

~~24.2-0077~~

TF7-26C₁

~~10.1.7-147~~

平爐快速煉鋼原理

蕭明偉 方宗遠 譯 楊惠華 校

重工業出版社

內容簡介

書中講述了近代平爐煉鋼技術操作與熱工兩方面的基本理論和實際情況；引載了一些材料，說明在同時解決煉鋼技術操作和熱工方面的全部問題時，強化酸性平爐的作業過程是可能的；此外，還指出了正確解決平爐煉鋼技術操作和熱工問題的途徑。

本書乃為煉鋼技師和煉鋼車間熱工工程師而作，但對於工業大學冶金系高年級的學生，也可能是有益處的。

П. В. УМРИХИН Н. И. КОКАРЕВ ОСНОВЫ СКОРОСТНОЙ МАРТЕНОВСКОЙ ПЛАВКИ

(ТЕОРИЯ И ПРАКТИКА)
Металлургиздат (Москва—1951)

* * *

平爐快速煉鋼原理

蕭明偉 方宗遠 譯

重工業出版社（北京西直門內大街三官廟11號）出版
北京市書刊出版業營業許可證出字第〇一五號

* * *

重工業出版社印刷廠印

一九五四年九月第一版

一九五四年九月北京第一次印刷（1—1,980）

787×1092 • $\frac{1}{25}$ • 90,000字 • 印張5 $\frac{2}{5}$ • 定價3,700元

* * *

發行者 新華書店

目 次

序	1
引言	3
第一章 裝料和燒料	6
平爐熔煉的各期	6
燒料理論	6
燒料與裝料次序的關係	9
裝料期燒料不足是爐料結殼的因素	10
燒料與裝料速度的關係	13
第二章 爐料熔化	19
金屬料熔化的步驟	19
液體金屬中的對流及其對於加速熔化的重要性	23
第三章 渣的形成	31
成渣的來源	31
造渣方法	32
熔渣中促進吸收石灰的成分	34
裝入料中的石灰石量	37
熔渣形成的控制	38
第四章 平爐中的氧化和還原過程	42
脫磷	42
錳的氧化與還原	47
脫碳	52
脫硫	58
第五章 平爐的熱工工作	63
平爐的熱能力	63
平爐熔煉室中的熱交換	67
燃料的利用係數	75

第六章 平爐蓄熱室的熱工工作	79
蓄熱室構造上的缺點	79
蓄熱室磚格子中的熱交換	81
蓄熱室磚格子的阻力	88
新型式的磚格子	95
第七章 平爐的爐頭和噴油嘴	99
火焰理論的若干原理	99
平爐爐頭和噴油嘴的發展	101
第八章 平爐氣體力學	109
平爐通道與室的阻力	109
平爐構造上的缺點	112
阻力與吸力的計算法	113
第九章 平爐熱工工作的控制和自動化	123
自動化平爐熱工工作的改善	123
平爐熱工工作控制的缺點	123
平爐熱工制度與氣體流動制度的選擇	126
參考文獻	131

“...斯大哈諾夫運動是新的更高的技術定額表現，它是只有社會主義才能造成，而非資本主義所能達到的那種高度勞動生產率的模範。”註

序

在近代冶金工業的發展中，強化作業過程是一個基本方向。

強化作業過程的問題，是遠在1935年的時候，由一些先進人物、革新者、斯大哈諾夫生產者和工程師們所開始的。他們首先發現了冶金設備的巨大潛力和進一步提高生產率的可能性。

還在斯大哈諾夫運動開始的時候，斯大林同志就稱它為近代最富有活力和不可遏止的運動，它將被載入社會主義建設的史冊中，而佔據光輝的一頁。

無論在戰前斯大林五年計劃光輝成就的獲得上，抑或在偉大衛國戰爭歷史性勝利的獲得上，斯大哈諾夫運動的作用都是巨大的。

戰後年代中，斯大哈諾夫運動又提升到了一個新的和更高的階段。斯大哈諾夫工作者的數量不斷增加着；他們為過渡到集體的斯大哈諾夫式的工作，為過渡到斯大哈諾夫式的工段、車間和企業而進行着不懈的鬥爭。

很多快速煉鋼工的名字在我們偉大祖國的每一個角落裡傳誦着，他們的經驗已被廣闊地傳播開來了。已經出版了很多專門的小冊子，敘述着他們在平爐快速煉鋼工作方面的特點和方法。

