量

模型漂移室以北京谱仪-II主漂移室为原型制成. 漂移单元的结构如图2所示. 它共有6个漂移单元, 其中场丝为69根, 丝长2.0m. 工作电压4.0kV, 为简化实验装置, 室内充满空气, 未通入工作气体. 实验大厅的气温为19.5℃, 略有涨落. 在69根场丝上加高压21天后暗电流开始出现, 31天后达到69 μ A(图3).

3.2 表面漏电的影响

由于模型室的两端面板及上面的定位子头暴露在大气中, 空气中的灰尘和脏物附着在上面可能引起表面

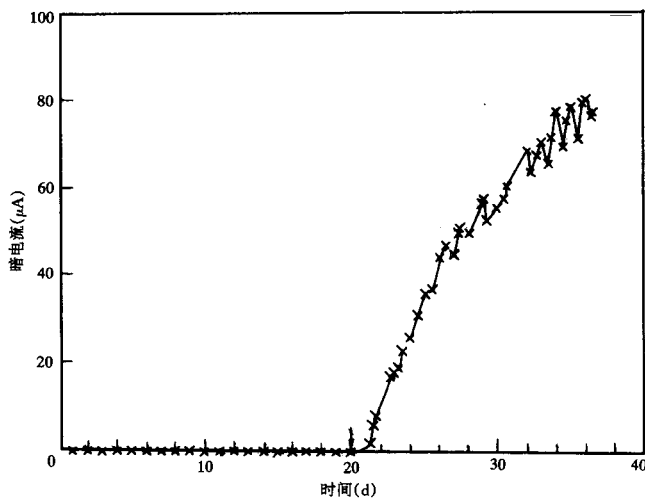


图3 暗电流与时间的关系
69根场丝, 工作电压4.0 kV.

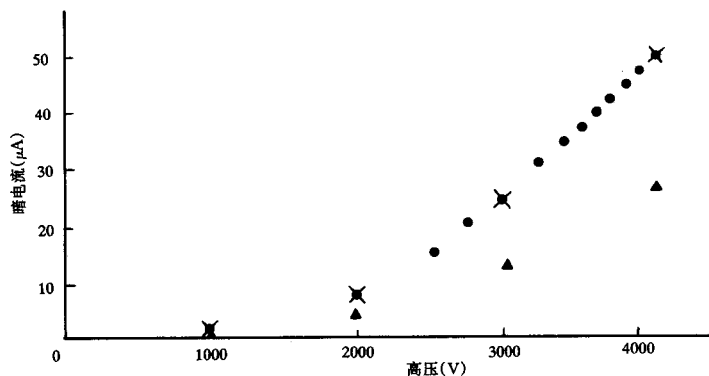


图4 暗电流与高压的关系

● 清洗前; × 清洗后; ▲ 清洗后半数定位子.

漏电. 为测量这种影响,对模型室的两个端面板及定位子的露出部分用无水酒精进行了清洗,清洗前后漏电流与高压的关系如图 4 所示. 结果表明,清洗处理不起作用,暗电流不是表面漏电引起的. 取一半丝(即定位子数目的一半)加高压,暗电流的值也下降到一半(图 4). 丝数再减半,暗电流的值也再减半. 这说明暗电流不是个别定位子的缺陷所致,而是普遍存在于各根丝(即各个定位子)上的.

3.3 定位子上丝的影响

若漂移室的丝上附有脏物如纤维毛,在丝表面强电场的作用下也会引起放电,形成暗电流. 为测量丝的影响,在模型室加高压 37 天后将数量约一半的丝从定位子上焊下来(36 根丝即 72 个定位子)保留另一部分(33 根丝即 66 个定位子)在带丝及不带丝的两组定位子上分别加 4.0kV 高压,测得带丝和不带丝的两组定位子暗电流分别为 $39\mu\text{A}$ 和 $40\mu\text{A}$,这说明暗电流与丝无关,是定位子本身引起的.

