

OSL 剂量计参与 2017 年全国个人剂量监测比对结果及分析

王丽姣, 肖文慧, 卢瑛, 刘晓琳, 陆正, 黄艳

中国原子能科学研究院, 北京 102413

摘要: **目的** 对 2017 年参与全国个人剂量监测比对的结果进行分析。**方法** 结合 OSL 剂量计自身的性能特点, 分别从 OSL 剂量计的能量响应、角度响应、线性响应几个方面对 5 组比对 OSL 剂量计的评定结果进行分析。**结果** 比对中照射了不同的射线能量、入射角度、照射剂量的 5 组剂量计的单组性能评定值 P , 能够反映出 OSL 剂量计的性能特征, 主要表现为, OSL 剂量计在低能区存在较明显的过响应, 这一特性使照射了低能 X 射线的两组剂量计的单组性能评定值 P 较高; 在 662 keV 能量照射下, OSL 剂量计具有很好的角响应, 这一特性使各组评定值没有明显受到照射角度的影响。**结论** 比对结果为合格, 说明我实验室利用 OSL 剂量计对放射工作人员进行外照射个人剂量监测, 满足质量保证的要求。

关键词: OSL 剂量计; 个人剂量监测; 全国比对

中图分类号: TL816 文献标识码: A 文章编号: 1004-714X(2019)01-0052-03

Analysis on the result of 2017 personal dose monitoring nationwide intercomparison with OSL dosimeter

WANG Lijiao, XIAO Wenhui, LU Ying, LIU Xiaolin, LU Zheng, HUANG Yan

China Institute of Atomic Energy, Beijing 102413 China

Abstract: **Objective** Analyze the result of 2017 personal dose monitoring nationwide intercomparison. **Methods** Given the performance characteristics of the OSL dosimeter, the evaluation results of 5 groups of dosimeters in intercomparison were analyzed in the energy response, the angle response, and the linear response. **Results** The 5 groups of dosimeters were irradiated with rays of different energies, incident angles and exposure dose. The P value can reflect the performance characteristics of the OSL dosimeter. The OSL dosimeter has obvious over-energy response in the low energy zone, which leads to high P values in the 2 groups irradiated with low energy X ray. The OSL dosimeter has the excellent angle response irradiated with 662 keV γ ray, as a result, each group's P value wasn't obviously influenced by incident angles. **Conclusion** The intercomparison result was qualified. It means that using the OSL dosimeter in the personal dose monitoring experiments can meet the requirement of the quality assurance.

Key words: OSL Dosimeter; Personal Dose Monitoring; Nationwide Intercomparison

中国原子能科学研究院对放射性工作人员进行外照射个人剂量监测, 监测方法是请被监测人员佩戴被动式累积个人剂量计, 使用的剂量计类型为光致发光 (OSL) 个人剂量计。监测的量是深部个人剂量当量 $H_p(10)$ 。为了做好外照射个人剂量监测的质量保证, 提升个人剂量监测能力水平, 同时了解 OSL 剂量计用于外照射个人剂量监测的准确性, 我们参与了中国疾病预防控制中心组织的 2017 年度全国个人剂量监测比对, 接受了个人剂量监测能力的考核。

据了解, 目前国内大多数监测机构选用热释光 (TLD) 剂量计进行外照射个人剂量监测。2017 年的比对工作中, 参与比对的 291 家机构只有不到 10 家使

用光致光 (OSL) 剂量计^[1]。因此, 相对热释光剂量计来说, 本文介绍的 OSL 剂量计参与比对的情况, 具有特殊性, 对于其它几家使用 OSL 剂量计参与比对的机构来说, 具有一定代表性。

1 材料与方法

1.1 材料设备 本单位使用的 OSL 个人剂量监测系统由美国蓝道尔公司研发。由 OSL 剂量计、自动读数仪、计算机和软件组成。OSL 剂量计为被动式累积个人剂量计, 所用的光致发光材料为 $Al_2O_3:C$ 。可以探测的射线类别有 X 射线、 γ 射线、 β 射线, 剂量探测范围是 0.01 mSv ~ 10 Sv, 探测能量范围对 X 射线、 γ 射

