

用镅—铍中子源刻度 CR—39 固体径迹探测器

王玉文, 库德热提, 高清志, 陈银德

中图分类号: R815.7 文献标识码: B 文章编号: 1004-714X(2002)04-0246-01

【摘要】目的 刻度 CR—39 固体径迹探测器。方法 用 1.85 GBq ²⁴¹Am—Be 中子源的快中子辐射场对 CR—39 核径迹探测器进行剂量刻度实验。结果 在 CR—39 辐射面加质量厚度为 34 mg·cm⁻² 聚乙烯辐射体时径迹密度是不加的 3.14 倍, 70℃ 的 6.25 mol/L NaOH 溶液蚀刻 6 h 做为化学蚀刻条件, CR—39 对中子的探测效率为 7.42×10⁻⁵, 剂量当量刻度系数为 5.45 μSv/径迹·cm⁻², 探测下限为 40.0 μSv。结论 这种方法是有效可行的。

【关键词】 CR—39 核径迹探测器; ²⁴¹Am—Be 中子源; 中子; 中子个人剂量

固体核径迹探测器或称为电介质径迹探测器, 是 60 年代初兴起的一种核辐射径迹探测器。它是用各种绝缘体(如云母、玻璃与塑料等)薄片作为探测器材料, 来记录重带电粒子、裂变碎片、中子等径迹的探测器。其主要特点是对 β、γ 射线不灵敏, 不用供电系统和电子学线路, 能够连续记录和贮存径迹, 材料简单, 成本低廉, 使用方便。

固体核径迹探测器工作原理是, 具有一定动能的重带电粒子入射固体核径迹探测器时, 在它们穿过的路径上产生辐射损伤, 如晶格破坏、化学键断裂等。这种辐射损伤区域的直径只有几纳米(nm)。当受辐射损伤的材料在强酸强碱(蚀刻剂)内, 由于辐射损伤物质比未损伤物质的化学活动强, 辐射损伤物质较快地与蚀刻剂发生反应而溶解到蚀刻剂中, 沿辐射损伤物质部分产生蚀坑。经过蚀刻的材料, 蚀坑直径可达几百纳米, 可在普通光学显微镜下能观察到粒子的径迹。

由于现代新材料技术的迅猛发展, 性能优良的固体核径迹探测器 CR—39(聚丙稀碳酸酯)也相应诞生, 这种材料的灵敏度很高, 它可以记录能量为几 MeV 的质子的径迹, 因此可通过记录反冲质子的径迹来探测快中子和能量低至 150 keV 左右的中子。现常用于在中子场工作的职业受照人员中子个人剂量监测。

²⁴¹Am—Be 中子源是现今极为普及的同位素中子源, 广泛地用于工业、农业及科学实验中。本文用 1.85 GBq 的 ²⁴¹Am—Be 中子源快中子辐射场对 CR—39 探测器测中子个人剂量进行了实验。

1 材料与方法

1.1 测量仪器 CR—39 探测器(日本产, 卫生部工卫所提供), 恒温蚀刻槽(国产), 温控范围 37~100℃, 波动 ±0.5℃, 分析纯 NaOH 试剂(国产), 普通光学显微镜(日本产)。1.85 GBq ²⁴¹Am—Be 中子源(德国, 1980), 它是(α, n)反应型中子源, 发射的中子不是单能的, 半衰期为 462 a, 中子平均能量为 4.5

MeV, 属快中子。通常 ²⁴¹Am—Be 中子源中子的产额为 8.6×10⁻⁵(中子/s·Bq)^[1], 本实验所用的 1.85 GBq ²⁴¹Am—Be 中子源中子产额为 1.55×10⁵(中子/s)。

1.2 方法 为减少散射的影响, 选择面积近似无穷大新疆某湖面作为辐照场。将 100 mm×150 mm×1 mm 的 CR—39 探测器片在流蒸馏水中迅速冲洗, 然后用软绸吸去其表面上的水分^[2], 自然晾干, 装入 IRBM—1000 型 TLD 复合个人剂量计中, 在 CR—39 前面加盖一层新疆塑料厂生产的质量厚度为 34 mg·cm⁻² 聚乙烯塑料, 作为反冲质子的辐射体(经实验室筛选此材料反冲核效率较高), 每一距离将 6 个剂量盒固定在距水面 1.5 m 的平板上, 在布放剂量盒时要考虑靠源近的剂量盒不能妨碍后面的剂量盒的辐照, 保留 10 个剂量盒作为本底测量盒。探测器经 1.85 GBq 的 ²⁴¹Am—Be 中子源辐照 74 h, 将 CR—39 探测器取出后, 经 70℃ 的 6.25 mol/L NaOH 溶液化学蚀刻 6 h 后^[2], 用流的蒸馏水清洗, 酸洗, 蒸馏水清洗, 晾干, 用普通光学显微镜下观察蚀刻径迹。

