

冷卻水塔

能源查核及節約能源案例手冊



冷卻水塔業能源查核及節能案例手冊

目 錄

摘要	i
一、前言	1
二、冷卻水塔簡介	1
1.冷卻水塔之種類	1
2.冷卻水塔現況探討分析	3
三、冷卻水塔效率之診斷	4
1.冷卻水塔效率評估指標	4
2.冷卻用水節約技術介紹	6
四、冷卻水塔動力效能評估	12
1.冷卻水塔動力結構剖析	12
2.冷卻水塔節能案例探討	12
五、冷卻水塔節能思考	16
六、空調冷卻塔水系統節能之建議	20
圖目錄	27
柒、參考資料	34
附錄一	35
附錄二	38
附錄三	39

摘 要

冷卻在工業上使用極為頻繁。不管製程或公用設施均少不了冷卻系統。而且，在一般民生方面之大樓及醫院的空調應用上，亦極為廣泛。冷卻水塔為冷卻系統一項不可或缺的單元，其效率之好壞，對於工業之能源使用效率影響頗大。本報告將深入探討冷卻水塔節能之事宜，以作為操作人員提高冷卻水塔能源效能之參考。

Cooling is the most frequently applied process in industries. Most of the in-dustrial processes or utilities can not work without cooling system. The coolingsystem is also used in all the HVAC systems in high-rise buildings or hospitals. Cooling tower is the key component for cooling system. Its operation efficiency has the great impact on the energy utilization efficiency for industrial processes. The energysaving issues for the cooling tower will be deeply discussed in this report. The guidelines and suggestions of this report will be regarded as a refer-ence for plant engineers to improve the cooling tower energy efficiency.



一、前言

冷卻在工業使用極為頻繁，不管製程或相關動力均少不了冷卻之設施，甚至在民生方面之大樓及醫院之相關熱交換、溫度調控之需求上，冷卻水塔為一項不可或缺的常用配備。冷卻水塔之效率也常為我們所疏忽。因此在用水及用電方面，是否有浪費之虞，以下章節中將陸續簡單介紹冷卻水塔在水及動力方面之相關資料，提供操作人員提高冷卻水塔操作效能之參考。

二、冷卻水塔簡介

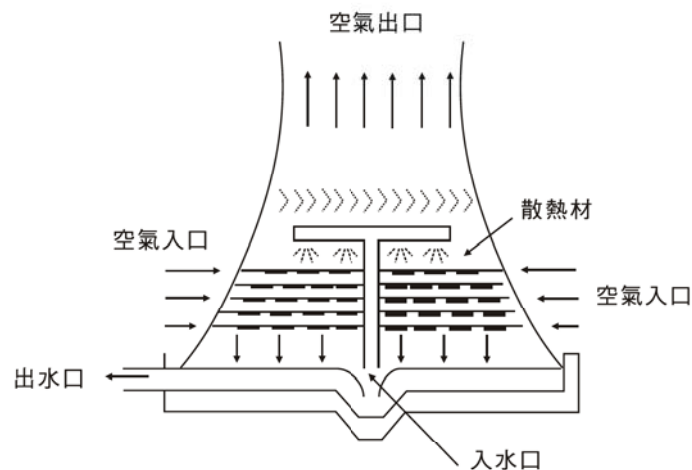
冷卻水塔基本上是透過蒸發部分水量來冷卻水塔中之循環水，再由塔底池流出之冷水，循環到需要冷卻之設備；熱交換產生後，使得設備溫度降低，而冷卻水則溫度升高，而這水溫將回到冷卻水塔中再次被冷卻，這種循環將持續重複。以下將扼要介紹冷卻水塔之種類及目前冷卻水的使用現況。

1. 冷卻水塔之種類

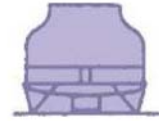
依照通風方式可分為自然通風及機械通風兩種型式。

(1) 自然通風冷卻水塔

主要是靠自然力量，促使空氣移動經過冷卻部分。較常使用有雙曲線通風式冷卻水塔（示意圖如圖一），其係利用內外空氣密度差，促使空氣移動經過水塔，當熱空氣由塔頂排出時，冷空氣則由底部進入塔體；其構造大半為鋼筋混凝土中空外殼。其高度大多超過400英尺，外表形狀如一中空煙囪。一般適用於低濕球溫度和高相對溼度之狀況下運轉，為發電系統上較常採用之冷卻水塔，初期建設成本較高，後續則可節省風扇動力之運轉成本。



圖一、雙曲線通風式冷卻水塔

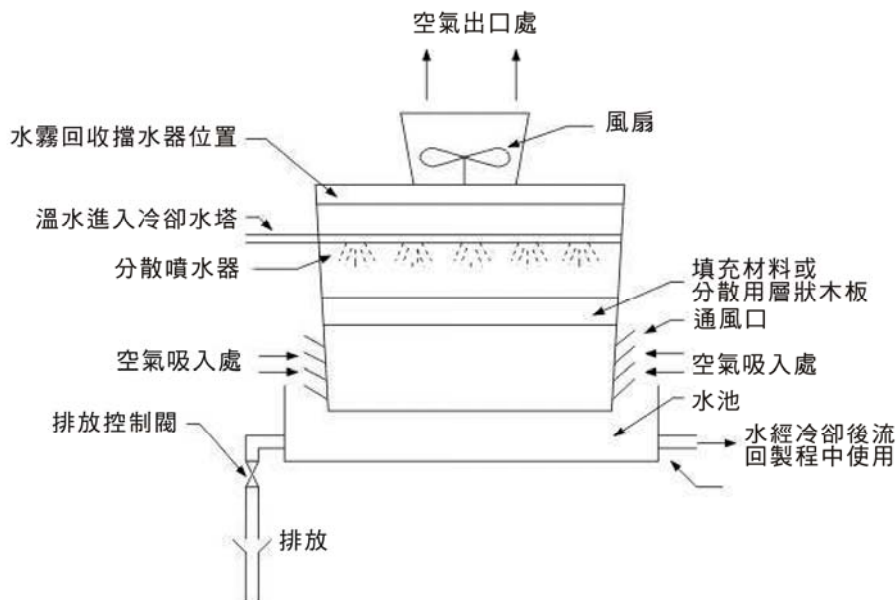


(2) 機械通風冷卻水塔

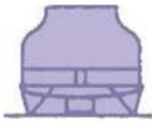
主要靠風扇促使空氣移動於冷卻水塔之散熱材，不受天氣狀況影響(濕球溫度除外)。較快之風速可以獲得較冷之效果，其初期成本要比自然通風式冷卻水塔經濟許多。目前工廠、大樓及醫院則較常使用。一般機械通風冷卻水塔均備有多組風扇，以因應外界濕球溫度變化作彈性調整；風量大小則可藉多段式電動機、無段式變速機、角度可變風扇來控制。在設計上可分為強制通風式 (forced-draft) 及導引通風式 (induced-draft) 兩類。

A.強制通風式冷卻水塔：風扇位於入風口處，運轉時將空氣強制推入，經過散熱材 (fill) 及檔水器 (mist or drift-eliminator) 部分再到達大氣中；由於出風口速度甚慢，導致再循環現象發生，直接影響冷卻效率甚鉅，多則可達20%。

B.導引通風式冷卻水塔：風扇位於冷卻水塔之頂端(出風口處)，空氣被吸進經過散熱材。空氣和水流成反向交會，水流藉著重力自然落下流經散熱材，空氣吸入後垂直向上通過散熱材與水流相會，冷卻後冷水的最低溫度在散熱材底部與最低濕球溫度相接觸，稱為對流式(counter-flow)；空氣與水兩者垂直交錯者，則稱為交流式 (cross-flow) (示意圖如圖二)。在同一面積和馬力下，交流式設計對於空氣阻力較少，通過水塔之風量較對流式大，且較節省風扇電能消耗。



圖二、導引通風式交流型冷卻水塔示意圖



2.冷卻水塔現況探討分析：

冷卻水塔是目前最常使用亦是最經濟之排熱裝置，由於藉水循環之散失蒸發熱達成冷卻之目的，然而冷卻水塔之用水則需要適時補充損失之水量，其損失包括蒸發損失(evaporation)、排放損失(bleed-off)及飛散損失(drift)。

蒸發損失：平均水溫每降低5.6℃，其蒸發率約為冷卻循環水之百分之一。

排放損失：補充水之溶解固體(dissolved solid)將被留在水塔中，經過多次循環，水中之溶解固體濃度相對增加不少，因此在許多水塔中，均透過排放部分循環水來排除這些物質，避免傷害水塔本身，通常排放之動作均靠計時器、導電度排放器或人工手動排放，隨著環保意識之高漲，此一排放水有再處理之必要。

飛散損失：冷卻水塔運轉時，因水滴噴濺或側風吹拂，致使水滴溢出或被風扇吸出塔外所造成之損失。飛散損失隨著不同之冷卻水塔而有不同之量，一般約為冷卻循環水之0.05%-0.2%之間。

綜合上述，一般而言，冷卻水塔之水量散失亦不容忽視，依據經濟部水資源局委託工業技術研究院能源與資源研究所進行台灣地區工廠用水成效抽樣調查資料之各業別水源用途需求結構分析，可發現各業別平均間接冷卻用水佔全部用水量之82.28%(各業別詳如下表一)，其中化學材料、石油及煤製品、非金屬礦物製品及金屬製品業更高達90%以上。由此可知冷卻用水在工業生產方面所佔之比例是極為重要之部分。

表一、各業別水源用途需求結構分析

業別名稱	間接冷卻用水	鍋爐用水	製程用水	生活用水	其他用水
食品業	64.14	6.73	21.73	3.17	4.23
紡織業	23.85	6.7	64.18	4.22	1.05
成衣服飾品業	0	28.26	31.07	39.02	1.64
皮革毛皮製品業	4.86	5.38	66.41	1.89	21.46
木竹製品業	0.55	44.59	20.13	33.73	1.01
紙漿及紙製品業	24.88	7.64	65.7	0.64	1.13
印刷及有關事業	4.53	0	18.78	76.69	0
化學材料業	92.44	1.76	5.51	0.14	0.14
化學製品業	72.24	3.25	18.04	4.32	2.15
石油及煤製品業	97.08	1.56	0.46	0.5	0.40
橡膠製品業	75.93	14.61	1.32	7.22	0.92
塑膠製品業	79.34	3.44	9.51	6.88	0.83
非金屬礦物製品業	94.63	2.19	2.22	0.18	0.78
金屬基本工業	74.39	0.56	24.61	0.02	0.42
金屬製品業	99.44	0.01	0.28	0.22	0.05
機械業	41.96	0	57.47	0.45	0.12
電力及電子機械業	73.68	0.2	14.82	9.40	1.90
運輸工具業	60.85	1.95	16.93	10.77	9.50
精密器械業	0	0	31.09	61.59	7.32
雜項工業	60.1	6.45	17.98	14.82	0.65
平均	82.28	1.47	15.48	0.37	0.40

※資料來源：經濟部水資源局，節約用水措施推動計畫成果報告，八十八年六月。



三、冷卻水塔效率之診斷

冷卻水塔常因疏於留意及維護而減低其冷卻效率，導致無謂的能源損失，因此冷卻水塔主要機件之正常保養與操作是非常重要的。一般常見之問題不外乎是結垢(scaling)、腐蝕(corrosion)、生物積垢(fouling)等問題，推究主要原因也就是冷卻循環水之水質問題。

結垢：由於冷卻循環水之濃縮，造成鹽分濃度(如 Ca^{+2} ， SiO_2 ， HCO_3^- ， SO_4^{2-} 等離子)增加，致使鹽類濃度達到飽和狀態而產生沉積，尤其溫差較大之表面更易造成系統設施表面沉積之現象。

假若結垢情形並未加以控制，將嚴重妨礙系統之循環水流，進而導致能源之浪費。

腐蝕：冷卻水塔之各種設備單元對於腐蝕都是相當敏感，主要由於水中溶氧與 Cl^- ， SO_4^{2-} 和來自空氣中的酸氣、污染物之沉積，造成局部電位差腐蝕管路。同時有因為兩種不同金屬互相接觸，以及高導電度之液體傳導電流，所造成之流電腐蝕情形，此情形將隨著循環水之導電度增加而增加。

生物積垢：由於水中存在有機物質，空氣中細菌混入後，在陽光照射下容易滋生藻類(algae)、黏泥(slime)、菌類(bacteria)及真菌(fungi)，使得水塔產生阻塞(plugging)等問題，若未即時加以處理，將導致水塔壓降及熱傳效率不良等浪費能源現象。同時由於水塔之位置通常位在空曠處或置於大樓樓頂太陽日照充足之處，易造成灰塵和油脂等外來物質進入，增加循環水之濁度，阻塞灑水系統及填充材(fill)之通路，將增加清除之工作頻率。

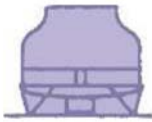
綜合上述之問題，冷卻水塔之操作及保養是一項嚴肅之工作，因為良好之操作與保養制度，不但延長冷卻水塔之使用年限、降低操作維護成本、提高熱交換效率節約能源，甚至減少對環境之污染與病菌之傳播。因此如何在操作上提供操作人員了解冷卻水塔運作現況之評估方式？以下將針對一般常用之評估指標及冷卻水節約技術作一扼要介紹。