线是 5 keV ~ 40 MeV, 对 β 射线是 150 keV ~ 10 MeV。

1.2 比对方法

1.2.1 盲样剂量计照射 按照比对组织机构的要求, 准备 7 组个人剂量计, 每组数量为 3 支, 第 1 ~ 5 组为盲样组, 第 6 组为跟随本底, 第 7 组为备用组。参与比对机构将剂量计邮寄给组织机构, 组织机构依据《外照射个人剂量系统性能检测规范》(GBZ 207-2016)^[2] 第 5 条对第 1 ~ 5 组在 30 cm × 30 cm × 15 cm 的 ISO 充水组织等效板模上进行照射, 然后邮寄回参与比对机构, 参与比对机构对剂量计进行测量和数据处理, 并将结果报告给组织机构。在比对结果评判结束后, 组织机构将比对结果告知参与比对机构, 并告知照射的辐射质类型、照射剂量、照射角度。

1.2.2 结果判定^[3] 比对结果的判定指标分为单组性能判定和综合性能判定。

单组性能:

$$P_i = [H_R(d)_i - H_p(d)_i] / H_p(d)_i \quad (1)$$

公式(1)中: $H_R(d)_i$ -第 i 组剂量计的个人剂量当量评定值; $H_p(d)_i$ -第 i 组剂量计的个人剂量当量约定值。

综合性能 B :

$$B = \bar{P} = (1/5) \sum_{i=1}^5 P_i \quad (2)$$

综合标准偏差 S :

$$S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^5 (P_i - \bar{P})^2}{4}} \quad (3)$$

合格评定标准, 首先做单组性能判定。当 $|P_i| \leq 0.3$ 时, 则判定第 i 照射组的单组性能为合格; 如单组性能检验不合格的组数 ≥ 2 时, 则判定个人剂量系统的单组性能检验不合格。然后进行综合性能判定。如

满足 $B^2 + S^2 \leq 0.3^2$, 则判定个人剂量系统的综合性能检验为合格。当单组性能检验和综合性能检验同时合格的个人剂量系统性能判定为合格。优秀判定标准: 同时满足 $|P_i| \leq 0.1$ 、 $B^2 + S^2 \leq 0.1^2$, 方有资格参与优秀评比。

1.3 参与方法 首先使用蓝光退火炉对 OSL 剂量计做“光退火”处理, 退火时间为 30 min。退火后使用 In-light 200 型自动读数仪测读, 记录残余剂量。将“光退火”后的剂量计寄送组织机构接受照射。收到组织机构寄回的照射完毕的剂量计后, 对剂量计测读。

每只 OSL 剂量计可以重复测量多次。为取得准确的测量结果, 对每只剂量计测量 3 次, 取其平均值作为每支剂量计的测量值, 然后从测量值中扣除退火残余剂量。因每组有 3 支剂量计, 取每组 3 支剂量计的平均值, 然后从 1 ~ 5 各组的值中分别扣除第 6 组本底剂量计的值, 使用 GRUBBS 法则检验数据, 如有离群值则剔除^[4]。然后使用个人剂量监测系统的刻度系数对值进行校准, 其结果即为 1 ~ 5 各组的评定值。In-light 200 个人剂量监测系统本身具有线性刻度功能, 但本单位实验室由于质量保证的原因, 没有使用系统自身的刻度功能, 而是由防科技工业电离辐射一级计量站进行每年一次的刻度。

2 结果

单组性能 $|P_i| = 0.35$, 由于大于 0.3, 第 1 盲样组的单组性能判定为不合格, 其余四组的单组性能, $|P_i| < 0.3$ 均判定为合格。五组中单组性能不合格的组数小于 2, 则总体单组性能判定为合格。综合性能 $B^2 + S^2 = 0.048$, 小于 0.09, 则综合性能合格。因此, 本次比对结果判定为合格。但未达到评定优秀的标准。见表 1。

表 1 各组的评定值、照射情况和判定指标

| 盲样组 | 评定值 $H_R(10)$ (mSv) | 相对扩展 不确定度 ($k=2$) | 约定值 $H_p(10)$ (mSv) | 辐射质 | 能量 (keV) | 入射 角度 | 单组 性能 | 综合性能 B^2 |
|-----|------------------------|------------------------|------------------------|--------|-------------|----------|----------|---------------|
| 1 | 0.74 | 19% | 0.55 | N100 | 83 | 0° | 0.35 | |
| 2 | 3.23 | 12% | 2.52 | N100 | 83 | 0° | 0.28 | |
| 3 | 0.49 | 13% | 0.51 | Cs-137 | 662 | 0° | -0.04 | 0.048 |
| 4 | 3.72 | 12% | 3.82 | Cs-137 | 662 | 0° | -0.03 | |
| 5 | 1.93 | 13% | 1.98 | Cs-137 | 662 | 40° | -0.03 | |

