

四碳廠節水節能案例 分享

台塑公司化學品事業部

一、前言

台灣雖然降雨量豐沛，年平均雨量約是世界平均的 2.6~3 倍，但由於降雨量過於集中且山勢陡峭，河川水易流失，高山降下之雨水若不加於阻攔，約 2 天時間即流入大海，先天可用之水資源有限，加上工業發展迅速用水需求增加，故節水節能之議題顯得更為重要，本廠佔地面積僅 1.4 公頃，投資金額約 10 億台幣，廠的規模雖小，但仍投入大量的心力於節水節能改善，其成效可由產品單位用水量和單位用電量得知，96 年單位用水量 1.58 噸/噸，降至 98 年 1.30 噸/噸，96 年單位用電量 57.6 度/噸，降至 98 年 43.5 度/噸。

二、內容

冷凝水回收再利用

本廠有四支蒸餾塔且塔底溫度若高於 100℃時，已設計和入料進行熱回收，提高入料溫度，以減少再沸器的蒸汽用量，每天約耗用 600 噸蒸汽。原設計蒸汽使用後所產生之高溫冷凝水經冷卻，全數泵至冷卻水塔當作工業水補入水塔，

如此設計已將水資源全部回收使用無任何浪費，但本廠並不以此為滿足，因冷凝水屬超純水水質單價為 29.5 元/噸，但工業水單價僅 11.5 元/噸，有高品質水低用之慮，而且將高溫冷凝水經冷卻再泵入水塔，有浪費冷凝水顯熱能源和增加水塔負荷之慮。

於是積極尋求鄰廠合作，終於得到丙烯腈 (AN) 廠的善意回應，因丙烯腈廠設有鍋爐，每天約需使用超純水 2,000 噸來產出蒸汽，故可回用本廠全部產生之高溫冷凝水，立即新增配管將本廠之冷凝水泵至 AN 廠，AN 廠為了確保冷凝水水質符合要求，設置導電度之線上分析儀，即時監控水質，若水質超限，則啟動連鎖系統將冷凝水入料阻隔，以確保鍋爐運轉正常，改善後可讓高品質的水用於合適的用途且回收冷凝水顯熱能源，因冷凝水不再需要冷卻，水塔負荷減少，必要的蒸發損失減少，可節省用水量，其效益計算如下：

1. 由工業水用途變成超純水用途，年效益 = $600 \text{ 噸/日} \times (29.5 - 11.5) \text{ 元/噸} \times 365 \text{ 日/年} = 3,942 \text{ 仟元/年}$ 。
2. AN 廠回收冷凝水顯熱可節省預熱蒸汽用量約 1 噸/時，年效益 = $1 \text{ 噸/時} \times 24 \text{ 時/日} \times 365 \text{ 日/年} \times 716 \text{ 元/噸} = 6,272 \text{ 仟元/年}$ 。
3. 減少水塔蒸發損失水量 = $600 \text{ 噸} \times (100^{\circ}\text{C} - 40^{\circ}\text{C}) \times 1 \div 539 \text{ kcal/kg} = 66.8 \text{ 噸/日}$ ，年效益 = $66.8 \text{ 噸/日} \times 11.5 \text{ 元/噸} \times 365 \text{ 日/年} = 280 \text{ 仟元/年}$ 。
4. 本改善案總年效益 = $3,942 + 6,272 + 280 = 10,494 \text{ 仟元/年}$ 。

經此改善後可節省蒸汽用量 1 噸/時、工業水用量 66.8 噸/日和 600 噸/日冷凝水當作超純水用途，成效不錯，但改善腳步並不停止，由於本廠冷凝水冷卻器不再使用，可減少 294 噸/時的冷卻水循環量和 1,500 Mcal/時的熱負荷，本廠設有冷卻水泵三台，其容量分別為 2,000 噸/時 (P-770)，1,500 噸/時 (P-771)，1,000 噸/時 (P-772)，原設計冷卻水循環量為 2,650 噸/時，故啟動 P-770 和 P-772 二台冷卻水泵，經此改善後冷卻水循環量可降至 2,356 噸/時，並調降旁濾槽的流量，經評估可啟動 P-771 和 P-772 足以供製程使用，結果可節電 106 度/時，年效益 = 106 度/時 × 24 時/日 × 365 日/年 × 2.1 元/度 = 1,945 仟元/年，改善完成後本廠受益良多，產品的單位用水量和單位用電皆一併下降。

