

驻极体在环境测氡中的应用

北京放射医学研究所 (北京, 100850) 高爱国 综述 杨世魁 王功鹏 王斐华* 审核

摘要:驻极体是具有永久电偶极子的电介质。利用其静电场收集离子的特性,可使测氡装置具有体积小、重量轻、灵敏度高和成本低等优点。本文介绍了驻极体在热释光剂量计和固体核径迹探测器测氡法中的应用以及被动式驻极体环境氡监测器的性能。

关键词:驻极体 环境氡监测

驻极体是具有永久电偶极子的电介质,电介质材料为聚四氟乙烯或四氟乙烯^[1]。通过热处理、液体接触过程和电晕放电等方法使驻极体永久带电。驻极体产生的静电场可收集周围空气中的离子,利用这一特性,可用在热释光剂量计(TLD)或固体核径迹探测器(SSNTD)测氡法中,提高测量灵敏度。Kotrappa^[2]发现驻极体表面电荷密度下降正比于累积氡浓度,故可用于测量氡浓度,并由此研制了一种新型探测器——被动式驻极体环境氡监测器(E-PERM),目前已应用于环境氡的测定。

1 在 TLD 或 SSNTD 环境测氡中的应用

由于环境氡浓度受气象和地理等多种因素影响而变化,因而估算公众吸入氡所致剂量多采用累积测氡法。TLD 被动式积分氡测量方法其灵敏度较低,测量环境氡周期较长。用电池在采样小室内形成收集氡子体的静电场可收集氡子体²¹⁸Po^[3],从而提高测量灵敏度。但这类仪器体积较大、较重、成本较高,而用驻极体可使装置具有成本低、重量轻、体积小、收集效率高等优点,可大大提高测氡灵敏度。

1.1 驻极体采样室的结构

采样室一般由探测组件、过滤窗、采样桶组成。探测组件由一圆盘形驻极体和放在其上的 TLD 元件组成^[4]。过滤窗由过滤膜和压片组

成,可防止灰尘和氡子体进入采样室。室内可放置干燥效率较高的干燥剂 P₂O₅。采样桶大小和形状可根据驻极体电场和有效收集体积进行最优化设计。

1.2 驻极体收集氡子体的原理^[5]

驻极体表面电荷密度 σ 和电压 V 之间的关系为:

$$\sigma = \epsilon_r \epsilon_0 V / h \quad (1)$$

式中: ϵ_r 为电介质相对介电常数; ϵ_0 为真空中的介电常数; h 为驻极体电介质材料的厚度。表面电荷密度均匀的双极性驻极体在通过驻极体中垂线上一点 p 处形成的电场强度 $E(x)$ 为:

$$E(x) = \frac{\epsilon_r V}{2} \left(\frac{d^2}{(d^2 + x^2)^{(3/2)}} \right) \quad (2)$$

式中: d 为圆盘形驻极体直径; x 为 p 点到驻极体的垂直距离。对于不在中垂线上的任一点 Q , 当 Q 到圆盘中点的距离 $x \gg d$ 时

$$E(x) = \epsilon_r V / 2 \cdot d^2 \cos\theta / x^3 \quad (3)$$

氡衰变产生的 ²¹⁸Po⁺ 在场强为 E 的空气中的迁移距离 $d = KE\tau$, K 是迁移率, τ 是 ²¹⁸Po⁺ 在空气中的平均寿命。空气湿度对 τ 值有较大影响。这样由扩散进入采样室的氡形成的子体 ²¹⁸Po⁺, 在电场作用下, 绝大部分被吸附到 TLD 或 SSNTD 上^[6], 实现被动积分测量采样工作。

1.3 性能研究

装有驻极体的探测器的刻度同一般的累积测氡仪器的刻度相类似。探测器的响应与所受的氡暴露量 E_{Rn} 成正比, 即:

$$X = R \cdot E_{Rn} = R \cdot \int_0^T C(t) dt = R \bar{C} t \quad (4)$$

式中: R 为刻度因子。对 TLD 元件, 单位为 $C \cdot kg^{-1} / (Bq \cdot m^{-3} \cdot h)$; 对 SSNTD 方法, 单位为径迹数 / $(mm^2 \cdot Bq \cdot m^{-3} \cdot h)$ 。 R 值大小受仪器特点、刻度方法和环境条件的影响。一般应给出不同条件下的 R 值。

影响收集效率的因素有: 采样室体积、形状, 驻极体表面电荷密度, 驻极体的面积和厚度等。由于 $^{218}Po^+$ 的迁移距离与驻极体的电压成正比, 收集效率 ϵ 随电压的升高而增加。当离子迁移距离大到与采样室体积相当时, 收集效率达到饱和。因此, 驻极体的电荷密度应限制在一定范围, 其下限应保持在饱和收集效率上, 以不引起离子倍增过程为上限。驻极体直径大小对收集效率也有较大影响。单位面积上的收集效率随直径增加而降低, 因此驻极体直径可在 1.2~5cm 之间由实验确定。采样小室的体积较小时, 收集效率随体积增加而线性增加, 报道的体积有 10 升、3.46 升^[7]。

相对湿度对收集效率也有明显影响。对于 ^{222}Rn 而言, 当相对湿度从 15% 上升到 75% 时, 收集效率可从 68% 降低到 38%^[2], 说明空气湿度对 $^{218}Po^+$ 的平均寿命有较大的影响。因此为消除湿度影响, 应在采样室内放置干燥剂。

用驻极体可大大提高测氡灵敏度, 与不加驻极体情况相比, 灵敏度可提高 100~500 倍。肖德涛等人^[7]在采样 48 小时, 用 $CaSO_4:Tm$ 元件测定的探测下限为 $3.82 Bq \cdot m^{-3}$ 。

