

职业外照射监测个人剂量计

王其亮

中图分类号: R144 文献标识码: B 文章编号: 1004-714X(2001)01-0063-02

【摘要】 目的 在职业外照射个人监测中尽快采用新的实用量——个人剂量当量 $H_p(d)$ 。方法 利用 ABS 工程塑料、不同的金属过滤片和 LiF、Mg、Cu、P 探测器, 研制系列热释光个人剂量计。结果 研制的非鉴别式个人剂量计: 塑料过滤, 包括 1 组 LiF、Mg、Cu、P 探测器; 简易鉴别式个人剂量计: 塑料过滤和 Cu 过滤, 2 组 LiF、Mg、Cu、P 探测器; 鉴别式个人剂量计: 塑料、Cu 和 Sn 过滤, 3 组 LiF、Mg、Cu、P 探测器。结论 这些个人剂量计分别用于测量能量已知的光子辐射、能量在 230 keV 以下的未知能量的 X 辐射, 以及能量已知、未知的所有能量的光子辐射。

【关键词】 职业外照射; 光子辐射; 个人剂量计; 个人剂量当量; 热释光

有效剂量和当量剂量是放射防护中的基本量, 剂量限值的表达就是使用这些防护量。为了解决有效剂量和当量剂量不能用现有仪器直接测量, 而对其计算也十分复杂的现实问题, 就导致了实用量的研究。已经证明实用量——个人剂量当量 $H_p(d)$ 可对有效剂量和当量剂量提供合理的估计, 并对在实践中经常遇到的多数辐射场可避免低估剂量和过高的高估剂量。有关国际机构已在辐射剂量监测中接受了实用量概念。即将发布的国家标准——职业照射个人监测规范, 第一部分: 外照射监测 (GB5294-85 外照射部分的修订版), 也明确规定个人剂量当量 $H_p(d)$ 为职业外照射个人监测所要测量的量。个人剂量当量 $H_p(d)$ 是在人体表面的某一指定点下面适当深度 d 处的软组织内的剂量当量。个人剂量当量的任何陈述都应当指明深度 d 的取值 (mm)。对于表面器官皮肤而言, d 取 0.07 mm, 相应的 $H_p(d)$ 用 $H_p(0.07)$ 表示; 对深部器官和有效剂量的控制, 常用 10 mm 深度, 即 $d=10$ mm, 这时 $H_p(d)$ 用 $H_p(10)$ 表示。为了在职业外照射个人监测中推行实用量 $H_p(d)$, 卫生部放射卫生防护监督监测所已经开发研制了 LiF、Mg、Cu、P 热释光探测器和热释光个人剂量计系列, 用于不同光子辐射场条件下 $H_p(d)$ 的测量。有关鉴别式热释光个人剂量计的性能已经作过报道^[1]。

1 剂量计系列的构成和适用范围

剂量计分三个类型, 它们是鉴别式的、简易鉴别式的和非鉴别式的。其共同点都是用 LiF、Mg、Cu、P 热释光器件作探测器, 剂量计外壳都是用 ABS 工程塑料压制而成, 外部尺寸都为 54 mm×34 mm×10 mm, 都具有上盖、下底、上内衬、下内衬、小内衬和挂钩等部件, 可容纳片状、玻管或粉末等探测器。它们的区别和适用范围如下:

1.1 鉴别式热释光个人剂量计 具有 Sn 片重过滤、Cu 片轻过滤和塑料过滤 (无过滤), 3 组探测器。在个人监测中, 适合测量能量未知的光子辐射场, 也用于测量光子复合辐射场, 当然也可以测量能量已知的光子辐射场。在盲样监测和参加比对时尤其应使用鉴别式热释光个人剂量计。从理论上讲, 它可以代替简易鉴别式和非鉴别式个人剂量计, 但考虑到它的结构比较复杂, 价钱也明显偏高, 因此, 为了经济方便, 还是设计了不同的个人剂量计供选择, 分别用于不同的辐射场情况。

1.2 简易鉴别式热释光个人剂量计 具有 Cu 滤片轻过滤和塑料过滤, 2 组探测器。在个人监测中, 适合测量 100 keV 以下的 X 射线, 利用后面介绍的经验公式也可扩展到 230 keV 以下的 X 射线的测量。当然也可测量能量已知的 X 和 γ 射线。

