

中華民國第42屆中小學科學展覽會

∴∴ 作品說明書 ∴∴

高中-應用科學科

科 別：應用科學科

組 別：高中組

作品名稱：能源的有效利用

關 鍵 詞：鋼 鐵、能 源

編 號：040803

學校名稱：

國立高雄師範大學附屬高級中學

作者姓名：

黃文俠、丁毓德、劉安祐、吳欣潔

指導老師：

張明吉



一．摘要

能源費用約佔電爐煉鋼業之加工成本中的三分之一，不但直接影響到煉鋼業之生存與獲利，同時如何有效利用能源應為缺乏能源之台灣更努力的方向。本實驗的目的就在探討有效利用煉鋼作業中排放之熱氣來預熱廢鐵(廢熱回收)之方式及其效果。

礙於實際操作之費用過於龐大，且基於冰塊由 0 至沸騰所需之熱量和廢鐵由室溫至熔解所需之熱量幾乎一樣。因此利用冰塊及沸水來模擬電爐之熔煉作業中之廢鐵及鋼水，並藉固定加熱能力之家用電碗模擬電爐。

經數次不同之實驗結果，得以比較出最佳的廢鐵預熱方式為連續性的預熱及加料，不但可以節省能源的耗費達 28.4%而且進一步縮短熔煉時間達 28.26%，對降低成本及增加產能均有甚大的助益。

二．研究動機

高一時曾經在許多本教科書讀到能源的利用，由於台灣是地質年代很新的海島地形，因此沒有什麼礦產及能源資源，故如何有效利用能源遂成為我國工業重要的議題。煉鋼是我國重要的工業之一，但煉鋼時需要用到大量的電來加熱，若我們能夠把產生的熱量妥善的利用，那麼鋼鐵的鑄造成本一定能夠大大的降低。

三．研究目的

電爐鍊鋼作業中廢鐵之連續預熱及入爐熔煉

壹、說明

煉鋼的製程大致可分為二種，其一為以礦砂為原料，經高爐鐵在經由轉爐以氧氣吹煉成鋼，此為中鋼所採用。另一為以廢鐵為原料，經電爐熔煉而成，此為一般民營鋼鐵廠所採用之製程。

高爐煉鐵 轉爐煉鋼

煉鋼製程

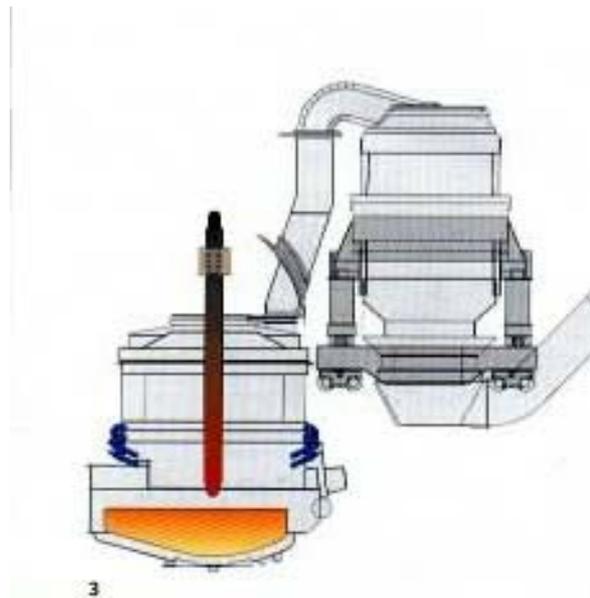
電爐煉鋼

眾所周知，煉鋼是一種耗能相當大的產業，同時也是污染問題嚴重的產業。因此如何節省能源及降低對環境的衝擊，一向為鋼鐵業的兩大課題。

貳、本研究係針對電爐煉鋼作業如何克服上述兩大課題提出可能的改善方案

一、首先，讓我們先行了解電爐煉鋼業之作業方式：

經裁切，分類之廢鐵依選訂之作業程序由天車之吸盤或抓斗裝入廢鐵桶內，並運送至煉鋼爐廠房，再由天車吊起投入電爐中。因廢鐵密度及電爐容積關係，此項作業需分 2~4 次才能完成一爐之分量。第一桶廢鐵熔解後，再做第二次添加廢鐵之動作。每次添加廢鐵時，均需先停止送電，將爐蓋打開，添加廢鐵後再行旋入，才可送電。待整爐廢鐵熔解後才進入升溫精煉工作。在較新型煉鋼廠內，基於分工的概念，其中的精煉工作又移至精煉爐中分開操作，電爐之工作就在熔解廢鐵及升溫。