冷卻水塔節水策略

冷卻水塔之用水量佔全麥寮廠區 65% 以上，對本廠而言水塔之耗水佔 90% 以上，故冷卻水塔之耗水問題是需積極探討，目前麥寮廠區冷卻水塔大部份皆由台朔重工承製，皆為逆流型且空氣為吸入式之冷卻水塔，每座標準型的冷卻水塔循環水量為 4,000 噸/時，入水溫度為 42℃，出水溫度為 33℃，本文針對此類型冷卻水塔來作耗水分析，開放式冷卻水塔在運轉過程中的耗水可歸納為四個部份：蒸發損失 (Evaporation Loss)、飛散損失 (Drift Loss)、濺灑散損失 (Splash Loss)、排放損失 (Blow-Down Loss)，說明如下：

1. 蒸發損失 (Le)

在冷卻水塔的冷卻過程中，將熱移除主要是利用水被蒸發時之氣化潛熱，以降低水溫達到冷卻的目的，此時即是蒸發損失，故對於冷卻水塔而言蒸發損失是在所難免的，但若冷卻水塔周遭空氣的濕度越低，則流經塔內之空氣所能蒸發的水份越多，所以周遭空氣的濕度也是決定冷卻水塔蒸發損失的因素之一。

基本上蒸發損失在所難免，然而冷卻水塔於設計時，皆是依較嚴格條件，如較高的大氣濕球溫度來訂定風量，依麥寮而言每年的七、八月的濕球溫度最高約 25~27°C，一、二月的濕球溫度最低約 15~17°C，皆比台朔重工承製冷卻水塔設計時之濕球溫度 29°C 低，故冷卻水塔常常在較低的冷卻負載下運轉，如此會增加一部份不必要的蒸發損失，不但造成水資源的浪費，同時也浪費風扇馬達的耗電，尤其冬天更為明顯，為了改善此現象，最直接的方法是視製程情況降低冷卻水塔之空氣流量，最簡單是廠內有多座冷卻水塔者可直接停一至二座冷卻水塔風扇，另可於風扇馬達裝設變頻器或改為變極馬達，以手動或自動方式來調整冷卻水塔之風扇轉速，進而降低風量，不但可以節水更可以節省電力。

2. 飛散損失 (Ld)

自冷卻水塔塔頂落下的水滴一部份經塔內之空氣挾帶出塔的損失稱為飛散損失，是否會形成飛散損失關鍵在水滴本身重量與塔內風速的大小，當空氣由下往上而水滴由上向下時，空氣對水滴會產生一拖曳力量，若此拖曳力加上水滴的浮力大於水滴重量，則水滴不會落下而是被空氣由上帶走，

而產生飛散損失，其實台朔重設計水塔時於分散盤上方加裝有擋水器，可避免飛散損失。

3. 濺灑損失 (Ls)

冷卻水塔的回水由頂部落下，由於填充材和淺水池的水面有高度差，打在水面上會有高度不一的彈跳，故靠近淺水池邊緣者易濺出冷卻水塔外部，或是水滴落下靠近淺水池邊緣不規則碰撞支撐彈出塔外，此為濺灑損失，因此只有靠近淺水池邊緣的水滴才會濺出塔外，內側水滴無此顧慮，為了減少濺灑損失可於淺水池邊緣加裝擋水板，但擋水板的設置不可阻擋空氣流量，目前台塑重工設計之水塔，空氣由四周空隙進入水塔並有將水滴向內牽引的力量，故可降低濺灑損失，除非受外部風力影響，會造成大量濺灑損失，致使地面常有水漬者，並不建議加裝擋水板，因設計時已考量空氣進入方向以減少濺灑損失，而且濺灑損失的量可由排放損失扣除。

