

廢熱回收

能源查核及節約能源案例手冊



委託單位：經濟部能源局
執行單位：工業技術研究院



目錄

一、廢熱回收基本原理	1
(一)廢熱來源	1
(二)廢熱特性	1
(三)廢熱回收硬體設備	2
(四)軟體設計	2
二、廢熱回收節能手法	3
(一)空氣預熱	3
(二)鍋爐飼水預熱	3
(三)鍋爐連續排放顯熱回收	4
(四)除氧櫃排氣熱回收	6
(五)冷凝水回收槽閃沸蒸汽熱回收	6
(六)壓縮機壓縮熱回收	8
(七)塗佈烘烤熱回收	9
(八)聚酯粒乾燥	9
(九)污泥乾燥	10
(十)濃縮蒸發熱回收	10
(十一)蒸餾塔熱回收	11





三、廢熱回收設備	12
(一)蒸汽蓄熱器	12
(二)低壓蒸汽再壓縮	16
(三)吸收式熱泵(請參閱節約能源中心節能服務網)	16
(四)熱交換器之型式與應用	22
四、蒸汽及冷凝水回收	25
(一)冷凝水量估算	25
(二)冷凝水回收節約率	26
(三)祛水器	28
五、熱能有效利用	38
(一)熱能有效利用管理標準	38
(二)熱能有效利用管理測試與記錄	38
(三)改善措施	39



廢熱回收基本原理



(一) 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。

(二) 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為宜，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。





(三) 廢熱回收硬體設備

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，而應視為廢熱回收系統，例如吸收式冰水的應用，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。

(四) 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。

汽電共生系統可同時產生蒸汽與電力，在一工業區內需大量蒸汽及電力時，可興建汽電共生廠作為工業區內蒸汽與電力之供應者，其優點主要在於由業者自行籌建，評估工業區內實際蒸汽與電力用量，興建符合需求之規模，節省建廠支出；就近供應蒸汽與電力予製程廠，免除能源於輸送中所造成之損失；直接由蒸汽供應製程廠所需熱能，熱效率高可達52%以上。



廢熱回收節能手法



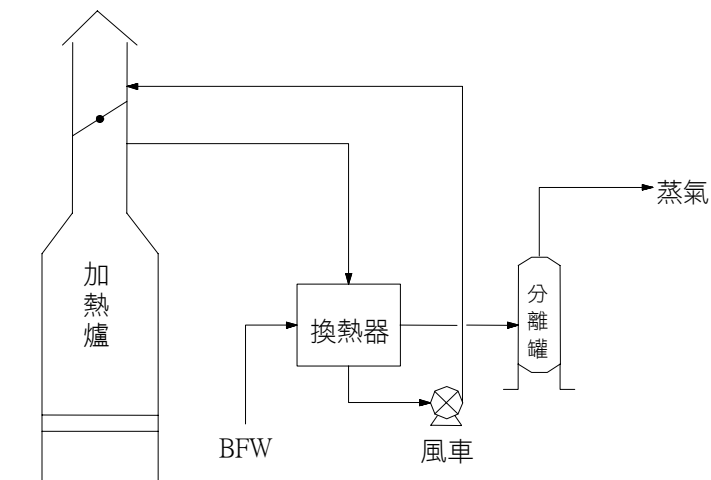
(一) 空氣預熱

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°C ；硫份0.5%，管壁溫度不得低於 80°C 。此處需強調的是管壁溫度非排氣溫度。

(二) 鍋爐飼水預熱

蒸汽鍋爐及其他加熱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。





某水管式鍋爐10T/H@15K，排氣溫度245°C，效率82%，除氧櫃飼水溫度105°C，尾氣含氧量5%，0.5%S燃油LHV=9,700Kcal/L，節煤器尾氣出口溫度145°C，

燃油量：

$$(666.7\text{Kcal/Kg} - 105\text{Kcal/Kg}) \times 10,000\text{Kg/h} \div 0.82 \div 9,700 = 706 \text{ l/hr}$$

$$706 \times 0.95 \times 19.5 \times 0.24 \times (245 - 145) = 313,890 \text{ Kcal/hr}$$

飼水溫度提升

$$313,890 = (T - 105) \rightarrow T = 136^\circ\text{C}$$

燃油節約

$$313,890 \div 9700 = 32 \text{ l/hr} \rightarrow 4.6\%$$

全年節約燃料費用

$$32 \times 8,000\text{hr} \times 12\text{元/l} = 3,072,000\text{元/yr}$$

投資費用約150萬元，6個月即可回收。

(三)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。

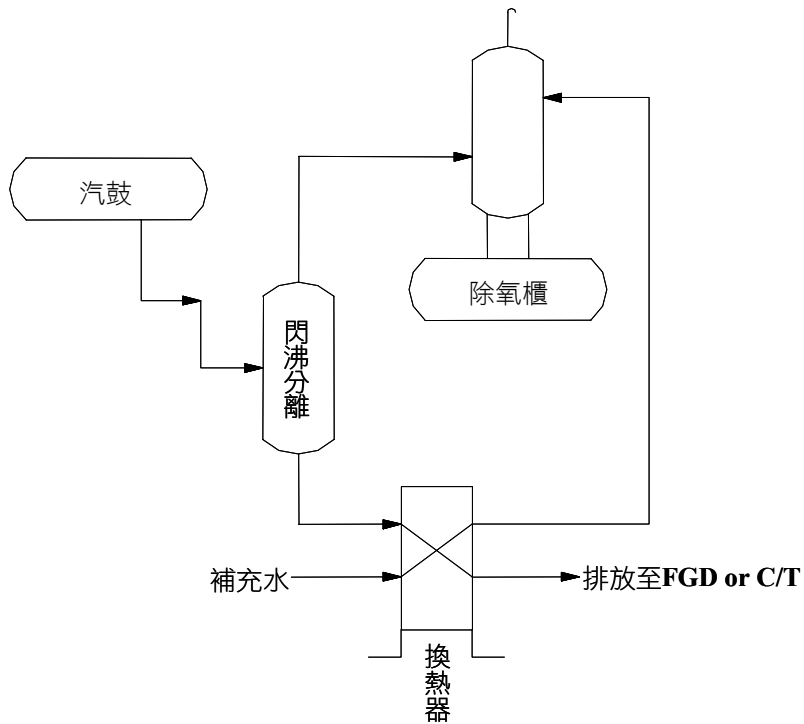


圖1 鍋爐連續排放熱回收

某汽電鍋爐操作 $65\text{T}/\text{H}@63\text{K}$ 278°C $h_l = 293 \text{ Kcal}/\text{Kg}$ ，連續排放量 $6.6\text{T}/\text{H}$ ，回收 13K 閃沸蒸汽($h_s = 665.7$)供應除氧櫃，冷凝水則排放至水溝。

$$\text{閃沸蒸汽回收量} = 6,600 \times (293 - 197.3) \div 468.4 = 1348 \text{ Kg}/\text{H}$$

剩餘熱能回收(預熱補充水)

$$(6,600 - 1,348) \times (197.3 - 50) = 773,620 \text{ Kcal}/\text{H}$$

全年燃油節省

$$773,620 \times 8,000 \text{ hr} \div 9,700 \div 1,000 = 638 \text{ KL}$$

全年燃費節省

$$12,000 \text{ 元} \times 638 = \mathbf{7,656,000 \text{ 元}}$$

(四) 除氧櫃排氣熱回收

除氧櫃利用蒸汽吹驅鍋爐飼水中氧氣。除氧櫃蒸汽排放量0.5~1.0%。

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。

除氧櫃流量平衡

$$STM + W = BFW + V ; V = 1\%STM$$

熱量平衡

$$STM \times hS + W \times hW = BFW \times hBFW + V \times hV$$

除氧櫃質量平衡

$$50^{\circ}\text{C} \text{ 補充水} + \text{水蒸汽} = 1\% \text{ 排氣} + 110^{\circ}\text{C} \text{ 鍋爐飼水}$$

$$20,000 + W_s = 0.01 W_s + W_f$$

熱能平衡

$$20,000 \times 50 + 650.6 \times W_s = 0.01 W_s \times 642.8 + W_f \times 110$$

$$W_s = 2242 \text{ Kg/Hr}$$

$$V = 22.4 \text{ Kg/Hr (排氣)} \quad \lambda = 533 \text{ Kcal/Kg}$$

$$22.4 \times 533 \times 8,000 \text{hr} \div 9,700 \div 1,000 = 9.85 \text{ KL}$$

$$12,000 \text{元} \times 9.85 \text{ KL} = 118,200 \text{ 元}$$

此回收熱可用來預熱部份補充水。

(五) 冷凝水回收槽閃沸蒸汽熱回收

一般而言，冷凝水回收是提高鍋爐效率最顯著，且回收報酬率最大的方式。不僅熱量回收，且水資源及化學品皆可相對節約。

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。

冷凝水回收需考量製程污染，輕微污染可藉由活性炭及過濾等方式處理。污染嚴重則需找出污染源盡速修復。



製程蒸汽釋放潛熱後，最少仍有3K壓力，其熱焓 $H1 = 143 \text{ Kcal /Kg}$

製程冷凝水需經活性炭及混床樹脂淨化，其溫度需低於 50°C

以10T/H冷凝水回收計算

$$10,000 \times (143 - 50) \times 8,000 \text{hr} \div 9,700 \div 1000 = 767 \text{ KL}$$

