

《国防科研试验工程技术系列教材》

核试验系统

# 核爆炸物理概论

上册

中国人民解放军总装备部军事训练教材编辑工作委员会

国防工业出版社

《国防科研试验工程技术系列教材》

核试验系统

# 核爆炸物理概论

上册

中国人民解放军总装备部  
军事训练教材编辑工作委员会

TL91  
Q1K

国防工业出版社

·北京·

### 图书在版编目(CIP)数据

核爆炸物理概论(上册)/中国人民解放军总装备部军事训练教材编辑工作委员会编. —北京:国防工业出版社, 2003. 1

国防科研试验工程技术系列教材·核试验系统

ISBN 7-118-02898-3

I. 核... II. 中... III. 核爆炸 - 物理学 - 概论 - 教材 IV. TL91

中国版本图书馆CIP数据核字(2002)第047887号

国防工业出版社出版发行

(北京市海淀区紫竹院南路23号)

(邮政编码 100044)

国防工业出版社印刷厂印刷

新华书店经售

\*

开本 850×1168 1/32 印张 22 $\frac{1}{2}$  559千字

2003年1月第1版 2003年1月北京第1次印刷

印数:1—1500册 定价:56.00元(含上、下册)

(本书如有印装错误,我社负责调换)

# 《国防科研试验工程技术系列教材》

## 总编审委员会

名誉主任委员 程开甲 李元正

主任委员 胡世祥

副主任委员 段双泉 尚学琨 褚恭信 马国惠

委员 (以下按姓氏笔画排列)

王国玉 刘 强 刘晶儒 张忠华

李济生 邵发声 周铁民 姚炳洪

姜世忠 徐克俊 钱卫平 常显奇

萧泰顺 穆 山

办公室主任 任万德

办公室成员 王文宝 冯许平 左振平 朱承进

余德泉 李 钢 杨德洲 邱学臣

郑时运 聂 皞 陶有勤 郭詮水

钱玉民

# 《国防科研试验工程技术系列教材· 核试验系统》编审委员会

主任委员 范如玉

副主任委员 陈世亮 李真富 黄水潮 王滨生

主 编 刘晶儒

副 主 编 从 云 曾正中 朱双华

委 员 林俊德 王德芳 陈雨生 陈 达  
王奎禄 常永福 邱爱慈 刘国治  
喻名德 陆泉兴 王卫东 胡金清

## 总 序

当今世界,科学技术突飞猛进,知识经济迅速兴起,国力竞争越来越取决于各类高技术、高层次人才的质量与数量,因此,作为人才培养的基础工作——教材建设,就显得格外重要和紧迫。为总结、巩固国防科研试验的经验和成果,促进国防科研试验事业的发展,加快人才培养,我们组织了近千名专家、学者编著了这套系列教材。

建国以来,我国国防科研试验战线上的广大科技人员,发扬“自力更生、艰苦奋斗、科学求实、大力协同、无私奉献”的精神,经过几十年的努力,建立起了具有相当规模和水平的科研试验体系,创立了一系列科研试验理论,造就了一支既有较高科学理论知识、又有实践经验,勇于攻关、能打硬仗的优秀科技队伍,取得了举世瞩目的成就。这些成就对增强国防实力,带动国家经济发展,促进科技进步,提高国家和民族威望,都发挥了重要作用。

编著这套系列教材是国防科研试验事业继往开来的大事,它是国防科研试验工程技术建设的一个重要方面,是国防科技成果的一个重要组成部分,也是体现国防科研试验技术水平的一个重要标志。它承担着记载与弘扬科技成就、积累和传播科技知识的使命,是众多科技工作者用心血和汗水凝成的科技成果。编著这套系列教材,旨在从总体的系统性、完整性、实用性角度出发,把丰富的实践经验进一步理论化、科学化,形成具有我国特色的国防科研试验理论与实践相结合的知识体系。一是总结整理国防科研试验事业创业 40 年来重要成果及宝贵经验;二是优化专业技术教材体系,为国防科研试验专业技术人员提供一套系统、全面的教科书,满足人才培养对教材的急需;三是为国防科研试验提供有力的

技术保障;四是将许多老专家、老教授、老学者广博的学识见解和丰富的实践经验总结继承下来。

这套系列教材按国防科研试验主要工程技术范畴分为:导弹航天测试发射系统、导弹航天测量控制系统、试验通信系统、试验气象系统、常规兵器试验系统、核试验系统、空气动力系统、航天医学工程系统、国防科技情报系统、电子装备试验系统等。各系统分别重点论述各自的系统总体、设备总体知识,各专业及相关学科的基础理论与专业知识,主要设备的基本组成、原理与应用,主要试验方法与工作程序,本学科专业的主要科技成果,国内外的最新研究动态及未来发展方向等。

