

环境中的生存能力,需要研究各种加固措施,而这种研究的最好方法是核爆炸效应的模拟试验。

一、核爆炸效应

核爆炸除了产生和化学炸药爆炸相同的冲击波以外,在爆炸的瞬间还要发射从射频波段到硬 γ 射线的电磁辐射和不同能量分布的中子以及 α 、 β 粒子。从射频到远红外的电磁辐射即为核电磁脉冲;从远红外到紫外的部分为光辐射;进入X射线波段的为热X射线辐射;波长更短的构成 γ 射线,它是早期核辐射的一个重要成分。核爆炸所发射的中子是早期核辐射的另一个重要成分。 α 、 β 粒子和缓发 γ 射线组成剩余核辐射。从上述杀伤破坏因素可以看出,核爆炸的杀伤破坏作用有机械损伤、燃烧损伤、核损伤和电磁损伤。前二者也是常规武器爆炸所具有的,后二者则是核爆炸所特有的。其中,核损伤包括X射线损伤和早期核辐射损伤。

1. 光辐射(X射线)

核反应所释放的巨大能量使弹体物质变成高温(近千万度)、高压(近百亿大气压)的明亮的等离子体,通常称为火球。它向外发出强烈的热辐射,其能谱近似于同温度的黑体辐射能谱,主要成分为软X射线。如果是在高空爆炸,X射线将直接起杀伤破坏作用。火球的辐射率随时间的变化是一个半宽度为十分之几微秒的窄脉冲。在大气层中爆炸,由于冷空气对X射线的强烈吸收,形成迅速向外膨胀的空气火球。其表面温度在1—2万度以下,因而辐射波段主要是可见光。这时,火球的辐射率在单位时间内辐射的能量随时间的变化出现两个连续的脉冲,前一个脉冲的持续时间很短,后一个脉冲的持续时间很长。整个光辐射的持续时间与爆炸威力有关。对于百万吨级的爆炸,可长达十几秒。



核爆炸在有限空间内,瞬间释放大量的能量,同时放出多种看不见的粒子,由此产生各种效应。核爆炸的杀伤破坏效应是多种因素综合作用的结果。比如,在爆炸区域内,人员既会受到冲击损伤,又会受到光辐射的损伤,同时还可能受到核辐射的损伤。对于战略武器系统,尤其是武器中的电子学系统来说,主要是X射线的损伤,核辐射损伤和电磁损伤。比如,电子计算机中的磁芯存储器,只要核电磁脉冲耦合进入的能量为 $(2-5) \times 10^{-9}$ 焦耳,即可抹掉所存储的信息。这是一个严重的课题,特别是在今天,电子学系统日益广泛的应用,这个问题更加突出。为了提高电子系统在核

对于高空爆炸，X射线脉冲辐射的能量约占总能量的70—80%。大气层爆炸的X射线能量全部转变为光辐射和冲击波的能量，光辐射约占总能量的30—35%，冲击波约占60%。

2. 早期核辐射

早期核辐射是指在爆炸后10—15秒时间内，核反应及核裂变产物所释放的 γ 射线和中子。

γ 射线的时间谱和能谱既与武器的设计有关，也与距爆心的距离有关。为了看清楚 γ 射线的基本特征，仅考虑 γ 辐射源（不计距离的影响）的理想情况。图1是百万吨级爆炸的 γ 射线的时间谱，虚线和实线分别表示高空和大气层中爆炸的结果。 γ 射线源所发出的光子数随能量的增加而减少。每个 γ 光子的平均能量约为1兆电子伏。

由图1看到， γ 射线的强度随时间的变化是一个前沿很陡，后沿前期衰减很快后期拖得很长的脉冲。尖脉冲是核反应过程中泄漏出弹体的 γ 射线，后面拖得很长的部分则是裂变产物和中子与空气相互作用所释放的 γ 射线。

