

第4届

全國高能物理學術會議

论文集

上海

中国核物理学会

一九九〇·十一

TL-5/30

前 言

自1987年末, 固体核径迹探测器的研制及其在国民经济各领域中的应用取得了很大的进展。为了及时交流研究成果, 促进固体核径迹探测器研究和应用工作的发展, 受中国核物理学会委托, 由上海市放射医学研究所负责, 在上海市核学会和上海原子核研究所的关心支持下, 于1990年11月7日至10日在上海市放射医学研究所召开第四届全国固体核径迹探测器会议。会议共收到论文59篇, 内容包括固体核径迹探测器的研制, 径迹显示技术及其在核物理学、高能物理学、生物医学、环境科学、地质学、铀矿勘测、中子剂量学、辐射防护等领域中的应用, 以及核孔膜的制备和应用等。现将全部论文分类汇编成册, 供有关单位及研究人员内部参考交流。

中国核物理学会

上海市放射医学研究所

第四届全国SSNTD会议筹备组

1990年11月

第四届全国固体核径迹探测器会议论文目录

CSR 固体核径迹探测器的参杂剂选优	庞德聆等
CSR 环境氩监测器	庞德聆等
采用 CSR 氩探测器测量环境和不同类型建筑物 内氩水平的调查研究	张政国等
CSR 探测器在我国部份城市氩气测量中的应用	施锦华等
用 CSR 环境氩监测器调查上海市建筑物内氩水平	庞德聆等
固体核径迹探测器对郑州地区氩气分布初步研究	杨庆国等
固体核径迹探测器和火花计数器在氩监测上的 应用	陈 凌等
国际原子能机构 1989 年核径迹测氩培训班介 绍	张怀钦等
裂变径迹定年技术及应用的新进展	王世成等
裂变径迹定年 Zeta 校正常数的测定	王世成等
磷灰裂变径迹技术在盆地模拟系统中的应用	冯 石等
胶北郭家岭花岗岩和青岛崂山花岗岩中磷灰石 一榍石的裂变径迹年龄	杨国杰等
兰州九州台黄土中石膏裂变径迹年龄测定及黄 土形成时代探讨	陈怀录等
琼雷地区玻璃陨石的裂变径迹年龄	胡瑞英等
磷灰石裂变径迹在地质环境中退火规律的研究	王世成等
用磷灰石中封闭裂变径迹长度研究热历史	康铁笙等
利用裂变径迹最大投影长度确定矿物的蚀刻灵 敏度	康铁笙等

不同混合酸蚀刻体系揭示锆石中裂变径迹之比较	翟鹏济
不同蚀刻条件下揭示的锆石裂变径迹的角分布	翟鹏济
锆石裂变径迹蚀刻新技术	翟鹏济等
塑料核径迹探测器在空间辐射生物学研究中的应用	黄荣庆等
天然钍在小白鼠体内的分布	程玉麟等
有害微量元素——钍在饮料中	程玉麟等
核径迹探测技术在环境科学中的应用	程玉麟等
聚酰胺孔膜制备工艺初步探索	徐桂凤等
核孔滤膜用于净化处理油田注水的研究	鲁祖德等
应用 CSR 探测器测量快中子通量	程玉麟等
用裂变径迹法测量强中子源的中子注量分布	杨化中
用 CR-39 研究 200AGeV 硫碎片的作用特性	任国孝

CSR 固体核径迹探测器的掺杂剂选优

庞德聆 马国才

(上海市放射医学研究所)

摘要 用 CR-39 单体以及掺入甲基丙烯酸甲酯, 苯二甲酸二丙酯, 邻苯二甲酸丁酯、邻苯二甲酸二(2-乙基己)酯等聚合成不同品种的 CR-39 塑料核径迹探测器。经 5.15 MeV α 粒子照射试验表明, 各种掺杂剂具有不同的效应。在 CR-39 单体中掺入 1% DPA 制得的新型 CSR 固体核径迹探测器具有比原 CR-39 更高的灵敏度。

关键词 电介质径迹探测器 聚合物

一 引言

CR-39 塑料核径迹探测器已在放射卫生, 高能物理、核物理学领域得到广泛的应用。以对放射性粒子的响应为核心, 向新品种 CR-39 的扩展性研究, 更具有实际意义^[1, 2]。

我们在原 CR-39 制备基础上^[3], 采用中国现场统计研究会倡导的正交设计法^[4], 用多种高分子化合物掺入塑料探测器, 以期改进 CR-39 探测性能。

