



板式熱交換器於 冷凍系統之應用

楊秉純

前 言

提高能源的有效使用率一直是政府及業者努力的方向，尤其在92%能源需仰賴進口的台灣，這更是一個亟待解決的問題，同時我國地處亞熱帶地區，隨著生活水準的日益提高，冷凍空調的使用也日益普遍，而總耗能量也逐年提升，因此如何提高冷凍系統的效率以節省能源的消耗，更是近年來產、官、學研努力的方向。而在諸多提高冷凍系統效率的方法中，熱交換器性能的提升是一極其有效的方法之一，然而傳統使用的熱交換器型式一直受制於體積及壓降的限制，效率很難提升。近年來新型且高效率熱交換器的研發一直朝向輕薄短小的方向進行；輕者材料省，自然成本少，達到經濟的要求；薄者可增加單位體積的熱傳量，減少熱傳阻抗達到提升效率的要求；短小者可減小熱交換器的體積佔有率，更易符合產品化的要求。板式熱交換器為新型熱交換器中最具有代表性者，又可分為硬銲型及組合型兩大類；目前國外已具有頗為成熟之技術，而國內近幾年來在產官學研各方面共同努力之下，對板式熱交換器之學理、製造技術及性能測試分析等方面進行研究開發，也逐漸建立一些基礎。本文之目的，即在介紹板式熱交換器之原理及其在冷凍系統中之應用，以引起國人對此項應用領域之重視，而克服目前使用上之困難，以期能將此高效率之熱交換器充分應用於冷凍系統上，而達到節省能源

使用之目標。

板式熱交換器之構造

板式熱交換器在構造上係由凹凸圖型且抗酸之不鏽鋼板片所組成，平板之花紋方向相反而使相鄰板上花紋脊線彼此相交叉而構成接觸點，當將此等接觸點以真空硬銲（或螺桿）結合在一起乃構成緊密而能耐高壓之板式熱交換器，這樣之構造一方面可增強板片結構，以增加其耐壓性，另一方面又可增加熱傳面積，使其材料實際上皆充分作熱交換使用。經硬銲（或組合）後，各板片上之溝槽乃構成兩個相分離之槽道，能使兩種流體相互交叉流動而存在其中，這種錯綜複雜的渠道乃產生強大的紊流狀態而避免流體在板片上形成邊界層造成熱阻因而減低熱交換的效果。如圖1所示，一般而言其密集度可達 $700\text{ m}^2/\text{m}^3$ 以上，而熱傳係數更可達 $3,000\sim 7,000\text{ W}/\text{m}^2\text{ }^\circ\text{C}$ 。

這種高效率之熱交換器具有體積小、重量輕、熱交換量大、效率高之優點，如果和殼管式熱交換器比較，在同樣熱傳量下，其體積只有殼管式的 $1/4\sim 1/5$ 之間，因此板式熱交換器較傳統之殼管式熱交換器具有更高之熱傳效率、高回復率、體積小及重量輕等諸多優點，因此可應用於各式需要能源轉換之系統及工程，如食品工業、化學工業、冷凍空調工程…等。本文即將針對板式熱交換器

