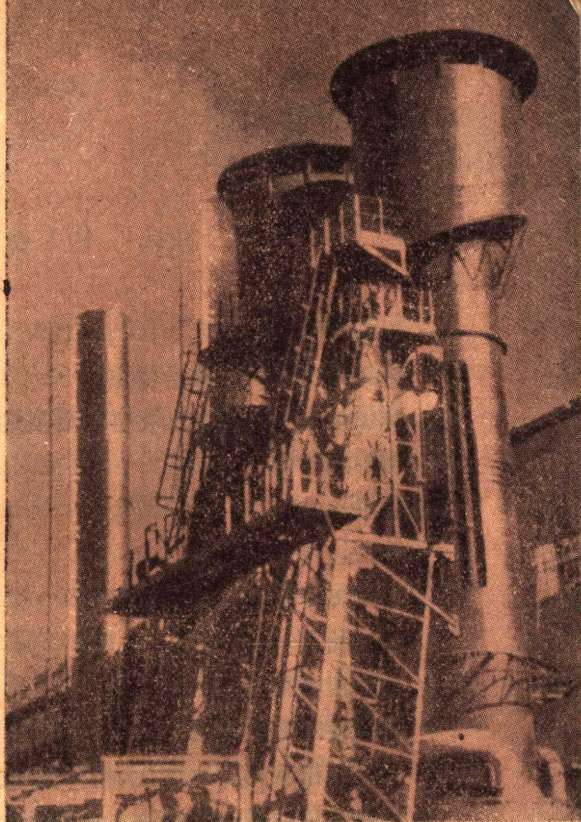


鋼鐵工業叢書



純氧頂吹轉爐煉鋼

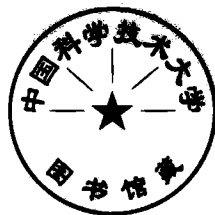
張祖烈 編著

科技衛生出版社

內 容 提 要

純氧頂吹，是世界煉鋼工業中的一項新技術。採用純氧頂吹轉爐煉鋼，能提高鋼水質量、降低基建成本、加快煉鋼速度，對提高鋼產量具有重大意義。

本書系上海滬東造船廠中央試驗室張祖烈同志根據實際試驗心得，編寫而成。對純氧頂吹特點、操作情況、應注意事項及純氧頂吹轉爐煉鋼法在我國技術革命中的意義，敘述得極為具體。可供一般冶煉工作者，及中小型機器製造業採用時參考。



鋼鐵工業叢書

純氧頂吹轉爐煉鋼

編著者 張祖烈

科技衛生出版社出版

(上海南京西路2004號)

上海市書刊出版業營業許可證出 093 號

上海市印刷四廠印刷 新華書店上海發行所總經售

開本 787 × 1092 毫米 1/32 · 印張 3/4 · 字數 17,000

1958年10月第1版

1958年10月第1次印刷 · 印數 1—50,000

統一書號：15 · 983

定 價：(9) 0.11 元

目 录

(一)引言.....	1
(二)純氧頂吹轉炉炼鋼法特点.....	2
(三)純氧頂吹轉炉炼鋼法在各国发展的情况.....	4
(四)轉炉和噴嘴.....	6
(五)生鉄原料.....	8
(六)吹炼过程.....	9
(七)吹炼操作过程中应注意事項.....	13
(八)吹炼結果.....	13
(九)純氧頂吹轉炉鋼的經濟性.....	18
(十)純氧頂吹轉炉鋼的質量 and 用途.....	19
(十一)純氧頂吹轉炉炼鋼法主要优缺点.....	21
(十二)純氧頂吹轉炉炼鋼法在我国技术革命中的意义.....	22

(一) 引 言

我们国家人口众多，底子比較穷，鋼鐵产量按人口比例，比起工业先进的国家来，要少得很多。党中央发出号召，要我们中国在 15 年或更短的时间內，在鋼鐵及其他主要工业产品上赶上或超过英国。这个偉大的号召，不但要在生产上比先进比干劲，而尤要本着多、快、好、省的精神，大闹技术革命来予以完成。

在第二次世界大战中，因为大量制氧方法的发展以及制氧成本的降低，給进一步发展炼鋼工业創造了极有利的条件。自 1952~1953 年，奥地利林茨 (Linz) 与道那維茨 (Donawitz) 工厂，首先在工业上用純氧頂吹轉炉炼鋼法成功以后，引起了世界各国的关心，开辟了炼鋼史上新的一頁。純氧頂吹炼鋼法，又名“LD 法”。

