

經濟部



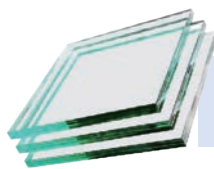
# 玻璃相關產業

## 低碳製程技術彙編

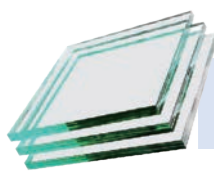
# 玻璃相關產業

## 低碳製程技術彙編

經濟部工業局 編印  
中華民國一〇七年十一月



<b>一、前言</b>	<b>3</b>
<b>二、產業特性與發展趨勢</b>	<b>5</b>
2.1 產業簡介	7
2.2 主要製程特性	7
2.3 未來發展方向及面臨問題	11
<b>三、低碳製程技術及設備</b>	<b>15</b>
3.1 玻璃纖維製程	17
3.1.1 純氧燃燒技術應用於玻纖製程	19
3.2 容器玻璃製程	22
3.2.1 富氧燃燒技術應用於容器玻璃製程	25
3.2.2 低氮氧化物燃燒器技術	28
3.3 平板玻璃製程	29
3.3.1 富氧燃燒技術應用於平板玻璃製程	32
3.3.2 熔爐保溫與熱能回收利用	33
3.3.3 改用節電設備	36
3.3.4 加強錫槽密封效果，避免熱量逸出	38
<b>四、低碳製程技術及設備實務應用案例</b>	<b>41</b>
4.1 玻璃纖維應用案例介紹	43
4.1.1 純氧燃燒熔爐案例介紹	43
4.2 容器玻璃應用案例介紹	49
4.2.1 回收玻璃使用量增加案例	49
4.2.2 低熱散之節能熔爐設計案例	53
4.2.3 容器玻璃輕量化案例	55
4.2.4 徐冷爐之燃燒器更換案例	58
4.3 平板玻璃應用案例介紹	61
4.3.1 移除玻璃熔爐內之爐邊牆液位線冷卻水箱案例	61
4.3.2 蓄熱室設計技術案例	62
4.3.3 節電設備技術案例	63
4.3.4 錫槽密封技術案例	65
4.3.5 富氧燃燒技術案例	66
<b>參考文獻</b>	<b>69</b>
<b>附錄 1、熱態純氧燃燒技術 (HeatOx) [15]</b>	<b>75</b>



### 圖目錄

圖 2.2-1	玻璃製品之一般製造流程	10
圖 3.1-1	玻璃纖維絲與玻璃纖維布製造流程圖	18
圖 3.1-2	玻璃纖維增強絲製造流程圖	19
圖 3.2-1	容器玻璃人工吹製	23
圖 3.2-2	玻璃容器模具成型製造流程	24
圖 3.2.1-1	富氧燃燒形式示意圖	26
圖 3.2.2-1	燃燒器示意圖	28
圖 3.2.2-2	燃燒器安裝示意圖	29
圖 3.3-1	平板玻璃產品種類	30
圖 3.3-2	浮式平板玻璃製造流程	31
圖 3.3-3	浮法平板玻璃熔爐與錫槽內情況	31
圖 3.3.2-1	玻璃熔爐結構與燃燒空氣加熱示意圖	34
圖 3.1.2-2	熔爐 tuck cooler 與邊牆側剖面圖	35
圖 4.1.1-1	玻璃熔爐油槍配置示意圖	44
圖 4.1.1-2	改善前燃燒機分布情形	45
圖 4.1.1-3	改善後燃燒機分布情形	45
圖 4.1.1-4	改善後氧氣設備照片	46
圖 4.1.1-5	改善後氧氣設備照片(a)	46
圖 4.1.1-5	改善後氧氣設備照片(b)	47
圖 4.2.1-1	廢玻璃容器處理場	49
圖 4.2.1-2	廢回收玻璃處理流程圖	50
圖 4.2.2-1	胸牆結構修改	53
圖 4.2.2-2	爐拱結構修改	54
圖 4.2.2-3	蓄熱室結構修改	54
圖 4.2.4-1	徐冷爐天然氣逆止擋板	59
圖 4.3.1-1	玻璃熔爐內之爐邊牆示意圖	61
圖 4.3.2-1	建廠時即設計的蓄熱室結構照片	62
圖 4.3.3-1	改造後系統盤櫃照片	64
圖 4.3.4-1	錫槽密封環照片	65
圖 4.3.5-1	富氧燃燒設備加裝後啟用照片	66
附圖 1-1	玻璃纖維增強絲製造流程圖	77

### 表目錄

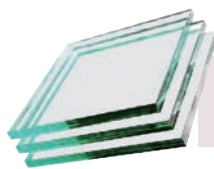
表 2.2-1	玻璃製品之種類與用途	8
表 2.2-2	國內玻璃產業之生產情形	11
表 3.3-1	台玻公司各類產品年碳排放量統計	30
表 3.3-2	台玻公司主要排碳項目統計	32
表 4.1.1-1	空氣燃燒與純氧燃燒相關參數比較表	48
表 4.1.1-2	空氣燃燒與純氧燃燒空污實測排放資料比較表	48
表 4.2.1-1	B 公司容器 a 爐 Batch & Cullet 原料成本差異	51
表 4.2.1-2	B 公司容器 a 爐 Batch & Cullet 燃油成本差異	51
表 4.2.1-3	B 公司容器 a 爐 Flint 玻璃產出生料差異	52
表 4.2.1-4	B 公司容器 b 爐有色玻璃產出生料差異	52
表 4.2.2-1	C 公司容器玻璃廠新舊熔爐設計比較	55
表 4.2.3-1	輕量瓶較重量瓶之優點	56
表 4.2.3-2	輕量瓶的製程需求	57
表 4.2.3-2	輕量瓶的製程需求	58
表 4.2.4-1	E 公司天然氣計量記錄表 (單位: m <sup>3</sup> /月)	60
附表 1-1	ColdOx 與 HeatOx 比較表	78



# 玻璃相關產業

低碳製程技術彙編

## ▶ 一、前言



## 一、前言

《溫室氣體減量及管理法》已於民國 104 年 7 月 1 日總統令公布施行，明定「國家溫室氣體長期減量目標為民國 139 年溫室氣體排放量降為民國 94 年溫室氣體排放量百分之五十以下。」及以 5 年為一期的階段管制目標。同年，行政院核定我國「國家自定預期貢獻」（Intended Nationally Determined Contribution, INDC）書，揭示我國 INDC 設定民國 119 年溫室氣體排放量為依現況發展趨勢推估情境（Business as Usual, BAU）減量 50%，該目標相當於民國 94 年排放量再減 20%，亦為前述溫管法要求的階段性目標「在民國 139 年降至民國 94 年排放量 50% 以下」之重要參考。依據行政院環境保護署「2016 年中華民國國家溫室氣體排放清冊報告」顯示，在民國 79 至 103 年間，工業製程及產品使用部門溫室氣體排放量已增加 62.61%，年平均成長率 2.05%，顯示製造部門之溫室氣體排放量有逐年成長趨勢，預期未來所面臨減碳要求及壓力亦將與日俱增。

經濟部工業局為協助產業落實減碳工作，輔導企業低碳升級轉型與永續發展，規劃推動 4 年期程（民國 106 年～109 年）「製造部門低碳生產推動計畫」，期能協助產業因應日趨劇烈變化的氣候與經營環境，以確保產業競爭力。由於製程技術或設備導入須考量之因素眾多，為協助工廠順利進行低碳製程新技術或設備導入之前期規劃，遂著手辦理「低碳製程技術彙編」，藉由各產業專家所建議低碳製程技術設備之技術介紹及實務案例，以協助企業排除技術篩選之困擾與障礙，順利導入低碳生產製程技術。

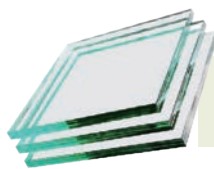
本彙編所收錄之技術設備簡介及技術案例，皆為產業先進經實際應用所得出之寶貴經驗，惟參採時仍須考量個案適用性，包括經濟層面、技術層面及工程層面……等，選用時宜多加評估各方面之可行性。



# 玻璃相關產業

低碳製程技術彙編

## ▶ 二、產業特性與發展趨勢



## 二、產業特性與發展趨勢

### 2.1 產業簡介

我國玻璃及其製品製造業發展至今已有 100 多年歷史，初期主要生產瓶類、燈罩、玻璃杯……等玻璃器皿，民國 40 年中期國內廠商開始有能力生產平板玻璃。民國 53 年成立台灣玻璃公司，並持續引進國外技術合作，帶動其他玻璃公司相繼添購自動化設備，使台灣玻璃產品之質大為精進。

玻璃普通定義係為一種透明之固體物質，在熔融時形成連續網狀之非晶結構，冷卻過程中玻璃黏度隨溫度下降而逐漸增加及硬化，形成一種非結晶狀結構之矽酸鹽為主非金屬材料，廣泛應用於建築物、容器、材料……等方面用途。

隨著我國經濟發展逐步成長，邁入已開發國家之林，國民所得巨幅提升，國民對物質需求相對提高，由玻璃之需求及用途日趨廣泛，可進一步推斷國民所得之成長與產業結構之進步。

### 2.2 主要製程特性

依經濟部統計處分類，我國玻璃產業主要生產的玻璃製品可分為玻璃纖維、玻璃容器、平板玻璃三大類，玻璃纖維多使用於印刷電路板（Printed Circuit Board, PCB）與複合材料（Fiber Reinforced Plastic, FRP）中；玻璃容器則主要使用於承裝液態飲料、食物與化妝品……等產品；平板玻璃主要使用於一般的家具、室內裝潢與隔間，或經再製後作為大樓帷幕牆、汽車車窗或其它特殊用途。彙整玻璃製品之種類與用途如下表 2.2-1 所示。



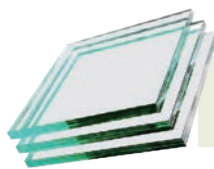


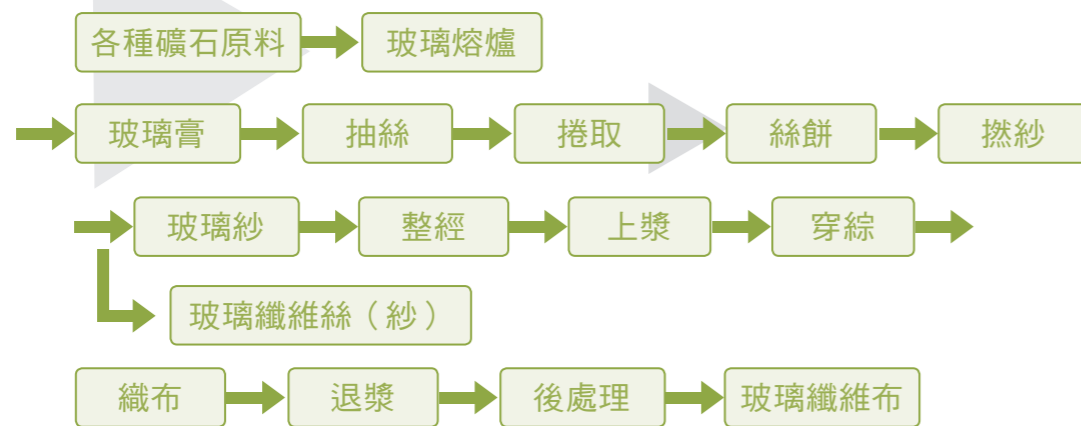
表 2.2-1 玻璃製品之種類與用途

種類	成品	用途
玻璃纖維	玻璃纖維絲	船艇、建材、工業工程、運動器材等複合材料……等
	玻璃纖維布	銅箔基板之基礎材料
玻璃容器	玻璃容器	食品、飲料、酒類、藥品包裝、儲存、保鮮用
	玻璃食器	盛裝飲料、食物、贈品、擺飾、廣告用
	玻璃廚器	廚器、沖茶器、小家電咖啡機用杯
平板玻璃	強化玻璃 膠合玻璃 鍍膜玻璃 節能玻璃 光電玻璃 烤漆玻璃 複層玻璃	建築用窗、門及帷幕、家具、裝飾、衛浴、燈飾、汽車用窗、太陽能光電產品……等

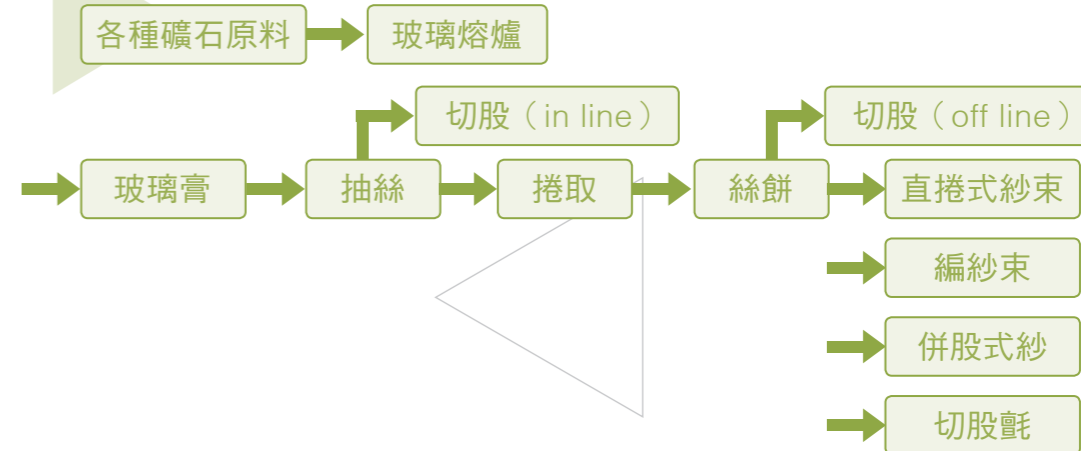
資料來源：台灣玻璃工業股份有限公司網站 [1]  
([http://www.taiwanglass.com/product\\_list.php?sid=193](http://www.taiwanglass.com/product_list.php?sid=193))

玻璃產業各相關產品之一般製造流程如下圖 2.2-1 所示：

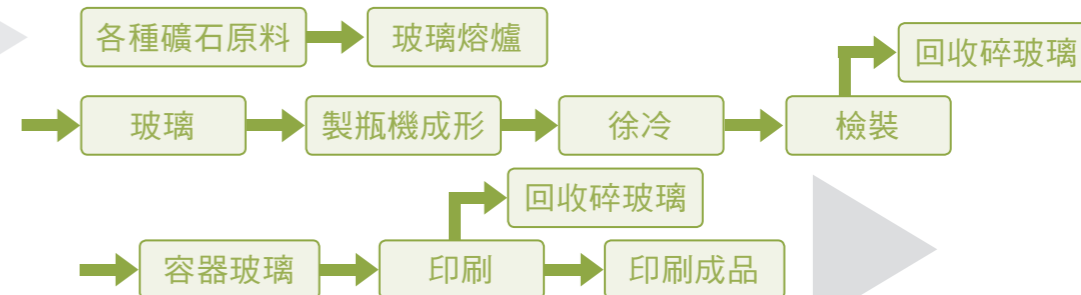
(一) 玻璃纖維絲(紗)及玻璃纖維布



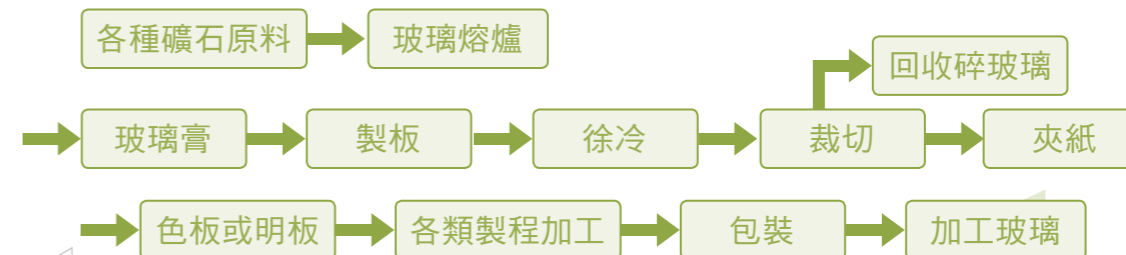
(二) 玻璃纖維強化塑膠用玻璃纖維束



(三) 容器玻璃



(四) 平板玻璃



(五) 壓花玻璃

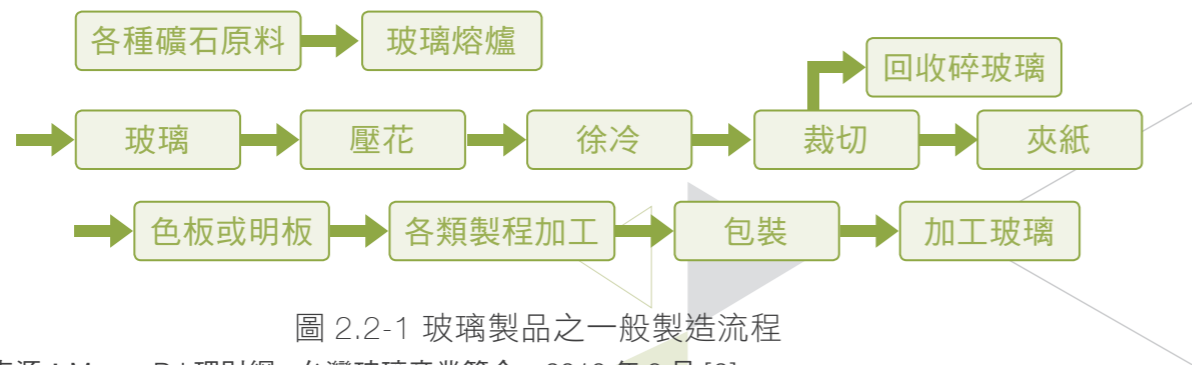


圖 2.2-1 玻璃製品之一般製造流程

資料來源：MoneyDJ 理財網 - 台灣玻璃產業簡介，2010 年 8 月 [2]  
(<https://www.moneydj.com/KMDJ/Report/ReportViewer.aspx?a=7f05966a-1a79-43df-ac98-aea3d26290a8>)

