

A. M. 古爾維奇、Ю. X. 沙烏洛夫著

爆炸法热力学研究和
燃燒过程的計算



國防工業出版社

53.612

5.2.8/2
1.5

爆炸法热力学研究和 燃烧过程的计算

A. M. 古爾維奇, Ю. X. 沙烏洛夫著

吳伯禪 譯



圖書出版

內容簡介

本書敘述了用热力学函数和平衡常数計算高溫燃燒过程的方法，詳盡并严密地闡明进行这些計算所依据的一般原理，作者在書中提供出許多資料，以帮助讀者运用統一的方法来計算在恒容和恒压下的各种燃燒过程。

本書供从事研究噴气技术、火藥燃燒等的工程技術人員們閱讀。

苏联 А.М.Гурвич, Ю.Х.Шаулов 著 'Термодинамические исследования методом взрыва и расчеты процессов горения' (Издательство московского университета 1955 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
机械工業出版社印刷厂印刷 新华書店發行

*

787 × 1092 $\frac{1}{32}$ 印張 5 $\frac{10}{16}$ 119 千字

1955 年 11 月 第一版

（内部发行）

印数：0,001—3,100 册 定价：(11) 0.80 元

作者序

——为中文版而作——

高温燃烧过程的热力学计算在技术中具有非常重要的作用。我们只需提起它的某些应用范围——如测定喷气发动机的牵引力和计算火药的冲击特性等，就足以证实这一点。

本书所讨论的是用爆炸法解题时的燃烧过程的计算。由于有专门制订的实验技术，这一方法就使我们能在最大程度上接近作为计算热力学前提的“实现过程”的条件。

假如对技术中各种热过程的特性作一定的，与实验相符的假设，那么，要从爆炸法热力学研究中所采用的计算过渡到各种过程的计算，是比较不复杂的，因此，我们便不直接讨论燃烧过程的热力学计算在技术中的各种应用，而力求详尽地、尽可能严密地阐明进行这些计算所依据的一般原理，并详细地讨论了计算技术。同时，我们亦尽力想为研究者、实践者以及高等学校的学生们提供一些资料，以帮助他们运用统一的方法论去计算恒容和恒压下的各种燃烧过程。

我们究竟把这一任务完成到什么程度，这当然得由读者们自己来判断了。

我们将感到十分高兴，假如我们这本书能对中国专家们在实践工作中和科学活动的准备工作中有所裨益的话。

A. M. 古尔维奇 IO. X. 沙乌洛夫

1958年4月28日

序

本書是莫斯科大學物理化學教研組在A. B. 弗羅斯特教授的指導下，所進行的大量理論工作和教學工作的成果，從內容說，它承接着先前出版的两本書：B. M. 格利亞茲諾夫和A. B. 弗羅斯特的“熱力學數量的統計學計算法”與B. B. 柯羅布夫和A. B. 弗羅斯特的“有機化合物的自由能”。遺憾的是，安德烈·符拉季米羅維奇的早逝，使他未能參與本書的編寫，因為本書是在他死後才寫成的。本書敘述了利用熱力學函數和平衡常數計算燃燒過程的特性的方法，至於熱力學函數和平衡常數的計算法，在上述兩書中已討論過。同時，本書編寫得十分易于接受，只要具有綜合性大學化學系學生所修習普通物理化學教程的常識，便能够理解它，並不需預先學習上述格利亞茲諾夫和弗羅斯特及柯羅布夫和弗羅斯特的兩本書。為此，本書後面才特地加上附錄1，在附錄中，簡要地討論了熱力學數量的統計學計算法（利用諧振子——剛性轉子——近似法）和平衡常數的計算。

本書所援引各種計算法的原理，在捷里多維奇和普里亞爾尼及瓦尼契夫、里尤伊斯和愛里伯的專題論文中已經討論過。本書的作者們大大地改善了這些方法，統一了恒容和恒壓下的計算法，並力求既嚴密，又易懂地敘述這些方法。尤為獨創的是他們導出了本書所援引的大量公式。作者所以要導出許多簡單的公式，是為了使讀者便于檢查計算的最初幾個階段是否正確，因為正如事實告訴我們的，在最初幾個階

6
段中，常常會出現一些誤差，這些誤差可能使以後全部十分艱巨的工作都歸于徒然。第九章援引出作者們鑽研出的兩種計算法：由於燃燒產物中有溫度梯度，而應對最大爆炸壓力引入的修正的簡化計算法，以及在燃燒產物中視與爆炸器中心的距離而定的溫度分布的計算法。

