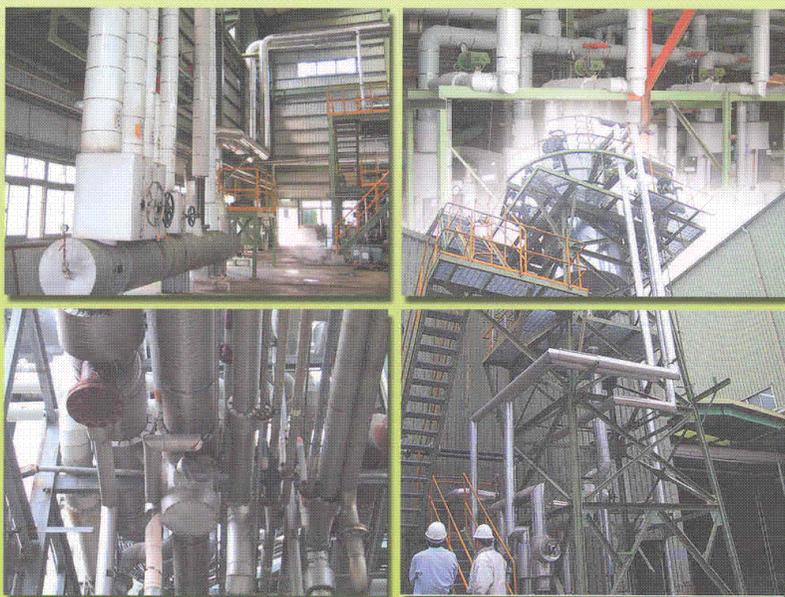




蒸汽冷凝水系統

能源查核及節約能源手冊



委託單位：經濟部能源局
執行單位：工業技術研究院
能源與環境研究所





目錄

一、前言	1
二、蒸氣冷凝水系統流程	2
三、鍋爐系統	4
四、鍋爐飼水水質影響	9
五、鍋爐效率及影響因素	13
六、鍋爐及周邊設備節能案例	15
七、蒸氣分配系統	21
八、蒸氣管線最適化設計	26
九、蒸氣品質影響	32
十、蒸氣使用設備概要介紹	33
十一、蒸氣使用設備節能案例	38
十二、冷凝水回收系統	39
十三、冷凝水回收設備功能	40
十四、冷凝水回收節能	49
十五、蒸氣冷凝水系統保溫	51
十六、蒸氣冷凝水系統自我診斷	52
十七、蒸氣冷凝水系統查核重點	56
十八、結論	62



前 言



姑且不論京都議定書排放減量要求，針對能源成本節節高昇，對於產業界的沖擊影響日盛。從能源節約著手，降低生產成本，莫不是所有產業競相仿效投入以提昇競爭力，謀取最大利益。蒸汽幾乎是所有產業共同需求，煉油、石化、造紙、紡織、水泥、鋼鐵業等，或多或少皆有所求，更惶論火力電廠及汽電共生更是不可或缺。在蒸汽使用釋放其潛熱後，其剩餘顯熱存在的冷凝水尚有20%餘熱，其實在節約能源上扮演更重要的角色。

一般爭取發揮利用蒸汽潛熱，因其熱能較高使用方便，卻往往忽略較低熱能的冷凝水，或許擔心污染問題，在早期能源成本較低時期，往往刻意排放以降低建廠投資成本，但現今產業界是不允許其如此浪費，需儘可能予以回收，以期能源節約，降低生產成本，提高競爭力。

本手冊即針對蒸汽冷凝水系統作一功能介紹，並作相關節能案例說明，輔助作系統自我診斷方式，以期再創佳績、錦上添花，不僅節約能源，從而達到排放減量的目的。





蒸氣冷凝水系統流程



蒸氣冷凝水系統具體來說應可分為蒸氣產生系統、蒸氣分配系統、蒸氣使用端系統及冷凝水回收收集系統四大類(如)。

1.蒸氣產生系統

蒸氣產生系統亦即鍋爐系統，包含飼水系統、鍋爐本體、燃料系統、廢氣排放及爐水排放等。

2.蒸氣分配系統

蒸氣分配系統主要是導引從鍋爐產生的蒸氣，輸送至蒸氣需用端，由於使用端需求差異，而鍋爐僅有固定出口壓力，因此需依實際使用需求作適當分配。

3.蒸氣使用端系統

蒸氣使用端顧名思義即最終蒸氣消耗者，依各類產業不同，主要可區分為直接使用注入式及間接使用加熱式二類。直接注入者如蒸氣霧化、燃燒塔除煙、脫氣塔除雜質，甚或熱水浴等使用。這類直接使用者因直接參與反應伴隨製程或直接排放而無法回收其冷凝水。間接使用者利用熱交換器吸收蒸氣潛熱，其冷凝水則透過適當方式收集。

4.冷凝水回收收集系統

冷凝水回收系統即收集所有間接蒸氣使用端的冷凝水，應作適當餘熱回收，減少閃沸蒸氣排放損失以達最大能源節約效益。冷凝水回收最大潛在危險即為製程洩漏所造成的污染，應予以分離作適當監測及控管，以確保飼水水質及避免污染所造成的系統損害。

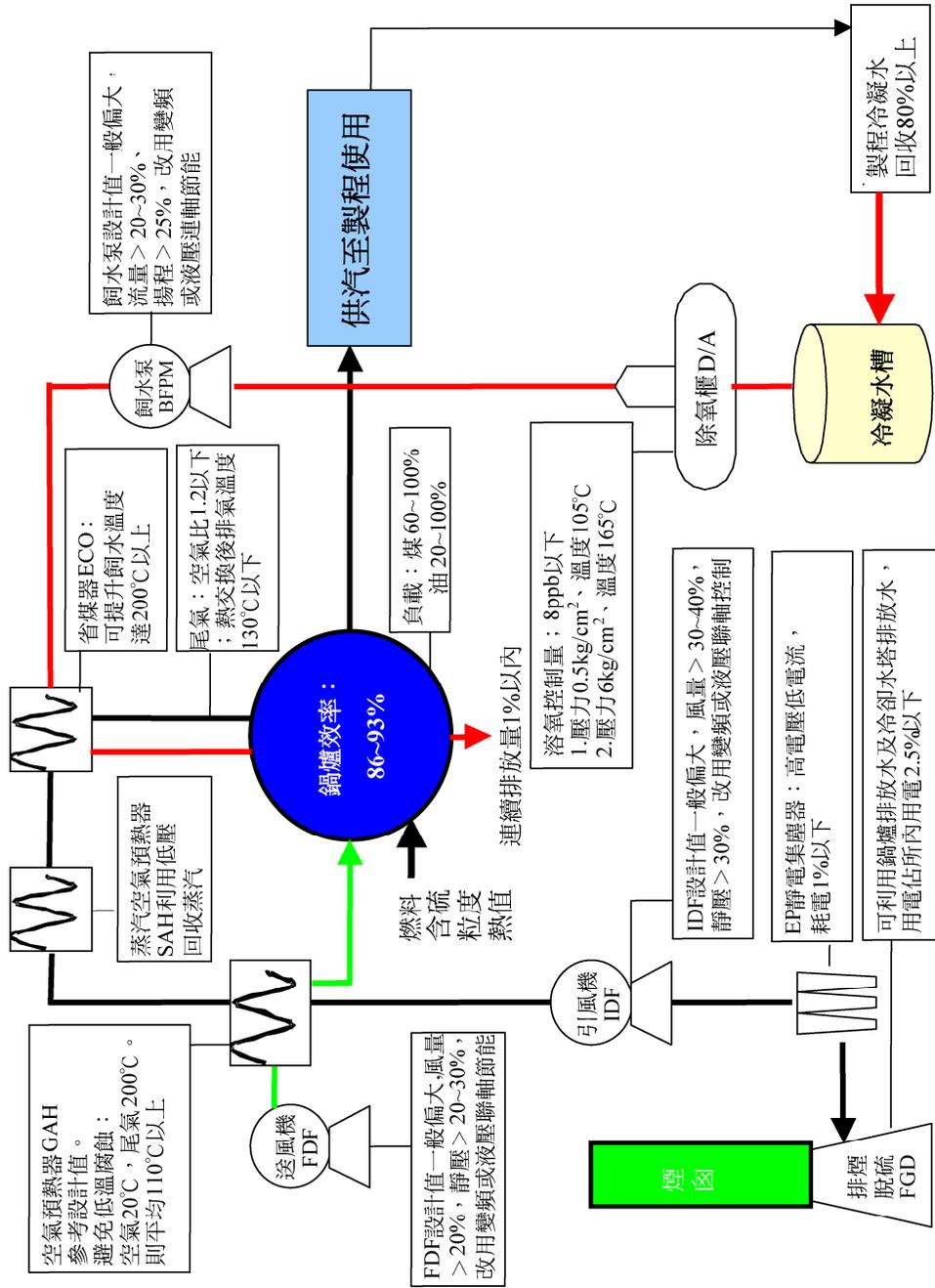


圖 1 鍋爐蒸氣系統流程圖



鍋爐系統



鍋爐系統包含飼水系統、鍋爐本體、燃料系統、廢氣排放及爐水排放，以下即一一說明其設備功能。

1. 飼水系統主要包括脫氧櫃、飼水泵浦及加藥系統。

- 脫氧櫃即將飼水中氧氣脫除。水中飽和溶氧量需藉由高溫降低溶氧量，以蒸汽吹驅排放。因溶氧易造成蒸汽冷凝水系統設備及管件材料的腐蝕；每年鍋爐爐管年度檢測即造因于此。一般10噸以上鍋爐因考量投資成本，設有除氧櫃的設置，小鍋爐則以加藥控制其腐蝕速率，以延長系統使用壽命。
- 飼水泵浦係將飼水加壓注入鍋爐；高壓離心式，飼水泵浦特別注意其淨吸水頭(NPSH)要求，一般要求4M以上NPSH泵浦則需設置架高的飼水槽；脫氧櫃的架設位置較高原因即在此。高度不夠無法滿足泵浦NPSHR時，易造成泵浦CAVITATION(氣蝕)，即因飼水進入泵浦時壓力驟降，產生氣化的水泡衝擊高速旋轉葉片，最明顯的異響及震動，即代表設置不當，需儘速改善，否則嚴重影響飼水泵浦壽命，甚至造成鍋爐系統的停陣維修。
- 加藥系統主要是控制爐水水質，有腐蝕抑制劑；聯胺(脫氧還原劑)、PH鹼性添加劑等。依據藥劑廠商建議作調控以確保蒸汽系統使用壽命。飼水中的溶解氧及二氧化碳係造成腐蝕最大禍首。由於小鍋爐未設置除氧櫃去除這些有害氣體，祇有添加化學藥劑加以適當控制。大鍋爐即使有脫氧櫃，但仍有微量無法去除者仍需借助化學藥劑來調控。

2. 鍋爐本體包括鍋爐及節煤器(ECONOMIZER)或空氣預熱器(AIR REHEATER)及風車和燃燒器組成

- 鍋爐由燃料熱能供給汽化飼水成蒸汽。



鍋爐分類

一般鍋爐依用途分類有下列幾種行式：

- (1) 工業用鍋爐：工業用鍋爐常分為水管式、煙(火)管式、貫流式、熱媒式鍋爐四種。
- (2) 船用鍋爐：使用於船舶有主鍋爐及輔鍋爐之分。
- (3) 動力廠鍋爐：使用於汽電共生或發電業者。
- (4) 暖氣用鍋爐
- (5) 熱水鍋爐

工業用鍋爐分類

- (1) 水管式鍋爐：適用於使用蒸汽壓力較高的場合(15KG/CM²以上)，效率介於82-93% (尤其是發電鍋爐都介於88-93% 之間)。
- (2) 火管式鍋爐：適用於使用蒸汽壓力介於3-15 KG/CM²效率介於78-86%
- (3) 熱媒式鍋爐：適用於須固定溫度及高溫之場合，效率值約與煙管式鍋爐相同。
- (4) 貫流式鍋爐：啓動容易效率較低介於73-80% ，容量為1T/小時

• 節煤器(ECONOMIZER, ECO)

利用高溫尾氣預熱鍋爐飼水，可提昇鍋爐飼水溫度至200°C以上。以熱傳效果考量，節煤器較空氣預熱器為佳。節煤器是氣液之熱交換，熱傳係數為空氣預熱器的2倍。相對其熱傳面積可減少一半。

• 空氣預熱器(AIR PREHEATER, APH)

燃料因含硫份之影響，易造成低溫腐蝕，以1%硫份計算，空氣進口溫度20°C，尾氣200°C，則其平均110°C以上為目標，可避免腐蝕，有些系統增加蒸汽/空氣預熱器(STEAM/AIR HEATER SAH)，將空氣預熱至80°C則尾氣溫度可降至140°C。SAH最好利用低壓回收蒸氣使用。



鍋爐能源效率標準

種類	容量(公噸/小時)	能源效率標準(%)	備註
水管式燃油鍋爐	三十以上	九十二·五	標準適用範圍及計算方式： 1. 本效率標準適用於以燃油或燃氣為燃料之蒸汽鍋爐，不適用於貫流式鍋爐。 2. 效率標準依國家標準(CNS2141)之熱損失法計算，並依燃料低熱值計算涵蓋廢熱回收裝置之鍋爐全載時之能源效率。
	十以上未達三十	九十一	
	五以上未達十	八十九·五	
	未達五	八十八·五	
水管式燃氣鍋爐	三十以上	九十三·五	
	十以上未達三十	九十二·五	
	五以上未達十	九十一·五	
	未達五	九十·五	
煙管式燃油鍋爐	三十以上	九十	
	十以上未達三十	八十九	
	五以上未達十	八十八	
	未達五	八十七	
煙管式燃氣鍋爐	三十以上	九十二	
	十以上未達三十	九十一	
	五以上未達十	九十	
	未達五	八十九	

- 燃燒空氣鼓風機(FORCED DRAFT FAN, FDF)