1.冷卻水塔效率評估指標

一般來說，冷卻水塔在蒸發損失保持不變之情形下，可思考如何減少系統之排放損失以及在減少排放水前提下之循環水水質穩定性，可用濃縮倍數(Cycles of concentration)及飽和指數(Langelier saturation- index)、穩定指數(Ryznar stability index)來提供現場操作人員操作之參考。

(1)濃縮倍數(C)

濃縮倍數乃是冷卻水總溶解固體物(Total Dissolved Solids)與系統補給水之總溶解固體物之比值，可選擇一代表性離子代替總溶解固體物計算濃縮倍數，如系統無鈣鹽沉澱時可用鈣硬度，若未加氯或含氯藥劑時，可用氯離子為計算基準。其計算公式如下：



濃縮倍數

冷卻水系統之適當濃縮倍數取決於系統設計、水質、操作因素及處理方案。補給水水質對於濃縮倍數之決定有相當影響。

(2)飽和指數(LSI)及穩定指數(RSI)

A.飽和指數(LSI)是藉碳酸鈣平衡原理推算，飽和指數之定義為實測pH與計算之CaCO₃飽和pH(pH_s)的差值。

飽和指數

：特定硬度及鹼度之下，與碳酸鈣維持平衡的pH。(有關之值可簡化以查圖方式查詢如圖三)

：分別是第二解離常數及碳酸鈣解度積。

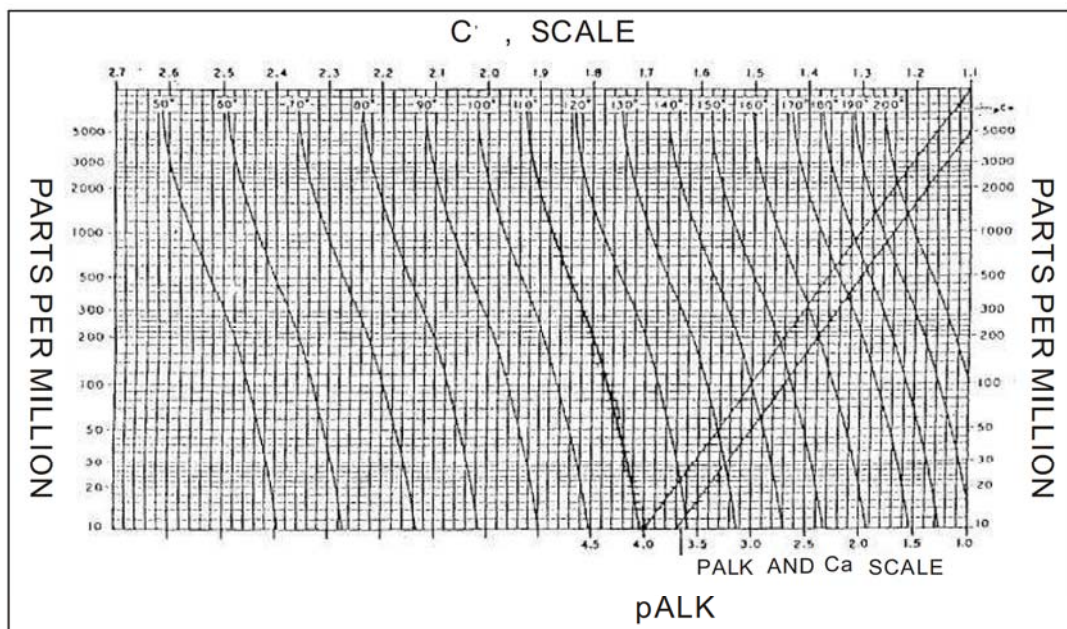
：分別是水中鈣與鹼度濃度對數之負值。

飽和指數顯示碳酸鈣沉積或溶解之傾向，若指數是正值，傾向沉積；若指數為負值，則傾向溶解；若指數為零則於平衡狀態。

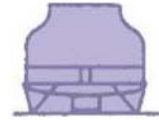
B.穩定指數 (RSI)：由於飽和指數只表示水的沉積傾向，無法定出沉積量之多少。例如相同之飽和指數之兩種水質，其性質未必相同，硬度低者可能腐蝕性甚強，硬度高者可能形成結垢。而Ryznar根據實驗定出穩定指數，以鑑定水之腐蝕性及沉積性之強弱。

穩定指數

當穩定指數低於6.0，結垢傾向增加而腐蝕傾向減少；指數大於7.0則無結垢形成；當指數大於7.5或8.0時腐蝕性增強。



圖三、Langlier飽和指數關係圖



2.冷卻用水節約技術介紹

冷卻水塔於循環過程中，主要產生損失有三種方式，蒸發損失(evaporation)、排放損失(bleed off)以及飛散損失(drift)，而這些損失水量必須立即補充(入)冷卻水塔中，稱之為補充水(make-up water MU)，而補充水之水量即為冷卻水塔主要需求水量，亦即為冷卻水塔考量之節水重點。冷卻水塔之補充水量與排放損失之間的關係，可以濃縮倍數示表示(cycles of Concentration)，在適當提昇冷卻水塔濃縮倍數時，可節省於冷卻水塔，補充水水量。在改善冷卻水塔操作，減低結垢，腐蝕及菌藻污染之問題，不但能增加能源效率，同時，也能減少大量冷卻水塔維修費用及因停工所造成之損失，以下幾種冷卻水塔節約用水技術於以下各節中加以說明：

(1)化學方法：

A.改良式傳統化學加藥處理系統操作(Improved Operation of conventional treatment system)。

B.臭氧氧化法(Ozonation)

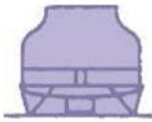
C.傳統加酸處理法(Acid treatment incorporated in conventional treatment)

A.改良式傳統化學加藥處理系統操作

冷卻水塔之操作維護在許多情況下，均依賴原始建造廠商定期維護，而使用者本身對冷卻水塔之控制，大部分僅於加藥及補充水量之控制，但冷卻水塔之補充水及排放水流量計之裝置，對於冷卻水塔監測工作是非常重要的，因為憑藉著流量監測系統，冷卻水塔之操作員才能確認水塔是否在特定極限內運轉。而流量計最好能顯示瞬間流量，或至少能顯示總流量，而且必須定期記錄其流量資料，才能發揮效果。

而傳統化學加藥處理所常見添加之藥劑如下表所示：

問題	添加藥劑
結垢(scale and deposits)	Polyphosphates, phosphonates, phosphate esters, polyacrylates, and sulfonated polystyrenes
腐蝕(corrosion)	Chromates, polyphosphates, zinc, molybdenum, ferrocyanides, and organics
積垢(fouling)	Sidestream filters: antifoulants: natural lignins and tannins, processed lignins and tannins, carboxy methyl cellulose, polyacrylamides and polyacrylates
微生物污泥(microbiological growth)	Oxidizing agents(chlorine, chlorine dioxide, bromine, and iodine) ,quaternary ammonium salts, heavy metals, acrolein, chlorinated phenols, sulfur compounds, and thiocyanates



當冷卻水塔以藥劑控制水質，使其偏於scale site時可降低腐蝕 (corrosion)傾向，若添加避免水垢生成於加熱器表面之藥品，即可控制Langelier指數，使其維持少許正值，並控制Ryznar指數，使其只生成薄層垢膜，以保護管路，減少腐蝕。

而一種改善冷卻水塔操作的方法，乃是改善冷卻水塔排放水的方式，有部份之冷卻水塔是由導電度控制其自動排放裝置，當循環水之導電度到設定之上限值，則冷卻水塔將自動排放直到導電度降到所設定之下限值為止；如此自動排放方式，將使冷卻水塔操作時之變化幅度太大，造成操時之平均導電度遠低於我們所期望的數值；為了改善此一缺點，我們可改採連續自動微量排放，以保持循環水的導電度接近允許之操作上限值，這樣不僅可以節約用水，同時也因為水質穩定，而減少了化學用(藥)品之用量，冷卻水塔操作系統之穩定性也會相對之提高。

B. 臭氧處理法

在天然物質當中，臭氧氧化力強度僅次於氟，是一種非常強的氧化劑，常被用來作自來水殺菌劑，而被應用在冷卻水處理以減少排放損失，已有許多成功的案例。

臭氧處理法防止結垢的原理，主要是將循環水中之礦物離子氧化成氧化物質，以污泥的型式沉澱在水塔底池中或過濾系統中。

臭氧亦可以破壞病毒和細菌之結胞膜，以及殺死循環水中的微生物，臭氧處理法也聲稱能氧化造成腐蝕的離子，達成系統防腐之效果。

臭氧發生之方式如下表所示：

表二、臭氧發生方式之比較：

方式	無聲放電		電氣分解	紫外線
發生器	圓筒型	平板型/陶瓷板	水電解槽	低壓水銀燈
電源	10-20Kv 50Hz~2kHz	3-10Kv 5-15kHz	數V直流	(185nm) 數W~數百W
原理	$O_2 + e(>5Ev) \rightarrow 2O$ $O + O_2 \rightarrow O_3$		$H_2O \rightarrow O_3 + 6H^+ + 6e$	$O_2 + h\gamma \rightarrow 2O$ $O + O_2 \rightarrow O_3$
原料	乾燥空氣	乾燥氧氣	離子交換水	周圍空氣
發生效率	15~20WH/Kg-O ₃	7~8WH/Kg-O ₃	60WH/Kg-O ₃	550WH/Kg-O ₃
濃度	2~3vol%	8~16 vol%	20 vol%	0.5 vol%
發生量	~30Kg/h	~60 Kg/h	0.1~1 Kg/h	數(g/1g/h)
特徵	大量製造 水處理、工業用途		高濃度 臭氧水製造等	小規模室內脫臭等



臭氧入利用規模最大的淨水場。淨水處理應用臭氧起始時為霉等異味物之分解及色度之去除，然後延用到氯劑殺菌時所發生有致癌顧慮之三氯甲烷(THM)分解，後來更在病原微生物的隱孢子蟲(Cryp-tospore)或梨鞭毛蟲(Giardia)對策上用臭氧施以高度處理。

標準的臭氧處理設備包括空氣壓縮機、臭氧製造機、擴散或接觸裝置及控制系統。臭氧是氧的一種化合物，其有效半生期約一個小時，基於上述原因，它必須於現場製造。臭氧的製造，乃將乾冷的空氣或純氧，通過高電壓的電場，使其產生臭氧，此種製法稱為電暈放電法(corona discharge method)。一般而言，臭氧是利用與循環水水路直接串連之接觸器，將臭氧與循環水直接混合，由於臭氧的半生期非常短，因此其在一段時間後便分解成氧分子。當水溫超過32°C時，應用臭氧處理法必須特別小心。

臭氧處理法的缺點，包括臭氧製造機操作之複雜性、設備較昂貴及可能之健康危害。以美國為例，臭氧處理系統之製造商通常以設備及人員租用的方式提供冷卻水處理服務，這樣一來可減少水塔操作維護之負擔，同時，也減少使用者之設備投資。大量的氧是有毒性的，因此工廠人員應儘量避免同度曝露在臭氧之中，以免有害其健康。

C. 加酸處理法

一般加酸常使用之酸洗溶液包含有機酸(sulfamine acid)、鹽酸、二氟化氫銨(ammonium bifluoride)、硫酸氫鈉(sodium bisulfate)、硫酸、磺胺酸(sulfamic acid)、檸檬酸(citric acid)、磷酸及硝酸。

酸洗對於去除硬度及金屬氧化腐蝕產物甚為有效，可溶解碳酸鈣、石膏(gypsum)、磷酸鈣、硫化鐵及金屬氧化物。但對於矽酸鹽、無水硫酸鈣結垢及硫化銅等則效果有限，此類積物最好輪番酸洗及鹼洗並人工清理配合併用。酸洗對於去除懸浮物積、微生物污塞及有機沈積物不太有效。

最常使用的酸洗溶液是10%鹽酸，對於除去硬度結垢及腐蝕產物效果甚佳。酸洗時為防止氫離子對金屬的侵害，必需在酸洗溶液中添加腐蝕抑制劑，此類化合物含氫氧(hydroxyl)、亞石風(sul foxide)、胺(amine)極性基(polar groups)，藉表面電荷吸附在金屬表面，防止陰極表面氫離子還原。常用腐蝕抑制劑有二苯亞石風(dibenzyl sulfoxide)、奈胺(naphthylamines)、硫尿(thiourea)衍生物、十八胺(octadecyla mine)衍生物。

不銹鋼通常用15%磷酸清洗，鈦合金則建議使用5%檸檬酸。若懷疑結垢物質含矽酸鹽時，可在酸溶中添加二氟化氫。

加酸及控制系統故障常是酸污染的主要原因。過多的酸洩入冷卻水中會引起嚴重而迅速的損害。當pH降低至5.5以下，鉻酸鹽皮膜就遭破壞，低於5.0時損壞迅速，在pH4左右開始在有氫釋出，金屬使用加硫酸處理法，有些事情必須要特別小心，譬如，使用自加酸裝置，必須特別預防避免其皮膚和眼睛和硫酸直接接觸。因此，在自動加酸裝置系統安裝之前，所有的操作人員必須經過操作練及一些緊急應訓練。

