



“十二五”国家重点图书出版规划项目

核能与核技术出版工程

国家科学技术著作出版基金资助出版

总主编 杨福家

核技术的军事应用 ——核武器

Nuclear Technologies in The
Military Applications
—Nuclear Weapons

胡思得 刘成安 编著



上海交通大学出版社
SHANGHAI JIAO TONG UNIVERSITY PRESS



“十二五”国家重点图书出版规划项目
核能与核技术出版工程
国家科学技术著作出版基金资助出版
总主编 杨福家

核技术的军事应用——核武器

Nuclear Technologies in The Military
Applications—Nuclear Weapons

胡思得 刘成安 编著



上海交通大学出版社
SHANGHAI JIAO TONG UNIVERSITY PRESS

内容提要

本书是“十二五”国家重点图书出版规划项目“核能与核技术出版工程”之一。主要内容包括必要的核物理和核材料的基础知识,原子弹、氢弹、特殊性能的核武器、核武器小型化等的基本原理,核武器的研究设计和诊断方法,核武器系统的构成、核爆炸效应以及战术技术性能等,还介绍了核态势、核战略、核军备控制,以及核查技术、防止核扩散等方面的内容。

本书可供与核武器事业有关的领导、管理人员、专业人员、部队指战员和高校师生参考,也可供为其他领域关注核武器事业的人士参考。

图书在版编目(CIP)数据

核技术的军事应用:核武器 / 胡思得,刘成安编著.

—上海:上海交通大学出版社,2016

核能与核技术出版工程

ISBN 978-7-313-14119-4

I. ①核… II. ①胡… ②刘… III. ①核武器—研究

IV. ①TJ91

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2015)第 278648 号

核技术的军事应用——核武器

编 著:胡思得 刘成安

出版发行:上海交通大学出版社

邮政编码:200030

出 版 人:韩建民

印 制:山东鸿君杰文化发展有限公司

开 本:710 mm×1000 mm 1/16

字 数:221 千字

版 次:2016 年 3 月第 1 版

书 号:ISBN 978-7-313-14119-4/TJ

定 价:78.00 元

地 址:上海市番禺路 951 号

电 话:021-64071208

经 销:全国新华书店

印 张:13.5

印 次:2016 年 3 月第 1 次印刷

版权所有 侵权必究

告读者:如发现本书有印装质量问题请与印刷厂质量科联系

联系电话:0533-8510898

丛书编委会

总主编

杨福家(复旦大学原校长,中国科学院院士)

编委(按姓氏笔画排序)

于俊崇(中国核动力研究设计院,中国工程院院士)

马余刚(中国科学院上海应用物理研究所,研究员)

马栩泉(清华大学核能技术设计研究院,教授)

王大中(清华大学原校长,中国科学院院士)

韦悦周(上海交通大学核科学与工程学院,教授)

申 森(上海核工程研究设计院,研究员级高工)

朱国英(复旦大学放射医学研究所,研究员)

华跃进(浙江大学农业与生物技术学院,教授)

许道礼(中国科学院上海应用物理研究所,研究员)

孙 扬(上海交通大学物理与天文系,教授)

苏著亭(中国原子能科学研究院,研究员级高工)

肖国青(中国科学院近代物理研究所所长,研究员)

吴国忠(中国科学院上海应用物理研究所,研究员)

沈文庆(中国科学院上海分院,中国科学院院士)

陆书玉(上海市环境科学学会副理事长,教授)

周邦新(上海大学材料研究所所长,中国工程院院士)

郑明光(上海核工程研究设计院院长,研究员级高工)

赵振堂(中国科学院上海应用物理研究所所长,研究员)

胡立生(上海交通大学电子信息与电气工程学院,教授)

胡思得(中国工程物理研究院,中国工程院院士)

徐步进(浙江大学农业与生物技术学院,教授)

徐洪杰(中国科学院上海应用物理研究所原所长,研究员)

黄 钢(上海健康医学院院长,教授)

曹学武(上海交通大学机械与动力工程学院,教授)

程 旭(上海交通大学核科学与工程学院,教授)

潘健生(上海交通大学材料科学与工程学院,中国工程院院士)