由於近年來國內產業變遷，玻璃產業亦面臨產業升級之壓力與日愈艱難之產業經營環境，必須面對國際及中國大陸之競爭壓力，加以國內勞動成本逐漸升高，環境保護法規日趨嚴謹，玻璃產業已面臨必須改弦更張之發展策略，以因應未來產業環境之挑戰。

依據經濟部統計處工業產銷存動態調查，統計近 7 年生產量及年增率資料，平板玻璃、玻璃容器及其他玻璃製品生產量年增率逐步下降；惟因電動車及相關電子產業需求增加，帶動玻璃纖維整體產業提升，統計結果彙整如表 2.2-2 所示。

表 2.2-2 國內玻璃產業之生產情形

年度及項目	平板玻璃 (公噸)		玻璃容器 (千元)		玻璃纖維 (含棉、紗、紗束、切股、切股氈) (公噸)		其他玻璃製品 (千元)	
	生產量	生產量年增率 (%)	生產量	生產量年增率 (%)	生產量	生產量年增率 (%)	生產量	生產量年增率 (%)
2011 年	476,884	0.62	10,993,847	11.25	267,325	18.06	16,505,363	10.98
2012 年	402,017	-15.70	10,764,813	-2.08	266,264	-0.40	15,138,578	-8.28
2013 年	404,835	0.70	10,465,478	-2.78	252,941	-5.00	14,155,594	-6.49
2014 年	393,099	-2.90	10,502,793	0.36	258,848	2.34	14,080,823	-0.53
2015 年	393,511	0.10	10,111,114	-3.73	273,087	5.50	13,728,355	-2.50
2016 年	379,131	-3.65	9,986,020	-1.24	278,903	2.13	11,778,679	-14.20
2017 年	342,124	-9.76	9,875,744	-1.10	267,973	-3.92	10,327,968	-12.32

資料來源：經濟部統計處，工業產銷存動態調查，2017[3]

因此玻璃產業必須從提昇自我之體質，加強節能減碳之生產製程，強化行銷通路，掌握產品研發之方向與人才之培育，充分了解國際產業環境及優勢，方能突破現況持續成長。而玻璃產業之轉型及多角化經營益形重要，提升研發新產品及走向高附加價值產品成為我國玻璃產業再發展之必要條件。

### 2.3 未來發展方向及面臨問題

國內玻璃產業面對經營環境之變遷，經營策略上應有之考量：

1. 國內玻璃產業之競爭優勢在於品質管理能力與加工技術，能夠生產高附加價值之產品來擴大市場銷售，並且加強上中下游分工合作使得產品品質能夠全面提升，增加產業競爭力；

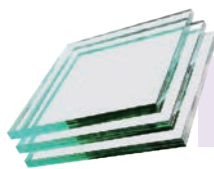




# 玻璃相關產業

低碳製程技術彙編

## ▶ 三、低碳製程技術及設備



## 三、低碳製程技術及設備

### 3.1 玻璃纖維製程

玻璃纖維是將原料經高溫熔解後，拉製成非常細小的絲，再將幾百條的絲集束成紗，成為玻璃纖維紗；玻璃纖維是一種性能優異的無機非金屬材料，較有機纖維具有耐溫高、不燃、抗腐、隔熱、隔音性好、抗拉强度高、電絕緣性好……等性質，是工業級過濾材料，並可作為防腐、防潮、隔熱、隔音、減震材料，還可作強化材料，用來製造強化塑膠或強化橡膠，如應用在印刷電路板上。

玻璃纖維紗應用的涵蓋範圍較廣，依下游應用領域又分為：

- A. 強化塑膠用玻璃纖維紗（FRP），可當成補強材料（Reinforcement）。
- B. 電子級玻璃纖維紗用於製造玻璃纖維布，為銅箔基板的必備原料，並為充實絕緣材料（Insulation），作為樹脂的骨幹，擔負起全板的強度與搭載零件的支撐材料。

#### 1. 玻璃纖維紗 / 布（製造流程如圖 3.1-1）：

玻璃纖維紗生產以單纖直徑區分為：G（ $9\mu\text{m}$ ）、E（ $7\mu\text{m}$ ）、D（ $5\mu\text{m}$ ）、BC（ $4\mu\text{m}$ ）等系列玻纖紗；玻纖布則依厚度，主要區分為厚布與薄布，另有超薄布或特殊規格等布種，目前布種有 #7628、#2116、#1080、#106、#1037、#1027 等系列。厚布主要應用於單、雙面 PCB 上，薄布及超薄布則主要用於多層板上，以因應電子產品走向輕薄短小、多功能、高速及高頻化的發展趨勢。

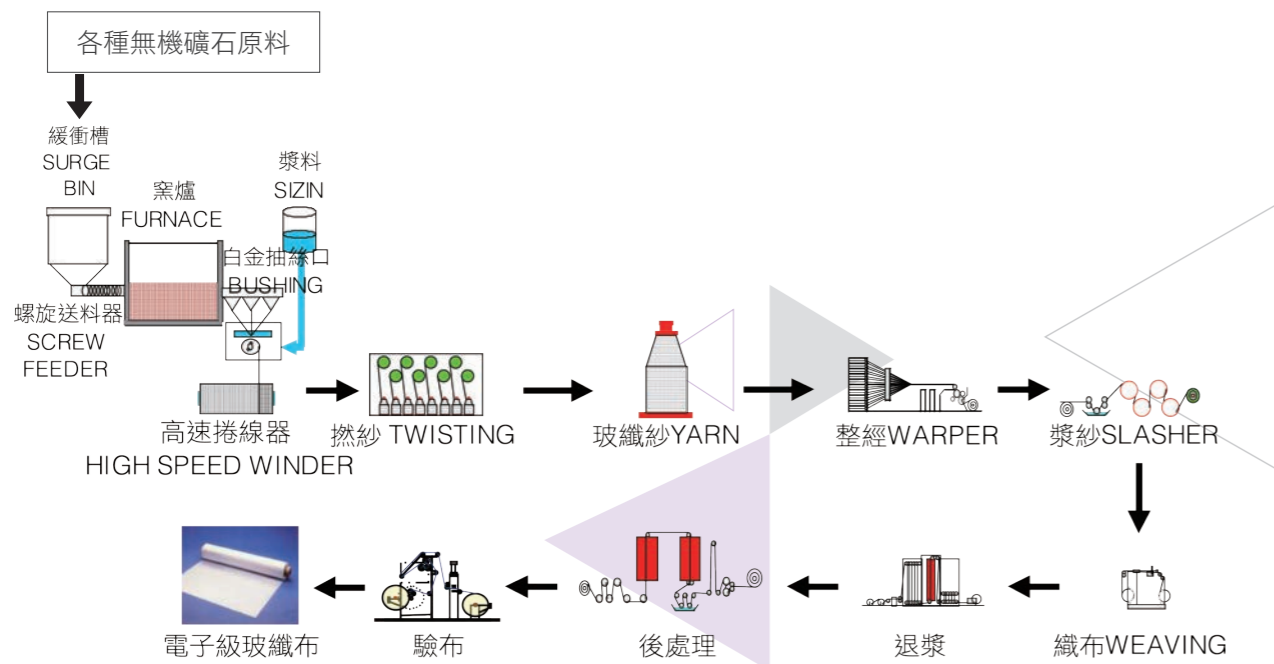


圖 3.1-1 玻璃纖維絲與玻璃纖維布製造流程圖

資料來源：T 公司，2018 年 8 月。

## 2. FRP 用玻璃纖維增強絲用途（製造流程如圖 3.1-2）：

FRP 產業，利用玻璃纖維增強絲來強化塑膠材料，應用層面包括：船體類、營建類、耐腐蝕工程類、運動器材類、電子電器類、運輸工具類、航太軍事類等。目前 FRP 用玻璃纖維增強絲產品有切股氈（MAT）、併股紗束（CR）、直捲紗束（DR）、編紗束（WR）、切股（CS/O-CS）。玻璃纖維增強絲的優異性為耐衝擊强度高、電氣絕緣性佳，是 FRP 產業中最廣泛使用之材料。

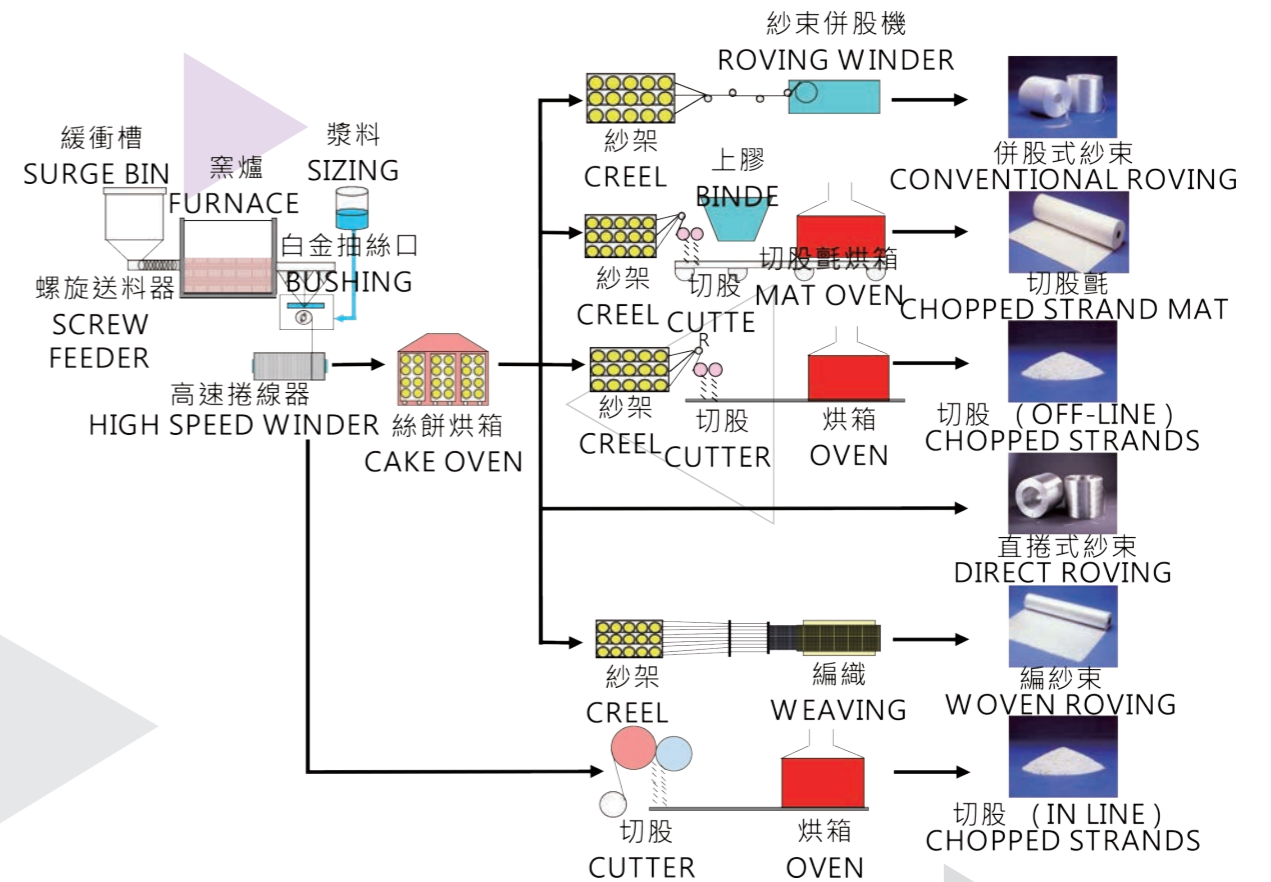


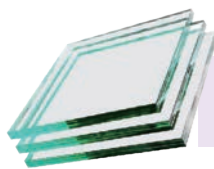
圖 3.1-2 玻璃纖維增強絲製造流程圖

資料來源：T 公司，2018 年 8 月。

### 3.1.1 純氧燃燒技術應用於玻纖製程

#### 1. 技術應用原理

純氧燃燒是一種氧化反應，即燃料（天然氣、液化石油氣、柴油、重油……等）與氧氣在高溫下發生劇烈的氧化反應而發光發熱。任何燃燒過程都包括三個要素—燃料、氧氣及高溫，傳統空氣燃燒就是利用空氣中 21% 的氧氣來進行助燃，但是空氣中約 79% 的氮氣在高溫下也會部分與氧氣發生氧化反應產生大量有害物質 NO<sub>x</sub>，空氣燃燒產生的廢氣量較大，79% 的氮氣也會加熱至高溫，帶走部分熱量，因此空氣燃燒的熱效率較低，且浪費能源污染大氣。由此可見提高助燃氣體中氧氣的濃度是提高燃燒效率的關鍵措施。隨著工業化的技術進步，從空氣中分離氧氣的技術日漸成熟，不但製得氧氣的濃度越來越高，而且製氧的成本



也在不斷降低，這就為純氧燃燒創造了有利的工業化基礎。使用純度大於 91% 的氧氣，按照一定的氧 / 燃比與燃料混合燃燒，純氧燃燒技術應運而生。相比空氣助燃技術，純氧燃燒技術具有火焰溫度高、熱量傳導快、燃燒效率高、廢氣排放少……等節能環保的優良特點。

目前玻璃纖維工業發展面對兩大問題：一是能源價格波動；二是廢氣排放標準逐漸加嚴。同時玻璃纖維生產也是能耗與排放大戶，因此純氧燃燒技術的出現讓大家找到了解決問題的有效方法，同時再結合玻璃配方的改進、電助熔技術……等新技術，不僅可以實現節能減排、顯著提高玻璃質量，並且可以降低配合料成本、提高熔爐產能、改善玻璃質量、節能降耗、減少生產成本，為企業取得良好經濟效益的有效措施；同時還能極大限度地減少廢氣排放，降低對環境的污染，有效地保護了我們的生態環境。所以無論從企業經濟效益的角度還是從社會責任感的角度來衡量，純氧燃燒技術都是玻纖製程最理想的節能減碳技術，也是極具潛力之發展趨勢。

## 2. 技術特點與優勢

根據純氧燃燒技術的發展和實際應用情況，玻璃纖維熔爐上純氧燃燒一般值採用純度大於 91% 的氧氣作為助燃介質的燃燒，它相對於傳統空氣助燃主要有以下燃燒特點：

### (1) 熱效率高，提高熔化率

由於純氧燃燒減少的氮氣等於不參與燃燒的氣體含量，因此氣體吸收的熱量比普通燃燒時要少，從而使火焰溫度較普通燃燒時要高，且火焰傳播速度快，輻射係數大，對玻璃液輻射加強，即為對玻璃液的傳熱量增加，熱效率高，熔化率增大。

由於廢氣量的減少，熔爐火焰空間熱點向投料口方向移動，可以加速配合料熔化。同時純氧燃燒火焰波長短，對玻璃的穿透性很好，池深

方向溫度梯度小，可提高熔爐熔化率，加強玻璃液的澄清均質化，提高玻璃液的產量和品質，最大可提高熔爐熔化能力 20% 左右。

### (2) 廢氣量小，節能減排

用純氧代替空氣助燃，可適當降低過量空氣係數，減少排氣體積。在普通空氣助燃的情況下，占助燃空氣近 4/5 體積的氮氣並沒參加燃燒反應，並且在燃燒過程中被同時加熱，帶走大量的熱量。純氧燃燒廢氣排放量減少 60% 以上，既減少了氮氣進入的動力，又大大減少廢氣帶出的熱量。廢氣中 NO<sub>x</sub> 也下降 80% ~ 90%，相應減少原料揮發，所以 SO<sub>x</sub> 和氟化物排放量可下降 20%，亦相對節省配合料。

