

热中子分析探雷技术的实验研究

曾 军^{1,2} 储诚胜¹ 丁 阁¹ 向清沛¹ 郝樊华¹ 罗小兵²

1 (中国工程物理研究院核物理与化学研究所 绵阳 621900)

2 (四川大学原子核科学技术研究所 成都 610065)

摘要 为验证热中子分析(Thermal neutron analysis, TNA)方法用于地雷探测的可行性,探索并掌握该方法的技术特点。采用国产新型 LaBr₃(Ce)快闪烁体探测器,搭建了一套基于 ²⁵²Cf 同位素中子源的热中子分析探雷实验系统,主要包含慢热中子转化系统、屏蔽系统、探测系统三个部分。在此基础上,研究了宽能量范围特别是对高能段的精确刻度方法,提出了基于 N(H)元素 10.83 MeV(2.22 MeV)特征信号计数异常的地雷最小可探测时间。在黄土、粘土、沙土以及磁性土的实验雷池中对 72 式反坦克地雷、500 g TNT 样品以及多种干扰物进行了测试。结果表明,该套探雷实验系统可实现不同背景下的地雷探测,并能有效判弃传统探雷技术易产生虚警的干扰物。

关键词 热中子分析, 探雷, LaBr₃(Ce)探测器

中图分类号 TL99

地雷造价低廉,使用方便,防御效果好,在历次战争和地区冲突中被广泛使用。目前,全球尚有 6 千万~1 亿枚战争余雷分布在 60 多个国家和地区^[1]。国际禁雷组织(ICBL)最新一期的地雷监测报告显示^[2],每年有数千人因此受伤甚至死亡,其中不乏妇女和儿童。因此,在全球范围内开展扫雷行动是必需而紧急的。现代地雷的包壳材料多种多样,引爆机理也各不相同,埋藏条件复杂多变,所以地雷的探测是一个世界性的难题。

炸药是地雷最本质的特征,传统的探雷技术如基于电磁感应的金属探测技术,基于探测地雷外形的探地雷达、红外成像技术等,由于不能探测地雷中炸药的存在,因此存在较多原理性的虚警。新型的探雷技术大多关注地雷中的炸药这一核心部件,如核电四极矩共振、中子背散射、热中子分析法、脉冲快热中子分析法等^[3]。其中核电四极矩共振对最常见的 TNT 炸药探测效果不佳,且受电磁干扰影响较大;中子背散射只能探测 H 元素,受土壤含水量的变化影响较大;脉冲快热中子分析法的技术难度高,受土壤中 O 元素含量的变化影响较大。热中子分析(Thermal neutron analysis, TNA)^[4]探雷技术从本质上讲是一项 PGNA 技术,该技术以热中子为“探针”,通过测量土壤表面 N、H 元素含量的变化来实现对地雷的探测,具有准确率高、虚警率低、

对土壤适应性强的特点。该项技术的发展受到了西方各发达国家的高度重视^[5-9],其中尤以加拿大军方研制的 ILDS 升级版多功能探雷车为代表,而本论文的工作是国内将 TNA 技术应用于地雷探测的首次尝试。

在炸药所含的四种(C、H、O、N)主要元素中,C、O 元素由于热中子俘获截面小,在复杂背景中很难探测到其特征 γ 射线^[10],所以 TNA 探雷一般不将其作为表征地雷存在的特征核素。H 元素的热中子俘获截面较大($\sigma_a=332$ mb),通过(n, γ)反应放出的 2.223 MeV 特征 γ 射线容易探测,但其受土壤含水量的变化影响较大,一般不直接用于判断地雷的存在。与 H 元素相比,N 元素在土壤中的含量一般较低(<1%),远小于炸药中 15%~40%的含量^[11],且 N 元素通过(n, γ)反应放出的 10.83 MeV 特征 γ 射线能量较高,所受干扰较小,具有很好的特异性,所以通常将其作为判断地雷存在的核心识别核素。为了从原理上验证基于热中子分析技术的 N、H 元素含量异常,用于判断地雷存在的可行性,分析其探测能力,掌握其技术特点,课题组在中国工程物理研究院核物理与化学研究所探雷实验室的雷池上,建立了一套基于新型 LaBr₃(Ce)探测器的热中子分析探雷实验系统,并对 72 式反坦克地雷、500 g TNT 样品以及多种干扰物进行了测试。