(2)物理方法：



- A. 旁流過濾法(Sidestream filtration)
- B. 磁化法(Magnets)
 - C. 靜電場產生器(Electrostatic field generators)
 - D. 替代補充水源(Alternative makeup water source)

A. 旁流過濾法

冷卻水塔設計旁流過濾設備，主要是將補充水、回收水或冷卻水塔底部水槽之水池中將水抽出，經過濾後，再將水直接回水塔中，因此，較適用於補充水溫度較高或空氣中之灰塵、油脂污染物較嚴重之地區，亦或是冷卻水塔循環水路較小及較易阻塞的情況。

(A) 旁流過濾器(Sidestream filter)

旁流過濾器通常以循環水量之1~5%設計，內填石英沙或重特殊濾材，用於濾除冷卻水中之懸浮固體，通常流過濾器(Sidestream filter)可濾除60~100%之20 μ m以上固體粒子使用多重特殊濾材則可望濾除5 μ m以上之固體粒子。

(B) 旁流軟化器(Sidestream softener)

旁流軟化器通常以循環水量之0.5~3%設計，一般旁流軟化器係使用石灰軟化法(Lime or Lime-soda Process)引入回流冷卻水，以去除鈣，鎂硬度，鹼度及鐵鋁，錳，矽鹽及部份冷卻水中之懸浮固體，由於回流冷卻水溫度較高，旁流軟化器可歸類為溫石灰軟化法，可以去除冷石灰軟化法無法去除之矽鹽，若冷卻水中之鎂不足量，必要時還要添加氫氧化鎂改善矽鹽之去除。

一般在選購過濾淨化設備時，經常考慮之要素如下(1)能正洗反洗濾材不因懸浮固體、泥漿、細菌及藻類之阻塞而使過濾之網孔愈來愈細，過濾淨化之流愈來愈小(2)選擇合適之過濾材質及孔隙(3)若使用有濾網之過濾設備，應選無拆卸清除濾網，能有效自動濾網，進行連續性的過濾淨化分離作用。

B. 磁化法

以磁場處理代替化學加藥來抑制管路之結垢腐蝕的優點包括維護成本低廉或甚至不用維護，沒有污染水源之困擾，操作容易等等；但亦由於其操作條件不易掌控，原理說明亦各有出入，不易以實驗證實，實驗結果再現性不佳，因此物理處理器到目前為止還是頗受爭議之處理方法。磁場處理法自1958年在文獻即開始有記載，持正面與反面看法各佔一半，測試結果亦好壞參半，其實用性尚待進一步作確認。

過去磁能處理的重點都擺在可使水磁化上面，但實際上使水磁化幾乎是不可能的事。一般而言，純水的磁化率 $<10^{-7}$ ，普通水磁化率亦在 10^{-5} 左右。即使水中含順磁性雜質，如管路腐蝕所產生之 Fe_3O_4 、 Fe_2O_3 造成之影響亦小到可以忽略。

冷卻水塔的磁化處理法乃利用強力永久磁鐵產生之磁場，將循環水中粒子之表面電荷改變，當這些粒與沉積物質接觸時，電荷將傳至沉積物上，改變其沉積



冷卻水塔效率之診斷

態，使其從系統之設備或管線表面剝落，這些剝落的物質則會沉澱於冷卻水塔底池，此種利用磁力之水垢處理器有單極磁場及雙極磁場等產品，可直接外夾於PVC管、鐵管及不銹鋼管等任何材質管路，而不須切管，國內在產業界、醫院、機關、公共工程等單位均有採用實蹟。

磁化方法處理水自1958年起即陸續有文獻提出，雖然已歷經近40年，但是否真能抑制水垢生成，一直是眾說紛紜，沒有定論。持肯定說法主要認為磁能對水可產生三種影響：

- 促進懸浮系中之凝聚作用。
- 生成較大之親水性水垢。
- 形成 Fe_3O_4 。

製造廠商則強調磁化物理處理器主要作用有下列幾點：

- 抑制水垢生成。
- 改變水垢，使水垢易除去。
- 除去現有垢。
- 處理過的水可保持抑制水垢性質數小時。
- 降低水中溶氧，減少腐蝕。
- 管壁形成保護膜，抑制腐蝕。

但需注意磁化處理將原本水塔中被水垢堵住之滲漏處剝除，如此則會導致水塔之滲漏。

C. 靜電場處理法

靜電場處理法可以應用於冷卻水之水處理，其原理與與磁化處理法相同。使用時將靜電場產生器放置在泵送冷卻水之管路上或底池內。本裝置需要自外另加獨立電源供其使用，使用時就好像偵測電極般可直接裝入管路中，或放置於容器內，而此容器可安裝冷卻水塔之底池或儲槽或某一管流中。此裝置週遭通後會產生感應靜電場，水中帶止粒小(Ca^{++} 、 Mg^{++} 等)因為吸收電子被中和。此產品之供應宣稱藉由電子的吸收，可避免粒子間形成共價鍵，進而使得結垢難以形成。另外他們也宣稱在靜電場中，水中的自由氧會形成少量的臭氧，這些微量的臭氧在冷卻系統中可控制細菌的成長。

這些裝置的能效目前仍有很大爭議，所以使用前務必徹底了解其用途。

D. 回收水作為補充水之替代水源

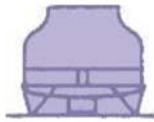
工廠中製程或水處理設備之排放水(其所含之化學藥劑與冷卻水塔中所使用之藥劑是相容的)。可以直接不經處理或經簡易處理，使作冷卻水塔補充水之用。而一般回收於冷卻水補充用水之廢水較常見者有三種：

(A)經過二級處理之廢水

應注意分析其污染物，並依模擬循環冷卻水系統所蒐集之試驗數據修正水處理控制方案，並調整水質控制界限，納入正常運作後，仍應每日追蹤廢水及冷卻水水質，避免異常時失控

(B)鍋爐排放水

鍋爐排放水有時可以回收於冷卻水補充用水，但須注意：



- a. 鍋爐排水所含之分散劑在冷卻水中無效。
- b. 鍋爐排放水所含之分散劑會挾帶出爐內鐵份及其他粒子，在冷卻水中反而會消耗冷卻水中之冷卻水分散劑，造成散劑用量增加。
- c. 鍋爐排水所含之磷酸鹽在冷卻水中之貢獻量要列入考慮。

(C)其他冷卻水塔之排放冷卻水(Cascading cooling water blowdown)

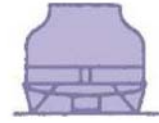
其他冷卻水塔之排放冷卻水回收於冷卻水補充用水(或稱串流式排放)之好處為：節省冷卻水補充用水及水處理藥劑之耗用；但在補充用水之鈣硬度、矽鹽、鐵份、懸浮固體偏高時可能較無效益，其他較不適用串流式排放之系統為：

- 上游冷卻水塔容易挾帶污染物(如漏油、洩酸等)者。
- 上下游冷卻水塔間距離過遠，配管成本過高時者。
- 串流式排之水處理費用高於獨立處理之費用之情況。

以上冷卻水塔各種節水技術及方法其優缺點如下表所述：

表三、冷卻水塔各種節水技術及方法其優缺點

方 式	優 點	缺 點
改良式傳統化學加藥處理系統操作	低先期投資成本低維修保養需求低操作成本	* 濃縮倍數有一定的限度
臭氧氧化法	* 有達到高濃縮倍數之可能 * 不需傳統化學加藥	* 高投資成本 * 系統較複雜，須仰賴設備供應商負責操作維修 * 對健康有危害之可能 * 水溫超過32°C時，效果則非常有限
加酸處理法	* 較高操作濃縮倍數 * 低先期投資成本 * 低操作費用	* 潛在的人員安全危害 * 潛在的系統損壞
旁流過濾法	* 減低污塞之可能性 * 較高的水塔運轉效率 * 減少水塔維修保養	* 略高的先期投資成本 * 溶解固體物質之排除有限 * 額外的抽水電費支出
磁化處理法	* 減少污塞 * 提高濃縮倍數 * 低投資成本 * 減少水塔的維修保養	* 可能無法完全免用化學加藥
靜電產生器	* 減少結垢 * 增加濃度倍數 * 低投資成本 * 減少冷卻水塔的維修保養頻率	* 可能需化學處理配合 * 需要另外提供能量
替代水源補充	* 減少整個設施的取水量	* 可能需要預處理系統 * 可能需要額外預處理費用 * 如果替代水源水質不良，將增加污塞之可能性 * 可能需要額外的能源消耗

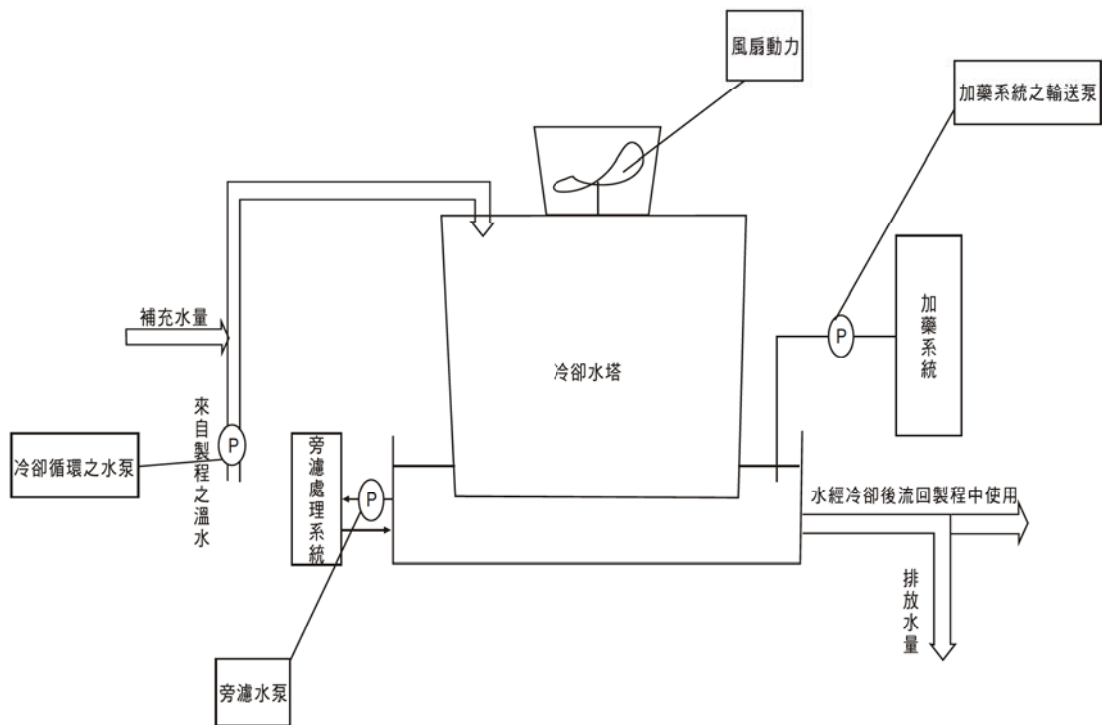


四、冷卻水塔動力效能評估

目前較常使用之冷卻水塔是機械通風冷卻水塔，而其運用之相關動力機具亦也不少，因此電力之消耗亦值得探討。

1.冷卻水塔動力結構剖析

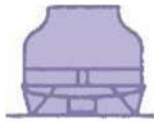
機械通風冷卻水塔其相關之動力機具大致可分為冷卻用之水泵、加藥系統之輸送泵、旁濾設備之水泵及冷卻風扇四大類動力機具（如圖四）。



圖四、冷卻水塔之動力示意圖

2.冷卻水塔節能案例探討

一般而言，冷卻水塔之操控時常為工廠管理一環所忽略，以下是針對一些工廠目前有關冷卻水塔實際之建議改善之案例介紹。



(1) A公司沙鹿廠

● 工廠基本資料

業種別：食品業

工廠取水量：6000-10000m³/day

水源：井水與自來水

冷卻水塔型式：LHC-400，4部

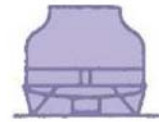
運轉時間：24小時

單一水塔循環水量：1350 m³/hr

冷卻水塔水質管制：出水口溫度控制

● 節能改善方案：

編號	節能項目	工程內容	效益評估
1.	冷卻水塔汰舊換新，使用高效率冷卻水塔	廠內有效率較差之冷卻水塔逐步汰舊換新，改使用新式高效率冷卻水塔，提升冷卻效率，降低冷水溫，減少冷卻水使用量，降低冷卻水輸送動力之電力耗用量，提昇製程中發酵溫控之穩定性。	總計減少冷卻水輸送動力約4320KWH/日。
2.	電動機使用高效率機種	廠內汰舊換新或增購動力設備之電動機，全面使用高效率馬達，其效率損失平均比傳統馬達減少約33%，目前在冷卻水輸送泵浦之使用上已增設三組100Hp之高效率馬達使用，並增設或汰舊換新設備時，全面採購高效率電動機。	
3.	製程用水系統整合改善	原設計各段製程用水系統輸送動力為獨立運轉，實際輸送量均大於製程耗水量，因此，各系統均有多量之冷卻水回流，輸送動力尚有節省空間，因此評估耗水時程曲線，選擇適當之輸送幫浦做為主輸送動力，將各製程段冷卻水管線連結，以單一幫浦供應各段製程用水，減少冷卻水溢流，降低冷卻水輸送之動力耗用。	節省3組輸送幫浦，節省電力費用46萬元/年。