在斯大哈諾夫勞動方法的發展中，學者們與生產革新者的結合，是一個新的階段。由於這種結合，乃能朝着斯大哈諾夫式煉鋼方法的研究、建立理論基礎和總結概括的方向前進。

著者根據自己的專門研究，並根據烏拉爾工業學院鋼冶金與煤氣平爐熱工教研室中研究者們的著作、其他著者的著作和工廠實際的材料，寫成了這本書，目的在於說明平爐快速煉鋼的基本原理。

本書從理論和實際兩方面闡明了一系列的問題。它闡明了與裝料速度、平爐工作制度 and 熔池物理化學過程的發展等相關聯着的加速廢料和加速熔化的問題，闡明了關於熔煉早期促進熔渣形成、於熔化行程中減少泡沫的生成、於熔煉的各個階段中脫碳、脫磷和脫硫的問題。此外，書中還說明了為使平爐作業強化的熔煉時期穿插問題以及熱工工作改善的問題。

註：斯大林：“列寧主義問題”，第十一版，494頁（中譯本654頁），蘇聯國家政治書籍出版

書中所討論的與實際相聯繫的一些理論原則，曾經在兩年的時間內，在烏拉爾工業學院附設的平爐車間主任專業提高訓練班中由著者作過講授。所以，這裡所陳述的材料，又從平爐生產實踐的觀點，經過了一番討論。

書中所闡述的一些原理，如合理佈料、提早造渣、高速脫碳、使用 УПИ-k 式噴油嘴、增大磚格子換熱面積、調節平爐吸力等等，如能一一實現於生產中，便能縮短熔煉時間，改善熱工工作和縮短燃料消耗量。

乘本書出版之便，著者謹向下沙爾金冶金廠(Ниже-Салдинский завод)的 Л. И. Левин 廠長以及下色爾根廠(Ниже-Сергинский)、下沙爾金廠、雷斯文廠(Лысьвенский)、彼得羅夫斯克-後貝加爾廠(Петровск-Забайкальский)、伊熱夫廠(Ижевский)、謝洛夫廠(Завод ИМ. А. К. Серова)等諸廠曾為寫成本書提供了一些生產資料而表示深切的謝意。

簡述平爐快速煉鋼的理論與實際的基礎，本書還是一個初步的嘗試。因此，這本書的缺點自然是不可避免的。由於這樣的緣故，著者以十二萬分的感激歡迎讀者的一切意見。

文力亨(П. В. Умрихин)

柯卡列夫(Н. И. Кокарев)

引 言

在俄羅斯科學史中，有很多俄羅斯民族優秀代表的經典著作。煉鋼事業的發展，是與這些優秀代表的名字相關聯着的。

還在十八世紀的上半期，俄國偉大學者羅蒙諾索夫（М. В. Ломоносов）曾著“冶金或礦業的初步原理”一書，最先闡述了冶金的以及與其相關的採礦的科學原理。羅蒙諾索夫的工作對於俄羅斯冶金學的建立，是具有巨大影響的。

到了十八世紀下半葉，卓越的礦冶專家雅爾策夫（А. С. Ярцев）又對鋼的生產作了很多新的貢獻。他是歐羅涅茨（Олонекский）和烏拉爾兩地冶金廠的領導者和建設者，曾經寫了一部俄國礦冶歷史上最廣闊的著作，稱為“俄羅斯礦業史”。

十九世紀的卓越學者和工程師們，如安諾索夫（П. П. Аносов），歐布霍夫（П. М. Обухов），依茲諾斯科夫（А. А. Износков），哥良諾夫（Горяинов）兄弟等的勞績和活動，對於煉鋼的發展具有異常巨大的意義。

安諾索夫曾完全獨立地研究出了大馬士革鋼的製煉方法，這種鋼的性質，比當時歐洲所有國家的刀刃鋼都好。安諾索夫實際上是高級優質鋼冶煉的創始者，在他的著作中研究了鋼生產的一切過程：熔煉、澆鑄、鍛鋼、退火、淬火、回火、機械加工、鋼的質量檢查（如低倍組織，顯微組織和機械性能）等。

歐布霍夫發明了高品質鋼的生產方法，這種鋼的品質是超過國外任何最好品號的鋼的。

依茲諾斯科夫於1870年在索爾莫夫廠（Сормовский завод）修建了歐洲最早的平爐之一。哥良諾夫兄弟於1883年在葉卡特林諾斯拉夫城（Екатеринослав）的亞歷山大羅夫廠（Б. Александровский завод）最先研究並實現了廢鋼鐵石法的煉鋼操作。

