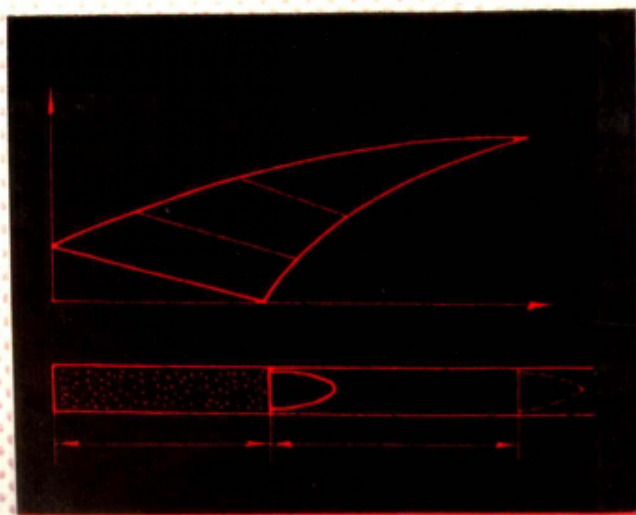


普通高等教育
兵工类规划教材

内弹道学

鲍廷钰 邱文坚 编著



北京理工大学出版社

责任编辑：李立
封面设计：王允华

ISBN 7-81045-002-6



9 787810 450027 >

ISBN 7-81045-002-6/TJ·1 定价：9.40 元

内 弹 道 学

鲍廷钰 邱文坚 编著

北京理工大学出版社

(京)新登字 149 号

内 容 简 介

本书较全面地阐述了以固体火药为能源的发射技术的内弹道原理各分支的主要内容和近年来的新发展。共分三篇。第一篇为经典内弹道学,分四章分别叙述了火炮系统概述、火药燃烧的经典理论、膛内各种物理现象的基本规律、数学模型的建立和各种解法,以及在弹道设计中的应用等。在叙述上加强了严密性和精炼性,所以篇幅显著减少,但仍包含了以往相应教材的主要内容。第二篇为内弹道势平衡理论,亦分四章。内容主要取自相应专著,并根据教材要求作了适当增删,补充了该理论在利用密闭爆发器试验检测发射药内弹道性能中应用的新成果。第三篇共五章,主要叙述两相流内弹道的基本理论,以及应用内弹道气动力原理对膛内拉格朗日问题及膛内压力波问题的分析。最后一章介绍了无后坐炮的内弹道问题。

本书是弹道学系列教材之一,可作为武器专业内弹道课程的教科书,也可供从事武器弹药生产、试验的工程技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

内弹道学/鲍廷钰,邱文坚编著. —北京:北京理工大学出版社,1995

ISBN 7-81045-002-6

I. 内… I. ①鲍… ②邱… III. 枪炮内弹道学—高等学校—教材
IV. TJ012.1

中国版本图书馆 CIP 数据核字(95)第 02251 号

北京理工大学出版社出版发行

(北京市海淀区白石桥路 7 号)

(邮政编码 100081)

各地新华书店经售

北京理工大学印刷厂印刷

*

787×1092 毫米 16 开本 16 印张 384 千字

1995 年 3 月第一版 1995 年 3 月第一次印刷

印数:1-600 册 定价:9.40 元

※ 图书印装有误,可随时与我社退换 ※

出版说明

遵照国务院国发[1978]23号文件精神,中国兵器工业总公司承担全国高等学校兵工类专业教材的规划、编审、出版的组织工作。自1983年兵总教材编审室成立以来,在广大教师的积极支持和努力下;在国防工业出版社、兵器工业出版社和北京理工大学出版社的积极配合下,已完成两轮兵工类专业教材的规划、编审、出版任务。共出版教材211种。这批教材出版对解决兵工专业教材有无问题、稳定教学秩序、促进教学改革、提高教学质量都起到了积极作用。

为了使兵工类专业教材更好地适应社会主义现代化建设需要,特别是国防现代化培养人才的需要,反映国防科技的先进水平,达到打好基础、精选内容、逐步更新、利于提高教学质量的要求,我们以提高教材质量为主线,完善编审制度、建立质量标准、明确岗位职责,建立了由主审人审查、责任编委复审和教编室审定等5个文件。并根据兵工类专业的特点,成立了十个专业教学指导委员会,以更好地编制兵工类专业教材建设规划,加强对教材的评审和研究工作。

