

文章编号: 1007-4627(2005)01-0076-04

## 可移动式 neutron 监测隐性爆炸物系统的初步探索与研究\*

贾文宝

(上海工程技术大学, 上海 200336)

**摘要:** 瞬发  $\gamma$  中子活化分析技术具有快速、原位、不需取样、准确、灵敏度高且能够实时多核素在线分析的特点, 因此该技术是监测隐性爆炸物, 尤其是非金属类爆炸物的最有效手段之一。在国内外有不少科技工作者对中子法监测隐性爆炸物技术进行了大量的研究, 并取得了一定的成绩。主要对中子技术探测地雷和隐性爆炸物的各种方法和技术路线进行讨论, 对同位素钷铍中子源和 14 MeV 脉冲中子管活化分析方法进行了初步探索研究, 并对可移动式系统的源探的几何布置进行了探讨。

**关键词:** 可移动爆炸物; 瞬发  $\gamma$  中子活化分析; 中子源

**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, 劫机、绑架活动不断发生, 引炸建筑物、公共设施等犯罪事件层出不穷, 给世界各国人民的生命财产造成极大的威胁。恐怖分子大多是利用隐藏着的枪支、炸药和雷管等爆炸物进行恐怖活动, 300—500 g 的烈性炸药就足以将各式客机摧毁。为牟取暴利, 贩毒活动十分猖獗, 已成了国际公害, 不法之徒常常将毒品隐藏在行李中, 逃避执法人员的检查。因此, 国际社会对检测隐藏爆炸物和毒品的方法十分关注, 投入了大量的人力、物力和财力。但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, 可是恐怖分子采用极为狡猾、隐蔽的手段和现代科学技术, 他们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, 致使空难屡有发生, 爆炸伤亡事件接连不断。其中, 安检失灵和漏检的主要原因是通常采用的 X 射线检测方法不能识别爆炸物和包装物及日用品, 因为通常利用的 X 射线检测方法, 可以有效地查出金属

武器和其他密度和造型具有一定特征的违禁物品, 但由于炸药密度和常见的许多物品相近, 因而通常的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。所以, 研制一套准确、快速的检测设备, 及时有效地发现行李中的隐藏爆炸物和毒品, 是非常紧迫和重要的。爆炸物通常指各种炸药, 其化学成分主要是 C, H, O 和 N。而日常用品的化学成分也主要是 C, H, O 和 N 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。

近 10 多年的研究表明, 只有中子核技术才是最有希望解决上述问题的可行、可靠的方法。美国能源部太平洋西北国家实验室开发出一种新型中子探测器。这种探测器成本低、探测快, 能够方便地探测到金属含量很少或者不含金属的地雷。在 2001 年华盛顿举行的美国核协会与欧洲核协会会议上, 太平洋西北国家实验室的科学家宣布了他们的最新成果。美国已开发出利用  $^{252}\text{Cf}$  中子源或中子管监测隐形爆炸物系统的仪器 (PINS 系统)。目前, 美国将这种仪器作为武器级产品的出口加以限制, 将中国列入被禁止出口的国家名单之中。在我

收稿日期: 2004 - 08 - 31

\* 基金项目: 上海市教委青年发展基金资助项目; 上海工程技术大学青年基金联合资助项目 (03FZ02, 2003Q16)

作者简介: 贾文宝 (1968 -), 男 (汉族), 甘肃古浪人, 副教授, 从事瞬发  $\gamma$  中子活化分析技术在工业中的应用方面的研发工作;

E-mail: jiawenbao@163.com

国已有一些科学研究单位(如清华大学徐四大教授利用快中子飞行时间法监测隐形爆炸物系统的研究等)利用 14 MeV 中子对隐形爆炸物系统进行开发研究,但未搜索到更进一步的详细报道.

