

Research on Distribution of Environmental Background Gamma Spectrum Integral Counts

Liting Wang¹, Chang Zhou², Yujin Dai¹, Lihong Song¹

¹Navy Aeronautical engineering University, Yantai, China

²Command and Engineering College of Chemical Defense, Beijing, China

Email: delightbreeze@sohu.com, zhouchang1113@yahoo.com.cn

Abstract: Integral counts distribution of environmental background gamma spectrum shows ability to restrain the interference in radiation detection, which is from background fluctuation and low-level natural radioactivity. It also can distinguish artificial radioactivity from environmental radiation background and reduce relative error effectively. Based on this characteristic, the article advances a new ultimate method of environmental detection at low-level radiation. Gamma radiation detection with this method fits for the regular detection of surroundings, especially in the filed of the discovery and alarm of illicit radioactive material.

Keywords: environmental background; γ spectrum; radiation detection

环境本底的 γ 能谱积分计数分布特性研究与应用

王丽婷¹, 周 畅², 戴宇进¹, 宋里宏¹

¹海军航空工程学院 山东烟台 264001

²防化指挥工程学院 北京 102205

Email: delightbreeze@sohu.com, zhouchang1113@yahoo.com.cn

摘 要: 环境本底的 NaI (TI) γ 能谱经积分计数归一化处理后, 能一定程度的抑制本底涨落和低水平天然放射源对探查监测的干扰, 较好的识别人工放射性, 并降低数据的相对误差。基于这一发现提出了一种新的本底 γ 辐射监测方法基本原理, 它适用于对低水平 γ 辐射的常规环境辐射监测和非法放射性物质的发现与报警。

关键词: 环境本底; γ 能谱; 辐射监测

1 引言

为保证核与辐射相关工作人员和公众的安全, 需要长期不间断的监测环境的电离辐射水平, 尤其是在大型核设施、放射性矿物开采或选冶设施、放射性物质加工设施、放射性废物管理设施以及非豁免水平的放射源周围, 更需注重监测环境本底的变化情况。

在非屏蔽环境中开展的低水平放射性探测, 往往受到本底计数涨落的严重影响。为降低这一负面影响, 实现本底统计涨落抑制, 本文对环境本底 γ 能谱进行了研究, 尝试着根据环境本底与人工 γ 放射性的能量分布差异, 求取信号探测甄别的方法。实验中发现, 环境本底在 γ 能谱中表现出了较稳定的脉冲分布规

律, 经过归一化积分处理后, 数据的统计涨落和误差在常用的能量范围内也得到了较好的抑制, 为新的环境辐射监测报警算法提出奠定了基础。

2 本底辐射

广义的讲, 任何待测放射性核素之外的原因引起的计数, 都可看作是本底。它的来源包括天然辐射源、人工辐射源、仪器噪声、电磁干扰等^[1]。但本文中所指的本底仅指环境和探测元件中电离辐射引起的计数, 不包括非放射性因素或系统误差引起的计数, 认为后者已通过采用高精度探测系统、合理操作与多次测量等措施避免。

3 本底能谱的积分计数分布

3.1 能谱的归一化积分计数算式

能谱分析是研究环境本底电离辐射脉冲信号分布特征的必要手段。在未屏蔽的环境中探测 γ 放射性时，全能峰区和全谱的计数统计误差均会影响脉冲计数的分布精确度。为降低统计误差干扰，同时尽量缩短探测时间，对采集到的能谱数据进行积分处理，所有积分计数值均作归一化处理，以提高数据的可比性和可读性。

能谱数据分析中，设定第 i 道计数（率）所占总计数（率）的份额 b_i 是

$$b_i = \frac{\sum_i^{CH} N_i}{N} = \frac{\sum_i^{CH} n_i}{n} \dots\dots (1)$$

式中， N 为总计数； n 为总计数率 (cps)； N_i 为第 i 道计数； n_i 为第 i 道计数率 (cps)； CH 为能谱的谱长，本文中谱长为 1024 道。 b_i 就是能谱第 i 道的归一化积分计数率值。下面就根据上述方法，对实验采集到的 NaI (TI) 探测器本底能谱进行数据处理、结论分析和方法初探。

3.2 本底谱的归一化积分计数分布

图 1 (a) 为 NaI (TI) 探测器连续采集本底 1 小时、15 分钟和 1 分钟获得的本底 γ 能谱。图 1 (b) 为图 1 (a) 中数据经式 (1) 计算后，得到的本底谱归一化积分计数分布曲线。

由图 1 两图对比可见，采集时间不同导致计数差异很大，且采集时间越短数据的统计性越差。数据经积分计数归一化后，其分布曲线基本一致。大量实验证实，积分计数归一化的方法对采集时间的要求相对较低。

