

中等专业学校教学用书

# 有色冶金炉

上册

А.Я. 米海連科 В.В. 克拉普欣 著

重工业部工业教育司 译

冶金工业出版社

中等专业学校教材

# 有色冶金炉

上册

陈其南 王德成 主编 陈其南 副主编

冶金工业出版社 编

冶金工业出版社

中等專業學校教學用書

# 有色冶金爐

上 冊

A. Я. 米海連科 B. B. 克拉普欣 著

重工業部工業教育司 譯

冶金工業出版社

本書係根據蘇聯冶金出版社(Металлургиздат)出版的米海連科(А. Я. Михайленко)和克拉普欣(В. В. Крапущин)所著「有色冶金爐」(Печи Цветной Металлургии) 1954年版譯出。原書經蘇聯有色冶金部教育司審定為中等專業學校教科書。

本書中譯本分上下兩冊出版。上冊內容包括燃料、築爐材料、爐子的理論基礎等三篇；下冊內容包括爐子的構件、爐子的電氣加熱、有色冶金工廠中各種主要的爐子等三篇。

本書譯者是重工業部工業教育司張煥光同志。

---

**有色冶金爐(上冊)**      重工業部工業教育司 譯

1955年8月第一版    1953年7月北京第五次印刷 1,000冊(累計5,220冊)

$850 \times 1168 \cdot \frac{1}{32} \cdot 230,000$ 字 · 印張 8 · 定價(10) 1.20元

---

冶金工業出版社印刷廠印    新華書店發行    書號 0280

---

冶金工業出版社出版(地址:北京市灯市口甲45號)  
北京市書刊出版業營業許可証出字第093號

# 上 册 目 錄

|                 |    |
|-----------------|----|
| 原序              | 6  |
| 引言。概論           | 7  |
| 爐子結構發展的簡述       | 7  |
| 爐子的分類基礎和各種爐子的簡述 | 10 |

## 第一篇 燃料

|                       |    |
|-----------------------|----|
| 第一章 燃料的主要性質           | 22 |
| § 1 燃料的種類             | 22 |
| § 2 燃料的成分             | 23 |
| § 3 燃料的元素分析和工業分析。換算公式 | 28 |
| § 4 燃料的發熱量            | 32 |
| 第二章 燃燒計算              | 36 |
| § 5 空氣消耗量和廢氣量的計算      | 36 |
| § 6 機械性和化學性的不完全燃燒     | 39 |
| § 7 燃料燃燒計算實例          | 40 |
| § 8 燃燒的快速計算公式         | 44 |
| § 9 燃料的燃燒溫度           | 46 |
| § 10 燃燒速度             | 53 |
| 第三章 固體燃料              | 55 |
| § 11 木質燃料             | 55 |
| § 12 礦物燃料             | 56 |
| § 13 燃料的加工方法          | 65 |
| 第四章 液體燃料              | 72 |
| § 14 石油及其加工           | 72 |
| § 15 人造液體燃料           | 76 |
| 第五章 氣體燃料              | 78 |
| § 16 天然煤氣和照明煤氣        | 78 |

|                        |    |
|------------------------|----|
| § 17 發生爐煤氣和煤氣發生爐 ..... | 80 |
| § 18 高爐煤氣 .....        | 93 |

## 第二篇 築爐材料

|                                 |     |
|---------------------------------|-----|
| <b>第六章 耐火材料及其主要性質</b> .....     | 94  |
| § 19 耐火材料的分類 .....              | 95  |
| § 20 耐火材料的生產原理 .....            | 95  |
| § 21 耐火材料的主要性質 .....            | 97  |
| <b>第七章 矽砂耐火材料和矽酸鋁耐火材料</b> ..... | 104 |
| § 22 矽磚 .....                   | 104 |
| § 23 粘土熟料 .....                 | 109 |
| § 24 高礬土耐火材料 .....              | 120 |
| <b>第八章 鎂質耐火材料和鉻質耐火材料</b> .....  | 123 |
| § 25 菱鎂礦 .....                  | 123 |
| § 26 氧化鈣和白雲石 .....              | 126 |
| § 27 鎂橄欖石和滑石 .....              | 127 |
| § 28 鉻鐵礦 .....                  | 128 |
| § 29 鉻鎂耐火材料 .....               | 128 |
| <b>第九章 其他耐火材料和若干建築材料</b> .....  | 130 |
| § 30 礮化矽製品 .....                | 130 |
| § 31 礮質耐火材料 .....               | 131 |
| § 32 鋯氧製品和鋯石製品 .....            | 134 |
| § 33 粉狀耐火材料（塗料，混凝土） .....       | 134 |
| § 34 輕量耐火材料 .....               | 136 |
| § 35 絕熱材料 .....                 | 137 |