3 讨论

本次比对中, 组织机构对各组剂量计照射了不同的能量、角度和剂量, 目的在于考察参与比对单位所用的监测方法在这三个方面的表现, 因此, 本文从这

三个方面分析本次比对的结果。

3.1 能量响应 从比对结果中可以看出, 第 1、2 组 (83 keV) 的单组性能 P_i 值较高, 评定值 $H_R(10)$ 均高于约定值。 $H_p(10)$ 第 3、4、5 组 (662 keV) 的单组性能 P_i 值则相对较低, 可认为照射 662 keV 的第 3、4、5 组

的评定结果优于照射 83 keV 的第 1、2 组。

在比对之前,我们曾对 OSL 剂量计的能量响应特点进行研究。使 OSL 剂量计受到 33 keV (N-40), 65 keV (N-80), 100 keV (N-120), 662 keV (^{137}Cs), 1.25 MeV (^{60}Co) 五种辐射质的照射,照射剂量相同,入射角度也相同。照射在国防科技工业电离辐射一级计量站完成,使用 30 cm × 30 cm × 15 cm 的 ISO 充水组织等效板模。能量响应用公式表示: $R = H_{(E)}/H$, $H_{(E)}$ 为剂量计在不同能量点的指示值, H 为照射的约定真值。得到 OSL 剂量计在 33 ~ 1250 keV 范围内的能量响应曲线如图 1 所示。由能量响应曲线可以看出剂量计在 65 ~ 100 keV 的范围内存在较明显的过响应现象。这与比对结果是一致的。

对于国内某些具有能量鉴别功能的剂量计,可以鉴别出剂量计受到何种能量的射线照射,并根据不同的能量使用相应的校准系数对测量结果进行修正^[5]。OSL 剂量计也是能量鉴别剂量计,有四个探测器元件,分别由开窗,塑料,铝片,铜片覆盖在探测元件上作为能量补偿和鉴别电离辐射能量之用^[6],当受到不同能量的 X 或 γ 射线照射后,四个探测元件因覆盖材料的不同而受到不同程度的照射,得到不同的计数,经 Inlight 200 测量系统内部的计算程序计算后,可分别给出该射线造成的深部剂量 $H_p(10)$,浅表剂量 $H_p(0.07)$,眼晶体剂量 $H_p(3)$ 。但目前我单位所用的 Inlight200 测量系统的版本尚不能给出具体射线能量的鉴别结果,因此没有针对不同能量进行修正。所有计算结果均使用同一刻度系数进行校准。刻度系数由防科技工业电离辐射一级计量站给出。

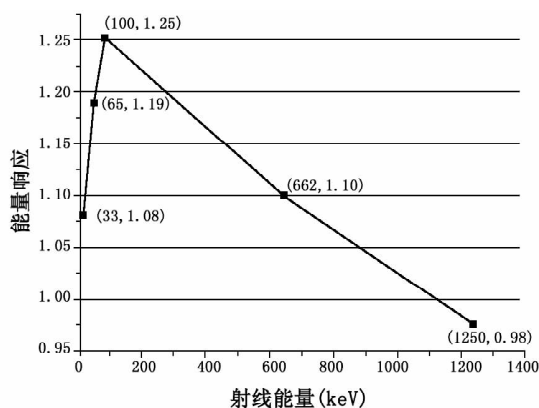


图1 OSL 剂量计的能量响应曲线

3.2 角度响应 从第 3 组、4 组、5 组可以看出,在各组均受到 662 keV (^{137}Cs) 照射时,入射角度为 40° 与入射角度为 0° 的 P 值没有明显差异。

同样,我们对 OSL 剂量计在 662 keV 能量照射下

的角度响应特性进行了研究。使用 ^{137}Cs 标准源,分别以 0°、20°、40°、60° 四种入射角度照射剂量计,且照射剂量相同,得到角响应曲线如图 2 所示。可以看出,随着射线入射角度增加,OSL 剂量计的角度响应呈逐渐减小的趋势,但变化范围在 0.978 ~ 0.995 之间,可见在 662 keV 能量照射下角响应性能表现良好。这与比对结果一致。

