军事医学

（一）

黄兵明　主编

北京银冠电子出版有限公司

需要全本请访问 www.ertongbook.com

目　录

◎核武器的杀伤作用及其防护 1
◎核武器损伤 7
◎对核武器损伤的防护 15
◎核武器的四种杀伤因素 21
◎电离辐射对细胞的作用 28
◎慢性放射病 34
◎放射卫生防护基础 38
◎核武器的杀伤作用 44
◎辐射生物学效应分类和影响因素 53
◎电离辐射生物学效应 57
◎急性皮肤放射损伤 65
◎细胞的辐射敏感性 74
◎急性放射病 86

◎核武器的杀伤作用及其防护

第一节 核武器概述

核武器(nuclear weapon)是利用原子核裂变或聚变反应，瞬间释放出巨大能量，造成大规模杀伤和破坏作用的武器。原子弹、氢弹和中子弹统称核武器。核武器是战略威慑和扼制常规战争的主要手段，现代战争大多是核武器威慑下的常规武器局部战争。

核武器的威力取决于爆炸时所释放出的能量，以TNT当量(TNT equivalent)表示。所谓TNT当量是指核爆炸时所释放的能量相当于多少吨(t)TNT炸药爆炸所释放的能量。

核武器按爆炸威力可分为百吨(10²t)级、千吨(kt)级、万吨(10¹kt)级、十万吨(10²kt)级、百万吨(Mt)级和千万吨(10¹Mt)级。所谓万吨级核武器，是指其当量在万吨数量级之内，即1万吨以上至十万吨以下。其它吨级的含意依此类推。

核武器按战斗使用又可分为战略核武器和战术核武器。战略核武器包括陆基、核潜艇发射的弹道导弹，远程飞行运载导弹，巡航导弹核航弹；战术核武器包括地面、海上和飞机上发射的中短程核弹头导弹、巡航导弹、核航弹、以及核大炮、核地雷、

核水雷和核鱼雷等。核武器的发展趋势是：增强灵活使用能力，向核弹小型化、弹种多样化、当量可调化发展；增强打击能力，提高命中精度；增强突防能力，发展多弹状技术；增强快速反应能力。核武器即使在战争中不直接使用，也在高科技局部战争中起着重要的威慑作用。

一、核武器的爆炸原理及基本构造

(一) 原子弹

1. 爆炸原理：原子弹(atomic bomb)的爆炸原理是重原子核裂变的链式反应(chain reaction of heavy nuclear fidssion)。

一些重元素(如 235U、239U)的原子核在一个中子轰击下，分裂成两个质量相近的新核(也称核碎片)，并放出 2～3 个中子和 200MeV 能量过程，称为重核裂变反应。如 235U 的反应式为：

式中：X、Y 为新原子核(核碎片)。

每个重核裂变时释放出的 2～3 个中子，若有一个中子再轰击另一重核引起分裂，分裂后又发生这样的反应；如此能使重核裂变反应自动连续地进行，称为重核裂变的链式反应(图 2-1)。

重核裂变链式反应，必须在一定质量的体积中才能进行。能持续重核裂变链式反应持续进行的裂

变物质的最小质量，叫做临界量(critical mass)，与临界面质量相对应的体积，叫做临界体积(critical size)。

2. 基本构造：原子弹主要由核装料(235U 或 239Pu)、引爆装置、中子源、中子反射层和核装料弹壳等组成。

3. 起爆过程：当引爆装置点火后，引起各炸药块同时爆炸，产生巨大压力向中心挤压，使分装的、每块小于临界质量的核装料，骤然合拢成一个球体，达到超临界状态。在中子源发射的中子轰击下，引起按等比级数发展的越来越激烈的重核裂变链式反应，在极短的时间内使一定的量的重核裂变，释放巨大能量，形成猛烈的核爆炸。1kg235U 或 239PU，只需百万分之几秒，经 200 代就可以全部裂变，释放的能量相当于 20kt TNT 炸药爆炸时所释放的能量。

(二) 氢弹

1. 爆炸原理：氢弹(hydrogen bomb)的爆炸原理是轻原子核聚变反应(light nuclear fusion reaction)。

一些轻核素(如 21H、31H等)的原子核，在几千万度的高温下发生聚变反应，并放出中子和巨大能

需要全本请访问 www.ertongbook.com

量。如：

由于聚变反应须在极高温度下才能进行，故聚变反应又称热核反应(thermonuclear reaction)，氢弹也叫做核武器(thermonuclear weapon)。