2 结果与讨论

2.1 CR—39 辐射体的选择 选择聚乙烯(质量厚度为 34 mg·cm⁻²)为辐射体, 另一组不加辐射体, 测量结果见表 1。

表 1 加辐射体和不加辐射体时的径迹密度			
照射时间 (h)	样品数	无聚乙烯 (径迹数/cm ²)	有聚乙烯 (径迹数/cm ²)
24	5	742.6±126.4	2 456.9±363.4
48	5	1 169.2±106.6	3 997.7±758.4
72	5	2 551.1±316.0	6 865.1±1 153.4

由表 1 得出, 加质量厚度为 34 mg·cm⁻² 聚乙烯辐射体时径迹密度是不加的 3.14 倍, 加辐射体提高 CR—39 的探测效率是显著的。

2.2 刻度结果, 结果见表 2

表 2 刻度测量结果						
距源距离 R(cm)	样品数	净径迹密度 (×10 ⁻³ 径迹/s·cm ²)	中子参考密度 (中子/s·cm ²)	探测效率 (×10 ⁻⁵)	剂量当量率 (×10 ⁻⁸ Sv/s)	刻度系数 (μSv/径迹·cm ²)
7.5	6	15.1±5.12	219.8	6.85	8.68	5.77
10.0	6	9.19±1.78	123.6	7.43	4.88	5.32
12.5	6	5.97±0.89	79.1	7.55	3.13	5.23
15.0	6	3.70±0.33	54.9	6.74	2.17	5.86
17.5	6	2.81±0.75	40.4	6.97	1.59	5.67
20.0	6	2.07±0.35	30.9	6.71	1.22	5.89
25.0	6	1.18±0.27	19.8	5.97	0.78	6.62
30.0	6	1.10±0.10	13.7	8.01	0.54	4.93
35.0	6	1.07±0.17	10.1	10.6	0.40	3.74

对 ²⁴¹Am—Be 中子源, 其剂量换算因子^[1]为 39.5×10⁻¹⁵Sv/中子m⁻², 表中给出了各距离的剂量当量率。用不同距离的单位

面积的径迹数和 1/R² 做相关分析, 相关系数为 0.9979。

用 1.85 GBq ²⁴¹Am—Be 中子源对 CR—39 探测器进行了剂量刻度, 在 CR—39 辐射面加质量厚度为 34 mg·cm⁻² 聚乙烯辐射体, 70℃ 的 6.25 mol/L NaOH 溶液化学蚀刻 6h 作为化学蚀刻条件, CR—39 核径迹探测器对中子的探测效率为 7.42×10⁻⁵, 剂量当量刻度系数为 5.45 μSv/径迹·cm⁻²。

作者单位: 1 新疆维吾尔自治区疾病预防控制中心, 新疆 乌鲁木齐 830011

作者简介: 王玉文(1966~), 男, 新疆奇台人, 从事放射卫生工作。

【研究动态】

呼吸道吸入天然钍(ThO_2)和稀土矿尘联合作用的研究简介

陈兴安¹, 高凤鸣¹, 王玉珍¹, 肖慧娟¹, 程永娥¹, 陈 莲¹, 杨英杰¹, 甄 荣¹
韩轩茂², 冯志良², 包向春², 国体健¹, 邓芸辉², 冯国栋², 付全明²

中图分类号: R146 文献标识码: C 文章编号: 1004-714X(2002)04-0247-01

内蒙古包头白云鄂博复杂矿是全世界最大的稀土资源, 也是我国大型钢厂——包头钢铁(集团)公司的主要矿源。该矿的开采利用至今已有 40 余年, 研究该矿在开采中所产生含钍稀土矿尘对矿工健康的影响, 是保护矿工身体健康和采取防护措施的科学依据, 其学术价值和经济意义都是十分重要的。

本研究课题先后得到国家自然科学基金委员会和国际原子能机构的资助, 自 1987 年起到 2002 年, 中间用了 8 a 时间, 采用多学科, 多层次的协同研究, 通过数千人和大量动物的实测数据, 其中包括流行病学调查、矿工职业查体、人肺内钍活度的测定; 以及动物实验, 钍在大鼠体内的排泄规律, 大鼠肺部所受剂量的估算、离体细胞培养试验、DNA 修复实验等, 各项研究结合起来, 综合分析, 成果显著。

