

用中子引发 射线能谱测量法甄别 化学武器与常规武器的建议*

蔡少辉

(北京应用物理与计算数学研究所,北京 100088)

摘要 化学武器中所特有的氟、磷、硫、氯、砷等元素在中子的作用下,可以发射明显不同于常规武器的特征谱线.中子具有很强的穿透能力,它很容易穿透由钢或铝制成的常规武器或化学武器的外壳.中子与炮弹物质原子核相互作用产生的高能射线,也很容易穿透武器外壳.识别中子与炮弹物质相互作用产生的特征谱线,就能区分常规武器和化学武器,并按其所含元素种类对化学武器进行分类.

关键词 常规武器,化学武器,非弹性散射,辐射俘获,特征谱线,谱线能谱测量法

1 前言

在中国人民抗日战争与世界反法西斯战争胜利 50 周年之际,新华社和中央电视台不止一次地披露了日本帝国主义者第二次世界大战期间,在我国的一些地区使用了 2000 多次毒气,杀害了我数以万计的军民.在战争结束时日军丢下的弹药库中,留下了 200 多万枚毒气弹.这些毒气弹继续对我国人民生命财产造成严重威胁.完成对这批化学武器的甄别和分类工作,对向世界人民揭露当年日本法西斯的罪行,揭穿今日日本某些势力歪曲史实、矢口否认第二次世界大战侵略性质的谎言,拟定我们的对策,有重要的政治、国防和科学意义.

2 甄别化学武器的核技术

通常化学武器是靠直接取样鉴别的.一般是在炮弹身上钻一小孔,通过取样进行化学分析.这种做法有一定的风险.因为某些神经性毒气的成年人致命剂量仅为 1mg.稍一不慎,就会引发重大事故.

一般化学武器和常规武器一样,都含有由

氢、碳、氧三种元素组成的有机化合物.但是,在化学武器中,除上述三种元素外,还含有相当数量的氟、磷、硫、氯、砷等元素中的一二种.这些元素在常规武器中是不存在的(见表 1).

表 1 烈性炸药(TNT)和某些化学武器中所含元素的重量百分比^[1]

元素	TNT	沙林 (GB)	神经性毒 气(VX)	芥子气 (HD)	糜烂性毒 气(L)
氢(H)	2.2	7.1	9.7	5.0	1.0
碳(C)	37.0	34.3	49.4	30.2	11.4
氮(N)	18.5		5.2		
氧(O)	42.3	22.9	12.0		
氟(F)		13.6			
磷(P)		22.1	11.6		
硫(S)			12.0	20.1	
氯(Cl)				44.7	51.3
砷(As)					36.1

我们知道,在中子的作用下,绝大部分元素都可以发射可辩认的特征谱线.快中子可以引起除氢以外所有元素的非弹性散射反应,并发射特征谱线.慢中子可以引起大多数元素的辐射俘获反应并发射特征谱线.表 2 列出这些元素与中子相互作用发射的较强的特征谱线.注意其中氟、磷、硫、氯、砷发射的一些特

* 1996 年 1 月 5 日收到初稿,1996 年 6 月 27 日收到修改稿.

征 谱线明显不同于氢、碳、氮、氧的特征 谱线. 这就是用核方法甄别化学武器的物理基础, 也明显不同于弹壳材料(铁或铝)发射的 谱线.

表 2 在中子作用下, 氢、碳、氮、氧、氟、磷、硫、氯、砷以及铝、铁元素发射的较强的俘获 谱线和非弹性散射 谱线

元素	反应类型	特征 谱线能量(keV)
氢(H)	辐射俘获	2223.3
碳(C)	非弹性散射	4433.0
氮(N)	辐射俘获	1884.8, 5269.2, 5553.4, 6322.4, 7299.1, 10829.0
	非弹性散射	2312.8, 4444.4, 5105.9, 7028.0
氧(O)	非弹性散射	2741.9, 3684.1, 6131.0, 6917.0, 7119.0
氟(F)	非弹性散射	109.0, 197.1, 1235.8, 1348.0, 1356.5
磷(P)	辐射俘获	2154.2, 3522.8, 3900.3, 4671.3, 6785.3,
	非弹性散射	1266.1, 2233.4
硫(S)	辐射俘获	841.1, 2379.7, 2931.1, 3220.8, 4430.8, 4869.8, 5420.5
氯(Cl)	辐射俘获	516.7, 788.4, 1164.7, 1950.9, 1959.1, 2863.9, 5715.3, 6110.9, 6619.5, 7413.8
砷(As)	辐射俘获	6294.1, 6809.4, 7019.2
	非弹性散射	264.6, 279.5, 572.5
铝(Al)	辐射俘获	984.0, 2959.8, 4132.9, 4252.2, 7723.9,
	非弹性散射	843.8, 1014.4, 2211.8
铁(Fe)	辐射俘获	352.2, 1725.1, 5920.3, 6018.5, 7631.1, 7645.5, 8886.0, 9298.0,
	非弹性散射	846.8, 1238.3, 1408.2, 1810.5, 2112.9, 2598.5

