

个人中子剂量计

鲁永杰, 王月兴, 杨翊方

中图分类号: TL818 文献标识码: A 文章编号: 1004-714X(2001)04-0200-02

【摘要】 目的 介绍一种新的个人中子剂量计的原理、结构及剂量测量特性。方法 结合有关文献报道, 对剂量计配用 ${}^6\text{LiF}(\text{Mg}, \text{Cu}, \text{P})$ 和 ${}^7\text{LiF}(\text{Mg}, \text{Cu}, \text{P})$ 探测器测量 ${}^{241}\text{Am}-\text{Be}$ 源中子和 γ 射线的实验数据进行评价。结果 测量数据显示了良好的线性和重复性, 测量中子的灵敏度是测量 ${}^{60}\text{Co}$ γ 射线的 0.72 结果有可比性。结论 本剂量计满足在能量 4.4 MeV 以内的 n 或 n- γ 辐射场的人员监测要求。

【关键词】 中子剂量计; n- γ 辐射场; 中子谱反照灵敏度; 中子当量剂量

Personal Neutron Dosimeter. LU Yong-jie, Wang Yue-xing and Yang Yi-fang, Naval Medical Institute, Shanghai 200433, China

【Abstract】 Objective To introduce the principle, structure and character of a new personal neutron dosimeter. Methods In combination with relative documents, the dosimeter datum measured on neutron and γ rays emitted by ${}^{241}\text{Am}-\text{Be}$ source, when ${}^6\text{LiF}(\text{Mg}, \text{Cu}, \text{P})$ and ${}^7\text{LiF}(\text{Mg}, \text{Cu}, \text{P})$ are disposed, are evaluated. Results Its measurement results showed good linear relationship and can be repeated. The sensitivity of neutron detection is 0.72 times of ${}^{60}\text{Co}$ γ rays and this result is similar to that to be reported previously. Conclusion The measurement results of this dosimeter has been satisfied with the requirement of personal dose measurement in n or n- γ radiation field under 4.4 MeV energy.

【Key words】 Neutron Dosimeter; n- γ Radiation Field; Neutron Spectrum Albedo Sensitivity; Neutron Dose Equivalent

介绍一种新的个人中子剂量计。在按照使用要求放置探测器的条件下可同时测量人员在 n 或 n- γ 辐射场中接受的 γ 、热中子和快中子剂量。其中, 锡(Sn)区主要用于测量热中子和快中子的总剂量, 镉(Cd)区主要用于测量快中子剂量, 两区结合使用可区分热中子和快中子剂量。根据对 ${}^{241}\text{Am}-\text{Be}$ 源中子剂量的测量结果, 探讨了其用于人员中子剂量测量的可行性。

1 原理和方法

1.1 实验原理 Cd 能俘获热中子, 同时也产生俘获 γ 光子, 但不同材料的热释光探测器对一定量的俘获 γ 与 ${}^{60}\text{Co}$ γ 光子照射响应的比值基本一致。 ${}^6\text{LiF}$ 对热中子十分灵敏而对快中子不灵敏, 可测量热中子累积剂量。 ${}^7\text{LiF}$ 能测量 n- γ 场中的 γ 剂量。在 n- γ 场中工作的人员所受的辐射剂量符合相加原理。

在剂量计盒内, Sn 区入射面覆盖有 0.8 mm 厚的 Sn 片, Cd 区入射面覆盖有 0.8 mm 的 Cd 片, 两区的出射面都有 1 mm 厚的铝(Al)片, 原理示意图 1。本设计还配备有足够厚度的轻

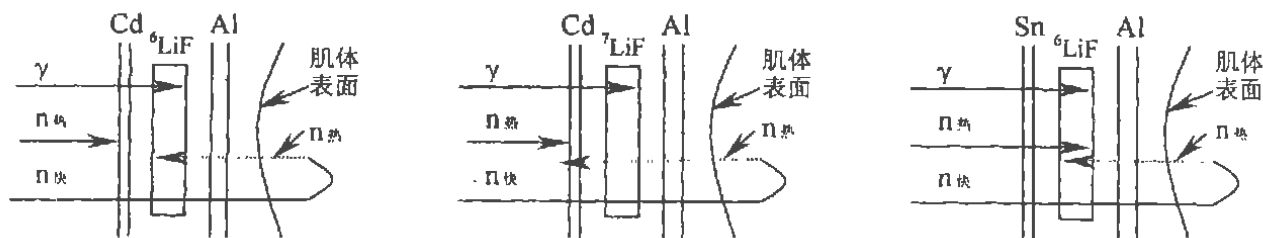
元素材料, 以满足中子剂量当量测量和建立电子平衡条件的需要。通过在 Sn 区和 Cd 区配对使用 ${}^6\text{LiF}$ 和 ${}^7\text{LiF}$ 探测器, 可测量中子剂量。

