

高等学校教学参考书

专业炼钢学

平炉构造及其车间布置

魏寿崑 主編

冶金工业出版社

高等学校教学参考书

專業煉鋼学

第三册

平爐构造及其車間布置

魏寿崑 主編

冶金工业出版社

本書由教育部組織編寫並審定為高等學校教學參考書。也可供設計單位及現場生產人員參考。專業煉鋼學共分三冊出版。第一冊內容包括緒論、煉鋼的物理化學基礎及轉爐；第二冊內容包括平爐煉鋼及鑄錠；第三冊內容包括平爐熱工構造及其車間布置。

本書系魏壽崑同志主編，全書大部分根據蘇聯專家技術科學副博士 Г. П. 薩維利也夫 (Савельев) 1955~1956 年對煉鋼研究生講授的煉鋼學講稿編譯補充而成的，編者並補充了四章。全書對已有的國內外平爐及其車間的構造和布置等資料作了廣泛的收集；對新技術及其發展做了比較充分的介紹。特別是對於蘇聯的先進科學技術做得較充分；對我國情況也做了一些介紹，另外，還介紹了一些其他國家的煉鋼技術特點。在內容章節的安排上基本上滿足了高等工業學校教學大綱的要求。

參加本書編寫整理工作的有魏壽崑、周榮章、盧盛意等同志，參加專家講稿初譯工作的有曲英、耿樹林兩同志。

專業煉鋼學 (第三冊)

魏壽崑 主編

編輯：劉應妙

設計：魯芝芳、童照堯

責任校對：馬泰

1953年9月第一版

1953年9月北京第一次印刷15,000冊

850×1168·1/32·410,000字·印張15 $\frac{26}{32}$ ·插頁12·定價(10) 2.40元

北京市印刷一廠印

新華書店發行

書號 0395

冶金工業出版社出版 (地址：北京市燈市口甲45號)

北京市書刊出版業營業許可証出字第093號

前 言

本书主要根据苏联专家技术科学副博士 Г. П. Савельев 1953 ~ 1956 年在北京钢铁工业学院对炼钢研究生讲授的炼钢学讲稿編譯和补充而成。内容基本包括专业炼钢学教学大纲中平炉热工、平炉构造及平炉車間布置等部份，可作钢铁冶金专业炼钢学平炉部份的教学参考书。

全书共分二十八章，其中第四章“平炉熔炼室中的有向傳热”和第八章“平炉耐火材料”、第十三章“平炉下部构造”、第十八章“平炉計算”及第七章“平炉炼钢用氧問題”、第十章“平炉炉头”、第二十六章“小型和中型平炉車間”等七章分別由卢威意、魏寿崑及周荣章参考各方面資料重行編寫。其他各章的初譯稿由曲英（第一、二、三、五、六、九、十四、十五、十六、十九、二十三、二十四及二十八等十三章）及耿树林（第十一、十二、十七、二十、二十一、二十二、二十五及二十七等八章）翻譯，而整理改編工作系由周荣章（第一、二、三、五、六、十二、十九、二十、二十一、二十二、二十三、二十四、二十五及二十八等十四章）、卢威意（第九、十一、十六、十七及三十七等五章）及魏寿崑（第十四及十五等二章）負責，其中第二、十一、十二、十四及十五等五章在內容上均参考其他方面資料作了相当的补充，全书最后由主編人魏寿崑編校核定稿。由于原来的俄文讲稿专家回国时早已帶回，而我們向专家学习的又很不够，加之一部份参考文献国内无法找到，編整及补充后遺漏錯誤在所难免。本书如有錯誤概由主編人負責。欢迎国内各专家及讀者提出批評及指正意見。

全书編譯过程中曾得到謝宇皓、盛根梯、謝孝先及北京钢铁工业学院繕印科一些同志在抄寫及抽图工作上的帮助，在此向他們表示感謝。全书又蒙东北工学院周自定教授审阅並提出好多宝贵意見，特表謝忱。