轉炉炼鋼，采用純氧頂吹后，鋼中含氮量和含磷量，均可降低，鋼的质量与加工性能，相同于平炉鋼。但頂吹轉炉基本建設投資(包括氧气站在內)，比年产量相同規模的平炉鋼厂投資要少得很多。据美国資料年产量 50 万吨規模的炼鋼厂，純氧頂吹轉炉鋼厂的基建投資，約相当于同样生产能力的平炉鋼厂投資的 50% 左右，維護修理費用，亦仅占平炉的 50~60%。因此，純氧頂吹轉炉炼鋼法的工业地位，在世界上已大大提高。目前純氧頂吹轉炉炼鋼法，不仅在苏联、美国、加拿大已大量生产，其他如日本、巴西、印度等国，也相继推广。采用

工业純氧煉鋼，对进一步发展我国煉鋼工业，为在15年或更短的时间內赶上英国，具有十分重大意义。尤其在生产大跃进中，我国滿天星斗的中小型机器制造业，感到鋼材料不足，供应上有困难，小規模的发展純氧頂吹煉鋼，滿足机器制造业生产上的需要，加速工业建設，更具有特别重要意义。

上海沪东造船厂，为了满足本厂船上所需要的澆鋼件，而鋼的质量又一定要符合造船规范的要求，結合投資省、成本低的原则，进行了純氧頂吹轉炉煉鋼的試驗，并已初步获得了成功。

(二) 純氧頂吹轉炉煉鋼法特点

純氧頂吹轉炉煉鋼法主要特点是：(1) 精炼反应集中于氧气气流直接作用到的区域内；(2) 氧气噴嘴和熔池表面接触处的反应中心区，产生近于铁的沸点高温，增加了氧气的溶解度与加速氧化铁向全部熔池的扩散，因而氧气在此处加速进行反应。依靠吹炼过程，金属比重差及温度差造成攪拌。

当开放氧气进行吹炼的瞬时，在氧气流作用下的金属液与氧气起直接反应生成氧化铁。一部分氧化铁与石灰起反应形成作用强烈的熔渣，成为五氧化二磷强而有力的結合剂；一部分的氧化铁与被熔解的、过剩的氧，由于回轉扩散而进入熔池与碳、矽、錳反应引起强烈的沸騰。同时直接在氧气流作用下所精炼的金属液中碳、矽和錳被氧化去掉，含量减少。这部分的金属液比重大約为7.1，而周圍铁液的比重約为6.5。因此，已受精炼部分的金属液，由于比重大，就有从反应中心区逐渐下沉到炉底的倾向，而且在下沉过程中与未受精炼的金属液相

互进行混合，温度提高，并且把被溶解、过剩的氧气，传递给未受精炼的金属，本身起了脱氧的作用，所以反应中心的精炼与脱氧是同时进行的。所产生一氧化碳气体逐渐分布在全部金属熔池内，形成密布的气泡，使周围金属液的比重更加减轻，与反应中心区金属液的比重差，更加增大，因而熔池内回轉攪拌运动，更加剧烈更加迅速。熔池連續不断的回轉运动，使熔池中新的部分金属液移到反应中心区来进行精炼，而已經精炼部分的金属液又与其余部分金属液混合再受精炼，熔池的剧烈回轉运动，使在最短时间内能得到平衡反应。

减少磷的程度与金属中含碳量无关，随渣中鉄的氧化物含量增大而提高，所以必須在吹炼第一期(在熔池含碳高时)具有活潑的石灰氧化鉄渣。适当的改变噴嘴位置和調整供氧量，可以获得所需要的渣中氧化鉄含量。

一部分硫，在反应的区域內和氧及一氧化碳发生作用，变成气体逸出，促进了减少硫的作用。

当吹炼过程接近終点时，精炼部分的金属液比重及成分与其周围部分金属的差别，已逐漸减小，因而熔池内攪动作用减弱，气体发生量减少，碳素燃燒的力量亦变弱，最終，熔池中化学成分趋于均匀，而金属比重視温度高低而变化。在这种情况下，氧气直接噴到的区域內，金属溶液温度最高而比重最低，因之，无下沉之势。这时如将氧气吹在已炼好的平靜熔池上，則不易向下貫穿，所生成之氧化鉄，即將蒸发。

