

內
彈
道
學

上
冊

內 彈 道 學

上 冊

M. E. 謝列伯梁可夫 著



國防工業出版社

5

44

版
社

學道彈內

上 冊

炮兵科學院院士、技術科學博士

M. E. 謝列伯梁可夫 著

郝 永 昭 譯

鮑廷鈺、張 枋 校

張 述 祖 審校



國防工業出版社

本書分为上下兩册。上册为第一部分，叙述了內彈道学的物理基础；下册包括第二和第三兩部分，第二部分叙述了內彈道学問題的各种解法和彈道設計的方法，第三部分叙述了一些特殊的內彈道学問題の解法。

原書經苏联高等教育部批准为苏联高等技术学校的教科書。在我国可作为高等工业学校有关专业的教科書和中等技术学校有关专业的参考書，并可作为国防工业部門与中国人民解放军有关工程技术人员参考資料。

2P5/06

М.Е. Серебряков

ВНУТРЕННЯЯ

БАЛЛИСТИКА

Государственное

Издательство Оборонной Промышленности

Москва 1949

本書系根据苏联国防工业出版社

一九四九年俄文版譯出

內 彈 道 学

[苏]謝列伯梁可夫 著

郝永昭 譯

鮑廷鈺、張粉 校

張述祖 审校

*

國防·軍工出版社 出版

北京市書刊出版业营业許可証出字第074号

北京新中印刷厂印刷 新华書店发行

*

850×1168 1/32 • 103/4 印張 • 285,600 字

一九五七年七月第一版

一九五八年四月北京第二次印刷

印数:120—1760册 定价:(10)1.80 元

52.15
0123
上(2)

17

目 录

序 言	1
緒 論	6
內彈道学的研究对象和任务	6
內彈道学的組成部分	10
設計火炮时內彈道学的重要性	11
內彈道学的发展史	12
內彈道学名称、符号和定义一覽表	27

第 一 部 分

內彈道学的物理基础

第一篇 火药——能量的来源	31
第一章 火药的一般知識	31
第二章 火药的主要特征量	36
第二篇 普通火药燃燒靜力学	47
第一章 火药的燃燒	47
第二章 火药气体的特征方程	63
第三章 估計火药在密閉容器中燃燒时对容器壁的热散失	84
第四章 气体生成定律	96
第五章 燃燒速度定律	128
第六章 作为時間函数的压力变化定律	138
第三篇 根据物理燃燒定律的火药彈道分析	145
第一章 火药彈道分析法的研討	145
第二章 火药实际燃燒的彈道分析	157
第三章 有窄孔道火药的燃燒特点	175
第四章 积分曲綫图的运用	193
第四篇 火药燃燒动力学的物理基础	211
第一章 射击現象和主要关系式	211
第二章 射击时的能量平衡	218

407875

第三章	主要关系式的研究	225
第四章	彈丸沿膛綫运动时所发生的力	243
第五章	各种次要功計算公式的推导	259
第六章	补充問題	269
第五篇	与气体流出有关的現象	282
	一般概述	282
第一章	气体动力学的一般知識	284
第二章	气体流出主要公式的运用	298
第三章	火药在不完全密閉的容积內的燃燒	313
第四章	炮口制退器的簡單理論	330

序 言

“軍事科学研究所和我們的設計干部們应不倦地和頑强地提高苏維埃軍事技术思想水平，改进我們的武器并研究出新的更好的武器型式。”

(摘自 1948 年 2 月 23 日苏联元帅布尔加宁的报告)

內彈道学是主要的炮兵技术課程，它与保証創造現代火炮及其彈藥的很多相近的炮兵課程有着密切的关系。

火炮的能量特征量、經濟性以及能否与所提出的战术技术要求相符合，在很大的程度上决定于內彈道学問題的正确和合理的解决。

在第二次世界大战以前，特别是在这次大战期間，对炮兵武器所提出的要求大大地提高了。

“机械化战争”引起了完全新式的現代炮兵武器的創造和現有的各种武器威力的提高，其結果就使得軍械装备大大地复杂化。各主要射击参数的量变引起了炮兵技术一定的質变。

所以目前摆在內彈道学面前的任务，按其复杂性和多样性，决不能同二十世紀二十五年代以前的內彈道学的任务相提并論。

苏联的內彈道学，象其他相近的炮兵課程一样，是沿着自己独創的道路前进和发展的。在斯大林五年計劃的年代里，內彈道学和所有的炮兵科学及技术是整个地在不断地成长和发展，創造了在質量上远超过外国軍隊的新型火炮。偉大卫国战争的实践令人信服地証明了这一点。