总装备部探索一代资助项目

第一作者:曾军,男,1988 年出生,2010 年毕业于四川大学,现为该校硕士研究生,主要从事核技术应用研究

通讯作者:储诚胜, chuchsh@tom.com

收稿日期:2012-11-22,修回日期:2012-12-20

1 实验方法

1.1 实验系统介绍

本次实验采用的中子源为 ^{252}Cf 裂变源, 其最新标定活度为 $1.17 \times 10^8/\text{s}$ (2005 年 3 月), 依据放射性核素衰变公式:

$$A = A_0 e^{-\frac{\ln 2}{T_{1/2}} t} \quad (1)$$

其中, $T_{1/2} = 2.637 \text{ a}$, 推算出在实验当前条件下的活度为 $1.57 \times 10^7/\text{s}$ 。与采用 DT/DD 中子发生器相比, ^{252}Cf 中子具有能量低、源强稳定的优点, 但需要特别小心的操作和储存^[12]。

为了提高中子源的利用率, 增大地雷位置处的慢热中子通量, 同时使操作人员的辐射安全剂量在可控制范围内, 课题组针对 ^{252}Cf 源的固有属性, 采用模拟计算的方法设计了一套 TNA 探雷专用中子慢化装置(如图 1 所示), 主要包含慢化层、反射层、本底 γ 屏蔽层、侧向中子吸收层四个部分。慢化层是一层厚约 5 cm 的高密度聚乙烯, 用于慢化向下出射的快中子; 反射层是由厚约 20 cm 的石墨制成, 通过中子与石墨的多次散射, 使朝上方出射的中子能尽可能被反射回来; 本底 γ 屏蔽层是厚为 3 cm 的铅制空心套筒, 用于屏蔽 ^{252}Cf 的本底 γ 射线; 侧向中子吸收层由厚为 5 cm 的含硼聚乙烯制成(含 5%BC₄), 用于吸收侧向出射的非有效中子, 降低探测器中的本底信号。在慢化装置的旁边是 γ 射线探测器, 探测器的外围是一层“镉+铅”的组合屏蔽套筒, 用以吸收周围环境产生的感生 γ 本底和经土壤进入探测器的散射中子。

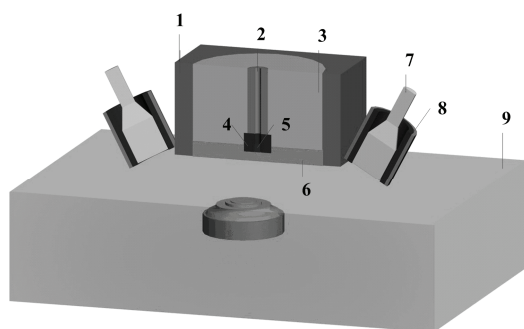


图 1 热中子分析探雷实验布局

1. 中子吸收层, 2. 中子源加载通道, 3. 反射层, 4. 铅,
 5. 中子源, 6. 慢化层, 7. 探测器, 8. 屏蔽套筒, 9. 土壤
- Fig.1 The layout of the TNA landmine detection experiment.
1. Neutron absorb layer, 2. The tube for loading neutron source,
 3. Reflector layer, 4. Pb layer, 5. Neutron source, 6. Moderator layer, 7. Detector, 8. Shield sleeve, 9. Soil

TNA 探雷测量的 γ 射线场较强, 且伴有强的中子辐射, 为此宜采用较为皮实、快时间响应的闪烁

体探测器。加拿大^[5]和意大利^[6]研发的 TNA 探雷系统采用的 NaI(Tl)探测器, 虽然皮实性较好, 但由于其晶体发光衰减时间较长($\sim 230 \text{ ns}$), 在强中子源强下能谱脉冲堆积严重, 信噪比不高。为了解决该问题, 实验选用了发光衰减时间更短($\sim 35 \text{ ns}$)的新型 LaBr₃(Ce)探测器^[13], 其光子转化效率约为 62000 Photon / MeV, 能量分辨率为 2.87%(@661.62 keV), 尺寸大小为 $\Phi 50 \text{ mm} \times 75 \text{ mm}$, 输出幅度为 0.01–2.0 V, 在 $-10^\circ\text{C} \sim 50^\circ\text{C}$ 间的输出温度系数变化小于 0.1%。虽然目前探测器的晶体几何尺寸还比较小, 对 10.83 MeV 的高能射线探测效率较低, 但与传统的 NaI(Tl)探测器相比, 新型 LaBr₃(Ce)探测器不仅能有效减少脉冲堆积带来的本底计数^[14], 而且具有更高的发光效率与有效原子序数和密度, 因而具有更高的能量分辨率和探测效率。考虑到可为后续研究采用大体积 LaBr₃(Ce)探测器打下基础, 此次试验弃用了大体积的 NaI(Tl)探测器而采用小体积的 LaBr₃(Ce)探测器。此外, 为了降低电子学系统的死时间, 实验选用了具有高速高通过率的 ORTEC-921E 多道, 主放大器为 ORTEC-570, 探测器系统构成示意图如图 2 所示。

