廢熱回收節能技巧

作者：李凱 專案設計經理
中鼎工程(股)公司

一、基本原理

1. 廢熱來源：泛指工廠無回收設備而直接或間接排放稱之。直接排放多針對氣體而言，包括蒸汽鍋爐、熱媒鍋爐、焚化爐、加熱爐、電弧爐、水泥窯等的煙道氣體排放，其中多數仍有相當的熱能未被有效利用。間接排放主要以製程因操作單元及系統需求，需用水冷或氣冷等方式間接移除製程內熱能以滿足後續程序所需，既使產品或製程排放水亦需進一步冷卻，以達到適合貯存及廢水處理的要求。

2. 廢熱特性：需朝定性、定量兩方面來考量。定性者即是否連續性，有很多間歇性的熱能排放較無法有效回收，譬如煉鋼所需的電弧爐、轉爐、精煉爐等都採批次作業，即使有大量熱能釋出，截至目前尚無較經濟有效的熱能回收方式，比較可行的是利用電弧爐的高溫排放來預熱廢鐵進料，但這往往因位置空間的限制，無法在既有廠區內作有效熱回收的改善，需在初始規劃設計時即列入考量爲宜，目前國內煉鋼近二十家業者，僅有一家朝此改善努力。另外，熱能載體的流量溫度亦相當重要，溫度越高，越有利用價值。
   所謂定量係對熱能載體流量而言，流量越穩定，越具有回收價值。實際上在設計廢熱回收系統時，定性與定量兩者需同時考量，方能規劃較具經濟效益，又能操控穩定較長使用壽命才能符合需求。

3. 硬體設備：廢熱回收硬體設計可分直接回收設備及間接回收設備。直接設備如熱交換器可直接將廢熱載體的熱能透過換熱器轉換給需被加熱的流體，或直接將廢熱載體的熱能在乾燥機內與需被乾燥物體作直接接觸，可同時作質量與能量的傳遞。
   間接回收設備需透過適當介質來傳遞熱能，不能單以設備稱之，而應視爲

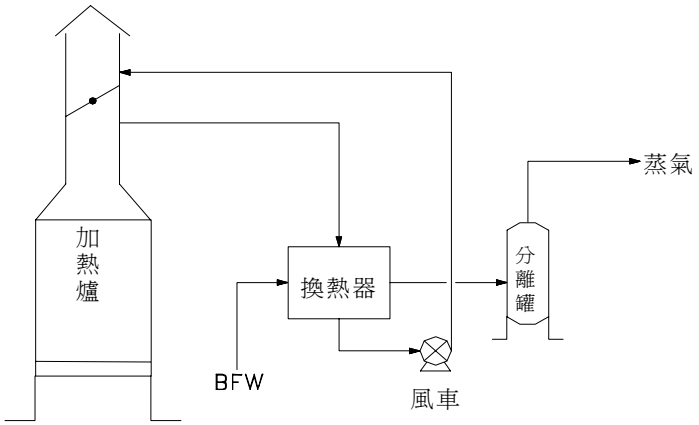
廢熱回收系統，例如吸收式冰水機的應用，熱管(Heat Pipe)及卡林那循環(Kalina Cycle)等應用，都是透過適當介質來作系統內熱能的傳輸。無論直接或間接設備，除了廢熱特性考量外，對工安、環保、衛生、整潔等皆需一併納入考量。

4. 軟體設計：熟悉廢熱特性，對硬體設備的認知，加上足夠的工程設計經驗，方能規劃較具經驗效益且安全可靠的熱回收系統。這其中免不了需有自動監控系統，一方面確立系統的穩定性，並可作歷史記錄，以利追蹤、保養維護及改善的依據。

