# 加热炉

В. П. 林切夫斯基 著

戎 宗 义 等譯

冶金工業出版社

В.П.Линчевский: Нагревательные печи
Металлургиздат(Москва—1948)

加熱爐

戎宗義 等譯 編輯: 陳[illegible]
設計: 周廣 趙荅 責任校對: 吳研[illegible]

1958年2月第一版 1958年2月北京第一次印刷1,500冊

850×1168 · 1/32 · 300 000字 · 印張 $11\frac{21}{32}$ · 定價(10)2.20元

冶金工業出版社印刷廠印 新華書店發行 書號 0683

冶金工業出版社出版（地址：北京燈市口甲45號）

北京市書刊出版業營業許可證出字第093號

統一書号：15062·583
定价：2.20元

# 加 熱 爐

B. П. 林切夫斯基 著

戎 宗 義 等譯

冶金工業出版社

本書係根據蘇聯冶金出版社1948年出版的大學教授林切夫斯基博士所著"加熱爐"一書的第二版修訂本譯出。

原書分六篇。中文譯本只包括前四篇，其中敘述傳熱過程、氣體流動過程、氣體與金屬之間的化學反應、熱量消耗、熱平衡及餘熱利用等問題。原書後兩篇介紹爐子的結構。由於該部份內容較舊，未組織翻譯。

本書供冶金工廠生產技術人員、冶金爐設計人員及高等學校冶金爐專業的學生應用。

* * *

參加本書翻譯工作的有黑色冶金設計院張本賢（第一篇第一章第一、二節）、章明國（同上，第三節）、鄭洪亮（第一篇第四章第一、二節）、黃德璪（同上，第三節）、潘爵芬（第二篇第三、四、五章）、戎宗義（除上述各章節外的其餘部份）等同志。譯稿名詞統一及整理工作由戎宗義同志負責。譯稿由覃修謨和何用梅校對過。

翻譯本書時承劉啓香、康斐然、烏統暐等同志協助，一並在此致謝。

譯　者

# 目　錄

作　者　序 ………………………………………… 5
原書編者序 ………………………………………… 6

## 第一篇　爐內傳熱

**第一章　熱傳導** ………………………………………… 9
1. 熱傳導的基本方程式 ………………………………………… 9
2. 穩定熱流 ………………………………………… 15
3. 不穩定熱流 ………………………………………… 33
4. 用有限差量法計算熱流 ………………………………………… 56

**第二章　對流傳熱** ………………………………………… 75
1. 自由對流時的熱交換 ………………………………………… 80
2. 强制流動時的對流傳熱 ………………………………………… 83
3. 熱交換設備的計算 ………………………………………… 89

**第三章　熱輻射** ………………………………………… 107
1. 固體之間的相互輻射 ………………………………………… 113
2. 氣體輻射 ………………………………………… 117

**第四章　傳熱定律之實際應用** ………………………………………… 127
1. 通過爐壁的熱量損失 ………………………………………… 127
2. 循環操作的爐子爐壁的熱量損失 ………………………………………… 133
3. 對加熱物之傳熱 ………………………………………… 145
4. 爐子的生產率 ………………………………………… 163
5. 換熱器和蓄熱室的計算 ………………………………………… 174

## 第二篇　爐內氣體的流動

**第一章　總　論** ………………………………………… 211
**第二章　氣體平衡和氣體流動的基本理論** ………………………………………… 216
1. 氣體平衡方程式 ………………………………………… 216
2. 理想液體（氣體）的流動方程式 ………………………………………… 219
3. 流動的連續性方程式（整體方程式） ………………………………………… 222

4. 白奴禮方程式………………………………………………… 223
第三章　氣體和液體之流動阻力……………………………… 226
第四章　爐氣從爐壁孔隙中的流出…………………………… 237
煙囱，氣溢………………………………………………………… 237
第五章　爐內各部分的氣體流動……………………………… 244
1. 自由流股；限制流股………………………………………… 244
2. 爐內氣體流動的促成………………………………………… 251
3. 爐內氣流之方向……………………………………………… 253
4. 氣體循環……………………………………………………… 261