FD FAN之設計值一般偏大，風量OVER 20%，靜壓OVER 20~30%。

控制模式以檔板作風量調節控制，未能有效節能，尤其是在降載(離峰)操作(70%)，若能改用變頻或變速控制則可大幅節能。

- 廢氣抽風機(INDUCED FAN, IDF)

鍋爐尾氣因需克服ECO, FGD, APH等壓損，需有IDF輔助抽氣，ID FAN設計值，風量OVER 30~40%，靜壓OVER 30%。



控制模式以檔板作風量調節控制，未能有效節能，尤其是在降載(離峰)操作(70%)，若能改用變頻或變速控制則大幅節能。

一般風車設計時，其風量會考慮加大，而靜壓亦會增加以備不時之需，但如此一來，過大的風車設備，相對增加能耗。

- 燃燒器

工業鍋爐主要以六號燃油為燃料，燃燒器可將燃油霧化產生較佳的燃燒效果。霧化主要有三種方式。

高壓霧化使用較高揚程的燃油泵浦，透過噴嘴特殊設計達到高壓霧化效果。

蒸汽霧化使用較燃油為高的壓力(1-2kg)，蒸汽混合達到霧化效果。

空氣霧化也是工業鍋爐較常使用的霧化方式，如蒸汽相同使與燃油混合達到霧化效果，因其需備有空壓機即可啓動，操作要較蒸汽霧化方便。霧化條件需調整得宜，方能達到最佳霧化完全燃燒。

3.燃料系統

燃料以燃油為主系統，主要包含燃油儲槽，燃油泵浦及燃油預熱器。

- 燃油儲槽貯存所需燃油，因燃油粘度較高，便於輸送考量一般會加裝加熱器，以蒸汽加熱至50~60℃便於輸送，因此儲槽及燃油管線需加以保溫以減少熱損失。
- 燃油泵浦主要將壓力提高至6kg左右以配合霧化所需壓力，並應有迴流可適時隨鍋爐負載調整油量。
- 燃油加熱器

為使燃油達到最佳霧化狀態，需用電及蒸汽加熱器升溫以降低其粘度。由於中油及台塑燃油性質差異，所需溫度各不同，中油一般需升溫至100~105℃左右，而台塑燃油則在80℃左右即可。一般達到較佳霧化條件，燃油粘度在20~40 cst即可，因此根據不同燃特性可得知其升溫條件。

4.廢氣排放

鍋爐燃燒產生廢氣需考量環保及能源節約。因燃油目前以0.5%硫份為主，因



此硫化物的排放尚能在排放標準要求內。而黑煙主要是不完全燃燒的未燃碳所造成，適當的過剩燃燒空氣即可解決。氮氧化合物主要來自燃油中的含氮量及空氣中氮的氧化所致。燃油中含氮量極微，一般不會造成太多的NOX，而燃燒空氣中的氮因高溫氧化形成的NOX則需作適當控制。燃燒空氣80%的氮在爐膛內高溫燃燒極易形成NOX，尤其溫度超過1050℃時，會產生更多的NOX，因此一般所謂的低NOX燃燒器，就是在降低其燃燒溫度，控制得宜的燃燒溫度不僅不影響燃燒效率且能大幅降低NOX的產生達到環保要求。

鍋爐煙函需定期監測SOX、NOX、CO、O₂及排氣溫度，由SOX、NOX可判別環保條件，由CO及O₂可判別燃燒效率好壞，但過高的排放溫度就是能源的浪費。

5. 爐水排放

鍋爐內蒸汽蒸發導致爐水中可溶固體的濃度增加，需作適當的排放，使控制在一定的範圍內，爐水水質依鍋爐操作壓力不同而異，可參考下表。

一般壓力愈高爐水的控制愈嚴謹；因濃度達到極限及高溫效應易使爐管結垢，不僅影響熱傳及易損害鍋爐，影響其操作壽命。

爐水的排放需以水質的分析為基礎，配合加藥系統所設定的控制參數作適當排放。因爐水仍為高溫高壓，應儘可能減少排放減少能耗，或作適當的熱回收裝置以節約能源。



四

鍋爐飼水水質影響



一般低壓鍋爐採用軟水飼水主要是減少水中鈣鎂硬度，避免爐管結垢，不僅影響熱傳，增加能耗且影響爐管壽命。甚而導致鍋爐爆炸的意外事故。每年定期安全檢查即是避免意外發生，且作維修清理以降低能耗。

飼水水質的好壞影響鍋爐水濃縮倍數及其排放比例，水質愈佳，相對爐水濃縮倍數提高，進而減少排放，其效益業已在前章節敘述過，不再重覆，值得探討及評估的是以脫礦水取代軟水用於一般低壓鍋爐的效益，基本脫礦水是增加了水質改善處理費用，但其減少排放增加能源節約所達到的效益，可以各別鍋爐為例計算估其投資報酬率，決定設置可行性。





圓桶鍋爐的給水及爐水之水質

CNS10231, B1312

區分	最高使用壓力 kgf/cm ²		<10		10~20	
	傳熱面蒸發率 kg/m ² ·h		30 以下	30~60	>60	
補給水種類						
給水	pH(25°C)		7~9	7~9	7~9	
	總硬度 (CaCO ₃)	mg/l	<60	<1	<1	
	油脂類	mg/l	低度狀態	低度狀態	低度狀態	
爐水	溶存氧氣	mg/l	低度狀態	低度狀態	低度狀態	
	鹼性處理					
	pH(25°C)		11.0~11.8	11.0~11.8	11.0~11.8	
	導電度(25°C)	μ S/cm	<6000	<4500	<4000	
	總固體量	mg/l	<4000	<3000	<2500	
	M鹼度(pH4.8, CaCO ₃)	mg/l	100~800	100~800	100~800	
	P鹼度(pH8.3, CaCO ₃)	mg/l	80~600	80~600	80~600	
	氯離子(Cl ⁻¹)	mg/l	<600	<500	<400	
	亞硫酸 (SO ₄ ⁻²)	mg/l	10~50	10~50	10~50	
	磷酸離子(PO ₄ ⁻³)	mg/l	20~40	20~40	20~40	
聯胺(N ₂ H ₄)	mg/l	0.1~1.0	0.1~1.0	0.1~1.0		



水管鍋爐(循環鍋爐)的給水及爐水之水質

CNS10231, B1312

區分	最高使用壓力 kgf/cm ²	<10		10~20		20~30		30~50	
		傳熱面蒸發率 kg/m ² ·h		軟化水		離子交換		離子交換	
給水	pH(25°C)	7~9	7~9	7~9	8.0~9.5	8.0~9.5	8.0~9.5	8.0~9.5	8.0~9.5
	總硬度(CaCO ₃)	<1	<1	<1	0	0	0	0	0
	油脂類	低度狀態	低度狀態	低度狀態	低度狀態	低度狀態	低度狀態	低度狀態	低度狀態
	溶存氧氣	低度狀態	低度狀態	<0.5	<0.5	<0.1	<0.1	<0.03	<0.03
	鐵	低度狀態	<0.3	<0.3	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1
	銅	低度狀態	<0.3	<0.3	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.05
爐水	聯胺(NH ₂)	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l
	導電度(25°C)	μS/cm	μS/cm	μS/cm	μS/cm	μS/cm	μS/cm	μS/cm	μS/cm
	pH(25°C)	11.0~11.8	11.0~11.8	11.0~11.8	11.0~11.8	11.0~11.8	10.0~11.0	9.6~10.8	9.4~10.5
	導電度(25°C)	<4500	<4000	<3000	<1500	<1200	<1000	<800	<600
	總固體量	<3000	<2500	<2000	<250	<130	<150	<100	<80
	M鹼度(pH4.8, CaCO ₃)	100~800	100~800	<600	<200	<100	<120	<80	<50
	P鹼度(pH8.3, CaCO ₃)	80~600	80~600	<500	<200	<150	<100	<80	<50
	氯離子(Cl ⁻)	<500	<400	<300	<150	<100	<100	<80	<50
	亞硫酸(SO ₄ ⁻²)	10~50	10~50	10~20	10~20	10~20	5~15	5~15	5~15
	磷酸離子(PO ₄ ⁻³)	10~50	10~50	10~20	10~20	10~20	5~10	5~10	5~10
聯胺(NH ₂)	mg/l	0.1~1.0	0.1~0.5	0.1~0.5	<50	<50	<20	<20	
氧化矽(SiO ₂)	mg/l	0.1~1.0	0.1~0.5	<50	<50	<50	<50	<20	



水管鍋爐(循環鍋爐)的給水及爐水之水質

		CNS10231, B1312								
區分	最高使用壓力 kgf/cm ² 傳熱面蒸發率 kg/m ² ·h 補給水種類	50~75		75~100		100~150		150~200		
		離子交換		離子交換		離子交換		離子交換		
給水	pH(25°C)	8.5~9.5	8.5~9.5	8.5~9.5	8.5~9.5	8.5~9.5	8.5~9.5	8.5~9.5	8.5~9.5	
	總硬度(CaCO ₃)	0	0	0	0	0	0	0	0	
	油脂類	低度狀態	低度狀態	低度狀態	低度狀態	低度狀態	低度狀態	低度狀態	低度狀態	
	溶存氧氣	<0.007	<0.007	<0.007	<0.007	<0.007	<0.007	<0.007	<0.007	
	鐵	<0.05	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.02	
	銅	<0.03	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	<0.005	
	聯胺(N ₂ H ₄)	>0.01	>0.01	>0.01	>0.01	>0.01	>0.01	>0.01	>0.01	
導電度(25°C)	μS/cm								<0.5	
爐水	處理方式	鹼性處理	9.6~10.5	9.0~10.0	9.0~10.0	9.0~10.0	9.0~10.0	9.0~10.0	9.0~10.0	9.0~10.0
		磷酸鹽處理	<500	<150	<150	<150	<150	<150	<150	<150
	揮發性物質處理	揮發性物質處理	8.5~9.5	8.5~9.5	8.5~9.5	8.5~9.5	8.5~9.5	8.5~9.5	8.5~9.5	8.5~9.5
		揮發性物質處理	<400	<60	<60	<60	<60	<60	<60	<60
	磷酸鹽處理	磷酸鹽處理	9.2~10.2	8.5~9.5	8.5~9.5	8.5~9.5	8.5~9.5	8.5~9.5	8.5~9.5	8.5~9.5
		磷酸鹽處理	<50	<2	<2	<2	<2	<2	<2	<2
	氯離子(Cl ⁻¹)	氯離子(Cl ⁻¹)	<50	<2	<2	<2	<2	<2	<2	<2
		亞硫酸(SO ₄ ⁻²)	3~10	*19	*19	*19	*19	*19	*19	*19
	磷酸離子(PO ₄ ⁻³)	磷酸離子(PO ₄ ⁻³)	3~10	<5	2~6	0.1~3	0.1~3	0.1~3	0.1~3	0.1~3
		聯胺(N ₂ H ₄)	<5	<5	<2	<2	<2	<2	<2	<2
	矽酸(SiO ₂)									<0.2



五

鍋爐效率及影響因素



(一)效率定義

- 燃燒效率

以燃燒器將燃料完全燃燒而言，不完全燃燒產生一氧化碳及霧化不良所形成未燃碳皆降低其燃燒效率。

- 熱效率

以熱傳面積吸收燃燒熱量而言，結垢影響熱傳效率最烈。

- 鍋爐效率

以實際燃料產生蒸汽效率而言，包括燃燒效率及熱效率之綜合及幅射熱及對流熱損失。

(二)影響鍋爐效率因素

- 煙囪溫度

燃燒熱未被鍋爐有效吸收，最後由煙囪排放，煙囪溫度愈高，熱量損失愈大，鍋爐效率愈低。

- 燃料規格

燃料含水份及其氫成份，因燃燒形成水份，水份蒸發吸收燃燒熱，因此水份愈多，鍋爐效率愈低。





- 過剩空氣

為確保完全燃燒需適量過剩空氣，不完全燃燒形成黑煙(未燃燒)及過多一氧化碳，不僅造成環保問題，且降低鍋爐效率。

過多過剩空氣吸收燃燒熱，過剩空氣愈多，鍋爐效率愈低。

- 大氣溫度及濕度

燃燒需要空氣，大氣溫度差異10°C影響0.5%效率，濕度及含水份愈高，愈不利鍋爐效率。

- 幅射及對流損失

鍋爐保溫降低表面溫度，可適度減少幅射及對流損失，表面積愈大，熱損失愈大。

熱損失概算

$$Ql = 15 \text{ Kcal/m}^2\text{°C hr} \times A \times (Ts - Ta)$$



六

鍋爐及周邊設備節能案例



(一)鍋爐廢熱

1.尾氣排放

煙管式排放溫度 210 ~ 230℃

水管式排放溫度 240 ~ 290℃

結垢愈厲害，排氣溫度愈高，效率愈低。

2.鍋爐水連續排放

低壓鍋爐採軟水作鍋爐補充水，其連續排放量5~10%，視冷凝水回收量而定。

連續排放是鍋爐水顯熱損失。

3.除氧櫃排氣

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%。

除氧櫃流量平衡：

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

熱量平衡：

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



(二) 節能技巧

• 空氣預熱 (APH & SAH)

• 利用排氣高溫與空氣換熱，提升燃燒空氣溫度，降低排氣溫度，可提高鍋爐效率。

• 排氣溫度需顧及酸露點，避免腐蝕，SAH可預熱空氣提高管壁溫度。

• 含硫份1%，管壁溫度不得低於110°C

• 含硫份0.5%，管壁溫度不得低於80°C

• 鍋爐飼水預熱(ECO)

利用排氣高溫預熱鍋爐飼水，氣水熱傳較氣氣熱傳高，相對熱傳面積可較小，比APH來得經濟，也較為一般鍋爐業者提升效率所採用。

• 連續排放顯熱回收

一般套裝低壓鍋爐採用間歇式排放，不利於回收。飼水泵浦採高低液位補充進水，不僅造成大量(CARRY-OVER)挾帶爐水影響蒸氣品質，且爐水水質變化差異大，不當的間歇式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。