電爐構造圖

二、電爐之作業過程大致如下

第一桶廢鐵	第二桶廢鐵	第三桶廢鐵	熔落	取樣	測溫	出鋼	下一爐開始
	3'	3'	3'			12'	(未送電時間)
送電熔解	送電熔解	送電熔解	升溫	精煉	補爐及準備作業		
15'	12'	8'	3'		7'		(送電時間)

三、上述作業過程中，以能源的觀點來說

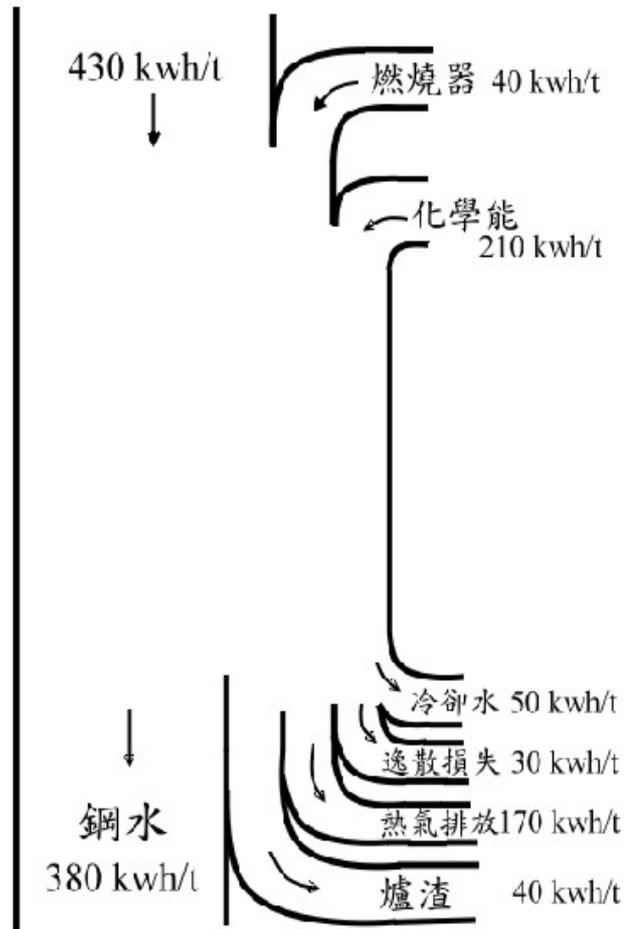
- (一) 每次加廢鐵時，電爐必須停止送電並將爐蓋旋開，均造成大量的熱量散失及時間的損失。
- (二) 送電過程中，又因為大量煙塵的產生，必須藉集塵設備由爐蓋開孔將煙塵吸走當然也伴隨大量的熱氣損失。
- (三) 為延長爐體之使用壽命，爐體未與鋼水接觸之部位及大部分之爐蓋均使用水冷箱。這些水冷部位以及其他自然的散熱所損失之熱量是隨時間而增加。因此縮短每爐的作業時間在能源的節約上絕對會有或多或少的貢獻。
- (四) 將廢鐵及所添加之副料如生石灰，合金鐵等由是加熱至熔解(約 1530°C)所需要的熱量是一定的。

註：將廢鐵加熱至溶解所需熱量 $0.12 \times (1530 - 30) = 180 \text{ cal / g}$ (鐵比熱 $0.12 \text{ cal/g}^\circ\text{C}$)