偉大冶金學者切爾諾夫（Д. К. Чернов）開始將鑄鋼工作由技藝變為科學——變為以物理學和物理化學定律為基礎的科學。

俄羅斯的學者如白可夫（А. А. Байков），格龍—格爾銳賈洛（В. Е. Грум-Гржимайло），卡爾納烏霍夫（М. М. Карнаухов），斯大爾克（В. В. Старк），沙瑪林（А. М. Самарин），特魯賓（К. Г. Трубин），葉辛（О. А. Есин）等等，曾以自己的勞作建立了近代最先進的煉鋼理論。

與此同時，在冶煉的熱工技術方面，俄羅斯的學者也作了很大的工作。在這些偉大工作的基礎上，鋼的生產得到了一個總的進步。

巴夫洛甫 (М. А. Павлов) 院士的著作綜合了全世界的平爐實驗材料；根據這些材料，使鋼冶金的科學與實際，可以得到進一步的發展。

在所有的經典著作中，還必須提到教授索可羅夫 (И. А. Соколов) 博士在烏拉爾所作的平爐研究。

格龍—格爾銳買洛教授的著作，對於冶金熱工技術的發展是具有大意義的。

斯卡列多夫 (Н. А. Скарелов) 工程師曾經設想平爐為一個熱機，並且有用改善供熱的辦法來強化它的可能性。根據這一個概念，在平爐熱工工作的改善方面，有很多俄羅斯的學者進行了一系列的研究。

在這些研究中，基於傳熱與氣體力學研究上的成就，構成了平爐的理論基礎，而概括於“爐子一般理論”一書中〔1〕。這本書的理論不同於流體力學理論，流體力學的理論在當時對於爐子修建上是起着積極作用的。這本書的理論對於氣流的強制流動，對於傳熱的改善以及對於與此有關的爐子工作的強化等，均有完全的論述。

在斯大哈諾夫運動展開的頭幾年，曾有人提出一種所謂“強力論”。這種理論實質上是建立在爐子一般理論中諸原理的基礎上的，並且還加上了由斯卡列多夫工程師和謝米京 (И. Д. Семикин) 教授所補充的原理。但是，這些補充的原理是由不正確的提法產生的，提出這些原理時，絲毫沒有考慮到證明這些原理的正確性的一切條件和因素。比方說，增大平爐熱能力的這個要求，原來是無可爭辯的，可是，如果不能保證燃料在熔煉室內的正確燃燒和適當的換熱條件，那麼，增大熱能力便變成毫無目的的舉動了。犧牲熔煉室的長度，而增大它的寬度，只在特殊的情況下才是可行的，而且僅在能保證加速燃料燃燒的情形下，才是可行的。該理論中的這些原理對於事物的個別方面是具有意義的，但因其不考慮其他的條件和因素，所以與實際有出入。這便足以確定強力論理論基礎的缺陷。

在熱工過程的科學研究方法方面，院士基爾皮切夫 (В. Кирпичев) 學派。是一個新的先進學派；這個學派的作用是很大的。這一個學派是建立在利用相似論和模擬論的方法的基礎上的。

所以，鋼冶金學的進步發展，一方面建立在研究最先進的技術操作理論的基礎上，同時又建立在熱工方面理論的基礎上。

斯大哈諾夫式的煉鋼工，如馬載 (Мазай)，柯諾瓦洛夫 (Коновалов)，柴科甫斯基 (Чайковский)，巴捷托夫 (Базетов)，切斯諾科夫 (Чесноков) 兄弟，蘇波庭 (Субботин)，波洛托夫 (Болотов)，卡者羅夫 (Казыров)，安莫索夫 (Амосов)，斯克利卜尼科夫 (Скрипников)，庫其林 (Кучерин) 等等，用自己

革命性的改變，經由強化熔煉作業過程的方法，打破了煉鋼方法的現行定額。他們在熔煉的技術操作和熱工上，採取了一系列的變革，因而確立了由強化脫碳過程以獲得優質鋼的冶煉方法的充分可能性和適用性。

偉大衛國戰爭年代和戰後斯大林五年計劃時期，在煉鋼生產中的提高鋼品質和強化作業過程兩方面，曾獲得了很大的成就。比方說，我們已經掌握了在大噸位（185—200噸）的鹼性平爐中煉出多種最重要的合金鋼的操作方法，已能够大量利用合金鋼切頭來進行熔煉，已經普遍採用了快速煉鋼方法，採用了平爐自動化，此外，還有很多其他的成就。

