

声，武器和测量

肖峰 李惠星 著

Sound,
Weapons and
Measurements

国防工业出版社

声,武器和测量

Sound, Weapons and Measurements

肖 峰 李惠昌 著

国防工业出版社

·北京·

图书在版编目(CIP)数据

声,武器和测量/肖峰,李惠昌著.—北京:国防工业出版社,2002.1

ISBN 7-118-02652-2

I. 声... II. ①肖...②李... III. 声学测量—应用—军事工程 IV. E912

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2001)第 065012 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)

三河市腾飞胶印厂印刷

新华书店经售

*

开本 850×1168 1/32 印张 9% 245 千字

2002 年 1 月第 1 版 2002 年 1 月北京第 1 次印刷

印数:1—1500 册 定价:22.00 元

(本书如有印装错误,我社负责调换)

致 读 者

本书由国防科技图书出版基金资助出版。

国防科技图书出版工作是国防科技事业的一个重要方面。优秀的国防科技图书既是国防科技成果的一部分,又是国防科技水平的重要标志。为了促进国防科技和武器装备建设事业的发展,加强社会主义物质文明和精神文明建设,培养优秀科技人才,确保国防科技优秀图书的出版,原国防科工委于1988年初决定每年拨出专款,设立国防科技图书出版基金,成立评审委员会,扶持、审定出版国防科技优秀图书。

国防科技图书出版基金资助的对象是:

1. 在国防科学技术领域中,学术水平高,内容有创见,在学科上居领先地位的基础科学理论图书;在工程技术理论方面有突破的应用科学专著。

2. 学术思想新颖,内容具体、实用,对国防科技和武器装备发展具有较大推动作用的专著,密切结合国防现代化和武器装备现代化需要的高新技术内容的专著。

3. 有重要发展前景和有重大开拓使用价值,密切结合国防现代化和武器装备现代化需要的新工艺、新材料内容的专著。

4. 填补目前我国科技领域空白并具有军事应用前景的薄弱学科和边缘学科的科技图书。

国防科技图书出版基金评审委员会在总装备部的领导下开展工作,负责掌握出版基金的使用方向,评审受理的图书选题,决定资助的图书选题和资助金额,以及决定中断或取消资助等。经评审给予资助的图书,由总装备部国防工业出版社列出版。

IV

国防科技事业已经取得了举世瞩目的成就。国防科技图书承担着记载和弘扬这些成就,积累和传播科技知识的使命。在改革开放的新形势下,原国防科工委率先设立出版基金,扶持出版科技图书,这是一项具有深远意义的创举。此举势必促使国防科技图书的出版随着国防科技事业的发展更加兴旺。

设立出版基金是一件新生事物,是对出版工作的一项改革。因而,评审工作需要不断地摸索、认真地总结和及时地改进,这样,才能使有限的基金发挥出巨大的效能。评审工作更需要国防科技和武器装备建设战线广大科技工作者、专家、教授,以及社会各界朋友的热情支持。

让我们携起手来,为祖国昌盛、科技腾飞、出版繁荣而共同奋斗!

**国防科技图书出版基金
评审委员会**

国防科技图书出版基金 第四届评审委员会组成人员

名誉主任委员	陈达植				
顾问	黄宁				
主任委员	殷鹤龄				
副主任委员	王峰	张涵信	张又栋		
秘书长	张又栋				
副秘书长	崔士义	蔡镭			
委员	于景元	王小谟	甘茂治	冯允成	
(按姓名笔画排序)	刘世参	杨星豪	李德毅	吴有生	
	何新贵	佟玉民	宋家树	张立同	
	张鸿元	陈火旺	侯正明	常显奇	
	崔尔杰	彭华良	韩祖南	舒长胜	

