

燃燒理論 基礎

D. B. 斯帕尔丁著



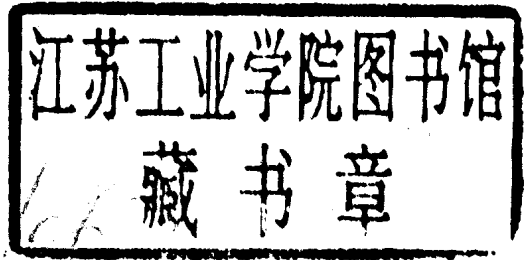
國防工業出版社

72.55
616

燃 烧 理 论 基 础

D. B. 斯帕尔丁著

曾求凡译 张斌全校



国 际 工 业 学 院 出 版 社

內容簡介

本書詳細地介紹了有關燃燒過程的熱交換及質量交換的基礎理論，燃燒過程中各種現象的相互關係以及燃燒理論在工程實際中的運用問題。

本書作者將燃燒工程人員所必須掌握的知識由大量文獻中選出，經過歸納整理，自成系統，並作了綜合分析，說理精湛，且有獨到見解。

本書適于燃燒裝置設計工程師及科研人員使用，但亦可作高等工業學校有關專業的教學參考書。

本書為“燃氣輪機叢書 (Gas Turbine Series)”的第二卷，中譯本系根據英文原版譯出。

SOME FUNDAMENTALS OF COMBUSTION

[英] D. B. Spalding

Butterworths Scientific Publications

London 1955

*

燃燒理論基礎

曾求凡譯 張斌全校

*

國防工業出版社出版

北京市書刊出版業營業許可證出字第 074 號

國防工業出版社印刷廠印刷 新華書店北京發行所發行

*

850×1168 1/32 印張 8 1/16 206 千字

1964年6月第一版 1964年6月第一次印刷 印數：0,001—3,400冊

統一書號：15034·715 定價：(科七)1.40元

譯者的話

近年來，由于空气噴气发动机和火箭技术的迅速发展，强化以及更好的組織燃料的燃燒过程就成为日益迫切的需要。因此，燃燒过程及其有关的理論研究也相应地迅速而蓬勃地开展起来。燃燒的試驗工作也同时大量的进行。目前我国和各国对燃燒問題所进行的研究工作的基本情况是：个别的燃燒問題的試驗和理論研究的資料数量相当丰富，但分散地載在各种杂志文獻中，而总结归纳、綜合分析的工作則比較缺乏，系統的讲述燃燒基础理論的著作更为数不多。

本书独到之处在于詳細闡述热交換和质量交換的基础理論，并运用这些理論来解决各种燃燒現象問題（书中主要内容包含在第四、第五和第六章中）。本书不仅是基本概念讲得很清楚，取材很精练，而且也注意到理論的实际应用以及理論在实用中所存在的問題。因此，本书可认为是一部較好的著作，不仅对学习燃燒理論的人很有用处，而且对燃燒室設計工程師們也有参考价值。

正因为本书內容的選擇有突出的重点，所以在其它方面难免有薄弱之处，例如对燃燒过程的化学动力学，紊流火焰傳播理論，自燃着火理論以及爆振燃燒等問題叙述是不够深透的。另外，作者对图解法很感兴趣，而在公式的推导方面似欠詳細。

应当指出：本书原版本出版以来，迄今已有七、八年之久，在目前燃燒理論迅速发展的形勢下，书中有一部分內容看来已比較陈旧或者不够完善。因此讀者应注意用发展的观点来閱讀本书。

譯者

1963年

序 言

本书是专为从事設計燃燒裝置的工程师和有关人員編写的。虽然本书所討論的实际应用問題主要屬於燃气渦輪的燃燒問題，但作者希望本书同样对有关鍋爐、工业用爐和火箭、冲压噴气机及其它高放热强度的燃燒裝置問題也能适用。

