

文章编号: 2095-4980(2019)05-0910-04

NaI(Tl)闪烁探测器性能随温度变化实验

常元智, 屈国普*, 赵越, 汪伦, 张文利

(南华大学核科学技术学院, 湖南衡阳 421001)

摘要: 采用高低温试验方法探究了温度变化对NaI(Tl)闪烁探测器性能及能谱测量的影响, 观察能谱并以常温25℃为基准, 计算 ^{137}Cs 的0.662 MeV、 ^{60}Co 源1.173 MeV、1.332 MeV特征峰位道址、 γ 射线全能峰计数率、能量分辨率在25℃下相对变化值。结果为: ^{137}Cs 的0.662 MeV、 ^{60}Co 源1.173 MeV、1.332 MeV特征峰位道址在0℃~20℃范围内基本保持一致, 在20℃~45℃范围内随温度升高逐渐降低; 0.662 MeV和1.173 MeV全能峰计数率随温度变化分别在 $\pm 5.19\%$ 和 $\pm 4.48\%$ 范围内保持一致; 3个对应能量分辨率分别在 $\pm 4.3\%$ 范围内随温度变化保持一致。可看出利用 γ 源作为稳峰源是可行的。

关键词: NaI(Tl)闪烁探测器; 温度变化; 峰位道址; 稳谱

中图分类号: TL364.4

文献标志码: A

doi: 10.11805/TKYDA201905.0910

Experimental research on performance of NaI(Tl) scintillation detector with temperature change

CHANG Yuanzhi, QU Guopu*, ZHAO Yue, WANG Lun, ZHANG Wenli

(School of Nuclear Science Technology, University of South China, Hengyang Hunan 421001, China)

Abstract: In this paper, the effect of temperature change on the performance and energy spectrum measurement of NaI(Tl) scintillation detector was investigated by high and low temperature test method. The energy spectrum was observed on the basis of 25℃ as a benchmark. The calculated values at 25℃ include the characteristic peak path address of ^{137}Cs in 0.662 MeV, ^{60}Co in 1.173 MeV and 1.332 MeV, and the total peak counting rate of Gamma rays, energy resolution. It comes to a conclusion that the characteristic peak path addresses of ^{137}Cs in 0.662 MeV, ^{60}Co in 1.173 MeV and 1.332 MeV were consistent at 0℃~20℃, while gradually decrease at 20℃~45℃. Total peak counting rate of Gamma rays in 0.662 MeV and 1.173 MeV were consistent within the range of $\pm 5.19\%$ and $\pm 4.48\%$ respectively. The three corresponding energy resolutions were consistent with the temperature changes within the range of $\pm 4.3\%$. It can be seen that it is feasible to use the γ -ray as a stable peak source.

Keywords: NaI(Tl) scintillation detector; temperature variation; peak path address; spectrum stabilization

能谱分析测量是放射性测量的一种基本方法, 在核辐射监测泄漏、环境监测、工业、高能物理等领域均有广泛应用。在能谱测量过程中, 国内外主要采用线性稳谱方法, 但线性稳谱方法一般未考虑能量受温度变化影响。此外还有非线性稳谱方法。目前多数谱仪系统在监测过程处于长时间工作状态, 在这段时间周围环境温度会有所变化, 对谱仪性能会产生一定影响。谱仪系统中探测器电子学部分及系统内高压电源电流、光电倍增管倍增系数、NaI(Tl)晶体的发光效率、放大器的放大倍数以及甄别器的值都会随温度变化, 这些由于温度产生的变化会造成能谱漂移、能量响应改变等一系列问题, 从而导致测量误差。因此探究受上述综合因素影响的最终能谱受温度影响变化情况非常必要。以本课题组研发的用于核电站一回路压力边界泄漏监测的 ^{13}N 监测系统为例, 该系统作为在线监测仪器, 去除核电停堆大修等特殊情况, ^{13}N 监测系统常年处于连续工作状态。考虑到周围环境温度变化

收稿日期: 2018-12-07; 修回日期: 2019-02-26

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(No.11175083); 湖南省自然科学基金资助项目(No.2018JJ2314)

