

文章编号: 1007-4627(2009)01-0041-03

中子检测爆炸物的原理实验研究*

金大志^{1,2}, 程亮²

(1 电子科技大学物理电子学院, 四川 成都 610054;

2 中国工程物理研究院电子工程研究所, 四川 绵阳 621900)

摘要:传统的X射线无损检测应用广泛,但X射线对低原子序素构成为主的爆炸物不能进行有效的甄别;中子穿透能力较强,能和原子核相互作用产生特征 γ 射线,因此中子无损检测方法能有效弥补X射线无损检测方法的不足。介绍了几种常用的中子无损检测方法,并采用脉冲快热中子法(为PFTNA)的方法对模拟爆炸物进行了测量。实验结果表明,利用密封中子发生器和采用PFTNA方法进行爆炸物检测是可行的。

关键词:中子发生器;脉冲快热中子法; γ 射线;爆炸物

中图分类号: TL99 **文献标识码:** A

1 引言

近年来,世界各地的恐怖活动极为频繁,给世界各国人民的生命财产造成极大的威胁。尽管世界各国安检机构在机场、车站和码头设置了不同类型的检测系统,可是恐怖分子通常采用塑料武器和无形炸弹,它既无金属部件又具有可塑性,既具有完善的隐藏方法又采用难于探测的新材料和爆炸机制,往往逃脱了安检系统的甄别。其中,安检失灵和漏检的主要原因是通常采用的X射线检测方法不能有效识别爆炸物和其它物品,特别是由于炸药密度和常见的许多物品相近,因而仅靠区分物质密度来识别违禁物的X射线检测方法对识别爆炸物已无

能为力。爆炸物通常指各种炸药,其化学元素组成主要是C, H, O和N,而日常用品的化学成分也主要是这4种元素。但是它们的元素含量有相当大的差别,只要能测定C, H, O和N的原子密度或相对含量,就可以判别是炸药、毒品,还是其它的有机物及衣物^[1, 2]。

2 中子检测爆炸物原理

表1列出了常用中子检测爆炸物方法的工作原理、主要的核反应及主要测量的元素^[3, 4]。其中,PFTNA是利用快中子探测物品中C和O的含量,并利用被测量物品慢化的热中子测量物品中N和H的含量。PFTNA主要采用脉冲宽度为 μ s量级、脉冲间

表1 常用中子无损检测方法^[3]

名称	工作原理	主要的核反应	测量射线	主要测量元素
TNA	热中子	(n, γ)	中子俘获反应产生的特征 γ 射线	核材料, H, N, Cl, P
FNA	快中子(常用14 MeV)	$(n, n'\gamma)$	中子非弹性散射所激发的次级 γ 射线	O, C, (H), (N)
PFTNA	快热中子相结合,脉冲工作方式 中子源,中子源工作时快中子起作用,脉冲间隙热中子起作用	$(n, n'\gamma) + (n, \gamma)$	在脉冲产生时测量中子非弹 γ 谱, 脉冲间隙测量俘获 γ 谱	核材料, H, N, Cl, P, O, C
API-TOF	D-T反应产生的14 MeV中子,同时利用符合技术测量核反应产生的伴随 α 粒子	$(n, n'\gamma)$	利用符合技术测量中子非弹性 散射所激发的次级 γ 射线	O, C, N, 金属材料

* 收稿日期: 2008-05-28; 修改日期: 2008-09-04

作者简介: 金大志(1970-),男(汉族),四川遂宁人,在职研究生,从事核技术应用方面的研究; E-mail: jindazhi@sohu.com

隔约为100 μs的氘氚脉冲中子发生器产生的脉冲快中子照射待测量物质，在快中子脉冲宽度内测量快中子引起的C和O非弹性散射产生的γ射线来确定物品中的C和O含量。在两脉冲间隔内就通过测量热中子引起的N和H俘获γ射线来确定物品中的N和H含量，由物品中C, N, O和H 4种元素的含量比就可以识别是否爆炸物及其类别。这种方法比前两种方法更优越，其优点在于信-噪比得到了提高^[4]。API-TOF法可以给出C, N和O 3种元素含量的空间分布图，从而有效地识别任意形状的爆炸物。这种方法具有较高的空间分辨本领和较强的识别能力，但对中子发生器和测量系统的技术要求较高^[5-7]。