## 第三篇 爐子的理論基礎

|                         |     |
|-------------------------|-----|
| <b>第十章 爐氣力學原理</b> ..... | 139 |
| § 36 爐氣概論 .....         | 139 |
| § 37 柏努利方程式和氣體的壓頭 ..... | 142 |
| § 38 氣體的流動性質 .....      | 148 |
| § 39 克服阻力所消耗的壓頭 .....   | 150 |
| § 40 氣體在火焰爐中的流動 .....   | 151 |

|             |                             |     |
|-------------|-----------------------------|-----|
| § 41        | 氣體通過孔隙的流動 .....             | 156 |
| § 42        | 自然通風時的煙囪計算 .....            | 160 |
| § 43        | 空氣的強制輸送和人工通風 .....          | 164 |
| § 44        | 氣流分佈規則 .....                | 169 |
| <b>第十一章</b> | <b>傳熱原理</b> .....           | 171 |
| § 45        | 三種傳熱形式 .....                | 171 |
| § 46        | 熱傳導的主要方程式 .....             | 171 |
| § 47        | 傳導傳熱的個別情況 .....             | 174 |
| § 48        | 對流傳熱 .....                  | 177 |
| § 49        | 輻射傳熱 .....                  | 180 |
| § 50        | 兩固體間的輻射傳熱 .....             | 184 |
| § 51        | 氣體的輻射 .....                 | 189 |
| § 52        | 一氣體通過牆壁傳熱給另一氣體 .....        | 194 |
| <b>第十二章</b> | <b>爐膛中的傳熱</b> .....         | 197 |
| § 53        | 火焰爐中的熱交換 .....              | 197 |
| § 54        | 豎爐中的熱交換 .....               | 203 |
| § 55        | 迴轉爐中的熱交換 .....              | 205 |
| § 56        | 電阻爐中的熱交換 .....              | 207 |
| § 57        | 製件加熱時間的計算 .....             | 208 |
| <b>第十三章</b> | <b>熱能消耗的計算和爐子的熱平衡</b> ..... | 213 |
| § 58        | 熱能消耗的計算法 .....              | 213 |
| § 59        | 熱量的收入和支出 .....              | 214 |
| § 60        | 熱平衡方程式。燃料的利用係數 .....        | 223 |
| <b>第十四章</b> | <b>廢氣中熱量的利用</b> .....       | 225 |
| § 61        | 空氣和燃料的預熱對爐子熱制度的意義 .....     | 225 |
| § 62        | 換熱器 .....                   | 226 |
| § 63        | 蓄熱室 .....                   | 234 |
| § 64        | 廢熱鍋爐 .....                  | 238 |
| <b>附 錄</b>  | .....                       | 239 |

## 原 序

A. Я. 米海連科所著「燃料與冶金爐」1949年第二版是本書的基礎。

因為本書是有色冶金中等專業學校的教科書，故刪去了僅在黑色冶金方面才應用的爐子結構的敘述部分。

本書增加了新的一篇「爐子的電氣加熱」。此外，還作了下列的改動和補充：「爐膛中的傳熱」這一章是增添的；「有色冶金工廠中各種主要的爐子」這一篇是新寫成來代替「冶金爐構造實例」這一章的。其餘各章也根據最新的材料加以修改和補充。