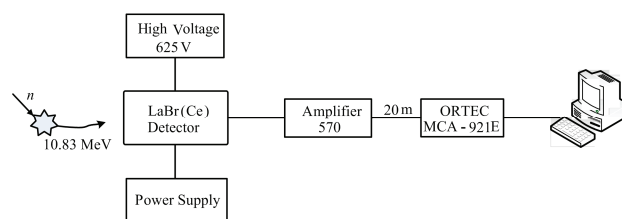


图 2 探测器系统结构

Fig.2 The structure of detector system.

1.2 实验样品及土壤背景

实验共设置了 5 类样品, 如表 1 所示。1、2 号样品为地雷探测中常用的实验模拟地雷, 其中填充的“炸药”由草酸、三聚氰胺和石墨粉按照 TNT(C₇H₅N₃O₆)元素比例配置而成, 含 N 量分别为 92.5 g 和 578.1 g, 用于验证 TNA 方法对地雷中 N 元素含量异常的识别性, 对于含 N 量更高的反坦克雷^[5], 如 M15、TMA3、TMA5A 等探测效果会更好。3–5 号样品为传统探雷技术易产生虚警的干扰物, 如电磁感应技术易产生虚警的弹片, 探地雷达和红外成像技术易产生虚警的石块、空穴, 主要用于测试 TNA 探雷技术对这些干扰物的判弃能力, 分析 TNA 探雷技术与传统探雷技术的互补性。地雷探测实验是在中国工程物理研究院实验雷池中展开的, 雷池按照一定的布局专门设计, 其规格为 2 m×2.5 m×1 m, 包含粘土、红土、沙土以及磁性土

四种土壤背景。粘土和红土是有机土壤的代表，曾经生长过植被，可能有些 N 杂质残留；沙土和磁性土是无机土壤的代表，其中含有大量的 SiO_2 ，其天

然同位素 ^{29}Si (丰度为 4.68%) 通过 (n, γ) 反应放出的 10.6 MeV 射线可能会对 N 元素的测量带来干扰。

表 1 实验用地雷及干扰物样品
Table 1 The melamine and interferential material used in experiment.

编号 Serial number	1 号样品 1# sample	2 号样品 2# sample	3 号样品 3# sample	4 号样品 4# sample	5 号样品 5# sample
样品信息 Sample information	500 g TNT: 外壳+ 500 g 模拟 TNT 粉末 500 g TNT powder	72 式反坦克地雷: 1.1 kg 外壳+3.125 kg 模拟 TNT 粉末 72 style antitank mine	250 g 弹片(铁片)×4 Shrapnel(iron)	空穴(约 2 L) Cavity	石块(2 kg) Block

1.3 实验数据处理方法

为了定量检验 TNA 方法用于探雷的可行性及判断地雷的存在性，定义识别地雷目标物的最小探测时间(T_d)，即地雷样品谱中的 $N(\text{H})$ 元素特征射线感兴趣区域计数 $N_1(t)$ 大于土壤背景对应区域计数 $N_2(t)$ 超过 3σ 所需要的最小探测时间：

$$N_1(t) - N_2(t) \geq 3\sigma_2(t) \quad (2)$$

该判据的数学意义在于 N_1 存在于以 N_2 为期望的三倍方差的置信区间外，即有 99.7% 的正确概率判定 N_1 和 N_2 有显著差距。物理意义在于，从中子与物质相互作用的统计规律看， N_1 与 N_2 是由于样品存在某种元素的可靠概率为 99.7%。假设地雷样品和对应土壤背景活化谱测量时间均为 T ，那么在任意 t 时刻样品谱与对应本底谱相应特征峰面积 $N_1(t)$ 、 $N_2(t)$ 及其不确定度 $\sigma_1(t)$ 、 $\sigma_2(t)$ 存在如下关系：

$$N_1(t) = (N_1 / T)t, \quad \sigma_1(t) = (\sigma_1 / \sqrt{T})\sqrt{t} \quad (3)$$

$$N_2(t) = (N_2 / T)t, \quad \sigma_2(t) = (\sigma_2 / \sqrt{T})\sqrt{t} \quad (4)$$

