

# 中子弹与中子弹中的物理学\*

郑绍唐

(北京应用物理与计算数学研究所 北京 100088)

**摘要** 简述了美国研制中子弹的历史背景,中子弹的简要发展史.详细阐释了中子弹的两个重要特性:强辐射与低爆炸威力,并与普通裂变弹作了对比.在分析中子弹特性的基础上,讲述了中子弹的物理原理,即中子弹是一种以氘氚聚变反应释放的高能中子为主要杀伤因素的特殊设计的低威力氢弹.最后,文章阐述了中子弹的功用与局限以及中子弹的防御措施.

**关键词** 中子弹,增强辐射武器

## THE NEUTRON BOMB AND ITS PHYSICS

ZHENG Shao Tang

(Institute of Applied Physics and Computational Mathematics, Beijing 100088, China)

**Abstract** The historical background of U.S. neutron bomb research and a brief history of the bomb are presented. The two important characteristics of neutron bombs, i.e. enhanced radiation and low burst yield, are explained in detail, and a comparison with common fission bombs is given. The physical principles are explained, i.e. the neutron bomb is a specially designed hydrogen bomb in which energetic neutrons released in the fusion of deuterium and tritium is the main injurious factor. Finally, the functions and limitations of neutron bombs as well as the means of protection against them are discussed.

**Key words** neutron bomb, enhanced radiation weapon

### 1 美国为什么要制造中子弹

1945年,美国用它当时所能得到的全部武器的富集铀和钚制造成功了3颗原子弹.1颗用于试验,两颗分别投在了日本的广岛和长崎.这是核武器用于战争的惟一的一次.第二次世界大战结束后,美国军界对核武器的巨大破坏力着了迷,热衷于制造大威力的核武器.但后来在考虑核武器的战术应用时,开始注意到核武器过度的毁灭性.尤其是对平民造成的大规模杀伤,使一些科学家开始考虑能够区别对待目标的战术核武器的设计问题.1954年2月28日,美国在马绍尔群岛的比基尼环礁(Bikini Atoll)上做了一次氢弹试验,威力15000kt TNT当量,比预报的大得多,致使236名马绍尔岛人,31名美国人和23名日本渔民受到放射性伤害,其中1名日本渔民于9月2日死亡.在此之前,美国公众及世界上不少人,对核试验一直是泰然处之的,因为核试验而死了老百姓这是第一次.到了1956年,正值美国总统大选,这个问题已成为美国全国性乃至国际性的重大

问题.要求终止核试验的呼声日渐高涨.1958年,美苏达成协议,暂停一切核试验.在这样的背景下,美国政府及军界对研制“干净”核武器表现出了极大兴趣.沿着这条路,美国设计了聚变份额非常高的氢弹,这种装置的放射性沉降大大降低了.与此同时就有了设计适合于战场使用的核武器的想法.

当时世界正处在冷战时期.1949年4月,以美国为首的加拿大、英国、法国、意大利等12个国家签署了北大西洋公约(简称北约).为与北大西洋公约组织相抗衡,1955年5月,苏联和东欧七国签订了华沙条约(简称华约).于是在欧洲形成了北约与华约两大军事集团互相对峙的局面.北约许多军事专家主要担心原联邦德国(即原西德)北部遭到前苏联或华沙条约成员国的突然袭击.他们推测,一旦前苏联发动闪电战就会有几千辆坦克作为先头部队.一些军事专家认为,北约只有使用核武器才能抵挡这种攻势.然而使用核武器固然能遏制苏军的进攻,但也会杀伤北约自己的士兵和西德的居民.核爆炸产