由冰塊至沸水所需熱量 $80 + 1 \times 100 = 180 \text{ cal / g}$

參、其熱量來源，大致可分為兩種：電能及化學能。所謂電能，即經由電弧所發出之高熱直接熔解廢鐵。而化學能及利用廢鐵中所夾雜之可燃性雜物及廢鐵中所含各種元素經氧化作用所產生之熱能，以及外加之油氧燃燒器提供之熱能。

其熱量之平衡大致如下：



肆、檢討所帶走之熱量中：

- 一、鋼水和爐渣似乎不可避免。
- 二、冷卻水和逸散損失應可視為隨每爐操作時間有關，時間愈短則逸散量愈少。
- 三、最值得注意的就是廢氣排放所帶走之熱量相當可觀，如果能夠加以回收對能源隻節省應大有助益。因此，本實驗就針對回收廢氣中之熱量並避免旋開爐蓋添加廢鐵之動作(此時不但無法送電，而且大量的熱量及煙塵散失)，模擬一種適當的辦法----廢鐵經高溫廢氣之預熱並連續入爐，及其績效。

四．研究設備器材

本實驗因為設備費用的考量上，無法以實際的生產設備來執行，僅以簡易的替代方式來模擬實際的操作：

實驗器材	模擬狀態	理由
冰塊	廢鐵	均為固態，且受熱後熔解
沸水	鋼水	均為液態，鋼水加熱至固定溫度才出爐，而水加熱至沸騰有明顯之反應可觀察的到
鍋子	爐體	外型類似
鍋蓋	集塵口	爐蓋多孔鍋蓋以模擬爐蓋上的集塵口
電碗	電爐加熱設備	以電碗的固定加熱能力(500W)作為標準來測時間
磅秤		量測重量
溫度計		測水溫



五．研究過程或方式

壹、電碗狀況測試及冰塊吸熱計算

- 一、將 1000 公克水(27)於鍋中開始通電加熱至水沸騰為止。
- 二、將 1000 公克冰塊(0)於鍋中開始通電加熱至水沸騰為止。

貳、實驗一

模擬一般電爐之廢鋼熔解過程----

將 1 公斤的冰塊分成 3 份-- 500 公克，300 公克及 200 公克

將 500 公克之冰塊投入鍋中，蓋上鍋蓋，並開始加熱，待冰塊融化煮沸後，關電。

掀開鍋蓋並加入 300 公克之冰塊，再蓋上鍋蓋，並開始加熱，待冰塊融化煮沸後，

關電。掀開鍋蓋並加入 200 公克之冰塊，再蓋上鍋蓋，並開始加熱，待冰塊融化，沸騰為止。各階段均需紀錄下時間。(註：其中兩次關電，加料，再送電，所需時間固定為一分鐘。)



參、實驗二

模擬一般電爐之廢鋼預熱及熔解過程 ----

將 1 公斤的冰塊分成 3 份-- 500 公克，300 公克及 200 公克

將 500 公克之冰塊投入鍋中，蓋上鍋蓋，並開始加熱，同時將 300 公克冰塊裝入另一

鐵鍋並置放於鍋蓋上象徵廢鐵預熱中。待爐中冰塊融化煮沸後，關電，掀開鍋蓋並

加入此 300 公克之冰塊，再蓋上鍋蓋，並開始加熱，另外將 200 公克冰塊裝入另一鐵

鍋並置放於鍋蓋上象徵廢鐵預熱中。待冰塊融化煮沸後，關電，掀開鍋蓋並加入此

200 公克之冰塊，再蓋上鍋蓋，並開始加熱，待冰塊融化，沸騰為止。各階段均需紀

錄下時間。(註：其中兩次關電，加料，再送電，所需時間固定為一分鐘)



肆、實驗三

模擬電爐由空爐開始之部分廢鋼連續預熱及熔解過程 ----

同樣以 1 公斤的冰塊但分成 2 份—各 500 公克。

將 500 公克之冰塊投入鍋中，倒蓋上鍋蓋，並開始加熱。並將其餘之 500 公克之冰塊置於倒蓋之鍋蓋上。一直加熱至冰塊完全融化，滴入鍋中並沸騰為止。紀錄下時間。



伍、實驗四

模擬電爐由預留部分前一爐之鋼水開始之廢鋼連續預熱及熔解過程----

先將 300 公克之水加熱至沸騰(此時鍋蓋倒蓋)後開始計時，並將 1000 公克之冰塊至於鍋蓋上，一直加熱至冰塊完全融化，滴入鍋中並沸騰為止。紀錄下時間。此時鍋中有 1300 公克的水。



