

火炮内弹道学

国防工业出版社

火 炮 内 弹 道 学

阎太忱 邵长英 译
赵兴锡 是嘉鸿 校

121

内 容 简 介

本书是根据美军编印的《Interior Ballistics of Guns》一书翻译的。书中讲述了各种弹道解法及一些特殊类型火炮的内弹道问题，讨论了与身管传热有关的问题和气体动力学的几个特殊问题，同时介绍了弹道测试的方法。

本书可供有关专业生产、科研、教学人员参考。

Interior Ballistics of Guns

*

火炮内弹道学

阎太忱 邵长荣 译
赵兴锡 是嘉鸿 校

*

国防工业出版社 出版

北京市书刊出版业营业登记证出字第 074 号

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

燃化出版社印刷一厂 印刷

*

787×1092¹/₃₂ 印张 7¹³/₁₆ 162 千字

1975年9月第一版 1975年9月第一次印刷 印数：0,001—4,500册

统一书号：15034·1433 定价：0.82元

(只限国内发行)

出版说明

根据毛主席“洋为中用”的教导，我们请有关单位将这本美国陆军编印的工程设计手册之一《Interior Ballistics of Guns》译出，予以出版。供从事兵器生产和科研的人员参考。这本书篇幅不大，内容不十分艰深，有关专业的学员也可阅读。

此书是由日译本转译的，校订时曾参考英文原版本。译校过程中发现原书有不少错误，译者已作了更正。原书插图大都模糊不清，我们尽量设法描绘了一部分，一些无法辨认的只好删除。重新描绘的大都是按原样画的，许多地方与我国制图标准规定不同，其中尺寸未加注明者，均以吋为单位。原书中所用符号比较混乱，有时同一个符号表示几个意思，而有时几个符号代表同一个意思。译者虽尽可能作了一些改动，以求本章之内所用符号比较统一，但各章之间符号仍有不一致的地方。因此，各章均附有各自的符号表。

此书内容较简明易懂，但许多问题讲的不深入、不详细。各章内容基本上取材于各章后所附参考文献。

为了这一译本的出版，除有关单位抽出人力翻译并参照日译本进行校订外，还有些单位协助描绘插图或提供其他方便，谨在此表示对有关单位和参加各项工作的同志们表示感谢。

目 录

出版说明	3
第一章 概论	7
符号表	7
1.1 引言	8
1.2 火炮	10
1.3 弹丸	13
1.4 能量分配	13
1.5 压力行程曲线	14
1.6 内弹道性能的控制	15
1.7 药粒特性的影响	16
1.8 黑火药	19
1.9 火炮火药	20
参考文献	34
第二章 内弹道理论与实践	35
符号表	35
2.1 引言	39
2.2 基本方程	41
2.3 方程组解法	50
2.4 赫希菲尔德解法	82
2.5 内弹道简易解法	83
2.6 火炮——弹药系统的效率	86
2.7 实验比较	87
2.8 相似与变换	95

2.9 参量变化的影响	97
2.10 简易图解法	104
2.11 经验解法	109
2.12 高初速的获得	112
2.13 高低压火炮	117
2.14 无坐力炮	118
2.15 滑膛迫击炮与磨损后的火炮	130
2.16 快速电子计算机的应用	132
参考文献	133
第三章 身管的热传导、温度分布及烧蚀	136
符号表	136
3.1 热传导	139
3.2 温度分布	150
3.3 烧蚀	158
参考文献	175
第四章 实验方法	177
符号表	177
4.1 引言	177
4.2 压力的测定	179
4.3 初速的测定	187
4.4 弹丸行程-时间关系的测定	191
4.5 膛内速度和加速度的测定	196
4.6 弹底压力的测定	200
4.7 炮膛摩擦的测定	201
4.8 身管烧蚀的测定	202
4.9 身管温度的测定	204
4.10 燃烧过程中发射药运动的测定	206
4.11 转镜式摄影仪	212
参考文献	214

