

中國早期鋼鐵冶煉技術上 創造性的成就*

周 志 宏

(交 通 大 學)

一 前 言

近世紀來，世界鋼鐵冶煉技術，隨着重工業的發展，突飛猛進。而中國在解放前却停滯不前，這和過去中國反動統治對鋼鐵工業的摧殘分不開的。但中國在鋼鐵冶煉技術方面的成就最早，而且極其出色，這是世界學者所公認的。

中國早期鋼鐵冶煉技術最突出的表現在蘇鋼（相傳為江蘇某氏所發明）的冶煉的方法上，這是一種創造性的成就。當坩堝方法沒有發明以前，世界鋼鐵冶煉技術還停留於低溫冶煉即所謂熟鐵的階段，由於溫度未能提高，鋼液不流動，產生了鐵與渣滓不能分離的問題。無數的先進工作者都為此作了不少的努力。經過長時間的固體滲碳，一種較強較硬的鋼是可以獲得了，但其中仍有殘渣存在，問題沒有全部解決。中國在同一階段中也有類似的過程，如內地出產的毛鐵（土產熟鐵）、斫鋼（雲南白花樹）、土鋼等都屬於同一的範疇，是中國古代勞動人民在這方面的成就。就中尤以蘇鋼的冶煉解決了鐵與渣分離的問題。它的冶煉方法是利用料鐵（即未經錘擊的毛鐵）中的渣和淋入的生鐵，使之發生氧化作用，結果渣滓被除掉，保留了適合需要性能的鋼。

西南各省至今仍有小型的廠採用上述煉鋼的方法。作者在抗戰時，曾作了比較深入的調查研究。作者認為在中國早期鋼鐵冶煉技術上這是一種創造性的成就，值得我們珍視。這篇報告係以重慶北碚附近金剛碑的一個廠為例來做說明。

解放至今，短短的五年中，新中國在鋼鐵以及其冶煉技術方面收穫很多，如產量的恢復、質

量的提高、新鋼種的試煉以及大規模的新建與擴建，充分說明了這一方面的重大發展。面對着日益壯大的鋼鐵工業，作者認為：對中國早期鋼鐵冶煉技術上的成就作比較有系統的闡述，是有其價值的。這篇報告並希望能有助於將來編寫中國鋼鐵史的參考。

二 設備與操作

作者對重慶北碚金剛碑附近的一個煉鋼廠進行調查的時間是在 1938 年。散處四川一帶這一類小型煉鋼廠的設備與操作情況大致相似。這個煉鋼廠的經常工作，多係在午後至午夜的時間內進行。

製煉設備方面十分簡單。主要的為三個部分：（一）炒鐵爐；（二）抹鋼爐——俗稱，為主要製鋼部分；（三）抽條爐——把鋼胚錘擊成條。今扼要說明如下：

（一）炒鐵爐

這種炒鐵爐與土法炒鐵設備稍不同，主要是爐底後部有爐橋（爐橋面積 7.6×19.1 厘米²），由橫列的爐條六根組成，其間留有約 0.3 厘米的空隙，為通風之用。炒鐵爐膛近似打鐵爐，成立體長方形（高 14 厘米），左右後壁係用耐火砂石圍成，頂部和前面開敞，以便操作。