魏寿崑、周荣章、卢威意、曲英、耿树林
北京钢铁工业学院炼钢教研組 1953年5月

目 录

第一章	引言	1
第二章	平炉熔炼室中的传热	7
第三章	平炉熔炼室中的气体力学	25
第四章	平炉熔炼室中的有向传热	41
第五章	平炉的热制度	54
第六章	平炉燃料	80
第七章	平炉炼钢用氧问题	92
第八章	平炉耐火材料	121
第九章	平炉的分类和生产率	130
第十章	平炉炉头	141
第十一章	平炉炉底	177
第十二章	平炉炉顶、前牆及后牆	195
第十三章	平炉的下部构造	219
第十四章	平炉的换向和抽引设备	255
第十五章	平炉的热工调节和自动化	272
第十六章	平炉水冷却	290
第十七章	废热锅炉	303
第十八章	平炉计算	323
第十九章	进一步改进平炉构造的趋势	346
第二十章	炼钢车间的分类	364
第二十一章	大型平炉车间的概述	369
第二十二章	大型平炉车间的原料场	376
第二十三章	混铁炉间	397
第二十四章	主厂房	409
第二十五章	脱模场和钢锭模间	434
第二十六章	小型和中型平炉车间	452
第二十七章	废钢处理车间	469
第二十八章	平炉车间的生产组织	496

第一章 引 言

平爐煉鋼法在今天已成為最主要的煉鋼方法。世界上由平爐煉出的鋼，約占整個鋼產量的 90%。除原料條件特殊的國家如：德、法、比，轉爐仍占很大比重外，其他國家現均以平爐煉鋼為主。在中國不論現在或將來，平爐也都占很大比重。因此，應對此法給以很大的注意。

平爐煉鋼法的特点是採用一種名為蓄熱室式的火焰爐來作為熔煉設備。

這種爐子的創造應當歸功於威廉·西門斯 (Wilhelm Siemens) 和佩爾·馬丁 (Pierre Martin)。他們首先想到了蓄熱——即回收廢熱——的原理，然後又把這種原理應用到火焰爐中來進行煉鋼。在此以前，也曾有很多人想在火焰爐中煉鋼，但均未成功。他們失敗的原因是由於火焰爐當時達不到很高的溫度，而這種高溫乃系熔化鋼所必需的。用下面的例子來說明這個道理：

我們知道，純鐵的熔點是 1530°C 。要使它熔化成液體並能鑄成錠子，至少須過熱 $80\sim 100^{\circ}$ ；也就是說，爐中金屬加熱的溫度應達到 1630°C 左右。要使金屬能很快加熱到這個溫度，爐內氣體本身的溫度還要高。一般情況下火焰和金屬間的溫度差為 $150\sim 170^{\circ}$ ，亦即火焰溫度應為 $\sim 1800^{\circ}\text{C}$ 。但這還不夠，因為爐氣在爐中還發生溫度下降現象（此乃由於它把熱量傳給了熔池，以及燃燒產物分解所致），因此爐中燃料的理論燃燒溫度應是 $2200\sim 2400^{\circ}\text{C}$ 才成。然而現有各種燃料無論那一個在冷空氣中燃燒時，都不可能達到這麼高的溫度。例如：煙煤在純氧中的理論燃燒溫度是 2000°C ；在空氣中燃燒時，只能達到 1400°C ；而在有过剩空氣時，實際只能達到 1100°C 。這樣用煤作燃料就不可能在火焰爐中把鋼熔化成液體。其他燃料與煤情況相似，同樣在火焰爐中也都達不到煉鋼所需的溫度。

这样，由于燃料燃烧温度不够高，在火焰爐中炼出鋼来的問題就沒有得到解决。为解决此問題，威廉·西門斯提出了蓄热的原理。所謂蓄热原理的实质究竟是什么呢？可用下面的理論加以說明。

