

《国防科研试验工程技术系列教材》

核试验系统

地下核爆炸现象学概论

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

地下核爆炸现象学概论

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

·北京·

图书在版编目(CIP)数据

地下核爆炸现象学概论.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,2002.2

国防科研试验工程技术系列教材·核试验系统

ISBN 7-118-02690-5

I.地... II.中... III.地下爆炸:核爆炸—地下核爆炸效应—教材 IV.TJ91

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2001)第 077074 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 10 $\frac{3}{4}$ 264 千字

2002 年 2 月第 1 版 2002 年 2 月北京第 1 次印刷

印数:1—1000 册 定价:27.00 元

(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 (以下按姓氏笔划排列)

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 王德芳 李真富 王滨生

主 编 刘晶儒

副 主 编 黄水潮 从 云 曾正中

委 员 林俊德 陈雨生 陈 达 王奎禄

常永福 邱爱慈 刘国治 喻名德

朱双华 陆泉兴 王卫东 胡金清

地下核爆炸现象学概论

上册

主 编 乔登江

编著者 乔登江 韩学安 李如松

主 审 王德芳

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。编著该套系列教材,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 年来的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

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 展新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》、《地下核试验力学与工程》、《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

前 言

核武器封闭式地下爆炸试验,经过可行性研究和地下核试验过技术关的探索后,已成为核武器发展、和平利用核爆炸及其工程技术研究中不可缺少的试验方式。地下核试验的岩石介质环境使得靠近弹体的近区核诊断成为可能,在快速发展的纳秒测量技术、光电技术和数字化等高新技术的支持下,经过千次以上的地下核试验,为核武器设计提供了大量实验室无法获得的信息,大大促进了核武器的研制,使之更加精良和小型化。同时,次数不太多的和平利用的核爆炸试验,也为这项大规模工程技术的实施提供了经验。

在过去的大量的地下核试验中既有成功的经验也有少量失败的教训,通过理论分析、实验室模拟、数值模拟、核试验效应测试和现场观察、分析等多种研究手段的探索,积累了大量的数据、规律性认识和理论。但是,由于爆点周围环境的岩石介质、水文等地质条件的千差万别,再考虑到诸核爆炸过程的不同和施工等人为影响,故而有诸多不确定因素,甚至有些因素没有认识到,都使地下核爆炸某些规律性认识具有较大的不确定度。所以采用地下核爆炸现象学这个专用术语来概括人们对地下核爆炸诸多方面的规律性认识和经验。

近 40 年来,有关地下核爆炸现象学的文献、资料和报道极多,但作为系统的专著却未见过。我们不可能将过去的成果完全加以总结成书,而是根据我国 20 多次地下核试验的成功经验并参考国外的大量信息,使之系统化,编写成这本地下核爆炸现象学概论,它远不能包括所有方面,只能是“概论”而已。

1996 年全面禁止核试验条约(CTBT)在联合国大会通过后,

地下核爆炸的核查已成为亟待发展的技术,而掌握核查技术都必需对核爆炸现象学有所了解,否则难以从物理上掌握这项技术的发展,我们编写这本书的目的之一就是为从事这方面工作的技术人员提供参考。

这本书集中了从事地下核试验事业许多同志多年来的研究成果,也反映了近年来我国从事地震核查技术方面专著的研究成果,在此表示衷心感谢。在书稿的完成过程中得到了许多专家的审议和大力的协助,也深表谢意。

由于作者水平有限,尽管主观上希望编著得尽量完善些,但错误、缺点之处在所难免,诚望读者提出批评和建议,以便修改使之更为完善。

作 者

2001 年 4 月

目 录

第 1 章 绪 论	1
1.1 本书概要	1
1.2 地下核试验技术发展简史	3
1.3 地下核爆炸的毁伤因素	8
1.4 地下核爆炸方式和外观景象	10
1.4.1 地下核爆炸外观景象	10
1.4.2 地下核试验方式概述	14
1.5 地下核试验的功能	17
1.6 地下核试验总体要求	21
参考文献	23
第 2 章 地下爆炸力学	24
2.1 爆炸力学基础	24
2.1.1 应力波	24
2.1.2 固体中冲击波	30
2.1.3 冲击载荷下固体性质	36
2.1.4 流体—弹塑性体	40
2.2 地下核爆炸过程	42
2.2.1 辐射流体力学阶段	42
2.2.2 流体动力学阶段	44
2.2.3 静力学阶段	44
2.2.4 热辐射后效阶段	46
2.3 地下核爆炸基本参数	46
2.3.1 爆炸产物状态方程	46
2.3.2 等熵膨胀曲线	48
2.4 地下核爆炸的数值模拟	49