由於獲得了這些成就，蘇維埃的冶金業光榮地經受了戰爭的嚴重考驗。

在戰後斯大林五年計劃年代，蘇聯冶金業的發展又用更快步伐前進着。

在偉大十月社會主義革命三十三週年紀念日這一天，布爾加寧同志曾經指出：“五年計劃中黑色冶金發展的任務已經超額完成了。按照五年計劃的規定，1950年的黑色金屬的產量，應當超過1940年的35%。而在本年的十個月中，黑色金屬的產量已經超過了戰前水平的44%；其中在煉鐵方面超過了28%，在煉鋼方面超過了48%，在軋鋼方面超過了58%。”

斯大林同志對蘇維埃煉鋼工作者提出了一個偉大的任務——將鋼的生產提高到年產六千萬噸。要完成這一個任務，除了作一系列的措施以外，還應當經由冶金作業過程的完善和強化的路綫來解決。

第一章 裝料和燒料

平爐熔煉的各期

在鹼性平爐煉鋼的操作規程中，通常包括如下各期：補爐、裝料、熔化、精煉（脫磷、脫碳、脫硫和脫氧）和出鋼。

實際上，在進行熔煉作業時，各期的明顯分界是不存在的。特別是在近代的平爐操作法中，各期必然是互相交錯穿插的，所以尤其能證明這一點。比方說，補爐的操作，實際上是在精煉末了就已經開始了的，經過出鋼階段，最後在下爐開始裝料時才完畢；一般說來，熔化期實際上是在裝料時開始的，而精煉（脫磷、脫碳和脫硫）則是在熔化期開始的。

所以，在每一期中，都包含着下一期的開端。

使爐子加熱工作作得良好，同時、用強化作業過程的方法，使在熔煉的上一期中，發展着下一期，縮短熔煉中任何一期的時間，這便是平爐快速熔煉的特點。

燒料理論

當裝最初幾批料時，燒料便開始了，以後在整個裝料期，仍然繼續燒料。

因為燒料的強度直接決定熔化速率和成渣速率，所以，對於燒料問題應當格外重視，應當認識到它是對縮短熔煉時間起決定性影響的因素之一。

在幾乎同樣的一種溫度條件下，而在燒料時，如果爐料積蓄熱量的速率（這個速率決定於燒料時熱流的大小）不一樣，則熔化的速率也不同：這是被實際所確定了的。

熱流的大小決定於爐料的熱阻力，即決定於如下的比率

$$\frac{S}{\lambda_m},$$

其中 S 為金屬料層的厚度，以公尺表示； λ_m 為有空氣夾層的爐料的導熱係數，單位是卡/公尺·小時·度。

從這個比率可以看出，要減小熱阻力，必須增大爐料的導熱係數和減小金屬料層的厚度。爐料的導熱係數隨裝料方法的不同而改變，它可以由爐料物質的導熱係數和料塊間形成的空氣夾層的導熱係數來確定〔2〕。空氣夾層的導熱係數 λ_0 又包含兩種導熱係數，一種是空氣的真導熱係數 λ_s ，另一種是由夾層內

部輻射所引起的假導熱係數(Кoeffициент кажущейся теплопроводности)
 $\lambda_{\text{л}}$ 註1, 所以

$$\lambda_{\text{л}} = \lambda_{\text{в}} + \lambda_{\text{р}}$$

上式中的所謂“輻射”導熱係數 $\lambda_{\text{р}}$, 可由下列公式近似求出 [3, 4]

$$\lambda_{\text{р}} \approx 0.198 \left[\frac{T}{100} \right]^3 X, \quad (2)$$

式中 T 為絕對溫度°C, X 為空氣間層的平均厚度註2, 以公尺表示。

有空氣夾層(料塊間的“孔隙度”)的金屬料的導熱係數可以由 Д. В. Будрин公式計算:

$$\lambda_{\text{ш}} = \lambda_{\text{м}} \left[1 - \left(1 - \frac{\lambda_{\text{н}}}{\lambda_{\text{м}}} \right) P \right], \quad (3)$$

$$\lambda_{\text{ш}} = \lambda_{\text{м}} \left[\frac{1}{1 + \left(\frac{\lambda_{\text{м}}}{\lambda_{\text{н}}} - 1 \right) P} \right], \quad (4)$$

