

炉子一般理论基础

〔苏联〕M.A.格林科夫 著
倪 学 梓 等 译

中国工业出版社

72.55
466
C.2

炉子一般理論基础

〔苏联〕M. A. 格林科夫 著

倪学梓 韓昭滄 周筠清 高仲龙 张先權 譯

34590/07

中國工業出版社

本书是根据苏联黑色与有色金属科技出版社出版的М. А. Глинка所著**Основы Общей Теории Печей** 第二版(1962年)译出。

本书是以现代热物理学所达到的成就为基础来研究炉子的一般理论的。它以热工过程作为分类的基础,阐明了流股在限制空间中的气体动力学概念,综述了在燃烧着的火焰中发生的各种过程和电能发热的原理。详细地研究了炉子的各种工作制度:辐射制度、对流制度和各种层式制度(致密料层、“沸腾料层”和悬浮料层),并叙述了炉子自动调节和砌体热工的热工艺原理。

本书供各工业部门热工和冶金炉系统技术员、工程师和科学工作者之用,也可作冶金、化学、动力和机械制造等高等学校学生的参考读物。

参加本书翻译工作的有倪学梓(第一、二、三章)、韩昭滄(第四章)、周筠清(第五、八、十、十一、十二章)、高仲龙(第六、七章)、张先權(第九章)等同志,参加校对工作的有余业鵬、高仲龙、王李华、王尚槐、孙鴻宾、管志安、吳懋林等同志,由余业鵬同志进行总校对。

М. А. Глинка
ОСНОВЫ ОБЩЕЙ ТЕОРИИ ПЕЧЕЙ
издание второе
исправленное и дополненное
Металлургиздат Москва—1962

* * *
炉子一般理论基础

倪学梓 韩昭滄 周筠清 高仲龙 张先權 译

*
冶金工业部科学技术情报产品标准研究所书刊编辑室编辑(北京灯市口71号)

中国工业出版社出版(北京佟麟阁路10号)

北京市书刊出版业营业许可证出字第110号

北京印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行·各地新华书店经售

*
开本 $850 \times 1168 \frac{1}{32}$ · 印张 179% · 字数 435,000
1965年11月北京第一版·1965年11月北京第一次印刷
印数 0001—2,360 · 定价(科五) 2.40元

*
统一书号: 15165 · 3805 (冶金-602)

作 者 的 話

(第一版)

炉子的一般理論是技术科学的一个新的部門，它是本世紀初在工程物理和各种材料热加工工艺学的交界处建立起来的。

炉子一般理論的研究既不能包括在工程物理之中，又不能用各种具体炉子的热工理論研究的問題来代替。在創造各种工艺用途的炉子热工“分析性”理論并以此建立炉子热工自动調节理論基础的道路上，炉子的一般理論是不可缺少的一步。把現在使用的炉子分为两类：炉子-热发生器（簡称热发生器）和炉子-热交换器（簡称炉子），这是本书中炉子分类的基础。这种分类方法虽然是相对性的，但对确定起决定性作用的热工过程却很重要。本书只叙述了炉子-热交换器的一般理論。

作者打算在已确定的分类基础上把炉子一般理論方面的研究成果統一起来，因为对科学原理的有系統的叙述，即使这种叙述还不完整，其本身也能推动科学向前发展。

为了更好地理解本书的基本原理和在可能的地方避免复杂的数学計算，本书只研究了最簡單的系統。因此，书中所导出的結論和公式多半是說明性的，故不宜作炉子計算之用。

正像所有其它的科学部門一样，炉子一般理論研究的問題与許多部門的边緣問題，特别是与工程物理的边緣問題有着密切的关系。这种現象并不奇怪，因为一門新科学的出現通常是几門边緣科学发展的結果。此外，同一种过程也可以从不同的角度加以研究。