第五章 特殊问题	216
符号表	216
5.1 内弹道流体力学问题	217
5.2 发射药的点火	227
5.3 炮口焰和炮口烟	237
参考文献	242

第一章 概 论

符 号 表

- B ——燃烧速度系数；
 C ——装药质量；
 C_v ——火药的定容比热；
 \bar{C}_v ——火药定容比热的平均值；
 c ——已燃药量；
 D ——药粒外径；
 E ——固体火药的比能或潜能；
 F ——火药力；
 f ——已燃药厚与总药厚之比；
 I ——火药气体的内能；
 K ——火药气体做功和加热身管的能量消耗；
 M ——弹丸质量；
 N ——装药的药粒数；
 n ——单位重量火药气体的克分子数；
 P ——压力；
 R ——克分子气体常数；
 S ——装药燃烧表面积；
 S_0 ——装药起始表面积；
 T ——火药气体温度；

- T_0 ——火药的爆温；
 t ——时间；
 U_g ——火药气体体积；
 u ——弹丸行程；
 V ——弹丸初速；
 W ——单位重量气体的容积；
 w ——药厚；
 α ——燃烧速度压力指数；
 γ ——相当于比热比的一个量；
 η ——火药气体余容；
 ρ ——火药密度。

1.1 引 言

欲给弹丸以高速，需要很大的动力。提供此动力的能源应便于制造、容易运送并且使用安全。在各个不同时代，人们曾提出过各种除了火药以外的能源利用方法，如压缩空气、电磁力和离心力等。然而，这些方法都没有达到化学火药所发挥出的效果。

火炮内弹道学是与火炮赋予弹丸的运动相关的弹道学的一个分支，研究化学能源、做功物质以及为了控制能量释放和控制做功物质的活动所需要的装置，以及火炮及其附加设备的机械功能的问题。关于火炮类型及其结构和功用的一般知识，请见参考文献 1。

因为不必要的重量对行军来说是一种额外负担，武器在工作状态下的压力和温度比起一般非军事工程中所遇到的要设计得更接近于极限状态。射击过程十分短暂，以至没有充

分的时间来完成诸如热传导这样的缓慢过程。因此，化学能源必须能够提供作为作功物质的气体生成物。能源可以是多数火炮里使用的固体火药，或者是被用作火箭推进剂的液体燃料和氧化剂。

对火药可以从几个方面进行研究：火药的热力性质表明单位重量的火药在任何场合下所能释放的能量。火药燃烧机理的研究能表明诸如周围温度这样一类不好控制的参量的影响。气体动力学也是必须研究的课题，因为推进气体本身的动能在整个过程的总能量中占重要的部分。研究弹丸在身管内的运动，并不是简单地将弹丸视为一质点而应用牛顿定律的问题，而是需要同时考虑火药燃烧生成高温气体的速度，高温气体的运动和气体对弹丸运动的影响等问题。弹丸在膛内运动时使炮身受到机械应力，并且使膛壁受到摩擦。膛内的高温高压气体使身管加热，以至产生气体与金属的化学反应。

内弹道学是应用力学的一个分支，研究弹丸在火药气体影响下的运动及其特性。作为一门应用科学，它比较富有技巧性和经验性。它所研究的现象可以用已知的物理和化学原理来解释。然而事实上现象十分复杂，而且各种现象之间的关联方式又不容易搞清楚，所以，如要得到可靠的理论结果，在应用物理和化学原理时必须要有相当的经验 and 判断能力。在公式中有这样的量，它们难以单凭测量来确定，因为其在特殊场合下的合适值并不明显地决定于该场合的周围情形。它们具有经验修正系数的性质。这些量的数值常可由大量的将所用理论与真实射击的记录相比较的实例来进行估算。初学者须注意这点。所有理论结果要尽可能地有实射的基础。

在这个意义上讲,理论既是可用来指导现行设计的一种方法,也是从现行的设计中归纳出来的一种方法。

火炮内弹道的研究从1743年发明弹道摆以来,已经有二百多年历史了,写出了大量的著作,也有好多有价值的教科书。关于内弹道的简史,可参看康纳(Corner)⁽²⁾和亨特(Hunt)⁽³⁾的书。贝内特(Bennett)⁽⁴⁾,泰勒(Taylor)和耶基(Yagi)⁽⁵⁾作了专题研究,柯蒂斯(Curtiss)和伦奇(Wrench)⁽⁶⁾写的国防研究委员会(NDRC)综合报告概括了二次大战期间的工作。内弹道问题的一般研究及其在火炮上的应用见参考文献7。