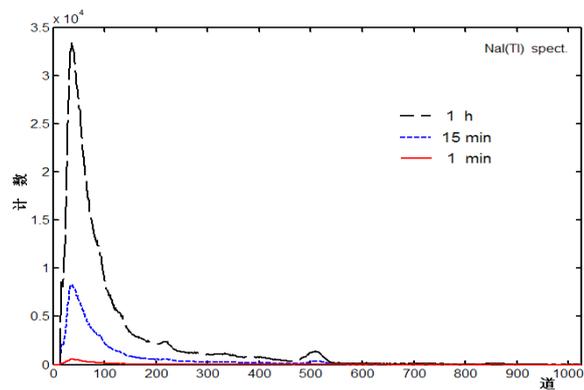
本底中某些天然放射性核素突然增加，导致本底增强，干扰对异常 γ 放射性的探查报警。因此，实验中也探测和讨论了天然放射性增强对本底归一化积分计数分布的影响。图 2 (a) 为 NaI (TI) 探测器采集到的室内本底下天然放射性体源的能谱，采集时间为 15 分钟。图 2 (b) 为图 2 (a) 中能谱的归一化积分计数分布曲线。能谱采集使用的各种天然放射源核素、活度及比活度数据见表 1，获得的能谱总计数与平均计数率见表 2。

实验证明，在天然放射源不是很强时，受干扰的本底谱归一化积分计数分布曲线偏离并不严重，表明该方法具有一定的抑制天然放射性干扰的能力。

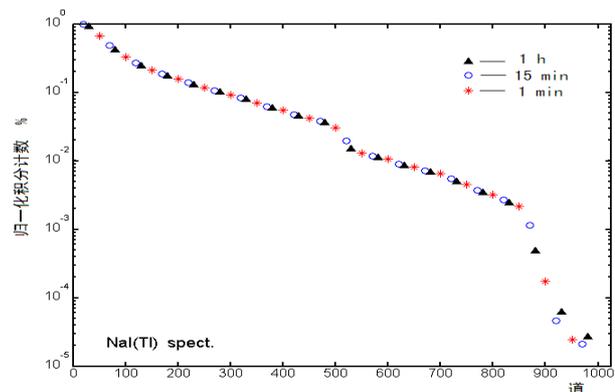
以上仅列举了采集时间长短不同和受天然核素干扰的两种情况下，本底能谱与其归一化积分计数曲线的变化情况。在这两种情况下，归一化积分计数曲线的稳定性均优于原始能谱。当然，影响本底谱变化的因素是多方面的，为避免出现不必要的误差，研究或应用能谱积分计数率分布特性时，应尽量随测量条件的变化和时间的推移，及时更新本底谱及其分布曲线，获取最准确的数据。

3.3 归一化积分计数的统计误差

多道分析器记录的计数，相邻两道之间严格来说



(a) 本底线性能谱

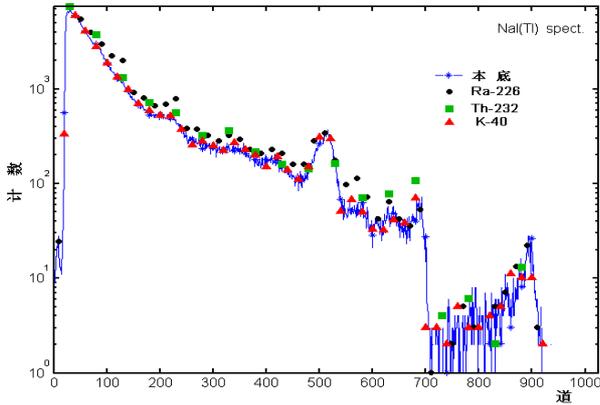


(b) 本底谱的归一化积分计数分布对数曲线 (抽样)

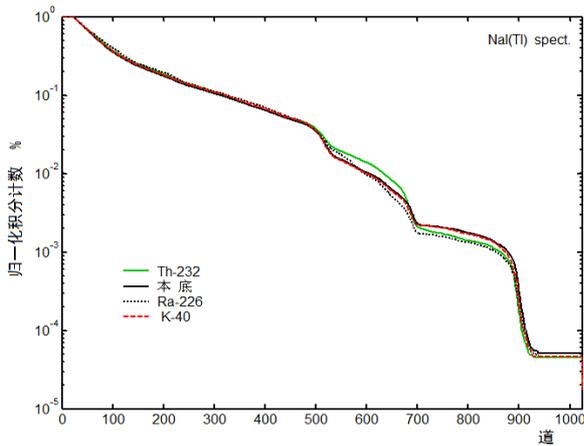
图 1. 不同采样时间的本底能谱与归一化积分计数分布的对比

表 1. 能谱采集使用的天然放射源核素种类、活度与比活度

核素	活度 A (Bq)	重量 (g)	比活度 (Bq/kg)
Ra-226	602.83	253.0	2382.727
Th-232	460.93	262.5	1755.924
K-40	859.77	261.0	3294.138