3 实验

3.1 实验装置

在本实验中，利用便携式密封中子发生器作为中子源，并采用PFTNA方法对中子检测爆炸物的原理进行了实验研究。实验系统及布局如图1所示，

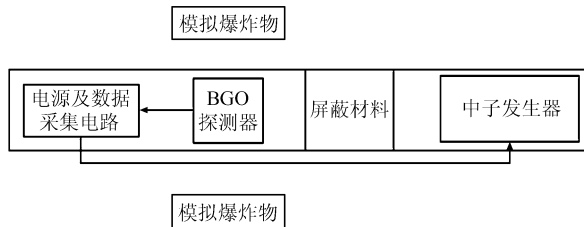


图1 测试系统示意图

其中BGO探测器的尺寸为φ50×100 mm，数据采集系统的能量测量范围约为2—15 MeV，其中屏蔽体采用金属钨(尺寸约为φ60×120 mm)，这样能有效地屏蔽直射中子所产生的较强干扰。中子发生器工作时产额约为1×10⁸ n/s，工作频率为10 kHz，占空比为10%左右。试验采用尿素作为模拟爆炸物进行测量，样品总重量约为15 kg，放置在BGO探测器的两旁。由于中子发生器采用脉冲的工作方式，利用控制电路和数据采集系统，即可获得样品在中子发生器发射中子时的快中子非弹散射谱和在中子发生器停止发射中子时的热中子俘获谱。

3.2 实验结果

图2和图3分别给出了中子发生器脉冲工作和间隔期间的快中子非弹散射谱和热中子俘获谱。从

图2看到，样品中C, H, O和Fe元素的峰很明显，而图3中N元素的峰并不明显，其原因在于N元素的特征峰源于热中子与其发生的俘获反应，而N元素的俘获反应截面很小，故导致N峰的计数很低。