高能中子具有很强的穿透能力. 中子很容易穿透由钢或铝制成的常规武器或化学武器的外壳. 中子与炮弹物质原子核相互作用产生的高能 射线, 亦具有很强的穿透能力. 它同样也很容易穿透武器外壳. 识别中子与炮弹物质相互作用产生的特征 谱线, 就能区分常规武器和化学武器, 并按其所含元素种类对化学武器进行分类.

3 美国曾进行过甄别化学武器的试验

根据上述原理, 美国在 1991 年 4 月 22 日

至 5 月 3 日, 在犹他州 Tooele 陆军基地进行了用核技术甄别化学武器(包括炮弹、炸弹、地雷和吨级的储气罐等)的试验^[1].

图 1 简略地给出该试验的几何布局. 实验所用的中子源为 $2\mu\text{g}^{252}\text{Cf}$ (镅 - 252) 自发裂变中子源, 强度为 10^6n/s . 用 $15\text{cm} \times 15\text{cm} \times 7.5\text{cm}$ 的聚乙烯作慢化物质. 为了能高度地识别不同元素的特征 谱线, 采用了有液氮冷却的 HPGe (高纯锗) 探测器. 冷却设备重约 7kg. 为了防止裂变 射线对探测器的照射, 用 Bi (铋) 作屏蔽体. 另外, 用重约 7kg 的含硼聚乙烯保护探测器.

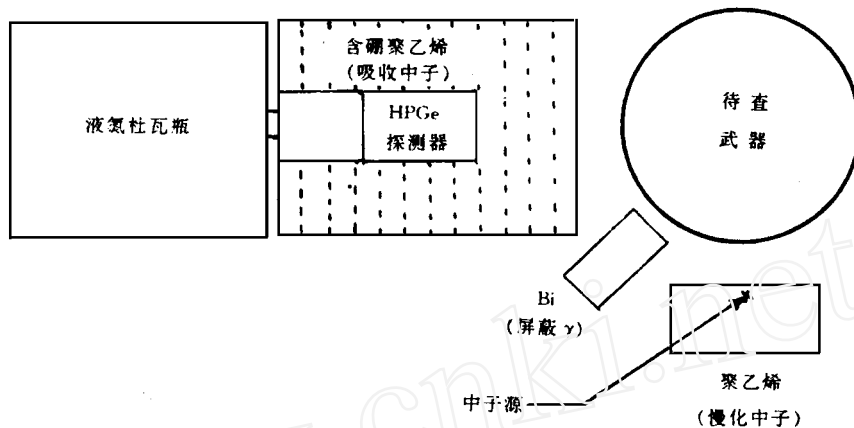


图1 Tooele 实验中的几何布局^[1]

图 2,3,4,5 分别给出对常规武器(155mm 炮弹,内装代号为 B 的烈性炸药,下同)测到的谱线,以及常规武器与 VX 神经毒气弹(155mm 炮弹),HD 芥子气(吨级储气罐)与烈