\* 2000-09-30收到

生的早期核辐射和剩余核辐射还会污染西德的国土,使得谁也不能占领这些土地和在那里长期居住。中子弹正是在这样的军事背景下应运而生的。

## 2 发展中子弹的简要历史

中子弹的基本概念在1958年就提出,1959年,中子弹的研制被列为Livermore研究所的最优先项目,1961年9月前苏联恢复核试验,接着,美国在1962年开始试验中子弹,1963年春,已经可以试验能武器化的装置,但生产中子弹的问题随后就被搁置起来了。20世纪60年代初期,美国进行了一次要不要生产中子弹的大辩论,赞成者的主要论点是它的非破坏性质和放射性污染低的性质使它成为非常可取的战场武器,反对者的主要论点是:使用任何战术核武器都会有升级成为全面核战争的风险,1973年,在一次听证会上,负责原子能的国防部长助理卡尔·沃尔斯克博士透露“过去虽然曾出现过对强辐射武器(即中子弹——本文作者注)的一阵热情,但因为在生物效应方面还存在不确定的情况,对它的兴趣也就减少了,不过今天在这方面还存在一定的兴趣”<sup>[1]</sup>。1977年3月,美国国防部在国会所作的证词表明,能源研究与发展署(美国负责核武器工作的政府管理部门,能源部的前身)已将生产中子弹列入预算,计划将W70-3中子弹头用于陆军的长矛导弹,将W79中子弹头用于8in(1in=2.5cm)大炮发射的炮弹,这一证词一经披露,并在《华盛顿邮报》的社论中将中子弹与化学武器相提并论后,又引起了一场大规模的辩论,北约国家担心在自己国土上使用核武器,前苏联又不断施加压力,1977年圣诞节前夕,前苏联部长会议主席列昂尼德·勃列日涅夫对《真理报》记者的谈话中说:“要么同意禁止中子弹,要么面对苏联被迫自行研制这种武器的前景。”<sup>[1]</sup>在这样情况下,虽然1977年7月美国参议院通过了生产用于长矛导弹的W70-3弹头和8in大炮的W79炮弹的拨款,但卡特总统一再推迟生产中子弹的决定,并在1978年4月7日发表声明决定推迟生产中子弹,而只“命令国防部进行使长矛导弹核弹头及8in大炮系统现代化的工作,暂不确定装备强辐射部件”。1981年8月美国宣布,里根总统在与国防部长温伯格和其他高级官员磋商后,决定下令生产和储存中子弹,正如美国科学家S.T.Cohen所说:“过去20年间,中子弹引起如此广泛、长期的政治辩论,激动着人们的情绪,这在—件新武器的发展上简直是罕有

的。”<sup>[1]</sup>

美国最早研制的中子弹是为陆军Sprint反洲际弹道导弹研制的增强辐射核战斗部W66,Sprint是用作洲际弹道导弹末端防御的一种小型快速导弹,从1974年10月至1975年3月大约生产了70枚W66,它于1985年正式退役,W66的威力为低千吨级TNT当量(可能不到1kt TNT当量),美国曾经服役的中子弹还有为陆军8in大炮研制的W79战斗部和为陆军“长矛”导弹研制的W70-3战斗部,W79有两种型号:具有双重能力(标准裂变或增强辐射)的W79-0和带可插入式增强辐射部件的W79-1,从1981年到1986年一共生产了550枚W79,其中325枚为增强辐射型,225枚为标准裂变型,1990年年中,大约有340枚W79进入国家核武库,40枚为增强辐射武器(可能转换成标准裂变型),W79-1的一部分库存是非现役贮备,W79-0的威力从几吨到1.1kt三档可调,裂变-聚变比在低威力时为50:50,在高威力时为25:75,W70-3的威力有两档,一档稍低于1kt,一档稍高于1kt,聚变-裂变比为60:40,在1981年8月到1983年2月期间,约生产了380枚,曾经在1976年4月开始研制具有标准裂变和增强辐射型(用可插入的氚储存器)双重能力的W70-4核战斗部,因采用W70-3,在1982年被推迟,随着冷战时代的结束,作为大规模削减美国核武器的一部分,均于1992年9月退役,曾经为陆军和海军陆战队的155mm大炮研制过具有标准裂变和增强辐射两种能力的战斗部W82-0,于1983年10月取消<sup>[2]</sup>。

1980年6月,法国总统德斯坦宣布法国中子弹试验成功,并说,法国的中子弹研究始于1976年。

根据联合国1981年政治和安全理事会事务部联合国裁军中心秘书长的报告《对核武器的全面研究》中称:“苏联领导人说苏联发展和试验了一个中子弹,但目前决定不部署中子弹”。

中国在20世纪70年代和80年代,面临着愈演愈烈的美国、苏联两国空前的核军备竞赛,在60年代掌握了原子弹、氢弹技术之后,经过不太长时间的努力也掌握了中子弹技术。

## 3 核武器的杀伤破坏效应

核爆炸的杀伤破坏效应与炸药爆炸有很大不同,核爆炸由于在有限的体积内瞬间释放出巨大能量,使核反应区迅速达到高温高压,例如在原子弹中心温度可达 $10^7$  K,压力可达 $10^{15}$  Pa,于是整个弹体和