总 序

1896 年法国物理学家贝可勒尔对天然放射性现象的发现,标志着原子核物理学的开始,直接导致了居里夫妇镭的发现,为后来核科学的发展开辟了道路。1942 年人类历史上第一个核反应堆在芝加哥的建成被认为是原子核科学技术应用的开端,至今已经历了 70 多年的发展历程。核技术应用包括军用与民用两个方面,其中民用核技术又分为民用动力核技术(核电)与民用非动力核技术(即核技术在理、工、农、医方面的应用)。在核技术应用发展史上发生的两次核爆炸与三次重大核电站事故,成为人们长期挥之不去的阴影。然而全球能源匮乏以及生态环境恶化问题日益严峻,迫切需要开发新能源,调整能源结构。核能作为清洁、高效、安全的绿色能源,还具有储量最丰富、高能量密集度、低碳无污染等优点,受到了各国政府的极大重视。发展安全核能已成为当前各国解决能源不足和应对气候变化的重要战略。我国《国家中长期科学和技术发展规划纲要(2006—2020)》明确指出“大力发展核能技术,形成核电系统技术的自主开发能力”,并设立国家科技重大专项“大型先进压水堆及高温气冷堆核电站专项”,把“钍基熔盐堆”核能系统列为国家首项科技先导项目,投资 25 亿元,已在中国科学院上海应用物理研究所启动,以创建具有自主知识产权的中国核电技术品牌。

从世界来看,核能应用范围正不断扩大。目前核能发电量美国排名第一,中国排名第六;不过核能发电的占比方面,法国占比约 74%,排名第一,中国仅约 2%,排名几乎最后。但是中国在建、拟建和提议的反应堆数比任何国家都多。相比而言,未来中国核电有很大的发展空间。2015 年为中国核电重启的关键年,据中国核能行业协会发布的最新数据显示,截至 2015 年 6 月底,中国投入商业运行的核电机组共 25 台,总装机容量为 2 334 万千瓦。值此核电发展的历史机遇期,中国应大力推广自主开发的第三代以及第四代的“快堆”、

“高温气冷堆”、“钍基熔盐堆”核电技术,努力使中国核电走出去,带动中国由核电大国向核电强国跨越。

随着先进核技术的应用发展,核能将成为逐步代替化石能源的重要能源。受控核聚变技术有望从实验室走向实用,为人类提供取之不尽的干净能源;威力巨大的核爆炸将为工程建设、改造环境和开发资源服务;核动力将在交通运输及星际航行等方面发挥更大的作用。核技术几乎在国民经济的所有领域得到应用。原子核结构的揭示,核能、核技术的开发利用,是 21 世纪人类征服自然的重大突破,具有划时代的意义。然而,日本大海啸导致的福岛核电站危机,使得发展安全级别更高的核能系统更加急迫,核能技术与核安全成为先进核电技术产业化追求的核心目标,在国家核心利益中的地位愈加显著。

在 21 世纪的尖端科学中,核科学技术作为战略性高科技学科,已成为标志国家经济发展实力和国防力量的关键学科之一。通过学科间的交叉、融合,核科学技术已形成了多个分支学科并得到了广泛应用,诸如核物理与原子物理、核天体物理、核反应堆工程技术、加速器工程技术、辐射工艺与辐射加工、同步辐射技术、放射化学、放射性同位素及示踪技术、辐射生物等,以及核技术在农学、医学、环境、国防安全等领域的应用。随着核科学技术的稳步发展,我国已经形成了较为完整的核工业体系。核科学技术已走进各行各业,为人类造福。

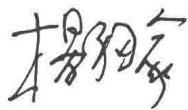
无论是科学研究方面,还是产业化进程方面,我国的核能与核技术研究与应用都积累了丰富的成果和宝贵经验,应该系统总结、整理一下。另外,在大力发展核电的新时期,也急需有一套系统而实用的、汇集前沿成果的技术丛书作指导。在此鼓舞下,上海交通大学出版社联合上海市核学会,召集了国内核领域的权威专家组成高水平编委会,经过多次策划、研讨,召开编委会商讨大纲、遴选书目,最终编写了这套“核能与核技术出版工程”丛书。本丛书的出版旨在:培养核科技人才;推动核科学研究和学科发展;为核技术应用提供决策参考和智力支持;为核科学研究与交流搭建一个学术平台,鼓励创新与科学精神的传承。

这套丛书的编委及作者都是活跃在核科学前沿领域的优秀学者,如核反应堆工程及核安全专家王大中院士、核武器专家胡思得院士、实验核物理专家沈文庆院士、核动力专家于俊崇院士、核材料专家周邦新院士、核电设备专家潘健生院士,还有“国家杰出青年”科学家、“973”项目首席科学家、“国家千人计划”特聘教授等一批有影响的科研工作者。他们都来自各大高校及研究单