• 除氧櫃排氣熱回收

利用此排氣溫度，可預熱進除氧櫃之補充水，可相對減少吹驅蒸氣用量，達到節能效果。可利用前述平衡方程式來規劃設計此熱交換器。

• 尾氣含氧量

由於過剩空氣量無法量測，皆用尾氣含氧量來推算，手動調節至4%為目標，自動尾氣含氧回饋控制以3%為目標，一般套裝鍋爐採用機械連桿固定其空燃比，其尾氣含氧量大多偏高，甚至大於8%，實在不值得。

• 霧化條件

燃油霧化有蒸汽及空氣兩種，套裝鍋爐大多採用專屬空壓機來霧化，一般霧



化條件：

- 霧化壓力需大於燃油壓力2K。
- 霧化流量不低於燃油量30%。
- 冷凝水回收

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。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。

案例分析

- 節煤器

某水管式鍋爐10T/H@15K，排氣溫度245℃，效率82%，除氧櫃飼水溫度105℃，尾氣含氧量5%，0.5%S燃油LHV=9700Kcal/L 節煤器尾氣出口溫度145℃，

燃油量：

$$(666.7\text{Kcal/Kg} - 105\text{Kcal/Kg}) \times 10000\text{Kg/h} \div 0.82 \div 9700 = 706 \text{ l/hr}$$

$$706 \times 0.95 \times 19.5 \times 0.24 \times (245 - 145) = 313890 \text{ Kcal/hr}$$

飼水溫度提升

$$313890 = (T - 105) \rightarrow T = 136^\circ\text{C}$$

燃油節約

$$313890 \div 9700 = 32 \text{ l/hr} \rightarrow 4.6\%$$

全年節約燃料費用

$$32 \times 8000\text{hr} \times 8.2\text{元/l} = 2,099,200\text{元/yr}$$

投資費用約120萬元，7個月即可回收。



- 連續排放熱回收

某汽電鍋爐操作65T/H@63K 278°C $h_l = 293 \text{ Kcal/Kg}$ ，連續排放量6.6T/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。

$$\text{閃沸蒸汽回收量} = 6600 \times (293 - 197.3) \div 468.4 = 1348 \text{ Kg/H}$$

剩餘熱能回收 (預熱補充水)

$$(6600 - 1348) \times (197.3 - 50) = 773,620 \text{ Kcal/H}$$

全年燃油節省

$$773620 \times 8000 \text{ hr} \div 9700 \div 1000 = 638 \text{ KL}$$

全年燃費節省

$$8200 \text{ 元} \times 638 = 5,231,600 \text{ 元}$$

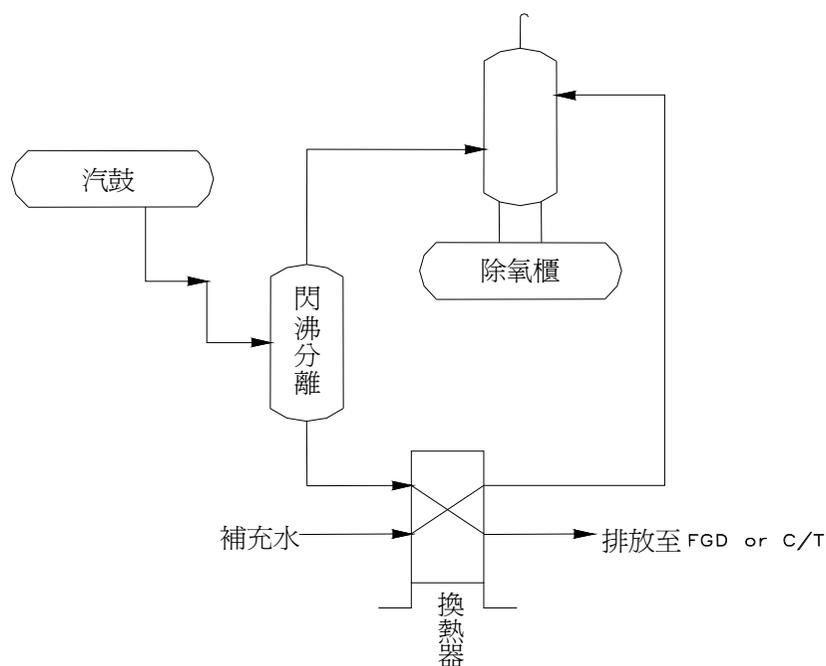


圖2 連續排放熱回收



- 除氧櫃排氣回收

除氧櫃質量平衡

50°C 補充水 + 水蒸汽 = 1% 排氣 + 110°C 鍋爐飼水

$$20000 + W_s = 0.01 W_s + W_f$$

熱能平衡

$$20000 \times 50 + 650.6 \times W_s = 0.01 W_s \times 642.8 + W_f \times 110$$

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

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

$$22.4 \times 533 \times 8000 \text{ hr} \div 9700 \div 1000 = 9.85 \text{ KL}$$

$$8200 \text{ 元} \times 9.85 \text{ KL} = 80.770 \text{ 元}$$

此回收熱可用來預熱部份補充水。

- 尾氣含氧量調降

鍋爐 10T/H@7K, 170°C

排氣溫度 220°C, O₂ = 7%

空氣比 = 1.5, 排氣熱損失 18%

$$\text{鍋爐效率} = 100 - 18 - 2 = 80\%$$

$$\text{燃油耗用} = 10000 \times (660.8 - 50) \div 0.8 \div 9700 = 787 \text{ l/hr}$$

氧氣調降至 4%

空氣比 = 1.2, 排氣熱損失 16%

$$\text{燃油節約} = 787 \times (18\% - 16\%) \times 8000 \text{ hr} \times 8.2 \text{ 元/l} = 1,032,500 \text{ 元/年}$$



• 冷凝水回收

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碳及混床樹脂淨化，其溫度需低於 50°C

以10T/H冷凝水回收計算

$$10000 \times (143 - 50) \times 8000 \text{hr} \div 9700 \div 1000 = 767 \text{ KL}$$

全年節約燃油費用

$$8200 \text{元} \times 767 = 6,289,400 \text{元}$$

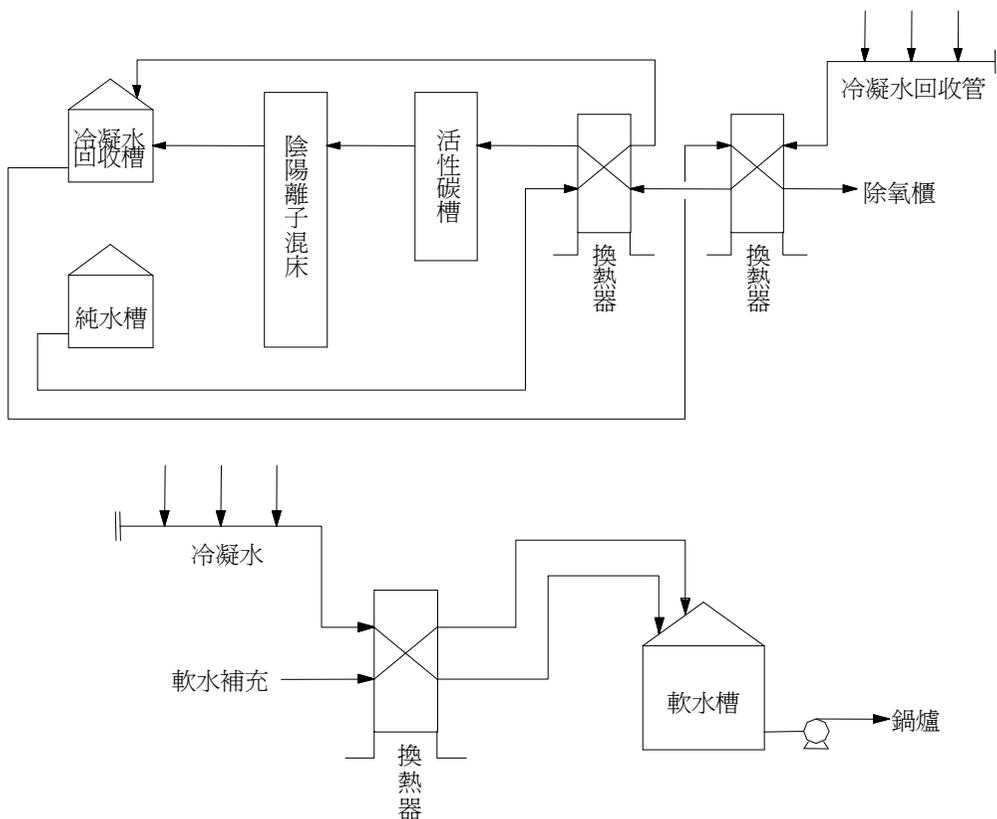


圖3 冷凝水顯熱回收



七

蒸汽分配系統



蒸汽由鍋爐產生之後，由主幹管輸送及分配到各使用者。當蒸汽需求溫度或壓力不同時，分配系統則有不同壓力需求，但一般整廠操作僅會計及考量最高壓的鍋爐，而非不同壓力鍋爐系統。如此不僅初設成本增加，操作成本及維護皆不具經濟效益。因此在建廠設計時，即需針對全廠蒸汽使用者所需負荷製作流量及熱能平衡表及圖，由平衡及計算可知所需之鍋爐負荷。此一平衡圖表應定期作更正，由於產能的擴充或有效節能措施及設備變動等因素皆會影響整廠蒸汽熱能平衡。因此可以說只要有鍋爐就應有蒸汽系統平衡圖表。

如煉油及石化工廠，其蒸汽壓力(溫度)需求一般有高、中、低等甚或更多，超高及超低的壓力需求。如此一來在蒸汽分配系統上就更為重要，不能單以高壓端降壓來供低壓端使用。必須透過全廠熱能平衡及冷凝水分流回收來作最適化設計，以達能耗最節約的目的。以下例說明當應更清楚明瞭。

(一)蒸汽冷凝水分流

工廠內使用不同等級壓力之蒸汽，往往從共用鍋爐降壓來用，蒸汽減壓本是不不得已之措施，必得配合鍋爐供應之壓力，有些是吾人無法善盡其用的；相對的，在各級蒸汽使用後，其潛熱被製程使用端吸收後之冷凝水則有必要盡可能回收利用。蒸汽冷凝水分流收集回收並非新觀念，但真正落實及正常操作者並不多見，有必要在此重申其效益性，提高眾人注意，並重新評估整廠蒸汽平衡，以達到最適化蒸汽使用。

一般工廠使用蒸汽分高、中、低壓，有的更增加超高壓及超低壓；壓力等級分類並無一定，端視各廠使用自行分類，有的20K在甲廠算高壓，但在乙廠祇算中壓。汽電廠或公用鍋爐供應蒸汽60K以上者，其相關設備及管件設計超過900磅者皆屬超高壓系統範圍。磅數在150磅但壓力使用在2K以下者，皆屬超低壓。

許多工廠使用10T/H@10K之鍋爐，而在製程端僅使用3~5K之蒸汽，這類鍋爐



最好將供應壓力調降至滿足現場即可；其重點應放在有效收集冷凝水，並減少二次再生(閃沸)蒸汽的流失。目前這類鍋爐使用者都有節約能源觀念，將冷凝水收集至冷凝水貯槽，唯此貯槽皆為大氣貯槽，很容易在排放口看見閃沸蒸汽的白煙逸散，應予以適當回收利用，例如用來預熱鍋爐飼水補充水，如圖4，如此不僅避免閃沸蒸汽之逸散亦可回收可貴水資源，並相對降低鍋爐藥劑之添加，一舉數得。

有些工廠須要使用兩種以上之蒸汽壓力(或溫度)時，不可能購置兩種不同壓力之鍋爐，大都以較高壓力之配套鍋爐為主，較低壓力使用者需用減壓閥來調降；飽和蒸汽經過降壓即形成過飽和蒸汽。在製程使用端之熱交換器，最主要是利用蒸汽之潛熱，不僅具有較高熱值也有較佳之熱傳，如果過飽和溫度太高時，因熱傳較差會影響熱交換面積之不足，而無法滿足製程需求，此時須從兩方面來著手，一是設計時即將此過飽和溫度考慮進去，須設計一個較大之熱交換器；另一個是使用DESUPERHEATER去飽和去溫度器來調降蒸汽溫度，使其接近飽和溫度，如此即可有效利用蒸汽之潛熱。

當蒸汽釋放出潛熱之後即形成冷凝水，事實上此冷凝水之溫度及壓力仍相當接近其飽和狀況之壓力及溫度，差別僅在於此熱交換器之壓損，亦即在祛水器之前冷凝水之壓力及溫度幾乎仍維持飽和條件(一般熱交換器蒸汽端之壓損很小，幾乎可忽略不計)。重要的是祛水器下游冷凝水收集管線之設計以及祛水器本身差壓的選擇。由於冷凝水仍有相當溫度的顯熱，其壓力愈高顯熱熱焓(溫度)愈高。冷凝水一流經祛水器之節流孔即造成減壓，就有閃沸再生蒸汽產生，閃沸蒸汽的多少取決於冷凝水收集管線系統之背壓，背壓愈小，再生閃沸蒸汽量愈大。