为贯彻国家教委提出的“抓好重点教材,全面提高质量,适当发展品种,力争系统配套,完善管理制度,加强组织领导”的“八五”教材建设方针。兵总教材编审室在总结前两轮教材编审出版工作的基础上,于1991年制订了1991~1995年兵工类专业教材编写出版规划。共列入教材220种。这些教材都是从学校使用两遍以上、实践证明是比较好的讲义中遴选的,专业教学指导委员会从兵工专业教材建设的整体考虑对编写大纲进行了审查,认为符合兵工专业培养人才要求,符合国家出版方针。这批教材的出版必将为兵工专业教材的系列配套,为教学质量的提高、培养国防现代人才,为促进兵工类专业科学技术的发展,都将起到积极的作用。

本教材由金志明教授主审,经中国兵器工业总公司弹道专业教学指导委员会复查,兵总教材编审室审定。

限于水平和经验,这批教材的编审出版难免有缺点和不足之处,希望使用本教材的单位和广大读者批评指正。

中国兵器工业总公司教材编审室

1993年12月

序

发展教育事业是提高一个民族的素质,促进精神文明和物质文明的最根本保证。办好教育除需要有一支德才兼备、经验丰富的教师队伍和精良的教学设备以外,还需要有一整套的高水平教材。由鲍廷钰教授和邱文坚教授联袂编写的《内弹道学》一书是内弹道专业的系列教材之一。它的出版将对促进我国兵器科学的发展乃至国防教育都有着重要意义。该教材无论在内容的选取方面或整体的结构安排上都令人耳目一新。教材中的大部分内容是作者近十多年来教学和科研成果的结晶。从这个意义上来说,该教材也是一本有关内弹道学的专著。众所周知,教材中的内弹道势平衡理论部分是我国鲍廷钰教授通过对膛内实测压力曲线大量数据的分析,在深入研究膛内热力学过程的基础上提出来的。该理论应用宏观的全面的分析方法,研究膛内复杂的火药燃烧规律与弹道过程内在联系。从而在理论上和实践中更加准确地揭示了内弹道循环的全过程,为内弹道学研究开辟了一个崭新的领域。拉格朗日气动力问题是内弹道学的基础之一,它是研究膛内压力分布、压力换算及次要功计算系数的基本理论。本书作者采用更严密的推导方法,系统地阐述了拉格朗日、马蒙托夫和毕杜克三种近似假设的物理实质及其相互关系。使得这方面的内容更加充实和更加有系统。重视实用性是该教材的一大特点。如发射药弹道性能的检测,它在发射药长期储存、靶场校验和自动化生产中都有重要的实用价值。该教材的第八章详细地介绍了在势平衡理论的基础上应用密闭爆发器检测发射药弹道性能的方法。与以往的同类教材相比,增加了两相流内弹道理论和膛内压力波部分内容,组成一个较为完整的内弹道学理论体系。因此,是一本有深度和广度的教材,达到了开阔视野、拓宽领域和加强实用的目的。

内弹道学作为一门独立学科已有悠久的历史了。一个多世纪以来,内弹道学发展经久不衰,越来越显示其强大的生命力,这与它在武器弹药系统中的重要地位是分不开的。在理论上,它是武器弹药系统设计的基础。在新能源、新推进技术的应用上起着导向作用,在武器弹药系统设计中的协调作用和武器性能的评价作用。内弹道学又是一门应用科学,为火炮和装药设计提供新技术。自本世纪60年代以来,随着火炮弹道性能要求的提高,现代科学技术的注入,有力地促进了内弹道理论的更新和完善。新出版的《内弹道学》一书,一定能在这内弹道学发展的历史长河中产生新的动力,将内弹道学的研究推向更高的水平。

金志明

1993年6月于南京理工大学

前 言

近几十年来,兵器技术取得了很大的进步和发展,作为火炮发射技术的理论基础——内弹道学亦取得了相应的发展,对于火炮膛内所发生的物理现象认识愈来愈深入,对过程及其规律的描述愈来愈细致。内弹道两相流理论的建立,就是影响广泛而深远的内弹道理论的新发展,把研究膛内燃气平均状态的集总参数变化规律的经典内弹道学数学模型,发展为研究燃气状态及其运动参量随空间与时间变化的数学模型,从而大为提高了内弹道理论的预测能力,并为点火过程与燃烧传播过程的研究,提供了有力的工具。我国鲍廷钰教授建立的内弹道势平衡理论则在深入探索膛内过程热力学规律的基础上,应用了宏观的综合描述方法来研究复杂的火药燃烧规律与弹道规律的内在联系及揭示它独特的统一性。从而开创了一个以应用已一百多年的几何燃烧定律为基础的,与经典内弹道学旧框架有着根本区别的新体系。尽管这些新的学术发展,已经有相应的大量学术论文发表,且已有有影响的专著问世,如参考文献中的[4]、[7]、[12]、[13]。但是作为一本能较全面地反映这些新发展的内弹道学教材,却由于种种原因未能及时编写出版。现有的教材内容基本上限于经典内弹道学的范畴,已不足以使初学者较全面地了解本学科的发展现状和应付实际工作中所遇到的实际问题。因此,为提高兵器设计有关专业的教学水平和为实际工作者在工作中进行参考,新编和出版一本内弹道学教材是完全必要的。这就是作者编写本书的原因。