## 第三篇　氣體和爐內加熱件的化學反應

第一章　金屬加熱時的氧化…………………………………… 264
第二章　金屬加熱時的脫碳…………………………………… 284
第三章　氣體中的硫…………………………………………… 288
第四章　爐內金屬氧化和脫碳的防止………………………… 300

## 第四篇　燃料的利用

第一章　爐內的熱量消耗……………………………………… 310
第二章　爐內熱平衡…………………………………………… 326
1. 加熱金屬所消耗的熱量……………………………………… 326
2. 通過燃燒室壁和爐膛壁的熱量損失………………………… 326
3. 由於通過打開的爐門以及其他孔隙而引起的
輻射熱損失……………………………………………………… 328
4. 由爐體各部分的冷却水造成的熱量損失…………………… 330
5. 通過孔、縫隙等等冒出的爐氣所造成的熱量損失………… 332
6. 預熱空氣和氣體預熱設備的熱量支出……………………… 334
7. 出爐廢氣帶走的熱量………………………………………… 335
8. 熱平衡的一般方程式………………………………………… 340
第三章　廢氣餘熱的利用……………………………………… 345
1. 物料的預熱…………………………………………………… 346
2. 車間與工廠所用蒸氣的制取………………………………… 352
3. 熱量的回收…………………………………………………… 354
4. 爐子的生產率和燃料消耗量………………………………… 369
附　录…………………………………………………………… 372

# 作　者　序

現在讀者所看到的這本書，是作者在全蘇斯大林工業學院和斯大林工農紅軍機械化摩托化陸軍學院教學時所編寫的冶金爐課程指南。作者給自己規定的任務是使讀者主要僅依靠這一本書就能够學好這門課程。本書的這種目標和用途就予先確定了叙述的內容和性質。本課程的重點放在在爐內進行的各種過程的理論基礎方面。

在本書中，作者力求在可能範圍內對爐子設計方面普遍採用的一些主要的標準計算係數作理論上的分析。作者認爲這種分析是適時的和必要的，因爲這種標準係數的大部份已有很大的變化，這種變化是由於主要的冶金設備工作制度在冶金工業中廣泛開展的斯達哈諾夫運動的影響下有了改變所引起的。這裡作者並沒有提出新的數據，如果在上述研究之後，這些數據本身以及各種影響因素的性質都認爲已經被解釋清楚的話，作者就認爲自己的任務已經完成了。

在分析各種用途的爐子構造的幾篇中，作者並沒有舉出冶金工業中使用的所有爐子，而祇限於分析幾個典型的實例，主要目的在於舉例說明理論上的結論在實際中之應用。

在著作本書的過程中，作者廣泛利用了附錄內所列的各種文獻，首先是流體力學理論的創始人 B. E. 格魯姆-格爾瑞馬洛教授的卓越著作。

最後，作者深深感謝M.A.巴甫洛夫院士，由於他提出許多珍貴的意見和指示，幫助了本書的編著工作。

# 原書編者序

在巳故的 B. П. 林切夫斯基教授所著〖冶金爐〗一書第二版中作了一些重要的改變:

1. 採用了新的書名——加熱爐，它比以前的名稱更符合於書的內容。

2. 刪去了原書的第一篇，因爲作者在〖冶金爐〗出版以後曾寫了一本專門討論燃料的著作，這樣〖燃料及其燃燒〗這一篇在第二版中便成爲多餘的了。

3. 刪去了爐子計算的第一個例子(高爐用熱風爐的計算)，因其與本書的內容不符。

4. 由技術科學博士 B. A. 巴烏姆重寫了第二篇〖爐內氣體的流動〗以代替在第一版中同名的第三篇。本版第三篇中的第四章〖爐內金屬氧化和脫碳的防止〗也是由他寫的；在第一篇〖爐內傳熱〗和第五篇中討論固體燃料與氣體燃料燃燒的地方也有了一些修改。