(a) 某天然放射源的对数能谱



(b) 天然放射源能谱的归一化积分计数分布对数曲线

图 2. 天然放射源能谱与其归一化积分计数分布的对比

表 2 天然放射源能谱中的计数与计数率

核素	能谱总计数	平均计数率 (cps)
本底	5.2076e+05	578.62
Ra-226	6.3736e+05	708.18
Th-232	6.0627e+05	673.63
K-40	5.2097e+05	578.86

是相关的，因为全能峰在测量期间可能发生漂移，多道分析时又有一定的死时间，并且道宽可能随时间而变化，这样一道道的计数就有可能对其它道的损失有影响。但是，若假定分析器足够稳定，计数率又不很高时，可作第一级近似处理，则各道的计数认为是独立事件，各道的计数率也相互独立。此时，本底 γ 能谱中，第 i 道的相对标准误差 v_i 为

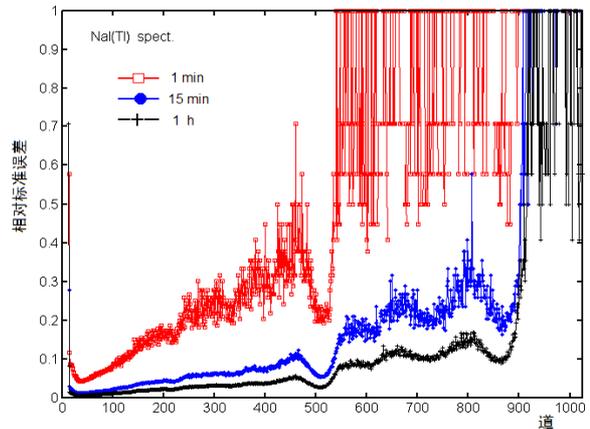
$$v_i = \frac{\sigma_i}{n_i} = \frac{\sqrt{n_i}/t}{n_i} = \frac{1}{\sqrt{n_i t}} = \frac{1}{\sqrt{N_i}} \dots \dots (2)$$

式中， σ_i 为第 i 道计数率的标准误差； t 为测量时间(s)； N_i 为第 i 道计数； n_i 为第 i 道计数率 (cps)。由式 (2) 中可以看出，相对误差只与总计数有关，而与测量的时间分配无关^[1]。

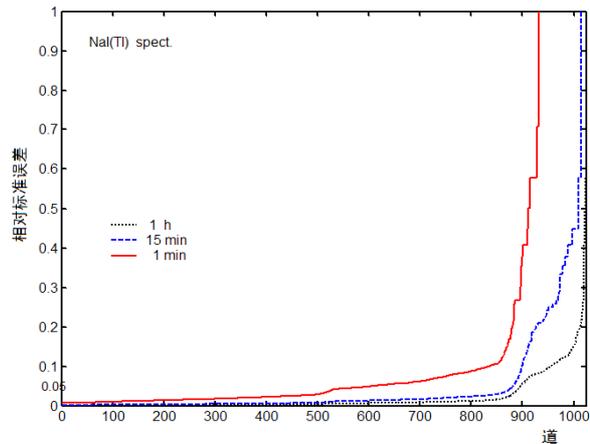
随后，在计算各道积分计数占总计数率比值 b_i 时，发生误差传递，误差传递后的第 i 道相对标准误差为

$$v_{b(i)} = \left(\frac{N + \sum_i^{CH} N_i}{N \cdot \sum_i^{CH} N_i} \right)^{1/2} \dots \dots (3)$$

以图 1 中的本底谱数据为例，根据式(2)和式(3)，求出本底能谱和其归一化积分计数分布曲线在各道的相对误差，如图 3 所示。由图可见，能谱经积分计数归一化处理，数据的统计误差降低，这就有利于探测中对本底涨落干扰的控制。



(a) 环境本底的 γ 能谱逐道相对误差



(b) 本底能谱归一化积分计数的逐道相对误差

图 3. 本底能谱与其归一化积分计数曲线的逐道相对误差对比

4 本底 γ 能谱积分计数分布在环境辐射监测中的应用

能谱的积分计数分布曲线不能直观标识出核素的全能峰，因此不适用于核素鉴别，但由于具有相对较好的稳定性和较低的统计涨落，可将该法应用到计数（率）测量模式下的本底辐射水平探测报警中。

当环境中各种辐射来源基本不变时，其本底谱积分计数分布基本不变。当环境中出现辐射源项异常波动，尤其是出现人工辐射源时，放射性核素在能谱中形成全能峰计数会在特定道区“堆积”，从而显著改变该能量处占全谱计数的比值，即改变该处的 b_i 值，使得能谱积分计数分布曲线变化。图 4 为非屏蔽环境中本底、低水平人工放射性点源 Cs-137、Co-60 的能谱归一化积分计数分布曲线，其中 Cs-137 源活度为 $3.130 \times 10^4 \text{Bq}$ ，Co-60 源活度为 $1.540 \times 10^3 \text{Bq}$ ，采集时间均为 15 分钟。

