



冶金译丛



氧气炼钢

上海市科学技术編譯館

目 录

一、氧气炼钢综述	1
1. 氧气和炼钢方法	1
——平炉法、LD法、卡尔多法, 回转炉法的比较——	
2. 钢铁工业中使用氧气的几个问题	21
3. 氧气炼钢的热化学	39
二、转炉氧气炼钢	54
4. 碱性转炉用顶吹氧气炼制各种钢材	54
5. 精炼过程中使用纯氧的研究	65
6. 卡尔多转炉氧气炼钢法	77
7. 卡尔多转炉吹氧精炼法	82
8. 吹氧-石灰炼钢法	99
9. 转炉氧气炼钢	106
三、电炉氧气炼钢	120
10. 电炉中使用氧气的效果	120
11. 电炉氧气炼钢	131
12. 电炉中使用氧气的新观念	137
四、平炉氧气炼钢	149
13. 双联式和固定式平炉用氧实践	149
14. 平炉中合理使用氧气的研究	161
15. 利用氧气提高平炉产量	166

一、氧氣煉鋼綜述

氧氣和煉鋼方法

——平爐法、LD 法、卡爾多法、回轉爐法的比較——

Kurzinski, E. F.

Iron and Steel Engr., 37 (2): 65 (1960) [英文]

氧氣煉鋼是提高產鋼能力的主要方法之一；在各種氧氣煉鋼的方法中，以 LD 法*為最受歡迎，卡爾多法和回轉爐法則較少採用，採用這兩種方法，每噸鋼約需氧氣 2,000 立方呎。平爐法則可利用氧氣節省燃料及提高生產率。茲將各種氧氣煉鋼法介紹如下：

各種氧氣煉鋼方法的介紹

平爐法

在二次大戰以後不久就已証實使用氧氣的效果，並在平爐中廣泛使用氧氣以提高鋼的生產率。在實驗工作中，將氧氣吹入平爐蓄熱室的空氣中，通過爐端燃燒器 (end burner) 燃燒，並通過爐頂噴管直接吹氧進行氧化，每一爐次平均能產鋼 33 噸/時，而採用礦石法則僅能產鋼 16 噸/時。

現在，許多平爐採用了爐頂吹氧和鹼性爐頂，每爐次平均產鋼 30~45 噸/時。改進從爐頂噴管和爐端燃燒器中吹氧的技術，能進一步提高生產效率。可以預期在連續生產中，每一爐次的鋼產量將超過 60 噸/時。某些工廠對爐子處理得好，生產率已經超過這個數字。

爐頂噴管和增強火焰的氧氣的應用比較容易。這種方法的示

* 譯者注：LD 法為 Linz-Donawitz 法的簡寫，是這兩個廠發明的轉爐頂吹氧氣法。

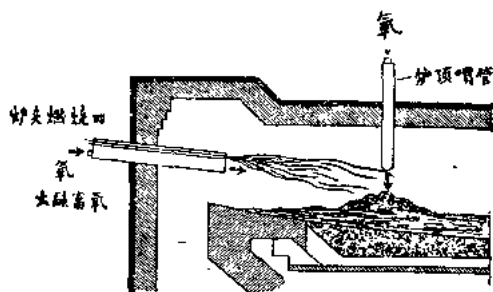


图1. 顶吹平炉示意图

意图见图1。

使用顶吹法显然能使钢产量提高 20~35%。一般使用 2 根炉顶喷管,但 1 根或 3 根亦可。

吹氧的技术取决于平炉的具体条件,有的在加入铁水以前 30 分钟吹氧,也有在加入铁水时吹氧,还有在金属熔化后半小时内再吹氧。但一般采取在金属熔化后立即吹氧的办法。吹氧速度根据炉子的设计而定,每支喷管每小时喷氧 20,000~40,000 立方呎,现在美国以炉顶吹氧法炼钢时,每吨耗氧 450~700 立方呎。要使氧气发挥最大的效力,喷管口应放在渣与金属接触面到渣面上 6 吋的范围之间。吹氧工作一直进行到钢水含碳量符合出钢要求为止。

喷管有各种不同的设计,现在正对此进行深入研究。喷管系水冷式,以钢管制成,管子尖端是用导热率高的铜铸造或钨制的。炉顶喷管一般有 6 个孔,孔径 $\frac{3}{8}$ ~ $\frac{5}{8}$ 吋。图 2 作典型的炉顶喷

