

DOI: 10.13491/j.issn.1004-714X.2024.03.008

· 论 著 ·

# 保存温度和保存时间对核事故剂量重建中贴片电阻光释光特性的影响

王俊霖, 吴建华, 刘阳, 陈凌

中国原子能科学研究院, 北京 102413

**摘要:** **目的** 为探索贴片电阻用于核事故后的回顾性剂量重建的可行性, 分析保存温度和保存时间对贴片电阻光释光(OSL)特性的影响, 探索降低二者影响的方法。**方法** 在不同参数条件下, 利用丹麦 Risø 公司的热释光和光释光自动测量仪对贴片电阻进行测量, 分析不同保存温度和保存时间对贴片电阻 OSL 信号的影响。**结果** 贴片电阻在辐照后短时间(10 min)内 OSL 信号呈指数规律衰减, 放置 2~7 d, 测量计数的变化趋于稳定(计数变化 < 10%)。在 0.1~2 Gy 辐照后保存 1~3 d 贴片电阻的剂量线性响应良好。贴片电阻的 OSL 信号随保存温度的增加而减少, 但采用 130 °C 预热 1 min 可有效消除保存温度在 25~45 °C 范围内对贴片电阻 OSL 信号的差异。**结论** 贴片电阻样品的保存温度和保存时间均会影响其 OSL 信号, 但采用 130 °C 预热 1 min 的测量方法可使保存时间在 1~7 d 和保存温度在 25~45 °C 的贴片电阻的 OSL 信号误差在 10% 以内, 证明了实际应用中预热测量的必要性, 为贴片电阻可用于回顾性剂量重建提供了较为科学的测量方法和依据。

**关键词:** 光释光; 贴片电阻; 剂量重建; 保存温度; 保存时间

中图分类号: TL81 文献标识码: A 文章编号: 1004-714X(2024)03-0273-05

## Influence of storage temperature and storage time on the optically stimulated luminescence characteristics of chip resistors in dose reconstruction for nuclear accident

WANG Junlin, WU Jianhua, LIU Yang, CHEN Ling

China Institute of Atomic Energy, Beijing 102413 China

**Abstract:** **Objective** To assess the feasibility of employing chip resistors for retrospective dose reconstruction following nuclear accidents, to examine the effects of storage temperature and storage time on the optically stimulated luminescence (OSL) characteristics of the chip resistors, and to explore measures to mitigate these effects. **Methods** Chip resistors were analyzed using automated instruments for measuring thermoluminescence and OSL manufactured by Risø in Denmark with various parameters to understand the impact of storage temperature and storage time on OSL signals. **Results** The OSL signals of chip resistors exhibited exponential attenuation within 10 min after irradiation, and then stabilized (count change < 10%) within 2-7 days of storage. The chip resistors exhibited linear dose responses within 1-3 days of storage after 0.1-2 Gy irradiation. OSL signals diminished as the storage temperature increased. However, preheating at 130 °C for 1 min effectively eliminated the differences caused by temperatures between 25 °C and 45 °C. **Conclusion** The OSL signals of chip resistors are influenced by storage temperature and storage time. When preheated at 130 °C for 1 min, chip resistors stored for 1-7 days and at 25-45 °C exhibited OSL signal errors of 10% or less. This result emphasizes the importance of preheating for measurements in practical applications, thus providing a scientific approach and a solid foundation for the use of chip resistors in retrospective dose reconstruction.

**Keywords:** Optically stimulated luminescence; Chip resistors; Dose reconstruction; Storage temperature; Storage time

**Corresponding author:** WU Jianhua, E-mail: wujianhua19860@163.com

当发生核事故、异常照射或大规模核应急情况时, 进行回顾性剂量重建是评估人群受照情况的重要方式之一, 传统方法是基于生物测定和细胞遗传学的方法, 例如染色体畸变和异位分析、细胞微核率

作者简介: 王俊霖 (1992—), 男, 湖南衡阳人, 助理研究员, 从事辐射防护工作。E-mail: 18515222620@163.com  
通信作者: 吴建华, E-mail: wujianhua19860@163.com

