

鋼鐵冶煉與生活

文 • 圖 / 董國安、黃瀚緯

摘要

鋼鐵與人類文明的關係密不可分，最早的煉鐵技術出現於西元前 1400 年的西臺王國。隨後於西元前 6 世紀傳入中國，而臺灣北部的十三行文化已經被認為是臺灣進入鐵器時代的考古遺跡。鐵本身的溶點較銅高，因此所需要的技術門檻亦較高，這也是為何鐵器時代的發展總是接續在青銅器時代之後的原因。臺灣的中國鋼鐵公司是臺灣本地最大的鋼鐵供應商之一，首先利用鐵礦與各類助溶劑燒結後，進入高爐冶煉，此步驟生產出的即為含碳量較高的生鐵。之後進入轉爐階段之前，會添加各類的脫碳劑，以降低鐵水中的雜質含量。轉爐階段會進行二次的脫碳反應，將鐵水中的含碳量進一步降低。此階段完成後，就可稱為鋼胚。鋼胚完成後，即可出貨給下游廠商進行延軋，加工製成日常所需的鋼鐵用材。目前，臺灣鋼鐵的生產已經是支撐臺灣經濟發展的主力之一，舉凡各項建築用鋼筋材料、大型家電製品、電子通訊器材等，無一能夠脫離鋼鐵應用的範疇。隨著社會的進步，人類對於鋼鐵也勢必更加的依賴。而隨著依賴加深，製造過程中，所有的原料與礦產消耗，甚至所產生的汙染也勢必更加的嚴重。站在環保前提掛帥的新世紀裡，如何在節約能源與提昇生活水準之中求得平衡，實在是個值得我們好好深思熟慮的問題。

關鍵字：鐵、鋼、鋼鐵冶煉

前言

世界上最早的鐵器使用記錄，發現於距今約 4000 年以前的古埃及與美索不達米亞平原。當時的鐵器來源和今日大不相同，主要都是來自於隕鐵，而其使用的範疇與規模都比之後的鐵器時代要小上許多。現今公認最早進入鐵器時代的是位於西亞的西臺王國。大約於西元前 1400 年，西臺國王將冶鐵技術視為專利，並把冶鐵技術應用於軍事作戰，使得周遭國家聞之喪膽。在西元前 1180 年左右，西臺王國滅亡後，鐵匠流落各地，冶鐵技術也隨之散播開來。大約於西元前 600 年，冶鐵技術傳至中國。

大約在中國的春秋時代，發現了最早的鐵製品。戰國中期後，鐵器除應用到社會生產和生活的各個方面，在農業、手工業部門中皆已佔居主要地位，而且軍隊的裝備基本上也以鐵製武器為主。之後中國的煉鐵技術持續地發展，到南北朝時期雜煉生鏽的灌鋼工藝問世。至此，具有中國特色的古代冶煉技術體系已基本建立。

距今 2000 年前，臺灣進入鐵器時代。以北部的十三行文化為例，其工具大多以鐵製成，而且已經發展出自行煉鐵的技術。這時期文化的主要特徵是石器減少，從十三行遺址出土的鐵渣、礦石的研究，顯示當時人已知煉鐵以及處理銅器、玻璃等器材。在金屬器方面除了鐵器之外並有金器、銀器、青銅器出現。除臺灣北部地區的十三行文化之外，東海岸的靜浦文化亦採用塊煉法冶煉鐵金屬，並以鍛打方式來製作鐵器。由於塊煉法所需要的溫度較低，因此這種方法流行於鼓風設備較不發達的東南亞地區。