人所共知，物体的热量 Q 是它的质量 m ，热容量 C 和温度 t 的乘积；即：

$$Q = m \cdot C \cdot t,$$

因此：

$$t = \frac{Q}{m \cdot C}$$

由此可知，如想得到較高温度，方法之一即系加大上式的分子。假使我們能使空气和燃料在燃烧之前預先增加一些物理热 q ，就有可能达到这一点。因为此时燃烧温度等于：

$$t_1 = \frac{Q+q}{m \cdot C};$$

而

$$t = \frac{Q}{m \cdot C};$$

∴

$$t_1 > t.$$

1856年威廉·西門斯〔会同他的兄弟弗雷特·西門斯 (Friedrich Siemens)] 巧妙地利用了废气的余热来加热燃烧所用的空气。

在构造上，实现蓄热原理的图解如图 1—1。

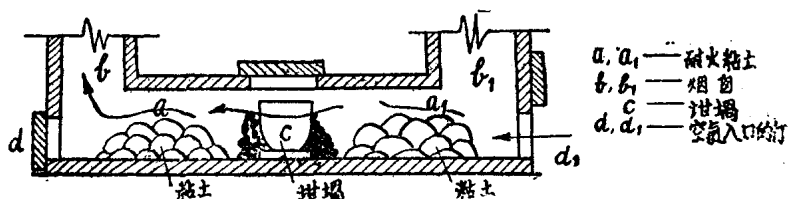


图 1—1 最初采用蓄热原理的爐子构造簡图

在隧道 a 及 a_1 中放进耐火粘土。在爐膛 C 中放入坩埚，周圍用煤燃烧。燃烧所用的空气由 d_1 門进入。燃烧产物进入隧道

a 而加热了在那里的粘土，然后由烟囱中跑掉。经过半小时之后， d 門关闭而 d' 門打开。空气按相反方向进入，在赤热的粘土块上被預热成热空气，使得燃烧温度大为提高。燃烧产物进入隧道 a ，又加热了那里的粘土，然后又进入烟道。再过半小时，又使空气与爐气换向一次，于是使得燃烧所用空气反复受到加热。

但西門斯並沒有在他的蓄热室式爐子中炼出鋼来。第一个成功地从蓄热式火焰爐中炼出鋼来的是法国的馬丁父子 (Emile 和 Pierre Martin)。馬丁在 1864 年将西門斯的原理用于預热煤气及空气，同时預热改在比較复杂的有砖格的蓄热室中进行 (图 1—2)：

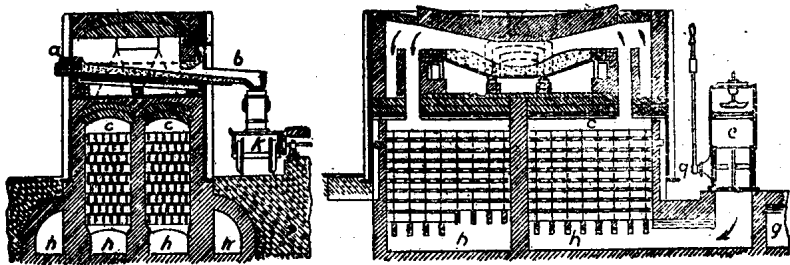


图 1—2 馬丁建造的第一个蓄热室平爐

馬丁的第一座爐子，爐底面积是 3 公尺²。装料量为 2~2.2 吨。爐底用耐火石英砂打成。爐料用生鉄和普德林鉄块。熔炼時間将近 14 小时。每吨鋼消耗煤 1.7 吨。爐子寿命为 70 爐。当然从这些数字可以看出，这个爐子比起今天的平爐來說，各种技术經濟指标都是很低的 (参閱表 1—1)。

表 1—1

第一座平爐与近代平爐技术經濟指标比較表

項 目	第一座平爐	200 吨平爐	500 吨平爐
容量, t	2—2.2	200	500
爐底面积, m ²	3	67.5	145
燃料消耗率, 10 ⁶ kcal/t 鋼	11.0	1.1	0.89
爐底利用系数, $\frac{t/\text{鋼}}{24h \cdot m^2}$	1.2	7.8	9.2
生产率, t 鋼/h	0.15	22	36