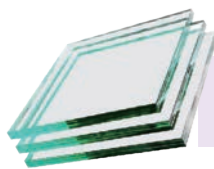
同時由於廢氣量大幅減少，燃燒產生的煙氣在熔爐中停留的時間也有所增加，這就延長了熱交換的時間，提高了熱傳導的效率，因此純氧燃燒帶來明顯地節能減排的效果。

## 3. 應考慮因素與限制

### (1) 玻纖純氧燃燒熔爐

由於纖維玻璃相對普通平板、器皿玻璃而言，熔化溫度較高，玻璃液的熔化品質和穩定性要求較高，因此熔解均採用具有較大長寬比的單元爐型，燃料多採用重油、天然氣等燃料，同時對耐火材料的要求也較高。由於採用純氧燃燒技術後，熔爐的空間溫度提高，火焰的熱輻射能力增加，因此選用熔爐及通路的耐火材料時應注意這一特點。熔爐及通路中與玻璃液接觸的熔爐、池底耐火材料與採用空氣燃燒的熔爐相差不多，但是熔爐的鍍頂磚、胸牆磚需要選擇具有優良抗高溫蠕變性和耐熱震性好的電熔莫來石磚，垂直煙道選用電熔鋁剛玉磚；同時全爐採用良好的保溫層，以提高保溫節能效果。

為了更好地發揮純氧燃燒技術的特點，提高玻璃纖維的生產品質，純氧燃燒熔爐一般還會配套設置其他技術手段來達到最佳的綜合熔解狀



態，相關技術如採用電助熔進一步提高熱效率、採用鼓泡器促進爐內玻璃液更加合理的流動，以獲取更高品質的玻璃液……等。當前綜合先進的燃燒熔解技術可使玻璃熔化熱效率超過 40%。

### (2) 氧氣的來源

純氧燃燒對氧氣的濃度要求需要達到 91% 以上，由於使用液氧的成本較高，因此大部分玻璃生產線都是採用自建製氧場或者購買管道氧氣來解決氧氣來源問題，同時在廠區設置液氧儲罐儲存液氧作為備用，如此即可排除在製氧場檢修或者故障時，仍能向熔爐供應助燃氧氣之問題。

### (3) 純氧燃燒系統的組成

由於純氧燃燒是氧氣與燃料直接混合燃燒，燃燒速度快，火焰溫度高，因此要實現最佳穩定的燃燒狀態就需要完善的系統和精密的控制來分別調節燃料與氧氣的壓力與流量。

符合要求的燃料、氧氣進入玻璃熔爐，經過濾、調壓後，按燃燒工藝要求，分別供給熔爐兩側的燃燒器，混合後進行燃燒。燃料量與爐內火焰空間控制點的溫度連鎖，隨著溫度的變化，由精密流量調節閥自動調節熔爐每支槍的燃料量，相應的氧氣量也由精密流量調節閥按比例調節，保證燃燒充分。在燃料系統中需設置流量計、調壓穩壓閥、快速切斷閥、精密流量調節閥以及各參量變送器……等，以保證系統安全穩定供應燃料及燃燒完整性。

## 3.2 容器玻璃製程

容器玻璃泛指玻璃材質的各種瓶、杯、罐、器皿……等，大部分的容器玻璃為鈉鈣矽玻璃（soda-limesilicate glass），包括主要成分為二氧化矽（ $\text{SiO}_2$ ）、氧化鈉（ $\text{Na}_2\text{O}$ ）以及氧化鈣（ $\text{CaO}$ ）及其他添加物，故以稱之。玻璃具有絕佳之透明度，且在日常環境中呈化學惰性，較不會

與內容物起反應作用，封裝後能在長時間保存原物風味，此外，玻璃容器因可漸進加熱至烹調溫度，而不致產生變形與質變，故廣泛使用於料理廚具之運用，終端應用市場包括製酒、食品、藥品、乳品、家電……等產業；玻璃容器的製造方式一般分為兩種，分別為人工吹製及模具壓製。

A. 人工吹製：玻璃容器原料進到高溫熔爐後，變成液態的玻璃膏，以人工吹製的方式將玻璃膏吹成所需容器的形狀，如圖 3.2-1 所示，由於是以人工的方式生產，此種方式的產量較低。



圖 3.2-1 容器玻璃人工吹製

資料來源：春池玻璃，吳子龍廠長提供，2018 年 7 月

B. 模具壓製：玻璃容器原料進到高溫熔爐後，變成液態的玻璃膏，以模具將玻璃膏壓製成各種不同的容器，此種方式可自動化生產，產量大，其製造流程如圖 3.2-2 所示。



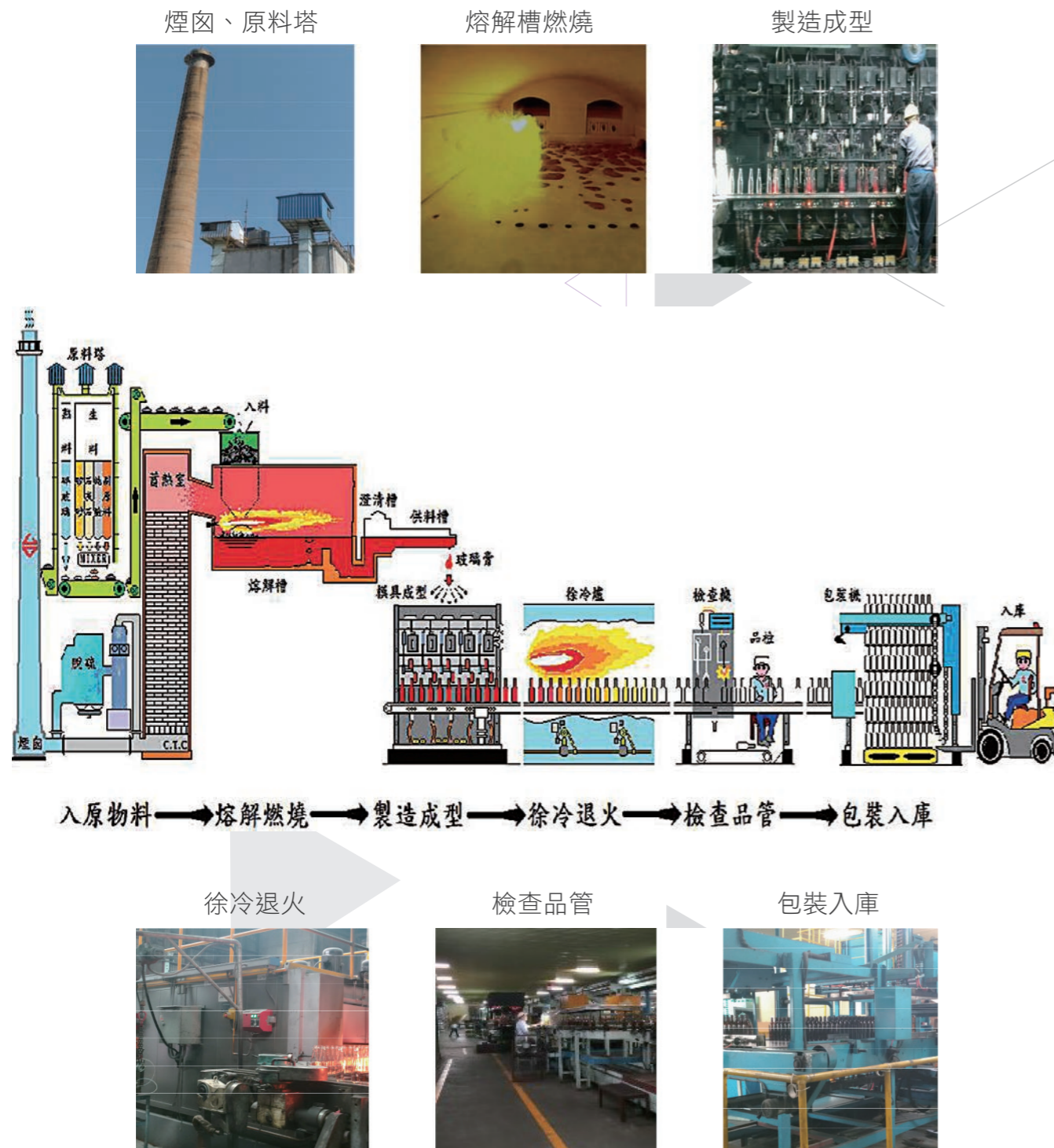


圖 3.2-2 玻璃容器模具成型製造流程

資料來源：圖周宗慶繪製，照片 A 公司廠區拍攝，2018 年 8 月

### 3.2.1 富氧燃燒技術應用於容器玻璃製程

#### 1. 技術應用原理

定義上，燃燒助燃空氣之含氧量大於 20.93% 稱之為富氧燃燒，火焰溫度會隨著助燃空氣的含氧濃度增加而提升；當含氧濃度小於 30% 時，火焰升溫梯度依隨氧濃度上升而急速增加，但當含氧濃度大於 30% 時，火焰溫度增溫曲線斜率就趨緩，因此富氧燃燒應將氧濃度控制在 30% 以下為宜。

富氧燃燒主要是應用於於玻璃業、鋼鐵業、熔爐業、熔鋁業、焚化爐業……等需要極高溫的產業，在玻璃行業中使用平均節油率為 7% ~ 15%[4]。於容器玻璃之製程上，富氧燃燒主要應用於玻璃熔解熔爐，其作法為在燃燒器上方或側邊加裝氧氣槍，將氧氣導入玻璃熔爐內，使玻璃液面附近形成一層富氧層，進而提升火焰溫度，有助於液面表層原料的熔解，再者，玻璃液面表層溫度的增加，可提高玻璃熔液內上、下層的溫度梯度，增加玻璃熔液內的熱對流強化熱傳效果，進而提高熔解速率增加產能；由於富氧燃燒可將熔爐內液面表層溫度局部增加，故無需將整個熔爐都升溫達到熔解溫度，因此爐內的空間溫度，相對於傳統形式的空氣助燃較低，可使耐火磚材較不易受損，對於延長熔爐的使用年限亦有所幫助。

#### 2. 技術特點與優勢

富氧燃燒的形式依氧氣的供給方式不同，大致可分為四大種類，分別為 a. 富氧燃燒 (Air enrichment)、b. 氧氣噴槍 (O<sub>2</sub> lancing)、c. 純氧燃燒 (Oxygen-fuel combustion, OFC)、d. 空氣-氧氣燃燒 (Air-oxygen/Fuel combustion) [5]，各類特點分述如下：

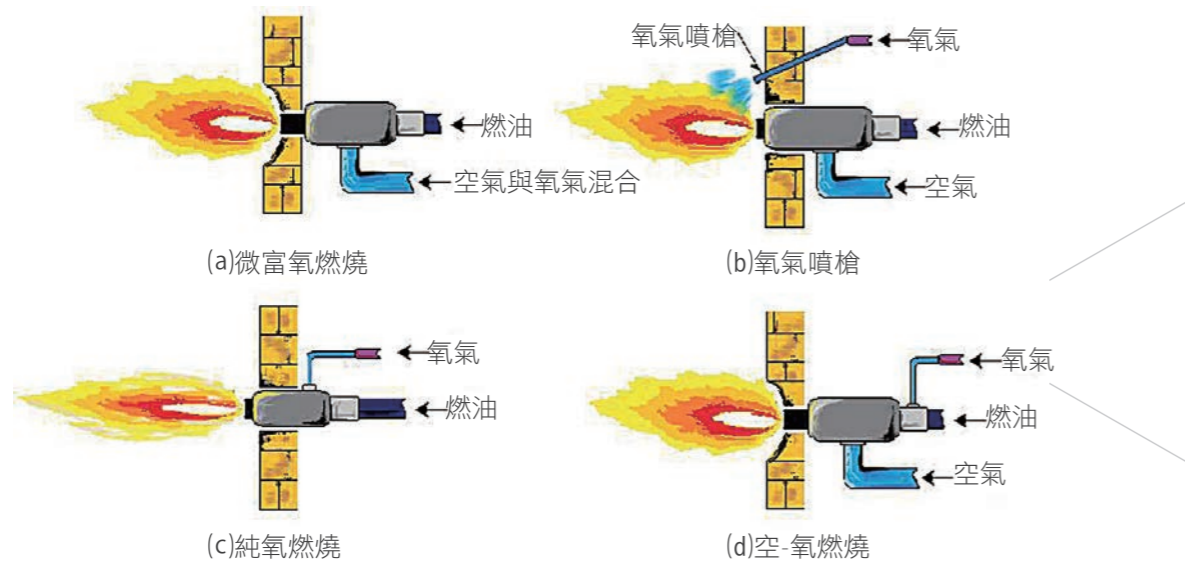


圖 3.2.1-1 富氧燃燒形式示意圖

資料來源：周宗慶繪製，2018 年 7 月

### (1) 微富氧燃燒

如圖 3.2.1-1 (a)所示，將氧氣和空氣直接先行混合後，讓助燃空氣呈現微富氧態，再進入燃燒噴槍 (Burner) 內與燃油混合進行燃燒；現有的燃燒系統只需要改變助燃空氣 (2<sup>nd</sup> Air) 系統，即可有富氧燃燒特性的優點，唯氧濃度過高時會使燃燒噴槍嘴熔融損壞，也會使熔爐內高溫帶 (Hot Spot) 位置前移，影響熔爐內玻璃對流改變；因此，無法增加較多的氧氣燃燒，所以效果有限，故不建議此種形式之富氧燃燒。

### (2) 氧氣噴槍

如圖 3.2.1-1 (b)所示，另裝設氧氣噴槍於熔爐上，增加爐內之含氧量形成富氧，現有的燃燒系統設備上僅需於熔爐鑽孔，並增加氧氣噴槍及氧氣供應儲存槽與相關系統之管線配置，改裝成本較低。

### (3) 純氧燃燒

如圖 3.2.1-1 (c)所示，捨去助燃空氣直接以氧氣燃燒，基於安全考，

氧氣和燃 分支不同管線，而於燃燒器噴嘴混合後，進行燃燒，其優點在於可降低 NO<sub>x</sub> 排放 及需極高溫的作業環境使用，缺點為熔爐內之耐火磚材易因高溫受損，而縮短使用年限，增加玻璃生產成本。

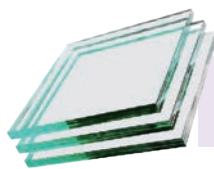
### (4) 空氣 - 氧氣燃燒

如圖 3.2.1-1 (d)所示，助燃空氣與氧氣同時進入燃燒氣混合供應燃油燃燒，較微富氧燃燒而言，因為可分別控制助燃空氣與氧氣供給流量，更易調整火焰長短控制熔爐內氧化還原氣氛，達到熔爐內所需要的溫度需求與分布。

## 3. 應考慮因素與限制

富氧燃燒具備增加燃燒效率、降低整體污染排放、增加輻射熱通量、改善火焰穩定性與熱傳效果、提升生產效率、降低排氣量與提升火焰溫度……等幾項特點 [5]，分述如下：

- (1) 增加燃燒效率：增加氧氣進而減少空氣用量，熔爐總排氣量降低，減少排氣熱損失 (heat loss)。
- (2) 降低整體污染排放：因總助燃空氣量減少，可有效降低 NO<sub>x</sub>、CO<sub>x</sub> 與碳氫化合物等排放總量。
- (3) 增加輻射熱通量：助燃空氣中氧濃度比例增加，使得排氣中 CO<sub>2</sub> 濃度相對增高，而熔爐中燃燒的氣體輻射主要來自於 CO<sub>2</sub>，進而增加了輻射熱通量。
- (4) 改善火焰穩定性與熱傳效果：當氧氣濃度增加，相對惰性氣體濃度減少，而使燃燒火焰更穩定與提升溫度的效果，使熔爐內的熱傳效果更佳。
- (5) 提升生產效率：在同量的燃料使用下，富氧可使燃燒熱增加，火焰溫度提高，增加熱傳效率提升產量。
- (6) 降低排氣量：純氧燃燒比一般空氣燃燒，可減少約 75% 的排氣量，並



