

《国防科研试验工程技术系列教材》

核试验系统

地下核爆炸及其应用

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

地下核爆炸及其应用

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

地下核爆炸及其应用/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, 2002.6

国防科研试验工程技术系列教材·核试验系统
ISBN 7-118-02832-0

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

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2002)第 018763 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 12 % 326 千字

2002 年 6 月第 1 版 2002 年 6 月北京第 1 次印刷

印数:1—1000 册 定价:31.00 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 峰 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

地下核爆炸及其应用

编 著 郝保田
主 审 乔登江

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

前 言

本书主要根据我国核试验取得的成果,在较系统地总结了地面、地下核爆炸力学现象基本规律的基础上,参考了美国和苏联的有关资料编写而成。本书较详细地给出了地下核爆炸的数值模拟方法,并较详细地分析了一些地下核爆炸现象的基本规律,总结出了一些近似计算公式,是一本较详细的地下核爆炸力学参考书。本书不但对参加核试验工作的同志有参考价值,而且对从事核武器使用和安全防护方面的技术工作者也有参考价值。

目前,由于国内外尚缺乏系统地介绍地下核爆炸及其应用的参考资料,所以在编写过程中,本书力求较系统地介绍地下核爆炸产生的一些物理力学现象的基本概念和参数规律及研究方法,同时也给出了一些典型的计算实例。本书在编写过程中,收集了 20 世纪 90 年代末国内外发表的 latest 资料,并参考了国内许多研究者未发表的研究成果。本书内容反映了该领域国内外的最新研究成果,包含了作者多年的研究工作。

本书在编写过程中,参考了国内许多研究者未发表的内部资料,所以在参考文献中未列出。编者在此深表歉意和致谢。

本书由中国工程院乔登江院士审阅,并提出了一些宝贵的意见;有关领导和机关的同志们给予了很大的支持和帮助;国防工业出版社给予了大力支持,谨致深切的谢意。

地下核爆炸及其应用不但涉及的面很宽,而且有些物理力学现象是较复杂的,尽管在编写过程中做了努力,但仍不免存在许多缺点和错误,恳请各级领导、专家和广大读者批评指正。

作 者

内 容 简 介

本书以地下核试验的物理概念、物理基础和数值模拟方法为重点,根据我国核试验取得的成果,较系统地总结了地面、地下核爆炸力学的基本规律,参考了美国 and 苏联的有关资料,通过数值模拟和理论分析给出了不同爆炸条件下的力学基本规律。

全书共 10 章,包括地下核试验概述;封闭式地下核爆炸;表面和表面以下核爆炸的地冲击效应;通爆室管道(或坑道)的扩孔射流;地下核试验的回填堵塞及安全自封;地下核爆炸的地震效应;地下核爆炸的放射性;地下核爆炸的化爆模拟试验;地下核爆炸在石油工业中的应用;核爆炸在工业和大型民用建筑及科学研究中的应用。

本书不但对参加核试验的同志有重要参考价值,而且对核武器使用和安全防护方面的技术工作者及研究生也有重要参考价值。

《国防科研试验工程技术系列教材· 核试验系统》编审委员会

编号	教材名称
6-1	核爆炸物理概论 上册
6-2	核爆炸物理概论 下册
6-3	地下核爆炸现象学概论 上册
6-4	地下核爆炸现象学概论 下册
6-5	地下核爆炸及其应用
6-6	射线脉冲测量技术
6-7	核试验核素测量技术
6-8	地下核爆炸力学与试验工程
6-9	核试验控制技术
6-10	地下核试验工程学基础
6-11	核试验地质学
6-12	核试验核查技术
6-13	放射性污染调查与核环境整治
6-14	核爆炸效应及模拟技术
6-15	准分子激光技术及其应用
6-16	高功率微波效应导论
6-17	脉冲功率技术

目 录

第 1 章 地下核试验概述	1
1.1 核试验概况	1
1.1.1 核试验概况简介	1
1.1.2 核试验方式的演变	2
1.1.3 各国的试验场简介	4
1.2 进行地下核试验的条件	6
1.2.1 地下核试验的场地和地质条件的一般要求	6
1.2.2 岩石性质、地质条件对试验安全的影响	7
1.2.3 气象条件	11
1.3 地下核爆炸的物理过程概述	12
1.3.1 地下核爆炸反应过程概述	12
1.3.2 在地下空腔中爆炸早期的辐射流体动力学过程	14
参考文献	17
第 2 章 封闭式地下核爆炸	18
2.1 试验性封闭式地下核爆炸的安全埋深	18
2.1.1 爆炸当量	18
2.1.2 安全埋深	18
2.2 封闭式地下核爆炸的应力波	26
2.2.1 地下核爆炸爆室内的初始压力和温度	27
2.2.2 岩石介质中的应力波参数	28
2.3 应力波对岩石介质的破坏效应	60
2.3.1 应力波对岩石介质破坏的分区	62
2.3.2 地面剥离破坏区	63
2.3.3 地下核爆炸应力波对地下坑道的破坏效应	69
2.4 空腔、烟囱的形成及其物理化学特性	73