※例如5K之飽和冷凝水熱焓有159Kcal/kg，祛水器之背壓為大氣時(0 K, 1atm)其熱焓為100Kcal/kg，此大氣之蒸汽蒸發熱為540 Kcal/kg；其閃沸蒸汽量即為：

$$(159 - 100) \div 540 \times 100\% = 10.9\%$$

若10K飽和冷凝水熱焓186Lcal/kg，其閃沸蒸汽量為：

$$(186 - 100) \div 540 \times 100\% = 15.9\%$$

亦即壓差愈大，其閃沸蒸汽量愈大。

這裡需強調及注意者為祛水器出口至冷凝水收集槽的距離，距離愈遠管線之磨擦損失愈大，則祛水器出口端之背壓相對提高，閃沸再生蒸汽之產生即由此相

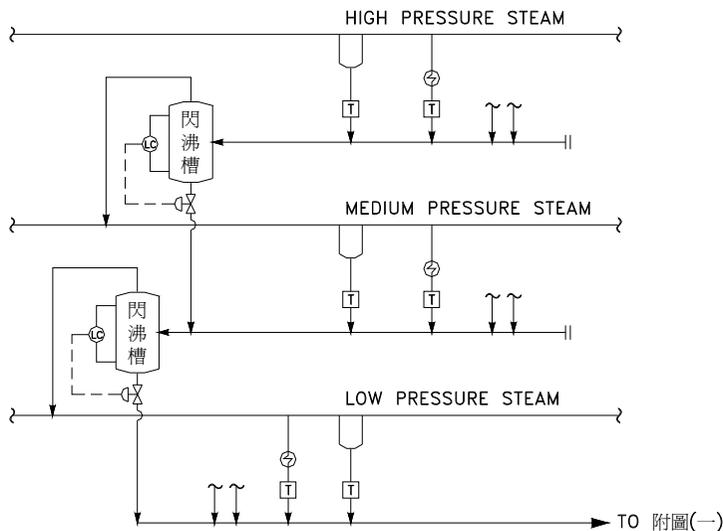


對背壓之遞減而逐漸增加，以上之計算，事實上是最終收集槽之閃沸蒸汽量。

正確之祛水器差壓即為上游壓力與出口端背壓之差，而非終端收集槽之差壓，差壓過大則祛水器UNDERSIZING，即冷凝水排放不及；差壓太小則祛水器OVERSIZING，即冷凝水排放頻率降低。前者造成祛水器節流孔常開，導致部份蒸汽有溢流可能，後者則設備大而不當，蒸汽容易洩漏形成浪費。

若僅有一條低壓冷凝水收集管時，由於有大量閃沸再生蒸汽，此時兩相流的管線設計需特別注意，不當管線尺寸很容易造成水槌(water hammer)現象，損害設備及管架支撐等。

若能將不同壓力之飽和冷凝水分流收集如圖4，不僅可減少低階再生閃沸蒸汽的產生，減少水槌現象，更可回收較高階再生閃沸蒸汽供應製程使用；現以實例說明如下：



附圖4 蒸汽冷凝水分流

※全量30T/H@20K蒸汽鍋爐，製程使用分三級分別為18K，10K及3K，則冷凝水收集分10K，3K及ATM，即18K蒸汽凝後在10K冷凝水閃沸槽產生10K再生蒸汽供10K蒸汽系統併用；10K蒸汽凝後在3K冷凝水閃沸槽產生3K再生蒸汽供3K蒸汽系統併用；3K蒸汽凝後再由ATM大氣貯槽收集並回收其餘熱，其再生閃沸蒸汽量計算及假設如下：



壓力	溫度	熱焓	蒸發熱	流量
18K	209°C	213Kcal/kg	—	10T/H
10K	183°C	185Kcal/kg	478Kcal/kg	10T/H
3K	143°C	144Kcal/kg	510Kcal/kg	10T/H
ATM	100°C	100Kcal/kg	540Kcal/kg	

- 10K再生閃沸蒸汽量 = $10 \times 103 \times (213 - 185) \div 478 = 586 \text{ KG/HR}$
- 3K再生閃沸蒸汽量 = $[10000 + (10000 - 586)] \times (185 - 144) \div 510 = 1561 \text{ KG/HR}$
- ATM再生閃沸蒸汽量 = $(10000 + 17853) \times (144 - 100) \div 540 = 2270 \text{ KG/HR}$

事實上，高階再生蒸汽(10K及3K)的回收，將可降低鍋爐負載節能，換算此高階蒸汽回收之油當量可得：

$$(586 \times 478 + 1561 \times 510) \times 8000 \text{HR} \div 9200 \text{Kcal/KL} = 936 \text{ KL}$$

每KL燃油8200元計則每年可省：

$$8200 \times 936 = 7,675,200 \text{ 元/年}$$

低階大氣ATM閃沸蒸汽及冷凝水部份顯熱回收可利用圖1之熱交換器回收熱能，若冷凝水降溫至80°C則可回收熱能：

$$2270 \times 540 + (27852 - 2270) \times (100 - 80) = 1,737,460 \text{ Kcal/H}$$

$$\text{換算全年燃油當量} = 1737460 \times 8000 \div 9200 \text{Kcal/KL} = 1510 \text{ KL/HR}$$

以上計算僅供便於瞭解，實際上需對全廠作蒸汽平衡及冷凝水實際回收量列入計算。

若僅單一低階冷凝水收集至貯槽而無熱回收時，其熱能流失：

$$10000 \times (213 - 100) + 10000 \times (185 - 100) + 10000 \times (144 - 100) = 2,420,000 \text{ Kcal/HR}$$



$$\text{燃油當量} = 2420000 \times 8000 \div 9200 \text{Kkcal/KL} = 2104 \text{ KL}$$

$$\text{水資源流失} = 2420000 \div 540 = 4481.5 \text{ KG/HR} = 35850 \text{ T/HR}$$

以上計算未計入熱損失

低階再生蒸汽較不易供製程使用，若無適當之熱能回收裝置則形成浪費，最常見的大氣冷凝水貯槽流失之熱量及水資源相當可觀。

冷凝水分流回收主要是回收較高階再生蒸汽供製程使用，減少低階蒸汽的流失。再配合冷凝水餘熱回收，其節能效益更為顯著。





蒸汽管線最適化設計



1. 祛水器安裝型式：

祛水器依不同的原理設計分離蒸汽和冷凝水方式，主要因比重的差異、溫度變化及熱力學性質而作動開關。

- a. 機械型：倒桶式、自由浮桶式、浮球式、自由浮球式
- b. 熱靜力型：膨脹環式、雙金屬式
- c. 熱動力型：圓盤式、脈衝式
- d. 節流型：孔口板式

2. 祛水器安裝管路：

- a. 冷凝水排放管：祛水器洩漏的熱能包括蒸汽潛熱及飽和水焓。
- b. 冷凝水回收管：祛水器洩漏的熱能於冷凝水回收管及回收槽提升給水溫度，實際損失是管壁熱散失及槽頂經壓力閥(Vent)排放的飽和蒸汽。

3. 祛水器檢測分析：

- a. 溫差判讀：過冷、非過冷
- b. 音波判讀：洩漏、無洩漏
- c. 性能判讀：正常、小漏、中漏、大漏、噴洩、阻塞、積水

4. 祛水器規格：

- a. 批次加熱系統用孔口節流式
- b. 高溫加熱系統用熱靜力式



- c. 環境溫度大變化場所用熱動力式
- d. 易發生蒸汽閉鎖場所用熱(動/靜)力式
- e. 高背壓冷凝水回收管用熱(動/靜)力式
- f. 蒸汽啓動量大的系統用正常冷凝尺寸

5. 祛水器安裝錯誤：

- a. 機械式安裝於垂直配管
- b. 熱(動/靜)力式使用保溫材被覆
- c. 熱靜力式未依蒸汽條件調整溫度設定
- d. 熱動力式不回收冷凝水
- e. 未依需要前置過濾網
- f. 未依需要前置蒸汽壓力錶

6. 祛水器配管錯誤：

- a. 未依啓機需要裝置旁通管閥造成空氣閉鎖
- b. 高低壓蒸汽系統共用祛水器造成蒸汽閉鎖
- c. 高低量蒸汽系統共用祛水器干擾低量端積水
- d. 前端配管細長再生蒸汽造成蒸汽閉鎖
- e. 位置高於前端配管未安裝揚升器造成蒸汽閉鎖
- f. 前端配管水平安裝球閥造成冷凝水滯留
- g. 後端回收管管徑不足排放冷凝水太慢以致積水
- h. 後端回收管未安裝逆止閥背壓升高冷凝水回流以致積水

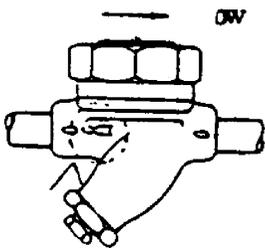
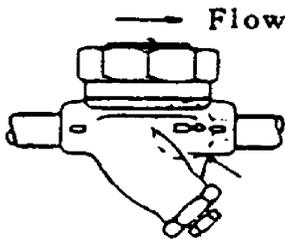
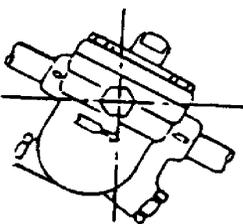
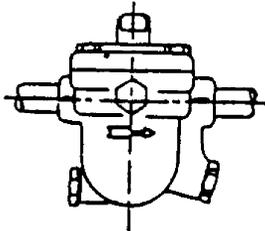
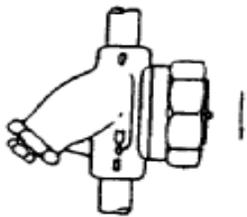




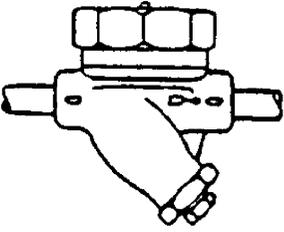
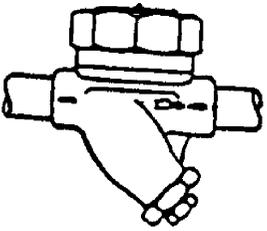
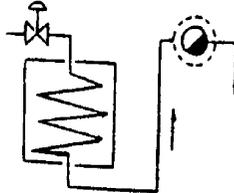
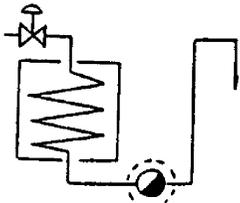
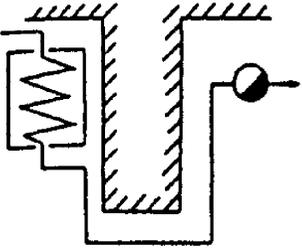
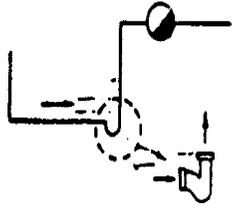
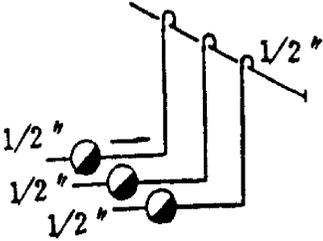
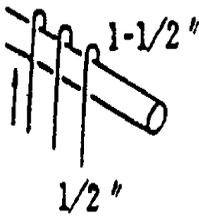
※ 祛水器洩漏檢測案例

祛水器前端通常未裝置壓力和溫度計，以致檢測祛水器表面溫度替代蒸汽溫度，或取設備操作壓力替代蒸汽壓力，以及計算蒸汽洩漏質量及熱量時總有誤差存在。祛水器功能檢測如果併用目測、音波及溫差方法做定性判讀相當可靠，但定量分析準確度仍然不足，因此針對可能導致更大錯誤判讀的項目，必須收集資料謹慎查驗。首要工作是確認使用蒸汽之加熱設備處於正常運轉狀態，其啓動、冷卻及批次作業時段需要特別注意。其次是觀察祛水器安裝及冷凝水配管方式，同一管路前後祛水器使用條件相互干擾程度也需要概略評估。最後針對洩漏量較大的祛水器得查證設備稼動率，以免累計時數放大了洩漏熱能。

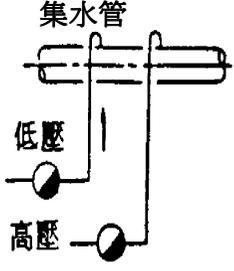
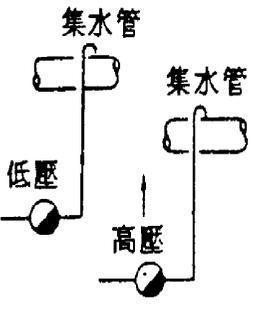
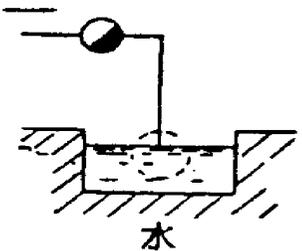
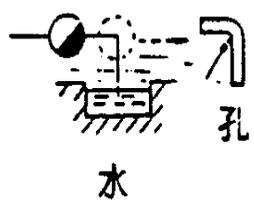
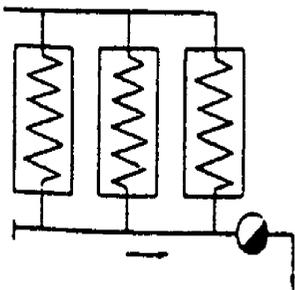
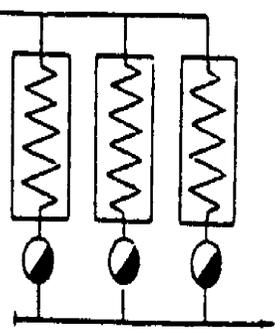
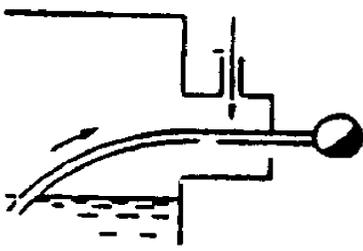
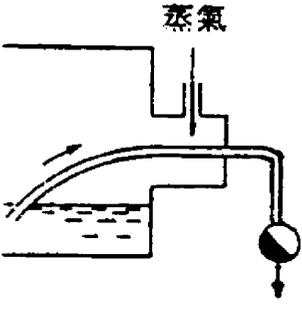
祛水器的正確安裝方式