图1及图2表示在吹炼过程中，开始、中间和結束三个阶段金属熔池中温度分布和比重不同的情况。

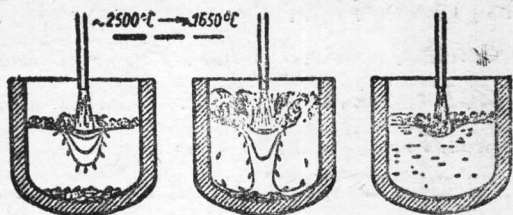


圖1 在頂吹法吹煉過程中，熔池內金屬在開始、中間、結束時溫度分布情況

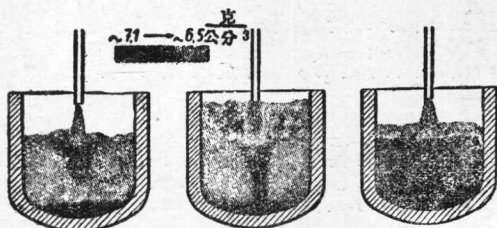


圖2 在頂吹法吹煉過程中，熔池內金屬在開始、中間、結束時比重的不同對冶煉過程的影響

(三) 純氧頂吹轉爐煉鋼法在各國發展的情況

純氧頂吹煉鋼法最初出現於奧地利，因奧地利是廢鋼不足的国家，所需廢鋼总量中有 30% 依賴國外進口解決。為了擴大鋼的生產，降低鋼的成本，而鋼材的質量又要與平爐鋼相等，於 1949 年開始用 2 噸轉爐進行頂吹法氧氣煉鋼的試驗。不久（同年內）即裝設了 15 噸和 20 噸的轉爐，繼續進行試驗，經過 10 個月的實踐結果，給新建鋼廠的設計提供了良好的經驗。奧地利林茨及道那維茨工廠大規模的工業性生產頂吹鋼是在 1952 年 12 月至 1953 年 5 月，奧地利用這種新的方法生產鋼在 53 年共計 33 萬噸，54 年共 45 萬噸，56 年 60 萬噸，57 年共 80

万吨，估計 58 年可生产 100 万吨。

苏联自 1954 年 12 月起，諾沃-土尔基(Ново-Тулский)工厂与鋼鉄学院，用工业純氧在轉炉内进行頂吹馬丁炉生鉄煉鋼的研究工作，每炉用 10.4~10.6 吨鉄水进行吹炼，到 1955 年 7 月 15 日止共吹炼 400 炉，炼出 3,800 吨鋼，研究試驗結果，掌握了吹炼軟沸騰鋼及軌道鋼的工艺。彼得洛夫工厂按照新的工艺吹炼 25 万吨鋼得出了結論：即工业性地掌握在碱性轉炉内用工业純氧頂吹平炉生鉄的結果，其炼成的軟沸騰鋼，按其机械和工艺性能，与相应鋼号的平炉鋼很少区别，掌握操作简单，并且获得規定成分的鋼并不困难。苏联其他工厂如新土利斯克，及耶納基也夫斯基等厂，亦已进行工业性生产。

美国于 1954 年在密歇根州馬克路斯(Mc Louth)炼鋼公司已建設 40 吨頂吹轉炉 3 座进行生产，最近该公司又在扩建 80 吨頂吹轉炉 2 座；在本雪文尼亚州琼斯及劳林(Jones & Laughlin)炼鋼公司 57 年建設完成 65 吨頂吹轉炉 2 座，于同年 11 月投入生产；在加里福尼亚州开塞(Kaiser)炼鋼公司亦于 57 年开始建設 65 吨頂吹轉炉 3 座；在意大利諾州阿克米(Acme)炼鋼公司亦于 57 年建設 50 吨頂吹轉炉 2 座。

加拿大杜法斯哥(Dofasco) 1954 年建設了 40 吨頂吹轉炉 2 座进行生产；最近阿尔哥瑪(Algoma)炼鋼公司建設 60 吨頂吹轉炉一座。

法国的鮑虛曼·佛倫-賓克蘭(Bochumer Verein-Deutschland)也在筹建頂吹轉炉炼鋼厂；在朋弗安(Ponphei)有一处炼鋼工厂，已于 57 年初用頂吹法操作。