式中 $\lambda_{\text{ш}}$ 為有空氣夾層的爐料的導熱係數, 千卡/公尺·小時·度;

$\lambda_{\text{м}}$ 為固體(金屬)的導熱係數, 千卡/公尺·小時·度;

$\lambda_{\text{н}}$ 為空氣夾層的導熱係數, 千卡/公尺·小時·度;

P 為爐料塊體間的“孔隙度”(空洞的容積), %。

第一個公式(3)用來計算沿物料表面行進的熱流(與空氣夾層平行, 見圖1, a), 第二個公式(4)用來計算垂直於物料表面(通過空氣夾層, 見圖1, б)的熱流。

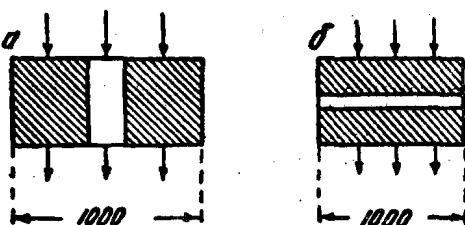


圖1 爐料中熱流動的圖解

a—平行於空氣夾層的熱流, б—通過空氣夾層的熱流
 假定是完全可以應用的。

料塊表面的大部分是互相接觸着的, 所以, 在大略計算爐料的導熱係數($\lambda_{\text{ш}}$)時, 可認為 3/4 的熱流是平行於空氣夾層的, 1/4 的熱流是垂直於空氣夾層的。

這種假定當然在某種程度上有些蠻橫, 但是研究的結果表明: 如果爐料主要是中等塊度的話, 這種

註1. 在爐料的上面幾層中, 由於爐內氣體透入料塊間的夾層, 必須考慮對流的傳熱方法。

註2. 經過若干爐的煉煉實驗, 已求出 X 值平均為 0.02 公尺。

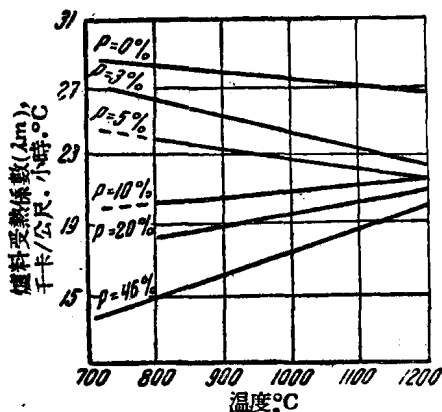


圖 2 爐料導熱係數對於料塊間孔隙度和溫度的關係

爐料的受熱性也大見增加。

2. 當溫度由800°增至1200°C時，由於爐料本身重量的影響，以及繼續加入料的壓力的作用，料塊發生可塑性變形^{註2}，爐料變得緊密，因而使料塊間的孔隙度漸漸減小。料塊間孔隙度減小時，導熱係數相應增加，所以，使裝料緊密（或爐料沉降），是一件很重要的事。

所以，在裝金屬料時，每一層必須燒過一次。為此，裝料時必須停歇三四次。

至於裝料中燒料或停歇的時間，則是因情況不同而異，它決定於爐子的加熱能力^{註3}，裝料速度和料的物理狀況。

快速煉鋼工 Миянн Казыров 對於裝料期的燒料工作，完全正確地給予了特殊的注意。他描述自己的工作方法時〔5〕說道：“用兩台裝料機由兩個爐門裝料，每一個爐門內一次不能超過四斗廢鋼，然後就重新燒料。…”。

М. Кучерин 這樣寫道〔6〕：“我們一方面要加速裝料過程，同時，也不吝惜預熱爐料的時間”。

註 1. 料塊間孔隙度在10—15%的範圍內時。

註 2. 在軟化以前——1100—1200°C。

註 3. 縮短補爐時間，於爐底最熱時裝料，則可使料的加熱強化。

根據上述公式計算，將其結果以圖解表示（圖2）。由這裡可以看出導熱係數隨料塊間“孔隙度”和燒料溫度而變化的關係。

根據圖解，可作出一般性的結論如下：

1. 在同一料塊間“孔隙度”