等<sup>[1-2]</sup>。近年来多地学者开始尝试利用其它方式进行回顾性剂量测定,如利用电子核磁共振(electron paramagnetic resonance, EPR)光谱分析指甲和牙齿<sup>[3-4]</sup>,光释光(optically stimulated luminescence, OSL)分析食盐<sup>[5]</sup>,以及利用 OSL、热释光和 EPR 等方式对手机的电子元器件和石英玻璃进行分析<sup>[6-9]</sup>。鉴于手机的普及性及其贴片电阻的信号具有良好的辐射敏感性和随时间的稳定性,已被证明可作为补充生物剂量测定分析的重要部分<sup>[10]</sup>,已有欧美 12 个国家基于贴片电阻开展了欧洲应对大规模暴露核应急情况的能力测试<sup>[11]</sup>,但其对电子元器件 OSL 特性研究均是辐照后的即时测试<sup>[11-12]</sup>,无法解释在测试过程中出现较大偏差数值的原因。并且,在核应急剂量重建中,由于现实环境的复杂,存在事故后不能及时取出样品进行实验等问题。因此,需要对核事故发生到样品测量之间,对样品保存阶段的现实环境(如保存温度、保存时间等)的影响进行分析,以此保障剂量重建数据的准确性与可靠性。

基于此,本研究以手机等电子产品中应用的贴片电阻(0402 规格)为研究对象,针对保存温度和保存时间对贴片电阻样品的影响开展研究,并探索利用不同预热方式来降低保存温度影响的测量方法,以期贴片电阻用于回顾性剂量重建的剂量计提供较为科学的测量方法。

## 1 材料与方法

**1.1 材料** 0402 贴片电阻(1.0 mm × 0.5 mm × 0.35 mm)为市场所占份额最大的国巨公司生产的 FR-07 系列电阻,分散性:经实验前对购买的贴片电阻进行辐照,测量结果表明贴片电阻的分散性好于 10%;实验所用的测量仪器为丹麦 Risø 公司的 TL/OSL 热释光和光释光自动测量仪(型号:DA-20)以及配套的附件装置。

**1.2 实验方法** 样品处理方法:所有样品磨去约 0.2 mm 的表层,以消除表面杂质和污物的影响。处理后的样品放置于不锈钢碟内备用。

辐照方法:采用热释光和光释光自动测量仪器配备的  $\beta$  放射源<sup>90</sup>Sr 对样品在室温下进行辐照,最大射线能量为 2.27 MeV,活度为 1.48 GBq,辐照样品时,将处理后的样品放置在直径为 10 mm 的不锈钢碟内进行辐照,剂量率约为 0.1 Gy/s,辐照剂量为 0.1~2 Gy,其中,在贴片电阻样品短保存时间的影响实验中,样

品数量为每个点 5 个平行样,其余所有的实验每个点为 10 个平行样。

测量方法:测量时激发光源使用蓝光发光二极管(LED)进行激发,功率为  $5 \times 10^{-2}$  W/cm<sup>2</sup>,中心波长为 470 nm,测量的滤光片为 U430 型滤光片。测量结束后对所有样品进行退火处理。

## 2 结果

### 2.1 贴片电阻 OSL 特性保存阶段环境因素影响实验结果

**2.1.1 贴片电阻样品短保存时间的影响** 为测试在受照后短时间内样品信号的自衰减特性,本研究对贴片电阻样品辐照 1 Gy 后,分别在 25℃ 和 65℃ 环境温度中放置 1 s、30 s、2 min、10 min、1 h、6 h、12 h 和 24 h 后进行测量。测量结果如图 1。

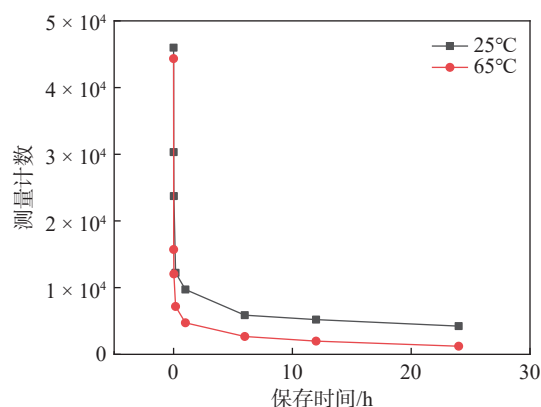


图 1 贴片电阻在短时间内剂量信号衰减规律

Figure 1 Short-term attenuation of dose signals in chip resistors

实验结果显示:样品在辐照后的短时间(10 min)内剂量信号会呈指数规律迅速减少,样品放置 1 d 后的计数只有不放置时测量计数的 10%,这可能是导致不同学者对贴片电阻衰减特性研究结果不同的原因之一。同时,保存温度的增加会导致衰减速度增加。因此,在样品辐照后短时间内的测量,需注意辐照后因测量时间和保存温度的不同而导致样品之间结果的较大差异。考虑到实际应用中受照人员所处位置不同导致测量样品收集时间无法统一,本研究建议将样品策略时间设定在辐照后至少 6 h 进行,以降低短时间内信号快速衰减对结果的影响。