西德的鮑甫馬-夫拉恩(Bofuma-Fuerain)、庫苏塔-魯埃罗柯-維茨頓(Guschuta-Rueruku-Witzen)两个工厂，从 1957 年 2

月起亦在建設頂吹轉爐。

日本的八幡鋼鐵厂、日本鋼管厂、富士鋼鐵厂、尼崎煉鋼厂等企业，即將开始利用純氧頂吹轉爐法进行生产。

其他如印度的朗克拉(Rounkela)、巴西的阿培德(Arbed)，亦正在建設純氧頂吹工厂。

(四) 轉爐和噴嘴

純氧頂吹轉爐和碱性直筒形轉爐相似，形为梨狀，不需要风眼、风箱和风管等設備，結構設計简单，林茨厂和道那維茨厂所用轉爐形状如图3。

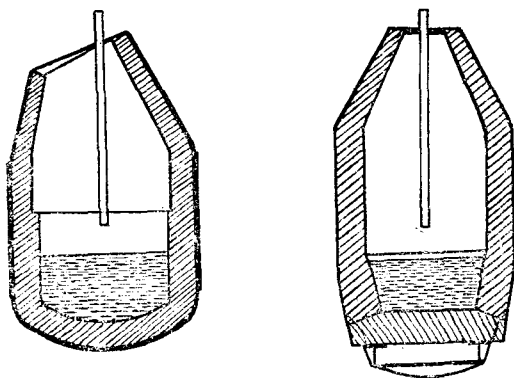


圖3 林茨及道那維茨純氧煉鋼轉爐

上海沪东造船厂試驗用的轉爐尺寸如图4所示。

轉爐容积为 0.25 立方公尺；

裝鉄水重量 250~300 公斤；

单位容积 1.00~0.833 立方公尺/吨；

金屬熔池深度 178 ~ 215 公厘。

吹氧噴嘴是用水冷的銅頭，銅頭車成內絲扣和無縫鋼管扣牢。為了保證水密，銅頭與鋼管聯接處再用黃銅絲將銅頭與鋼管焊牢。銅頭可用紫銅塊或紫銅棍鍛造，我們最初所用的銅頭是用紫銅板與紫銅棍焊接而成；送氧、進水及出水系統是用三根無縫鋼管一個套一個制成的。冷卻銅頭的進水從中套管送入，出水自外套管流出。紫銅頭與無縫鋼管焊好後用 10 個大氣壓水壓試驗，保持數分鐘，沒有水迹滲出即為合格可用。噴嘴尺寸大小視爐子大小及裝鉄量而定，我們最初試驗用的噴嘴尺寸如圖 5 所示。