本書的內容符合於「有色冶金中等專業學校冶金爐」新教學大綱。

第Ⅰ—Ⅳ篇和第Ⅵ篇的第20—22章為 A. Я. 米海連科所著；第Ⅴ篇和第Ⅵ篇的第23—24章為 B. B. 克拉普欣所著；引言則是 A. Я. 米海連科和 B. B. 克拉普欣共同編寫的。

# 引 言

## 概 論

### 爐子結構發展的簡述

用來熔煉或加熱物料或半成品和製品，以便進一步加工或使它們具有所需性質的設備稱為工廠用爐。

爐子在冶金業方面起很大的作用，因為大多數冶金過程都是在高溫下進行的。正確地裝置和管理爐子是提高冶金工廠生產力的最重要的條件。

每一座爐子都是用來實現某一生產過程的，因此，它的設計和建築必須完全滿足該生產過程的要求。築爐師不僅應該是一個良好的熱工學家，而且對設計的爐子所服務的生產過程還應有足夠的知識。

史前人類主要用來煮食料的灶，就是爐子的原始形態。大概，就在原始形態的爐灶中首先從礦石中煉出了某些金屬（鉛、銅、鐵）。

大概在奴隸社會時代就開始採用手風箱來進行人工通風。利用人工通風，就能增大爐子的尺寸，並能得到更高的溫度。因此，此時便出現了能够在粘土坩堝中製煉金屬和合金的原始坩堝爐。

在封建經濟制度下，生產力發展得很慢；當時所有的各類爐子（主要是坩堝爐和不大的豎爐）都極少改進；這些爐子所用的燃料是木柴和在遠古時代就用作冶金燃料的木炭。後來，大概在十六世紀末葉，由於商業資本的增加及航海業和商業的蓬勃發展，金屬的需要量因而增加。因此，就有必要增大冶金爐的尺寸和提高爐子的生產力。木炭由於大量砍伐森林變成稀缺，故為新

出現的一種燃料（焦炭）所代替。原始的手風箱也為水輪開動的鼓風機所代替。

在十八世紀末葉，天才的俄羅斯發明家 H. H. 勃爾祖諾夫建造出了蒸汽機，因此便有可能採用蒸汽鼓風機。這樣就大大地增加了豎爐的生產力。

在過去一世紀中，由於資本主義的發展和金屬需要量的不斷增加，結果便出現了新式的煨燒爐、熔煉爐和加熱爐。因為對有色金屬的需要量大大增加，故有必要利用選礦的方法來處理較貧的礦石：選出的精礦要用反射爐來熔煉。

在二十世紀時的特點就是冶金爐構造的進一步發展以及冶金爐的機械化和自動化。除燃料爐以外，還出現工業上用的電爐，而且電爐的應用逐年地增加。

在蘇聯領土內，遠古時代就出現了冶金爐（主要是坩堝爐）。在高加索、貝加爾湖邊及中亞細亞所得到的許多古物可以證實這一點。

從八到十世紀這一段時期，較大的冶金中心是在斯摩稜斯克和基輔，在十一世紀則在土拉。那時斯拉夫人已不採用外來的金屬。因冶金和鑄造生產的高度發展，故不僅能夠滿足自己的需要，而且能把銅製件、青銅鑄件和有色金屬絲輸出國外。

由於俄羅斯工業的迅速發展，金屬的需要量增加了。在十八世紀初期，烏拉爾和西伯利亞出現了新的冶金工廠。

在十八世紀，以 M. B. 羅蒙諾索夫為首的俄羅斯學者首先奠定了爐子熱工學的基礎。爐子熱工學是研究爐中完成的熱工過程、計算方法和一般築爐原理的科學。M. B. 羅蒙諾索夫在他的著作「論空氣在礦坑中能察出的自由流動」（1742年）中說明了空氣在礦坑中和燃燒產物在煙囪中的流動原因。