本书第三章和第四章部分地叙述了同质流股在限制空間中的运动情况和露焰中进行的各种过程，因为这些問題的叙述对理解本书的各主要章节是不可缺少的。

IV

在本书的写作过程中曾請Л·А·符里斯、Н·К·列奧尼多夫、Б·Л·馬尔柯夫、Р·И·緬希柯夫、В·И·米特卡林內依、Н·Г·莫耳羌諾夫、Н·А·謝緬年柯、С·Б·斯塔尔克、Ю·А·苏利諾夫和С·Г·特罗依勃等同志閱讀了各有关章节，并承他們提出了許多寶貴的意見。

謹对上述各同志以及莫斯科鋼院冶金爐教研組討論全書手稿的全体同志深表感謝。

作者深知在解决已提出的問題方面存在的全部困难，但希望在本专业同行的帮助下今后能找到改进这一工作的方法。

作 者 的 話

(第二版)

由于要求不断地完善現有的过程和創造新的过程，以便在綜合自动化的条件下进行連續生产。因此，炉子的一般理論作为一門科学的作用也大大地增加了。炉子一般理論的研究既不能包括在工程物理之中，又不能供現行工艺过程用的各种具体炉子的热工理論来代替。

由于本书第一版很快就售完了，自然就提出了出第二版的要求。在第二版中採納了第一版期間所公布的文献資料中与本书有关的所有的成就，同时也采用了作者本人的一些新的研究成果。

作者认为必須要指出的是：本书采用了以公斤-力 (кГ) 作为基础的 МКГСС 制 (ГОСТ 7664-55)。

由于考虑到用秤量的方法来确定物体质量比較簡單，重量和质量間的比例系数在炉子計算时是固定不变的 (9.81 米/秒^2)，以及为了不使諸如物质的浓度、热容等量值的計量单位复杂化，作者仍然沿用 кГ 这一重量单位来度量质量。

在上述符号方面虽然不够严格，但作者认为讀起来却很方便。

許多专业上的同行曾提出了不少意見和希望，其中有不少在本版中已採納了，特此表示感謝。

对工程师 О·А·格林科娃和編輯 И·Н·苏施金、А·А·瓦庚同志在本书的准备和編輯工作中給予的帮助也特致謝意。

目 录

第一章 緒論	1
第二章 炉子热工及其一些共同特性	13
1. 炉子的温度制度和热工制度	13
2. 热有效利用系数	21
3. 热利用系数	25
4. 放热系数	27
5. 炉子生产率	27
第三章 冷气炬的气体动力学	32
1. 自由流股的基本規律	34
2. 关于热流股的一些概念	38
3. 自由流股互撞时的变形和混合	42
4. 自由流股与墙壁的相互作用	62
5. 限制流股	71
6. 限制流股的混合	99
7. 当流股在限制空間內流动时容积中的压力	105
8. 限制空間墙壁上的压力	112
第四章 火炬中的各种过程	122
1. 火炬中的化学过程	124
2. 火炬中的传热—传质过程	127
3. 火炬的結構和长度	135
4. 火炬的温度及其向周围介质的传热	151
5. 火炬的稳定性	158
6. 火炬中的电离現象	162
7. 多相火炬	170
a. 气体火炬的自动增碳	170

VI

6. 火炬中的液相	183
B. 火炬中的固相	190
8. 限制火炬的某些特点	202
a. 具有冷围壁的限制空间	209
6. 具有热围壁的限制空间	211
第五章 由电能获得热源的原则	239
1. 电弧放电获热	239
2. 利用电阻获热	242
3. 由电子在真空内加速运动获热	244
第六章 炉子工作制度的分类	248
第七章 辐射式炉子的工作制度	257
1. 均匀分布的辐射热交换	265
a. 传热	265
6. 燃料的选择及其燃烧方法	273
B. 气体力学	277
Г. 应用范围和计算原则	280
2. 定向直接辐射式热交换	284
a. 传热	284
一般特点	284
平气层的辐射	289
被表面包围的气层辐射	294
6. 燃料的选择及其燃烧方法	303
B. 气体力学	307
Г. 应用范围和计算原则	311
3. 定向间接辐射式热交换	316
a. 传热	316
6. 燃料的选择及其燃烧方法	324
B. 气体力学	327
Г. 应用范围和计算原则	328
第八章 对流式炉子工作制度	335