此外，本書還討論了根據最大爆炸壓力的實驗值，來計算燃燒產物的熱容的簡單方法。所有和爆炸法熱力學研究有關的計算，都是根據第五、六兩章中所述歸一化的恒容和恒壓燃燒計算法引出的。

在第九章中和資料附錄中，根據第九章以前各章所敘述的原理，討論了爆炸法熱力學研究和這些研究的計算的例子；這些例子除了其直接意義之外，還具有另一個目的：使讀者易于用批判的態度，來對待每一情況中所要求計算準確度的估計，特別是對於用統計學方法計算物質的熱力學函數時所要求的準確度，由於估計準確度的工作非常艱巨，這是十分重要的。

本書所援引的各種計算方法，都用大量的例子加以說明。讀者不難發現這些例子的選擇有一定的系統性，也不難發現某些例子之間的關係。本書的所有例子都是作者計算出的。

本書各種計算法的敘述形式，使得從事燃燒過程的許多研究者和實用工程師都可能利用它們。本書之所以能具有巨大的實用意義，也正在於此。

蘇聯科學院通訊院士

Я. И. 格萊西莫夫

目 录

作者序	4
序	5
第一章 緒論	7
第二章 最大爆炸压力的实验测定	10
第三章 在中心点火的球形容器中爆炸时达到平衡的程度和热耗損	20
第四章 燃燒过程热力学計算的一般原則	27
第五章 恒容燃燒过程的計算	32
第六章 恒压燃燒过程的計算。直接計算法	61
第七章 恒压燃燒过程的計算。近似計算法	73
第八章 燃燒产物混合物成分的几种計算法	93
第九章 爆炸法热力学研究	110
結束語	138
附录 I 热力学数量統計学計算法的一些基本知識	140
附录 II 恒压下燃燒产物混合物的熵的計算	163
附录 III 用計算机从近似值快速計算平方根的方法	170
附录 IV 热力学計算用的一些起始数据	173

00750

82.8/2
1.55

爆炸法热力学研究和 燃烧过程的计算

A. M. 古爾維奇, Ю. X. 沙烏洛夫著

吳伯禪 譯



內容簡介

本書敘述了用热力学函数和平衡常数計算高溫燃燒过程的方法，詳盡并严密地闡明进行这些計算所依据的一般原理，作者在書中提供出許多資料，以帮助讀者运用统一的方法来計算在恒容和恒压下的各种燃燒过程。

本書供从事研究噴气技术、火藥燃燒等的工程技術人員們閱讀。

苏联 А.М.Гурвич, Ю.Х.Шаулов 著 'Термодинамические исследования методом взрыва и расчеты процессов горения' (Издательство московского университета 1955 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
机械工業出版社印刷厂印刷 新华書店發行

*

787 × 1092 $\frac{1}{32}$ 开本 5 $\frac{10}{16}$ 119 千字

印数: 0,001—5,100 册 定价: (11) 0.80 元

目 录

作者序	4
序	5
第一章 緒論	7
第二章 最大爆炸压力的实验测定	10
第三章 在中心点火的球形容器中爆炸时达到平衡的程度和热耗損	20
第四章 燃燒过程热力学計算的一般原則	27
第五章 恒容燃燒过程的計算	32
第六章 恒压燃燒过程的計算。直接計算法	61
第七章 恒压燃燒过程的計算。近似計算法	73
第八章 燃燒产物混合物成分的几种計算法	93
第九章 爆炸法热力学研究	110
結束語	138
附录 I 热力学数量統計学計算法的一些基本知識	140
附录 II 恒压下燃燒产物混合物的熵的計算	163
附录 III 用計算机从近似值快速計算平方根的方法	170
附录 IV 热力学計算用的一些起始数据	173

作者序

——为中文版而作——

高温燃烧过程的热力学计算在技术中具有非常重要的作用。我们只需提起它的某些应用范围——如测定喷气发动机的牵引力和计算火药的冲击特性等，就足以证实这一点。

本书所讨论的是用爆炸法解题时的燃烧过程的计算。由于有专门制订的实验技术，这一方法就使我们能在最大程度上接近作为计算热力学前提的“实现过程”的条件。

假如对技术中各种热过程的特性作一定的，与实验相符的假设，那么，要从爆炸法热力学研究中所采用的计算过渡到各种过程的计算，是比较不复杂的，因此，我们便不直接讨论燃烧过程的热力学计算在技术中的各种应用，而力求详尽地、尽可能严密地阐明进行这些计算所依据的一般原理，并详细地讨论了计算技术。同时，我们亦尽力想为研究者、实践者以及高等学校的学生们提供一些资料，以帮助他们运用统一的方法论去计算恒容和恒压下的各种燃烧过程。