周围介质变成了等离子气团.在大气层爆炸情况下,这种气团发射出的热辐射使周围冷空气加热和增压,形成一个高温高压火球,猛烈向外膨胀,压缩周围空气,形成以超音速向四周传播的冲击波,成为核爆炸的巨大杀伤破坏因素.核爆炸火球同时不断以光和热的形式向外辐射能量,形成核爆炸的另一个杀伤破坏因素——光辐射.伴随着原子核的裂变将在瞬间放出大量中子和 $\gamma$ 辐射(称瞬发中子和 $\gamma$ 辐射),发射 $\gamma$ 辐射后的裂变产物仍将通过 $\beta$ 衰变发射 $\beta$ 粒子、中微子,并伴随有 $\gamma$ 辐射,或者通过 $\alpha$ 衰变发射 $\alpha$ 粒子,最后生成稳定核.在 $\beta$ 衰变过程中,偶尔形成一些激发能大于中子结合能的核,可以直接发射中子.在 $\beta$ 衰变过程中,发射的中子与 $\gamma$ 辐射被称为缓发中子与缓发 $\gamma$ 辐射.在核爆炸后的头1 min时间内, $\alpha$ 与 $\beta$ 粒子起的作用很小,实际上只要考虑中子与 $\gamma$ 辐射.中子和 $\gamma$ 辐射在物质中有很强的穿透能力,又称贯穿辐射.早期核辐射是核爆炸特有的杀伤破坏因素之一.强放射性的裂变产物、未裂变的核装料和被核辐射激活的活化物质在火球中随着火球膨胀并上升,几秒或几十秒后,冷却成灰褐色烟云.烟云继续上升,体积不断扩大,在地面掀起尘柱.爆高较低时,尘柱和烟云相接形成高大的蘑菇状烟云.放射性烟云在随风漂移中,因重力、大气下沉运动和降水等原因,大的尘粒下降到地面,小的尘粒长时间停留在空中,造成全球性沉降,成为核爆炸另一个特有的杀伤效应——放射性沾染.核爆炸产生的瞬发 $\gamma$ 辐射、X射线等与空气相互作用,由于环境存在不对称因素会产生不对称电子流.电子流的增长和消失,激励出很强的电磁脉冲,这是核爆炸又一个特有的杀伤破坏效应.

#### 4 中子弹特性

中子弹的确切名称是“增强辐射武器”(enhanced radiation weapon, ERW),是氢弹的一种.它也有冲击波、光辐射、核辐射、放射性沾染和核电磁脉冲五种杀伤破坏效应,所不同的是,中子弹大大增强了核辐射(主要是高能中子)的杀伤效应,减弱了冲击波、光辐射等效应.所以中子弹属于特殊性能的核武器,是一种特殊设计的氢弹.

中子弹与普通裂变弹在能量分配上有显著差别,见表1.

核辐射对人体的损伤程度决定于核辐射在人体中的吸收剂量.吸收剂量的单位是戈瑞(Gy),定义

为1 kg人体组织吸收1 J的辐射能量.老的吸收剂量单位是拉德(rad),它的定义是1 g人体组织吸收100erg( $1 \text{ erg} = 10^{-7} \text{ J}$ )的辐射能量.所以,戈瑞与拉德的换算关系是 $1 \text{ Gy} = 100 \text{ rad}$ .

表1 中子弹与普通裂变弹的能量分配

	普通裂变弹	中子弹
冲击波	~ 50 %	~ 40 %
光辐射	~ 35 %	~ 25 %
瞬发核辐射	~ 5 %	~ 30 %
剩余核辐射	~ 10 %	~ 5 %

由于下列三个原因,中子在生物方面的危害性很大:(1)中子的质量大,与质子几乎相等;(2)有很大动能;(3)不带电荷,穿透性强,能与人体深部原子核作用形成放射性同位素.人体组织内有大量氢,中子与氢核(质子)碰撞时,有很大一部分能量传递给它,使它摆脱分子的束缚,成为高能质子.这种质子在其后行进的路径上将使分子或原子电离,形成大量离子和自由电子.这就是快中子的间接电离作用.慢中子还可以被氢俘获形成氘,同时放出 $\gamma$ .另外,中子与体内的 $_{11} \text{Na}^{23}$ 反应将形成 $\beta$ 放射性同位素 $_{11} \text{Na}^{24}$ .同样会形成磷、硫、钙等放射性同位素.这些放射性同位素就成为埋藏在人体内的放射源.中子的生物效应比 $\gamma$ 射线大得多. $\gamma$ 射线不带电,它的电离作用是继发的.它可以通过与电子的相互作用,把全部能量交给电子(光电效应)或部分能量交给电子(康普顿散射).能量超过1.02 MeV的 $\gamma$ 光子还能在原子核场中产生正、负电子对.高能电子会在人体组织中产生大量离子对.总之,核辐射与人体作用的结果,一方面使细胞物质的分子和原子产生电离和激发,产生大量自由电子、离子和激发态分子,使体内高分子物质的分子键断裂而遭破坏;另一方面使水分子电离形成自由基,导致细胞变性和死亡.