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。	

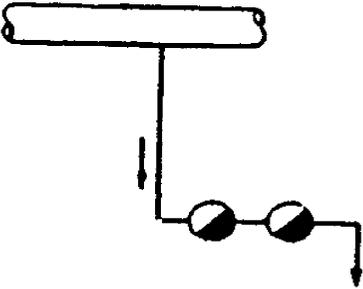
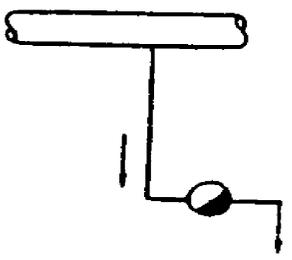
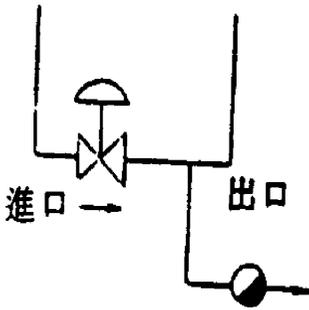
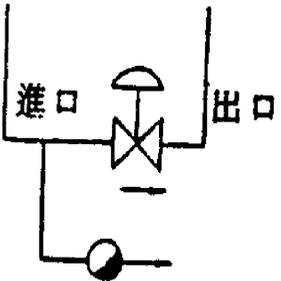
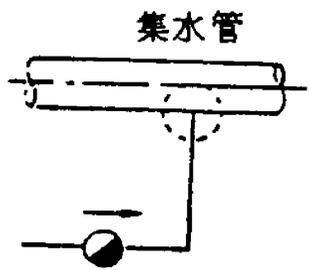
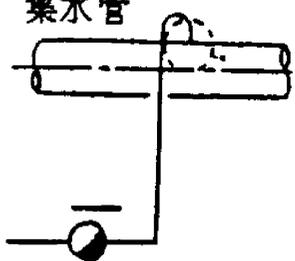
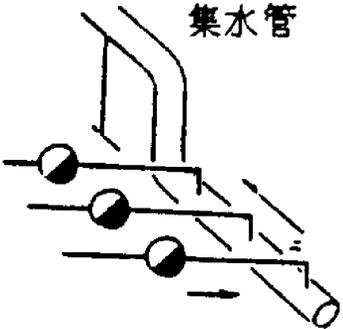
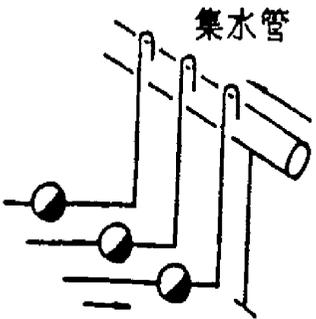


錯誤的按裝方式	說 明	正確的按裝方式
	<p>祛水器前之配管不可比需要的尺寸小，否則會發生STEAM LOCKING 或AIR BINDING 現象。</p>	
	<p>祛水器不可高於排放點，以便冷凝水流入祛水器。</p>	
	<p>祛水器必須安裝於此排放點高時，須使用水封 (LIFT FITTING)。</p>	
	<p>冷凝水的集管必須大於祛水器的尺寸，集管截面積至少與所有祛水器管線截面積總和相等。</p>	



錯誤的按裝方式	說 明	正確的按裝方式
<p>集水管</p> 	<p>不同壓力來源之冷凝水，不可排入同一集管。</p>	<p>集水管</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，必須單獨使用一個祛水器。</p>	
<p>蒸氣</p> 	<p>虹吸式的祛水方式有產生汽障的可能性。</p>	<p>蒸氣</p> 



錯誤的按裝方式	說 明	正確的按裝方式
	<p>兩個串連的祛水器會操作不良，只要按裝一個操作正常即可。</p>	
	<p>祛水器必須按裝在控制閥之前。</p>	
<p>集水管</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</p> 
<p>集水管</p> 	<p>集水管的下游，不可提高，以對祛水器增加背壓。</p>	<p>集水管</p> 



九

蒸汽品質影響

一般人將蒸汽的品質及純度混為一談，實際上兩者定義不同。品質針對蒸汽濕度而言，純度則指被污染情況。

當蒸汽從鍋爐釋放出來的，有一些細小水珠隨著被挾帶(CARRY-OVER)出來，挾帶愈多，濕度(水份)愈大，愈影響蒸汽品質，這些水份逐漸在管線中沈積，需靠卻水器將其移除，否則對系統及設備造成傷害，例如水鎚(WATER HAMMER)，渦輪葉片撞擊等。一般鍋爐廠家將品質界定為蒸汽乾燥度，可藉由分離器等設施來改善。

蒸汽純度一般以總溶解固體(TDS)來量測，不同鍋爐其標準不一，如低壓鍋爐要求100 ppm，針對高壓汽電鍋爐為避免其葉片沈積(DEPOSIT)問題，要求0.1 ppm以下。很多使用者用導電度儀來量測，如果CARRY-OVER愈大，則導電度愈高，蒸汽純度愈低。

- 蒸汽內之空氣來源有鍋爐補充水及開車時系統內之空氣。空氣所引起問題有降低熱傳及溫度，如果在熱傳設備中，未能排放這些空氣，不僅阻礙熱傳，更造成溫降之假象，誤導操作人員之判斷。
- 二氧化碳隨著鍋爐內碳酸鹽及碳酸氫鹽之分解而釋放出來，當二氧化碳溶在冷凝水中時，形成碳酸，加速腐蝕蒸汽／冷凝水系統。碳酸腐蝕特性使金屬設備管線變薄，此種現象一般發生在冷凝水液面下。
- 溶解氧隨鍋爐補充水而來，溶解氧在冷凝水系統中易造成孔蝕(PITTING)，這些孔蝕即是金屬氧化，孔蝕穿透之破壞力比二氧化碳酸蝕破壞力要快、要強。
 - 蒸汽分離器利用液氣密度差異不同，達到分離效果，在鍋爐內常用的有板式及旋風式(CYCLONE)，主要目的在增加蒸汽乾燥度，減少CARRY-OVER降低溶解固體含量。



蒸汽使用設備概要介紹



蒸汽使用有直接與間兩種，間接一般皆以加熱製程為主，最常見的就是管殼式熱交換器、板式加熱器、蛇管或夾套加熱等型式。直接使用則依其功能而異，如汽提蒸汽將相溶物質分離；霧化蒸汽使燃油霧化達到較佳燃燒效率；脫煙蒸汽顧名思意將燃燒不完全的碳予以反應減少黑煙；吹灰蒸汽用在節煤器或空氣預熱器將積在管壁上的煙灰予以吹除；除油蒸汽使用在管線及系統中將油脂去除；殺菌蒸汽較多用在醫藥食品業的系統殺菌功能。

直接使用者皆屬一次性使用，蒸汽隨著系統進入製程或排放，係對功能所需而設不同於間接蒸汽使用，因此針對直接使用者需對設備本身的改良，方能達到減少蒸汽的消耗。而間接蒸汽使用就是利用蒸汽的潛熱，回收冷凝水再產生蒸汽重覆使用。譬如蒸餾塔底部的再沸器一般是蒸汽加熱器中單一設備較大蒸汽消耗者，蒸汽的壓力(溫度)較多接受塔底所需操作溫度作調節控制。往往在製程上，即蒸餾塔的操作上作些調整，如純度的降低或溫度的降低，相對地減少蒸汽消耗。而往往蒸餾塔在設計時，皆有某種程度的裕度供調整，不妨以漸進方式以求達到最適化操作及最低能耗。

1. 蒸汽需求估算

• 質能估算

$$Q=MC_p\Delta T$$

M：製程質量

C_p ：比熱

ΔT ：溫升

$$Q=S_{tm} \cdot \lambda$$

S_{tm} ：蒸汽量 λ ：蒸發熱

$$=S_{tm} \cdot (h_s - h_l)$$

h_s ：蒸汽熱焓 h_l ：冷凝水熱焓



- 霧化蒸汽估算

$$0.3\sim 0.5 \text{ kg/kg} \cdot \text{FO}$$

- 蒸汽熱保溫(STEAM TRACER)估算

$$QL=15 \cdot (T_s-T_a) \cdot A$$

T_s : 保溫表面溫度
 T_a : 大氣溫度
 A : 保溫總表面積

- 蒸汽直接注入熱水估算

$$M_W \cdot h_1 + M_S \cdot (h_s - h_2) = (M_W + M_S) \cdot h_2$$

M_W : 水量 h_1 : 水熱焓@ T_1 h_2 : 水熱焓@ T_2
 M_S : 蒸汽量 h_s : 蒸汽熱焓

- 除氧櫃蒸汽需量

$$M_B \cdot h_B = M_C \cdot h_C + M_S \cdot (h_s - h_B)$$

BFW COND STM

$$M_B = M_C + M_S$$

2. 蒸汽壓力改善

蒸汽壓力愈大，潛熱愈小，顯熱愈大。基本上，鍋爐熱傳面積以水溫100°C設計，蒸汽利用潛熱，潛熱愈大，蒸汽耗用愈少，從製程需求調降鍋爐供應壓力，以美國Nalco公司為例，從125psi降至100psi，節省1.8%能耗。

製程端 $Q_P = M_S \cdot \lambda$

鍋爐端 $Q_B = M_S \cdot (h_s - h_{100}) \div \eta$

$h_{125} = 662$ $\lambda = 482$

$h_{100} = 660.8$ $\lambda = 489.5$



$$Q_P=1000 \Rightarrow M_{125}=2.075 \quad M_{100}=2.043$$

$$Q_{B125}=2.075(662-100) \div 0.85=1371.94$$

$$Q_{B100}=2.043(660.8-100) \div 0.85=1347.90$$

$$1347.90/1371.94=0.9824 \Rightarrow 1.8\%$$

- 效率提升：
- 鍋爐排煙溫度降低
 - 管線幅射熱損失減少
 - 祛水器洩漏量減少

3. 潔淨熱傳效率改善計算

Scale及Fouling影響

Scale需由鍋爐水質改善及定期清洗

Fouling受制於流體特性

$$\frac{1}{U} = \frac{1}{\frac{i}{U_i} + \frac{1}{U_o} + r_i + r_o + \frac{X}{K}}$$

U=總熱傳系數

U_i 、 U_o =管內外熱傳系數

r_i 、 r_o =管內外熱阻(Fouling)

K=熱傳導系數

X=管壁厚度及Scaling.



Fouling若未考慮，可得較小熱傳面積設備，但無法滿足日後製程需求而降低產量。

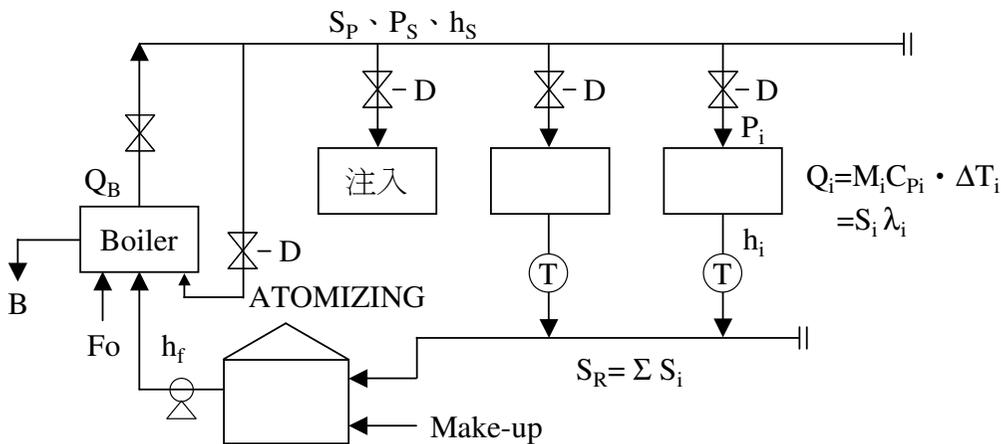
$$Q=UAL_{MTD}=MCp\Delta T$$

Q固定； $U\uparrow\Rightarrow A\downarrow$

A固定； $U\downarrow\Rightarrow Q\downarrow\Rightarrow M\downarrow$

4. 蒸氣熱能平衡計算

- 各使用者流量(W_i)，壓力(P_i)、潛熱(λ_i)、熱焓(h_i)
- 鍋爐蒸氣供應壓力(P_s)、熱焓(h_s)、飼水熱焓(h_f)
- 製程熱能需求=各使用者總和= ΣQ_i
- 計算蒸氣需求量(S_R)= Σs_i
- 統計鍋爐燃料量(F_o)
- 由燃料量及鍋爐效率計算蒸氣量(S_P)
- 由 S_P 及 S_R 作差異分析





$$Q_B = FO \cdot LHV + S_a \cdot h_s \quad S_a = \text{蒸汽霧化量}$$

$$= Sp \times (h_s - h_f) \div \eta$$

$$\Rightarrow Sp = \frac{Q_B \times \eta}{h_s - h_f}$$

5. 蒸汽洩漏量估算

蒸汽祛水器失靈所造成的蒸汽損失如下：

流孔閥門	蒸汽洩漏量(Kg/Hr)	全年損失金額 (千元)
1/2"	525	2,457
7/16"	400	1,872
3/8"	295	1,381
5/16"	205	959
1/4"	130	608
3/16"	75	351
1/8"	30	140

(以7K蒸汽，每MT585元，全年8,000小時估算)





蒸汽使用設備節能案例

1. 蒸餾塔迴流溫度提升效益

蒸餾塔塔頂冷凝器大多因冷卻水或氣冷方式冷凝，甚至應下游製程需求更Subcool至較低溫度；蒸餾塔操作皆需作特定迴流控制以達精煉效果，但Subcooling迴流往往增加再沸器負荷，因此維持飽和溫度的迴流可同時節省冷凝器及再沸器的負荷，達到節能目的。

再沸器能耗節省可由迴流量與迴流溫度的改變計算出來；溫度提升愈多，其效益愈大。

2 再沸器蒸汽溫度調降效益評估.