前 言

本书是军用声学在军事工程方面若干应用的著作。

科学技术的发展,一方面是分工和细化;声学作为物理学的一个分支,逐渐发展、分离为一门独立的学科就是如此。另一方面,近代科学更为重要的趋势就是相互渗透。诚如控制论的奠基人维恩所言:“现代科学技术的发展,应该在各门科学的接触点上期待最大成果。”军用声学就是这种互相渗透的结果,它不仅涉及军用武器、声学本身,而且涉及机、光、电学科,涉及计算机技术等。

国内外着眼于潜艇、鱼雷以及声呐系统的水声学研究历经数十年,已有不少论文和专著发表;然而在军用声学的其它领域,其论著尚不多见。在此,笔者积 30 年武器声学测量、应用之经验,积近年探讨声学武器之所得,主要以多项曾获国家级、部级奖的科研成果和几十篇有关论文为基础,结合军用声学的发展趋势,加以系统整理,撰写本书。诚望对读者有所启迪,有所帮助,并共同促使军用声学更为充实、更快地发展。

本书主要从工程技术,从国防应用,从学科交叉的角度论述,着重思路的新颖性、方法的科学性、技术的先进性和实用性。第一章以实测数据为依据,介绍了枪、炮、飞机和坦克等武器在空气介质中的一些特有声波。第二章围绕弹头波以几个科研成果为背景,论述了声学的目标定位方法和布阵技术等,其应用对象有枪、炮、反巡航导弹等。第三章讨论了爆炸波的应用,内容涉及平面炸点定位、炮兵阵地声测距,空中目标报靶系统,火箭炸高测量。第四章从枪炮脉冲噪声特性出发,重点论述如何根据测量要求研制特有的传感器和仪表。近年来数据的记录和采集广泛采用数字化仪器。第五章所阐述的数字化仪器动态校准技术是国内外广泛关

注的热门课题。第六章的声学非致命武器是一种新原理、新概念的武器,虽然各种强噪声弹、次声武器仍在探讨之中,但已对传统的武器概念提出挑战。第七章声学礼炮弹和礼炮作为欢迎国宾的礼具,是一种利用声学原理产生百炮齐鸣的礼炮模拟效果,安全而无污染。第八章简要地介绍了非空气介质,如生物介质、水下、枪管内武器所产生或传播的声波及其应用,指明军用声学广泛的应用前景。

本书内容新颖、实用,涉及范围广,与国防科技密切结合,反映了有关领域的最新成果。它不仅为从事声学、武器研制、武器性能测试的科研人员提供了一本有价值的参考书,也可供高等学校有关专业的师生参考。从事武器装备的管理人员和关心国防现代化的广大读者,将会发现它也是一本令人感兴趣的可读之物。

多年来国内外学者为军用声学的发展作出了不懈的努力,对他们的卓越工作,在此表示深深的敬意。我们也特别感谢一直与我们良好协作的中国科学院声学所,感谢为本书提供宝贵资料的同事。对鼓励本书出版的朵英贤院士,对审阅本书和提供帮助的盛才伦研究员、元天佑研究员、杨海升研究员、穆允金研究员、张彦臣高级工程师,对进行计算、绘图的高德香工程师,对热诚指导本书修改的杜豪年编审等,我们将铭记他们的赤诚之意、感谢他们的帮助之情。

作者 谨识

2001年5月于北京

目 录

第一章 武器中的声	1
1.1 声无处不在,是信息的主要载体	1
1.2 武器中特有的声波	4
1.2.1 枪炮膛口周围的冲击波声压场	4
1.2.2 弹头波和飞机轰鸣声	7
1.2.3 爆炸波	10
1.2.4 坦克行驶噪声和目标识别	13
1.3 从频率域看武器中声波的特征	14
第二章 弹头波和声定位	17
2.1 声学精度靶	17
2.1.1 弹头波对金属杆的作用	17
2.1.2 声测位杆确定立靶坐标	20
2.1.3 提高时差的测量精度	22
2.1.4 枪炮连发射击时弹序识别技术	24
2.1.5 四点阵定位	26
2.1.6 地面布阵的声学精度靶	28
2.1.7 声学精度靶的误差分析	31
2.1.8 斜入射系统误差修正	33
2.2 反巡航导弹声学监测系统	37
2.2.1 巡航导弹的目标特性和声学监测	37
2.2.2 用声强测量抑制声干扰	40
2.2.3 巡航导弹的“声指纹”	42
2.2.4 单个声学监测站的工作原理	45
2.2.5 预警时间与布阵	47
2.3 弹丸飞行速度测量的声学方法	50
2.3.1 用传声器作为声学测速靶	51