2.4.1 空腔的形成及温度和压力	73
2.4.2 烟囱的形成过程及烟囱中的物质分布	88
参考文献	92
第3章 表面和表面以下核爆炸的地冲击效应	93
3.1 表面和表面以下地下浅层核爆炸	93
3.1.1 地下浅层核爆炸的临界埋深	93
3.1.2 空气冲击波	94
3.2 地面和地下核爆炸的弹坑	96
3.2.1 弹坑的形成	96
3.2.2 弹坑尺寸的比例定律	97
3.2.3 弹坑的大小	100
3.2.4 弹坑抛出物	103
3.2.5 地质因素对弹坑的影响	104
3.3 表面爆炸的地冲击波参数	105
3.3.1 表面爆炸耦合到地下的能量	105
3.3.2 表面爆炸岩土中地冲击波参数	107
参考文献	119
第4章 通爆室管道(或坑道)的扩孔射流	121
4.1 通爆室管道(或坑道)的扩孔射流现象	121
4.2 通爆室管道(或坑道)扩孔射流冲击波的传播规律	125
4.2.1 管道扩孔射流冲击波的数值模拟	125
4.2.2 管道中射流冲击波的相似律	134
4.2.3 管道中射流冲击波参数规律	137
4.3 流入管道中的能量	139
4.4 管道的封闭措施	143
4.4.1 管口封闭型管道的自封	143
4.4.2 具有特殊自封装置的管道	145
4.4.3 利用特殊形式的管道(或坑道)消减射流冲击波 进行封闭	147
参考文献	153
第5章 地下核试验的回填堵塞及安全自封	154
5.1 平洞试验坑道的回填堵塞及安全自封	154

5.1.1 鱼钩形坑道的回填堵塞及安全自封	155
5.1.2 直坑道的分段回填堵塞及安全自封	157
5.1.3 带管道直坑道的堵塞及自封	163
5.1.4 圆锥形管道(或坑道)的自封	166
5.2 竖井方式地下核试验井筒的回填堵塞	170
5.2.1 核试验井筒的回填堵塞方式	170
5.2.2 和平利用核爆炸试验中的堵塞方式	174
5.2.3 井筒回填堵塞自封设计	182
5.3 回填堵塞中应注意的几个问题	208
5.3.1 回填堵塞材料的特性	208
5.3.2 必须重视回填堵塞方案的审查和技术研究	211
5.3.3 井下系统的保护问题	212
5.3.4 要注意人为通道的回填堵塞防止泄漏	212
参考文献	213
第6章 地下核爆炸的地震效应	214
6.1 地震波的形成及传播特性	214
6.2 地下核爆炸的震级	220
6.2.1 地下核爆炸的震级	220
6.2.2 地震波的能量	221
6.2.3 岩石介质的性质对震级的影响	223
6.2.4 爆室大小对震级的影响	224
6.3 地面地震波参数	226
6.3.1 地面地震波的衰减特性	226
6.3.2 地面峰值质点速度的变化规律	227
6.3.3 地面峰值质点加速度的变化规律	229
6.3.4 地面质点的位移	230
6.3.5 岩石介质的性质对地震波参数的影响	232
6.4 地下核爆炸的地震效应	234
6.4.1 地下核爆炸的烈度分布	234
6.4.2 人员的地震效应和安全标准	243
6.4.3 设备的地震效应及减震措施	248
6.5 地下核爆炸与地震	254

6.5.1 地下核爆炸产生的余震	254
6.5.2 地下核爆炸激发天然地震的问题	255
6.6 地下核爆炸的地震核查	257
6.6.1 地下核爆炸的地震核查技术发展概述	257
6.6.2 地震核查技术的现状与展望	260
6.7 地下核爆炸逃避地震核查的技术	270
6.7.1 利用不同的多个爆炸改变地震波波形	271
6.7.2 在地震多发区域内进行试验,利用地震信号 掩盖爆炸的地震信号	272
6.7.3 使爆炸产生的地震信号保持在大地球干扰背景 水平之下	273
6.7.4 利用空腔解耦技术	274
参考文献	297
第7章 地下核爆炸的放射性	298
7.1 核爆炸放射性的产生及其特征	298
7.1.1 核裂变反应	298
7.1.2 核聚变反应	301
7.1.3 中子活化产物	302
7.1.4 剩氚和核装料未裂变部分的活性	303
7.2 封闭式地下核爆炸的放射性分布	304
7.2.1 玻璃体区	304
7.2.2 碎石区	305
7.2.3 泄漏到大气中的放射性	306
7.3 放射性封闭及泄漏	308
7.4 地下水的放射性污染	312
7.5 浅埋核爆炸造成的放射性污染	314
7.6 减少放射性污染危害的可能措施	317
参考文献	318
第8章 地下核爆炸的化爆模拟试验	319
8.1 地下核爆炸应力波参数的模拟	319
8.1.1 地下化爆应力波参数规律的数值模拟	319
8.1.2 化爆模拟核爆炸的有效当量系数	324