于是，根据 $N(\text{H})$ 特征射线计数判断地雷存在性的最小可探测时间 T_d 可表示为：

$$T_d = 9\sigma_2^2 T / (N_1 - N_2)^2 \quad (5)$$

2 实验结果与讨论

2.1 宽能量范围刻度

为了准确定位 N 元素感兴趣区域，精确的能量刻度是非常必要的。常见的标准源(^{22}Na 、 ^{60}Co 、 ^{133}Ba 、 ^{137}Cs 、 ^{152}Eu 、 ^{228}Th)特征 γ 射线能量均小于 3 MeV，若用来对高能段进行刻度，会产生较大的误差。为了解决该问题，TNA 探雷采用测量长时间的

NH_4Cl 活化谱，通过对 ^{35}Cl 的高能特征射线的识别，结合 Fe 的多个特征峰，完成对探测器的能量刻度。与国外同类研究^[5]中采用的 $\text{H}(2.22 \text{ MeV}) + \text{Ni}$ (8.99 MeV) 的刻度方法相比，Cl 元素由于具有多条高能特征射线，且热中子俘获截面较大，其刻度结果亦更为精确。图 3 是一次刻度的能谱图，根据刻度结果，其能量与道址的对应关系可表示为：

$$\text{Energy} = 1.17 \times 10^{-5} \text{Channel}^2 + 0.64 \text{Channel} - 268.86 \quad (6)$$

与实验所测的真实值相比，刻度结果的误差在 0.6% 以内。由此可见，实验所选用的国产溴化镉探测器在能区能保持十分良好的线性，这有益于准确定位 N 元素特征能区(包含 10.83 MeV 全能峰、单逃峰以及双逃峰)。

2.2 典型的地雷特征能谱分析

由于源强较弱、目标物含 N 量较低、N 元素热中子俘获截面不大、探测器灵敏体积较小等因素的影响，导致 N 特征射线计数率偏低，实验获取的典型地雷特征能谱中未能观测到明显的 10.83 MeV 特征能峰。图 4 为磁性土壤中反坦克地雷长时间活化谱(黑线)与土壤背景活化谱(灰线)按 6–8 MeV 归一后的比较结果。从图中对比可以看出，有雷时 N 元素感兴趣区域(ROI)计数明显高于土壤背景对应计数。与文献[6,9]中采用 $\text{NaI}(\text{Tl})$ 探测器测量结果相比，实验获取 N-ROI 基本处于能谱末端位置，在其后无脉冲堆积带来的异常计数，这说明新型 $\text{LaBr}_3(\text{Ce})$ 快闪烁体探测器，以其较短的发光衰减时间($\sim 35 \text{ ns}$)，可有效降低高计数率下脉冲堆积的概率。

在热中子诱发能谱中，大于 10 MeV 的高能段干扰射线来源较少，值得一提的是硅的同位素 ^{29}Si 通过 (n, γ) 反应放出的 10.607 MeV 特征 γ 射线，幸好其天然丰度仅为 4.68%。因此，为了减小统计误差，提高探测效能，对 N 元素的计数统计可采用“能段

综合解析法”,综合选取 9.6–11.1 MeV(包含全能峰、单逃、双逃峰)作为 N 元素特征射线感兴趣区域。对于地雷活化谱中 H 元素 2.22 MeV 特征 γ 射线而言,由于计数率较强,能峰可识别性较好,故可采用传统的峰面积扣除本底平台的方法获得特征计

数。在地雷的活化谱中,除了用作探雷判据的 N(H)元素 10.83 MeV(2.22 MeV)特征 γ 射线外, Si 元素的 3.54 MeV 特征 γ 射线, Fe 元素的 7.64 MeV、9.30 MeV 特征 γ 射线的峰型都较为明显,从中可解析出相应元素的含量变化。

