

枪炮噪声与爆炸声 的特性和防治

王秉义 著

GUN MUZZLE NOISE & EXPLOSIVE SOUND
—Characteristics, Protection and Control

枪炮噪声与爆炸声的特性和防治

GUN MUZZLE NOISE & EXPLOSIVE SOUND

——Characteristics, Protection and Control

王秉义 著

国防工业出版社

·北京·

图书在版编目(CIP)数据

枪炮噪声与爆炸声的特性和防治/王秉义著. —北京:
国防工业出版社, 2001. 1

ISBN 7-118-02331-0

I. 枪... II. 王... III. ①枪械-噪声-防治②火炮-
噪声-防治③爆炸-噪声-防治 IV. TJ011

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2000)第 31940 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 6 $\frac{1}{4}$ 169 千字

2001 年 1 月第 1 版 2001 年 1 月北京第 1 次印刷

印数: 1—1500 册 定价: 17.00 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选出版。

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 第三届评审委员会组成人员

名誉主任委员 怀国模

主任委员 黄 宁

副主任委员 殷鹤龄 高景德 陈芳允 曾 铎

秘 书 长 崔士义

委 员 于景元 王小谟 尤子平 冯允成

(以姓氏笔划为序)

刘 仁 朱森元 朵英贤 宋家树

杨星豪 吴有生 何庆芝 何国伟

何新贵 张立同 张汝果 张均武

张涵信 陈火旺 范学虹 柯有安

侯正明 莫梧生 崔尔杰

前 言

枪炮噪声和爆炸声以其突发的短促巨响常给人们以强烈的震撼,在现代常规武器的射击场地和爆炸点周围,这种强脉冲声可达 170 多分贝甚至 180 分贝以上,这对周围人员的安全和声环境十分有害。同时,在战时还会暴露自己的阵地和妨碍通信。

从我国古代发明黑火药和利用火药制成武器时起,这种强大的脉冲声就伴随而来。在我国古代的南宋,有一种名叫“震天雷”的火炮,就以发射炮弹的巨响来杀伤和威慑敌人。到了近代,随着火炸药在军事、工业上的广泛利用和常规武器威力的不断增强,强脉冲噪声更加引人关注,一声短促的巨响致人全聋的事例屡有发生。由于强脉冲噪声特殊的物理属性,它与稳态噪声有很大的不同,其评价方法复杂,参量测试技术也要求很高。因此,枪炮噪声的研究虽然始于 20 世纪 40 年代,但在 60 年代以前还没有较系统的研究。

到 60 年代中期以后,由于军事上的需要和技术条件的成熟,美英等国先后开展了枪炮噪声声源性质、生理效应、评价方法以及测试技术等方面的研究。例如,1967 年英国的科尔斯(Coles·R)和美国的格林瑟(Garinther·G·R)等人,关于脉冲噪声暴露对听力损伤危险的评定和测试方法的研究,其研究成果成为制定美国陆军脉冲噪声标准(CHABA 标准)的基础。又如 1967 年美国斯科克(Skochko·L·W)等关于轻武器噪声源的研究,1973 年美国斯科莫尔(Schomer·P·D)等关于火炮噪声超压及指向性的研究,以及贝克(Baker·W·E)、韦斯廷(Westine·P·S)等对火箭和无后坐炮的噪声源研究等。除此以外,国外还有不少与枪炮噪声源有关的膛

口射流结构和冲击波的研究,如美国陆军弹道研究所(BRL)施密特(E.M.Schmidt)关于膛口射流结构与冲击波的形成与发展的实验研究,英国史密斯(F·Smith)关于火炮冲击波与爆炸 Δ 型的理论研究,以及苏联奥尔洛夫(Б.В.Орлов)关于火炮戴与不戴膛口装置时的炮口波超压的研究等。

我国对枪炮脉冲噪声和爆炸声的研究主要始于 20 世纪的 70 年代末,由国防科工委三十一试验基地、中科院声学研究所和中科院上海生理研究所等单位联合研究的“常规兵器发射或爆炸时压力波对人体作用的安全标准”,该项目以大量实验为基础,研究枪炮噪声和爆炸声对听觉器官的损伤规律和安全评价方法,该研究成果成为了我国第一个关于枪炮噪声和爆炸声方面的国家军用标准(GJB 2—82)。此外与枪炮噪声源研究有密切关系的,如南京理工大学李鸿志教授等关于膛口冲击波形成机理的研究,中科院声学所马大猷教授等关于高压阻塞喷注湍流噪声和冲击噪声的研究等也是在 20 世纪 70 年代末和 80 年代初完成的。以上这些研究成果对枪炮噪声的研究都有重要的启迪和指导作用。