鐵與銅



圖 1. 塊狀存在的氧化鐵礦。(為中國鋼鐵公司所捐贈之塊鐵礦標本及本館蒐藏編號)。

鐵在自然界中的分布極廣，但是大多以氧化物狀態（圖 1）呈現，缺少單質存在的鐵礦，以及鐵的熔點高達 1535 °C，比較起來銅的熔點僅有 1080 °C。因此，在人類的進化史上鐵器的普遍應用晚於青銅器。隨著人類歷史的遷移與進步，純鐵製成工具的物理性質已經漸漸無法滿足需求，隨之而來的是在鐵中加入其他的金屬元素（如：碳、鉻、鎳、鈮等），以增強鐵器的物理性質。目前鐵製品在人類社會中應用得最為廣泛的就是含有少量碳質的鐵合金，即為一般人所認識的鋼。從 19 世紀以來，鋼材的應用已漸漸深入人們的日常生活，幾乎可以說鋼是構成現在社會的基礎物質之一。

鋼鐵冶煉的步驟

以臺灣目前最大的鋼鐵公司中國鋼鐵為例(圖2)，生產流程最初會將粉鐵礦(圖3)，與各類助熔劑(蛇紋石(圖4)、石灰石(圖5)、白雲石(圖6)等)及細焦炭經由混拌、造粒後，進行燒結(圖7)。由點火爐點燃細焦炭，經由抽氣風車抽風完成燒結反應。進行此項步驟時，助溶劑的重量分配比例會呈現 $(CaO+MgO)/(Al_2O_3+SiO_2) \cong 1.1$ ，此分配係數則稱之為渣鹽基度(Basicity)，其目的是為調整爐渣的黏滯度。另一方面，由國外購入的焦煤礦(圖8)會在煉焦爐內乾餾成碳含量更高的焦炭(圖9)。經高溫加熱後的燒結礦經過篩選後，會與乾餾完成的焦炭一同送往下一站高爐作為冶煉鐵水之主要原料。