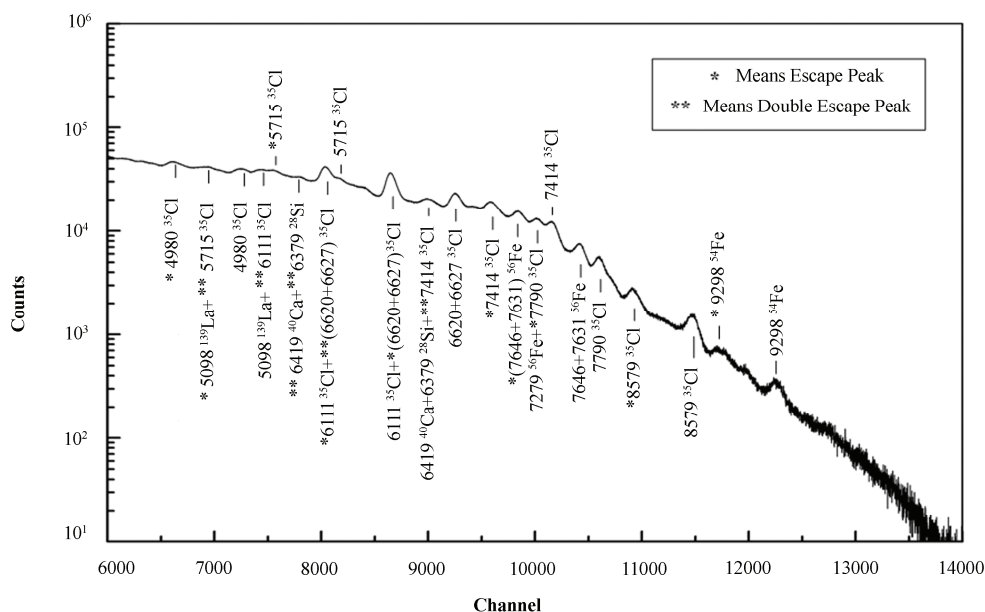


图 3 实验测量 NH_4Cl 长时间活化谱
Fig.3 The long-time neutron activation spectrum of NH_4Cl .

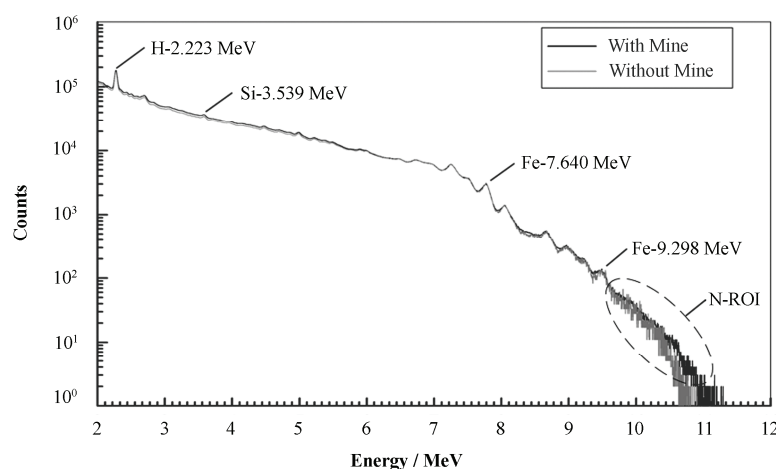


图 4 磁性土壤中的反坦克地雷与背景活化谱
Fig.4 The spectrum of antitank mine and background in magnetic soil.

2.3 地雷及干扰物测试结果

按图 1 描述的实验布局,分别测试了 500 g 塑料雷(埋深 0 cm、3 cm)、72 式反坦克地雷(埋深 0 cm、3 cm)、空穴、石块、弹片的长时间(1000 s)活化谱,以及对应的土壤背景活化谱,依据公式(4)计算出相应的最小可探测时间 T_d ,结果见表 2。表 2 中“—”表示样品计数小于本底计数,“too long”表示探测时间大于 10^4 s。从表中可以看出,对于 500 g 塑料