六．研究結果

壹、計算冰塊達到室溫前由週遭環境吸熱量

一、1000 公克水通電加熱至煮沸為止

加熱時間：13 '33''

水吸收熱量： $1000 \times 1 \times (100 - 27) = 73000 \text{ cal}$

電碗供應熱量： $500\text{W} \times 13'33'' / 60' \times 860 \text{ cal / WH} = 97108.33 \text{ cal}$

熱效率： $73000 \div 97108.33 = 0.7517 \dots\dots\dots$

二、1000 公克冰塊通電加熱至煮沸為止

加熱時間：30'07''

冰吸收熱量： $1000 \times 80 + 1000 \times 100 = 180000 \text{ cal}$

電碗供應熱量： $500\text{W} \times 30'07'' / 60' \times 860 \text{ cal / WH} = 215716.67 \text{ cal}$

熱效率：180000 ÷ 215716.67 = 0.8344...

由 a 實驗與 b 實驗比較可得知冰塊在達到室溫前由外界吸收熱量為

180000 - 215716.67 × 0.7517 = 17845.78 卡

貳、實驗一

加 500 公克冰塊	切離電源 1'	切離電源 1'	冰塊全部融化
加蓋	掀蓋	掀蓋	並至煮沸
送電至冰塊融化	加 300 公克冰塊	加 200 公克冰塊	
煮沸	加蓋	加蓋	
	送電至冰塊融化	送電	
0'	14' 15"	10' 27"	7' 55"
時間			

加熱時間：14' 15" + 10' 27" + 7' 55" = 32' 37"

供應熱量：500W × 32' 37" / 60' × 860 = 233633.3 cal

冰塊煮沸所需熱量：1000 × 80 + 1000 × 100 = 180000 cal

熱效率：180000 / 233633.3 = 0.7704.....

總耗用時間：32' 37" + 1' + 1' = 34' 37"

參、實驗二

加 500 公克冰塊	切離電源 1'	切離電源 1'	冰塊全部融化
加蓋	掀蓋	掀蓋	並至煮沸
送電至冰塊融化，同時將 300 公克冰塊裝入另外一個鍋中並置於蓋上	加前述 300 公克冰塊	加前述之 200 公克冰塊	
	送電至冰塊融化	加蓋	
	同時將 200 公克冰塊裝入另外一個鍋中並置於蓋上	送電至冰塊融化	
煮沸	煮沸		
0'	12' 02"	10' 18"	6' 50"
時間			

加熱時間：12' 02" + 10' 18" + 6' 50" = 29' 10"

供應熱量：500W × 29' 10" / 60' × 860 + 17845.78 = 226873.78 cal

冰塊煮沸所需熱量：1000 × 80 + 1000 × 100 = 180000 cal

熱效率：180000 ÷ 226873.78 = 0.7934.....

總耗用時間：29' 10" + 1' + 1' = 31' 10"

肆、實驗三

加 500 公克冰塊	冰塊全部融化並至煮沸
加蓋(鍋蓋倒置)	
直接加 500 公克冰塊於鍋蓋上	
送電至冰塊融化煮沸	
0'	27' 50''
時間	

加熱時間 : 27' 50''

供應熱量: $500W \times 27' 50'' / 60' \times 860 + 17845.78 = 217315.58 \text{ cal}$

冰塊煮沸所需熱量: $1000 \times 80 + 1000 \times 100 = 180000 \text{ cal}$

熱效率 : $180000 \div 217315.58 = 0.8283 \dots$

總耗用時間 : 27' 50''

伍、實驗四

加 300 公克沸水	冰塊全部融化並至煮沸
加蓋	
加 1000 公克冰塊於鍋蓋上	
送電至冰塊融化	
0'	24' 50''
時間	

加熱時間: 24' 50''