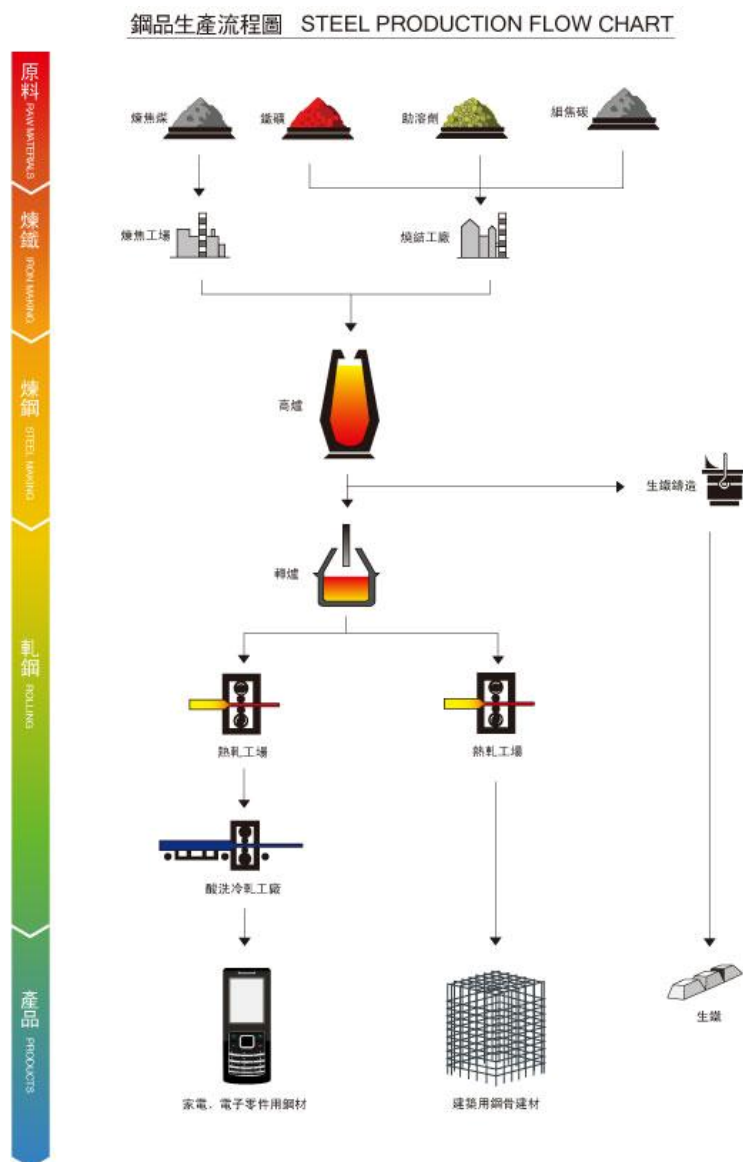


圖 2. 中國鋼鐵公司生產製造流程圖 (修改自中鋼公司網站)。



圖 3. 燒結之前的粉鐵礦（為中國鋼鐵公司所捐贈之粉鐵礦標本及本館蒐藏編號）。



圖 4. 蛇紋石，於煉鐵過程中作為助溶劑使用（為中國鋼鐵公司所捐贈之標本及本館蒐藏編號）。



圖 5. 大理岩質的石灰岩（左）、珊瑚礁石灰岩（右）（皆為中國鋼鐵公司所捐贈之標本及本館蒐藏編號）。



圖 6. 白雲石。於煉鐵過程中做為助溶劑使用。（為中國鋼鐵公司所捐贈之標本及本館蒐藏編號）。



圖 7. 粉鐵礦與助溶劑燒結而成的球形燒結礦（為中國鋼鐵公司所捐贈之標本及本館蒐藏編號）。



圖 8. 未經過精鍊，屬於自然沈積物的焦煤礦。(為中國鋼鐵公司所捐贈之標本及本館蒐藏編號)。

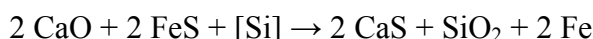


圖 9. 含碳量更高的煉焦煤(為中國鋼鐵公司所捐贈之標本及本館蒐藏編號)。

目前國內的鋼鐵廠僅有中鋼與中龍鋼鐵擁有高爐設備，中龍鋼鐵的高爐於 2010 年 2 月底開始運轉。此步驟會將鐵礦石、焦炭及助熔劑等，由高爐頂部加入爐內，再由爐下部鼓風嘴，吹入高溫熱風，產生還原氣體，將鐵礦石還原，產生熔融鐵水與熔渣。至目前為止所生產出來的鐵水含碳量大約在 3%~5% 左右，冷卻、成形之後，即是所謂的生鐵，又稱之為鑄鐵。

經高爐煉製而成的鐵水，接下來會利用轉爐煉鋼法進行精煉。此方法的獨特性在於鐵水倒入轉爐後，不需藉助外加能源，僅靠吹入熔爐的氧氣與鐵水中各種元素的放熱氧化反應完成脫碳和脫除雜質的任務，並將鋼液加熱到出鋼(1600°C 以上)溫度。

進入轉爐之前的部分，會加入脫硫劑達成脫硫的目的。一般的脫硫劑可分為鈣系、鎂系及鈉系等 3 種系列。目前，中國鋼鐵公司在此階段使用的脫硫劑為鈣系的 CaO (Lime, 生石灰)，其反應方程式如下：



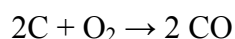
脫硫的過程中，會盡量將反應過程控制於還原環境之下，否則鐵水中的 Si 離子容易與氧發生反應形成 SiO₂，使爐渣中有效的 CaO 降低，減少了脫硫的效率。含硫量較高的鋼液凝固時，硫會以化合物 FeS 等形態富集在晶粒邊界上，形成 Fe 和 FeS 的低熔點的晶體，從而在熱加工時造成鋼材的脆化現象。

除了脫硫之外，一般的雜質 Si、P 也會一併在前處理中完成，以減少轉爐的負擔。脫矽劑的組成大致為氧化鐵系列及 CaO 的混合物。脫磷劑則為鈉系的 Na₂CO₃ 或是鈣系的 CaO。一般而言，脫磷反應必須等到矽降至一定 (0.1%) 程度後才會開始發生。相同的，矽與磷的含量多寡也會對鋼材的品質造成一定程度的影響。