这套系列教材的使用对象主要是:具有大专以上学历的科技与管理干部,从事试验技术总体、技术管理工作的人员及院校有关专业的师生。

期望这套系列教材能够有益于高技术领域里人才的培养,有益于国防科研试验事业的发展,有益于科学技术的进步。

《国防科研试验工程技术系列教材》

总编审委员会

1999年10月

# 序 一

核试验技术是国防科研试验工程技术的重要组成部分。

自 20 世纪 50 年代核试验基地组建以来,奋战在核武器试验第一线的广大科技人员,发扬“艰苦奋斗、无私奉献”的马兰精神,以“严肃认真、周到细致、稳妥可靠、万无一失”的十六字方针指导科研试验工作,圆满完成了历次核武器试验任务,为我国核武器事业的发展作出了重要贡献。

几十年来,从事核试验的几代科技人员艰苦探索,大胆实践,开拓进取,不断创新,独立自主地建立了一门新的科学技术——核试验技术,走出了一条具有中国特色的核试验技术发展道路。历史证明,核武器技术的发展带动了核试验技术的发展,核试验技术的发展又反过来促进了核武器技术的发展。正是这两大技术的相互促进,才保证了我国核武器试验与研究以较少的投入、较少的试验次数,而获得了较快的发展。现在,我们将 40 多年来核试验技术及其相关技术研究的理论与实践成果进行认真系统的整理总结,以教材的形式编写出来,不仅是禁核武器试验形势下培养核试验技术人才的需要,也是保留和发展核试验能力的需要,并且也会对新形势下研究和发展的实验技术起到重要的指导作用。

本套教材,可作为具有大专以上学历直接从事核试验工作的科技与管理理论人员理论学习及实践指导用书,也可作为院校有关专业师生的教学参考书。

本套教材共分 15 卷。包括:《核爆炸物理概论》(上、下册)、《地下核爆炸现象学概论》(上、下册)、《地下核爆炸及其应用》、《射线脉冲测量技术》、《核试验核素测量技术》、《地下核爆炸力学与试验工程》、《核试验控制技术》、《地下核试验工程学基础》、《核试验

地质学》、《核试验核查技术》、《放射性污染调查与核环境整治》、《核爆炸效应及模拟技术》、《准分子激光技术及其应用》、《高功率微波效应导论》和《脉冲功率技术》。

本套教材是长期工作在核试验技术研究第一线的专家和科技人员智慧与经验的结晶,是几代人共同劳动的成果。在此,我们谨向他们表示深深的敬意,同时也向参与编写、修改、审定工作的专家、技术人员和关心本套教材编辑出版的各级领导及工作人员表示衷心的感谢。由于本套教材涉及专业面广,涵盖内容多,书中疏漏之处在所难免,诚请读者予以指正。

《国防科研试验工程技术系列教材·  
核试验系统》编审委员会

2001年4月

## 序 二

自一九四五年七月十六日美国爆炸了第一颗原子弹以来,世界上已进行了将近四百次大气层核试验。通过这些核试验,不但取得了相当多试验数据,而且在核武器的各种杀伤破坏因素及其效应方面得到了相当充分的研究。近些年来,已有不少反映这些研究成果的系统著作问世,但把核爆炸物理学作为一门学科进行比较全面的论述还没见到。这本书弥补了这个不足,收集了大量的资料,叙述了核爆炸物理学理论的基本知识,在已有的实践知识的水平上,阐明了这一学科的主要部分,反映了近年来在这一领域内所积累的丰富的理论和实践材料,叙述得也比较系统和明晰。

核爆炸的物理现象学虽已经过几十年的研究,但是由于专业交流的限制,更主要的是由于核爆炸现象本身的复杂性,还有不少问题难以总结出理论规律,而停留在经验公式上。正因为是经验公式,所以各家所归纳的结果就不尽相同。这本书所推荐的一些经验公式与美、苏有关著作中所提供的略有差异,但是这些不同不是实质性的。本书侧重系统阐述有关核爆炸物理学方面的基本规律,所以提供的经验公式并不多。例如,作为杀伤破坏因素之一的放射性沾染等有关内容讨论得比较少;另外,没有更多的提供核试验的具体试验结果。

由于这本书有上述特点,将它和有关手册或着眼于核武器效应的书配合使用是有益的。这是一本有价值的核爆炸物理学方面的参考书,着重系统地和连贯地从深度上阐述,有助于引导初始工作者入门;对已有经验的工作者需要进一步在原基础上深入也有参考价值。