a. 传热	336
气态载热体	337
液态载热体	348
б. 燃料的选择及其燃烧方法	359
в. 气体力学	364
г. 应用范围和计算原则	368
第九章 炉子的层式工作制度	370
1. 致密料层 (过滤料层)	371
a. 传热	371
б. 物料力学	388
в. 气体力学	398
г. 气体运动与炉料运动的相互关系	412
д. 燃料的选择及其燃烧方法	419
燃料加入至高温区	420
燃料与原料一起加入 (混装料的炉子)	423
层式过程的中性制度	426
层式过程的氧化性制度	429
层式过程的还原性制度	431
混合方法加入燃料	434
e. 鼓风参数和燃料质量对层式炉子工作制度的影响	436
鼓风量和鼓风速度	437
预热鼓风	440
富氧鼓风	441
鼓风中水汽含量	445
燃料质量	446
ж. 应用范围和计算原则	447
2. 假液化 (沸腾) 料层	451
a. 传热	454
料层内的热交换	454
料层与围壁表面的热交换	458

X

6. 气体运动与炉料运动	464
B. 燃料的选择及其燃烧方法	474
Г. 应用范围和计算原则	476
3. 假气化 (悬浮) 料层	479
a. 传热	482
6. 气体运动和炉料运动	488
相随的运动	492
相迎的 (逆向的) 运动	502
相交的运动	503
B. 燃料的选择及其燃烧方法	504
Г. 应用范围和计算原则	504
第十章 炉子热工作自动调节的热工基础	506
1. 分析法	510
2. 半经验法	513
3. 经验法	514
第十一章 砌体的热工作	516
第十二章 結束語	525
参考文献	528

第一章 緒 論

大家知道，热的应用在人类社会的发展中起了重要的作用。現在我們地球上每年由于烧煤、烧泥炭、石油和天然煤气而得到的热量在 $30 \cdot 10^{15}$ 千卡以上。这些热能在生活、工业、运输 和国民经济其它部門中供各种目的之用，即用于統称为热設備的大量专门設施之中。

在各种热設備中进行的热过程是多种多样的，为了使它們按相近的性质分为几类，需要确定出主要的、决定性的、最終能决定各热过程全部共同性的热过程。

为了解决“什么样的热过程是决定性的”問題，最好把工业上使用极广的热設備分为具有代表性的四类（图1）：

1. 热发生器；
2. 热交换器；
3. 热装置；
4. 热机。

1. 热发生器是一种把化学能、电能、太阳能、原子能以及其他各种形式的能变为热能的过程作为主要热工过程的設備。燃烧室、轉炉、感应电炉、电阻炉的电阻体等等都可作为这类热发生器的范例。在燃烧室中主要的热工过程是放热，使燃料的化学能轉变为热能。在轉炉中是把液态金属的化学能轉变为热能。在感应炉和电阻体中，則是使电能轉变为热能。当然，这不是說在上述热装置中并不发生別的热过程（如传热），不过它們不起决定性的作用罢了。例如在轉炉中，杂质燃烧所放出的热，实际上是均匀地分布在整個液态金属中的，因而也就沒有必要去注意热在液态金属中的传播問題了。

