

用核技术检测隐藏爆炸物

杨福家 吴治华

(复旦大学,上海 200433)

本文阐述检测隐藏爆炸物之困难、关键及核技术的有效方法。

不法之徒携带爆炸物引起火车爆炸失事在我国已发生多起。国际上恐怖分子利用隐藏爆炸物进行讹诈恐吓,劫持飞机事件也不断发生,而进行阴谋暗杀使机坠入亡的政治谋害更是时有发生。怎样能及时和有效地发现行李中隐藏的爆炸物,对科学技术界提出了极为艰难而又富有挑战性的课题。这一课题的艰难性在于:

(1) 国际航线上典型的行李箱重 20kg,尺寸是 $70 \times 45 \times 25 \text{cm}^3$,而能使珍宝机(波音 747)在高空粉身碎骨的爆炸物只要 0.5kg,仅占行李箱本身重量的 2.5%。

(2) 塑料炸弹可以制备成任何形状,甚至做成薄片夹藏在行李箱的隔层垫衬内。

(3) 爆炸物成份是 C,N,O 和 H,与大部分衣服、塑料相近。

(4) 行李箱中隐藏爆炸物的几率是很小的,在 10^9 件行李中可能发现一件。

(5) 航空管理部门要求每分钟至少检查 10 件行李。

(6) 误报警的几率必须尽可能地小,每次报警必然导致开箱检查,这种情况最多允许千分之一的几率,即 1000 件行李中,开箱一次。

(7) 采用的检查办法不能被简易的反措施所欺骗。

(8) 不过分地增加财政开支。

除了以上各点外,我们还可以从下面的分析中进一步看到“甄别”的困难。

因此十几年前,面对这一课题,科技界感到束手无策,还提不出像样的方案。经过多年的努力,已提出了各种方案和设想,甚至不惜求助

于动物的嗅觉,也有用高灵敏的气体成分分析仪器来检测,而最有进展的则是利用核技术的方法进行检测。

一、如何方能有效地甄别爆炸物和其他物品

爆炸物品种类繁多,我国发明的黑火药在唐代十世纪已有配方记载: 75% 的硝酸钾(或硝酸钠), 15% 的木炭和 10% 的硫磺。近代使用的固体炸药见表 1。

(1) 根据密度可以区分炸药和衣服,因为炸药的密度都在 $1.5-1.7 \text{g/cm}^3$ 之间,例如 TNT 为 1.5g/cm^3 , PETN 为 1.60g/cm^3 。而衣服的密度只有 0.2g/cm^3 左右,只是裘皮接近于 1g/cm^3 。但是大部分塑料的密度都大于 1g/cm^3 ,而密胺(melamine)、聚氨脂(polyurethane)、聚氯乙烯(PVC)的密度都在 1.5g/cm^3 左右,赛纶(saran)则为 1.7g/cm^3 ,其它含有金属的物品密度范围更宽,因此仅仅从密度来甄别爆炸物,几乎是不可能的。

(2) 从表 1 可见,氮是爆炸物的主要成分,然而一个空行李箱含氮的总量足以与 1kg 炸药的含氮量相当。机场上用于检查行李的 X 光机的检查空间为 1m^3 ,而 1m^3 空气含 1kg 公斤氮,足以制成 4kg 高烈性的炸弹。因此,仅从氮的含量也不足以甄别爆炸物。