4. 排放損失 (Lb)

冷卻水塔的冷卻水在不斷循環的過程中，且水塔為一開放式的結構，難免有沙土或其他雜質落入其中，加以冷卻水是以純水方式蒸發，水中之鹽類濃度會不斷的提高，故冷卻水塔需一定量的排放，以更換乾淨的水補充，保持一定的鹽類濃度，而排放掉的廢水稱為排放損失。

為控制冷卻水塔的水質，以確保換熱器的設備不致結垢腐蝕，故定期檢測水中離子的濃度是必需的，常見檢測項目

有鈣硬度、全鐵、二氧化矽、導電度、硫酸根離子、氯離子等等，一般是以鈣硬度來計算冷卻水塔之濃縮倍數，然濃縮倍數的計算方法並非唯一：

濃縮倍數 = 冷卻水的鈣硬度 ÷ 補充水的鈣硬度

在維持固定的濃縮倍數下，由於補充水 (L_m) 進入塔內的離子數量會等於飛濺、濺灑和排放損失中之離子數量，因蒸發損失是以純水形式離開水塔，即 $L_m \times [\text{ion}]_{\text{補充水}} = [\text{ion}]_{\text{冷卻水}} \times (L_d + L_s + L_b)$ ，因 L_m 為冷卻水塔補充水，所以 $L_m = L_e + L_d + L_s + L_b$ ，

$$\text{所以濃縮倍數 (CR)} = \frac{[\text{ion}]_{\text{冷卻水}}}{[\text{ion}]_{\text{補充水}}} = \frac{L_m}{L_d + L_s + L_b}$$

因飛濺、濺灑損失的量較排放和蒸發損失較少，為方便計算可省略，

故濃縮倍數 $(CR) = 1 + L_e / L_b$ 。

藉由冷卻系統中之線上分析儀來控制冷卻水塔的連續排放，以確保冷卻水塔的水質正常，依上式若濃縮倍數越高則排放損失越低，但冷卻水中之離子濃度越高，藥劑的處理費用和換熱器結垢的風險增加，增加濃縮倍數和減少排放損失並不是等比例的線性關係，當濃縮倍數大於 6 時可大幅減少排放損失，但當濃縮倍數大於 10 倍時，可減少的排放損失非常有限，但藥劑的處理費用和換熱器結垢的風險卻增加很多，不符合效益，本廠之冷卻水塔的濃縮倍數已由初設時的 5 倍提高至目前的 8 倍，約可節水 148 噸/日。

三、結論

進行節水工作的首要工作是建立廠內的用水平衡圖，並標明各股用水之水質要求和各股廢水水質，如此可規劃出回收高品質的回收水用於要求較嚴格的用水，而水質較佳的廢水亦可以二次再利用，例如冷卻水塔的排放水僅鹽類離子濃度高，可再用於清洗用水或是公用廠之排煙脫硫 (Flue Gas Desulfurization, FGD) 用水，所以建立詳盡的用水平衡圖可找出各股水的最佳用途和水的二次或三次的再利用。

冷卻水塔的節水除了減少蒸發損失和排放損失外，其實詳細建立廠內製程的熱能圖，並規劃較佳的熱回收，不僅可降低能耗，也是減少冷卻水塔的負荷，進而減少必要的蒸發損失，例如蒸餾塔高溫的塔底出料是否可與蒸餾塔入料進行熱回收，以提高入料溫度減少蒸餾塔再沸器之蒸汽用量，或增設吸收式或吸附式冷凍機，回收熱能來製造冰水，以減少冷凍機之負載，從源頭來減少冷卻水塔的負荷是一舉兩得的方法。