研究燃燒学的工程师需要相当广博的科学知識作基础，其中有热力学，空气动力学，热交換和质量交換，以及化学等科学。在一門专业的課程里决不可能对这許多內容都讲得很充分；同时空气动力学和化学专业中各門課程以及其教材中所包含的內容又都比燃燒工程师所需要的多得多，因而学生很难适当选择对他們最有用的学习資料。由于与燃燒有关的学科种类很多，所以有关燃燒的文献广泛散布在各种科学和技术杂志內，而且各文献的写作观点又各有不同。对于同样的一套試驗設備，化学家的目的則是研究化学反应的性质，而燃料技术人員却是为了作燃料的标准試驗，但是对发动机設計师來說，他們所关心的是这套設備能否成为他的設計方案中的一个可能的构件。初学的人对他們的研究題目乍看起来是相似的，其实他們所討論的內容却完全不同。

高放热强度的燃气輪机及其它燃燒裝置的出現大大促进了这門科学的迅速发展，由此也造成了一些学术上的混乱。大量科学論文的陸續发表，迫使編好的教科书几乎是剛剛出版就又落后了。因此教科书就为一些論文集和汇编所代替，而这些論文集的內容学生又不容易融会貫通。

作者在燃燒学方面是一个后进，編写本书只可看作是为了弥补个人过去所学之不足以及适应需要及时反映当前燃燒研究成果所作的一次努力。如果本书內容的組織可认为是成功的話，这仅仅是由于对材料的严格取舍所致。作者主要意图是要提供关于燃

解和控制工程設備中燃燒方面所必需的概括性知識；但由於作者的知識和經驗不足，所以內容處理上受很大的局限性。正由於這些原因，再加上燃燒理論的迅速發展和計算方法尚待確定，所以這本書只能認為是一本專題論文而不是系統深入的理論著作。

雖然已假定讀者都已具備了關於熱力學、流體力學、熱交換與質量交換方面的知識，但這方面的扼要內容仍選入前三章內。這些內容顯然是不夠的。第四章較詳細地講述了帶有化學反應的熱交換與質量交換。有些內容和燃氣輪機關係並不大，但是也包括進去以求其完整。作者意圖是要介紹在各種條件下計算質量交換率的系統的方法。這種方法最後的可靠性也尚未經試驗證明，因此所援引的實驗結果主要是作為說明問題的手段而不是企圖驗證其實用性。

第五章討論燃燒的某些化學特性。通過這些化學和物理過程的相互關係可以說明火焰傳播與穩定燃燒，熄火以及點火等現象。所牽涉到的化學方面的內容僅限於分子碰撞理論及活化能的概念。這樣的選材雖然不能引起化學家閱讀該章的興趣，但討論像化學動力學一類時興的理論並沒有多大的好處，而且所選入的淺顯的理論已經足夠說明燃燒工程師所關心的燃燒現象的大部分。本書作者強調了各種現象的相互聯繫，例如層流火焰速度，熄火距離以及吹熄速度等等之間的關係，甚至做得有些過份了；這是因為，如果眼前有一個一般的理論（縱然是不夠成熟的）可作為比較的話，則實驗中所觀察到的許多現象就易於理解。作者同樣強調了在均勻混氣，液體燃料和固體燃料三者中保持穩定燃燒的各因素的相似性。在每一種穩定的燃燒過程中，穩定區域的上限決定於質量交換率是否過剩，而其下限則取決於熱量損失是否過大。這種講述的方式作者認為是很能說明問題的。

最後一章討論了第四、第五章的理論在工程技術上的應用。該章內容的簡短正反映出在這一方面目前所獲得的知識的局限性。顯然，這方面的知識還必須提前加以發展和充實才能使燃燒

系統的設計成为可以根据科学家提供的数据而进行精确計算。纵然如此，作者仍然认为：近年来这方面知識的增加，使目前燃燒室設計的方法有了可靠的基础，而燃燒过程中的物理和化学因素可以分离而分別地加以研究，全部燃燒現象就是由于这些相同的因素（在随特定的气动力学条件而变化的方式下）相互作用的结果。因此，对燃燒現象的估計就变成仅仅是解决一个在热量和质量の諸点泉及諸点潭間的热量交換与质量交換的問題。这些泉和潭的强度是和局部溫度及濃度有关。对于這個問題，可以从有关的学科借取所需的数学工具和实验技术。借用純粹的数学方法自然会有困难，因为紊流的气动力学性质（特别是强紊流中存有强剪切現象）現在來說还没有研究透彻；不过这些困难都是有办法克服的。至少，任务的性质目前已經明确。这是作者坚定的看法，虽然知道这看法可能是过于乐观些，这是因为多少年来燃燒現象被认为是神秘的，許多工程师对于燃燒問題能够像应力分析那样按現成公式求解的可能性認識不足。缺乏这种認識便会妨碍燃燒学科的进展，其严重性可能超过燃燒本身的复杂性。