在二次世界大战以后炮兵技术繼續发展，对炮兵技术所提出的要求增多着，并且同时扩大着內彈道学所应研究和解决的任务及問題范圍。

为了有效地解决这些問題，应有：第一，建筑在現代实验基础上的先进理論；第二，精通这种理論和实验并且善于执行日丹諾夫同志在哲学討論会上的指示的干部，A. A. 日丹諾夫的指示是：

“一切科学的主要任务是它們更进一步的发展，导出新的規律性，在实践中檢查它們的原理，并以新的原理代替陈腐的原理。”

自从 1939 年出版了 M. E. 謝列伯梁可夫、Г. B. 奥波波可夫和 K. K. 哥列頓所著的标准教科書“內彈道学”以来，就大大扩大着摆在內彈道学面前的問題，并且解决了許多新的問題。

因此就提出了关于出版內彈道学方面新教科書的問題，这本新教科書必須滿足現代炮兵技术日益增长的需要，并对这門課目的进一步发展供給資料和方法。

这本教科書与 1939 年所出版的教科書頗有区别，它包括一些重新写的篇和章节，在这些篇和章节中提供了由于炮兵技术发展所引起的复杂情况問題的解法。

在本書內也反映了在偉大的卫国战争年代和战后炮兵学院內彈道学教研室在教学方法上所进行的巨大研究工作。

本教程基本上是按照我們苏維埃科学家們的著作和研究成果編写的，其中也包括了炮兵学院內彈道学教研室的教师們的著作和研究成果。

仅仅为了說明某些問題的历史才使用了外国作者的著作，属于这方面的主要是研究火药燃燒的著作，以及在 1925 年以前所发表的某些其它的著作。

本書是供炮兵学院工程系和其它高等学校的學員作为主要教科書之用，并且供从事拟定、研究和創造新型炮兵武器和彈药的設計局、工厂、研究所和實驗室的工作者們作为指南之用。本書对許多科学工作者、工程师和高等学校高年級的学生也是有用的。

本書是由緒論和三大部分組成的。

緒論中的很大一部分是重新写的，其中特別強調了內彈道学与火炮設計和彈药設計之間的联系。并写出“內彈道学发展史”新的一章，其中着重地指出了不論在十月革命前还是在十月革命后俄罗斯科学家們的主导作用。

在第一部分“內彈道学的物理基础”中，敘述了內彈道学和射击时从火药燃燒开始到气体对彈丸和炮身的后效时期結束时所发

生的各种现象的物理基础。

本教程的第一篇包括关于火药及其主要特征量的知识。

尽管有些专家认为“火药燃烧静力学”和“火药燃烧动力学”的名称已不合时代要求，但由于这两个名称的简单和清楚，所以本书中仍保留了这两个名称。

第二篇“普通火药燃烧静力学”的材料叙述和配置已大大地修改过；第三篇“根据物理燃烧定律的火药弹道分析”也扩充和补充了。根据火药燃烧理论问题的现在情况，加进了几章关于某一燃烧速度定律的正确性的标准。

第四篇“火药燃烧动力学的物理基础”中加添了新的材料，并对一些问题（如药室扩大的影响， $p_{дн}-p_{ср}-p_{сн}$ 的相互关系）提出了新的解释。

第五篇提出了与气体流出有关的各种现象的概念，关于气体对弹丸的后效时期，关于后座和弹丸的最大速度的概念，以及关于有炮口制退器时作用于炮身的力的概念。

在第二部分“内弹道学问题解法的理论和实践”即理论和实用火药燃烧动力学中，叙述了内弹道学问题的解法：解析法、数值法、经验法和表解法。在这一部分的最后一篇中叙述了内弹道学最重要的实用问题——火炮的弹道设计。在这里利用了最近十年来苏联科学家的一些著作。