全年節約燃油費用

$$12,000 \text{元} \times 767 = 9,204,000 \text{元}$$

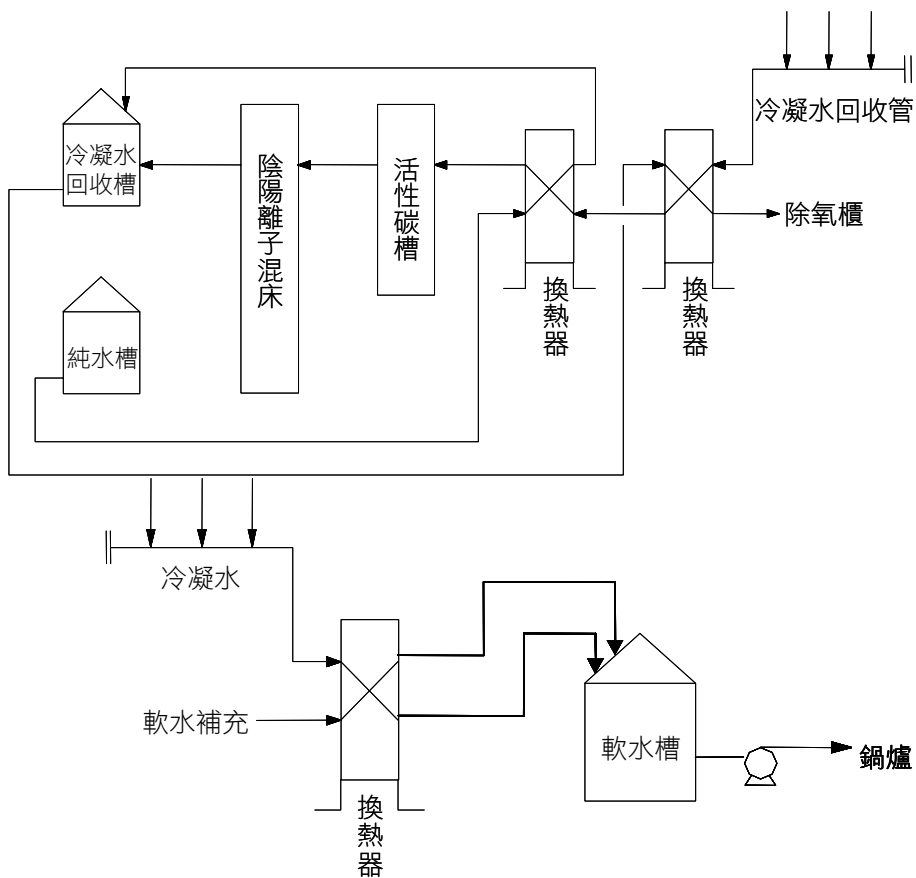


圖2 冷凝水顯熱回收

(六) 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：

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

其缺點：

- (1)壓縮機負載變化時，壓力露點溫度改變。
- (2)壓力露點溫度 $-18^{\circ}\text{C}\sim 4^{\circ}\text{C}$ ，可能無法滿足需求。
- (3)僅適用於無油式壓縮機。

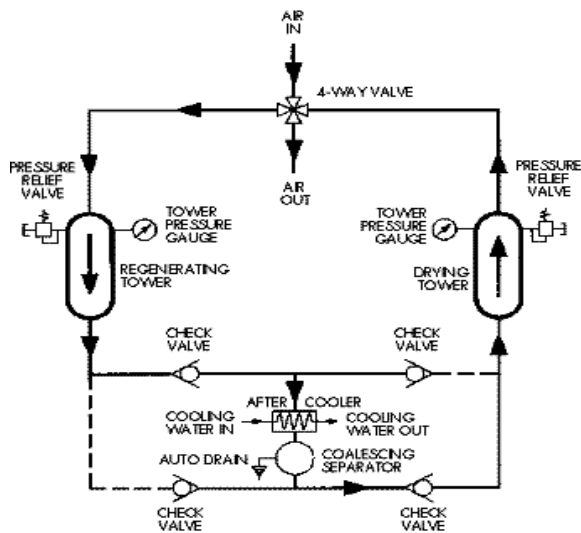
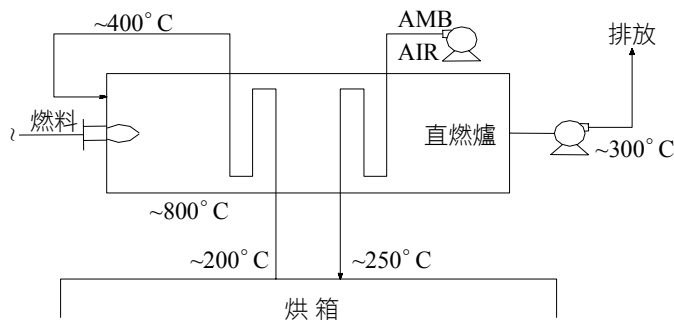


圖3 壓縮熱回收乾燥機(Heat of Compression Dryer)



(七)塗佈烘烤熱回收

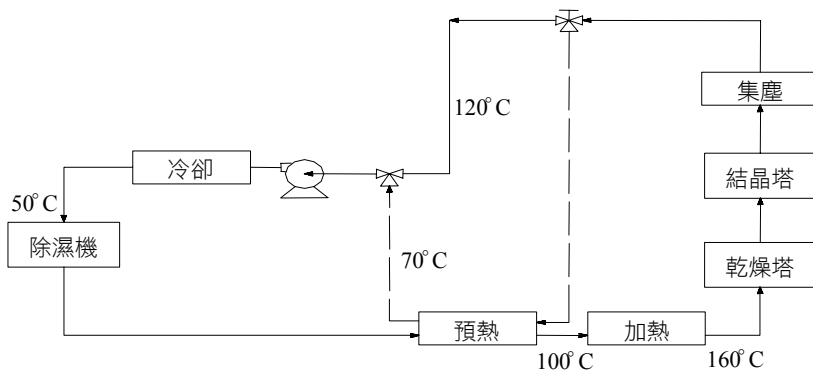
塗佈烘烤作業在車體、彩鋼、有色鋼板等應用廣泛，一般用熱風(空氣)將溶劑或水份(水性塗料)蒸發，由於環保問題，其廢氣VOC排放需再處理，有效利用VOC焚化爐燃燒排氣廢熱加熱烘箱所需熱風，可節省焚化爐及烘箱能源使用。



(八)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 °C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°C，由冷卻器降溫至50 °C以下進乾燥機(吸附式)脫水，再用加熱器升溫至160°C循環使用。應可回收120°C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。



(九) 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。

- (1) 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。
- (2) 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。

(十) 濃縮蒸發熱回收

將幾個蒸發器串聯運行的蒸發操作，使蒸汽熱能得到多次利用，從而提高熱能的利用率，多用於水溶液的處理。在三效蒸發操作的流程(見圖4並流三效蒸發流程)中，第一個蒸發器(稱為第一效)以生蒸汽作為加熱蒸汽，其餘兩個(稱為第二效、第三效)均以其前一效的二次蒸汽作為加熱蒸汽，從而可大幅度減少生蒸汽的用量。每一效的二次蒸汽溫度總是低於其加熱蒸汽，故多效蒸發時各效的操作壓力及溶液沸騰溫度沿蒸汽流動方向依次降低。依據二次蒸汽和溶液的流向，多效蒸發的流程可分為：①並流流程。溶液和二次蒸汽同向依次通過各效。由於前效壓力高於後效，料液可藉壓差流動。但末效溶液濃度高而溫度低，溶液黏度大，因此傳熱係數低。②逆流流程。溶液與二次蒸汽流動方向相反。需用泵將溶液送至壓力較高的前一效，各效溶液的濃度和溫度對黏度的影響大致抵消，各效傳熱條件基本相同。③錯流流程。二次蒸汽依次通過各效，但料液則每效單獨進出，這種流程適用於有晶體析出的料液。

再生蒸汽溫度與末效冷凝器溫度相同(即總溫度差相同)條件下，將單效蒸發改為多效蒸發時，蒸發器效數增加，生蒸汽用量減少，但總蒸發量不僅不增加，反而因溫度差損失增加而有所下降。多效蒸發節省能耗，但降低設備的生產強度，因而增加設備投資。在實際生產中，應綜合考慮能耗和設備投資，選定最佳的效數。燒鹼等電解質溶液的蒸發，因其溫度差損失大，通常只採用2~3效；食糖等非電解質溶液，溫度差損失小，可用到4~6效；海水淡化所蒸發的水量大，在採取了各種減少溫度差損失的措施後，可採用20~30效。

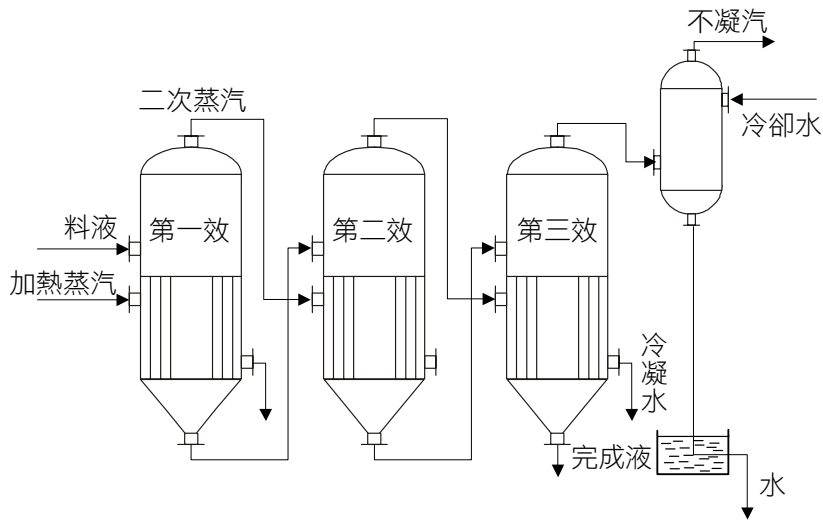


圖4 並流三效蒸發流程

(十一) 蒸餾塔熱回收

工廠內為分餾及精緻製產品皆有設置蒸餾塔，亦為耗能重要設備。底部有蒸汽再沸器，加熱塔底溫度，頂部往往用水冷卻器或空氣冷卻器將汽化產品冷凝為液體，幾乎底部所加之熱量完全由頂部冷卻器移除，實為一大浪費。最有效可行方式為預熱本塔進料，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。

塔頂餘熱應先予以回收至某一程度後再用水冷卻器或空氣冷卻器冷凝至所須溫度。迴流溫度應以飽和溫度為佳以減少熱能無謂消耗。



廢熱回收設備

(一) 蒸汽蓄熱器

1. 蓄熱器概述

現代鍋爐的設計都著重在性能高、蒸發量大、體積小的特點上，鍋爐內水室的保留容積相對減少，因此容納的高壓飽和水減少，同時由於鍋爐汽室的保留容積也相對縮小，使儲存蒸汽的容量不足。當需求負荷變動大時，鍋爐無法瞬間有效地蒸發或利用鍋爐所儲存的蒸汽，以供應現場製程的需求。

有很多典型工廠，因為生產程序的安排及因應機器操作的要求，經常會發生尖峰負載，因而使鍋爐的負荷變動極大，當負荷突然增大時，蒸汽供應量不足，鍋爐內壓力下降，引起嚴重的汽水共騰。為了解決上述問題，國內工廠經常購置遠超過蒸汽平均需求量1~3倍的鍋爐，以避免瞬間蒸汽需求量所造成的問題，鍋爐大部份都在低燃燒的操作狀況下，燃油的燃燒效率低，過剩空氣量增多，由於鍋爐大負荷小，爐體的散熱損失也比例增加，導致鍋爐效率降低，能源大量浪費。