(P, 以百分率表示)的情形下，當溫度升高時，爐料的導熱係數也增大，這是因為此時在空氣夾層內部熱輻射的程度增加得很快的緣故。

註1 所以，燒料和提高爐料的溫度可以提高爐料的導熱係數，從而增加爐料的受熱性。即使在料塊間“孔隙度”較大時，比方說P=46%，

燒料與裝料次序的關係

前面已經說過，料的熱阻力 $\frac{S}{\lambda_m}$ 與爐內料層的厚度 S 有關。料層愈薄，那麼

這一層的熱阻力愈小，燒料也愈快，同時，爐料的導熱係數 λ_m 也會提高。

要想達到這一點很容易，可將爐料分層平均地依次加入〔7〕，也就是說，先由這一個爐門加入，然後依次地由另一個爐門加入，就可達到上述的情況。

如果金屬料層的分佈不平均（堆成小山），那麼，由於料的熱阻力不一樣，燒料便會不均勻，其後果便是爐料熔化的時間延長：這是由實際證明了的。

烏拉爾的著名快速煉鋼工 П. Г. Болотов〔8〕說道：“裝至爐底上的廢鋼塊應當是均勻分佈着的，不能堆成小山”。

快速煉鋼工 Н. Д. Скрипников 這樣說〔9〕：“由各門均勻裝料，如果有的地方堆積過高，可以用裝料機弄平”。

快速煉鋼工 М. Казыров 曾經指出〔5〕：“裝料時（М. Казыров—著者）要注意爐料的平均分佈。如果料的分佈不均勻，成堆地堆積起來，那麼熔化期和整個的熔煉時間，就會大大拖長”。

爐料的非金屬部分（石灰石、礬土、鐵礦石）的導熱性是很差的。它會大大地降低爐料的導熱係數，從而增加熱阻力。特別是當這些非金屬材料鋪成一厚層時，情形更壞。因此，非金屬料在爐內的分佈方法，對於加速燒料、熔化和成渣等，起着很大的影響。

在裝放非金屬料時，一定要遵守達到熱阻力最小的原則。所以，可減少料中的石灰石量，並將其分散加入（加至兩端斜坡和各個地方）；或者可將石灰石和鐵礦石混合均勻，直接加在爐底上面（廢鋼礦石法）。

這是著者在工廠中的研究結果和快速煉鋼工的實際經驗所證實了的。

“但是，所有的觀察結果證明，——快速煉鋼工 М. Кучерин 說道〔6〕——如果將石灰石滿滿地鋪成一層，就會在爐內造成一個隔熱層，妨礙爐料的均勻熔化，也就是說，自己拖長了熔煉時間。所以，我們已經開始把石灰石鋪在斜坡附近”。

快速煉鋼工 М. Казыров 也得到了同樣的結論：“…在石灰石加入及燒過一會以後，煉鋼工可以用裝料機由各爐門把料撥動一下，把料儘量向後牆推”。

或者〔9〕“在開始裝料時，依 Скрипников 同志的方法，把石灰石加在

斜坡上，然後用一層碎廢鋼蓋在爐底上…。在裝入35—40噸輕廢鋼以後，再將剩餘的石灰石鋪上一層，在這層石灰石上面，重新加上一層輕廢鋼。在最上面裝重廢鋼。”

Л. Бурдков 工程師介紹上伊色特工廠的經驗時寫道〔10〕：“石灰石應當零散地加入爐內，均勻地分佈在全部金屬料上”。這也說明了石灰石應當均勻散佈在爐料中的經驗。

庫茲涅茨鋼鐵公司曾經專門擬訂了一個特種操作規程，考慮到爐料佈置和裝料時燒料方法的問題〔11〕。根據該規程的規定，共應裝料9—10層，每裝入一層後，應停歇一次，將該層料燒5—7分鐘。為了使熔劑物質燒得較好起見，所以它們的裝入速度應當比金屬料的裝入慢得多。

將鐵礦石和石灰石混合加入，並且把料斗翻過來，用裝料機伸入爐內將它加以攪和，對於加速燒料是有帮助的。

裝料期燒料不足是爐料結殼的因素

裝料期爐料“結殼”的過程與燒料的不正常有關。這可能在兩種情況下發生：

(1) 當裝料過快，爐子的加熱能力又不够時，結果爐料燒得不好，全部裝入的爐料都是“冷的”；

(2) 裝料過慢，爐子的加熱能力很好，結果爐料迅速地熔化了。

在第一種情形中，如料的熱阻力很大，則在裝料完畢以後，上層爐料因迅速燒透而熔化，結果便凍結於下層的料塊上面。

當用廢鋼法熔煉時，這種“結殼”發生於爐底附近，熔化了了的生鐵與爐底附近的諸料層凍結成塊體。但如用廢鋼礦石法，那麼“結殼”便發生於爐料的上層，最上面的鋼塊於熔化後，便將其下的數層爐料凍結在一起。這時，由於上層料塊凍結的結果，凝為一個整體，形成一層堅實的“鋼殼”使在倒入生鐵水以後，熔化速率便大為減慢。並且，有時在倒入鐵水後，爐內發生猛烈的作用，使鐵水及熔渣從爐中外濺。