中子在人体内的吸收剂量决定于中子的密度与能量.图1给出一个中子在标准人体内产生的吸收剂量与中子能量的关系.由图1可见,高能中子与低能中子形成的吸收剂量有很大差别.因此,设计中子弹的基本要求是:爆炸时放出的中子要多,而且中子的能量要高.

美国物理学家S. T. Cohen在他所著“强辐射弹头”<sup>[3]</sup>一文中列出了中子弹的基本性能(见表2).文中所列数据不很自洽(譬如,如果1000t TNT当量的中子弹与10000t TNT当量的裂变弹在80Gy时的作用距离相等,那么,由于中子弹放出的中子的能量比

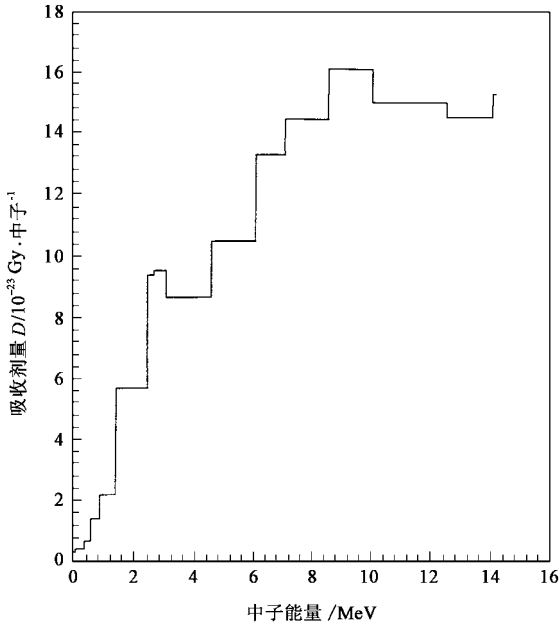


图1 自由场中子及其次级 $\gamma$ 的吸收剂量(爆高129m  
与爆点的地面投影点距离800m)

裂变弹高,在空气中的平均自由程长,所以它们在6.5Gy时的作用距离就不会相等,也就是这时中子弹的作用距离应当比裂变弹大一些,因此表2中的数据只有定性的意义.此外,不同文章中的数据也不尽相同.

表2 效应半径(单位:m)

爆高 /m	武器	80 Gy	30 Gy	6.5 Gy	41.5 kPa	27.4 kPa	20.3 kPa
150	1000t 中子弹	760	910	1200	430	550	760
	1000t 裂变弹	400	490	760	520	610	910
	10000t 裂变弹	760	910	1200	910	1200	1500
460	1000t 中子弹	760	910	1200	0	240	460
	1000t 裂变弹	0	310	580	210	460	610
	10000t 裂变弹	760	910	1200	1200	1500	2100
910	1000t 中子弹	310	610	1100	0	0	0
	1000t 裂变弹	0	0	0	0	0	0
	10000t 裂变弹	310	610	1100	520	1100	1500

表2中的三种吸收剂量分别代表三种杀伤等级:

(1) 80Gy: 人员受到照射后5min内丧失活动能力,在1—2天内死亡.

(2) 30Gy: 人员受到照射后5min内丧失活动能力,经30—45min后能部分恢复机能,一般在4—6天内死亡.

(3) 6.5Gy: 人员受照射后2h内人体机能严重受损,经治疗可能存活,但多数将在几星期内死亡.

图2是美军专家根据美国在日本广岛和长崎使

用核武器的后果以及实验室和核试验得到的结果评估出来的中子辐射的杀伤效应.