汽壓、水位上下波動，使鍋爐運行操作困難，還會導致鍋爐燃燒效率降低。在這在工業鍋爐供汽系統中儲存多餘熱量並在需要時將所蓄熱量釋放出來的設備。在工業鍋爐供汽系統中如果用汽量經常發生大幅度的波動，不僅會引起鍋爐種情況下應用蓄熱器能有效地穩定鍋爐負荷，改善鍋爐運行條件，不使鍋爐效率降低。鍋爐蓄熱器有變壓式和定壓式兩類，變壓式蓄熱器的工作壓力隨所儲熱量的增減而變化，其中最典型的是蒸汽蓄熱器。定壓式蓄熱器的工作壓力恆定，其中以給水蓄熱器最為常用。

蒸汽蓄熱器一種應用最廣泛的變壓式蓄熱器(見圖5)。當鍋爐蒸發量大於用汽量時，多餘的蒸汽進入蓄熱器加熱其中的儲水(飽和水)，蒸汽本身也凝結於其中，蓄熱器中的壓力隨之上昇。當用汽量大於鍋爐的蒸發量時，蓄熱器中的儲水(飽和水)因降壓而沸騰，提供蒸汽以保持鍋爐負荷不變。整個工作過程由一組自動調節



閥門自行控制。閥V 1用以保持鍋爐壓力不變，閥V 2用以保持用汽壓力不變，而蓄熱器壓力則在二者之間變化。鍋爐壓力與用汽壓力之間的壓差越大，蓄熱器可儲蓄的熱量也越大，並可按不同的情況來選擇其容積。蒸汽蓄熱器特別適用於工業鍋爐系統。

給水蓄熱器 一種定壓式蓄熱器。蓄熱器壓力、鍋爐壓力與用汽壓力都基本相同。當用汽量低於鍋爐蒸發量時，多餘的蒸汽(或熱量)用以加熱給水，使給水成爲飽和水並儲存於蓄熱器中。當用汽量增大時則用蓄熱器中溫度較高的飽和水代替溫度較低的給水送入鍋爐，使鍋爐的蒸發量增大以滿足需要。給水蓄熱器工作壓力恆定，故也適於小型蒸汽動力裝置，但其儲蓄熱量不大。鍋爐給水溫度越高，其蓄熱能力越低。

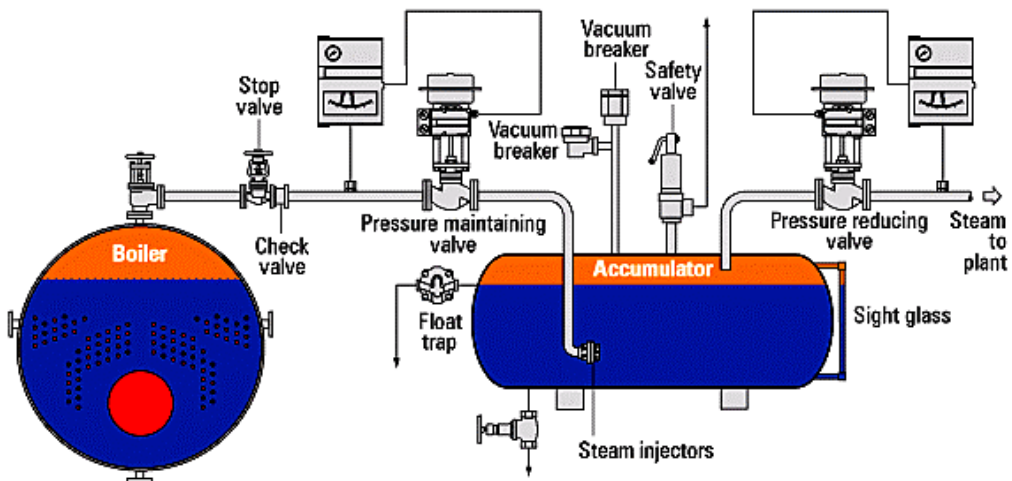


圖5 蓄熱器構造圖

2.原理及操作說明

蓄熱器係利用鍋爐產生的高壓蒸汽注入及貯存高壓飽和水，當製程尖峰需求擴增時，即由自動減壓閥釋出低壓閃沸再生蒸汽，由於容積較大，可彌補鍋爐內水室不是的缺點。蓄熱器蒸汽發生量可由高壓飽和水熱焓及低壓飽和水熱焓差與低壓蒸汽蒸發熱計算而得。實際產出量及蒸發速度如下表：



表1 蒸汽蓄熱器蒸汽發生量

熱水每1m³的蒸汽發生量kg/m³

蓄熱氣得最高壓力 kg/cm ² G		7	8	9	10	12	14	15	16	18	20	22	24
蓄熱器的最低壓力 kg/cm ² G (往工廠的壓力)	2	66	74	81	87	99	110	115	119	127	136	143	149
	3	48	57	65	71	84	95	99	104	113	121	127	134
	4	33	42	50	57	69	81	86	91	100	108	116	122
	5	22	31	39	46	59	70	76	80	90	97	106	112
	6			28	34	47	59	65	69	78	87	95	102
	7					38	50	56	61	70	78	86	92
	8						43	47	53	63	71	78	84
	9								44	55	63	70	76
	10									47	56	64	70
	11										49	57	63
	12										43	50	56

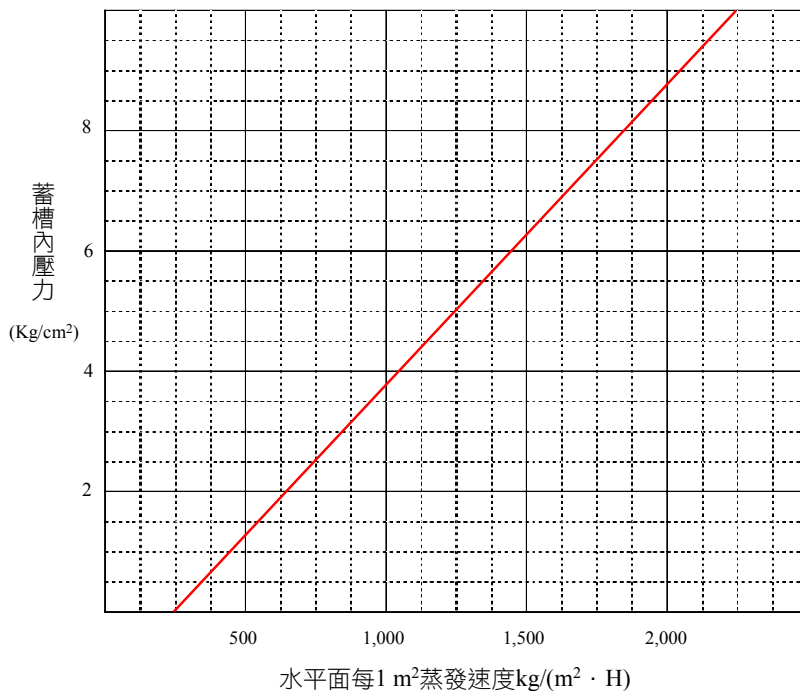
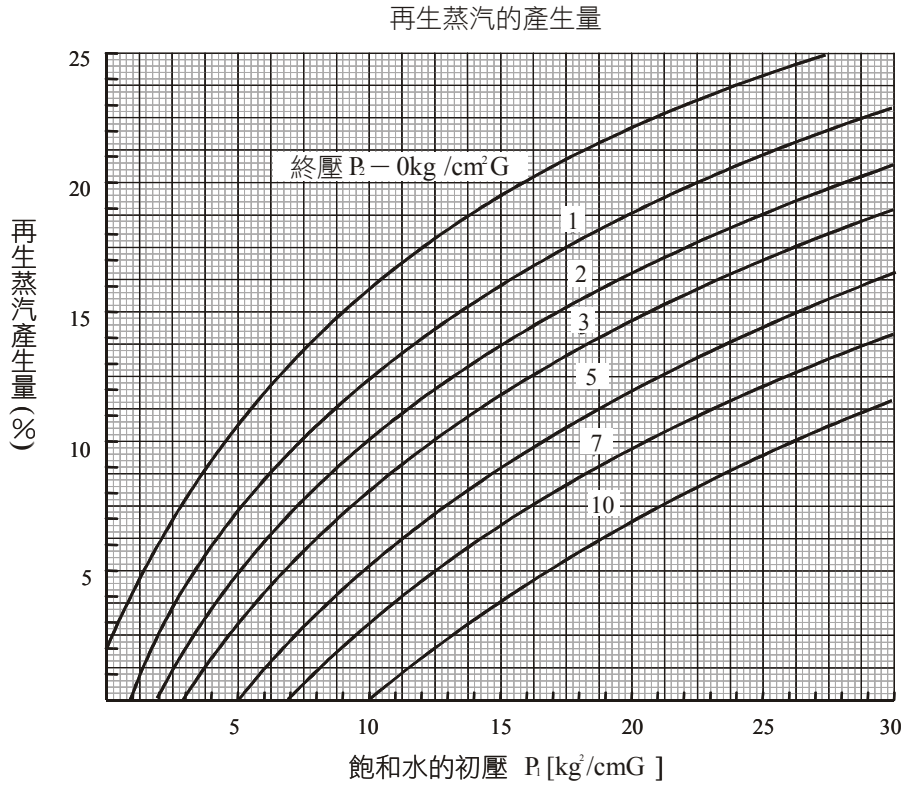


圖6 蓄熱器之蒸發速率



3.再生蒸汽產生量



熱焓計算說明：

例如：10kg/cm² G飽和水熱焓為185.6kcal/kg

若需產生3kg/cm² G再生蒸汽時

3kg/cm² G飽和水熱焓為143.7kcal/kg

3kg/cm² G蒸發熱為510kcal/kg

飽和水熱焓差可釋放熱量=185.6-143.7=41.9kcal/kg

3K再生蒸汽產生量(%)=41.9/510 100%=8.2%



(二)低壓蒸汽再壓縮

有熱壓縮方式，有 THERMORECOMPRESSION 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。

低壓過剩蒸汽可利用高壓蒸汽噴射器升壓或利用機械壓縮機升壓。

蒸汽噴射器設備簡單，利用高壓蒸汽的高速動能抽取低壓蒸汽，可得中壓蒸汽。此種升壓方式優點是初設成本低，但缺點是低壓蒸汽抽取量變化較大時，較不易獲得穩定控制，主要原因係噴射器噴嘴設計有流量範圍限制。