1.3 非鉴别式热释光个人剂量计 只有塑料过滤而无任何金属过滤, 1 组探测器, 结构简单, 价格便宜。在个人监测中只可测量能量已知的光子辐射。

2 个人剂量计的刻度

为了模拟个人佩戴剂量计的实际情况, 应把个人剂量计放在标准体模上进行刻度照射, 所用辐射场品质应符合 ISO-4037 标准或国家标准的推荐。热释光个人剂量计的刻度, 原则上应进行能量刻度和剂量刻度。进行能量刻度的理由是因

为个人剂量监测结果评价不仅需要剂量数值, 而且也需要辐射能量信息; 另外, 在由光子的空气比释动能 $K_a(mGy)$ 转换成个人剂量当量 $H_p(d)$ 时, 其转换系数 $h_{pR}(d)$ 也依赖于光子的辐射能量^[2]; 第三, 由于人体或体模的存在, 明显地加大了剂量计表观的能量响应^[1], 知道光子能量信息可大大提高测量的精度。所以, 在个人监测中, 剂量计进行能量刻度, 了解被测光子的能量信息是很有必要的。由于剂量计的能量响应特性, 特别是在使用了标准体模来模仿人体以后, 对个人剂量计不仅需要剂量刻度, 而且需要用不同能量的光子辐射场进行剂量刻度。

图 1 为光子能量刻度曲线, 利用此曲线鉴别光子能量。图 2 为光子个人剂量当量刻度曲线。刻度曲线的解释和应用, 在文献^[1, 3]中有较详细的说明。能量刻度曲线对 LiF、Mg、Cu、P 是通用的, 可由个人剂量计或探测器的销售者提供。个人剂量当量刻度曲线不能共用, 必须由测量者分别作出自己的热释光个人剂量测量系统的剂量刻度曲线。本文介绍一种简易的方法。

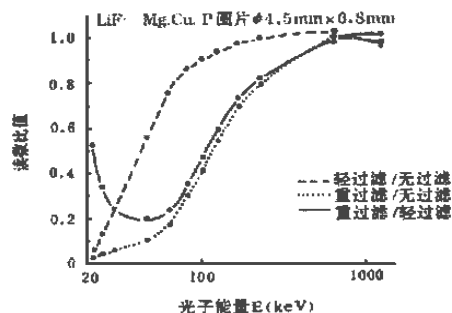


图 1 光子能量刻度曲线

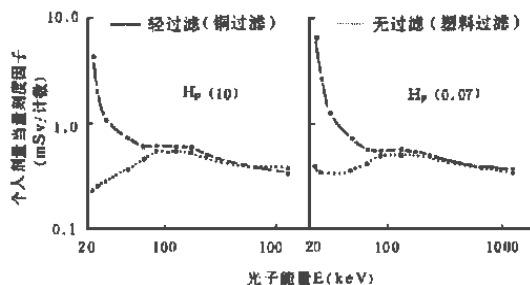


图 2 光子个人剂量当量刻度曲线

设不同能量的光子个人剂量当量刻度因子为 K_p , ^{137}Cs 的个人剂量当量刻度因子平均值为 K , 各能量的光子个人剂量当量刻度因子的修正系数 f_i 由实验获得, 其值如表 1 所列。 $f_i = K_i/K$, $K_i = f_i K$ 。对用户来说, 只需把自己的刻度剂量计放在标准体模上用 ^{137}Cs 参考源进行刻度照射, 得到平均的 K , 将 K 代入 $K_i = f_i K$ 中, 即得到 K_i (对应第 i 个能量的光子的个人剂量当量刻度因子), 作 K_i 随光子能量的变化曲线, 即得到相当于图 2 的、适用于自己的个人剂量测量系统的个人剂量当量刻度曲线

作者单位: 卫生部放射卫生防护监督监测所, 北京 100088

作者简介: 王其亮(1938~), 男, 山东省人, 研究员, 主要从事全国个人剂量监测与管理。

(个人剂量当量刻度因子 K_i 随光子能量的变化曲线)。

表 1 个人剂量当量刻度因子修正系数 f_i

E(keV)	Hp(10) 的 f_i		Hp(0.07) 的 f_i	
	无过滤	轻过滤	无过滤	轻过滤
22	0.713	11.912	1.143	19.495
25	0.774	5.782	1.022	7.626
29	0.835	3.722	0.981	4.367
47	1.033	1.836	0.975	1.734
64	1.244	1.603	1.142	1.470
83	1.428	1.623	1.306	1.485
103	1.392	1.549	1.282	1.413
125	1.376	1.479	1.296	1.394
170	1.335	1.384	1.266	1.321
230	1.218	1.240	1.178	1.201
662	1.000	1.000	1.000	1.000
1250	0.957	0.957	0.957	0.957