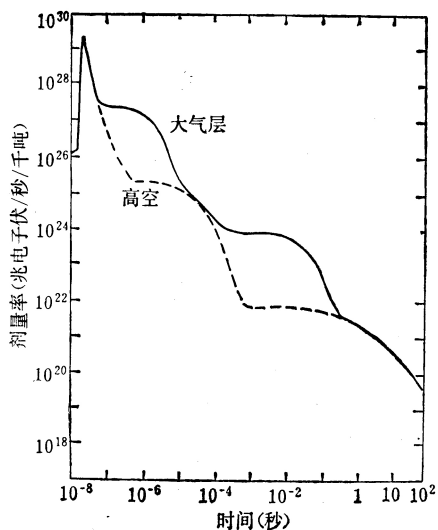


图1 γ 射线时间谱

核爆炸中子主要是核反应过程中释放的。因此，中子的时间谱和 γ 射线时间谱的尖脉冲谱形相似。全裂变核爆炸中子的平均能量约为1兆电子伏，如果含有聚变，则中子流中存在14兆电子伏的高能成分。

对于一般核武器，早期核辐射的能量约占总能量的5%。如果是增强辐射武器（俗称中子弹）或增强冲击波武器，则早期核辐射所占的能量会有较大的变化。

在高空，早期核辐射只有几何衰减。但在大气层中，除了几何衰减外，还要受到大气的显著削弱，随距离按指数规律衰减。因此，在大气层中，早期核辐射的杀伤破坏范围是不大的。比如，百万吨级的爆炸也不过3—4公里。如果是在高空爆炸，情况就大不相同，

其杀伤破坏范围要大得多。

3. 核电磁脉冲

这是核辐射与空气分子相互作用的次级效应。 γ 射线与分子发生康普顿散射，散射出的电子从爆心向外飞行形成电流，同时使周围空气电离，非对称分布电荷的强烈振荡就向外发射电磁波，即核电磁脉冲。其频谱很宽，从极低频到超高频，从时间波形上看，上升时间极短，场强峰值可达 10^4 — 10^5 伏/米。高空核爆炸时，电磁脉冲的源不是在爆心周围，而是在30—40公里高度上相当宽的区域，因而它所覆盖的地面比较宽，可达千公里量级。

二、核爆炸模拟

自1963年美、苏等国签订“部分禁止核试验条约”以来，不可能在大气层中进行核爆炸效应试验，因此，建立大型核爆炸效应模拟设备，进行模拟试验，探索核损伤规律，改善战略武器系统，提高系统在核环境中的生存能力，是十分必要的，也是美、苏、英、法等国大量投资，陆续建立成套模拟设备的原因。

所谓核爆炸模拟，就是在人们可以控制的条件下重现核爆炸的某个单一杀伤破坏因素，以研究该因素对不同目标的损伤规律，从而为提高目标的抗损伤能力提供依据。

这里所说的模拟，主要是指对核爆炸的瞬时杀伤破坏效应的模拟。

1. 光辐射效应的模拟

光辐射系指核爆炸产生的电磁辐射中的可见光部分。因此，其杀伤破坏效应可以用电弧光炉、太阳炉等模拟设备来模拟。图2是美国白沙导弹靶场上模拟核爆炸光辐射的太阳炉。

右边是由雷达控制的、面积为 12×11 米²的定日镜，它把太阳光照射到凹面镜阵（左边）上，然后聚焦到放置试件的实验室（中间）内，可使室内温度达到2760℃。用来确定光辐射对材料、电子设备、特别是对导弹部件的影响。