在感应炉熔池中发生的情形也一样。至于从外部传热給被加

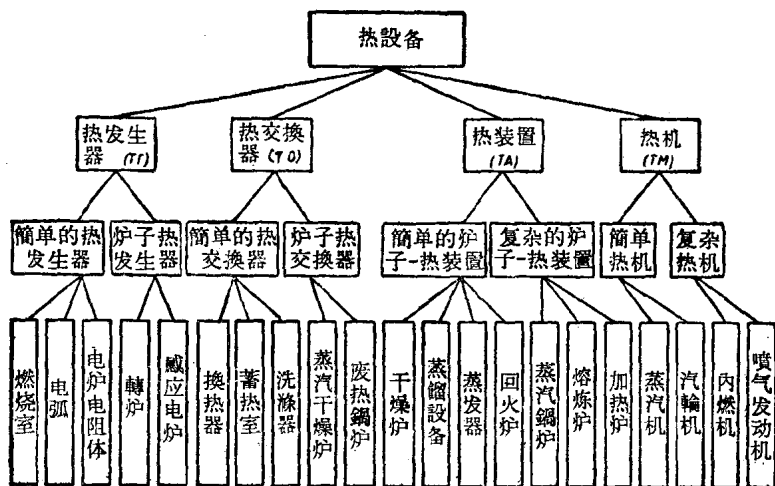


图1 热设备分类图

工材料的问题，在热发生器中是不存在的。热发生器可分为两组：一．简单的热发生器（燃烧室、火焰的火炬、电弧、电阻炉之电阻体等等），在这类热发生器中，发热过程是独立的，与确定的工艺过程不发生直接的关系。简单的热发生器通常是热装置的一部分。二．炉子-热发生器（转炉、感应电炉等等），它们的特点是发热过程是有机地与某种工艺过程结合着的。显然，把炉子-热发生器单独列为一组是出于下述考虑，即进行某种工艺过程所必需的热，可以用两种在原则上截然不同的方法来得到：依靠需要热加工的材料本身发出的热和依靠外来之热。

热发生器的热工实质一般可用下式表示：

$$\frac{dE}{d\tau} \eta = \frac{dQ_{\tau}}{d\tau}, \quad (1)$$

式中 E —— 转变为热的能量；

Q_{τ} —— 集中在热发生器中并被材料（加工产品、燃料的燃烧生成物、炉渣、炉灰等等）从其中带出之热量；

η —— 考虑到对周围介质的不可逆热损失的系数；

τ —— 时间。

2. 热交换器是一种由一载热体向另一载热体进行传热过程的

设备。这里我們只涉及到热，实际上不存在从其它类型的能获得热的过程。蓄热室、换热器、废热锅炉、洗涤器可作为简单热交换器的范例。热交换器可作为一种独立的设备工作，也可以作为较复杂的热设备的一部分，例如蒸汽锅炉的对流面。

热交换器的热工实质一般可用下式表示：

$$\frac{dQ'_{\Phi}}{d\tau}\eta = K \Delta t = \frac{dQ''_{\Phi}}{d\tau} \quad (2)$$

式中 Q'_{Φ} 和 Q''_{Φ} ——交换介质的物理热；

K ——热交换系数；

Δt ——介质和加热体間之勢差（溫度差）。

有一类热设备也应列为热交换器，它們除了把热传给需要加工的材料外，在某种程度上还把传来之热轉变成一定形式之能，以完成工艺过程（例如化学工业的某些炉子、蒸汽或热风干燥装置等等）。这一类型的热交换器应叫作炉子-热交换器。

当然，在热交换器中传热是热工过程的主要形式。热交换器中的气体力学只起从属的作用，但应当作妥善組織，以便使热交换过程能最有效地进行。

3. 热装置是热设备中最大的一类，它們从一种形式的能得到热，然后把热传给需要热加工的材料；同时，在完成某种工艺过程时，传来之热可能全部或部分再轉变成另一种形式的能（例如化学能）。

各种工艺用途的炉子、蒸汽锅炉、带燃烧室的干燥装置、蒸馏器、蒸发器、热风装置等等都可以作为热装置的范例。

热装置有简单的和复杂的两种。在简单的热装置中，热的获得和利用是分开的，有时这种装置是热发生器和热交换器在一組设备中机械的合并。相反，在复杂的热装置中，热的获得和利用经常是紧密相連的。如果热装置用来完成工艺过程，那么根据前面談到的理由，这类热装置应叫作炉子-热装置。虽然这类热设备的目的是工艺用途，但是工艺过程只有借助热才能实现，而热必須先获得并按用途传递，而后才能利用。利用传递来的热是工