二 探测器系统设计

热固性树脂二甘醇双烯丙基碳酸酯 (ADC) 单体, 按游离基型聚合体系, 选用爆炸危险性小的过氧化苯甲酰 (BPO) 作引发剂。根据实验要求, 在单体中加入引发剂, 掺杂剂等配料, 搅拌均匀

除去气泡和杂质。参考 Dial's 聚合动力学模型原理,找出适当温度——时间固化曲线,用微机控制鼓风烘箱,把聚合速率控制在稳定的水平,以得到均匀的探测器。

三 掺杂剂正交设计试验

考虑到某些高分子化合物可能影响探测器的探测性能,本试验以四种国产高分子化合物作筛选对象。掺杂剂名称和生产厂名为:

甲基丙烯酸甲酯	(MMA)	上海珊瑚化工厂
苯二甲酸二丙酯	(DPA)	上海试剂一厂
邻苯二甲酸丁酯	(DBP)	上海溶剂厂
邻苯二甲酸二(2 一乙基己酯)	(DIOP)	上海试剂一厂

(一) 考核指标

相对灵敏度 (γ), 即一定能量 α 粒子垂直径迹直径 (d) 与蚀刻失厚 ($H_0 - H$) 之比值。

H_0 、 H 为探测器蚀刻前、后厚度 (μm), 分别用精度为 $1\mu\text{m}$ 的螺旋测微器测得。用 α 粒子能量为 5.15MeV 的 ^{239}Pu 源贴照探测器, 经适当时间后, 在 75°C , 6mol/L NaOH 溶液中蚀刻 16 小时, 冲洗晾干后, 在 15×45 倍显微镜下测二十个垂直照射径迹直径, 并求得其平均值。

(二) 因素和位级

考虑用四种掺杂剂, 各三个用量进行试验。每种掺杂剂都存在着使用与否的可能性, 所以对它们, 都有一个掺入量为 0 的位级。表 1 列出了因素和位级情况。

表1 掺杂剂试验的因素和位级

位 级	MMA (%)	DPA (%)	DBP (%)	DIOP (%)
1	0	0	0	0
2	3	1	0.67	0.5
3	6	2	1.34	1.0

(三) 试验方案和结果分析

采用能安排四个三位级因素的 $L_9(3)^4$ 正交表。现将试验方案, 试验结果以及计算结果一并列于表2。

表2 掺杂剂试验方案和结果

试验号	MMA	DPA	DBP	DIOP	r
1	1(0)	1(0)	3(1.34)	2(0.5)	0.32
2	2(3)	1	1(0)	1(0)	0.48
3	3(6)	1	2(0.67)	3(1.0)	0.20
4	1	2(1)	2	1	0.50
5	2	2	3	3	0.21
6	3	2	1	2	0.51
7	1	3	1	3	0.39
8	2	3	2	2	0.42
9	3	3	3	1	0.36
I	1.21	1.00	1.38	1.34	
II	1.11	1.22	1.12	1.25	3.39
III	1.07	1.17	0.89	0.80	
R	0.14	0.22	0.49	0.54	