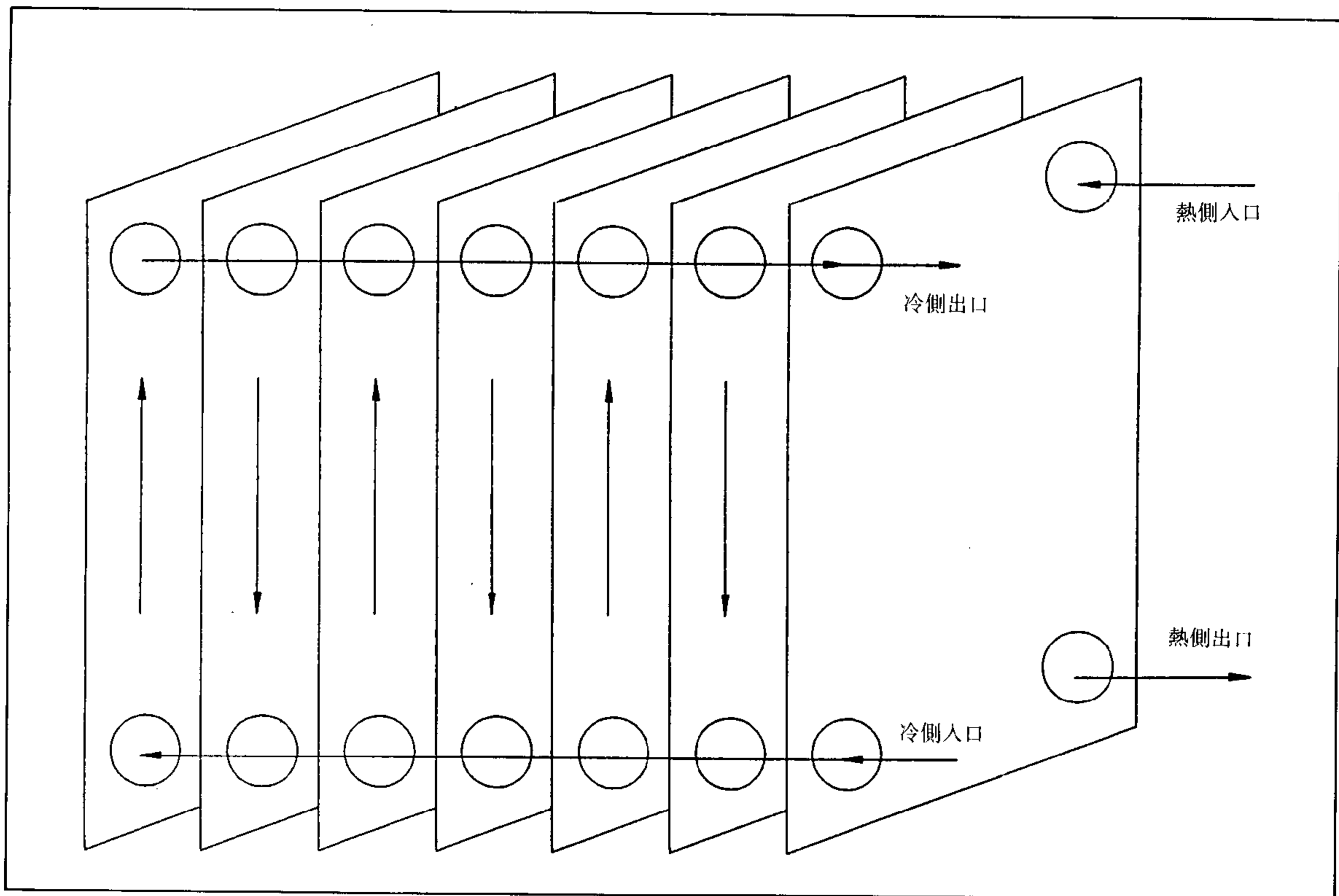


圖1 板式熱交換器流場分佈情形

在冷凍系統上之應用作一介紹。

基本冷凍系統介紹

冷凍系統的主要功用是藉由壓縮機的作功及熱傳介質的相變化，而將熱由較低溫處帶走而排放至較高溫處，其基本元件有蒸發器、壓縮機、冷凝器、膨脹閥及連接管路等（如圖2所示之系統所示即為採用水冷式之基本冷凍循環系統的流程圖）。各基本元件的功能可以分述如下。

蒸發器是利用冷媒蒸發成氣態而吸熱的作用，以將欲冷卻空間之熱帶走，壓縮機則是將冷媒由蒸發壓力提升至冷凝壓力，同時也造成冷媒溫度之升高。

冷凝器是將冷媒氣態凝結回液態，其冷卻方式可是水冷式或氣冷式，其優缺點可由表1來說明。

膨脹裝置是將冷媒液體從凝結壓力降至蒸發壓力並加以冷卻，這可以是一細長之毛細管，手動閥或利用冷媒液位來控制之閥。另外尚有利用蒸發器

出口冷媒過熱度來控制之溫控式膨脹閥。

如從壓力—焓圖上來看，基本冷凍循環之性能估算可由圖3來表示。假設此循環是從蒸發器出來的冷媒過熱蒸汽開始（即A點），理論上壓縮機的壓縮過程是一等熵過程，亦即和外界除了機械功外無任何熱能的交換，因此，此過程將由A至B'；但事實上由於壓縮機的冷卻作用及磨擦損失等因素，此過程無法沿AB'線，而是沿AB線而到B點。不但壓力提升，同時溫熱度也增加。此高壓過熱冷媒蒸汽導入冷凝器中將其沿BCDE在一熱交換器內部利用另一種冷卻介質將其完全冷凝成過冷液態。此高壓冷媒液體再經一膨脹裝置，使其溫度和壓力均降，而從高壓液態變成低壓之液氣混合冷媒（即F點），此膨脹過程和外界無任何能量之變化，亦即為一等焓過程。最後此液氣混合冷媒則在蒸發器內完成蒸發而回到最初的過熱狀態（即A點）而完成了一個冷凍循環過程，如此冷媒從A→B→E→F→A而完成了一個冷凍循環，並達成將熱由低溫處移至高溫處的功能，由於在此一循環過程中壓縮