雷和 72 式反坦克地雷,由于 H 元素的热中子俘获截面远远大于 N 元素,加之 2.22 MeV γ 射线探测效率较高,使 H 元素的最小可探测时间明显小于 N 元素,其长短大约在数秒至数十秒之间,而 N 元素的最小可探测时间在数百秒至一千多秒量级。但是,从对干扰物判弃效果来讲,若仅依据“H 元素含量异常”作为报警判据会出现较多虚警(如红土中的石块,磁性土中的弹片)。而依靠“N 元素含量异常”判断,在一定探测时间限值的条件下(如 2000 s),

干扰物的虚警率可以得到很好的控制。造成 H 元素虚警率较高的原因主要有两个方面，一是由于土壤中的水分含量较多且分布不均匀，二是由于慢化装

置中的高密度聚乙烯含有大量的 H 元素，前一种不利影响在 TNA 探雷的野外应用中会显现出更加明显的干扰效果。

表 2 典型地雷和干扰物的最小可探测时间 T_d
Table 2 The least detection time of the melamine and interferential material used in experiment(s).

样品 Sample	粘土 Loess		红土 Red soil		沙土 Magnetic soil		磁性土 Sand	
	H	N	H	N	H	N	H	N
500 g TNT-0 cm	9	597	33	307	20	289	20	575
500 g TNT-3 cm	14	1052	32	1816	51	1696	26	498
72 式反坦克雷-0cm 72 style ATM-0 cm	13	263	7	357	3	134	4	407
72 式反坦克雷-3 cm 72 style ATM-3 cm	22	1248	64	1878	14	641	21	280
空穴 Cavity	—	2117	—	—	285	too long	—	—
石块 Block	—	2117	125	—	313	—	—	too long
弹片 Shrapnel	—	3595	205	—	345	too long	72	—

对比四种土壤背景下的地雷探测结果可以看出，无机土壤(沙土、磁性土)的 N 元素异常识别时间整体短于有机土壤(粘土、红土)，这与有机土壤中的 N 杂质含量较多且均质性不好有关。另外，从磁性土壤的实验结果中可以看出，尽管 Fe 拥有一条较高能量的特征射线(9.30 MeV)，TNA 探雷也可通过限制 N-ROI 很好地适应土壤背景中含有的大量铁杂质，这可以有效弥补传统金属探雷方法的不足。对于实验结果中的 0 cm 和 3 cm 两种不同埋深，0 cm 的 H、N 探测时间明显短于 3 cm，这一方面是由于随着埋深的增加，慢热中子的注量逐渐减小，另一方面是由于土壤对特征 γ 射线存在较为明显的吸收效应。土壤背景对 TNA 探测效能的影响是一个复杂的过程，它受到地雷埋深、土壤成分、含水量、均质性、探测器所张立体角、实验布局等因素的影响，还需要进一步的研究。

3 结语

实验搭建了一套基于新型 $\text{LaBr}_3(\text{Ce})$ 快闪烁体探测器和 ^{252}Cf 同位素中子源的 TNA 探雷实验平台。研究了 NH_4Cl 热中子活化谱用于宽能量范围刻度，特别是对高能段准确刻度的可行性。在实验室雷池中的四种土壤(粘土、红土、沙土及磁性土)背景下，对 500 g 塑料雷、72 式反坦克地雷以及多种干扰物进行了测试，测试结果表明，TNA 方法可准确有效地识别出有雷时地表 N(H)元素含量的异常。按照目前的实验条件，对装药量约为 3 kg 的 72 式反坦克地雷中的 H 元素异常识别时间约为数十秒，N 元素异常识别时间约为数百秒。显然，这种探测

能力离实际应用还有一定距离，但后期可通过改善屏蔽、提高中子源强、增加探测器数目等方法进一步缩短探测时间。相信作为一种全新的地雷探测手段，TNA 探雷以其独有的技术特征，在未来排雷中发挥不可限量的作用。