在第二種情形中，於金屬熔化部分的上面，每加一次冷料，便會使已熔化的金屬，重複凍結，產生了“結殼”過程。

無論是第一種或第二種情形，“結殼”都會延長熔化時間。因為須要消耗一些時間，把料塊上的金屬“凍結”層再行熔化。

關於液體金屬在冷料塊上“凍結”的真實過程，可以假定與液體金屬注入金屬模時形成第一個結晶層的過程相似。在“結殼”過程中，這一“凍結”層的厚

度，可依下列大家所熟悉的公式〔12〕求出，即

$$X = K\sqrt{\tau}$$

式中 X 為凝結層的厚度，公分或公尺；

τ 為凝結時間，分或小時；

K 為凝結係數，表示在開始的一單位時間內所得到的凝結層厚度，公分/分^{1/2} 或 公尺/小時^{1/2}。

在求係數 K 時，可應用下列公式〔13〕：

$$K = \frac{(T_K - T_{\text{表面}}) \sqrt{\lambda_c \tau} \times 1.158}{(q + C_K U) \gamma_m}, \quad (6)$$

或取其近似式：

$$K \approx \frac{(T_s - T_{\text{表面}}) \sqrt{\lambda_c \tau}}{(q + C_K U) \gamma_m}. \quad (7)$$

式中 T_K 為接觸面處金屬的真實溫度，°C；

T_s 為金屬凝結的溫度，°C；

$T_{\text{表面}}$ 為固體表面的溫度，°C；

$\sqrt{\lambda_c \tau}$ 為固體的熱擴散係數，千卡/公尺²·小時^{1/2}·度；

q 為單位結晶熱，千卡/公斤；

C_K 為液體金屬的熱容量，千卡/公斤·度；

U 為在金屬凝固點以上金屬過熱的溫度，°C；

γ_m 為凝結金屬的容積密度，公斤/公尺³；

C 為熱容量，千卡/公尺·度；

λ 為固體的導熱係數，千卡/公尺·小時·度；

τ 為固體的容積密度，公斤/公尺³；

1.158 為積分常數。

液體金屬凝結的速度，由 X 對於 τ 的第一次導來函數求出：

$$V = \frac{dx}{d\tau} = \frac{1}{2} \cdot \frac{k}{\sqrt{\tau}}, \quad (8)$$

由這個式子可以看出，在液體金屬開始與料塊接觸的時候，即當 τ 值還很小的時候，凝結的速度為最大。

用上述的公式 (5)，(6)，(7)，也可以對燒料和熔化的過程作類似的分析，認為在這兩個過程中，熔化金屬在固體料塊上會有程度不同的“凍結”。這一分析是重要的，因為，著者確信：到現時為止，在平爐燒料過程中，總會伴隨着程度大小不同的“結殼”過程，這樣，便延長了爐料的熔化時間。

近代的技術操作是不容許發生爐料“結殼”的過程的。只有在鋼塊被燒到液體金屬（在廢鋼法為熔化後的生鐵，在廢鋼礦石法為加入爐內的生鐵水）的凝固點或比它更高的溫度時，才不會發生“凍結”，這時，公式（7）中的溫度差 $T_3 - T_{\text{表面}} = 0$ 或 $T_{\text{表面}} \geq T_3$ 。在這種條件下，凝結係數 K 等於零，也就是說，在料塊附近將為液體金屬，它們之間僅應伴隨着熔化作用過程（見熔化一章）。

溫度差 $T_3 - T_{\text{表面}}$ 愈大，表示裝料太快，爐料未經燒熟，因而“太冷”（當爐子的加熱能力不足時），以及爐料的上部熔化較快。這時，凝結係數 K 和凝結速度 V [8]，便不但與溫度差 $T_3 - T_{\text{表面}}$ 有關係，而且與固體料塊的熱擴散係數 $\sqrt{\lambda_c \gamma}$ 也有關係。在 $\sqrt{\lambda_c \gamma}$ 中，以導熱係數 λ 的重要性為最大；大家都知道，當料塊的溫度升高時， λ 值便會降低。