2.3.2 声学测速靶的主要缺陷及其改进措施	56
第三章 爆炸波的应用	59
3.1 平面炸点定位	59
3.1.1 平面波假设的提出	59
3.1.2 定方位角	61
3.1.3 强噪声背景上求时差	65
3.1.4 交会定炸点坐标	67
3.1.5 平面波假设修正	68
3.2 炮兵阵地声测距中影响声学定位的复杂因素	71
3.2.1 炮兵阵地声测距系统	72
3.2.2 风速、温度等的影响	74
3.2.3 定位误差的实验结果	78
3.3 武器射击脱靶量测量	81
3.3.1 测量要求及可能的技术途径	82
3.3.2 武装直升机射击时空对地脱靶量测量	84
3.3.3 拖靶运动时脱靶量测量	86
3.3.4 高炮脱靶矢量测量	91
3.4 火箭炸高测量:声学定位中的共性问题	95
3.4.1 声信号的正确提取	95
3.4.2 正、负时间差测量	96
3.4.3 数据的采集和记录	99
第四章 枪炮脉冲噪声和冲击波测量	104
4.1 枪炮噪声的安全标准	104
4.1.1 安全标准	104
4.1.2 稳态噪声与脉冲噪声	106
4.2 声学特性与测量要求	110
4.2.1 从空间域看枪炮脉冲噪声和冲击波	110
4.2.2 A持续时间和B持续时间	113
4.2.3 对测量系统的要求	114
4.3 高声压宽频带驻极体电容传声器	118
4.3.1 电容传声器	119
4.3.2 关键技术	121

4.3.3 性能检定	124
4.4 枪炮脉冲噪声与冲击波测试仪	125
4.4.1 声学测量的特点	126
4.4.2 噪声测量的频率计权	127
4.4.3 用软件实现时间计权	131
4.4.4 多功能声级计	134
第五章 声测量的校准	138
5.1 计量学对声测量校准的要求	138
5.1.1 计量学和校准	138
5.1.2 校准的进行	140
5.1.3 溯源性	141
5.2 传声器校准	143
5.2.1 武器声测量中传声器的主要特征	143
5.2.2 主要校准方法	145
5.2.3 校准、安装和使用	150
5.3 数字化电测仪器的动态校准	153
5.3.1 模拟式电测仪器和动态校准	153
5.3.2 数字化仪器动态校准的特点	155
5.3.3 动态校准新原理	157
5.3.4 几个技术关键	160
5.3.5 减小动态校准过程中误差	165
第六章 声学非致命武器	170
6.1 非致命武器的提出背景	170
6.2 强噪声非致命武器	172
6.2.1 强噪声生物效应	172
6.2.2 炸药爆炸冲击波对人体的损伤	177
6.2.3 强噪声弹	180
6.3 云爆弹	185
6.3.1 气液两相爆轰	185
6.3.2 云爆弹的特点	189
6.3.3 非致命云爆弹设计	194
6.4 次声武器	198

