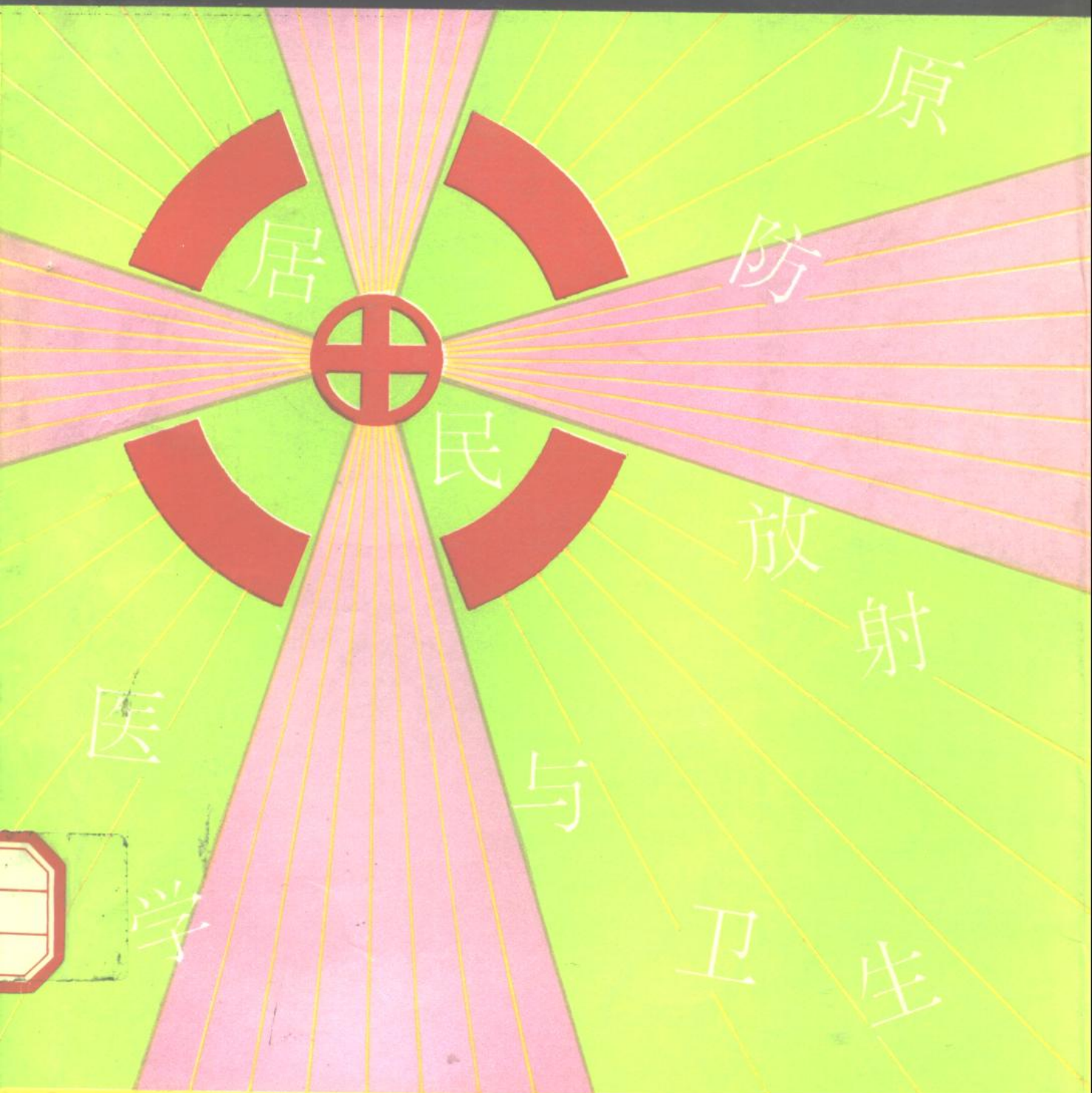


# 居民防原医学与放射卫生

王瑞发 主编

科学技术文献出版社



# 居民防原医学与放射卫生

主 编 王瑞发

编著者 (按编写量排列)

|     |     |     |     |     |     |
|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| 王瑞发 | 常世琴 | 潘京全 | 高风鸣 | 耿秀生 | 姚家祥 |
| 朱昌寿 | 刘忠厚 | 尉可道 | 王作元 | 王玉珍 | 张俊英 |
| 赵晓东 | 董 萍 | 王德润 | 陈慎之 | 范深根 | 岳保荣 |
| 王朝德 |     |     |     |     |     |

科学技术文献出版社

(京)新登字130号

### 内 容 简 介

本书系统地介绍了核损伤的防护和救治。主要内容有:核武器损伤的防护、诊断、治疗、抢救组织、远后期效应,核爆炸和环境放射性监测,核事故时居民的防护和救治,原子能事业中的卫生保健,并侧重介绍了医学照射和核电站所致辐射的居民防护。全书共十一章,附图50多个。

本书根据我国有关工作的多年经验总结和科学研究成果,同时有选择地吸收了国外有关资料而编著的。内容比较丰富,文字简明易懂,可供地方、军队、人防、环保、核技术、医学卫生等方面的科研、教学人员及实际工作者参考。