機械壓縮機升壓乃利用鼓風機或縮縮機來提升蒸汽壓力。鼓風機壓縮比較低，較適於濃縮蒸發水汽再壓縮利用，壓縮機可提升較高壓縮比的蒸汽，相對初設成本亦較高，需藉經濟效益評估分析其可行性。

(三)吸收式熱泵(請參閱節約能源中心節能服務網)

1.吸收式熱泵介紹

很多人可能不了解什麼是吸收式熱泵？如圖7所示，其不使用CFC冷媒，而以水為冷媒，利用其近乎真空之壓力製造低溫冰水，主要以熱能驅動熱泵，且可用的熱源不侷限於蒸汽，還包括熱水、天然氣、燃料油、鍋爐油及廢熱等。

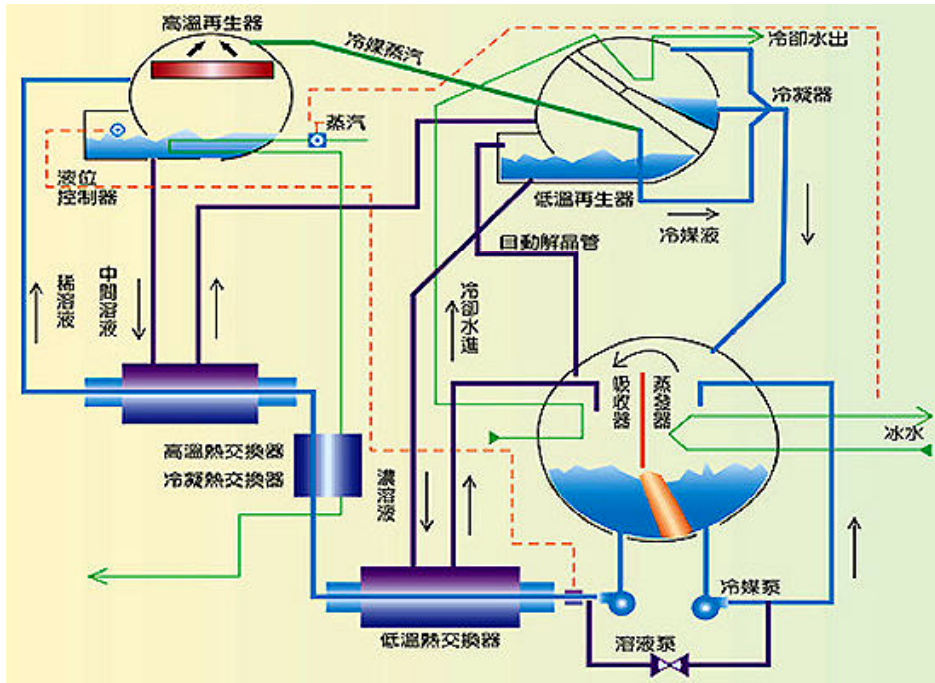


圖7 吸收式熱泵系統示意圖

為了充份使用不同溫度及種類的熱源，吸收式熱泵有下列三種型式：

	單效應系統	雙效應系統	直燃系統
性能係數	0.6~0.7	1.1~1.2	0.9~1.1
熱源	85~95°C 熱水	140~200°C 高溫熱水	以燃料直接燃燒於高溫再生器
	140~160°C 高溫熱水	5.0~8.0kg/cm ² G低壓蒸汽	
	1.0~2.0kg/cm ² G低壓蒸汽	400°C 以上廢氣	燃料為燃油及天然氣
	400°C 以下廢氣		
外觀	單筒型	雙筒型	雙筒型
	雙筒型	三筒型	三筒型



2. 吸收式熱泵適用場合

由於吸收式熱泵的能源輸入方式，係以熱能方式供應，因此在有熱源可供利用的地方或熱源取得價格相對低廉的地方，都十分適合使用吸收式熱泵。熱源的形式，亦說明了何種機型的吸收式熱泵較適用，如表2所述。

表2 不同型式吸收式熱泵的適用場合

適用場合	吸收式熱泵種類		
	單效式	雙效式	直燃式
1. 無法申請足夠電力或電力供應不穩定場所		●	●
2. 全年空調時數很短的場所減少基本電費支出		●	●
3. 尖峰移轉，緊急備用空調機組可降低緊急發電機容量		●	●
4. 在工作現場有廢熱源時，可利用廢熱鍋爐產生蒸汽或熱水，驅動吸收式熱泵產製冷能	●		
5. 有現成鍋爐容量過大時，可將多餘的熱能供應至吸收式熱泵產製冷能		●	
6. 有天然氣管線的區域			●
7. 原始燃料(油、氣)費用低的場所		●	●
8. 高電價的場所	●	●	●
9. 原使用CFC冷媒熱泵在汰換時有困難者	●	●	●
10. 在有振動、噪音管制要求的場所	●	●	●

由於操作費用為使用者關心，因此有許多種機型的吸收式熱泵可供設計者配合個案使用，以找出最低操作費用的機型。一般而言，在高電價、油氣價格低廉、有廢熱回收、汽電共生或需要緊急空調的場所，皆適合利用吸收式熱泵來當空調主機。但由於吸收式熱泵的內部結構複雜及熱傳材料要求嚴格，同時在製造上要達到較高的真空度，因此主機的價格較一般的壓縮式熱泵要來得高。

吸收式熱泵主要靠熱能驅動，因此使用吸收式熱泵將可大幅降低用電契約容量。由於空調系統耗電量佔所有用電量的相當大部份，而空調負載又大多集中於某一時段，因此若使用吸收式熱泵作為空調主機，將可削減尖峰負載的耗電量。往往這些節省的電費，將可使較高的初設投資成本在很短時間內回收。



另外，吸收式熱泵耗電量極低，對於醫院或某些製程空調不可中斷的地方，如半導體製造(82年順德工業導線架、87年茂德科技等)及GMP藥廠等，如果使用吸收式空調，將可降低備載發電機的容量。

而對於原本就有蒸汽系統或有多餘廢熱的場所，如醫院、飯店或工廠(紡織廠及染整廠等)，使用吸收式熱泵，更能有效利用、平衡冬夏的蒸汽用量，提升設備使用率。

在汽電共生系統中，通常將廢熱藉由廢熱鍋爐產生蒸汽，導入吸收式熱泵，成為一個完整的供電與冷暖空調系統，使整體效益大為提高，以下有幾種模式可供參考：

(1)吸收式熱泵＋燃油發電機(如圖8)

燃油引擎排氣約為 $300\sim 380^{\circ}\text{C}$ ，引擎缸套水約為 $85\sim 90^{\circ}\text{C}$ ，利用這二個廢熱源產生熱水驅動吸收式熱泵。

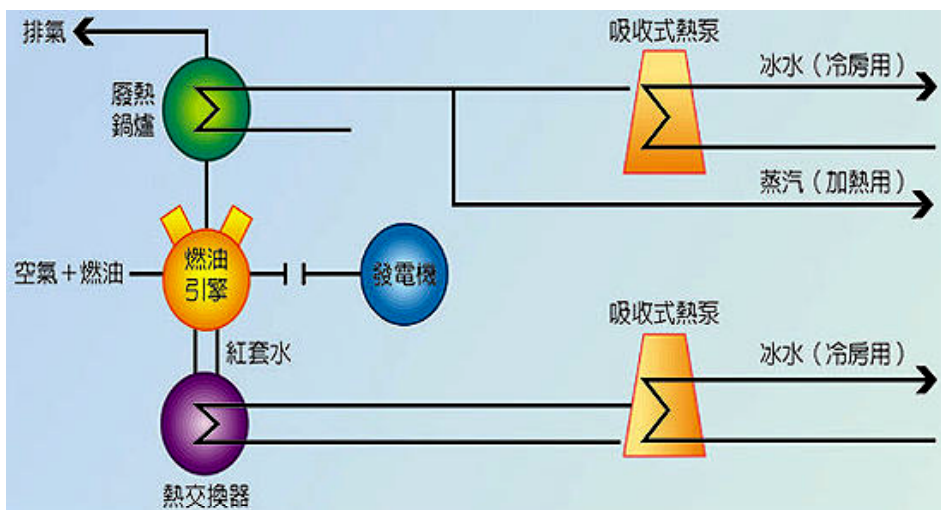


圖8 吸收式熱泵＋燃油發電機運轉模式

(2)吸收式熱泵＋燃氣渦輪發電機(如圖9)

燃氣渦輪機排氣約為450~600℃，利用該廢熱源經由廢熱鍋爐產生蒸汽驅動吸收式熱泵。

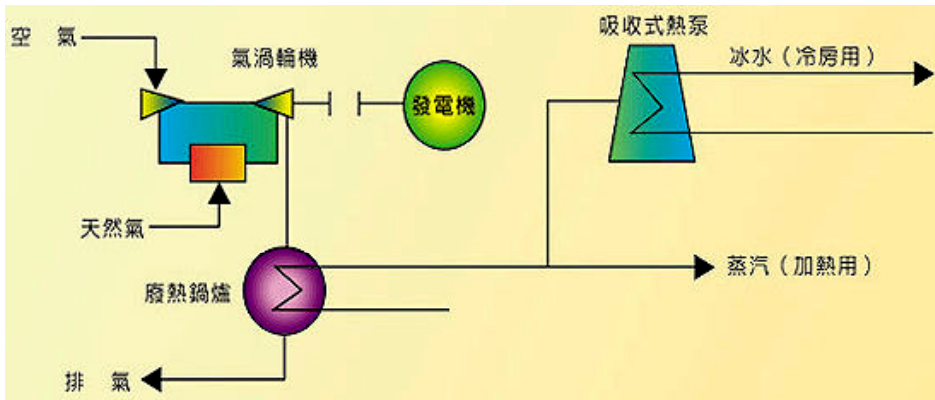


圖9 吸收式熱泵＋燃氣渦輪發電機運轉模式

(3)吸收式熱泵＋燃氣渦輪發電機＋蒸汽渦輪發電機(如圖10)

