

內彈道學中的 物理燃燒定律

M. E. 謝列伯梁可夫著



國防工業出版社

2.15

17

001541

內 彈 道 學 中 的 物 理 燃 燒 定 律

M.E 謝列伯梁可夫著

盧景楷譯



1
國防工業出版社

內 容 簡 介

本書敘述了作者从1923年起在內彈道學火藥物理燃燒定律應用方面的研究結果，并綜合了作者和其他研究者的實驗。

本書適合于在內彈道範圍內工作的實驗室和研究所的工作者和彈道工程師閱讀，也可以作為軍事學院和高等工業學校有關專業學生的參考書。

苏联 М. Е. Серебряков 著 ‘Физический закон горения во внутренней баллистике’ (Оборонгиз 1940 年第一版)

*

*

*

國防工業出版社

北京市書刊出版業營業許可証出字第 074 号
機械工業出版社印刷廠印刷 新華書店發行

*

787×1092 1/32 84/16 印張 170 千字

1959 年 5 月第一版

1959 年 5 月第一次印刷

印數: 0,001—3,100 册 定價: 1.30 元

NO. 29711

目 录

序言	6
第一章 燃燒靜力学中的物理 (實驗) 燃燒定律	11
問題的現狀	11
A. 火藥的几何燃燒定律	12
文献概述	15
夏朋里“形状函数”的推广	31
B. 火藥的燃燒速度定律	42
文献概述	42
为了得到物理燃燒定律和燃燒速度定律特征量 整理	
爆發器实验結果的方法 試驗的結果	49
所得結果的分析	58
硝化棉火藥的 u_1 ($p=1$ 时的燃燒速度) 变化的特征	63
多孔道火藥的燃燒速度定律	70
結論	75
第二章 以物理燃燒定律为基础的燃燒动力学	
基本問題的解法	77
A. 預先的觀察和研究	77
預先的研究	80
虚拟質量系数 φ 的選擇	82
挤进压力 p_0 的選擇	82
量 $\theta = \frac{c_p}{c_w} - 1$ 的确定和選擇	83
$\frac{T}{T_1}$ 的表达式	85
l_v 在每一段上的平均值	91

B. 在物理燃烧定律基础上燃烧动力学

基本问题的解法	92
$v = 1$ 时基本问题的解法	92
作者的解法与夏朋里解法的比较	107
对于 $v < 1$ (积分曲线为分散线束) 情况的解法	110
指数 v 的确定	111
第一时期 (从运动开始到颗粒分裂) 基本公式的推导	112
第一时期第二阶段公式的推导	120
在物理燃烧定律条件下解法的图形说明	123

B. 作者方法的推广

对于任意燃烧定律, 在沒有爆發器实验时, 辅助函数

$$G = \int_{\psi_0}^{\psi} \int p d\tau d\tau \text{ 在理論上的确定} \quad 125$$

$$\text{几何燃烧定律的辅助函数 } G_{\psi_0} = \int_{\psi_0}^{\psi} \int p d\tau d\tau \text{ 的确定} \quad 132$$

第三章 在起始数据相同时按作者方法与

其他方法之计算结果的比较 136

A. 计算的基本公式 143

展成台劳级数的解法 143

比安克方法 (对渐减性火药) 145

本书作者的方法 146

B. 计算结果 147

第四章 物理燃烧定律的应用 160

A. 从 H. A. 薩布德斯基实验的分析证实

物理燃烧定律 162

火药外层燃烧加速对膛内最大压力位置的影响 178

B. 作者的方法在計算藥粒几何数据与 火藥化学性質变化影响中的应用	181
藥粒几何数据变化的影响	181
火藥化学性質变化的影响	187
B. 物理燃燒定律在鈍化火藥問題解法中的应用	191
I. 在物理燃燒定律基础上混合装藥的 燃燒动力学問題解法	195
II. 物理燃燒定律是无烟火藥制造与 应用之間的联系环节	207
第五章 結論	210
附录 I. 火藥在密閉容积內燃燒时膛壁热散失的計算	215
妙拉烏尔公式对在爆發器中的实验和計算的应用	226
在小装填密度时对諾貝尔公式有偏差的原因的解釋	231
妙拉烏尔数据对我們实验数据的应用	235
附录 II. 射击时火炮膛壁热散失的計算	240
射击时热散失的計算結果	253
对不同火炮系統的計算結果	255