2 被动式驻极体环境氡监测器(E-PERM)

2.1 E-PERM 的组成

监测器由驻极体、离子测量室和表面电位仪等组成^[8]。驻极体是由聚四氟乙烯制造的圆盘, 其厚度可依据测量周期而定。使用时放入

导电的夹持器, 再装入离子室中。驻极体即作为静电场源, 又是灵敏的测氡元件。离子测量室用低密度材料制造, 以减小环境 γ 辐射的影响, 其作用是使驻极体在室内产生稳定电场。电位仪用来测量驻极体表面电位, 可用电容探针法测量, 测量结果用液晶显示。

2.2 测氡工作原理

含氡空气经过滤扩散进入离子测量室, 在室内形成的短寿命子体发射的 α 粒子使空气电离, 产生正负离子对。离子在驻极体静电场中漂移^[9], 带正电荷的驻极体收集负离子, 其表面电荷和收集到的离子中和, 而引起驻极体电位下降。正离子则运动到室壁上并被吸附。驻极体的电位降正比于氡暴露量, 通过测量电位降可求出待测空气中的氡浓度。

2.3 动态范围

驻极体收集效率与驻极体电位有关。为使探测器正常工作, 驻极体电位应有一确定范围。在 200~750(V) 范围内的电压降与累积氡浓度线性相关。这一范围对设计不同的 E-PERM 可转换为极限累积氡暴露量。如体积为 $1250 cm^3$ 的 E-PERM-1 型^[8] 的极限累积氡暴露量为 $890 Bq \cdot m^{-3} \cdot h$ 。

2.4 环境参数的影响

湿度对 E-PERM 的影响较小, 已有专门用于测水中氡浓度的探测器^[10]。天然 γ 辐射对测量结果有一定影响, 可以用刻度对 γ 辐射的影响加以修正。也可根据 $10^{-4} mGy/h$ γ 辐射的当量浓度为 $32 Bq \cdot m^{-3}$, 建立线性关系加以修正。

2.5 E-PERM 的性能参数^[8]

驻极体厚度和探测器的结构对 E-PERM 的性能有较大影响。表 1 列出了不同厚度驻极体和不同体积下刻度因子等性能参数值。

2.6 误差分析

文献^[8]对 E-PERM 的误差进行了分析。响应几乎与驻极体厚度有线性关系。若驻极体厚度变化为 7%, 则由此导致的不确定度为 $\pm 7%$ 。面积不确定度为 $\pm 2%$, 体积不确定度为

表1 E-PERM 的性能参数^[1]

| 型号 | 体积 | 驻极体厚度 | 刻度系数 | 动态范围 |
|----------|-----------------|--------|---------------------------|-----------------------|
| | cm ³ | cm | V/(Bq·m ⁻³ ·h) | Bq·m ⁻³ ·d |
| E-PERM-1 | 1 250 | 0.23 | 0.486 | 888 |
| E-PERM-2 | 220 | 0.23 | 0.0681 | 5 735 |
| E-PERM-3 | 220 | 0.0127 | 0.00535 | 74 444 |
| E-PERM-4 | 40 | 0.23 | 0.00946 | 32 634 |
| E-PERM-5 | 40 | 0.0127 | 0.000195 | 523 624 |

±2%，刻度误差为±5%，统计误差可忽略不计。因此，总的不确定度可达±9%。

2.7 E-PERM 的优缺点

E-PERM 性能在一般环境条件下与湿度无关，电压读数迅速，无破坏性，可反复使用。其设计可根据灵敏度和测量范围确定，为无动力型。但单一的 E-PERM 难以满足室内测量的所有要求，使用、保存需有一定的保护方法，对天然 γ 辐射较灵敏，刻度时应有所考虑。

参 考 文 献

1 Kotrappa P et al. Health Phys, 1990,58(4):461
 2 Kotrappa P et al. Health Phys, 1981,41(6):35-46

3 Iida T et al. Health Phys, 1988,54(2):139-147
 4 Kotrappa P et al. Health Phys, 1982,43(3):399
 5 田志恒等. 核电子学与探测技术, 1991,11(1):26
 6 Maiello M Harley N. Health Phys, 1987,53(3):301-305
 7 肖德涛等. 中华放射医学与防护杂志, 1994,14(4):249-252
 8 Kotrappa P et al. Health Phys, 1988,54(1):47-56
 9 Fallone BG et al. J Appl Phys, 1983,54(9):4739-4748
 10 Kotrappa P et al. Health Phys, 1993,64(4):397-405

(收稿日期: 1994-11-22)

·信息高速公路·

●高敏感度中子薄膜

日本原子能研究所与富士胶片公司合作，开发成功一种重复使用多次，且敏感度提高100倍、信息量提高1000倍的中子照相干板，被命名为“高性能中子照相胶片”。

这次开发出的中子照相胶片(中子图像感光板)，是将中子俘获物质(Gd₂O₃, LiF 等)与辉尽性荧光物质(BaFBr:Eu)的微细粉末混合涂敷在聚对苯二甲酸乙二酯胶片上的一种产品。该产品的问世，不仅对生物物质的构造分析和物体内部活动状态的高精度观察作出了贡献，而且对于非破坏性检查，环境放射性检测等新领域的应用也有乐观的前景。

●第九届国际癌症治疗的化学修饰剂会议将于1995年8月在英国牛津召开

这次会议议题围绕癌症放射治疗和化学治疗的化学修饰剂展开讨论。会议内容集中在分子和细胞生物学、生物化学、药理学、放射生物学、化学、物理学及肿瘤学等方面，目的是提出改进和提高常规癌症治疗的新战略。