试验结果表明,第6、4号条件的相对灵敏度较高分别为0.51和0.50;第3、5号条件的相对灵敏度较低,分别为0.20和0.21。

由四列的极差R大致看出DIOP、DBP是重要因素,DPA是较重要因素,而MMA是影响较小的因素。

从DPA列的 $(II-I)/(I+II+III)$ 比值表明,掺入1% DPA后相对灵敏度可望提高6.5%。

对每种掺杂剂以其所占ADC重量的百分比作为横座标,相对灵敏度之和为纵座标,画出三个位级的相应点,得出各因素的趋势图,见图1。

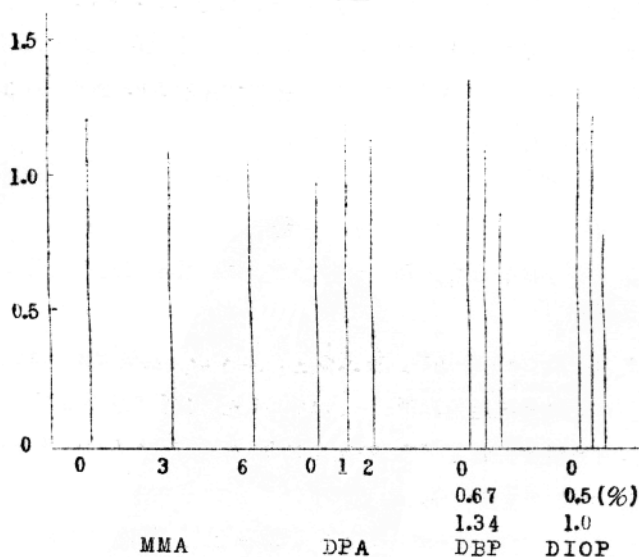


图1 掺杂剂与灵敏度的趋势图

从趋势图可以形象地看出相对灵敏度随各掺杂剂用量变化的大体关系。随着DIOP和DBP用量的增加,相对灵敏度会明显下降。DPA用量以1%为最好,但加至2%时,又会使相对灵敏度下降。掺入MMA后,相对灵敏度仅有轻微下降趋势。

再看结果较好的第6、4号条件,也是掺入1% DPA以及不掺或少掺DIOP和DBP,至于第3、5号条件,由于同时掺入较多的DIOP和DBP,使结果列为最差。

综上所述,在探测器配方中,应该忌用DIOP和DBP二种掺杂剂,为了提高探测器的相对灵敏度,宜选用DPA为掺杂剂,其用量为ADC重量的1%。

我们再在上述试验基础上,对有效的掺杂剂、搅拌、固化等条件的位级作加密试验。结果表明,DPA用量在0.5~1.5%范围内,对探测器相对灵敏度无明显差异,反复制备试验得到的探测器相对灵敏度稳定在0.52左右。我们把这种掺有DPA的CR-39探测器,定名为CSR固体核径迹探测器。

四 讨 论

掺入含不同官能团的高分子化合物,对探测器相对灵敏度的影响是不同的。

P. B. Price曾报导,掺入少量苯二甲酸酯类的CR-39片可获得较好的光学性能和径迹一致性。但是,他同时发现这种探测器的相对灵敏度降低了⁽¹⁾。在我们的实验中,掺入DIOP和DBP的探测器相对灵敏度下降也很明显。

掺入MMA对探测器相对灵敏度影响不大,这可考虑作为降低成

本的一种途径。

在ADC单体中掺入1% DPA 制得的探测器相对灵敏度可提高6.5%，因此进一步研究热固性树脂分子结构与灵敏度的关系，特别是苯二甲酸酯类上的丙烯基或烯丙基官能团的作用，有可能找到提高探测灵敏度的新系列掺杂剂。

参 考 文 献

1. P.H.Fowler, Solid state nuclear track detectors, Oxford Pergamon, (1982), 929-932.
2. M.Fujii, Nuclear Tracks, 12(1986), 1-6:55.
- 3 庞德聆, 核技术, 11(1988), 9:40
- 4 中国现场统计研究会三次设计组, 正交法和三次设计, 科学出版社 1985.

CSR环境氡监测器

庞德聆 马国才 周智新

(上海市放射医学研究所)

摘要 研制了一种新型的无动力累积氡监测器。这种监测器只需在扩散室内安置一片新型CR-39(DPA)固体核径迹探测器便可制成。统计分析表明,它的可测下限为 $2.2\text{Bq}\cdot\text{m}^{-3}\cdot\text{月}$ 。这种装置具有灵敏可靠、使用方便等特点,且适用于各种氡监测场所。

关键词 电介质径迹探测器 扩散室 聚合物 氡-222 氡监测器

一、引言

据联合国原子辐射效应科学委员会(UNSCEAR)1982年估计每年由于吸入氡及其短寿命子体而产生的辐射剂量约占人类受放射性内照射剂量的40%以上⁽¹⁾,因此环境氡是一个引人注目的公共卫生问题。

CR-39固体核径迹探测器是一种无动力、累积式探测器。它具有灵敏、稳定、透明等特点,在国际上已作为监测环境氡的有效手段,而在国内未见报导。但是现有的CR-39探测器灵敏度和本底径迹密度还存在很大差异,影响测量可靠^(2,3)。为此,在CR-39扩展性研究基础上⁽³⁾,研制了一种灵敏、本底低、均匀、稳定的CSR氡监测器。