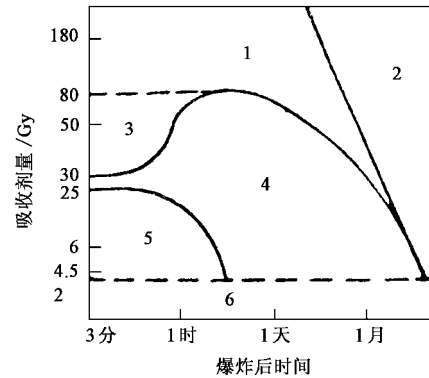


图2 人员辐射损伤与所受中子吸收剂量及爆炸后时间的关系

- 1——完全丧失工作能力; 2——死亡;
- 3——短时间丧失工作能力; 4——工作能力降低;
- 5——有工作能力; 6——有死亡的可能性

表2中所列的三种冲击波强度分别对应于对城市建筑物的严重、中等和轻度破坏.由表2可见:

(1) 在较低高度(150m)上爆炸时,中子弹的辐射杀伤半径与威力大10倍的裂变武器相等,而比相同威力裂变武器的辐射杀伤半径大1倍,即杀伤面积为4倍.由此可以看出中子弹的强辐射特点.

(2) 在中等高度(460m)上爆炸时,中子弹的辐射杀伤半径与较低高度爆炸时相同,但其冲击波的破坏半径大大减小,且显著小于相同威力裂变武器的破坏半径.如与相同辐射吸收剂量的10kt TNT当量裂变武器比较,冲击波破坏半径要小得多.所以,适当提高中子弹的爆高,在吸收剂量对人员的杀伤半径不变的情况下,对建筑物的附带破坏还可显著减少.

(3) 如在910m高度上爆炸,中子弹对建筑物几乎没有多少破坏,但辐射杀伤半径也相应减少.这时如使用 $10^4$ t 裂变弹对城市却有很大破坏.

中子弹除了强辐射特性外,它的另一个显著特点是低爆炸威力.这是因为当爆炸威力很大时其他毁伤效应就会压倒核辐射效应.

尽管核爆炸的各种效应的作用距离都随威力的增大而增大,但增长的快慢并不一样.对于低空核爆炸,冲击波的作用距离大致与威力的立方根成正比,热辐射的作用距离与威力的平方根成正比,而核辐射的作用距离则与威力的对数成正比,即其作用距离随威力的增长比冲击波和热辐射慢得多(见图3).当威力超过一定值时,冲击波与热辐射的效应距

离就会超过核辐射的效应距离.这是因为核辐射在空气中的衰减由指数衰减和几何衰减两个因素构成,因此衰减得比较快.如图3所示,当核武器的威力很低时(约1kt TNT当量),核爆炸的各种效应中,辐射毁伤效应占主要,冲击波与热辐射效应相对较弱.但当武器的威力增大时(如>10kt TNT当量),冲击波与光辐射的效应半径就超过了核辐射的效应半径.这时,强辐射特性就不再能保持了.因此,近地面使用的中子弹只能是低威力(约1kt TNT当量)的.这也就是为什么美国曾经生产的几种中子弹其威力都在1kt TNT当量上下的原因.

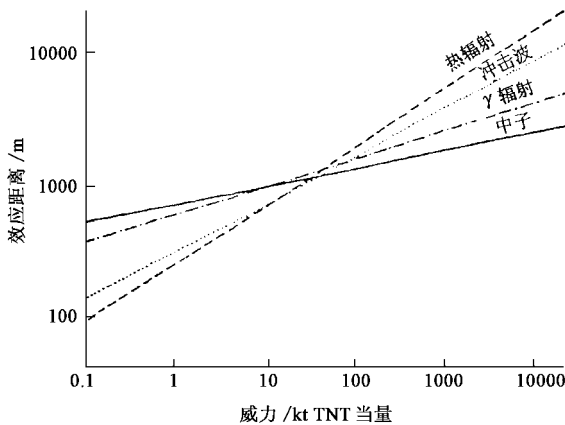


图3 不同威力核武器爆炸时产生的各种效应的作用距离

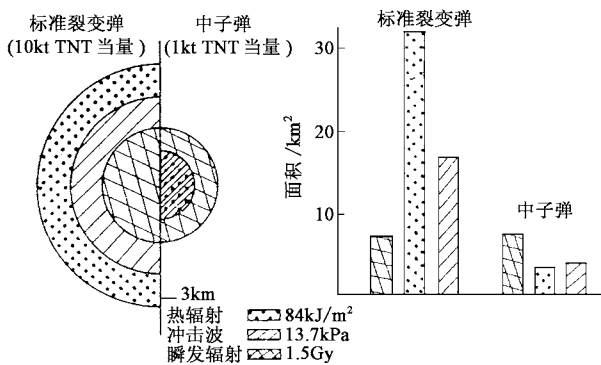


图4 1kt中子弹头与10kt裂变弹头的杀伤破坏效应的范围比较

## 5 中子弹设计原理

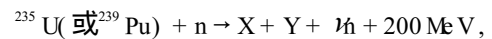
从中子弹的特性可以看出设计中子弹的基本要求是:

(1) 要求爆炸时放出的中子数量多,能量高.图1显示一个不同能量的中子在距爆心地面投影点800m处产生的吸收剂量值(爆高=129m).吸收剂量考虑了穿透空气后的中子与人体的相互作用,是武

器杀伤作用的更准确的量度.由图可见,当中子能量在2.4MeV以下,吸收剂量有显著下降.而裂变中子的平均能量约为2MeV.