1.2 火 炮

1.2.1 定义

本书所讲的火炮,如不专门说明都是指广义的,即指一个发射弹丸的装置,主要由一根导引弹丸运动的身管和一个与弹丸是定装或分装的反应室组成。在反应室(药室)里,火药的化学能迅速转变为热能,所产生的高温气体膨胀而推动弹丸高速运动。

1.2.2 分类

为讨论方便,我们对火炮按其特性、功用和动作方式进行分类。这种分类的界限的意义并不很明确,分类方法与命名也是历史地继承下来的。然而这种分类还比较有用,所以仍广泛采用。首先,按照火炮的大小与机动性粗略地将其分为轻武器和炮[●]。一般轻武器的口径小于30毫米,步兵能

● 后文如无特别说明,我们就不区分轻武器和炮而通称为火炮。

——译者注

够搬运。炮是大口径武器，通常装在炮架上，由车辆牵引或骡马驮运。轻武器的结构与功用多种多样，包括步枪、机关枪、手枪等。炮包括加农炮、榴弹炮和迫击炮。加农炮是指那些低射角高初速的火炮。榴弹炮发射较低初速的弹丸，能够用高射角发射并且采用分装式装药（发射药装在与弹丸分离的药筒里）。射手可以在允许的范围内改变装药。迫击炮像榴弹炮一样用高射角发射。但初速更低，而且通常从炮口装填。迫击炮的结构比较简单，步兵可以分解搬运。

1.2.3 火炮膛内的情况

一门火炮实质上就是一台热机。它的活动类似于汽车发动机的动力冲程。高温气体膨胀推动相当于活塞的弹丸（图 1.1）。装药点火之后，各个药粒的表面即放出气体，而使药室内的压力迅速上升。弹丸开始运动时的阻力很大，因此在弹丸还没有运动多大距离之前，药室里的压力就能升至很高。在解内弹道问题时，常假设有起始压力，这与实际情况还是比较相符的。

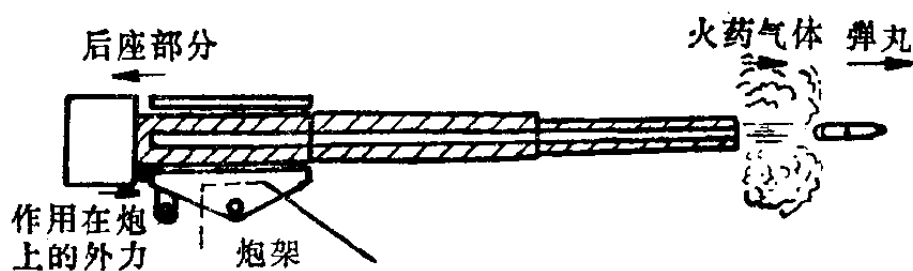


图1.1 有后坐的一般火炮

随着弹丸的运动，弹后空间不断增加，使压力下降；然而，火药的燃烧速度在增加，所以结果还是压力迅速增加，直至达到最大压力。这最大压力点常出现在距离膛线起始点

比较近的位置上。过了这点，压力下降，弹丸至炮口时膛内压力比最大压力低得多，大约为最大压力的10%至30%。这个值的大小与武器的设计及火药有关。炮口压力在弹丸离开炮口后的一段距离内仍然对它发生作用，所以弹丸在离开炮口后还能得到加速。

无坐力炮是这种发射方式的特殊形式（图1.2）。这时，后坐的力量为从炮尾喷口喷气的力量所平衡。气体后喷速度可以由掌握发射药燃烧速度来控制，从而可使火炮、火药气体和弹丸的动量平衡。无坐力炮的内弹道问题，就不仅是个燃烧问题，而且要掌握喷口的直径使与火炮的推力相平衡，从而使它的平均后坐速度保持为零。一般，它的装药量是相应的后坐火炮的二到三倍。无坐力炮的压力行程曲线是按能满足所需要的外弹道性能的最小炮口速度设计的，所以能使用薄的身管。这对保证该武器重量轻这一特点来说很为必要。无坐力炮和其他漏气火炮在本书第二章里有更详细的叙述。