二、结构和原理

C S R 环境氦监测器由 C S R 固体核径迹探测器、扩散盒和高效滤料等三部分组成。探测器是一种新型 C R - 3 9 (D P A) 材料, 它用二甘醇双烯丙基碳酸酯、苯二甲酸二丙烯酯和过氧化苯甲酰等高分子化合物热固聚合成, 具有灵敏、均匀的探测性能和稳定、低本底的质量。扩散盒呈圆盒状, 是聚乙烯模塑制品, 盒内高 1 7 mm, 内径 3 8 mm, 盒内底部中央粘贴一片 $17.5 \times 17.5 \times 0.22$ mm 的 C S R 探测器。盒开口处用多孔盒盖封装滤料。滤料允许氦气自由通过, 而阻挡氦子体进入, 见图 1。扩散盒内的氦气及它的子体产生的 α 粒子照射探测器, 由于电离作用产生的 δ 电子二次电离切断了 α 粒子沿途的化学键, 引起了辐射损伤径迹。探测器在特定的温度、浓度和一定时间的碱液中蚀刻, 经水漂洗后在显微镜下进行径迹计数, 每单位面积径迹计数 (径迹 $\cdot \text{cm}^{-2}$) 与氦累积浓度 ($\text{kBq} \cdot \text{m}^{-3} \cdot \text{h}$) 成正比。

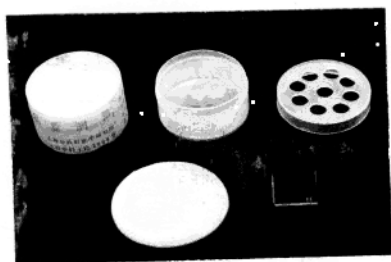


图 1 氦监测器结构

三、刻 度

采用非恒定浓度累积氦刻度室⁽⁵⁾进行刻度。刻度室容积为15.5升,氦源是固体铀镭粉末。在刻度室内封闭三天的氦累积浓度为 $24.4 \text{ kBq} \cdot \text{m}^{-3} \cdot \text{h}$ 。经刻度室照射的CSR探测器,在 75°C 、 6 mol/L NaOH 溶液中蚀刻16小时,用水漂洗凉干后,在 8×15 倍相衬显微镜下进行径迹计数,并记录观察面积,求得刻度片总径迹密度。为了满足计数统计学上的要求,使相对标准差低于10%,每片探测器至少计100个径迹。对未经使用的CSR片在同样蚀刻条件和镜检条件下,作全面积计数,求得本底径迹密度。

刻度系数是指扣除本底后的净径迹密度除以受氦照射的累积浓度。

表1列出了不同批号氦监测器的刻度系数和本底径迹密度数据。氦监测器样品是在相同条件下制得的五批产品,每批随机抽取十个试样分二组,随即进行刻度系数和本底径迹密度试验。从表1可见五批氦监测器刻度系数间无明显差异,本底径迹密度也无明显差别,

表1 不同批号的刻度系数和本底

批号	刻度系数(径迹 $\cdot \text{cm}^{-2} / \text{kBq} \cdot \text{m}^{-3} \cdot \text{h}$)		本底	(径迹 $ / \text{cm}^2$)	
	样品数	均值 $\pm$ 标准差	样品数	均值 $\pm$ 标准差	
516	5	4.06 ± 0.290	5	0.068 ± 0.152	
521	5	3.75 ± 0.318	5	0	
526	5	3.53 ± 0.335	5	0.0658 ± 0.147	
602	5	3.93 ± 0.383	5	0.0664 ± 0.148	
622	5	3.63 ± 0.208	5	0.0656 ± 0.147	
	25	3.78 ± 0.346	25	0.0532 ± 0.124	

五个平行样品的刻度系数相对标准差在10%以内。五批二十五个氡监测器刻度系数均值±标准差为 378 ± 0.346 径迹·cm²/kBq·m⁻³·h, 相对标准差为9.2%, 本底径迹密度均值±标准差为 0.0532 ± 0.124 径迹·cm⁻², 相对标准差为233%。

表2列出了一年内不同贮存期氡监测器刻度系数和本底径迹密度的数据。同一批九十个氡监测器随机分成十八组, 每组五个样品, 按九组不同贮存期分别进行刻度系数和本底径迹密度试验。从表2可见, 一年内九组不同贮存期氡监测器刻度系数差别无显著意义, 而本底径迹密度呈逐月增高的趋势。九组贮存期四十五个氡监测器的刻度系数均值±标准差为 3.73 ± 0.258 径迹·cm⁻²/kBq·m⁻³·h, 相对标准差为6.9%。从刻度系数来看, 氡监测器具有良好的均匀性和稳定性。