最初試驗，為了保護銅頭被鋼水焊上燒壞，曾採用石墨棒，用聯接螺絲

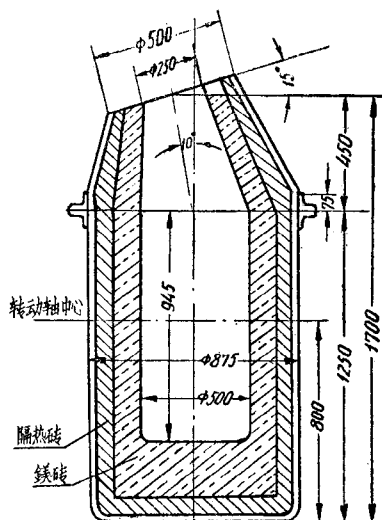


圖 4 300 公斤純氧頂吹煉錘試驗轉爐

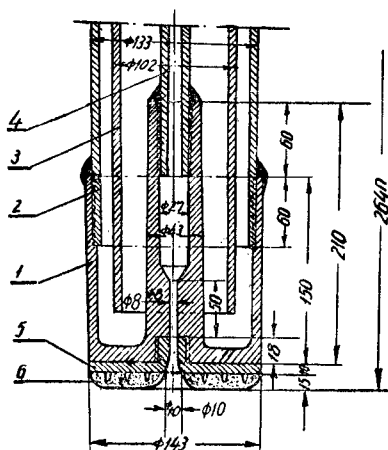


圖 5 平底水冷銅頭氧氣噴嘴

1—銅頭 2—外套管 3—中套管 4—氧氣管 5—銅頭保護鋼板 6—耐火塗料

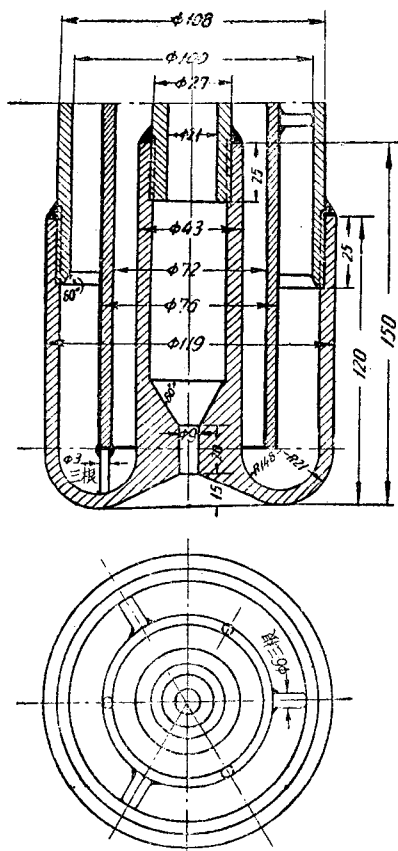


圖6 弧形水冷銅頭氧氣噴嘴

高达 43.5°C ，銅頭被燒壞。最近所用銅頭尺寸如圖6所示，經過實際使用結果，情況亦良好，並縮短吹煉時間為8~9分鐘。

將石墨棒與銅頭連接在一起。因吹煉一次後，石墨被氧化掉，以後改用10公厘厚低碳鋼板，亦用連接螺絲與銅頭連接，鋼板下面塗上耐火泥，銅頭外面捆上石棉繩，並塗耐火泥予以保護，經使用後情況尚好。保護銅頭的鋼板如果燒壞，可另換上一塊鋼板。以後將保護銅頭的鋼板去掉，經使用後，情況亦良好，惟間有被鋼水粘上，可用刮子去掉。最近改用如圖6所示銅頭，經實際試驗，情況亦正常，惟冷卻水溫必須控制在 40°C 以下。我們在实际試驗過程中，曾因天熱，冷卻水循環使用，水溫控制不當，

(五) 生鐵原料

普通貝氏轉爐，對原材料成分的要求，有一定的限制，酸

性法以矽为主要热源，必須要含矽量較高的生鐵，
碱性法以磷为主要热源，因此对生鐵成分范围，限制比較狹
窄。普通貝氏轉炉热效率为 55%，而純氧頂吹轉炉热效率为
72%。由于热效率高，选用生鐵成分范围，比較松动，供給頂
吹轉炉所用鉄水成分为：碳 3.8~4.2%，矽 0.6~1.2%，錳
1.4~2.2%，磷 0.12~0.25%，硫 $<0.045\%$ 。

我們試驗所用碱性生鐵成分平均为：碳 3.99~4.16%，
矽 0.72~1.00%，錳 0.15~0.21%，磷 0.116~0.164%，硫
0.034~0.046%，生鐵中含錳量較低，另在化鉄炉中加錳鉄及
廢鋼調整化学成分。

(六) 吹炼过程

在开始吹炼以前，应做好一切准备工作，先将氧气通路和
冷却水通路，檢查一下，轉炉內事先放木柴燃燒，烘热，然后
放入焦炭并通入压缩空气鼓风加热，使炉衬烘到发紅的程度。
鉄水倒入轉炉前，应将轉炉內的焦炭扒除干淨，并鏟除附在炉
壁上的焦炭余渣，然后将自化鉄炉中放出的鉄水，撇除表面上的
浮渣，傾入轉炉中。視鉄水成分加入石灰及螢石，作造渣材
料，渣料加完后，將轉炉搖到垂直位置，放下送氧噴嘴，保持
距熔池面上一一定的高度，視炉子大小与送氧压力而在 200~
1,200 公厘范围内調节。我們在試驗吹炼过程中，曾試用二种
吹炼方法：第一种吹炼方法，开始头 2 分鐘，保持噴嘴距液面
高度 250 公厘，2 分鐘后，提升噴嘴距液面高度 450 公厘，5 分
鐘后又下降噴嘴，保持距液面高度为 300 公厘，一直到吹炼終
点，再提升噴嘴；第二种吹炼方法，自开始吹炼到吹炼完毕，