在第二部分的绪论中探讨了解法的任务并提出解法的分类。在第六篇中主要地提供了 1910 年在世界文献中首先发表的 Н. Ф. 特拉什德夫教授的精确解法。同时也导出了内弹道学主要问题较简单的近似解法。所有的理论解法都附有详尽的例题解法。此外，还提出了 Г. В. 奥波波可夫教授和 И. И. 葛拉维教授的解法的概念。关于研究最简单情况下主要关系的一章已重新写过并按新的方式叙述；在这一章中说明了作为 l 的函数的 $p, v, \psi, \frac{T}{T_1}$ 各弹道曲线的主要类型。

按 М. Е. 谢列伯梁可夫教授的方法根据物理燃烧定律解决问

題列为新的一章。

第七篇“数值解法”仍保持原状，差不多沒有改变。

第八篇——經驗法和表大大地縮減了，既然有了根据解析公式所編制出的精确彈道表，以前的表已失其意义；同时增加了B. E. 斯魯哈茨基教授的修正表。

在第九篇“內彈道学問題的表解法”中重新写了編表的根据，并按1942年新的 ΓAY 表补充了材料。

在教程中第一次包括了B. H. 奥昆也夫教授、H. Ф. 特拉仔德夫教授、M. C. 高洛赫夫和Л. И. 斯維里特夫副教授近年来制定的相对变数和縮減参数的方法的概念。

修正了相似理論，使得从作为編制彈道表基础的公式中自然得出相似理論的根据。

第十篇“火炮的彈道設計”全部是重新写的，这一篇提出解这个問題的新方法，这个方法不但有理論根据，并且还考虑到战术技术要求的新标准。作者專門制出的“指导图”可以大大地减少在計算时的方案数目；同时还根据B. E. 斯魯哈茨基教授的方法引进了炮身寿命的估計。

第三部分“在复杂情况下內彈道学問題的解法”中包括一些特殊的但在实际上最有趣的情况的內彈道学問題的解法。

这样，在第十一篇中提供了：

1. 用解析法和采用1942年 ΓAY 表解决关于混合装葯的問題；

2. 估計部分气体通过間隙流出的迫击炮問題的解法，并举出詳尽的計算例題；

3. Г. B. 奥波波可夫教授所制定的計及逐漸挤进时內彈道学問題的解法。

在最后的第十二篇中說明了錐膛火炮所具有的彈道特点，并提出設計这种火炮的一些知識。

这样在本教程中对現代內彈道学主要問題已闡述了大部分。

本書的大部分是由技术科学博士、炮兵科学院院士、少将炮

兵工程师 M. E. 謝列伯梁可夫教授写作的，約有六个印刷頁是由技术科学博士、少将炮兵工程师 Г. B. 奥波波可夫教授写作的。

教研室的教員們在审查这本书时集体批判地研究了这本书，Л. A. 温特茨里教授也审查了这本书并提出了一些宝贵的意見，作者对他們表示深深的謝意。

作者还要感謝完成一些主要計算和例題的年青科学工作者 И. И. 李奏尔肯和在本書出版方面仔細地进行了准备工作的上校工程师 B. B. 斯米林斯基編輯。

M. 謝列伯梁可夫

Г. 奥波波可夫

緒 論

內彈道学的研究对象和任务

炮兵是苏軍的主要突击火力。

炮兵在战斗中的主要任务是用从火炮中以某一初速射出的彈丸击中在远距离的地面目标或空中一定点的目标(对空射击时)。有时也提出彈丸应以一定的命中角或一定的速度击中目标(例如射穿鋼甲时)的要求。

彈丸是由火炮射向目标的。因此精确射击就成为火炮效力的主要要素。

射击也使得手枪的枪彈、战列艦火炮的重型彈丸和反坦克炮的穿甲彈运动起来。

彈道学研究彈丸在膛內和在空气中运动的規律，它是炮兵专业的主要技术課程之一。

彈丸的运动可以分成两个主要阶段。

射击时在炮膛內的运动，即彈丸在火药气体压力的作用下以一直增高的速度运动，并以一定的初速 v_0 从炮膛飞出。

在空气中的运动或飞行，即彈丸以一定初速(最大的速度)从炮膛飞出，在达到目标以前，它的运动一直受着重力和空气阻力的作用。

因为彈丸运动分成这两个阶段，所以彈道学按其所研究的現象以及过程的内容和性質而分为两个主要部分——內彈道学和外彈道学。

外彈道学研究彈丸从炮口飞出的瞬間或后效作用时期結束的瞬間(这时有最大速度)到彈丸达到目标瞬間之間的飞行。确定出空气对彈丸运动的阻力定律后，外彈道学即可計算在对水平面的何种角度下及何种初速下发射某一口径、重量和形状的彈丸，