炒鐵的操作：

進行炒鐵時，先把木炭擊碎，鋪入爐內至全容量的一半，再將放在爐上預熱的銼板（長在 7.6 厘米以下，重約 4.25 公斤）加入爐內，上面再覆一

* 本文係作者於 1954 年 10—11 月在中國科學院舉行的金屬研究工作報告會上所作報告的摘要。

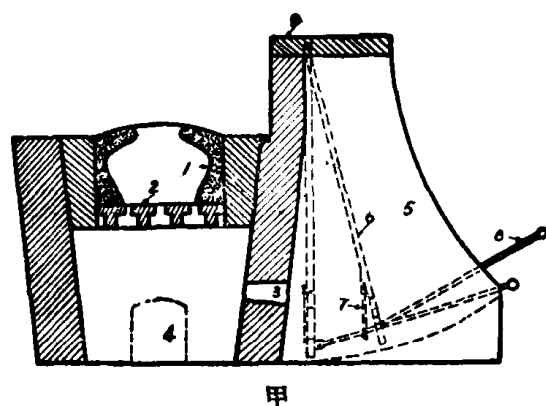
層木炭，最後用長條木炭遮蓋其上，鼓風後約5分鐘火勢漸盛，有生鐵熔化的火星飛散，即用長柄鐵鑊盛草灰覆爐頂，使大部分火燄反射入爐內，另一部分的火燄自爐後上部逸出，將放置爐頂附近的銑板預熱至較高溫度。大部熱量這時已集中於爐內，溫度迅速增高，站在爐前的炒手，以左手持鑊進行翻炒，右手持鉗分別鉗出爐內的炭及大塊的銑板，並將揀出的銑板放在爐膛外兩邊平台上。分別地由錘手及鼓風手將其打碎，然後用草把將細碎的鐵塊重還爐內，同時將紅炭渣檢出，直至爐內的炭完全檢盡，銑板完全錘碎為止。在繼續鼓風後，爐溫也繼續上昇，待炒鐵呈亮紅色，已近半熔的細粒狀態，火燄呈綠豆色，同時鐵粒類似發泡，整個炒鐵工作已告完成。停止鼓風，將鐵粒聚集在一處，上面覆草灰，輕輕打平，四周也放置草灰，進行拍緊，然後夾出放入草灰中，使緩緩冷卻。移時再鉗出，在鐵砧上用錘擊聚成長方形後，用宰刀切成三條，重約2.5至3公斤，這就是料鐵，成為次一步驟中的煉鋼原料。全部過程約15—17分鐘。

(二) 抹鋼爐

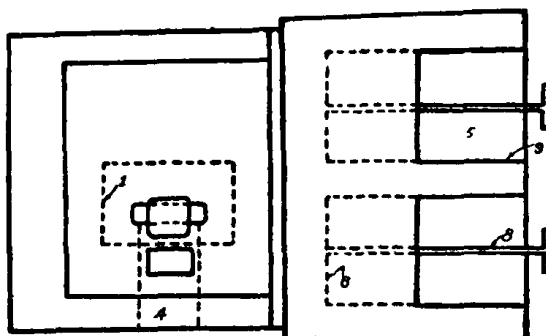
它是煉鋼過程中的主要部分（圖1甲、乙、丙）。爐高0.7米左右。爐前部煉鋼部分係由砂石砌成，並襯以沙泥；後半部用亂石堆成，以擱置木炭與料鐵，煉鋼部分的結構形似撲滿（舊俗儲銅幣的泥罐），為中空的中長方立體矩形，上部用沙泥捏成的蓋板掩覆，蓋板前部有正方形的開口。底部為狹長方形，爐底部分由四根熟鐵條構成，平行並列，爐橋兩邊被砂石與泥土蓋覆，只中間露出三孔，寬約2.5厘米，由於煉鋼次數較多，孔阻塞變小，必須隨時進行鑿孔，使風與渣上下可以暢通，以保證煉鋼的作用進行無阻。鼓風設備，比較特殊，兩個風箱平列用砂石砌成，截面成三角形，箱內以寬40.6厘米、高96.5厘米的薄木板二塊為葉瓣，用絞鏈分別繫在兩個風箱的上頂角橫邊上，木板下部有方孔，內襯厚布，為空氣的進口，再下有鐵環連接於長柄的一端，這個長柄就是工人操作的把手（圖1甲、乙）。往返抽動時，風被連續地鼓入。這種結構的方法，可使爐中獲得足夠的風壓和風量。同時並提高了爐內的溫度。

抹鋼的操作：

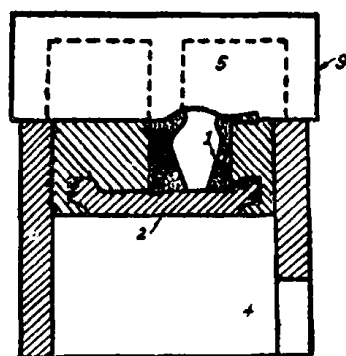
抹鋼時的準備工作：先把木炭裝滿爐內，



甲



乙



丙

圖1 抹鋼爐： 甲 正中截面圖
乙 平面圖
丙 橫中截面圖

(圖指 1. 爐膛及壁壁上塗泥砂 2. 爐橋 3. 進風口
4. 灰渣出口處 5. 連續性風箱 6. 風葉
7. 活門 8. 送風柄 9. 風箱牆)