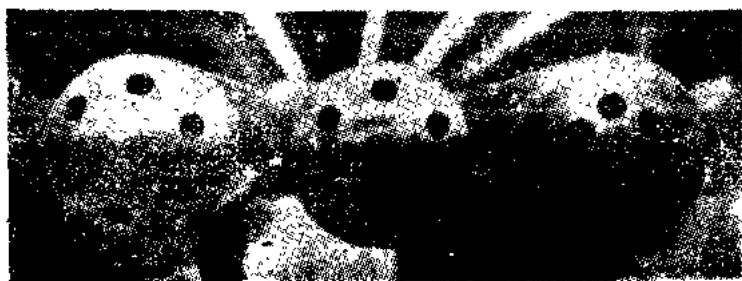


图2. 典型的炉顶喷管

管設計。

許多煉鋼廠通過另一根管子吹氧，這根管子緊接在爐頭燃燒器的霧化燃流之下。這種辦法又叫“氧氣增焰法”。緊接在霧化燃流之下吹氧，燃燒器的火焰之下就形成一片高輻射區。採用這種辦法之後，傳到廢鋼中的熱量就大為增加，而爐頂輻射熱的增加不大。廢鋼的熔化速度加速，但不損傷爐頂。

通常只在廢鋼熔化期應用“氧氣增焰法”，但亦有些廠根據需要在精煉期也應用此法。氧氣流速為每小時 10,000~30,000 立方呎。用“氧氣增焰法”每噸鋼需要氧 250~450 立方呎，平爐產量可以增加 5~10%。根據最近蘇聯文獻資料，在某些特定的條件下吹氧 1000 立方呎/噸鋼時，產量可提高 40%。

LD 法

LD 法是結合轉爐法生產速度較快和平爐法煉鋼質量較高這兩種優點的一項重要措施。這種方法是通過熔池上面的一根水冷式噴管把純氧吹入轉爐（圖 3）以降低鋼中的含氮量，並且不致過度損傷耐火材料。

高純度的氧通過單孔水冷式噴管噴向底部封閉的鹼性轉爐中的鐵水。這種轉爐的爐口設計可以是偏心式的，也可以是同心式的。爐襯一般以焦油粘結的白云石製成。鹼性爐襯可以幫助鐵水脫硫和脫磷。對於噴管的位置要求並不十分嚴格。噴管的壽命為 80~2,000 爐，視

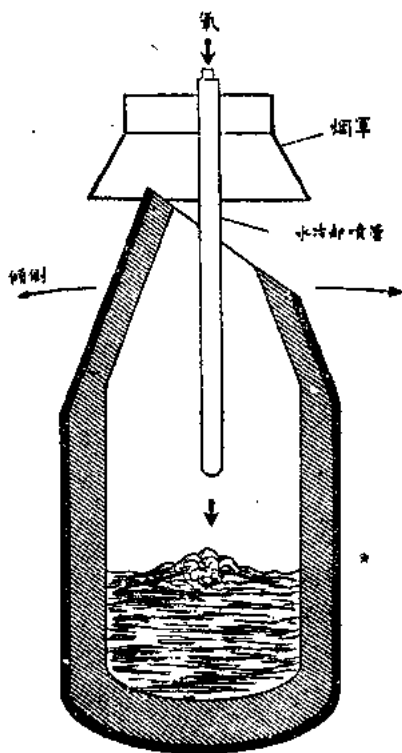


圖 3. LD 法示意圖

炉膛大小、冷却水流动情况，噴管距鋼水面的高度及其他因素而定。平均管龄为 500 炉。

第一次用 LD 法轉炉吹炼 20 分钟后出鋼 30 吨。每一炉次的時間平均为 35 分钟。操作熟练后，每炉的容积也随之增加。1959 年初，琼斯和劳林鋼鐵公司阿利奎派工厂在每一炉次 46 分钟内吹炼 20.8 分钟，每一炉次平均产鋼量 83.5 吨强，相当于每小时出鋼 108 吨。每吨鋼耗氧 1,580 立方呎。

在 LD 轉炉中，氧化反应比較完全，而且可以預測氧化的程度。考虑炉料的化学成分和重量以及吹氧的時間和速率，以計算出含碳量。在 LD 法中，非金属氧化所需之氧气較理論需要量略多。