位,如清华大学、复旦大学、上海交通大学、浙江大学、上海大学、中国科学院上海应用物理研究所、中国科学院近代物理研究所、中国原子能科学研究院、中国核动力研究设计院、中国工程物理研究院、上海核工程研究设计院、上海市辐射环境监督站等。本丛书是他们最新研究成果的荟萃,其中多项研究成果获国家级或省部级大奖,代表了国内甚至国际先进水平。丛书涵盖军用核技术、民用动力核技术、民用非动力核技术及其在理、工、农、医方面的应用。内容系统而全面且极具实用性与指导性,例如,《应用核物理》就阐述了当今国内外核物理研究与应用的全貌,有助于读者对核物理的应用领域及实验技术有全面的了解,其他书目也都力求做到了这一点,极具可读性。

由于本丛书良好的立意和高品质的学术成果,使得本丛书在策划之初就受到国家的重视,成功入选了“十二五”国家重点图书出版规划项目。另外,本丛书也受到上海新闻出版局的高度肯定,部分书目成功入选了“上海高校服务国家重大战略出版工程”。

在丛书出版的过程中,我们本着追求卓越的精神,力争把丛书从内容到形式上做到最好。希望这套丛书的出版能为我国大力发展核能技术提供上游的思想、理论、方法,能为核科技人才的培养与科创中心建设贡献一份力量,能成为不断汇集核能与核技术科研成果的平台,推动我国核科学事业不断向前发展。



2015 年 11 月

前 言

20 世纪核物理学的一系列重大发现开辟了人类利用核能的新纪元,具有划时代的重大意义。和历史上许多重大科学技术新发现一样,核科学上的新发现也首先用于军事目的。1945 年,美国研制成功了 3 颗原子弹,1 颗用于试验,2 颗投在了日本。战后美、苏展开了大规模的核军备竞赛,各自拥有了数万颗核弹。

核武器是一种特殊的武器,由于它惊人的杀伤力,对环境和生态破坏的严重性、久远性以及难以防御等特点,世界人民被笼罩在核恐怖的阴影中。

在全世界爱好和平人民的推动下,以核裁军、禁核试、防核扩散为主要方向的核军备控制成为国际外交的重要组成部分。核武器不但影响着科学、技术的发展,更引起了军事领域的一场革命,对军事、政治、外交产生了深刻而巨大的影响。

经过几十年的削减核武器的进程,世界上的核武器从 7 万多枚降到 1 万~2 万枚,但距离彻底销毁核武器还有很长的路要走。核大国不可能彻底放弃其核优势,核武器仍会在相当长的时期里继续存在。

在没有核试验的条件下,如何保持核武器的安全、可靠和有效,是有核国家面临的更为繁重的任务。从过去依靠核试验为基础的核武器研究转向依靠计算机数值模拟、次临界实验、实验室大型设施上的实验。研究手段变得更为复杂,须将过去武器设计中某些经验性的成分上升到科学的、规律性的认识,以此来保持核武库持久的可靠性、安全性、有效性和保安性。此外,防止核扩散,反对核恐怖主义也是国际上面临的重要问题。如何保证核安全,不让核武

器、核部件、核材料落入恐怖分子和不负责任的组织手中,已成为国际社会尤其是各国政府首脑特别关注的议题。为此,与核事业有关的领导、管理人员、指战员、社会科学工作者、外交官员、核专业的师生需要有一些核武器和核军备控制的知识,有助于他们开展相关的工作。

参与本书编写者还有郑绍唐、田东风、伍钧、孙向丽、田景梅、赵武文、胡鸣怡、冯晓辉、康春梅等同志。他们对核武器科学技术领域的多学科内容有较为深入的理解和认知,对国际核态势、核军控作了较长期深入的研究。

本书系统地介绍了与核武器相关的科技知识,包括基本原理,系统构成,研究、设计和诊断方法,核武器的分类及战术技术性能,核爆炸效应等;还介绍了与核武器有关的核政策、核战略、核态势、核军控、核安全等相关内容,凸显了横跨自然科学与社会科学的特点。本书内容全面、深入,资料性强,便于从事核武器事业的有关专业人员、外交人员、领导、管理人员、指战员、高校师生从中查到有关信息,增长知识,开阔眼界。

中国工程物理研究院战略研究中心对本书的内容专门组织了讨论,除编写者外,黄维国、郝繁华、向永春、韦孟伏、史建斌、朱剑钰、谢文雄、崔茂东、郑妍、苏佳杭、徐雪峰等同志分别审阅了有关章节,提出了很多宝贵的意见,出了很多力,在此向他们表示衷心的感谢。

