内弹道学

上　册

M. E. 謝列伯梁可夫 著

國防工業出版社

内弹道学 上册
5
44
弹

內彈道学

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　枌　校
張　述　祖 审校



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的解法。

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軍有关工程技术人員的参考資料。

2P63/96

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 枌 校
張 述 祖 审校

*

國防工業出版社 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 粍1/32 • 10 3/4 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:1201—1700册 定价:(10)1.80 元

China

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　作为时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……213

407875

第三章　主要关系式的研究…… …… 225
第四章　弹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　火葯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

需要全本请访问 www.ertongbook.com

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葯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、經济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。

“机械化战爭”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。在斯大林五年計划的年代里，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队的新型火炮。偉大卫国战爭的实踐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，建筑在現代实驗基础上的先进理論；第二，精通这种理論和实驗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，在实踐中檢查它們的原理，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.奧波波可夫和К.К.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爭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，屬于这方面的主要是研究火葯燃燒的著作，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学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葯的設計局、工厂、研究所和实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，其中特别强調了內彈道学与火炮設計和彈葯設計之間的联系。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，叙述了內彈道学和射击时从火葯燃燒开始到气体对彈丸和炮身的后效时期結束时所发

生的各种現象的物理基础。

本教程的第一篇包括关于火药及其主要特征量的知識。

儘管有些专家認为“火药燃燒靜力学”和“火药燃燒动力学”的名称已不合时代要求，但由于这两个名称的簡单和清楚，所以本書中仍保留了这两个名称。

第二篇“普通火药燃燒靜力学”的材料的叙述和配置已大大地修改过；第三篇“根据物理燃燒定律的火药彈道分析”也扩充和补充了。根据火药燃燒理論問題的現在情况，加进了几章关于某一燃燒速度定律的正确性的标准。

第四篇“火药燃燒动力学的物理基础”中加添了新的材料，并对一些問題（如葯室扩大的影响，$p_{дн}$—$p_{ср}$—$p_{сн}$ 的相互关系）提出了新的解釋。

第五篇提出了与气体流出有关的各現象的概念，关于气体对彈丸的后效时期，关于后座和彈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“內彈道学問題解法的理論和实踐”即理論和实用火药燃燒动力学中，叙述了內彈道学問題的解法：解析法、数值法、經驗法和表解法。在这一部分的最后一篇中叙述了內彈道学最重要的实用問題——火炮的彈道設計。在这里利用了最近十年来苏联科学家的一些著作。

在第二部分的緒論中探討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. 特拉仔德夫教授的精确解法。同时也导出了內彈道学主要問題較簡单的近似解法。所有的理論解法都附有詳尽的例題解法。此外，还提出了 Г. В. 奧波波可夫教授和 И. П. 葛拉維教授的解法的概念。关于研究最簡单情况下主要关系的一章已重新写过并按新的方式叙述；在这一章中說明了作为 l 的函数的 p、v、ψ、$\frac{T}{T_1}$ 各彈道曲綫的主要类型。

按 М. Е. 謝列伯梁可夫教授的方法根据物理燃燒定律解决問

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ГАУ表补充了材料。

在教程中第一次包括了Б.Н.奧昆也夫教授、Н.Ф.特拉仔德夫教授、М.С.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。作者专門制出的“指导图”可以大大地減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ГАУ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.В.奧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.В.奧波波可夫教授写作的。

教研室的教員們在审查这本書时集体批判地研究了这本書，Л.А.温特茨里教授也审查了这本書并提出了一些宝貴的意見，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 Н.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Б.В.斯米林斯基編輯。

M. 謝列伯梁可夫

Г. 奧波波可夫

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，它是炮兵專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，即彈丸在火葯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內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徑、重量和形状的彈丸，

需要全本请访问 www.ertongbook.com

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間的一定点（对空射击）命中目标。

内彈道学研究射击时所发生的現象和过程，特别是彈丸沿炮膛的运动，彈丸速度增长的特性和火葯气体压力变化的定律（参閱图1和2）。射击乃是火葯的化学能很快的轉变为热能，然后又变为彈丸—装葯—炮身—炮架整个系統运动的动能的过程。火葯及其燃燒时所生成的气体是使彈丸及火炮全部运动起来的能量賦予者。

射击过程只延續百分之几或千分之几秒，最大压力达到3000大气压或者更高，在火葯燃燒气体生成的瞬間火葯气体温度約达3000°C，在炮口飞出的瞬間約为2000°C；儘管如此，由一次射击到另一次射击其射击过程还是有規律的，可以被控制的并且是稳定的。