使用 LD 法可以允許鉄水成分有較寬的范围，鉄水加入时的温度并不要十分精确，非金属氧化所发出的热量反应可以很快地使鉄水温度升高。

由于 LD 法所产生的反应温度很高，可以允許加入大量石灰来維持很高的碱度，这样就有可能生产出低硫和低磷的鋼。为了要从高磷的鉄生产出低磷的鋼，需要造渣二、三次。

保証氧气供应是最重要的問題。氧气供应中断会使炼鋼車間完全停工。氧气純度必須高。氮气是影响鋼质的杂质，氫气或其他稀有气体不影响鋼的质量。試驗結果表明：使用 99.4% 氧气时，鋼中含氮 0.0025%。当氧純度降至 99.2% 时，鋼中含氮量增加至 0.0035%。在容鋼量为 10 吨的炉中試用 50% 氧和 50% 氮的混合气体时，結果鋼中含氮在 0.006~0.018% 之間，平均 0.008%，視炉料成分和噴管的高度而定。1958 年琼斯和劳林鋼鐵公司使用 99.5% 純氧生产的鋼平均含氮 0.0031%。

卡尔多法

卡尔多法（图 4）是瑞典的斯多拉·郭派斯堡·倍格斯拉格（Stora Kopparbergs Bergslags, A. B., Domnarvet）所发明的，目前已发展到在 30 吨的旋轉炉中进行試驗生产。

卡尔多法中，轉炉的底部封閉，并环繞其纵軸旋轉，纵軸与水

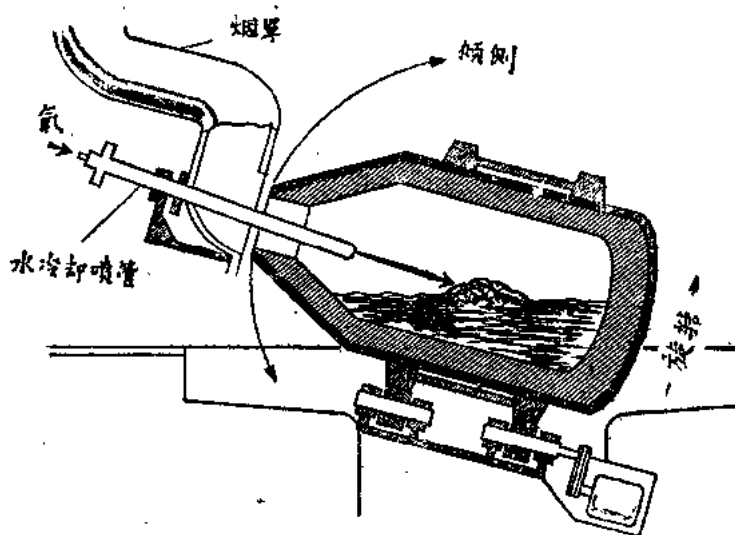


图 4. 卡尔多法示意图

平綫成 17° 角，轉爐的加料端有一个同心的开口（同中心式轉爐）現在所用的爐子容量为 30 吨，熔煉時間約 2 小时，根据鉄水的化学成分而定。

瑞典的 30 吨轉爐直徑为 11 呎 5 吋，长 18 呎。这只旋轉爐有两只轉环置放在一个重型支架中的 4 只支輪上，这个支架象一般轉爐一样能沿两个耳軸旋轉。工作爐衬用焦油-白云石制成，固定爐衬由錢磚砌成。爐衬的寿命为 50~85 爐。

除了旋轉的机械設備之外，還需有抬高爐子的設備，以便加入石灰和燒結物以及出鋼。在操作時轉爐口的位置應使烟能排入裝有水套的烟罩（Hood）。水冷式氧氣噴管穿過烟罩，以銳角對渣面而噴射。氧氣噴管的角度的能隨時調正，以適應所要求的操作條件。在水冷式噴管中的氧氣噴直徑为 3 吋。噴管寿命平均 700 爐。

把旋轉爐放在操作的位置上，開放氧氣并以最高每分鐘 30 轉的速度旋轉之。轉爐的旋轉使爐衬得到冷却，一氧化碳在熔池上燃燒所产生之热量烘熱了爐衬，爐子旋轉時，爐渣和鋼水混合物复

置于烘热了的炉衬上,使炉衬温度降低。如有需要,卡尔多轉炉能只旋轉而不噴入氧气。旋轉可以在熔煉期間的不同阶段进一步控制反应速度。

卡尔多旋轉炉对鉄水化学成分的要求并不重要。用美国的中磷鉄,一般需要造渣 2 次。第一次造渣中石灰和二氧化硅的比例約为 1.5:1。旋轉速度可使金属与渣之間接近平衡。渣中含鉄量平均为 2~3%。排渣后又加入石灰与矿石以組成新渣,从而完成脫硫脫磷的工作。含磷高达 0.300% 的鉄,經過一次造渣就可使鋼中的磷含量降至 0.015%。