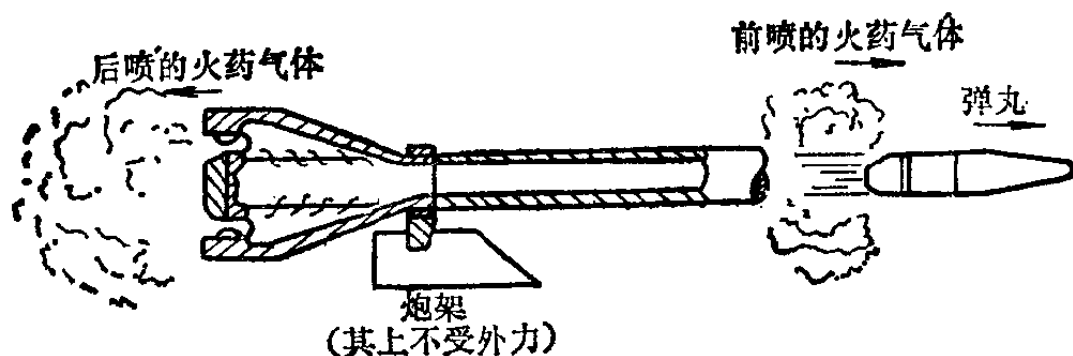


图1.2 无坐力炮

1.3 弹 丸

弹丸与火炮一样，根据不同的用途也分很多种。因为大多数设计参量对内弹道设计没有什么影响，我们只需考虑其中少数几个。最重要的是弹丸的质量，因为它对弹丸的速度、加速度以及各点的压力均有很大的影响。

对于用旋转来保持飞行稳定的弹丸，另一个要考虑的因素是弹带的设计，弹带的直径须稍大于炮膛的直径。弹丸须被挤入炮膛并在弹带上留下膛线的刻槽，于是就造成弹丸运动的很高的起始阻力。这就是说在弹丸有比较明显的运动之前，气体就应形成比较高的起始压力。起始阻力对内弹道特别对最大压力和达到最大压力的时间有很大影响，这个量在无坐力炮里几乎可以忽略，因为无坐力炮的弹带是预先刻好沟槽使之与膛线相吻合的。对于发射尾翼弹的滑膛炮，起始阻力也是被忽略的。对于这种火炮，一个重要的因素是弹丸和炮膛之间的缝隙大小，因为它决定着弹丸四周的漏气量。有这种问题的主要是迫击炮。因为它是炮口装填，缝隙必须相当大，以使炮膛里面的空气能跑出来，弹丸可以顺着炮膛往下滑而与击针相撞，这时击针与弹丸的碰撞能量使得底火发火。

还有一个弹丸的参量需要说一下，那就是旋转稳定弹丸的轴向转动惯量。它对内弹道的影响很小，因为旋转能量通常都只是弹丸运动能量的很小一部分。

1.4 能 量 分 配

中等口径火炮火药燃烧时，能量分配的百分比大约为：

能 量 消 耗	百 分 比
弹丸运动	32.0
弹丸的摩擦 (弹带挤进及与膛壁的摩擦)	2.0
火药气体运动	3.0
火炮及弹丸的热损失	20.0
火药气体的显热损失及潜热损失	42.0
弹丸旋转和后坐部分的移动 (分别约为0.1%加上其他能量消耗)	1.0
火药内能	100.0