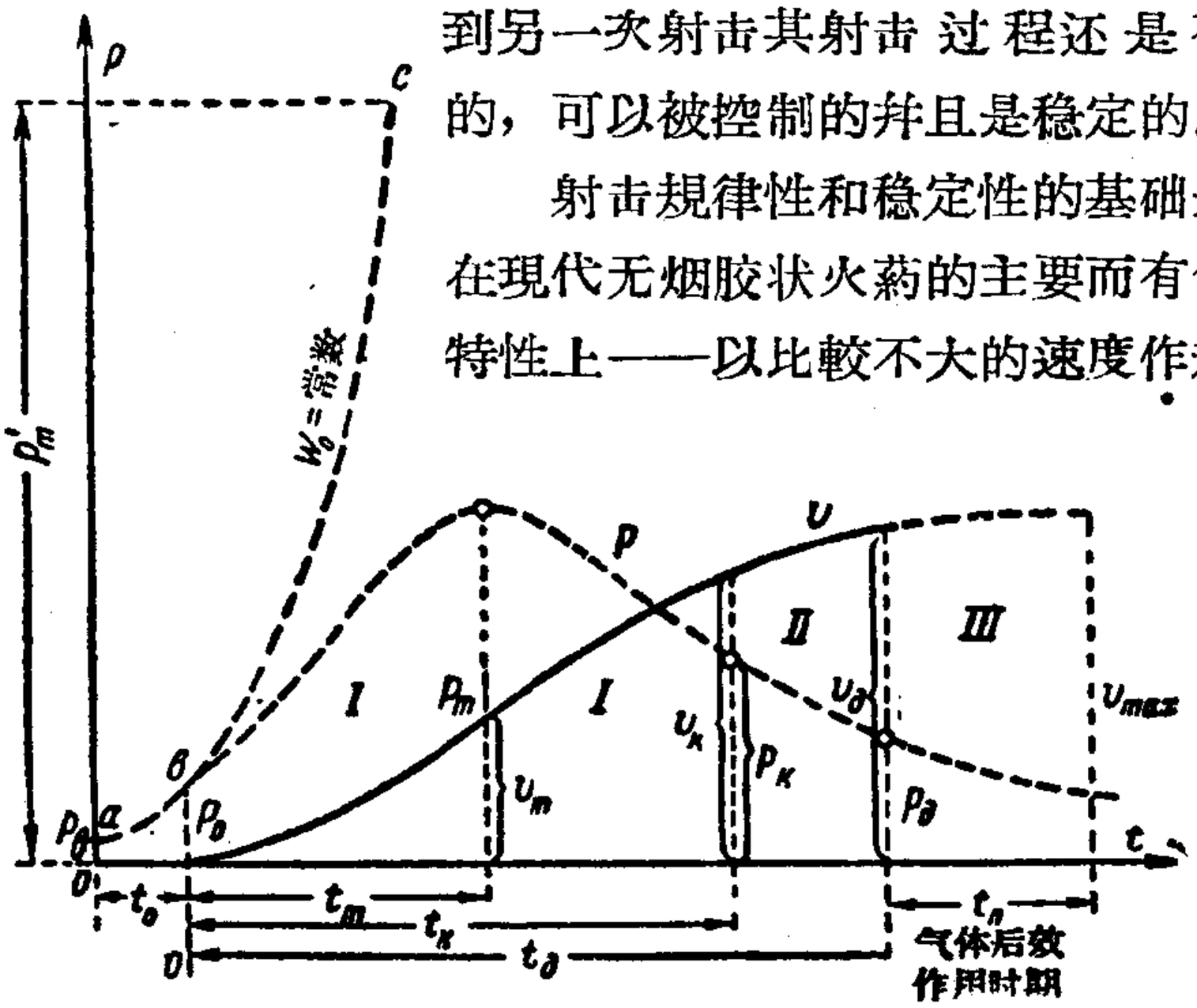


图 1　作为时間函数的气体压力和彈丸速度曲綫

射击規律性和稳定性的基础是建立在現代无烟胶状火葯的主要而有价值的特性上——以比較不大的速度作規律地平行层燃燒。内彈道学利用这个特性就能指导我們在射击时如何合理地消耗火葯能量；使我們可能控制射击現象，也就是我們可根据装填条件的不同来調节炮膛内火葯燃燒气体的发生，以便获得必要的压力变化定律和所要求的彈丸初速。

在射击現象中明显地表現出各个因素間的相互依賴关系，例

加彈丸运动是与火药气体压力有关，而压力本身既与因压力增高而加速的火药燃燒有关，又与彈丸后部容积的增大有关，而彈丸后部容积的增大又与彈丸速度有关。

由于实驗和理論研究射击規律的結果，內彈道学就有可能去解决下面的主要实际任务。

內彈道学第一个基本任务是在已知装填条件下計算某一火炮中的火药气体压力和彈丸速度变化的定律，特别是决定其最大压力 P_m 和彈丸初速 v_0。

內彈道学的第二个基本任务是火炮的彈道設計問題。这个問題是：为了在一定的最大压力下賦予一定口徑和重量的彈丸以指定的初速，应如何决定炮膛設計諸元和装填条件——装药重量、火药的形状和尺寸。