降低排氣熱損失，富氧燃燒亦有相當的效果。

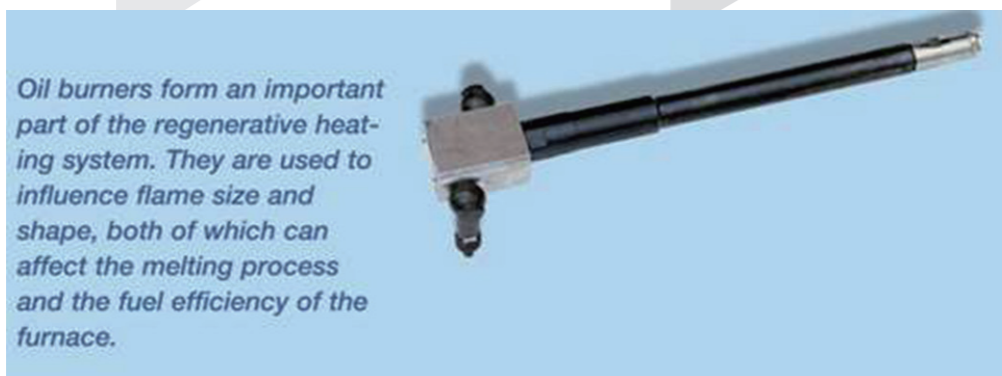
(7)提升火焰溫度：一般空氣燃燒絕熱火焰溫度 (adiabatic flame temperature) 約 1,950°C，純氧燃燒絕熱火焰溫度則可高達 2,800°C。

雖然富氧燃燒具有節約能源、低污染、減少排氣量、提升產能……等諸多效，但在特殊玻璃生產上仍有需克服之處，如：棕色 (Amber) 玻璃生產，熔爐內氣氛需較具還原性，富氧燃燒的熔爐內，易使玻璃反應偏氧化，形成硫泡及顏色偏淡的效應；再者，以目前製氧成本仍然偏高的情況下，在容器玻璃薄利產銷中，增加相對比重較大的營運成本負擔，能將製氧成本降低，則富氧燃燒就具有市場競爭。

### 3.2.2 低氮氧化物燃燒器技術

#### 1. 技術應用原理

此型式燃燒器 (Burner) 以 SORG (德國玻璃公司) 之 SORG NL5 形式為例 (如圖 3.2.2-1)，其特點是當重油離開重油噴嘴時，重油是中心唯一流體，四周是壓縮空氣流體，因重油和壓縮空氣間的速度差，將重油流體打散增加重油的霧化效果，進而細粒化重油分子，增加重油分子與助燃空氣的接觸面積。經由燃油與空氣噴嘴組合，及油和霧化空氣量的適當比例調整，可以得到 NO<sub>x</sub> 生成量最小的輻射火焰。



*Oil burners form an important part of the regenerative heating system. They are used to influence flame size and shape, both of which can affect the melting process and the fuel efficiency of the furnace.*

圖 3.2.2-1 燃燒器示意圖

資料來源：SORG (德國玻璃公司) 型錄

燃燒器噴嘴依使用需求，其型號有長、短的區別，短的噴嘴形成火焰的短、寬，用於小型熔爐，而長形噴嘴生產的火焰長、窄，適宜於大型熔爐；其配備有可調整的支架、撓性的燃油及空氣軟管、截止閥 (如圖 3.2.2-2)。

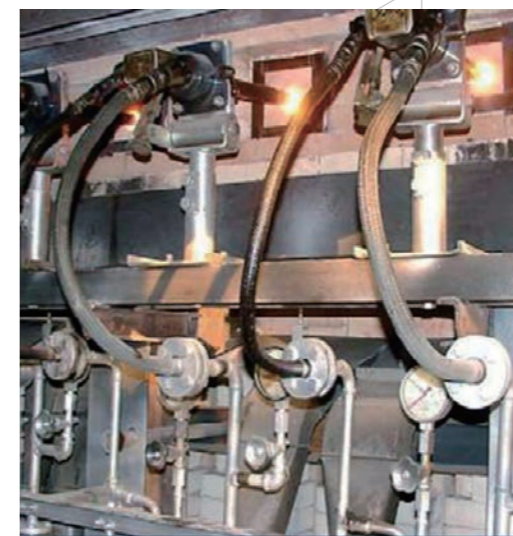


圖 3.2.2-2 燃燒器安裝示意圖

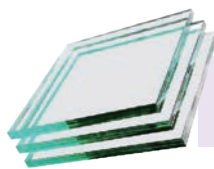
資料來源：SORG (德國玻璃公司) 型錄

#### 2. 技術特點與優勢

低氮氧化物燃燒器的優點為：a. 噴嘴燃燒時，純的壓縮空氣作為霧化劑，適用於多種形式的燃燒狀況。b. 採用適當的燃油噴嘴直徑和霧化空氣量，依燃燒需求可以得到短而尖或長而鈍的火焰。c. 由於低 NO<sub>x</sub> 的設計降低助燃空氣的使用，因而可以減少油耗，達到減少碳排放的效果。

### 3.3 平板玻璃製程

平板玻璃為各種平面玻璃製品的原材料，加工後可製成建築用的門、窗，家具用的桌子、鏡子，汽車用的玻璃，顯示器用的保護蓋板，其終端產品及用途非常的多樣化。



平板玻璃在玻璃產業中屬於大產能產品，以台灣玻璃工業股份有限公司為例，在台灣的平板玻璃產品年產量佔集團四成以上，因此年碳排放量也是最大的，2017 年台玻各類產品年碳排放量統計如下表 3.3-1。

表 3.3-1 台玻公司各類產品年碳排放量統計

產品別	平板玻璃	玻璃纖維	玻璃容器
年排碳量 (噸 CO <sub>2</sub> e)	334,034	273,765	167,011
占比	43.11%	35.33%	21.56%

資料來源：2017 年台灣玻璃 CSR 報告書，2017 年 4 月 [6]

平板玻璃是將原料（矽砂、純鹼、白雲石、石灰石……等）均勻混合後送進 1,600°C 的熔爐，利用高溫將原料熔解成玻璃膏，再往下游流入錫槽，懸浮在錫液上的玻璃膏利用拉邊機拉製成所需的厚度及寬度，形成平板狀的玻璃，經過退火後，在收片區切成所需的尺寸收板入庫。平板玻璃經不同加工程序，可產製不同用途之產品，其相關產品如圖 3.3-1 所示。



圖 3.3-1 平板玻璃產品種類

從浮式平板玻璃製造流程（如圖 3.3-2）來看，在熔爐與錫槽階段需燃燒大量燃料，如重油或天然氣，及使用電能驅動風車與加熱設備，也是能源使用量最多的區域，熔爐與錫槽內部情況參見圖 3.3-3。

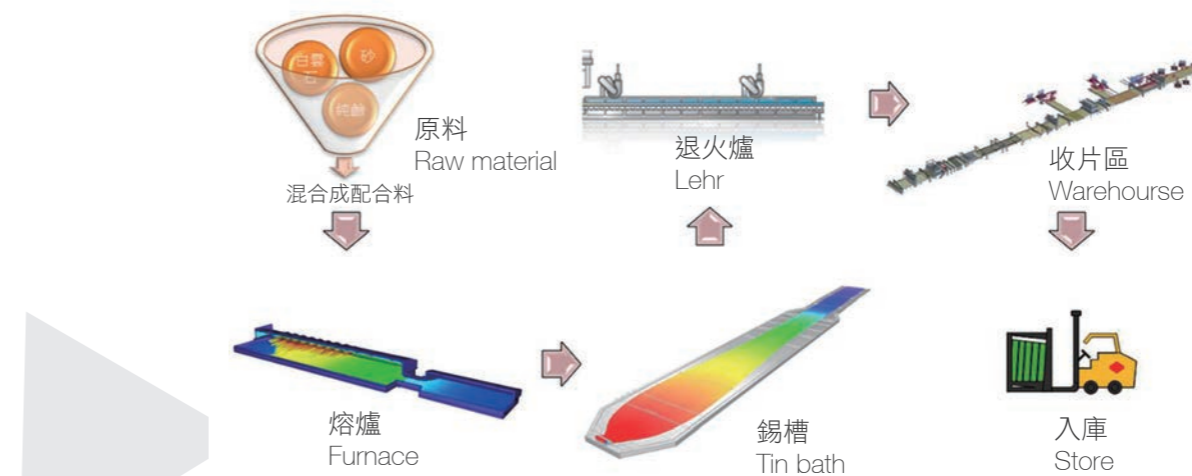
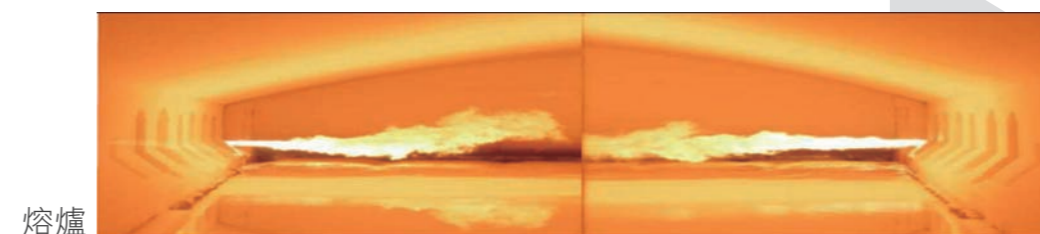
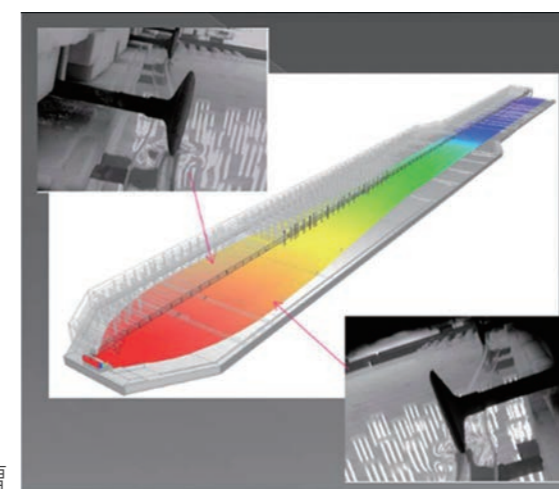


圖 3.3-2 浮式平板玻璃製造流程

資料來源：台玻公司台中廠平板研發部賴志嘉繪，2018 年 7 月。



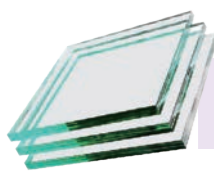
熔爐



錫槽

圖 3.3-3 浮法平板玻璃熔爐與錫槽內情況

資料來源：台玻公司台中廠熔爐課攝、Pilkington 資料照片，賴志嘉匯整，2018 年 7 月。



浮式平板玻璃生產製程中，最主要的碳排放來源就是能源使用，從原料中所排放的碳僅佔 18%，主要排碳項目占比如下表 3.3-2。

表 3.3-2 台玻公司主要排碳項目統計

主要排碳元素	燃料	原料	電力
占比	64.60%	17.92%	16.98%

資料來源：2017 年台灣玻璃台中廠溫室氣體報告書，2017 年 4 月 [7]

因此在平板玻璃製程中，從熔爐與錫槽這兩處著手節省燃料與電力用量是最有效率的節能減碳方式。

### 3.3.1 富氧燃燒技術應用於平板玻璃製程

#### 1. 技術應用原理

燃燒是燃料與氧氣進行反應並釋放出光和熱的過程。所謂富氧助燃就是採用比常規空氣含氧量高的空氣參與燃料的燃燒，讓原先燃燒不充分的缺陷位置變為充分燃燒，從而帶動整個燃燒環境的改變。

大多數工業加熱製程需要大量能量，而通常能量的來源是藉由碳氫燃料燃燒過後產生。常見的碳氫燃料包含：天然氣、燃油、煤炭……等，在燃燒過程中燃料必須搭配空氣作為氧化劑，當採用比一般空氣中氧氣含量更高的比例（即氧濃度超過 21% 以上）時，將可獲得更劇烈的燃燒反應，此種燃燒手段稱為富氧燃燒（oxygen-enriched combustion）。[8]

#### 2. 技術特點與優勢

空氣與氧氣燃燒技術是將空氣與氧氣同時供應至燃燒器中，可操作在較高的氧氣濃度下，且氧氣成本又比純氧低；微富氧燃燒技術必須將空氣與氧氣事先進行混合，使氧氣濃度約為 30% 左右，其優點在於鍋爐爐體與燃燒機結構、材質無須特別進行改造，且相較於前述種技術，富氧燃燒技術之氧氣消耗量低，製氧成本較低，並可提高系統節能效率，故一般蒸汽鍋爐皆可適用，使用條件較不受限，富氧燃燒技術平均節能

率為 6 ~ 20%。

目前富氧燃燒技術較常見者為微富氧燃燒，其具有多數傳統燃燒機皆可採用、設備不會有損毀問題、以及氧氣成本花費較少等優點。富氧燃燒技術可適用於各種加熱工業製程中，包含：玻璃業、造紙業、石化業、水泥業及發電業等。

此項技術具有可提高火焰溫度、加快燃燒速度、降低污染等特點。由於注入氧氣可減少燃燒空氣的使用，故在環保方面，具有減少廢氣排放量的效果。

#### 3. 應考慮因素與限制

早期富氧燃燒技術常應用於玻璃業，主要原因在於富氧燃燒具備快速升溫、產生高溫環境與具有高度節能效果，故備受肯定。然而對於玻璃業來說富氧燃燒效益僅在高產能時能發揮，近年因市場因素，產能較低，使節能效益較無法彰顯。

### 3.3.2 熔爐保溫與熱能回收利用

#### 1. 技術應用原理

玻璃熔爐是用來熔解原料的區域，熔解所需的熱能由燃燒器輸出後直接提供進熔爐內，所以熔爐體的保溫效果越好，就能將更多的熱能保留在內部，熔解更多原料。

根據理論估算，熔爐體結構所散失的熱能約佔整體供熱的 31.9%，熔爐結構剖面圖如下圖 3.3.2-1 所示。

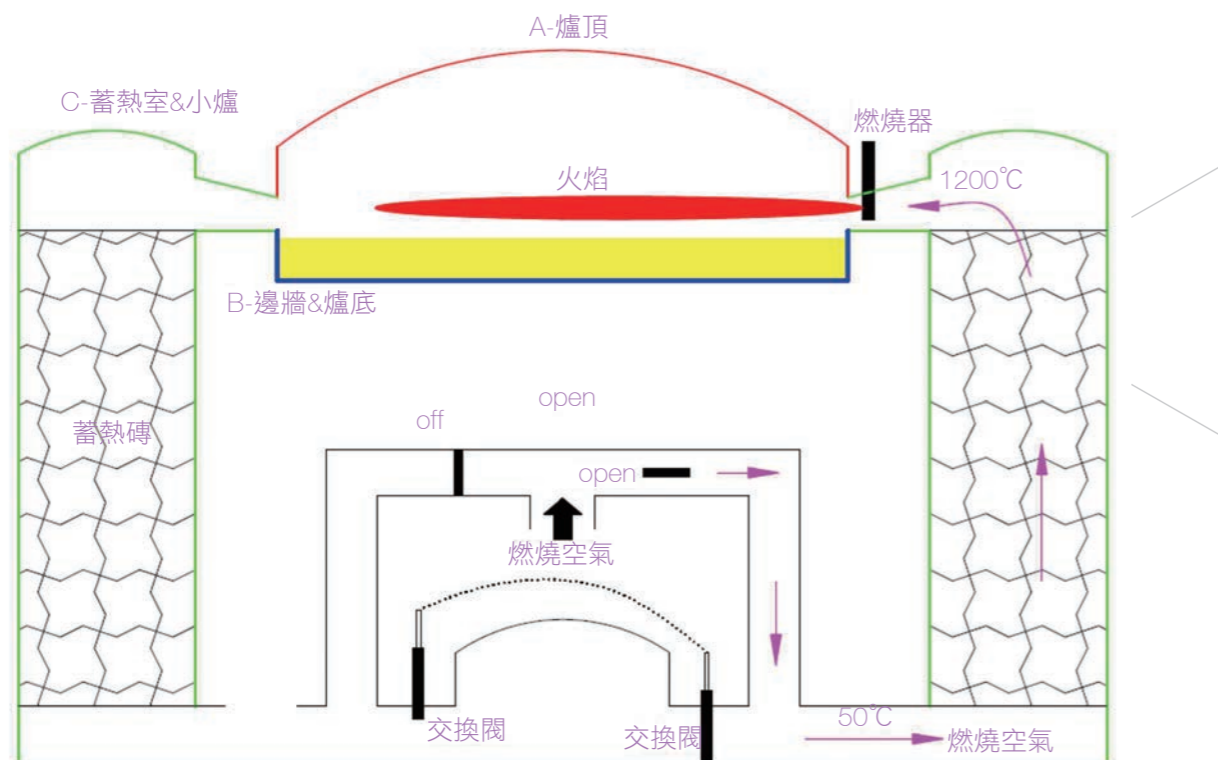


圖 3.3.2-1 玻璃熔爐結構與燃燒空氣加熱示意圖

資料來源：台玻公司台中廠平板研發部賴志嘉繪，2018 年 7 月。

由上圖可知，熱量經由燃燒器進入熔爐後，會從紅藍綠色的輪廓線不斷的散出，熔爐內各散熱區域說明如下：

- A. 爐頂 (crown)：須盡可能地保溫。
- B. 邊牆與爐底 (sidewall & bottom)：須承受玻璃膏的侵蝕，由於高溫的玻璃液會與電鑄磚反應，使玻璃滲出，而玻璃液不斷的流動與沖刷會移除掉磚材表面的熔融層，造成侵蝕，為避免損壞，此區以散熱為主。
- C. 蓄熱室與小爐 (regenerator & port neck)：須盡可能地保溫。