*通信作者: 屈国普 email:13973406083@163.com

会对该系统产生影响,通过高低温试验,改变 NaI(Tl)闪烁探测器温度,研究温度变化对 NaI(Tl)闪烁探测器性能及能谱测量的影响,同时对于谱仪系统的辐射监测也有重要意义^[1-2]。

1 NaI(Tl)闪烁探测器工作原理及影响因素

闪烁探测器的工作过程如下: a) 辐射射入闪烁体,使闪烁体原子电离或激发,受激原子退激而发出波长在可见光波段的荧光; b) 荧光光子被收集到光电倍增管(Photo Multiplier Tube, PMT)的光阴极,通过光电效应打出光电子; c) 电子运动并倍增,并在阳极输出回路输出信号。

通过闪烁探测器的工作过程可以看出,闪烁体的发光效率受温度影响,不同晶体受温度影响发光效率不同。对于 NaI(Tl)晶体,整体看 NaI(Tl)晶体随温度升高,发光效率降低。¹³N 监测仪系统采用 NaI(Tl)闪烁探测,另外,光电倍增管光谱响应、二次仪表也受温度因素干扰,影响最终输出信号。基于此,对谱仪探头进行温度测试,通过改变温度,观察能谱变化情况,从而探究温度对 NaI(Tl)闪烁探测器性能及能谱测量的影响^[3-6]。

2 NaI(Tl)探测器性能测试实验方案

整套谱仪装置由 NaI(Tl)闪烁探测器(前置放大器、闪烁体、光电倍增管)、高压电源、线性放大器、多道脉冲幅度分析器、NIM 插件组成。其中 NaI(Tl)闪烁探测器为北京核仪器厂生产的商用探头,多道脉冲幅度分析器为中科院上海应物所生产,整套探测装置为通用伽马谱仪装置^[7-10]。采用标准 ¹³⁷Cs 和 ⁶⁰Co 放射源进行能谱分析测量。整套谱仪装置连接框图见图 1。

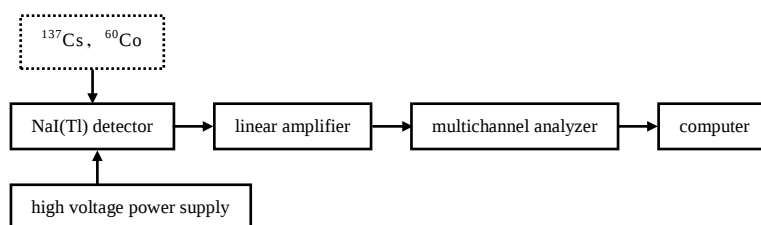


Fig.1 Block diagram of the whole spectrometer device connection

图1 整套谱仪装置连接框图

实验采用标准工业高低温试验箱,将探头部分放入试验箱内,试验箱外连接多道脉冲幅度分析器、计算机。实验中固定 ¹³⁷Cs 和 ⁶⁰Co 放射源,与闪烁探测器位于同一竖直线上,如图 2 所示。实验过程中探头温度变化范围为 0℃~45℃,设置 0℃,5℃,10℃,15℃,20℃,25℃,30℃,35℃,40℃,45℃ 共计 10 个特征温度点。其中高低温试验箱在工作过程温度在指定温度 ± 0.1 ℃ 范围内保持不变,每个温度点测量 5 次,每次温度保持 8 h 后测量该次数据,以保证整个探头部分完全达到当前时刻设置温度。试验箱外为空调房,室温恒定,整个测量过程未发生谱漂移现象。

3 实验数据及处理

观察能谱,记录不同温度下峰位数据,包括 ¹³⁷Cs 源的 0.662 MeV, ⁶⁰Co 源 1.173 MeV, 1.332 MeV 特征峰的峰位道址、对应的能量分辨率、 γ 射线全能峰计数率^[11-15]。

3.1 谱漂移

考虑到放射性测量统计涨落原因,计数率会有小幅度范围不同,故上述峰位道址随温度变化图中峰位道址用竖直双标箭头表示,见图 3~图 5。根据 5 次测量结果,查表计算评定测量系统不确定度为 $X \pm 3.6$,其中 X 为峰位道址数。由图可以看出,随温度从 0℃ 至 45℃ 阶梯型升高,3 个能量特征峰位道址显著漂移,且非线性变化系,道址先增大后减小。整体来看,3 个能量特征峰位道址随温度变化趋势一致。