第二个任务的完成阶段也包括有第一个任务在內。

除这两个主要任务外，內彈道学还研究解决大量的在实驗和理論方面的附带問題，这些問題可以帮助我們确定关于射击現象的各种概念。

內彈道学的內容包括：研究和分析与膛內气体压力和彈丸速度的变化特性有关的条件和

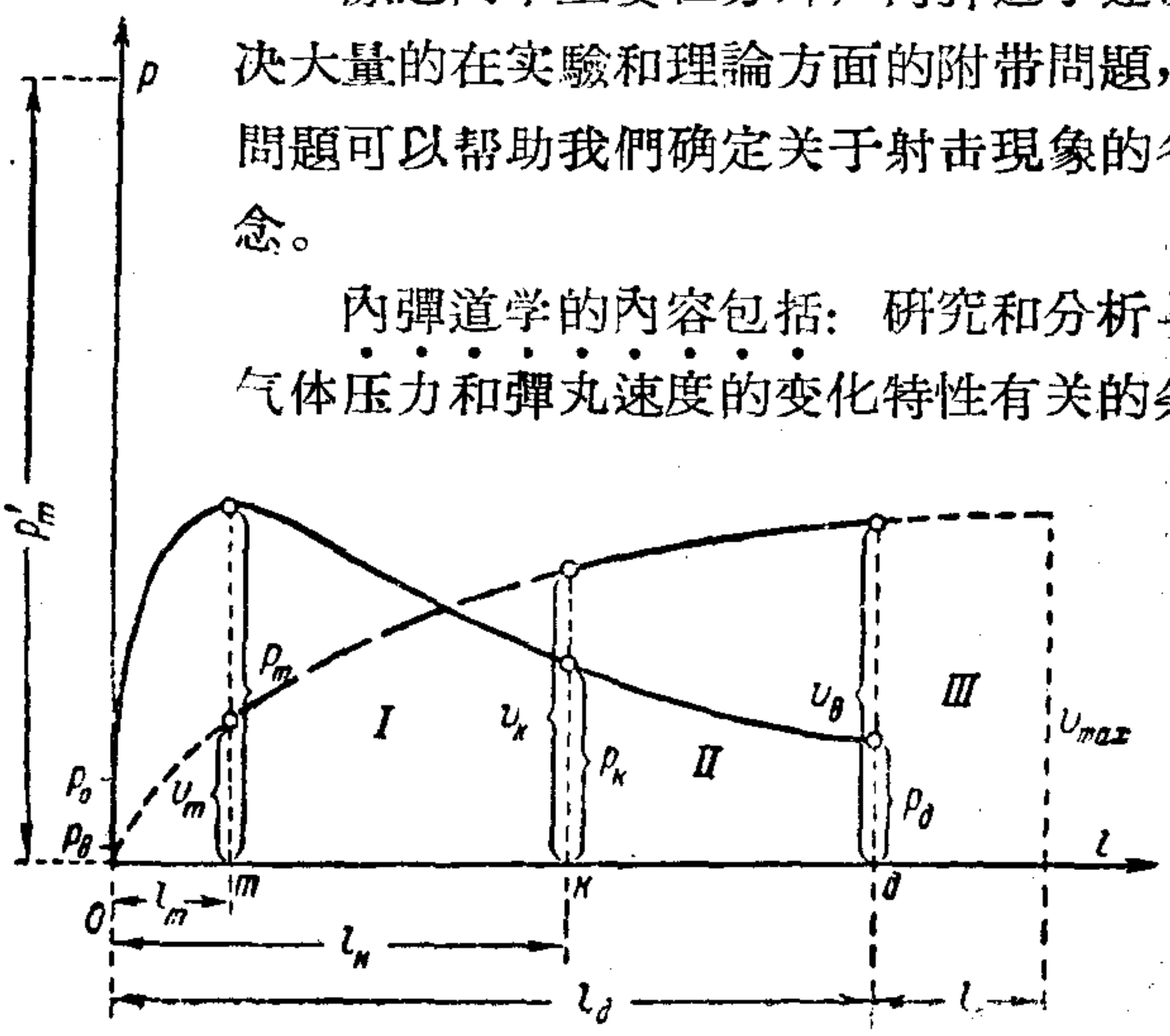


图 2　作为行程函数的气体压力和彈丸速度曲綫

因素；确定射击現象及在此現象发生的过程中所服从的一般規律；拟定在研究过程中发生的理論和实驗問題的解决方法；拟制

为研究射击現象所用的專門仪器及其使用方法；探尋內彈道学进一步發展的途徑。

內彈道学內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現象和过程时，必然要遇到很多的参数、变量以及火炮、彈丸和装葯的特征量。

