板框式熱交換器

姚明華　譯

板框式熱交換器（亦簡稱爲板式熱交換器，Plate and Frame Heat Exchanger）具有結構緊密、提供高熱傳係數、低結垢係數及易清理保養等特點，使其在製程熱傳的運用上有愈來愈多的趨勢。在早期，其多運用在液一液的熱傳上，現在使用於冷凝或沸騰操作的例子逐漸增加。

板式熱交換器的原始概念在一個世紀前就已被提出，而第一個成功的商用設計例是由APV（Aluminium Plant and Vessel CO., Ltd.）公司於 1923 年完成。

圖1爲板式熱交換器及其各部名稱。由圖中可知，其爲一群有縐褶的板被緊密地夾於外框中所構成。板與板間以具彈性的墊圈間隔，以分隔兩流體的流動區域（見圖2）。板的型式及板的排列方式決定兩流體的流動方向，圖3爲兩流體爲逆向流動的組合方式。目前，一個板式熱交換器可提供的總傳熱面積高達 20,000 ft^2，可處理流體速率達到 18,000 gal／min，設計壓力達 350 psi。現將框與板的構造詳述如下：

1.框（frame）

框是由頭（head）、端板（follower）、頂導桿、底導桿、連結桿、螺栓和尾支撐柱所組成的一個堅固結構體，其目的在固定板及施壓使墊圈緊密接觸。頭是框的固定端，若板式熱交換器爲單流程（single-pass）設計，則冷熱流體的進出口管嘴皆在頭上。端板爲可移動端，其與頭將板群固定及夾緊，若熱交換器爲多流程（multi-pass）設計，則液體側管嘴可設置於其上。管嘴的型式可以是法蘭式，螺紋式或槽溝式。頂導桿及底導桿的功用是導引板及端板的放置。連結桿是用來鎖緊頭、端板及板群。