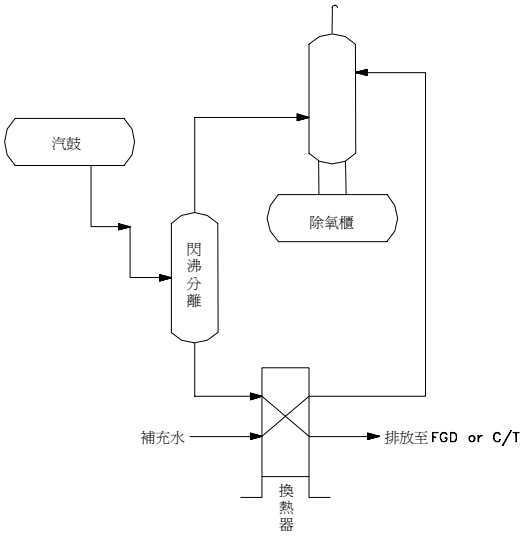
貳、節能手法

1. 空氣預熱：蒸汽鍋爐、熱媒鍋爐及加熱爐等，利用其排放高溫與空氣換熱，可提升燃燒空氣溫度，降低排氣溫度達到回收廢熱目的。最終排氣溫度需顧及酸露點，避免腐蝕影響設備使用壽命。
   以燃油 1 %硫份而言，換熱器(預熱器)冷端管壁溫度不得低於 110℃；硫份 0.5 %，管壁溫度不得低於 80℃。此處需強調的是管壁溫度非排氣溫度。

2. 鍋爐飼水預熱：蒸汽鍋爐的高溫排氣可用來預熱鍋爐飼水，因氣水熱傳較氣氣熱傳高，相對其熱傳面積可較小，比空氣預熱器來的經濟些。其他較高溫的排氣如加熱爐或水泥窯等，甚至可設置廢熱鍋爐來產生蒸汽。

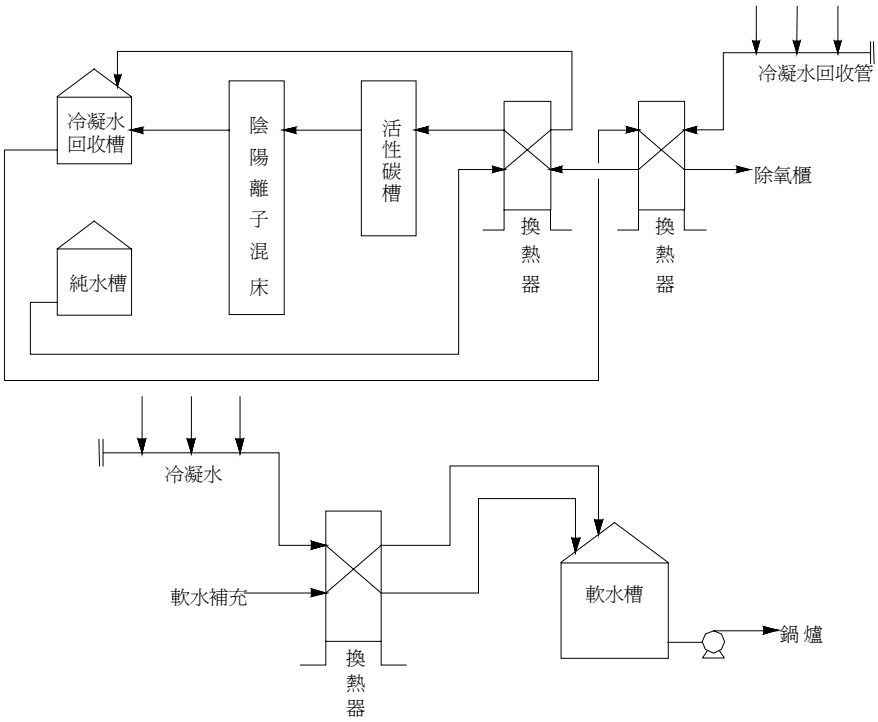


3. 鍋爐連續排放顯熱回收：一般低壓鍋爐採用間歇性排放，不利於回收。飼水泵浦採高低液位補充進水，不僅造成大量爐水挾帶影響蒸汽品質，且爐水水質變化差異大，不當的間歇性排放造成無謂熱損失及水資源流失。
採用連續進水及排放，不僅水質控制穩定，減少排放量，亦可減少化學品添加量。