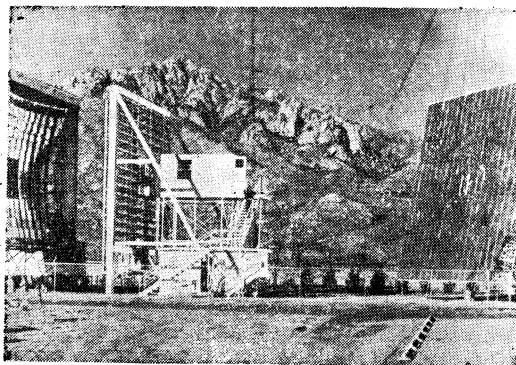


图2 模拟核爆炸热辐射的太阳炉

2. 冲击波的模拟

由于力学作用的相似规律，可以采用化学炸药爆炸(简称化爆)、大型击波管、击波炮(也称轻气炮)、爆炸模拟厅等模拟设备、产生所需要的冲击波进行模拟试验。这些模拟设备既可以模拟不同爆炸方式(包括高空、空中、地面、地下和水下)、不同环境下核爆炸冲击波的形成、运动规律、物体在冲击波作用下的状态等物理现象，又可直接模拟核爆炸冲击波的损伤效应(包括人员和物体的损伤、弹坑和空腔的形成等等)。目前，在国内外，化爆模拟手段已被广泛采用，药量小到几克，大到几百吨。在野外，可以进行各种爆炸方式的模拟，在模拟厅中可以作各种环境的模拟。各种型号的大型击波管、击波炮可以产生每秒几公里的击波。

3. 核辐射(包括 X 射线)的模拟

(1) 脉冲 γ (包括 X) 射线源的模拟目前模拟脉冲 γ 射线源的主要原理是，当高能脉冲电子束轰击高原子序数的靶材料时，由于电子被阻滞而产生高能韧致辐射，这就是我们所需要的脉冲 γ 射线或 X 射线源。实现这个原理的装置称做强流脉冲相对论电子束发生器(英文缩写为 REB)，又通称闪光 X 光机。

早在 60 年代以前就有了能产生电流为几安培、脉宽度为微秒级的电子束的闪光 X 光机，用于快速过程的 X 光照相。60 年代初出现了重叠式倍压脉冲形成线(又称 Blumlein 传输线)，这就有可能产生电压为数兆伏、电流为数十万到数百万安培、脉冲宽度为毫微秒级的电子束，从而大大提高了 REB 的指标。目前 REB 能达到的指标为：

电子能量 0.1—12 兆电子伏
电 流 0.01—10 兆安
脉冲宽度 10—100 毫微秒
总束能量 1 千焦耳—数兆焦耳
功 率 10^{14} — 4×10^{15} 瓦

当前 REB 正向两个方向发展，一是高能(从几到十几兆电子伏)、强电流，作为脉冲 γ 射线源；另一个是低能(从 0.1 到 1 兆电子伏)、特强电流(几兆安)，做电子束打靶，用来研究靶材料的破坏机理或其他用途。因此 REB 既可以模拟核爆炸的 γ 射线源，也可以模拟高空核爆炸的 X 射线源。

为了研究电子元器件在 γ 射线辐照下的效应，研究整机或武器本身的破坏阈值，就需要建立不同指标、大小不同的模拟设备。美国现有大约 35 台这样的大型设备，从事不同领域的核辐照效应试验。迄今最大的一台闪光 X 光机是美国的 AuRoRA。它的总储能能为 5 兆焦耳，每个脉冲的电子束能量为 2.4 兆焦耳。基本构件有：四个马克斯发生器，这是当前模拟器中使用最多的一种高压发生器，其原理是电容器并联充电后串联放电，以获得高压，机库容积为高 60 英尺、长 135 英尺、宽 55 英尺；四根 Blumlein 传输线；四个二

极管和四个靶，四个靶各自对传输线倾斜 23° 角，在垂直于轴线约 1.2 米² 面积上组成 γ 射线源。当剂量率为 3×10^{11} 拉德/秒时，可均匀照射到 8 英寸² 的面积上。其工作原理是：由马克斯高压发生器产生的高压给 Blumlein 传输线充电，充到某一值时，放电器动作，把电压加给二极管，从阴极拉出电子，用薄阳极引出电子束，进入漂移室，或用厚靶产生韧致辐射 γ 射线谱。(图 3)。