目 录

第 1 章 核物理基础知识	001
1.1 原子和原子核	001
1.1.1 物质的构成	001
1.1.2 原子、电子、原子核与核素	001
1.1.3 原子核的放射性	003
1.2 射线与物质的相互作用	004
1.2.1 重带电粒子与物质的相互作用	004
1.2.2 电子与物质的相互作用	005
1.2.3 γ 射线、X 射线与物质的相互作用	005
1.3 核力、质量亏损与结合能	006
1.4 原子核反应	008
1.4.1 核反应与核反应截面	008
1.4.2 中子与物质的相互作用及慢化	009
1.4.3 核裂变反应	010
1.4.4 核聚变反应	014
1.5 易裂变核材料及其生产	017
1.5.1 铀的生产与铀产量的估算	018
1.5.2 浓缩铀的生产	020
参考文献	028
第 2 章 原子弹	029
2.1 简史	029

2.2	基本原理	030
2.2.1	中子的命运	031
2.2.2	临界质量	031
2.2.3	裂变放能速率	033
2.2.4	裂变核武器的设计原则	034
2.3	原子弹的类型和核爆炸的特点及过程	035
2.3.1	原子弹的类型	035
2.3.2	核爆炸的特点及爆炸过程	037
	参考文献	038
第3章	氢弹	041
3.1	基本原理	041
3.1.1	重要的聚变核反应及反应率	041
3.1.2	聚变核材料与氢弹中的核反应	043
3.1.3	氢弹的结构	045
3.1.4	氢弹的运作过程	045
3.2	氢弹的特点及发展	046
3.2.1	氢弹的特点	046
3.2.2	氢弹的研究与发展	047
3.2.3	中国氢弹原理的突破	048
	参考文献	048
第4章	特殊性能的核武器	049
4.1	中子弹	049
4.1.1	中子弹特性	049
4.1.2	中子弹设计及功用	053
4.2	弱剩余放射性弹	055
4.2.1	弱剩余放射性弹的放射性及特性	055
4.2.2	弱剩余放射性弹设计原理和功用	055
4.3	增强 X 射线弹	056
4.3.1	特性	056

4.3.2 增强 X 射线弹的设计	057
4.4 感生放射性弹	058
4.5 核爆激励的 X 射线激光武器	058
4.5.1 X 射线激光器原理	058
4.5.2 X 射线激光器的组成	059
4.5.3 粒子数反转机制	060
4.5.4 核爆激励 X 射线激光器的组成	061
4.5.5 X 射线激光武器的作战使用	061
4.5.6 核爆激励 γ 射线激光器与高功率微波武器	061
参考文献	062
 第 5 章 核武器的研究设计与核爆诊断	 063
5.1 核武器的研究	063
5.2 核武器的物理研究	064
5.2.1 爆轰物理、动态高压物理、内爆动力学	064
5.2.2 高温、高密度等离子体物理、辐射流体力学	065
5.2.3 核物理、粒子输运研究	066
5.3 大规模科学计算	066
5.3.1 核爆全过程的数值模拟	066
5.3.2 数值模拟提高核武器研究效率	066
5.3.3 维护核武器库存安全性、可靠性的必要手段	067
5.4 核爆诊断	068
参考文献	069
 第 6 章 核试验	 071
6.1 核试验的目的	071
6.2 核试验的方式	072
6.2.1 大气层核试验	072
6.2.2 地下核试验	073
6.2.3 高空核试验	074
6.2.4 水下核试验	074

6.3 核试验诊断和测量	075
6.3.1 物理诊断	075
6.3.2 放射化学诊断	076
6.3.3 效应参数测量	077
参考文献	077
第7章 核爆炸的效应	079
7.1 核爆炸的毁伤效应	079
7.2 冲击波的传播及效应	081
7.2.1 冲击波的传播	081
7.2.2 冲击波的毁伤因素	082
7.2.3 冲击波毁伤效应的影响因素	083
7.2.4 地下核爆冲击波及地震效应	084
7.2.5 水下核爆冲击波效应	084
7.3 光辐射特性及毁伤效应	085
7.3.1 核爆火球的发展及变化特征	085
7.3.2 光辐射的毁伤效应	086
7.4 早期核辐射及其效应	087
7.5 核电脉冲及其效应	088
7.5.1 电磁脉冲的激励和传播	088
7.5.2 核爆射线致电离区对通信系统的影响	090
7.6 放射性沾染及其效应	090
7.6.1 核爆炸烟云及沉降	090
7.6.2 放射性沾染效应	092
7.7 核辐射对生物机体损毁和地球物理效应	093
7.7.1 核辐射对生物体的损伤	093
7.7.2 核爆的地球物理效应	094
7.8 核冬天	094
参考文献	095