一般蒸餾塔再沸器設計皆較為保守，多用較高溫差進行設計，也就是較高壓力或溫度的蒸汽；事實上，若溫差太大，反而不利於再沸器的沸騰熱傳係數，較佳溫差應在30~50℃之間，太高溫差會引發熱脹問題的考量而增加設備成本。所以降低蒸汽溫度提高熱傳係數，在固定的熱負荷下，往往能達到不錯的節能效果，此計算需較繁雜的電腦模擬運算，但其多倍數的熱傳係數改善確實可補償溫差效應(LMTD)。

$$Q=UA L_{MTD}=M \cdot \lambda$$

並因蒸汽壓力的降低而提高潛熱利用，達到節能目的。



十一

冷凝水回收系統



冷凝水係由蒸汽冷凝而來，屬高度純水，且含有熱量，可經由簡易回收裝置，去除雜質及其他不純物，即可再利用，不僅減廢，尙能省大量能源。

蒸汽一般用在製程加熱或汽機渦輪，兩者皆將蒸氣潛能利用後形成冷凝水，兩者之回收略有差異，主要因為製程用蒸汽有受製程污染影響，有油污或其他有機物等不純物，其處理方式以線上導電度作設定控制，若異常需將其排放。此部份冷凝水一般需經活性炭處理，若製程污染嚴重，則直接排放至廢水處理，若少量則由活性炭處理，以不影響活性炭負荷為原則，並對線上污染源作追蹤處理。

汽機渦輪之冷凝水，一般因沖蝕(EROSION)及腐蝕(CORROSION)形成雜質成份較多，可用拋棄式過濾器將其去除，直接送除氧櫃(DEAERATOR)回收使用。為確保蒸氣品質，可將前二者之冷凝水與脫礦水合併再經過混床樹脂處理後送往除氧櫃。





十三

冷凝水回收設備功能



(一) 蒸汽祛水器功能需求

蒸汽祛水器廣泛使用於蒸汽系統中，其主要功能需求如下：

- ▶ 防止蒸汽洩漏：蒸汽從祛水器洩漏即降低蒸汽系統效率，並浪費有用的資源；蒸汽洩漏是非常昂貴的。以燃油鍋爐而言，85%鍋爐效率每公秉燃油可產生14公噸蒸汽。每公秉燃油費用7,500元新台幣計算，光是燃油費用每公噸蒸汽即需535元。單一祛水器的微量洩漏，即可造成全年10萬元的損失。
- ▶ 排除冷凝水：當蒸汽蒸發潛熱被製程吸收後即產生冷凝水，需適當排除，否則製程設備累積影響熱傳，並易導致碳鋼材料的腐蝕，更甚者造成危險的水錘現象損害設備。
- ▶ 排除空氣：空氣及其他不可凝氣體，如二氧化碳等必須從蒸汽系統中排除，因這些氣體會與冷凝水混合形成具有腐蝕性的冷凝水，導致設備金屬元件的損害。不可凝氣體在熱傳設備中集結形成氣封，阻礙有效熱傳，降低其熱傳效率。這些氣體主要來自系統開車階段，若未做好適當排放即殘留在系統中，需藉由祛水器適時排出。

蒸汽祛水器製造廠商非常清楚這些功能需求，但他們也了解並無萬能的設計來滿足適用各種應用。因此有各式的蒸汽祛水器應用在不同操作特性，選用適當祛水器取決於操作條件。

當蒸汽第一次進入系統中時，蒸汽溫度與系統管件及設備金屬表面溫度差異最大，此時冷凝水形成最多。當熱傳完成，達到溫差穩定時，冷凝水量亦就幾乎固定。這種兩極式的冷凝水量可稱作冷車負荷及操作負荷。一般在選用祛水器時有所謂安全倍數考量(2-3倍)，即是顧及冷車負荷，若冷車負荷太大時，亦可考慮將祛水器旁通打開，加速排放，縮短熱機時間。



至於操作負荷，主要取決於使用者熱負荷，祛水器操作條件(背壓)及系統設計有關。

(二)蒸汽祛水器分類

祛水器一般分成二大類，流孔板祛水器及傳統祛水器；流孔板式祛水器構造簡單就像限流板一樣在板子中間有個開孔而無其他可移動的元件；可連續排除冷凝水但無法停止或限制其流量。其唯一影響性能的設計變數就是開孔大小。目前市面上有其他類似的祛水器，如文式流孔祛水器，依經過噴嘴式開孔可改變流體特性，可接受較大範圍流量變化用途。不像流孔板僅能接受固定流量及差壓，設計太小容易累積冷凝水，設計太大則造成蒸汽洩漏。國內有使用者正試用文式流孔祛水器，評估其效益，國外亦尚未有正式文件說明其操作特性、服務性能及可靠度。

傳統祛水器較複雜，至少都有一可移動元件能自動控制冷凝水的排放，傳統祛水器依其操作原理主要可區分三種；恆溫式(Thermostatic)、機械式(Mechanical)及熱動式(Thermodynamic)。

就其操作原理及特性分述如後。

1. 蒸汽祛水器操作特性

(1) 流孔板式蒸汽祛水器

在蒸汽冷凝水收集處提供夠大開孔可適時移除冷凝水。簡單的流孔板蒸汽祛水器由兩片法蘭夾住一片金屬板所組成，在板上鑽有經過流量及差壓計算的特定孔徑，可連續排放累積的冷凝水。沒有冷凝水時，此流孔板可發揮限流功能，僅允許少量蒸汽流失。

流孔板式祛水器沒有移動元件可導致其失靈，且無需維修保養。但隨時有冷凝水或蒸汽流經開孔，無法作自動控制調節。長期操作結果會因磨損而使開孔增大，增加蒸汽的流失。

流孔板式祛水器功能正常時，所有累積冷凝水可連續由開孔移除，而防止蒸汽流失；這種情況事實是種理想。實際上，因溫度變化及壓力改變，或系統需求都直接影響冷凝水形成量。最適化流孔板式祛水器僅能在固定差壓及固定流量情況下達到最佳性能。



冷凝水量太小時，蒸汽亦會從開孔流失，造成浪費；此情況與傳統祛水器失靈時一樣，差別在於蒸汽流失量大小。在傳統祛水器中有可移動元件，可自動控制較大開孔的流量，此較大開孔即允許較大流量的變化；但在失靈時，此較大開孔亦會造成較大的蒸汽流失。

當冷凝水累積量超過流孔流量(設計太小或堵塞)，冷凝水即溢流(flood)至製程系統，不僅影響熱傳且因水錘現象而造成設備受損。

另外需注意的是因流孔限流效應，在開車時無法迅速排除系統內的空氣，可能須搭配手動操作旁通或傳統式祛水器。

流孔板式祛水器被採用的主因是簡單，不需維修及較長使用壽命，但主要不被接受的考量則有a).開車時不足以處理空氣排除。b).不足以應付冷凝水量的變化，尤其開車時。c).無法避免蒸汽流失。D).流孔孔徑較小較易堵塞。

2.傳統祛水器

(1)恆溫式祛水器

(2)恆溫式乃利用溫度的差異來區分冷凝水及蒸汽，溫度的差異驅動內部可移動元件如閥門開啓或關閉。在正常情況，冷凝水溫度低於蒸汽溫度時方開啓閥門。常見恆溫式祛水器有風箱型(Bellows)、雙金屬膜片型(Bimetallic)及熱膨脹型(Thermal Expansion)。

- 風箱型：風箱元件閥門因溫度差異而膨脹或收縮，風箱內部充填低沸點的醇類流體，受熱驅動閥門。開始未受熱時閥門開啓，在開車時可允許空氣排除及大量冷凝水排放，風箱型祛水器失靈時，有可能開啓或關閉。
- 雙金屬膜片型：兩片不同金屬膜片組合成，在未受熱前，空氣及水可自由流通，直到雙金屬膜片達到蒸汽溫度，因高溫導致閥門關閉，等到冷凝水溫度降低驅動雙金屬組合片重新開啓閥門。雙金屬膜片失靈時，閥門有可能是開啓或關閉。
- 熱膨脹型：內含礦物油的恆溫元件因受熱膨脹驅動閥門關閉。在開車時，空氣及冷凝水可從開啓的閥門驅除，當礦物油元件接觸蒸汽受熱膨脹即可關閉避免蒸汽流失。

(3)機械式祛水器

機械式乃是利用蒸汽及冷凝水密度差異來驅動浮球或桶子，此動作可開啓或



關閉閥門。市面常見的有浮球型(Ball Float)、浮球及連桿型(Float and Lever)、倒桶型(Inverted Bucket)、開桶型(Open Bucket)及浮球恆溫型(Float and Thermostatic or F&T)。

- 浮球型：依賴浮球本體浮力驅動開啓或關閉祛水器的出口開孔；無冷凝水時，浮球蓋在開孔上阻止空氣及蒸汽排放；當冷凝水累積時，浮球受浮力影響而浮動開啓開孔，導致冷凝水順利排出。在開車時，浮球型無法排放空氣。
- 浮球連桿型：與浮球操作原理相同，僅多加一連桿當浮球向上浮動(冷凝水累積)驅動連桿使閥門開啓，讓冷凝水順利流出，當水位降低時連桿受浮球驅動而關閉閥門，如此可避免蒸汽外流。此種祛水器在開車時無法排放空氣。
- 倒桶型：較浮球連桿型複雜，開車時，倒桶靜置在祛水器內底部，使倒桶連接的閥門全開，當蒸汽進入祛水器被留滯在倒桶內，使倒桶往上浮動而關閉閥門避免蒸汽流失。當冷凝水進入並冷卻蒸汽使浮桶下沉，導致閥門開啓，使得冷凝水能順利流出。倒桶型冷凝水排放是間歇性的。
- 開桶型：由開口朝上的浮桶連接閥門所組成。開始時，浮桶靜置於祛水器內底部，此位置使閥門大開，當冷凝水累積在浮桶外部時，浮桶因浮力向上浮動導致閥門關閉；當冷凝水由浮桶外部累積至內部時，浮桶開始下沉導致閥門開啓。與倒桶型相同地間歇性排放冷凝水。
- 浮球恆溫型：與浮球連桿型相似，不同的是多了一個恆溫驅動元件，使空氣能在開車時排除。此恆溫驅動元件與恆溫型祛水器相同，因此浮球恆溫型可說是浮球連桿型與恆溫型的整合型，改善了浮球連桿型無法排氣的缺點。

(4)熱動型

熱動型祛水器是利用冷凝水與蒸汽動能或速度的差異驅動閥門。圓盤型(Disk)祛水器是最常見的熱動型祛水器。

圓盤型祛水器乃利用圓盤位置來控制蒸汽及冷凝水的流動。當冷凝水及空氣流經祛水器，圓盤受力被舉起，使得閥門開啓。當蒸汽流進祛水器時，圓盤上部的冷凝水受熱閃沸成蒸汽，使圓盤受壓而下降關閉閥門。圓盤上部閃沸蒸汽壓力較低速度較慢，下部流進蒸汽壓力較高速較快，圓盤上下壓力差大小即為驅動圓盤下降的動力。圓盤型祛水器冷凝水排放是間歇性的，且失靈時會在開啓狀態容易流失蒸汽。



傳統祛水器的設計能應付較大的冷凝水流量變化，但其可移動元件及連桿等較易磨損及受到傷害，要維持其正常操作性能通常需定期檢測及保養，雖然維修保養較耗時間及人力，但比起能源的浪費，比較上仍是值得的。

3. 蒸汽祛水器配管

配管事實上也是一門學問，並非管子連接即可；以蒸汽管為例，假設主管是6”管，因長距離蒸汽輸送會有磨擦及熱損失導致冷凝水形成，一般需考慮每50m裝置祛水器排除冷凝水，這種因熱損所形成的冷凝水量較小，可用最小1/2”配管連接祛水器；但如果在6”主管底部接1/2”小支管，是無法有效聚集冷凝水的。一般蒸汽速度很快，少量冷凝水在管子下層被蒸汽推動，若只有1/2”小孔很難捕獲大主管內流過的冷凝水，因此需有與主管同口徑或小一號收集管在底部連接，如此較能有效聚集冷凝水，此收集管最好有30cm長度，底部裝置3/4”或1”清除閥口，祛水器的支管從收集管下緣旁邊接出，可減少堵塞的機會。

祛水器因需維修及保養，前後需有關斷閥及旁路的配置。爲了減少堵塞在祛水器前需有濾網過濾。如果有冷凝水回收系統，祛水器排放管需從冷凝水回收管上部插入，並加裝逆止閥避免回流。

4. 蒸汽祛水器檢測

蒸汽祛水器若經適當選用及配置，可保有較長使用壽命及較不需要例行的維修。但一些無可避免的外在因素影響蒸汽祛水器的正常操作。

- 砂塵：最普遍的失靈情況皆由砂塵引起。砂塵堵塞導致閥門在開啓洩漏位置或阻絕排放的閥門位置。
- 壓力衝擊：導因於蒸汽閥門突然開啓，不當配管或不正確地選用祛水器，往往引發水錘破壞祛水器內部元件。
- 過大祛水器：快速增加閥門開啓及關閉頻率，加速元件耗損減少壽命。

爲維持蒸汽系統操作效率，系統內的祛水器需定期檢測。

有鑑於祛水器在能源節約上小兵立大功的特性，在能源查核時，皆須要求受訪客戶能對每個祛水器製作維修保養清單，並應有所有祛水器清單，詳列位置、尺寸、流量、型式、壓力、應用等，歷史記錄的保持不僅有利於保養計劃，並能確保蒸汽系統的最佳效率。現在市面上有不少電腦化的祛水器檢測軟硬體，可有



效記錄、檢測及追蹤祛水器功能，使其維護在最佳功能確保蒸汽系統最佳效率。

一般常見的檢測方式及設備需求說明如下：

- 目視測試：目視測試需有開放式排放配管或目視鏡，可以目視方式觀察流動變化情形，此方式對間歇性排放較宜。或較低負荷者。較大流量及較多閃沸蒸汽者較不易判別。
- 聲音測試：有超音波洩漏偵測、機械聽診器或最簡單的金屬圓棒附在耳朵上聽。都是利用流動所產生的聲音來判別。較適用低流量及間歇性祛水器，可調節閥門大小控制流量者很難判別，即不適用於製程上的換熱設備。
- 超音波洩漏偵測是較準確的聲音檢測方法；超音波槍或其他聲音量測儀器無法判別受堵塞的祛水器，它會顯示無流量，但實際上可能是非常小的負荷流量或無流量(正常功能)，因此最好搭配溫度檢測。
- 溫度檢測：市面上以紅外線感應槍為主，可明確顯示祛水器上下游溫度，下游溫度應較上游為低(無保溫)，若太小祛水器被選用時，很容易偵測其上游低溫情形。但有洩漏的祛水器無法準確判別，因祛水器背壓較低，相對蒸汽溫度較低之故。
- 導電度檢測：水有導電性，相對蒸汽較無導電性。可利用電阻的量測來判別是否有水的存在。在祛水器上游裝置電阻量測儀器，當蒸汽洩漏或流過時可明顯判別。