矿石和廢鋼可用作冷却物。廢鋼比矿石更易损坏耐火材料。在卡尔多轉炉中使用美国碱性鉄时,可使用 40% 廢鋼。由于卡尔多轉炉能使鉄水中所产生的一氧化碳大部分燃燒成二氧化碳,产生更多的热,所以卡尔多法能比 LD 法熔化更多的廢鋼。

卡尔多法,高碳鋼和低碳鋼都能生产。由于碳降低时磷也降低,所以也能生产低磷高碳鋼。旋轉能使鋼水和渣混合得很好,所以能控制鋼的含硫量。和其他煉鋼法一样,卡尔多鋼也用碳氧平衡关系来控制含氧量。由于旋轉产生扰动,結果使卡尔多鋼中的含氧量略低于化学成分相同的平炉鋼。

卡尔多法能大大降低鋼的含氮量。用 95% 純氧煉制的鋼,含氮为 0.002~0.003%。氧純度增高,則鋼中含氮量还能降低。1957 年,瑞典用平均 95.3% 的純氧冶煉 379 炉含碳 0.10~0.12%、含錳 0.50~0.60% 的沸騰鋼,鋼的平均含氮量为 0.0027%。179 炉含碳 0.05~0.07%、含錳 0.25~0.35% 的沸騰鋼,其含氮量平均为 0.0026%。

卡尔多法中可靠的氧气供应系統非常重要,氧气供应中断会使鋼的生产停頓。卡尔多轉炉所用氧气压力較低,約为 45 磅/平方吋。使用低压氧气在冶金上的优点是反应过程平稳和廢气中鉄耗减少。

回轉炉法

在德国奥貝豪森所发展第三种主要的煉鋼法叫回轉炉法(图

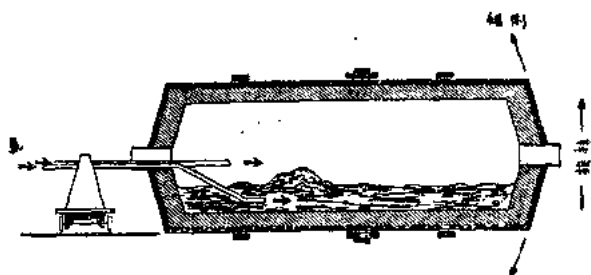


图5. 回轉炉示意图

5)。

回轉炉法采用臥式圓筒形窑式吹炉炉身，沿着纵軸旋轉。試驗工作用一座 20 吨的炉子进行。現用的 66 吨炉子外徑 12 呎、內徑 9 呎、长 48 呎。轉速每分钟 0.5~2 轉。炉子的工作炉衬由焦油——白云石制成，垫有鎂砂炉衬。回轉炉两端都有开口。进口供加料和引入水冷式噴管之用。另一端的圓形开口用来排出廢气。旋轉炉有使炉子向两端傾斜 3 呎的設備，以便加料、出鋼及控制碳的氧化作用。出鋼口在排气端的圓口上，出鋼时，打开出鋼口，把炉子傾斜并旋轉过来，出鋼口就在鋼水面之下了。

奧貝豪森的 66 吨回轉炉的每一次熔炼時間約为 2 小时。吹炼期平均 50~60 分钟，加入鉄水、石灰和矿石的時間約需 30 分钟，扒渣及出鋼約需 10 分钟。

氧气从两支装在活动平車上的水冷式噴管中噴入。开始吹炼时，把氧气噴管插入回轉炉的进口。一根插在鋼水面下，一根插在鋼水面上。噴入鋼水面下的氧气將鋼水中的碳氧化为一氧化碳，一氧化碳又被噴在鋼水面之上的氧气繼續氧化为二氧化碳。采用这种方法，炉中的热量使用得非常經濟，作为冷却物的矿石最多 15%。在試驗初期为了要設計一种能浸入鋼水并有相当管齡的噴管，曾經遇到一定的困难。現在噴管的平均管齡为 300 炉。

氧气供应是很重要的，因为氧气供应中断，会使鋼产量减少。浸入鋼水中噴管所使用的氧气純度至少应为 99%，以避免鋼中含氮量增加的可能性。在鋼水之上的噴管所使用的氧气純度为

73%。

这种回轉炉能用来預炼高磷鉄或直接炼鋼。这种方法生产低碳、中碳、高碳鋼都很适用。

用这种方法能控制含磷量，并且在碳完全脫除之前就脫磷。所生产之鋼的含氧量可与最好的平炉鋼或电炉鋼媲美。熔炼高磷生鉄时需要造渣两次。

各种炼鋼法的比較

上述各种炼鋼法各有其优点或特点，都能影响生产率或提高冶炼和經濟上的效果。这些炼鋼方法經濟价值受現有炼鋼設備的基本建設情况的影响。从技术角度对这些方法作一般的比較是可以的，对于决定发展方向也是有用的，但是，要作彻底的估价必須考虑当地的条件。