B. B. 彼得羅夫（1761—1834）發現了電流的光效應和熱效應，因而便打下了研究電氣加熱的基礎。

1860年，工程師達尼洛夫在俄羅斯建成了第一座煉鐵爐。在十九世紀促進爐子熱工學發展的許多俄羅斯學者中，應該提出下

列偉大的冶金學家：И. И. 阿諾索夫建造了第一座火焰反轉運動的煅燒爐；И. И. 斯維雅節夫和 G. Г. 魯卡舍維奇奠定了氣體力學的基礎；A. A. 伊茲諾斯科夫在1870年使俄羅斯第一座蓄熱爐投入生產。

用流體力學的基本定律來計算爐子這一極偉大的功蹟應屬於 B. E. 格魯姆—格爾葉馬洛；他的爐中火焰運動的流體力學原理（1905—1912年）無論對改進本國或外國的爐子都有很大的作用。

在研究燃料性質和發展我國煤炭及石油工業方面最偉大的功蹟應屬於 A. И. 門德雷也夫。

在建造電爐方面的優先地位應屬於俄羅斯的工程師們：科羅列夫於1913—1914年在從前的普齊羅夫斯基工廠建成了第一座砲彈淬火用的工業電阻爐；什切伯爾格和格拉莫林於1916年在貝爾米建成了第一座配有炭質電阻的三相高溫爐。而在西歐和美洲，電阻爐的建造則開始得很晚。

雖然俄羅斯學者的功蹟是卓越的，但沙皇俄國（從十九世紀開始）在工業發展方面遠遠落後於西歐和美國。落後的原因是沙皇俄國的政治制度不好：當時是農奴制，人民因受無限制的剝削而貧困化，統治階級和政府輕視全體俄羅斯人並在外國人面前卑躬屈膝。

由於偉大的十月革命和共產黨採取了國家工業化的方針，故能完全改造好我國的工業。從蘇維埃政權建立的第一天起，黨就非常注意恢復和進一步發展冶金業。

在五年計劃的年代裡，偉大的蘇聯學者直接參加了工廠的設計和根本的改建工作。尤其是在爐子熱工方面的巨大功蹟應屬於下列各位學者及他們的許多學生：И. И. 多布羅霍托夫首先指明傳熱與氣體流動的密切關係；M. B. 基爾比切夫是造模理論的奠基人；И. И. 奇也夫斯基在煤炭焦化方面的工作對蘇聯有巨大的意義。由於蘇聯築爐工作的進步，我們的許多工廠都是由配有檢驗測量儀器和調整器械完全機械化的爐子裝配起來的。

在爐子熱工工作的發展方面，除了蘇聯學者的工作外，我國工廠中的先進工作者也起了很大的作用。在為有色冶金革新者所解決的許多問題中，冶金過程的強化、熔煉爐單位生產率的提高、金屬加熱的加速和爐子壽命的提高等都是具有特別意義的。

在戰後時期，在共產黨領導下的蘇聯人民不僅完全恢復了戰前的工業，而且還大大地擴大了工業的規模。在1950年，我國黑色及有色冶金業能出產比1940年更多的金屬。許多按最新技術建造的機械化和自動化的新爐子投入了生產。從許多指標來看，蘇聯超過了資本主義國家。

黨第十九次代表大會關於1951—1955年蘇聯發展第五個五年計劃的指示，規定要增加有色金屬的生產，大約數目如下：精煉銅增加90%，鉛增加為2.7倍，鋁至少增加為2.6倍，鋅增加為2.5倍，鎳增加53%，錫增加80%。

在有色冶金工作者面前提出了下列的任務：「使採礦和費力的勞動機械化，使生產過程自動化並增加其速度，增加從礦中成套地提取各種金屬的提取量，保證進一步增加上等金屬的產量，大大擴大和改進對現有企業生產能力的利用，並建立新的企業」。