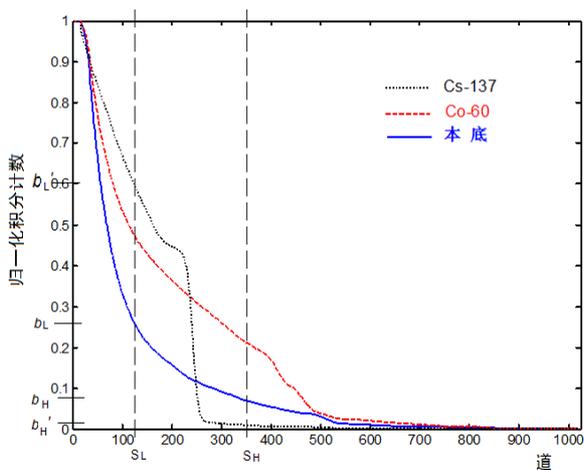


图 4. 非屏蔽环境中本底与放射性核素 γ 能谱的归一化积分计数分布曲线

可见，通过测量环境本底的脉冲计数分布来实现辐射本底的监测在原理上是可行的。不过，全谱测量的方法涉及数据过多，数据采集时间较长，仪器设备复杂等不足，不适用于环境本底辐射水平实时探测报警，需要适当的简化处理。

图 4 中在横坐标上取两点 S_H 和 S_L ，在环境本底的脉冲计数分布曲线中对应不同的两个值 b_H 和 b_L 。当分布曲线基本稳定不变时（各种测量条件均基本稳定），在本底的脉冲分布曲线上对应的 b_H 与 b_L 之比 V_0 也基本稳定不变，设 V_0 为参考值；若本底中出现异常 γ 射线来源（如 Co-60、Cs-137 等），则实际的脉冲计数分

布曲线对应的 b_H' 与 b_L' 之比 V 会偏离于参考值 V_0 。由此，在式（1）的基础上得到了能谱条件下异常辐射探测报警算法的雏形：

$$V = \frac{b_H}{b_L} = \frac{\sum_{i=S_H}^{1024} N_i}{\sum_{i=S_L}^{1024} N_i} \dots\dots \dots (4)$$

将式（4）在计数（率）测量中进一步推演，可得到测量计数（率）时的探测报警具体算式：

$$V_0 = N_{Hb} / N_{Lb} \quad V = N_H / N_L \dots (5)$$

式中， V_0 为参考值； N_{Hb} 和 N_{Lb} 分别为环境本底下，甄别上阈 S_H 和甄别下阈 S_L 对应的计数（率）； V 为测量值； N_H 和 N_L 分别为测量到的甄别上阈 S_H 和甄别下阈 S_L 对应的计数（率）。

在正式测量前，预先在环境本底中测定 V_0 ；工作时，比较实测值 V 与参考值 V_0 ，若 V 偏离 V_0 ，则判定出现异常辐射来源（尤指人工辐射源）。考虑到统计涨落，可设置一个容许区间（如 V_0 的 20%），若 V 与 V_0 的差值落在该区间内，可认为环境本底辐射正常。

5 结束语

本文主要受积分改善数据统计性的启发，对本底能谱的归一化积分计数分布进行了初探，实验发现脉冲信号的归一化积分计数分布既可以较好的稳定本底变化和随机涨落，又能保持计数的主要分布特性，显著标识出可疑放射性。在此基础上，提出了适用于计数（率）测量的探测报警算法，力求降低本底计数涨落对辐射监测的影响。当然，一种新型探测方法要发展为成熟技术是一项长期的工作，该方法还需要不断的研究、完善与验证。

Reference (参考文献)

- [1] Fudan University, Tsinghua University, Beijing University. Experimental Method in Nuclear Physics[M], The third edition. Beijing: Atomic Energy Press, 1997.
复旦，清华，北京大学合编。原子核物理实验方法[M]，第三版。北京：原子能出版社，1997。
- [2] Dong Bin-jiang, WANG Bai-rong. Portable NaI (TI) γ Spectrometer. Beijing: National Scientific and Technical Report (Chemical Defense, Inside Information), 1999.
董滨江，王百荣，等。便携式就地 NaI (TI) γ 谱仪。北京：中国（防化）科技报告（内部资料），1999。
- [3] Natural Background Rejection.
<http://www.thermo.com/com/cda/technology/detail/1,2165,14299,00.html>.
- [4] IAEA. Detection of radioactive materials at borders[R]. IAEA-TECDOC-1312, Vienna 2002.