各种炼鋼方法的应用范围

平炉法生产鋼的品种比 LD 法、卡尔多法和回轉炉法多。平炉在生产沸騰鋼、鎮靜鋼、半鎮靜鋼和低合金鋼上同样都能适应。最重要的是掌握这种方法的工艺与成本，并且有熟练的操作人員。

LD 法所生产的鋼的品种現在还不及卡尔多法和回轉炉法多，如果加入的原料中有高磷生鉄时，鋼的品种尤其少。目前 LD 法限于生产高碳鋼和低合金鋼。

对 LD 法繼續进行試驗可把品种范围扩大到和回轉炉法、卡尔多法一样广。可以加入石灰来控制磷和硫的含量。加入矿石并精密控制噴管在鋼水面上的高度有助于增强脫磷反应。在 LD 法中造渣二次或三次已能控制高磷鉄。在使用这些改进方法的情况下，LD 法生产鋼的速度仍将比卡尔多法和回轉炉法快。

平炉炼鋼可以允許鉄水比例有較大的变化，所以在金属成本波动較大时最为有利。回轉炉法和卡尔多法能較 LD 法熔化更多的廢鋼，但在目前仍比平炉少。

如能創造新的方法，使 LD 式炉子利用現在消耗于廢气中的热量，熔化廢鋼的能力就会提高。有控制地加入易于氧化和发热

的反应物,如碳和焦末,就能增加 LD 轉炉的廢鋼熔化率。还有建議使用 LD 噴管噴入高速高溫氧燃火焰来熔化更多的廢鋼。待正在平炉中进行試驗的高效率的氧气天然气混合器取得成效,就将开始試驗生产。

平炉鋼的含氮量約为 0.004%。其余三种办法所产鋼的含氮量与平炉相仿或略低。氧气的純度相似时,卡尔多法鋼的含氮量比 LD 法或回轉炉法低。这是因为用卡尔多法时氧气以一定的角度吹入炉渣与鋼水面之間,而用 LD 法和回轉炉法时則氧气吹进鋼水里面。

在卡尔多法中氧气先在渣——鋼之間起反应。因为氧气反应速度非常快,氧气中夹杂的氮可能在非常接近熔池表面时很快就被釋出,而被从熔池中放出的一氧化碳冲淡了。因此在卡尔多法中,氮来不及溶解于鋼水之中或与鋼水起反应。

但在 LD 法和回轉炉法中,气体是噴进鋼水里面的,夹杂的氮气随着氧气噴入鋼水深处。氧气反应速度很快,剩下的氮气泡就留在鋼水中繼續与鋼水保持接触,并在冒到鋼水表面上以前形成一种分压力。鋼水中的含氮量是形成氮气泡分压力的因素。此外,氮气与鋼水表面接触面較大、接触時間較长、以及局部高温等,都是氧气噴入鋼水里面的方法会使鋼水中含氮量較高的原因。

目前从中磷生鉄炼鋼时,用卡尔多法和回轉炉法比 LD 法更为合适,在生产高碳鋼时尤其如此。然而在特殊情况下,在这三种方法中优先选用卡尔多法或回轉炉法时,最好先做若干炉次試驗。

炉子操作的难易

平炉法相当复杂。但只要有足够的熟练工人,平炉操作还是容易控制的。

从操作方面来看,LD 法是三种氧气炼鋼法中最简单的一种,在生产低碳鋼时尤其簡便。只要看到“火焰低落”或根据吹炼時間就能决定含碳量是否符合出鋼要求。事实上,如用低磷鉄水熔炼低碳鋼,可以认为 LD 法是第一种可以进行“按钮生产”的炼鋼

法。

与 LD 法相比，卡尔多法和回轉炉法需要工人对炼鋼技术懂得更多一些。卡尔多法和回轉炉法的旋轉設備在冶金方面和技术方面都是健全的。問題是旋轉炉在冶金方面的优点是否足以抵償机械方面和耐火材料方面的复杂化。