所以当建立表示射击的各量間的关系式时，以及当解决內彈道学問題时，首先就需要拿出現象的主要特征，并将其簡化，在某些有时并非完全正确的假設之下給出簡略的解法，然后即說明并求出次要因素的影响，求出后将它們包括到最初簡略的关系式中，使它們逐漸扩大和复杂化。显然，这样各种过程的复杂綜合，当用数学方法表示时，有时能导出表示各主要量間关系的相当复杂的关系式。

射击現象划分为下面的各主要过程：

1）火葯燃燒和高温高压并含有大量潛能的气体生成过程；火葯的燃燒速度或爆发变化速度主要是决定于气体的压力和温度，以及火葯的特性和温度。

2）包含在高压的热气体中的热能轉变为彈丸—装葯—炮身系統运动的动能的过程。

3）彈丸运动，炮身后座和装葯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、热化学和炸葯理論的原理，因为火葯是发射的爆发物質。气体的一般物理定律可以应用于火葯气体，化学动力学的定律可以应用于火葯的燃燒。

为了根据热力学研究和計算能的轉变过程，就要組成計及射击时热的發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。

为了研究彈丸、气体和炮身的运动，当計算阻力时，就要利用理論力学、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业的炮兵技术知識。

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构和調整火葯燃燒时气体的發生，以保証在一定的气体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）現象的延續时間很短（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别注意。

將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，在定容的最簡单情况下初步研究气体生成定律。一定的装药在测压器中燃燒时的压力增高是利用特殊的装置記录下来。

在测压器中火药是在容积保持不变的情况下进行燃燒，气体沒有作功；因此研究气体生成定律比較容易。如已知火药在定容內的气体生成定律时，就可以計算气体使彈丸运动的同时，在气体做功并且冷却之下，該定律在变容积中的变化。

由于这样的研究方法一般把內彈道学分为两个主要部分——火药燃燒靜力学和火药燃燒动力学。

火药燃燒靜力学是研究最簡单情况下的（即在定容內）火药燃燒定律、气体生成和增长定律。这些現象好象在彈丸处于靜止不动的条件下发生的（靜力学）。研究出这些規律性之后，我們就能利用它們来控制火炮射击时的燃燒过程。

火药燃燒动力学是利用火药燃燒靜力学关于气体生成定律的数据，研究射击現象所有的复杂性，这时随着火药的燃燒同时产生能量的轉变和彈丸的运动（动力学），并且气体做了一些机械功而冷却。

气体动力学研究与气体运动和流出有关的各現象，例如：在后效时期气体从膛內流出，气流通过炮口制退器的孔流出，通过迫击炮的調节閥孔和間隙中流出以及通过火箭彈的噴口流出等。

火药燃燒靜力学和火药燃燒动力学的理論原理是以專門实驗室或靶場进行的实驗和用普通火炮或專門装备的火炮射击来奠定和檢查的。

研究射击时所發生的現象的彈道仪器是多种多样的。仪器的构造、动作、原理和操作方法放在专門教程“实驗彈道学”中叙述。

設計火炮时內彈道学的重要性

射击現象在理論和实驗方面的研究，就可能解决火炮的彈道設計問題。在对已給定口徑、彈重及初速的彈丸設計彈道时，先确定出炮膛的构造諸元、装药重量和火药的尺寸，然后計算膛內气

体压力变化的定律和弹丸沿炮膛运动时弹丸速度增加的定律；此外还計算在气体对弹丸和炮架后效作用时期中弹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 曲綫和以作为时間函数的 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）。

对于已选出的火炮弹道設計方案，在解內弹道学問題时所求得的这些数据是进一步計算炮身、炮架、弹丸、引信❶、装葯和葯筒时的基本原始数据。

根据解內弹道学問題时所求得的这些数据，火炮設計师就計算炮身—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。弹葯設計师計算弹体的强度及其弹带、炸葯装葯、葯筒和底火；設計引信和时間信管的各种装置。火葯工厂的技师按照給定的火葯形状和尺寸計算和設計为压制这种火葯所需要的压模，并拟定出制造火葯的工艺規程。

这样在設計和創造新的火炮和弹葯时需要利用一些炮兵課程，如內弹道学、外弹道学、火炮材料力学、炮架理論、弹丸、信管和引信的設計理論、火葯和炸葯的工艺学、金相学等，而內弹道学提供了主要的原始数据。

經过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弹葯的各种装置的設計草案。

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。

內弹道学的发展史

內弹道学的發展史是与炮兵的普遍發展不能分开的。

---

❶ 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

需要全本请访问 www.ertongbook.com