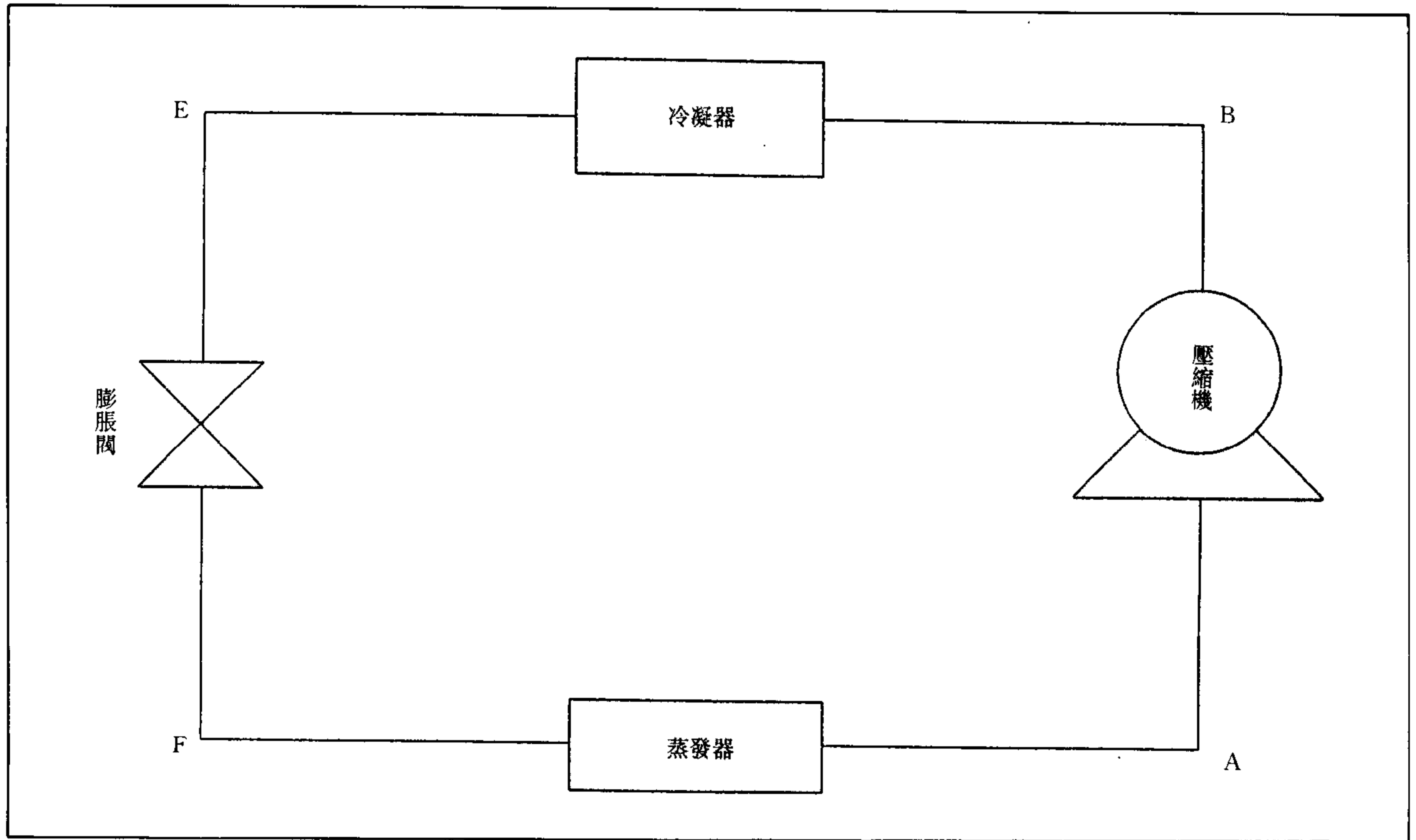


圖2 基本冷凍循環系統佈置圖

表1 氣冷式及水冷式冷凝器之比較

	優點	缺點
氣冷式	1. 不需冷卻水 2. 空氣是免費的	1. 需安裝於屋頂或空曠處，因此和系統其它元件距離較遠，致冷媒管路長 2. 風扇易引起噪音之汙染
水冷式	1. 安裝位置彈性大，可較接近系統，故冷媒管路短 2. 因水之熱傳係數較大，故系統體積可較小	1. 在某些地方冷卻水可能會有短缺的現象或較昂貴 2. 較易有水垢問題

機作了功。故並不違反熱力學第二定律。

板式熱交換器於冷凍系統之應用

如前所述在一基本冷凍循環中，至少需有兩個熱交換器，即冷凝器及蒸發器，前者可為氣冷式或水冷式。而以板式熱交換器高熱傳效率及高回復率的特性，故可應用來當作冰水機組中的蒸發器或水冷式的冷凝器。圖4即為一採用板式熱交換器的冰

水機。

板式熱交換器在冷凍系統上之應用和傳統使用之殼管式熱交換器或雙套管式熱交換器，不管在設計、製造或性能上均有截然不同的不同，同時也沒有什麼相似性可言，因此本文將針對 1. 板式熱交換器之安裝；2. 板在熱交換器之垢阻效應及 3. 板式熱交換器結冰之防止等方面來加以說明其特性。

(一) 板式熱交換器之安裝

板式熱交換器之安裝一般是以垂直位置安裝（如圖5所示），並為避免管路的震動而影響到熱交換器本身之運作，通常在出入口均需安裝有膨脹接頭以吸震，同時在流路的安排上，在板式熱交換器內部其冷媒通道的兩旁需有水的通路，也就是說，板式熱交換器的第一及最後一通道均需為水的通路（意即水的通路比冷媒通路多一道），這點在當作蒸發器使用時特別重要。如果不這樣安排的話，而將冷媒安排在兩最外側的通道時，則可能會因冷媒蒸發溫度下降而造成外側有結冰的危險，同時板式熱交換器的性能也將大幅降低。

圖6所示則為板式熱交換器當作冷凝器時的管

路連接方式：如圖所示，冷卻水由下進而上出，冷媒蒸汽則由上進，其凝結液則由下方排出，這樣的安排方式，除了是因反向流而能提升熱之回復率外，也符合流體自然對流的原理。

圖7所示，則為板式熱交換器當作蒸發器時的管路安排，同樣是以反向流的方向連接。此時冰水由上進而下出，由膨脹閥出來的液氣混合冷媒則由下進，在熱交換器內部逐漸汽化，而成為過熱冷媒