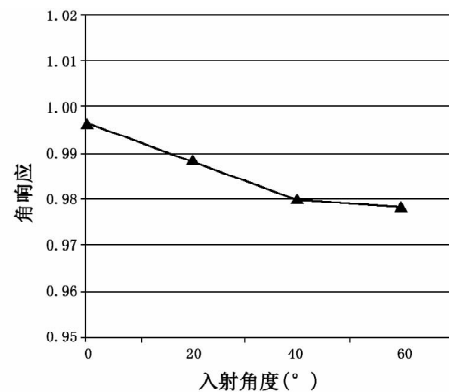


图2 OSL 剂量计的角度响应曲线 (662 keV)

3.3 线性响应 同样,我们对 OSL 剂量计的线性响应特性进行了研究。根据厂家说明,OSL 剂量计的剂量探测范围是 0.01 mSv ~ 10 Sv。我们对 5 组剂量计分别照射 0.1、1、10、100、1 000 mSv,照射能量 662 keV (^{137}Cs),角度为 0°。图 3 为线性响应曲线。

根据线性误差的公式 $e = \sum \frac{1}{5} \left| 1 - \frac{H(E)}{H} \right| \times 100$ ^[1], OSL 剂量计的线性误差是 3.8%,符合线性误差不大于 10% 的使用要求。

在本次比对中,5 组剂量计照射的剂量从 0.51 ~ 3.82 mSv,范围较窄,因此从比对结果中无法明确反映出剂量计的线性响应特征。

3.4 讨论

可以得到结论如下:本次比对结果为合格,说明本实验室利用 OSL 剂量计进行外照射个人剂量监测所用的材料设备及工作方法满足质量保证的要求;

通过将比对结果和 OSL 剂量计性能实验结果相比较,发现本次比对真实地反映了 OSL 剂量计的性能特点。即:OSL 剂量计在 65 ~ 100 keV 的能量范围内存在较明显的过响应现象,在 662 keV 能量照射下,角响应在 0° ~ 60° 表现都很好。以上性能特点导致本次比对中第 1 组的单组评定值 P 值最高,第 2 组的 P 值也较高,而第 3、4、5 组的评定结果都很好;

本文研究结果合理解释了得到此次比对结果的原因;可作为其它 OSL 剂量计用户的参考;

(下转第 62 页)

要来自激光线的误差, ± 1 mm 内, 通过多次摆位测量可以得出此误差对实验结果的影响。笔者为分析加速器输出剂量的重复性和摆位精度等因素对实验结果的影响, 通过两种模体(表 1 是 Cheese 模体测量数据, 表 2 是自制 TOMO 模体测量数据)联合 A1SL 型电离室在相同条件下多次摆位重复测量 TOMO 治疗机输出剂量, 两种模体输出剂量重复性结果均小于 0.27%, 该结果表明加速器输出剂量重复性和摆位精度等因素对剂量影响在 0.27% 以内。

在考虑加速器输出剂量、摆位、温度气压等因素下, 本研究采用两种模体获得结果相对偏差最大为 0.35%, 表明两种模体所用材质及构造差异极小, 用自制 TOMO 模体获得剂量数据与 Cheese 模体数据相比无明显差异性, 自制 TOMO 模体可用于 TOMO 的剂量测量。另外, Cheese 模体只能放置 A1SL 型电离室, 而自制 TOMO 模体插棒处可放置不同型号电离室, 可研究不同型号电离室在 TOMO 剂量测量中的差异^[12]。

本文达到了初步实验目的, 为自制 TOMO 模体实现临床应用提供了可行性, 自制 TOMO 模体的研发填补了 TOMO 质量控制检测方面国产模体的空白。

参考文献

- [1] Mackie TR, Holmes T, Swerdloff S, et al. A new concept for the delivery of dynamic conformal radiotherapy[J]. Med Phys, 1993, 20(6):1709-1719.
- [2] Yartsev S, Kron T, Van DJ. Tomotherapy as a tool in image-guided radiation therapy (IGRT): theoretical and technological aspects[J]. Biomedical Imaging & Intervention Journal, 2007, 3(1):e16.