本书的编写按照大百科全书军事卷关于内弹道学的词条所述,内弹道学就其近来的发展来说可有经典内弹道学、内弹道势平衡理论及两相流内弹道学三个分支,本书将包含这三个分支的基本内容,相应地分为三篇。

第一篇是经典内弹道学的基本内容,包含了以往内弹道学教材的主要内容如火药燃烧的几何燃烧定律、射击过程中的能量转换规律,弹丸运动方程,燃气运动的拉格朗日问题及次要功的计算等。概括地介绍了内弹道学模型的各种解法,如近似分析解,以相似的理论为基础的表解法,适用于电子计算机求解的数值解法等,对实用中有重要应用的微分修正公式和解法在弹道设计中的应用都作了介绍。篇幅虽然压缩不少,但主要内容未作削减,在叙述与编排上作了改进。

第二篇为内弹道势平衡理论,内容取材大部分来自参考文献[7],另一部分关于密闭爆发器模拟检测发射药弹道性能的理论与方法,则是最近的科研成果,亦是内弹道势平衡理论的一个重要应用成果。内容从第五章到第八章与第一篇一样分为四章,第五章为理论基础,为使初学者易于接受与理解,与专著相比,作了一些删节和叙述方法的改变。第六章为火药的实际燃烧规律。第七章则是上两章内容在弹道解法中的应用,有重要实用价值的弹道表则放在附录中,其应用范围之广与其篇幅之少则是本理论的具有重大实用价值特点的反映。第八章则是该理论在内弹道学一个重大实际意义的新领域中的应用。

第三篇为内弹道气动力理论。考虑到本科生的基础理论水平及与研究生课程的衔接与分工,因此第九章叙述了为以后各章应用所必需的气体动力学基础知识,第十章在讲述内弹道两相流基本理论时,尽量应用直观简单的数学工具,着重说明建立模型的物理方面,而方程求解

的计算方法,则属于偏微分方程的数值求解,应是研究生学习和掌握的内容,本书限于篇幅与使用对象,将不予以叙述。本篇在理论的应用方面,则分别于第十一章和第十二章叙述了在拉格朗日问题及膛内压力波问题中的应用。在本篇最后一章则介绍了气体经喷管流出的无后坐炮的内弹道问题。

由上述内容简介可知,本书是作为内弹道学的一本入门教材,关于两相流理论在点火传火及其他一些实际问题中的应用和发展,尤其是与近代发展甚为迅速的新发射原理火炮有关的液体火药内弹道及电热炮内弹道等理论与方法,本书均未涉及。读者可参阅有关专著及金志明教授等新近编著出版的《现代内弹道学》等进一步深入的教材。

本书的内容选择及编排,尚属初次尝试,肯定有不足或错误之处,望读者不吝指正。

作者 鲍廷钰
邱文坚

目 录

第一篇 经典内弹道学

引言	(1)
第一章 火炮系统及内弹道过程概述	(2)
§ 1.1 火炮系统	(2)
§ 1.2 内弹道过程	(7)
§ 1.3 内弹道过程的热力学性质	(9)
§ 1.4 内弹道性能特征量	(11)
第二章 火药燃烧规律的经典理论和实验研究方法	(15)
§ 2.1 火药燃烧规律问题的分析	(15)
§ 2.2 几何燃烧定律	(16)
§ 2.3 火药燃气生成函数	(16)
§ 2.4 燃烧速度函数	(24)
§ 2.5 应用密闭爆发器检测火药燃烧性能的试验方法	(26)
§ 2.6 火药燃烧规律对膛内压力变化的影响	(36)
第三章 膛内各种运动现象的分析	(38)
§ 3.1 弹带挤进膛线运动	(38)
§ 3.2 弹丸沿膛线运动	(40)
§ 3.3 膛内火药燃气的运动	(43)
§ 3.4 次要功及次要功系数的确定	(46)
§ 3.5 确定次要功系数的实验方法	(48)
第四章 经典内弹道的解法	(50)
§ 4.1 内弹道解法的概述	(50)
§ 4.2 经典内弹道模型	(51)
§ 4.3 简化内弹道模型的分析解	(55)
§ 4.4 分析解例题计算	(61)
§ 4.5 混合装药内弹道模型	(65)
§ 4.6 内弹道相似理论及弹道表的应用	(67)
§ 4.7 内弹道模型的数值解法	(69)
§ 4.8 装填条件的变化对最大膛压和初速影响的微分修正公式	(73)
§ 4.9 弹道设计	(77)
§ 4.10 提高初速的途径	(89)