鍋爐連續排放熱回收

4. 除氧櫃排氣熱回收：利用此排氣溫度，可預熱進除氧櫃的補充水，可相對減少吹驅蒸汽用量，達到節能效果。
5. 冷凝水回收槽閃沸蒸汽熱回收：高壓冷凝水經却水器降壓後即形成閃沸蒸汽，經回收管至貯槽排氣口排放，不僅熱能浪費，亦造成水資源的流失。可在進回收槽前裝設熱交換器來預熱補充水，或在排氣口裝預熱冷凝器回收熱能及水資源。



冷凝水顯熱回收

6. 壓縮機壓縮熱回收：空氣壓縮機的壓縮熱可用來再生儀錶空氣用的乾燥機內乾燥劑。經過壓縮後的空氣，壓縮比愈大溫度愈高，以往直接用冷卻水將空氣冷卻，未能有效利用此壓縮熱。目前國外許多空氣乾燥機廠商紛紛推出壓縮熱回收乾燥機(Heat of Compression Dryer)。事實上，將現有管路加以修改即能達到相同的功能。

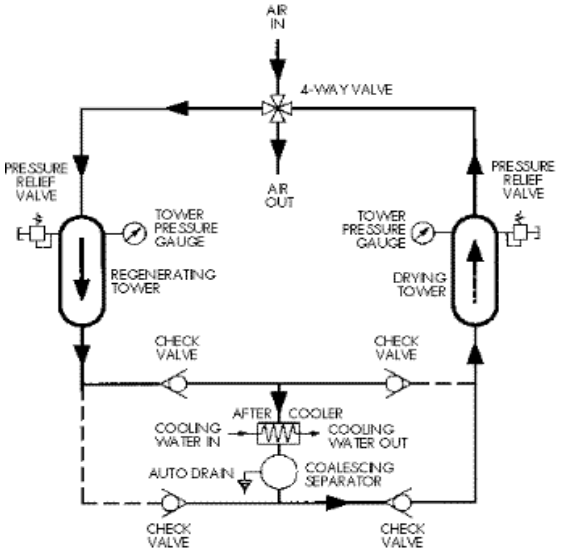
其優點：

- 回收壓縮熱再生乾燥劑。
- 取消或節省再生加熱器所需電能或熱能。
- 無吹驅損失。

其缺點：

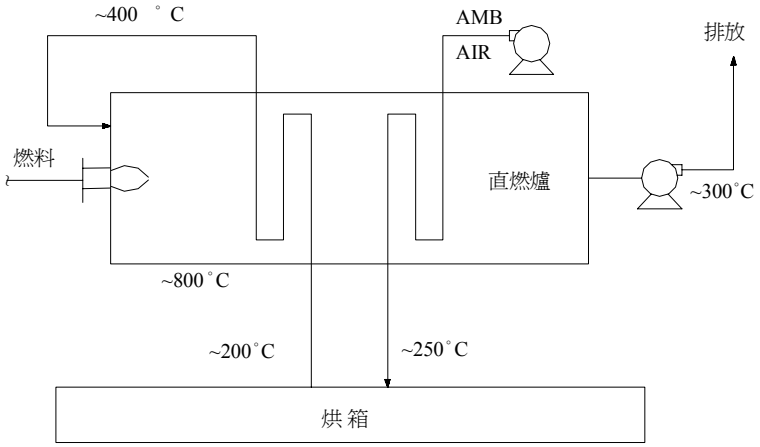
- 壓縮機負載變化時，壓力露點溫度改變。
- 壓力露點溫度-18℃~4℃，可能無法滿足需求。
- 僅適用於無油式壓縮機。