### 图书在版编目(CIP)数据

居民防原医学与放射卫生/王瑞发主编.-北京:科学技术文献出版社,1993.11  
ISBN 7-5023-2007-5

I. 居…

II. 王…

III. ①核辐射-防护 ②核损伤-治疗

IV. R14

科学技术文献出版社出版

(北京复兴路15号 邮政编码100038)

北京昌平百善印刷厂印刷 新华书店北京发行所发行

1993年11月第1版 1993年11月第1次印刷

开本:787×1092毫米 1/16 26.5印张 676千字

科技新书目:301—127 印数:1—1100册

定价:16.30元

## 序 言

核能的发现和利用是人类应用能源的重大里程碑。它用在军事上，成为现代武库中杀伤破坏威力最大的武器；用在平时，可对人类的生产、生活和文明的发展起着很大的推动作用。但事物总是一分为二的，核能的开发和利用给人类带来了利益，也带来了某些新的危害。为保护人们的安全与健康，从医学和保健领域出现了防原医学、放射医学与放射卫生防护等新的学科。本书侧重从广大居民的安全与健康方面考虑，所以题为《居民防原医学与放射卫生》。

由于目前世界上有些国家贮备有大量的核武器，因此，各国人民都为此而担忧，都呼吁销毁核武器、反对核战争；我国政府从第一次核试验就郑重宣布“我国在任何时候、任何情况下，都不会首先使用核武器”，并愿同世界人民共同努力，防止核战争，销毁核武器。但在世界上还没有彻底销毁核武器之前，我们应防备万一，所以了解核武器的杀伤特点，掌握对核武器的防护措施和损伤的救治技术仍然是非常必要的。当前应用核能的范围越来越广，接触射线的人数和数量也越来越多，做好射线所致危害的防护和治疗已成为现代医疗保健事业中不可缺少的组成部分。

全书分十一章。第一章至第四章主要为防原医学的内容，包括核武器的杀伤规律，城镇居民损伤特点，防护措施，放射病及其复合伤的诊断治疗，居民伤员的抢救组织等。第五章至第八章是防原医学和平时放射卫生防护等内容，包括核辐射远期效应，核爆炸监测，放射性监测及核事故的医学处理。第九章至第十一章是核能和平利用中放射医疗卫生方面的内容，侧重论述了医用放射源的卫生防护和核电站

的放射卫生防护——前者是平时居民受射线照射的主要来源，后者是目前核电站附近广大居民最关注的问题。

本书是根据我国有关工作的多年经验总结和科学研究成果，同时有选择地吸取了国外有关资料而编著的。内容比较丰富，既概述了历史性资料，也综合了现代较新颖的实用性资料。可供全国人防、核工业及核科学技术以及放射防护、医疗卫生等方面的科研、教学人员及实际工作者参考。

钱信忠  
一九九二年四月

## 编者的话

编辑出版本书，承蒙卫生部监督司和卫生部工业卫生实验所及有关领导和同志们的大力支持，特此感谢。

在编写过程中，由于间隔时间久，人员变动多，再加水平有限，缺点错误难免，希望读者批评指正。

编 者

1992年4月

# 目 录

|                                    |        |
|------------------------------------|--------|
| <b>第一章 核袭击对城镇的破坏和居民的伤害</b> .....   | ( 1 )  |
| <b>第一节 核武器简介</b> .....             | ( 1 )  |
| 一、核武器的种类和构造 .....                  | ( 1 )  |
| 二、核武器的爆炸方式 .....                   | ( 7 )  |
| 三、核武器的爆炸景象 .....                   | ( 8 )  |
| 四、核武器的使用方法 .....                   | ( 10 ) |
| <b>第二节 核武器的杀伤因素和范围</b> .....       | ( 13 ) |
| 一、光辐射 .....                        | ( 13 ) |
| 二、冲击波 .....                        | ( 14 ) |
| 三、早期核辐射 .....                      | ( 15 ) |
| 四、放射性沾染 .....                      | ( 16 ) |
| 五、核武器杀伤范围 .....                    | ( 18 ) |
| 六、核爆炸电磁脉冲 .....                    | ( 22 ) |
| <b>第三节 核武器对建筑物的破坏和对居民的伤害</b> ..... | ( 23 ) |
| 一、建筑物的破坏 .....                     | ( 24 ) |
| 二、火灾的产生和蔓延 .....                   | ( 25 ) |
| 三、辐射危害 .....                       | ( 26 ) |
| 四、公共设施的破坏 .....                    | ( 27 ) |
| 五、城市人员损伤特点 .....                   | ( 27 ) |
| <b>第四节 核爆炸对大气的影响</b> .....         | ( 28 ) |
| 一、氮氧化物( $\text{NO}_x$ )的形成 .....   | ( 28 ) |
| 二、核爆炸尘埃 .....                      | ( 29 ) |
| 三、大火和烟 .....                       | ( 29 ) |
| 四、对“核冬天”预测的争论 .....                | ( 31 ) |
| <b>第五节 核战争对健康的影响</b> .....         | ( 32 ) |
| 一、短期影响 .....                       | ( 32 ) |
| 二、中期或长期影响 .....                    | ( 33 ) |
| 三、对日本原子弹灾害者的调查 .....               | ( 34 ) |
| <b>第二章 核武器的防护</b> .....            | ( 41 ) |
| <b>第一节 三种瞬时杀伤因素的防护</b> .....       | ( 41 ) |
| 一、三种瞬时杀伤因素的防护原则 .....              | ( 41 ) |
| 二、工事防护 .....                       | ( 42 ) |
| 三、紧急防护动作的依据和要求 .....               | ( 52 ) |
| <b>第二节 放射性落下灰的卫生防护</b> .....       | ( 54 ) |
| 一、战时居民的防护原则 .....                  | ( 54 ) |
| 二、战时居民辐射控制量 .....                  | ( 55 ) |