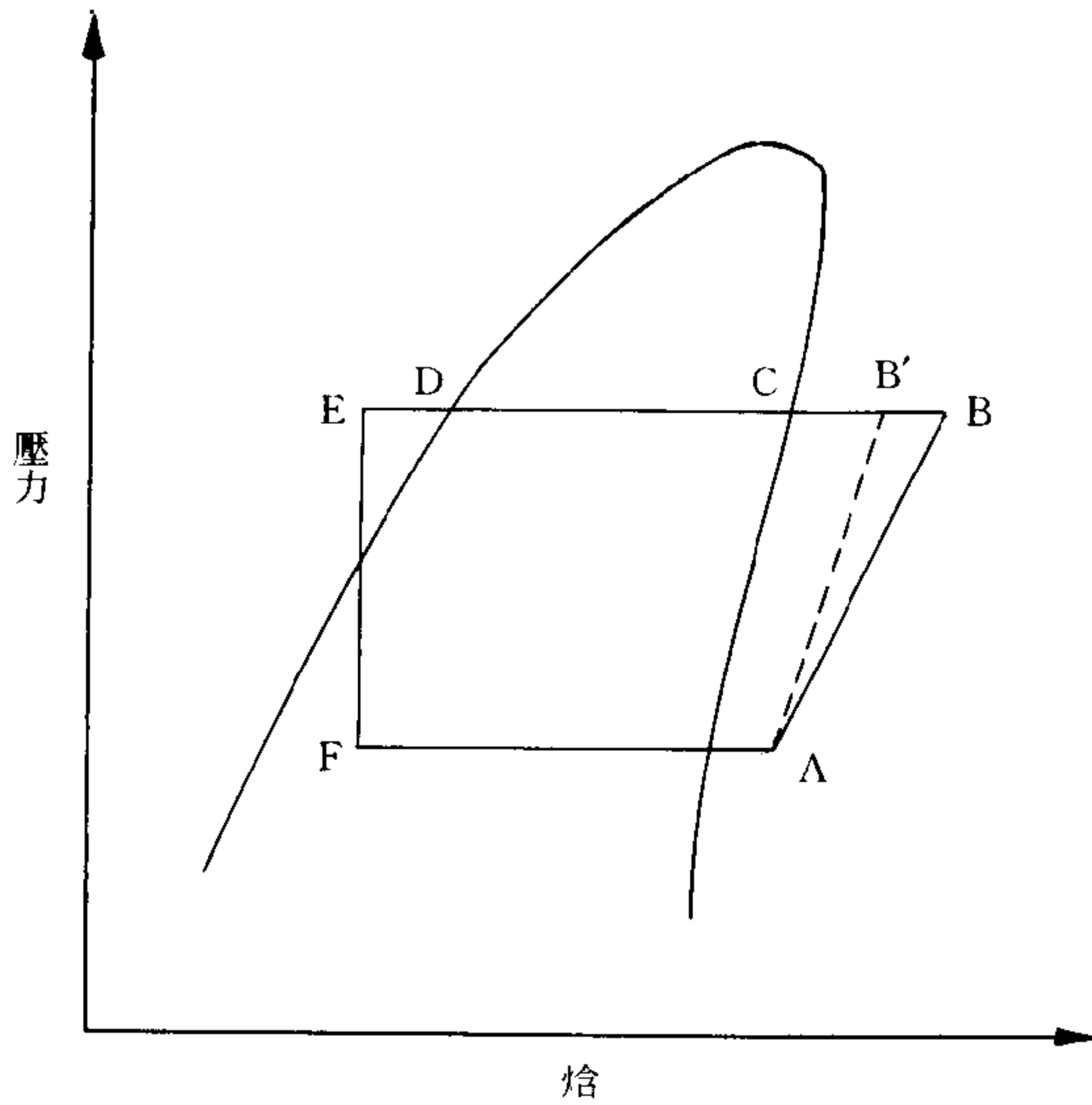


圖3 基本冷凍循環之壓力—焓圖

蒸汽由上方出來，值得注意的是，膨脹閥的安裝應靠近冷媒的入口處而其感溫球則需置於離冷媒出口約50公分左右的位置。

(二) 板式熱交換器之垢阻效應

通常影響熱交換器垢阻效應的因素很多，如溫