从 20 世纪 80 年代初至 90 年代初,由于科研工作的需要,作者和本研究组的同志们对枪炮噪声也进行了较系统的研究,曾先后开展了膛口噪声源及物理特性研究、枪炮脉冲噪声测试方法研究,高效膛口消声器、自动武器靶场噪声特性及室内靶场噪声治理等多项研究课题,获得了多项科技进步奖,并在国内外刊物和学术会议上发表了多篇论文,本书主要就是这些研究成果和论文的总结。

本书内容共六章,第一章是噪声基础知识,主要是为没有学过声学的读者写的,以便于阅读以后各章。第二、三章分别论述枪炮噪声的声源及其声功率、声压级、持续时间、频谱、指向性等物理特性,给出了膛口噪声的数学模型及主要特性参量的预测公式,并介绍了国外有关枪炮噪声的预测和估算方法。第四章主要介绍了爆炸声的特性及其峰压级、频谱及时间特性的预测等。第五章论述了枪炮噪声爆炸声对人听觉的危害情况和致伤因素,介绍了国内

外关于枪炮噪声与爆炸声的评价方法、标准和测试规范等。第六章主要介绍了枪炮噪声的治理技术和个体防护。在治理技术中分别介绍了消声、隔声和吸声措施,重点论述了膛口消声器原理、性能及设计计算方法,并结合治理实例说明这些治理技术的具体应用与效果。在个体防护中,主要介绍了各类护耳器的性能及对枪炮噪声和爆炸声的防护作用。

作者期望上述内容能对我国国防科研和设计人员、环保劳保和噪声控制工作者,以及大专院校师生有所裨益。

本书成为一小本专著,也凝聚了与作者共同工作过的许多同志的心血,如曾永珠、周心一博士,崔正翔、褚倩倩、康振祯高级工程师等,他们都先后参加过若干项目的研究,此外北京劳保研究所的智乃刚高级工程师等也参加过部分工作,在此作者谨向这些同志致以诚挚的感谢。

在撰写本书的过程中,曾得到中国工程院院士朵英贤研究员、李伟如研究员和吴卫彬教授的支持和推荐,他们还在百忙中审阅了初稿,作者特向他们致以深切谢意。

作者还要感谢国防工业出版社的编辑杜豪年先生和刘新女士在修改和出版过程中的真诚合作。

枪炮噪声和爆炸声属于非线性声学范畴,又与中间弹道学密切相关,是一门边缘性学科,在我国兵器科学领域中它还很薄弱,本书只是抛砖引玉,如果我的这点有限的研究能引起同行们继续研究的兴趣,我将感到莫大欣慰。

由于本人水平限制,书中难免会有舛错,恳请专家和读者不吝赐教。

王秉义

1999年12月

於北京

目 录

第一章 声学基础知识	1
1.1 声波与声场	1
1.1.1 声波的物理概念	1
1.1.2 声压与声场	1
1.2 线性声波方程和非线性声波方程	5
1.2.1 基本参数和假设	5
1.2.2 线性声波方程与非线性声波方程	5
1.3 声波的反射、折射和衍射	7
1.3.1 声波的反射和折射	7
1.3.2 声波的衍射	10
1.4 声场的描述	11
1.4.1 声功率和声强	11
1.4.2 声压级、声强级与声功率级	11
1.4.3 级的合成与分解	13
1.5 声源类型与声辐射的指向特性	16
1.5.1 声源类型及其声强	16
1.5.2 声辐射的指向特性	18
1.5.3 考虑声源指向性时的声强级与声压级	22
1.6 噪声的频谱	22
1.6.1 噪声频谱的意义	22
1.6.2 几种典型的噪声频谱	23
1.6.3 1/1 倍频程和 1/3 倍频程频谱	24
1.7 听觉和噪声的主观评价	26
1.7.1 人的听觉器官	26

1.7.2 等响曲线、计权网络与 A 声级	28
第二章 枪炮噪声的声源和物理特性	31
2.1 枪炮噪声概述及脉冲噪声的定义	31
2.1.1 枪炮噪声概述	31
2.1.2 关于脉冲噪声的定义	32
2.2 枪炮噪声的声源	34
2.2.1 膛口气流流场	34
2.2.2 膛口噪声的声源	37
2.3 枪炮噪声的物理特性	40
2.3.1 枪炮噪声的声功率	40
2.3.2 枪炮噪声的峰值声压级和脉冲声压级	41
2.3.3 枪炮噪声的时间特性	46
2.3.4 枪炮噪声的频率特性	51
2.3.5 枪炮噪声的指向性	59
第三章 枪炮噪声的预测和估算	66
3.1 枪炮噪声声功率与膛口参数的关系	66
3.1.1 量纲分析	66
3.1.2 声功率 W 和声功率级 L_w 与膛口参数 p_a 、 v_0 、 d 的关系	67
3.1.3 膛口噪声声效率	68
3.2 膛口周围脉冲声压级和峰值声压级的预测	70
3.2.1 膛口噪声指向性指数 DI 与方位角 θ 的关系	70
3.2.2 膛口噪声在自由声场中的衰减系数 n	71
3.2.3 膛口周围声压级的预测	72
3.3 美苏关于枪炮噪声超压的计算	72
3.3.1 美国海军武器研究所枪炮噪声超压估 算法	72
3.3.2 苏联奥尔洛夫火炮噪声超压算法	73
3.4 无后坐武器噪声的预测	74