性炸药炮弹,VX 神经毒气地雷与沙林(CB)毒气炸弹的谱线的对比。从这些测到的谱线图清楚地看到,区分常规武器和化学武器并不困难。

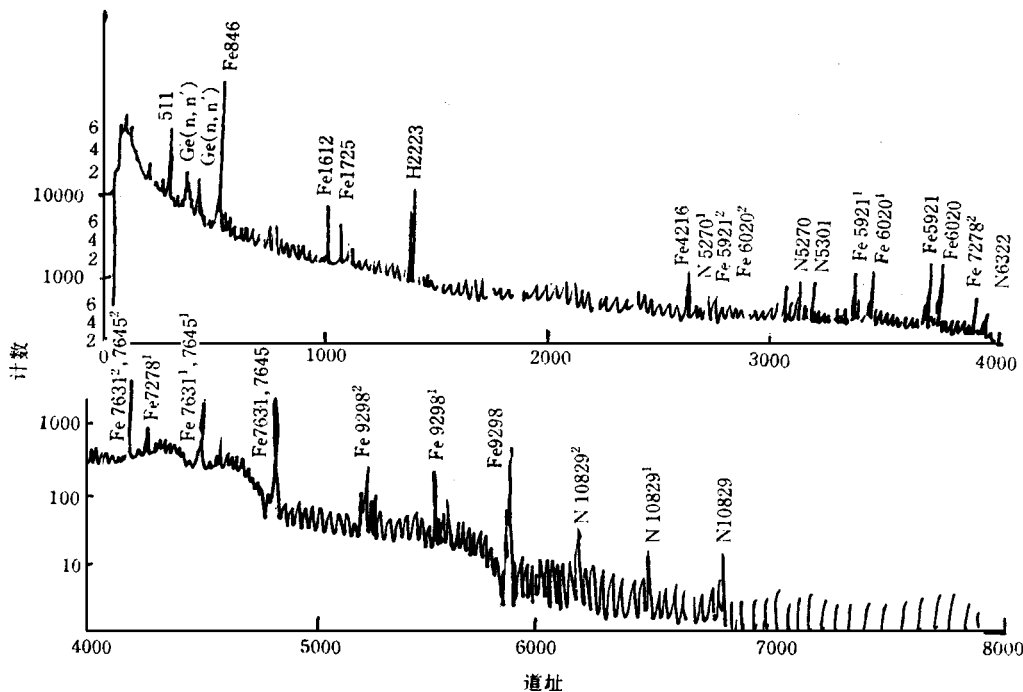


图2 烈性炸药(代号 B)的谱线^[1]

(其中 Fe6020 表示铁的 6020keV 线,Fe6020¹ 表示铁的 6020keV 单逃峰,Fe6020² 表示铁的 6020keV 双逃峰)

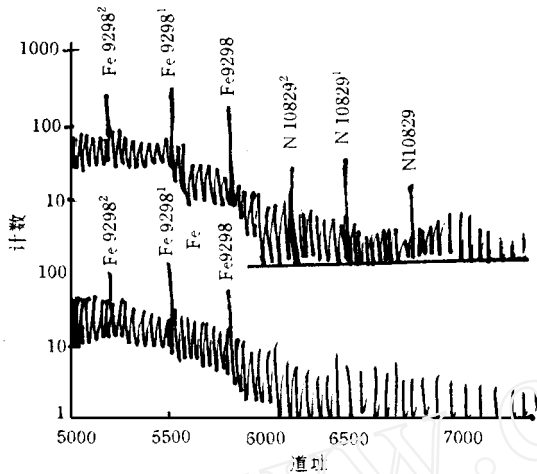


图3 烈性炸药与 VX 神经毒气的 谱线图对比
(注意在常规武器中,可以观察到很强的氮线,但是在化学武器中却看不见^[11])

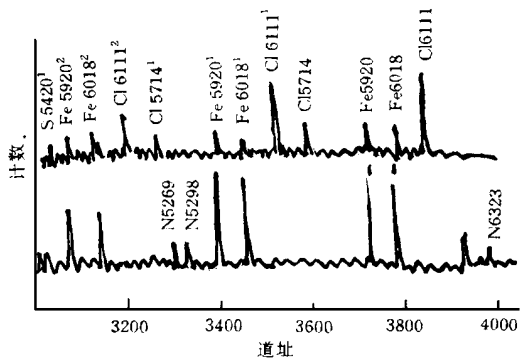


图4 芥子气(HD)与烈性炸药的 谱线图对比
(注意在芥子气中出现了氯、硫线,但在常规武器中则不出现^[11])

4 对美国试验结果的讨论

从发表的试验结果可以看到:

(1) 在美国的试验中,没有测到碳、氮、氧原子核的非弹性 谱线,也没有观察到毒气弹中的氟(例如沙林)、磷(例如沙林或 VX 毒气)和砷(如糜烂性毒气)等元素的非弹性 谱线.这是因为实验所用的中子源是自发裂变中子源.它的能量较低,不足以引起这些元素发生足够强的非弹性 谱线.尽管如此,我们可以通过分析观察到的中子俘获 谱线,鉴别化学武器并对它分类(见图 6).