回收燃氣渦輪機排氣的熱源經由廢熱鍋爐產製蒸汽驅動蒸汽渦輪機發電及驅動吸收式熱泵造冷。

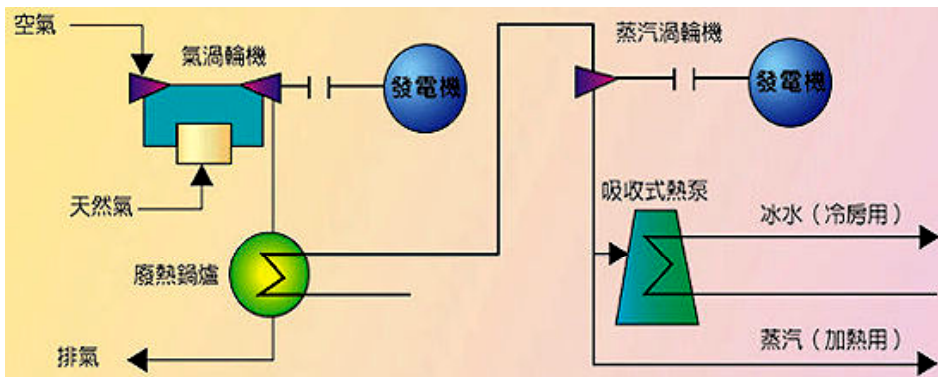


圖10 吸收式熱泵＋燃氣渦輪發電機＋蒸汽渦輪發電機運轉模式



(4) 吸收式熱泵 + 燃氣渦輪發電機 + 電動離心式熱泵 (如圖 11)

除原燃氣渦輪機排氣經由廢熱鍋爐產生蒸汽驅動吸收式熱泵造冷外，另將燃氣渦輪機所發的電再帶動離心式熱泵產製冰水。

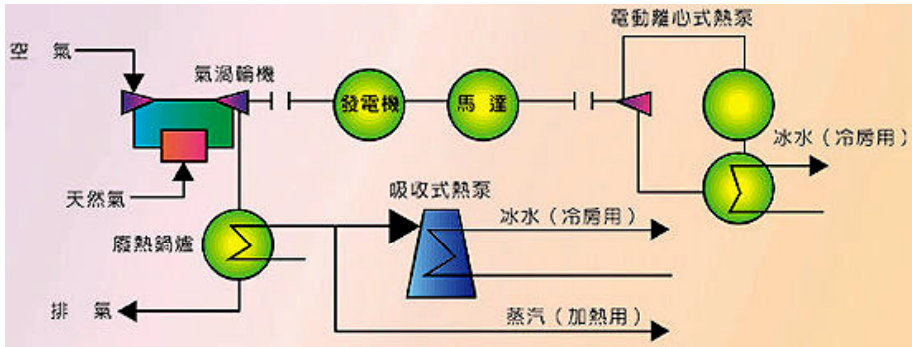


圖 11 吸收式熱泵 + 燃氣渦輪發電機 + 電動離心式熱泵運轉模式

上述應用大多以單純製造冰水的第一類吸收式熱泵為主，而對於中低溫熱能需求，第二類吸收式熱泵應用的技術已商品化，以下有幾種模式可供參考：

(1) 紙漿工廠製程低溫熱水排放應用

紙漿工廠始自木材纖維溶解至最後的排水，各製程需投入巨大的熱能。若能藉排熱之便來達成熱能回收，如圖 12 所見，排煙脫硫裝置之吸收式熱泵，該吸收式熱泵可將此熱水作為鍋爐飼水，減少鍋爐燃油消耗。

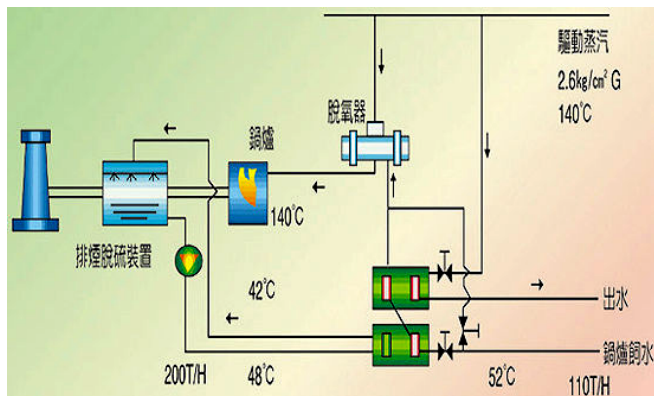


圖 12 紙漿工廠製程低溫熱水排放應用運轉模式

(2) 食品工廠製程低溫熱水排放應用

食品工業製程中有許多加熱冷卻反覆進行之步驟，如圖13所見，生產製程中的冷卻用水塔可作為第二類吸收式熱泵熱源，在第二類吸收式熱泵熱源前端部份裝置熱交換器之作用下，該吸收式熱泵可將此熱水作為鍋爐飼水，以減少鍋爐燃油消耗。

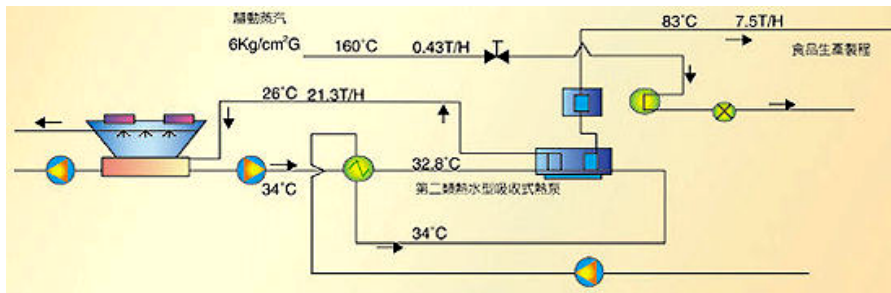


圖13 食品工廠製程低溫熱水排放應用運轉模式

(四) 熱交換器之型式與應用

熱交換器依熱輸送裝置目及流體變化特性，就實際應用分成預熱器、加熱器、過熱器、冷卻器、冷凝器、急冷器、蒸發器、重沸器及熱交換器等。其中熱交換器為利用加熱或冷卻之相對發生，以回收熱能或排除廢熱。事實上，按輸送原理，無論何種熱輸送裝置應用，不外乎如何迅速而有效地加熱或冷卻。



1.常用的熱交換器使用特性

種類	使用特性	
殼管型熱交換器	固定管板式	<ol style="list-style-type: none"> 1. 形式中最簡單，製造費低廉，但只適於殼內流體污染性較少的流體 2. 硫體所導致殼與傳熱管的溫度差距較小，或是膨脹熱差距較小情況下，才適合的構造。 3. 可充豎形管式反應器，用途極廣。
	浮動頭式	<ol style="list-style-type: none"> 1. 設計及操作條件上，融通性大，但其構造複雜，成本過高。 2. 污染性較高的流體可在其管側流動，清除比較容易，腐蝕性的流體亦可流通於管側。
	U字管式	<ol style="list-style-type: none"> 1. 構造較比浮動頭形熱交換器簡單，價格也便宜。 2. 管內側是U形管，清除管垢相當困難，所以管內流通之流體務須採用污染度低的流體為原則。 3. 因為無法避免彎曲加工而引起之管厚度變薄現象，普通U型彎管的彎曲最小半徑應有傳熱管外徑的二倍，是它的缺點。
雙套管式熱交換器	<ol style="list-style-type: none"> 1. 構造比較簡單，價格也比較便宜，為了要增加傳熱面積，可容易地以直列或是並列之方式將同一尺寸的予以組合。 2. 為了內管和外管的清除與檢驗，多半都裝設壓蓋接頭(Gland Joint)構造，以便裝卸傳熱管。因此常受熱膨脹、振動或其他原因，從接頭部份漏出殼側流體，因此殼側流體最好流通如冷水等無危險性的流驗或是低壓流體較為理想。 	
單管式熱交換器	<ol style="list-style-type: none"> 1. 此種型式熱交換器可分為數種，有的由直管再裝配分配彎頭而組成蛇管狀的瀑布形(Cascade)的冷卻器，有的橫浸於槽底板上作槽形加熱器，以及將傳熱管捲成線圈狀裝置於容器內的蛇狀(Coil)式熱交換器等。 2. 處理高溫、高壓或具有腐蝕性流體，注意傳熱管的銜接方法及材質的選擇，可採用的管材包括鋼管、鑄鐵管、銅管等金屬管以及玻璃管、胸瓷器管，非浸透性石墨管(Graphite pipe)、合成樹脂管等非金屬類，範圍甚廣。 	
空氣冷式熱交換器	<ol style="list-style-type: none"> 1. 空氣冷式熱交換器不須用冷水，無須顧慮水源問題。 2. 但裝設所需的面積需要廣闊，建造費用也高，再加上管束洩漏不易發覺，傳熱管更換困難等為它的主要缺點。 	

2. 各種熱交換器設備一覽表

型 式	廢熱來源	回收能源媒體	特 徵	檢 討 要 點
管 式	氣體或液體	氣體或水	$U(\text{熱傳係數})=23.3\text{ W/m}^2\text{K}$	塵埃、腐蝕
玻璃被覆鋼管	腐蝕性氣體	氣體或水	用於SOX	加工問題、耐久性
細 溝 管	氣體	氣體	傳熱較佳	細溝管
蓄熱迴轉式	氣體	氣體	最高操作溫度 450°C 、 $U=29.1\text{ W/m}^2\text{K}$	漏氣2%、需迴轉動力
板 式	氣體	氣體	安置容易、最高操作溫度 850°C 、 $U=23.3\text{ W/m}^2\text{K}$	塵埃
熱 管 式	氣體或液體	氣體或液體	密封性良好、中低溫操作、 $U=58.2\text{ W/m}^2\text{K}$	塵埃、腐蝕
復 熱 式	燃燒後排氣	預熱燃燒用空氣		

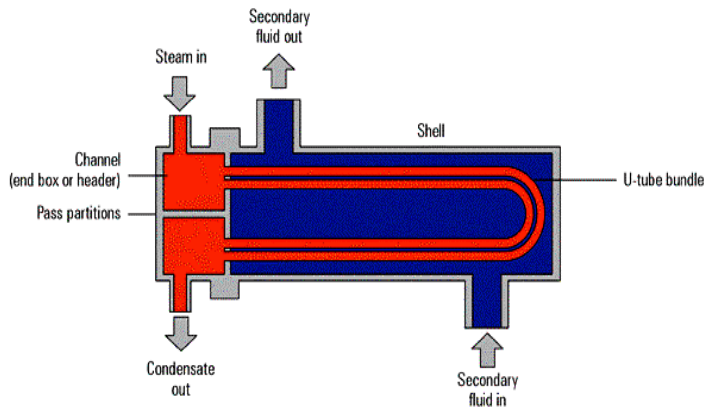


圖 14 管殼-U字管式 熱交換器裝置

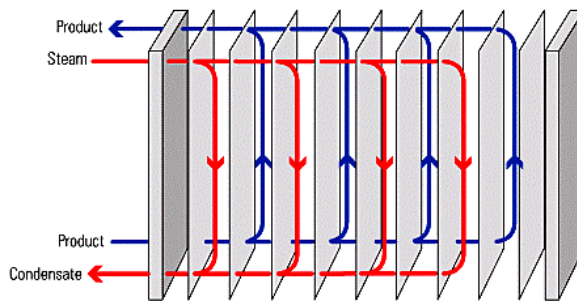


圖 15 管板式熱交換器裝置



四

蒸汽及冷凝水回收



(一) 冷凝水量估算

如何估計冷凝水之產生量(Estimate or Calculate Maximum Condensate)根據製造廠家提供機器的最大負荷量(蒸汽需求量)，計換算出凝結水的最大生成量。如果資料不全，可以用下列方法求出。