1.2 材料和方法 照射实验使用英国产环状 ${}^{241}\text{Am}-\text{Be}$ 中子源, 直径 4 cm, 厚度 4 mm, 活度 $3.7 \times 10^9 \text{ Bq}$ 剂量当量率 $2.6 \times 10^{-5} \text{ Sv}/(\text{h} \cdot \text{Ci} \cdot \text{m})$ 。照射时剂量计距中子源中心距离 50 cm, 剂量计置于 $30 \text{ cm} \times 30 \text{ cm} \times 25 \text{ cm}$ 的长方体铝桶表面, 铝桶壁厚 0.5 mm, 桶内盛满水。

探测器为 ${}^6\text{LiF}(\text{Mg}, \text{Cu}, \text{P})$ 和 ${}^7\text{LiF}(\text{Mg}, \text{Cu}, \text{P})$, 读出器为 RGD-3 热释光测量仪, 皆为总装防化研究院生产。实验中每个照射量点使用 TLD 5 只(探测器 10 只), 测量温度 240°C , 测量时间 10 s, 探测器照射前使用 HW-II 热释光精密退火炉在 240°C 恒温退火 10 min。

2 测量结果

2.1 线性 线性检验在 4 个照射剂量点进行, 数据见表 1。



(a) 测量 γ 和快中子剂量

(b) 测量 γ 剂量

(c) 测量总剂量

图 1 中子剂量测量原理示意图

表 1 剂量计测量 ${}^{241}\text{Am}-\text{Be}$ 源中子剂量线性结果($\bar{x} \pm s$)

当量剂量 ($\times 10^{-5} \text{ Sv}$)	Cd 区相对应 ${}^6\text{LiF}(\text{Mg}, \text{Cu}, \text{P})$	Sn 区相对应 ${}^7\text{LiF}(\text{Mg}, \text{Cu}, \text{P})$	Cd 区相对应 ${}^6\text{LiF}(\text{Mg}, \text{Cu}, \text{P})$	Sn 区相对应 ${}^7\text{LiF}(\text{Mg}, \text{Cu}, \text{P})$
43.68	0.521 ± 0.042	0.404 ± 0.026	0.547 ± 0.068	0.430 ± 0.032
68.64	0.812 ± 0.044	0.652 ± 0.010	0.880 ± 0.070	0.677 ± 0.024
143.52	1.670 ± 0.154	1.327 ± 0.089	1.803 ± 0.236	1.398 ± 0.076
299.52	3.905 ± 0.356	2.987 ± 0.219	4.132 ± 0.445	3.154 ± 0.264

2.2 重复性 重复性检验用 2 批剂量计完成, 照射的当量剂量均为 $68.64 \times 10^{-5} \text{ Sv}$ 。表 2 是第 1 批剂量计的 3 次检验结果。

表 2 剂量计测量 ${}^{241}\text{Am}-\text{Be}$ 源中子照射重复性结果($\bar{x} \pm s$)

批次	Cd 区相对应 ${}^6\text{LiF}(\text{Mg}, \text{Cu}, \text{P})$	Sn 区相对应 ${}^7\text{LiF}(\text{Mg}, \text{Cu}, \text{P})$	Cd 区相对应 ${}^6\text{LiF}(\text{Mg}, \text{Cu}, \text{P})$	Sn 区相对应 ${}^7\text{LiF}(\text{Mg}, \text{Cu}, \text{P})$
1-1	0.836 ± 0.046	0.649 ± 0.041	0.920 ± 0.100	0.637 ± 0.065
1-2	0.837 ± 0.078	0.658 ± 0.047	0.922 ± 0.125	0.695 ± 0.083
1-3	0.857 ± 0.079	0.663 ± 0.051	0.944 ± 0.100	0.676 ± 0.068