在爐外爐口的旁邊，置料鐵兩條，加蓋，鼓風，使炭燃燒至紅熾。然後將爐內上部的木炭取出，納入爐口預烤的料鐵兩條，再鋪木炭至爐口，加上爐蓋，爐口四周堆放木炭，這時用力鼓風，經過2分鐘後，爐內燒至亮紅。即去爐蓋，以銑板兩塊（每塊重約0.75公斤，成長方形），一塊置爐外

的爐口旁邊，另一塊斜攔於爐口內，利用火鉗來支持它，繼續用力鼓風，爐內溫度已逐漸升高達 $1,000^{\circ}\text{C}$ 左右，3分鐘後，斜攔在爐口內的那塊銑板的一端開始熔化，從爐口噴出的火簇中夾有鐵板的火花，此時溫度約在 $1,800^{\circ}\text{C}$ 左右。抹鋼工人在這時開始至爐前操作：以左手握大鉗夾住鐵板，左右移動，使熔化下滴的鐵珠均勻地滴於料鐵上，產生劇烈的氧化作用；同時以右手執鋼勾不斷翻動料鐵，使料鐵各部分能均勻地盡量吸收鐵液。這是極其重要的一步工作，除需要熟練的技巧外，更要求能看料鐵的火色來決定滴抹鐵液的步驟。大部分的抹鋼工人都能以辨別爐內的火色來決定鼓風快慢的程度。經過6分鐘後，第一塊銑板淋完，爐炭燒盡，加炭至半爐，爐旁的另一塊銑板被提至爐口下，仍舊以火鉗支持，加蓋鼓風，4分鐘後，銑板開始熔化，進行第二次的淋鐵，至銑板熔完為止。於是停止鼓風，夾出料鐵，置砵上錘擊，除去熔渣後成為鋼胚，即俗稱為鋼團。整個操作時間約為25—35分鐘。

(三)抽條爐：

它的構造簡單，與普通的紅爐相似。

抽條的操作：

抽條的工作大致與打鐵的工作相同，就是把煉好的鋼團加熱後錘成 6.45厘米^2 粗、 35.5厘米 長的鋼條，在鋼料尚呈紅色時投入冷水中淬冷之。

全部操作過程中（自炒鐵至抽條）銑板消耗頗大，超過半數以上。

三 檢 驗

(一)成分的檢驗

1. 原料：

炒鐵的原料——鐵板（即土爐生產的生鐵成板狀）是四川嘉陵江沿岸的土法煉鐵爐的產物，含矽低，而含磷、硫也不高。

成分如下：

C 3.05% Si 0.28% Mn 0.18%（個別銑板中亦有含錳較高的） S 0.05% P 0.22%

2. 料鐵：

含碳遠較毛鐵高。組織疏散，含渣多。

成分如下：

C 0.92%（個別料鐵中亦有碳在共析以下的）

Si 0.19% Mn 0.10% S 0.02% P 0.08%

3. 鋼樣：

甲、鋼團的成分：

碳高。在工人的經驗控制下，恰到好處，適合於工具鋼的成分，硫、磷、錳都很低。

C 0.91% Si 0.28% Mn 0.01%
S 0.01% P 0.05%

乙、鋼條的成分：

中段外部 C 0.92% Si 0.036%
Mn 0.024% S 0.008% P 0.037%

中段內部 C 0.92% Si 0.034%
Mn 0.029% S 0.011% P 0.046%

鋼條內部與外部成分相差很微，成分尚屬均勻，在半流體狀態製煉過程中是比較難得的。

鋼團中矽的成分存在狀態難於斷定，但在鋼條中含矽很低，於此也可以證明：鋼中含渣亦很少。除錳矽成分低外，其他成分完全合乎碳素工具鋼的成分。

從原料到成品的分析，可以看出：鋼料中不僅含渣少，經過炒鐵與淋鐵的過程，磷、硫也有顯著的降低，因此增進了鋼的品質。

(二)金相檢驗（附硬度檢驗）

1. 料鐵：

空鬆含渣，狀如海棉（圖2甲），因未經鍛的過程，含渣較多，不及毛鐵的細密。主要的組成爲矽酸鐵錳及氧化鐵等（圖3），碳高近共析成分（圖4），個別部分碳低，因在半流動狀態生成，各部成分稍不一致是可能的。