## 2 中子监测爆炸物的技术原理

### 2.1 炸药的原子成分和主要物理特性

表 1 列出了常见固体炸药、毒品和常用有机物原子成分.(1)主要成分是碳、氮、氢和氧.原子

百分数中,氧在 20% 以上,氮在 10% 以上,氢的含量在 10%—45% 之间.炸药的比重约在 1.6 g/cm<sup>3</sup>左右,比一般塑料高[除聚氯乙烯(PVC)、密胺(melemine)、聚氯脂和赛纶等外];(2)任何其它杂物(衣物、食品、医药品和塑料包装物等)的氧、氮百分比都不在炸药的范围内;(3)空气和土壤中的含氮量相当于同体积炸药的 1‰,而土壤中的含水量随湿度变化,充其量远低于炸药中的氢量.

表 1 特种常用固体炸药的主要数据\*

普通名称	符号	分子式	比重 /g · cm <sup>-3</sup>	分子量	氧原子/(%) (×10 <sup>22</sup> atoms/cm <sup>3</sup> )	氮原子/(%) (×10 <sup>22</sup> atoms/cm <sup>3</sup> )	氢/(%) (×10 <sup>22</sup> atoms/cm <sup>3</sup> )
奥托金 octogen HMX	HMX	C <sub>4</sub> H <sub>8</sub> N <sub>8</sub> O <sub>8</sub>	1.63	292	28.6 2.68	28.6 2.68	28.6 2.68
苦味酸 Picrit Acid	PA	C <sub>6</sub> H <sub>3</sub> N <sub>3</sub> O <sub>7</sub>	1.763	229.1	36.8 3.2	15.7 1.38	15.7 1.38
特屈儿 Tetryl	Tetryl	C <sub>6</sub> H <sub>5</sub> N <sub>5</sub> O <sub>8</sub>	1.6	275	33.3 2.8	20.8 1.75	20.8 1.75
梯恩梯	TNT	C <sub>7</sub> H <sub>5</sub> N <sub>3</sub> O <sub>6</sub>	1.65	227.13	28.6 2.6	14.3 1.3	23.8 2.18
季戊炸药	PETN	C <sub>5</sub> H <sub>4</sub> N <sub>4</sub> O <sub>12</sub>	1.6	316	41.4 3.65	13.7 1.22	13.7 1.22
硝化纤维素	NC	C <sub>12</sub> H <sub>15</sub> N <sub>5</sub> O <sub>20</sub>	1.6	549	38.5 3.5	9.6 0.87	28.8 2.62
硝化甘油 Nitroglycerin	NGL	C <sub>3</sub> H <sub>5</sub> N <sub>3</sub> O <sub>9</sub>	1.59	227.09	42.9 3.78	14.2 1.26	25.0 2.1
铵油炸药	AN	NH <sub>4</sub> (NO <sub>3</sub> )	1.6	80	33.3 3.6	22.2 2.4	44.4 4.8
黑索金	RDX	C <sub>3</sub> H <sub>6</sub> N <sub>3</sub> (NO <sub>2</sub> ) <sub>3</sub>	1.82	222.3	28.6 2.95	28.6 2.95	28.6 2.95

\*1. 干土壤, H 0.85 × 10<sup>22</sup> atoms/cm<sup>3</sup>, O 2.27 × 10<sup>22</sup> atoms/cm<sup>3</sup>; 2. 100% 的湿土壤, H 1.69 × 10<sup>22</sup> atoms/cm<sup>3</sup>, O 2.7 × 10<sup>22</sup> atoms/cm<sup>3</sup>; 3. 聚乙烯中, H 7.8 × 10<sup>22</sup> atoms/cm<sup>3</sup>, 石蜡中, H 8.4 × 10<sup>22</sup> atoms/cm<sup>3</sup>, C 4.06 × 10<sup>22</sup> atoms/cm<sup>3</sup>.