生产速度

平炉通过提高加料速度、使用炉頂吹管和改进燃燒器后，在最近的将来每小时产量将达到 60 吨。LD 法的速度一向比卡尔多法、回轉炉法和平炉法快些。現在 LD 法每一炉次平均产鋼 100 多吨小时。用 LD 法最初吹氧速度为每分钟 2,000 立方呎，現在的吹氧速度約 6,500 立方呎/分钟，并考虑将吹氧速度提高为 10,000 立方呎/分钟或更快些。吹氧速度为 10,000 立方呎/分钟，而且使用美国生鉄时，LD 轉炉每小时吹炼時間平均可以生产 360 吨鋼。考虑了所有的因素之后，我們认为这个速度还不是技术上的极限。

現在大型 LD 轉炉的容量約 90 吨。有人考虑將轉炉容量提高为 300 吨。但考虑到增加輔助設備的費用，轉炉容量超过 150 吨时是否經濟还是个問題。

由于机械設備、耐火材料、和吹炼上的限制，卡尔多法和回轉炉法的最高生产率仍比 LD 法低。由于把噴管浸在鋼水下面吹氧可以减少炉渣和鋼水的飞溅現象，回轉炉法可能比卡尔多法吹入更多的氧气而损伤性較小。因为产鋼率和吹氧速度有直接关系，所以可以預期 LD 法的鋼产量最高，其次为回轉炉法和卡尔多法。

鋼水和炉渣飞溅的量和方向，視氧气冲击熔池的角度而定。如果氧气噴管垂直地吹向鋼水熔池，飞溅現象主要是垂直向上的。如果氧气噴管以銳角噴向熔池，炉渣和鋼水成扇形飞溅。飞溅的角度基本上与氧气噴入的角度成“反射角”。在 LD 法中氧气垂直地冲击熔池，由于只有少量剧烈扰动的炉渣和鋼水飞溅出来冲击到炉衬的耐火材料上，相当数量的氧气能噴进鋼水。由于 LD 轉

炉沒有炉頂，所以垂直的飞溅物只造成极小的损伤。而在卡尔多法和回轉炉法中，氧气噴入达最高速度时，飞溅物会剧烈地损坏耐火炉衬。这种轉炉的设计使噴溅物冲击到耐火炉壁上。当然从发展来看，可以采用多噴管或多噴孔来消除这些限制的。

設備和耐火材料

平炉的主要优点是人們比較熟悉它的設備，建炉及修炉的熟练工人亦較多。

LD式轉炉无需旋轉設備，它的设计一向比卡尔多式和回轉炉式簡單，維護也較容易。鋼水容量相同时，LD轉炉的重量也較輕。

卡尔多法的炉烟处理和清洁系統比LD法簡單。LD法的廢气温度較高、卡尔多法的炉尘比LD法少25%。LD法的炉尘微粒直径小于1微米，卡尔多法的炉尘大于1微米。水洗式靜电沉淀法都是有效的清洁法。

耐火材料的消耗是炼鋼費用中一个重要部分——不但要考虑最初建造时的費用还要考虑修建費用。平炉用的耐火材料平均每吨鋼75磅。LD法每吨鋼需要17~25磅，其中还可以回收20%。LD轉炉工人从大型轉炉生产中証实了这个耐火材料消耗率。

由于目前还没有使用大型的卡尔多式炉子，因此没有关于这种炉子的耐火材料消耗量的資料。現在的估計一般以正在使用的30吨炉子的經驗为基础。在一次估計中，卡尔多式炉子如果用含磷0.60%的铁水生产中碳鋼，每吨鋼需用77磅耐火材料，其中40%可以回收再用。另一次估計是每生产一吨鋼需要45磅耐火材料。据美国某大企业保守地估計，用卡尔多法从含碳3.8%、磷0.250%的生鉄中炼出含碳1.3%、含磷最高为0.015%的鋼，每吨鋼需用30磅鎂砂。

用回轉炉法，每生产一吨鋼平均耗用耐火材料110磅。有了进一步的經驗以后，可望降低至75磅以下，与卡尔多法相当，但仍比LD法高。

毫无問題，有了經驗可以使卡尔多法和回轉炉法的耐火材料

消耗量降低，然而充其量只能接近 LD 法而不能低于 LD 法。同时，随着經驗的增加、耐火材料质量的提高以及加料和修补技术的改进，LD 炉耐火材料的消耗量可望降低。

平炉使用硅頂时，熔炼 130 炉即須重建，用碱性炉頂則約 400~500 炉后才重建。炉衬的使用期在 LD 法为 150~500 炉，卡尔多法可达 85 炉，回轉炉为 40~60 炉。由此可見 LD 法的炉衬使用期比卡尔多法或回轉炉法长，并且修理炉衬的时间也較短。