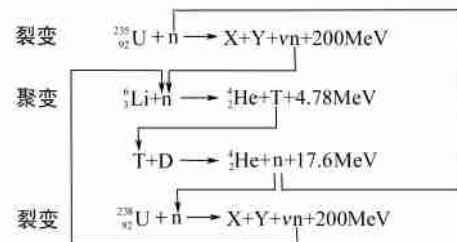
(2) 由于中子弹是低威力的,又要爆炸威力低,又要中子多,这就一方面要求中子弹的物理设计要做到每单位爆炸能量释放放出的中子要多,或者反过来说,每放出一个中子释放的爆炸能量要少;另一方面,这种特殊氢弹的初级的威力必须尽可能地低.

核武器依靠原子核的裂变或聚变反应瞬时释放出巨大能量.核反应瞬时释放的能量有两种形式:原子核动能与瞬时核辐射能.核动能随后转化为冲击波和热辐射能量,核辐射能一部分被中子、 $\gamma$ 射线带走,一部分通过它们与物质相互作用转化成为冲击波与热辐射能量(好的中子弹设计,这部分能量应该较少).所以,核武器的爆炸威力中包含两个部分,即核辐射威力和冲击波、热辐射威力.这两部分能量差不多有一定比例.对裂变反应来说,



式中的X、Y代表裂变碎片,n代表中子, $\nu$ 为次级中子数.在 $^{235}\text{U}$ 情况,每放出200MeV能量时要放出2.5—3个中子,而引起裂变时要用掉一个中子,故净产生1.5—2个中子;在 $^{239}\text{Pu}$ 情况,每放出200MeV能量时要放出3—4个中子,故净产生2—3个中子.即大致每放出一个中子同时释放约100MeV的动能,100MeV=0.4×10<sup>-24</sup>万吨TNT当量,单位放能放出的中子数约为2×10<sup>24</sup>个中子/万吨TNT当量.裂变中子平均能量 $E_n \approx 2\text{MeV}$ ,由图1查出,对于2MeV中子,在800m处核辐射的吸收剂量约5.7×10<sup>-23</sup>Gy/中子,1kt TNT当量威力产生的2×10<sup>23</sup>个中子在800m处的吸收剂量为2×10<sup>23</sup>×5.7×10<sup>-23</sup>=11.4Gy,而中子弹要求在800m附近达到80Gy的吸收剂量.

在三相弹的情况下,聚变材料用 $^6\text{LiD}$ ,主要反应过程是中子与氚循环:



第一阶段是裂变,裂变中子被 $^6\text{Li}$ 吸收产生T, $^6\text{LiD}$ 中的D核与T核聚变反应又产生高能中子

(14.1 MeV), 高能中子再引起<sup>238</sup>U和<sup>235</sup>U裂变, 又产生裂变中子. 这种武器的中子主要来自裂变反应, 中子的平均能量也不高, 情况比纯裂变弹好不了多少.

利用DT聚变反应有可能设计出中子弹来. 从表3的裂变反应与DT聚变反应释放能量形式的对比中可以看出, 利用DT聚变有3个好处:

表3 一次裂变与聚变反应放出不同形式的能量比较\*

反应类型	裂 变	聚 变
反应式	$^{235}\text{U} + n \rightarrow X + Y + \nu n + 200 \text{ MeV}$	$\text{D} + \text{T} \rightarrow ^4\text{He} + n + 17.6 \text{ MeV}$
瞬时释放总能/ MeV	180	17.6
原子核动能/ MeV	168	3.5
瞬时核辐射能/ MeV	12.3	14.1
瞬时核辐射能占瞬时释放总能份额/ %	6.8	80
原子核动能占瞬时释放总能份额/ %	93.2	20
一次反应净释放平均中子数/ 个	1.5—2	1
中子平均动能/ MeV	2	14.1
每放出一个中子释放的原子核动能/ MeV	~100	3.5