**2.1.2 不同温度下,贴片电阻长时间保存的影响** 为模拟分析核应急后,不同温度下,样品的不同保存时间的影响,考虑到正常环境温度为-5~35℃,核事故后可能会使得环境温度升高。因此,本工作中,对贴片电阻样品辐照 1 Gy 剂量后,分别放置在-5、25、

35、45 和 65 °C 恒温箱中,进行了为期 1 周不同保存时间的影响实验测量,结果如图 2。

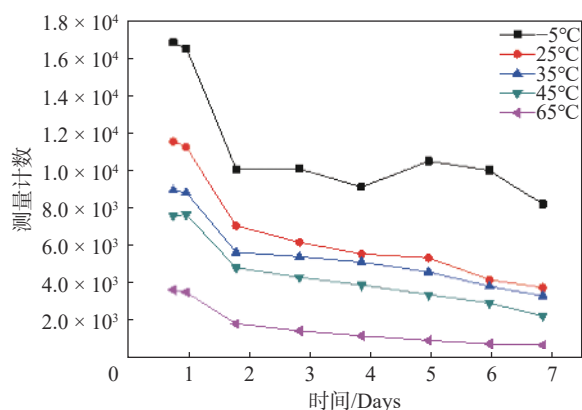


图 2 不同温度下贴片电阻的 OSL 信号随时间的衰减规律

Figure 2 Attenuation of OSL signals with time for chip resistors at different temperatures

从测量结果可知,样品 OSL 信号在 1 周内随保存温度的增加而减少。在 -5 °C 条件下,样品放置 2 d 后,测量计数趋于稳定。在 25~45 °C 时,随着保存温度及时间的延长,样品的测量计数值逐渐减少,但在此温度范围内,温度引起的测量计数的标准偏差 < 20%;保存 2 d 后的测量计数的变化量在 10% 左右;而在 65 °C 下保存的样品,虽然在放置 3 d 后测量计数趋于稳定,但其信号衰减程度明显增大。

## 2.2 样品不同保存时间和温度下的剂量线性情况

为分析样品在不同保存时间和温度下的剂量线性,本研究在 25 °C 和 65 °C 下,分析了样品辐照剂量为 0.1、0.2、0.5、1 和 2 Gy 时,3 d 内的剂量线性。测量结果如图 3~4。

测量结果显示,在 25 °C 和 65 °C 下,样品在 3 d 内均具有良好的剂量线性响应 ( $R^2 > 0.99$ )。相比之

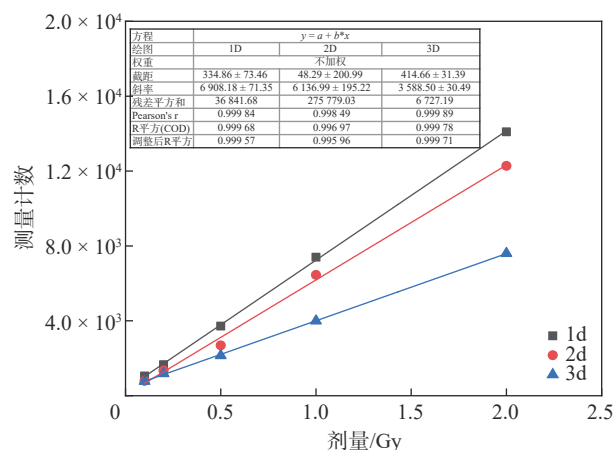


图 3 1~3 d 内贴片电阻的剂量响应曲线 (25 °C)

Figure 3 Dose response curves of chip resistors over 1-3 days (25 °C)

