

用中子检查隐藏爆炸物的物理学原理

仇九子

(中国人民武装警察部队学院 廊坊 065000)



由隐藏爆炸物引发的空难事件会给人民的生命财产造成惨重的损失。为避免炸机事件就必须在行李箱进入飞机前把隐藏在其中的炸药检查出来。然而,由于大多数炸药与日常物品的组成元素(主要是C、H、O、N)相同,密度又与大多数日常塑料制品相近,再加上塑性炸药可捏成任意形状,使X射线检查难以辨认;有些炸药挥发性极弱,使气体探测器亦无能为力。因此,给自动检查带来了严重困难。

随着核检测技术的不断发展,利用中子检查隐藏爆炸物已成为最有效的方法。中子具有极强的穿透力,可穿过行李箱和箱内物品,直接与炸药中的原子核发生作用,使之发射特征 γ 射线。利用 γ 射线探测系统通过对特征 γ 射线的探测和分析,就可以确定炸药的存在。

早在70年代末,国外就开始了这方面的研究,经过十几年的探索,在炸药探测方面已取得了一定的进展,共提出了五种利用中子检查爆炸物的方案。根据这些方案,在美国和法国已研制出了部分样机,并投入试用。近年来,我国也已开始了这方面的研究工作。本文将主要介绍这五种检爆方案的基本原理。

一、热中子分析法

由于炸药含氮量(单位体积中的氮原子数)通常不同于一般日用物品,因此,通过测量行李箱中物品的氮含量,就可以识别爆炸物。

热中子与氮原子核相互作用,可被氮原子核俘获,其反应式为



介子以及 ρ 、 η 和 η' 介子的“工厂”,以K介子系统的CP、CPT对称性研究为主要物理目标的KLOE实验将以显著的优势开展许多有意义的物理课题研究,并把CP破坏的测量提高到一个新水平。按原定计划,DAΦNE将于1998年正式运行。近

该反应辐射的特征 γ 射线能量很高,易于探测。

在一定强度的热

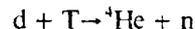
中子照射下,出射的这种特征 γ 射线的强度与物品中氮含量成正比。所以,通过探测这种特征 γ 射线的强度就可以确定物品中氮含量,从而识别爆炸物。

根据这一原理,美国于1987年研制成功了用于探测爆炸物的样机,并在洛杉矶和旧金山国际机场中投入试用。试用结果表明,若以美国联邦航空局规定的最小探测炸药量的探测率为100%,则误报率为(18—20)%;若将探测率降到90%,误报率约为2%;平均探测效率为(90—96)%,误报率为(3—8)%。另外,法国也已研制出了这种样机,并投入试用。

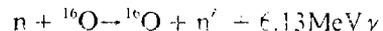
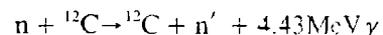
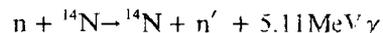
热中子分析法比较简单,易于实现。但含氮量高的并不一定是炸药,有许多物品的含氮量接近于炸药。所以,仅凭含氮量的高低来判断是否存在炸药,难免会出现误判。

二、快中子分析法

由氘氚反应



产生的14MeV的快中子与氮、碳、氧三种元素作用都可发生非弹性散射(与氢不发生该反应)。其反应式分别为:



年来,中国科学家已为KLOE探测器的建造做了许多工作,现在他们正积极准备,迎接实验的取数和分析任务,与合作组中的各国科学家一道,争取为实现KLOE实验的目标多做贡献。

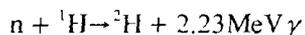
这三个反应的 γ 射线能量都很高,易于探测.因此,通过测量快中子引起的非弹 γ 射线,就可以确定物品中N,C,O三种元素的含量.

如前所述,仅由氮含量来识别炸药难免会有误报.但炸药和日常用品中N,C,O三种元素的含量存在明显的差异,通过测量N,C,O三种元素的含量来识别炸药,就会减少误判.在实际应用中,通过测定三种元素间的含量比来识别爆炸物会更方便,更有效.因为三种元素间的含量比不受物质密度的影响,可避免因物质疏密不同而造成误判.

通过测量快中子引起的非弹 γ 射线,就可确定行李箱中物品的N,C,O含量比,从而比热中子分析法具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,O含量,如三硝基萘炸药($C_{10}H_6N_2O_4$)和脯氨酸($C_5H_9NO_2$),三硝基苯炸药($C_6H_3N_3O_6$)和甘氨酸($C_2H_3NO_2$)等.因此,使用该方法仍难免出现误判.为了完全避免误判,就应设法确定物品中C,H,O,N四种元素的含量比(N/C,O/C,N/O和H/N).因为,炸药和普通物品中C,N,O,H四种元素的含量比总是不同的.

三、脉冲快中子和热中子相结合法

用快中子可以探测物品中C,N,O的含量,用热中子除了能测定物品中氮的含量外,利用热中子引起的氢俘获反应,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 $100\mu\text{s}$ 的氘氚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,再利用门控信号进行控制,在快中子脉冲宽度内测量快中子引起的C,N,O非弹性散射 γ 就可以确定物品中C,N,O的含量.而在两脉冲间隔内通过测量热中子引起的N,H俘获 γ 射线,就可以确定物品中N,H的含量.由物品中C,H,O,N四种元素的含量比就可识别爆炸物.这种方法比前两种方法更优越.

四、脉冲快中子分析法

以上三种方法只能给出有关元素的二维密度分布图,空间分辨本领较差.主要用于检查行李箱中的块状爆炸物.由于塑性炸药可捏成

任意形状,甚至片状,其隐蔽性更强,会给检查带来困难,使漏报率增大.所以,必须采用对位置更灵敏的检查方法.

用氘氚脉冲中子管产生的准直快中子脉冲对行李箱自上而下进行扫描,用探测器阵列对快中子引起的C,N,O三种元素的特征 γ 射线进行测量.根据探测到的 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速度,就可确定中子飞行距离.从而确定C,N,O元素在行李箱中的空间坐标,给出三种元素含量比的空间分布图.这种方法具有极高的空间分辨本领,具有极强的识别爆炸物的能力.但这种方法需要解决亚纳秒的时间分辨技术和建造高产额的准直脉冲中子源.中国工程物理研究院已采用此方法开始进行研究工作.

五、伴随粒子法

伴随粒子法是通过确定行李箱中C,N,O三种元素的空间分布来检查爆炸物的另一种方法.其原理如下:氘氚反应中生成的 14MeV 中子及其伴随 α 粒子(${}^4\text{He}$)是一对同时、同地事件.当 λ 射氦核能量比较低时, 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 粒子和中子在行李箱中引起的 γ 射线对时间的依赖关系,由中子飞行速度就可以确定中子飞行的距离.由中子飞行的方向和飞行的距离,就可以确定被测元素在行李箱中的空间坐标.所以,用伴随粒子法可以给出C,N,O三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.但同样需要解决亚纳秒的时间分辨技术,高产额、高位置灵敏的密封中子管以及其他一些技术.

以上五种方法的检爆设备在国内外都已开始研制.总的来说,快中子分析法和脉冲快中子与热中子相结合法是目前较现实的选择方案,其中,后者比前者更优越.而脉冲快中子法和伴随粒子法还需要进一步研究,解决有关技术难题,应作为以后的发展方向.