2. 鋼團：

料鐵經淋漓製煉之後，本體變成堅實（圖2乙）表面上有個別部分存留着空隙，這是製煉時操作上的缺點，淋漓的作用未完全，縫隙部分含渣並有脫碳現象，鋼團含碳高，爲過共析鋼的組織（圖5）。

3. 鋼條：

表面整潔（圖2丙），含渣很少，表層個別的部分有時含渣，有時渣存晶粒周圍，晶界未完全熔合，是由鋼團未淋漓完全遺留下來的缺陷。淬火後的組織，斷面勻細，表層爲粗大的馬氏體（圖6），表層以內開始有屈氏體疏落地存在晶界上（圖7），亦有較粗的屈氏體和馬氏體出現（圖8），個別



甲 乙 丙
圖2 料鐵、鋼團和鋼條的實物照像
甲、料鐵——狀如海棉體
乙、鋼團——較料鐵堅實，個別部分表面有孔隙存在
丙、鋼條——更形堅實，表面亦較整潔



圖3 料鐵的組織 未浸蝕
鐵基體——白色(右下角)，氧化鐵——淡灰色，
矽酸錳鹽——深灰色(中部)，空洞——黑色(左上角)



圖4 料鐵不含渣部分的組織——珠光體
4%硝酸液浸蝕



圖5 鋼團的組織——過共析，晶粒周圍有 Fe_3C 網 4%硝酸液浸蝕



圖6 鋼條表面組織——粗大的馬氏體
4% 硝酸液浸蝕

的部分在有屈氏體的晶界上有 Fe_3C 的析出 (圖 9), 有的截面中組織不甚均勻可能因冷卻的情況不同, 或表面成分性能個別部分有些差別。在半滲碳態下製成的鋼, 部分的差別是有可能的。

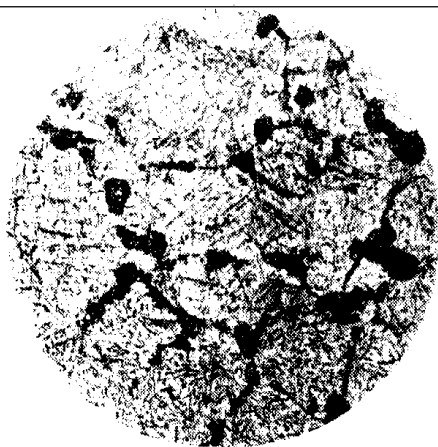


圖 7 鋼條表層內的組織——馬氏體與晶粒周圍疏落存在的屈氏體(黑圈) 4%硝酸液浸蝕



圖 8 鋼條近表層的組織——大塊的屈氏體(黑圈)和馬氏體(淡色) 4%硝酸液浸蝕



圖 9 鋼條近表層個別部分的組織——屈氏體緊圍晶粒周圍, 晶界上有 Fe_3C 析出 4%硝酸液浸蝕

總結組織的檢驗, 鋼中碳高, 含渣很少, 表面可以淬硬成為馬氏體。

4. 硬度檢驗:

係用未淬火的鋼條, 沿鋼條上分五段。(每點距離約 7—8 毫米, 用洛氏硬度計測定如下:

	5	4	3	2	1
Rc	28—42	—33	—44	—35	—35
	—32	—32	—40	—40	—34

個別部分硬度相差較大。顯示半熔體狀態下煉成的鋼, 在未淋漓完善的部分有硬度的參差是可能的。

四 申 述

依據作者的實地考察和取樣檢驗的結果, 可以肯定地說: 這種煉鋼方法是和世界工業先進國家早期的煉鋼方法不同, 它們過去所有的熱鐵滲碳鋼等方法, 我們都有, 可是上面所說的煉鋼方法, 在國外還沒有類似的發現, 顯然是一種創造性的發明! 必須指出: 這種方法設備很簡陋, 材料單純, 原料消耗很大, 但整個的操作過程却能適合現代的冶金原理。不用坩堝而創造出一種淋鐵氧化的方法使渣鐵分開, 成為比較純的工具鋼, 這是中國古代先進煉鋼工作者的智慧結晶。他們利用生鐵的高碳和低熔點, 可以在低溫時熔化, 成滴地滴入料鐵, 同時也由於料鐵疏鬆, 易於吸收鐵液, 並使其分散成為無數小珠流入料鐵內各個蜂窩中, 與存留其中的氧化渣緊密地發生作用, 並迅速地除去雜質, 減低碳分, 這時渣鐵分開, 渣浮於表面, 逐漸流出體外, 而鐵液中碳份降低到相當程度, 即不再流動, 而留於海棉體內, 直至全部空隙填滿, 渣子流去, 一個不含渣的鋼團就被冶煉成功了。這種利用料鐵的結構來分散渣和鐵液至極細小的個體, 以達到增加接觸面和氧化速度的方法與近代白林快速煉鋼法在原則上是沒有什麼區別的。依據對成品的檢查, 缺點是有的: 如硬度上有點參差, 鋼團的表面還有空隙, 個別部分尚有爐渣存在。但在半液體狀態下很難做到嚴格的控制, 所以還是含渣少, 成分較勻的產物。這裏值得我們注意的是在成分方面: 除錳、矽均低外, 其他都與碳素工具鋼的成分完全相似。至於磷、硫特低的原因, 係由於原料的磷、硫已在