程开甲

## 前 言

核武器是一种大规模的杀伤武器。随着核武器的改进和投掷兵器精度的提高,它的杀伤破坏威力更加增强。因此,研究核爆炸的杀伤破坏规律是一项极为重要的任务。

几十年来,核武器不断改进,核试验不断进行,因而逐渐形成了核武器物理和核爆炸物理等学科。核武器物理虽然是一门具有丰富内容的学科,但由于保密的限制,见诸公开报道的内容极少,核爆炸物理的非保密部分在公开文献中有大量的报道,也有不少系统的专著。这些专著多数侧重介绍核爆炸现象学、杀伤破坏效应及一般参数的计算。

本书编写的目的在于深入讨论核爆炸现象,探讨杀伤破坏因素的规律,为研究核爆炸效应及防护提供理论依据。

本书的资料来源主要是公开文献的报道和有关单位的工作,包括验证理论的少量实测结果和近年来的新进展。为了叙述的系统性,也引用了一些专著的基础理论的有关内容。

根据核爆炸杀伤破坏因素的特点,本书大体分成五个部分:爆炸力学(计五章)、光辐射(计四章)、核辐射(计三章)、核电磁脉冲(计四章),后两章简要讨论了高空核爆炸现象和核爆炸引起的大气电离。在核辐射部分,虽然讨论了剩余核辐射,但没有讨论有关放射性烟云和沉降的内容。各部分的前一章和各章中有章节是继后讨论所涉及的基本理论,如果读者并不关心它可以不看,不致影响对主要内容的了解。

本书所提供的公式、图表和数据,同国外现行书刊的结果比较来看,大致情况如下:力学和光辐射部分差异不大;核辐射部分差异较大,尤其是核爆炸中子这部分差异最大,这可能是由于核武器

设计细节的不同所引起的。从效应的角度看,这些差异带来的影响可能并不严重。核电磁脉冲部分因为国外现行著作中讨论不多,无法进行比较。

本书是在许多同志工作基础上编写成的,写成后承蒙朱光亚院士、程开甲院士和几位专家审阅,还有不少同志为此书付出了辛勤的劳动,作者在此谨对他们表示衷心地感谢。

因为编者的水平有限,缺点和错误在所难免,衷心希望读者批评指正,以便进一步修改。

作者

2002 年 5 月

## 内 容 简 介

本书第1章为核爆炸现象学,介绍核爆炸景象和初始参数;其余十八章分为五部分,即爆炸力学、光辐射、核辐射、核电磁脉冲、高空核爆物理概论和核爆炸引起的大气电离。本书着重讨论、介绍这些杀伤破坏因素的理论基础、产生和发展过程、特点及其变化规律,并推荐了必要的计算公式,为核试验、核武器使用和防护提供基础知识,可供核武器研究、试验、核防护工程和抗核加固等有关工程人员使用,也可供有关专业的大学生、研究生和教师参考。

# 目 录

第 1 章 核爆炸现象学 .....	1
1.1 引言 .....	1
1.2 核爆炸方式与外观景象 .....	3
1.2.1 核爆炸方式的区分 .....	4
1.2.2 核爆炸外观景象 .....	5
1.3 核爆炸的杀伤破坏因素和发展过程 .....	9
1.3.1 核爆炸杀伤破坏因素 .....	9
1.3.2 核爆炸发展过程 .....	10
1.4 核爆炸的杀伤破坏特点 .....	10
1.5 核装置的爆炸过程 .....	12
1.6 核爆炸初始参数 .....	14
1.6.1 爆炸时活性区参数 .....	14
1.6.2 爆炸时弹体区参数 .....	15
参考文献 .....	16
第 2 章 爆炸力学基础 .....	17
2.1 流体力学方程组, 声波 .....	17
2.1.1 流体力学方程组欧拉表述 .....	17
2.1.2 流体力学方程组拉格朗日表述 .....	19
2.1.3 球面声波 .....	20
2.2 激波关系 .....	21
2.2.1 激波关系 .....	21
2.2.2 理想气体激波关系 .....	23
2.3 一维非定常流动 .....	26
2.3.1 非线性波一维传播 .....	26