因此 A 與 C 區域會以保溫為主，B 區域則視情況，通常會以散熱為主。重點在如何保溫效果最好，以及有散熱需求的區域要如何避免散熱過多又不使耐熱磚損壞。

## 2. 技術特點與優勢

A 區和 C 區皆為燃燒後的熱氣體，一旦從縫隙口逸出後，即變為無效熱能，所以要盡可能的防止熱氣漏出，以及加強結構磚的保溫效果，另外在 C 區設計有蓄熱室，回收部分熱能，再對進口燃燒空氣加熱。

根據理論估算，浮式熔爐經由燃燒出的熱能約有 28.9% 會變成廢氣帶出，浮式熔爐結構設計有蓄熱室，可回收部分燃燒廢氣的熱能，再對進口燃燒空氣加熱，使新鮮的燃燒空氣準備進行燃燒時，溫度已達到 1,200°C，火焰溫度也能提高，加強溶解能力，示意如圖 3.3.2-1 紫色箭號處。

B 區著重在減少水冷設備的使用，例如在玻璃熔爐內，移除 tuck cooler (玻璃熔爐邊牆液位線冷卻水箱)，減少水冷設備帶走爐內的熱量。

玻璃熔爐中，熔融玻璃膏的流動，對於熔爐邊牆的侵蝕極大，特別是在玻璃液位處，因此在熔爐內液位處，設計有 tuck cooler (玻璃熔爐邊牆液位線冷卻水箱，如下圖 3.3.2-2)，代替熔爐邊牆抵抗玻璃膏流動侵蝕，將 tuck cooler 移除後，耐火磚勢必會受到侵蝕，可在外部貼合一片冷卻水箱，如圖 3.3.2-2 右側綠色處。

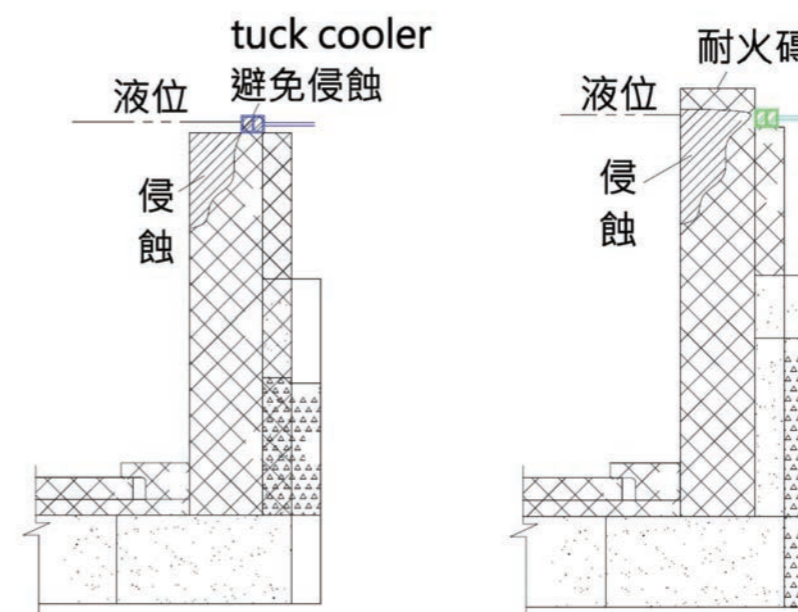
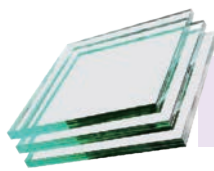


圖 3.1.2-2 熔爐 tuck cooler 與邊牆側剖面圖

資料來源：台玻公司台中廠平板研發部賴志嘉繪，2018 年 7 月。



### 3. 應考慮因素與限制

在 C 區的燃燒熱再利用方式可應用於各種加熱設備，如蓄熱室、廢熱鍋爐……等。在燃燒系統建置時就須設計熱能回收區域，須注意此方式需要一定的空間與氣體通過時間，才能有足夠的熱交換能力。

B 區移除玻璃熔爐邊牆液位線冷卻水箱，代表熔爐邊牆會受到較強的侵蝕，並隨時注意邊牆情況，必要時需補強磚牆避免玻璃膏滲出。

#### 3.3.3 改用節電設備

##### 1. 技術應用原理

玻璃熔爐是由保溫磚砌成，爐內終年燃燒並由保溫磚與外部隔絕，為防止保溫磚受到損害，在牆面使用電力風機系統進行冷卻，而環境溫度的變化使牆面冷卻需求有高有低。

此技術於原電氣迴路中增設變頻器控制，基本原理是依照相似定律得知，風量與轉速成正比，轉速與功率成三次方正比，又因轉速與頻率成正比，故依據生產條件調整需求風量時，使用變頻器調整運轉頻率即可調整轉速，進而改變風機馬達的消耗功率。一方面提升風機系統運轉效率，另一方面達到降低耗能效果。此方式在平板玻璃製程中有使用風機系統需求的地方都可應用。

##### 2. 技術特點與優勢

變頻器由兩大部分所組成，交流轉直流與直流轉交流。主要功能將固定的電壓與固定的頻率，經由交流電轉直流電的轉換器進行整流，再經由逆變器將整流後的直流電逆變換成可變的電壓與可變的頻率之交流電。

變頻控制方式有電壓 / 頻率 (V/f) 控制、直接轉矩控制、向量控制……等。電壓 / 頻率 (V/f) 控制為控制電動機的電源頻率變化時，也控制變頻器的輸出電壓，使電壓與頻率保持恆定，適用定轉矩負載，但

低頻運轉時，負載能力會下降。

在玻璃產業中使用變頻器進行提高精準控制以及減少電力能源耗用已有段時間，亦是執行能源管理面的優先選擇執行項目之一。其應用之設備對象十分廣泛，基本原理與操作介面淺顯易懂，且購入、安裝、維修、保養各方面技術成熟，是項具有相當潛力和規模的低碳製程技術。

### 3. 應考慮因素與限制

#### (1) 變頻器選擇：

負載的特性種類：恆轉矩負載、二次方率負載、恆功率負載。

不同的控制方式：流量控制、溫度控制、壓力控制、位置控制。

容量大小選擇：應以電動機電流為主，參考電動機額定功率。輸出端含有高次諧波，會造成電動機的功率因數與效率降低，選擇時須加以考量。

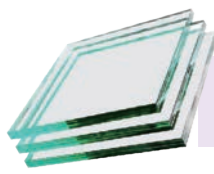
對於驅動特殊馬達和特殊應用場所，如高溫環境、高海拔區域、高頻率開關、快速的加速及減速、高啟動轉矩…等，建議選擇容量時應加大一個級距。

#### (2) 常見故障原因：

不良的周遭環境：潮濕、粉塵、高溫、腐蝕性氣體應加以防護。

電源異常：停電、電壓過低、欠相，設置不斷電系統或者選用瞬時停電補償能的機型。

外來雜訊干擾：電路配線於規範長度內，必要時加裝濾波器。



### 3.3.4 加強錫槽密封效果，避免熱量逸出

#### 1. 技術應用原理

玻璃錫槽內安裝電加熱器，其使用量經由控制器依照產能、厚度、寬度、顏色……等等而有所不同，若錫槽能將熱量維持住，可減少加熱器的使用。各部位採用之零件以及密封程度其為重要，因為漏氣現象會大量損失熱量，將其密封改善，以減少加熱器使用量。

#### 2. 技術特點與優勢

錫槽是浮法玻璃生產線的其中一段流程，玻璃液從前段製程熔爐熔解後，沿著流道帶著熱能進入錫槽，此時玻璃液溫度約落在 1100°C 左右。在重力、黏力與表面張力作用下，在錫液上攤平逐漸流向錫槽兩側與下游，亦因此錫槽上游及中央位置溫度皆高於兩側與中、下游，這溫度差容易引起環流，故在頂部設置電加熱器，以便滿足錫槽內各部位的溫度已達需求設定溫度。

錫槽是以耐火磚排列而成，邊部和兩端點是密封狀態，錫槽內錫液容易與氧氣發生化學反應，便加入氮氣和氫氣的混合氣體，須提供足夠的混合氣來維持足夠的槽內正壓力，避免外界環境中的氧氣滲入。在此環境下，可減緩電加熱器的氧化速度，也延長電加熱器的使用壽命。

為在此流程中順利生產浮法玻璃，決定因素在於錫槽密封的嚴格控管，並可採用錫槽壓力的測量值，來估算錫槽密封的品質。

#### 3. 應考慮因素與限制

決定生產量、寬度、厚度後，依參考操作經驗及理論設計著手設計錫槽，而錫槽頂部電加熱器的加熱量便可從投產前的冷卻狀態至生產時的加熱量、各規格尺寸的生產量及緊急應變的需求量等資料中規畫獲得。

錫槽大致區分為三個主要部份：底部、側邊、頂部。

- (1)底部：在鋼構上排列磚材，鋼構相接處必須完整焊接形成一個無縫的容器，在上方鋪設的磚材的材質、位置及保留膨脹縫隙皆須相當。
- (2)側邊：是底部與頂部間的牆體採用側邊密封式，密封箱以及密封箱間的縫隙皆使用保溫棉填充，並配合隔熱性質較好的矽膠泥加以密封。部分空間設置留有設備操作孔、窺視孔，各處均應留意其密封品質。
- (3)頂部：結構形式採懸吊式，頂磚留有設備安裝孔，可安裝電加熱器相關設備及感測元件，頂部設計結構與預留電加熱器插入孔的孔位，亦會影響電加熱器的使用壽命和老化速度。

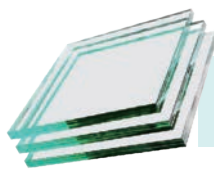


The background features a teal color palette with various geometric shapes, including triangles and polygons, some of which are semi-transparent. At the bottom, there are silhouettes of modern skyscrapers with glass facades, also in teal. The overall design is clean and modern, typical of a professional report or brochure.

# 玻璃相關產業

低碳製程技術彙編

## ▶ 四、低碳製程技術及 設備實務應用案例



## 四、低碳製程技術及設備實務應用案例

### 4.1 玻璃纖維應用案例介紹

#### 4.1.1 純氧燃燒熔爐案例介紹

##### 1. 改善方案執行過程

A 公司玻璃熔爐原設計以重油為燃料，藉空氣助燃將無機礦石的原料加熱熔融產製各種規格玻璃纖維增強絲，因空氣含氧量僅 21%，導致燃燒效率差，不僅增加燃料耗用，亦會增加空污排放量，因此於 2017 年 7 月改造為純氧燃燒熔爐點火生產。

##### 改造為純氧燃燒前、後熔爐油槍配置：

原需於熔爐兩旁平均配置空氣 + 重油油槍共 34 支（每支流量 10 ~ 20L/hr），油槍以對燒方式佈置，經熱量分布評估，改造為氧氣 + 重油油槍僅使用 6 支（每支流量 30 ~ 80L/hr）即可，油槍以交叉佈置，如下圖 4.1.1-1 玻璃熔爐示意圖。另改善為純氧燃燒前之設備照片如圖 4.1.1-2 所示，改善後設備及氧氣照片如圖 4.1.1-3~ 圖 4.1.1-5 所示。

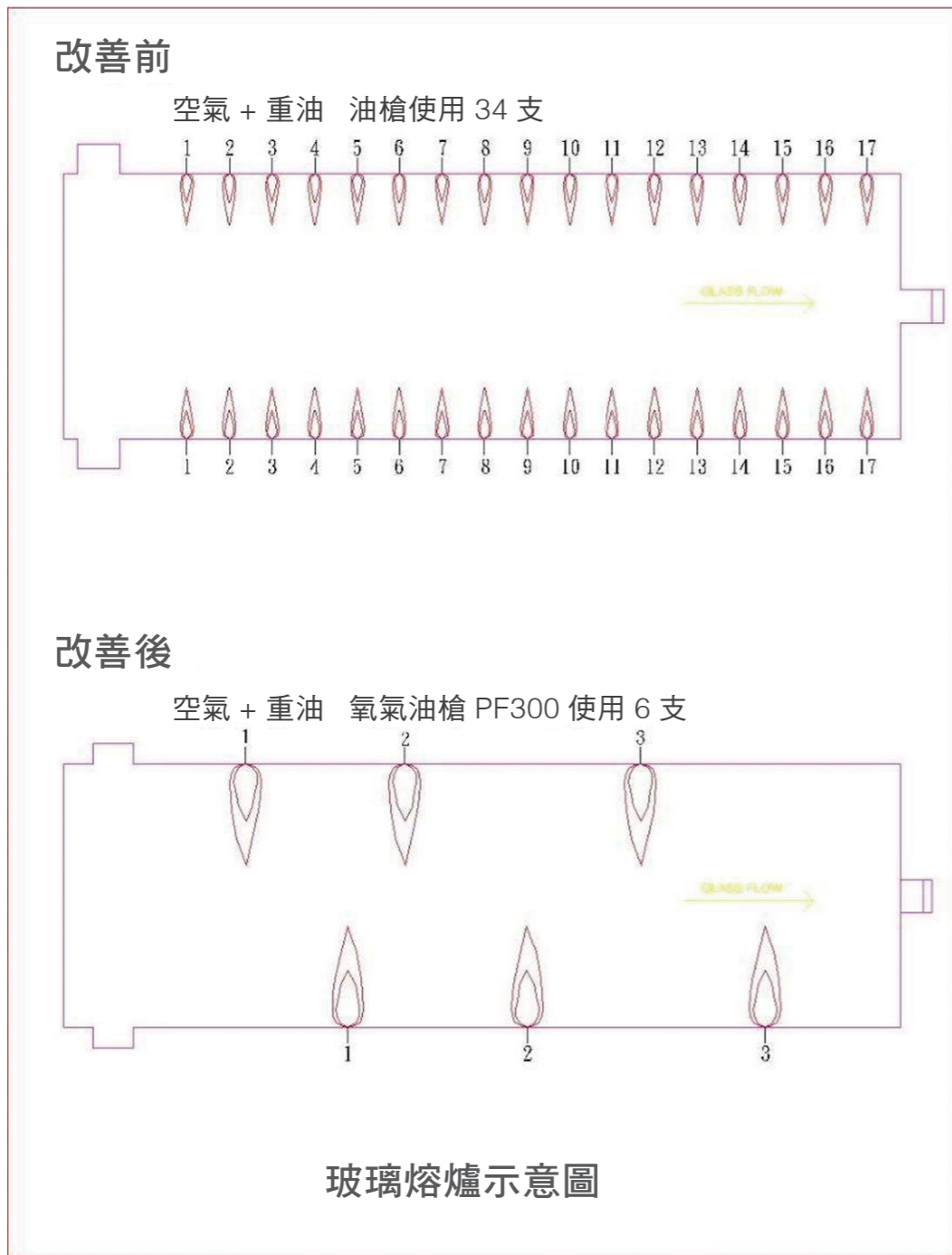
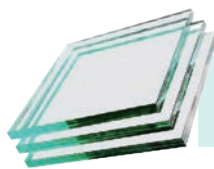