我们究竟把这一任务完成到什么程度，这当然得由读者们自己来判断了。

我们将感到十分高兴，假如我们这本书能对中国专家们在实践工作中和科学活动的准备工作中有所裨益的话。

A. M. 古尔维奇 Ю. X. 沙乌洛夫

1958年4月28日

序

本書是莫斯科大學物理化學教研組在A. B. 弗羅斯特教授的指導下，所進行的大量理論工作和教學工作的成果，從內容說，它承接着先前出版的两本書：B. M. 格利亞茲諾夫和A. B. 弗羅斯特的“熱力學數量的統計學計算法”與B. B. 柯羅布夫和A. B. 弗羅斯特的“有機化合物的自由能”。遺憾的是，安德烈·符拉季米羅維奇的早逝，使他未能參與本書的編寫，因為本書是在他死後才寫成的。本書敘述了利用熱力學函數和平衡常數計算燃燒過程的特性的方法，至於熱力學函數和平衡常數的計算法，在上述兩書中已討論過。同時，本書編寫得十分易于接受，只要具有綜合性大學化學系學生所修習普通物理化學教程的常識，便能够理解它，並不需預先學習上述格利亞茲諾夫和弗羅斯特及柯羅布夫和弗羅斯特的兩本書。為此，本書後面才特地加上附錄1，在附錄中，簡要地討論了熱力學數量的統計學計算法（利用諧振子——剛性轉子——近似法）和平衡常數的計算。

本書所援引各種計算法的原理，在捷里多維奇和普里亞爾尼及瓦尼契夫、里尤伊斯和愛里伯的專題論文中已經討論過。本書的作者們大大地改善了這些方法，統一了恒容和恒壓下的計算法，並力求既嚴密，又易懂地敘述這些方法。尤為獨創的是他們導出了本書所援引的大量公式。作者所以要導出許多簡單的公式，是為了使讀者便于檢查計算的最初幾個階段是否正確，因為正如事實告訴我們的，在最初幾個階

6
段中，常常會出現一些誤差，這些誤差可能使以後全部十分艱巨的工作都歸于徒然。第九章援引出作者們鑽研出的兩種計算法：由於燃燒產物中有溫度梯度，而應對最大爆炸壓力引入的修正的簡化計算法，以及在燃燒產物中視與爆炸器中心的距離而定的溫度分布的計算法。

此外，本書還討論了根據最大爆炸壓力的實驗值，來計算燃燒產物的熱容的簡單方法。所有和爆炸法熱力學研究有關的計算，都是根據第五、六兩章中所述歸一化的恒容和恒壓燃燒計算法引出的。

在第九章中和資料附錄中，根據第九章以前各章所敘述的原理，討論了爆炸法熱力學研究和這些研究的計算的例子；這些例子除了其直接意義之外，還具有另一個目的：使讀者易于用批判的態度，來對待每一情況中所要求計算準確度的估計，特別是對於用統計學方法計算物質的熱力學函數時所要求的準確度，由於估計準確度的工作非常艱巨，這是十分重要的。

本書所援引的各種計算方法，都用大量的例子加以說明。讀者不難發現這些例子的選擇有一定的系統性，也不難發現某些例子之間的關係。本書的所有例子都是作者計算出的。

本書各種計算法的敘述形式，使得從事燃燒過程的許多研究者和實用工程師都可能利用它們。本書之所以能具有巨大的實用意義，也正在於此。

蘇聯科學院通訊院士

Я. И. 格萊西莫夫

第一章 緒論

当气态爆炸混合物迅速地燃燒时，可以达到非常高的溫度。可以十分自然地設想，由于在这种条件下反应进行的速度很大，在燃燒完全結束之前，系統就已进入化学平衡状态。由于燃燒进行得很快，消散到四周空間的热耗損一般是很小的。这种情况使我們可以利用热力学来計算最大爆炸压力、膨脹度、燃燒溫度等数量。