在法国馬丁之后，很快地世界其他各国也都相繼建造了平爐。同时平爐炼鋼法也在不断地改进和发展。

例如在俄国，1869年由伊茲諾斯科夫（А.А.Износков）和 Н. Н. 庫茲涅佐夫（Н. Н. Кузнецов）在索尔莫夫工厂（现在的“紅色索尔莫沃”工厂）建造了第一座平爐。

这个平爐的特点如下：装料量 2.5 吨；爐底长 2.59 公尺；爐底宽 1.99 公尺；爐底面积 5.15 公尺²；爐液面到爐頂的高度为 0.76 公尺。同年在美国按照威尔曼（Wellman）的设计也建造了一座 6 吨平爐。

以后，平爐炼鋼法的发展是从两个方面进行的：即一方面改进平爐炼鋼的操作，另一方面改进平爐爐体的构造。

关于炼鋼的操作，在历史上经历了以下的变化：

当平爐刚刚出现时，它和坩埚法差不多，仅仅作为熔化生鉄、熟鉄之用；生鉄中的杂质实际上没有氧化掉，在第一批平爐中一般炼不出軟鋼来。

以后由于工业的发展，有了大批便宜的废鋼。这些废鋼在轉爐中是不能应用的，但在平爐中却能很好地应用。这样，平爐炼鋼工业就有了一种新的原料——废鋼。它在今天占爐料组成的 25~40%，个别情况下甚至达到 70~100%。不过只有当人们会使用脱氧剂之后，利用废鋼做炼鋼的原料才得到了真正的效果。还在 1867 年佩尔·馬丁就在炼鋼时用了含锰的合金作为脱氧剂。

佩尔·馬丁利用火焰爐炼鋼的道路，主要是使用废鋼来炼鋼，而威廉·西門斯的道路则是解决用生鉄炼鋼的问题，也就是往爐中加入矿石，利用矿石中的氧，氧化生鉄中的杂质，进行精炼。

因为开始时平爐是用酸性耐火材料砌造的，在这种爐子中不可能去硫和去磷，所以必須用低磷、低硫生鉄炼鋼。碱性轉爐法（托馬斯炼鋼法）的成功，引起了平爐也采用碱性的爐底，亦即白云石和鎂石。于是在平爐中去磷和去硫也变成可能的了，因而便扩大了平爐原料的范围。碱性平爐炼鋼法的实践，証明这种方法可以用各种生鉄炼出质量优良的鋼来。

初期平爐，裝入的爐料都是固體的（冷裝）。後來人們為了利用生鐵的物理熱，便想到裝入液體生鐵。然而第一批實驗沒有成功，裝入鐵水後熔化時間雖然縮短了，但沸騰時間却大為延長。只有當以後平爐熱負荷大為增加，允許加入更多的礦石來氧化生鐵中的雜質時，這種方法才得到實現。這就是所謂的“礦石法”。直到十九世紀九十年代，這種方法才為人類所掌握。

爐體構造的發展歷史和現在的方向是逐漸增大爐子的容量和工作的機械化和自動化。現在在蘇聯已有很多380噸的爐子，新造的500噸平爐也已投入生產。我國正在着手建設的武漢、包頭等鋼鐵聯合企業，也將學習蘇聯的建設經驗採用世界第一流的250~500噸的大平爐。

按照爐體構造的不同，平爐可以分為兩類，即：可傾式與固定式。可傾式平爐用的不多，只用於以特種生鐵如高磷生鐵為原料的煉鋼操作。

與其他煉鋼法相比較，平爐煉鋼具有以下的好處和缺點。

優點：

1) 和酸性轉爐法（貝塞麥法），及鹼性轉爐法（托馬斯法）不同，它可以用含有較多量磷、硫、矽以及其他雜質的生鐵和廢鋼。

2) 可以在很大範圍內改變爐料成分。既可以用全部生鐵（礦石法），又可以用全部廢鋼（增炭法），還可以用部份生鐵、部份廢鋼（廢鋼礦石法）。和轉爐煉鋼法不同，它可以利用各種形狀的廢鋼，爐料既可熱裝，也可以冷裝。