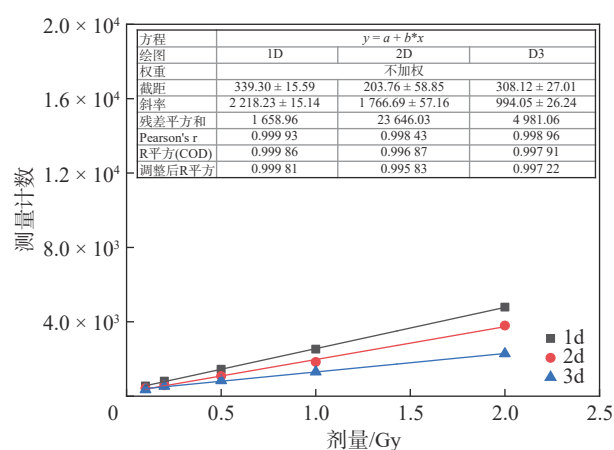


图 4 1~3 d 内贴片电阻的剂量响应曲线 (65 °C)

Figure 4 Dose response curves of chip resistors over 1-3 days (65 °C)

下,25 °C 保存的样品信号衰减更少。此外,在相同保存温度下,保存时间越短则信号衰减越弱。

2.3 降低保存温度对贴片电阻 OSL 信号影响的探究 样品的保存温度和保存时间都会影响其测量计数,实际应用中,样品在受照后到采样前处于自然环境中,由于环境温度的变化和人员携带样品出入不同温度场所的具体温度和时间不易统计,从而给剂量重建的测量带来较大误差,为提高测量准确性,本研究基于前期实验结果,采用预热处理消除此影响,为确定最佳预热条件,本研究在一周内对不同保存时间和温度条件下的样品进行不同预热温度和预热时间的测量。

2.3.1 贴片电阻预热温度的影响测试 对辐照 1 Gy 剂量的样品在 -5、25、35、45 和 65 °C 保存温度下保存 1 d 后,进行了不预热、70 °C 和 130 °C 预热 1 min 的测量,测量结果如图 5。

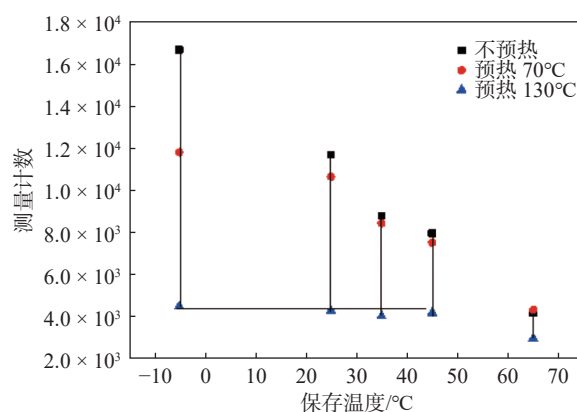


图 5 不同保存温度下,不同预热温度对贴片电阻 OSL 信号的影响

Figure 5 Effects of preheating temperatures on OSL signals of chip resistors at different storage temperatures

由图 5 可知,相比于不预热,70 ℃ 预热 1 min,能显著降低-5 ℃ 保存样品的测量计数,但对 25 ℃ 以上保存的样品影响较少;130 ℃ 预热 1 min,可迅速减少所有保存温度下的样品计数,并将 45 ℃ 以下保存样品的测量计数达到相近水平(相对偏差 < 5%),如图 5 横线所示。因此,实际测量中,预热 130 ℃ 可有效减小环境温度变化带来的测量误差。

2.3.2 贴片电阻预热时间的影响测试 辐照 1 Gy 的贴片电阻样品在-5、25、35、45 和 65 ℃ 下保存 1 d 后,进行了 130 ℃ 预热处理,预热时间分别为 0.5、1 和 2 min,测量结果如图 6。

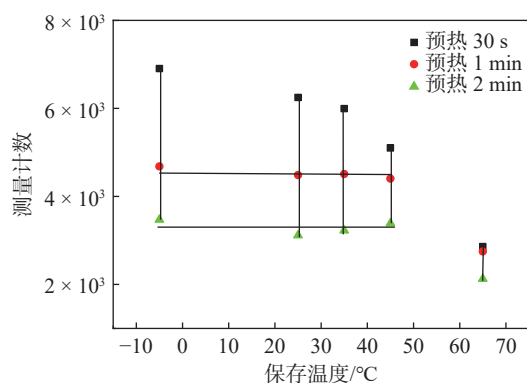


图 6 不同保存温度下,不同预热时间对贴片电阻 OSL 信号的影响

Figure 6 Effects of preheating times on OSL signals of chip resistors at different storage temperatures