艺方面的任务，而获得热和按用途传递热則是热工方面的任务。

从热工的观点来看，热装置的基本用途是按用途传递获得的热。因此，在这类热设备中正是传热过程才是决定性的热工过程。这样，大多数炉子都是一种具有特定作用的热设备。显然，炉子（печь）这一名称是从日常生活詞語中机械地搬运过来的，它出自“烤”（煖）（печет）一詞。因此“炉子”这一名称实际上起源于能发出較高溫度的热设备；相反，发出較低溫度的热设备却叫作装置（蒸馏，蒸发，有时是干燥等）。諸如此类的划分方法当然并非原則性的，因此热工的一般原理不仅应当针对炉子本身，而且在相当程度上应当针对其它的热装置。以后我們仍将沿用“炉子”这一常用的名称，不过从广义的角度來說明它，即把它看作为所有的热装置。

根据上述的說明，炉子被作为一种热设备，它从一种形式的能获得热，然后为了一定的工艺目的把热传给需要热加工的材料。因此“热的”（тепловое）一詞既表示炉子的热工用途，又表示炉子的工艺用途。炉子的决定性热工过程是热交换过程。

炉子热工的实质一般可用下式表示：

$$\frac{dE}{d\tau} \eta = K \Delta t = \frac{dQ_r}{d\tau} \quad (3)$$

4. 热机是一种直接把热能变成机械能的装置。此外，在某些类型的热机中，热能够从热机本身的某种形式的能获得，因而把热机分为简单的和复杂的两种。

在热机中，作为决定性过程的传热是不存在的，因此不应当把炉子叫作热机。

热设备工作的理論基础在本世紀中获得了极广泛的发展，尤其是热发生器、热交换器和热机的热工理論的发展更为突出。在热装置方面，蒸汽鍋炉的热工理論发展最快，它的热工計算达到了相当完善的程度。炉子热工理論的情况較差，虽然近几十年来这方面的成就很大。炉子热工理論一般认为是指在于炉子計算、設計、建造和操作过程中所产生的一切理論問題的綜合。这样的解

釋是不確切的。作為一門獨立的技术科學，爐子热力學的界線划得很不清楚，以致常常把科學研究引上錯誤的方向。

爐子热力學和其它热力學一樣，是以物理（研究傳熱學和氣體運動學）、化學和物理化學（研究燃燒學）為基礎的，但是上述幾門科學只能作為爐子热力學的理論基礎，無論如何也不能算作爐子理論的對象，因此從保證爐子理論這門技术科學發展的观点來看，給它下一個確切的定義是十分重要的。在工程物理、化學和物理化學中，研究傳熱、氣體運動和燃燒這一類問題時實際上是不管相鄰過程進行具體條件的。例如在研究對流傳熱時，實際上是探討這種傳熱形式與介質運動速度的關係而不直接聯繫爐子工作空間內氣流運動的具體條件，更談不上燃燒過程和工藝過程對對流傳熱的影響了。

關於輻射傳熱的情況也一樣。在工程物理學中，探討的是在技術上特定的邊界條件下發生的某種過程，同時用某些邊界條件（通常是用比較簡單的邊界條件）來代替該過程與周圍介質間各過程的可能的聯繫，以便易于得到精確的解答。如果在研究的現象中所提出的過程完全是或者主要是屬於物理學的某一部門的，那麼各種物理理論能夠對提出的爐子建造問題直接作出答復。例如在電加熱爐中沒有燃燒，因此可以對氣體的運動忽略不計。在這種場合下，單純地應用熱輻射理論實際上就能得出精確的結果。爐子的一般理論是在物理和物理化學的理論基礎上建立起來的，它是爐子热力學方面的一個有科學观点的體系。它的研究對象是各種熱交換、燃燒和氣體運動的過程，並且在適應爐子工作的情況下探討過程的相互制約和依存。

當然，當某些邊界條件作為爐內各類热力過程相互作用的結果時也可以作為研究對象。我們以下例為證：設有一個爐子工作室，其中進行着全部相互關聯着的热工過程，對其中每一過程都可以依據該過程的機構或者各種現象的概念寫出特性方程式。編制這些說明邊界條件的方程式時，工程物理的任務是單獨地作出各過程中的每一過程的方程式，但是全部上述方程式之和還不能