整套谱仪系统正常工作处于常温 25℃,以 25℃ 3 个能量特征峰位道址为基准,计算在 0℃~45℃ 范围内,峰位在常温 25℃ 下相对变化值。由于实验误差,0.662 MeV 变化值范围在 0.6%~5.1%,1.173 MeV 变化值范围在 0.2%~5.3%,1.332 MeV 变化值范围在 0.01%~5.2%,综合得出 3 个能量特征峰位在 5.3% 范围内保持一致。

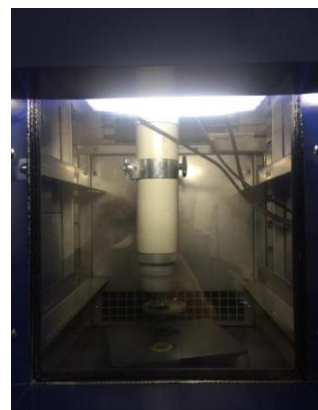


Fig.2 Detector is located in the high and low temperature test chamber

图2 探测器位于高低温试验箱

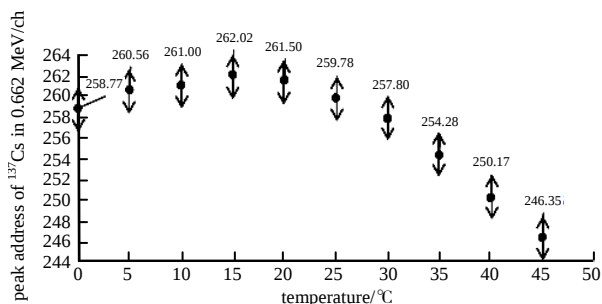


Fig.3 Peak position of 0.662 MeV of ^{137}Cs source changing with temperature
图 3 ^{137}Cs 源 0.662 MeV 峰位道址随温度变化

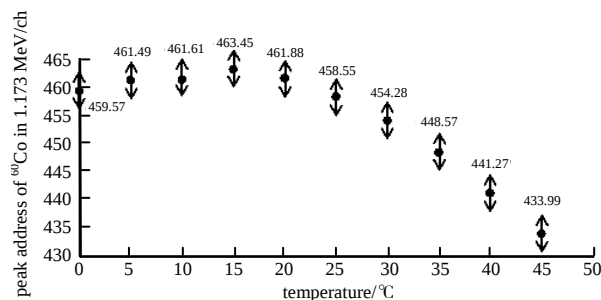


Fig.4 Peak position of 1.173 MeV of ^{60}Co source changing with temperature
图 4 ^{60}Co 源 1.173 MeV 峰位道址随温度变化

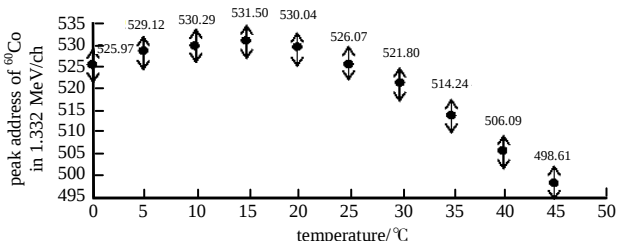


Fig.5 Peak position of 1.332 MeV of ^{60}Co source changing with temperature
图 5 ^{60}Co 源 1.332 MeV 峰位道址随温度变化

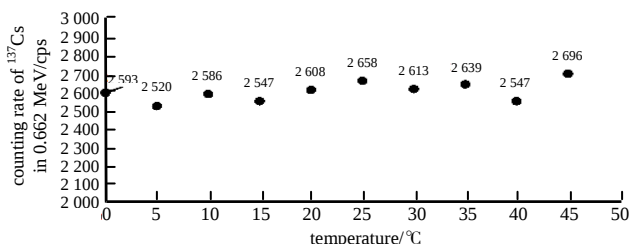


Fig.6 0.662 MeV all-energy peak count rate changing with temperature
图 6 0.662 MeV 全能峰计数率随温度变化