由图 6 可知,相比于 130 ℃ 预热 30 s,预热 1 min 和 2 min 均可使-5~45 ℃ 保存样品的测量计数降至同一水平(相对偏差 < 5%),且预热时间越长,测量计数越少(如图 6 横线所示)。因此,在测量过程中,可选择 130 ℃ 预热 1 min 来减少取样前样品环境温度变化带来的测量误差。

2.3.3 贴片电阻不同保存时间下预热数据的比较结果 为探究预热对减少环境温度变化导致的测量计数影响,本研究对辐照 1 Gy 的样品在-5、25、35、45 和 65 ℃ 保存温度下,分别保存 1~7 d 后,进行了 130 ℃ 预热 1 min 的测试,测量结果如图 7。

由图 7 可知,样品测量计数随保存时间的增加而减少。在 25~45 ℃ 保存温度下,相同放置时间的样品经 130 ℃ 预热 1 min 后,测量计数接近(相对偏差 < 10%)。而与-5 ℃ 和 65 ℃ 保存温度时的数据差异显著,且该差异随保存时间的增加而增加。因此,预热方法可降低取样前样品因环境温度昼夜变化、样品出入场所温度变化或手机拆机时热风机熔胶所带来的影响。但该操作具有一定的局限性,温度需在 25~45 ℃ 内。

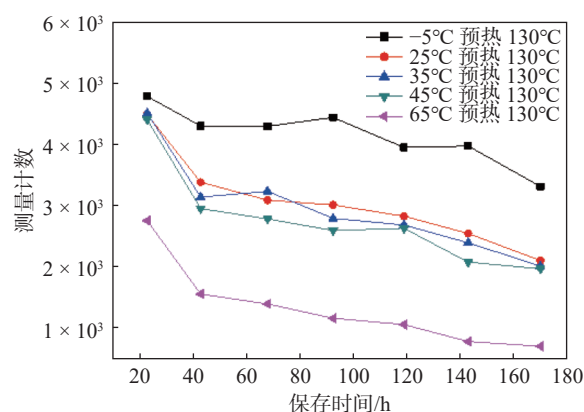


图 7 不同保存时间下预热数据的比较结果

Figure 7 Comparison of preheating data at different storage times

### 3 讨论

回顾性剂量重建对辐射事故调查、核与辐射事故应急至关重要,是在事故各阶段进行正确的响应、减少人员损伤和环境危害的关键依据与前提。OSL 剂量测量技术因其剂量测量范围广( $\geq 10$  mGy)、测量速度较快等优点,在回顾性剂量重建领域中受到重视和应用<sup>[13]</sup>。0402 贴片电阻作为手机等便携式电子产品的关键元件,具有作为回顾性剂量重建剂量计的潜力。但是,电阻样品在保存阶段的环境影响因素(如:保存时间、保存温度等)的不确定将扩大测量结果的不确定性,影响其作为回顾性剂量重建剂量计的可行性。

本研究发现保存温度和保存时间均会对贴片电阻的 OSL 特性产生影响。在保存时间方面,0402 规格的贴片电阻辐照后短时间(10 min)内剂量信号呈指数规律迅速衰减,样品放置 1 d 后的计数只有即时测量的 10%,样品在放置 2 d 后,测量计数趋于稳定(计数变化 < 10%)。多个研究团队也表明保存时间对贴片电阻 OSL 信号有显著影响,如 Lee 等<sup>[14]</sup>的研究显示与辐照后 3 min 相比,OSL 信号在 5 h 后衰减 70%,36 h 衰减 80% 左右。Smith 等<sup>[15]</sup>也发现不同手机贴片电阻在 0~144 h 内 OSL 信号呈指数衰减情况。Mrozik 等<sup>[8]</sup>发现手机的集成电路辐照后,室温下 OSL 信号在 1 d 后会衰减至初始值得 41%,随后衰减速率减缓。这些结果均表明在样品辐照后短时间内的测量中,应特别考虑测量时间的差异而导致样品间测量结果的较大误差。这也可能是 Bassinet 等<sup>[11]</sup>的测试结果出现较大偏差点的原因之一。

