

# BC501 液体闪烁体对 n- $\gamma$ 及能量的分辨 与其尺寸的关系

郑 普, 陈 渊, 朱传新, 安 力, 牟云峰, 郭海萍

(中国工程物理研究院 核物理与化学研究所, 四川 绵阳 621900)

**摘要:** BC501 液体闪烁体广泛应用于探测快中子, 但测量伴随着很高的  $\gamma$  本底。为寻找具有较好的 n- $\gamma$  及能量分辨的 BC501 闪烁体, 利用脉冲上升时间法, 对几种不同尺寸的 BC501 闪烁体进行 n- $\gamma$  及能量分辨测量。在下阈 0.75 和 1 MeV 下, 分别测量了 Am-Be 中子源的 n- $\gamma$  分辨谱以及相同条件下的  $\gamma$  上升时间-幅度谱。测量了 d-T 中子源 14 MeV 的反冲质子脉冲高度分布。对不同尺寸 BC501 闪烁体的 n- $\gamma$  及能量分辨进行了比较。实验表明, 综合考虑 n- $\gamma$  和能量分辨, 闪烁体的体积不应太大, 长度应在保证效率的条件下适中选择。

**关键词:** BC501 液体闪烁体; n- $\gamma$  分辨; 能量分辨

中图分类号: O571.5

文献标识码: A

文章编号: 1000-6931(2006)S0-0126-04

## Relation of BC501 Scintillator Size and n- $\gamma$ as Well as Energie Discrimination

ZHENG Pu, CHEN Yuan, ZHU Chuan-xin, AN Li, MOU Yun-feng, GUO Hai-ping

(Institute of Nuclear Physics and Chemistry, China Academy of Engineering Physics,

P. O. Box 919-213, Mianyang 621900, China)

**Abstract:** The BC501 scintillator has been widely used as a detector of fast neutron. A technique using pulse rise time separation method for the use of neutron-gamma pulse shape discrimination is reported. In order to search better scintillator of n- $\gamma$  and energie discrimination, n- $\gamma$  energie spectra are measured with BC501 scintillators with different size. A pulse rise time separation spectra of n and  $\gamma$  are obtained using Am-Be neutron slowed by paraffine upon 0.75 and 1 MeV. In the same condition,  $\gamma$ -spectra are obtained by a  $^{22}\text{Na}$  source, and the energie spectra of neutron are obtained by d-T 14 MeV neutron from accelerator. The n- $\gamma$  and energie discrimination from the BC501 scintillators with different size is compared. By selecting a scintillator with suitable length and volume, the n- $\gamma$  and energie discrimination is achieved extremely well.

**Key words:** BC501 scintillator; n- $\gamma$  discrimination; energie discrimination

液体闪烁体 BC501 具有良好的时间响应特性和 n-γ 分辨本领,适合用在 γ 射线场中的中子能谱测量。它可做成各种尺寸,可探测到能量为 0.5 MeV 到几个 GeV 的高能中子,但测量伴随很高的 γ 本底。为准确稳定地甄别 n 和 γ<sup>[1]</sup>,本实验选用几种不同尺寸的 BC501 闪烁体作为探测器,应用脉冲上升时间法<sup>[2-4]</sup>进行 n-γ 分辨,在下阈 0.75 和 1 MeV 分别测量 Am-Be 中子源经石蜡慢化后的 n-γ 分辨谱,及相同条件下的 γ 上升时间-幅度分布。对 D-T 中子源 14 MeV 的中子,测量去 γ 本底后的反冲质子谱。对不同尺寸闪烁体的 n-γ 分辨本领和能量分辨性能进行比较。

### 1 实验装置

选用几种不同直径及长度的圆柱形 BC501 液体闪烁体进行 n-γ 及能量分辨测量。测量系统框图如图 1 所示,分 n-γ 分辨测量和线性能量测量两部分。n-γ 分辨测量选用光电倍增管阳极信号,信号经 113 型电压灵敏前置放大后输出,经过 460 延迟放大器,产生 1 个正脉冲信号,经过 552 型脉冲形状分析器对脉冲后沿进行分析,产生定时信号 A 和 B,分别作为开始和停止信号输入到 567 型时幅变换器。电压脉冲上升时间信息被转换为幅度信息,将其输入多道分析系统,得到 n-γ 上升时间分辨谱<sup>[5]</sup>。能量测量选用线性输出信号,经过 2005 型电压灵敏前置放大后输出,再经过 572A 放大器放大后输入到 542 型线性门。设置 567 型时幅变换器合适的阈值,选择中子信号作为开门信号与能量信号进行符合,甄别滤掉 γ 射线,将线性门输出信号输入多道分析系统,得到单能中子的反冲质子脉冲高度分布。