|                               |                |
|-------------------------------|----------------|
| 三、防护措施 .....                  | ( 64 )         |
| <b>第三章 核武器损伤的诊断与治疗 .....</b>  | <b>( 72 )</b>  |
| 第一节 急性放射病 .....               | ( 72 )         |
| 一、人急性放射病的资料来源 .....           | ( 72 )         |
| 二、急性放射病的临床分型 .....            | ( 74 )         |
| 三、急性放射病的临床分期 .....            | ( 75 )         |
| 四、各型急性放射病的临床表现 .....          | ( 76 )         |
| 五、急性放射病的诊断 .....              | ( 83 )         |
| 六、急性放射病的预后判断 .....            | ( 90 )         |
| 七、急性放射病的治疗 .....              | ( 92 )         |
| 第二节 核爆炸烧伤的诊断和治疗 .....         | ( 98 )         |
| 一、烧伤的特点 .....                 | ( 98 )         |
| 二、烧伤的症状和体征 .....              | ( 98 )         |
| 三、烧伤的诊断和治疗 .....              | ( 99 )         |
| 第三节 核爆炸冲击伤的诊断和治疗 .....        | ( 100 )        |
| 一、冲击伤的分类 .....                | ( 101 )        |
| 二、常见的几种冲击伤 .....              | ( 104 )        |
| 第四节 核爆炸复合伤的诊断和治疗 .....        | ( 111 )        |
| 一、复合伤类型与核爆炸当量、爆炸方式的关系 .....   | ( 111 )        |
| 二、放射复合伤 .....                 | ( 112 )        |
| 三、烧冲复合伤 .....                 | ( 114 )        |
| 第五节 放射性落下灰的伤害 .....           | ( 115 )        |
| 一、落下灰 $\gamma$ 射线外照射的特点 ..... | ( 115 )        |
| 二、皮肤污染和皮肤 $\beta$ 烧伤 .....    | ( 116 )        |
| 三、落下灰内照射危害 .....              | ( 120 )        |
| <b>第四章 核武器伤员的抢救组织 .....</b>   | <b>( 130 )</b> |
| 第一节 伤亡估计 .....                | ( 130 )        |
| 一、影响伤亡的主要因素 .....             | ( 130 )        |
| 二、伤亡比例和伤类伤情 .....             | ( 134 )        |
| 三、伤亡数的估算方法 .....              | ( 136 )        |
| 第二节 核爆炸区的伤员抢救和治疗 .....        | ( 139 )        |
| 一、现场抢救 .....                  | ( 139 )        |
| 二、现场救护站的早期救治 .....            | ( 142 )        |
| 三、抢救力量的估算和布置 .....            | ( 144 )        |
| 四、医院治疗 .....                  | ( 145 )        |
| 五、救治伤员的战前准备 .....             | ( 147 )        |
| 六、建设地下医疗机构 .....              | ( 148 )        |
| 第三节 设想中核战争的情景和医疗卫生问题 .....    | ( 154 )        |
| 一、核战争的情景 .....                | ( 154 )        |

|                               |              |
|-------------------------------|--------------|
| 二、伤亡的处理 .....                 | (156)        |
| 三、伤员治疗 .....                  | (156)        |
| 四、公共卫生和传染病 .....              | (158)        |
| 五、解决医疗卫生问题的方向 .....           | (159)        |
| <b>第五章 电离(核)辐射的远期效应 .....</b> | <b>(162)</b> |
| 第一节 辐射源 .....                 | (162)        |
| 一、核武器爆炸 .....                 | (162)        |
| 二、核能利用及其他照射 .....             | (162)        |
| 第二节 电离辐射引起的躯体效应 .....         | (164)        |
| 一、致癌效应 .....                  | (164)        |
| 二、非致癌效应 .....                 | (171)        |
| 三、胚胎效应 .....                  | (172)        |
| 第三节 非电离辐射引起的躯体效应 .....        | (173)        |
| 一、烧伤 .....                    | (173)        |
| 二、冲击伤 .....                   | (174)        |
| 第四节 电离辐射的遗传效应 .....           | (174)        |
| 一、遗传物质效应 .....                | (175)        |
| 二、遗传效应危险度表示方法 .....           | (175)        |
| 三、人类辐射遗传学调查 .....             | (176)        |
| <b>第六章 核爆炸的监测 .....</b>       | <b>(179)</b> |
| 第一节 观察的内容和方法 .....            | (179)        |
| 一、确定爆心投影点 .....               | (179)        |
| 二、确定爆高 .....                  | (180)        |
| 三、确定当量 .....                  | (181)        |
| 第二节 对核爆炸损伤破坏情况的预测 .....       | (182)        |
| 一、预测瞬时杀伤破坏作用的范围 .....         | (182)        |
| 二、预测爆区的放射性沾染 .....            | (183)        |
| 三、预测下风方向云迹区的放射性沾染 .....       | (185)        |
| 第三节 辐射侦察和剂量监督 .....           | (187)        |
| 一、辐射侦察 .....                  | (187)        |
| 二、剂量监督 .....                  | (189)        |
| 三、常用的辐射剂量监测仪器 .....           | (190)        |
| <b>第七章 环境放射性监测 .....</b>      | <b>(193)</b> |
| 第一节 人类生活环境中的放射性 .....         | (193)        |
| 一、天然辐射源 .....                 | (193)        |
| 二、人工污染源 .....                 | (197)        |
| 第二节 放射性监测目的和计划 .....          | (199)        |
| 一、环境本底辐射水平的调查 .....           | (199)        |
| 二、常规环境放射性监测 .....             | (201)        |