1. 參考下列公式，求出最大蒸汽(凝結水)需求量

製程熱負荷 $Q = M \cdot C_p \cdot \Delta T$ 無相變化

M ：被加熱流體質量 kg/h

C_p ：流體比熱 $kcal/kg^\circ C$

ΔT ：被加熱流體溫度變化 $^\circ C$

或 $Q = M \cdot (h_2 - h_1)$ 有相變化

h_2 ：高溫流體熱焓 $kcal/kg$

h_1 ：低溫流體熱焓 $kcal/kg$

蒸汽需求量可由製程熱負荷計算

$$Q = W_s \cdot \lambda$$

W_s ：蒸汽需求量 kg/h

λ ：飽和蒸汽潛熱 $kcal/kg$

例：蒸汽間接加熱水溫，由 $30^\circ C$ 至 $80^\circ C$ ，水量 $100 kg/h$ ，蒸汽壓力 $3kg/cm^2 G$ ，其潛熱為， $510 kcal/kg$ 。

$$Q = (100 kg/h) \times (1 kcal/kg^\circ C) \times (80^\circ C - 30^\circ C) = 5,000 kcal/h$$

$$W_s = Q / \lambda = (5000 kcal/h) / (510 kcal/kg) = 9.8 kg/h$$

例：蒸汽間接加熱空氣，由 $30^\circ C$ 至 $80^\circ C$ ，空氣量 $100 kg/h$ ，比熱 $0.24 kcal/kg$



$^{\circ}\text{C}$ $3\text{kg}/\text{cm}^2$ G飽和蒸汽潛熱 $510\text{ kcal}/\text{kg}$ 。

$$Q=1000 \times 0.24 \times (80-30)=12,000\text{ kcal}/\text{h}$$

$$W_s=12000/510=23.5\text{ kg}/\text{h}$$

2. 保溫蒸汽輸送管路，每小時凝結水生成量

$$\text{保溫熱流失 } Q=(15\text{ kcal}/\text{m}^2 \cdot \text{h} \cdot ^{\circ}\text{C}) \cdot A \cdot \Delta T$$

$$A=\text{保溫表面積 } \text{m}^2$$

$$\Delta T=\text{保溫表面溫度與大氣溫差 } ^{\circ}\text{C}$$

例：8”管路外加工保溫，其外徑等於12”（350mm），則50m長之保溫外表面積

$$A=\pi \cdot (0.305) \cdot 50=47.9\text{m}^2$$

實測保溫表面溫度 40°C ，大氣溫度 25°C ，則熱流失

$$Q=15 \times 47.9 \times (40-25)=10,777.5\text{ kcal}/\text{h}$$

假設管路內為 $7\text{kg}/\text{cm}^2$ G飽和蒸汽，其潛熱為 $489.5\text{ kcal}/\text{kg}$ ，則凝結水生成量 $=10,777.5/489.5=22\text{ kg}/\text{h}$

3. 用水桶或其它容器，測量祛水器末端所排出的實際凝結水量，加入再生蒸汽量，即可換算出每小時測凝結水量。

(二) 凝水回收節約率

一般鍋爐蒸汽蒸發設計基準乃是以 100°C 飼水計算，其熱焓為 $100\text{ kcal}/\text{kg}$ ，若產生 $7\text{ kg}/\text{cm}^2$ G飽和蒸汽熱焓為 $660.8\text{ kcal}/\text{kg}$ ，5 T/h蒸汽量所需熱能為

$$Q_s=5,000\text{ kg}/\text{h} \times (660.8-100)=2,804,000\text{ kcal}/\text{kg}$$

若飼水溫度為 30°C ，其熱焓為 $30\text{ kcal}/\text{kg}$ ，則

$$Q_s=5,000 \times (660.8-30)=3,154,000\text{ kcal}/\text{h}$$

其所代表意義

一是鍋爐容量不足以產生5T/h蒸汽(30°C 飼水)

一是熱能需求增加即燃料增加

$$\text{熱能需求增加率}=(3,154,000-2,804,000)/2,804,000 \times 100\%=12.5\%$$

若以溫度換算，則 $(100-30)/12.5\%=5.6^{\circ}\text{C}$

即飼水溫度每 5.6°C 相當1%能耗。因此，凝水回收係節能的不二法門

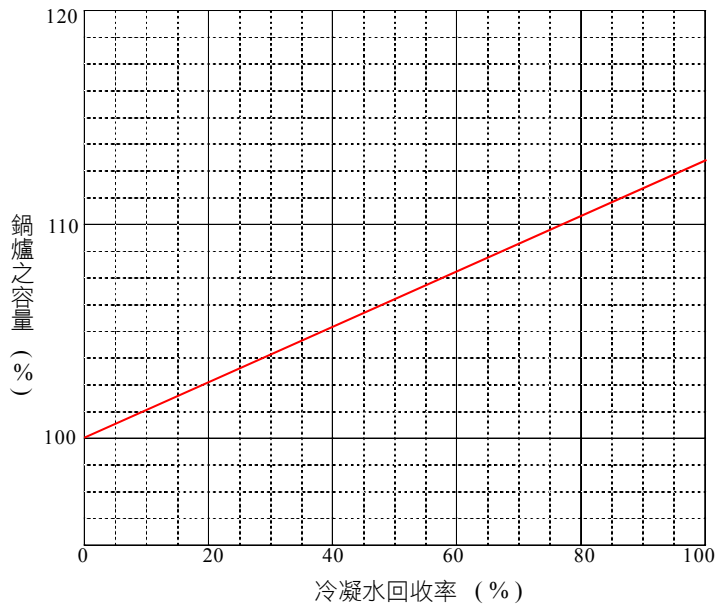


圖16 冷凝水回收率與鍋爐容量之關係

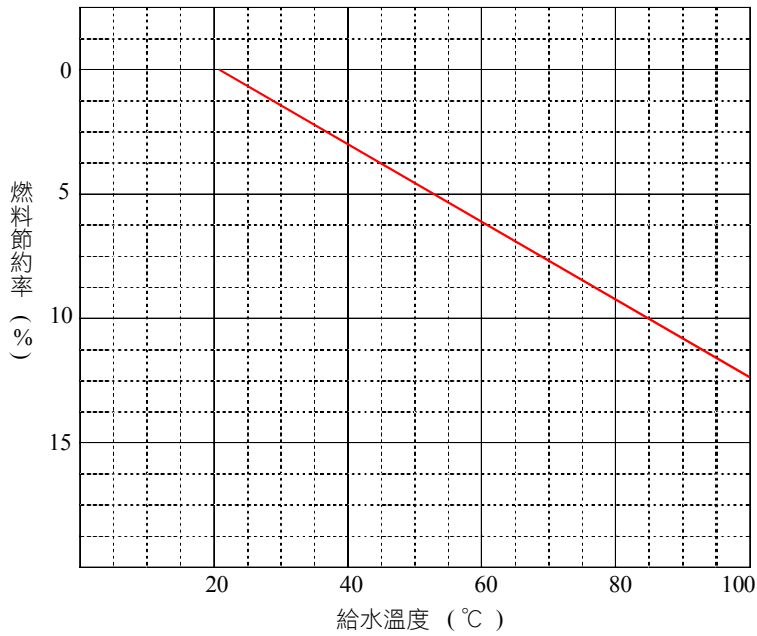


圖17 給水溫度與燃料節約之關係



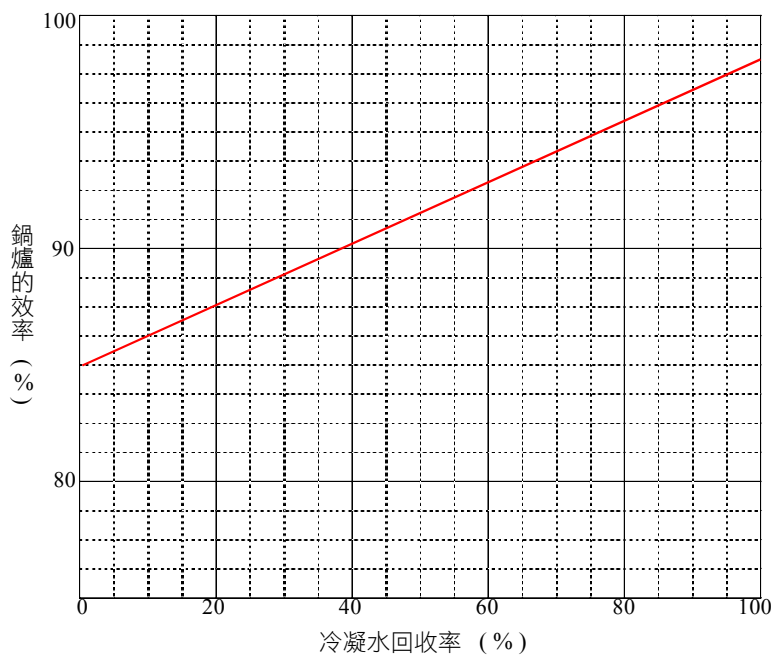
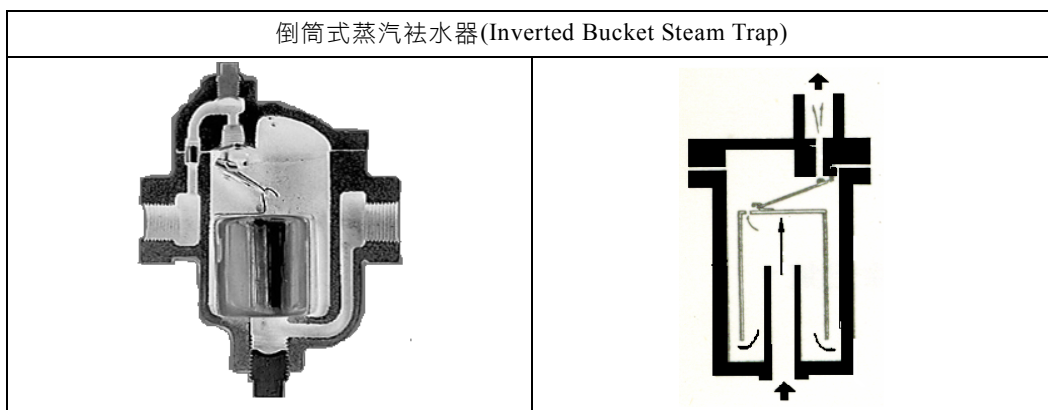