表2 不同贮存期刻度系数和本底

贮存期(d)	刻度系数 (径迹·cm ⁻² /kBq·m ⁻³ ·h)		本底 (径迹/cm ²)	
	样品数	均值±标准差	样品数	均值±标准差
3	5	3.65 ± 0.255	5	0
6	5	3.70 ± 0.186	5	$6.57 \times 10^{-2} \pm 0.147$
9	5	3.56 ± 0.292	5	$6.57 \times 10^{-2} \pm 0.147$
30	5	3.92 ± 0.193	5	0.728 ± 0.280
60	5	3.66 ± 0.207	5	1.24 ± 0.415
90	5	3.85 ± 0.238	5	2.59 ± 0.364
180	5	3.91 ± 0.218	5	3.27 ± 0.378
270	5	3.80 ± 0.243	5	5.00 ± 1.17
360	5	3.50 ± 0.283	5	8.46 ± 1.91
	45	3.73 ± 0.258		

四、氡平均浓度和误差计算

氡平均浓度的关系式是

$$C = \frac{(N/A) - B}{K \cdot t} \times 100 \quad (1)$$

式中：C — 氡平均浓度 (Bq/m³)

N — 样品径迹计数 (径迹)

B — 本底径迹密度 (径迹/cm²)，实验测得

A — 计数面积 (cm²)

K — 刻度系数 (径迹·cm⁻²/kBq·m⁻³·h)

t — 监测时间 (h)

由于误差的常规传递，氡平均浓度的相对标准差能通过式(2)估算

$$R = \sqrt{\frac{N + S_B^2 A^2}{(N - BA)^2} + \frac{S_K^2}{K^2}} \quad (2)$$

式中，R — 氡平均浓度相对标准差

S_B — 本底径迹密度标准差 (径迹/cm²)

S_K — 刻度系数标准差 (径迹·cm⁻²/kBq·m⁻³·h)

采用 Thomas 限定的能测到 50% 相对标准差时的氡累积浓度作为可测下限。可测下限取决于刻度系数，本底径迹密度和计数面积以及它们的标准差。对确定的监测器，可测下限的主要限制是计数面积。以贮存 6 个月的氡监测器为例，不同计数面积的可测下限列于表 3。当计数面积为 30 mm² 时就足以去测量 5.8 Bq·m⁻³ 水

表3 计数面积与可测下限

计数面积 (mm^2)	可测下限 ($\text{Bq} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{月}$)
10	15.5
30	5.8
100	2.2

的平均室外氡浓度, 此时的照射时间也仅需1个月。

用CSR氡监测器监测了不同场合环境氡浓度。表4列出了不同场合环境氡监测数据。

表4 环境氡监测数据

地 点	监测点	氡浓度 ($\text{Bq} \cdot \text{m}^{-3}$) 均值 $\pm$ 标准差
公园	5	5.7 ± 1.4
过江隧道	10	21.7 ± 4.3
地下室病房	10	26.3 ± 10.2
地下室仓库	3	140 ± 14
砖墙砂浆面住房	2	26.5 ± 2.9
煤渣砖砂浆面住房	2	67.7 ± 2.8
一般实验室	5	17.2 ± 3.3
镭铍源室	5	2361 ± 256

从表4中可见, CSR氡监测器的可测范围很大,从几至几千 $\text{Bq} \cdot \text{m}^{-3}$ 的氡浓度均能测定,平均氡浓度标准差反映了同类环境房间或监测点的差异。

根据UNSCEAR 1982年提出,氡浓度与非职业照射年有效剂量当量的转换系数为 $29.5 \mu\text{Sv} \cdot \text{y}^{-1} / \text{Bq} \cdot \text{m}^{-3}$ (1)。我们可从氡浓度估算出相应的年有效剂量当量。例如在氡浓度为 $26.5 \cdot \text{Bq} \cdot \text{m}^{-3}$ 的一般住房内年有效剂量当量为 0.78 mSv 。

五、讨 论

1、非恒定浓度累积氡刻度室内各点氡浓度是均匀的每次刻度的重现性也较好,相对误差为10%左右,多个氡监测器的刻度具有良好的可比性。

2、为了验证刻度的可靠性,参加了全国累积氡监测器刻度。在核工业第六研究所 13.5 m^3 标准氡室的三种条件下,对CSR氡监测器进行刻度。表5列出了刻度条件和数据。从表5中可见CSR氡监测器在标准氡室三种条件下刻度系数是接近的,十二个氡监测器的刻度系数均值 $\pm$ 标准差为 3.75 ± 0.44 径迹 $\cdot \text{cm}^{-2} / \text{h} \cdot \text{Bq} \cdot \text{m}^{-3}$ 。它与用非恒定浓度累积氡刻度室得到的刻度系数亦无明显差异。实验结果,验证了刻度的可靠性。