

文章编号: 1007-4627(2006)01-0070-03

中子检测隐藏爆炸物技术的研究进展

金大志^{1,2}, 谈效华¹, 戴晶怡¹, 杨中海²

(1 中国工程物理研究院电子工程研究所, 四川 绵阳 621900;

2 电子科技大学物理电子学院, 四川 成都 610054)

摘要: 对中子检测隐藏爆炸物技术的基本原理作了较详细的介绍, 对几种不同的检测方法进行了比较, 分析了当前国内外的研究现状, 并指出了未来的发展方向。

关键词: 中子; 隐藏爆炸物; 检测

中图分类号: TL99 **文献标识码:** A

1 引言

近年来, 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, 可是还不能满足形势的需要。所以, 研制准确、快速的检测设备, 有效地发现隐藏爆炸物和毒品, 是非常紧迫和重要的^[1, 2]。

中子对爆炸物的检测主要包括两个方面: 一是使用中子检测器识别是否存在爆炸物, 如: 机场、海关的安检系统对货柜、集装箱的检测, 战场上对地雷的探测等; 二是利用中子照相技术对爆炸物的内部成分和形状进行检测, 进一步确认爆炸物, 如子弹、导爆索等, 是否存在杂质、空隙等缺陷。

基于中子的检测技术具有 (1) 高探测灵敏度; (2) 高准确性; (3) 自动化程度高等特点, 它越来越受到人们的关注^[3]。

2 检测方法及其研究进展

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。日常用品的化学成分也主要是这 4 种元素, 但其元素含量比与前者有相当大的差别, 只要能测定 C, H, O 和 N 的原子密度或相对含量, 就可判别是炸药、毒品, 还是其它的有机物。

早在 20 世纪 80 年代, 国外就开始了利用中子检测隐藏爆炸物方面的研究。几十年来, 在炸药等隐藏爆炸物探测技术方面已取得了很大的进展, 提出了许多技术方案, 主要有热中子法(TNA)、快中子法(FNA)、脉冲快中子法(PFNA)、脉冲快中子

和热中子相结合法(PFTNA)、快中子散射法(FN-SA)、伴随 α 粒子法/中子飞行时间法(API/TOF)等^[1-6]。

2.1 热中子法(TNA)

测量隐藏爆炸物时, 通常使用热中子俘获反应:



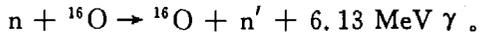
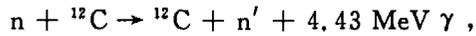
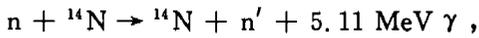
该特征 γ 射线能量很高, 易于探测。在一定强度的热中子照射下, 出射 γ 射线的强度与物品中的含氮量成正比。通过探测这种 γ 射线的强度就可以确定物品中的含氮量, 从而识别爆炸物。

该方法易于实现, 但是它的速度较慢, 从几分钟到几十分钟, 不能探测 C 和 O 元素, 因而判定爆炸物的可靠性不高。在实际应用中, 存在以下几个障碍限制了它的应用, 如: 强本底的干扰、其它元素 γ 射线的干扰、探测器的效率和分辨率较差、噪声中的弱信号提取有困难等。根据这一原理, 美国于 1997 年研制出了用于爆炸物检测的样机, 并在洛杉矶和旧金山国际机场投入使用。使用结果表明, 若以美国联邦航空局规定的最小探测炸药量的探测效率为 100%, 则误报率为 18%—20%; 若将探测效率降到 90%, 则误报率约为 2%; 平均探测效率为 90%—96%, 误报率为 3%—8%^[1, 3, 6]。

2.2 快中子法(FNA)

由氘氚反应产生的 14 MeV 快中子与 N, C 和

O 3 种元素作用都可发生非弹性散射:



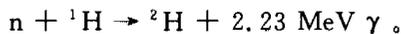
这 3 个反应的 γ 射线能量很高, 易于探测。因此通过测量快中子引起的非弹性散射 γ 射线, 就可以确定物品中的 C, N 和 O 3 种元素的含量。比热中子检测法有更强的识别爆炸物的能力。但有些物品和炸药具有相同的 N, C 和 O 含量, 如三硝基苯炸药 $\text{C}_{10}\text{H}_6\text{N}_2\text{O}_4$ 和脯氨酸 $\text{C}_5\text{H}_9\text{NO}_2$, 因此为了避免误判, 就应该设法确定物品中的 C, N, O 和 H 4 种元素的含量比(N/C, O/C, N/O, H/N), 因为炸药和普通物品中的 C, N, H 和 O 4 种元素的含量比总是不同的^[1, 3, 6]。