內 彈 道 學 中 的 物 理 燃 燒 定 律

M.E 謝列伯梁可夫著

盧景楷譯



1
國防工業出版社

內 容 簡 介

本書敘述了作者从1923年起在內彈道學火藥物理燃燒定律應用方面的研究結果，并綜合了作者和其他研究者的實驗。

本書適合于在內彈道範圍內工作的實驗室和研究所的工作者和彈道工程師閱讀，也可以作為軍事學院和高等工業學校有關專業學生的參考書。

苏联 М. Е. Серебряков 著 ‘Физический закон горения во внутренней баллистике’ (Оборонгиз 1940 年第一版)

*

*

*

國防工業出版社

北京市書刊出版業營業許可証出字第 074 号
機械工業出版社印刷廠印刷 新華書店發行

*

787×1092 1/32 84/16 印張 170 千字

1959 年 5 月第一版

1959 年 5 月第一次印刷

印數: 0,001—3,100 册 定價: 1.30 元

NO. 29711

目 录

序言	6
第一章 燃燒靜力学中的物理 (實驗) 燃燒定律	11
問題的現狀	11
A. 火藥的几何燃燒定律	12
文献概述	15
夏朋里“形状函数”的推广	31
B. 火藥的燃燒速度定律	42
文献概述	42
为了得到物理燃燒定律和燃燒速度定律特征量 整理	
爆發器实验結果的方法 試驗的結果	49
所得結果的分析	58
硝化棉火藥的 u_1 ($p=1$ 时的燃燒速度) 变化的特征	63
多孔道火藥的燃燒速度定律	70
結論	75
第二章 以物理燃燒定律为基础的燃燒动力学	
基本問題的解法	77
A. 預先的觀察和研究	77
預先的研究	80
虚拟質量系数 φ 的選擇	82
挤进压力 p_0 的選擇	82
量 $\theta = \frac{c_p}{c_w} - 1$ 的确定和選擇	83
$\frac{T}{T_1}$ 的表达式	85
l_v 在每一段上的平均值	91

B. 在物理燃烧定律基础上燃烧动力学

基本问题的解法	92
$\nu = 1$ 时基本问题的解法	92
作者的解法与夏朋里解法的比较	107
对于 $\nu < 1$ (积分曲线为分散线束) 情况的解法	110
指数 ν 的确定	111
第一时期 (从运动开始到颗粒分裂) 基本公式的推导	112
第一时期第二阶段公式的推导	120
在物理燃烧定律条件下解法的图形说明	123

B. 作者方法的推广

对于任意燃烧定律, 在沒有爆發器实验时, 辅助函数

$$G = \int_{\psi_0}^{\psi} \int p d\tau d\tau \text{ 在理論上的确定} \quad 125$$

$$\text{几何燃烧定律的辅助函数 } G\psi_0 = \int_{\psi_0}^{\psi} \int p d\tau d\tau \text{ 的确定} \quad 132$$

第三章 在起始数据相同时按作者方法与

其他方法之计算结果的比较

A. 计算的基本公式	143
展成台劳级数的解法	143
比安克方法 (对渐减性火药)	145
本书作者的方法	146
B. 计算结果	147

第四章 物理燃烧定律的应用

A. 从 H. A. 薩布德斯基实验的分析证实

物理燃烧定律

火药外层燃烧加速对膛内最大压力位置的影响

B. 作者的方法在計算藥粒几何数据与 火藥化学性質变化影响中的应用	181
藥粒几何数据变化的影响	181
火藥化学性質变化的影响	187
B. 物理燃燒定律在鈍化火藥問題解法中的应用	191
I. 在物理燃燒定律基础上混合装藥的 燃燒动力学問題解法	195
II. 物理燃燒定律是无烟火藥制造与 应用之間的联系环节	207
第五章 結論	210
附录 I. 火藥在密閉容积內燃燒时膛壁热散失的計算	215
妙拉烏尔公式对在爆發器中的实验和計算的应用	226
在小装填密度时对諾貝尔公式有偏差的原因的解釋	231
妙拉烏尔数据对我們实验数据的应用	235
附录 II. 射击时火炮膛壁热散失的計算	240
射击时热散失的計算結果	253
对不同火炮系統的計算結果	255

序 言

本書是作者在物理燃燒定律，特別是在燃燒靜力學方面工作的繼續，它也補充了和發展了作者敘述在其他和較晚的與燃燒動力學有關的著作中的數據。

本書載有作者從 1913 年起在這個範圍內進行研究的基本的但遠非完全的總結，這些研究的主旨是使火藥在實驗室研究的結果與它們在火炮中的應用相結合，目的是在火藥樣品在爆發器中試驗以後，能夠知道，用這些火藥在給定裝填條件時射擊的結果將如何，以及用給定的火炮射擊時新火藥的厚度和火藥裝藥應該如何。