使其命中一定距离的目标，或以一定的落角和一定速度通过空间的一定点（对空射击）命中目标。

内弹道学研究射击时所发生的现象和过程，特别是弹丸沿炮膛的运动，弹丸速度增长的特性和火药气体压力变化的定律（参阅图 1 和 2）。射击乃是火药的化学能很快的转变为热能，然后又变为弹丸—装药—炮身—炮架整个系统运动的动能的过程。火药及其燃烧时所生成的气体是使弹丸及火炮全部运动起来的能量赋予者。

射击过程只延续百分之几或千分之几秒，最大压力达到3000大气压或者更高，在火药燃烧气体生成的瞬间火药气体温度约达3000°C，在炮口飞出的瞬间约为2000°C；尽管如此，由一次射击

到另一次射击其射击过程还是有规律的，可以被控制的并且是稳定的。

射击规律性和稳定性的基础是建立在现代无烟胶状火药的主要而有价值的特性上——以比较不大的速度作规律地

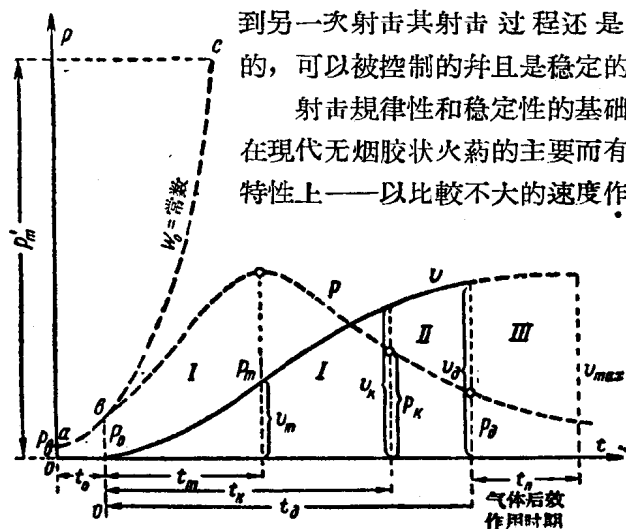


图 1 作为时间函数的气体压力和弹丸速度曲线

平行层燃烧。内弹道学利用这个特性就能指导我们在射击时如何合理地消耗火药能量；使我们可能控制射击现象，也就是我们可根据装填条件的不同来调节炮膛内火药燃烧气体的发生，以便获得必要的压力变化定律和所要求的弹丸初速。

在射击现象中明显地表现出各个因素间的相互依赖关系，例

如彈丸運動是與火藥氣體壓力有關，而壓力本身既與因壓力增高而加速的火藥燃燒有關，又與彈丸後部容積的增大有關，而彈丸後部容積的增大又與彈丸速度有關。

由於實驗和理論研究射擊規律的結果，內彈道學就有可能去解決下面的主要實際任務。

內彈道學第一個基本任務是在已知裝填條件下計算某一火炮中的火藥氣體壓力和彈丸速度變化的定律，特別是決定其最大壓力 P_m 和彈丸初速 v_0 。

內彈道學的第二個基本任務是火炮的彈道設計問題。這個問題是：為了在一定的最大壓力下賦予一定口徑和重量的彈丸以指定的初速，應如何決定炮膛設計諸元和裝填條件——裝藥重量、火藥的形狀和尺寸。