在本書的其他部分也作了一些不大的修改，使敍述更爲確切和簡潔，但未改變 B. П. 林切夫斯基教授原來的意思。

科學院院士　M. A. 巴甫洛夫

# 第一篇 爐內傳熱

燃料的燃燒過程或爐內被處理物料的某些組成部分的氧化過程所放出的熱量，如果能以某種方法傳給被加熱的物料，則此熱量就能得到利用。如空間兩點之間具有溫度差，熱則從一點傳向另一點。熱量由高溫處流向低溫處。

傳熱的形式分爲三種：1）熱傳導，2）對流，3）輻射，後者有時稱爲放射。

前兩種傳熱形式有一個共同的特點，就是參加熱交換的物體必須直接接觸。在作熱傳導現象的理論研究與實驗研究時，假定介質各質點之間沒有位移，因之這種形式是單純的熱過程。

與熱傳導相反，對流傳熱的特徵首先是各質點自由的移動，因此便發生熱能的再分配。顯然，這種形式的熱交換只能在不同介質之間或各質點均能自由移動的某種介質（即液體或氣體）中才可能發生。在固體中只能以傳導方式傳熱。

最後，第三種形式的傳熱——輻射，是由於空間輻射能流的傳播而產生的。

我們以後會見到，實際上熱交換永遠不會只以一種傳熱形式進行。但研究熱交換的過程時，往往將它分成幾種最簡單的基本形式。這樣，就便於我們對極複雜的傳熱現象作詳細分析。

研究一下鋼錠或鋼坯在爐內加熱的情況，我們便能斷定加熱件內的傳熱是藉熱傳導進行的。爐氣對鋼坯的傳熱，是藉直接接觸（對流與傳導），同時又以輻射方式來進行的。通過爐壁的熱流可以當作固體內的熱流（熱傳導）來考慮；這種熱流是由於爐氣與爐壁表面進行對流與輻射熱交換的結果。

哪一種傳熱過程起的作用最大，要看爐子的型式而定。例如在豎爐（如化鐵爐及自由空間小的高爐）內，直接接觸的熱交換

過程起的作用最大。在火焰爐內，爐氣在爐膛的自由容積內（這容積相當大）流動，熱量主要以輻射的形式傳給被加熱的製品。當溫度低於700°時，氣體向製品的對流傳熱開始起着相當大的作用，有時起决定性的作用。最後，在「悶罐」式爐（鋼絲與帶鋼的退火爐，製品滲碳爐，搪瓷燒成窰等）內，加熱件與爐氣並不直接接觸，這時通過隔開加熱件與燃料或爐氣的牆的熱傳導就有决定性的作用。

# 第一章 熱 傳 導

## 1. 熱傳導的基本方程式

熱量通過固體而不改變固體各部分在空間中的位置，或熱量通過液體而液體各質點的運動軌迹互不相交，這兩種傳熱情形全可代表單純的傳導傳熱。在後一種情況下與液流成垂直方向的傳熱也是藉熱傳導進行的。在固體物質中熱傳播的過程對我們有很大的意義，因爲這一情況和物體的加熱過程（加熱時傳到製品表面的熱量透入製品的內部）是一致的。爐子向周圍空間的熱損失也是由於爐壁熱傳導的緣故。換言之，物體所有的加熱與冷却過程都是和固體內部的傳導傳熱過程相聯系的。

設有一物體，在最初瞬間它內部所有各點的溫度都是一樣的。用某一熱源加熱這一物體的某一點，並測量物體內部各點的溫度，我們就能認定溫度是隨時間升高的。可見傳到物體有限表面的熱量向物體各方向傳播，並相應地提高各點的溫度。物體內部有着許多溫度相同的點，通過這些點的面稱爲等溫面；我們能作出無數的這種等溫面，但它們是不能相交的。因爲，如有兩個面相交，則在這兩個等溫面的交綫上的各點將會同時有兩個不同的溫度。