3) 由平爐中可以煉出各種用途的鋼來，由普通碳素鋼到低合金鋼。

4) 因為熔煉時間長，所以它的操作可以很好地控制和調節。例如可以用取樣分析的方法來控制操作的進行。

爐渣成分可以在很大範圍內變化，借以控制熔煉反應按所需的進行。

並且由於熱能來源是由外界供給的，因此可以利用調節熱制

度（溫度制度）的办法来控制反应的进行方向。

爐子的管理也很簡單，并且主要操作已完全机械化和自动化了。

5) 平爐燃料可以用各式各样的：气体燃料、液体燃料、固体燃料（气化或粉煤）都可以。在冶金联合企业内，平爐可以利用炼焦和炼鉄的副产品——焦爐煤气和高爐煤气的混合煤气——做燃料，非常經濟。

6) 可以建造生产率很高的爐子，使炼鋼的成本降低，所消耗的体力劳动也很少。可以建造具有很高年产量的平爐車間，車間工作全部机械化。

缺点：

1) 平爐体和車間比較复杂和笨重。

2) 建厂的基本建設費用較高。

3) 爐子的热效率很低。

4) 爐子的生产是不連續的，供給初軋車間鋼錠的情况不均匀，因此初軋車間必須建造許多均热爐。

5) 由于爐内耐火材料的工作条件很坏，所以爐子有些部份（如爐頂）的寿命較短。

6) 某些零件的冷却要消耗大量的冷却水（ $7 \sim 12 \text{公尺}^3/\text{吨鋼錠}$ ），同时热的損失也較多。

如上所述，由于平爐炼鋼法的优点大大超过了它的缺点，所以平爐炼鋼法在整个炼鋼工业中仍占了极大的比重。

在許多書中都已論述了平爐炼鋼法的操作特点，本書将专门研究平爐爐体的构造和車間的布置，这是决定平爐炼鋼經濟方面的重要因素。在研究平爐构造之前，应先了解它的工作的理論基础，亦即“平爐的热工”。因此下面将首先討論有关平爐热工方面的問題。

第二章 平爐熔煉室中的傳熱

在平爐內進行的傳熱現象，以及與供熱有關的燃料燃燒過程和氣體流動，我們總稱為平爐的熱工作。

平爐熱工作的目的是保證冶煉操作的進行，也就是加熱金屬到所需的溫度。從熱工的观点看，平爐可以看作一種熱交換器。

研究平爐熱工的目的，首先是為了強化此熱交換過程。下面講熱交換過程的條件，尤其是關於平爐熔煉室的熱交換。

§ 1 平爐熔煉室中傳熱的特點

平爐中爐料的加熱是依借熔煉室中燃料燃燒所放出的熱量而進行的。傳熱過程本身非常複雜，理論上還很難計算。這是因為燃料燃燒時火焰沿爐長方向溫度不均勻，輻射線的發射及其吸收很複雜，另外影響傳熱的因素又非常之多。因此現僅從性質上來講講平爐的熱交換。