整体地描述出在炉子工作室內进行的过程。为了掌握这一复杂的过程，必須对各个別过程进行綜合研究，因而必須把各个別过程方程式的各种参数用补充的方程式組相互联系起来。像这种适合于一切类型炉子的一般关系式是找不到的，只有某些类型相近的炉子才可能建立这种关系式，因此必須把炉子分类，更确切地說，必須把炉子的工作制度分类。

炉子一般原理的根本任务就是在炉子工作制度的特定的分类基础上对各种热工过程进行綜合研究。只有通过这样的方法才能得出对于綜合自动調节（特别是用计算机时）所必不可少的炉子热工的动力特性。上述任务是十分复杂的，以致目前还不可能用分析法來說明。不过这一任务必須利用一切可能的方法（模拟法，以簡化的前提条件为基础的近似計算法等等）来解决，另外从了解炉子工作实质的观点出发，甚至定性的分析也是很重要的。

“炉子理論”的概念比炉子热工理論更广泛，因为它可以列出炉子建筑方面一系列非热工的問題来；但是为了簡略，以后我們把“炉子理論”这一术语就作为热工理論来看，因为按照炉子是热装置这个定义来看，炉子的热工作是炉子工作的主要内容。

作为炉子的設計、建造和操作的科学理論部分，炉子的理論是統一的；但是在其內部，在炉子热工的一般理論和供具体工艺用途用的炉子的个别理論之間，在材料的处理上可以有所側重。

炉子热工一般理論研究的对象是炉子設計和操作的熱工問題（这是各种不同工艺用途的炉子的一般問題）和作为热設備时炉子計算的一般原理。

在同一座炉子中，施行各种工艺过程可能都有效，因此在炉子一般理論中热工問題不与工艺任务一起联系起来研究。

炉子热工个别理論研究的对象是炉子的一般理論用于某具体工艺用途的炉子时的附加条例，这时应完全考虑到在某具体炉型內完成的所有的工艺过程，同时还研究某工艺用途的炉子的热工計算的具体方法。因此，平炉、均热炉、燧道式烧砖窑等热工理論都属于炉子个别理論。

根据上述，必須把金属加热的理論看作为炉子个别理論的一个組成部分。当然，用导热理論的方法来研究金属加热計算的理論則是物理的对象，而不是炉子理論的对象，但是不考虑具体的工艺条件而要对金属加热作出全面的分析是不可能的，而考虑具体的工艺条件，正是炉子个别理論研究的内容。

炉子理論的发展使得有可能訂出合理的炉子設計規程。其中有些規程是直接根据热工的一般理論作出的，因而对各种类型的炉子來說是共同的；另一些規程是根据个别理論作出的，因而只适用于相应类型的炉子或个别几类炉子。

合理的分类应作为一切概括的基础。在任何科学中，合理的分类应与該門科学研究的物质运动形式相联系。Φ·恩格斯对科学分类的意义作了闡明〔1〕：“每一种科学都是分析单个的运动形态或一系列互相关联和互相轉变的运动形态的，同时科学的分类就是这些运动形态本身之依据其内部所固有的次序的分类和排列，而它的重要性也正是在这里”^①。

由此出发，前面已根据具有决定性的热过程的特征把热設備分成了具有代表性的四类。由于热交换过程在炉子里是主要的、具有决定性的热工过程，因此按热交换过程特征的分类应作为在炉子热工一般原理的范围内概括炉子設計、計算和操作原理的基础。这还由于下述理由：在某些炉子里，例如在电加热炉中有时根本不存在燃烧和气体运动的过程，而在烧燃料的炉子里这些过程只有次要的意义，但是也应当适当地組織，以保证热交换过程最順利地发展。

要想在炉子个别理論范围内能够作出概括的原理，只按照热交换过程特征的分类当然是不够的。除按照热交换过程特征的分类外还应当引入补充的分类特征，把具体工艺用途的炉子从“炉子”的一般概念中分离出来。如果对于按热交换过程特征分类的原则可以导出类似的微分方程式來說明一种現象从属于某一类現

① 恩格斯的这段話見“自然辯证法”，中譯本，209頁，人民出版社，1957年。

——譯者注