参考文献

- 1 莫霜. 关于地雷、探雷以及中子探雷[J]. 现代物理知识, 2004, 16(4): 39-41
MO Shuang. Introduction of landmine demine and neutron demine[J]. Modern Physics, 2004, 16(4): 39-41
- 2 International Campaign to Ban Landmines (ICBL). Landmine Monitor 2010[R]. 2010, 31
- 3 王新华, 安力, 郑普, 等. 爆炸物检测中的模拟计算[J]. 核技术, 2010, 33(1): 39-43
WANG Xinhua, AN Li, ZHENG Pu, *et al.* The simulative calculation of explosive detection[J]. Nuclear Techniques, 2010, 33(1): 39-43
- 4 Coleman W A, Ginaven R O, Reynolds G M. Nuclear methods of mine detection[R]. Science Applications Incorporation, 1974
- 5 Clifford E T H, McFee J E, Ing H, *et al.* A militarily fielded thermal neutron activation sensor for landmine detection[J]. Nuclear Instrument and Method A, 2007, 579: 418-425
- 6 Cinausero M, Lunardon M, Nebbia G. Development of a thermal neutron sensor for Humanitarian Demining[J]. Applied Radiation and Isotopes, 2004, 61: 59-66
- 7 Teruhisa T. Recent R&D in IEC neutron source at Kyoto

- University[C]. Proceeding of 8th US-Japan workshop on Inertial Electrostatic Confinement Fusion, Kansai University, Osaka, Japan, 2006
- 8 Hashem M H, Alireza V N, Hamed P. Improving the moderator geometry of an anti-personnel landmine detection system[J]. Applied Radiation and Isotopes, 2008, **66**: 606–611
 - 9 Lee W C, Mahood D B, Ryge P, *et al.* Thermal neutron analysis (TNA) explosive detection based on electronic neutron generators[J]. Nuclear Instrument and Method B, 1995, **79**: 739–742
 - 10 向永春, 熊宗华, 胡广春, 等. 主动法探测炸药的实验研究[J]. 核技术, 2005, **28**(11): 872–876
XIANG Yongchun, XIONG Zonghua, HU Guangchun, *et al.* Detecting dynamite by active method[J]. Nuclear Techniques, 2005, **28**(11): 872–876
 - 11 丁锡祥, 李宇兵, 翟光年, 等. 隐藏爆炸物的快中子活化检测[J]. 原子能科学技术, 1994, **28**(5): 434–438
DING Xixiang, LI Yubing, ZHAI Guangnian, *et al.* Fast neutron activation analysis of hidden explosive[J]. Science and Technology of Atomic Energy, 1994, **28**(5): 434–438
 - 12 Hsiao H H. Effects of neutron source selection on land-mine detection efficiency[J]. Nuclear Instrument and Method A, 1999, **422**: 914–917
 - 13 向清沛, 郝樊华, 雷家荣, 等. 溴化镧(铈)闪烁体探测器性能研究[J]. 核科学技术与应用, 2012, **5**(2): 131–136
XIANG Qingpei, HAO Fanhua, LEI Jiarong, *et al.* Research on performance of lanthanum bromide(Ce) scintillator[J]. Journal of Applied Nuclear Science and Technology, 2012, **5**(2): 131–136
 - 14 McFee J E, Faust A A, Andrews H R, *et al.* Preliminary results of a comparative study of fast scintillators for a thermal neutron activation landmine detector[C]. Proceedings of IEEE Nuclear Science Symposium, IEEE Rome, Italy, 2004

Experimental investigation of thermal neutron analysis based landmine detection technology

ZENG Jun^{1,2} CHU Chengsheng¹ DING Ge¹ XIANG Qingpei¹ HAO Fanhua¹ LUO Xiaobing²

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

² (Institute of Nuclear Science and Technology, Sichuan University, Chengdu 610065, China)

Abstract Background: Recently, the prompt gamma-rays neutron activation analysis method is widely used in coal analysis and explosive detection, however there were less application about landmine detection using neutron method especially in the domestic research. **Purpose:** In order to verify the feasibility of Thermal Neutron Analysis (TNA) method used in landmine detection, and explore the characteristic of this technology. **Methods:** An experimental system of TNA landmine detection was built based on LaBr₃(Ce) fast scintillator detector and ²⁵²Cf isotope neutron source. The system is comprised of the thermal neutron transition system, the shield system, and the detector system. **Results:** On the basis of the TNA, the wide energy area calibration method especially to the high energy area was investigated, and the least detection time for a typical mine was defined. In this study, the 72-type anti-tank mine, the 500 g TNT sample and several interferential objects are tested in loess, red soil, magnetic soil and sand respectively. **Conclusions:** The experimental results indicate that TNA is a reliable demining method, and it can be used to confirm the existence of Anti-Tank Mines(ATM) and large Anti-Personnel Mines(APM) in complicated condition.

Key words Thermal neutron analysis, Landmine detection, LaBr₃(Ce) detector

CLC TL99