\* 反应式中 $n$ 代表中子,  $\nu$ 为放出中子个数, X, Y代表裂变碎片, D, T分别代表氘核、氚核

(1) 中子多. 释放出相同核能时放出的中子数要比裂变反应多得多. 由表3可以看出, 氘核与氚核每发生一次聚变反应, 放出1个中子和17.6 MeV的核能. 因此可以算出, 氘氚聚变反应每1kt TNT当量的(总)核能释放, 将放出 $1.5 \times 10^{24}$ 个中子. 然而细细分析起来, 这17.6 MeV聚变能是由聚变反应产物氦-4与中子两者分配的, 按照反应前后的能量和动量守恒关系可以算出, 氦-4的动能为3.5 MeV, 中子的动能为14.1 MeV. 氦-4是带电粒子, 通过与等离子体中其他粒子的频繁相互作用, 很快把能量传递给其他粒子, 成为物质的热运动能量, 转而成为力学威力. 而中子不带电, 在物质中的自由程很长, 一部分直接穿出弹壳. 一部分与弹体物质相互作用, 并把部分能量传递给弹体物质, 然后穿出弹壳. 留在弹体中的能量将转化为力学威力, 穿出弹体的中子带走的能量就成了核辐射能. 在中子携带的14.1 MeV的能量中有多少留在弹体内成为力学能, 多少被中子带走成为核辐射能, 这要看具体设计而定. 上面算出的每1kt TNT当量核能释放放出 $1.5 \times 10^{24}$ 个中子是假定中子的能量全部留在弹体里, 相反, 如果认为中子全部直接穿出弹壳, 则可以算出每1kt TNT当量的力学能释放后将放出 $7.5 \times 10^{24}$ 个中子. 实际情况将介乎这两者之间. 而裂变反应每1kt力学能释

放将放出约 $2 \times 10^{23}$ 个中子, 所以DT聚变反应为裂变反应的7.5—37.5倍. 实际的中子弹不是全部能量来自核聚变(中子弹初级的能量主要或全部来自核裂变), 按照文献[1]中的说法: “一枚聚变武器释放的中子, 是同等爆炸力裂变武器所释放的5至6倍左右”.

(2) 从核能分配看, 氘氚聚变能中一开始有20%为<sup>4</sup>He核动能(3.5 MeV), 80%为中子能量(14.1 MeV). 裂变反应则相反, 原子核动能占瞬时释放总能的93.2%, 而瞬时核辐射能只占6.8%. 核动能随后将转化成冲击波与热辐射能量, 由于中子在穿透过程中跟核与结构材料的相互作用, 其所携带的能量中有一部分交给弹体, 这部分随后也将成为冲击波与热辐射能量, 大部分则为中子与 $\gamma$ 射线所带走而成为辐射损伤因素. 另外, 由于聚变中子能量比裂变中子高得多, 高能中子不但在物质中穿透力强, 而且每个中子对人体形成的吸收剂量也大得多. 由图1可以看出:

$E_n = 14 \text{ MeV}$ 时, 一个中子吸收剂量为  $D = 1.52 \times 10^{-22} \text{ Gy/中子}$ ;  $E_n = 2 \text{ MeV}$ 时, 一个中子吸收剂量为  $D = 5.7 \times 10^{-23} \text{ Gy/中子}$ , 两者相差达2.7倍.

(3) 聚变反应产物中的<sup>4</sup>He是稳定原子核, 不带放射性. 裂变产物中有许多是放射性很强的核素. 所以, 一旦不得不在本国国土上使用核武器时, 中子弹比裂变武器更适宜. 当然, 由于中子弹初级的能量主要(或全部)来自裂变, 中子弹也不是“干净”的. 另外, 高能中子被土壤中的锰、钠和铝吸收后形成半衰期分别为2.5h, 15h和大约2min的放射性同位素, 它们将发射强 $\gamma$ 射线, 成为放射性污染. 但即使如此, 据S. T. Cohen估计也只在爆点附近几百米范围内有放射性危险, 持续时间不过几小时<sup>[1]</sup>.

要利用氘氚反应就必须用氘, 而氘在自然界中极少存在, 要在反应堆中通过中子轰击锂-6来生产, 是贵重核材料. 同时氘又是不稳定同位素, 半衰期只有12.3年. 如果要产生 $2 \times 10^{24}$ 个中子, 就要烧10g左右的氘.