圖18 冷凝水回收率與鍋爐效率的關係

(三) 祛水器

1. 種類與特性

(1) 倒筒式蒸汽祛水器





①操作原理：

基本操作原理與浮球式祛水器相同，應用蒸汽及凝結水在祛水器本體的比重不同，將一個開口向下的鋼製空心筒插入本體內的水面下，蒸汽由下進入筒內，將筒內的水排出，體積增加筒子比重減少因而上浮，當筒浮力增加，漸漸向本體上端出口閥座接近，由筒子經連桿帶動閥口，關閉閥座，當凝結水進入筒子內，筒內蒸汽冷凝，蒸汽體積縮小，筒子浮力減小而下沉，將關閉的閥口打開，使凝結水排出，如此筒子上下，反覆動作。

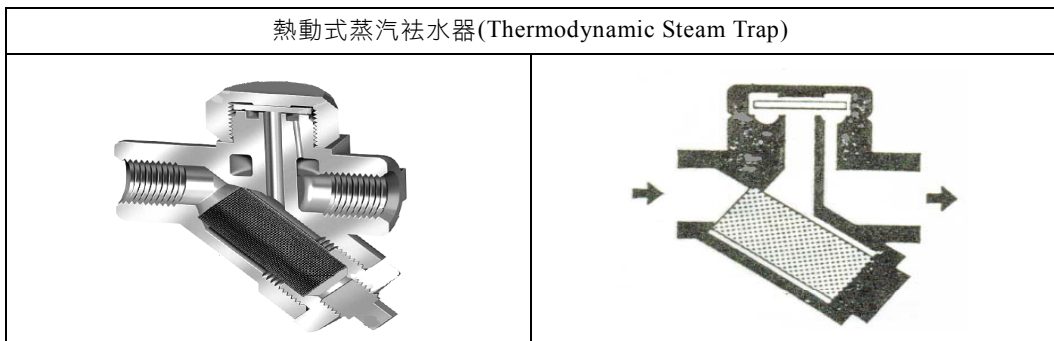
②優點：

- (a) 可用於過熱蒸汽系統，為防止水封消失，應如裝逆止閥。
- (b) 水錘現象對鋼筒的影響較少。
- (c) 可設計用於高壓蒸汽系統的排水裝置。

③缺點：

- (a) 蒸汽系統內若有太多的空氣，易使祛水器無法操作或操作緩慢。
- (b) 負荷變化大造成壓力驟降時，本體內水封因急速蒸發而消失，易造成洩漏。
- (c) 可暴露於寒冷的環境中，但必需保溫。
- (d) 隨著蒸汽壓力不同，必須有各種不同大小的閥口設計。

(2)熱動式蒸汽祛水器



①操作原理：

這種型式的祛水器是構造最簡單但操作原理最複雜的一種。當凝結水由祛水器高壓進口端流到低壓出口端，由於壓力的不同，不僅速度會增加，同時能量也改變。因為有部份凝結水，瞬間產生再生蒸汽，高速通過控制開關的圓盤(Disc)下端，因為動壓及靜壓的差異，作用在圓盤表面上端的靜壓大於圓盤下端，圓盤被推動下壓將閥閉，同時造成圓盤上端形成一個密封的空間，又稱為變壓室，當變壓室的蒸汽因散熱而冷凝，使控制圓盤下壓的壓力消失，冷凝水重新向上頂開圓盤，開啟閥門排水，如此上下開關循環，故又稱為衝動式蒸汽祛水器。

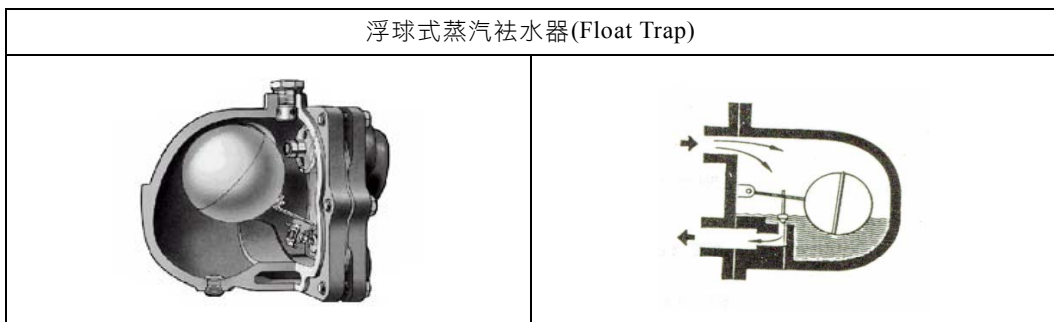
②優點：

- (a) 立體結構簡單紮實，不受水錘作用的影響，能抵抗劇烈振動及過熱蒸汽。
- (b) 操作壓力範圍大，不需調整或更換閥口尺寸。
- (c) 不易為冷凍所破壞，冷凝水的腐蝕作用影響很小。
- (d) 可在任何方位上操作。

③缺點：

- (a) 起機時，若大量空氣通過圓盤，易造成空氣閉鎖現象。
- (b) 若背壓超過進口壓力設定限度，圓盤無法正常關閉。

(3)浮球式蒸汽祛水器





①操作原理：

在祛水器本體內，設計一個中空鋼製浮球並焊接一條連桿，由連桿控制一主閥口。主閥口的開關完全經連桿由球的上下移動控制，當凝結水流入本體內，本體內的液面升高，由於中空鋼球的比重較水輕，因而隨著液面而升高，帶動連桿上的主閥口張開排岷凝結水，凝結水排出後，本體內液面自然下降，浮球因本身的重量隨水面的移動而下降，同樣作動原理將閥口關閉。

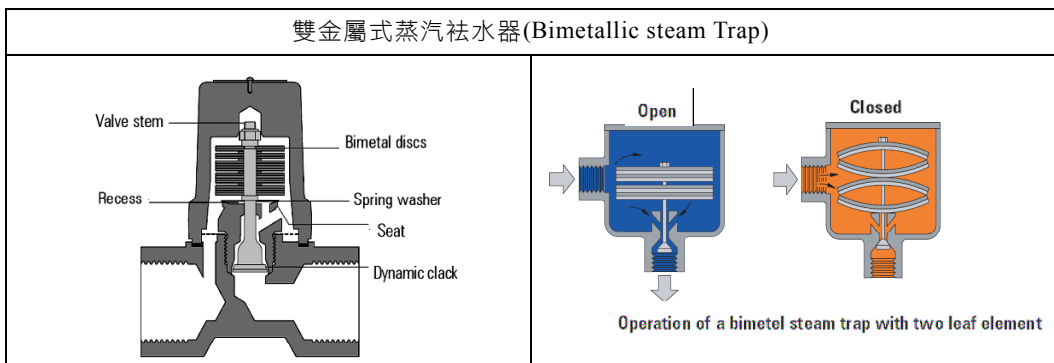
②優點：

- (a) 在負荷大小變動大時，能隨著浮球上昇的高低，自動調整閥口的大小，以適應排水量的變化。
- (b) 附設自動空氣排除閥，在起機及運轉時能將空氣自動排除，提高機器效率。
- (c) 能隨機器運轉而連續自動排水，沒有斷續排水的缺點，尤其適用於排水量大的情況。
- (d) 附設汽鎖解除閥(Steam Lock Release)，能避免因機器及祛水器間的管路充滿蒸汽，無法將凝結水排出的問題。

③缺點：

- (a) 不適用於經常有嚴重水錘現象的蒸汽系統。
- (b) 若用於特高壓及過熱蒸汽系統，因材質的關係，其使用壽命會縮短。
- (c) 本體的體積較大，輻射熱損失較多。

(4)雙金屬式蒸汽祛水器





①操作原理：

將對溫度感應有顯著不同膨脹係數的兩種金屬，重疊焊接在一起，裝置於祛水器本體。當蒸汽進入本體，因溫度升高，金屬自然膨脹而伸張，因二種金屬的膨脹係數不同，而將雙金屬面彎曲，拉動連桿上的閥門使之關閉，當凝結水進入，溫度逐漸下降，雙金屬冷卻收縮，關閉閥門的連桿鬆動，使閥門打開排出凝結水。

②優點：

- (a) 全鋼材料，內附不銹鋼過濾網，可抵抗水銹作用。
- (b) 可防止銹污之凝結水及霜害的侵襲，並可流暢地排出空氣。
- (c) 永遠依循著一定的汽液曲線，而不須重新校正。
- (d) 可以調整排放溫度，操作時可抗背壓。
- (e) 同時具有逆止閥的作用。
- (f) 對某一些溫度變化有相當功效，而且保養容易。
- (g) 對某些特別的地方，如蒸汽主管中的冷凝水，必須收回至高架回收管時，使用此種祛水器，特別有效。
- (h) 為了使操作良好，應在祛水器前加裝一條足夠長的冷卻水管。
- (i) 可在任何方位操作，以水平裝置最理想，

③缺點：

- (a) 溫度感應需較長的時間，故開關反應較慢。
- (b) 不適用於要求能迅速排水的機器。
- (c) 靠近祛水器的排水管要有一段不能保溫的冷卻管，否則閥口因凝結水溫度降低，閥口無法全開，排水量因而減少。
- (d) 排水管路上經常可能有水聚集。

2.選用時之安全係數

因為蒸汽系統中各種不同的環境改變及操作的影響，凝結水生成及排出量經常有很大的變化。最實際的例子是機器起機時的負荷(Starting Load)經常較正常操作負荷(Running Load)有數倍的差異。祛水器的大小必須能滿足機器最大凝結水量



為準，不能以正常機器運轉的凝結水量為標準。一般所稱的安全係數，即是最大可能排水量和正常排水量的倍數為依據。

不同型式的祛水器，安全係數要求不同，其標準如下表：

祛水器的型式	安全係數
恒溫式(Thermostatic Traps)	2~4
浮球式(Float & Thermostatic Traps)	1.5~2.5
熱動式(Thermodynamic Traps)	1.2~2
倒筒式(Bucket Traps)	2~3