2.板（plate）

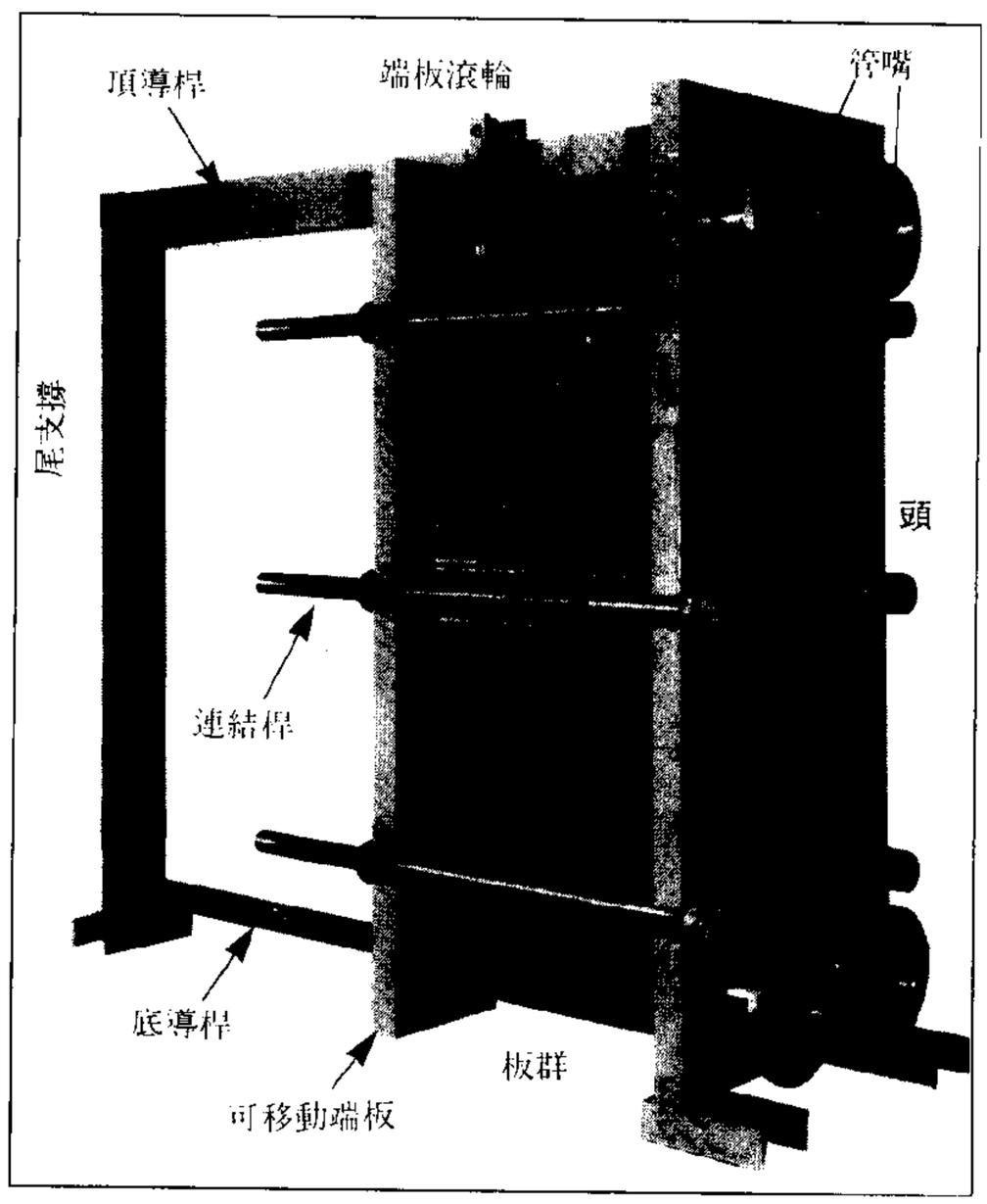

圖1　板式熱交換器各部名稱

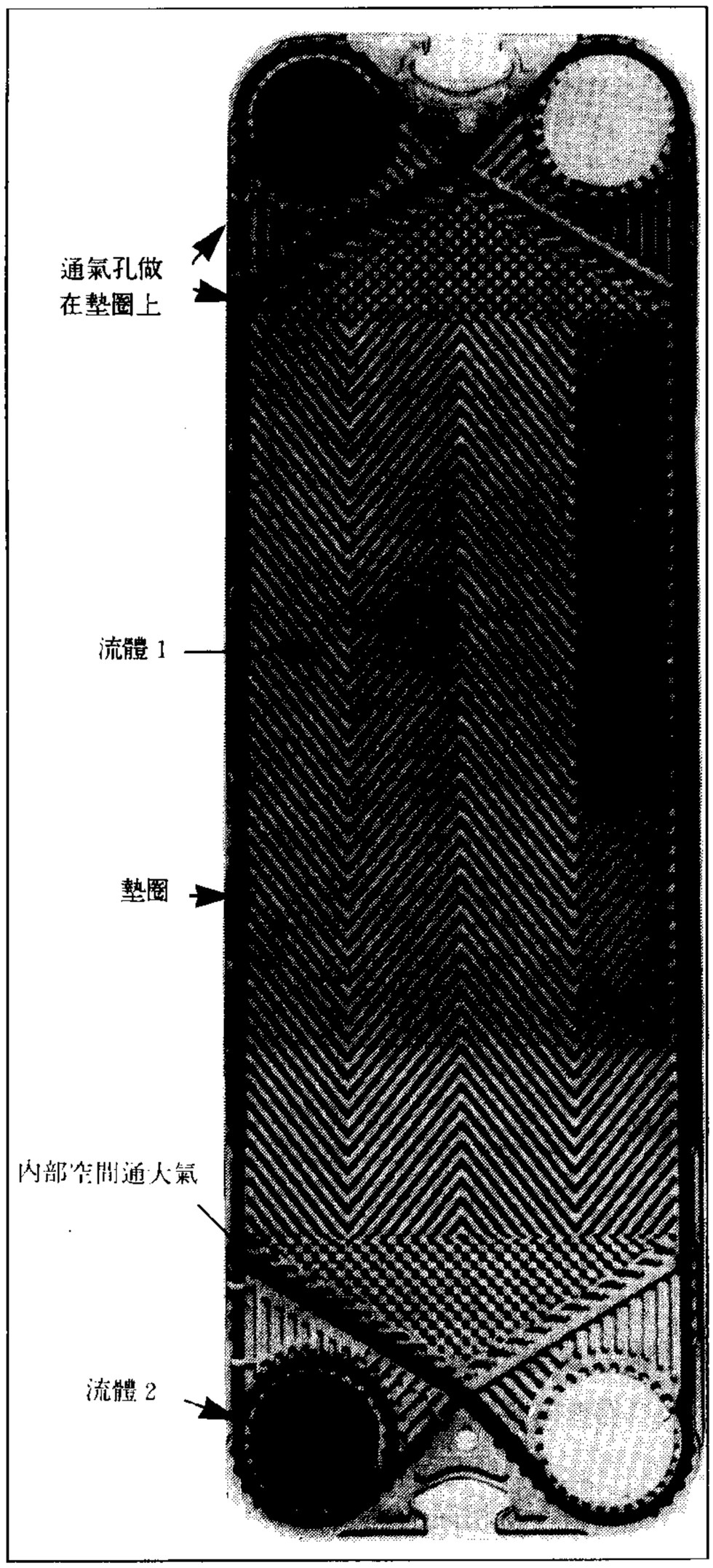

圖 2　板上墊圈的功用：(1)隔開兩流體流動區域，(2)提供通大氣的通氣孔

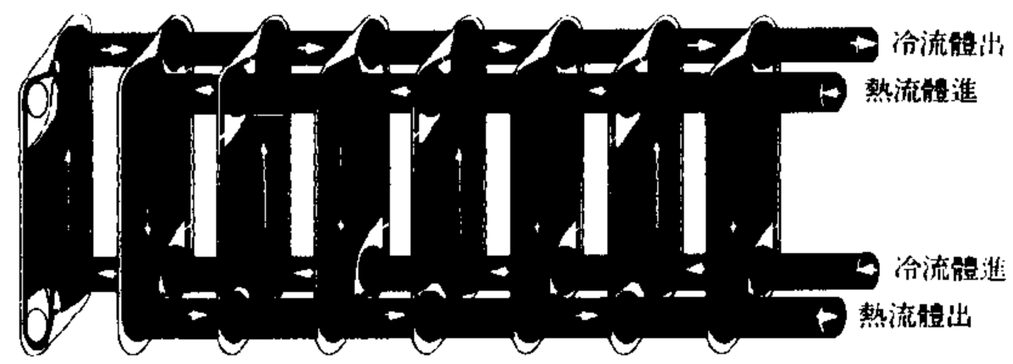

圖 3　冷熱流體在板的兩側逆向流動