3.4 随机噪声的观测

利用示波器在模型漂移室的信号丝上(参阅图 2)观察噪声波形. 由于漂移室内未通入工作气体,穿过模型室的宇宙线粒子不会产生信号. 观测到的波形均为噪声. 5 分钟累计测量结果如图 5 所示. 不加高压时波形如(a)所示,这是本底,场丝上加 4.0kV 高压后噪声波形出现(图 5(b)),这表明随机噪声也是寿命效应的一种表现形式,它可能是在定位子漏电过程中产生的.

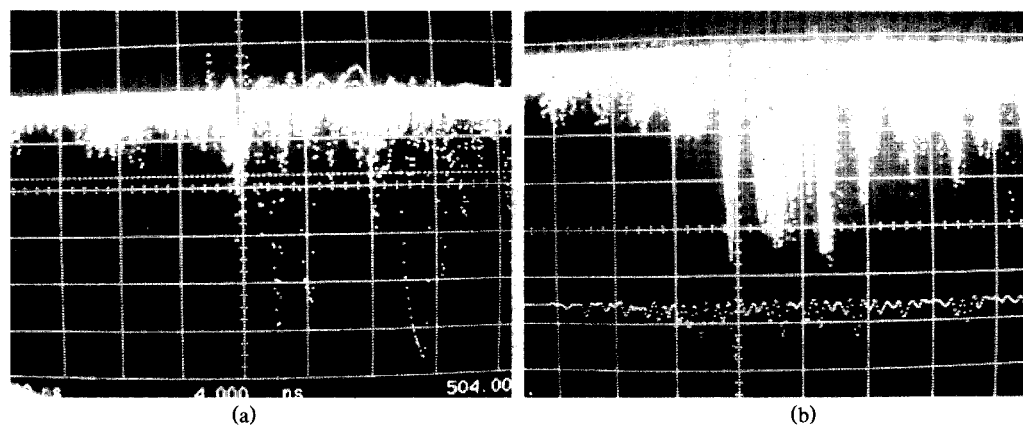


图5 噪声波形
(a) 不加高压5分钟计数; (b) 加4000V高压5分钟计数.

3.5 定位子击穿

在加 4.0kV 高压 46 天后,加高压的定位子有 7 个塑料绝缘部分被击穿. 这是定位子寿命效应最直观的验证.

3.6 对比实验

BES-I 主漂移室定位子的结构与 BES-II 定位子相同,材料也是聚甲醛. 只不过

前者是国内制造的而且塑料体部分分成两段注塑,中间用环氧树脂粘接起来.取两种定位子做对比实验.分为两组,第一组各 75 个,第二组各 55 个.将各组定位子插入做好的 4.0cm 厚的 Al 板上.定位子插孔的排列形式与 BES-II 主漂移室中场丝的排列完全相同.定位子不焊丝.第一组 BES-I 和 BES-II 定位子分别加 4.5kV 高压,第二组的两种定位子分别加 4.0kV 高压.观察暗电流的情况.实验结果如下:开始加高压时各组暗电流均为 0.在加高压 10 天后,BES-II 4.5kV 组开始出现 $1.0\mu\text{A}$ 暗电流,12 天后 BES-II 4.0kV 组也开始有 $1.0\mu\text{A}$ 暗电流.在连续加高压 50 天后 BES-II 4.5kV 组定位子暗电流达到 $55\mu\text{A}$,4.0kV 组达到 $37\mu\text{A}$.且都有定位子被击穿.而 BES-I 定位子,无论是 4.5kV 组还是 4.0kV 组,暗电流一直为 0,这表明定位子的问题与本身的机械结构无关.

BES-II 顶点漂移室的定位子也来自科罗拉多州立大学,材料也是聚甲醛.只不过由于数量少而使用了机械加工的方法制造,未采用注塑方法.它在工作中运行正常,未出现 BES-II 主漂移室定位子那样的反常现象.

对比实验表明,以聚甲醛这种国际上通用的材料制成的定位子,其电性能与注塑工艺有关.