對於熱流我們可以作出如下的結論：沿等溫面熱流等於零，因爲使熱能轉移必須有溫度差，而等溫面上無溫度差。研究被加熱物體內各點溫度隨時間的變化，我們應當得出溫度 $\vartheta$ 是各點座標 $x,y,z$ 與時間 $\tau$ 的函數，即

$$\vartheta=\varphi(x,y,z,\ )。$$

同時，經驗與理論研究指出，這一函數是座標與時間的連續函數。任一方向的溫度的相對變化，即

$$\frac{\partial\vartheta}{\partial x},\ \frac{\partial\vartheta}{\partial y},\ \frac{\partial\vartheta}{\partial z},$$

（或稱溫度梯度），也完全是座標與時間的連續函數。溫度梯度只是在兩個物體的分界面上的各點才是不連續的。

在作了普遍的結論以後，我們就轉而研究計算固體內熱流數量的方法與確定我們以 $\vartheta=\varphi(x,y,z,\tau)$ 表示的函數的形式等問題。在求熱傳導過程的基本方程式中所用的古典熱傳導理論，是以傅立葉所提出的下列假設爲出發點的。在 $d\tau$ 時間內通過單元面積 $df$ 的單元熱量 $dq$，與單元面積法綫方向的溫度降成比例，即：

$$dq=-\lambda\frac{\partial\vartheta}{\partial x}\cdot df\cdot d\tau,$$

式中 $\frac{\partial\vartheta}{\partial x}$——沿 $x$ 軸的溫度梯度；

$\lambda$——比例係數，它的物理意義以後再說明。

等式的右邊加一負號是因爲 $\frac{\partial\vartheta}{\partial x}$ 是負的（溫度沿熱流方向降低），而 $dq$ 是正的。

假定於被加熱物體中取一單元平行六面體 $ABCDA'B'C'D'$，使其界面平行於座標面（圖 1）。對此平行六面體作一熱平衡方程式，並計算通過界面而進入之熱量。此時我們認爲熱流的方向是垂直於界面的，因爲根據熱流可視爲向量這一概念，其他方向的熱流能分解成兩個方向——與界面成垂直的方向及與界面相平行的方向，後者對熱量在物體內的轉移不起作用，因此只留下垂直方向的熱流。根據傅立葉的假設，通過界面 $ABB'A'$ 而進入的熱量爲：

$$dq_{x_1}=-\lambda\frac{\partial\vartheta}{\partial x}\cdot dy\cdot dz\cdot d\tau;$$

通過界面 $CDC'D'$ 傳出熱量爲

$$dq_{x_2}=-\lambda\frac{\partial}{\partial x}\left(\vartheta+\frac{\partial\vartheta}{\partial x}\cdot dx\right)dy\cdot dz\cdot d\tau。$$

因此，在 $x$ 軸方向上，平行六面體内之熱量增量爲:

$$dq_x = -\lambda \frac{\partial \vartheta}{\partial x} \cdot dy \cdot dz \cdot d\tau + \lambda \frac{\partial}{\partial x} \left(\vartheta + \frac{\partial \vartheta}{\partial x} dx\right) dy \cdot dz \cdot d\tau;$$

$$dq_x = \lambda \frac{\partial^2 \vartheta}{\partial x^2} \cdot dx \cdot dy \cdot dz \cdot d\tau_{\circ}$$

對其他各軸而言，同理可得:

$$dq_y = \lambda \frac{\partial^2 \vartheta}{\partial y^2} \cdot dx \cdot dy \cdot dz \cdot d\tau;$$

$$dq_z = \lambda \frac{\partial^2 \vartheta}{\partial z^2} \cdot dx \cdot dy \cdot dz \cdot d\tau_{\circ}$$