|                               |                |
|-------------------------------|----------------|
| 三、应急监测 .....                  | ( 204 )        |
| 第三节 环境放射性监测方法 .....           | ( 205 )        |
| 一、样品的采集和制备 .....              | ( 205 )        |
| 二、放射性核素的分析测量 .....            | ( 207 )        |
| 三、现场监测 .....                  | ( 209 )        |
| 四、监测数据的质量保证 .....             | ( 209 )        |
| <b>第八章 核事故时居民的防护和救治 .....</b> | <b>( 211 )</b> |
| 第一节 核事故的定义和分类 .....           | ( 211 )        |
| 一、核事故的定义 .....                | ( 211 )        |
| 二、核事故的分类 .....                | ( 211 )        |
| 三、以往重大核事故举例 .....             | ( 213 )        |
| 第二节 核事故的原因和对环境及居民的影响 .....    | ( 215 )        |
| 一、核事故的原因 .....                | ( 215 )        |
| 二、核事故对周围环境和居民的影响 .....        | ( 216 )        |
| 第三节 核事故时居民的防护 .....           | ( 217 )        |
| 一、核事故应急计划的制定 .....            | ( 218 )        |
| 二、事故过程的阶段和防护措施 .....          | ( 220 )        |
| 三、应急计划区的划分和警报体制 .....         | ( 220 )        |
| 第四节 受照人员的紧急医疗救护 .....         | ( 221 )        |
| 一、医疗救护组织 .....                | ( 221 )        |
| 二、受照人员的紧急处理程序 .....           | ( 223 )        |
| <b>第九章 核能和平应用中的卫生保健 .....</b> | <b>( 229 )</b> |
| 第一节 小剂量外照射对人体的影响 .....        | ( 229 )        |
| 一、一次小剂量外照射对人体的影响 .....        | ( 230 )        |
| 二、小剂量慢性外照射对人体的影响 .....        | ( 232 )        |
| 三、外照射慢性放射病 .....              | ( 234 )        |
| 第二节 内照射慢性放射损伤 .....           | ( 239 )        |
| 一、内照射慢性放射损伤的特点 .....          | ( 239 )        |
| 二、内照射慢性放射损伤的诊断 .....          | ( 240 )        |
| 三、内照射慢性放射损伤的医学处理 .....        | ( 241 )        |
| 第三节 放射性皮肤损伤 .....             | ( 246 )        |
| 一、放射性皮肤损伤的原因和特点 .....         | ( 246 )        |
| 二、急性放射性皮肤损伤 .....             | ( 248 )        |
| 三、慢性放射性皮肤损伤 .....             | ( 250 )        |
| 四、放射性皮肤癌 .....                | ( 252 )        |
| 第四节 放射卫生防护标准 .....            | ( 254 )        |
| 一、放射防护标准的演变史 .....            | ( 254 )        |
| 二、我国现行的《放射卫生防护基本标准》 .....     | ( 257 )        |
| 三、与放射卫生有关的条例、规定和标准 .....      | ( 261 )        |

|                                |         |
|--------------------------------|---------|
| 第五节 放射卫生防护措施 .....             | ( 263 ) |
| 一、放射源的类型 .....                 | ( 263 ) |
| 二、外照射的卫生防护 .....               | ( 264 ) |
| 三、内照射的卫生防护 .....               | ( 266 ) |
| 第六节 放射工作人员的健康管理 .....          | ( 272 ) |
| 一、健康管理的主要内容 .....              | ( 272 ) |
| 二、放射工作人员的健康要求 .....            | ( 272 ) |
| 三、常规医学监督 .....                 | ( 273 ) |
| 四、个人剂量监测 .....                 | ( 275 ) |
| 五、放射工作人员的保健和健康评价 .....         | ( 276 ) |
| <b>第十章 医用放射源的卫生防护</b> .....    | ( 279 ) |
| 第一节 医用X射线的卫生防护 .....           | ( 280 ) |
| 一、医用诊断X射线卫生防护 .....            | ( 280 ) |
| 二、医用治疗X射线的卫生防护 .....           | ( 287 ) |
| 三、被检者和患者的防护 .....              | ( 289 ) |
| 第二节 医用治疗 $\gamma$ 线的卫生防护 ..... | ( 296 ) |
| 一、医用远距治疗 $\gamma$ 线的卫生防护 ..... | ( 297 ) |
| 二、短距放射治疗的卫生防护 .....            | ( 300 ) |
| 第三节 核医学中的卫生防护 .....            | ( 304 ) |
| 一、核医学发展概况及所致剂量 .....           | ( 304 ) |
| 二、核医学放射卫生防护特点 .....            | ( 307 ) |
| 三、核医学实验室的设施 .....              | ( 308 ) |
| 四、核医学操作中的卫生防护 .....            | ( 311 ) |
| 五、患者和公众成员的防护 .....             | ( 315 ) |
| 六、核医学工作的防护监测 .....             | ( 321 ) |
| 第四节 医用加速器的卫生防护 .....           | ( 323 ) |
| 一、医用加速器的原理和种类 .....            | ( 323 ) |
| 二、医用加速器的主要结构和辐射源 .....         | ( 324 ) |
| 三、辐射屏蔽和辐射安全系统 .....            | ( 325 ) |
| 四、对患者的防护 .....                 | ( 326 ) |
| 五、安全运行和管理 .....                | ( 327 ) |
| 第五节 放射诊断和治疗中的质量保证 .....        | ( 327 ) |
| 一、实施质量保证计划的目的意义 .....          | ( 328 ) |
| 二、质量保证计划的基本内容 .....            | ( 329 ) |
| 三、医用X射线诊断的质量保证 .....           | ( 330 ) |
| 四、放射治疗的质量保证 .....              | ( 336 ) |
| 五、核医学的质量保证 .....               | ( 338 ) |
| <b>第十一章 核能发电的放射卫生保护</b> .....  | ( 342 ) |
| 第一节 核燃料循环释放的流出物 .....          | ( 343 ) |