2. 基本构造：氢弹主要由热核装料(通常用氘化锂)、引爆装置(为一枚小当量原了弹)和弹壳(常掺有 238U)等组成(图 2-3)。

3. 起爆过程：首先引爆原子弹，氘化锂在高温、高压和中子作用下，锂即产生氚，随之氘氚迅速聚合，放出高能中子和巨大能量，引起比原子弹更为猛烈的爆炸。1kg 氘氚混合物完全聚变，所释放的能量为 1kg235U 或 239Pu 完全裂变所释放能量的 3～4 倍。氢弹是裂变——聚变双相弹。若弹壳中含有 235U，则氘氚聚变产生的高能中子能使 235U 发生裂变，增加裂变碎片的产额，提高爆炸威力。这种氢弹称裂变—聚变—裂变三相弹。

(三) 中子弹

中子弹(neutron bomb)是利用氘氚聚变反应，产生高能中子杀伤人员的战术核武器。其构造与氢弹类似(图 2-4)。

中子弹的特点是：

1. 中子产额高、能量大：中子弹是氘与氚、氘

与氘、氚与氚的聚变，聚变能量的 80%以上以中子形式释放出来。与同等爆炸威力的原子弹相比，中子的产额可以大 10 倍，中子的平均能量达 14MeV，甚至高达 17MeV。

2. 光辐射、冲击波作用仅为同当量原子弹的十分之一，放射性沾染轻微。

3. 当量小，一般为 1～3kt。

二、核武器的爆炸方式

核武器的爆炸方式可直接影响杀伤破坏效应，因此可根据不同的使用目的选用爆炸方式，以达到最大的杀伤破坏效应。也可参照爆炸方式，分析、预测核袭击造成的杀伤破坏情况。

核爆炸方式可以分为空中爆炸(air burst)、地下爆炸(land surface burst)、地下爆炸(underground burst)，以及水面爆炸(water surface burst)和水下爆炸(underwater burst)等几种。

大气层中的核爆炸，通常以火球是否接触地面作为划分空爆和地爆的标准，接触地面为地爆；不接触地面为空爆。不同爆炸方式用爆炸高度(m)和当量(kt)立方根的比值来表示，此比值称为比例爆高(scaled height of burst)，简称比高(h)，其

单位是 m/(kt)1/3。即

不同爆炸方式的比高划分如下：

地爆 0～60

空爆：>60；

低空爆炸(low altitude explosion) 60～120

中空爆炸(middle altitude explosin)120～250

高空爆炸(high altitude explosion) >250

比高为 0 时好为直接贴在地面的爆炸,比高<60 时，火球接触地面，爆炸高度在 30km 以上为超高空爆炸。地下或水下爆炸，是指在地下或水下一定深度的爆炸。

三、核武器的爆炸景象

核爆炸时,产生特异的外观景象。除地下(水下)爆炸外，其共同的特点是依次出现闪光(flash)、火球(fire ball)、蘑菇状烟云(mushroomcloud)，并发出巨大响声。

根据核爆炸外观景象的特征(表 2-1)，可以初步估计爆炸方式，还可根据火球大小，上升速度等参数估算爆炸当量。

核武器空爆和地爆时外观景象的特征

外观景象

空 爆

地 爆

火球

不接触地面

空中爆炸时，开始为球形，当地面反射冲击波到达时变形

超高空爆炸时始终是球形

接触地面

始终近似半球形

烟支和尘柱

低空、中空爆炸时，烟云和尘柱最初不连接，而后尘柱追及烟云，互相连接

高空爆炸时，烟云和尘柱始终不连接

超高空爆炸时不形成尘柱

烟云和尘柱一开始就连接在一起，烟云颜色深暗，尘柱较粗大

◎核武器损伤

一、原子核

原子核(nucleus)是由带正电的质子(proton)和不带电的中子(neutron)组成，质子和中子统称为核子(nucleon)。在中性原子中，原子核内的质子数等于核外电子数，也代表核电荷数，称为原子

序数，用 Z 表示。原子核内的质子数与中子数之和称为质量数，用 A 表示。原子核内的中子数即为 A-Z，若以 X 代表某种元素，则 AZX 表示元素的原子核组成。