第二篇 内弹道势平衡理论

引言	(92)
第五章 内弹道势平衡理论基础	(94)
§ 5.1 内弹道过程中不同形式能量的分析及势平衡概念	(94)

§ 5.2	内弹道过程中不同形式冲量的分析及势平衡概念	(96)
§ 5.3	势平衡点的热力学特性及其意义	(97)
§ 5.4	势平衡点的空间坐标与时间坐标的对应关系	(101)
§ 5.5	应用实测 $p-t$ 曲线确定火药力和阻力系数的弹道方法	(103)
第六章	应用内弹道势平衡理论确定火药在膛内的实际燃烧规律	(105)
§ 6.1	概述	(105)
§ 6.2	膛内火药实际燃气生成函数	(106)
§ 6.3	膛内火药实际燃烧速度函数	(109)
第七章	应用内弹道势平衡理论及实际燃烧规律的弹道解法	(113)
§ 7.1	概述	(113)
§ 7.2	一般火炮单一装药用实际燃烧规律的弹道解法	(114)
§ 7.3	实际燃烧规律的弹道表的编制及应用	(121)
§ 7.4	势平衡点的弹道相似的原理及其应用	(125)
§ 7.5	内弹道势平衡理论的混合装药的解法	(127)
第八章	应用密闭爆发器试验检测发射药内弹道性能的势平衡理论方法	(133)
§ 8.1	概述	(133)
§ 8.2	密闭爆发器实测 $p-t$ 曲线的拐点与势平衡点的对应关系	(134)
§ 8.3	最大膛压和初速的模拟预测	(135)
§ 8.4	应用密闭爆发器试验予估因火药燃烧不均一性所引起的初速或燃误差	(142)
§ 8.5	模拟予测膛内 $p-t$ 曲线的方法	(147)

第三篇 内弹道气体动力学理论

引言		(152)
第九章	膛内气体动力学的基础知识	(154)
§ 9.1	缓变截面管道一维流动的守恒方程	(154)
§ 9.2	均一相一维气流基本方程	(155)
§ 9.3	小扰动在流体中的传播	(158)
§ 9.4	特征线	(159)
§ 9.5	一维定常运动	(163)
§ 9.6	拉格朗日坐标下的基本方程	(165)
§ 9.7	强间断及弹前激波阻力	(166)
第十章	内弹道两相流基本理论	(170)
§ 10.1	概述	(170)
§ 10.2	缓变截面的内弹道一维两相流模型	(172)
§ 10.3	内弹道准两相流模型	(180)
§ 10.4	内弹道均相流模型	(182)
§ 10.5	空间平均参量的能量方程	(183)
第十一章	拉格朗日问题的气动力学研究	(187)
§ 11.1	概述	(187)
§ 11.2	最简单情况拉格朗日问题的分析解	(187)
§ 11.3	拉格朗日问题的近似分析解	(194)
§ 11.4	应用内弹道均相流模型研究拉格朗日问题的 λ_1, λ_2 近似计算公式	(198)
第十二章	膛内压力波	(201)

§ 12.1	压力波形成机理	(201)
§ 12.2	膛内压力波与射击安全性	(203)
§ 12.3	抑制膛内压力波的技术措施	(204)
§ 12.4	膛内压力波的数值模拟	(207)
第十三章	有气体从喷管流出的无后坐炮内弹道势平衡理论解法	(209)
§ 13.1	概述	(209)
§ 13.2	气体通过喷管流出有关理论	(210)
§ 13.3	无后坐条件	(212)
§ 13.4	无后坐炮的内弹道模型及其分析	(213)
§ 13.5	两种典型内弹道过程的分界点	(214)
§ 13.6	无后坐炮的分界点	(216)
§ 13.7	解法的例证	(218)
习题	(221)
附录一	内弹道势平衡理论表解法用弹道表	(224)
附录二	计量单位对照表	(241)
参考文献	(242)