6.4.1 次声的生物效应	199
6.4.2 以火炸药作为能源的次声枪炮	201
6.4.3 次声武器的柬束定向传播	204
第七章 声学礼炮弹和礼炮	211
7.1 礼炮的结构特点简介	211
7.2 礼炮弹的结构及声学设计	213
7.2.1 空包弹式结构礼炮弹	213
7.2.2 1986 年式礼炮弹	215
7.3 礼炮系统的声学性能	220
7.3.1 炮管内气流参数的理论计算	221
7.3.2 声压级计算	227
7.3.3 声频率和声脉冲持续时间	228
7.3.4 远场声响	231
7.3.5 齐放声响	234
7.3.6 声学性能测试	235
7.4 炮手的安全性及对周围建筑物的影响	239
7.4.1 炮手的安全性	239
7.4.2 对周围建筑物的影响	242
7.5 对大气环境的污染问题	243
第八章 武器产生的声波在非空气介质中的传播和应用	246
8.1 弹丸在生物中的声学效应	246
8.1.1 弹丸在生物体内的压力波	246
8.1.2 压力波引起的生物致伤效应分析	250
8.2 水下弹道	251
8.2.1 物体在水中高速运动所引起的非线性现象	251
8.2.2 向水下射击的实验研究	255
8.2.3 弹丸的水下运动	260
8.3 固体中的声波和它的应用	264
8.3.1 爆炸波测量的压杆传感器的声学特性	264
8.3.2 枪炮连续射击时身管应变及测量	272
8.4 其它	279
附录 A 声压级的单位换算	284

A.1 声压单位换算	284
A.2 声压级	284
附录 B IEC651 - 1979 声级计标准中关于各类计权特性	285
参考文献	286

Contents

Chapter 1 Sound in Weapons	1
1.1 Omnipresent Sound, and Main Carrier for Information	1
1.2 Special Sound Waves in Weapons	4
1.2.1 Acoustic Pressure Field of Shock Wave around Gun Muzzle	4
1.2.2 Ballistic Waves from Projectiles and Sonic Booms from Aircraft	7
1.2.3 Explosion Waves	10
1.2.4 Noise in Going Tank, and Identification of the Objective	13
1.3 View on Weapons Sonic Specialty from Frequency Domain	14
Chapter 2 Ballistic Waves from Projectiles, and Acoustic Location	17
2.1 Acoustic Target of Shot Position	17
2.1.1 The Effect of Ballistic Waves on Metal Rod	17
2.1.2 Determination of Shot Position by Acoustic Location Rod	20
2.1.3 Improve on Accuracy of Time – Interval Measurement	22
2.1.4 Identification of Projectiles Order for Gun Automatic Fire	24
2.1.5 Location by Four – Points Lattice	26
2.1.6 Acoustic Target of Shot Position in Ground's Lattice	28
2.1.7 Error Analysis for Acoustic Target of Shot Position	31
2.1.8 System Error Revise for Oblique Shot	33
2.2 Acoustic Monitor System against Cruise Missile	37
2.2.1 Objective Specialty of Cruise Missile, and Acoustic Monitor System	37

2.2.2	Restrain Sonic Disturbance by Sound Intensity Measurement	40
2.2.3	"Sonic Fingerprint" of Cruise Missile	42
2.2.4	Operational Principle for a Acoustic Monitor Station	45
2.2.5	Early - Warning Time and Arrangement of Lattices	47
2.3	Acoustic Method for Projectiles Velocity	
	Measurement	50
2.3.1	As Acoustic Measure - Velocity Transducer by Microphones	51
2.3.2	Major Defect of Acoustic Measure - Velocity Transducer, and Improvement Means	56
Chapter 3	Application of Explosion Waves	59
3.1	Locating Techniques for Explosion Point in Horizontal Plane	59
3.1.1	Assumption of Plane Waves	59
3.1.2	Determination of Directional Angles	61
3.1.3	Determination of Time - Interval in Strong Environmental Noise	65
3.1.4	Determination of Explosion Position by Cross - Meet Method	67
3.1.5	Revise for Assumption of Plane Waves	68
3.2	Complicated Factor of Inductive Acoustic Location in Sound Ranging of Artillery Position	71
3.2.1	Sound Ranging System of Artillery Position	72
3.2.2	Influence of Wind - Velocity and Temperature	74
3.2.3	Experimental Result of Location Error	78
3.3	Measurement of Miss Distance for Gunnery Training	81
3.3.1	Measured Demand, and Probable Technical Way	82
3.3.2	Measurement of ATG Miss Distance for Armed Helicopter Firing	84
3.3.3	Measurement of Miss Distance for Dragged Target Moving	86
3.3.4	Vector Scoring of Miss Distance for Antiaircraft Gun	91
3.4	Burst Height Ranging of Rocket: General Technique for Acoustic Location	95
3.4.1	Proper Pickup of Sound Signal	95