第二個任務的完成階段也包括有第一個任務在內。

除這兩個主要任務外，內彈道學還研究解決大量的在實驗和理論方面的附帶問題，這些問題可以幫助我們確定關於射擊現象的各種概念。

內彈道學的內容包括：研究和分析與膛內氣體壓力和彈丸速度的變化特性有關的條件和

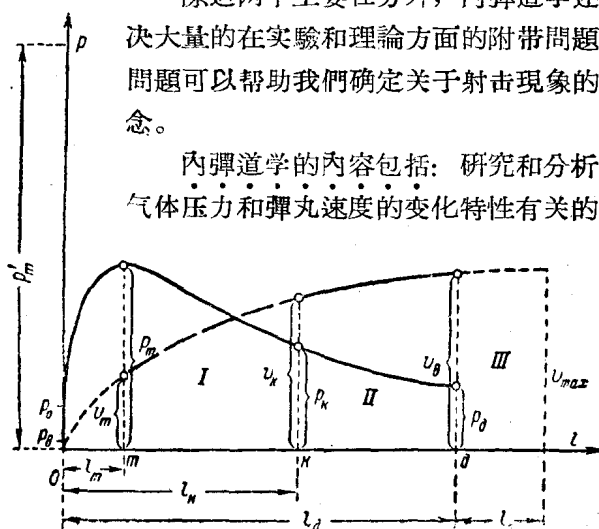


圖 2 作為行程函數的氣體壓力和彈丸速度曲綫

因素；確定射擊現象及在此現象發生的過程中所服從的一般規律；擬定在研究過程中發生的理論和實驗問題的解決方法；擬制

为研究射击现象所用的专门仪器及其使用方法；探寻内弹道学进一步发展的途径。

内弹道学内容是非常广泛的并且是多样性的。当研究其相互联系的各种现象和过程时，必然要遇到很多的参数、变量以及火炮、弹丸和装药的特征量。

所以当建立表示射击的各量间的关系式时，以及当解决内弹道学问题时，首先就需要拿出现象的主要特征，并将其简化，在某些有时并非完全正确的假设之下给出简略的解法，然后即说明并求出次要因素的影响，求出后将它们包括到最初简略的关系式中，使它们逐渐扩大和复杂化。显然，这样各种过程的复杂综合，当用数学方法表示时，有时能导出表示各主要量间关系的相当复杂的关系式。

射击现象划分为下面的各主要过程：

1) 火药燃烧和高温高压并含有大量潜能的气体生成过程；火药的燃烧速度或爆发变化速度主要是决定于气体的压力和温度，以及火药的特性和温度。

2) 包含在高压的热气体中的热能转变为弹丸—装药—炮身系统运动的动能的过程。

3) 弹丸运动，炮身后座和装药本身的气体运动时克服各种阻力的过程。

所有这些过程都相互联系着，并且同时进行和相互影响。

为了研究第一系列过程应当知道物理学、物理化学、热化学和炸药理论的原理，因为火药是发射的爆发物质。气体的一般物理定律可以应用于火药气体，化学动力学的定律可以应用于火药的燃烧。

为了根据热力学研究和计算能的转变过程，就要组成计及射击时热的发生和完成各种外功及加热膛壁的热消耗的能量平衡，同时采用热力学第一定律。

为了研究弹丸、气体和炮身的运动，当计算阻力时，就要利用理论力学、应用力学和气体动力学的定律。

所有这些过程都以一定的数学关系式和公式表达出，这些关系式和公式可以把射击諸元和装填条件相互連系起来，并且給出研究和分析射击現象时所發生的一系列問題的解法。

如上所述，可見內彈道学原理是利用下面的一些課程建立起来的：物理学、物理化学、炸葯理論、热力学、理論力学和应用力学及数学。

在綜合应用所有这些普通技术課程的基础上，內彈道学因为研究对象就是火炮射击，因而按照自己的任务建立了自己專業的炮兵技术知識。

炮兵彈道学者应找出用最好的方法使用火炮和装葯，使控制射击能日益完善的一些条件。要能够改变火葯性質、形状和尺寸，变动火炮的构造和葯室容积与炮膛的相互关系，改变彈丸的构造和重量。彈道学者应当用所有这些因素配合的方法，达到使射击过程的結果变为实际上需要的結果。

內彈道学的組成部分

內彈道学研究最复杂的火炮現象——射击，并教导我們控制这些現象，也就是教导我們計算炮膛的結構和調整火葯燃燒时气体的發生，以保証在一定的最大压力的条件下得到給定的彈丸初速。

射击現象和火葯燃燒的实驗研究是很难进行的，因为射击現象有与普通物理化学过程不同之点，它同时受下列四个因素的影响：

- 1) 压力的值最大 (2000~3000 气压或更高)；
- 2) 火葯气体的温度高 (2500~3500°C)；
- 3) 現象的延續時間很短 (0.001~0.060 秒)；
- 4) 火葯在变容积內燃燒，同时火葯气体做了各种功。

