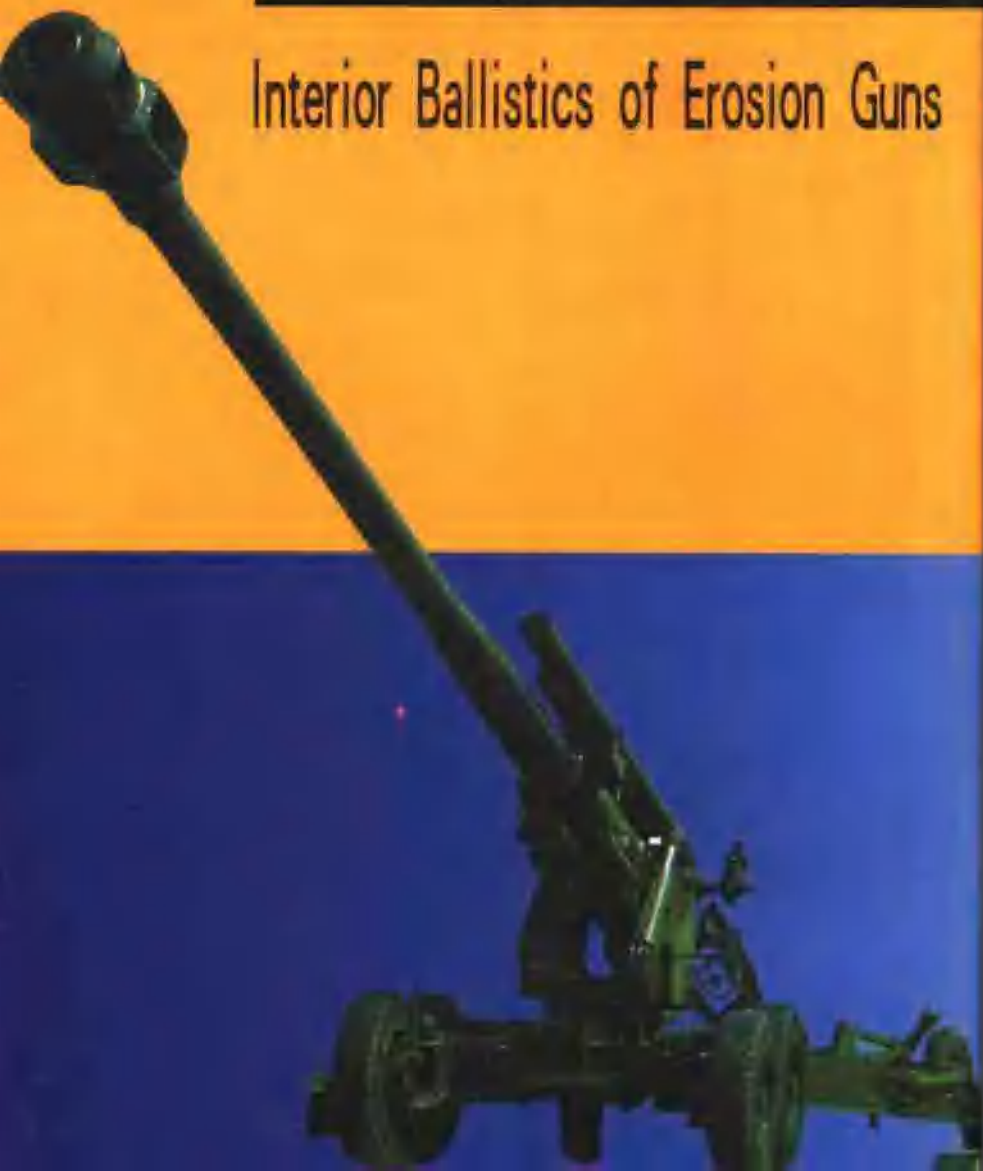


火炮烧蚀内弹道学

张喜发 卢兴华 著

国防工业出版社

Interior Ballistics of Erosion Guns



火炮烧蚀内弹道学

Interior Ballistics of Erosion Guns

张喜发 卢兴华 著

国防工业出版社

·北京·

图书在版编目(CIP)数据

火炮烧蚀内弹道学/张喜发,卢兴华著.—北京:国防工业出版社,2001.1

ISBN 7-118-02312-4

I.火... II.①张...②卢... III.火炮-烧蚀-枪炮内弹道学 IV.TJ301

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2000)第 29419 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)

