

文章编号: 1007-4627(2005)01-0064-03

近距离 n, γ 混合脉冲辐射场中 γ 辐射探测技术*

胡孟春¹, 叶文英², 唐章奎¹, 王振通¹, 周殿忠¹, 张建华¹, 李忠宝¹

(1 中国工程物理研究院核物理与化学研究所, 成都 绵阳 621900;

2 中国工程物理研究院电子工程研究所, 成都 绵阳 621900)

摘要: n, γ 混合脉冲辐射场中, 在近距离、辐射强度低且中子辐射峰值比被测 γ 辐射峰值强度高的情况下, 传统 γ 辐射探测技术实施起来面临困难. 对 $PbWO_4$ 和 CeF_3 等近年国内新研制的无机闪烁体进行了系列研究, 使用 CeF_3 分别配光电倍增管和光电管, 组合出了对 γ 辐射灵敏度高, 对中子相对不灵敏, 同时脉冲响应也快的光电探测系统, 应用以此为基础的探测技术在近距离 n, γ 混合脉冲辐射场中, 可将脉冲 γ 辐射探测信噪比提高一个量级以上.

关键词: n, γ 混合辐射场; γ 辐射探测; 无机闪烁体; 灵敏度; CeF_3

中图分类号: TL75+1 **文献标识码:** A

1 引言

在 n, γ 混合脉冲辐射场中, n, γ 互相为本底. n, γ 混合脉冲辐射场的辐射探测技术关键之一是要想法消除或减少本底对探测器输出电流的影响, 使探测器的总输出电流中信号引起电流的比例比本底引起电流输出比例高. 在 n, γ 混合脉冲辐射场中进行 γ 辐射探测, 探测空间比较大的情况下, 采用中子过滤屏蔽法、飞行时间法和散射屏蔽法等传统的探测方法是成功有效的^[1]; 在探测空间只有几米的近距离, 辐射强度较低且脉冲环境中子峰值强度比被测脉冲 γ 辐射峰值强度高的情况下, 上述传统方法实施起来就比较困难.

本工作的目的是通过对 $PbWO_4$ 和 CeF_3 等近年国内新研制的无机闪烁体进行系列研究, 使用 CeF_3 分别配光电倍增管和光电管, 组合出对 γ 辐射灵敏度高, 对中子相对不灵敏, 同时脉冲响应也快的光电探测系统, 应用以此为基础的 γ 辐射探测技术, 使近距离 n, γ 混合脉冲辐射场中脉冲 γ 辐射探测信噪比明显提高, 实现近距离 n, γ 混合脉冲辐射场中强度较低的 γ 辐射的有效探测.

2 无机闪烁体探测 γ 辐射

2.1 无机闪烁体对 n, γ 的探测效率分析

γ 辐射与闪烁体作用的总线性衰减系数是闪烁体的光电效应、康普顿效应和电子对效应的线性衰减系数的总和. 线性衰减系数 $\mu(E)$ 与截面 σ 成正比^[1], 光电效应截面正比于原子系数的 4 次方或 5 次方, 康普顿效应截面正比于原子系数的 1 次方, 电子对效应截面正比于原子系数的 2 次方^[2]. 无机闪烁体一般密度大, 平均原子系数高, γ 辐射与其作用的总线性衰减系数 $\mu(E)$ 大, 根据探测效率与 $\mu(E)$ 的关系^[2, 3]可以得到: 无机闪烁体对 γ 辐射的探测效率高.

中子与高密度、高原子系数物质作用时平均对数能量损失小^[2], 中子作用截面相对于 γ 作用截面小, 所以, 无机闪烁体对中子辐射的探测效率低.

2.2 无机闪烁体对 n, γ 辐射的阻止本领分析

根据 Bethe 公式^[4], 带电粒子电离能量损失率与物质原子的单位体积原子数和物质原子系数成正比, 物质的原子系数高和原子密度大, 必然导致带电粒子较大电离能量损失率, 对辐射与其作用形成

收稿日期: 2004 - 08 - 31

* 基金项目: 中国工程物理研究院专项课题基金资助项目(902-305)

作者简介: 胡孟春(1963-), 男(汉族), 湖南株洲人, 硕士, 副研究员, 硕士生导师, 从事核辐射探测技术研究;

E-mail: yhj9364@my-public.sc.cninfo.net; humc001@21cn.com

的次级带电粒子阻止本领强。

γ 辐射与无机闪烁体作用截面相对于中子辐射与其作用的截面大，进一步可知 γ 辐射与无机闪烁体发生光电效应、康普顿效应和电子对效应等作用形成的次级电子也相对多一些。这些较多的带电粒子形成的电离能量损失率较大，结合前面分析可得到：无机闪烁体原子系数高、原子密度大和对 γ 辐射与其作用形成的次级带电粒子阻止本领强。