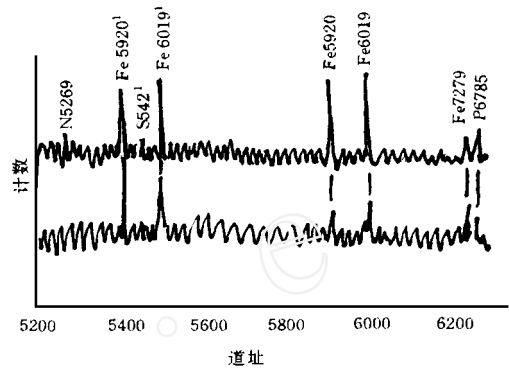


图5 VX 神经毒气与沙林毒气(GB) 的谱线图对比
[注意在 VX 毒气中出现了硫线,而沙林毒气中则观察到了磷线.由于磷的热中子俘获截面只有氯的 1/20,故需要较长的照射时间(约 15min)^[11]]

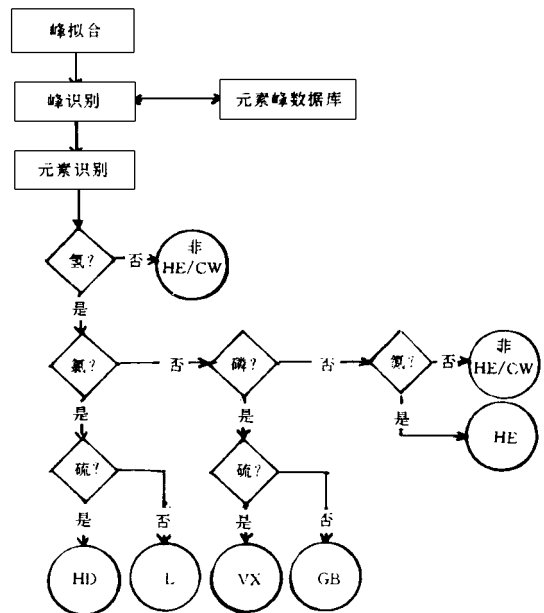


图6 一种用于判别是化学武器还是常规武器的逻辑框图^[11]

HE——烈性炸药;CW——化学武器;GB——沙林毒气;
HD——芥子气;L——糜烂性毒气;VX——神经毒气

(2) 由于在试验中采用了象 HPGe(高纯锗)这种具有极高分辨能力的探测器,因而有可能把 5421keV 的硫线与很强的 5920keV 铁线的单逃逸峰(5920 - 511 = 5409keV)区分开来.这

是普通的 NaI(碘化钠)或 BGO(锗酸铋)探测器办不到的。

5 对用中子甄别化学武器技术的评价

通过对美国 1991 年试验结果分析,我们可以看到:

(1)用核技术甄别化学武器并对其进行分类是有充分的理论根据的。

(2)就原理言,该技术类似于用中子方法探测隐藏炸药。但是,前者在技术上完全成熟,后者尚需努力突破。这首先是由于隐藏爆炸物的质量约占旅客行李箱的 1.5%,体积约占 0.2%。由于炸药的质量和体积都很小,故很难测到。与此相比,化学武器中的氟、磷、硫、氯、砷的质量占弹体内物质总质量的 20%到 90%,相比之下要容易得多。其次是由于爆炸物与旅客携带的大多数日常物品都是由氢、碳、氮、氧四种元素组成,要把爆炸物品与日常物品区分开来,就要求甄别技术能定量地确定这四种元素的特征谱线强度,只有这样才能确认行李箱内夹带物品的化学性质。对于化学武器,只要查明

武器物质发射的谱线中是否含有氟、磷、硫、氯、砷等元素中的一二种存在,就足以判明是否为化学武器。做到这一点是比较容易办到的。因为光凭肉眼就能区分它们的谱线与常规武器的差别。

(3)如果中子源改用 14MeV 的脉冲中子管,我们就能测到炮弹物质不同元素发射的非弹性谱线。如果在 14MeV 脉冲中子管技术测量线路上增设不同的时间窗口,那么在中子脉冲期间测到的就是由炮弹物质的不同元素发射的非弹性谱线;在两个脉冲间隙中测到的则是辐射俘获发射的特征谱线(见图 7)。用这种技术就能从测量中采集到更多的信息,使化学武器的甄别与分类工作做得更准确、可靠。值得指出的是,用中子管代替²⁵²Cf 自发裂变中子源,除具有上述优点外,还有一个更加突出的优点,这就是,中子管只是在甄别工作进行过程中才发射对人体有害的射线,而²⁵²Cf 源不仅在甄别工作进行中发射,而且在停止甄别工作时也不断地发射有害射线。因此使用中子管应比使用²⁵²Cf 源更加安全。