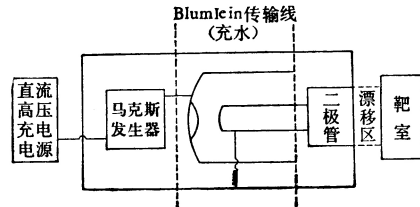


图 3 强流脉冲相对论电子束发生器原理图

建成这台设备的总投资为 1566.9 万美元，使用 1750 吨钢材，7000 吨变压器油。主机安装在长 62 米、宽 33 米、高 21 米的建筑物内，总占地面积 137 英亩。美国建筑这样一个庞然大物，主要是用来试验武器和卫星系统上的大型电子器件的抗辐射能力。在 1972 年，美国就用它对“斯帕坦”反导弹的电子部件进行两个月的瞬时辐照效应试验。以后又对反导弹“斯普林特”的第二级部件进行过试验。这些试验无疑对提高导弹的突防性能、建立可靠的反导系统，都起了重要的作用。

图 4 是 Aurora 闪光 X 光机的外观。安装在 40,000 英尺² 的建筑物内。其中有一多半是 204 × 108 英尺² 的、高 70 英尺的机架。有做试验的场所、办公室和实验室。左边是两个 8 × 10³ 加仑储油箱。

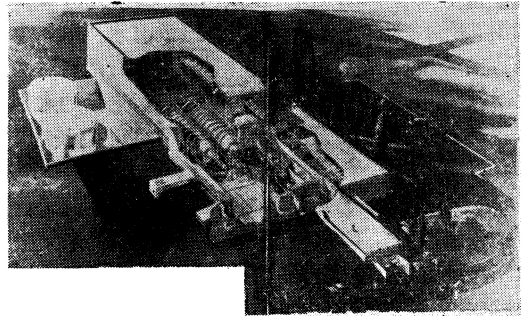


图 4 Aurora 模拟器

REB 除了模拟核爆炸 γ 射线和 X 射线源外，还有其它多种用途。例如，用它所产生的电子束轰击微型热核材料靶丸，研究利用惯性约束实现可控热核反应等。因此 REB 本身的研究也是当前的一门前沿技术，有着广阔的发展前景。

(2) 中子发生器 美国的 RTNS-II 机的中子产额为 4×10^{13} 中子/秒。这种模拟装置利用高压放电使氘和氚发生碰撞反应，产生 14 兆电子伏的高能中子束，可模拟氢弹、含热核材料的原子弹以及中子弹产生的中子，是目前最好的中子模拟器。预计 80 年将建成

产额为 10^{13} 中子/秒的发生器。

利用这种模拟装置，可以对核爆炸产生的高能中子的基本参数进行模拟实验测量；模拟核爆炸中子的杀伤破坏效应；提供高强度、高重复频率的脉冲中子源，用以研究脉冲中子通过各种材料的泄漏谱，模拟核爆炸时出弹壳的中子泄漏谱。同时还可以对中子弹的结构及其效应进行模拟研究。

据报道，美国洛斯阿拉莫斯实验室现有的中子源，加上已于 77 年开始运行的武器中子研究装置 (WNR) 和拟于今年建成的、投资 2500 万美元的弹中子源 (INS)，使洛斯阿拉莫斯自称为“世界中子之都”。

(3) 稠密等离子体焦点装置 (DPF) 利用高压脉冲放电，电弧聚焦后可以获得高温 (4 万度) 高密度的等离子体。这种装置的总储能可达几兆焦耳，能产生能量密度为 10^{13} — 10^{14} 尔格/厘米²·秒的 X 射线，因此可用于模拟核爆炸脉冲 X 射线产生的热击波效应；可直接标定光电管闪烁体。

美国打算建立的储能为 9 兆焦耳的 DPF 装置可产生 6.5×10^{18} 中子/次，可作为一种中子源，模拟核爆炸的中子效应，研究受控热核反应。同时，还可以利用它所产生的电子束来进行其他效应的模拟研究。