|                                  |         |
|----------------------------------|---------|
| 一、采矿和矿石加工 .....                  | ( 343 ) |
| 二、铀燃料制造 .....                    | ( 344 ) |
| 三、反应堆运行 .....                    | ( 345 ) |
| 四、燃料后处理 .....                    | ( 352 ) |
| 第二节 核能发电对公众放射卫生防护规定原则与主要限值 ..... | ( 353 ) |
| 第三节 核事故释放时对公众的辐射卫生防护与救援原则 .....  | ( 357 ) |
| 一、核事件分级标准及干预原则 .....             | ( 357 ) |
| 二、事故阶段划分和照射途径 .....              | ( 357 ) |
| 三、防护措施选择与干预水平的确定 .....           | ( 359 ) |
| 四、导出干预水平 .....                   | ( 362 ) |
| 第四节 公众辐射防护监测基本原则 .....           | ( 366 ) |
| 一、监测的主要目的 .....                  | ( 366 ) |
| 二、源的监测 .....                     | ( 366 ) |
| 三、环境监测 .....                     | ( 367 ) |
| 四、对个体监测 .....                    | ( 368 ) |
| 五、质量保证 .....                     | ( 368 ) |
| 第五节 核能发电对公众产生的照射 .....           | ( 369 ) |
| 一、评价模式 .....                     | ( 370 ) |
| 二、照射水平 .....                     | ( 371 ) |
| 三、照射水平小结 .....                   | ( 386 ) |
| 四、核事故引起的照射 .....                 | ( 390 ) |

## 附 录

|                                                   |         |
|---------------------------------------------------|---------|
| 本书常用量的名称和单位 附表1 .....                             | ( 393 ) |
| 核爆炸致伤伤情参数 附表2 .....                               | ( 394 ) |
| 附表2-1 造成开阔地人员不同程度烧伤的光冲量(焦/厘米 <sup>2</sup> ) ..... | ( 394 ) |
| 附表2-2 造成开阔地人员不同程度冲击伤的超压(千帕) .....                 | ( 394 ) |
| 附表2-3 对人员造成不同程度放射损伤的核辐射剂量(戈) .....                | ( 394 ) |
| 某些放射性核素在人体内的代谢参数 附表3 .....                        | ( 395 ) |
| 通常X射线诊断检查中所推算的标准参考体模器官剂量 附表4 .....                | ( 398 ) |
| 核医学中每给予单位活度所给出的吸收剂量和有效剂量当量<br>(正常成年人) 附表5 .....   | ( 398 ) |
| 用作药品的主要放射性核素的特性 附表6 .....                         | ( 401 ) |
| 标准人体内元素含量与百分比 附表7 .....                           | ( 405 ) |
| 常用放射性同位素表 附表8 .....                               | ( 406 ) |
| 希腊字母表 附表9 .....                                   | ( 411 ) |
| 国际单位制词冠 附表10 .....                                | ( 412 ) |
| 时间单位及其相互换算 附表11 .....                             | ( 412 ) |

# 第一章 核袭击对城镇的破坏和居民的伤害

## 第一节 核武器简介

1945年7月16日,美国在新墨西哥州阿拉莫戈多空军基地成功地进行了世界上第一次核试验。从此,原子弹正式诞生。美国在1945年8月6日和8月9日又分别在日本广岛、长崎上空投下了两颗原子弹,造成了很大的破坏和伤亡。因而引起了世界各国的极大注意。有些国家争先恐后地加紧这方面研究,先后制成原子弹、氢弹和中子弹,并不断增加数量,提高质量,改进运载工具,增强突防能力,争夺核优势。我国为了打破核垄断,保护国家的安全,维护世界和平,在当时也不得不适当地发展自己的核武器,有限制地进行核试验,以加强国防,并研究和了解核武器的致伤规律,掌握对核武器损伤的防护和救治措施,保护人民的安全和健康。

