

機械式蒸氣再壓縮系統應用於 節能與減廢效益評估分析

王世賢*、陳伯星**、李正春***

摘 要

機械式蒸氣再壓縮系統(Mechanical Vapor Recompression System, MVR)是二十世紀九十年代末開發出來的一種新型高效節能蒸發設備。它利用蒸發器中產生的二次蒸氣，經壓縮機壓縮，將壓力、溫度升高，熱焓增加，然後送到蒸發器的加熱室當作加熱蒸氣使用，使料液氣化，而加熱蒸氣本身則冷凝成液體。這樣，原來要廢棄的蒸氣就得到了充分的利用，回收了潛熱，又提高了熱效率，性能系數(Coefficient of Performance, COP)可高達 10~30，減少了外部加熱及冷卻資源的需求，大幅降低能耗。

機械式蒸氣再壓縮系統目前在台灣已成功應用於濃縮製程，取代傳統蒸餾系統，COP 可達 25 以上，達到 95% 以上之節能效果。以及應用於低壓蒸汽升級回收之應用，將工廠中過剩之低壓蒸汽利用機械式蒸氣再壓縮系統的技術，提升成為高壓蒸汽循環利用，節省大量能源。機械式蒸氣再壓縮系統亦可應用於廢水回收再利用，將廢水蒸發濃縮並減量，可回收 90% 以上廢水回到製程循環利用(每種廢水可回收比例不盡相同)，濃縮後的廢水亦便於進行再處理。

【關鍵詞】 機械式蒸氣再壓縮系統、COP、低壓蒸汽升級回收、廢水減量

*匯能科技股份有限公司 協理

**匯能科技股份有限公司 技術長

***匯能科技股份有限公司 執行長

一、前言

機械式蒸氣再壓縮系統(Mechanical Vapor Recompression System, MVR)是二十世紀九十年代末開發出來的一種新型高效節能蒸發設備。它並不是近期才開始發展的系統，在能源成本以及環保意識都不高的年代並不會體現它的效益和亮點，進年來能源成本大幅增加、環保意識的提升、環保法規的落實都讓企業必須認真考量節能及減廢。

目前蒸發濃縮的製程大多採用單效或多效蒸發系統(最常見為三效蒸發系統)，單效蒸發系統之 COP 為 1.0，三效蒸發系統 COP 約為 2.4。然而 MVR 系統之 COP 可達 25，亦即能耗僅傳統單效蒸發系統之 4%，將可讓工業界在蒸餾、濃縮、純水回收、海水淡化及廢水減量等需求節省大量能源。

二、機械式蒸氣再壓縮系統說明

1.MVR 的原理

MVR 系統係將蒸發器產生的蒸氣，經過壓縮機加壓，使蒸氣的壓力提高，同時也提高其冷凝的溫度，再將此高壓的蒸氣作為熱媒用來加熱蒸氣來源的母液，高壓蒸氣在母液加熱器中將潛熱釋放給母液後成為冷凝水或液體。如果蒸氣未經過加壓，其溫度與母液相同，就不會發生熱的傳遞。