3.4.2 Measurement of Positive or Negative Time-Interval	96
3.4.3 Data Acquisition and Log	99

Chapter 4 Measurement of Gun Impulse Noise and Shock

Wave	104
4.1 Safe Standards of Gun Impulse Noise	104
4.1.1 Safe Standard	104
4.1.2 Stationary Noise and Impulse Noise	106
4.2 Acoustic Specialty and Measured Demand	110
4.2.1 View on Gun Impulse Noise and Shock Wave from Space Domain	110
4.2.2 A-Duration Time and B-Duration time	113
4.2.3 Demands for Measured System	114
4.3 Pre-polarized Condenser Microphone of High Level and High Frequency	118
4.3.1 Condenser Microphone	119
4.3.2 Key Techniques	121
4.3.3 Property Verification	124
4.4 Measurement Instrument of Gun Impulse Noise and Shock Wave	125
4.4.1 Characteristics of Acoustic Measurement	126
4.4.2 Frequency Weighting Networks of Noise Measurement	127
4.4.3 Time Weighting Networks by Software	131
4.4.4 Multifunction Sound Level Meter	134

Chapter 5 Calibration of Acoustic Measurement 138

5.1 Demand of Metrology for Calibration of Acoustic Measurement	138
5.1.1 Metrology and Calibration	138
5.1.2 Implementation of Calibration	140
5.1.3 Traceability	141
5.2 Calibration of Microphone	143
5.2.1 Main Characteristics of Microphone for Weapon Acoustic	

Measurement	143
5.2.2 Main Method of Calibration	145
5.2.3 Calibration, Installation and Operation	150
5.3 Dynamic Calibration of Digital Electronic Instrument	153
5.3.1 Analog Electronic Instrument and Dynamic Calibration	153
5.3.2 Characteristics of Dynamic Calibration for Digital Electronic Instrument	155
5.3.3 New Principles of Dynamic Calibration	157
5.3.4 Several Technical Key	160
5.3.5 Reduce Error of Dynamic Calibrating	165
Chapter 6 Acoustic Nonlethal Weapons	170
6.1 Production Background of Nonlethal Weapon	170
6.2 Nonlethal Weapon of Blast Sound	172
6.2.1 Biological Injury of Overpressure Noise	172
6.2.2 Injury on Human Body by Explosion Waves	177
6.2.3 Bomb of Overpressure Noise	180
6.3 Fuel Air Explosive Bomb	185
6.3.1 Detonation of Two Phase for Gas and Liquid	185
6.3.2 Characteristics of FAE Bomb	189
6.3.3 Design of Nonlethal FAE Bomb	194
6.4 Infrasonic Weapon	198
6.4.1 Biological Injury of Infrasonic Sound	199
6.4.2 Infrasonic Gun, Taking Explosion as Energy Resources	201
6.4.3 Convergent Directive Propagation of Infrasonic Weapon	204
Chapter 7 Acoustic Saluting Shell and Salute	211
7.1 Structure Characteristics of Saluting Gun	211
7.2 Basic Structure of Saluting Shell, and Acoustic Design	213
7.2.1 Saluting Shell as Blank Cartridge	213
7.2.2 Saluting Shell Type 1986	215
7.3 Acoustic Properties of Salute System	220
7.3.1 Calculation in Theory for Stream Field Parameters in Bore	221