第一篇 经典内弹道学

引言

内弹道理论的研究,最早开端于1798年,*J. L. 拉格朗日*对膛内气流现象作出气流密度沿轴向为均匀分布的假设,从而确定出膛底压力与弹底压力之间的近似关系。继而*H. 雷萨耳*于1864年应用热力学第一定律建立了内弹道能量方程。接着在1868—1875年间,*A. 诺贝尔*和*F. 艾贝尔*应用密闭爆发器的试验,确定出火药燃气的状态方程。到19世纪末,*皮奥伯特*等人总结了前人研究黑火药的成果及无烟火药的平行层燃烧现象,作出了几何燃烧定律的假设,从而建立了表达火药燃气生成规律的形状函数;并用实验方法确定出火药的燃烧速度函数。内弹道学发展到这一阶段,已经能够建立包括各主要现象的物理模型,为火炮系统的设计和内弹道的应用提供了必要的理论依据和实用指导。在理论上和实践上形成了一个较完整的内弹道学体系。由于近二十年来,在此体系的基础上,先后又发展了内弹道气动力理论和内弹道势平衡理论这两个新的体系,为了体现出这种学术的发展渊源,故将此体系称之为经典内弹道学。

本书所论述的经典内弹道学的内容主要包括以下三个部分:

- (1) 有关火药燃烧规律的经典理论和实验研究方法。
- (2) 有关膛内各种运动现象的分析和研究方法。
- (3) 经典内弹道数学模型的建立及其各种应用。

这三部分内容分别在第二、三、四章中叙述,第一章则为了解这些内容所必需的关于火炮系统和内弹道过程的有关知识。

第一章 火炮系统及内弹道过程概述

§ 1.1 火炮系统

枪炮内弹道过程,概括说来,就是利用火药在枪炮管中燃烧所产生的高温高压气体膨胀做功,推动弹丸沿身管加速运动的过程。显然它是一种能量转换的热力学过程。身管、火药及弹丸是进行此过程的物质基础。其中身管为工作机,火药为能源,而弹丸是做功的对象,三者即构成了所谓的火炮系统。

火炮系统的类型很多,其中炮身有密闭及半密闭之分;前者如加农炮、榴弹炮等一般火炮,射击时,用药筒或炮闩上闭气装置及弹丸上的弹带或闭气环密闭火药燃气;后者则有气体流出,如迫击炮则有气体从弹丸与炮膛间隙中漏出;如无后坐炮则气体从闩体中的喷管流出。为了与一般火炮相区别,通常将迫击炮、无后坐炮归入特种火炮之列。炮管的内膛有线膛和滑膛之分;前者在内膛壁上刻有膛线,后者则无。所应用的弹丸也就相应地有旋转弹和尾翼弹之分。此外在装药方式上有用金属药筒的定装式或分装式装药和用药包的分装式装药之分。近来有的火炮还采用可燃物质制成的药筒取代金属药筒。这里我们仅以应用最广泛的一般线膛火炮作为典型,对其身管、弹丸及火药分别进行概述。

一、身管

身管是一个强度很高的钢管,弹药在后端装填后即完全封闭。发射时,它为弹丸运动提供支撑和定向的作用。如图 1.1 所示。

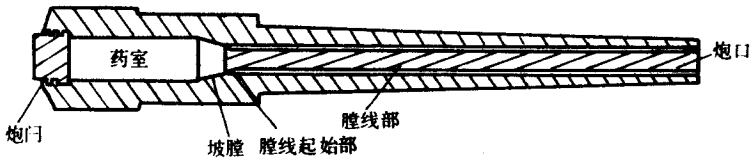


图 1.1 身管示意图

身管的后端装有炮闩,它的作用是通过闩体的开启和关闭进行弹药的装填和保证身管的封闭状态。此外,闩体中还装有击发机构,以便弹药装填后进行击发。炮闩前方安装药包或药筒的空间,称为药室。药室前端逐渐缩小的部分,称为坡膛。从坡膛最小断面开始直到炮口,内径保持不变,在身管的这一段中,内膛刻有与炮膛轴线成 α 角的若干条螺旋形沟槽的膛线以引导弹丸作旋转运动,其构造如图 1.2 所示。图中凸起的部分称为阳线,凹进的部分称为阴线。 d 和 d' 分别表示阳线和阴线的直径。其中 d 就是通常所谓的火炮口径。阳线及阴线的宽度分别用 a 和 b 表示。图中的 $t_{\text{膛}}$ 为膛线深度,在炮膛设计中,一般取