第 8 章 核武器的战术技术性能	097
8.1 核武器的威力与比威力	097
8.2 等效百万吨与比等效百万吨	098
8.3 重量、尺寸和小型化	099
8.4 安全性	100
8.5 作战准备时间	101
8.6 可靠性	101
8.7 生存能力	102
8.8 突防能力	102
8.9 打击硬目标的能力及软毁伤效应	103
8.10 使用寿命与可维修性	104
8.11 核武器库存管理与退役	105
8.11.1 核武器的贮存环境	105
8.11.2 贮存与保管	105
8.11.3 核武器的延寿与退役	105
8.12 核武器作战效能	106
参考文献	107
第 9 章 禁核试后的核武器研究	109
9.1 《全面禁核试条约》的签署及其影响	109
9.2 禁核试后的核武库工作	110
9.2.1 美国核武库组成	110
9.2.2 有限寿命部件更换	113
9.2.3 核武库监测评估工作	113
9.2.4 核武库整治延寿工作	114
9.2.5 核弹头拆卸	116
9.3 禁核试后的核武器科研	117
9.3.1 概述	117
9.3.2 实验室实验	118
9.3.3 次临界实验	121
9.3.4 计算模拟能力	122

参考文献	125
第 10 章 核军备控制与核查技术	127
10.1 核军备控制的内容	127
10.1.1 禁止使用核武器	127
10.1.2 限制和裁减核武器规模(主要是美苏/美俄双边条约)	128
10.1.3 限制核武器的发展和扩散	129
10.2 军控条约核查和监测技术	133
10.2.1 军控与裁军条约核查的功能	133
10.2.2 军备控制核查的技术方法	134
10.2.3 军控与裁军条约核查的制度和手段	137
10.2.4 核查技术发展的趋势	138
参考文献	139
第 11 章 核扩散与防止核扩散	141
11.1 核技术的发展与核武器扩散	141
11.1.1 核武器国家数量的增加	141
11.1.2 核扩散危险的加剧	144
11.1.3 《不扩散核武器条约》的缔结	147
11.2 防止核扩散与保障监督措施的发展	149
11.2.1 保障监督的产生与发展	150
11.2.2 保障监督的类型	153
11.2.3 保障监督的程序	159
11.3 核取证(核法证)分析方法	165
11.3.1 堆型与产生钚的同位素成分	167
11.3.2 核考古计时法	169
11.3.3 证据链的分析认证	169
11.3.4 样品基体的收集与数据库	170
参考文献	171

第 12 章 主要核国家核战略	173
12.1 美国核战略	173
12.2 苏联(俄罗斯)核战略	175
12.3 英国核战略	178
12.4 法国核战略	178
12.5 中国核战略	180
参考文献	184
附录 核武器系统(术语)及分类	185
A 核武器系统	185
B 核武器系统的分类	189
参考文献	193
索引	194

第 1 章 核物理基础知识

1.1 原子和原子核

1.1.1 物质的构成

物质由原子或分子组成。对化合物而言,分子是保持物质化学性质的最小单元。分子由原子组成,原子是物质进行化学反应的基本单元,化学反应是原子间的化合。

1.1.2 原子、电子、原子核与核素

原子^[1]由原子核和绕原子核运动的电子构成。原子的质量很小,而 1 mol 任何物质包含相同的原子数(即阿伏伽德罗常数)。通常采用碳原子 $^{12}_6\text{C}$ 质量的 $1/12$ 作为原子质量单位 u ,已知 $^{12}_6\text{C}$ 的摩尔质量为 12 g,于是有

$$1\text{ u} = \frac{12}{N_A} \text{ g} \times \frac{1}{12} = 1.660\,565\,5 \times 10^{-24} \text{ g}$$

式中, N_A 为阿伏伽德罗常数, $N_A = 6.022\,045 \times 10^{23} / \text{mol}$ 。原子的实际质量都近似等于 u 的倍数,该倍数也叫原子质量数 A 。几种原子的质量如表 1-1 所示。表中, Ar 是以 u 为单位的原子质量数,取整后就是原子质量数 A 。

表 1-1 几种原子的质量

原子名称	质量 $m/10^{-27} \text{ kg}$	Ar	A
氢原子	1.673 56	1.007 825	1
碳原子	19.926 79	12.000 00	12
氧原子	26.560 61	15.994 92	16
铁原子	92.883 57	55.934 90	56
铀原子	395.298 95	238.050 8	238