### 2.2 中子检测的主要方法<sup>[1, 2]</sup>

(1) HNA 法(热中子分析和氮分析法) 氢含量的确定是通过快中子与含氢材料的多次弹性散射成为慢中子和热中子, 爆炸物实际上成为慢化体. 利用<sup>14</sup>N(n, γ)<sup>15</sup>N 的 10.8 MeV γ 射线和<sup>1</sup>H(n, γ)<sup>2</sup>H 的 2.223 MeV γ 可确定炸药中的氮含量和氢含量, 此反应的优点是发射 γ 射线能量很高, 易于排除干扰, 但反应截面仅 10 mb, 探测效率低. 用

一个 NaI(Tl) 探头可测量氮的含量. 这样根据所测的氢含量和氮含量的比值, 利用计算机识别技术, 就可确定是否是炸药.

(2) FNA 法(快中子分析) 主要特点是采用穿透力比 X 射线强得多的 14 MeV 快中子, 利用快中子对隐形爆炸物中元素照射产生的放射性和放出的 γ 射线的特征能谱来探测, 并采用计算机模式识别技术. FNA 法是通过非弹散射的 γ 测量来确定炸

药中的碳、氮、氧含量的, 用一个 NaI(T) 探头, 可同时测量碳、氮、氧的含量.

(3) RFNA(快热中子分析法) 利用快中子与被测物的非弹特征  $\gamma$  射线和慢热中子的俘获产生的特征  $\gamma$  射线.

### 3 实施方案和系统设计

经过大量调研和讨论, 单纯利用热中子分析法, 报误率较高. 我们采用热快中子分析的方法:

(1) 由于碳、氮、氧的非弹截面较高(200 mb 左右), 因此主要利用快中子的非弹散射  $\gamma$  射线来确定碳、氮、氧的含量. 其中, 碳、氮、氧的非弹特征  $\gamma$  射线的能量分别为 4.44, 5.11 和 6.13 MeV<sup>[3]</sup>.

(2) 爆炸物起了慢化剂的作用, 使快中子慢化为慢中子和热中子. 热中子与氢核的俘获截面很大, 所以可以利用  $^1\text{H}(n, \gamma)^2\text{H}$  的 2.223 MeV  $\gamma$  可确定炸药中氢含量.

Am-Be 中子源或 14 MeV 脉冲中子发生器. 这两种中子源各有优缺点通过模拟计算(利用 MCNP4B), 上述两种源都能观测到碳、氮、氧、氢的明显特征  $\gamma$  谱线. 这两种源各有优缺点:

(1) Am-Be 源的特点是: 寿命很长, 且具有较强的伴随  $\gamma$  射线, 高能中子(>6 MeV)的份额相对较小, 即在相同源强的情况下, 碳、氮和氧的计数相对较低.

(2) 14 MeV 脉冲中子源的优点是: 被测物作为慢化体, 因而具有较强的鉴别能力和测量精度, 同时该源一旦关机周围就没有放射性. 缺点是: 寿命较短(国内达到 1 000 h 左右, 国外 4 000 h 左右).

### 参 考 文 献:

[1] Révay Zs, Molnár G L, Belgya L, et al. J Radioanal Nucl Chem, 2000, 244(2): 383.

[2] 贾文宝, 姚泽恩, 孔祥忠等. 安徽大学学报, 2000, 9.

[3] Womble P C, Campbell C, Vourvopoulos G. Detection of Explosives with the PELAN System. Application of Accelerators in Research and Industry—Sixteenth Int'l. Conf, edited by Duggan J

因此本项目拟采用 14 MeV 中子发生器. 探测器选取 NaI 和 BGO. 探测效率高, 成本低.

系统的设计<sup>[4]</sup>中为了减少防护体的重量, 使整个系统做到真正的可移动. 本项目采用多探测器的方法, 通过符合直接相加, 在保证测量要求的情况下尽可能地降低中子源强. 可移动式系统见图 1.