圖 4.1.1-1 玻璃熔爐油槍配置示意圖

資料來源：T 公司，2018 年 8 月。



圖 4.1.1-2 改善前燃燒機分布情形

資料來源：T 公司，2018 年 8 月。



圖 4.1.1-3 改善後燃燒機分布情形

資料來源：T 公司，2018 年 8 月。

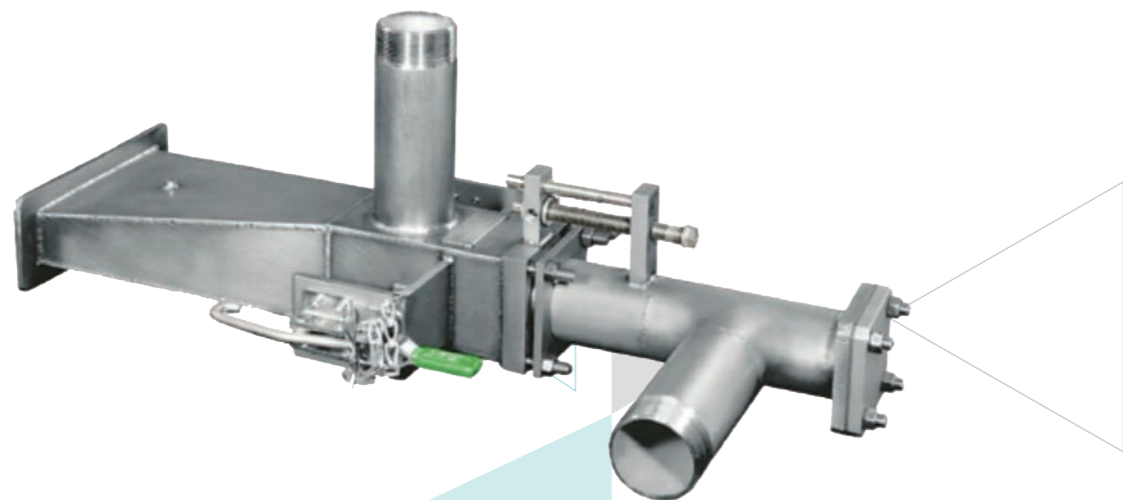
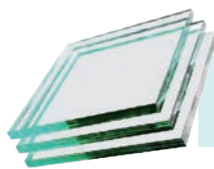


圖 4.1.1-4 改善後氧氣設備照片

資料來源：Eclipse PF-300 burner 型錄。



圖 4.1.1-5 改善後氧氣設備照片(a)

資料來源：T 公司，2018 年 8 月。



圖 4.1.1-5 改善後氧氣設備照片(b)

資料來源：T 公司，2018 年 8 月。

## 2. 成效分析與節能減碳效益

更改純氧燃燒前後熔爐能源改善參數比較及空污實測排放資料比較如下表 4.1.1-1 及表 4.1.1-2 所示：

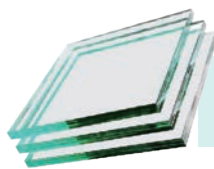


表 4.1.1-1 空氣燃燒與純氧燃燒相關參數比較表

參數	空氣燃燒	純氧燃燒	變化
玻璃流量 (T / hr)	1.52	1.71	+12.5%
玻璃熔爐面積 (m <sup>2</sup> )	25	25	-
重油用量 (L / hr)	429	279	-35.0%
氧氣用量 (Nm <sup>3</sup> / hr)	-	505	-
燃料單耗 (L / kg-glass)	0.28	0.16	-42.9%
節省重油 (KL / 年)	3,758	2,444	-35.0%
合計年效益 (千元 / 年) (重油 + 氧氣支出)	油 :54,615 氧 :0	油 :35,519 氧 :8,936	-10,160
CO <sub>2</sub> 減排效益 (公噸 / 年)	11,691	7,603	-4,088

資料來源：T 公司，2018 年 8 月。

CO<sub>2</sub> 之排放量計算依 2013 年度之後 (含 2013 年資料) 應採用 6.0.1 版排放係數 (1 Liter 重油排放 3.111 kg CO<sub>2</sub>) 進行排放量計算。

表 4.1.1-2 空氣燃燒與純氧燃燒空污實測排放資料比較表

燃燒方式	NOx (kg / hr)	SOx (kg / hr)
空氣燃燒	5.48	0.36
純氧燃燒	3.42	0.09
變化	-37.6%	-75.0%

資料來源：T 公司，2018 年 8 月。

隨著工業化的持續高速發展，我國對燃料的需求越來越多，同時隨著環境污染導致的問題不斷惡化，對環保的要求也越來越高，綜合上述，高耗能低排放的玻璃纖維生產線採用純氧燃燒技術成為一種必然的趨勢。

## 4.2 容器玻璃應用案例介紹

低碳節能為企業經營競爭所需之優勢，企業實施節約能源用以降低能源成本占比，以及塑造企業形象來強化競爭體質；B 公司在永續經營的理念下，始終以低碳節能為重要發展指標，於相關方面精進發展不遺餘力，在玻璃製程上亦持續努力改善，如：前段熔解增加回收玻璃用量、熔爐的低熱散節能設計、中段的製造輕量瓶開發、後段的徐冷爐 (Lehr) 燃燒器改善……等，各公司改善案例說明茲分述如下：

### 4.2.1 回收玻璃使用量增加案例

玻璃原料通常可分為生料及熟料，生料指矽砂、石灰石、純鹼……等原生料，而熟料為生產之下腳料及由外資源回收之玻璃原料，當熟料用量增加亦即等量減少生料需求，可達到增加資源再利用，與降低原生料之開採。

#### 1. 廢容器玻璃處理場設置

為達到減碳綠化，B 公司容器廠於 1996 年始建立廢容器玻璃處理場如下圖 4.2.1-1，自 1997 年 1 月開始運作至今已超過 21 年。

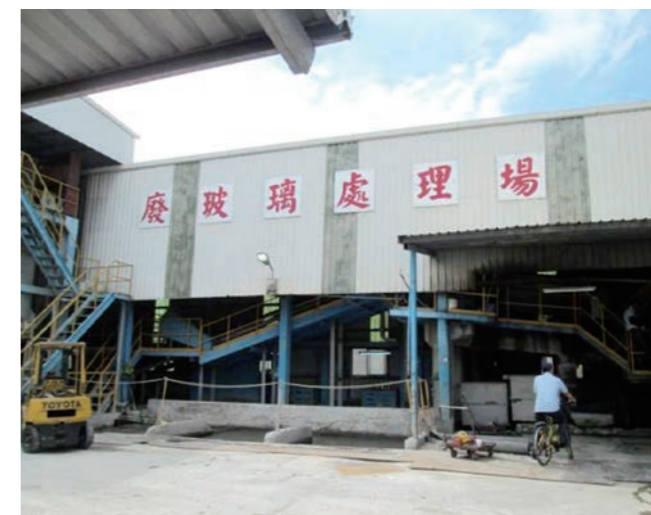


圖 4.2.1-1 廢玻璃容器處理場

資料來源：B 公司廠區周宗慶拍攝，2018 年 7 月

建立容器玻璃回收場，可將資源回收之玻璃進行清洗處理與粒化，再替代玻璃原料利用，經過人工篩選、去除鐵屑、鋁環與紙屑、清洗、顎碎……等流程，將異質去除並再回收，達標後供給生產單位使用，其清洗流程如下圖 4.2.1-2。

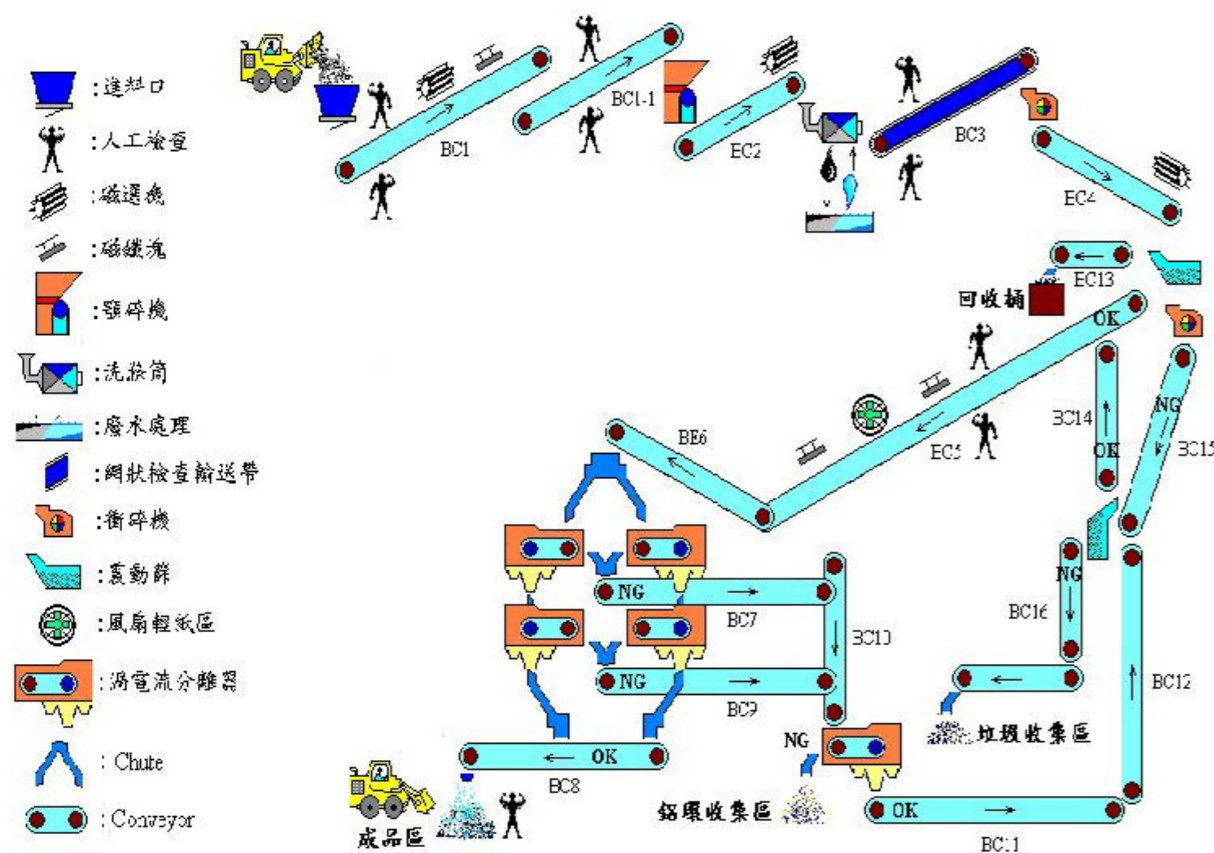


圖 4.2.1-2 廢回收玻璃處理流程圖

資料來源：周宗慶繪製，2009 年 5 月

## 2. 回收玻璃使用量增加之效益

依所使用之回收玻璃比例不同，原料成本亦有所差異，以 B 公司容器 a 爐為例，在引出量為 140T / 日、步留率 83% 的爐中，生料（原料 Batch）與熟料（碎玻璃 Cullet）在不同比值下的成本，如下表 4.2.1-1，每增加回收玻璃使用量 10%，可平均降低成本 0.277 元 / kg-glass。

表 4.2.1-1 B 公司容器 a 爐 Batch & Cullet 原料成本差異

Batch (%)	70	60	50	40	30
Cullet (%)	30	40	50	60	70
生料 + 熟料成本 (元 / kg-glass)	3.480	3.203	2.926	2.649	2.372

資料來源：周宗慶整理，2018 年 7 月

再者，每增加回收玻璃使用量 10%，可減少耗能 2.5% [9]，F 公司為例差異值如下表 4.2.1-2。每增加回收玻璃使用量 10%，可降低燃油成本 0.045 元 / kg-glass。

表 4.2.1-2 B 公司容器 a 爐 Batch & Cullet 燃油成本差異

Batch (%)	70	60	50	40	30
Cullet (%)	30	40	50	60	70
燃油成本 (元 / kg-glass)	1.885	1.841	1.796	1.751	1.707

資料來源：周宗慶整理，2018 年 7 月

故回收玻璃不僅可以再生利用，並可減少原料成本，在合適的使用下，可加速玻璃的熔解過程，並能降低熔解所需的熱量，從而減少生產成本及提高產量。

## 3. 減少碳排放量

B 公司廢容器玻璃處理場自 1997 年 1 月開始運作至今，一般透明（Flint）容器玻璃生產，回收玻璃使用量由 30% 增加至 50% 以上，有色玻璃（Amber、Emerald Green、Champagne Green）生產回收玻璃使用量由 30% 增加到 70%，相對的生料之用量就可減少，達到減碳效果。

參照環保署溫室氣體排放係數管理表 [10]，相關之碳排放係數（公噸 CO<sub>2</sub> / 公噸）：石灰石：0.440、白雲石：0.477、純鹼：0.415、碳粉：3.667；重油（公噸 CO<sub>2</sub> / 公乘）：3.111。以 F 公司容器 a 爐，日產出 Flint 玻璃產出約 400T / 日，Batch 70% 降至 50%、Cullet 30% 增至 50%

相對應原料變化如下表 4.2.1-3。

表 4.2.1-3 B 公司容器 a 爐 Flint 玻璃產出生料差異

Flint 玻璃：400T / 日；原料使用量 (T / 日)							
Cullet %	矽砂	純鹼	石灰石	霞石	白雲石	硝石	碳粉
30%	189.5	54.5	38.1	24.5	26.1	1.5	0.054
50%	135.4	38.9	27.2	17.5	18.6	1.1	0.038
回收玻璃使用量，Flint 玻璃：30% → 50% (重油用量 50 公秉 / 日)							

資料來源：周宗慶整理，2018 年 7 月

依溫室氣體排放係數管理表 (6.0.3 版) 之係數計算 [10]：B 公司容器 a 爐 Flint 玻璃生產，可減少碳排放量：

$$\begin{aligned}
 & (54.5-38.9) \text{ 公噸 / 日} \times 0.415 \text{ 公噸 CO}_2 / \text{公噸} + \\
 & (38.1-27.2) \text{ 公噸 / 日} \times 0.44 \text{ 公噸 CO}_2 / \text{公噸} + \\
 & (26.1-18.6) \text{ 公噸 / 日} \times 0.477 \text{ 公噸 CO}_2 / \text{公噸} + \\
 & (0.054-0.038) \text{ 公噸 / 日} \times 3.667 \text{ 公噸 CO}_2 / \text{公噸} + \\
 & (50 \text{ 公秉 / 日} \times 0.025 \times 2) \times 3.111 \text{ 公噸 CO}_2 / \text{公秉} = \\
 & 22.68 \text{ 公噸 CO}_2 / \text{日}
 \end{aligned}$$

B 公司容器 b 爐，日產出有色玻璃產出約 100T / 日，Batch70% 降至 30%、Cullet30% 增至 70% 相對應原料變化如下表 4.3.1-4。

表 4.2.1-4 B 公司容器 b 爐有色玻璃產出生料差異

Flint 玻璃：400T / 日；原料使用量 (T / 日)							
Cullet %	矽砂	純鹼	石灰石	霞石	白雲石	硝石	碳粉
30%	47.4	13.6	9.5	6.1	6.5	0	0.13
70%	20.3	5.8	4.1	2.6	2.8	0	0.06
回收玻璃使用量，有色玻璃：30% → 70% (重油用量 15 公秉 / 日)							

資料來源：周宗慶整理，2018 年 7 月

依上述溫室氣體排放係數管理表之係數 [10] 計算，b 爐可減少：  
 $(13.6-5.8) \text{ 公噸 / 日} \times 0.415 \text{ 公噸 CO}_2 / \text{公噸} +$   
 $(9.5-4.1) \text{ 公噸 / 日} \times 0.44 \text{ 公噸 CO}_2 / \text{公噸} +$   
 $(6.5-2.8) \text{ 公噸 / 日} \times 0.477 \text{ 公噸 CO}_2 / \text{公噸} +$   
 $(0.13-0.06) \text{ 公噸 / 日} \times 3.667 \text{ 公噸 CO}_2 / \text{公噸} +$   
 $(15 \text{ 公秉} \times 0.025 \times 4) \times 3.111 \text{ 公噸 CO}_2 / \text{公秉} =$   
 $12.30 \text{ 公噸 CO}_2 / \text{日}$

合計 B 公司容器玻璃廠，因增加回收玻璃使用增加後，每天減少碳排放 34.98 公噸 CO<sub>2</sub> / 日，每年約可減少 12,760 公噸 CO<sub>2</sub> / 年之排放量。

## 4.2.2 低熱散之節能熔爐設計案例

### 1. 改善方案執行過程

以 C 公司容器玻璃廠為例，於冷修期間經由熔爐及蓄熱室設計的改變，增加保溫效果、降低熱散失、增加蓄熱室體積……等方式，使燃油耗損變小，達到有效的減少碳排放量。製程技術說明如下：

(1)增加保溫效果：新設計熔爐係增加熔爐之絕熱效果，減少火焰空間的熱散失，如：增加熔爐胸牆保溫層厚度，如圖 4.2.2-1 所示。在爐拱除增加保溫層厚度，再加裝鋁板覆蓋，降低熱散失，如圖 4.2.2-2 中所示。