以目視及聲音方式檢測，需對不同型態祛水器的排放模式有所認知：

蒸汽祛水器排放模式					
祛水器	無流量	低流量	正常流量	超負荷	失靈動作
浮球恆溫式	無動作	連續	連續	連續	水閥關，氣閥開
倒桶式	滴流	間歇	間歇	連續	開
雙膜片恆溫式	無動作	滴流	間歇	連續	開
圓盤式	無動作	間歇	間歇	連續	開



蒸汽祛水器失靈所造成的蒸汽損失已說明列表如前，由洩漏損失可了解蒸汽祛水器檢測的重要性。

5. 蒸汽祛水器背壓

蒸汽祛水器背壓在整個系統中舉足輕重，如果冷凝水自祛水器直接排放至大氣，其背壓幾乎為零(大氣壓力)，但如果有回收系統或其他用途時即需特別注意；背壓大小會改變祛水器差壓，祛水器內部流孔大小即根據此差壓來設計。由熱負荷可決定蒸汽冷凝水流量，進口蒸汽壓力與背壓需明確訂定給祛水器廠商，根據流量及差壓方能計算所需流孔大小，若只給蒸汽壓力，廠商會誤判背壓是大氣壓力。

到底有何影響呢？因為流孔就像限流孔板一樣有一定的流量範圍，差壓愈大流孔愈小，流量範圍就愈小，若安全倍數又不夠的話，即無法適時將冷凝水排放，會造成祛水器上游設備如熱交換器等氾濫(Flood)，不僅影響熱傳，更甚者造成水鎚破壞設備。

一般冷凝水回收主管收集多個祛水器的冷凝水排放，送至冷凝水回收貯槽或除氧櫃，此末端壓力可說是固定的，如回收槽採開放式則末端壓力即為大氣壓力。每個祛水器熱負荷流量穩定，則每個祛水器的背壓可固定，但各個祛水器因位置距離差異有不同的磨擦損失，會有不同的固定背壓。但實際情況並非如此，因製程熱負荷的變化會改變蒸汽壓力及流量，如此祛水器背壓因流量變化就會跟著改變。更甚者，因為祛水器的失靈，蒸汽洩漏至冷凝水回收管，造成回收管整個系統背壓增加，會影響各祛水器正常操作。

要解決此問題，需有經驗設計人員或工程公司依各祛水器位置配置距離、流量大小及末端壓力作詳細計算，設計適當管徑及配管方式，因冷凝水自祛水器之後的排放管，並非單純的冷凝水，還有閃沸蒸汽及洩漏蒸汽，兩相流的配管設計需有斜度(Slope)，不能有高低起伏的氣封(Air Pocket)及水封(Water Pocket)，以免造成水鎚使系統受損。最重要的是定期檢修祛水器減少洩漏蒸汽發生。

另外，因背壓不當的訂定會導致冷凝水無法順利排放，解決方式一是更換適當祛水器(有正確背壓)；一是利用泵浦泵送。由於蒸汽冷凝水溫度高，飽和蒸汽壓大，不宜用一般電動離心泵浦，最好用冷凝水專用的祛水器泵浦(Trap Pump)，乃是利用祛水器下游裝置收集桶，桶內浮球連桿閥門，浮球至高液位時，閥門開啓引進高壓外氣(蒸汽或空氣)，將收集桶內冷凝水壓出。



6. 閃沸蒸汽(Flash Steam)

閃沸蒸汽有其他多種名稱，如二次蒸汽、再生蒸汽、驟沸蒸汽等；成因是高壓冷凝水因壓降(祛水器差壓)，能量釋放所造成。譬如7K蒸汽將潛能(蒸發熱)釋放後變成冷凝水，其熱焓為171.3 Kcal/Kg，祛水器背壓2K時，冷凝水熱焓為133.4 Kcal/Kg，也就是有37.9 Kcal能量釋放，而2K蒸汽的蒸發熱需517.1 Kcal/Kg，因此即會有7.3%的2K閃沸蒸汽產生。

蒸汽系統為提高熱能使用效率，需作整廠蒸汽及冷凝水的質能平衡。善用閃沸蒸汽不僅減少高壓蒸汽消耗，且能改善熱交換器設計，此部份將詳細說明在後段章節中。

閃沸蒸汽量在冷凝水回收系統中隨背壓降低而增高，若末端收集槽是開放貯槽，其熱焓為99.2 Kcal/Kg，蒸發熱為539.6 Kcal/Kg，因此能量最終釋放72.1 Kcal/Kg，閃沸蒸汽產生量為13.4%。

7. 冷凝水回收貯槽

大多數回收槽都採開放式，最常見的現象即在排氣口有大量閃沸蒸汽排放，冷凝水回收愈多排放就愈大，有些工廠將回收管直接插入槽內底部，雖然可回收部份熱能(因閃沸蒸汽速度較快與槽內冷凝水及補充水接觸時間有限)，但會增加系統末端壓力，需謹慎規劃設計。

冷凝水回收槽需有保溫以減少熱能散失。因為高溫，其輸送或飼水泵浦須考量NPSH，若NPSH不足時，泵浦容易造成空洞(Cavitation)現象，使泵浦震動失衡極易受損；解決方法一是提高水槽位置或槽內水位，一是選用較低NPSH泵浦；其中提高槽內水位方式將減少貯量，提高水槽位置雖佳，但相對管線亦需修改，變動較大，最好在初始規劃設計時即列入考量。

8. 冷凝水處理

主要針對冷凝水受污染程度而言；因系統腐蝕沖蝕所形成固體雜質，需用過濾設備如砂濾床去除，若因製程洩漏則需用活性炭去除微量有機物質，樹脂床可去除無機物質，但若洩漏量太大時，則需送至廢水處理場處理。

活性炭吸附能力隨溫度上升而遞減，樹脂則無法忍受高溫，因此回收的冷凝水需先將熱能回收，使溫度降至50°C以下再進行淨化處理。



在冷凝水回收管線裝置導電度量測儀器，因導電度上升可判別受污染程度，導電度在 $5-10 \mu \text{ s/cm}$ 內時(針對純水而言)，可導入淨化系統，否則需排放至廢水處理場。一般小鍋爐採用軟水者，其導電度可能在 $300-600 \mu \text{ s/cm}$ 之間，因各地水質而有差異。原則上不論鍋爐用何種補充水，其蒸發的蒸汽若無挾帶皆屬純水，掌握水質分析即可掌控冷凝水處理模式。製程洩漏不當處理而進入鍋爐時，最危險狀況就是鍋爐氣爆或爆炸，不可不慎。

9. 冷凝水餘熱回收

鍋爐飼水溫度每提高 6°C ，大約可增加1% 鍋爐效率。冷凝水回收就是回收其餘熱提高系統效率，並回收水資源，節省浪費。

依筆者能源查核經驗，大多數工廠尤其是小鍋爐使用者都是冷凝水回收與補充水共用一貯槽，且有不少閃沸蒸汽從排氣孔逸散流失。冷凝水若有70%回收時(依蒸汽使用量計)，此回收槽溫度即可達 95°C 左右，但有此溫度的廠家比例並不高，顯見有相當比例冷凝水未有效回收，或有太多的閃沸蒸汽流失未妥善利用。

除了製程直接使用注入的蒸汽，無法回收其冷凝水，其餘應盡可能回收，其中最值得一提的是既有回收系統如何有效利用閃沸蒸汽，這可從兩方面著手，若貯槽溫度不高者(即冷凝水回收比例偏低)，可設置板式熱交換器，讓回收冷凝水先預熱補充水再進入貯槽。若溫度已高至 90°C 者，則此法不可行，則需對整廠蒸汽平衡重新檢討謀求改善，或預熱製程部份以增加效益。



十四

冷凝水回收節能



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 kcal/kg，若產生7 kg/cm²G飽和蒸汽熱焓為660.8 kcal/kg 5 T/H蒸汽量所需熱能為

$$Q_s=5000 \text{ kg/H} (660.8-100)=2804000 \text{ kcal/kg}$$

若飼水溫度為30°C，其熱焓為30 kcal/kg，則

$$Q_s=5000 (660.8-30)=3154000 \text{ kcal/H}$$

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

$$\text{熱能需求增加率}=(3154000-2804000)/2804000 \ 100\%=12.5\%$$

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。因此冷凝水回收係節能的不二法門。

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。

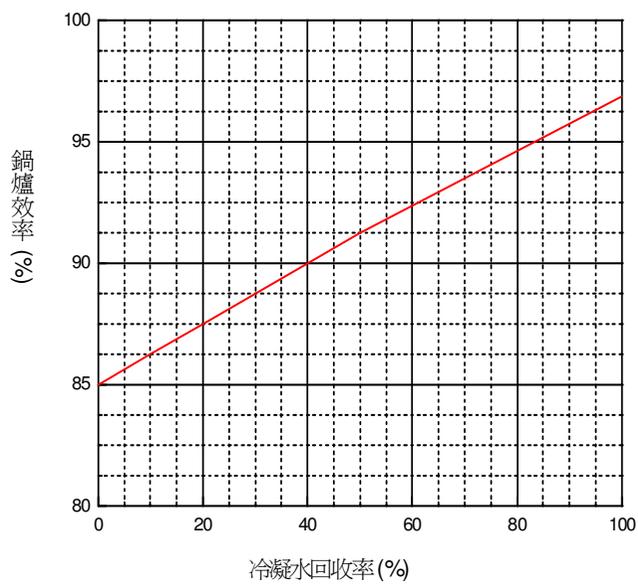


圖5 冷凝水回收率與鍋爐效率的關係



十五

蒸氣冷凝水系統保溫



一般蒸氣管線系統皆有保溫較無庸至疑，往往忽略的是冷凝水回收系統的保溫，整個冷凝水回收系統皆需保溫，方能減少熱能流失。

熱能流失量可以下式估算：

$$Q = 15 \times (T_s - T_a) \times A \text{ kcal/H}$$

T_s ：冷凝水管保溫表面溫度(或無保溫溫度) $^{\circ}\text{C}$

T_a ：大氣溫度 $^{\circ}\text{C}$

A ：冷凝水管外部總表面積(保溫外層) m^2

※例如：3”回收管加1”保溫時，其外徑為5”(0.125m)

$$100\text{m長總表面積 } A = 0.125 \times \pi \times 100 = 39.3 \text{ m}^2$$

保溫外層表面溫度 $T_s = 40^{\circ}\text{C}$

大氣溫度 $T_a = 25^{\circ}\text{C}$

$$\text{則 } Q = 15 \times (40 - 25) \times 39.3 = 8842.5 \text{ Kcal/H}$$

$$\text{若未保溫時， } A = 0.075 \times \pi \times 100 = 23.6 \text{ m}^2$$

$T_s = 110^{\circ}\text{C}$

$$\text{則 } Q = 15 \times (110 - 25) \times 23.6 = 30,090 \text{ Kcal/H}$$

$$\text{未保溫全年熱損失 } (30090 - 8842.5) \times 8000 = 1.7 \times 10^8 \text{ Kcal}$$

$$\text{換算燃油 } 1.7 \times 10^8 \div 9200 = 18.5 \text{ KL}$$

$$\text{燃油費用增加 } 7500 \times 18.5 = 138,750 \text{ 元/年}$$



十六

蒸氣冷凝水系統自我診斷



為保護蒸氣系統及避免潛在問題，操作員及能管員需執行蒸氣系統診斷，如此不僅可評估操作狀態，改善操作效益並提昇生產力。

美國能源部開發一套蒸氣系統自我診斷標竿，提供使用者自行評估及改善其系統而無需借助外力。改善機會含蓋鍋爐效率，蒸氣產生、分配、使用、損失及廢熱和冷凝水回收等方面。

診斷方式包括下列三步驟

1. 蒸氣系統全貌
2. 確定潛力改善機會(項目)
3. 審查維修方式

系統全貌集中在公用蒸氣價格及計算改善效益，第一步提出一系列問題以取得全系統的了解，例如

- 蒸氣產生所需燃料是否可量測及熟知價格
- 單位產品耗用蒸氣是否可量測及訂有標竿
- 重要蒸氣系統操作參數是否可量測

* 蒸氣產生的燃料價格；在多數蒸氣系統中，燃料價格可能占了蒸氣系統操作成本的八成以上。以連續生產10 T/H蒸氣鍋爐為例，其燃油成本550元每噸蒸氣，則全年需耗用4,800萬元直接燃料費用，若每年能透過系統改善，節省10%燃料，則可節約480萬元能源費用。

有兩種方式可計算蒸氣產生的燃料成本，一是計算燃料價格、熱值、蒸氣產生率及鍋爐效率，一是計算燃料飼進率及燃料價格。



- * 單位產品耗用蒸氣量；工業界大多以此作為追蹤的標竿。不同的製程，不同的稼動率，不同的產品規格，甚至不同的季節都會有不同的蒸氣耗用量，了解最佳標竿耗用量作為自我督促改善目標。
- * 蒸氣系統量測；監視一個蒸氣系統及診斷潛在問題，那麼量測一些特定參數就顯得異常重要了。包括鍋爐燃料流量、飼水量、補充水量、化學藥劑量、蒸氣流量、排放量、排氣溫度、氧含量及一氧化碳含量、鍋爐效率、蒸氣品質及冷凝水流量等。非常重要觀念就是沒有量測即無法做好能源有效管理。
- * 確定機會；自我診斷包括一些基本操作審核，往往可提供絕佳改善機會，可概括下列

— 整個蒸氣系統

- 祛水器是否正確選擇，測試及維修。
- 是否審核水處理系統的正确性。
- 蒸氣系統是否有完善保溫。
- 蒸氣洩漏是否迅速確認及修補。
- 是否偵測水鎚並予以消除。

祛水器有三個主要功能：防止蒸氣流失、去除系統中冷凝水及排放不可冷凝氣體。不當的祛水器選擇，測試及維修將導致非常多的系統問題，包括水鎚、效率較差的熱傳，蒸氣洩漏及腐蝕等。