發展我國冶金企業中的爐子，在解決這些任務中佔有重要的位置。

### 爐子的分類基礎和各種爐子的簡述

由於工業生產過程的種類繁多，用於這些生產過程的爐子的結構也不一致，故把工業用爐作單一的分類是有很大困難的。有色冶金爐根據下列特徵進行分類比較方便：

#### A. 按用途分類：

1) 熔煉爐。加熱的材料在爐內熔化（熔煉礦石和精礦的豎爐和反射爐，金屬的精煉爐）；

① 黨第十九次代表大會關於1951—1955年蘇聯發展第五個五年計劃的指示第6頁，國家政治書籍出版社，1953年。

2) 加熱爐。在此爐內被處理的材料在熔點以下的溫度下進行加熱（金屬和合金的熱處理爐、煨燒爐、冶金粉的燒結爐，乾燥爐）。

#### B. 按加熱的方法分類：

1) 熱能從被加熱材料中放出的爐子（直接加熱的電阻爐，感應爐）；

2) 熱源直接與被加熱材料相接觸的爐子（熔煉豎爐，直接加熱的電弧爐）；

3) 熱源並不接觸被加熱材料的爐子（反射爐，間接作用的電阻爐和電弧爐）；

4) 熱源完全被隔絕，熱通過爐壁傳給被加熱材料的爐子（坩堝爐、蒸餾爐、馬弗爐）。

#### B. 按熱的來源分類：

1) 以炭素燃料（固體燃料、粉狀燃料、液體燃料、氣體燃料）為熱源的爐子；

2) 依靠加工爐料中的反應熱來達到所需溫度的爐子（硫化礦焙燒爐、轉爐）；

3) 以電能作為熱源的爐子（電阻爐、感應爐、電弧爐）。

#### Г. 按工作方法分類：

1) 間歇式爐。在此爐中爐料定期裝滿整個爐子和定期從爐子卸出，同時爐子可與被加熱的材料一齊冷卻；

2) 連續式爐。

此外，爐子可按生產過程的特徵來分類，例如，把銅礦熔煉成冰銅的豎爐，煉鋁反射爐等。

現在來研究幾種在有色冶金方面最普遍的爐子。

**豎爐** 在有色冶金中主要用來熔煉銅礦、鉛礦和鎳礦的豎爐是最舊式的爐子之一。爐膛（圖1）是垂直的。水平橫截面或為圓形或為長方形。豎爐的主要部分是爐喉1，爐身2和爐缸3。

爐子的上部叫做爐喉，由礦石、燃料和熔劑組成的爐料即在爐喉裝入，爐內的燃燒產物也經爐喉排出。空氣經由風嘴4從爐

子的下部引入，因此，在爐身的下部燃料燃燒得最劇烈。

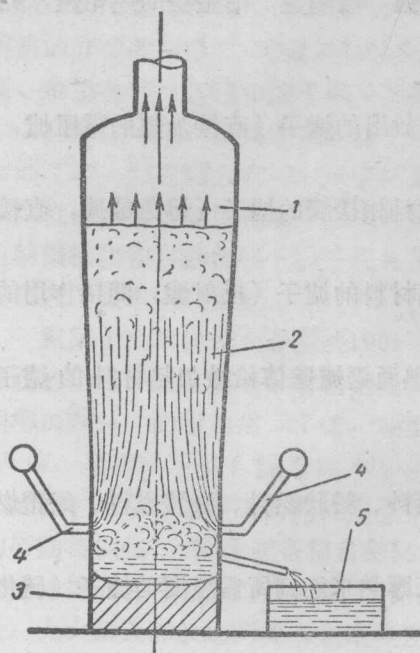


圖 1 豎爐略圖

爐身是由鐵水套做成的，水經水套不斷地循環。熔煉有色金屬礦石時，會生成能迅速破壞耐火磚砌體的爐渣；但在爐子內面的水套壁被蓋上一薄層凝固的爐渣和結塊的爐料（料殼），這一層物質能保護鐵殼免受熔融物的作用<sup>①</sup>。

熔煉產物生成之後便流入爐缸中，並定期地或連續地經由排出口從爐內流出。爐子一般都設有前爐缸或沉積池 5，各熔煉產物因比重不同而在前爐缸中分開。

豎爐是依「逆流」原則進行工作的，此一原則的特點就是爐料下降時熾熱的氣體迎面上升；此時，爐料逐漸變熱，而氣體却逐漸冷卻。按此原則工作的爐子有很高的燃料利用係數，這是因為廢氣帶走的熱量是比較少的緣故。