出鋼率

鋼厂的生产量随各种炉子式样和各厂的具体情况而变化。鋼产量也由渣相与鋼相之間接近平衡的程度如何而决定，这里沒有将飞溅和冷熔的情况考虑进去，化学反应的平衡在很大程度上受搅动的影响。因此也可以预期鋼的产量将根据鋼和渣的不同混合情况而异。从这些地方考虑，卡尔多法产量可能最高，其次为回轉炉法、LD 法和平炉法。如果从經濟角度考虑必須增加以 LD 法生产的鋼产量，这就要考虑搅动渣——鋼的机械設備。据某厂报告，使用中磷鉄时 LD 法的出鋼率为 88.6%，在类似条件下用卡尔多法的出鋼率則为 89.2%。在另一次实验中，用中磷鉄生产低碳鋼，根据对产品化学成分的不同要求，卡尔多法的出鋼率可多出 1~4%。只要小心而适当地操作，这三种氧气炼鋼方法的出鋼率，都比同样条件下的平炉高。

氧

平炉中用氧的情况根据氧气的来源和所需要的产鋼率而定。一般在炉頂吹氧时需氧 450~700 立方呎/吨鋼。

LD 法，卡尔多法和回轉炉法的氧耗量比平炉多。生鉄的化学成分相同时，回轉炉法和卡尔多法的氧耗量比 LD 法多，因为另需用氧在熔池上把一氧化碳燃燒成二氧化碳。以含磷 0.70% 的生鉄炼成低碳鋼作为标准，LD 法需氧量为 1,945 立方呎/吨鋼，卡尔多法需氧 2,300 立方呎/吨鋼，回轉炉法需氧 2,480 立方呎/吨鋼。根据美国的实践，用 LD 法炼一吨鋼平均需氧 1,700 立方呎。卡尔多法和回轉炉法的氧耗量一般較 LD 法多 10%。

回轉爐法和 LD 法需要高純度氧氣。使用含氮的氧會使鋼中含氮。事實上，在一些噴管浸入鋼水噴氧的方法中（如 LD 法和回轉爐法），鋼中含氮量和氧氣中的含氮量成正比。在 LD 法和回轉爐法中一般需要 99.5% 的純氧。回轉爐法中，放在鋼水熔池上面的那支噴管不需要高純度的氧，因為熔池上面只發生燃燒反應。

平爐法和卡爾多法不需要純度高的氧。在卡爾多法中只需用 95% 的純氧就能生產具有平爐鋼質量的產品。

氧的純度並不十分影響氧的成本。生產低純度的氧時，視相應的勞動力、供給情況和廠的大小，或可節約費用。從經濟角度估價時，採用低純度氧需要考慮到一些額外的費用，在一些需用高純度氧的場合，例如燒割及切割等，就需要另外有一套供應和輸送高純度氧的設備。一般說來高純度氧還是值得推薦的。

現在卡爾多法需要的氧氣壓力較平爐法、LD 法、或回轉爐法低。壓力要求低，用氧的成本也隨之降低。此外，各個煉鋼廠需從事經濟研究，以確定整個供氧系統（包括輸送管道和儲存設備）的最適當的壓力。從技術上看，LD 法、回轉爐法及平爐法能使用比現用氧氣壓力更低一些的压力。在 LD 爐中曾試用壓力為 60 磅/平方吋的氧氣進行熔煉。如果需要確定 LD 法中可以採用的最低壓力，尚待作進一步的研究。

在極大多數例子中，最适宜的供氧系統是一個，具有 400~600 磅/平方吋儲藏設備的氧氣廠，它有調整設備，使用時壓力調整為 180~200 磅/平方吋。平爐輸氧管道的壓力通常為 130 磅/平方吋。氣體儲藏設備的容量必須經過適當設計，使氧氣煉鋼中在發生嚴重的“斷續”情況時，能均勻地供應氧氣。為了要求最大的可靠性，最好有兩個氧氣廠，每廠分担一半氧氣的供應任務，有適當的氣體儲備能力，充分的液氧生產和儲藏設備，使氧氣廠計劃停工或意外停工時仍舊能使煉鋼工作照常進行。

平爐法中供氧問題不象 LD 法、卡爾多法、回轉爐法那樣重要。平爐如遇到氧氣供應中斷時，就可以恢復矿石冶煉法，雖然效率低一些，但仍舊可以進行工作，以待氧氣廠繼續送氧。

今后趋势

扩建或新建炼钢厂时,要根据很多因素来选择熔炼设备。这些因素包括现有熔炼和操作设备的条件,现有设备的机械化程度,废钢和铁水的来源和成本,原材料的化学成分和产品的规格。扩大平炉氧气吹炼,建造 LD 式、卡尔多式和回转式炉子,或综合应用这些方法,均能增加钢产量。