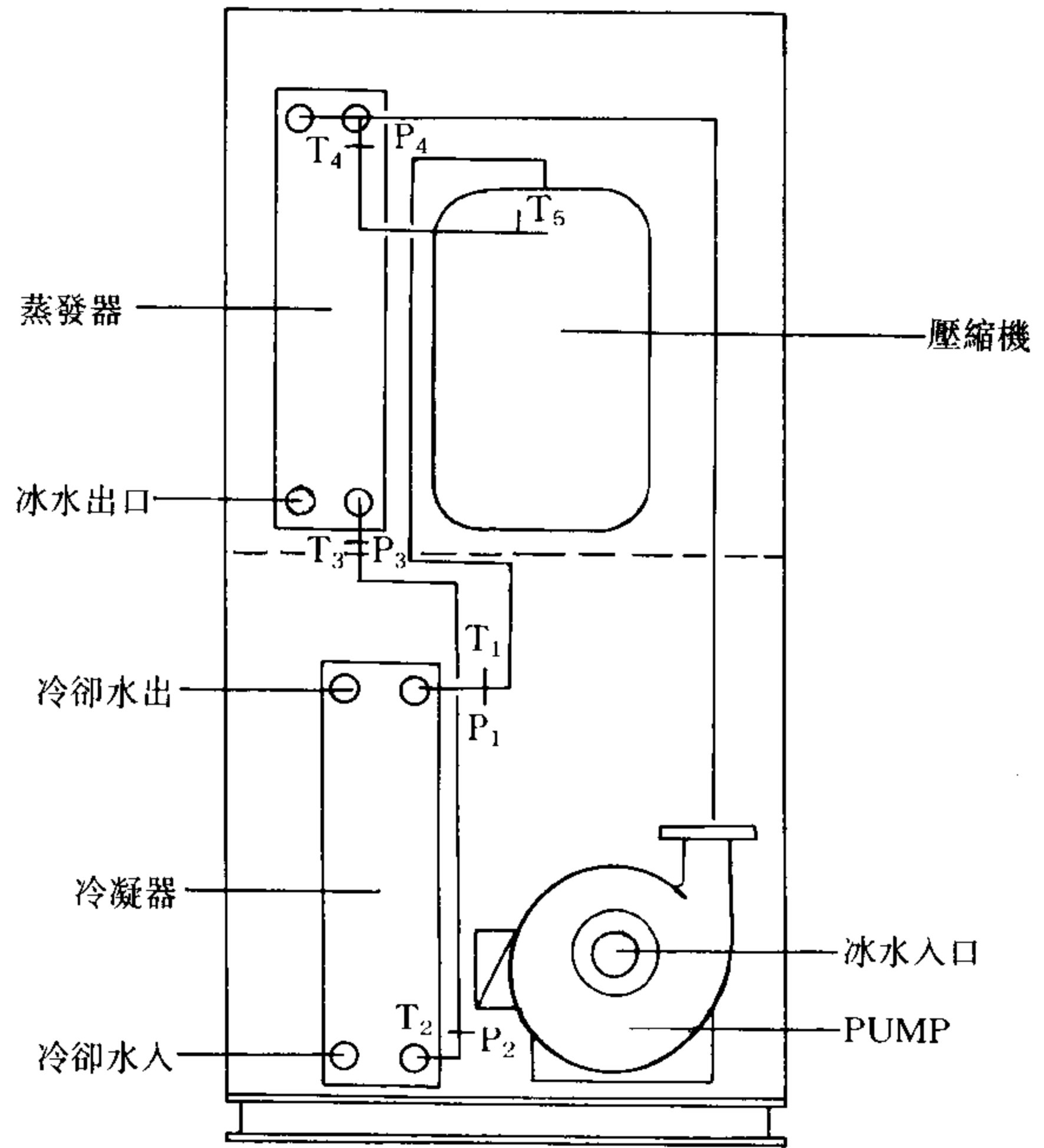


圖4 水冷式冰水機組合簡圖

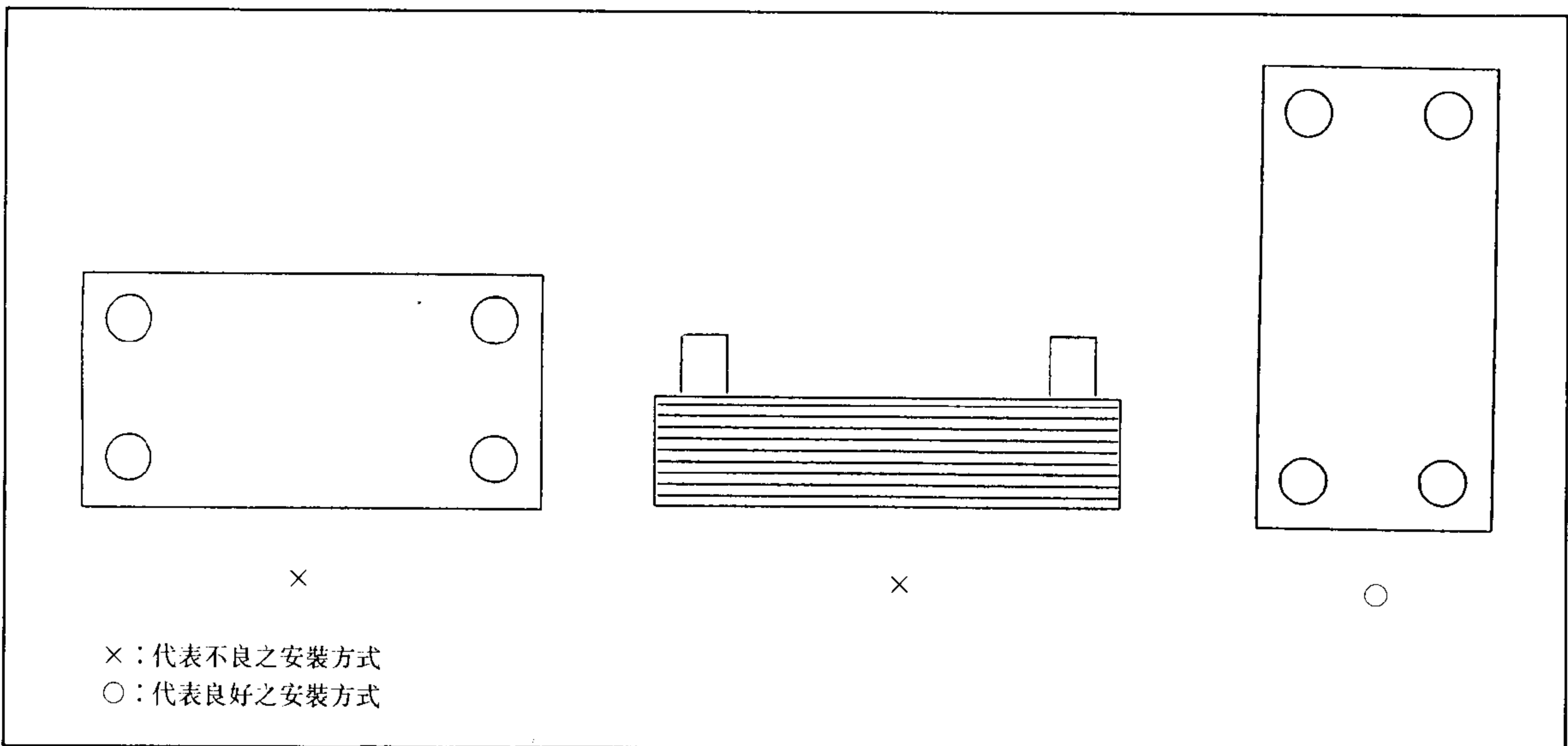


圖5 板式熱交換器安裝示意圖

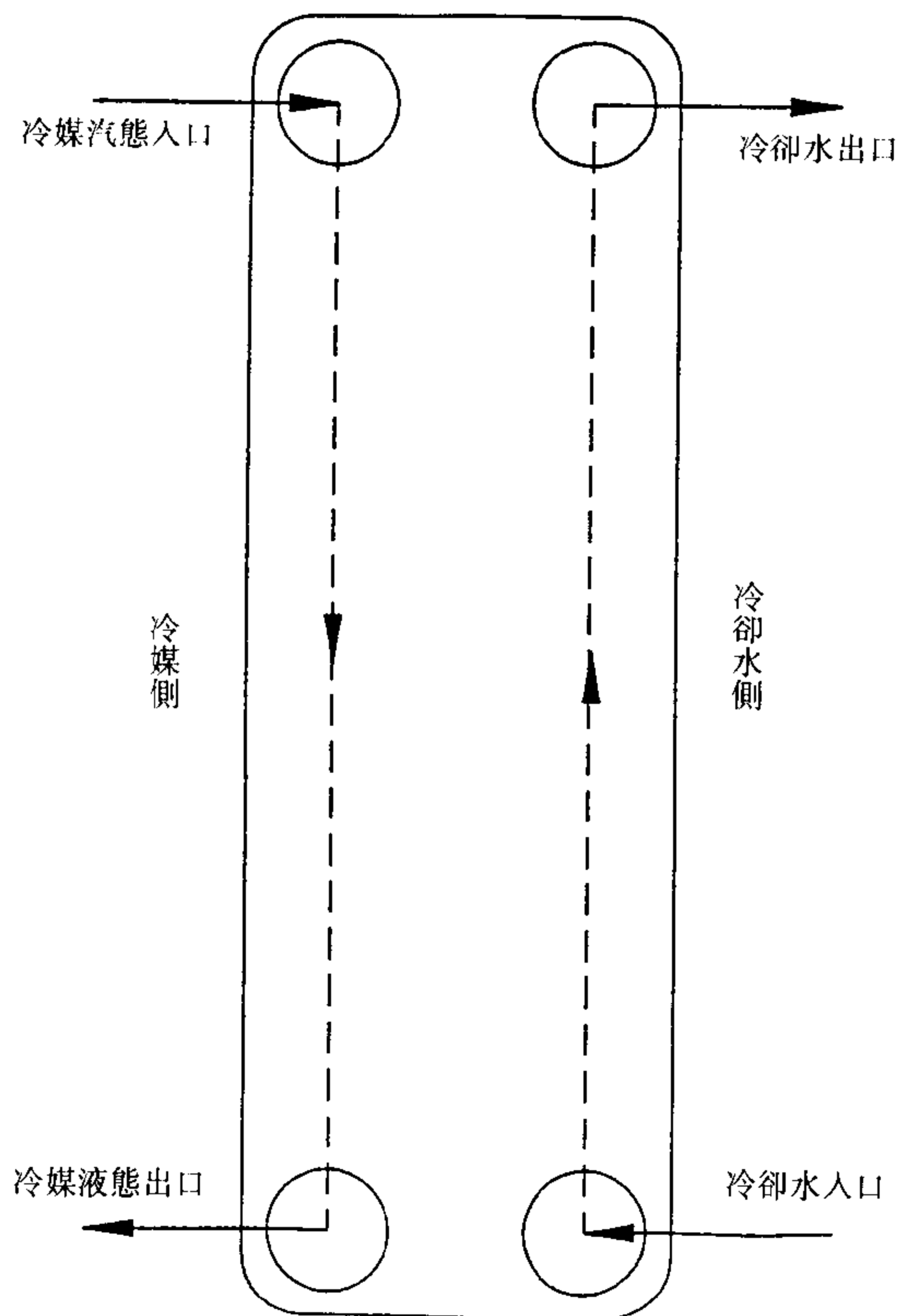


圖6 冷凝器管路安裝示意圖