※ 實際要求祛水器的排水量(C)，應該是機器每小時最大凝結水量(L)乘以安全係數(S) $C=LS$



3. 安裝方式

表3 祛水器的正確安裝方式

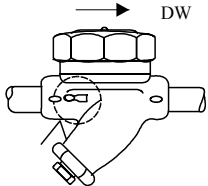
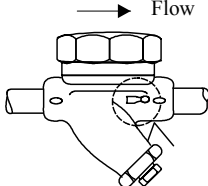
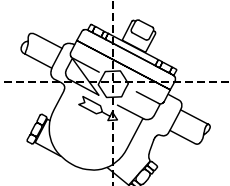
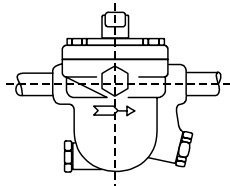
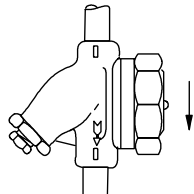
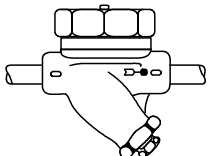
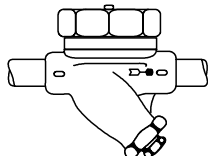
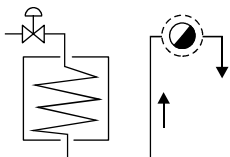
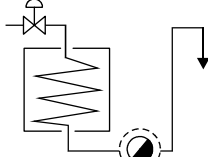
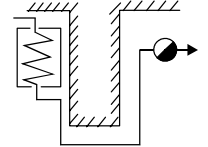
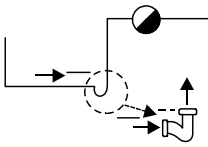
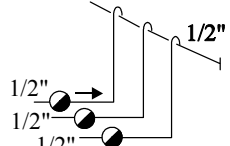
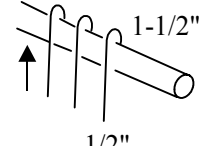
錯誤的按裝方式	說 明	正確的按裝方式
	祛水器上刻有箭頭，務必依箭頭的指向按裝	
	浮球式祛水器必須水平按裝。	
	熱動式祛水器，不受位置方向限制，可直接按裝。	
	祛水器前之配管不可比需要的尺寸小，否則會發生 STEAM LOCKING 或 AIR BINDING 現象。	
	祛水器不可高於排放點，以便冷凝水流入祛水器。	
	祛水器必須按裝於比排放點高時，須使用水封(LIFT FITTING)	
	冷凝水的集管勿須大於祛水器的尺寸。集管面積至少與所有祛水器管線截面總和相等。	

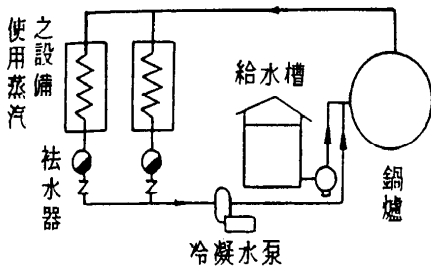


表3 祛水器的正確安裝方式(續)

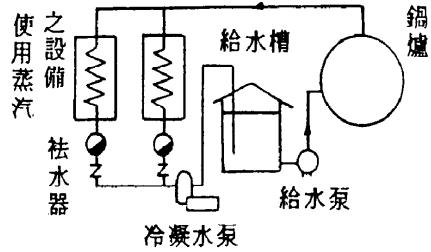
錯誤的按裝方式	說 明	正確的按裝方式
	<p>不同壓力來源之冷凝水，不可排入同一集管。</p>	
	<p>排放管如直接插入水中時，需鑽一小孔以免產生真空。</p>	
	<p>不同的蒸汽使用設備，必須各自單獨使用一個祛水器。</p>	
	<p>虹吸式的祛水方式有產生汽障的可能性</p>	
	<p>兩個串連的祛水器會操作不良，只要按裝一個操作正常的即可。</p>	
	<p>祛水器必須按裝在控制閥之前。</p>	
	<p>祛水器的出口管線，不可接在集水管的底部。</p>	
	<p>集水管的下游，不可提高，以免對祛水器增加背壓。</p>	

4. 冷凝水回收方法及選用設備注意事項

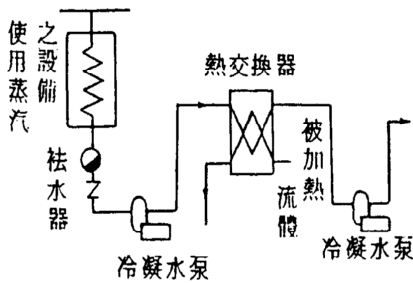
(1) 直接回收至鍋爐



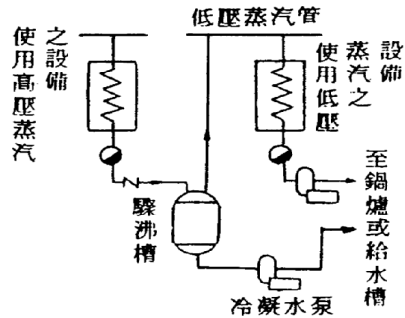
(2) 回收至給水槽



(3) 經過換熱器之交換方式



(4) 經過聚沸槽之回收方式



選用設備注意事項

- ① 採用直接回收方式時，選用冷凝水泵，應使用回流噴射方法，保持泵浦進口壓力。
- ② 回收至給水槽方式，採用離心式給水泵，須注意泵浦蝕進口之淨正引水頭 (NPSH)，並視水溫之高低，調整水槽高度，防止泵浦 (CAVITATION)。



5. 蒸汽洩漏量估算

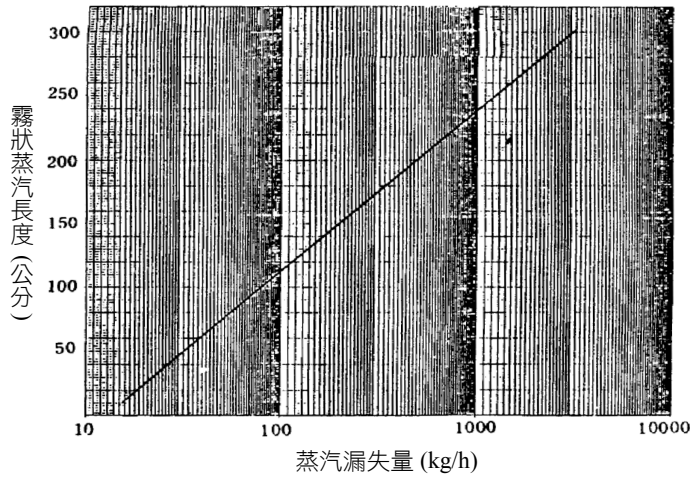


圖19 由蒸汽吹洩長度求噴出量

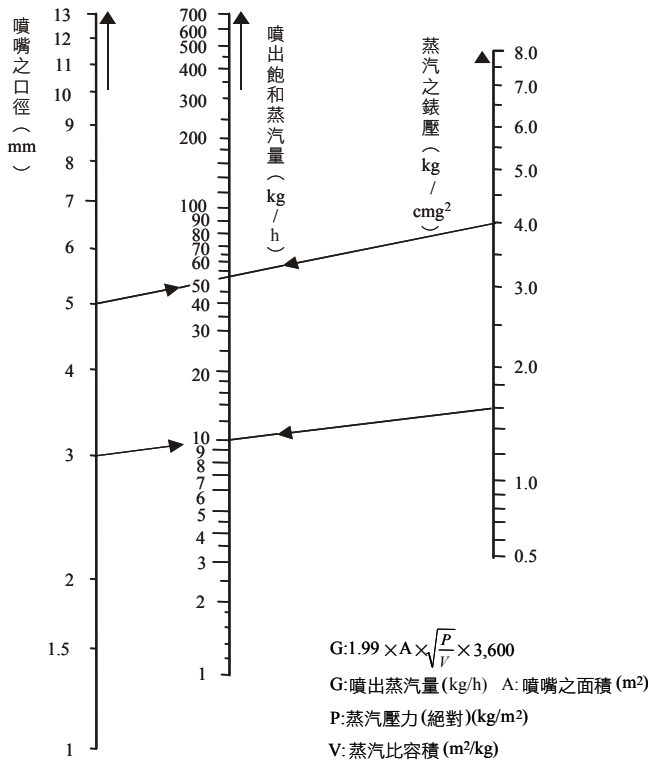


圖20 由噴嘴之口徑及飽和蒸汽壓力求噴出量m³



五

熱能有效利用



(一)熱能有效利用管理標準

- (1) 排出廢熱之回收利用，依排出廢氣之設備，和廢氣溫度與熱損失比率，決定熱回收的型態與方式，並設定管理標準。
- (2) 受熱固體顯熱，具有壓力之冷(熱)氣體或液體與具可燃成分之廢棄物等回收能源者，應訂定回收利用標準。
- (3) 廢熱回收設備如熱交換器、廢熱鍋爐等，應定期保養檢查，去除傳熱表面之污垢，防止洩漏，以維持廢熱回收效率。
- (4) 蒸汽冷凝水儘量全部回收利用，並設定回收標準。對於使用多重壓力之蒸汽統，應以串級式冷凝水回收方法，充分利用再生蒸汽，並以密閉式回收為原則。

(二)熱能有效利用管理測試與記錄

- (1) 經常測試廢熱和回收媒體溫度、熱量、以及成份等，以確定回收效率，並記錄結果。
- (2) 隨時測量生產設備之使用狀況，以便檢討熱能有效利用的方法。



(三)改善措施

- (1)為提高廢熱回收率，對於廢熱回收設備，應視其傳熱面之形狀與形式，維持最良好的熱傳效率，採取增加傳熱面積等措施。
- (2)瞭解產生廢熱來源和性質後，尋找再利用之可行性，即可決定廢熱回收設備，如熱交換器、廢熱鍋爐、熱泵等，並作效益評估，回收期限在三年以內者，應立即進行改善。
- (3)廢熱回收設備，無論是廢熱排出側或回收後再利用側，均應裝設良好的隔絕措施，如加強隔熱及防止洩漏等，以增加廢熱的利用率。
- (4)對於低壓的過剩蒸汽或再生蒸汽，應可利用再壓縮方式提高壓力後，併入系統中使用，或加熱冷水供給熱水系統。
- (5)在空調除濕，同時需用冰水和低溫熱水(40°C~50°C)或低溫廢熱排放等時，應熱能有效利用可採用高效率熱泵，作為供給或回收的設備。





經濟部能源局
BUREAU OF ENERGY, MOEA

<http://www.moeaboe.gov.tw>



工業技術研究院
Industrial Technology
Research Institute

能源資訊網

<http://emis.erl.itri.org.tw>

經濟部能源局廣告品