如果采用适当的实验装置，甚至完全可能把热耗損降低到可以忽略不計的程度。在一定条件下采用这种方法，就能使燃燒特性的实验值和利用热力学定律計算出的理論值很好地符合。不仅如此，在这种情况下，实验又使我們能計算出某些包括在实验觀測量的計算公式中的、未知的热力学数量。为了达到这一目的，通常采用在封閉的球形容器(測压彈)中心点火的爆炸法。在这种容器中，当爆炸混合物完全燃燒时，火焰会在容器內表面的各点上，同时和器壁發生接触。在容器中达到最大压力的瞬时之前，对于迅速燃燒着的混合物來說，热耗損是小到可以忽略的。最大爆炸压力可以用特殊的压力指示器測出。这个方法首先由本井提出，經過皮尔克服了某些技术上的困难之后，曾为許多研究者用来决定气体的平均热容及达到其他目的。可以举出大量成功地利用这一方法的实例，如用来决定高溫下的热力学数量，用来确定分子构造的資料，用来研究燃燒过程本身，用来决定利用爆炸混合物的能量时可能达到的最大效率等等。其他热力学研究法

虽然有时比爆炸法更为精确，但是，在数量级相当于气态爆炸混合物燃烧温度的高温下，却无法利用它们进行研究。

在本书中，我们完全不准备讨论通过爆轰速度的测量值和理论计算值的比较，是否可能进行定量的热力学研究的问题。这类研究曾为捷里托维奇、莱特涅尔和其他研究者所进行过。这种情况下的计算，基本上与在封闭容器中绝热爆炸的计算相似。在比测压弹爆炸法更高的温度下，可以用这一方法来研究气体的热力学性质。

要在恒压下研究燃烧，可以采用下面概述的方法。在肥皂泡或用透明的薄橡皮做成的球形壳中心，用火花点燃爆炸混合气。当火焰在这种“恒压测压弹”中传播时，它保持着球形，此时，火焰直径的改变用运动着的照相胶片记录下来。

用这种方法可以决定出膨胀度，也就是在恒压下燃烧产物的最终容积和原来混合物起始容积之比。

最可靠的火焰温度测定法是光谱线分析法。从白炽灯丝发出的光通过用钠屑染过色的火焰。假如逐渐提高灯丝的温度，那么，当灯丝的温度等于火焰的温度时，钠的明亮的辐射谱线就转变成黑色的吸收谱线。

用上述方法所得燃烧特性的实验值，十分令人满意地和理论值相符合，这一事实证明，进行热力学计算所依据的基本假设和原始资料是正确的。因此，从技术上说，我们得到了一种足够可靠的燃烧过程算法。燃料和仪器材料的选择，原始混合物的组成对过程某些特性的影响的估计，进行工作用的燃料的化学能可能利用程度的决定，各种发动机的技术特性的计算，冶金学中、焊接工艺中、燃料汽化中的各种问题——这些问题都属于利用燃烧过程热力学计算法的范

9

圍，但是整個範圍所包括的還遠不止于此。

進行這些計算所採用的熱力學數量，是根據分子和原子構造的数据（这些数据主要得自分光鏡和電子譜的實驗），用統計學方法計算出來的。這樣，在決定微觀數量的實驗和決定直接表征現實過程的宏觀數量的實驗之間，便搭起了一座“數學之橋”了。

第二章 最大爆炸压力的实验测定

要以能满足科学研究的要求的精确度来测定最大爆炸压力，这是一个十分复杂的任务。在这儿，我们只简要地描述用来达到这一目的的实验装置，以求为燃烧过程的热力学计算打下现实的物理基础。下面我们将详细讨论这些计算的操作程序。

这种装置（圖 1 a）包括一个爆炸容器（测压弹）和一

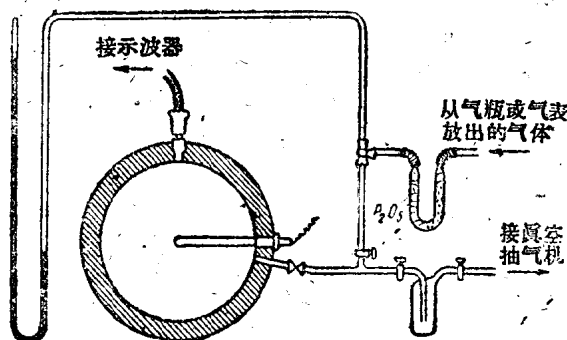


圖1a 球形测压弹及其辅助装备图。

个压力指示器^①；测压弹附有抽气用的、导入气体和蒸气用的和点燃混合物用的各种设备，膜片式压力指示器则记录下爆炸时压力随时间变化的情况。随着研究任务的不同，装置还可能附有其他设备和仪器。

① 由于活塞式指示器的惯性太大，它不能用于精确的测量。

在波因和道宁特的书中，曾叙述了测压弹爆炸法热力学研究用的压力指示器的发明史。