

核 辐 射 损伤与防护

HEFUSHE SUNSHANG YU FANGHU

主编 孙爱国 单守勤 闫明启



第二军医大学出版社
Second Military Medical University Press

核辐射损伤与防护

主 编 孙爱国 单守勤 闫明启

副主编 朱立红 王 丽

巩淑惠 李晋红 关立波

编 委 (按姓氏汉语拼音排序)

高珊珊 李 娜 刘 婷

刘传芳 马 丽 马丛丛

亓 云 宋 静 宋 敏

索红梅 徐红艳 姚海丽

臧 葳 詹瑞虹 张 艳

张爱珍 张凤花 郑 凌

周锡芳



第二军医大学出版社
Second Military Medical University Press

图书在版编目(CIP)数据

核辐射损伤与防护/孙爱国,单守勤,闫明启主编.
—上海:第二军医大学出版社,2013.4

ISBN 978-7-5481-0459-9

I. ①核… II. ①孙…②单…③闫… III. ①放射性物质—辐射防护—指南 IV. ①R142-62

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2012)第 172598 号

出 版 人 陆小新

责任编辑 李睿旻 单晓巍

核辐射损伤与防护

主编 孙爱国 单守勤 闫明启

第二军医大学出版社出版发行

<http://www.smmup.cn>

上海市翔殷路 800 号 邮政编码: 200433

发行科电话/传真: 021-65493093

全国各地新华书店经销

江阴市天源印刷有限公司印刷

开本: 850×1168 1/32 印张: 3.75 字数: 88 千字

2013 年 5 月第 1 版 2013 年 5 月第 1 次印刷

ISBN 978-7-5481-0459-9/R·1249

定价: 32.00 元

前言

随着我国军事力量的不断发展壮大,核武器装备的不断完善,军事斗争卫勤准备及涉核人员的防护工作已成为军队卫勤保障工作的重要任务,维护广大官兵的身心健康及提高其战斗力等问题,已成为部队医护工作者新的研究方向。为提高涉核人员的防护水平,增强他们的自我防护意识和能力,我们编写了《核辐射损伤与防护》一书。

《核辐射损伤与防护》是以现代军事斗争卫勤准备为核心,以提高涉核官兵作战能力为宗旨,参考、查阅、归纳大量涉核资料,融合新理论、新知识、新进展精心编写而成。本书条理清晰,内容丰富,富有时代感,紧扣理论性,突出实用性,注重操作性,既可作为涉核防理论培训教材,又可满足涉核官兵自我防护的需求,是新时期涉核官兵防护的必备书籍。

本书由具有丰富实践经验的专业人员编写,并经该领域的专家认真审核、修改。该书编写还得到了二炮卫生部及二炮防护防疫队的大力支持、关心和帮助,在此表示衷心的感谢!由于涉核专业知识丰富,近年来核武器装备和技术发展迅速,其防护体系也在发展中不断完善,加之编者水平有限,书中难免不当之处,敬请专家、同行和读者批评指正。

编者

2013年4月

目 录 CONTENTS

第一章	核武器概述	/	1
第二章	核武器的原理和结构特点	/	3
第三章	电离辐射的生物效应	/	11
	第一节 辐射生物效应的分类及影响因素	/	11
	第二节 辐射的确定性效应	/	20
	第三节 辐射的随机性效应	/	31
第四章	辐射防护体系及基本原则	/	37
	第一节 辐射防护标准的发展体系	/	37
	第二节 辐射防护的原则	/	41
第五章	辐射防护标准	/	48
	第一节 对涉核人员的剂量限值	/	48
	第二节 对公众的剂量限值	/	49
	第三节 对医疗照射的剂量限值	/	50
第六章	辐射防护的措施和方法	/	51
	第一节 辐射防护的监督管理	/	51

CONTENTS

第二节	异常照射下的防护措施	/	52
第三节	核事故应急措施	/	54
第四节	操作不同核材料的防护	/	58
第五节	辐射的防护监测	/	59
第七章	涉核人员常见放射病的疗养防护措施	/	64
第一节	急性放射病	/	64
第二节	皮肤放射损伤	/	76
第三节	核爆炸烧伤	/	85
第四节	核爆炸复合伤	/	89
第五节	微波辐射损伤	/	94
第六节	核武器损伤	/	99
第八章	常见核武器伤的急救	/	108
参考文献		/	112