此外，熱擴散係數的值也與料塊的大小有關。厚塊要比薄塊燒得慢些。如燒料很快，便不但會降低溫度差 $T_3 - T_{\text{表面}}$ ，而且也會降低熱擴散係數 $\sqrt{\lambda_c \gamma}$ 。因此，它們的乘積，即公式（7）中決定凝結係數 K 值的因數，便會降低下來。

這樣看來，“冷”裝時當全部爐料還未燒熟至足夠的程度時，便應合理地避免爐料上層的熔化。著者在研究室裡曾經作過多次實驗，鮮明地確定了這種情況，並且在工業平爐的實際操作中，得到了證實。

必須指出：根據上述公式（7）和（8）可以看出，料塊上金屬的凝結係數 K 和凝結速率 V ，是與料塊的最初溫度 $T_{\text{表面}}$ 、和結晶潛熱 q 及金屬過熱所需熱量之和成反比例的。所以，於熔化的鋼池中裝入冷料塊時，如果希望縮短熔化時間，必須盡可能使鋼液具有最高的過熱溫度 U 和將料塊預行烘燒。可是，在生產的條件下，這是不可能辦到的。

“在裝料的過程中，爐料是不容許完全熔化的，——快速煉鋼工 Б. М. Амосов 說道——因為，新加入的料與熔化的料接觸以後，便使它凝成“鋼殼”，要把鋼殼再熔化掉，便須要消耗很多時間和燃料” [14]。

為了避免在爐內形成“鋼殼”，必須在有可能保證無間斷的裝料時，即所有的料都在爐旁時才能開始裝料。同時，開始裝料時的爐溫必須夠高，使能將裝入料很好地燒熟。

假定所有的條件都一致，而僅只大小料塊所放的位置不同，那麼，燒料的程度也不會相同的。Г. П. Иванцов [15] 曾經指出：小塊金屬料的燒料時間與料塊尺寸的一次方成正比；大塊料的燒料時間則與料塊尺寸的 D ($1 \leq D \leq 2$) 次方成正比。這個關係用下式表示：

$$\frac{t_{\text{爐}} - t_{\text{表面}}}{t_{\text{表面}} - t_{\text{中心}}} = \frac{\Delta t_{\text{外}}}{\Delta t_{\text{內}}} \approx \frac{2}{Bi} \quad (9)$$

$$\text{式中 } Bi = \frac{aS}{\lambda}$$

$t_{\text{爐}}$ 為爐子的溫度，°C；

$t_{\text{表面}}$ 為料塊表面的溫度，°C；

$t_{\text{中心}}$ 為料塊中心的溫度°C；

a 為放熱係數，千卡/公尺²·度·小時；

λ 為導熱係數，千卡/公尺·度小·時；

S 為料塊厚度，公尺。

當 $Bi < 2$ 時，表明外部的溫度落差大於內部的溫度落差； $Bi = 2$ 時，這兩種溫度落差便大致相等；當 $Bi > 2$ 時，則表明內部的溫度落差已開始大於外部的溫度落差，這時，燒料時間便被受熱物體內部的溫度平衡速率所限制了。所以，比方說，為了使燒料的條件一致，開始時裝小塊料，然後裝中塊的，大塊的，最後，在爐料的最上層，裝入笨重的大鋼塊。

燒料與裝料速度的關係

為了證明燒料與裝料速度的關係，本節中特引出一些實驗數據，這些數據是在用 3 噸至 300 噸的爐子作研究時得出來的。此外，並引出了一些其他著者的研究結果。在研究的過程中，為了判斷不同的燒料條件與裝料速度的關係，採用熔化時間作為判斷的準則，而將裝料方法——即連續的分層裝料法（圖 3）——保持一致。

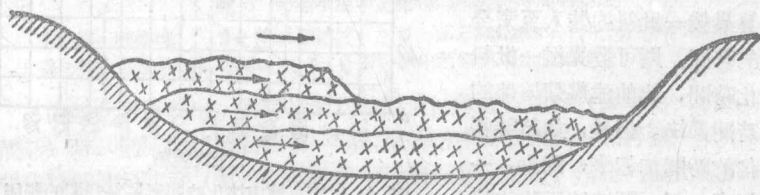


圖 3 連續分層裝料法圖解

此外，在進行研究時，為了使結果可以互相比較，熔煉所用的配料成分是一樣的，並且，爐子所用的加熱制度也幾乎是一樣的。