特别是, 在研究手段上, 应用了高灵敏度的呼出气中钍活度测定装置, 此方法可测出受检测矿工肺内钍的沉积量, 是具有国际先进水平的。两年间(1994, 2001 年)对 246 名接尘矿工呼出气中钍活度的测定, 推算出相应肺内钍沉积量, 其结果表明这些矿工肺内钍的沉积量的最高值为 7.26 Bq, 未超过矿工肺内含钍的允许负荷(111.11 Bq)的 1/10。通过大量大鼠的动物实验, 对大鼠血清中的铜蓝蛋白和肺组织中羧脯氨酸进行两年的动态观察, 发现引起白云鄂博矿工尘肺的主要因子是 SiO_2 , 而钍的作用仅占 1/80。又通过对接尘矿工的周围血象和肝功能 4 项指标检查, 结果在国内外首先以事实证明: 只要矿工肺内的钍负荷不超过 11.11 Bq(相当于 2.73 mg 的天然钍)就不会影响其周围血象和肝功能, 反映钍进入血循环和肝的量很低。

本研究用前述的呼出气中钍活度测定装置, 测得矿工肺内含钍稀土矿尘沉积量, 发现当肺内含钍稀土矿尘沉积量达到 755mg 时, 就将引起 O^{+} 期尘肺的发生。为矿工的定期监测提

供了新的手段。

本研究在国内首先发现: 当大鼠肺组织接受钍的 α 粒子照射时, 其剂量若达到 0.35 Gy, 即能诱发肺癌, 但对离体细胞由 ThO_2 诱发的纤维肉瘤, 其剂量只需要 0.43×10^{-5} Gy。表明大鼠体内的免疫系统有阻止辐射致癌的作用, 这是国内外首先发现的。

最重要的发现是对白云鄂博矿 3 016 名接尘矿工进行肺癌死亡率的回顾性调查(人年数为 62 712 对照为 34 672), 与对照组对比, 同期(1994 年 1 月至 2001 年 3 月)接尘组增加了 10 例肺癌死亡病例, 而对照组无一例, 两组 SMR 差别十分显著 ($P < 0.005$), 这是首次发现的由于长期吸入较高浓度(该矿接尘车间空气中的矿尘浓度长期超标数倍至数十倍)的含钍稀土矿尘(含致癌源为 SiO_2 和 ThO_2 及其他未明物)和钍子体诱发的(平均诱发期为 38.5 a)的 10 例肺癌, 长期吸烟和采矿现场较高的 γ 照射的协同作用不能排除。其中 2 例病理诊断为鳞癌, 6 例为临床检查的 X 射线胸片诊断, 余 2 例资料不全。此发现结束了国内外长期认为上述矿尘只能引起混合尘肺的传统观念, 是历史性的重大突破, 具有重要的科学意义, 是本项目的主要创新点, 受到国际该专业权威人士的推崇和赞扬。充分显示了本研究工作的国际领先水平。

本研究还首先发现: 小剂量 ThO_2 的电离辐射能, 对大鼠的淋巴细胞 DNA 修复能力有增强趋势, 即增强机体的免疫功能, 这个现象很有理论和实际意义, 值得进一步深入研究。

有关资料除在国内发表外, 还列入有关专业国际会议上的报告内容。(1993 年澳大利亚、1994 年德国、1998 年法国、1999 年日本、2002 年 IAEA)。

本研究工作针对性强, 多数工作以被检工人肺内钍活度为基础的定量性和结合其他工作的量效关系, 对国内外其他稀土厂矿、各类含钍和矽尘作业的劳动条件、职工健康、卫生评价、防护措施、制定相应法规和标准, 以及促进有关学科发展, 提供了科学根据。具有巨大的经济效益、社会效益和重要科学价值。

此外, 有 5 篇论文被 WHO 的 IARC 专著第 78 卷收录并引用。有 2 篇被国际原子能机构 2001 年 2 月印发的“工业应用钍职业性辐射照射的防护”安全报告草稿收录和引用。

(收稿日期: 2002-06-23)

基金项目: 国家自然科学基金资助项目。项目编号: 3860285 (1987 年 1 月~1992 年 12 月)

国际原子能机构资助研究项目。IAEA 研究合同号: 7715/RB (1993 年 12 月 15 日~1994 年 12 月 15 日)

国际原子能机构资助研究项目。IAEA 研究合同号: 11526 (RBE) (2000 年 12 月 15 日~2001 年 12 月 15 日)

作者单位: 1 中国疾病预防控制中心辐射防护与核安全医学所, 北京 100088; 2 包钢白云鄂博稀土共生矿职工医院

CR-39 的底计数 B 为 $13.5 \text{ 径迹} \cdot \text{cm}^{-2}$, 用公式 $\phi_{\min} = 2K\sqrt{B}$ 计算最低可探测下限 (K 为刻度系数, B 为本底计数), CR-39 的探测下限为 0.04 mSv 。

参考文献:

- [1] 李星洪. 辐射防护基础[M]. 北京: 原子能出版社, 1982, 114-176.
- [2] 朱润生. 固体核径迹探测器的原理和应用[M]. 北京: 科学出版社, 1987, 47-124.

(收稿日期: 2001-10-15)