此系統因以壓縮機方式升壓，具有回收潛熱的功效，大幅提高了熱能的使用效率，故其 COP 一般可達到 10~30，甚至可達到 40 以上。

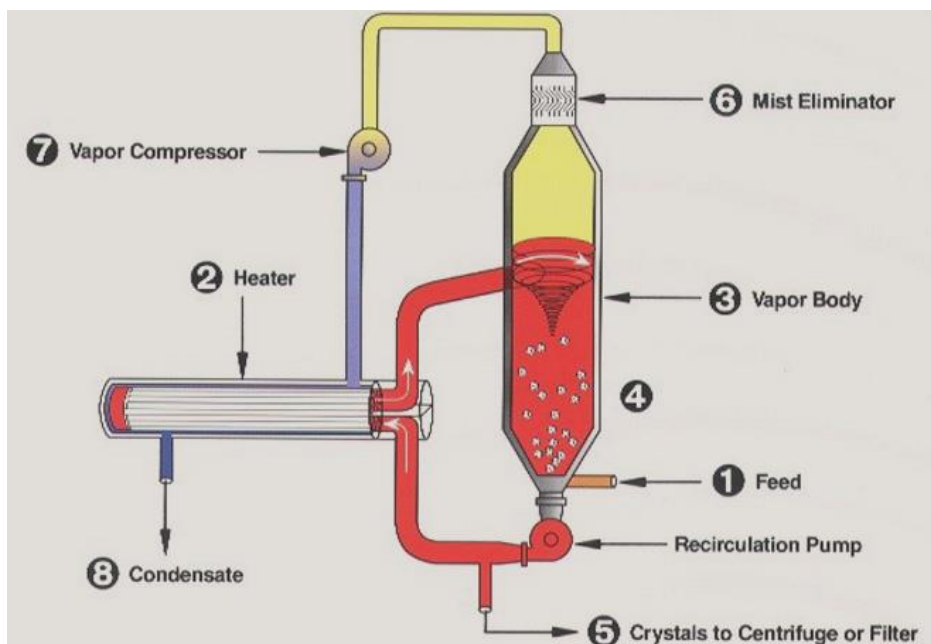


圖 1 MVR 系統加熱濃縮示意圖

2. MVR 的優點

MVR 是熱分離技術上的一大突破，具有下列的優點：

- (1)回收潛熱之效率高：MVR 蒸氣中之潛熱幾乎可以全部回收，使蒸發所需之熱能降到最低，節省蒸發所需之能源支出與冷卻系統操作費用。
- (2)以母液蒸出之蒸氣為熱媒：MVR 以自身蒸氣為熱媒，無需外加，節省熱媒購置與使用之成本。
- (3)設備簡單投資費用低：與多效蒸發器比較，MVR 之設備較簡單，蒸發器、泵浦的數量少，投資費用較省，所需使用的面積也小，投資效益較高。

三、機械式蒸氣再壓縮系統應用說明

1.MVR 系統取代多效蒸發器

現有的多效蒸發器，耗用能源仍然偏高(單效蒸發系統之 COP 為 1.0；三效蒸發系統 COP 約為 2.4；MVR 系統之 COP 可達 25)，約為 MVR 的數倍甚至 10 倍以上，MVR 可以取代傳統的多效蒸發器以降低能耗及冷卻系統使操作費用。

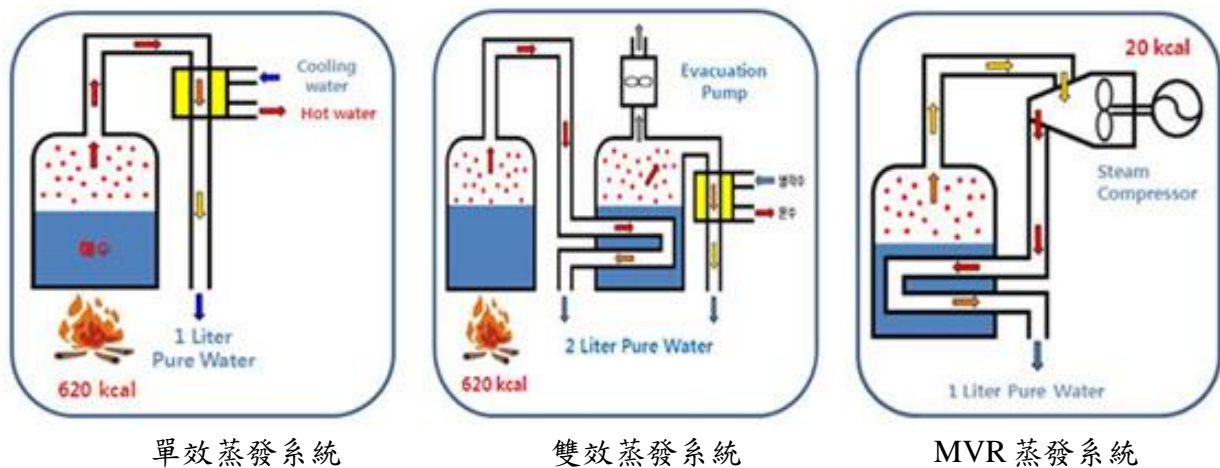


圖 2 MVR 系統與單效、雙效蒸發系統比較

2.MVR 系統應用於蒸餾系統

傳統的蒸餾系統非常耗費能源，它由塔底的再沸器(Reboiler)中加入大量能源，進行氣化分離，然後在塔頂的冷凝器(Condenser)透過冷卻水系統移除大量熱能，此移除之熱能通常難以回收或回收效率極低。