冷卻水塔動力效能評估

(2) B鋼鐵(股)有限公司

● 工廠基本資料

業種別：鋼鐵業

工廠取水量：1400m³/day（自來水）、2000 m³/day（井水）

冷卻水塔型式：逆流式

運轉時間：溫控（34℃）

單一水塔循環水量：7800 m³/hr

冷卻水塔水質管制：pH、導電度、SiO₂、Fe、Zn、鈣硬度、菌落數

● 節能改善方案：

編號	節省項目	工程內容	效益評估
1.	冷卻水塔節能操作	廠內煉一廠冷卻水塔風扇之運轉以溫度控制+水流控制，當SPARY系統到達38℃時啟動Fan。	
2.	控制冷卻水塔導電度及pH值	當煉一廠冷卻水塔出水導電度在3000(s/cm以上時，再啟動補充水馬達，以減少補充水馬達動力消耗，並控制pH在7~9之間。	
3.	控制風扇操作模式	軋鋼一廠冷卻水塔依出水口溫度設定28℃自動控制FAN RUN/STOP。	
4.	控制冷卻水塔導電度及pH	軋鋼一廠冷卻水系統控制出水導電度在2500(s/cm以下，當出水導電度超過此值時再啟動補充水馬達，以減少補充水泵浦之動力消耗，並控制pH在7~8之間。	

**(3) C公司仁德總廠**

● 工廠基本資料

業種別：化材業

工廠取水量：1400m³/day（自來水）、2000 m³/day（井水）

冷卻水塔型式：逆流式

運轉時間：24小時（2年約有21天停機）

單一水塔循環水量：7800 m³/hr

冷卻水塔水質管制：pH、導電度、鈣離子、菌落數

● 節能改善方案：

編號	節能項目	工程內容	效益評估
1	冷卻水塔風扇變頻控制	廠內汽電共生設備主要3座冷卻水塔之風扇均依冷卻水塔出水口溫度33℃設置，3台變頻馬達，控制冷卻水塔之風扇轉速，以減少扇之動力消耗。	

(4) C實業(股)有限公司

● 工廠基本資料

業種別：鋼鐵業

水源：烏山頭水庫工業用水

冷卻水塔型式：LHC-25-1500，2部；LBC-225，4部及LHC-475

運轉時間：24小時

冷卻水塔水質管制：LHC-25-1500（廠商處理）、LBC-225（定期排放）、LHC-475（pH、導電度、鹼度、鈣硬度、SiO₂及磷酸鹽）

● 節能改善方案：

編號	節能項目	工程內容	效益評估
1.	減少冷卻水塔運轉時數	辦公大樓水冷式中央空調系統設分段暫停主機，減少運轉時數，節省電費，計每天暫停主機運轉4次，每次30分鐘	可節省電費：272.72Kw/天
2.	控制冷卻水塔出水口溫度	廠內TCM Mill Motor Cooling Tower 控制冷卻溫度，限制轉時間，減少力耗用。	可節省電量：21120Kw/月



(5) D鋼鐵企業(股)有限公司

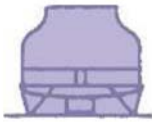
- 工廠基本資料
 - 業種別：鋼鐵業
 - 每日取水量：1400 m³/day
 - 冷卻水塔型式：導引通風橫流式
 - 運轉時間：溫控
 - 冷卻水塔水質管制：pH
- 節能改善方案：

編號	節能項目	工程內容	效益評估
1.	善用外氣溫度及風速調整冷卻水塔操作時間。	當冷卻水塔進水溫度若低於設定溫度時則停止冷卻水塔操作，此法可節省間電力年平均約為50kw×5h/d×200d/y=50000KWH。此外若外氣溫度低於設定溫度及風速高於設定風速時，亦可停止冷卻水塔操作，此法可節省日間電力年平均約為50kw×4h/d×200d/y=40000KWH	節省電量總計： 9000KWH

五、冷卻水塔節能探討

如同上述之相關案例之介紹與節能建議，以下扼要整理提供業界在冷卻水塔之設計操作甚至選用之相關參考：

1.冷卻水塔長期運轉作之後，將會產生水垢、腐蝕、淤泥、菌藻等問題，造成主機耗電增加，運轉電費急劇上升；而水垢造成主機可靠性降低，亦即冷凍能力降低，例如1000RT主機在運轉一年後可能只有700RT的能力，且近年來已發現冷卻水塔已為嗜肺性退伍軍人菌之溫床，水冷式之空調系統，如冷卻水塔久未清洗，嗜肺性退伍軍人菌即由受污染之水體或帶菌而漂浮於空氣中之灰塵，進入冷卻水塔之冷卻水中，因此為確保冷卻水塔之操作壽命，空調系統能有效率節能運轉，除了必須做好定期保養維護清洗之工作外，冷卻水塔應定期檢測水質狀況，並設置水處理系統。



2.一般而言，春夏之季為菌泥滋長速度最快之時期，因此冷卻水塔於此春夏兩季應加強酸洗維護之工作，避免冷卻水塔在春夏兩季因菌泥滋長而運轉能力下降，增加開機台數，增大耗能損失，根據統計運轉能力下降的原因，其中污垢約佔2/3，氣溫及水溫約佔1/3的因素，而水質(補充水)較差的地區，一年須做二次酸洗，污垢則約佔3/4的因素。

3.已知水垢、腐蝕、淤泥及菌藻是造成冷卻水塔運轉效率下降的重要因素，因此針對冷卻水塔水處理系統我們一般希望能達到以下水質要求：

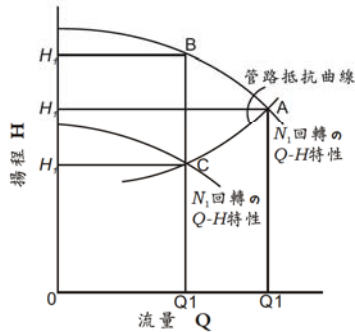
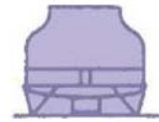
- (1)防垢：符合空調規範(1992年ARI標準550、CNS12812)之主機效率95%以上。
- (2)防蝕：碳鋼腐蝕率 $<2\text{mpy}$ ，銅腐蝕率 $<0.1\text{mpy}$ 。
- (3)懸浮固體物： $<10\text{mg/L}$ 。
- (4)微生物： $<10^4\text{CFU/ml}$ 。

4.日照及風向為冷卻水塔位置選定時重要考慮因素，在日照上日照強度、時間及方向直接影響到冷卻水塔或空調噸數設計結果之高低，因此亦間接影響起初始投資之固定成本及往後運轉耗能之操作成本大小，隨著時代科技進步，目前可應用電腦軟體程式精確計算冷卻水塔每個牆面實際日照強度及時間，而不必全部採用最大日照強度來設計冷卻水塔之噸數；而在風向上，冷卻水塔如果能設置在一空曠、通風順暢、無障礙之場所時，較不會產生通風上問題，但是冷卻水塔如果按裝在牆邊包圍物內或室內，安置時必須考慮到下列因素：

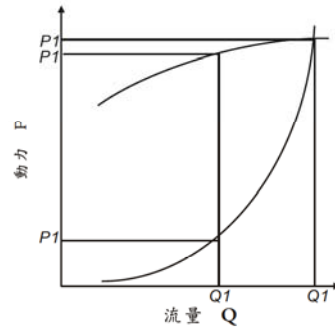
- (1)冷卻水塔之出口空氣不可偏向產生迴流致使空氣再度進入塔內，同一場所裝設多台冷卻水塔時，再循環現象須特別加以考慮。
- (2)冷卻水塔按裝場所，四週須有足夠且無障礙的空間，以確保充分之風量。
- (3)冷卻水塔須適當選擇面對風向之方向。

5.冷卻水塔使用變頻器的好處和使用上之重點：

- (1)泵浦運轉時採用變頻器場合之好處：
如圖五所示：當泵浦控制流量是以閘作控制的場合，這種場合馬達轉速維持一定 N_1 ，流量由 Q_1 降至 Q_2 ；為了關閉閘，可提高水頭至 H_2 之位置。這種情形的所需動力對流量的關係如圖六所示，縱使將流量減少時，動力(功率)卻不會降低。而當使用變頻器將轉速降低為 N_2 時，如圖五所示其水頭會降至 H_3 之位置，而以動力表示如圖六所示，依轉速的3倍而成比例降低，例如當轉速降低60%時，則為 $(0.6)^3=0.216$ 大約能夠節約80%，因此採用變頻器控制轉速，可達到省能之目的。



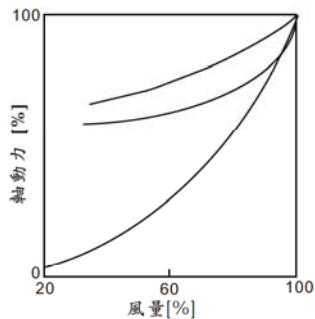
圖五、流量與揚程之關係圖



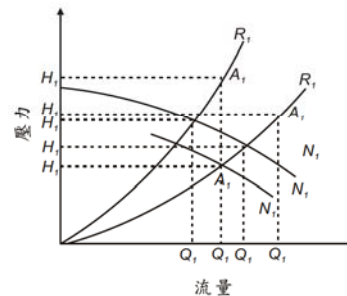
圖六、動力與流量關係圖

(2)使用風扇、鼓風機場合的優點：

風機之控制風量是風扇維持一定轉速，管路阻抗和葉片數的切入角度使得設備變化，作風量調節；在擋板與葉片控制只能改變轉速；達到控制轉速來調節風量。各種控制的風量-軸功特性的方式如圖七所示；圖八表示送風機流量與壓力特性， R_1/R_2 的管路阻抗表示由 $N_1\sim N_3$ 轉速。在轉速 N_1 與管路阻抗 R_2 相交於送風機之 A_2 點，則流量值為 Q_2 ，當管路阻抗與轉速等之增城也能作風量調節。



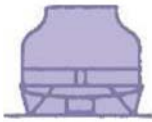
圖七、風量與軸功特性曲線圖



圖八、送風機之壓力與風量特性圖

● 轉速控制：

近來，被廣泛運用的變頻器，具有小型化、高性能，價格便宜的優點；使得控制轉速來調節風量形成為主流，如圖七所示，二個曲線相交於A點；藉以變頻器進行變速，使運轉操作點在B、C處。在圖八所示，使用擋板時，由 R_2 至 R_1 變化形成流量由 Q_2 至 Q_1 而變化，但是所需動力面積由 $0O_2A_2H_2$ 至 $0O_1A_1H_1$ ，變化不大，其次是，管路阻抗 R_2 對轉速由 N_1 至 N_3 作變化；在 Q_1 為相同的流量下，所需之動力面積為 $0Q_1A_5H_5$ 利用擋板控制其面積可節省為 $H_5A_5A_1H_1$ 。



- 檔板控制

由管路阻抗之增減進行風量調節，如圖八所示之特性曲線，在轉速 N_1 時，管路阻抗在 R_2 的話風量遞減至 Q_1 ，可是壓力由 H_2 至 H_1 反而增加，因此軸功不變。

- 葉片控制

可調節空氣流入葉片的角度而改變壓力曲線，能夠有效的調節風量由80~100%範圍；因而降低風量區域的效率。

(3)變頻器使用時之注意事項：

使用變頻器時之注意事項：

使用變頻器之場合，必須注意變頻器效率，起動轉矩振動及噪音和供電電源發生高次諧波等問題。

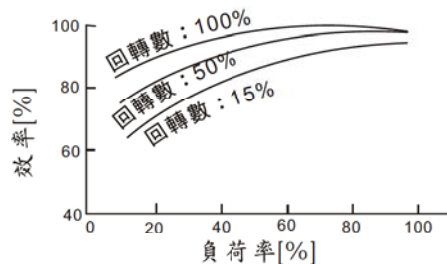
a.高次諧波之對策

變頻器是變換直流至交流之設備，所以在變頻器之前段，一定需要接續整流設備，當商用頻率一但換成直流，用變頻器產生而獲得所需的交流頻率數，總之，整流設備是一種高諧波電流之產生器，會朝電源流出高次諧波電流。