·河南腾飞胶印厂印刷

新华书店经售

*

开本 850×1168 1/32 印张 8% 218 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:19.00 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,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. 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,对国防科技发展具有较大推动作用的专著;密切结合科技现代化和国防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,密切结合科技现代化和国防现代化需要的新工艺、新材料内容的科技图书。

4. 填补目前我国科技领域空白的薄弱学科和边缘学科的科技图书。

5. 特别有价值的科技论文集、译著等。

国防科技图书出版基金评审委员会在国防科工委的领导下开展工作,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

IV

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,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工业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 (以姓氏笔划为序)	于景元	王小谟	允子平	冯允成
	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

《火炮烧蚀内弹道学》是着重研究和论述火炮在使用过程中火炮内弹道性能变化规律,以及火炮射击过程中经常遇到的若干弹道问题的理论专著。火炮在使用过程中,随着射弹发数的增加,在火炮内膛径向磨损逐渐加重的情况下,火炮内弹道性能将发生变化,并出现某些“奇异”弹道问题,如火炮的内弹道峰、火炮弹道性能的波动性变化、首发近弹等。这些问题在火炮经典内弹道学理论中都极少涉及,从而给部队的作战、训练带来极大的困难。长期以来,我们针对火炮在使用过程中出现的诸多弹道学问题,系统地、对火炮在烧蚀磨损条件下的内弹道性能变化规律进行了认真的研究,初步建立了火炮烧蚀内弹道学基本理论体系,从定性、定量两个方面比较好地解决了火炮磨损条件下内弹道性能变化的核心问题,主要包括火炮内膛径向任一磨损条件下弹道诸元的通用解法,火炮内弹道峰的产生机理与峰值计算,内弹道性能波动的特点和规律,火炮寿命的判别条件和预测方法等。我们相信,本书的出版,将为弹道、火炮和弹药的设计、试验人员,为部队的技术保障人员进一步把握火炮在使用过程中的内弹道性能变化规律,提供理论和技术上的支持和借鉴。

概括起来,本书有以下几个特点:

1. 科学性。本书对火炮在烧蚀磨损条件下内弹道性能变化规律的研究,是以大量的试验数据为基础的。书中的每一个专题,都以科研项目为依托。书中的一些理论问题,都经过试验验证,理论和试验都有较好的一致性,并得到了有关专家的认可。

2. 适用性。本书提出的有关理论和方法,对于不同口径的榴弹炮、加农炮、加榴炮、高射炮、坦克炮、舰炮、滑膛炮等均适用。

3. 系统性。尽管本书各章节是针对火炮内膛磨损条件下所出现的某一具体问题展开研究和论述的,但全书始终以研究火炮内膛磨损条件下内弹道性能变化规律为主线,各章节之间具有必然的内在联系,因而构成了火炮烧蚀内弹道学比较完整的理论体系。

本书的第一章至第九章是由张喜发教授撰写的,卢兴华副教授撰写了第十章。

《火炮烧蚀内弹道学》是在军内外多项科学研究成果的基础上经系统整理而成。著者直接主持并参与了这些科研项目的全部工作,这些研究成果获得了多项全军科技进步奖。如果说我们能在火炮烧蚀内弹道学研究领域取得一定成就,这与许多单位的教授、专家在多年的科研工作中所给予的支持和帮助是分不开的。在此,我们谨向南京理工大学校长李鸿志院士、鲍廷钰教授、唐治教授、金志明教授、弹道试验专家叶发青高级工程师,以及有关部队、院校的领导和专家孙文忠、缪广来、胡朝根、康郦、王巨海等同志,在多年的科研合作中所给予的多方面的指导及帮助,深表谢忱。