### 一、核武器的种类和构造

利用能自持进行的原子核裂变或聚变反应瞬时释放的能量,产生爆炸作用,并具有大规模杀伤破坏效应的武器统称为核武器。

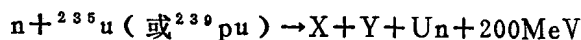
核武器的威力是以相当多少吨三硝基甲苯爆炸时放出的能量来表示,通常称梯恩梯(TNT)当量。1000克梯恩梯炸药爆炸时释放的能量约为4.19兆焦〔耳〕;1000克铀-235全部裂变时释放的能量约为81.9太焦,1000克钚-239全部裂变时释放的能量约为83.3太焦,都接近2万吨梯恩梯当量;1000克氘全部聚变时释放的能量约为239太焦,约6万吨梯恩梯当量。核武器的威力按梯恩梯当量的大小,可分为高威力核武器即100万吨梯恩梯当量以上,中等威力核武器即10~100万吨梯恩梯当量之间,低威力核武器即小于10万吨梯恩梯当量。近年来特别注意向小型化发展,已有十吨级、百吨级的小型核武器。

随着核武器技术的发展,核武器的种类日益增多,按核装置原理结构划分,可分为原子弹、氢弹和特殊性能的核弹。后者包括中子弹,冲击波弹等。通常称原子弹为第一代核武器,氢弹和中子弹、冲击波弹为第二代核武器。

#### (一) 原子弹

原子弹是利用铀或钚等易裂变重原子核裂变反应,瞬时释放巨大能量的核武器,更确切地应称为裂变武器或裂变弹。

1. 生产原理 原子弹的装料是铀-235或钚-239,这类重原子核在中子的轰击下通常会分裂成两个中等质量数的核(称裂变碎片),并放出2~3个中子和200兆电子伏能量(相当于 $312 \times 10^{-11}$ 焦)。其反应式为:



式中n表示中子,X、Y表示裂变碎片,U表示放出的中子数。

裂变反应中放出的中子,有的损耗在非裂变的核反应中或漏失在裂变反应之外,有的则

继续引起重核裂变。如果每一个核裂变后能引起下一代核裂变的中子数平均多于1个,裂变系统就会形成自持的链式裂变反应,中子总数将随时间按指数规律增长。例如,当引起下一代裂变的中子数平均为2个时,则在不到1微秒之内,就可以使1千克铀或钚内的 $2.5 \times 10^{24}$ 个原子核发生裂变,并释放出2万吨梯恩梯当量的核能。

要使链式裂变反应自持进行下去,原子核中裂变物的装量必须大于一定的量值,这个最低量值称为临界质量。临界质量的大小与裂变装料的种类、密度、形状以及周围的环境有关。铀-235裸球的临界质量为50千克,而密度为 $19.4 \text{克/厘米}^3$ 的 $\alpha$ 相钚-239裸球的临界质量只有10千克左右。在裂变装料外面包上反射中子性能良好的铀-238或铍,可以减小临界质量,提高裂变装料的密度,也能有效地减少临界质量。密度提高一倍,其临界质量减少到原来的 $1/4$ 。

为了获得一定的威力,原子弹中要装足够量的裂变装料,但是又不能装的太多,以确保在不使用时处于次临界状态,否则核装料中自发裂变产生的中子或环境中游离的中子会引起链式裂变反应而造成核事故。

2. 基本构造 原子弹的设计原理,是使处于次临界状态的裂变装料瞬间达到超临界状态,并适时提供若干中子触发链式裂变反应。超临界状态可以通过两种方式来达到:一种是“枪法”,又称压拢型,即把2~3块处于次临界状态的裂变装料,在化学炸药爆炸产生的高压推动下迅速合拢成为超临界状态(图1-1)。另一种是“内爆法”,又称压紧型,即用化学炸药爆炸产生的内聚冲击波和高压力压缩处于次临界状态的裂变装料,使其密度急剧升高,达到超临界状态(图1-2)。与枪法相比,内爆法可少用裂变装料,因而被广泛应用。

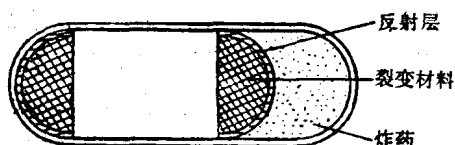


图1-1 枪法原子弹结构示意图

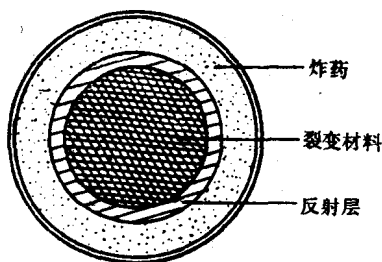


图1-2 内爆法原子弹结构示意图

原子弹主要有引爆控制系统、高能炸药、反射层、由核装料组成的核部件、中子发生器和弹壳等结构部件组成。

3. 爆炸过程 原子弹中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装料,使之达到超临界状态,中子发生器适时提供若干“点火”中子,于是核装料内发生链式裂变反应,并猛烈释放能量。随着能量的积累温度和压力迅速升高,核装料便不断膨胀,密度不断下降,最终又处于次临界状态,链式反应趋向熄灭。从高能炸药起爆到中子点火前是爆轰压缩阶段,通常要几十微秒;从中子到链式裂变反应熄火是裂变放能阶段,只需要十分之几微秒。原子弹在如此短暂的时间内放出几百至几万吨梯恩梯当量的能量,使整个弹体和周围介质都变成高温高压的等离子气团,其中心温度可达到 $10^7$ 开〔尔文〕,压力为 $10^{11}$ 帕〔斯卡〕。原子弹产生的高温、高压以及各种核反应产生的中子、 $\gamma$ 射线的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。