装药可利用的能量的分配, 将在第二章里作为解内弹道问题的基础来讨论。

1.5 压力行程曲线

为了使弹丸能达到指定的初速, 而对应的膛压不至于将火炮损坏, 火炮身管是按照压力行程曲线设计的。

图 1.3 绘出了弹底压力^① (乘上炮膛断面积就是弹底作用力) 与行程的关系曲线, 曲线下面的面积代表了膨胀气体在单位断面上对弹丸所做的功。

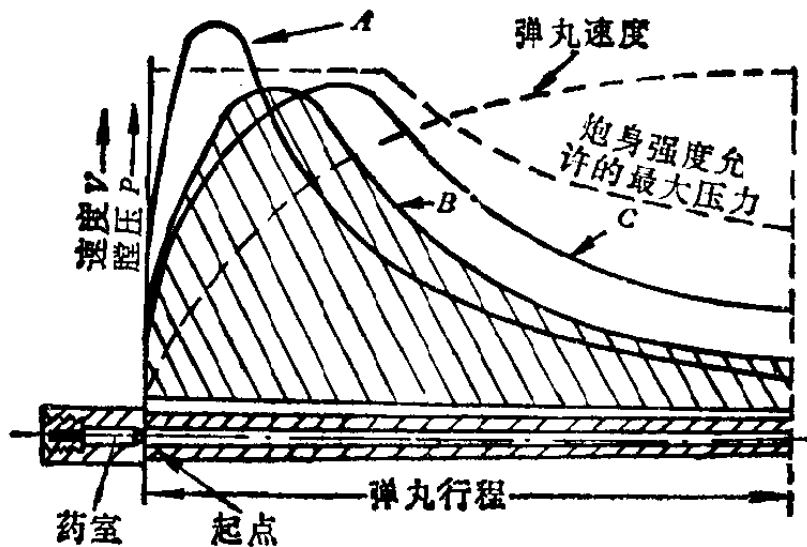


图1.3 膛压-行程 (实线) 及速度-行程 (虚线) 曲线

① 内弹道中常将压强称为压力, 乘上作用面积就称为作用力。下文同。
——译者注

如曲线 A 与 B 下面的面积相等，则所做的功便相等，对应的初速也相等●，因为

$$\text{功} = \text{动能} = \frac{1}{2}MV^2$$

曲线 A 超出了允许的压力曲线，所以不能采用。

欲增加弹丸的初速，就要增加单位断面上对弹丸的作功量，或是说增加曲线下面的面积。这种初速的增加在曲线 C 上可以表现出来。它与曲线 B 的最大膛压是相等的，但它下面的面积比曲线 B 下面的面积大。这样看来，理想的压力行程曲线应该与身管允许的压力行程曲线相一致。然而，即使能设计出获得这一结果的火药，仍有很多的麻烦事情。除了产生过度的烧蚀（显著地减少火炮寿命的一个因素）以外，还要产生严重的炮口焰和由于炮口压力高引起的初速跳动。此外，药室将显著地增大，从而增加火炮的重量，影响它的机动性。作为一个经验结果，对于一门火炮，它的规定初速总比它所可能达到的最大初速要略低一些。这样，就需要选择最佳药型，使之在炮膛内任意点的压力均不超过该点所允许的压力值，同时又要保证使每发弹都获得一样的初速。

1.6 内弹道性能的控制

上面我们已在一般意义上讨论了为得到满意的内弹道性能所必需的气体压力和弹丸速度间的关系。然而还有一个内弹道的基本问题，就是确定和计算所有因素的变化对内弹道的影响的问题。可以通过理论分析，建立经验关系和细致严密的实验来解决这个问题。

● 这样的说法当然是很粗糙的。——译者注

这个问题的基本变化因素包括：

- a. 火药的化学成分；
- b. 反应速度；
- c. 点火特性；
- d. 药粒的几何形状（表面积）；
- e. 装药量（装填密度）；
- f. 周围环境的条件。

1.7 药粒特性的影响

设对所有药粒同时点火，则火炮的压力行程关系或压力时间关系还与药粒成分（燃烧快慢）、药粒大小、药粒形状和装填密度等因素有关。虽然最后的设计需要综合这些因素来考虑，但首先还是应搞清这些因素各自对内弹道的影响。

火药成分（单基、双基和硝基胍等）和火药几何形状的定义（减面、等面和增面燃烧火药）在本章的下几节中讨论。火炮的工作特性通常用压力（ P ）行程（ u ）关系来描述，而压力时间关系常在实验研究中使用。

在本节讨论的每一种情况下，初始燃烧速度都直接与单位装药的总表面积有关。因此，离开点火时的表面积而单独考虑这些因素的影响是困难的。影响压力行程曲线形状的因素如图 1.4 所示。对一给定的压力行程曲线（图 1.4），I 到 II 这区间内曲线的斜率为点火特性和初始燃烧面积所确定。而 III 到 IV 一段曲线主要受药粒形状影响。制造火药以及确定和保持药粒形状的方法见参考文献 7 和 9。