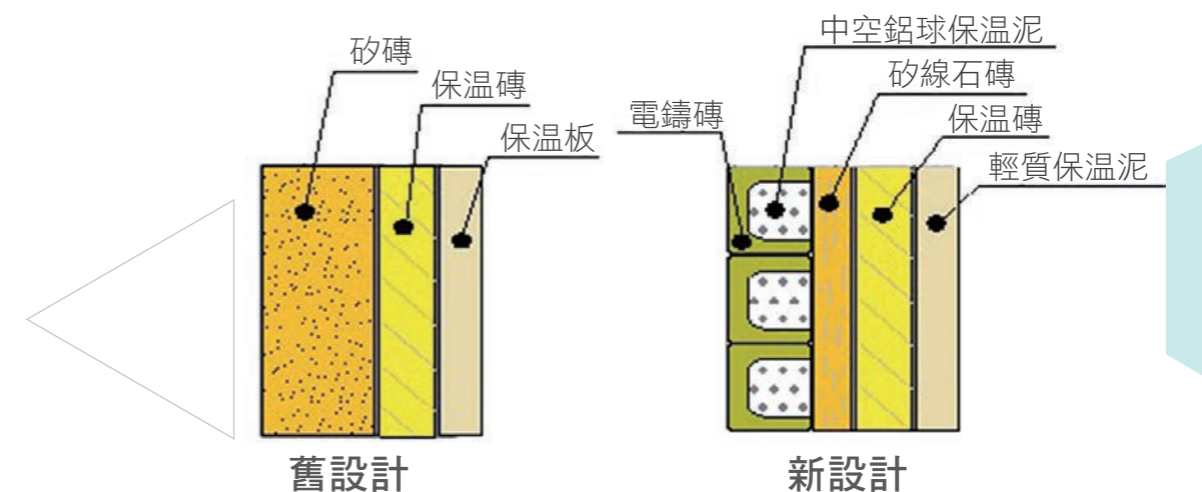


圖 4.2.2-1 胸牆結構修改

資料來源：周宗慶繪製，2018 年 7 月

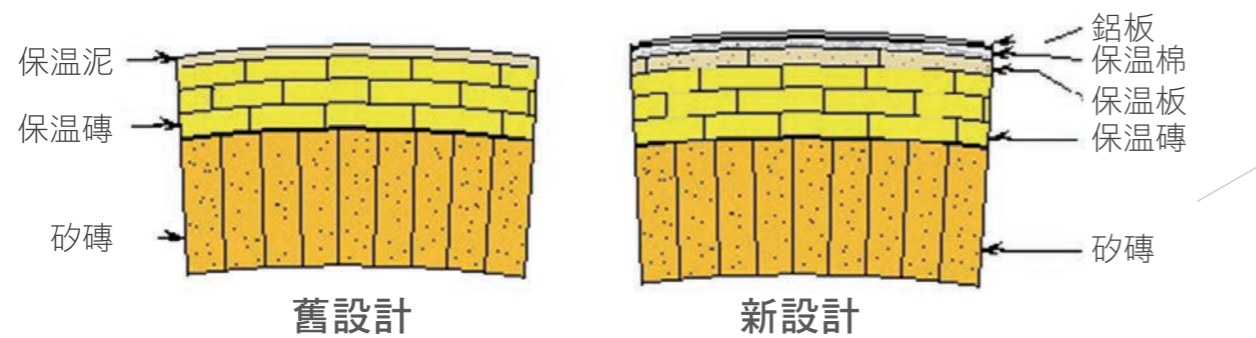
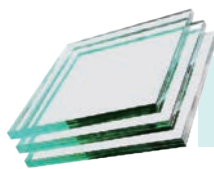


圖 4.2.2-2 爐拱結構修改

資料來源：周宗慶繪製，2018 年 7 月

(2)增加蓄熱室體積：廢氣的蓄熱空間增加，使熱量能再回收利用，以達到節能減碳的目的，如下圖 4.2.2-3 中所示，斜線部份體積由 188m<sup>3</sup> 增至 248 m<sup>3</sup>，增加廢氣熱量回收。

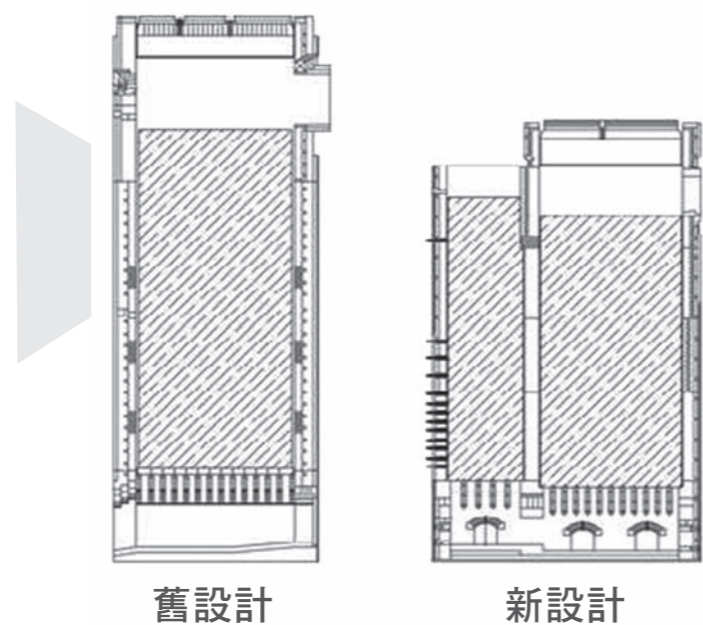


圖 4.2.2-3 蓄熱室結構修改

資料來源：謝志豪繪製，2018 年 7 月

## 2. 成效分析與節能減碳效益

熔爐與蓄熱室設計更改後，相差數據如下表 4.2.2-1 所示，煙道廢氣溫度下降 20 ~ 56°C，重油節省 13.3 ~ 17.6 公升 / 公噸玻璃，以全年引出量 50,000 公噸玻璃下，依重油之溫室氣體排放係數 3.111 (公噸 CO<sub>2</sub> / 公乘)，C 公司容器玻璃廠冷修後，減少 CO<sub>2</sub> 排放量 2,069 ~ 2,738 公噸 CO<sub>2</sub> / 年。

表 4.2.2-1 C 公司容器玻璃廠新舊熔爐設計比較

項次	玻璃熔解用油量 (L / T-glass)		廢氣煙道溫度 (°C)		減少 CO <sub>2</sub> 排放量 (T)
	舊設計	新設計	舊設計	新設計	
第一年	123.8	110.5	425	405	2,069
第二年	123.2	109.1	443	405	2,193
第三年	125.3	107.8	451	395	2,722

資料來源：謝志豪整理，2018 年 7 月

## 4.2.3 容器玻璃輕量化案例

### 1. 改善方案執行過程

因應市場需求與環保的考慮，D 公司容器廠與德國廠商進行技術合作，使用小口壓 - 吹制技術 (Narrow Neck Press and Blow, NNPB)，製造厚度均勻與外型美觀的輕量瓶。其優勢為：a. 重量輕，運費較低；b. 肉厚平均，熱震及耐壓均較佳；c. 外觀較佳；d. 降低仿冒，不利於回收再充填包裝。輕量瓶與重量瓶比較優點整理如下表 4.2.3-1 所列。



表 4.2.3-1 輕量瓶較重量瓶之優點

項次	比對項目	比較結果
1	玻璃使用強度	= 強度不變
2	製造生產機速	↑ 增加產量
3	棧板裝載支數	↑ 增加運量
4	棧板裝卸成本	↓ 降低板數
5	玻璃原料成本	↓ 降低成本
6	能源使用成本	↓ 降低能耗
7	瓶支單價成本	↓ 降低單價
8	成品包裝成本	↓ 降低成本
9	貨物運費成本	↓ 降低成本
10	倉儲空間成本	↓ 降低成本
11	不利回填包裝	↓ 降低仿冒

資料來源：周宗慶整理，2018 年 7 月

在輕量瓶的製程中，減輕重量的關鍵在於減少玻璃壁厚，並能良好的控制壁厚的一致均勻，為其製程之困難點，因此在生產過程中，必須要有下列的配合條件：如下表 4.2.3-2。

表 4.2.3-2 輕量瓶的製程需求

項次	配合條件	D 公司容器廠的做法
1	要有高品質的玻璃膏，須減少結石、氣泡……等缺點。	強制玻璃對流攪拌，提昇玻璃之均質度，並增長玻璃膏的澄清時間，截取最佳品質的玻璃膏。
2	必須控制料滴 (Gob) 溫度的一致均勻。	(1) 可準確控制成型所需料滴的溫度。 (2) 使 Spout 的溫度均勻，以利吹製輕量瓶。
3	料滴的重量要控制在 $\pm 0.75\%$ 的公差值以內，所以必須引入重量自動控制系統。	自動控制料滴重量在 $\pm 1.5\text{gr}$ 。此為吹製輕量瓶的必備設備。
4	瓶型的設計，必須考慮充填過程中所需承受的瓶內壓力，垂直負荷和撞擊強度。	依客戶使用需求設計，並在量產過程，以各項檢查機檢驗。
5	IS 機的動作時間，必須控制精準。	機械動作控制準確。
6	玻璃瓶成型後，必須於熱端與冷端皆上塗料 (Hot-End & Cold-End Coating)。	D 公司已實施多年，且列為必備設備。
7	在模具方面，必須使用垂直式模具冷卻法 (Axial Cooling)，粗模與細模必須預先 Coating；經由特殊的模具設計，減輕由刷油或接觸金屬所引起的瓶身內外的細微表面傷害。	採購特殊材質模具，與特殊預塗 (Precoating) 藥劑，減少刷油，以克服玻璃接觸金屬所產生的傷害。

資料來源：周宗慶整理，2018 年 7 月

## 2. 成效分析與節能減碳效益

近年來 D 公司容器廠開發的輕量瓶有百餘種瓶型，年產量達 2 億支以上，占 D 公司容器廠產量約 35% 以上，重要開發品項如下表 4.2.3-3。

表 4.2.3-2 輕量瓶的製程需求

項次	品名	ml	使用廠商	重量瓶	輕量瓶		差異
				gr	gr	W/C	
1	羊乳瓶	180	嘉○羊乳	260	105	0.58	-155
2	保久乳瓶	250	通○瓶	265	130	0.52	-135
3	牛乳瓶	500	中○○民牛乳	350	230	0.46	-120
4	可樂瓶	300	可○○樂	495	220	0.73	-275
5	醬油瓶	420	通○瓶	380	305	0.73	-75
6	醬油瓶	520	通○瓶	395	295	0.57	0.57
7	醬油瓶	612	金○	490	280	0.46	-210
8	醋瓶	600	大○○研	480	280	0.47	-200
9	醋瓶	600	香○○珍	480	356	0.59	-124
10	蕃茄醬瓶	313	可○美	280	195	0.62	-85
11	蕃茄醬瓶	640	可○美	480	320	0.50	-160
12	啤酒瓶	330	台○○酒	330	247	0.75	-83
13	金牌啤酒瓶	600	台○○酒	500	385	0.64	-115
14	28 度高粱酒	600	金○○廠	500	360	0.60	-140

資料來源：周宗慶整理，2018 年 7 月

#### 4.2.4 徐冷爐之燃燒器更換案例

##### 1. 改善方案執行過程

玻璃製程後段徐冷爐（Lehr），在玻璃成型製程中佔有相當比值之熱能需求，E 公司容器玻璃廠利用冷修時間，進行加工徐冷爐高溫區天然氣燃燒器更換，因原有送風口沒有逆止擋板的設計，當燃燒器停止燃燒時，會讓爐內的高溫從送風口逸散，也容易導致鼓風機因過熱而損壞，且爐內高溫的逸散，使得燃燒器必須再升溫，間接造成天然氣的浪費。

徐冷爐的 ZONE 2 ~ ZONE 8 為有燃燒器的溫控區，而其中的 ZONE 5 ~ ZONE 8 為高溫區，依不同產品的溫度需求，通常溫度設定 56 約為 560 ~ 680°C 之間，天然氣用量相對比較大。因此於 2017 年 6 ~ 8 月冷修期間，先將原高溫區 6 組舊型燃燒器，更換為有逆止擋板的設計，並於 2017 年 9 月開始啟用。設備改善前後對照，如下圖 4.2.4-1。因減少徐冷爐溫度的散失，天然氣用量有著明顯的改善，整理如表 4.2.4-1。



圖 4.2.4-1 徐冷爐天然氣逆止擋板

資料來源：E 公司廠區黃睿均拍攝，2018 年 7 月

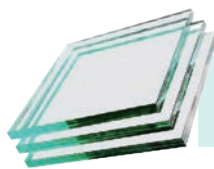


表 4.2.4-1 E 公司天然氣計量記錄表 (單位：m<sup>3</sup>/月)

年 - 月	天然氣用量 (改造前)
2017-1	13,108
2017-2	12,319
2017-3	15,546
2017-4	11,965
2017-5	14,054
平均	13,398
2017-6 ~ 2017-8	熔爐冷修
年 - 月	天然用量 (改造後)
2017-9	10,050
2017-10	8,862
2017-11	9,780
2017-12	9,735
2018-1	9,413
2018-2	10,241
2018-3	10,965
2018-4	9,918
2018-5	12,268
平均	10,137

資料來源：黃睿均整理，2018 年 7 月

## 2. 成效分析與節能減碳效益

改善前後差值：3,261 m<sup>3</sup> / 月，依 2017 年電力排放係數 0.554 公斤 CO<sub>2</sub>e / 度 [11]，及天然氣排放係數以 1.88 公噸 CO<sub>2</sub>e / 千立方公尺計算，E 公司容器玻璃廠徐冷爐改善後，可減少排放量約 73.57 公噸 CO<sub>2</sub>e / 年。

## 4.3 平板玻璃應用案例介紹

### 4.3.1 移除玻璃熔爐內之爐邊牆液位線冷卻水箱案例

#### 1. 改善方案執行過程

根據皮爾金頓集團股份有限公司 (Pilkington Group Limited) 提供資料 [12][13]，如在 600 公噸 / 日生產線上使用玻璃熔爐邊牆液位線冷卻水箱此水冷設備，帶走的熱量約 2.8 therm / 公噸玻璃，若將此設備移除，等於每日可節省 1,680 therm / 日，以熱值換算相當於節省重油 4,321 L / 日，年節省量達 1,577,175 L 重油，相當於可減少排放約 4,923 公噸 CO<sub>2</sub>e，如圖 4.3.1-1 所示。

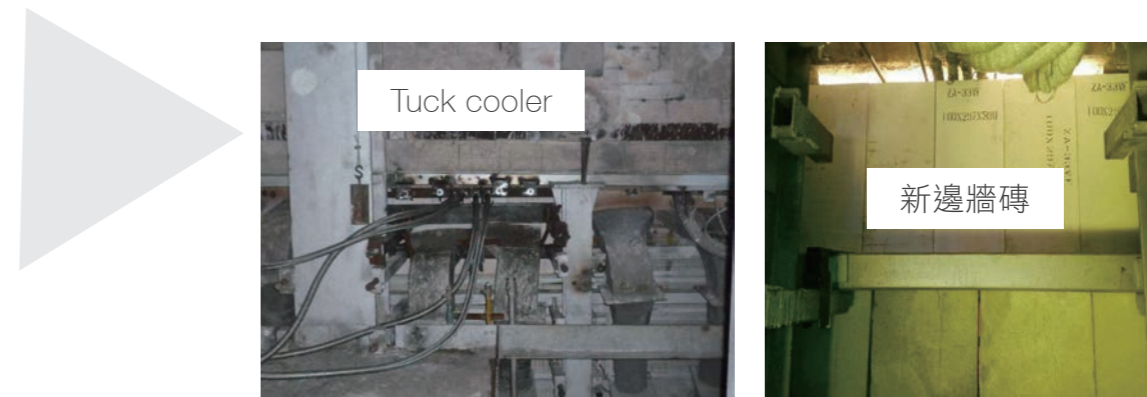


圖 4.3.1-1 玻璃熔爐內之爐邊牆示意圖

資料來源：台玻公司台中廠平板研發部熔爐課攝，2015 年 11 月。

#### 2. 成效分析與節能減碳效益

##### A. 節省熱量：

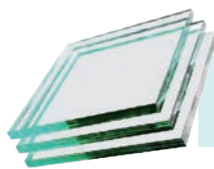
$$2.8 \text{ therm / 噸玻璃} \times 600 \text{ 噸玻璃 / 日} = 1,680 \text{ therm / 日}$$