（下略）

D. B. 斯帕尔丁

1954年12月18日

目 录

譯者的話.....	4
序言.....	5
第一章 热力学.....	8
第二章 流体的流动.....	29
第三章 热交换和质量交换.....	51
第四章 有化学反应的热交换和质量交换.....	94
第五章 燃烧过程中的化学影响.....	161
第六章 工程上的应用.....	236
参考文献.....	252

07150

72.55
616

燃 烧 理 論 基 础

D. B. 斯帕尔丁著

曾求凡譯 張斌全校

31000/06



國際科學技術出版社

內 容 簡 介

本书詳細地介紹了有关燃燒过程的热交换及质量交换的基础理論，燃燒过程中各种現象的相互关系以及燃燒理論在工程实际中的运用問題。

本书作者將燃燒工程人員所必須掌握的知識由大量文獻中選出，經過歸納整理，自成系統，並作了綜合分析，說理精湛，且有独到見解。

本书适于燃燒裝置設計工程師及科研人員使用，但亦可作高等工業學校有关专业的教学参考书。

本书为“燃气輪机丛书 (Gas Turbine Series)”的第二卷，中譯本系根据英文原版譯出。

SOME FUNDAMENTALS OF COMBUSTION

[英] D. B. Spalding

Butterworths Scientific Publications

London 1955

*

燃燒理論基础

曾求凡譯 張斌全校

*

国防工業出版社出版

北京市書刊出版業營業許可證出字第 074 号

国防工業出版社印刷廠印刷 新华書店北京發行所發行

*

850×1168 1/32 印張 8 1/16 206千字

1964年6月第一版 1964年6月第一次印刷 印數：0,001—3,400册

統一書號：15034·715 定價：(科七)1.40元

目 录

譯者的話	4
序言	5
第一章 热力学	8
第二章 流体的流动	29
第三章 热交换和质量交换	51
第四章 有化学反应的热交换和质量交换	94
第五章 燃烧过程中的化学影响	161
第六章 工程上的应用	236
参考文献	252

07150

譯者的話

近年来，由于空气噴气发动机和火箭技术的迅速发展，强化以及更好的組織燃料的燃燒过程就成为日益迫切的需要。因此，燃燒过程及其有关的理論研究也相应地迅速而蓬勃地开展起来。燃燒的試驗工作也同时大量的进行。目前我国和各国对燃燒問題所进行的研究工作的基本情况是：个别的燃燒問題的試驗和理論研究的資料数量相当丰富，但分散地載在各种杂志文獻中，而总结归纳、綜合分析的工作則比較缺乏，系統的讲述燃燒基础理論的著作更为数不多。

本书独到之处在于詳細闡述热交換和质量交換的基础理論，并运用这些理論来解决各种燃燒現象問題（书中主要内容包含在第四、第五和第六章中）。本书不仅是基本概念讲得很清楚，取材很精练，而且也注意到理論的实际应用以及理論在实用中所存在的問題。因此，本书可认为是一部較好的著作，不仅对学习燃燒理論的人很有用处，而且对燃燒室設計工程师們也有参考价值。

正因为本书內容的选择有突出的重点，所以在其它方面难免有薄弱之处，例如对燃燒过程的化学动力学，紊流火焰傳播理論，自燃着火理論以及爆振燃燒等問題叙述是不够深透的。另外，作者对图解法很感兴趣，而在公式的推导方面似欠詳細。

应当指出：本书原版本出版以来，迄今已有七、八年之久，在目前燃燒理論迅速发展的形勢下，书中有一部分內容看来已比較陈旧或者不够完善。因此讀者应注意用发展的观点来閱讀本书。

譯者

1963年

序 言

本书是专为从事設計燃燒裝置的工程师和有关人員編写的。虽然本书所討論的实际应用問題主要屬於燃气渦輪的燃燒問題，但作者希望本书同样对有关鍋爐、工业用爐和火箭、冲压噴气机及其它高放热强度的燃燒裝置問題也能适用。