(一) 元素(element)：原子核内具有相同电荷数的同一类原子称为元素。

(二) 核素(nuclide)：原子核内质子数、中子数完全相同的一类原子称为核素。32P 和 60Co 等具有放射性，称为放射性核素。

(三) 同位素(isotope)：一种元素可以包含多种核素，这些原子核中的质子数都相同，但中子数不相同。同一种元素的各种核素又称为同位素，因为它们在“元素周期表”中占同一位置，例如：1H、2H、3H是不同的核素，但它们都是氢元素，故把它们叫同位素。

(四) 同质异能素(isomer)：两种核素若中子数和质子数都相同，而仅仅是能量状态不同，被称为同质异能素。例如：99Tcm与 99Tc 是同质异能素。

二、质量、能量守恒和原子核结合能

(一) 质量亏损(mass defect)

原子核是由中子和质子组成，但原子核的质量与核内中子的质量和质子的质量之和并不相等。例

如：

氦原子的质量 M( ) ＝4.002603 原子质量单位(u)

氢原子的质量 M( ) ＝1.007825u

中子的质量 M(n) ＝1.008665u

氦核( ) 是由 2 个质子(即 2 个氢原子) 与 2 个中子组成的，把 2 个氢原子和 2 个中子的质量相加为：

2 × M( ) +2 × M(n) ＝ 2 × 1.007825u+2 × 1.008665u＝4.032980u 与氦( ) 的原子量不相等，其差值为：

△ M ＝ [2M( ) +2M(n)] -M( ) ＝ 4.032980u-4.002603u＝0.030377u

以上计算表明，当二个中子和二个质子组成一个氦核时，要损失△M＝0.030377u 的质量。对于其它所有的原子核，都可通过计算证明，原子核的质量并不等于其核内中子质量和质子质量之和，△M 即为“质量亏损”。

(二) 核力(nuclear potential)

原子核是由核子(中子和质子) 组成的，在核内的核子间还存在着一种特殊的相互作用力——核力。它的特性是：核力是“短程作用”的力；核力作用与核子带不带电无关；核力具有“饱和”的性

需要全本请访问 www.ertongbook.com

质，一个核子只能与邻近的、而不能同所有的核子都起相互作用。

原子核是由核子依靠核力相吸而紧密地结合在一起构成。核子在组成原子核时，必然会对外作功，即放出能量。

(三) 质量和能量联系定律

质量和能量是物质同时具有的两种属性。任何具有一定质量的物质必然与一定的能量相联系。

设：E＝能量(J)，M＝质量(kg)，C＝光速(3×108m/s)，则 E＝MC2

在任何有能量变化的场合总是伴随着有质量的变化。同样如果任何物质的质量改变了，那么它相应的能量也发生改变。

(四) 原子核结合能(binding energy of nucleus)

若干个核子结合成原子核时释放出来的能量叫该原子核的结合能。结合能越大，表示核子结合成原子核时放出的能量也越大，也表示这个核结合得越紧。原子核的结合能与核的质量数(即核子数)的比值称为“核子的平均结合能”(图 1-1)。

对于质量数为中等数值的那些原子核，每一个核子的平均结合能最大；而质量数较大的重核区，

或较小的轻核区的原子核中，核子的平均结合能都比较小，因此，当重原子核分裂成中等质量的核时，核子在较轻的核内会结合得更紧密，就可能会大量释放能量；当两个较轻的核发生聚合时，释放出的能量更大。

三、原子核的转变

(一) 核衰变(nuclear decay)

某些核素的原子核自发地放出α、β等粒子而转变成另一种核素的原子核，或是原子核从它的激发态跃迁到基态时，放出光子(γ线)，这些过程称为核衰变。

1. 核衰变类型

(1) α衰变(alpha decay)

放射性核素的原子核放射α粒子而变另一种核素的原子核的过程为α衰变。α粒子就是高速运动的氦原子核。α粒子由2个质子和2个中子组成，所带正电荷为2e，其质量为氦核的质量。通常把衰变前的核称为母核，衰变后的核称为子核。放射性核素的原子核发生α衰变后形成的子核较母核的原子序数即核电荷数减少2，在周期表上前移2位(左移法则)，而质量数较母核减少4，可用下式表示：

α衰变是重元素原子核的特点，发生α衰变的天然放射性核素绝大部分属于原子序数 Z>82 的核素。

(2) β衰变(beta decay)