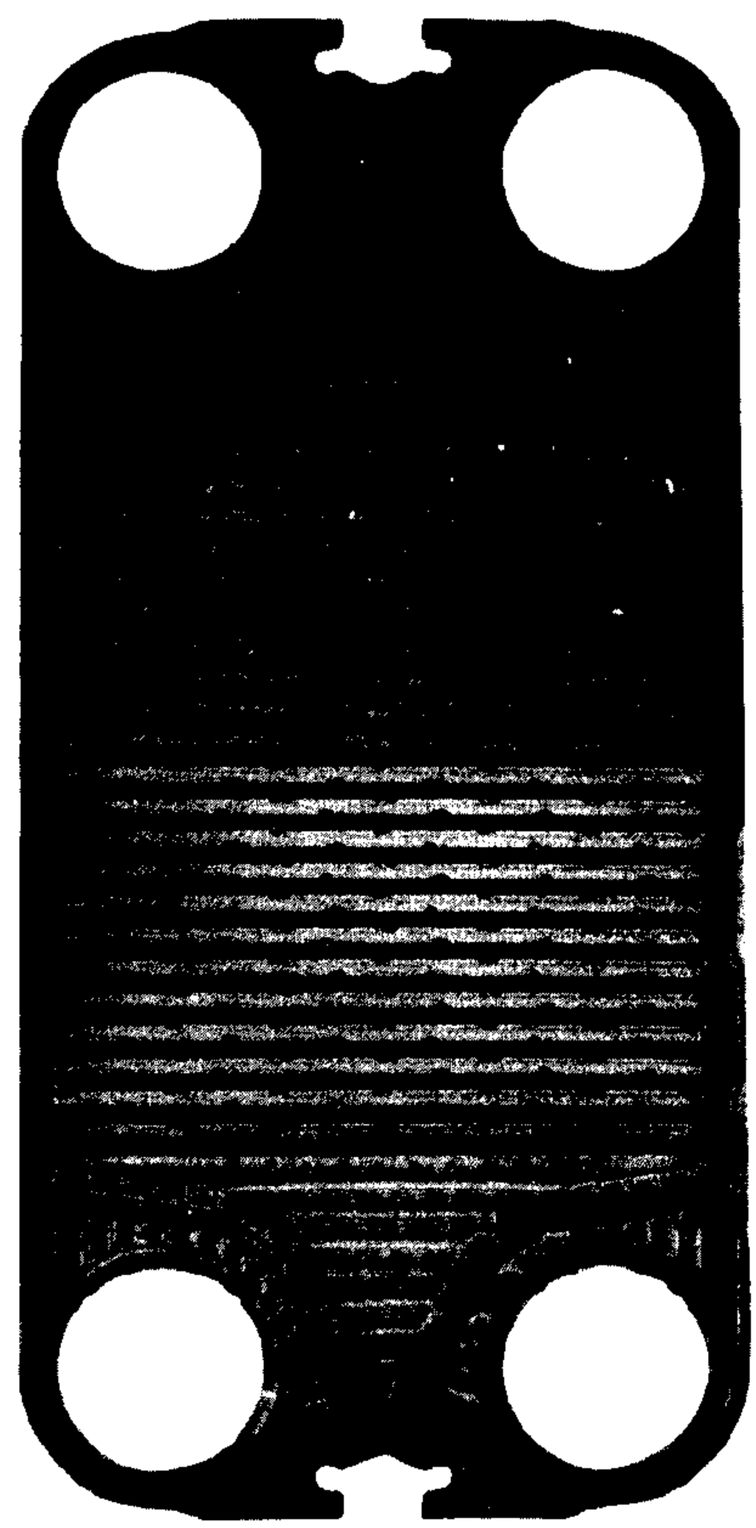

圖 4　如洗衣板縐褶的板使流體成帶狀流流動

板群被固定於頭與端板間，形成獨立的兩流路。板上有縐褶，其目的有二；一爲增進流體的擾動，一爲增加板群的強度以抵抗流體的壓力。板，一般由 0.02～0.036 in厚的金屬板製成。適當的板設計及板厚，由製造商依熱傳需求及設計壓力決定之。

板縐褶的型式主要有兩種：一爲洗衣板（wash board）式的縐褶，如圖4所示。此種縐褶與流體流動方向呈直角，板與板間維持些微距離以形成流體通路，流體流經此板形成帶狀流（ribbon flow path）。流體通路的間隔依板的設計而定，通常爲 0.15in 至 0.39in；另一爲人字型（chevron）縐褶，此種縐褶型式最爲常用。縐褶與流動方向呈一角度，以相反的板或角度不同的板直接接觸形成流體通路，流體流經此板分散成許多高度擾動的小渦流。圖5爲 0° 與 50° 角的人字型縐褶板（從水平