豎爐僅能熔煉塊狀爐料。燃料及裝入爐中的其他材料在高溫下應具有足夠的機械強度。不能滿足這一要求的材料在其上層爐料的重力作用下會破裂，會被壓碎並生成大量的料屑。料屑和粉料會堵塞較大料塊之間的氣體通路，並且會破壞爐子的正常行程。豎爐主要用焦炭作燃料，很少用木炭，在個別情況下用無煙

① 爐壁由水套構成的豎爐稱為水套爐，它與爐壁用磚砌的爐子不相同，現代，我國並不採用爐壁用磚砌的豎爐，因此，「豎爐」這一名詞就包括了爐壁用水套做成的爐子，而不用「水套爐」這一名稱。

煤。

**反射爐** 在火焰爐或反射爐中，燃料與被處理的材料並不接觸，燃料或者在材料的上面，或者在獨立的火箱中燃燒。這些爐子稱為反射爐是因為曾經設想過，熱主要是由於爐壁和爐頂的反射而傳給爐內被加熱材料的。反射爐這一稱呼雖然在有色冶金方面直到現在還在應用，但它是不合適的，因為熱靠反射來傳送的热量不多，而熱主要是由爐壁和爐頂的輻射以及熾熱氣體和火焰的輻射來傳送的。

圖 2 是用固體塊狀燃料來加熱的反射爐略圖。爐子由火箱、爐膛、煙道和煙囪（圖中未畫出）構成。

爐子中燃燒燃料的地方稱為**火箱**；這種反射爐的火箱由放置燃料的爐柵 1、爐柵下面的灰坑 2 和爐柵上面的燃燒室 3 構成。燃燒燃料的空氣經灰坑輸送至爐柵上。

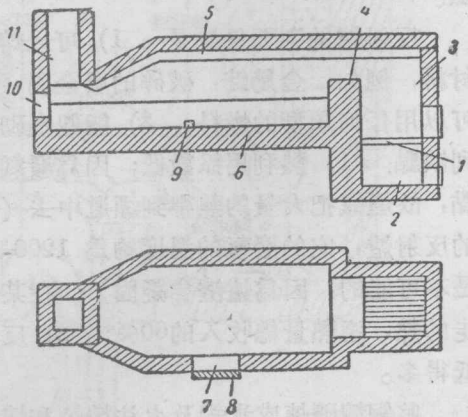


圖 2 反射爐略圖

爐膛就是被處理的材料放在那裡加熱的地方。爐膛與火箱被火牆 4 隔開，火牆能促使熾熱氣體與空氣更好的混合。爐膛的上界是爐頂 5，下界則是爐底 6。爐底和爐坡上放置被熔煉的材料。在爐膛壁上有一個或幾個工作門 7，爐料即經此工作門裝入爐內。在某些爐子中，爐料是經由爐頂上的裝料孔從上面裝入爐中的。裝料口用爐門 8 關閉，在爐門上有時留有小孔以便觀察熔融物。爐子盛載熔融物質（金屬和爐渣）的那一部分稱為熔池。在爐底水平面上的爐壁上有一個金屬排出口 9，而稍高於此排出口的地方則有排渣口 10。

**煙道** 11 是用來排除爐內燃燒產物的；它與煙囪相連接。

反射爐除了用固體燃料加熱外，也採用粉狀燃料、液體燃料和氣體燃料來加熱。若燃燒液體燃料，則用噴霧燃燒器來代替帶爐柵的火箱，燃燒粉狀燃料或氣體燃料時則用燃燒嘴來代替火箱。噴霧燃燒器和燃燒嘴可以裝設在端牆上或裝設在爐子的任何部分，而無需設立特別的火箱。

反射爐不論在自然通風或在強制通風的條件下均能工作。在自然通風的條件下工作時，由火箱中熾熱氣柱所造成的壓力來保證空氣吸至爐柵下面和保證爐膛中氣體的流通。人工通風用鼓風機來進行。現代，幾乎全部有色冶金所用的反射爐都用人工通風。