$$t_{\text{膛}} = (0.01 \sim 0.02)d$$

但是对于小口径火炮及步兵武器,则取

$$t_{sh} = (0.02 \sim 0.04)d$$

至于膛线数目一般可按下式确定

$$n = (3 \sim 3.5)d$$

或

$$n = 2d + 8$$

式中 d 是以 cm 为单位,所计算出的 n 一般都调整到 4 的倍数。

膛线与炮膛轴线的交角 α 称为缠角,如果沿整个炮膛长度的缠角保持不变,则称为等齐缠度膛线;如果是不断增加的,则称为渐速缠度膛线;也有前一段为等齐后一段为渐速的,则称为混合缠度膛线。缠角的方向如导致弹丸向右旋转(从后方看为顺时针转动),称之为右旋膛线,反之则为左旋膛线。右旋膛线阳线的右侧面称为导转侧,因为该侧面与弹丸弹带之间的作用力迫使弹丸顺时针旋转。左旋膛线的导转侧则在其阳线的左侧。

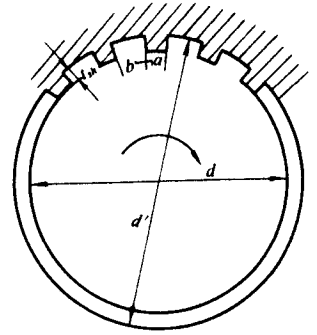


图 1.2 膛线示意图

除了用缠角 α 来表示膛线的特点外,还可以用以下两种表示方法,当膛线旋转一周时沿轴线方向前进的距离 h 称为导程。显然, h 与 α 有如下关系

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{\pi d}{h}$$

因此在口径一定时, h 的大小就反映了缠角的大小。

导程的大小以口径的倍数来表示时,则称为缠度 η ,即

$$\eta = \frac{h}{d} = \frac{\pi}{\operatorname{tg} \alpha}$$

等齐缠度膛线的平面展开图为直线,而渐速膛线的平面展开图通常采用二次抛物线,因此其缠角的变化可以用下式表示

$$\operatorname{tg} \alpha = \operatorname{tg} \alpha_1 + \frac{\operatorname{tg} \alpha_2 - \operatorname{tg} \alpha_1}{L_n} l$$

式中 l 为弹带离膛线起始部的距离, L_n 为膛线部分的身管长度, α_1 及 α_2 分别为渐速缠度膛线起点和终点的缠角。

如令

$$K_n = \frac{\operatorname{tg} \alpha_2 - \operatorname{tg} \alpha_1}{L_n}$$

可得

$$\operatorname{tg} \alpha = \operatorname{tg} \alpha_1 + K_n l$$

在内弹道计算中,膛内火药气体所作用的炮膛断面积可用如下公式计算

$$\begin{aligned} S &= \frac{\pi}{4} \left(\frac{a}{a+b} d^2 + \frac{b}{a+b} d'^2 \right) \\ &= \eta d^2 \end{aligned}$$

在现有的线膛火炮中,式中的 η , 一般为 0.80~0.83。

二、弹丸

弹丸的设计主要由其射击的目标类型和具体的性能指标所定,但是弹丸的质量总是设计中的一个重要参数。通过外弹道计算,可以根据一定的弹丸质量和弹丸的外形以及所需要的射程确定出弹丸的初速,而内弹道过程则应保证弹丸达到目标所要求的初速。

保证弹丸飞行中的稳定性及最小的空气阻力,也是弹丸设计中所必须考虑的。较大口径火炮的弹丸多采用弹头部呈尖拱形的形状,因其空气阻力较小。通常弹头外形的母线规定为中心位于垂直于弹轴的直线上的圆弧,如图 1.3 所示,其圆弧的半径一般取为弹丸直径的 7—9 倍。在弹丸定心部与弹带之间的圆柱部分是弹体。定心部的直径略小于火炮的口径而稍大于弹体的直径以提供弹丸的定向和支撑。弹带的直径则通常略大于膛线的直径,使其挤入膛线后,还具有密封作用以阻止高压的火药燃气从弹丸与膛壁之间漏出。