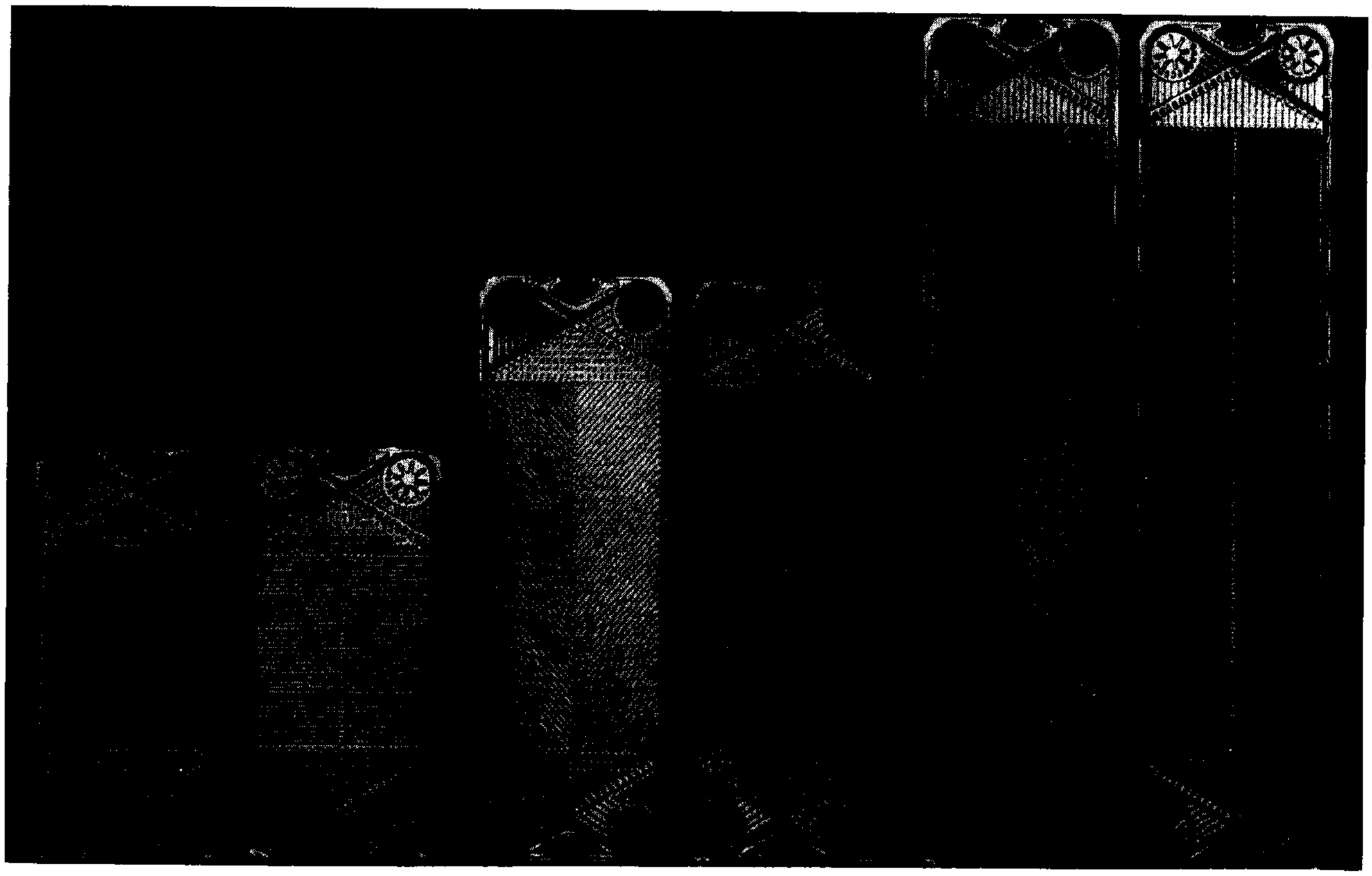

圖 5　各式各樣的板

量起）。流體通路的間隔通常爲 0.08in 至 0.25in 。板的材質依製程流體物性而決定，目前可用材質有不銹鋼、鈦、鎳及鎳合金（如 Hastelloys、Incoloy、Inconel 和 Monel）等。墊圈的材質取決於流體的腐蝕性及溫度，表 1 爲數種常用的墊圈材質及其應用範圍。最近發展出一種新的焊接板對（welded-plate-pair），其爲兩個板以焊接的方式接合在一起，如此可減少一半墊圈的需求，並可運用在高腐蝕及高溫的操作上。