3.2 γ 射线全能峰探测效率

根据 5 次测量结果, 查表计算评定测量系统不确定度为 $Y \pm 5.2$, 其中 Y 为全能峰计数率。由图 6 和图 7 可以看出, 0.662 MeV 和 1.173 MeV 全能峰计数率整体随温度变化不大, 以常温 25 °C 全能峰计数率为基准, 0.662 MeV 变化范围在 0.71%~5.19%, 1.173 MeV 变化范围在 0.91%~4.68%。综合得出, 0.662 MeV 和 1.173 MeV 全能峰计数率随温度变化在 5.20% 范围内保持一致。

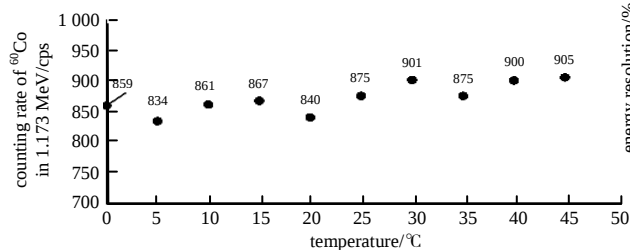


Fig.7 1.173 MeV all-energy peak count rate changing with temperature
图 7 1.173 MeV 全能峰计数率随温度变化

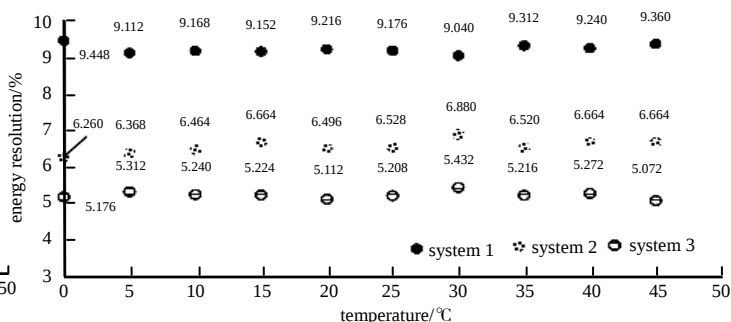


Fig.8 Energy resolution varying with temperature
图 8 能量分辨率随温度变化

3.3 能量分辨率

图 8 中系列 1,2,3 分别对应 NaI(Tl)探测器对 ^{137}Cs 源 0.662 MeV、 ^{60}Co 源 1.173 MeV 和 1.332 MeV 的能量分辨率。由图 8 可以看出, NaI(Tl)探测器对 ^{137}Cs 源 0.662 MeV、 ^{60}Co 源 1.173 MeV 和 1.332 MeV 的能量分辨率较高。以常温 25 °C 下系统能量分辨率为基准, 计算相对变化值: 0.662 MeV 变化范围在 0.08%~2.96%, 1.173 MeV 变化范围在 0.1%~4.1%, 1.332 MeV 变化范围在 0.1%~4.3%, 综合得出: 0.662 MeV, 1.173 MeV 和 1.332 MeV 能量分辨率在 4.3% 范围内随温度变化保持一致。

4 结论

通过实验测量, 探究了温度在 0 °C~45 °C 范围内变化对 NaI(Tl)闪烁探测器性能及能谱测量的影响; 分析了 3 个能量 γ 射线的特征峰位道址、 γ 射线全能峰探测效率以及能量分辨率随温度变化情况; 并以常温 25 °C 为基准, 计算了相对变化值范围。可以看出, 利用 γ 源作为稳峰源是可行的, 该实验研究对于监测仪稳谱技术有重要意义。

参考文献:

- [1] XU Yadong, JIE Wanqi, HE Yihui. Investigation on γ -ray response and stability for CdZnTe detectors[J]. Journal of Optoelectronics Laser, 2010, 21(3): 331–334.
- [2] 北京大学, 复旦大学. 原子核物理实验方法[M]. 北京: 原子能出版社, 1984. (Peking University, Fudan University. Experimental methods for nuclear physics[M]. Beijing: Atomic Energy Publishing House, 1984.)
- [3] 屈国普, 凌球, 郭兰英, 等. ^{13}N 监测仪的稳谱技术研究[J]. 核技术, 2005, 28(7): 561–563. (QU Guopu, LING Qiu, GUO Lanying, et al. Research on Stabilization Technology of ^{13}N Monitor[J]. Nuclear Technology, 2005, 28(7): 561–563.)
- [4] 汤彬. 核辐射探测器[M]. 哈尔滨: 哈尔滨工程大学出版社, 2011. (TANG Bin. Nuclear radiation detector[M]. Harbin, China: Harbin Engineering University Press, 2016.)
- [5] VOLKOVITSKY P. ^{207}Bi characterization by gamma–gamma coincident detection[J]. Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section A: Accelerators, Spectrometers, Detectors and Associated Equipment, 2011, 652(1): 661–664.
- [6] SHOOP S. Studies on monolithic active pixel sensors and detector performance for the inner tracking system upgrade of ALICE[J]. Tire Science & Technology, 2015, 30(3): 180–197.
- [7] REDUS R H, HUBER A C, PANTAZIS J A. Improved thermoelectrically cooled X/ γ -ray detectors and electronics[J]. Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section A: Accelerators, Spectrometers, Detectors and Associated Equipment, 2001, 458(1/2): 214–219.
- [8] SZELES C. Advances in the crystal growth and device fabrication technology of CdZnTe room temperature radiation detectors[J]. IEEE Transactions on Nuclear Science, 2014, 51(3): 1242–1249.
- [9] KAJIMOTO T, SANAMIB T, NAKAOC N, et al. Neutron energy spectrum measurement using an NE213 scintillator at CHARM[J]. Beam Interactions with Materials and Atoms, 2018, 429(15): 27–33.
- [10] JANNIKE Solsvik. Turbulence modeling in the wide energy spectrum: explicit formulas for Reynolds number dependent energy spectrum parameters[J]. European Journal of Mechanics–B/Fluids, 2017, 61(1): 170–176.
- [11] TOBIAS Winchen, STIJN Buitink. Energy spectrum of fast second order Fermi accelerators as sources of ultra-high-energy cosmic rays[J]. Astroparticle Physics, 2018, 102(1): 25–31.
- [12] KAWAHARA D, OZAWACD S, DAITOC A, et al. Energy spectrum and dose enhancement due to the depth of the Lipiodol position using flattened and unflattened beams[J]. Reports of Practical Oncology & Radiotherapy, 2018, 23(1): 50–56.
- [13] GHAFHAROKHI B S, AZADMANESH M, KHORASANI S K. Energy and spectrum efficient mobility-aware resource management for D2D multicasting[J]. Computer Networks, 2018, 146(9): 47–64.
- [14] 全文浩, 刘北云, 杨炎翰, 等. 基于石墨烯材料的太赫兹波探测器研究进展[J]. 太赫兹科学与电子信息学报, 2018, 16(4): 588–594. (TONG Whenhao, LIU Beiyun, YANG Yanhan, et al. Research progress of graphene based terahertz wave detectors[J]. Journal of Terahertz Science and Electronic Information Technology, 2018, 16(4): 588–594.)
- [15] BETAN R M Id, MADRID R de la. The Gamow-state description of the decay energy spectrum of neutron-unbound ^{25}O [J]. Nuclear Physics A, 2018, 970(1): 398–410.

作者简介:



常元智(1993–), 男, 河南省南阳市人, 在读硕士研究生, 攻读方向为核技术及应用研究。email: 295686217@qq.com.

汪 伦(1995–), 男, 湖南省衡阳市人, 在读硕士研究生, 主要研究方向为核技术应用。

屈国普(1964–), 男, 湖南省衡阳市人, 教授, 硕士生导师, 主要研究方向为核辐射探测、核技术应用。

赵 越(1979–), 男, 湖南省衡阳市人, 讲师, 主要研究方向为核技术应用。

张文利(1994–), 女, 湖南省衡阳市人, 在读硕士研究生, 主要研究方向为核技术应用。