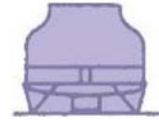
近年來變頻器非常普及，同時因為有這種高次諧波電流易造成供電電壓之歪斜；有很多使用設備會受到高諧波的波及影響因此造成不良的結果；高諧波問題可在交流供電側和直流中間回路裝設適當的阻抗，可降低朝電源的高波電流，另外，還能改善功率因素的功能。

b.變頻器效率

變頻器效率是依負載率之多少而變化如圖九所示，當負載率由80~100%，它的效率大約為90~95%左右，若負載率降低的話，變頻器效率會更降低，所以，變速運轉中經由變頻器控制動機運轉，會隨負載率降低而降低。但是達到所選定之轉速進行長時間運轉之負載場合；應停止變頻器運轉切換作直接運轉的方式大約可節約5~10%損失，這是節能設計的方法之一。變頻器不是為了變速為目的地；而是為了減少電動機起動時之突波電流，僅僅作為起動設備使用，但是如果遇這種情形變化轉速之場合，起動完後，即可直接切換運轉。



圖九、變頻器負載率變化圖



六.空調冷卻塔水系統節能之建議

大部份的空調系統及工業製程都會產生熱，這些熱必須加以去除並使其消散。通常我們都用水作為熱傳的介質，以去除從冷凝器或工業熱交換器所產生之熱量。

從前，可直接從自來水或井水、河水中連續取水，再將水直接經過製程中，把熱傳入水後直接排放，以達冷卻之目的。然而，由於水價昂貴、水源短缺及廢熱對自然生態衝擊等問題，使得這種貫流式(one through)冷卻系統漸漸被淘汰。

氣冷式熱交換器可將熱從水中直接散入空氣中，但這種系統之先期投資高而且耗能大，因此，在外氣乾球溫度 11k 之內，冷卻水溫才算經濟。對於大部份的冷凍系統及工業製程之冷卻水要求而言，這種溫度實屬過高。

冷卻塔能夠解決上述各種問題。因此，常被作為水冷式冷凍系統、空調系統及工業製程之散熱裝置。冷卻塔用水量為貫流式冷卻系統用水量之5%而已，可節省大量水費。少量的熱水排放(Blow down)，對自然生態衝擊極小。在相同之冷卻性能下，冷卻塔的體積較氣冷式系統小很多。

1、冷卻塔設計條件

冷卻塔之散熱能力以下列參數定義：

- (1) 進水及出水之溫度
- (2) 進氣的濕球溫度或排氣之濕球及乾球溫度
- (3) 循環水量

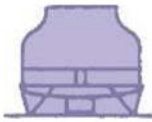
進氣之乾球溫度會影響蒸發型冷卻塔之水蒸發量，也會影響流過冷卻塔的空氣流，以及在乾式操作情形下，直接影響在任何間接接觸之冷卻塔構件上建立其散熱的能力。至於，其他參數之改變所導致冷卻塔性能之變化。

在空調應用上，冷卻塔之散熱能力可用標稱容量(nominal capacity)表示之。標稱容量乃根據每kW之蒸發冷卻有 1.25kw 的散熱量。冷卻塔之標稱冷卻能力被定義為，在 25.6°C 的進氣濕球度下，可將循環水量 54 ml/s 之溫度，從 35°C 降到 29.4°C 。在這些條件下，每kW的蒸發器容量，冷卻塔排出 1.25kw 之熱量。傳統的理論推演乃是根據下面的假設，即在標準的空調條件下，蒸發器每吸取 1kw 的熱量，冷卻塔必須額外地排除 0.25kw 的壓縮機熱量。然而，在特別的應用上，標稱能力的分級方式是不被採用的，而冷卻塔散熱能力通常是以特殊操作溫度條件下之循環水量表示之，其中特殊操作溫度包括冷卻塔之進水溫度、排水溫度及其進氣濕球溫度。

2、冷卻塔的類型

蒸發式冷卻塔有下列兩種基本型式：

- (1) 開放式冷卻塔(Open Cooling Tower)或稱直接接觸式冷卻塔這型水塔直接將循環水直接曝露在冷空氣中，將水中的熱負荷直接傳入空氣中。
- (2) 密閉式冷卻塔(Closed-Circuit Cooling Tower)或稱為間接接觸式冷卻塔



這型水塔將熱負荷的液體與空氣間接接觸。

開放式冷卻塔直接將循環水噴灑在空氣中，不須經由任何的熱傳介質。水與空氣接觸面積之大小，取決於噴灑效果之好壞，至於它們之接觸時間則與水分佈系統之高程及壓力有關。為了增加水與空氣的接觸面積及接觸時間，一般在水分佈系統的底部加裝熱傳介質或填充材料。兩種填充材料分別為檔板型(Splash Type)及膠片型(Film Type)。檔板型填充材料增加接觸面積及時間的方法，乃是以強制的方式將循環水流經一排排階梯式的擋板。膠片式填充材料則以同樣方式將水流經PVC彎曲小管線群，以達到上述之目的。

以上兩種填充材料均適用於逆向流式(counter flow)及直交流式(cross flow)冷卻塔。就空調及冷凍常見的各種熱性能標準來看，通常是具有膠片式填充材料的冷卻塔比較密實(Compact)。但是，具有擋板式填充材料的冷卻塔，對於初期的空氣和水分較不敏感，而且它與具有較大管徑膠片填充材料之冷卻塔一樣，較適用於易受水垢、污泥或生物菌藻等物質阻塞的空調系統應用中。

密閉式冷卻塔包含兩種分開的液體迴路：(1)外部迴路：在此迴路中，水以層降的方式流經螺旋管束表面，並且曝露於空氣之中；(2)內部迴路：在此迴路中，在螺旋管束中循環的液體將被冷卻。系統操作時，熱量將從內部迴路之管束壁傳到外部迴路，然後再以熱傳及質傳的方式傳到空氣中。密閉式冷卻塔之內部迴路不會跟外在開放空間之空氣接觸。因此，適用於非水液體的冷卻及對空氣中污染物較敏感之冷卻應用。

另一種密閉式冷卻塔，其主要是增設冷卻塔填充材，以增加螺旋管束的熱交換能力。冷空氣從塔頂流經螺旋管束表面，並與水塔內之循環水流平行，溫熱空氣再水平地流入風扇的送氣通風室，再抽送到塔外。經過上面程序冷卻之循環水，會流經冷卻塔填充材表面，在此處將有第二股冷空氣流加以冷卻。

3、冷卻塔之選用準則

選用冷卻塔時，必須考慮下列幾項因素，如：散熱率、經濟性、系統所需維修服務之多寡、外在環境條件以及景觀要求。以上各因素有些互相之間有其關聯性，但它們仍需要加以分別探討。

由於有各式各樣的冷卻塔能符合散熱率的要求，因此冷卻塔最終的選擇常需取決於下列因子：塔長、塔寬、塔高、空氣流量、風扇及水泵之耗能率、建造材料及水塔補充水水質和取水之難易度。唯有經過審慎的經濟評估後，才能作成最適化之選擇。

一般乃根據下列因子來比較冷卻塔之初設成本：

- 水塔底池之格床的占地面積大小
- 水泵及主要輸送設備之數量
- 水泵與風扇馬達之電器接線工作
- 電器之控制系統與開關設備
- 水塔之進水與出水管路系統(某些設計較其他設計需要更多的進水及出水接管工作，因此，管路系統成本較高)
- 冷卻塔製造商如果沒有提供底池、排水坑濾網、溢流管路以及補充水管路之情況下，會增加之初設成本。



空調冷卻塔水系統節能之建議

- 冷卻塔製造商如果沒有提供開關和控制閥之情況下，會增加之初設成本作為進出水塔之走道及梯子
- 消防之灑水系統

其他費用包括：

- 每年在正常之運轉情形下，系統之用電成本
- 用水費及污水排放費用
- 設備之預期使用壽命
- 系統維護及設備維修費
- 初設成本之資金及利息攤提

除了成本因素之外，選擇冷卻塔尚需考慮下列因子：(1)安全之特色及法規(2)符合建築法(3)水塔結構之設計及堅固性(4)水塔在使用壽命內腐蝕結垢對構件材質劣化之影響(5)備用配件是否充足(6)製造商之經驗及可靠度(7)在不同的熱負荷及季節性變化下，基於經濟的考量，系統操作之彈性。此外，設備之振動，噪音、吸音能力及建築設計之相容性等因素也非常重要。

4、冷卻水系統節能之建議

根據經濟部能源委員會民國86年9月之技術報導，台灣地區夏季空調用電量高達35%，以一個1000 RT的冰水空調主機而言，在沒有結垢的情形下，通常每冷凍噸的耗電功率為0.65 KW/RT。然而由於結垢的緣故，熱交換器之傳熱效果大受影響，每冷凍噸的耗電功率增加為0.9到1.0 KW/RT。因此，耗能增加了46%以上。

然而空調主機一般都是在部分負載下運轉，空調工程師不會查覺到這麼大的差異，加上實際的大型空調主機自動控制系統的運作非常敏銳，能夠迅速反應於負載中。在實務上，空調工程師會先設定蒸發溫度，並由主機的自動控制系統來維持該溫度。因此，一旦結垢產生，就會自動經由主機自動控制系統之運作，以負載增加的形式反映出來。這部分增加的負載，如果不是以主機效率測定的方式，則無法得知主機效率降低的實際結果。

5、空調冷卻水系統結垢控制(Scaling Control)

水垢是由水中溶解的無機物質之沉澱作用所形成。常見的水垢有：

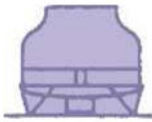
- 碳酸鈣(Calcium Carbonate)
- 磷酸鈣(Calcium Phosphate)
- 鎂鹽(Magnesium Salts)
- 二氧化矽(Silica)

是否結水垢，主要取決於下列幾種因素：

- 循環水溫度
- 循環水的鹼度或pH值
- 循環水中形成水垢物質的濃度

其他溶解性物質的影響，不論此物質會形成水垢否。

結垢的傾向，將隨著上面各因子的改變而改變，例如：碳酸鈣在水中的溶解度，會隨著水溫升高而減少，因此，在溫度高的情形下，較容易生成碳酸鈣水垢。pH或鹼度的增加，會減少碳酸鈣在水中的溶解度，造成碳酸鈣結垢。二氧化



矽(Silica)在低鹼度的水中溶解度亦較低，因此，Silica結垢傾向也較高。易結垢物質在水中之濃度超過其飽和度(Saturation Point)，則也較容易導致結垢。水中溶解物質濃度愈高，則易結垢物質的結垢傾向亦愈大。我們可以Langelier飽和指數和Ryznar穩定指數來預測碳酸鈣的結垢傾向。這兩種指數乃是計算pH值，水溫、鹼度、鈣硬度、水中總溶解固體等濃度，來判定碳酸鈣在水中溶解傾向。

空調系統控制結垢的方法有下列幾種：

- 1.以控制循環水濃縮倍數(Cycles of Concentration)或系統補充水(Makeup water)預處理的方式，來限制結垢物質在循環水中的濃度。濃縮倍數為補充水量與排放量加飛散水量(Drift)總和之比值。我們也可以用循環水中氯離子濃度與補充水中氯離子濃度之比值，求得濃縮倍數。一般濃縮倍數5為較經濟之操作條件。
- 2.以改變空調系統機械設備的方式，降低結垢的機率。譬如，增加水流速度及熱交換器的表面積等。
- 3.以加酸的方式增加結垢物質，如碳酸鈣等，在循環水中之溶解度。
- 4.以添加化學結垢抑制劑的方式，防止結垢之生成。結垢抑制劑之反應機制有三種：(1)藉改變顆粒間吸引力，以控制顆粒凝集及沉積(2)對設備表面作特殊處理，改變顆粒與表面間的吸引力(3)控制顆粒之沉積及結晶成長速度。表6.1為常用之空調系統尚垢抑制劑及其處理效能。

表四、常用之空調系統結垢抑制劑及其處理效能

抑制劑	建議劑量(ppm)		
	I	II	III
多磷酸鹽	7.5	0.3	2(90%)
AMP	1.5	0.25	1(90%)
HEDP	30(20%)	0.25	1(90%)
磷酸脂	1.6	0.7(90%)	3(50%)
聚丙烯酸脂(分子量小於1000)	2.8	1.5	3(50%)

註：AMP：Aminomethylenephosphoate

HEDP：Hydroxyethylidene-1,1 diphosphonate

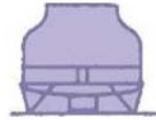
I：硫酸鈣, 6800 ppm, 24小時, 150 °F

II：碳酸鈣, 100 ppm, pH 10, 24小時, 150 °F

III：亞鐵離子, 2 ppm, pH 6, 18小時, 77 °F

6、其他非化學方式抑制結垢法

電磁結垢處理設備是一種物理處理法，是以改變水中離子表面電性，使其產生相互排斥的方式來防止結垢。然而，由於此種表面電性之改變屬於短暫性的，因此，這種設備必須以特別的安裝位置，使得結垢沉積在遠離熱交換器且溫度較低的區域，如：冷卻水塔底池，這種沉積物結構鬆軟，黏附性低，很容易清除。



電磁處理設備之功能，會受到下面幾種因素的影響(1)鈣離子與二氧化矽(Silica)之比值低(2)循環水中之鐵份過高(3)設備安裝位置靠近高磁力場區域。美國聯邦政府能源部的報告中強調，使用電磁處理設備以解決空調系統結垢問題，其成功與否取決用設備商之經驗。