3 CeF₃ 闪烁探测器探测 γ 辐射的特点

3.1 CeF₃ 闪烁探测器对 γ 有较高的灵敏度

近年国内已研制出直径为 φ45 mm 的大面积 PbWO₄ 和 CeF₃ 等无机闪烁体，它们同时具有无机闪烁体密度大、平均原子系数高、对 γ 及 X 射线探测效率高和阻止本领强等无机闪烁体的共有特点，并且响应时间也快。我们对这些无机闪烁体进行系列研究^[5-11]，使用 CeF₃ 分别配光电倍增管和光电管，组合出的光电探测系统对 γ 辐射灵敏度高，对中子相对不灵敏，同时脉冲响应也快。我们在 ⁶⁰Co 和 ¹³⁷Cs γ 辐射标准源场中对 CeF₃ 和 ST401 分别与相同光电倍增管组合构成闪烁探测器的情况进行了测量。图 1 给出了 CeF₃ 和 ST401 闪烁探测器分别对 ⁶⁰Co 和 ¹³⁷Cs γ 辐射(对应平均能量分别为 1.25 和 0.66 MeV)的灵敏度比较。可看出：当晶体厚度在 3—20 mm 范围内，CeF₃ 探测器的 γ 灵敏度是同体积的 ST401 的 0.34—0.78 倍，晶体越厚，比值越大，平均值约为 0.50。上面测量使用的光电探测

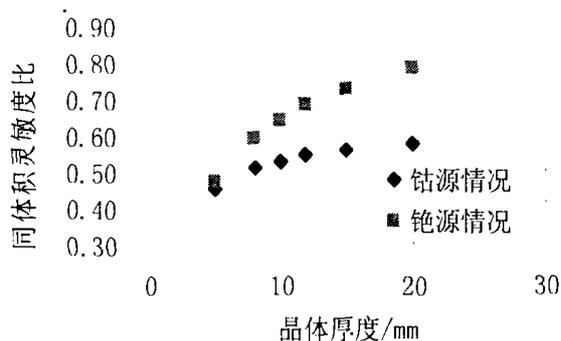


图 1 CeF₃, ST401 闪烁探测器对 γ 的相对灵敏度比较

器件其光阴极光谱响应峰值波长约为 410 nm 左右，而 CeF₃ 晶体发光峰值波长为 310 nm 左右，晶体发光光谱与光阴极光谱不匹配。如果光电探测器件光阴极光谱响应与 CeF₃ 晶体发光峰值波长相匹配的

话，CeF₃ 探测器的 γ 灵敏度将明显增加，我们用 CeF₃ 晶体分别与光谱匹配的透紫光电管和光谱不匹配的一般 GD40 光电管构成探测器，在强 ⁶⁰Co γ 放射源场测量表明：CeF₃ 透紫探测器的 γ 灵敏度与 CeF₃ 普通光电管探测器 γ 灵敏度比值约为 3，可见 CeF₃ 闪烁探测器对 γ 有较高的灵敏度。

3.2 CeF₃ 闪烁探测器对中子相对不灵敏

我们用 CeF₃ 闪烁体和常用闪烁体 ST401 分别配特性相同的光电倍增管，构成两种闪烁体探测器，在直流 DD 中子源场和 DPF 脉冲 DT 中子源中测量了这两种闪烁探测器的相对灵敏度^[5, 6]。图 2 给出了 CeF₃, ST401 闪烁探测器对 DD 中子的相对灵敏度比较。可看出：当晶体厚度在 3—20 mm 范围内时，CeF₃ 闪烁探测器对 DD 中子的灵敏度比同尺寸 ST401 的灵敏度低一个量级以上。在 DPF 脉冲 DT 中子源中测量比较结果也同样说明 CeF₃ 闪烁探测器对中子相对不灵敏度^[6]。