若採用 MVR 系統，將大幅降低塔底的能源耗損及塔頂之冷卻系統操作費用。

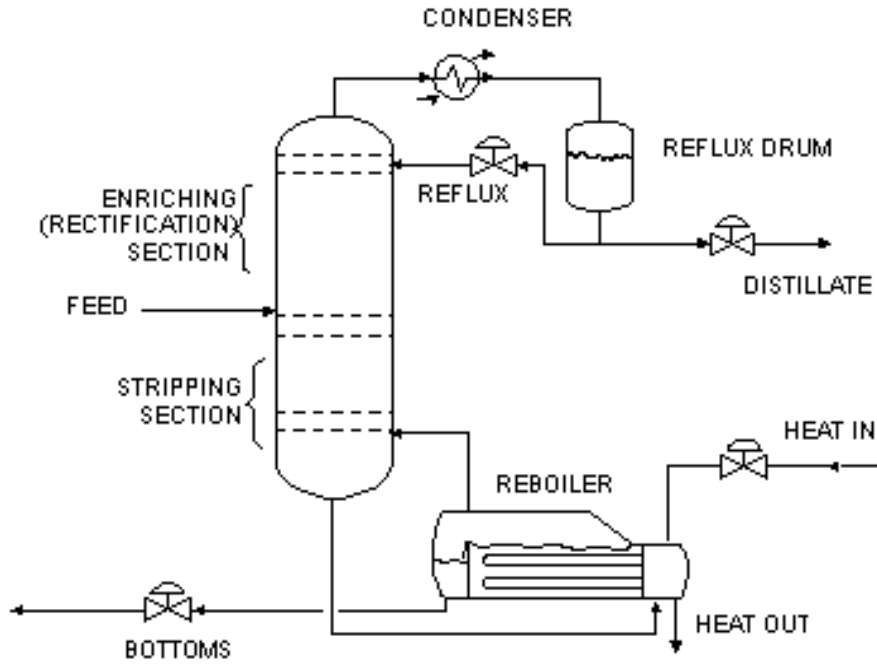


圖 3 MVR 系統應用於蒸餾系統示意圖

3.MVR 系統應用於廢水減量與廢水回收利用

利用逆滲透(Reverse osmosis, RO)搭配 MVR 系統可將大量的廢水蒸發濃縮並減量的技術已經相當成熟，回收水可再回到製程循環利用，濃縮後的廢水亦便於進行再處理。甚或進一步建構成液體零排放系統，將原先每日須排放的大量廢水全回收，最終僅剩下污泥。