供應熱量: $500W \times 24' 50'' / 60' \times 860 + 17845.78 = 195815.58 \text{ cal}$

冰塊煮沸所需熱量: $1000 \times 80 + 1000 \times 100 = 180000 \text{ cal}$

熱效率 : $180000 \div 195815.58 = 0.9192 \dots$

總耗用時間 : 24' 50''

七 . 討論

壹、由各實驗所耗用之時間來比較 :

至冰塊全部融化所需時間

	送電時間	停電時間	總計	比例
實驗一	32' 37''	2'	34' 37''	1
實驗二	29' 10''	2'	31' 10''	0.9003
實驗三	27' 50''	0	27' 50''	0.8037
實驗四	24' 50'	0	24' 50'	0.7174

貳、加熱效率分析：

加熱效率

實驗一	0.7158	1
實驗二	0.7943	1.110
實驗三	0.8283	1.157
實驗四	0.9192	1.284

- 一、實驗一所耗用時間最長，其原因不外乎兩次關電，掀蓋，加冰塊，加蓋，送電之“POWER OFF”時間就各佔一分鐘，而且所散失的熱量未能加以利用。
- 二、實驗二係以廢鐵預熱分批次入爐的概念所做的實驗。顯然時間及加熱效率都比實驗一為佳。
- 三、實驗三所耗用時間較實驗一少 6' 47"，扣除實驗一中“POWER OFF”的兩分鐘外，仍有 4' 47" 之節省，想必來自熱氣回收之預熱效果。
- 四、實驗四代表不但利用實驗三的優點以外，更利用了前一爐所殘留之沸水的熱量來充分的預熱全部的冰塊，因此所耗用時間最少。(記住：出爐量仍為 1000 公克，保留 300 公克留作下一爐之用) 時間短代表消耗電力最少而且產量提高。可見加熱過程中所散失之熱量如能充分加以利用，應可有效的降低成本，增加利潤。

八．結論

壹、實驗所模擬狀況與實際電爐煉鋼生產之可能差異：

- 一、因週遭環境溫度下，廢鐵由室溫加熱至熔解(約 1530)過程中，不斷的遭受熱損失，且愈高溫時熱損失愈大。但冰塊在達到室溫的階段則受到外界加熱的現象，而且在加熱至沸騰前之散熱現象也較不嚴重。
對策：控制實驗環境 - 將室內冷氣機設定為 15 ，以減少冰塊與室溫之溫差。
- 二、冰塊顆粒大小所造成因表面積不同之吸熱效果差異。
對策：使用向超商購買之均勻大小顆粒之冰塊。
- 三、電爐爐蓋集塵口為單一開口，且偏於側緣，又因集塵風扇吸引的關係而有相當高的風速。實驗中以多孔的家用電鍋蓋代替之，且熱氣係自然對流而已。
因實驗設備受限，無對策。
- 四、冰塊融化成水而自然滴入鍋中。但因廢鐵預熱後仍為固體，因此連續入爐的方式可要複雜得多。電爐煉鋼業致力於提高產能、降低成本上下了相當大的投資。尤其是在能源的節省上有很大的進步。據說，國外開發了一些新的製程如 SHAFT FURNACE，CONSTEEL，DANARC PLUS ...
等，不外乎都是在加強利用回收廢棄中的熱量，以達到節省能源，提高產量的目的。

貳、由實驗可清楚的發現，廢鐵預熱搭配連續入爐以及適量的保留前一爐之鋼水可以獲得最大的成效—能源節約 28.4%，熔煉時間節省 28.26%。至於如何付諸實現有待業界的努力了。

九．參考資料及其他

- a. 威致鋼鐵公司
- b. 劉禎祥 實用電爐煉鋼 中華民國鑄造學會 編印
- c. 楊寶望教授主編 基礎化學第四章生活中的能源 龍騰文化書局
- d. 陳忠志教授等編輯 基礎物理第七章能量與生活 翰林出版
- e. DANIELI(Italy , Germany , USA , SWEDEN , UK , FRANCE)
- f. ELECTRIC ARC AND LADLE FURNACES
- g. FUCHS VAI