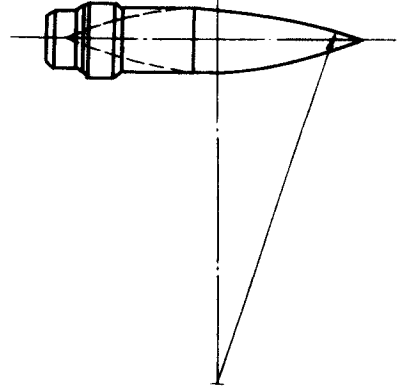


图 1.3 弹丸外形示意图

为保持弹丸在空中飞行稳定通常采用两种方法:一是在滑膛火炮中采用的尾翼稳定的方法;如迫击炮所用的尾翼弹。另一种是线膛火炮所采用的旋转稳定的方法;如一般线膛炮所用的旋转弹。旋转弹是依靠其弹带与膛线紧密贴合,从而将弹丸前进运动所产生的转矩传递给弹丸。弹带一般是用软金属制成。当弹丸装填到正确位置时,弹带前面的锥形斜面与药室的坡膛密切接触,使药室处于密闭的状态。因此,弹丸开始运动必须经过弹带挤进膛线的过程,在弹带上刻出与膛线吻合的沟槽,直到完全挤进之后,弹丸即沿膛线直线运动的同时作旋转运动。尾翼弹虽然不存在这种挤进过程,但是为了保证火药开始燃烧的一致性,有时亦采用密封环(或称闭气环),以使火药燃气达到一定压力克服密封环的阻力而挤入膛后,弹丸才开始运动。

三、火药

火药是枪炮武器的能源,它所以成为武器的能源,主要是因为它具有下列的优点:

(1) 火药是一种燃烧速度可以控制的爆发物质,它在密闭的膛中能燃烧产生具有较大作功潜能的气体,可通过高温燃气的膨胀作功,推动弹丸产生加速运动。

(2) 火药是固体,不论是保管、运输还是装填、点火都很方便。

(3) 通过火药的组分、形状和尺寸的选择,可以控制其燃气生成规律,从而能保证所需要的内弹道性能。

现在枪炮用的火药都属于以硝化棉为主要成分的胶质无烟火药。它是以硝化棉溶于某些溶剂之后所形成的可塑物进一步加工制成。应用不同的溶剂而有不同的工艺过程,制成不同类型的火药。目前使用最广泛的有如下三种类型:

1. 硝化棉火药

这种火药是由含氮量较高(约为 12.9%~13.3%)的硝化棉与含氮量较低(约为 11.9%~12.3%)的硝化棉混合成配方规定的含氮量 $N\%$,再溶于乙醇和乙醚的混合溶剂中,使硝化棉胶化成塑性物,经压制成形,再脱去溶剂而制成。制成后的火药成分中,硝化棉约占 94%~

98%，另含有少量的安定剂(二苯胺)以保持火药在长期存放中的化学安定性；还有少量的残留溶剂存在于火药胶体中，称为内挥发份；以及少量的残留水份，称为外挥发份。内外挥发份的总和称为总挥发份。这种火药中所含的含能物质主要是硝化棉，故又简称为单基药。

这类火药在制造过程中，为了易于排除药粒单体内的溶剂，火药的厚度不能不受到一定的限制，因而一般应用于中小口径的武器。此外，由于这类火药成品含有一定的挥发份并具有一定的吸湿性，因此，在火药贮存期间，随着溶剂的挥发和所含水份的变化，对其内弹道性能将产生一定的影响。为了保持其弹道性能稳定性，必须提供良好的密封条件和贮存环境。

2. 硝化甘油火药

硝化甘油是一种难挥发的液态爆炸物质，它可以溶解含氮量较低的硝化棉而形成可塑体，压制成型后，就是硝化甘油火药，简称为双基药。这类火药的硝化甘油含量通常可在 25%~60% 的幅度内变动，通过其含量的变动使火药的能量能适应多种弹道性能要求。此外，制造这类火药不存在排除溶剂的问题，因而生产周期较短，适于制造厚度较大的火药。但是由于其燃烧温度较高，使炮膛易于烧蚀。为了降低其对炮膛的烧蚀，通常加入二硝基甲苯这类芳香族化合物作为降温剂；同时还作为增塑剂，使火药的物理结构更为致密，不易吸湿。这类火药多用于大口径火炮，称为双基型火药。

硝化乙二醇与硝化甘油同属于硝酸酯化合物，又都是能溶解硝化棉的液态爆发物，因此，硝化乙二醇也可作为溶剂而制成火药，称为双乙火药。在双乙火药中再加入二硝基甲苯作降温剂，则称为乙芳火药。这类火药的燃烧温度略低于硝化甘油火药，所以对炮膛的烧蚀性较小，这是它的主要优点。