2.3.2 简单波传播 .....	30
2.4 强爆炸自模拟解 .....	32
2.4.1 强爆炸自模拟运动方程组 .....	32
2.4.2 解析解 .....	34
2.4.3 数值结果 .....	35
2.5 爆炸相似律 .....	38
2.5.1 冲击波主要参量 .....	38
2.5.2 立方根相似律 .....	39
2.5.3 一般相似律 .....	40
参考文献 .....	42
<b>第3章 冲击波在大气中传播</b> .....	<b>44</b>
3.1 引言 .....	44
3.2 理想气体和真实空气的点爆炸数值解 .....	45
3.2.1 点爆炸流体力学方程组 .....	45
3.2.2 理想气体和真实气体的数值解方程组 .....	47
3.2.3 差分方程组,激波凑合法 .....	49
3.2.4 数值求解 .....	50
3.2.5 数值计算结果及分析 .....	50
3.3 真实空气球爆炸的辐射流体力学计算 .....	60
3.3.1 含粘性和能流的流体力学方程组 .....	60
3.3.2 激波结构 .....	61
3.3.3 人造粘性 .....	64
3.3.4 含能流流体力学方程组数值求解,人造粘性法 .....	65
3.3.5 数值计算结果 .....	67
3.4 非均匀大气点爆炸数值解 .....	69
3.4.1 大气模式 .....	69
3.4.2 非均匀大气中冲击波传播 .....	72
3.4.3 数值分析 .....	74
参考文献 .....	76

<b>第 4 章 空中、地面爆炸的冲击波传播</b> .....	77
4.1 定常激波反射理论要点 .....	77
4.1.1 激波反射的基本图像 .....	77
4.1.2 理想气体中激波的正反射 .....	80
4.1.3 规则反射 .....	83
4.1.4 非规则反射 .....	87
4.2 空中爆炸冲击波的传播 .....	88
4.2.1 空爆冲击波在地面的反射 .....	88
4.2.2 反射分区 .....	90
4.2.3 等超压图 .....	93
4.2.4 三波点高度随爆心距的变化 .....	95
4.3 地面爆炸、爆炸成坑 .....	96
4.3.1 地面爆炸 .....	96
4.3.2 触地爆炸及成坑 .....	97
4.3.3 浅层埋深爆炸及弹坑参数 .....	101
4.3.4 弹坑参数的近似相似律 .....	102
4.4 地下土石介质中的压缩波 .....	104
4.4.1 一维弹一塑性运动方程组 .....	104
4.4.2 空气冲击波拍打地面所产生的土石介质压缩波 .....	108
参考文献 .....	112
<b>第 5 章 影响冲击波传播的因素</b> .....	113
5.1 爆炸区域的环境条件 .....	113
5.1.1 爆心地域的热空气层 .....	113
5.1.2 爆炸地域的灰砂气团 .....	115
5.2 激波在不同热性质和含尘埃气体中的传播 .....	117
5.2.1 激波在不同性质气体界面的折射、反射 .....	117
5.2.2 含灰砂热空气中的近似激波关系 .....	121
5.3 热空气层对核爆炸冲击波传播的影响 .....	123
5.3.1 冲击波在热空气层中的传播 .....	123
5.3.2 热空气中冲击波参数 .....	128

5.4 激波绕射的近似理论,地形对冲击波传播的影响 .....	130
5.4.1 定常激波绕射理论 .....	130
5.4.2 激波沿有倾(仰)角壁面的运动 .....	136
5.4.3 地形对冲击波传播的影响 .....	138
参考文献 .....	139
<b>第6章 弱冲击波的传播 .....</b>	<b>140</b>
6.1 弱冲击波的特点 .....	140
6.1.1 简单波的传播 .....	140
6.1.2 弱冲击波的衰减 .....	142
6.2 声波近似 .....	146
6.2.1 声线场 .....	146
6.2.2 线性声波在大气中传播 .....	149
6.3 弱冲击波在非均匀大气中的传播 .....	151
6.3.1 含风速变化非均匀大气中弱波的传播 .....	151
6.3.2 非均匀大气弱波相似律 .....	154
6.4 大气环境及其对声线场的影响 .....	155
6.4.1 大气环境参数 .....	155
6.4.2 大气参数对弱波传播的影响 .....	157
6.4.3 声线径迹的分区 .....	159
6.5 弱冲击波沿地面的传播 .....	160
6.6 弱波的聚焦 .....	162
6.6.1 弱波聚焦分类 .....	162
6.6.2 弱波聚焦的声波理论 .....	164
6.6.3 远区弱波的传播 .....	167
参考文献 .....	168
<b>第7章 热辐射迁移理论基础 .....</b>	<b>169</b>
7.1 引言 .....	169
7.2 热辐射基本概念 .....	169
7.3 辐射与物质的相互作用 .....	172
7.4 黑体辐射 .....	176