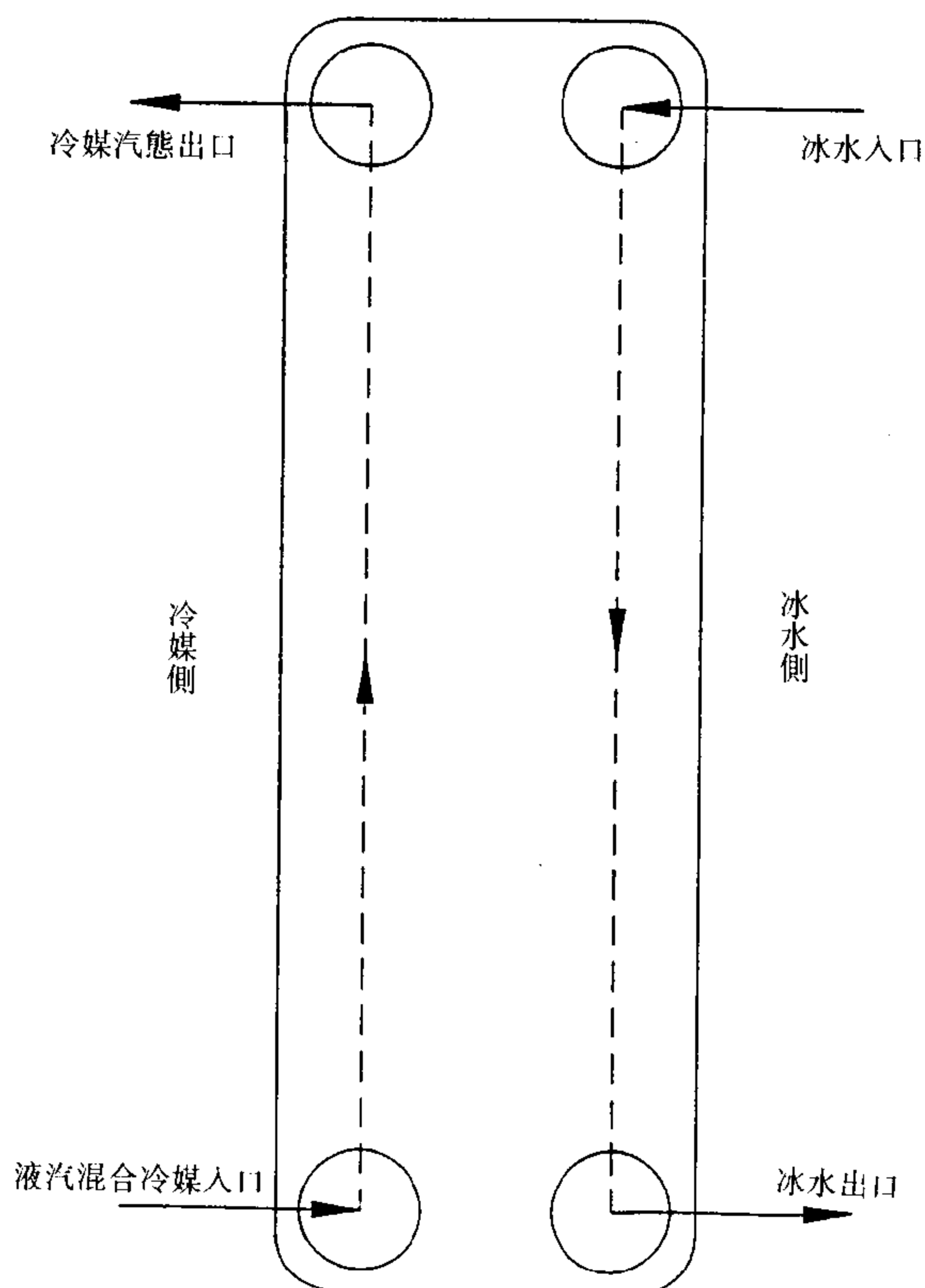


圖7 蒸發器管路安裝示意圖

度高低、流場分佈、速度大小、流路安排、熱交換表面性質及水質均會對垢阻效應產生影響，如前所述，板式熱交換器在構造上及內部流場型式均和傳統使用之殼管式都不一樣，因此其垢阻效應也無任何相似處。通常我們所探討的垢阻效應，一種就是因水中的碳酸鈣等物質在熱交換器表面附著，而形成所謂的水垢（scale），通常這種水垢是隨著溫度、濃度及 pH 值的增高而增加。一般而言，在冷凍系統中的溫度均不致於高至讓水垢大量產生。另一種垢阻效應是由懸浮在水中的物質附著在熱交換器表面而造成的，因此這種垢阻效應常受流體之速度分佈情形，熱交換表面情形及懸浮物質大小等因素之影響。針對這樣的垢阻效應及影響因素，板式熱交換器對垢阻係數有如下的特性：