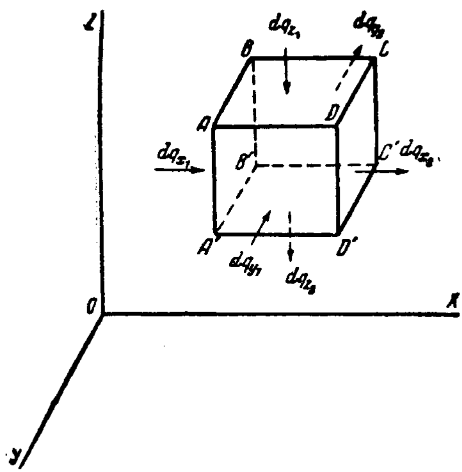


圖 1

熱量之全增量爲:

$$dq = dq_x + dq_y + dq_z = \lambda\left(\frac{\partial^2 \vartheta}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \vartheta}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 \vartheta}{\partial z^2}\right) \cdot dx \cdot dy \cdot dz \cdot d\tau_{\circ}$$

設留在平行六面體體積内的熱量祇用來提高它的溫度，那麼:

$$dq = dx \cdot dy \cdot dz \cdot c \cdot \gamma \frac{\partial \vartheta}{\partial \vartheta} \cdot d\tau,$$

式中: $dx \cdot dy \cdot dz$——平行六面體之體積，

$\gamma$——物質的比重，

$c$——熱容量，

$\frac{\partial \vartheta}{\partial \tau} \cdot d\tau$——$d\tau$時間內升高的溫度。

命上二式相等，得

$$\lambda\left(\frac{\partial^2 \vartheta}{\partial x^2}+\frac{\partial^2 \vartheta}{\partial y^2}+\frac{\partial^2 \vartheta}{\partial z^2}\right) dx \cdot dy \cdot dz \cdot d\tau=$$

$$=dx \cdot dy \cdot dz \cdot c \cdot \gamma \cdot \frac{\partial \vartheta}{\partial \tau} \cdot d\tau;$$

$$\frac{\partial \vartheta}{\partial \tau}=\frac{\lambda}{c \gamma}\left(\frac{\partial^2 \vartheta}{\partial x^2}+\frac{\partial^2 \vartheta}{\partial y^2}+\frac{\partial^2 \vartheta}{\partial z^2}\right)。$$

最後的等式是熱傳導的基本方程式，一般說來，只有在單向熱流的情況下才能積分。當研究無限大的平行平壁、無限長的圓柱體以及球體內的熱流時，我們就遇到這樣的熱流。

對於上述各種情況中的第一種情況，熱傳導方程式的形式爲:

$$\frac{\partial \vartheta}{\partial \tau}=\frac{\lambda}{c \gamma} \cdot \frac{\partial^2 \vartheta}{\partial x^2}$$

（X 軸的方向爲沿平壁的厚度的方向）。

假如由柱體的一端加熱，柱體的溫度將隨時間而改變，並且開始時變化較快，然後越來越慢。

當物體內各點溫度隨時間而改變時，該物體的熱狀態稱爲不穩定狀態。

經過足够長的一段時間後，柱體向周圍空間放出的熱量等於柱體從加熱它的熱源得到的熱量，這個柱體上每點的溫度就不再繼續改變。這樣的熱狀態稱爲穩定狀態。

我們再研究通過平壁的穩定的單向熱流。由於溫度不隨時間而變，即 $\frac{\partial \vartheta}{\partial \tau}=0$，因而前述方程式能寫成如下形式:

$$\frac{\lambda}{c \gamma} \cdot \frac{\partial^2 \vartheta}{\partial x^2}=0$$

或

$$\frac{\partial^2\vartheta}{\partial x^2}=0。$$

解此方程式時，經一次積分後得:

$$\frac{\partial\vartheta}{\partial x}=A,$$

式中　$A$——積分常數。

此方程式指出沿平壁厚度方向之溫度按直綫定律變化。

二次積分後得，

$$\vartheta=Ax+B,$$

式中　$B$——第二個積分常數。

這些積分常數必須有邊界條件的補充數據後才能確定。

設已知平壁兩側表面溫度爲 $\vartheta_1$及$\vartheta_2$，即 $x=0$ 時 $\vartheta=\vartheta_1$; $x=\delta$時 $\vartheta=\vartheta_2$；以這些數值代入 $\vartheta$ 的方程式中，得:

$$x=0\text{時，}\quad \vartheta=B=\vartheta_1;\quad B=\vartheta_1;$$

$$x=\delta\text{時，}\quad \vartheta=A\delta+\vartheta_1=\vartheta_2;\ A=-\frac{\vartheta_1-\vartheta_2}{\delta}。$$

根據傅立葉假設， 單位時間內通過單元面積 $df$ 的熱量爲：

$$dq=-\lambda\frac{d\vartheta}{dx}\cdot df=-\lambda df\cdot A;$$

$$dq=\frac{\lambda}{\delta}\cdot df\cdot(\vartheta_1-\vartheta_2)。$$

對面積積分，得:

$$Q=\frac{\lambda}{\delta}(\vartheta_1-\vartheta_2)\cdot F\ \text{仟卡/小時}。$$

在 $\tau$ 小時內則爲:

$$Q=\frac{\lambda}{\delta}(\vartheta_1-\vartheta_2)\cdot F\cdot\tau\ \text{仟卡}。$$

所得的式子是穩定熱流的基本方程式。由此式我們可以說明比例係數 $\lambda$ 的物理意義。爲此，假定 $F=1,\tau=1$ 及 $\vartheta_1-\vartheta_2=1$ 時; $Q=\lambda$。因此 $\lambda$ 是單位時間內通過二個距離爲單位長度、溫度差是1°C、面積爲 1 的二斷面的熱量。$\lambda$ 值的因次視度量制的不同而不

同。

在 $CGS$ 制中，

$$[\lambda]_{\Phi}=(\text{卡}/\text{厘米}\cdot\text{秒}^{\circ}\text{C})\ ;$$

在工程制中，

$$[\lambda]_{T}=(\text{仟卡}/\text{公尺}\cdot\text{小時}^{\circ}\text{C})\ ,$$

而且

$$\lambda_{T}=360\lambda_{\Phi}。$$

因爲這一係數的大小決定由一斷面藉熱傳導而傳至另一斷面的熱量，所以稱之爲〔導熱係數〕。在參考書內有着各種物質導熱係數的値。從這些數據可知，導熱係數決定於物體的化學組成、物體的結構以及溫度等等。因此我們假定 $\lambda$ 値對整個物體體積說來爲常數時，所得的基本方程式祇是近似地正確而已。在原來的微分方程式中，$\lambda$ 値如代以其溫度函數，即使這函數是最簡單的形式，也將使方程式的積分大爲複雜化。因此實際解題時，導熱係數採取平均値，並忽略由此而產生的誤差。

我們已詳盡地討論了一般形式的熱傳導基本方程式的導來方法及一個常有情況——穩定狀態，爲了要使這些方程式適用於解決實際問題，就必須對微分形式的原方程式的構成方法有一清楚的概念。我們曾假定進入所研究體積並積聚在那裡的熱量完全用來提高它的溫度，由此可見我們並沒有考慮到使溫度升高或降低的各種吸熱反應與放熱反應。在這種情況下；當在加熱（或冷却）時間內發生連續的吸熱反應或放熱反應時，要是我們遇到的是等溫變化的話，則這些額外吸收或放出的熱量是能够計算的；在一般形式下來計算這種熱量是不可能的。因此，忽略了這種變化的熱效應値的解答不可能是很精確的。

同樣，採用不變的 $c$ 與 $\lambda$ 値，也使最後的結果產生誤差。而且對金屬說來，隨着溫度的提高，由於 $\lambda$ 値減小同時 $c$ 値增大，使微分方程式中 $\frac{\lambda}{c\gamma}$ 的比值減小。

由此應當得出下列結論：根據所導出的方程式得到的解答永