4. 电磁脉冲的模拟

电磁脉冲，必须有脉冲高压电源和辐射电磁场装置。前者可由马克斯发生器和火花隙开关组成，根据所需要的电磁场，可以选择不同的辐射装置。例如用传输线可以产生高场强的有界波。再如偶极子天线可以产生场强较低的辐射波等。

目前美国最大的模拟装置叫作“栈架” (Trestle)。如图 5 所示。这是一面完整电场 (既有水平电场也有垂直电场) 的有界波传输线模拟器。它有两台脉冲发生器，脉冲电压分别为 10 兆伏和 4 兆伏，产生的水平和垂直场强分别为 10 万伏/米和 5 万伏/米，它长约 410 米，可同时两架飞机进行试验，周围有一个用 640000 公尺长的金属线编制的网，用于产生磁场，试验平台距地面有 12 层楼高，面积为 61×61 米²，全为木制，经鉴定，在进行兆伏级电脉冲试验时仍保持绝缘，这个平台在 12 级大风的情况下仍能承载 275 吨重的飞机。为了使模拟器不受电磁干扰，全部信号传输采用光纤电缆，它可以对不同型号的导弹和飞机 (如波音 747、B-1 等) 进行全尺寸的模拟试验。

对武器系统或元、器、部件的模拟大体可以分为两类：损伤试验和响应测试。前者是找出使系统损坏、失灵或工作可靠程度降级的电磁场阈值和加固措施的有效性，这种试验方式比较直接，但要求大型、强场的模拟器。后者是研究在电磁脉冲作用下系统的响应，以便找到响应特别大的部位和意外的响应，或者找出电磁场耦合进入系统的传输函数，通过理论求得损伤时的响应，这种试验方式对有些系统难以得出损伤阈

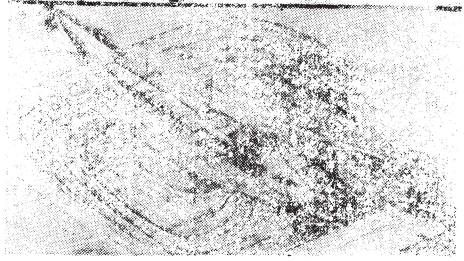


图 5 “栈架”有界波传输线模拟器

值，但对模拟器的指标要求比较低。不论哪类试验，其目的都是寻找系统的薄弱环节，证实不同防护措施的可信性，验证理论分析的准确程度，求得不同等级损伤的阈值，最终达到在核环境下提高系统生存能力的目的。

由于模拟技术的发展，发现或者更深入地认识到某些 60 年代前未被重视的损伤因素，例如 γ 射线或 X 射线照射在导弹弹体上，激发电磁脉冲的效应 (通常称内电磁脉冲)、 γ 射线或 X 射线照射系统，使系统激发出电磁脉冲的效应 (称为系统电磁脉冲)，这两种电磁脉冲效应可能是更难防护的威胁，因此正受到人们的重视。

5. 其他模拟手段的可能性

随着模拟技术的发展，最近几年来，美、苏等国为了研究能源，都十分重视激光聚变和粒子束聚变的研究。比如，用电子束或高功率密度的激光轰击微型热核材料的靶丸，利用惯性约束，有可能诱发聚变反应，从而提供了一种在实验室里观察、研究核聚变的简便方法。同时，这些过程还可以提供高中子通量 ($\geq 10^{13}$ 中子/厘米²) 和 X 射线通量 ($\geq 10^9$ 尔格/厘米²) 的辐射源，这就为综合模拟核爆炸的杀伤破坏效应提供了极为有利的条件。

最后，还必须提到的是大型电子计算机，这是模拟技术中不可缺少的一部分。因为大量的模拟试验数据需要计算机来处理。同时，随着计算机技术的发展，可以设计各种模拟机，既可以对核爆炸的综合杀伤因素进行模拟，也可以对某一杀伤因素的复杂过程进行模拟。