

知識物件上傳表

計畫名稱：地熱溫泉能源多元開發關鍵技術研發計畫

上傳主題：PCHE 層板式熱交換器於能源領域應用開發探討

提報機構：財團法人金屬工業研究發展中心

提報時間：109 年 11 月 16 日

與計畫相關	<input checked="" type="checkbox"/> 1. 是 <input type="checkbox"/> 2. 否
國別	<input checked="" type="checkbox"/> 1. 國內 <input type="checkbox"/> 2. 國外：
能源業務	<input type="checkbox"/> 1. 能源政策(包含政策工具及碳交易、碳稅等) <input type="checkbox"/> 2. 石油及瓦斯 <input type="checkbox"/> 3. 電力及煤碳(包含電力供應、輸配、煤炭、核能等) <input checked="" type="checkbox"/> 4. 新及再生能源 <input type="checkbox"/> 5. 節約能源(包含工業、住商、運輸等部門) <input type="checkbox"/> 6. 其他
能源領域	<input type="checkbox"/> 1. 能源總體政策與法規 <input type="checkbox"/> 2. 能源安全 <input type="checkbox"/> 3. 能源供需 <input type="checkbox"/> 4. 能源環境 <input type="checkbox"/> 5. 能源價格 <input type="checkbox"/> 6. 能源經濟 <input checked="" type="checkbox"/> 7. 能源科技 <input type="checkbox"/> 8. 能源產業 <input type="checkbox"/> 9. 能源措施 <input type="checkbox"/> 10. 能源推廣 <input type="checkbox"/> 11. 能源統計 <input type="checkbox"/> 12. 國際合作
決策知識類別	<input type="checkbox"/> 1. 建言 (策略、政策、措施、法規) <input checked="" type="checkbox"/> 2. 評析(先進技術或方法、策略、政策、措施、法規) <input type="checkbox"/> 3. 標竿及統計數據：技術或方法、產業、市場等趨勢分析 <input type="checkbox"/> 4. 其他：
重點摘述	<p>因應近期蓬勃發展之超臨界二氧化碳熱發電或其他高壓流體創能或節能系統之需求，系統於熱能擷取需導入高效率、耐高壓及高溫之熱能導引關鍵模組(含熱交換器、復熱器等)，而現行業界廣泛使用之殼管式熱交換器與硬鋁版式熱交換器存在體積、耐壓或流量等瓶頸考量，故本文藉由應用方式、技術盤點與特性比較，探討層板式 PCHE(Printed Circuit Heat Exchanger) 此型熱交換器的應用機會與開發方向。</p>

一、前言

本文探討層板式PCHE(Printed Circuit Heat Exchanger)此型熱交換器的應用機會與開發方向，該熱交換器得名於其層板上之流道於以往常由化學蝕刻技術加工而成，與蓬勃發展的電路板製作技術相近，故推測產生此命名方式。綜觀熱交換器於各產業應用已存在長久時間，依統計分析資料，在本國熱交換器的生產成本中，材料費約佔 60%，加工費約佔 25%，管理費約佔9%，其它約佔 6%。台灣每年的需求量約在20 億以上(工業用)，而整體依應用簡易分類如下所示：