2.3 ${}^{241}\text{Am}-\text{Be}$ 中子谱反照灵敏度 ${}^{241}\text{Am}-\text{Be}$ 源除发射平均

作者单位: 海军医学研究所, 上海 200433

作者简介: 鲁永杰(1947~), 男, 陕西临潼人, 副研究员, 主要从事辐射防护研究。

能量为 4.4 MeV 的中子外, ^{241}Am 还发射能量为 59.5 keV 的 γ 射线。通过计算剂量计对单位当量剂量快中子响应与对单位照射量 59.5 keV γ 射线响应的比值, 并借助本剂量计的 γ 光子能谱灵敏度曲线^[1] 进行估算, 可以确定单位当量剂量快中子响应与单位照射量 ^{60}Co γ 射线响应的关系, 即 $^{241}\text{Am}-\text{Be}$ 中子谱反照灵敏度。

根据 $^{241}\text{Am}-\text{Be}$ 中子源的当量剂量率值^[2], 使用表 2 中 Cd 区 ^6LiF 3 次测量的均值(减去 ^7LiF 的响应值), 可以计算出剂量计对单位当量剂量(10^{-5} Sv) 快中子的响应为 0.00272。同样, 根据 ^{241}Am (59.5 keV γ 光子) 的照射率常数^[3], 使用 Cd 区 ^7LiF 的均值可以计算出同一照射期间(距离 50 cm, 时间 66 h) 剂量计对单位照射量($2.58 \times 10^{-7}\text{ C/kg}$) γ 射线的响应为 0.00209。比较可见, 剂量计 Cd 区对单位当量剂量快中子的响应是对单位照射量 59.5 keV γ 射线响应的 1.30 倍。从文献[1] 中 Cd 区的能响曲线可见, 剂量计对 59.5 keV γ 射线的响应相当于 ^{60}Co γ 射线响应的 0.55。依次推算, 本剂量计 Cd 区对单位当量剂量快中子的响应约为对单位 ^{60}Co γ 照射量响应的 0.72。

2.4 剂量的测量与计算 在 Sn 区和 Cd 区分别布放一对 ^6LiF ($\text{Mg}, \text{Cu}, \text{P}$) 和 ^7LiF ($\text{Mg}, \text{Cu}, \text{P}$) 探测器进行混合场剂量测量。如果剂量计受照射后, 用 R_{S6} 、 R_{S7} 分别表示 Sn 区 ^6LiF 及 ^7LiF 的响应, 用 R_{C6} 及 R_{C7} 分别表示 Cd 区 ^6LiF 和 ^7LiF 的响应, 并且分别用 D_f 、 D_t 、 D_r 表示接受的快中子、热中子和 γ 剂量, 测可得到下列关系式:

$$\begin{aligned} R_{S6} &= K_f D_t + K_f D_f + D_r & R_{S7} &= D_r \\ R_{C6} &= K_f D_f + D_r & R_{C7} &= D_r \end{aligned} \quad (1)$$

这里 R_{S6} 、 R_{S7} 、 R_{C6} 及 R_{C7} 都是用 ^{60}Co γ 射线单位照射剂量响应归一化的值。 K_f 及 K_t 分别是受单位当量剂量热中子和快中子照射时的响应(系数), 同样用单位 ^{60}Co γ 剂量响应值归 1。

于是, 由方程组(1)可获得 D_r 、 D_f 及 D_t :

$$D_r = R_{C7} = R_{S7} \quad D_f = (R_{C6} - R_{C7}) / K_f \quad D_t = (R_{S6} - R_{C6}) / K_t \quad (2)$$

R_{S7} 实际上应与 R_{C7} 相同, 可用 R_{S7} 与 R_{C7} 的平均值代表 γ 响应。但有时由于 ^7LiF 中残留 ^6LiF , 使 R_{S7} 明显大于 R_{C7} , 这时就不能用 R_{S7} 代表 D_r 。