当一个原子核电荷数改变±1,而质量数保持不变时，这种核衰变叫β衰变。

β-衰变是指从核内放射出一个负电子 e-的过程。这里子核的质量数与母核质量数相同，只是生成的子核增加了一个质子。所以，原子序数增加 1，即在元素周期表中后移一位(右移法则)。由原子核发射的电子叫做β粒子。可用下式表示：

β-衰变可以看成是母核中的一个中子转化为质子，同时放出β-粒子和中微子。

$n \rightarrow p + \beta^- + \nu$

(3) γ衰变(gamma decay)

各种类型的核衰变往往形成处于激发态的子核；由于受快速粒子轰击或吸收光子也可以使原子核处于激发态。处于激发态的原子核是不稳定的，它可以直接退激到基态。原子核从激发态向较低能态或基态跃迁时发射光子的过程，称为γ衰变。

在γ衰变过程中，原子核的质量和原子序数都没有改变，仅仅是原子核的能量状态发生发生了改

变，因而这种变化叫做同质异能跃迁。

2. 衰变规律(law of radioactive decay)

放射性核素的衰变与周围环境的温度、压力和温度等无关，它遵循指数衰减规律。即每秒内衰变的原子数与现存的放射性原子数量呈比例。例如，某种放射性核素最初共有 No 个原子，经过时间 t 以后，只剩下 N个，则 N和 No 之间的关系为

N=Noe-?t

其中，λ为衰变常数，表示各核素衰变的相对速度，即每秒衰变的核数为原有放射性核数的几分之几。其单位是时间单位的倒数(1/s、1/min 等)。

3. 半衰期(half-life time)

放射性原子核数因衰变而减少到原来的一半所需要的时间称为半衰(T1/2)。它与衰变常数λ有如下的关系：

T1/2=0.693/?

不同核素的 T1/2 值差别很大，例如 232Th 的半衰期为 1.39×1010 年，而 212PO 的半衰期只有 3.0×10-7 秒。几种医学上常用放射性核素的半衰期是：

2411Na 的 T1/2＝15.6 小时，13153I 的 T1/2＝8.1 天；3215P 的 T1/2＝14.3 天；5926Fe 的 T1/2

＝47.1 天；6027Co 的 T1/2＝5.3 年；31H的 T1/2＝12.4 年；146C的 T1/2＝5720 年。

(二) 核反应(nuclear reaction)

若原子核由于外来的原因，如带电粒子的轰击，吸收中子或高能光子照射等，引起核结构的改变，则称为核反应。

1. 核裂变(nuclear fission)

一些重元素的原子核，例如 233U、235U、239U 在中子的轰击下能分裂成 2 个质量较轻的新原子核，是时放出 2～3 个中子和γ光子。新分裂的原子核也叫核裂碎片，它们可以是原子序数从 30 到 64 的各种元素的多种同位素，一般都具有放射性。核裂变过程会放出大量能量。

2. 核聚变(unclear fusion)

两个轻原子核在一定条件下结合成较重的原子核的反应称为轻核聚变反应。在这过程中也会放出中子和大量能量。由于聚变反应要在极高温度下才能进行，所以这种反应又称为“热核反应”。例如：氘和氚在极高的温度下，聚合成氦核并放出中子和大量能量。热核反应放出的能量比重核裂变反应放出的能量要大得多。

◎对核武器损伤的防护

核武器虽然具有巨大的杀伤破坏作用，但也具有局限性和可防性，只要掌握其致伤规律，做好防护工作，就能免疫或减轻核武器损伤。

对核武器的防护，从广义上讲，包括：战时积极摧毁敌人的核设施，拦截、摧毁来袭的核导弹和飞机，按防原要求步署和配置部队；组织城市人口疏散；构筑防护工事；研制和使用防护装备和措施；组织辐射侦察；组织抢救伤员。消除沾染，抢修被破坏的设施；采用医学手段防止或减轻核武器损伤。

除采用军事手段摧毁敌人的核力量的积极防御外，在各种防护措施中，以工事防护为主，工事防护是最重要和最有效的措施。工事防护又以防冲击波为主，凡能防冲击波，一般也能防其它杀伤因素。在整个防护中医学防护是辅助性的，但它是卫生部门的重要工作，主要是预防放射损伤。

对核武器损伤的防护，内容广泛，任务艰巨，必须做到军队防护与人民群众防护相结合，医学防护与其它各种防护相结合，群众性防护与专业技术分队防护相结合，使用制式装备防护与开展简易防护相结合。这样，军地实行统一指挥领导，组织协

需要全本请访问 www.ertongbook.com