鐵水進行完脫硫的過程之後，便進入轉爐階段。當氧氣吹入鐵水時，生鐵中易氧化元素就開始氧化，產生的氧化物和加入的石灰形成爐渣。各項元素按其與

氧結合能力的順序依次是矽、錳和少量的鐵，而碳隨著溫度的提高分別先與有關元素氧化。

轉爐階段，脫碳反應可分為三期：第一期脫碳的速度呈現直線增加，此時鋼液中殘餘的矽也會隨著脫出；第二期，脫碳的速度達到最盛，速率也會保持穩定；第三期，因為碳含量降低，因此脫碳的速率也隨之下降；多餘的氧會與鐵發生反應，因此爐渣中的 FeO 含量也隨之增加。其脫碳的反應方程式為：



其中，CO 為氣體，生成後會由排氣設備排出。轉爐吹煉完畢後，會依照下游的需求將鋼液送至各個不同的精煉處理站，依照不同的產品特性需求進行脫氧、脫氣等工作。

經過二次處理的鋼液，會開始進入鑄造作業流程。這是指將鋼液轉變為鋼胚的流程，此段主要是將鋼液鑄成板狀的扁鋼胚、及塊狀的大鋼胚，經表面處理後，依照訂單長度裁切，即可送至下游軋鋼廠軋延。以上即為中鋼的鋼胚出貨流程。

鋼鐵成品與生活應用

鋼，按照其中的碳含量又可以大致分為以下 3 種：

- 低碳鋼又稱軟鋼，含碳量在 0.02%~0.3%之間，低碳鋼易於接受各種加工，如鍛造、焊接和切削，常用於製造鏈條、鉚釘、螺栓、軸等。
- 中碳鋼含碳量在 0.3%~0.6%之間。
- 高碳鋼含碳量在 0.6%~2%之間，超過 2%即為鑄鐵。

鋼產量中，大部分由低碳鋼所包辦，其鋼材的強化主要是靠後期的冷加工來完成。中碳鋼的強度要比低碳鋼強，但會犧牲延展性和韌性。此類鋼材應用包括鐵路車輪、軌道、齒輪、曲柄軸和其他切削零件以及要求高強度、耐磨耗和高韌性的結構零件上。高碳鋼是碳鋼中最硬最強，而延展性最低者，大部分的用途為工業模具用鋼材。

除了依照鋼鐵的含碳量去做區分之外，在後期加工的部分還可以分為冷軋鋼、熱軋鋼。熱軋鋼品具有強度足、韌性佳且容易加工成各種複雜的形狀，因此廣泛的使用於車架、橋樑、建築、道路護欄、鋼管、壓力容器等方面。冷軋鋼品是將酸洗後的熱軋鋼捲，以不加溫的方式軋延，再經電解清洗、退火及調質軋延等過程製造而成的。冷軋鋼品因本身的厚度薄、尺寸精確、表面容易塗漆及電鍍且易於沖壓製成各種產品，故用途非常廣泛，舉凡電子零件、家電用品、鋼製傢俱、容器、汽車鈹金件等重視外觀品質之基材，均大量採用冷軋鋼品做為加工材料。

結論

鋼鐵能夠作為人類現今文明社會的基礎材料，除了人類本身累積的科學知識外，也仰賴地球提供了蘊藏量豐富的鐵礦與其他副原料礦物。在人們追求更美好未來的同時，也勢必要停下腳步思考，如何能夠更有效的利用地球本身的資源，

以及節省不必要的資源消耗。畢竟，地球所蘊含的鐵礦、煤礦等，並不是可以再生且永續利用的。

參考文獻

中國鋼鐵公司。取自：<http://www.csc.com.tw/csc/pd/prs.htm>。

教育部高職教師進修（鑄工科）。取自：<http://elearning.stut.edu.tw/caster/>。

統一實業。取自：<http://www.tonyi.com.tw/>。

臺灣大百科。文建會。取自：<http://taiwanpedia.culture.tw/web/content?ID=1190>。

轉爐煉鋼法操作與反應。（72年12月）。中國鋼鐵公司。

轉爐煉鋼法。中國鋼鐵公司。教育訓練資料。

。