平爐熔煉室中的熱交換可以看作幾個相互有關的傳熱過程的綜合。現用右面的圖解來表示（圖2—1）。

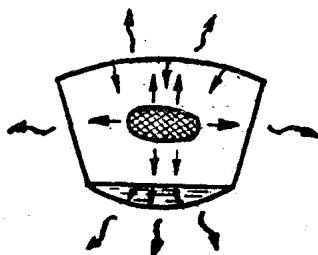


圖 2—1 平爐熔煉室中傳熱過程的示意圖

由右圖可以看出，平爐熔煉室中的傳熱過程是非常複雜的。

但為了易於研究分析，可將此複雜過程分為如下幾個單元過程（圖2—2），也就是：

a) 由燃燒氣體的火焰向爐料及爐襯的輻射傳熱和對流傳熱；

6) 爐襯向爐料的傳熱或相反的過程；

- В) 爐料內部的傳熱過程;
- Г) 爐襯和周圍環境之間的热交換。

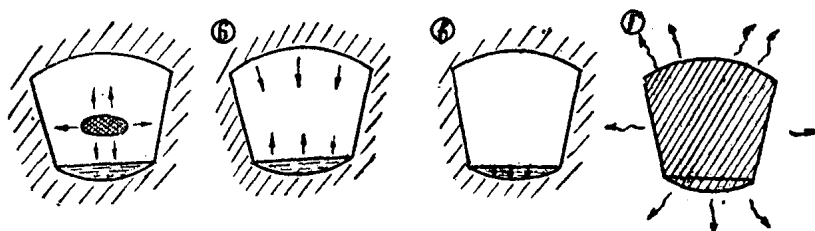


图 2—2 平爐熔煉室中傳熱過程的分析

下面分別來研究這些過程。

§ 2 由火焰向爐料及爐襯的傳熱

由燃燒氣體的火焰向爐襯以及爐料的傳熱系借兩種方式進行：

- 1) 輻射傳熱;
- 2) 對流傳熱。

到今天為止，對於第二種傳熱方式的意義的估計，許多冶金學家還沒有取得統一的意見。有一些人〔如有名的德國工程師黑爾鄒格 (E. Herzog)〕認為這種對流傳熱方式有很大的意義，而另外一些人〔如偉大的蘇聯學者格林科夫 (М. А. Глишков) 教授等〕認為平爐熔煉室中對流傳熱在總傳熱中的作用很小。

我們對這個問題看法怎樣呢？回答是應從這種傳熱過程的實質來得到說明。

我們知道，對流所傳的热量是：

$$Q_n = \alpha_n (t_1 - t_2) F \cdot Z \text{ kcal} \quad (2-1)$$

式中 Q_n ——以對流方式由爐氣傳給金屬的热量，kcal；

$t_1 - t_2$ ——溫度差，°C；

$\alpha_{\text{對流}}$ ——对流传热系数, $\frac{\text{kcal}}{\text{m}^2 \text{h}^\circ\text{C}}$;

F ——传热面, m^2 ;

Z ——传热时间, h 。

当温度差 $t_1 - t_2$ 和传热面 F 不变时, 对流传热的大小就只和传热系数 $\alpha_{\text{對流}}$ 有关了。而 $\alpha_{\text{對流}}$ 受许多因素的影响, 其中主要受气体流动速度的影响。

在平爐熔炼室中, 煤气爐头噴出的速度一般是 $6 - 8 \text{ m/sec}$ (0°C), 但入熔炼室后在比較短的距离內速度即大大降低。在燃烧完成后, 废气在离熔炼室前的速度一般小于 1 m/sec (0°C)。茲假定爐气平均流动速度为 $3 - 4 \text{ m/sec}$, 則根据經驗公式計算, $\alpha_{\text{對流}} \approx 15 - 20 \frac{\text{kcal}}{\text{m}^2 \text{h}^\circ\text{C}}$ 。

輻射传热可以分为二部份:

$$Q_{\text{輻}} = Q_{\text{r}} + Q_{\text{km}} \quad (2-2)$$

$$= C_{\text{rkm}} \left[\left(\frac{T_{\text{r}}}{100} \right)^4 - \left(\frac{T_{\text{m}}}{100} \right)^4 \right] F \cdot Z \quad (2-3)$$

$$= C_{\text{rkm}} \frac{(T_{\text{r}} - T_{\text{m}})}{T_{\text{r}} - T_{\text{m}}} \left[\left(\frac{T_{\text{r}}}{100} \right)^4 - \left(\frac{T_{\text{m}}}{100} \right)^4 \right] F \cdot Z \quad (2-4)$$

$$= \alpha_{\text{輻}} (T_{\text{r}} - T_{\text{m}}) F \cdot Z$$

$$= \alpha_{\text{輻}} (t_1 - t_2) F \cdot Z \text{ kcal} \quad (2-5)$$

式中 Q_{r} ——以輻射方式由爐气传给金屬的淨热量, kcal;