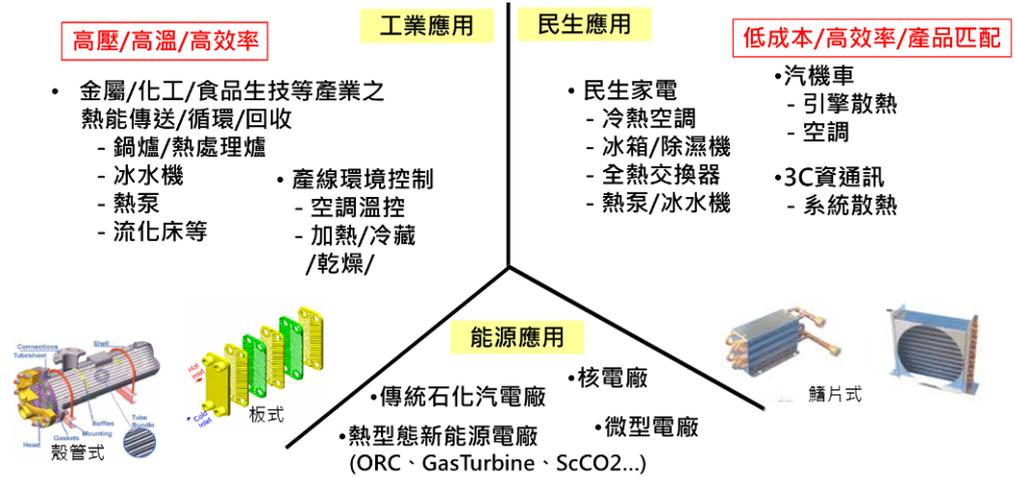


圖1. 熱交換器於各產業應用分類概要

詳細說明

二、熱交換器發展與應用基礎架構

熱交換器產業應用類別，由其應用方式與架構差異，又有加熱器 (Heater)、過熱器 (Superheater)、再熱器 (Reheater)、再生器 (Regenerator)、蒸發器 (Evaporator)、凝結器 (Condenser)、散熱器 (Radiator)、冷卻器 (Cooler)、廢熱回收器 (Waste heat recovery) 及重沸器 (Re-boiler) 等名稱。而發展熱交換器所需技術，可用下列魚骨圖簡要點出：



圖2. 熱交換器發展技術魚骨圖

三、 熱交換器之應用比較概論

因應各類創能節能領域，系統於熱能擷取需高效率、耐高壓及高溫之熱能導引關鍵模組(含熱交換器、復熱器等)需求，現行業界廣泛使用之殼管式熱交換器(Shell and Tube Heat Exchanger)雖可承受高壓高溫應用，但於熱交換效率上卻存在快速熱傳交換限制，且建置體積規模龐大不利於整體系統建置發展。另在製程熱交換常用之硬鈎版式熱交換器(BPHE, Brazed Plate Heat Exchanger)雖具良好熱交換效率，但受限於薄板組合及銅、鎳硬鈎技術之限制，可耐壓耐溫約在200°C及14 MPa以下，就近期發展超臨界二氧化碳熱發電或高壓流體系統之需求，也有一定限制。另就建置規模與體積成本比較方面，若先不論效率，僅以體積規模為考慮；舉國外研究案例，以4MW能量規模應用場域為例，傳統的殼管式熱交換器其體積架構仍屬龐大，與PCHE(Printed Circuit Heat Exchanger)層板式熱交換器比較，如下Heatric公司發表資料所示，其體積與重量可達6倍差異：



Image showing equivalent size and weight comparison between a PCHE exchanger (foreground) and a shell and tube exchanger for a 4MW gas/gas compression cooling duty.

圖3. 傳統殼管式與PCHE熱交換器之體積比較

而在應用溫域與壓力與方面，若以BPHE板式及PCHE層板式熱交換器兩者之條件做比較，則可用涵蓋範圍亦有極大差異：

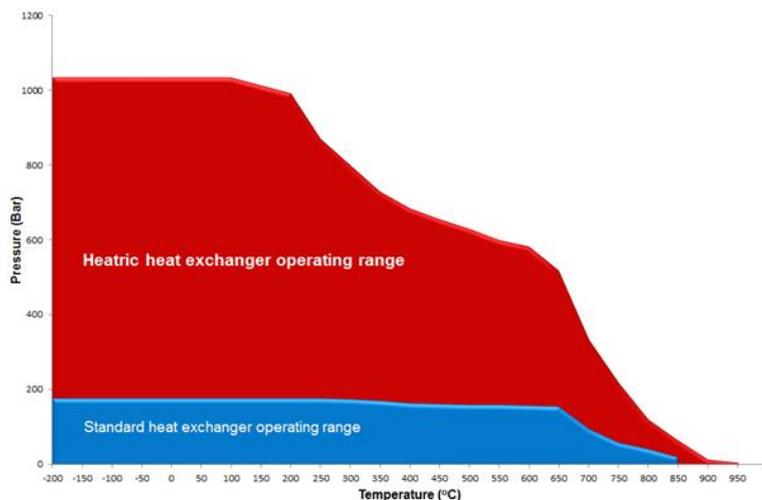


圖4. 傳統BPHE板式與PCHE熱交換器之應用溫度/壓力域比較

由“Compact heat exchangers: A review and future applications for a new generation of high temperature solar receivers”一文，亦針對各型板式熱交換器特性與適用條件，整理運用特性：