在射击現象中火葯起着决定性的作用，因此对发射瞬間火葯在膛內燃燒时气体生成定律的研究应特別注意。

将火葯装在特殊的可达到 3000 气压或更大压力的測压器中

燃燒，在定容的最簡單情況下初步研究氣體生成定律。一定的裝藥在測壓器中燃燒時的壓力增高是利用特殊的裝置記錄下來。

在測壓器中火藥是在容積保持不變的情況下進行燃燒，氣體沒有做功；因此研究氣體生成定律比較容易。如已知火藥在定容內的氣體生成定律時，就可以計算氣體使彈丸運動的同時，在氣體做功並且冷卻之下，該定律在變容積中的變化。

由於這樣的研究方法一般把內彈道學分為兩個主要部分——火藥燃燒靜力學和火藥燃燒動力學。

火藥燃燒靜力學是研究最簡單情況下的（即在定容內）火藥燃燒定律、氣體生成和增長定律。這些現象好象在彈丸處於靜止不動的條件下發生的（靜力學）。研究出這些規律性之後，我們就能利用它們來控制火炮射擊時的燃燒過程。

火藥燃燒動力學是利用火藥燃燒靜力學關於氣體生成定律的數據，研究射擊現象所有的複雜性，這時隨着火藥的燃燒同時產生能量的轉變和彈丸的運動（動力學），並且氣體做了一些機械功而冷卻。

氣體動力學研究與氣體運動和流出有關的各現象，例如：在後效時期氣體從膛內流出，氣流通過炮口制退器的孔流出，通過迫擊炮的調節閥孔和間隙中流出以及通過火箭彈的噴口流出等。

火藥燃燒靜力學和火藥燃燒動力學的理論原理是以專門實驗室或靶場進行的實驗和用普通火炮或專門裝備的火炮射擊來奠定和檢查的。

研究射擊時所發生的現象的彈道儀器是多種多樣的。儀器的構造、動作、原理和操作方法放在專門教程“實驗彈道學”中敘述。

設計火炮時內彈道學的重要性

射擊現象在理論和實驗方面的研究，就可能解決火炮的彈道設計問題。在對已給定口徑、彈重及初速的彈丸設計彈道時，先確定出炮膛的構造諸元、裝藥重量和火藥的尺寸，然後計算膛內氣

体压力变化的定律和彈丸沿炮膛运动时彈丸速度增加的定律；此外还計算在气体对彈丸和炮架后效作用时期中彈丸速度和气体压力的变化。

計算的結果，可以作为行程函数的 $p-l$ 和 $v-l$ 曲綫和以作为時間函数的 $p-t$ 和 $v-t$ 曲綫，以及 $V-t$ 曲綫（ V 是后座速度）的形式来表現（图 1 和 2）。

对于已选出的火炮彈道設計方案，在解內彈道学問題时所求得的这些数据是进一步計算炮身、炮架、彈丸、引信^①、装药和药筒时的基本原始数据。

根据解內彈道学問題时所求得的这些数据，火炮設計师就計算炮身一膛壁的厚度、炮身的重量、炮門的构造和重心的位置；計算膛內阳綫和阴綫的形状、深度和寬度；制定反后座装置和整个炮架的构造。彈药設計师計算彈体的强度及其彈带、炸药装药、药筒和底火；設計引信和時間信管的各種装置。火药工厂的技师按照給定的火药形状和尺寸計算和設計为压制这种火药所需要的压模，并拟定出制造火药的工艺規程。

这样在設計和創造新的火炮和彈药时需要利用一些炮兵課程，如內彈道学、外彈道学、火炮材料力学、炮架理論、彈丸、信管和引信的設計理論、火药和炸药的工艺学、金相学等，而內彈道学提供了主要的原始数据。

經過繁复計算之后制成了具有复杂組合机构的設計草案，象这样的草案也就是現代火炮及火炮配屬的能控制射击和彈药的各種裝置的設計草案。

这个組合机构的每一組成部分在其自身制造时都要求繁复冗长的制造工艺規程。

內彈道学的发展史

內彈道学的发展史是与炮兵的普遍發展不能分开的。

^① Трубка 譯“信管”，Взрыватель 譯“引信”，兩者区别在于引信有雷管，信管无雷管。——編者