反射爐的主要優點是：1) 可以熔煉任何形狀和任何大小的材料，例如，金屬錠，破碎的廢金屬，碎礦，精礦，爐塵；2) 可以用任何類型的燃料；3) 能觀察砌體的狀態。反射爐却有下列缺點：1) 熱利用係數低；因為廢氣的溫度不應低於爐渣的熔點，故煙氣把大量的熱帶到煙道中去（例如，把銅礦煉成冰銅用的反射爐，它的廢氣的溫度約為  $1200^{\circ}$ ；在爐尾保持更低的溫度是不可能的，因為爐渣會凝固）；在某些情況下，反射爐廢氣帶走的熱，達熱量總收入的60%；2) 反射爐的單位生產率比豎爐低得多。

將銅精礦煉成冰銅及火法精煉和熔化有色金屬時廣泛應用反射爐。

**廢氣中熱量的利用** M. B. 羅蒙諾索夫在其著作「採礦與冶金原理」（1763）中，首先提出了利用廢氣中熱量的主張。從反射爐爐膛排出的廢氣中的熱量，或用來加熱其他設備（例如蒸汽鍋爐，乾燥器等），或用來預熱引入爐內的空氣，在用煤氣加熱的情況下也可以用來預熱燃料。預熱空氣和氣體燃料，一方面能把廢氣所帶走的一部分熱收回至爐中，以提高燃料的利用係數，另一方面還能提高爐膛的溫度，這樣就有可能利用低發熱量的燃料。

空氣和氣體燃料可以在換熱器和蓄熱室中進行預熱。

換熱時，燃燒燃料所需的冷空氣沿金屬或陶質通道流動，而通道表面則被熾熱的廢氣沖洗；此時，廢氣便變冷，空氣則變熱。

蓄熱時，熾熱的廢氣首先通過磚格子，然後，空氣或煤氣經過燒熱的格子磚流入爐內。

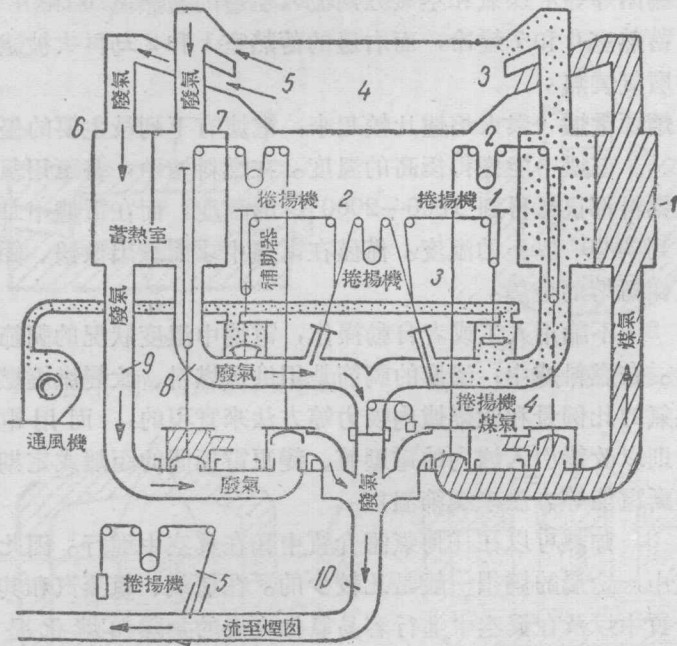


圖 3 蓄熱爐略圖

圖 3 是蓄熱爐的略圖。爐膛的兩邊各設兩個蓄熱室，蓄熱室是長方形截面的房室，室內有互有一定距離的磚列構成的格子磚。需預熱的煤氣和空氣經過通道分別流入右邊的蓄熱室 1 和 2，煤氣和空氣在蓄熱室中由下而上流過格子磚，並遇到愈來愈熱的磚列，因此它們便被燒熱。從蓄熱室出來的煤氣和空氣經過爐頭 3 流入爐膛 4。煤氣在浴池上面燃燒。廢氣經由對面的爐頭 5 排至左邊一對蓄熱室 6 和 7，這一對蓄熱室是依靠由上往下流動的