表1. 各類型板式熱交換器操作條件範圍

Types of PHE	Plate patterns	Operating temperature (°C)	Maximum pressure (bar)	Flow rate (m ³ /h)	Heat transfer area (m ²)	Main products in the market
Gasketed conventional	Herringbone Zigzag	Rubber: -35 to 200 Graphite: -20 to 250	35	0-5768	0.1-3800/unit 0.02-5/plate	GEA-Ecoflex APV-ParaFlow Tranter-Superchanger-GC & GL
Wide-gap	Washboard Wide-Gap	-35 to 200	16	2000	1472.5/unit 0.28-1.56/plate	GEA-Ecoflex-Free Flow Tranter-Superchanger-GF
Double-wall	Herringbone Zigzag	-35 to 200	16	200	400/unit	APV-Easy flow Alfa Laval Tranter-GD
Brazed	Herringbone	-195 to 225	45	160	75/unit	GEA-Safetytherm APV-Duo Safety APV
Semi-welded	Herringbone Zigzag	-45 to 220	40	970	2500/unit 0.16-1.82/plate	Alfa Laval GEA-EcoBraze APV-Paraweld Alfa Laval Tranter GEA-EcoFlex-LWC Alfa Laval
AlfaRex	Herringbone	-50 to 350	40	700	250/unit 2.056-8.4/plate	Tranter Tranter-Ultramax GEA-Ecoweld-Bloc Alfa Laval-Compabloc GEA-Ecoweld-Flex APV-Hybrid
Maxchanger Compabloc	Dimpled Herringbone Dimpled	-195 to 540 (538 ^a) -195.5 to 350 (170 ^a)	115 45	15 4000	4/unit 0.7-840/unit 0.061-0.989/plate	Alfa Laval-Disc Tranter-Supermax GEA-EcoWeld-Shell Vahterus APV-Parashell Alfa Laval
Hybrid	Hybrid	-200 to 900	80	-	6-8000/unit	
Shell & Plate	Herringbone	-200 to 950(230 ^a)	200	1000	0.025-1.55/plate	
Packinox	Herringbone	550	120 (40 ^b)	-	1000-20,000/unit	

^a Maximum differential temperature.
^b Maximum differential pressure.

四、PCHE層板式熱交換器之開發評估

故因應近期蓬勃發展之超臨界二氧化碳熱發電或其他高壓流體創能或節能系統之需求，評估高效層板式PCHE類型熱交換器開發：

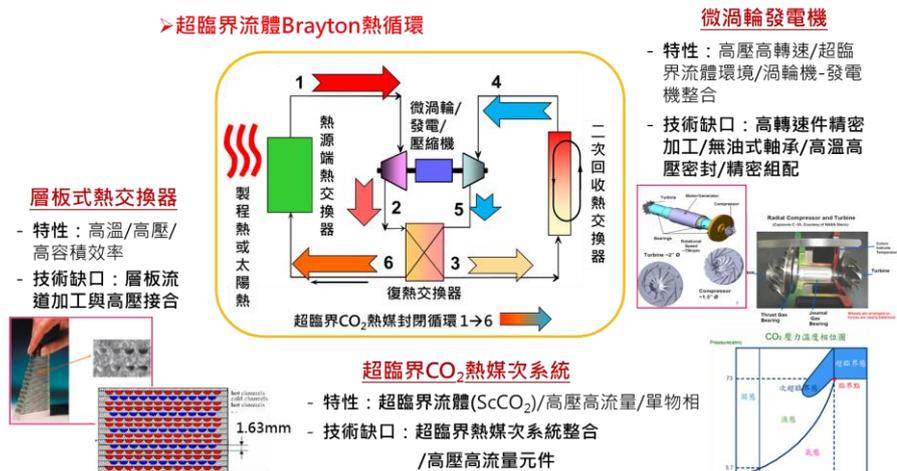


圖5. PCHE層板式熱交換器於超臨界二氧化碳熱發電系統之應用例
該型熱交換器相較傳統管殼式或硬鋸板式熱交換器，所具特性差異：

- 高效率熱傳性能
- 體積小、重量輕、耐用、成本低

- 適用高壓力工作系統
- 適用高溫溫度工作系統
- 低壓降以及耐腐蝕性高
- 無墊片不外漏：安裝容易、更換容易、保養需求少

在PCHE熱交換器開發技術層面，由設計分析技術先行盤點與規劃，包括a. 熱導引工作流體熱流性質分析；b. 層板流道設計工程模擬；及c. 層板材料耐溫耐壓分析等技術。而在製程面，則由耐高壓及高溫之層板硬焊能力需求進行探討，選擇運用真空擴散焊接技術，後續則由擴散焊接製程技術、前段層板流道預加工及擴散焊接真空加壓設備建置所需技術與關鍵要點進行評估。其開發程序如下呈現：