這個問題的解決對火藥工廠的工作者有重大的意義，並且給出重要的經濟效果，因為它允許以小量火藥在爆發器中試驗來代替部分射擊試驗。

為了實現這個任務必須：

- 1) 根據火藥在測壓爆發器中燃燒時的壓力增長曲線的形式研究火藥真正的燃燒定律；
- 2) 給出整理這些實驗數據的方法；
- 3) 給出分析所得結果的方法；
- 4) 根據這些數據確定火藥燃燒的真實情況，確定燃燒速度定律；
- 5) 將所得結果與製造過程連系起來，將這些過程的變化與火藥彈道性質的變化連系起來；
- 6) 擬定出從爆發器試驗得到的數據換算為該火藥在火

7
炮中作用的計算方法，即在物理燃燒定律基礎上解內彈道學主要問題的方法；

7) 对几何燃燒定律推广所得的方法，并在将这方法与基于几何燃燒定律而被普遍接受的其他方法比較后，說明它所給出的准确程度；

8) 將計算的結果与用側面銅柱測压器从火炮得到的射击結果相比較，并指出火藥在火炮中的作用与从爆發器中观察到的几何燃燒定律的偏差。

由于这些研究，証實了測压爆發器給出的讀数的可靠性。因为爆發器的实验可以显示出制造过程对火藥燃燒特征的影响，所以可以在內彈道學和火藥工艺學之間建立比在作者研究以前更加緊密的关系。因此，內彈道學在一系列其他的應用上得到了新的意义——即內彈道學是火藥工艺學和它在射击时的應用之間的連系环节。

为了解决这个問題，作者將自己的研究和实验与其他研究者所进行的一系列实验和射击作了比較。为此，除文献的数据以及同志們在工作上的意見和評論外，作者还利用了在许多机关参加會議时所得的材料，以及在作者领导下进行的科学研究和畢業著作的材料。

作者在自己的工作开始时（1924~1925），由于一些所得結果的互相矛盾，曾經遇到对这些結果非常可疑的关系。在繼續自己的研究时，作者滿意地注意到他提出的方法在生产 and 研究火藥和研究內彈道學的机构中愈来愈得到广泛的傳播，而作者所观察到的事实又为其他的研究者証明和补充。

这样，作者制成的，对小压力最敏感和可能記录 5~7 公斤/公分² 的压力的圓錐形測压銅柱，在實驗室的工作条件下

以及在一些特殊的情况中，几乎完全代替了圆柱形测压铜柱。

作者提出的火藥漸增性燃燒實驗特征量 Γ ， Ψ 和 $\int p dt$ ， Ψ 由于它們的直觀性，已經在从事火藥和內彈道研究的實驗室和机构的工作中采用。

物理燃燒定律在一系列的事實中得到証實，并且可以檢查和解釋在計算中不能采用和在几何燃燒定律時不能檢查的一些因素的影響。

物理燃燒定律在与火藥工艺学有關的問題中得到最廣泛的應用。

例如，用上述 Γ ， Ψ 特征量，可以容易地確定出各種制造過程对火藥燃燒特征的影響，如鈍化的影響（根据 Γ ， Ψ 曲線能够確定鈍化剂渗透的深度）浸水和干燥規範的影響，以及硝化甘油在層內重新分配的影響，等等。

現在，如果沒有爆發器的試驗以及不確定特征量 Γ ， Ψ 和 $\int p dt$ ， Ψ ，便不能分析任何一種新的火藥样品，這些試驗和特征量是对給定火炮計算火藥厚度和裝藥重量的依据。

作者在以爆發器實驗为基础的第一篇學位論文中得出的一系列結論，在最近几年內的火炮射击試驗中得到証實。

工程師雪克列因用点火藥在火炮中進行的實驗表明了點火的非瞬時性和射击結果与点火藥量和性質的一定关系。工程師羅普克的實驗表明甚至管狀藥的点火也是非同時的；專門的射击表明了几何燃燒定律对窄孔道火藥的不正確性和確証了物理燃燒定律的正確性。

最大壓力點向運動開始處的移動（B. M. 特羅菲莫夫的實驗，1925 年）和在 H. A. 薩布德斯基實驗（1914 年）中速度曲線 v ， l 較按几何燃燒定律升高的急劇，也確証了物理燃