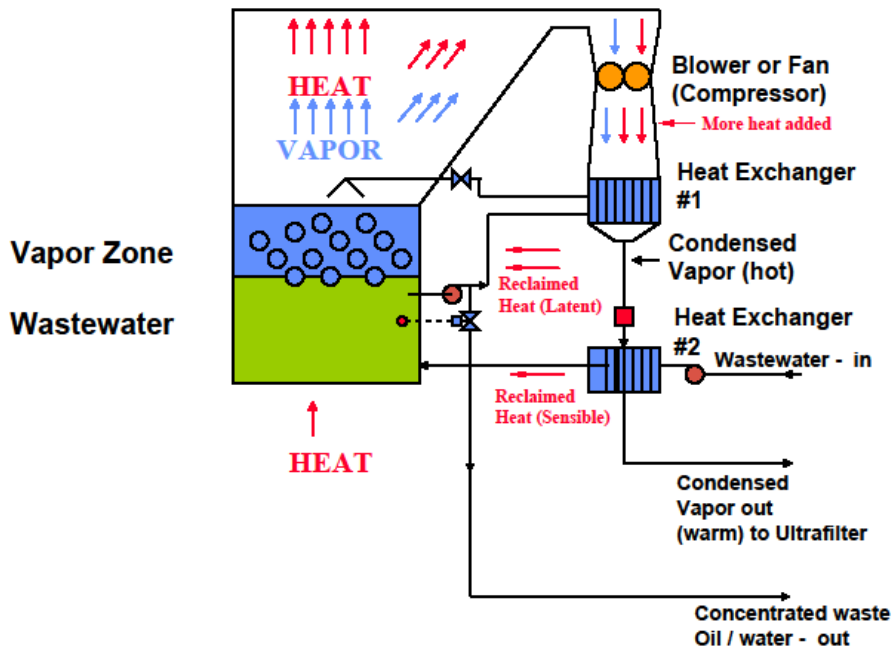


圖 4 MVR 系統應用於廢水回收系統示意圖

台灣是個缺水的國家，過去水資源亦未妥善規劃利用，政府日前已確定在桃園、台中、台南、高雄設置 8 個水資源回收廠，將廢水回收利用。

4.MVR 系統應用於海水淡化

與 MVR 用於蒸餾系統的原理相同，將海水蒸發產生蒸汽所含的潛熱，用來加熱進料海水。用於海水淡化時通常與多效蒸發器合併使用。

亦可將此系統作成模組化的小型飲用水產生器，可在災區或戰地就近取得水源來供應人員之飲用。

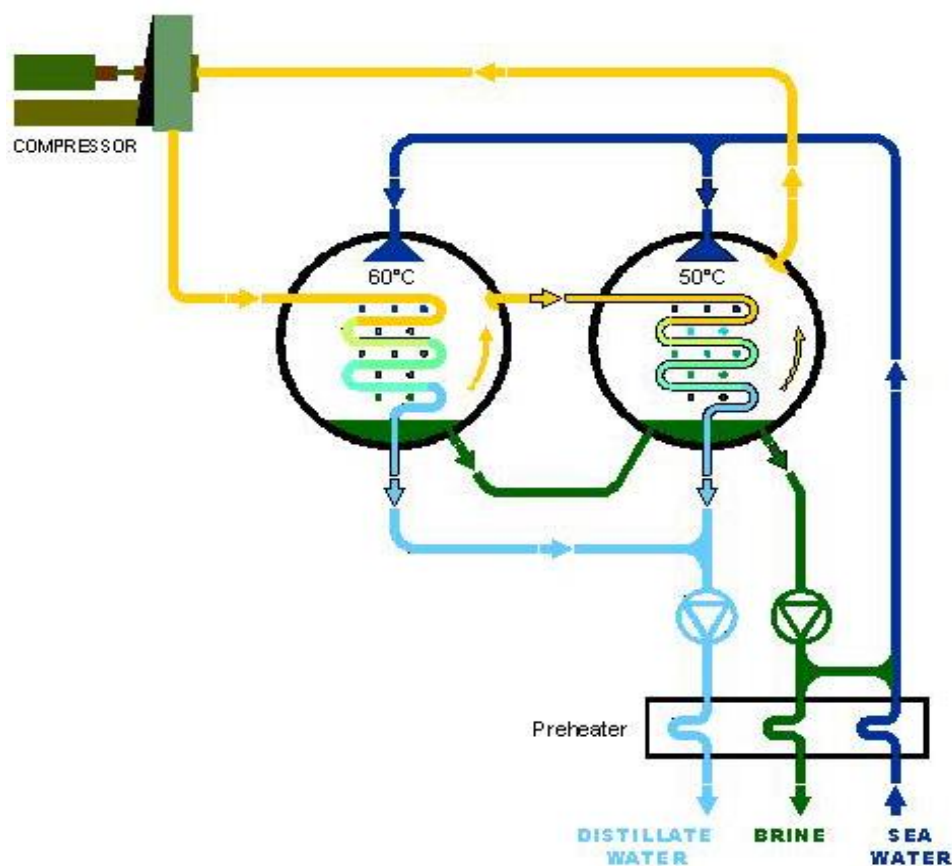


圖 5 MVR 系統應用於海水淡化系統示意圖

四、機械式蒸氣再壓縮系統案例說明

1.MVR 系統應用於生技廠濃縮系統改善

本案為運作多年之生技廠，原系統以蒸汽加熱將製程液濃縮後並使用冷卻水冷卻，是傳統的濃縮製程。經評估之後，改用 MVR 系統取代現有之三效蒸發器，並經不斷系統調整，MVR 系統之性能係數 COP 高達 40

以上，大幅降低蒸汽與冷卻水之能源成本。

以每年 8,000 小時運轉時間作為比較基準情況下，可將總能源成本(重油加冷卻水)由新台幣 1,594 萬/年降為總成本(電)新台幣 67 萬/年，共節約 1,527 萬/年。



圖 6 原三效蒸發系統



圖 7 改善後之 MVR 系統

2.MVR 系統應用於廢水回收

該廠每日排放的廢水透過 RO 系統回收後，尚有 52 噸/天的 RO 濃縮廢水排放量，建置 MVR 系統後再進一步回收 90% 以上水量進入原水系統使用，大幅降低原水使用量，後續將建構後處理系統達到液體零排放之目標。



圖 8 MVR 廢水回收系統-1



圖 9 MVR 廢水回收系統-2

五、結論與建議

從上述系統說明及案例可發現 MVR 系統可節省大量能源及水資源，應可大量應用於相關產業以降低生產成本及對環境的污染衝擊，進而提升產業

競爭力。

以目前台灣的產業情況來看，MVR 潛在的市場中先期較具有實施可能行的是：

1.使用多效蒸發器的食品業、製藥業、化工業及生技業。

食品業(例如奶粉濃縮、糖及鹽精製、蒸餾酒類精餾及啤酒濃縮)、製藥業(中、西藥萃取後之濃縮)、化工業與生技業皆需將母液濃縮後進行結晶，而母液濃縮耗用大量能源，MVR 具有顯著之節能效益，國內外亦有許多成功之案例，值得大量推廣。

2.需要實施高濃度廢水減量的產業。

某些產業(表面處理業、PCB 產業、LED 產業及環工產業)廢水所含離子成份複雜(例如氨氮廢水)，高濃度廢水處理成本非常高昂，若可透過 MVR 系統先行濃縮減量，將可降低不小的高濃度廢水處理負擔。

3.液體零排放系統。

許多工廠廢水量大，動輒超過每日千噸的排放量，亦造成對環境不小之衝擊。這幾年許多大廠排放大量汙水汙染河川，影響飲用與灌溉，屢遭居民抗議，廠商雖有意願處理，但技術有困難，中央與地方政府苦無對策，造成三輸的局面。自源頭進行管理才是一勞永逸解決之道，工廠若設置液體零排放系統回收自身之廢水進行再利用，能降低水資源耗損、減少可能的污染、增加企業形象與達到敦親睦鄰之效果。