始終保持噴嘴距液面高度為 300 公厘。在實際試驗各 10 多爐中，保持配料一定情況下，用第一種方法吹煉，有些噴濺現象發生，而採用第二種方法吹煉，除個別爐次因加了鐵鱗發生噴濺，大多數沒有噴濺現象，其原因可能由於採用第一種吹煉方法，產生氧化鐵較多，因而發生噴濺。用二種方法吹煉，送氧壓力均在 3~4 大氣壓之間。

冷卻水泵，可用高壓離心水泵，我們所用的冷卻水泵系利用船上所用的雙缸泵，進水壓力約 6 公斤/平方公分，水流量約 8 升/秒。吹煉過程中，如第 22 爐冷卻水溫平均變化情況如圖 7 所示（第 22 爐是在上海 8 月上旬酷熱的天氣下吹煉的，所以進水溫度有 35°C）。

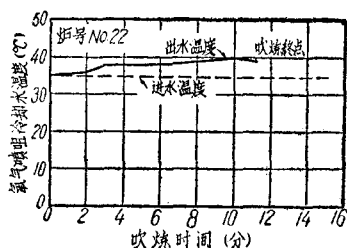
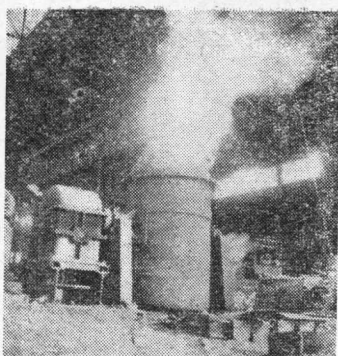


圖 7 300 公斤轉爐氧氣噴嘴冷卻水溫度變化曲線

在氧氣開放到碳焰出現以前，有很濃厚的深褐色煙發生，約 2~3 分鐘後，火焰伸出爐口，呈暗紅色。以後溫度逐漸上升，深褐色煙塵漸漸轉淡，火焰伸出爐口，變長而成亮白色，中間亦夾有淡色煙塵。到了接近吹煉終點前 1~2 分鐘，火焰特別明亮，淡色煙塵減少。到了終點，火焰變弱呈暗白色並開始下落，此時立即關閉氧氣，提升噴嘴，傾側轉爐取鋼樣及渣樣，準備出鋼。圖 8 表示吹煉過程中各種情況。



(a) 开始吹煉約2分鐘后冒
深褐色烟的情况



(b) 接近吹煉終点前發出
亮白色火焰情况



(B) 出鋼情况



(T) 澆注鑄件

圖8 吹煉过程中的情况

吹煉終点的鋼水，几乎沒有了矽的成分，而錳的殘存含量与加入原鉄水錳的含量多少有关，根据奥地利联合鋼鉄厂操作經驗，有下列关系(5~7%石灰加入量)：

原鉄水中含錳量(%)	吹煉終点鋼水殘存錳量(%)
1.40~1.60	0.30
1.60~1.80	0.35
1.80~2.00	0.40
2.00~2.20	0.45

所以加入錳鉄、矽鉄脱氧及調整鋼的成分，要根据殘存錳量加以計算。加入錳鉄及矽鉄，約 65~75% 作配成鋼質的成分，25~35% 使鋼水中气体还原作为还原剂。加入錳鉄、矽鉄重量，根据鋼号成分及上述情况，加以計算。当錳鉄及矽鉄依次于出鋼水时投入鋼水包中后，再以扎在鉄棒上的純鋁插入鋼水包中，脱氧鎮靜。鋁加入量，我们以每噸鋼 1~1.5 公斤計算。

深褐烟尘的发生，是由于氧气气流，冲到鉄液中产生高温反应中心区。此反应中心区的面积約等于熔池总面积的 3%，据云温度有 2,500~3,500°C，促使鉄与錳有一定程度的蒸发，在脱离轉炉的 CO 气体范围后与空气燃烧而成鉄和錳的氧化物，凝聚而成深褐色的浓烟，这种状况，成为純氧頂吹煉鋼法的特点之一。随烟尘蒸发的鉄約有 0.8~1.6%。烟尘成分含 93% 的 Fe_2O_3 及 6% 的 MnO ，其余为 CaO 及 SiO_2 每噸鋼約有 10~11.5 公斤的烟尘。烟尘非常細致，根据資料所載，其篩分等級为：大于 1 微米，5%；0.5~1 微米，45%；小于 0.5 微米，50%。