4. 原子弹的发展 原子弹是科学技术的最新成果迅速应用到军事上的一个突出例子。从1938年发现核裂变现象到1945年美国制成原子弹,只花了6年时间。

1939年10月美国政府决定研制原子弹,1945年制造出3颗。1颗用于试验,2颗投在日本。其他各国进行第一次核试验的时间是:苏联1949年8月29日,英国1952年10月3日,法国1960年2月13日,中国1964年10月26日,印度1974年5月18日。

从1945年以来,原子弹技术不断发展,体积、重量显著缩小,战术、技术性能日益提高。在威力方面,为适应战场需要,发展了有千吨、百吨、十吨级梯恩梯当量的低威力小型原子弹及威力可调型核武器。如美国代号为W54/M129的特种地雷,其威力可调,范围在10~1000吨级梯恩梯当量。

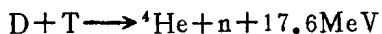
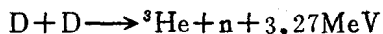
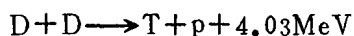
在改进原子弹性能方面,发展了助爆型原子弹,即在原子弹中添加少量热核材料,以提高裂变装料利用率,从而使威力增加。也称加强型原子弹。

## (二) 氢弹

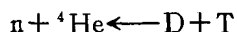
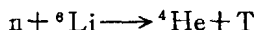
氢弹是利用原子弹爆炸的能量点燃氘、氚等氢核的自持聚变反应,瞬时释放巨大能量的核武器。又称聚变弹或热核弹。氢弹的杀伤破坏因素与原子弹相同,但其威力可大得多,原子弹的威力通常为几百至几万吨梯恩梯当量,氢弹的威力则可大至几千万吨梯恩梯当量。此外,通过设计还能增强或减弱氢弹的某些杀伤破坏因素,因而它的战术技术性能比原子弹更好,用途也更广泛。

(1) 基本原理 聚变反应是带电原子核之间发生的聚合反应,参加反应的原子核必须具有足够的动能,才能克服静电压力而彼此靠近,聚变反应也才有可能发生。提高物质的温度,是使大量原子核增大动能的重要途径。氢弹就是把热核装料加热至几千开以上使之发生聚变反应的,这种把物质加热至高温发生的聚变反应叫热核聚变反应,或称热核反应。

选择合适的热核材料,是人工实现热核反应的重要环节。氘和氚是氢的同位素,原子核间的静电斥力最小,较低的温度(几百万开)即可触发明显的聚变反应,而且反应释放的能量较大。因此选用含氘、氚的物质作为氢弹的装料较为合适。在氘、氚原子核之间发生的聚变反应主要是氘氘反应和氘氚反应,其核反应式为:



式中,D、T分别表示氘核和氚核,n、p分别表示中子和质子, ${}^3\text{He}$ 和 ${}^4\text{He}$ 分别表示氦-3核和氦-4核。当热核装料的温度为几百万至几亿开时,氘和氚反应的速率约比氘氘反应快100倍。因此,氘氚混合物比纯氘更容易发生聚变反应。但在氢弹中大量使用氘氚气体(或液体)会给设计和使用带来不便。一种较为实用的热核装料,是固态氘化锂-6,其密度可达0.8克/厘米<sup>3</sup>左右。当氘化锂-6燃烧时,其间主要进行氚-中子循环反应,即



循环反应中氘氚反应放出中子,所产生的中子很快又造出氚来。两个反应都是放能的,氘、中子循环一代,消耗一个氘核和一个锂-6核放出约22.4兆电子伏的能量。在氢弹中,烧掉1千克氘化锂-6,释放的能量可达4~5万吨梯恩梯当量。由于氘化锂-6中造氚和烧氚的过程结合的非常好,它比纯氘容易燃烧,一般氢弹都用它作热核燃料。

热核反应的条件是高温，但要使热核燃料燃烧充分，还必须使燃烧区的高温维持足够长的时间。为此就需创造一种自持聚变的条件，使燃烧区中能量释放的速率大于能量损失的速率。这种条件除与热核装料的性质、装量、密度、几何形状有关外，还与燃烧区的温度和系统的结构密切有关。氢弹中自持聚变反应所必需的高温、高密度等条件，目前只能由原子弹爆炸来创造。因此，氢弹里都装有一个专门设计的起引爆作用的原子爆炸装置，通常被称为“初级”或“扳机”。

有关氢弹的具体结构是保密的。但有许多书刊对它作过种种描述。美国科学家E·泰勒曾对氢弹爆炸过程作过如下图示（图1-3）：图中①为氢弹爆炸前状态，表明氢弹是由一枚裂变装置来点燃热核爆炸；②为氢弹裂变装置爆炸过程，表明在梯恩梯炸药压缩下，铀-235超临界而发生链式反应，释放出大量中子，并使温度上升至数百万开；③为氢弹聚变过程，表明由裂变装置释放的中子与热核装料氘化锂中锂核发生反应，形成氦与氚，氚与氘的聚变，释放出更多的中子；④为氢弹裂变过程，表明一些中子打在铀-238外壳上，使其发生裂变，释放出更多的能量。