2.4.1	计算模型	49
2.4.2	基本方程组	50
2.4.3	计算结果的简单分析	58
2.5	地下核爆炸的冲击波或应力波传播	62
2.5.1	爆室对岩石中冲击波及应力波传播的影响	63
2.5.2	影响应力波的因素	68
2.5.3	地下核爆炸相似律及应力波的经验关系	70
2.5.4	CORTEX 方法测量冲击波传播	77
2.6	空腔形成及尺度	80
2.6.1	数值模拟方法对空腔的研究	81
2.6.2	空腔半径的经验关系	83
2.6.3	空腔稳定时的压力	85
2.7	烟囱形成及尺度	86
2.7.1	烟囱的形成	86
2.7.2	烟囱的形状和大小	87
2.7.3	空腔和烟囱中的物质分布	88
	参考文献	90
第3章	地下核试验堵塞力学	92
3.1	安全埋深	92
3.1.1	试验埋深和最小抵抗线	92
3.1.2	安全埋深	92
3.1.3	安全埋深的选取	94
3.1.4	松动爆炸的埋深选取	96
3.2	平洞核试验中封闭堵塞力学	97
3.2.1	地下核试验中自封机制及其应用	97
3.2.2	平洞核试验坑道类型及其回填堵塞	99
3.2.3	防护密闭门设置和人工通道堵塞	102
3.2.4	平洞核试验坑道封闭堵塞技术应用	103
3.2.5	小当量试验的封闭堵塞	105
3.3	竖井核试验中回填堵塞力学	106
3.3.1	竖井核试验概况	106
3.3.2	竖井核试验的特点	107

3.3.3 安放井回填堵塞	107
3.3.4 回填材料	113
3.4 堵塞力学的数值模拟	116
3.4.1 竖井堵塞一、二维耦合数值模拟	116
3.4.2 直坑道堵塞封闭的数值研究	127
3.4.3 直坑道分段堵塞封闭的数值研究	129
3.5 管道射流	132
3.5.1 射流扩孔效应	132
3.5.2 管道射流的走时关系及其相似律	135
3.5.3 射流的阻滞	138
3.6 管道射流的数值模拟	139
3.6.1 一维管道射流数值模拟	139
3.6.2 管道射流的一、二维耦合计算	144
3.7 地下核试验安全保障技术	147
3.7.1 试验地质条件	147
3.7.2 管道封闭措施	149
参考文献	151
第4章 地运动	153
4.1 地运动及其参数变化规律	153
4.1.1 岩石自由场地运动参数变化规律	154
4.1.2 地表面地运动参数变化规律	157
4.1.3 坑道底面地运动参数	163
4.2 地面及浅层地下核爆炸的成坑效应	164
4.2.1 弹坑的一般描述	164
4.2.2 成坑试验简介	166
4.2.3 弹坑参数的相似律	167
4.3 地表剥离破坏	174
4.3.1 地表剥离的机理	175
4.3.2 地表剥离测量结果	178
4.3.3 地表剥离效应的宏观现象	181
4.4 地运动对地质构造的影响	182
4.5 爆炸零点地表运动	183

4.5.1 观察实况	183
4.5.2 粗略分析	185
4.6 地表尘柱和浮土运动	186
参考文献	189
第5章 爆心周围岩石和坑道破坏	190
5.1 爆炸对围岩破坏	190
5.2 围岩的破坏分区	192
5.2.1 围岩破坏分区和试验结果	193
5.2.2 围岩破坏分区特征	193
5.3 坑道破坏及其分区	195
5.3.1 坑道破坏分区	196
5.3.2 坑道破坏分区分布	197
5.4 地表破坏	198
5.4.1 竖井核爆炸时地表破坏	199
5.4.2 平洞核爆炸地(山)表破坏	200
5.5 核爆炸地域的地震烈度和安全边界	201
5.5.1 地震烈度	201
5.5.2 安全边界	202
参考文献	204
第6章 核爆炸地震	205
6.1 地震学基础	205
6.1.1 地震	205
6.1.2 地震波的传播	206
6.1.3 弹性波在界面折射、反射和掠射	213
6.2 震相分析	217
6.2.1 近震、区域震震相	218
6.2.2 远震震相	220
6.3 震源、地震矩张量、震级	222
6.3.1 地震矩张量	222
6.3.2 震级及其与当量的关系	226
6.4 地下核爆炸近震	229

6.4.1 典型地震图	229
6.4.2 核爆炸地震基本特征及其与其它震源地震的差异	232
6.4.3 矩张量反演中的震源	235
6.5 核爆炸区域震和远震	236
6.5.1 远震震相和振幅随震中距的衰减	236
6.5.2 核爆炸和天然远震记录	236
6.6 地下核爆炸的地震核查及逃避技术	241
6.6.1 地震核查	241
6.6.2 逃避技术、解耦爆炸	247
6.7 余震	251
6.7.1 天然地震的余震	251
6.7.2 核爆炸余震	253
6.7.3 余震频数的衰减机理	258
参考文献	260
第7章 地下核爆炸零点地域物性和地表物理场的变化	261
7.1 岩石的物性	261
7.1.1 岩石的致密性和力学性质	261
7.1.2 岩石的物性参数	264
7.2 岩石在加卸载作用下岩石物性的变化、核爆空腔 周围岩石物性	268
7.2.1 岩石在加卸载作用下物性变化	268
7.2.2 空腔周围岩石的物性	270
7.3 爆心附近地域和零点地表的温度场	278
7.3.1 空腔的初始热力学状态	278
7.3.2 空腔的冷却	280
7.3.3 零点附近地表的温度场	287
7.3.4 围岩内温度场	291
7.4 爆炸零点地域及地表的性质	292
7.4.1 爆炸前后岩石介质的物理状态及其对电阻率的影响	292
7.4.2 核爆炸前后围岩视电阻率的变化	294
7.5 爆后零点地域的放射性核素、放射性气体和大气 成分异常	298