3 讨论

就测量而言, 本剂量计用于 $^{241}\text{Am}-\text{Be}$ 源中子测量具有较

好的灵敏度、线性和重复性。本研究使用单位当量剂量的 4.4 MeV 中子响应与单位照射量 1.25 MeV γ 响应的比值表示剂量计的灵敏度, 数值约为 0.72。根据文献报道的人体反照热中子与入射中子能量的关系曲线^[4] 可知, 反照热中子数量随入射中子能量的减小而增大, 1 keV 和 10 keV 入射中子的反照中子数量分别是 4.4 MeV 入射中子反照数量的 2.3 倍和 2 倍, 说明本剂量计至少对能量在 4.4 MeV 以下的中子辐射场及相应能量范围的 $n-\gamma$ 混合场, 其测量灵敏度是足够的。文献[4] 的曲线还显示, 4.4 MeV 与 1.25 MeV 入射中子的反照热中子比值约为 0.75, 近似于 0.72, 这在一定程度上反映了本剂量计用于不同中子辐射测量时的可比性。

就评价而言, 必须了解入射中子对于生物组织的当量剂量转换因子。从文献[4] 报告的“中子能量与当量剂量转换因子曲线” 知, 当量剂量转换因子在 10 keV 到 1.25 MeV 之间随入射中子能量成正比增加, 在 1.25 MeV 到 4.4 MeV 之间基本一致, 但在 1.25 MeV 时的数值已是 10 keV 的 14 倍。这提示对人员的剂量评价必须注意高能中子的影响。本剂量计可用于 4.4 MeV 中子测量, 能满足剂量评价要求。

就存在问题而言, 由于从人体反照出的中子数量及中子注量转换成当量剂量的系数都随入射中子的能量而变化, 从而使剂量计的总响应有很大的能量依赖性。因此在实际使用时, 还需要针对拟测源项确定具体的反照系数。待国内建立类似于 ISO 标准化辐射防护用中子源谱^[5] 后, 将可规范地进行。

参考文献:

- [1] 鲁永杰, 王月兴, 马晓林, 等. $n-\gamma$ 混合场监测用的新型个人剂量计[J]. 核电子学与探测技术, 2000, 20(1): 22.
- [2] 李德平, 潘自强. 辐射防护监测技术(辐射防护手册 第二分册), 中子辐射刻度源[M]. 北京: 原子能出版社, 1988: 420.
- [3] 史元明. 辐射剂量学常用数据: 照射量率常数[M]. 北京: 中国计量出版社, 1987: 169.
- [4] 张彤, 华钟亮, 李湘葆, 等译. 应用热释光剂量学, 热释光材料在中子剂量测量中的应用[M]. 北京: 中国计量出版社, 1988, 181—194.
- [5] ISO 8529(1989), Neutron reference radiations for calibrating neutron measuring devices used for radiation protection purposes and for determining their response as a function of neutron energy[S].

(收稿日期: 2001—04—12)

【工作报告】

梅州城区生活饮用水放射性水平

何剑钰, 王自力, 王运香

中图分类号: R145 文献标识码: D

了解梅州城区生活饮用水放射性水平, 保障广大居民身体健康, 对梅州城区 1999~2000 年生活饮用水总 α 、总 β 放射性水平进行了监测。

1 资料来源

梅州市自来水总公司水质监测站上报的梅州城区集中式供水 1999~2000 年出厂水水质监测报告。

2 评价标准

按照《生活饮用水卫生标准》(GB 5749—1985) 总 $\alpha \leq 0.1\text{ Bq/L}$, 总 $\beta \leq 1\text{ Bq/L}$ 进行评价。

3 结果与分析

梅州城区集中式供水出厂水的总 α 、总 β 值(表 1) 低于广

东省平均水平^[1]、高于浙江省台州市水平^[2], 均符合《生活饮用水卫生标准》规定的限值。总 α 放射性 2000 年比 1999 年略高, 但仍处于正常波动范围, 饮用是安全的。

表 1 梅州城区生活饮用水总 α 、总 β 放射性水平

年份	样本数	总 α (Bq/L)		总 β (Bq/L)	
		范围	$\bar{x} \pm s$	范围	$\bar{x} \pm s$
1999	22	0.02~0.05	0.029 ± 0.011	0.08~0.49	0.185 ± 0.130
2000	20	0.02~0.10	0.041 ± 0.025	0.05~0.49	0.198 ± 0.128

参考文献:

- [1] 吴自香. 1988~1993 年广东省自来水放射性水平与评价[J]. 中华放射医学与防护杂志, 1995, 15(2): 129.
- [2] 孙芳. 台州市自来水厂水样放射性监测[J]. 环境与健康杂志, 2000, 17(1): 49.

(收稿日期: 2000—12—11)