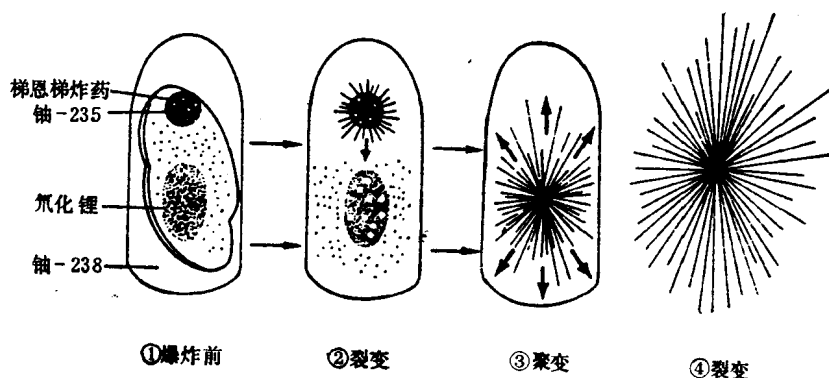


图1-3 氢弹爆炸过程示意图

（2）氢弹的发展 美国1952年11月1日进行了世界上首次氢弹原理试验，代号为“迈克”。试验装置以液态氘作热核装料，爆炸威力在1000万吨梯恩梯当量左右。但该装置连同液氦冷却系统重约65吨，不能作为武器使用。以后苏联宣布于1953年8月12日进行了氢弹试验；英国1957年5月15日爆炸了百万吨梯恩梯当量氢弹；中国1966年12月28日进行了氢弹原理试验，1967年进行了数百万吨的梯恩梯当量的氢弹试验；法国1968年8月24日试验了一个百万吨级的氢弹。

对氢弹的研究与改进主要是：①提高其威力和小型化；②提高突防能力、生存能力和安全性能；③研制各种特殊性能的氢弹。

热核装料没有临界质量的限制，氢弹的威力原则上可设计的很大。美、苏在50~60年代研制过一些威力高达数千万吨梯恩梯当量的热核武器。

1961年苏联试验了一个5800万吨级的热核装置，这是世界上威力最大的一次核爆炸。从技术上讲要研制威力更大的氢弹并不十分困难，因此一般不把威力的大小作为衡量氢弹技术水平的标志。氢弹的运载工具一般是导弹和飞机，要求氢弹必须重量轻，体积小，威力大。因此比威力的大小是衡量氢弹技术水平重要标志之一。（比威力是指核弹头的威力与其质量的比值。通常用“TNT 当量/千克”作为计量单位），要求弹型体积小，重量轻而威力适

宜是氢弹高技术水平的重要标志。到80年代末,所装备的氢弹多数为普通氢弹,也称三相弹。

三相弹是放能过程经历由裂变到聚变再到裂变三个阶段的一种氢弹, 又称氢铀弹。它在结构上的显著特点是以天然铀或浓缩铀作热核燃料的外壳, 当氢弹爆炸时, 热核聚变反应产生的大量中子(特别是高能中子)将进入弹壳引起铀核裂变, 释放出能量和裂变中子, 同时裂变中子也进入热核区, 与锂-6核发生核反应造氚。因此这种氢弹结构又可为热核燃料创造更为良好的条件, 加之铀壳本身释放的大量能量, 使得氢弹的威力和比威力有成倍的提高。所以, 高比威力是三相弹的主要特点。

三相弹的不足之处是裂变能量所占的份额大,因而放射性沾染较严重。1954年2月28日美国在马绍尔群岛的比基尼环礁上进行了一次约为1500万吨梯恩梯当量的氢弹试验, 据说是一枚三相弹。由于地面爆炸,炸后在南太平洋7000平方海里(约18000平方公里)地区的上空笼罩着致命的放射性落下灰, 使得236名马绍尔群岛居民, 31名美国人, 23名日本渔民受到氢弹的放射性伤害。从此, 引起了美国对研制“干净”氢弹的关注。通常, 三相弹的裂变份额随威力的增大而缓慢减小, 当威力为几百万吨级或更高时, 裂变的份额大都在50%左右。

(三) 中子弹

中子弹是以高能中子为主要杀伤因素, 相对减弱冲击波和光辐射效应的一种特殊设计的小型氢弹。其较为确切的名称是增强辐射弹。

原理 中子弹的设计必须解决一系列技术难题。首先要在爆炸能量尽可能小的前提下, 使爆炸的中子尽可能多, 中子的能量也要比较高。高能中子较易于穿透空气, 并且在人体组织中形成较高的吸收剂量。其次, 要使核反应放出的中子尽可能多地直接穿出弹壳。此外, 为了使总爆炸能量保持在1000吨梯恩梯当量左右, 中子弹“初级”(即扳机)的总释放能量必须尽可能低。

降低爆炸能量, 增强高能中子辐射, 可用氘、氚原子核的聚变来实现。由表1-1可知, 一

表1-1 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                  | $^{235}\text{U} + \text{n} \rightarrow \text{X} + \text{Y} + \nu\text{n} + 200\text{MeV}$ | $\text{D} + \text{T} \rightarrow ^4\text{He} + \text{n} + 17.6\text{MeV}$ |
| 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                                                                       |

注:反应式中n代表中子, ν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。

次铀-235核裂变反应中, 释放的瞬时核辐射能量只占6.8%, 而原子核动能要占93.2%; 相反, 一次氘、氚聚变反应中, 氦核的动能只占20%, 高能中子所携带的反应能为80%。在核