尽管保存时间对贴片电阻的 OSL 特性的影响已有研究,但保存温度的影响尚未见报道。在核事故剂



量重建工作中,样品的保存温度受两个方面影响:一方面是受照人群携带手机时的环境温度变化,另一方面是手机拆机时加热去胶导致的电阻受热。这些因素可能导致样品保存温度存在变化。本研究发现贴片电阻在受照后 1 周内,样品的测量计数随保存温度的增加而减少,这可能是高温激发贴片电阻的部分 OSL 信号所致。然而,在 $-5\sim 45\text{ }^{\circ}\text{C}$ 下,样品放置 2 d 后,测量计数的变化趋于稳定。此外,在 $25\text{ }^{\circ}\text{C}$ 和 $65\text{ }^{\circ}\text{C}$ 下保存 1~3 d,贴片电阻在 $0.1\sim 2\text{ Gy}$ 范围内具有良好的剂量线性响应。

为消除保存温度和保存时间对贴片电阻 OSL 信号的影响,我们利用不同预热温度和预热时间测量样品,发现 $130\text{ }^{\circ}\text{C}$ 预热 1 min 可有效消除 $25\sim 45\text{ }^{\circ}\text{C}$ 保存 1~7 d 内的 OSL 信号差异(误差 $<10\%$ )。鉴于其良好的剂量线性响应、保存时间长等特点,贴片电阻可作为生物剂量测定的重要补充剂量计,在核事故回顾性剂量重建中发挥重要作用。

综上所述,贴片电阻的 OSL 特性受保存时间和保存温度的影响,但 $130\text{ }^{\circ}\text{C}$ 预热 1 min 的测量方式可有效消除部分影响,为其在回顾性剂量重建中的应用提供了可能性。然而,将贴片电阻应用于实际核事故后剂量重建工作,还有许多问题需进一步研究,例如,实际工况和实验室工况的差异,如能量响应范围、剂量线性响应范围、小样品量分析的准确性、探测下限等;贴片电阻测得的剂量与人体吸收剂量间的转换关系等。

**利益冲突** 本研究由署名作者按以下贡献声明独立开展,排名无争议。文章不涉及任何利益冲突

**作者贡献声明** 王俊霖负责实验、数据处理、起草文章和修订论文;吴建华负责选题和数据分析;刘阳参与实验方案设计、负责论文修订;陈凌负责审核论文

## 参考文献

- [1] 吕玉民,韩林,李杰,等.染色体易位分析在回顾性生物剂量重建中的研究进展[J].中华放射医学与防护杂志,2021,41(9): 705-710. DOI: 10.3760/cma.j.issn.0254-5098.2021.09.012.  
Lv YM, Han L, Li J, et al. Research progress of chromosome translocation analysis in retrospective biological dose reconstruction[J]. Chin J Radiol Med Prot, 2021, 41(9): 705-710. DOI: 10.3760/cma.j.issn.0254-5098.2021.09.012.
- [2] 刘晓明,程娇,崔双双,等.成像流式细胞术在辐射生物剂量学指标自动分析中的研究进展[J].中国辐射卫生,2023,32(1): 62-65. DOI: 10.13491/j.issn.1004-714X.2023.01.013.