Q_{km} ——以輻射方式由爐衬传给金屬的淨热量, kcal;

C_{rkm} ——爐气、爐衬与金屬表面間的換算輻射系数,

$$\frac{\text{kcal}}{\text{m}^2 \left(\frac{^\circ\text{K}}{100} \right)^4 \text{h}};$$

T_{r} ——爐气温度, $^\circ\text{K}$;

T_{m} ——金屬表面温度, $^\circ\text{K}$;

$\alpha_{\text{輻}}$ ——輻射传热系数, $\frac{\text{kcal}}{\text{m}^2 \text{h}^\circ\text{C}}$ 。

自式(2-5)我們可以看出:

$$\alpha_{\text{輻}} = \frac{C_{\text{rkm}} \left[\left(\frac{T_{\text{r}}}{100} \right)^4 - \left(\frac{T_{\text{m}}}{100} \right)^4 \right]}{T_{\text{r}} - T_{\text{m}}} \frac{\text{kcal}}{\text{m}^2 \text{h}^\circ\text{C}} \quad (2-6)$$

由式 (2—6) 可以算出, $\alpha_{\text{輻}} \cong 500—900 \frac{\text{kcal}}{\text{m}^2 \text{h}^\circ\text{C}}$ 。

这样对流传热所占总传热的百分比是:

$$\frac{\alpha_{\text{輻}}}{\alpha_{\text{對}} + \alpha_{\text{輻}}} \times 100 \cong 2—4\%$$

因此, 我們可以認為, 在平爐熔炼室中, 对流传热与輻射传热比起来, 意义是不大的。在现有平爐中要增加传热, 主要应采取的措施, 創造对輻射传热最有利的条件。

这些条件是什么呢? 应以輻射传热的理論实质來說明。

研究式 (2—3) 得知, 輻射过程所传热量的大小和爐气与金屬溫度四方的差即 $T_{\text{气}}^4 - T_{\text{金}}^4$ 成正比, 同时还与爐气和爐牆向金屬表面的換算輻射系数 $C_{\text{換}}$ 有关。而这个輻射系数当金屬和爐牆的黑度等于常数时, 对于具有一定构造的爐子, 主要受爐气黑度的影响。

根据輻射传热的理論研究, 可以得出对于平爐炼鋼有用的結論, 即:

提高火焰溫度和它的黑度可使由火焰传向熔池的热量增多。

关于提高平爐內火焰的溫度, 目前在熔炼前期——热工阶段——主要受爐子构造条件不能多加燃料及不能保証燃料完全燃烧的限制, 而在熔炼后期——工艺阶段——又受矽砖爐頂在高溫下的强度的限制。前一点在以后講到平爐构造的章节中还将談到, 而后一点如果采用在高溫下强度較大的耐火材料 (如鉻鎂砖) 即可部份地解决这个問題。例如苏联的經驗証明, 使用鉻鎂砖爐頂时, 火焰溫度可提高 $100 \sim 120^\circ\text{C}$, 因此平爐生产率可以增加 $12 \sim 15\%$ 。

关于火焰的黑度或者“亮度”对于传热的影响, 到今天为止研究的还不够清楚。

当火焰中只包含三原子气体 CO_2 和 H_2O , 而沒有固体碳小粒存在时, 火焰不光亮。如果火焰中存有固体无定形碳小粒, 則火焰非常光亮。这种碳小粒系由复杂的碳氢化合物分解生成, 它們吸收了高热气体的热量然后輻射出去, 因此这种火焰所放出的