研究燃燒学的工程师需要相当广博的科学知識作基础，其中有热力学，空气动力学，热交換和质量交換，以及化学等科学。在一門专业的課程里决不可能对这許多內容都讲得很充分；同时空气动力学和化学专业中各門課程以及其教材中所包含的內容又都比燃燒工程师所需要的多得多，因而学生很难适当选择对他們最有用的学习資料。由于与燃燒有关的学科种类很多，所以有关燃燒的文献广泛散布在各种科学和技术杂志內，而且各文献的写作观点又各有不同。对于同样的一套試驗設備，化学家的目的則是研究化学反应的性质，而燃料技术人員却是为了作燃料的标准試驗，但是对发动机設計师來說，他們所关心的是这套設備能否成为他的設計方案中的一个可能的构件。初学的人对他們的研究題目乍看起来是相似的，其实他們所討論的內容却完全不同。

高放热强度的燃气輪机及其它燃燒裝置的出現大大促进了这門科学的迅速发展，由此也造成了一些学术上的混乱。大量科学論文的陸續发表，迫使編好的教科书几乎是剛剛出版就又落后了。因此教科书就为一些論文集和汇编所代替，而这些論文集的內容学生又不容易融会貫通。

作者在燃燒学方面是一个后进，編写本书只可看作是为了弥补个人过去所学之不足以及适应需要及时反映当前燃燒研究成果所作的一次努力。如果本书內容的組織可认为是成功的話，这仅仅是由于对材料的严格取舍所致。作者主要意图是要提供关于燃

解和控制工程設備中燃燒方面所必需的概括性知識；但由於作者的知識和經驗不足，所以內容處理上受很大的局限性。正由於這些原因，再加上燃燒理論的迅速發展和計算方法尚待確定，所以這本書只能認為是一本專題論文而不是系統深入的理論著作。

雖然已假定讀者都已具備了關於熱力學、流體力學、熱交換與質量交換方面的知識，但這方面的扼要內容仍選入前三章內。這些內容顯然是不夠的。第四章較詳細地講述了帶有化學反應的熱交換與質量交換。有些內容和燃氣輪機關係並不大，但是也包括進去以求其完整。作者意圖是要介紹在各種條件下計算質量交換率的系統的方法。這種方法最後的可靠性也尚未經試驗證明，因此所援引的實驗結果主要是作為說明問題的手段而不是企圖驗證其實用性。

第五章討論燃燒的某些化學特性。通過這些化學和物理過程的相互關係可以說明火焰傳播與穩定燃燒，熄火以及點火等現象。所牽涉到的化學方面的內容僅限於分子碰撞理論及活化能的概念。這樣的選材雖然不能引起化學家閱讀該章的興趣，但討論像化學動力學一類時興的理論並沒有多大的好處，而且所選入的淺顯的理論已經足夠說明燃燒工程師所關心的燃燒現象的大部分。本書作者強調了各種現象的相互聯繫，例如層流火焰速度，熄火距離以及吹熄速度等等之間的关系，甚至做得有些過份了；這是因為，如果眼前有一個一般的理論（縱然是不夠成熟的）可作為比較的話，則實驗中所觀察到的許多現象就易於理解。作者同樣強調了在均勻混氣，液體燃料和固體燃料三者中保持穩定燃燒的各因素的相似性。在每一種穩定的燃燒過程中，穩定區域的上限決定於質量交換率是否過剩，而其下限則取決於熱量損失是否過大。這種講述的方式作者認為是很能說明問題的。

最後一章討論了第四、第五章的理論在工程技術上的應用。該章內容的簡短正反映出在這一方面目前所獲得的知識的局限性。顯然，這方面的知識還必須提前加以發展和充實才能使燃燒