3.4.1 无后坐武器噪声源的定性描述	74
3.4.2 无后坐武器噪声的定量计算	76
3.5 轻武器枪口初始冲击波远场噪声声压级的预测	79
3.6 弹头激波噪声声压级及其持续时间计算	81
第四章 爆炸声的特性与预测	82
4.1 爆炸声的概念	82
4.2 爆炸声的特性与预测	84
4.2.1 比例定律	84
4.2.2 爆炸声的超压和峰压级	85
4.2.3 爆炸声的衰减	88
4.2.4 爆炸声正脉冲时间的经验公式	89
4.2.5 爆炸声的频谱	89
4.3 爆炸源能量及其计算	92
4.4 爆炸波特性数据表	94
4.4.1 TNT 圆柱形炸药爆炸时的峰压级和脉宽	95
4.4.2 点源标准爆炸波特性数据	95
4.4.3 球形 TNT 炸药标准爆炸波特性数据	97
第五章 枪炮噪声与爆炸声的危害、评价和标准	99
5.1 枪炮噪声与爆炸声的危害	99
5.1.1 危害概况	99
5.1.2 枪炮噪声与爆炸声对听觉损伤的特点	104
5.1.3 人耳对枪炮噪声与爆炸声的响应特性	112
5.2 枪炮噪声与爆炸声的评价	114
5.2.1 评价的依据	114
5.2.2 评价的物理参量	115
5.3 枪炮噪声与爆炸声的噪声标准	117
5.3.1 枪炮噪声和爆炸声的噪声标准概况	117
5.3.2 枪炮噪声和爆炸声的噪声标准	118

第六章 枪炮噪声的治理和防护	127
6.1 引言	127
6.2 膛口噪声源的消声技术	127
6.2.1 膛口消声器的性能要求和消声量评价	127
6.2.2 膛口消声器的分类、原理及性能	129
6.2.3 膛口消声器的设计计算和设计要点	136
6.2.4 高效膛口消声器	147
6.3 传声途径上的隔声与吸声	148
6.3.1 隔声	149
6.3.2 吸声	155
6.4 靶场噪声治理实例	161
6.4.1 室内靶场消声、隔声与有害气体净化 综合治理	161
6.4.2 室内手枪靶场噪声治理	171
6.4.3 野外火炮靶场炮位噪声掩体	172
6.5 枪炮噪声与爆炸声的个体防护	174
6.5.1 护耳器的种类、性能	174
6.5.2 护耳器对枪炮噪声和爆炸声的防护 作用	177
附录 A 压力波的测试规程	182
附录 B 兵器脉冲噪声测量方法	186
附录 C 轻武器噪声测试规范	189
参考文献	199

Table of Contents

Chapter 1 Elementary Knowledge of Acoustics	1
1.1 Sound Wave and Acoustic Field	1
1.1.1 The Physical Concept of Sound Wave	1
1.1.2 Sound Pressure and Acoustic Field	1
1.2 Linear and Non-linear Sound Wave Equation	5
1.2.1 Basic Parameters and Assumptions	5
1.2.2 Linear and Non-linear Sound Wave Equation	5
1.3 Reflection, Refraction and Diffraction of Sound Wave	7
1.3.1 Reflection and Refraction of Sound Wave	7
1.3.2 Diffraction of Sound Wave	10
1.4 Description of Sound Field	11
1.4.1 Sound Power and Sound Intensity	11
1.4.2 Sound Pressure Level, Sound Intensity Level and Sound Power Level	11
1.4.3 Composition and Resolution of Levels	13
1.5 Type of Sound Source and Directivity of Sound Radiation	16
1.5.1 Type of Sound Source and Its Intensity	16
1.5.2 Directivity of Sound Radiation	18
1.5.3 The Sound Intensity Level and Sound Pressure Level under Effect of Directivity of Sound Source	22
1.6 The Frequency Spectrum of Noise	22
1.6.1 The Meaning of Noise Frequency Spectrum	22
1.6.2 Typical Noise Frequency Spectrum	23