- Liu XM, Cheng J, Cui SS, et al. Research progress of imaging flow cytometry in automatic analysis of radiation biodosimetric indicators[J]. Chin J Radiol Health, 2023, 32(1): 62-65. DOI: 10.13491/j.issn.1004-714X.2023.01.013.
- [3] 阎长鑫.指甲 EPR 剂量重建优化的拟合研究[D].北京:北京协和医学院,2021. DOI: 10.27648/d.cnki.gzxhu.2021.000774.  
Yan CX. A fitting study on optimal dose reconstruction of fingernails EPR[D]. Beijing: Peking Union Medical College, 2021. DOI: 10.27648/d.cnki.gzxhu.2021.000774.
- [4] 屈喜梅,刘忠超,张文艺,等.基于辐照后指甲电子顺磁共振谱线的剂量重建[J].辐射研究与辐射工艺学报,2013,31(2): 020205.  
Qu XM, Liu ZC, Zhang WY, et al. Dose reconstruction based on EPR spectra of irradiated fingernails[J]. J Radiat Res Radiat Process, 2013, 31(2): 020205.
- [5] 赵修良,陈斌,何淑雅,等.辐射事故中食盐光致发光特性研究[J].核电子学与探测技术,2018,38(4): 521-524. DOI: 10.3969/j.issn.0258-0934.2018.04.015.  
Zhao XL, Chen B, He SY, et al. Photoluminescence characteristics of salt in radiation accidents[J]. Nucl Electron Detect Technol, 2018, 38(4): 521-524. DOI: 10.3969/j.issn.0258-0934.2018.04.015.
- [6] 吴建华,骆志平,刘阳,等.手机玻璃材料的 ESR 剂量学特性分析[J].科技视界,2022(33): 1-4. DOI: 10.19694/j.cnki.issn2095-2457.2022.33.01.  
Wu JH, Luo ZP, Liu Y, et al. ESR dosimetry analysis of mobile phone glass materials[J]. Sci Technol Vis, 2022(33): 1-4. DOI: 10.19694/j.cnki.issn2095-2457.2022.33.01.
- [7] Lee JI, Kim H, Kim JL, et al. Thermoluminescence of chip inductors and resistors in new generation mobile phones for retrospective accident dosimetry[J]. Radiat Meas, 2017, 105: 26-32. DOI: 10.1016/j.radmeas.2017.08.007.
- [8] Mrozik A, Marczevska B, Bilski P, et al. OSL signal of IC chips from mobile phones for dose assessment in accidental dosimetry[J]. Radiat Meas, 2017, 98: 1-9. DOI: 10.1016/j.radmeas.2017.01.012.
- [9] 马向捷,何志坚,袁继龙,等.石英玻璃用于放射治疗剂量测量可行性的初步实验分析[J].中国辐射卫生,2023,32(3): 230-234,239. DOI: 10.13491/j.issn.1004-714X.2023.03.002.  
Ma XJ, He ZJ, Yuan JL, et al. Preliminary experimental analysis of the feasibility of quartz glass for radiotherapy dosimetry[J]. Chin J Radiol Health, 2023, 32(3): 230-234,239. DOI: 10.13491/j.issn.1004-714X.2023.03.002.
- [10] Trompier F, Burbidge C, Bassinet C, et al. Overview of physical dosimetry methods for triage application integrated in the new European network RENEB[J]. Int J Radiat Biol, 2017, 93(1): 65-74. DOI: 10.1080/09553002.2016.1221545.

- 水源总  $\alpha$ 、总  $\beta$  放射性水平及健康风险评估[J]. *中国环境监测*, 2023, 39(6): 210-217. DOI: [10.19316/j.issn.1002-6002.2023.06.23](https://doi.org/10.19316/j.issn.1002-6002.2023.06.23).
- Tang H, Li YD, Wang L, et al. Total  $\alpha$  and total  $\beta$  radioactivity levels and health risk assessment of drinking water source in prefecture-level cities (prefectures) of Sichuan province from 2016 to 2020[J]. *Environ Monit China*, 2023, 39(6): 210-217. DOI: [10.19316/j.issn.1002-6002.2023.06.23](https://doi.org/10.19316/j.issn.1002-6002.2023.06.23).
- [9] 林炳兴, 李光宪, 林立雄.  $\alpha/\beta$  粒子在不同类型探测器上的能量响应及其等效因子的一致性[J]. *辐射防护*, 2011, 31(5): 292-299,322.
- Lin BX, Li GX, Lin LX, et al. Energy response of detectors to alpha/beta particles and compatibility of the equivalent factors[J]. *Radiat Prot*, 2011, 31(5): 292-299,322.
- [10] Jobbágy V, Merešová J, Dupuis E, et al. Results of a European interlaboratory comparison on gross alpha/beta activity determination in drinking water[J]. *J Radioanal Nucl Chem*, 2015, 306(1): 325-331. DOI: [10.1007/s10967-015-3955-2](https://doi.org/10.1007/s10967-015-3955-2).
- [11] 吕旭雅, 李慧萍, 马秀凤, 等. 2012—2021 年北京市水源放射性水平监测与评价[J]. *中国辐射卫生*, 2022, 31(4): 418-423. DOI: [10.13491/j.issn.1004-714X.2022.04.006](https://doi.org/10.13491/j.issn.1004-714X.2022.04.006).
- Lyu XY, Li HP, Ma XF, et al. Monitoring and evaluation of radioactivity levels in water sources in Beijing, China, 2012-2021[J]. *Chin J Radiol Health*, 2022, 31(4): 418-423. DOI: [10.13491/j.issn.1004-714X.2022.04.006](https://doi.org/10.13491/j.issn.1004-714X.2022.04.006).
- [12] 冯洪杰, 王新明, 曾宪恒. LB6008 型六路低本底  $\alpha$ 、 $\beta$  测量仪的性能评估[J]. *中国卫生检验杂志*, 2016, 26(21): 3060-3063.
- Feng HJ, Wang XM, Zeng XH. Performance evaluation of LB6008 six channel low background alpha and/or beta measuring instrument[J]. *Chin J Health Lab Technol*, 2016, 26(21): 3060-3063.
- [13] 赵清, 邱向平, 刘浩然. 总  $\alpha$  放射性标准源的制备[J]. *化学分析计量*, 2015, 24(5): 7-11. DOI: [10.3969/j.issn.1008-6145.2015.05.002](https://doi.org/10.3969/j.issn.1008-6145.2015.05.002).
- Zhao Q, Qiu XP, Liu HR. Preparation of total alpha standard source[J]. *Chem Anal Meterage*, 2015, 24(5): 7-11. DOI: [10.3969/j.issn.1008-6145.2015.05.002](https://doi.org/10.3969/j.issn.1008-6145.2015.05.002).
- [14] 中华人民共和国环境保护部. HJ 898—2017 水质 总  $\alpha$  放射性的测定 厚源法[S]. 北京: 中国环境科学出版社, 2018.
- Ministry of Ecology and Environment of the People's Republic of China. HJ 898—2017 Water quality-Determination of gross alpha activity-Thick source method[S]. Beijing: China Environmental Science Press, 2018.
- [15] 王利华, 陆照, 沈乐园. 厚源法测量水中总  $\alpha$  放射性[J]. *环境监测管理与技术*, 2019, 31(4): 43-45,56. DOI: [10.19501/j.cnki.1006-2009.2019.04.010](https://doi.org/10.19501/j.cnki.1006-2009.2019.04.010).
- Wang LH, Lu Z, Shen LY. Determination of gross alpha activity in water by thick source method[J]. *Adm Techn Environ Monit*, 2019, 31(4): 43-45,56. DOI: [10.19501/j.cnki.1006-2009.2019.04.010](https://doi.org/10.19501/j.cnki.1006-2009.2019.04.010).
- (收稿日期: 2024-01-12)