板式熱交換器有六大優點：

1. 高熱傳係數，原因如下：
   (1)因爲板的縐褶，當雷諾數（Reynolds No.）達 150 時流體即成擾流。當壓降爲 20psi 時，總熱傳係數可達 1500 Btu／h · ft² · ℉ 。
   (2)以熱傳單位（heat-transfer units，HTU）來比較，在流體逆向流動的情況下，傳統殼管式熱交換器的HTU值僅 0.3 左右，洗衣板式縐褶的板式熱交換器的 HTU 值爲 0.6 到 2.0 間【註 1】，人字型縐褶的板式熱交換器 HTU值達 1.0 至 6.0【註 2】。
   (3)因爲板的厚度較管的厚度薄，故金屬熱阻亦較小。
2. 結構緊密：在相同的熱負荷下，板式熱交換所需佔用的地板面積，僅其他型式熱交換器的1／4到1／10 。
3. 易清理：板式熱交換器充分運用所有的傳熱面積，無死角存在，避免灰塵或其他雜質的累積。結垢係數小。且可在現場進行清理的工作。
4. 易接近（accessibility）：板的兩側可以很容易地被接觸到，進行檢查、保養和清潔等工作。
5. 適應性（flexibility）：板式熱交換器可容易地藉增板、減板或重新排列板的手段以達成製程的熱傳需求，且使其在最佳的狀況下操作。
6. 經濟性：因高熱傳係數使得所需熱傳面積較小，可降低設備成本。此外，較小的裝置空間、易保養清理、提高能量回收效率…等，皆有利於降低

表1　墊圈材質的選擇

材　　質	最大操作溫度	應　　用
腈橡膠	275 ℉	水、油性物質、脂肪類碳氫化合物
乙烯－丙烯雙烯單體	350 ℉	高溫狀況
以樹脂改性的丁基橡膠	300 ℉	醛、酮和部分酯類
氟碳橡膠	350 ℉	礦物油、燃油、蔬菜及動物油

成本。

雖然目前有些軟體可進行板式熱交換器的設計計算，如HTRI等，但因各製造商對板的設計皆不相同，板的特性其最爲清楚，故設計工作交給廠商較爲適合，**表2**爲請廠商設計板式熱交換器所必須提供的資料。

【註1】：洗表板式縐褶的板式熱交換器，降低流體通路間隔、減少縐褶間距或增加板長，可增加其HTU值。因板與板之間的接觸點較少，爲抵抗流體壓力，其板厚通常大於人字型縐褶板。但其較大的流體通路間隔及較少的接觸點，使其適用於較髒的流體。

【註2】：人字型縐褶的板式熱交換器，降低流體通路間隔、增加板長或減少縐褶與水平之間的角度，可增加其HTU值。用在清潔的流體時，其流體通路間隔爲0.08in 至 0.16in，較大流體通路間隔（如 0.25in ）的人字型縐褶板可用來取代洗衣板式的縐褶板，以減少板厚，降低成本。

表2　提供下列資料供製造商設計及估價—板式熱交換器

	熱流體	冷流體
流體名稱及組成		
流率		
進口溫度		
出口溫度		
最大允許壓降		
最大操作壓力		
比重		
比熱（在平均溫度下）		
導熱度（在平均溫度下）		
平均溫度		
在操作範圍內，數個不同溫度下的黏度		
不溶固體含量（%）		
固體性質（如纖維、粉末、大小）		
流體變動（如果有的話）		
希望使用材質 板 _____ 墊圈		
未來擴充需求		

（本文譯自“Understand the Capabilities of Plate-and-Frame Heat Exchangers”，CEP，July 1992）

（姚先生現任中鼎工程公司方法工程師）