1.6.3	Octave and 1/3 Octave Frequency Spectrum	24
1.7	Auditory Sense and Subjective Evaluation of Noise	26
1.7.1	Human Auditory Organ	26
1.7.2	Equal Loudness Contours, Weighting Network and A-weighted Sound Level	28
Chapter 2	Sound Source and Physical Characteristics of Gun Muzzle Noise	31
2.1	Outlines of Gun Muzzle Noise and Definition of Impulse Noise	31
2.1.1	Outlines of Gun Muzzle Noise	31
2.1.2	The Definition of Impulse Noise	32
2.2	The Sound Source of Muzzle Noise	34
2.2.1	Muzzle Stream Field	34
2.2.2	Sound Source of Muzzle Noise	37
2.3	Physical Characteristics of Muzzle Noise	40
2.3.1	Sound Power of Muzzle Noise	40
2.3.2	Peak Sound Pressure Level and Impulse Sound Pressure Level of Muzzle Noise	41
2.3.3	Characteristics of Muzzle Noise in Time Domain	46
2.3.4	Characteristics of Muzzle Noise in Frequency Domain	51
2.3.5	Directivity of Muzzle Noise	59
Chapter 3	Predication and Estimation of Muzzle Noise	66
3.1	The Relation between Sound Power and Muzzle Parameters	66
3.1.1	Dimension Analysis	66
3.1.2	The Relation between Sound Power W , Sound Power Level L_w and Muzzle Parameters p_g, v_0, d	67
3.1.3	Acoustic Efficiency of Muzzle Noise	68
3.2	Predication of Impulse and Peak Sound Pressure Level around the Muzzle	70
3.2.1	The Relation between Muzzle Noise Directivity Index	

<i>DI</i> and Azimuth Angle θ	70
3.2.2 Muzzle Noise Attenuation Factor n in Free Field	71
3.2.3 Predication of Sound Pressure Level around the Muzzle	72
3.3 Calculation of Gun Muzzle Noise Overpressure Made by American and Russian	72
3.3.1 Estimation Method of Gun Muzzle Noise Overpressure Provided by Naval Materials Laboratory(NML) of U.S.A	72
3.3.2 Calculation Method of Gun Muzzle Noise Overpressure Provided by Orlov (U.S.S.R)	73
3.4 Predication of Recoilless Weapons Noise	74
3.4.1 The Qualitative Description of Sound Source of Recoilless Weapons	74
3.4.2 The Quantilative Calculation of Noise of Recoilless Weapons	76
3.5 Predication of Far-field Noise Sound Pressure Level of Initial Shock Wave from Light Weapons	79
3.6 The Calculation of Sound Pressure Level of Projectile Shock Wave Noise and Its Duration	81
Chapter 4 The Characteristic and Predication of Explosive Sound	82
4.1 The Concept about Explosive Sound	82
4.2 The Characteristic and Predication of Explosive Sound	84
4.2.1 Proportionality Law	84
4.2.2 Overpressure and Peak Pressure Level of Explosive Sound	85
4.2.3 Attenuation of Explosive Sound	88
4.2.4 Empirical Formula for Positif Pulse Duration of Explosive Sound	89
4.2.5 Frequency Spectrum of Explosive Sound	89

4.3	Explosive Source Energy and Its Calculation	92
4.4	Characteristic Data Table of Explosive Wave	94
4.4.1	Peak Pressure Level and Pulse Width Induced by Exploded Cylindrical TNT	95
4.4.2	Standard Explosive Wave Characteristic Data of Point Source	95
4.4.3	Standard Explosive Wave Characteristic Data of Spherical TNT	97
Chapter 5	The Damage, Evaluation and Criteria of Gun Muzzle Noise and Explosive Sound	99
5.1	The Damage by Gun Muzzle Noise and Explosive Sound	99
5.1.1	Outlines of Damage	99
5.1.2	Features of Auditory Loss Induced by Muzzle Noise and Explosive Sound	104
5.1.3	Response of Human Ear to Muzzle Noise and Explosive Sound	112
5.2	The Evaluation to Muzzle Noise and Explosive Sound	114
5.2.1	Basis of Evaluation	114
5.2.2	Physical Parameters Used in Evaluation	115
5.3	Noise Criteria for Gun Muzzle Noise and Explosive Sound	117
5.3.1	Outlines	117
5.3.2	Noise Criteria for Gun Muzzle Noise and Explosive Sound	118
Chapter 6	Gun Muzzle Noise Control and Protection	127
6.1	Introduction	127
6.2	Sound Deadening Technique for Muzzle Noise Source	127
6.2.1	Property Requirement and Noise Reduction Evaluation	