含硝化甘油的火药，在长期贮存中，虽然不存在像硝化棉火药那样的挥发性溶剂及水份的变化问题，但也有硝化甘油渗出的所谓“渗油”现象。

3. 硝基胍火药

这类火药是由硝化乙二醇、硝基胍和硝化棉三种成分组成，故又简称三基药。它的主要优点是燃烧温度较低，可显著减小对炮膛的烧蚀。因此又有“冷火药”之称。

以上三种类型火药都是固态胶体，都是溶塑火药。因成分和厚度不同而有不同的透明度和色泽。硝化棉火药为灰黄色略带绿色，硝化甘油火药为棕褐色。在强度方面，前者比较坚硬，后者比较柔软而有弹性。外观上，前者表面较粗糙、无光泽，后者则较光滑而略有光泽。至于步兵武器用的小粒火药，为了避免相互摩擦产生静电，且为了增加装填密度，表面粘附石墨粉，故其外观光滑且有黑色光泽。

所有的火药成品都具有一定的形状和尺寸。这是因为火药燃烧时的气体生成率与火药的燃烧面有关，而燃烧面的大小和变化又取决于火药的形状和厚度。因此通过火药形状和尺寸的选择，就可以控制膛内的压力变化规律，以保证弹丸达到所需要的炮口速度。

现代火炮所应用的火药形状是多种多样的，常见的有管状、带状、方片状、杆状、球状和圆环状等简单形状，以及圆柱形和花边形的多孔的复杂形状。其中长管状药多用于大口径火炮，多孔药多用于中小口径火炮和较大口径的步兵武器，短管状药或球形药则仅用于小口径步兵武器，滑膛无后坐炮和迫击炮多采用带状药、片状药和圆环状药。火药的尺寸都要根据弹道设计的要求来确定。各种尺寸分别用如下符号来表示：

$2\delta_1$ 表示火药的厚度，对管状药和多孔药，常称为弧厚； $2b$ 表示火药的宽度； $2c$ 表示火药的长度； D_0 和 d_0 分别表示管状和多孔粒状药的外径和内径。

一些典型的火药形状如图 1.4 所示。

在所列的各种尺寸中，火药的厚度最重要，因为它的一致性直接影响到各火药药粒燃完的一致性，从而影响内弹道性能。所以火药生产中对厚度的公差都有严格的要求。

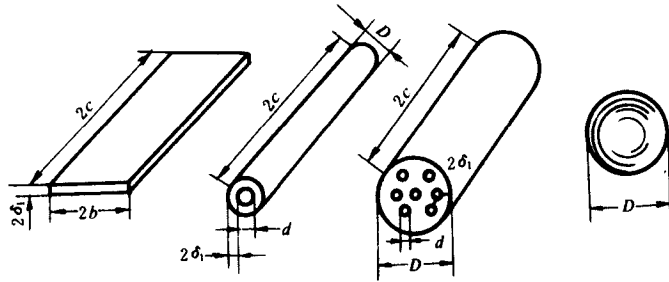


图 1.4 典型火药形状图

为了简明地表示出火药的类型、形状、尺寸等，通常对一批产品都注明一定的标志，以便在贮存和使用过程中进行查核。这种标志称为火药牌号。现以几种火药为例，在表 1.1 中列出几种火药牌号来表明标志的方法。

以便在贮存和使用过程中进行查核。这种标志称为火药牌号。现以几种火药为例，在表 1.1 中列出几种火药牌号来表明标志的方法。

表 1.1 火药牌号标志法的举例

火 药 牌 号	说 明
双 95-5×250 2/60-45	双,双基药,带状 95:厚度为 0.95mm 5:宽度为 5mm 250:长度为 250mm 2/60:1960 年生产,第二批 45:制造厂代号
双 14-32/65 8/64-35	双,双基药,圆环状 14:厚度为 0.14mm 32/65:内径为 32mm 外径为 65mm 8/64:1964 年生产,第八批 35:制造厂代号
7/14 花 4/68-25	单基药(不标) 7/14:十四孔多孔药 弧厚为 0.7mm 花:花边形 4/68:1968 年生产,第四批 25:制造厂代号

火药的燃烧是放热分解反应,生成 CO 、 CO_2 、 H_2 、 NO 、 N_2 和 H_2O 等气体,并放出与这些气体的内能所相应的热量。而与燃气内能相应的燃气温度称为火药的燃烧温度。因此,火药燃气在膛内的作功能力主要地决定于单位质量火药的燃气生成量和热量以及相应的燃烧温度。这三个量统称为火药的能量特征量,现分别定义如下:

(1) 爆热 Q_v 。1 公斤火药在定容情况下燃烧,并将燃气冷却到 15°C 时所放出的热能,称为