壓縮熱回收再生



Heat of Compression Dryer, Full Stream Diagram

7. 塗佈烘烤熱回收：塗佈烘烤作業在車體、彩鋼、有色鋼板等應用廣泛，一般用熱風(空氣)將溶劑或水份(水性塗料)蒸發，由於環保問題，其廢氣 VOC 排放需再處理，有效利用 VOC 焚化爐燃燒排氣廢熱加熱烘箱所需熱風，可節省焚化爐及烘箱能源使用。



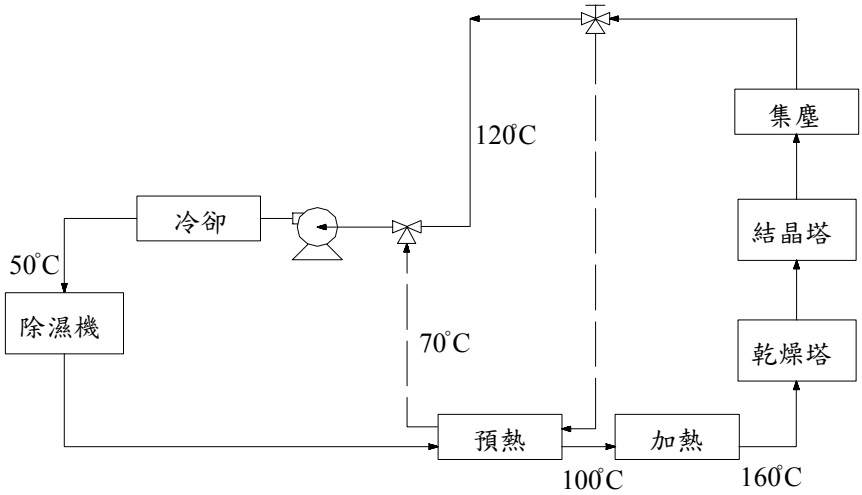
8. 聚酯粒乾燥

聚酯粒經切粒及離心脫水後，尚需經結晶及乾燥製程以達到所需品質。

結晶乾燥用 160 ℃熱風(空氣)，逆向流經乾燥塔及結晶塔，經袋式除塵後溫度仍有 120 ℃，由冷卻器降溫至 50 ℃以下進乾燥機(吸附式)脫水，再用加

熱器升溫至 160 ℃循環使用。

應可回收 120 ℃熱風餘熱用來預熱除濕的循環風，可節省加熱器及冷卻器之負荷。目前國內業者幾乎皆無此節能措失。



9. 污泥乾燥各工廠廢水處理產生之污泥含水份 60~70%，往往增加委外處理費用，若將水份脫除至 25%，可使污泥減重一半。

- 利用鍋爐，加熱爐，焚化爐等高溫排放氣體直接乾燥，此方式乾燥機成本最低，唯需顧及有機氣體排放及臭味，另外因熱源與污泥位置需謹慎評估。
- 利用高溫廢熱加熱媒介物(水)，以間接乾燥污泥，間接加熱熱傳面積較大，設備投資成本較高，但輸送成本較低，亦較潔淨，排放廢氣量少等優點。

濃縮蒸發熱回收

許多行業如果汁、啤酒、甘油、溶劑回收等都是利用蒸發濃縮方式進行；利用外部蒸汽熱能加熱將溶液水分蒸發可得濃縮產品，更甚者如海水淡化，精鹽製造及廢水回收亦都可行。蒸發是相當耗能源之製程，有效回收利用其熱能可大幅降低生產成本提高競爭力。