新邊牆磚

Tuck cooler

$$1 \text{ therm} = 100,000 \text{ BTU} = 25,206 \text{ kcal}$$

$$1,680 \text{ therm / 日} \times 25,206 \text{ kcal / therm} = 42,346,080 \text{ kcal / 日}$$



B. 換算成重油：

$42,346,080 \text{ kcal} / \text{日} \div \text{重油熱值 } 9,800 \text{ kcal} / \text{L} = 4,321 \text{ L} / \text{日}$   
 $4,321 \text{ L} / \text{日} \times 365 \text{ 日} / \text{年} = 1,577,175 \text{ L} / \text{年}$

C. 溫室氣體減量：

$(1,577,175 \text{ L} \div 1,000 \text{ L} / \text{kL}) \times 3.1212 \text{ 公噸 } \text{CO}_2\text{e} / \text{kL} = 4,923 \text{ 公噸 } \text{CO}_2\text{e}$

### 4.3.2 蓄熱室設計技術案例

#### 1. 改善方案執行過程

建廠時即設計蓄熱室為兼具保溫及熱能回收利用結構（如圖 4.3.2-1 蓄熱室結構照片），熔爐體的保溫效果越好，就能將更多的熱能保留在內部，熔解更多原料。



圖 4.3.2-1 建廠時即設計的蓄熱室結構照片

資料來源：台玻公司台中廠平板研發部熔爐課攝，2011 年 2 月。

#### 2. 成效分析與節能減碳效益

以 600 噸 / 日生產線為例，燃燒空氣  $33,000 \text{ m}^3 / \text{hr}$ ，由  $50^\circ\text{C}$  升溫至  $1,200^\circ\text{C}$ ，相當於使用 860.93 L 重油，換算可減少年排碳量約 23,539 噸  $\text{CO}_2\text{e}$ 。

A. 節省熱量：

$33,000 \text{ m}^3 / \text{hr} \div \text{空氣密度 } 1.093 \text{ kg} / \text{m}^3 = 30,192 \text{ kg} / \text{hr}$   
 $30,192 \text{ kg} / \text{hr} \times \text{空氣比熱 } 0.243 \text{ kcal} / \text{kg } ^\circ\text{C} \times \Delta T (1,200 - 50 ^\circ\text{C}) = 8,437,191 \text{ kcal}$

B. 換算成重油：

$8,437,191 \text{ kcal} \div \text{重油熱值 } 9,800 \text{ kcal} / \text{L} = 860.93 \text{ L} / \text{hr}$   
 $860.93 \text{ L} / \text{hr} \times 24 \text{ hr} / \text{日} \times 365 \text{ 天} / \text{年} = 7,541,746.8 \text{ L} / \text{年}$

C. 溫室氣體減量：

$(7,541,746.8 \text{ L} \div 1,000 \text{ L} / \text{kL}) \times \text{GHG 排放係數}$   
 $(7,541,746.8 \text{ L} \div 1,000 \text{ L} / \text{kL}) \times 3.1212 \text{ 公噸 } \text{CO}_2\text{e} / \text{kL} = 23,539 \text{ 公噸 } \text{CO}_2\text{e}$

### 4.3.3 節電設備技術案例

#### 1. 改善方案執行過程

F 公司原設計邊牆冷卻風機系統使用傳統電氣迴路控制啟動，運轉時皆為頻率 60Hz，考量生產條件需求做風量調整，故藉由更改控制方式增設變頻器調整運轉頻率，操作介面也簡單、快速並且提升用電效率。改造後的系統盤櫃如下圖 4.3.3-1。

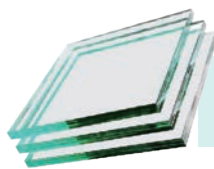


圖 4.3.3-1 改造後系統盤櫃照片

資料來源：台玻公司台中廠電氣課攝，2018 年 7 月。

## 2. 成效分析與節能減碳效益

以牆面冷卻風機系統使用電動機為 275Hp，電動機效率 95.3%，年運轉時數為 8,760 小時，使用變頻器控制運轉頻率由 60Hz 調整為 33Hz，變頻器效率 94%，換算可減少排碳量約 859.8 公噸 CO<sub>2</sub>e。

### A. 節能成效：

改善前消耗電功率 = 275Hp × 0.746 ÷ 95.3% = 215.27kW。

改善後消耗電功率 = 215.27kW × (33/60) 3Hz ÷ 94% = 38.10kW。

### B. 年節省電力：

(215.27 - 38.10) kW × 8,760hr = 1,552,009 度 / 年。

### C. 溫室氣體減量：

(106 年度全國電力排放係數為 0.554 公斤 CO<sub>2</sub>e/ 度)

1,552,009 度 / 年 × 0.554 公斤 CO<sub>2</sub>e/ 度 ÷ 1,000 公斤 / 公噸 = 859.8 公噸 CO<sub>2</sub>e。

## 4.3.4 錫槽密封技術案例

### 1. 改善方案執行過程

G 公司的製造流程須控制溫度，故安裝電加熱系統，此系統須長時間使用，但密封空間的漏氣現象嚴重，造成熱能的大量損失。將其密封程度改善，則可減少電加熱系統使用量。新採用的密封環如下圖 4.3.4-1 所示。



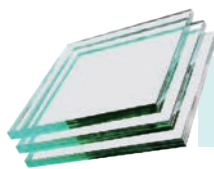
圖 4.3.4-1 錫槽密封環照片

資料來源：台玻公司台中廠電氣課攝，2015 年 12 月。

### 2. 成效分析與節能減碳效益

在相同生產條件下，皆使用電加熱系統，年使用時數 8,760 小時。

A. 改善計畫平均功率：改善前 1,758 kW，改善後 1,694 kW。



B. 年節省電力：

$$(1,758 - 1,694) \text{ kW} \times 8,760 \text{ hr/年} = 560,640 \text{ 度/年。}$$

C. 溫室氣體減量：

(106 年度全國電力排放係數為 0.554 公斤 CO<sub>2</sub>e / 度)

$$560,640 \text{ 度/年} \times 0.554 \text{ 公斤 CO}_2\text{e / 度} \div 1,000 \text{ 公斤 / 公噸} = 310.59 \text{ 公噸 CO}_2\text{e。}$$

### 4.3.5 富氧燃燒技術案例

#### 1. 改善方案執行過程

H 公司自 2012 年 5 月起，啟用富氧燃燒設備，以啟用前後比較，節省的燃料換算年減排碳量為 3,199 公噸 CO<sub>2</sub>e。新設備加裝後啟用照片如圖 4.3.5-1 所示，與改造前差異僅為使用時不產生火焰。[14]

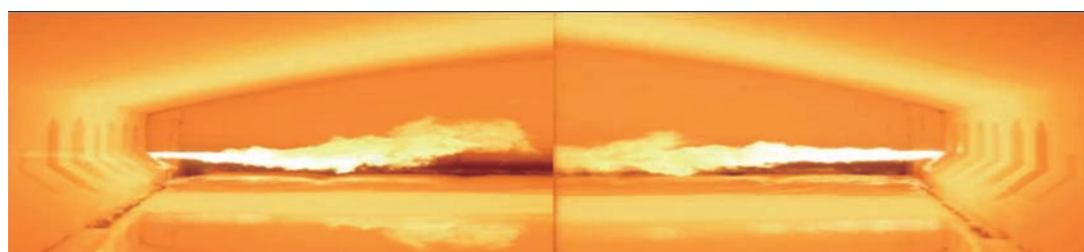


圖 4.3.5-1 富氧燃燒設備加裝後啟用照片

資料來源：台玻公司台中廠電氣課攝，2015 年 12 月。

#### 2. 成效分析與節能減碳效益

A. 節省重油量：

$$117 \text{ L / hr} \times 24 \text{ hr / 日} \times 365 \text{ 日 / 年} = 1,024,920 \text{ L / 年}$$

B. 換算成排碳量：

$$(1,024,920 \text{ L} \div 1,000 \text{ L / kL}) \times 3.1212 \text{ 公噸 CO}_2\text{e / kL} \div 1,000 \text{ L / kL} = 3,199 \text{ 公噸 CO}_2\text{e}$$

## NOTE

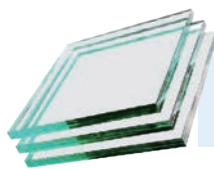
NOTE section containing horizontal lines and decorative triangles for notes.



# 玻璃相關產業

低碳製程技術彙編

▶ 參考文獻



## 參考文獻

- [01] 台灣玻璃工業股份有限公司網站。 [http://www.taiwanglass.com/product\\_list.php?langeno=tw](http://www.taiwanglass.com/product_list.php?langeno=tw)
- [02] MoneyDJ 理財網 - 台灣玻璃產業簡介，2010 年 8 月。  
<https://www.moneydj.com/KMDJ/Report/ReportViewer.aspx?a=7f05966a-1a79-43df-ac98-aea3d26290a8>
- [03] 經濟部統計處，工業產銷存動態調查。 <http://dmz9.moea.gov.tw/gmweb/investigate/InvestigateDA.aspx>
- [04] 富氧燃燒技術在玻璃行業節能改造方面的應用，中國節能產業網。  
<http://www.china-esi.com/pat/11371.html>
- [05] C. E. Baukal, Oxygen-enhanced combustion, CRC Press, New York, 1998.
- [06] 台灣玻璃工業股份有限公司，CSR 報告書，2017 年 4 月。
- [07] 台灣玻璃工業股份有限公司台中廠，溫室氣體報告書，2017 年 4 月。
- [08] 張育誠等，富氧燃燒技術之應用與分析，臺灣能源期刊，第二卷第三期 P-324，2015 年 9 月。
- [09] Industrial Efficiency Technology Database/Glass/Melting and Refining/IncreasedCulletUse. <http://ietd.iipnetwork.org/>
- [10] 行政院環境保護署，溫室氣體排放係數管理表。 <http://ghgregistry.epa.gov.tw/Tool/tools.aspx?Type=1>
- [11] 經濟部能源局，106 年度電力排放係數。 [https://www.moeaboe.gov.tw/ecw/populace/content/ContentDesc.aspx?menu\\_id=6989](https://www.moeaboe.gov.tw/ecw/populace/content/ContentDesc.aspx?menu_id=6989)
- [12] Pilkington Group Limited, UK-6 type furnace basic design specification, 1996-02。



[13] Pilkington Group Limited, TF-1 production line thermal survey, 1985-01。

[14] 台灣玻璃工業股份有限公司台中廠，富氧燃燒內部測試報告，2012年06月。

[15] HeatOx 全氧燃燒系統，Air Liquide（液空集團）公司所開發氧氣加熱系統專利技術。<https://www.airliquide.com/>

## NOTE

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

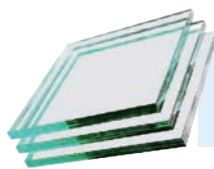
---



# 玻璃相關產業

低碳製程技術彙編

## ▶ 附錄 1 熱態純氧燃燒技術 (HeatOx)

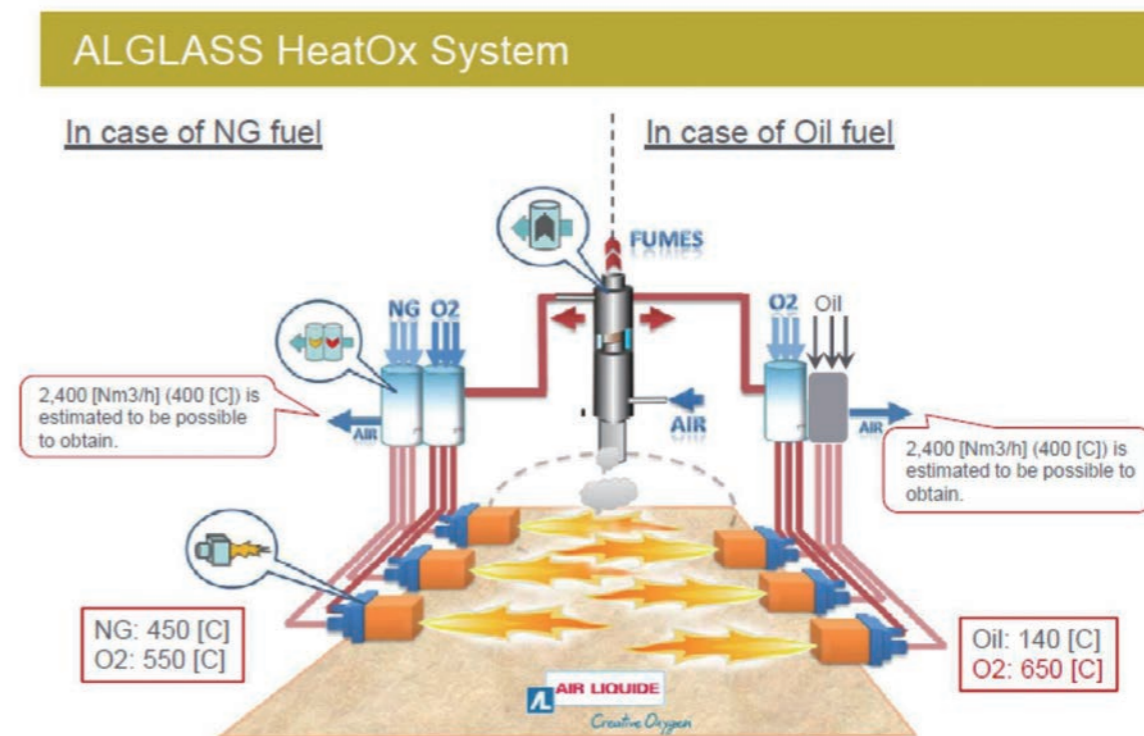


## 附錄 1、熱態純氧燃燒技術 (HeatOx) [15]

### 1. 技術應用原理

近年來，廠商 Air Liquide 推出熱態純氧燃燒 (HeatOx)，利用燃燒中的熱量將氧氣和天然氣預熱至較高溫度的創新技術，因尚未於業界推廣普及，僅於附錄提供參考。

採用純氧替代空氣，可以提高燃燒效率及降低燃料消耗，熱態純氧燃燒技術 (HeatOx) 通過對氧氣和燃料 (天然氣) 進行預熱，最大限度提高純氧燃燒效果，與無預熱技術相比，純氧燃燒可多節省 10% 的能源，示意圖如附圖 1-1。



附圖 1-1 玻璃纖維增強絲製造流程圖

資料來源：Air Liquide (液化空氣公司) 技術資料

2. 技術特點與優勢

使用經過預熱的氧氣和燃料進行燃燒，不僅節省了能源的消耗，而且降低二氧化碳排放，與無熱態全氧燃燒相比，污染排放可額外降低 10%。

Air Liquide 評估熔爐燃燒使用 ColdOx 與 HeatOx 系統比較如下附表 1-1 所示：

附表 1-1 ColdOx 與 HeatOx 比較表

燃燒型式	ColdOx 普通的全氧燃燒系統		HeatOx 熱態全氧燃燒系統	
	重油	天然氣	重油	天然氣
預熱溫度	O <sub>2</sub> : 常溫 Oil : 140°C	O <sub>2</sub> : 常溫 天然氣: 常溫	O <sub>2</sub> : 650°C Oil : 140°C	O <sub>2</sub> : 550°C 天然氣: 450°C
燃料節省率	---	---	6.5%	10.0%
氧氣節省率	---	---	6.5%	11.0%

3. 應考慮因素與限制

採用純氧燃燒技術後，爐內氣體成分變化明顯，燃燒產物中的水蒸氣含量可高達 50% 以上，水蒸汽會和玻璃熔體中的氧化鈉反應生成大量氫氧化鈉，使得鹼揮發物的體積濃度也大幅增加。較大的鹼蒸汽濃度和生成的硫酸鈉都會造成矽磚等耐火材料被嚴重侵蝕，矽磚壽命大幅縮短。因此需要尋找優質的耐火、耐蝕材料。

NOTE

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

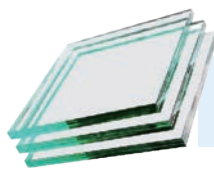
---

---

---

---

---



## NOTE

NOTE

A collection of various triangles in different colors (blue, grey, white) and orientations scattered across the page. There are approximately 15 triangles of varying sizes and colors.

## NOTE

NOTE

A collection of various triangles in different colors (blue, grey, white) and orientations scattered across the page. There are approximately 10 triangles of varying sizes and colors.





INDUSTRIAL DEVELOPMENT BUREAU,  
MINISTRY OF ECONOMIC AFFAIRS  
經濟部工業局

106臺北市信義路三段41-3號

電話：(02)2754-1255

傳真：(02)2703-0160

網址：<http://www.moeaidb.gov.tw>

經濟部工業局廣告