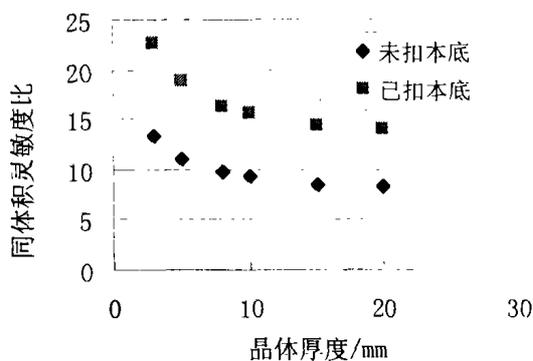


图 2 CeF₃, ST401 闪烁探测器对 DD 中子的相对灵敏度比较

3.3 CeF₃ 闪烁探测器时间响应快

图 3 给出了本工作测量的 CeF₃ 探测器时间响应获得的典型波形照片^[7, 8]。对应的 CeF₃ 晶体时间

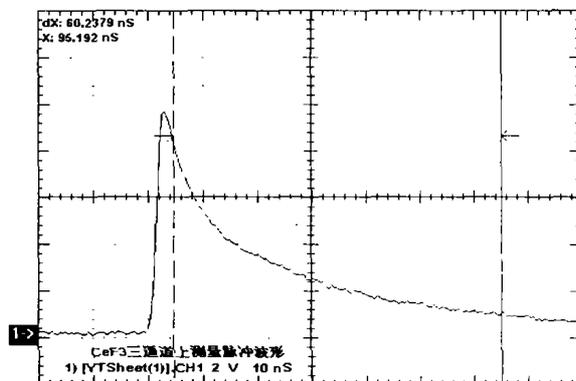


图 3 CeF₃ 探测器的时间响应测量典型波形

响应特性特征值: 上升前沿、半高宽和后沿分别为 1.73, 9.80 和 59.97 ns. 闪烁衰减常数约为 27 ns.

4 结论

对以上讨论和实验测量结果研究分析, 可以得出: 实验使用的国产 CeF_3 闪烁探测器对 γ 有较高

的灵敏度, 对 neutron 相对不灵敏, 且时间响应快, 在近距离 n, γ 混合脉冲辐射场中能够有效甄别 n, γ 和降低中子内本底. 应用以此为基础的 γ 辐射探测技术, 可以使近距离 n, γ 混合脉冲辐射场中脉冲 γ 辐射探测信噪比明显提高, 实现近距离 n, γ 混合脉冲辐射场中强度较低的 γ 辐射的有效探测.

参 考 文 献:

- [1] Liu Qing-zhao. The Diagnosis Technology of Pulse Radiation field. Beijing: Science Press, 1994, 564—581.
- [2] Alibikov A. Pulse Ionization Radiation Detector. Beijing: Atomic Energy Press, 1983, 90—97.
- [3] Xi Changsong. Handbook of Nuclear Radiation Detectors & Their Experiment Techniques. Beijing: Atomic Energy Press. 1990, 298—300.
- [4] An Jiguang. Ionization Radiation Detector, Beijing: Atomic Energy Press 1995, 5—10.
- [5] Hu Mengchun, Ye Wengying, Zhou Dianzhong, *et al.* High Power Laser and Particle Beam, 2003, **15**(7): 721.
- [6] Hu Mengchun, Ye Wengying, Peng Taiping, *et al.* HEP & NP, 2003, **27**(4): 354(in Chinese).
- [7] Hu Mengchun, Ye Wengying, Zhou Dianzhong, *et al.* Nuclear Electronics & Detection Technology, 2003, **23**(5): 410 (in Chinese).
- [8] Hu Mengchun, Ye Wengying, Zhou Dianzhong, *et al.* Atomic Energy Science and Technology, 2003, **37**(5): 461 (in Chinese).
- [9] Hu Mengchun, *et al.* Proceedings of the 11th National Conference on Nuclear Electronics & Detection Technology, 2002, **12**: 165(in Chinese).
- [10] Hu Mengchun, Ye Wengying, Zhou Dianzhong, *et al.* Proceedings of the 8th National Conference on High Power Particle Beams & High Voltage, 2001, **12**: 214(in Chinese).
- [11] Hu Mengchun, Ye Wengying, Zhou Dianzhong, *et al.* Proceedings of the 11th National Conference on Nuclear Electronics & Detection Technology, 2002, **12**: 165(in Chinese).

Technique of γ Radiation Detection in Close Distance n, γ Commix Pulse Radiation Field*

HU Meng-chun¹, YE Weng-ying², TANG Zhang-kui¹, WANG Zhen-tong¹,
ZHOU Dian-zhong¹, ZHANG Jian-hua¹, LI Zhong-bao¹

(1 Institute of Nuclear Physics and Chemistry China Academy of Engineering Physics Mianyang 621900, China;
2 Institute of Electronic Engineering, China Academy of Engineering Physics Mianyang 621900, China)

Abstract: It is difficult to detect low intensity γ radiation by using traditional γ radiation detection technique in a close distance n, γ commix pulse radiation field with very high intensity neutron radiation. PbWO_4 and CeF_3 which are newly developed inorganic scintillator in our country have been studied. Photoelectricity detector systemes which have high γ sensitivity and relative insensitive to neutron and fast time response were assembled by using CeF_3 and photomultiplier tube. The ratio of signal-to-noise for γ ray detection can be up to more than 10 times in close distance n, γ commix pulse radiation field by using this detector system.

Key words: n, γ commix pulse radiation; γ radiation detection; inorganic scintillator; sensitivity; CeF_3

* Foundation item: China Academy of Engineering Physics (902-305)