目前最常見者是多效蒸發，用第一蒸發罐蒸發出的水蒸汽當作第二段之熱源，以此類推，3-4 效很常見，最多 6 效者皆有。

另外有熱壓縮方式，有 THERMAL RECOMPRESSION 及 MECHANICAL

VAPOR RECOMPRESSION(MVR)兩種。前者利用較高壓蒸汽作驅動，可提升低壓蒸汽等級，後者則利用壓縮機來提昇。11.蒸餾塔熱回收

工廠內爲分餾及精緻產品皆有設置蒸餾塔，亦爲耗能源重要設備。底部有蒸汽再沸器(REBOILER) ，加熱塔底溫度，頂部則往往用水冷卻器或空氣冷卻器將汽化產品冷凝爲液體，幾乎是底部所加之熱量完全由頂部冷卻器移除，實爲一大浪費。

最有效可行方式爲預熱本塔進料，或其他流體之預熱，唯需注意進料位置之調整，以免影響整體之平衡操作。

另有可行方式爲提升迴流溫度，塔頂部汽化產品冷凝至飽和溫度即可迴流(僅迴流部份) ，如此可減少底部蒸汽再沸器熱能消耗。

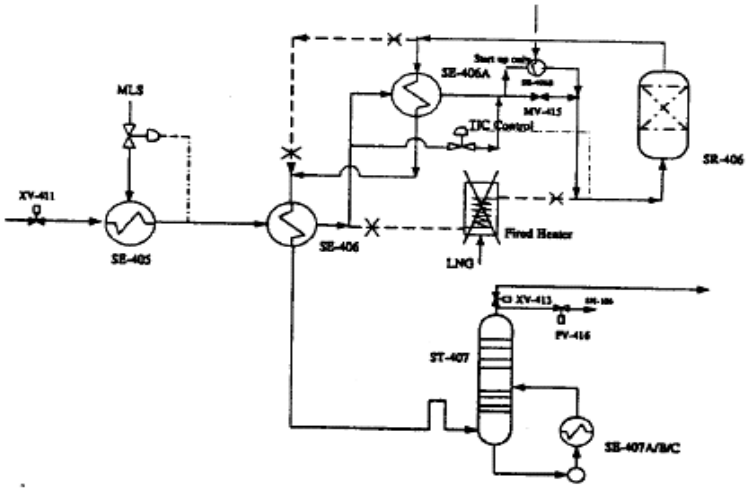
三、實際案例介紹

(一)中美和高雄廠製程尾氣廢熱回收

製程尾氣原需加熱爐升溫以利氧化分解所含有機氣體(VOC)，以達環保排放要求。

利用氧化排放高溫廢氣預熱製程尾氣，新增熱交換器以回收此高溫廢熱取代原加熱爐操作。

新增熱交換器取代原加熱爐之操作



此廢熱回收方式可減少加熱爐天然氣消耗，亦相對抑制二氧化碳排放及加

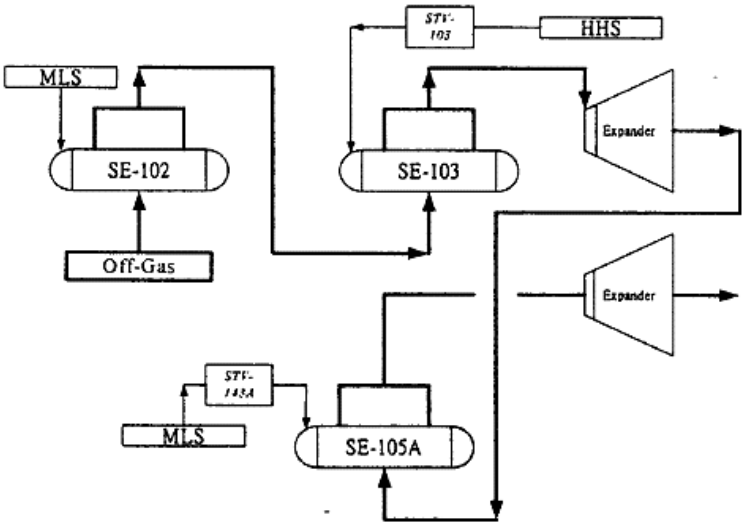
熱爐操作、維修保養人力的節省。推廣四個廠的成效如下表

經驗及成效推廣

Unit	BU1	BU2	BU3	BU4	Total Saving
Total LNG reduction (NCM/yr)	590,877	477,677	1,097,650	1,204,488	3,370,692
Total CO2 reduction (ton/yr)	1,241	1,003	2,305	1,796	6,345
Total cost saving (NT$/yr)	$5,317,893	$4,299,093	$9,878,850	$7,697,205	$27,193,041
Total investment (NT$)	$25,500,000	$25,500,000	$25,500,000	$25,500,000	$102,000,000