由于著者水平有限,不妥之处,望读者指正。

著者

目 录

第一章 火炮内膛烧蚀与磨损	1
第一节 内膛破坏特点.....	1
第二节 影响炮膛烧蚀磨损的因素.....	8
第二章 经典内弹道学基础知识	21
第一节 火炮身管	21
第二节 火药	24
第三节 火炮射击过程	30
第四节 火药燃烧规律	32
第五节 火药燃气状态方程	35
第六节 弹丸运动方程	37
第七节 能量方程及火炮系统效率	37
第三章 弹丸起动力	43
第一节 弹丸起动力概述	43
第二节 弹丸起动力估算法	47
第三节 弹带挤进膛线运动分析	47
第四节 弹丸起动力数学模型	48
第五节 影响弹丸起动力的因素	57
第六节 各种弹带结构弹丸起动力计算法	61
第七节 烧蚀火炮弹丸起动力计算法	68
第四章 火炮内膛磨损条件下弹道诸元分析解法	72
第一节 火炮内膛烧蚀与磨损引发的内弹道问题	72
第二节 火炮内膛径向磨损量	75
第三节 火炮内膛磨损条件下的弹道诸元分析解法的基本假设	80

第四节	内弹道方程组	83
第五节	内膛磨损挤进压力情况下内弹道方程组的解法	84
第六节	计算例题	105
第七节	试验验证	109
第五章	火炮初速修正	114
第一节	药室增长量法	115
第二节	用弹丸测量药室增长量法	124
第三节	动态测速法	126
第四节	累计射弹发数法	127
第五节	当量射弹发数法	128
第六节	径向磨损量法——简称 Δd 法	130
第七节	径向磨损量法的应用	136
第八节	径向磨损量法的特点	142
第九节	火炮初速变化量理论分析算法	144
第六章	火炮内弹道弹道峰及弹道性能波动理论	145
第一节	火炮内弹道弹道峰	145
第二节	中国火炮发生内弹道弹道峰概况	146
第三节	欧美主要国家对火炮内弹道峰问题研究的 状况	151
第四节	内弹道峰的危害	152
第五节	内弹道峰的各种假说	157
第六节	内弹道峰理论	162
第七节	火炮弹道性能波动理论	169
第七章	火炮寿命	180
第一节	火炮身管寿命	180
第二节	身管寿命判别条件	184
第三节	影响火炮寿命的因素	195
第四节	改进火炮内膛结构提高火炮寿命	198
第八章	炮口制退器烧蚀	210
第一节	炮口制退器烧蚀的普遍性	210

第二节	炮口制退器烧蚀机理·····	212
第三节	防止炮口制退器烧蚀应采取的技术措施·····	220
第九章	首发近弹 ·····	224
第一节	火炮首发近弹的普遍性·····	224
第二节	首发近弹假说及危害·····	227
第三节	首发近弹机理·····	230
第十章	胀膛与膛炸 ·····	242
第一节	身管的胀膛与膛炸·····	242
第二节	身管胀膛与膛炸的原因·····	245
第三节	装药结构与膛内压力波·····	251
参考文献	·····	257
后记	·····	258

Contents

Chapter 1	Erosion and Wear of Gun's Bore	1
Section 1	The Damage Characteristics of Gun's Bore	1
Section 2	Factors Affecting Erosion and Wear of Gun's Bore	8
Chapter 2	Basic Knowledge of Classical Interior	
	Ballistics	21
Section 1	Gun Barrel	21
Section 2	Gun Powder	24
Section 3	Firing Process of Gun	30
Section 4	Law of Powder Combustion	32
Section 5	State Equation of Powder-Gases	35
Section 6	Projectile Motion Equation	37
Section 7	Energy Equation and Gun system Efficiency	37
Chapter 3	Projectile Starting Pressure	43
Section 1	Summary of Projective Starting Pressure	43
Section 2	Rough-Estimate Method of Projective Starting Pressure	47
Section 3	Analysis of Rotating Band's Engraving Rifle	47
Section 4	Mathematical Model of Projective Starting Pressure	48
Section 5	Factors Affecting the Projective Starting Pressure	57
Section 6	Calculating Methods of Projective Starting Pressure for Kinds of Structure of Rotating Band	61