7、空調冷卻系統水管之節能相關規定

根據經濟部能源委員會委託工研院能資所之研究，獲得下面結果：

7.1水管之佈置實務與節能

A.選擇適宜之水管管徑

- 1)管徑過小——雖初設費較低，但水流速快，管壁摩擦損失大，水泵揚程增加，導致水泵運轉電費增加。
- 2)管徑過大——雖初設費較高，但水流速慢，管壁摩擦損失小，水泵揚程減小，導致水泵運轉電費降低。

B.減少水管之摩擦損失，降低水泵揚程以節能，其主要方法：

- 1)選擇管壁較光滑之水管材料。
- 2)水管長度盡量減少。

C.配合空調水量與水管揚程應慎選泵浦馬力數，其馬力數過大則耗能，過小則造成空調水量或水泵揚程不足。有關水泵馬力數之計算公式，如下：

$$\text{BHP} = \frac{\text{水量(GPM)} \times \text{總揚程(呎)} \times \text{比重}}{3960 \times \text{效率}} \quad \text{BHP} = \frac{\text{水量(LPM)} \times \text{總揚程(M)} \times \text{比重}}{4560 \text{ (KG-M/M)} \times \text{效率}}$$

D.冰水定水量 (CWV) 系統之省能佈置方式

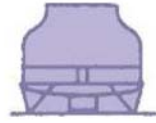
- 1)依建築物之用途與使用時間區分數個空間區域，由區域泵浦分區供應冰水（如圖十所示）。
- 2)空氣側設備（如空調箱、預冷空調箱與冷風機）之冰水管路宜採用「逆回水」方式（如圖十一所示），其空氣側設備冰水供應平均，達到省能效果。
- 3)空氣側設備採用三通控制閥配合室內感溫器，控制冰水管進入冷卻盤管以節省能源（如圖十二及圖十三所示）。

E.冰水變水量 (VWV) 系統之佈置方式

- 1)應用多台二次冰水泵浦之變水量方式（如圖十四所示）。
按空調空間冷氣負載需要調節空調箱或冷風機的冰水量，藉冰水送水管之壓力來控制二次泵浦之運轉台數，當空調空間冷氣負載減少時，冰水需要量也減少，則二次泵浦運轉台數可減少以節省電費。
- 2)應用冰水區域泵浦之變水量方式（如圖十五所示）。
按空調空間冷氣負載的需要調節空調箱或冷風機的冰水量，藉冰水管之壓力由變頻方式控制冰水區域泵浦之冰水量以節約能源。



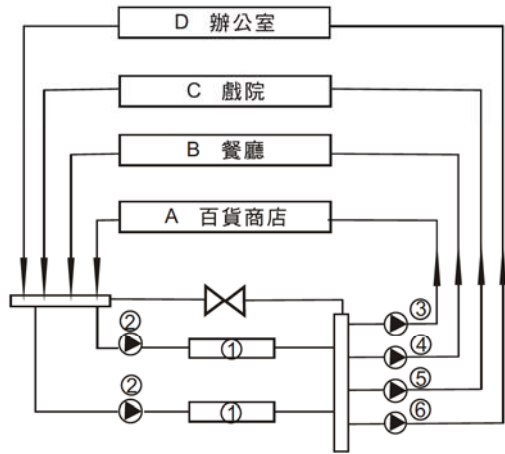
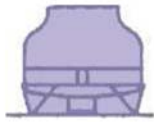
- 3)應用冰水變水量系統時，其冰水宜採用「直接回水」方式（如圖十六所示），並且各台空氣側之空調箱、預冷空調箱與冷風機需配合採用二通自動控制閥（如圖十七及圖十八所示）以節約能源。
- F.應將冰水管路中積存之空氣予以排放，可避免氣堵而維持冷卻盤管之熱交換以節省能源，其空氣排放方式如下：
- 1)在平面冰水管之最高處設置放氣閥予以排氣。
 - 2)在冰水管適當位置佈置排氣裝置(如微氣泡捕捉器或氣泡排放閥)將冰水管內之空氣予以排除。
- G.佈置下列水管裝置以利節能
- 1)在水管適當位置佈置水雜質分離器，將水中雜質去除，避免雜質堵在過濾器內，否則將會減少泵浦水量及增加泵浦揚程。
 - 2)設置水質處理設施，避免水質產生「結垢及沉澱」、「腐蝕」或「有機物生長」，以利節約能源。
- H.空調設備之水管應正確連接以利節能，空調主要設備之水管連接方式如下：
- 1)空調主機（如圖十九）
 - 2)冷卻水塔（如圖二十）
 - 3)水泵浦（如圖二十一）
 - 4)空調箱（如圖二十二與圖二十三）
 - 5)冷風機（如圖十四與圖十九）
- ### 7.2水管保溫與節能
- A.冰水管需保溫之原因
- 1)節約能源——因冰水管常在溫度7°C至12°C間，若冰水管未保溫，由於管外之熱侵入，將提升管內冰水溫度，增長主機運轉時間，造成耗能。
 - 2)避免冰水管外產生結露——由於冰水溫度低於室內空氣之霧點溫度，若冰水管未保溫，則室內空氣將冷凝附著於冰水管外形成結露，故冰水管需要保溫。
- B.冰水管未保溫或保溫不良造成的其他缺點：
- 1)因結露滴水造成建築天花板污損。
 - 2)冰水管外表因結露與空氣灰塵接觸而受污染。
 - 3)若室內冰水管結露將影響空調空間的溫濕度準確性。
- C.應慎選保溫材料，水管保溫材料需具備下列特性：
- 1)具隔熱性。
 - 2)具隔濕性。
- ### 7.3水管施工注意事項
- 水管施工時，應注意下列事項，以利節約能源：



- A.水管宜平整施工盡量避免按裝不必要之彎頭(如圖二十三)，也要留意三通流向其裝置是否恰當（如圖二十四），否則將增加泵浦揚程，導致耗能。
- B.水管施工應盡量避免高低起伏，若有高低起伏之需要時，在其最高位置設置放氣閘，以利排氣並減少耗能。
- C.水管施工時其水管路徑應盡量減短，可減少管路摩損而節能。
- D.開放式膨脹水箱與冰水回水管應正確按裝（如圖二十五），可將冰水管內累積之空氣容易排除，而增加冰水在熱交換器之熱交換效果獲得節能。
- E.水管施工應保留水管與空調設備之保養維護空間，可容易保養維護水管設施獲得節能。
- F.水管保溫按裝正確可以節能，一般水管保溫施工注意事項如下：
 - 1)保溫材料之接縫處保溫施工應注意氣密（如圖二十六）。
 - 2)水管在吊支架（如圖二十七）及閥表保溫施工應注意氣密性。

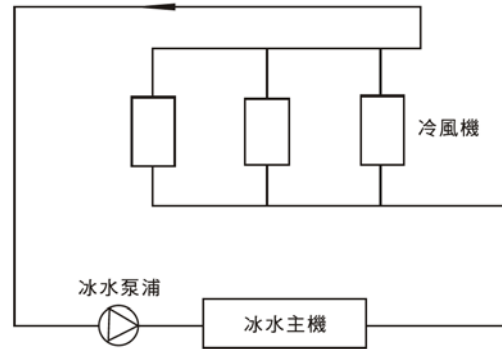
7.4、維護保養與節能

- A.定期清洗或檢視過濾器——若雜物堵住過濾器將造成水泵浦揚程增加，因而耗能，電量相對增加。
- B.定期檢驗水質及保養水質處理設施——水質的好壞直接影響空調熱交換效果，與節約能源關係甚大。
- C.定期檢視冰水管之保溫有無破損；如有損傷則容易發生冷凝現象與保冷失敗，增加主機運轉時間，故有破損時應立刻予以修補。
- D.水管與水管配件如有腐蝕、銹蝕，甚至發生漏水時，應予檢修或汰舊換新，可減少耗能。
- E.溫度計與壓力錶計之數據極易判斷空調效果，故應經常檢視是否動作正常，若動作不正常應予檢修或更換。

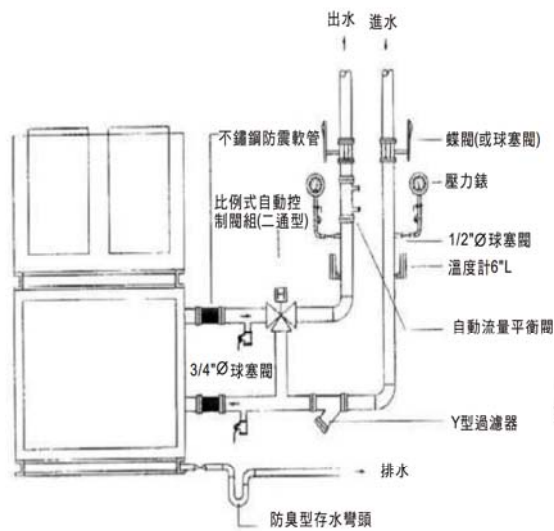


- ①冰水器
- ②冰水泵浦
- ③冰水區域泵浦(A)
- ④冰水區域泵浦(B)
- ⑤冰水區域泵浦(C)
- ⑥冰水區域泵浦(D)

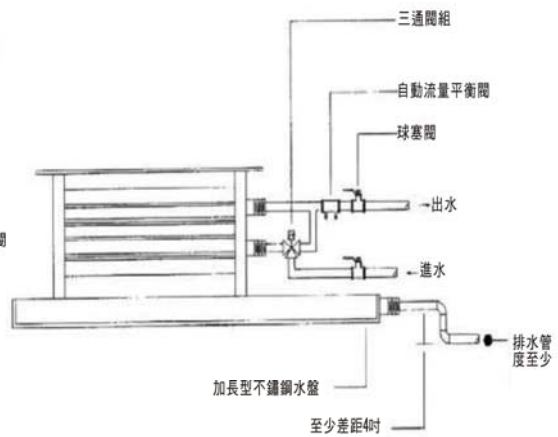
圖十、空調冰水分區供應水管系統圖



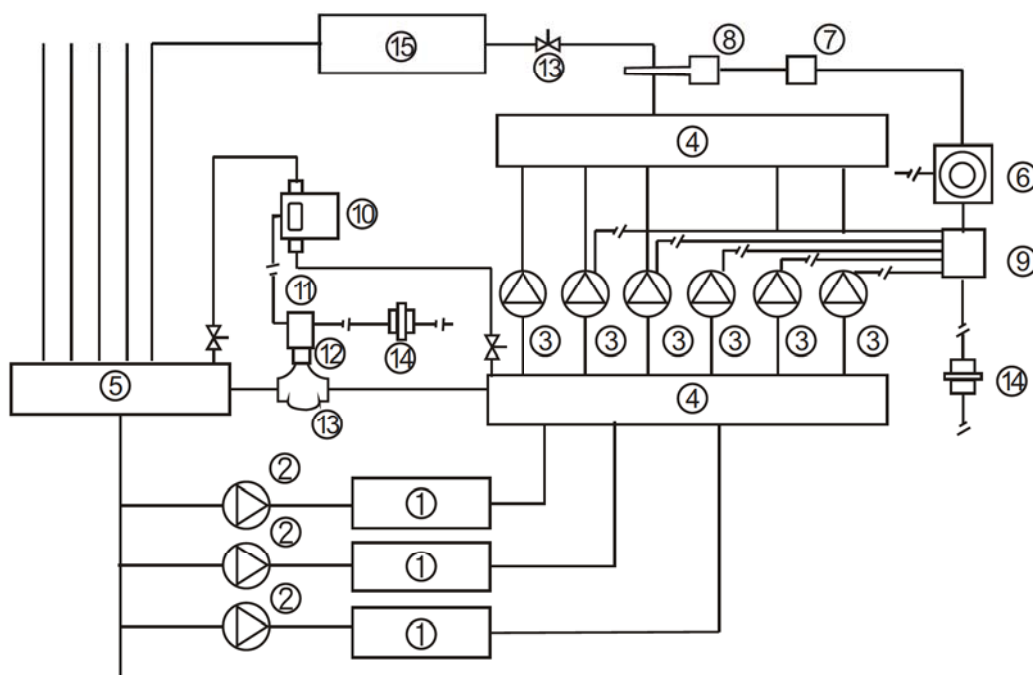
圖十一、逆回水方式佈置圖



圖十二、空調箱三通自動控制閥
節能佈置圖

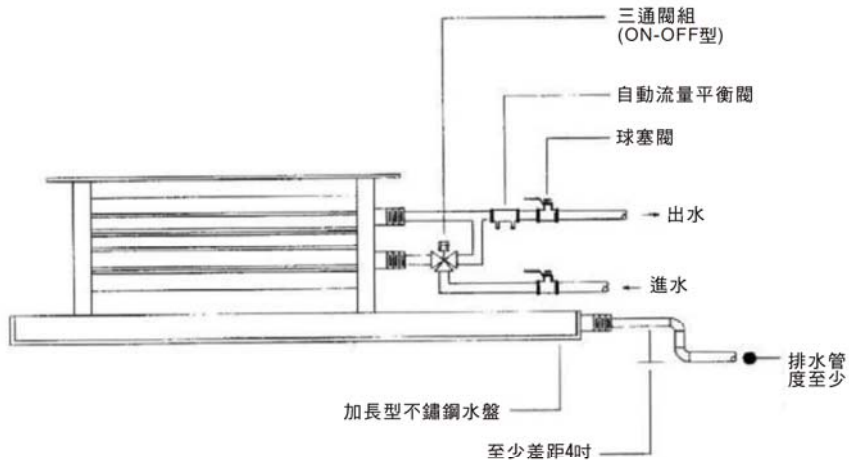
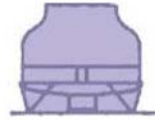