正確選用祛水器及有效維修計劃往往在半年內回收投資。正確的蒸氣系統水處理計劃可減少潛在鍋爐水側結垢問題，可降低排放量因而減少熱量流失；可減少濕蒸氣產生，且大大地降低整個蒸氣系統潛在的腐蝕問題。

多數有效水處理計劃包括機械過濾、除氣及化學處理，不當水處理計劃往往減少設備壽命及停機，這方面的問題最好諮詢水處理化學專家來解決。

管線、閥門、管件及設備的保溫亦伴演重要角色，保溫使得蒸氣能源保留在系統內，可減少系統內溫度的變化，保溫亦可保護人員避免灼傷。

不當管路設計，腐蝕及閥門損害是造成蒸氣洩漏主要原因。在能源費用高漲的今天，任何洩漏皆導致能源成本的增加。



蒸汽系統的水鎚會破壞管路及閥門，甚至導致人員受到傷害。兩種主要水鎚形成原因，一是冷凝水累積在蒸汽分配管路內，未適時排出，被高速蒸汽帶動所產生。一是冷凝水回收管路不當設計，閃沸蒸汽與冷凝水形成柱流(Plug flow)衝擊任何管件所產生。任何水鎚產生皆需儘速查明並予以改善，以減少損失。

— 鍋爐房

- 鍋爐效率是否量測
- 是否按裝熱回收設備，如節煤器，空氣預熱器及排放熱回收，作檢測。
- 鍋爐是否產生高品質蒸汽。

首先造成鍋爐低效率來源應予以確認；鍋爐熱流失主要在排放廢氣，爐水排放及爐體幅射熱損失。影響最大的當屬排放廢氣的損失。

其次鍋爐效率必需量測，排氣溫度、氧含量、一氧化碳含量皆需定期量測。量測及控制過剩含氧量可有效降低燃燒熱源流失。定期記錄尾氣排放溫度亦可顯示其他問題，例如溫度上升可能代表鍋爐內水側或火側結垢情況。

如果鍋爐房同時操作數台鍋爐，應策略操作效率較高鍋爐節省能源消耗。

較高尾氣排放溫度及較大爐水連續排放皆提供按裝熱回收設備機會，可經過經濟效益評估，決定適當熱回收設備。

蒸汽品質係以乾燥度計量的；100%高品質蒸汽即為飽和乾燥蒸汽未挾帶水滴。濕蒸汽往往導致較差的熱傳效果，水鎚、腐蝕及侵蝕問題。

濕蒸汽產生主要因為鍋爐水位控制範圍過大，低液位大量進水產生挾帶；鍋爐降壓操作；超載及不當爐水可溶固體過多；蒸汽品質可由蒸汽卡路里偵測儀量測。

— 蒸汽分配、使用及冷凝水回收

- 是否可用背壓式透平機取代蒸汽減壓閥。
- 是否考慮最終蒸汽使用者的需求。
- 有多少可用冷凝水回收及使用。
- 是否利用高壓冷凝水產生低壓蒸汽使用。



一些較大型煉油、石化及汽電廠皆設有減壓閥以提供較鍋爐出口壓力為低之蒸汽，若能設置背壓透平機可改善其能源使用效率，可經由經濟效益評估來確認。

致於最終蒸汽使用者的需求，因考量產品規格等因素需對蒸汽作相對溫度及壓力控制以確保安全及有效率的操作。不同參數的選擇即考驗蒸汽供給的控制能否滿足其需求。

儘可能回收冷凝水對能源及化學藥劑節約有莫大助益。冷凝水溫度較補充水高，可用較少能源來產生蒸汽，也相對較少化學藥劑的添加。同時亦可減少爐水排放，一舉數得。

— 審核維修方式

有效的系統維修計劃可使操作成本降低並延長使用壽命，維修計劃需含蓋鍋爐、祛水器、水處理、管線、熱交換器、泵浦、馬達、閥門及保溫等，最重要的是予以落實。附件蒸汽系統評量表可供自我評估診斷。





十七

蒸氣冷凝水系統查核重點



蒸氣系統最適化需先作查核，包括整個蒸氣系統作完整分析，並專注在一些能源浪費的地方。經由查核往往可發現省能機會，增加產能，並對環境保護有正面之貢獻。

查核包括蒸氣產生、分配、利用及冷凝水回收。

主要蒸氣浪費需特別注意地方：

- ▶ 鍋爐排氣：廢氣排放係鍋爐效率最重要指標，也是最主要能源流失地方。
- ▶ 燃燒空氣：一般進入爐膛之燃燒空氣屬常溫，需大量能源加熱，最常使用節能方式即利用高溫鍋爐尾氣來預熱燃燒空氣，可顯著提昇鍋爐效率。
- ▶ 燃油／空氣比例：適當油／氣混合方能完全燃燒，若空氣不足，燃燒不完全，不僅排放黑煙污染，造成附近居民環保抗爭，且容易碳化油槍及加熱管影響鍋爐性能。若空氣過剩則形成能源浪費，降低鍋爐效率。經由尾氣含氧量之分析，可適度調整油／氣比。燃油鍋爐其尾氣含量在3%，即過剩空氣15%左右，為標準燃燒控制。
- ▶ 冷凝水回收：冷凝水仍含有大量顯熱，不僅回收可增加系統效率，且減少廢水排放處理費用。
- ▶ 廢熱回收：為增進蒸氣系統效率，儘可能回收廢熱，其中包括尾氣廢熱、冷凝水，及鍋爐水排放。
- ▶ 蒸氣利用：合理有效使用蒸氣，能增進系統效率，例如使用汽機渦輪之低壓蒸氣，需避免由高壓蒸氣減壓，有效利用低壓蒸氣作加熱及熱保溫(TRACING)。勿用過高壓力蒸氣於熱交換器，往往由於不當控制，造成熱交換器性能降低。例如經過控制閥後形成過熱蒸氣，過熱蒸氣之熱傳效果比飽和蒸氣差上10倍。



- 蒸汽管線：不當蒸汽閥門及管線配置，容易造成系統傷害，最常見的水錘即是。一般蒸汽管線應往上拉支管，冷凝水則往下拉支管，並在主管往上爬升位置，配置卻水器，有效的汽液分離方能保護系統。整個系統需作保溫，避免能源流失。
- 蒸汽洩漏：最常見的洩漏，如法蘭、閥門及祛水器，有洩漏需儘早作維修，克漏是不錯的修補方式。
- 祛水器偵洩：動作不當之祛水器需儘早作維修，一般有三種方式偵測、目視、紅外線及超音波。

除了在組織及制度作責任分工外，對於全廠能源消耗設備需作追蹤管理，包括蒸汽祛水器，所有位置及定期保養維修記錄作妥善管理，如此在人員教育訓練及習慣養成均有莫大功效。





1. 蒸汽鍋爐系統查核清單

項 目	範圍及條件	通 則
尾氣溫度 °C	取決於酸露點	每降低20°C 可節約1%燃料
含氧量 %	燃氣 1~2%	每降低3%可節約1%燃料
	燃油 3~4%	
排放量 %	脫礦水 <1%	節省水、能源及化學藥劑
	軟水 <5%	
排放熱回收	顯熱 170~300°C	每1%排放可節約0.2~0.4%能耗
冷凝水回收	儘可能回收	節省水、能源及化學藥劑
飼水溫度 °C	愈高愈好	每提升6°C 可省1%能耗
蒸汽空氣預熱器	取決於酸露點	硫份高時需裝設
節煤器	取決於酸露點	每提升6°C 可省1%能耗
蒸汽品質	乾燥度愈高愈好	每1%乾燥度影響0.2~0.4%效率
燃油預熱溫度	98~105 °C	影響霧化
鍋爐壓力	蒸汽壓 = 設計壓	低壓降低效率
飼水泵浦	流量、揚程及控制	省電
送風機	流量、揚程及控制	省電
抽風機	流量、揚程及控制	省電
霧化空氣	壓力：2K > 燃料	霧化效果
	流量：30% 燃料	
乳化油	水5~10%	2~3% 節能
		30% NO _x 減量
冷凝水儲槽	減少排放損失	省水、熱能及化學藥劑
除氧櫃	位置及溫度	回收排放熱



2. 蒸氣系統自我診斷評量

(1) 介紹

蒸氣系統自我診斷評量

2005/10/2
version: 0

介紹	
使用者	所有對能源管理有興趣者
評量目的	可協助 <ul style="list-style-type: none"> a) 了解改善蒸氣系統機會 b) 確認降低能源費用目標 c) 評估系統操作 d) 與其他業者或標竿比較
評量內容	包含八個工作表 <ul style="list-style-type: none"> 1. 介紹 2. 蒸氣系統基本資料 3. 蒸氣系統全貌 4. 蒸氣系統操作方式 - 全系統 5. 蒸氣系統操作方式 - 鍋爐房 6. 蒸氣系統操作方式 - 分配, 終端使用者, 回收 7. 結果摘要 8. 建議
如何使用	進入各別工作表 建立並保存檔名 回答基本資料工作表內問題 依據工作表內說明自行填入分數 結果摘要工作表可顯示所得分數 建議表目前尚無法連結 最後予以儲存或列印
如何使用結果摘要	審核結果是否有任何地方可立即改進 與同仁分享結果, 透過腦力激盪確立改善專案計劃 比較結果圖謀改進
工研院能資所如何使用您的結果	建立資料庫並張貼網路供會員參考比較 資料庫不會以貴公司名義宣傳絕對保密
如何提供您的結果	可用伊媚兒或傳真至下列地址 詹益亮博士 傳真: 03-5910255 email: 850357@itri.org.tw
謝謝	感謝您的大力支持為國家整體能源共同努力



(2) 蒸氣系統基本資料

蒸氣系統自我診斷評量

2005/10/2

蒸氣系統基本資料

如何做 整理蒸氣系統基本操作資料

為何重要 有助於確定現有蒸氣系統操作條件，從而建立目標及努力方向

回答基本資料問題

a 簡單說明產品類別

Blank box for product category description

若僅消耗蒸氣而無生產請直接跳入問題 "g"

ANSWERS TO BASIC DATA QUESTIONS

b 蒸氣年產量

Blank box for steam annual production (公噸/年)

c 每年系統操作時數

Blank box for annual system operation hours (小時/年)

d 蒸氣生產力(鍋爐設計量)

Blank box for steam production capacity (公噸/小時 或 kW)

e 平均蒸氣生產量

Blank box for average steam production (公噸/小時 或 kW)

f 蒸氣生產燃料來源(以熱值計)

煤	%
No. 6 燃油	%
No. 2 燃油	%
天然氣	%
製程廢熱	%
生質能	%
固體廢棄物	%
其他	%
總和	%

g 是否使用任何熱引擎

背壓式蒸氣透平機(Back pressure steam turbine)

Blank box for back pressure steam turbine quantity and total electricity (kW)

冷凝式蒸氣透平機(Condensing steam turbine)

Blank box for condensing steam turbine quantity and total electricity (kW)

Combustion Gas Turbines Without Heat Recovery Steam Generators (HRSGs)

Blank box for combustion gas turbines without HRSGs total electricity (kW)

Combustion Gas Turbines With HRSGs

Blank box for combustion gas turbines with HRSGs total electricity (kW)

其他(請註明)

Blank box for other turbines total electricity (kW)

h 每年外購蒸氣量

Blank box for annual purchased steam (公噸/年)

i 蒸氣? 水器總數

Blank box for total number of steam traps

j 鍋爐爐水平均排放比例(相較進水量)

Blank box for average emission ratio of boiler water (比)



(3) 蒸氣系統全貌

蒸氣系統自我診斷評量

2005/10/2

蒸氣系統全貌

蒸氣價格

如何做 確定蒸氣生產價格作為評估系統改善基礎

為何重要 蒸氣有價格方能量化投資報酬率

	提示	分數	您的分數
SC1 是否監視產生蒸氣的燃料價格	是	3	
	否	0	
SC2 多久記錄及計算蒸氣生產的燃料價格	每季	3	
	每年	1.5	
	超過一年	0	

單位產品蒸氣耗用量

如何做 確定主要產品蒸氣耗用量，記錄追蹤此基準與其他生產線或競爭者比較，另外可追究此基準隨時間變動的原因。

為何重要 能源成本是生產成本的一部分，由此指標可明確了解改進目標提昇競爭力。

	提示	分數	您的分數
BM1 是否量測單位產品蒸氣耗用量	是	3	
	否	0	
BM2 多久量測及記錄單位產品蒸氣耗用基準	每季	3	
	每年	1.5	
	超過一年	0	

蒸氣系統量測

如何做 確定需要監視的主要蒸氣操作參數並正確量測

為何重要 沒有量測就無從管理，量測系統主要參數可協助監視，診斷潛在問題，確保系統改進目標。

	提示	分數	您的分數
MS1 是否量測並記錄蒸氣系統重要能源參數	蒸氣生產量	2.9	
	燃料流量	1.7	
	飼水流量	1.7	
	補充水流量	1.2	
	爐水排放量	0.5	
	化學添加劑量	0.5	
	全無	0	
MS2 如何量測蒸氣流量 - 挑選其中之一	主要設備	5.8	
	製程單元	2.9	
	區域	1.5	
	工廠	0.5	
	全無	0	



十八

結 論



太多的工廠生產設備並未能發揮其潛能，主因是不當的操作及維護其蒸汽系統。採取有效的能源管理資源及制度，任何工廠皆可從中獲利。透過監測及維護可連續改善蒸汽系統效率，進而提昇可靠生產及降低成本提高競爭力的產品。

以下步驟提供參考盡謀改善。

1. 實施整廠蒸汽系統查核
2. 根據查核報告作適當改善
3. 訂製一套可執行的持續維修計劃

系統效率的長期效益要連續的改善，因此需要正確的操作及維修培養，如此可避免系統惡化導致喪失競爭力。

明確的操作成本及性能要求，表示了解蒸汽系統管理的重要性。另外發掘節能潛力的機會可借分享彼此經驗，當可共創佳績，共同為節能及降低溫室效應盡一份心力。