Section 7	Calculating Methods of Projective Starting Pressure for Erosion-Gun	68
Chapter 4	The Analytic Solution of Ballistics under the Condition of Bore Wear and Erosion	72
Section 1	Interior Ballistics Problems Induced by Gun Bore's Erosion and Wear	72
Section 2	Gun Bore's Radial Wear	75
Section 3	Basic Hypothesis about Analysis Solution of Ballistics under the Condition of Bore Wear	80
Section 4	Equations of Interior Ballistics	83
Section 5	Solution of Ballistics Equation Concerning both Bore Wear and Engraving Pressure	84
Section 6	Instances of the Calculation	105
Section 7	Experimental Verification	109
Chapter 5	Correction of Gun's Muzzle Velocity	114
Section 1	The Chamber-Length-Increasing Method	115
Section 2	The Chamber-Length-Increasing Method by Projectile Measuring	124
Section 3	Dynamic-Measuring-Velocity Method	126
Section 4	Accumulated-Shots Method	127
Section 5	Equivalent-Shots Method	128
Section 6	Radial-Wear Method(Δd Method)	130
Section 7	Application of Radial-Wear Method	136
Section 8	Characteristic of Radial-Wear	142
Section 9	Theoretical Analytic Solution about Variety of Muzzle Velocity	144
Chapter 6	Theory of Interior Ballistics Peak and Fluctuation of Ballistics Performance	145
Section 1	Gun's Interior Ballistics Peak	145
Section 2	Interior Ballistics Peak about Chinese Guns	146

Section 3	Study on the Interior Ballistics Peak Problems in Main European Countries and America	151
Section 4	Harm of Interior Ballistics Peak	152
Section 5	All Kinds of Hypothesis's about Interior Ballistics Peak	157
Section 6	Theory of Interior Ballistics Peak	162
Section 7	Theory of Gun's Ballistics Performance Fluctuation	169
Chapter 7	The Life of Gun	180
Section 1	Barrel Life	180
Section 2	Decisive Conditions of Barrel Life	184
Section 3	Factors Affecting the Life of Gun	195
Section 4	Improving the Bore Structure for Increasing Gun's Life	198
Chapter 8	Erosion of Muzzle Brake	210
Section 1	Universality of Muzzle Brake Erosion	210
Section 2	Mechanism of Muzzle Brake Erosion	212
Section 3	Technical Steps to Deal with Muzzle Brake's Erosion	220
Chapter 9	Short in First Round	224
Section 1	Universality of Short in First Round	224
Section 2	Hypothesis and Harm of Short in First Round	227
Section 3	Mechanism of Short in First Round	230
Chapter 10	Expansion and Burst of the Bore	242
Section 1	Expansion and Burst of Bore	242
Section 2	Reasons for Burst and Expansion of the Bore	245
Section 3	Structure of Charge and Pressure Wave in the Bore	251
References		257
Postscript		258

第一章 火炮内膛烧蚀与磨损

火炮装备部队以后,随服役时间的增长,经历训练、作战,各炮累计射弹发数逐渐增加。火炮身管在高温、高压、高速火药气体反复作用下,内膛各轴向位置上将受到不同程度的破坏。通常把膛壁金属层在火药气体反复冷热循环和物理化学作用下造成金属性质的变化,称为烧蚀。主要表现为金属的剥落现象。火炮内膛燃气流的冲刷和弹带、弹体对炮膛的机械作用所造成的几何形状的破坏称为磨损。

火炮进行实弹射击过程中,这两种破坏作用同时存在,很难区分开来。两种破坏方式综合作用的结果是在全炮膛每个轴向位置上内膛直径均有不同程度的增大。一般情况下膛线起始部破坏速度最快,径向磨损量最大。火药燃烧结束以后,破坏速度较小,径向磨损变化比较平稳,直至炮口部径向磨损量又呈增大趋势。

火炮内膛结构的变化,导致了火炮内弹道起始条件的变化,对火炮的使用性能、弹道性能影响很大。需要对火炮内膛结构破坏的原因、过程、机理进行深入的分析研究。

第一节 内膛破坏特点

炮膛的烧蚀、磨损情况是随火炮类型、使用情况和内膛的部位不同而异,这里介绍内膛破坏的一般特点。

一、内膛破坏过程

随着射弹发数的增多,首先在膛线起始部附近出现网状裂纹,如图 1-1(a)所示。对于大口径加农炮来说,甚至在发射几发以后

就可能产生这样的裂纹。继续发射,裂纹向炮口方向延伸,原有的裂纹连成网状并不断地加宽、加深,如图 1-1(b)、(c)所示。由于弹带对炮膛的机械磨损和火药气体的冲刷作用,使表层金属逐渐剥落,炮膛径向尺寸扩大。由于高温、高速火药气体的冲刷,在阴线底部常形成纵向烧蚀沟,如图 1-1(d)、(e)所示。