圖十三、冷風機三通自動控制閥
節能佈置圖

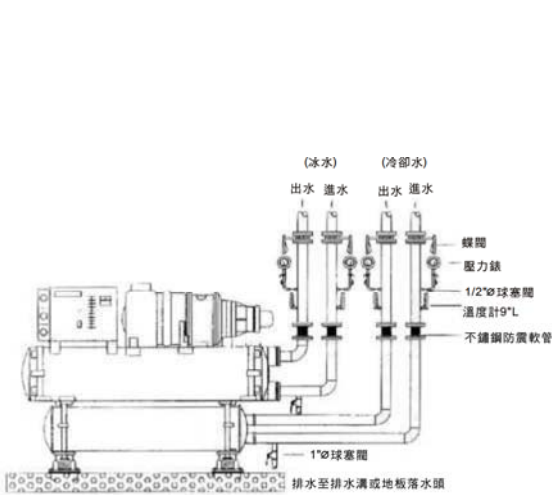


①冰水器	⑨分段延遲控制器
②冰水泵浦	⑩水差壓傳信器
③冰水二次泵浦(分段起動)	⑪控制馬達
④冰水送水集水頭	⑫連桿組
⑤冰水回水集水頭	⑬二通自動控制凡而
⑥水流量比例控制器	⑭變壓器
⑦流量傳信器	⑮熱交換器(A H或B C)
⑧流量感側器	

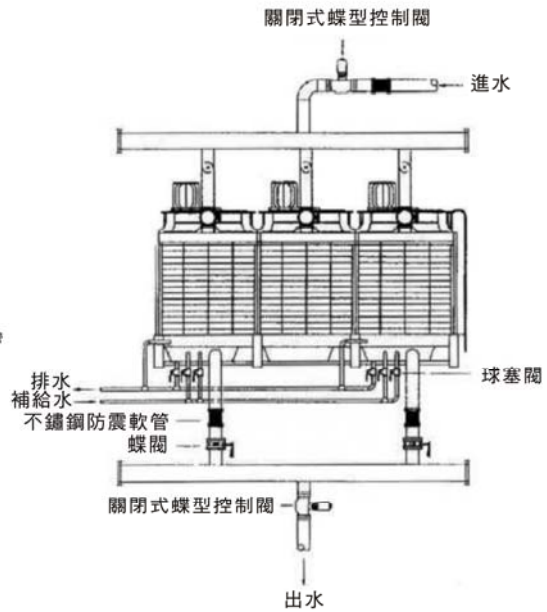
圖十四、應用多台二次冰水泵浦變水量節能佈置圖



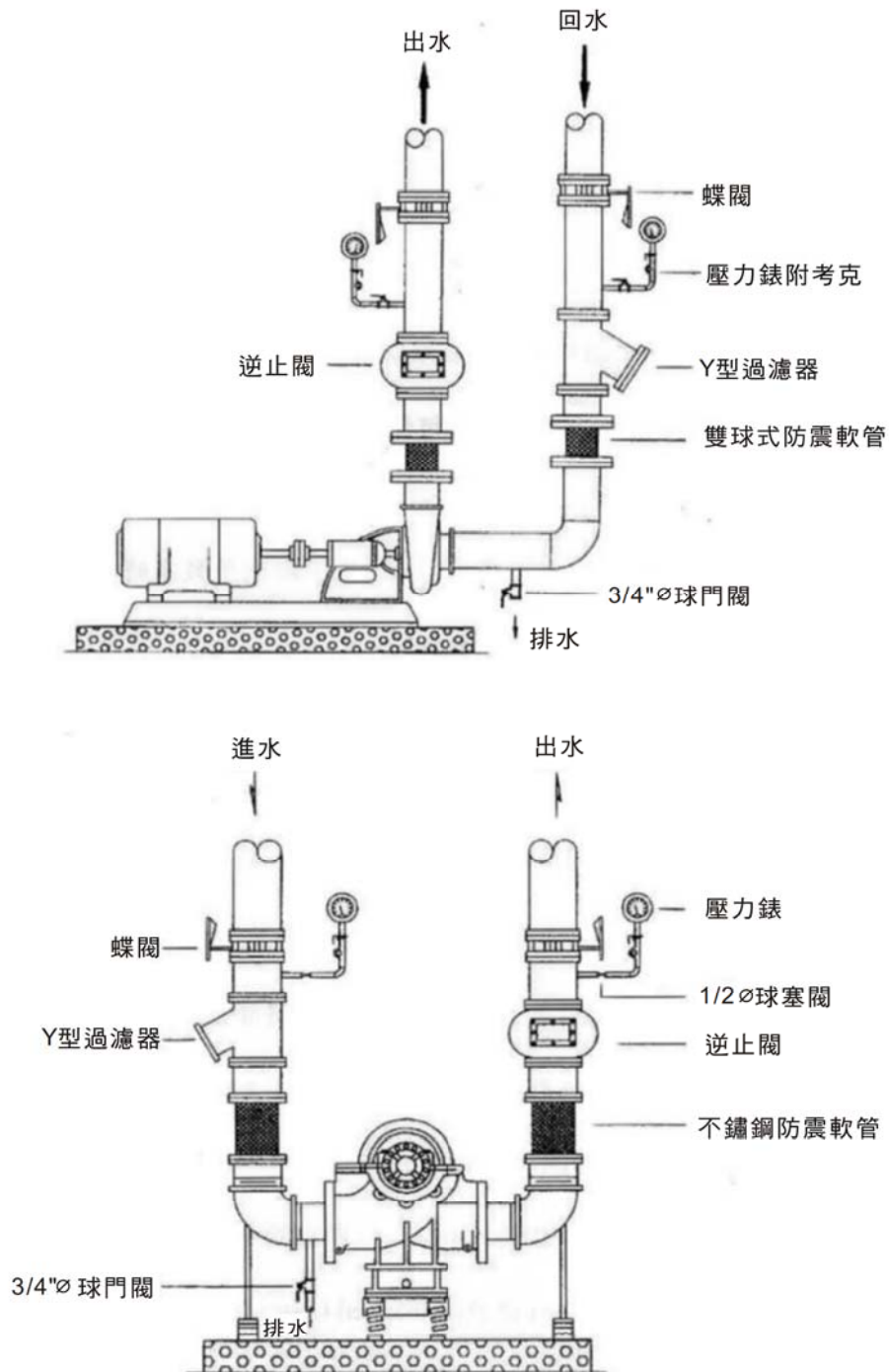
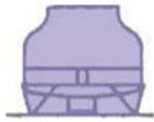
圖十八、冷風機二通自動控制閥節能佈置圖



圖十九、空調主機連接水管配置圖

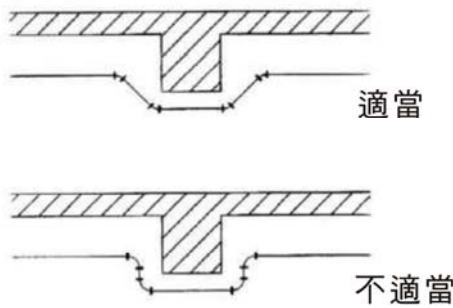


圖二十、冷卻水塔連接水配置圖

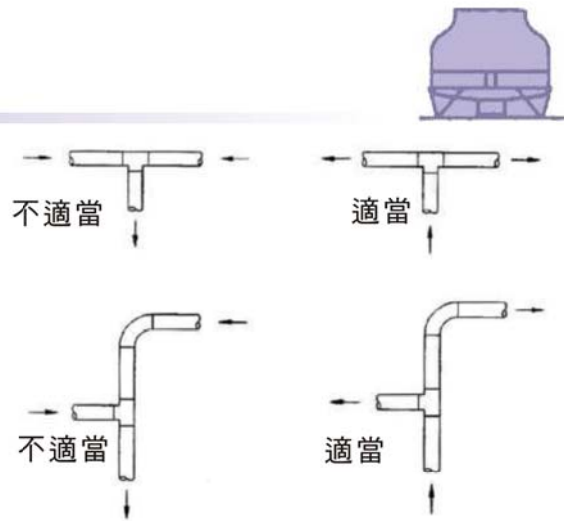


圖二十一、水泵浦連接水管配置圖

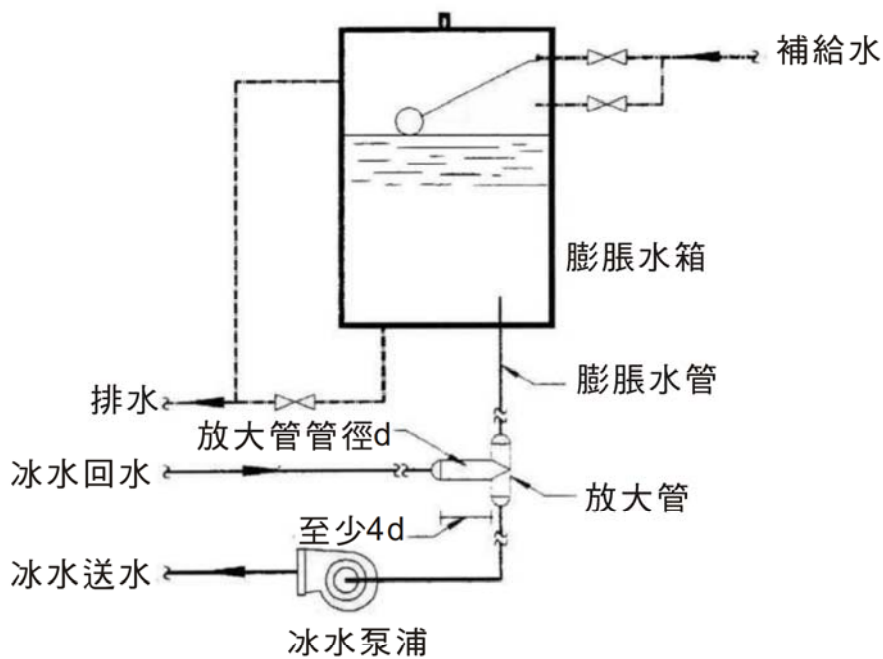
圖目錄



圖二十二、避免阻礙之彎頭配置圖

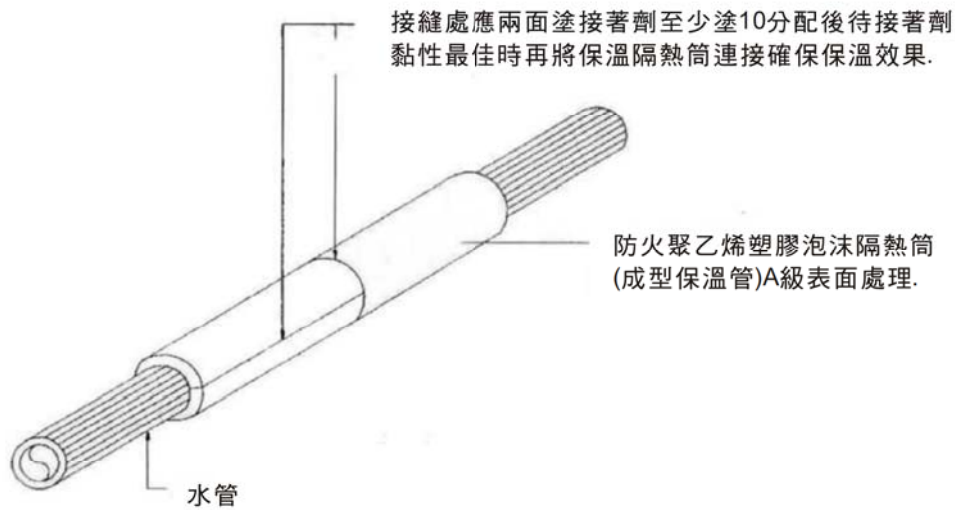
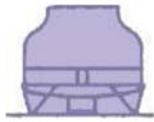


圖二十三、三通配置圖

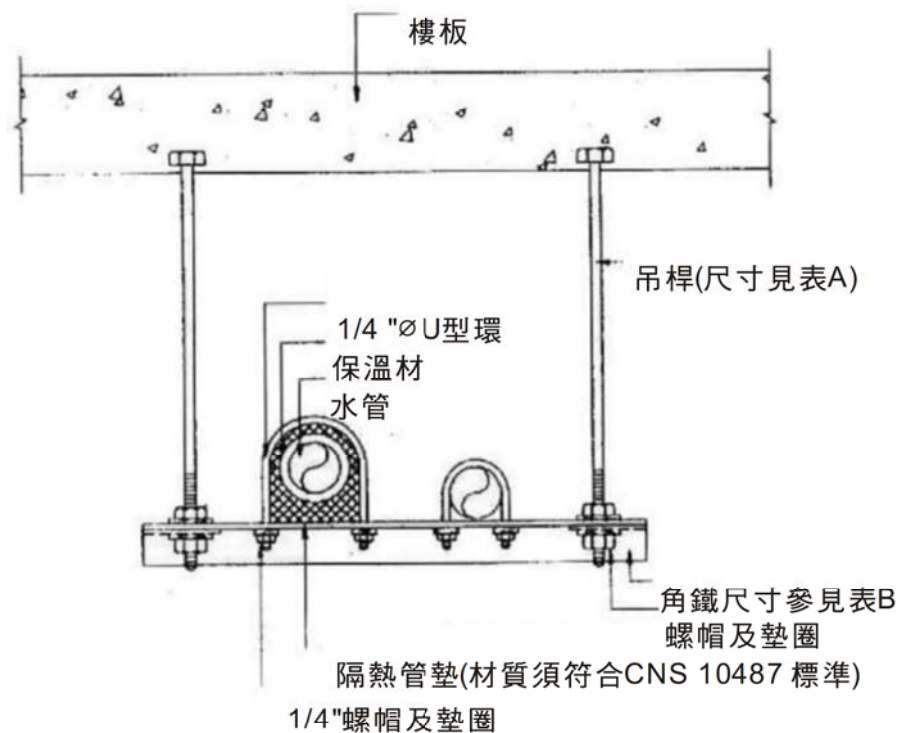


- 說明: 1. 膨脹水管管徑至少為1-1/2"φ.
 2. 放大管管徑應比正常回水管徑大二號.
 3. 在膨脹管上勿裝任何之過濾器或存水彎.