- [3] 李益坤, 刘海, 王晓萍, 等. 螺旋断层放疗与常规调强放疗在乳腺癌保乳术后同步推量中的剂量学比较[J]. 临床肿瘤学杂志, 2013, 18(7):648-651.
- [4] Liu X, Huang E, Wang Y, et al. Dosimetric comparison of helical tomotherapy, VMAT, fixed-field IMRT and 3D-conformal radiotherapy for stage I-II nasal natural killer T-cell lymphoma[J]. Radiation Oncology, 2017, 12(1):76.
- [5] Shimizu H, Sasaki K, Iwata M, et al. Rotational output and beam quality evaluations for helical tomotherapy with use of a third-party quality assurance tool[J]. Radiological Physics & Technology, 2016, 9(1):53-59.
- [6] Lee FK, Chan SK, Chau RM. Dosimetric verification and quality assurance of running-start-stop (RSS) delivery in tomotherapy[J]. Journal of Applied Clinical Medical Physics, 2015, 16(6):5336.
- [7] Langen KM, Papanikolaou N, Balog J, et al. QA for helical tomotherapy: Report of the AAPM Task Group 148[J]. Med Phys, 2010, 37(9):4817-4853.
- [8] Peter RA, Peter JB, Coursey BM, et al. AAPM's YG-51 protocol for clinical reference dosimetry of high-energy photon and electron beams[J]. Med Phys, 1999, 26(9):1847-1862.
- [9] 卢峰, 高泽宇, 宋钢, 等. 电子加速器输出剂量与实测剂量相对偏差的检测与分析[J]. 中国辐射卫生, 2015, 24(5):505-507.
- [10] 高璇, 李克新, 鞠永健, 等. 前列腺癌患者调强放疗中的摆位误差及其对剂量分布影响分析[J]. 中国辐射卫生, 2018, 27(3):228-230.
- [11] 蒋社伟, 王艳霞. 气温和气压对医用直线加速器输出剂量刻度的影响[J]. 医疗卫生装备, 2016, 37(8):109-111.
- [12] Kinoshita N, Oguchi H, Kita A, et al. Comparison of Absorbed-Dose to Water in High-Energy Photon Beams Based On Addendum AAPM TG-51, IAEA-TRS-398, and JSMP 12[J]. Med Phys, 2015, 42(6Part15):3379-3379.

收稿日期:2018-11-13

(上接第 54 页)

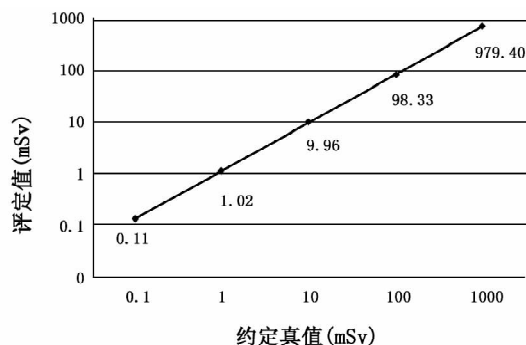


图3 OSL 剂量计的线性响应曲线(662 keV, 0°)

如希望在比对中获得更好的结果, 还需在一些方面加强努力, 例如, 做好仪器的维护, 加强操作人员的专业技能, 注意老化剂量计的淘汰, 遵循严谨的数据处理方法, 等。

参考文献

- [1] 中国疾病预防控制中心辐射防护与核安全医学所. 全国放射卫生技术机构检测能力考核工作资料汇编[G]. 2017.
- [2] 中华人民共和国国家卫生和计划生育委员会. GBZ 207-2016 外照射个人剂量系统性能检测规范[S]. 北京: 中国标准出版社, 2016.
- [3] 中国疾病预防控制中心辐射防护与核安全医学所. 全国放射卫生技术机构检测能力考核方案[Z]. 2017.
- [4] 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局. GB/T 4883-2008 数据的统计处理和解释正态样本离群值的判断和处理[S]. 北京: 中国标准出版社, 2008.
- [5] 夏予勇. 放射性工作人员个人剂量系统比对结果及不确定度评定[J]. 中国公共卫生管理, 2014, 30(6):915-916.
- [6] 欧向明. OSL 剂量计能量响应特性的检测[J]. 中国医学装备, 2013, 10(7):7-9.

收稿日期:2018-09-30