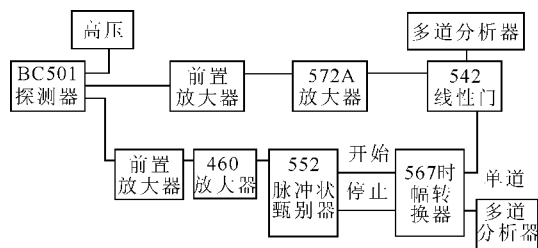


图 1 实验测量方框图

Fig. 1 Scheme of electronics

### 2 实验测量

n-γ 分辨测量实验在 Am-Be 中子源上进行。中子源放在石蜡桶中,BC501 闪烁体探测器正对石蜡桶前放置,对石蜡慢化中子进行 n-γ 分辨测量。对于不同探测器,由于探测效率不同,探测器与中子源间的距离通过调整以使测得的计数率适宜。利用上升时间法得到 n-γ 分辨谱。在相同条件下,取走 Am-Be 中子源,放置<sup>22</sup>Na γ 源进行同样的测量。

线性能量测量实验在高压倍加器上进行。BC501 液体闪烁体探测器放置于实验台上,并与氚靶处于相同高度,与 D<sup>+</sup> 束夹角成 0°。调整不同探测器与氚靶间的距离,使计数率控制在 800 s<sup>-1</sup> 左右,避免线性门计数损失。

### 3 实验结果和讨论

#### 3.1 n-γ 分辨

4 种不同尺寸的圆柱形 BC501 闪烁体分别为:φ5.08 cm×5.08 cm,φ5.08 cm×7.62 cm,φ7.62 cm×5.08 cm,φ12.70 cm×7.62 cm。另外选取 1 个 φ2.2 cm 球形闪烁体做比较。在下阈为 0.75 和 1 MeV 下,分别对 Am-Be 中子源石蜡慢化中子进行 n-γ 分辨测量,测量结果列于表 1、2。峰谷比为中子峰高度与 n-γ 谷底高度之比,半宽比为 γ 峰和中子峰间宽度与中子峰半高宽之比。γ 抑制为 γ 在 n-γ 谷底外漏到中子峰的量与 γ 的总计数之比。由表 1、2 可看出,φ5.08 cm×5.08 cm,φ7.62 cm×5.08 cm 2 个闪烁体对 γ 射线的抑制效果最好,而 φ5.08 cm×7.62 cm 闪烁体对 γ 的抑制较差。

表 1 0.75 MeV 下阈各探测器的分辨及 γ 抑制  
Table 1 Discrimination and γ restrain of detectors below 0.75 MeV

探测器尺寸	峰谷比	半宽比	γ 抑制效果/%
φ5.08 cm×5.08 cm	21.74	4.90	0.81
φ5.08 cm×7.62 cm	4.43	3.00	11.66
φ7.62 cm×5.08 cm	40.00	5.00	0.86
φ12.70 cm×7.62 cm	14.85	5.73	1.45
球形	9.59	4.30	3.67

表 2 1 MeV 下各探测器分辨及  $\gamma$  抑制的比较Table 2 Discrimination and  $\gamma$  restrain of detectors below 1 MeV

探测器尺寸	峰谷比	半宽比	$\gamma$ 抑制效果/%
$\phi 5.08 \text{ cm} \times 5.08 \text{ cm}$	59.24	6.00	0.48
$\phi 5.08 \text{ cm} \times 7.62 \text{ cm}$	12.91	3.45	2.26
$\phi 7.62 \text{ cm} \times 5.08 \text{ cm}$	125.44	4.70	0.40
$\phi 12.70 \text{ cm} \times 7.62 \text{ cm}$	40.36	5.82	1.00
球形	18.81	4.67	2.21

对 3 组不同尺寸的闪烁体探测器的  $n$ - $\gamma$  分辨测量结果进行比较,结果示于图 2、3。由图 2 可以看出,在相同直径下,长度小的闪烁体的峰谷比和半宽比均较高, $n$ - $\gamma$  分辨较好。由图 3 可以看出,相同长度而直径大的闪烁体峰谷比和半宽比均较高, $n$ - $\gamma$  分辨较好。由图 2、3 可以看出,当闪烁体的长度大于直径后, $n$ - $\gamma$  分辨明显变差。