## 6 中子弹的功用

从中子弹的上述特性可以看出, 在某些特定条件下, 如不得不在自己国土上或盟国和友好国家领土上作战, 对付集群装甲的进攻时, 中子弹是一种有效的防御武器. 就杀伤人员的效果而言, 一枚1kt TNT当量的中子弹大致相当于一枚10kt TNT当量的

裂变弹,而且只要适当提高中子弹的爆炸高度,它对附近建筑物或设施的附带破坏可以大大减少.据说,购买两发 8in 大炮的中子弹的费用相当于购买 3 辆 M-60 主战坦克 50 枚左右先进的非核反坦克武器或 5500 发常规炮弹.前北约司令黑格曾说:“这种新的强辐射弹头将显著增强北约各国保护自己的能力.”

中子弹的弱点是作用半径有限,其作用又是瞬时的,所以只适宜于在特定情况下的战场使用.

## 7 中子弹的防护

各种物质对核辐射都有一定的衰减作用(见表 4).通常把使核辐射注量减弱一半的物质层厚度叫做半衰减厚度  $d$ .如取土壤的  $d=12\text{cm}$ ,则得到使注量衰减 3 个量级所需的防护层厚度为  $120\text{cm}$ .如原来的吸收剂量为  $80\text{Gy}$ ,衰减了 3 个量级后就只有  $0.08\text{Gy}$ .但对坦克的防护要困难得多,因为高能中子穿过装甲时减弱较少(钢的半衰减厚度  $d\sim 12\text{cm}$ ),而且中子被装甲吸收后感生的  $\gamma$  射线同样会造成辐照损伤,何况过多的附加重量还会影响坦克的作战性能.一般用钢与轻材料多层组合可达到较好防护效果.据说美国的装甲运输车 M13 在它的某一部分加一层附加装甲板,两层装甲间的间隙用聚合物

碎屑填充.整个附加防护物重  $650\text{kg}$ .美国新式 M2 坦克是在钢板与铝基体间放一层聚氨基甲酸脂.前苏联/俄罗斯和其他国家军队也在野战装甲战斗车辆上采用中子对抗措施,包括采取铅、镉和硼氢化物屏蔽.

表 4 各种物质对核辐射的半衰减厚度

材料	密度/( $\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$ )	半衰减厚度/cm	
		中子	$\gamma$ 射线
水	1	4—6	14—20
聚乙烯	0.92	4—6	15—25
钢	7.8	8—12	2—3
铅	11.3	10—20	1.4—2
土壤	1.6	11—14	10—13
混凝土	2.3	9—12	6—11
木材	0.7	12—15	15—20

## 参 考 文 献

- [ 1 ] S.T.科恩著.曹贞敏译.中子弹.北京:原子能出版社,1983  
[Cohen S.T.,Cao Z.M. The Neutron Bomb. Beijing: Atomic Energy Press,1983(in Chinese)]
- [ 2 ] Hansen C.U.S. Nuclear Weapons ——The Secret History. A Division of Crown Publishers, Inc.,1988
- [ 3 ] Cohen S.T. 战略评论(季刊),1978,6(1):9  
[Cohen S.T. Strategic Review(quarterly),1978,6(1):9(in Chinese)]

## 封 面 说 明

信息存储的发展经历了漫长的历史过程,从结绳记事到竹筒刻字,从笔墨纸砚到磁盘存储,现在则以 CD 作为一个标志.而下一代的 CD 是什么?当存储点小至纳米尺度时,传统的材料与技术将面临严峻的挑战.中国科学院物理研究所的有机/无机功能材料与器件研究组在高鸿钧教授的主持下,在 1996 年得到了点径为  $1.3\text{nm}$  的信息点阵,点与点之间的间距在  $1.5\text{nm}$  左右,可擦除;最近又分别得到了点径为  $0.8\text{nm}$  和  $0.6\text{nm}$  的信息存储点,相应的存储密度达  $10^{14}\text{bits}/\text{cm}^2$ ,并在存储的物理机制上获得进展.有关研究成果在 Phys. Rev. Lett. 上发表,被美国物理学会选为近期的在 Phys. Rev. 和 Phys. Rev. Lett. 上“最值得读的一篇文章(Physical Review Focus)”,称其为“奔向下一代的 CD(Toward the next generation CD)”;同时,被美国的 Science 杂志的副刊 Science News 进行了专题报道,报道中著名的美国 Rice 大学教授 James M. Tour 评价指出“ This is a very attractive work. It probably has applications as an organic(chemical)-based memory(这是非常诱人的工作,基于有机体系的存储很有可能具有应用前景)”;美国能源部(DOE)将该结果选为 2000 年的全 DOE 系统中 15 项最突出的成果之一,称为“可将美国图书馆存放在一张盘上”.

(中国科学院物理研究所 高鸿钧 时东霞 张昊旭 林晓 唐庆)