在实际监测工作中, 用图 1 鉴别光子能量, 用新作出的个人剂量当量刻度曲线确定个人剂量当量。 ^{137}Cs 光子的能量为 662 keV, 由其空气比释动能 $K_a(\text{mGy})$ 转换成 $\text{Hp(d)}(\text{mSv})$ 的转换系数 $h_{\text{PK}}(10)$ 和 $h_{\text{PK}}(0.07)$ 可近似取相同的值(1.21 mSv/mGy)。表 2 给出其他光子能量的转换系数^[2]。由表 2 内插得

表 2 由自由空气比释动能 K_a 到 ICRU 平板中的 $\text{Hp}(10, 0^\circ)$ 和 $\text{Hp}(0.07, 0^\circ)$ 的转换系数

光子能量 (MeV)	$\text{Hp}(10, 0^\circ)/K_a$ (Sv/Gy)	$\text{Hp}(0.07, 0^\circ)/K_a$ (Sv/Gy)	光子能量 (MeV)	$\text{Hp}(10, 0^\circ)/K_a$ (Sv/Gy)	$\text{Hp}(0.07, 0^\circ)/K_a$ (Sv/Gy)
0.005	—	0.750	0.125	1.696	—
0.010	0.009	0.947	0.150	1.607	1.518
0.0125	0.098	—	0.200	1.492	1.432
0.015	0.264	0.981	0.300	1.369	1.336
0.0175	0.445	—	0.400	1.300	1.280
0.020	0.611	1.045	0.500	1.256	1.244
0.025	0.883	—	0.600	1.226	1.220
0.030	1.112	1.230	0.800	1.190	1.189
0.040	1.490	1.444	1.000	1.167	1.173
0.050	1.766	1.632	1.500	1.139	—
0.060	1.892	1.716	3.000	1.117	—
0.080	1.903	1.732	6.000	1.109	—
0.100	1.811	1.669	10.000	1.111	—

注: “—” 参考文献[2] 未给出数据。

表 3 Hp(d) 的计算值与约定真值的比较

光子能量 (keV)	约定真值(mSv)		计算值/约定真值*	
	Hp(10)	Hp(0.07)	Hp(10)	Hp(0.07)
22	1.16	1.86	1.01(0.92~1.12)	0.59(0.54~0.66)
25	1.47	1.94	1.00(0.90~1.12)	0.71(0.64~0.80)
29	1.77	2.08	1.01(0.89~1.14)	0.81(0.71~0.93)
47	2.84	2.68	1.05(0.97~1.14)	1.05(0.97~1.14)
64	3.28	3.01	0.98(0.92~1.03)	1.01(0.95~1.06)
83	3.29	3.01	0.91(0.84~0.98)	0.94(0.87~1.02)
103	3.14	2.89	0.95(0.89~1.01)	0.97(0.91~1.04)
125	2.96	2.79	0.97(0.90~1.04)	0.97(0.90~1.04)
170	2.73	2.59	1.02(0.97~1.08)	1.02(0.96~1.06)
230	2.52	2.44	1.13(1.10~1.16)	1.09(1.06~1.12)

注: *4 次照射测量计算的平均值; () 内为 4 次计算的范围值。

参考文献:
[1] 王其亮, 钟志, 郑善校, 等. 鉴别式热释光个人剂量计的性能及参加国际比对的概况[J]. 核电子学与探测技术, 1999, 19(2): 84—89.
[2] 国际放射防护委员会第 74 号出版物. 外照射放射防护中使用的换算系数[M]. (陈丽姝, 柴政文译), 北京: 原子能出版社, 1998, 240—241.
[3] 王其亮, 胡爱英, 郑善校, 等. 参加 IAEA/RCA 光子个人剂量监测第二次国际比对结果[J]. 中国辐射卫生, 1996, 5(4): 207—209.

(收稿日期: 2000—06—12)