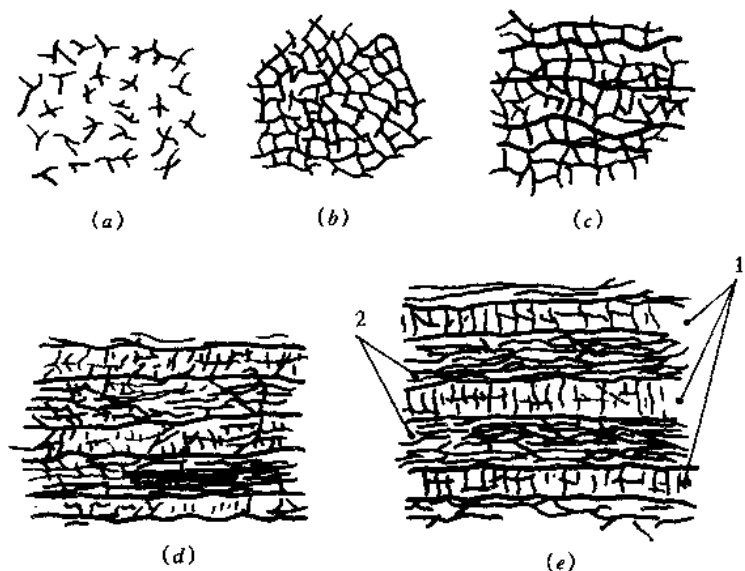


图 1-1 内膛表面破坏过程示意图

(a)初期裂纹; (b)网状裂纹; (c)网状裂纹;

(d)阴线底部有纵向烧蚀沟裂纹; (e)阴线底部有纵向烧蚀沟裂纹。

1—阳线; 2—阴线。

一些高射速自动武器由于内膛壁温度较高,接近寿命终了时,常发现膛壁有塑性变形和局部熔化现象。

二、沿身管长度上内膛破坏特点

在沿身管长度上,炮膛阳线的磨损规律可以用图 1-2 来表示,在膛线起始部向前约 1~1.5 倍口径长度上炮膛的磨损最严重,称

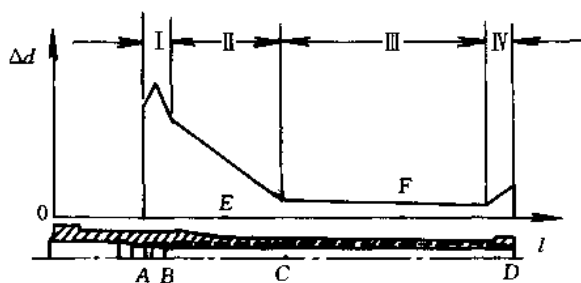


图 1-2 沿身管长度阳线径向破坏的一般规律

I—严重磨损段；II—次要磨损段；

III—均匀磨损段；IV—炮口磨损段。

为最大磨损段，用“Ⅰ”表示；由此段向前到距膛线起点约 10 倍口径左右的地方磨损较前段弱，称为次要磨损段，用“Ⅱ”表示；由Ⅱ段向前的很长一段，炮膛磨损很小也比较均匀，称为均匀磨损段，用“Ⅲ”表示；在炮口部长度大约 1.5~2 倍口径的范围内又出现磨损较大的区域，称为炮口磨损段，用“Ⅳ”表示。不同类型火炮身管各个磨损段的情况有所差别，高速滑膛炮的最严重磨损部位向炮口方向前移，还有出现第二严重磨损区的现象。

在火炮身管寿命试验中发现，一些火炮，例如 130mm 加农炮、100mm 高射炮都存在炮口磨损段，而另外一些火炮，例如 25mm 舰炮、57mm 高射炮和 85mm 加农炮等在寿命终止时炮口部位的磨损并无明显增大的趋势。图 1-3 和图 1-4 给出上述两种不同火炮内膛磨损曲线。

从实际磨损曲线中可以看出：第Ⅰ、Ⅱ两段并无明显界限，通常总称为严重磨损区。严重磨损区造成弹丸起动压力很大的变化，从而导致火炮弹道性能发生了急剧的变化。使一类火炮的 v_0 、 P_m 自新炮值逐渐上升，如 57mm 战防炮在射弹 84 发时相对初速上升了 2.2%，100mm 舰炮在射击 870 发时相对初速上升了 1.87%。而另一类火炮的 v_0 自新炮值逐渐下降，如 130mm 加农炮等。