热在相同温度条件下，要比不光亮的火焰多些。

根据这个原理许多平炉炼钢工作者认为人为的增加火焰亮度即在气体燃料中加入增碳剂（焦油、重油、碳粉）是合理的。

然而这种提高火焰黑度来增加传热能力的方法，并不是在任何情况下都是非常有效的。根据苏联冶金学者那扎洛夫（Н. С. Назаров）的研究，当火焰黑度小于0.25，亦即火焰属于一种暗焰时，增碳对增加传热的效果非常显著；当火焰黑度大过0.25，火焰属于一种辉焰，此时增加黑度虽有好处但效果不大；而当黑度超过0.4时则不合理，因为此时意味着燃料的不完全燃烧。实践证明：对于黑度较低的气体燃料以及发热值较低的气体燃料使用人工增碳，提高火焰“亮度”特别合算。对于热负荷较低和平炉，要在装料期保持炉内的高温，进行火焰增碳也特别合算。

§ 3 炉衬向炉料的传热及相反过程

在平炉熔炼室的热交换过程中，炉衬向炉料的传热起很重要的作用。炉衬一方面吸收火焰所辐射的热量，另一方面炉衬也通过辐射及反射将热传给炉料。尤其在熔炼初期当炉料温度较低时，这种现象尤为显著。

曾有人认为炉衬耐火材料的反射能力对于传热具有很大影响。他们的观点是炉衬的黑度愈低，反射能力便愈强，因此如果能在平炉熔炼室中创造一种“镜面”般的炉衬，则由于炉衬强烈的反射作用，便可保证最大限度地向炉料传热以及最小的热损失。

然而如果我们忽略热损失对于炉内温度的影响（此种影响不大，一般可假定炉衬向外散热损失等于炉气以对流方式传给炉衬的热量），那扎洛夫认为炉衬耐火材料的黑度对于炉衬传向炉料热量的大小是没有影响的。他的意见是：炉衬将热量传给炉料系靠辐射及反射两种作用。如果炉衬的黑度降低，反射热量固然增加，然而由于其本身吸收的热量少了，其辐射热量将行减少。炉

衬系做为一个传热的中间体而存在，爐衬辐射和反射热量的总和是不会改变的；問題只在于如果爐衬黑度很低，传热主要靠反射，此时爐衬内表面的温度可以很低，爐頂和爐墙可以是冷的；而当爐衬黑度较高，做为一个辐射体时，其内表面温度必須很高才能有利于传热。

降低爐衬黑度，将它做成光滑的鏡面的倡議，在平爐实际条件下，受到材料的限制在目前还不可能实现。现在平爐爐衬耐火材料的黑度大約在 0.8 左右，爐衬对于爐料的传热主要依靠辐射，而爐衬温度不可能太低。

其次，爐料及熔池对于爐衬的传热也是值得注意的。在熔炼初期，爐料的反射能力很小；到了熔炼結束时，熔池反射能力可能达到很大数值。为了快速而有效地加热爐料及鋼水，同时也为了減輕爐衬耐火材料的热負荷，爐料和熔池具有較高的黑度（即較低的反射能力）是合适的。

在实际上固体爐料的反射能力一般不大于 0.1，但在熔化之后，爐渣的反射能力則可能达到 0.6~0.9。因此在熔炼后期当熔池反射能力較强时，常发生“烧化”爐頂的危險。所以如能找出实际可行的提高爐渣黑度（降低反射能力）的方法乃是非常合理的。此点在一定程度上，可由改变爐渣的化学和物理成分来达到。

为了更好地說明爐衬向熔池（爐料）或相反过程传热的机构，我們作出下列的热平衡：

設 Q_M ——自熔池（爐料）向爐衬有效辐射的热流（包括自身的辐射 $Q_M^{自}$ 及反射的辐射 $Q_M^{R射}$ ）， $\frac{kcal}{m^2h}$ ；

Q_K ——自爐衬向熔池（爐料）有效辐射的热流（包括自身的辐射 $Q_K^{自}$ 及反射的辐射 $Q_K^{R射}$ ）， $\frac{kcal}{m^2h}$ ；

$Q_{M,fl}^M$ ——火焰向熔池（爐料）辐射的热流， $\frac{kcal}{m^2h}$ ；

$Q_{K,fl}^K$ ——火焰向爐衬辐射的热流， $\frac{kcal}{m^2h}$ ；

ϵ_M ——熔池（爐料）的黑度；