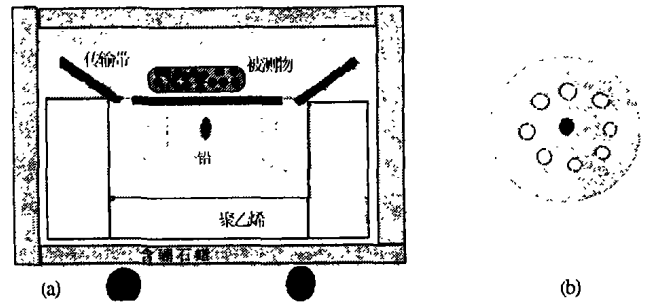


图 1 (a)可移动式系统几何布置图, (b)源与探测器的几何布置

本项目主要采用相对测量法, 通过测量 C/H, C/O, N/H 和 N/C 的相对比值. 然后根据 C/H, C/O, N/H 和 N/C 比, 利用计算机模糊分析判断是否为异常物, 然后再进一步判断是否为爆炸物.

### 4 结 论

通过大量的文献检索和理论分析, 我们采用图 1 所示的系统. 其中中子源选用 Am-Be 中子源(或脉冲中子发生器), 探测器选取 NaI 谱仪. 为了降低源强, 采用 8(根据试验可减为 4)个探测器对称分布. 利用蒙特卡罗方法模拟计算, 建议中子源强在  $2 \times 10^6 - 1 \times 10^7$  neutrons/s 之间. 这有待于试验进一步的验证和修正.

L, Morgan I L. American Institute of Physics 0-7354-0015.

[4] Michael Belbot, George Vourvopoulos, Jonathan Paschal. A Commercial Elemental On-line Coal Analyzer Using Pulsed Neutrons. Application of Accelerators in Research and Industry—Sixteenth Int'l. Conf 1065 - 1072. 2001.

## Study on Strengthen of Metal Surface with Nanosecond Intense Pulsed Electron Beams \*

LIU Zhi-jian, LE Xiao-yun, JIANG Xing-liu

(Department of Applied Physics, Beijing University of Aeronautics and Astronautics, Beijing 100083, China)

**Abstract:** High power density electron beams generated by multiplate pseudospark discharge chamber, have been used to bombard various kinds of steel targets such as 45<sup>#</sup>, 65Mn, T8, 9Cr18, GCr15, etc, and study its applications for modification of metal surface. The microhardness and corrosive resistance property have been measured and the morphology was obtained by using SEM analysis. The results showed that the surface properties and structure of the materials bombarded have been modified; in the bombarded center area, the microhardness as well as corrosive resistance property was improved obviously. The interactions between the electron beam and the metal materials were theoretically considered and discussed on the basis of simple calculation with one dimensional thermal transfer equation. It showed that the cooling rate of metal surface with  $1.2 \times 10^{12} \text{ }^\circ\text{C/s}$  was so high that caused the metal surface instant melted, and abrupt cooled.

**Key words:** pulsed electron beam; pseudospark; surface modification

---

(上接第 78 页)

## Study of Movable System of Neutron Detecting Latent Explosive\*\*

JIA Wen-bao

(Shanghai Engineering Technology University, Shanghai 200336, China)

**Abstract:** Because it can on-line analyze many elements quickly and precisely without sampling and movement, prompt gamma neutron activation analysis is one of the most effective methods to monitor latent dynamite especially nonmetal. Many researchers have studied the techniques of the neutron detecting latent dynamite and got some achievements. This paper mainly discussed each method and technology route of neutron detecting landmine and latent dynamite, investigated the activation analysis with Am-Be isotope neutron source and 14 MeV pulse neutron tube, and proposed a geometrical layout of movable system.

**Key words:** movable explosive; prompt gamma neutron activation analysis; neutron source

---

\* **Foundation item:** Aeronautical Science Foundation of China(00G51004)

\*\* **Foundation item:** Shanghai Education Council Youth Development Fund; Shanghai Engineering Technology University Youth Fund, (03FZ02, 2003Q16)