(上接第 277 页)

- [11] Bassinet C, Woda C, Bortolin E, et al. Retrospective radiation dosimetry using OSL of electronic components: results of an inter-laboratory comparison[J]. *Radiat Meas*, 2014, 71: 475-479. DOI: [10.1016/j.radmeas.2014.03.016](https://doi.org/10.1016/j.radmeas.2014.03.016).
- [12] 贾育新, 唐强, 麦维基, 等. 辐射事故中常用电子元件光释光特性研究[J]. *中国职业医学*, 2015, 42(3): 259-262. DOI: [10.11763/j.issn.2095-2619.2015.03.004](https://doi.org/10.11763/j.issn.2095-2619.2015.03.004).
- Jia YX, Tang Q, Mai WJ, et al. Characteristics of optically stimulated luminescence in some electronic components often used for radiation accidents[J]. *China Occup Med*, 2015, 42(3): 259-262. DOI: [10.11763/j.issn.2095-2619.2015.03.004](https://doi.org/10.11763/j.issn.2095-2619.2015.03.004).
- [13] 潘秋秋, 黄丽华, 冯丫娟, 等. 光致光与热释光剂量计部分性能比较[J]. *中国辐射卫生*, 2019, 28(3): 318-320. DOI: [10.13491/j.issn.1004-714X.2019.03.027](https://doi.org/10.13491/j.issn.1004-714X.2019.03.027).
- Pan QQ, Huang LH, Feng YJ, et al. The comparison of partial performance between OSL dosemeter and TLD dosemeter[J]. *Chin J Radiol Health*, 2019, 28(3): 318-320. DOI: [10.13491/j.issn.1004-714X.2019.03.027](https://doi.org/10.13491/j.issn.1004-714X.2019.03.027).
- [14] Lee JI, Chang I, Pradhan AS, et al. On the use of new generation mobile phone (smart phone) for retrospective accident dosimetry[J]. *Radiat Phys Chem*, 2015, 116: 151-154. DOI: [10.1016/j.radphyschem.2015.05.004](https://doi.org/10.1016/j.radphyschem.2015.05.004).
- [15] Smith RW, Eakins JS, Hager LG, et al. Development of a retrospective/fortuitous accident dosimetry service based on OSL of mobile phones[J]. *Radiat Prot Dosim*, 2015, 164(1/2): 89-92. DOI: [10.1093/rpd/ncu370](https://doi.org/10.1093/rpd/ncu370).
- (收稿日期: 2024-01-08)