(二)中美和高雄廠降低製程尾氧排放高溫

原製程尾氧需耗用高壓蒸汽升溫以增加 Expander 動力回收

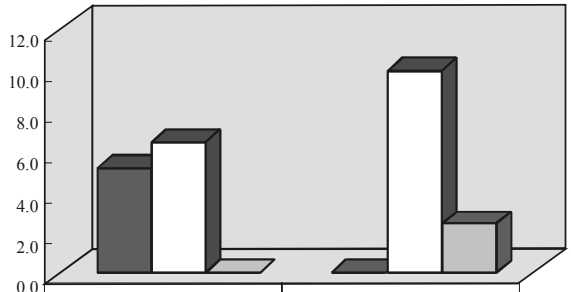


新增熱交換器改用中壓蒸汽以降低製程尾氧排放高溫，使動力回收單元不再耗用高壓蒸汽，其修改如下

相當於節省鍋爐燃料油每年 3,139 公秉，抑制二氧化碳排放 5,840 噸。

全年節約 1,500 萬元。其節能成效如下表

節能成效



	Original	Current
HHS Consumption for Expander heaters(Ton/hr)	5.7	0.0
MLS Consumption for Expander heaters (Ton/hr)	7.0	10.5
Power recovery loss (100 kwh)	0	3

(三)友達光電(股)公司冰機熱回收節能

無塵室專用 MAU 恆溫控制用 37℃用水，由熱回收冰機廢熱回收再利用。

未使用熱回收冰機時:

所需蒸汽熱交換產生之 37℃熱水耗用天然氣 279,586.5 M3/年

費用=2,628,113 元/年

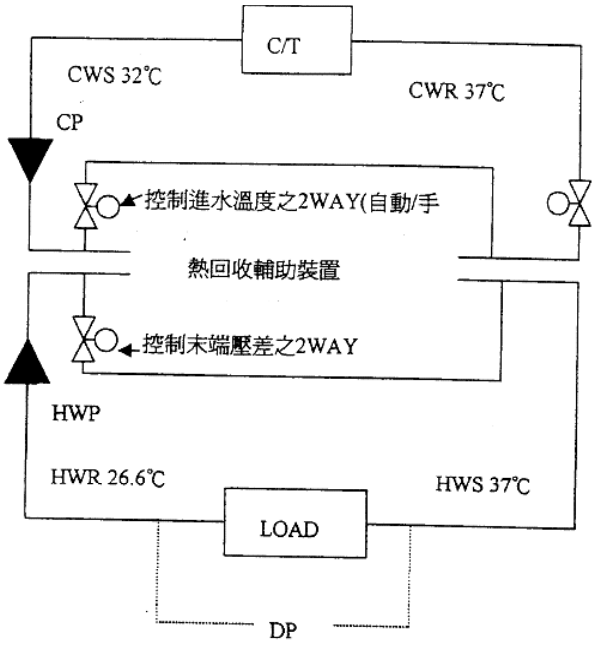
使用熱回收冰機時:

使用熱回收冰機後可取代全年供應 37℃熱水

全年節省天然氣及用電費用合計 550 萬元

抑制二氧化碳排放 1,813 噸/年。

熱回收系統流程圖


C/T
CWS 32℃
CWR 37℃
CP
控制進水溫度之2WAY(自動/手
熱回收輔助裝置
控制末端壓差之2WAY
HWP
HWR 26.6℃
HWS 37℃
LOAD
DP