第一章 核武器概述

一、核武器的概念

原子弹、氢弹和中子弹统称核武器。原子弹是利用重原子发生裂变反应，氢弹和中子弹是利用氢原子巨大能量，杀伤有生力量、破坏工程建筑和武器装备的装置。核武器威力的大小用 TNT 当量表示，也就是相当于多少吨黄色炸药爆炸时的能量。按其威力大小分为千吨级、万吨级、十万吨级和千万吨级。

二、核武器的发展

经过研制，1945 年美国制造出了 3 颗原子弹。1945 年 7 月 16 日，美国在本土进行了人类第一次核爆炸实验，另外两颗原子弹于同年 8 月 6 日和 8 月 9 日分别投于日本的广岛和长崎。美国原子弹爆炸以后，前苏联也加紧了制造原子弹的研究工作。1949 年 8 月 29 日，前苏联成功地爆炸了第一颗原子弹，从此打破了美国的核垄断，这对美国而言无疑是一个巨大的刺激，于是美苏两国竞相开发研制核武器。1950 年 1 月，美国总统杜鲁门指令原子能委员会发展氢弹。前苏联在原子弹爆炸成功后，也开始了氢弹的研究工作。1952 年 11 月和 1953 年 8 月，美国和前苏联先后宣布氢弹研制成功。1961 年 10 月，前苏联成功爆炸了一颗 58Mt TNT 当量的核装置，这也是迄今为止世界上当

量最大的一枚核装置。

除美、苏之外,英国也于 1952 年 10 月 3 日进行了第一次核爆炸试验,1957 年 5 月 15 日进行了氢弹实验。法国于 1960 年 2 月 13 日进行了第一次核爆炸,1968 年 8 月 24 日进行了氢弹实验。中国于 1964 年 10 月 16 日和 1967 年 10 月 16 日分别成功地爆炸了原子弹和氢弹。印度于 1974 年 5 月 18 日也进行了一次核实验。

第二章 核武器的原理和结构特点

核武器按照爆炸原理、核装料及武器结构分为原子弹、氢弹和中子弹三种。

一、原子弹的原理结构

原子弹是由重核裂变反应,瞬间产生巨大能量,对各种目标起杀伤破坏作用的武器。

(一) 原子弹的原理

主要由核装料 ^{235}U (铀 235)或 ^{239}Pu (钚 239)、炸药、引爆装置和弹体组成。当引爆装置点火后,引起各爆药块同时爆炸,产生很大压力,迅速向中央挤压,使核燃料很快地合拢在一起成为一个球体,达到超临界体积。在中子作用下, ^{235}U (铀 235)或 ^{239}Pu (钚 239)核装料在不到百万分之一秒的时间内,完成核裂变的链式反应,释放出巨大能量,产生猛烈地爆炸。 $1\text{ kg}^{235}\text{U}$ (铀 235)或 ^{239}Pu (钚 239)完全裂变所放出的能量相当于 2 万吨 TNT 炸药所产生的能量。在核装料内,温度可高达几千万度,压力可达几百亿个大气压。

(二) 原子弹的结构

原子弹是利用裂变材料在爆炸瞬间达到超临界而实现核爆炸。由于宇宙射线、中子、核材料自发裂变中子等因素的影响,外界中子对处于临界状态的裂变材料具有提前点火的作用。因

此,需要对原子弹中核材料的结构进行合理设计,以使裂变材料在贮存过程中和点火以前绝对处于次临界状态(通常将核裂变材料做成2块或3块,或者做成其他形状),保证核武器点火前的安全。因此,原子弹的结构设计具有非常重要的作用。目前,典型原子弹结构设计有两种技术途径来实现超临界状态。