圖二十四、開放式膨脹水箱水管連接圖



圖二十五、水管吊支架配量示意圖



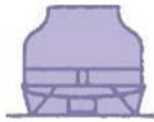
圖二十六、水管吊支架配量示意圖



參考資料

柒、參考資料

- 1.冷卻水塔操作手冊，工研院能資所節水服務團。
- 2.經濟部水資源局，節約用水措施推動計畫成果報告，86年6月。
- 3.羅基煌，冷卻水處理精要，知音出版社，71年4月。
- 4.陳國珍，冷卻塔技術手冊，良機實業股份有限公司，70年10月。
- 5.工研院能資所，熱流技術阻技術服務說明，85年9月。
- 6.洪宏賢，冷卻水補充用水探討，工研院能資所，工業冷卻水節約利用技術發展研討會論文集，83年5月。
- 7.黃安炫，冷卻用水節水案例，工研院能資所，工業冷卻水節約利用技術發展研討會論文集，83年5月。
- 8.機能水調查報告，工研院能資所節水團，89年9月。
- 9.潘子明，退伍軍人症之檢驗，退伍軍人症之防治研討會，86年6月。
- 10.葉澄雄，中央空調冷卻水系統為生物處理，退伍軍人症之防治研討會，86年6月。
- 11.韋宗楸，空氣調和、衛生工學，經濟部能源會，冷凍空調和熱交換，90年9月。



附錄一

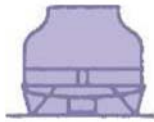
冷卻水中常見之污染物質含量參考界限及參考處理對策

污染物	冷卻水中一般含量	最高可處理上限,ppm	潛在問題	需要之處理方案	去除之方法	附註
醛類	0	20	腐蝕	額外之抗蝕劑		加氯形成酸類，甲酸易造成腐蝕
鹼度	50~300	300	結垢	額外之分散劑	石灰軟化法 加酸、R.O、純水化	
鋁	0	1	沉積形成膠羽	額外之特殊分散劑 (HPS-1)	沉降槽PH控制(6,8)過濾，R.O.電透析，純水化	
胺類	0	10~25	微生物繁殖沉積	殺菌劑界面活性劑 BETZ D-II		來自鍋爐排放水 冷凝水或胺液處理單元
氨	0	20~40 無銅時100	微生物繁殖腐蝕 硝化菌形成硝酸及腐蝕	提高腐蝕抑制劑 界面活性劑	脫氣 陽離子交換樹脂 活性污泥	實際經驗以去除為宜
砷	0	1			活性鋁吸附或陰離子樹脂電透析	
銀	0	5~10	結垢(硫酸銀)	提高分散劑 HMP	石灰軟化法 電透析 陽離子交換樹脂	
苯	0	*	微生物沉積	殺菌劑 生物分散劑 界面活性劑	列管之疑似致癌物	
甲苯	0	*	微生物沉積	殺菌劑 生物分散劑 界面活性劑		
二甲苯	0	*	微生物沉積	殺菌劑 生物分散劑 界面活性劑		
氰化物	0	10	腐蝕	加氯		
氟化物	0	5~15	結垢(CaF)	增加分散劑	石灰軟化法 R.O 電透析 陰離子交換樹脂	



附錄一(續1)

污染物	冷卻水中一般含量	最高可處理上限,ppm	潛在問題	需要之處理方案	去除之方法	附註
電導度	<6000 mhos	15,000 mhos	腐蝕	多加抗蝕劑	純水化 電透析 R.O	
甲醇	0	50	微生物沉積	殺菌劑 生物分散劑 界面活性劑		
酚	0	50~20	微生物沉積	殺菌劑 生物分散劑 界面活性劑	活性碳 微濾床	
BOD	NM	200	微生物沉積	殺菌劑 生物分散劑 界面活性劑		
COD	50~80* *	200	微生物沉積	殺菌劑 生物分散劑 界面活性劑		
輕有機物	0	50	微生物沉積	殺菌劑 生物分散劑 界面活性劑		
重有機物	0	25	微生物繁殖/沉積 熱傳障礙	殺菌劑 生物分散劑 界面活性劑		
TOC	NM	200	微生物沉積	殺菌劑 生物分散劑 界面活性劑		
油脂	0	20	微生物繁殖/沉積 熱傳障礙	殺菌劑 生物分散劑 界面活性劑		
硫化氫	0	10	微生物繁殖/腐蝕	抗蝕劑 殺菌劑 生物分散劑 界面活性劑		
硫化物	0	10	微生物繁殖/腐蝕	抗蝕劑 殺菌劑 生物分散劑 界面活性劑		
硫醇	0	50`	微生物沉積	非氧化性殺菌劑 界面活性劑		
汞	0	0.1	海軍銅之應力腐蝕 嚴重之鋁腐蝕	還原並過濾 加Na ₂ S PH5~6可沉澱		



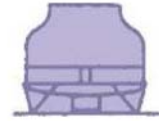
附錄一(續2)

污染物	冷卻水中一般含量	最高可處理上限,ppm	潛在問題	需要之處理方案	去除之方法	附註
鈣	100~1200	1500	結垢 沉積	石灰軟化法 R.O 過濾法 樹脂軟化		
鋅	0~2	5	沉積 硫化鋅沉澱 矽酸鋅沉澱 磷酸鋅沉澱	額外之HPS-li分散劑	石灰軟化法 陽離子塔 R.O 純水化	通常來自防蝕方案
鎂	50~100	1000或視MgSiO ₄ 而定	沉積	遵循MgSiO ₄ 控制界限 額外分散劑	石灰軟化法 陽離子塔 R.O 電透析	鈣硬度高於鎂硬度時較無妨
鐵	0~3	5~10	沉積 沉積層下腐蝕	HPS-I、鋅		鹼性方案可容忍較高鐵份
鈳	0	5	沉積	HPS-I分散劑		
鎳	0	2	沉積	分散劑		
錳	0	1	沉積 腐蝕	溶解錳用HEDP/HPS-I處理 不溶錳用HPS-I		
銅	0	0.5	銅沉積，造成電池腐蝕	增加銅腐蝕抑制劑		
氯離子	<1500	5000	腐蝕(尤其對不銹鋼)	增加抗蝕劑	R.O 電透析 陰離子交換	
殘餘氯	<0.5 free <0.3 total		銅合金腐蝕	抗蝕劑 微生物分散劑		有硫化物存時較有腐蝕性
硫酸鹽	<3000	5000	腐蝕 CaSO ₄ 結垢	額外分散劑	大量石灰 R.O 電透析	
磷酸鹽	0.25	0~50	結垢	額外分散劑	石灰軟化法 過濾法	
矽酸鹽	<200	300	結垢		石灰軟化法 R.O 純水化	

註：*：見總有機物，輕質有機物含量界限

**：台灣南部冷卻水實測值

Nm：通常未測定

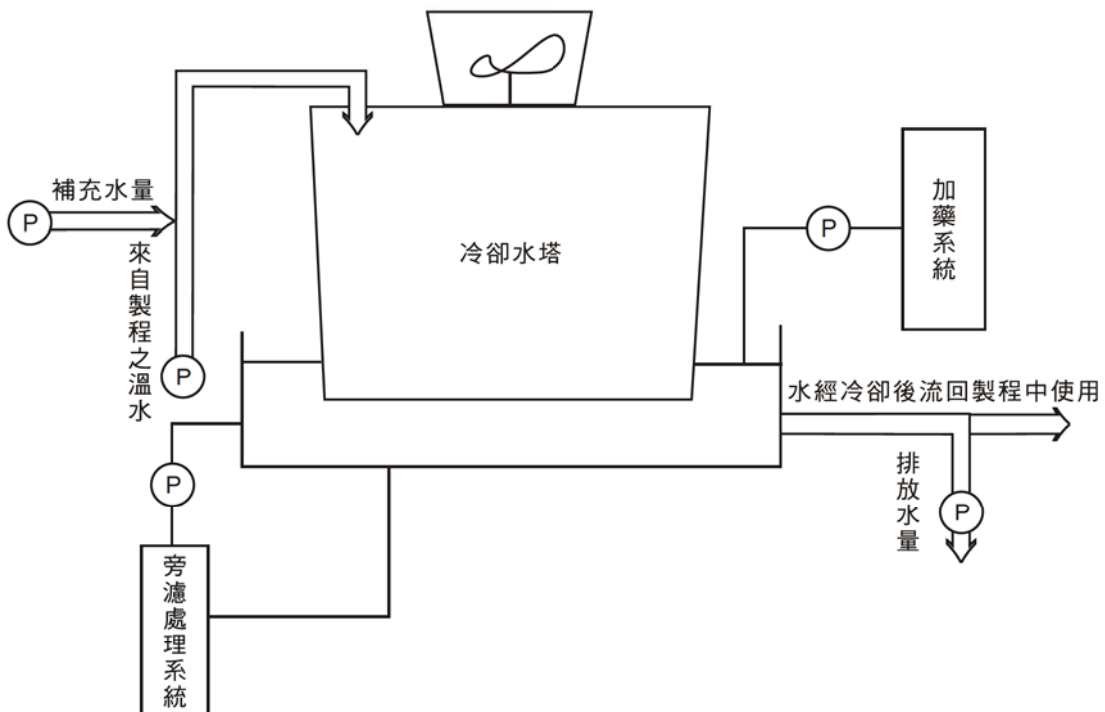


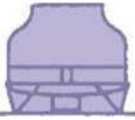
工研院能資所冷卻水塔能源查核表

一、工廠基本資料 工廠名稱：_____

設廠日期	年 月 日
產品名稱	
目前產能	
使用水源	
每日用水量	
員工人數	
每年開工日數	

二、冷卻水塔示意圖





附錄三、冷卻水塔基本資料

冷卻水塔型式			
冷卻水源別			
運轉時間，小時/天		散熱能力，冷凍噸	
水量資料			
循環水量，CMD		補充水量，CMD	
排放量，CMD		蒸發水量，CMD	
排放水回收使用量，CMD			
進水溫度，℃		補充水溫度，℃	
現場排放水溫要求，℃		排水溫度，℃	
水質資料			
鈣硬度，mg/L	補充水： 循環水：	比導電度， $\mu\text{s/cm}$	補充水： 排放水：
冷卻水塔加藥品名及加入量			
冷卻水塔水質管制項目及範圍			
動力資料			
冷卻水泵規格型式	容量： 額定電流： 操作時間：	m^3/hr Amps 小時/天	揚程： 馬達規格： 閥門數量： 管長：
漂白水輸送泵規格型式	容量： 額定電流： 操作時間：	m^3/hr Amps 小時/天	揚程： 馬達規格： 閥門數量： 管長：
加藥泵規格型式	最大泵送量： 額定電流： 操作時間：	m^3/hr Amps 小時/天	最大泵送壓力： 馬達規格： 閥門數量： 管長：
旁濾設備規格型式	馬達規格：	Hp	操作時間： 管長：
冷卻風扇規格型式	風量： 風壓： 額定電流：	m^3/min cm H ₂ O AMP S	馬達規格： 高速變極馬達： 操作時間：
循環空氣資料			
循環進塔空氣	濕球溫度：	℃	循環離塔空氣
	乾球溫度：	℃	
周圍空氣	濕球溫度：	℃	風速：
	乾球溫度：	℃	風量：
			漏風量：



經濟部能源局廣告品