在今后的五年中平炉仍将是美国的主要炼钢炉。主要理由是:平炉是现成的。到 1965 年,平炉的总生产能力或许会比 1959 年低。但产钢吨数降低很少,因为基本建设费用虽然减少,但由于发明创造而使产钢率提高,以及平炉所固有的较大的熔化废钢的能力,这些因素都是在经济上对平炉有利的。

如钢厂中已有新式大型平炉,扩大氧气增熔和炉顶喷氧的应用,就能增进这些炉子的生产能力。如果要将低效率旧平炉换新或全部新建时,还是造 LD 式转炉、卡尔多式转炉或回转炉比造新平炉来得合算。

预期到 1965 年时,几乎所有在使用的碱性平炉都将使用大量氧气来进行精炼和燃烧。至于是否再建造新平炉是很值得怀疑的。

从一些迹象来看,现有的平炉要停止一部分,而由于在留下来的炉子中扩大炉顶喷氧和氧气燃烧的应用,产量将显著增加。这种趋向现在已经有所表现,若干钢厂正在停止一部分平炉而用剩下来少数使用氧气的平炉维持原有产量。

实验指出,增加炉顶喷管和燃烧用的氧气量,可使平炉生产率更提高一步。正在进行研究的一项技术是提高通过炉顶喷管喷入平炉的氧气流速,以减少从铁水加入后到出钢所化的时间。图 6 为两个炉次中的碳降落情况:其中一炉在整个熔炼过程中氧的流速维持每小时 25,000 立方呎,另一炉当熔池中含碳量到达 0.45% 时炉顶喷管的氧气流速从每小时 25,000 立方呎增加为 45,000 立方呎。接近精炼期的最后阶段时提高氧的流速对炉顶寿命没有什么害处,因为当熔池含碳量低于 0.45% 时,碳的发展和钢水飞溅

的情况显著降低。用这种“两种喷氧速度法”进行对比试验时，每小时的钢产量比一般操作法提高 4.2%，而每吨钢的氧气消耗量不变。

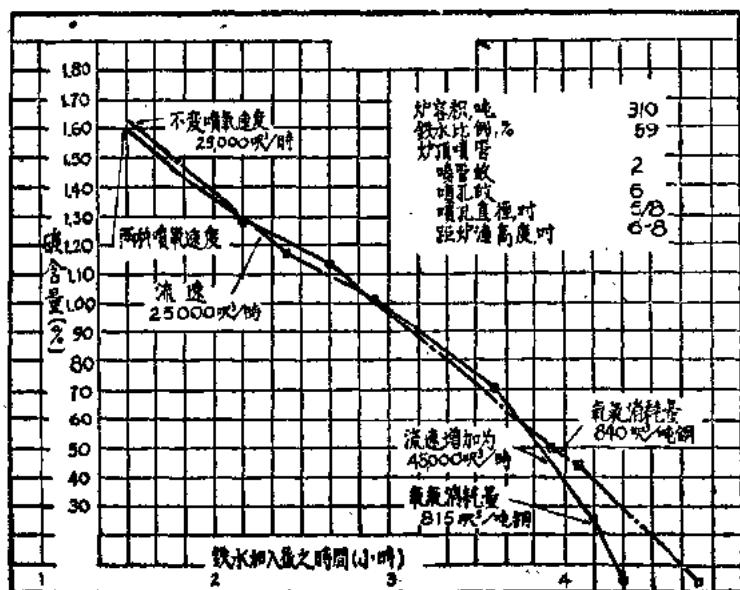


图 6. 以不变喷氧速度和两种喷氧流速时的碳降低情况。

最近又有一种更新的改进，可以使平炉钢产量跃进，这就是直接用氧气来燃烧重油。正在试验用氧气和天然气通过平炉炉顶喷管来进行燃烧。废钢熔化速度有显著增加。图 7 为一种平炉炉顶用的六孔喷管，每小时可以供给 25,000,000 英热单位的热量。这种装置所发出之火焰温度达 5,000°F。可以根据需要把天然气关掉，使这根喷管单用氧气。

图 8 为试验性燃烧器之火焰。这种火焰长 56 吋，等于六孔喷管中的一个火焰之长。现在正在进行研究消除燃烧器的回火现象的方法和增加火焰面积对炉面积比例的技术。当然，必须改进平炉的加料技术才能从上述进展有所得益。

总之，LD 法生产费用低、产量高，能从多种不同的生铁炼出