系統的設計成为可以根据科学家提供的数据而进行精确計算。纵然如此，作者仍然认为：近年来这方面知識的增加，使目前燃燒室設計的方法有了可靠的基础，而燃燒过程中的物理和化学因素可以分离而分別地加以研究，全部燃燒現象就是由于这些相同的因素（在随特定的气动力学条件而变化的方式下）相互作用的结果。因此，对燃燒現象的估計就变成仅仅是解决一个在热量和质量の諸点泉及諸点潭間的热量交換与质量交換的問題。这些泉和潭的强度是和局部溫度及濃度有关。对于這個問題，可以从有关的学科借取所需的数学工具和实验技术。借用純粹的数学方法自然会有困难，因为紊流的气动力学性质（特别是强紊流中存有强剪切現象）現在來說还没有研究透彻；不过这些困难都是有办法克服的。至少，任务的性质目前已經明确。这是作者坚定的看法，虽然知道这看法可能是过于乐观些，这是因为多少年来燃燒現象被认为是神秘的，許多工程师对于燃燒問題能够像应力分析那样按現成公式求解的可能性認識不足。缺乏这种認識便会妨碍燃燒学科的进展，其严重性可能超过燃燒本身的复杂性。

（下略）

D. B. 斯帕尔丁

1954年12月18日

第一章 热力学

引 言

等压燃气轮机的工作方式如下：一股工质流入压气机，出来的气体压力升高；然后经过燃烧或加热以提高气体的温度；最后燃气在涡轮中膨胀，压力降到原来的压力。提高温度的目的在于保证流过涡轮的气体容积大于其流过压气机的容积以使压缩过程所消耗之功小于膨胀所发出的功；这样涡轮发出的功率，除开供应压气机的全部需要之外，还能有剩余来做有用功率。这种有用功率可以是轴功率或者是排气的动能。

提高空气温度的方法有两种：一种是通过换热器壁面的热交换来完成，一种是利用燃料和空气的化学反应；这两种方法也可以同时进行。

本书只研究内燃方法。如果加入的热量全部是来自换热器，如在封闭循环的燃气轮机中，虽然热量仍是来自燃烧，但这种设备同一般锅炉很相似，所以这里就不考虑它。

无可奈何的是使空气比容大大增加的方法目前只有加热这一法，因为灼热空气是很难掌握的，尤其当气体温度接近可利用材料的熔点时其困难更大。因此，工质温度的提高便受到严格的限制。由于要降低些工质的温度，因此空气中的氧气也只能有一部分（约四分之一）被利用。这种限制对燃烧系统的设计影响很大，并且造成燃气轮机的燃烧系统和一般燃烧设备有明显的区别；后者却常常是力求减少剩余空气量。

在设计燃气轮机和确定其效率时，需要计算出使单位重量的空气升高到指定温度所需的燃料消耗量，并且求出其废气的成

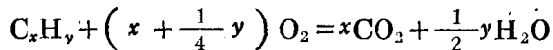
分。但当对廢气分析和溫度測量作解釋时就要进行与上述相反的运算。这种計算方法一般总称为化学計量法。这对各种燃燒装置都是如此。为了讀者方便起見，后面将扼要的予以說明。

在燃燒过程中，工质容积的变化不仅仅是由于溫度的改变，同时也由于反应前后分子数目的改变所致。在計算压气机和渦輪流通部分的相对尺寸时必须考虑到这些影响。

质量平衡

在确定反应物和反应产物之間的数量关系时，可利用下面两个事实：第一，所有的化合物都是由几个单一元素的原子按固定的比例所組成；第二，在化学反应中，各原子本身的性质不改变，仅仅改变它們的組合。

例如：当碳氢化合物 C_xH_y 完全燃燒时，参与反应的分子彼此間的数量关系可用下式表示：



因为 C_xH_y 中的 x 个碳原子只可以产生 x 个 CO_2 分子，而 y 个氢原子可以产生 $\frac{1}{2}y$ 个水分子，所以每生成一个 CO_2 分子就需要一个氧分子，每生成一个水分子就需要半个氧分子。

由此可見：在反应前有 $\left(1 + x + \frac{1}{4}y\right)$ 个分子，而在反应后則存有 $\left(x + \frac{1}{2}y\right)$ 分子。因此，每燃燒一个烃分子时，反应后就减少了 $\left(1 - \frac{1}{4}y\right)$ 个分子。反应产物的容积也可能比同溫同压下反应物的容积减少一些，但这要看原来的烃是液态还是气态而定。如果原来的烃是液态的，它的容积通常是忽略不計；如果是气态的，則可当作理想气体来处理。

容积关系

如果反应中的参与者都是理想气体或者其容积均可略而不計