燒定律。

为了从爆發器的数据換算到火炮，作者在1925年又以物理燃燒定律为基础拟定出解决燃燒动力学基本問題的方法。其后（1932年），这个方法被修改并应用来計算火藥在一系列火炮中的作用中；这个方法在給出很好的初速 v_n 值的同时，給出提高了10~12%的 p_m 。

分析了这个計算压力与实验差异的大小和进行了一系列新的研究后，作者在1935年又修改了自己的方法，使几个假設更为准确，同时对几何燃燒定律推广了这个方法。这就給出在相同的常数时将这个方法与其他方法比較的可能性。比較的结果表明，尽管它是近似的解法，但是計算的结果与用展成台劳級数数值积分方法所得的结果相近似。

作者在拟定燃燒动力学基本問題解法的同时，还提出了选择基本方程式中的所有常数的問題，在物理化学数据的基础上，根据可能性或从爆發器的实验中或有根据地选取它們的值。这样，指数 $\theta = \frac{c_p}{c_w} - 1$ 和它随溫度的变化便可以根据气体分析来确定。此外，根据妙拉烏尔的实验檢查了火藥在爆發器中燃燒时膛壁热散失的修正，并拟定了在射击时計算它們的方法。这就可能在确定火藥力时进行修正（参考本書的附录I）。

作者在改进自己方法时推导出輔助函数L的分析表达式，这个函数以前只能由爆發器实验的整理确定。与此同时，作者确定了这个函数的物理意义，并完整地給出作者方法的直观特征量。事实証明，这个函数L可以在带自由活塞的爆發器实验时应用，因此可以在理論上解决某些用这种爆發器工作时的实际問題。

作者在研究解釋火藥與幾何燃燒定律偏差的原因時，提出了並完成了火藥不均勻燃燒的理論，這種燃燒的不均勻是由于火藥層與層之間的不均質，以及在有孔道火藥的各種不同燃燒表面上發生氣體的條件不同而產生的。

這個理論的完成給出了設計實際上是漸增性燃燒的藥柱的新基礎。

作者在用几百種不同的火藥模型進行實驗時，認為有推廣所有這些材料的可能性。

所有以上所指的材料或多或少詳細地引載於本書中，尽管本書有較大的篇幅，但也不能包括作者掌握的和僅初步研究的全部材料。作者期望再過一些時候再回頭來談在這裡沒有觸及的材料。

作者認為法國彈道學家夏朋里和德國工程師斯密茲是自己的先行者。夏朋里（1908年）首先確定出火藥燃燒特征量與火藥製造過程的關係。斯密茲（1913年）根據實驗得到的積分圖形給出從爆發器實驗換算到火炮的方法。在妙拉烏爾（1926~1933年）和蘇哥的著作中也可遇到某些類似的整理爆發器實驗數據的方法。

在作者的著作付印後，讀了載于 *Memorial de l'artillerie française*, 1938, f^e 4, 中 Dupuis 的論文。在這篇文章中，實驗燃燒定律和表面 S 的變化定律的表達與作者的實驗相同。

第一章 燃燒靜力学中的 物理(实验)燃燒定律

問題的現狀

根据火藥在測压爆發器中燃燒时的实验得到的压力增長曲綫的分析来确定的燃燒定律，我們称为物理的(或实验的)燃燒定律。

物理燃燒定律这个名称是夏朋里为火藥的“形状函数”(1908年)首先創造的。因为作者引入的漸增性燃燒实验特征量 $\Gamma = \frac{1}{p} \frac{d\psi}{dt}$ 实质上就是“形状函数”，所以保存了夏朋里的这个名称。

在爆發器中进行实验时压力是用圓錐形測压銅柱确定的，这种測压銅柱的校檢表用在加哥林或巴兰諾夫斯基压力机上靜力壓縮測压銅柱的方法編制。在火炮射击时，压力則用圓柱形測压銅柱确定，这种測压銅柱預先在巴兰諾夫斯基压力机上进行靜力壓縮。

火藥彈道特征量——火藥力 f 和余容 α ——是根据諾貝尔公式确定的并考虑到由于活塞在銅柱壓縮时的移动而引起爆發器容积的增加和点火藥的影响。为了确定作为火藥漸增性燃燒实验特征量的气体生成速率

$$\Gamma = \frac{1}{p} \frac{d\psi}{dt},$$

像通常一样，根据考虑到点火藥影响的燃燒靜力学一般公式从压力 p 求得裝藥的已燃部分 ψ ；火藥燃燒时点火藥压力的不大变化則不作計算。