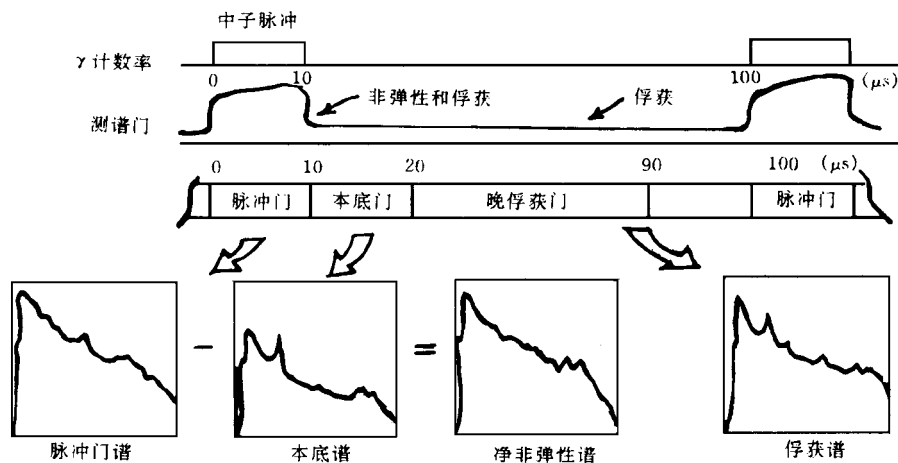


图 7 一种用于石油测井的测量中子引发非弹性散射与辐射俘获的定时逻辑图

6 结论

用核技术甄别化学武器并对其进行分类是一项完全成熟的技术. 这项技术所需要的理论计算工作和实验所需要的关键技术(包括 ^{252}Cf 自发裂变中子源或脉冲中子管,高纯锆和微秒

量级时间窗等核电子学探测技术)也都已具备. 我们应通过我们的科研工作,为揭露第二次世界大战中日本帝国主义的罪恶行径,为我们的国防作出贡献.

参 考 文 献

- [1] A. J. Caffrey, J. D. Cole, R. J. Gehrke et al., *IEEE Trans. on Nucl. Sci.*, **39**(1992), 1422.

(上接第 738 页)

空前规模来发展生产和改造环境的能力. 近 30 年来,环境物理学有了迅速的发展. 我国自 1972 年开始,开展了一系列环境保护工作,从环境现状出发采用现代新技术对物理污染现状进行调查、分析、评价和预测,制定了城市区域环境噪声、电磁辐射防护、环境振动等标准和法规,环境物理学的研究队伍逐渐扩大. 然而,环境物理学的研究领域非常广阔,有的分支学科尚处于创立时期,需要更多的物理学家和物理学工作者加入这一行列,从事环境物理学的基础理论和应用技术的研究,促使环境物理学的进一步发展.

参 考 文 献

- [1] 方丹群等,物理,**14**(1985), 729.
[2] Herbert Inhaber, *Physics of the environment*, Ann Arbor Science Publishers, Inc., (1978).
[3] B. J. Smith, *Environmental Physics—Acoustics*, Longmans, (1968).
[4] C. R. Bassett, M. D. W. Pritchard, *Environmental Physics—Heating*, Longmans, (1968).
[5] M. D. W. Pritchard, *Environmental Physics—Lighting*, Longmans, (1978).
[6] 沈豪等,环境物理学,中国环境科学出版社, (1986).
[7] 李民乾,中国科学院院刊, No. 4(1992), 296.
[8] Stanley H. Anderson, Ronald E. Beiswenger, *Environmental Science*, Third Edition, P. Walton Purdom, (1987).
[9] 周克元,环境科学文献实用指南, (1988).

(上接第 760 页)

他常说,学习必须持之以恒. 以外语为例,他幼年在北京师范大学附属小学五年制特别班就读,成绩一向优秀. 1927 年随家到了上海,因母早逝,为了便于照应,其父让他转学到离家最近的一所中学就读. 该中学是教会学校,所用课本皆为原文,除了国文以外,都以英语授课. 洋文洋语既看不懂,更听不懂. 巨大的冲击迫使他立志攻克英语关,经过一段时间的苦练,持之以恒,克服了这一障碍.

魏先生投身科学研究和教育事业将近 60 年,兢兢业业并持之以恒地从事科学研究,孜孜

不倦地教书育人,朴实无华地埋头于事业和工作,严己宽人地对待同事、后辈和学生,这一切都给我们树立了一个良好的榜样. 特别是 1992 年,他参加在北京召开的 14 届国际声学会议(14th ICA),在迎宾晚会上不幸严重跌伤,却没有影响他对发展祖国科学事业的雄心壮志. 为了今后工作的发展和加强国际上的联系,他在 1992—1995 年还曾多次出访,并在今年主持了第 14 届国际非线性声学会议(14th ISNA). 今年正是他的 80 大寿,作为他的学生,祝先生健康长寿,在科技战线上继续作出更大的成绩.