1. “枪法”原子弹的结构 “枪法”原子弹的结构是将2块(或3块)处于次临界状态的裂变材料,分开放在原子弹的不同部位,在化学炸药爆炸产生的高压推动下,核材料迅速合拢在一起达到超临界状态。“枪法”原子弹的特点是结构简单,但核材料利用效率低。“枪法”原子弹的内部结构:核材料做成了2个半球,分开一定距离,在2块核材料之间装有中子反射层,反射层外面是炸药、传爆药和雷管,雷管与引爆控制器相关联。当原子弹在目标区时,首先由引爆控制器自动起爆雷管,雷管引爆传爆药和炸药,使2块半球形核材料在炸药爆轰作用下迅速组合在一起达到超临界状态,同时中子源释放出大量中子,使链式反应迅速进行,在极短时间内释放极大的能量产生核爆炸。1945年8月8日,美国在日本投下的原子弹(代号为“little boy”,“小男孩”)即是一颗“枪法”铀原子弹。

“枪法”原子弹的特点:

- (1) 结构简单,无需实验,直径做的较小,适合打破炮弹。
- (2) “射弹”需要加速距离,武器比较长。
- (3) 裂变材料未经压缩,利用率低。

2. “内爆法”原子弹的结构 原子弹中心放置中子源,其他结构材料(核材料、反射层、炸药、传爆药、雷管等)依次做成球壳形。引爆控制器自动起爆雷管,雷管引爆传爆药和炸药,形成一个向心收聚压缩的球面爆轰波,从各个方向对称地压缩核材料球壳,最后在原子弹中心形成1个小球,小球的密度大大超过核

材料的初始密度,实现核材料产生核爆炸所必需的超临界状态。

“内爆法”原子弹的特点:一是核材料做成球形空心壳,可使核材料部件的表面积增大,材料内部产生的中子不易泄漏出去,保证核材料在平时处于安全的次临界状态。二是核材料球壳在收聚爆轰波作用下,最大向心压力可达数百万个大气压,核装药的密度几乎增加 1 倍,由于核材料的临界质量与密度的平方成反比,即密度增加 1 倍,临界质量可降低到正常状态下的 $1/4$,这样可减少裂变材料的用量。

1945 年 7 月 16 日和 1945 年 8 月 10 日,美国在本土进行试验的第一颗原子弹和在日本长崎投下的原子弹(代号为“fat man”,“胖子”)都是“内爆法”原子弹。这两颗原子弹所使用的 ^{239}Pu 材料是用 3 座石墨慢化、水冷型天然铀反应堆及与之相配套的化学分离工厂生产的。

在原子弹的结构设计中,中子源、反射层等的结构设计具有重要的作用。

(1) 中子源为处于超临界状态裂变点火并提供必要数量的中子,加速链式反应过程,提高核材料利用效率,对它的要求是准时点火。中子源可以在原子弹中心,依靠压缩冲击波引起中子源本身的核反应及时放出中子,也可以是外中子源,由电或机械方法及时引发。

(2) 反射层作为惰层使核材料聚合在一起的时间稍有延长,以保证能发生最后几代重要的裂变,提高爆炸威力。反射层一般由铍或铀 238 构成,它能减少中子的漏失。

(3) 对于原子弹而言,由于临界质量的限制,原子弹中的核材料使用量受到限制,从而也限制了原子弹的爆炸性威力。一般认为,原子弹可达到的最大爆炸当量是 500 kt TNT 当量。另一方面,通过精密控制原子弹中核材料的量和装配方法可得

到较低的爆炸当量。

(4) “枪法”原子弹不宜使用钚(^{239}Pu)作为核燃料,这是因为钚材料中一般都含有同位素 ^{240}Pu 。 ^{240}Pu 有较高的自发裂变概率,自发裂变的中子容易引起过早点火,即在最佳状态之前引发裂变点火,造成爆炸威力的下降。