这种极端微細的、粒状的形态造成极深的紅褐色，并引起一种烟雾非常稠密而量很多的現象。

(七)吹炼操作过程中应注意事項

(1)新建的頂吹轉炉，自氧气站或氧气瓶汇流排，通到送氧噴嘴的管道中，切勿沾上油污；鋼管接头处，切勿沾上有机油，也不可用白漆及麻繩等在螺絲接头处填塞，因氧气遇到有机油，易发生爆炸危險。

(2)吹炼时，銅头噴嘴应注意始終保持垂直状态，否則銅头容易燒坏。

(3)吹炼过程中，应注意冷却水温度的变化，保持出水温度不应超过 40°C 。如因天气过热或冷却制度不良，出水温度到达 43°C 以上，銅头有部分被燒熔可能，应当馬上檢查噴嘴，不要产生麻痹思想不經過檢查而繼續吹炼，容易发生意外。

(4)在吹炼过程中，如果发现与过去吹炼情况不同，有大量的白雾发生，即表示有漏水現象。此时应立即采取安全措施关闭氧气，自远距离迅速的提升噴嘴，移到炉口外面或将轉炉傾斜，更换噴嘴，繼續吹炼。

(5)每吹炼一炉后，应仔細檢查銅头，如果有冷鉄焊在銅头上，应小心的用凿子鏟去，不要损坏銅头。

(6)所用冷却水应保持清洁，如使用硬水，最好加以軟化后使用。

(八)吹炼結果

我們試驗所用的碱性平炉生鉄含磷量在 $0.116 \sim 0.164\%$ 之間，造渣用石灰量占鉄水重量的 $5 \sim 6\%$ ，稀釋熔渣所用的螢

石占加入石灰量 10%。原鉄水化学成分与吹炼終点鋼水化学成分以及吹氧时间、水温变化各种数据如表 1 所示。根据表 1 計算，平均能去磷在 70% 以上，能去硫在 40% 以上。鉄水中磷、硫含量与吹炼終点鋼水中磷、硫含量变化关系如图 9 所示。吹炼

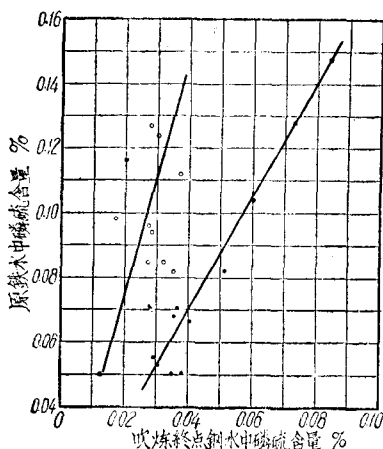


圖 9 吹煉前后磷、硫含量变化关系

方公尺。

澆鑄鑄件成品的化学成分与机械性能如表 2 所示。7、8 二炉，經過錳鉄、矽鉄及鋁脫氧后，即进行澆鑄鑄件：16~25 炉曾用本溪低磷低硫生鉄加碳，加碳方法，因缺少熔化設備，先将本溪低磷低硫生鉄熔成小鉄块，在焦炭炉中烘热，于出鋼前投入鋼水包中。

每包鋼水在澆鑄件之前，先澆基尔試块 (Keel block) 一根，作机械性能試驗之用。基尔試块，有的經過退火热处理，在 880~900°C 保温 2 小时，然后在炉内冷却，有的經退火后再經 870~880°C 正火热处理。但所有的冲击試棒，均經退火热处理

終点鋼水中含矽量极微，殘存含錳量在 0.20~0.30% 之间，而含碳量平均在 0.10% 以下。冷却水温度高达 42°C，銅头尙未燒坏，但在第 26 炉中，水温升高达 43.5°C，銅头部分被燒熔。

关于氧气消耗量，我们用瓶氧組成汇流排，吹炼 320 公斤鉄水，消耗氧气 4 瓶。曾試吹 410 公斤鉄水，消耗氧气 5 瓶。每瓶 5~6 立