### 3.2 能量分辨

对于不同尺寸的 BC501 闪烁体,分别测量了 D-T 中子源的 14 MeV 中子的反冲质子脉冲高度分布,测量结果示于图 4。从图 4 可以看出,对于相同直径的闪烁体,长度小的能量分辨较好;对于相同长度的闪烁体,直径大的能量分辨率较好;对于体积过大的闪烁体,多次散射较严重,脉冲高度分布中出现一明显的峰,影响了能量分辨;体积较小的闪烁体基本上不存在

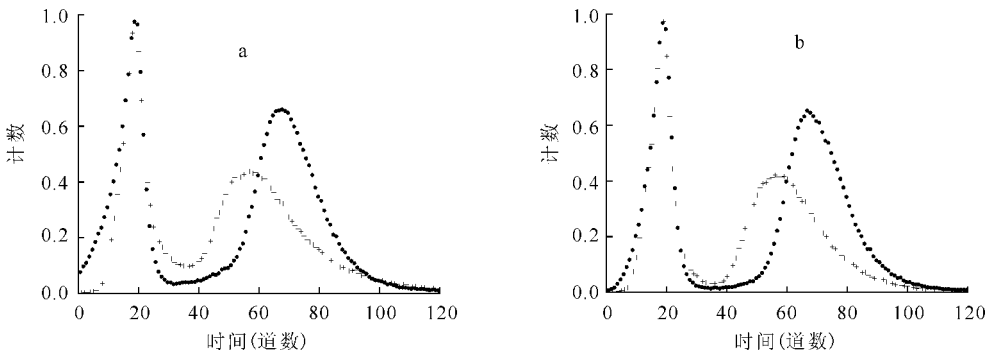
多次散射,而边界效应明显,脉冲高度分布倾斜,但能量分辨尚可。

### 3.4 讨论

粒子进入 BC501 闪烁体后产生光输出。在闪烁体长度较长时,在闪烁体前端面附近产生的光需要经过较长的路程才能到达光阴极被光电倍增管收集。由于闪烁体并非是对光传输非常好的光导,因而可能产生光子能量损失等一些反应,使得  $n$ - $\gamma$  及能量分辨变差些。对于长度相同、直径大的闪烁体,它的体积与表面积之比大,即直径大的闪烁体边界效应的影响小。边界效应是指脉冲质子的能量一部分损失在闪烁体外,输出总光量减小,使得输出的脉冲幅度亦变小。直径大的闪烁体,小脉冲份额较直径小的闪烁体少一些,这有利于  $n$ - $\gamma$  的分辨。

## 4 结论

在 BC501 液体闪烁体直径相同时,长度小的  $n$ - $\gamma$  分辨能力较好, $\gamma$  抑制效果也较好;在 BC501 闪烁体长度相同时,直径大的  $n$ - $\gamma$  分辨能力较好, $\gamma$  抑制效果亦较好。对能量分辨,BC501 闪烁体直径相同时,长度小的分辨较好;BC501 闪烁体长度相同时,直径大的分辨较好;由于多次散射,体积太大的 BC501 闪烁体的能谱会出现明显的多次散射峰而使能量分辨变差。综合考虑  $n$ - $\gamma$  和能量分辨,闪烁体体积不应太大,长度应在保证效率的条件下适中选择。

图 2 相同直径不同长度的闪烁体的  $n$ - $\gamma$  分辨Fig. 2  $n$ - $\gamma$  discrimination of scintillators with different length and same diameter

a—0.75 MeV 下阈; b—1 MeV 下阈

● —  $\phi 5.08 \text{ cm} \times 5.08 \text{ cm}$ ; + —  $\phi 5.08 \text{ cm} \times 7.62 \text{ cm}$