(三) 原子弹的爆炸过程

原子弹的引爆控制系统在预定时间或条件下,发出起爆指令使高能炸药起爆,炸药的爆轰产物推动并压缩反射层和核材料部件,使之达到超临界状态,中子源适时提供若干点火中子,使核材料发生链式裂变反应,并猛烈释放能量。随着能量的积累,温度和压力迅速升高,核材料部件逐渐膨胀,密度不断下降,最终又成为次临界状态,链式反应趋向熄灭。从炸药起爆到中子点火前是爆炸压缩阶段,通常是几十微秒,从中子点火到链式反应熄灭是裂变放能阶段,只有十分之几微秒。原子弹在如此短的时间内放出几百到几万吨 TNT 当量的能量,使整个弹体和周围介质都变成了高温高压等离子气团,其中心温度可达几千万度,压力达到 1.015 Pa 。原子弹爆炸产生的高温、高压以及各种核反应产生的中子、 γ 射线和裂变碎片,最终形成冲击波、光辐射、早期核辐射、放射性沾染和电磁脉冲等杀伤破坏因素。

二、氢弹的原理结构

利用氘、氚等材料能自持进行的核聚变反应,瞬时释放巨大能量并产生爆炸作用的武器称为氢弹,也称为热核武器或聚变武器。它可导致大规模杀伤破坏效应。

(一) 氢弹的原理结构

氢弹的上部是普通的裂变弹或聚变增强的原子弹,称为氢弹的初级,下部是产生能量的主要部件,称为次级。次级也包括

裂变材料。初级爆炸产生的能量将聚变材料加热到所需要的温度,产生的冲击波推动惰层压缩聚变材料达到所需要的密度。次级核材料的外层是天然铀或浓缩铀制成的薄层,里面是氘化 ^6Li 和氘化 ^7Li 材料,最里面的核心部件是由浓缩铀或钚制成的。由于氘和氚在常温、常压下都是气体,完全用氘、氚作材料需要很大的容器,不利于氢弹的设计,因此主要的聚变材料是固体氘化 ^6Li ,利用氘化 ^6Li 和中子反应生成氚,再由生成的氚和氘反应生成的中子与 ^6Li 作用。

(二) 氢弹的爆炸原理

初级爆炸放出的辐射以软 X 射线的形式经辐射通道迅速传至次级部分,这些能量被次级的外壳吸收,形成高温、高密度的等离子体,这个等离子体像“活塞”一样压缩次级的铀层,进而压缩里面的聚变材料和核心部位的裂变材料。这时,初级爆炸产生的中子作用于核心部位的裂变材料,使其发生迅猛裂变。结果在受到高度压缩的聚变燃料中心,发生裂变引发次级聚变点火爆炸,核心部位的裂变材料裂变产生的大量中子在聚变材料中通过与 ^6Li 的反应生产氚,新产生的氚带有足够的能量与氘化锂中的氘核发生聚变反应。聚变反应产生的大量高能中子径向飞出,轰击包围着聚变材料的铀层,使铀层也开始裂变。这样压缩过的聚变材料便被包围在 2 个裂变爆炸之间,促使聚变材料进一步聚变,进而外部铀层的裂变也会加深。

(三) 氢弹的特点

(1) 氢弹中氚可以是当时当地产生的,不一定事先作为聚变燃料加进去。

(2) 其点火机制是先将“冷”的聚变材料压缩,然后再由核心部位的裂变材料放出的能量将其“加热”点火。压缩的目的是提高单位体积内的原子核数目,这是使聚变反应得以自持的重

要因素之一。压缩使原子靠近,增大了聚变反应的宏观概率并提高反应速率,燃烧密度越高,在一定时间内发生大量反应的机会越大,总的反应时间越短。

(3) 铀层在增大能量释放中起重要作用。聚变是获得高能中子以分裂天然铀的一种方法,也是克服临界质量限制、提高质量比威力、体积比威力的一种重要技术。

(4) 只能允许在微秒级的聚变反应维持时间,否则初级爆炸的冲击波便将传过来的热核次级打散。因此,聚变必须快速。

三、其他类型的核武器特点

(一) 中子弹

中子弹,又称增强辐射武器或弱冲击波强辐射弹,是利用核反应产生的大量高能中子增强辐射杀伤效应的一种核武器。它是在小型氢弹基础上发展而成的。但在结构上中子弹与氢弹又有许多区别,主要有以下几点:

(1) 中子弹和氢弹都是用原子弹做引爆装置,但中子弹尽量减少裂变材料作为其引爆装置,其当量越小越好,最多才几百吨。

(2) 中子弹中的热核材料不用氘化锂,而是用氘和氚,在当量相同条件下,氘和氚反应放出的中子能量大,穿透力强,对人体的杀伤效应也大,在中子数相同的情况下,剂量相差3倍以上。

(3) 中子弹的中子源强,放出的初始中子多,以便在更短时间内加热氘、氚,加速聚变反应,减小能量向四周的辐射损失,这样可以相对地减少引爆原子弹的当量。

(4) 中子弹用一定厚度的铍做中子反射层,核裂变放出的中子、核聚变产生的氦核和中子以及氘核等打击到铍核上,都可能产生释放中子及增殖中子的反应,而且铍核在反应过程中要

吸收热量,这就减少了核爆炸气体的热能,使火球的温度下降,减少冲击波和光辐射效应,使这些效应转化为中子及 γ 线的辐射效应。

(5) 中子弹在结构上要使中子容易辐射到弹体外,以起到杀伤作用。

(6) 中子弹的特点:

1) 由于采用了与一般核武器不同的构造,中子弹的杀伤破坏作用也就与一般核武器有所差别。一般核武器爆炸时,不仅杀伤人员,而且对周围建筑物等的破坏作用也较大;而中子弹爆炸时主要靠大量高能中子和 γ 射线杀伤人员,光辐射及冲击波的杀伤作用比一般核武器小得多。例如,在制造中子弹时若不使用那些无关的、吸收中子的物质,则爆炸时总能量的80%为中子辐射,20%产生冲击波和热效应。因此,中子弹的最大杀伤潜力是中子对生物体的作用,它可以杀伤坦克和建筑物内的人员,而不会引起更多其他方面的破坏。

2) 虽然中子弹产生的放射性物质很少,按照常规标准,它也应属于一种“干净”的核武器,但它的每单位爆炸当量的致死性辐射效应,要比一般十分“脏”的核武器还大。

(二) 助爆弹的特点

如果裂变核弹中的钚材料被做成空心球形,并将少量聚变物质置于其中心,则在猛烈挤压所产生的高温、高压的环境下,将会引起小范围内的热核反应。除了普通裂变链式反应产生的中子外,钚还会受到热核反应发射的大量中子的轰击而发生裂变。采用这种方法,可以大大增加总的裂变当量,这种方法称为“助爆”法。

(三) 加盐弹的特点

在热核材料中加入在快中子作用下转变为放射性物质概率

很高的元素,就可以设计出更“脏”的核弹,这种过程叫作“加盐”,其目的是要增大核弹产生的放射性危害,而冲击波和热效应不相应地增加。如果选择一种兼有最佳半衰期和高能辐射的物质(如钴 60),就可以制造出辐射作用更强的核武器。

第三章 电离辐射的生物效应

第一节 辐射生物效应的分类及影响因素

辐射是一种特殊的致伤因素,它作用于人体,产生一种能量传递和沉积的过程,但是机体对射线的反应与所吸收的能量极不相称。

一、辐射损伤作用的基本原理

电离辐射作用于人体,可在分子、细胞、组织、器官以及整体水平上产生各种效应。轻者对生命活动无影响或仅引起某种功能性反应,重者造成可逆性损伤,严重者可导致死亡。电离辐射引起机体不同细胞、组织和器官的特定生物学效应,是一个十分复杂的过程,有不同的理论和假说,经过多年的深入探索,已取得很大进展。辐射对生物体的作用,有两个十分明显的特点:一是吸收很低的能量引起很高的生物效应;二是短暂的作用却可引起长期的效应。电离辐射作用于机体后,在照射的瞬间发生原初反应,即发生辐射能量传递和吸收、分子的激发和电离以及自由基的产生和化学键的断裂等。反应一般由水分子开始再累及生物学变化。辐射还有间接作用,即辐射在生物分子周围环境中的其他成分(主要是水分子)上沉积能量而间接引起生物