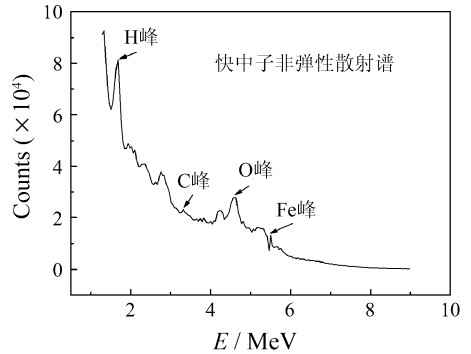


图2 快中子非弹性散射谱

为了验证样品中N元素的存在，提高热中子通量，在中子发生器周围增加水作为慢化剂。试验中将中子发生器部分放置于直径为40cm的罐状中空

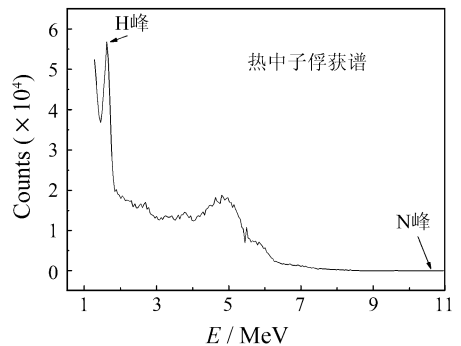


图3 热中子俘获谱

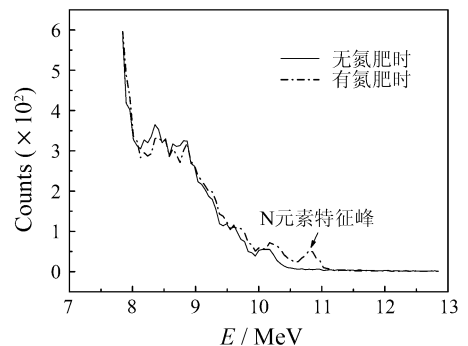


图4 氮的特征峰

水桶中。利用MCNP软件对中子慢化模拟计算表明，热中子与快中子的份额约为6 : 4。同时为了提高探头的探测效率，选择了一块能量分辨率更高

的BGO晶体,并提高了系统的测量阈值,得到的热中子俘获谱如图4。图中虚线代表有氮肥,实线代表无氮肥,对比可看出样品中存在明显的N特征峰。

4 讨论及结论

从图2可以清楚地看到C和O元素的特征峰,图3中H元素的特征峰也很明显,图4表明了样品中N元素的存在。图3中N元素的特征峰并不明显,这主要是因为热中子通量太低、N元素的特征峰的反应截面很小和实验环境(地面,墙壁)的干扰太大等原因,导致N元素的特征峰不明显。同时N元素的特征 γ 射线能量较高,探测器在能量较高时探测效率很低,所以导致计数很少。因此可以选用探测效率更高的探测器,同时设计相应的慢化屏蔽体来解决这一系列问题。在本实验中,由于水的引入,会导致非弹性散射的H峰和O峰的增强,但在试验数据的处理过程中可将由水桶引入的H峰和O氧峰作为稳定的背景进行扣除。实验结果表明,可以利用PFTNA方法判断爆炸物的相关特征元素,从而实现爆炸物的检测。

致谢 感谢丁希金老师对实验提供的支持和帮助。

参考文献(References):

- [1] Qiu Jiuzi. Modern Physics Knowledge, 1998, 10(1): 17(in Chinese).
(仇九子. 现代物理知识, 1998, 10(1): 17.)
- [2] Jia Wenbao. Nuclear Physics Review, 2005, 22(1): 76(in Chinese).
(贾文宝. 原子核物理评论, 2005, 22(1): 76.)
- [3] Tsahi Gozani. Nucl Instr and Meth, 2004, B213: 460.
- [4] Claudio Bruschini. Commercial Systems for the Direct Detection of Explosives (for Explosive Ordnance Disposal Tasks) Explo Study, Final Report, 17/2/2001. Email: Claudio. Bruschini (AT) epfl.ch. Web: <http://diwww.epfl.ch/lami/detec/>.
- [5] Lunardon M, Nebbia G, Pesente S. Nucl Instr and Meth, 2004, B213: 544.
- [6] Kuznetsov A V, Evsenin A V, Vakhtin D N. Proceedings of Portable Neutron Generators and Technologies on Their Base, 18—22 October, 2004, Moscow, Russia, VNIA: 1.
- [7] Nebbia G, Pesente S, Lunardon M. Nucl Instr and Meth, 2004, A533: 475.

Principium Experiment Study in Detecting Explosive by Neutron^{*}

JIN Da-zhi^{1, 2, 1)}, CHENG Liang²

(1 School of Physical Electronics, UESTC, Chengdu 610054, China;

(2 Institute of Electronic Engineering, CAEP, Mianyang 621900, China)

Abstract: Traditional X-ray scatheless detecting method is used widely, but it is not useful to discriminate explosive consisting of low Z atomic elements. The penetrability of neutron is much better, and it can interact on atomic nucleus to emit characteristic γ ray. So neutron scatheless detecting methods can be used to detect the low Z atomic elements. In this paper, several neutron scatheless detecting methods are introduced briefly, and the principium experiment using Pulse Fast Thermal Neutron Analysis(PETNA) to detect a kind of explosive simulacrum is carried out. The experiment results show that PFTNA based on the sealed neutron generator is feasible to detect explosive.

Key words: neutron generator; pulse fast thermal neutron analysis; γ ray; explosive

* Received date: 28 May 2008; Revised date: 4 Sep. 2008

1) E-mail: jindazhi@sohu.com