1. 由於板式熱交換器的特殊設計，因此其內部流場均是在高度的紊流狀態下，同時其在流經每一通路時，又不斷地在改變方向及速度，因此在熱交換表面不易形成邊界層，故即使在低速下，其流體仍能維持在紊流狀態，這種特性，可以使流體

中的懸浮物質不會沈澱，同時由於其強烈的紊流作用，故對熱交換表面有刮除之效果，而有清潔表面的功用。

2. 板式熱交換器的特殊構造及組合方式，使其內部的每一通道均是一樣的，因此流體也可以較均勻的分佈至每一通道內，因此就比較不會有因流體速度減慢，而造成懸浮物沈澱的現象產生，同時在每一通道內的流動，不僅分佈平均且在每一熱交換面上的速度梯度也是非常平均的。
3. 一般粗糙的表面較易形成沈澱，而增加垢阻係數，然而板式熱交換器因板片一般是採用 AISI 316 材質的不銹鋼板片以沖壓方式製造，因此其表面非常光滑，這對垢阻的防止有正面之效果。

從以上之分析，板式熱交換器在理論上應較傳統殼管式熱交換器有較低之垢阻係數（一般而言，在正常情況之下大概只有 20~25% 左右的垢阻係數），然而在國內目前使用情況下，由於水質無法改善及空氣中懸浮物質相當多的情況下，在採用開放式的冷卻系統之冷凍機組中的冷凝器常為垢阻所

困擾，而這問題的解決除了事後之清洗外，只有在事前從設計上來著手，以防止此類垢阻之增加。其方法有：

1. 如果水質易產生垢阻的話，則應增加熱交換器之壓降，否則應儘量減少經過熱交換器的壓降。
2. 如果熱側溫度高或使用硬度較高的冷卻水時，則儘量增加冷卻水側的壓降並減少熱側的壓降，如此可減少冷側的壁溫及增加熱傳面上的剪力，而使水垢不易在熱交換表面形成。
3. 如前所述將板式熱交換器以垂直方式安裝。
4. 考慮採用同向流而不要使用反向流，因如此安排，可以降低冷側的最高溫度，因此可以防止水垢的形成，但這種安排卻會造成熱交換效率之降低。
5. 考慮在入口處加裝過濾器，以防止懸浮物進入板式熱交換器內部。

至於事後的清洗方式通常是以化學藥品採用逆沖洗的方式進行。


(三) 板式熱交換器結冰之影響及防止

通常結冰的情形是發生在水溫低於零度時，也就是過冷狀態是必需的。在一正常運轉情況下，當壁溫達到零度時，冷媒之蒸發溫度已是在零下了，因此如非有足夠的冰水可用來熱交換，則水側可能有結冰的現象發生。另一方面雖然流體整體溫度是在零度以上，但卻因流體是在紊流情況下，因此流體可能因分配及振盪而導致某部分的水溫低至零度以下，因此當某一通路開始結冰後，該通路因而被阻塞，也就是流量降低，這也導致整體溫度更形降低，也就是說壁溫會降的更低，因此造成更多的冰膜形成在壁上，慢慢地就將整個通道都塞住了，如此從一通道延至另一通道，最後造成整個板式熱交換器因結冰而爆破。

爲了防止冰塊在內部的形成通常的作法即是降低冰水溶液的凝固點，這可在加冰水中加些乙二醇或鹽。而一般的作法上爲防止結冰現象的發生，可以從多方面著手：

1. 如前所述，在構造上使最外兩側之通路爲水，因此每一冷媒通道的兩側均被水所包圍，所以冷媒蒸發會較均勻，也可防止蒸發器的出口含有液態冷媒。
2. 增加水側通道的壓降，如此可提高熱傳面之溫度，同時熱傳面上之剪應力也會增加，這兩者均可避免壁面上開始結冰。
3. 增加冰水流量，亦即增加水流速，但也不可過高，以免造成水量分佈不均。
4. 降低冷媒側壓降，以促使壁面溫度提升，雖對結冰有防止作用，但卻會使水的最低溫區和冷媒的最低溫區進行熱交換，而有使冰水溫度下降之虞。
5. 選用適當負荷大小的板式熱交換器，太大的板式熱交換器會造成流場不穩，而衍生控制之問題，太小則會使冷媒在蒸發器內未完全蒸發成過熱蒸汽，也就是說負載太低，致使蒸發溫度下降而導致結冰的困擾。

結 論

板式熱交換器由於具有輕薄短小之特性，在能源幾全仰賴進口的台灣地區，再加上國內土地資源之有限，因此板式熱交換器的應用已是未來的趨勢。目前硬鋁型板式熱交換器已逐漸爲冷凍空調業者所採用。而目前的應用大都是在氣冷式的冰水機組上，因爲在蒸發器的應用上較無問題；然而在水冷式冰水機組上的應用，卻因冷卻水而衍生的垢阻問題，而遲遲未能推廣，雖然垢阻問題可以從冷卻水質的改良，管路的設計及安排，板片模式的設計改良等方面著手，但卻非一蹴可成的事情，故有待國內產官學研更進一步的尋求解決之道。同時板式熱交換器在應用上之垢阻及結冰現象之發生及防止，常會和熱交換器的性能有所衝突，因此如何在這之間取得較佳的平衡點，則是在板式熱交換器之應用推廣及研究上亟待突破之處。 

(楊先生現任職於工研院能資所)