2.3 脉冲快中子法(PFNA)

用氘脉冲中子管产生的准直快中子脉冲束对行李箱进行扫描, 通过探测器阵列对快中子引起的 C, N 和 O 3 种元素的特征 γ 射线脉冲信号与快中子脉冲发射时间的关系和快中子飞行时间(TOF)就可以确定中子飞行距离, 从而确定 C, N 和 O 在行李箱中的空间坐标, 给出 3 种元素含量比的空间分布图。这种方法具有较高的空间分辨本领、较强的识别能力。但这种方法需要解决亚纳秒的时间分辨技术和高产额的准直脉冲中子源^[1, 6-8], 涉及建造较大的装置以及快电子学技术和探测技术, ANCORE Corp. (<http://www.ancore.com>) 在这方面的研究比较深入^[6]。

2.4 脉冲快中子和热中子相结合法(PFTNA)

热中子除了能测定物品中氮的含量外, 还可以测量物品中氢的含量, 其反应式为:



利用脉冲宽度为微秒量级、脉冲间隔约为 100 μs 的氘脉冲中子管产生的脉冲快中子与连续热中子同时照射行李箱, 在快中子脉冲宽度内测量快中子引起的 C, N 和 O 非弹性散射 γ 射线, 就可以确定物品中的 C, N 和 O 含量; 在两脉冲间隔内测量热中子引起的 N 和 H 俘获 γ 射线, 就可以确定物品中的 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爆炸物^[1-3, 6]。

该方法的优点是信-噪比高, 但由于是脉冲工作模式, 信号强度减弱, 谱的测量变得困难^[6]。

2.5 快中子散射法(FNSA)

快中能中子照射样品时, 被照样品核素的信息就包含在散射的中子场中, 通过在不同的散射角诊断不同能量的弹性和非弹性散射中子, 就可以确定核素的位置和数量^[6]。

目前南非开普顿大学、美国劳伦斯伯克利国家实验室(LBNL)正在进行这方面的研究^[9, 10]。实验表明该方法可靠性高, 对 C, H, O 和 N 具有相同的灵敏度, 可作为其它技术(X 射线)的一种补充^[6]。

2.6 伴随 α 粒子法/中子飞行时间法(API/TOF)

氘反应产生的 14 MeV 中子及其伴随 α 粒子是一对同时、同地事件, 当入射的氘核能量比较低时, α 粒子和中子沿相反方向飞行。因此, 只要用 α 位置灵敏探测器测定 α 粒子的飞行方向就可以确定中子的飞行方向; 只要测定 α 粒子和中子引起的 γ 射线随时间的变化, 由中子飞行速度就可以确定中子的飞行距离; 由中子的飞行方向和距离就可以确定被测元素在行李箱中的空间分布。所以用伴随粒子法可以给出 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。这种方法具有相当高的空间分辨本领和最强的识别爆炸物的能力, 但需要解决亚纳秒的时间分辨技术和高产额的位置灵敏中子管及其它一些技术问题^[1, 6]。

这种基于伴随粒子的成像技术又称为 TNIS (Tagged Neutron Inspection System)^[11-15]。目前, 欧洲的 EURITRACK 项目集中了 10 个主要的单位正在集体攻关, 解决海关的集装箱的快速检测, 其中就涉及到了 TNIS 技术^[16]。中子发生器和 α 粒子探测器的特性决定了系统的能力, 最小爆炸物的识别数量和时间决定于中子发生器的中子强度, 目前产额可以达到 10^8 neutrons/s, 寿命大于 2 000 h, 空间分辨率决定于像素的数量和中子源与被检测物的距离^[6]。目前俄罗斯研制的原型样机可检查体积为 $0.3 \text{ m} \times 0.3 \text{ m} \times 0.3 \text{ m}$, 检查时间 10 s, 最小检测数量 100 g ^[12]。近年来, 这种检测方法取得了很大进步, 这些系统在实际应用中已能很好地满足要求, 原型样机在几个研究中心已取得了成功^[6]。