炒料時去其一部分，在抹鋼時又去其一部分，故含量特低。在低溫度時，在含多量氧化鐵渣的作用下，還是可以做到的，但渣雜的去除，碳份的適合與均勻，完全依賴於液體鐵珠的大小和降落的頻數的控制，以及對溫度的調節。在這方面熟練工人的操作，也是值得稱道的。他們憑自己的豐富經驗來看爐內的火色，利用鼓風的緩急來調節溫度和作用的快慢，在當時沒有新式科學的測溫設備，單憑經驗來控制，不能不說是一種傑作。從產品所顯示的細小顆粒及均勻的淬硬斷面，與近代工具鋼幾乎完全相似，所以中國早期鋼鐵冶煉的技術是符合科學的原理的。過去西南各省由於交通不方便，鋼材不易輸入，這種鋼料便為刃具、農具製造所必需，發揮了相當大的作用。

五 結 論

在坩堝煉鋼發明之前，中國已有先進的煉鋼工作者作出了巨大的成就。對他們的創造至今還沒有文獻記錄。但依據明崇禎時宋應星所著“天工開物”書內的記載：“凡鐵分生熟，出爐未炒則

生，既炒則熟，生熟相和，煉成則鋼。……凡鋼鐵煉法，用熟鐵打成薄片如指頭闊，長寸半許，以鐵片束包尖（夾）緊，生鐵安置其上，……洪爐鼓鞴，火力到時，生鋼先化，滲淋熟鐵之中兩情投合，取出加錘，再煉再鑄，不一而足，俗名團鋼，亦曰灌鋼者是也。”

這與這篇報告所說的煉鋼方法相同。由此可見，遠在明末以前，這種煉鋼方法已在實用。明末至今已三百幾十年，記載的時間當在 16 世紀之末與 17 世紀的初期。他們是在當時沒有顯微鏡設備，沒有臨界溫度的依據，並且又與世界冶煉技術完全隔絕的條件下，憑藉了他們長期工作的經驗，有這樣的卓越的成就；雖則方法不夠經濟，產量低，品質也不能完全一致，但他們所創造的方法基本上是正確的！依據其在煉製工作過程中融合近代的冶金原理一點來推論，這些先進工作者在當時是有一定的理論基礎的。

我們早期這些不知名的先進工作者是我們民族的傑出人物。對他們在早期創造性的成就是不能不給予很高的評價的！

〔上接 41 頁〕

種工作提出了新的任務，如：東北小麥越冬性問題，北部棉花的早熟性和抗春霜性問題，農作物復壯工作中如何增進親本間的差異性問題，雜交選種時親本的選擇和定向培育的原則和具體方法問題，熱帶植物的北移問題，以及品種的抗性、不倒伏等經濟性狀和有益的適應力問題等等，都涉及遺傳學的理論問題。這些問題的解決將大大地促進生產實踐的發展。

座談會建議，中國科學院將全國各地遺傳學的研究資料進行收集整理，並建議召開一次遺傳學座談會，在這個會上把我國幾年來的遺傳學

研究工作加以總結，並提出今後的任務和方向。此外，座談會建議國內有關的科學刊物多介紹蘇聯遺傳學研究的成果和原則。

從座談會的報告和討論的研究題目中可以看到在各地區科學研究中發育生理的研究，一方面密切地和當地的主要作物聯繫起來，一面各個研究項目都是沿着蘇聯先進道路聯繫實際，循序漸進地發展着，因之為我國發育生理的進一步研究打下了基礎。

（黃季芳 管紹淳）