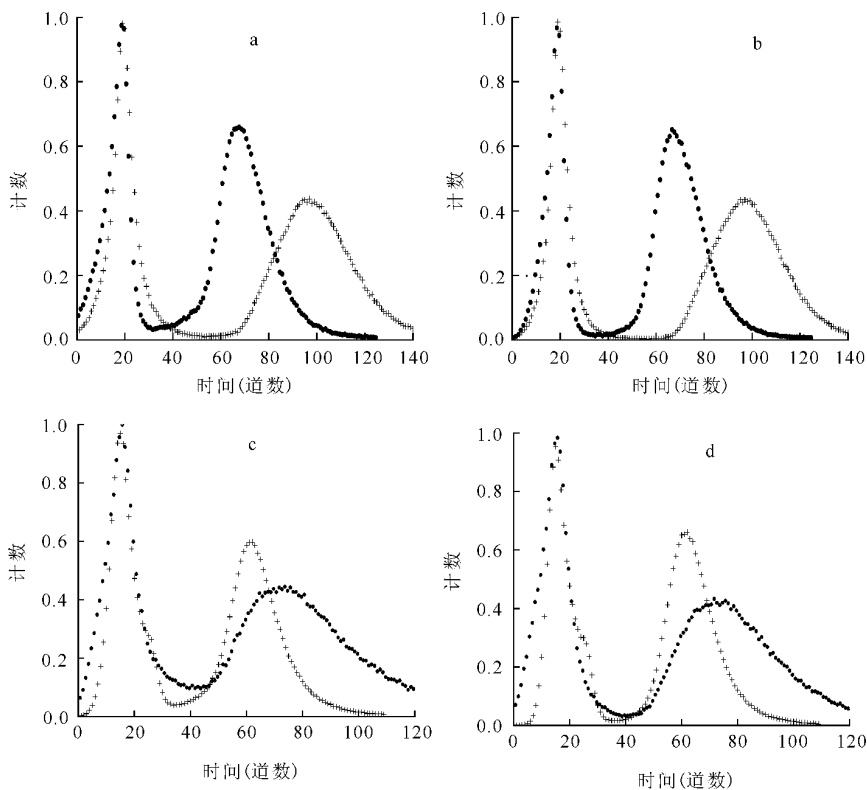


图 3 相同长度不同直径的闪烁体的 n-γ 分辨

Fig. 3 n-γ discrimination of scintillators with different diameter and same length

a, c—0.75 MeV 下阈; b, d—1 MeV 下阈

a, b: ● —  $\phi 5.08 \text{ cm} \times 5.08 \text{ cm}$ ; + —  $\phi 7.62 \text{ cm} \times 5.08 \text{ cm}$   
 c, d: ● —  $\phi 5.08 \text{ cm} \times 7.62 \text{ cm}$ ; + —  $\phi 12.7 \text{ cm} \times 7.62 \text{ cm}$

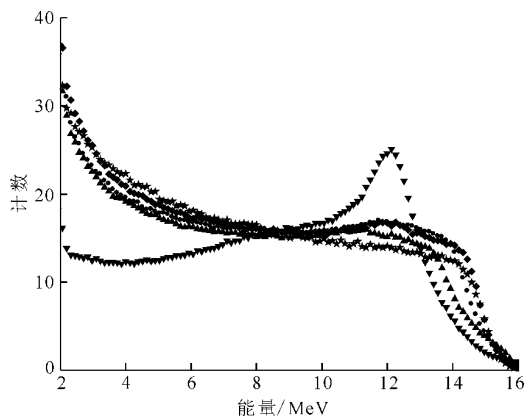


图 4 不同尺寸闪烁体的单能中子脉冲高度分布

Fig. 4 Recoil proton spectrum produced by mono-energy neutron from d+T reaction of scintillators with different size

闪烁体尺寸: ● —  $\phi 5.08 \text{ cm} \times 5.08 \text{ cm}$ ;  
 ▲ —  $\phi 5.08 \text{ cm} \times 7.62 \text{ cm}$ ; ◆ —  $\phi 7.62 \text{ cm} \times 5.08 \text{ cm}$ ;  
 ▼ —  $\phi 12.7 \text{ cm} \times 7.62 \text{ cm}$ ; ★ — 球形( $R$  为 2.2 cm)

参考文献:

[1] 叶邦角, NANIYO H, KOBAYASHI T, 等. NE213 闪烁体的 n-γ 分辨[J]. 核技术, 2003, 26(7):505-508.  
 YE Bangjiao, NANIYO H, KOBAYASHI T, et al. The n-γ discrimination of NE213 scintillator [J]. Nuclear Techniques, 2003, 26(7):505-508 (in Chinese).  
 [2] 段绍节. 实验核物理测量中的粒子分辨[M]. 北京:国防工业出版社, 1999:135-147.  
 [3] KINBARA S, KUMAHARA T. A general purpose pulse shape discriminating circuit[J]. Nucl Instrum Methods, 1969, 70:173-182.  
 [4] BROOKS F D. A scintillation counter with neutron and gamma-ray discriminators[J]. Nucl Instrum Methods, 1959, 4:151-163.  
 [5] FURUTA Y, KINBARA S, KAIEDA K. Spectrum measurements of intermediate energy neutrons by an organic scintillator[J]. Nucl Instrum Methods, 1970, 84:269-274.