需要注意的是, 在这种技术中, 中子产额不能

太高,需要较长的测量时间;一些中子在碰撞中损失能量,因而不是单能中子束,这将影响系统的分辨率;在中子管上加装 α 粒子探测器也不是一件容易的事^[6]。

我国在这方面的研究才刚刚开始起步,相关的详细报道较少,而且大多是原理研究、方案设想或实验室的初步结果,技术的成熟性还有待应用和实验验证,与国外相比差距还很大^[2, 8, 17-20]。

3 结论

TNA 和 FNA 中子检测技术由于其空间分辨率和识别率较差,不是目前的主要研究方向。基于 TNIS 技术的系统开发是目前在中子检测爆炸物技

术中的研究热点,也是未来的发展方向。中子检测爆炸物的技术是一个复杂系统工程,包括中子源、探测器、电子学技术、软件等方面。需要解决中子源、 γ 射线或 α 粒子的探测、快脉冲电源、开关门控制技术、快电子学、噪声抑制和信号提取、计算机模糊识别的算法和软件开发等技术难点问题。

中子检测隐藏爆炸物的技术研究和系统开发,是当前隐藏爆炸物的检测和中子应用领域的热点之一,相信随着科技的不断进步和研究人员的不懈努力,中子检测隐藏爆炸物的技术将得到不断提高和成熟,新的高灵敏度、高可靠性、快速的满足不同要求的实用的检测系统将会展现在人们面前。

参 考 文 献:

- [1] 仇九子. 现代物理知识, 1998, 10(1): 17.
- [2] 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] Kwang Pyo Hong, Cheul Muu Sim, Vyacheslav Em. Proceedings of the International Symposium on Research Reactor and Neutron Science. Korea; Daejeon, April 2005, 460.
- [5] Chichester D L, Simpson J D. The Industrial Physicist, 2004, (1): 22.
- [6] Bruschini C. Commercial Systems for the Direct Detection of Explosives (for Explosive Ordnance Disposal Tasks). ExploStudy, Final Report, 17/2/2001.
- [7] Womble P C, Schultz F J, Vourvopoulos G. Nucl Instr and Meth, 1995, B99, 757.
- [8] 李培俊, 陈琅轩, 赖炳泉等. 核物理动态, 1995, 12(4): 74.
- [9] Reijonen J. Nucl Instr and Meth, 2004, A522: 598.
- [10] Buffler A, Brooks F D, Allie M S. Nucl Inst and Meth, 2001, B173, 483.
- [11] Lunardon M, Nebbia G, Pesente S. Nucl Instr and Meth, 2004, B213: 544.
- [12] Kuznetsov A V, Evsenin A V, Vakhtin D N. Proceedings of Portable Neutron Generators and Technologies on Their Base, 18-22 October. Russia; Moscow, VNIIA: 2004, 1.
- [13] Kwang Pyo Hong, Cheul Muu Sim, Vyacheslav Em. Proceedings of the International Symposium on Research Reactor and Neutron Science. April 2005, Daejeon; Korea, 457.
- [14] Viesti G. Nucl Instr and Meth, 1999, A422: 918.
- [15] Nebbia G, Pesente S, Lunardon M. Nucl Instr and Meth, 2004, A533: 475.
- [16] <http://www.euritrack.org>.
- [17] 沈冠仁, 夏海鸿, 唐洪庆等. 原子能科学技术, 1995, 29(2): 141.
- [18] 丁锡祥, 李宇兵, 翟光年等. 原子能科学技术, 1994, 28(5): 434.
- [19] 徐四大, 齐卉荃, 陈泽民等. 清华大学学报, 1996, 36(6): 88.
- [20] 王新新, 韩 旻, 吴泽辉. 电工电能新技术, 1996, 15(2): 32.

Development of Neutron Detecting Latent Explosive

JIN Da-zhi^{1, 2}, TAN Xiao-hua¹, DAI Jing-yi¹, YANG Zhong-hai²

(1 *Electron Engineering Institute of CAEP, Mianyang 621900, China;*

2 *School of Physics and Electronics of UESTC, Chengdu 610054, China*)

Abstract: In this paper, several methods and basic principles of neutron detecting latent explosive are introduced and analyzed in details. The progresses in this field are reviewed and further development direction is also prospected.

Key words: neutron; latent explosive; detecting