3.7 温度的影响

将对比实验中加过高压 50 天的两组 BES-II 定位子——4.5kV 组共 75 个,4.0kV 组共 55 个——连同所用的 Al 板一起置于温度控制箱内.将刻度过的温度测量仪置于箱内定位子附近.改变温控箱的温度,待定位子的塑料部分达到热平衡后(改变温度后等待 5 小时左右)测量暗电流与高压的关系.结果如图 6 所示.

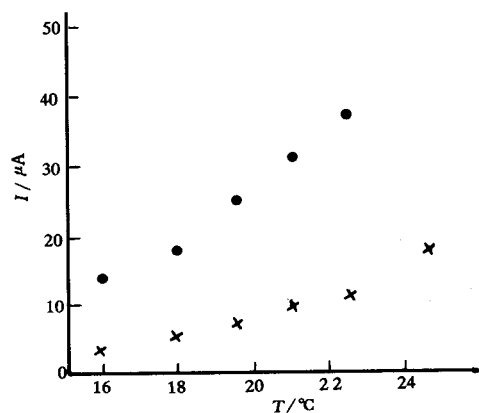


图6 暗电流与温度的关系

● 4.5kV组; × 4.0kV组.

温度控制箱是一个生物培养箱,温度变化范围为 -20°C — 70°C ,误差 0.5°C .温度测量仪读数误差为 0.1°C .

从图 6 可以看出,定位子的暗电流随温度增加而很快加大.因此,降低环境温度是减小定位子暗电流、延长定位子使用寿命的重要途径之一.

4 材料检验与分析

把定位子测量结果通知责任单位美国科罗拉多州立大学之后,他们立即重复我们的实验,利用 108 个定位子,所加电压为 4.0kV,同样观察到暗电流增加和定位子击穿现象^[1].为了研究问题的起因,中美双方分别对材料进行了检验和分析:

(1)科罗拉多州立大学利用扫描电子显微镜(SEM)发现定位子内外表面都存在裂纹,未加过高压的定位子表面裂纹的宽度约 1.0 μm ,做过长时间高电压实验的定位子,表面裂纹宽度较大,最大可达 10 μm (图 7)^[1],定位子表面产生的裂纹可能是导致大的暗电流及随机噪声的原因.

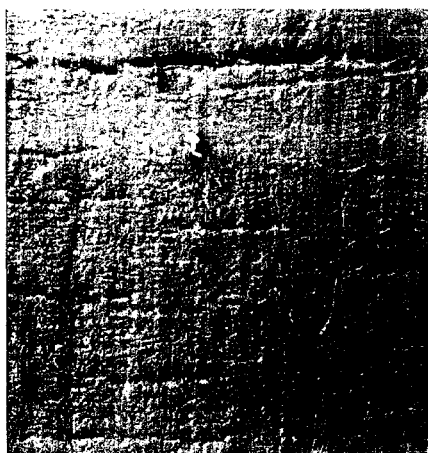


图7 电子扫描显微镜下,加过长期高压实验的定位子表面裂纹^[1]

(2)制造定位子的材料是美国杜邦公司生产的.该公司的专家利用极化电子显微镜对定位子材料的分子结构进行了分析(定位子是由科罗拉多州立大学送去的),发现科罗拉多提供的定位子表面聚甲醛分子结晶不完善(图 8),而结晶不完善的原因可能有两个:

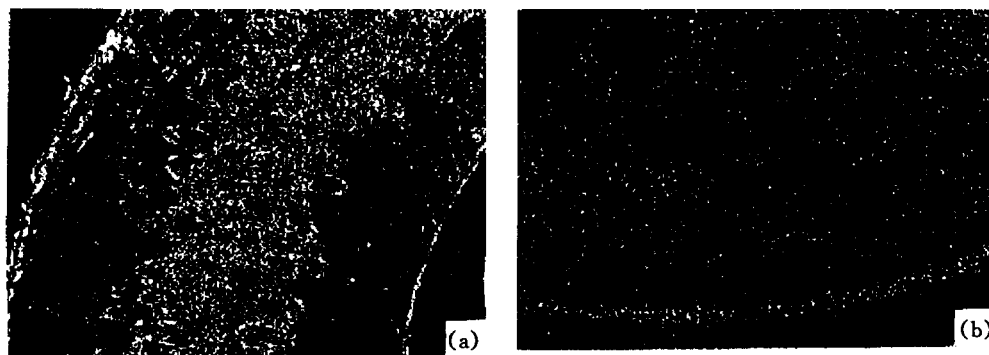


图8 聚甲醛分子结构图^[3]

(a) 结晶完好的样品; (b) 结晶不好的定位子.

A. 注塑时模具温度太低. B. 注塑时熔化了了的甲醛温度太低^[2].

(3)经科罗拉多州立大学与注塑公司核实,该公司在制造 BES-II 主漂移室定位子时在注塑中并没有遵守杜邦公司对聚甲醛材料规定的温度范围,他们的模具温度确实低(规定最低为 200°F,该公司用的是 80°F). 这使得定位子的聚甲醛结晶不完善,定位子制成后表面继续收缩,时间一长(约 1 年以后)表面就会出现微小裂纹,该裂纹在电场的长期作用下会逐渐扩大产生微放电,形成大的暗电流和随机噪声,甚至把定位子击穿^[1,3].

(4)将定位子送到中国科学院化学研究所分析测量,他们在做了红外光谱分析、在有机溶剂中溶解性分析及热分析之后指出:定位子的不良性能与加工条件有关,是制造过程中引起的内在质量问题^[4].

5 结束语

一种以聚甲醛为原料,采用注塑工艺制造的漂移室定位子有很短的使用寿命,表现为漂移室暗电流、随机噪声的增加及定位子击穿. 它不但与使用时间及所加的电压值有关,而且受环境温度的影响. 定位子不良性能的根本起因在于注塑时使用的模具温度太低,使得定位子表面聚甲醛分子结晶不完善,产生裂纹.

该工作得到中国科学院高能物理研究所物理一室很多同志的关心和支持,特别是郑志鹏、王书鸿、李卫国、孟祥承、刘中秀、刘靖、毛泽普、白景芝、李小南、朱启明等同志给予了大量帮助. 作者在此表示衷心感谢. 作者诚挚地感谢中国科学院化学研究所,中国科学院电工所及美国科罗拉多州立大学. 美国杜邦公司所给予的宝贵支持和帮助.

参 考 文 献

- [1] Malchow R, Toki W. Preliminary Report on Our Analysis of the MDC-II Feedthroughs. Internal Report of the BES Collaboration, May, 1997
- [2] E. I. Dupont de NEMOURS & INC. Microstructural Analysis Report. Internal Report to Colorado State University, April, 1997
- [3] Toki W. Test Results of MDC-II Feedthroughs. Internal Report of the BES Collaboration, May, 1997
- [4] Institute of Chemistry, The Chinese Academy of Sciences. Report on the Quality Analysis of Feedthroughs in the MDC-II Made in USA. Internal Report to The Institute of High Energy Physics, The Chinese Academy of Sciences, May, 1997

Study of the Unusual Performances of One Type Drift Chamber Feedthrough

Wang Yunyong Wang Shaomin Mao Huishun Liu Rongguang Li Rubai Li Jin
Song Xiaofei Zhang Jian Zhang Dehong Jin Yan Huang Jundong Ke Zunjian
Gao Shuqi Xie Peipei Yan Jie Gu Jianhui Li De

(Institute of High Energy Physics, The Chinese Academy of sciences, Beijing 100039)

Abstract The unusual performances of one type of drift chamber feedthrough have been studied. It is an aging effect. The relationship of dark current and random noise with time, high voltage and temperature has been tested.

Key words drift chamber, feedthrough, aging effect, dark current, random noise, high voltage, temperature