(3) 在仔细考察爆炸物、衣服、塑料和杂物等四类几十种物品含 H,N,O,C 四种元素的关系后,发现仅从一种元素的含量不足以唯一地

表1 常用固体炸药

普通名称	符号	化学名称或成分	分子式
奥托金 Octogen HMX	HMX	四次甲基四硝基胺 NG + AN + NaNO ₃ + C	
达那马特 Dynamite			
苦味酸 Picric Acid		2,4,6-三硝基苯酚	C ₆ H ₃ N ₃ O ₇
特屈儿 Tetryl	Tetryl	三硝基苯甲基硝胺	C ₆ H ₃ N ₃ O ₈
梯恩梯	TNT	三硝基甲苯	C ₇ H ₅ N ₃ O ₆
季戊炸药	PETN	季戊四醇四硝酸酯	C ₅ H ₈ N ₄ O ₁₁
硝化纤维素	NC	Nitrocellulose	C ₁₂ H ₁₃ N ₃ O ₁₀
黑火药 Black Powder		KNO ₃ + C + S	
铵油炸药	AN	ammonium nitrate	NH ₄ NO ₃
硝化甘油 Nitroglycerin	NGL	glycerol trinitrate	C ₃ H ₅ N ₃ O ₉
黑索金	RDX	cyclonite	C ₃ H ₆ N ₆ O ₆

甄别爆炸物。例如,从含氮的密度来说,爆炸物比衣服、杂物和一般塑料都要大很多,但密胺的含氮密度却高于一般爆炸物,看来似乎前途渺茫。然而大自然终会给有智慧的人们以恩赐。如果我们考察含O,N成分的相关性,那么我们发现爆炸物都落在一个很确定的范围内,而其他物品无一落在这一区域,见图1。

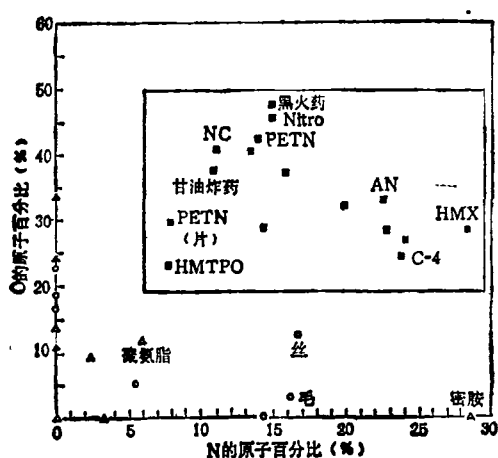


图1 各种材料的N,O原子百分比相关图

■——炸药;△——塑料;○——衣服;▲——其他杂物

二、用核技术检测爆炸物的方法

表2总结了至今提出的各种方案。大多数方法是将行李箱放在中子场中受辐照,并用γ探头输出信号。这些方法的进展各异。有的还在探索,有的正在论证或已获资助,有的已在实

验室中用标准行李箱进行模拟试验,还有的已在机场试用。本文不拟详细论述,仅作一简单介绍。

1. 热中子分析 (TNA)

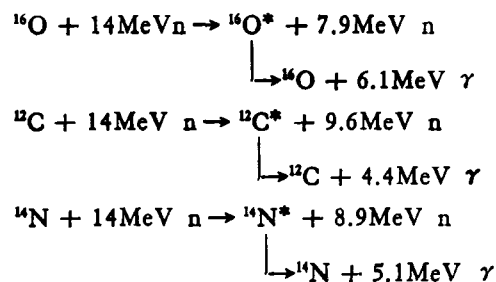
行李箱由传送带运入热中子场,下列反应可检测N: $^{14}\text{N} + n \rightarrow ^{15}\text{N} + 10.8\text{MeV } \gamma$

此反应截面很小,仅10mb,由于出射10.8 MeV γ能量很高,容易识别。用许多γ探头组成描述仪以给出氮的空间分布,但空间分辨率有限。这种方法可同时检测氢和其他几种元素,但不能检测氧和碳。

法国采用中子产额达 $10^9/\text{s}$ 的Cf-252中子源,组成一套仪器投入了试用。

2. 快中子分析 (FNA)

由中子发生器很容易获得14.8 MeV的快中子,将行李箱通过快中子场,由下列反应可分别检测C,N,O:



同样用一组γ探头描述仪探测,可同时给出O,C,N的空间分布。O和C的反应截面为200mb,而N的反应截面仅为70mb,不易探测,

表 2 用核技术检测爆炸物的方法

方 法	入射辐射	出射辐射	检测元素
I			
1. 热中子分析 TNA	热中子	特征高能 γ	N
2. 快中子分析 FNA	快(高能)中子 14.8MeV	特征高能 γ	C, N, O
3. 脉冲中子束	单色快中子	特征 γ	C, N, O
4. 伴随粒子	单色快中子	特征 γ	C, N, O
5. 脉冲快、慢中子分析	快中子, 随后慢中子	特征高能 γ	C, N, O
II			
6. γ 共振吸收	单色高能 γ	高能 γ	N(O γ , C γ)
7. γ 共振荧光	连续谱高能 γ	高能 γ	C(N γ , O γ)
8. 生成 N-13	连续谱高能 γ	湮没 511keV γ	N
9. 生成 N-12	连续谱高能 γ	湮没 511keV γ	N
10. 生成 B-12	连续谱高能 γ	韧致辐射 γ	N
III			
11. 脉冲中子背散射	单色快中子	高能中子谱	C, N, O
12. 脉冲中子吸收	连续高能中子	高能中子谱	C, N, O
13. 生成 N-13	连续高能 γ	中子	N

并有被其他物品反应混淆的问题。

3. 脉冲快中子束分析 PFNA

由专用的小回旋加速器得到脉冲快中子束准直后射向行李箱, 用一组 BaF₂ 探头探测 O, N, C 的特征 γ 辐射。对 14MeV 中子, 测量系统的时间分辨为 1ns 时, 可得 N 的深度分布为 5cm。

4. 伴随粒子法

d-T 反应输出 14.8MeV 中子时, 在相反方向伴随有 3MeV 的 α 粒子发射。把 α 粒子的方向和时间确定后, 中子的方向和时间也可确定。测量特征 γ 辐射和 α 粒子在方向和时间上的符合可得出 C, N, O 的三维分布图。用这个方法和上述 PFNA 的方法, 原理上可以得到空间分辨率小于炸弹的尺寸, 尤其适宜于检测片状爆炸物。

5. 脉冲快慢中子分析 PFSNA

这是把第一和第二种方法结合起来。先产生宽度为几个微秒、间距至少 1ms 的快中子脉冲, 由原始快中子非弹性散射过程得到的 γ 辐射, 可检测 O 和 C; 中子随后将慢化, 并将出现 N 的 10.8 MeV 特征 γ 辐射。这个方法把快中子测 O 和 C, 慢中子测 N 的优点联在一起。也有人考虑分别用快、慢二个中子源。

6. 共振吸收法

由加速器获得 1.7476 MeV 质子束轰击 ¹³C 靶, 形成 ¹³N 激发态。退激时放出近于单色的 9.172 MeV 的 γ 辐射, 出射角为 80.2°, 张角为 0.5°, 在其他方向上则没有辐射。当 9.172MeV 的 γ 辐射照射在行李箱上时, 测量透过的 γ 辐射, 当有 N 时, 将出现共振吸收, 而使透过的 γ 辐射大为减弱。以色列人使用了共振探测器, 它只对共振 γ 能量灵敏, 并在机场使用以检测炸弹。美国的 LASL 小组则用高效率的非 γ 共振探头做成样机试用。由于使用低能加速器, 出射 γ 的方向性强, 防护很方便。反应的截面很大, 因而对 N 的检测灵敏度很高: 出射 γ 能量较高, 可检查较大的容器, 已有以色列和美国在试用。用类似的方法检测 O, C 正在探索中。

7. 共振荧光法

所用连续能谱的 γ 辐射由高能电子轰击重元素靶产生韧致辐射, 照射在样品上, 然后在 90° 方向上用 γ 探测器测量。测试表明, 在 ¹²C 的 4.44 MeV 和 15.1 MeV 能级上的康普顿散射光子能量为 460keV 和 500keV, 这是容易区分的。但如果行李箱中有钨等重元素, (γ, n) 和 (γ, p) 反应可能使行李有剩余放射性。

8. 生成 ¹³N