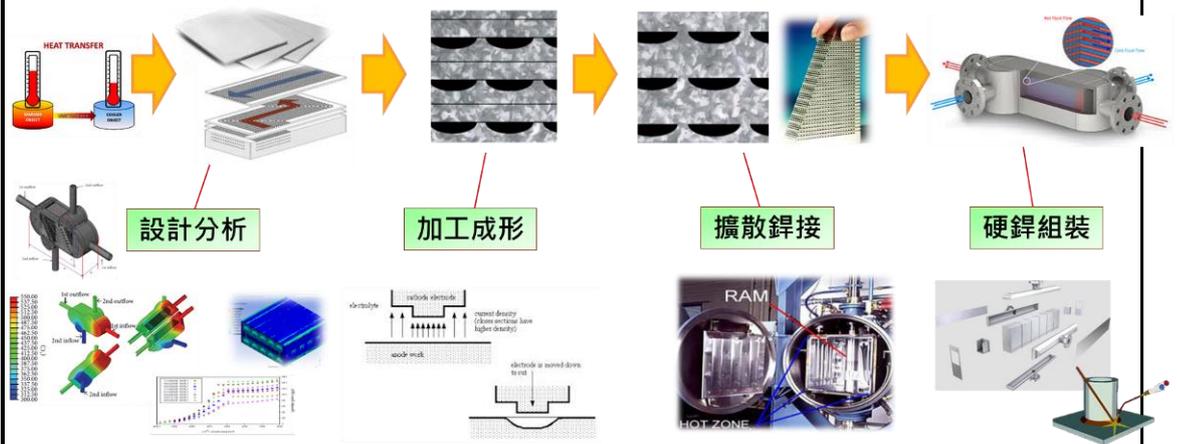


圖6. PCHE熱交換器開發流程

而對應PCHE熱交換器各開發階段之技術要點，如下表所列：

表2. PCHE熱交換器開發流程

設計分析	加工成形	擴散銲接	硬銲組裝
<ul style="list-style-type: none"> • 熱交換模組規格設計 • 層板材料耐溫耐壓分析 • 層板流道結構設計分析 • 流道熱流性質分析 • 流道設計工程模擬 	<ul style="list-style-type: none"> • 層板面粗度/平坦度研磨 • 層板流道結構成形加工 • 層板流道表面處理 	<ul style="list-style-type: none"> • 真空擴散銲接設備建置 • (真空腔體/油壓/熱源複合) • 銲接堆疊定位治具開發 • 真空擴散銲接製程監控(真空/溫度/壓力/時間控制) 	<ul style="list-style-type: none"> • 管接頭硬銲接合 • 結構殼件硬銲組裝 • 隔熱材組裝配置

五、 PCHE層板式熱交換器開發先期測試

金屬中心科研團隊就PCHE層板式熱交換器開發，已先就其層板流道設計與熱流模擬技術建立進行探討，並結合本國產業自主開發掌握之真空擴散焊接製程技術，進行不鏽鋼層板接合及PCHE熱交換器雛型試製，將以此為基礎持續累積建立開發與製造技術能量。

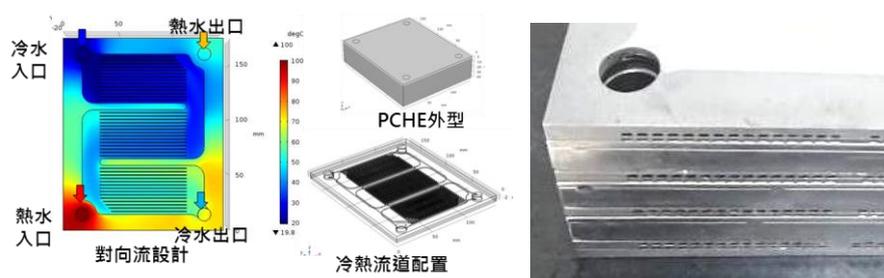


圖7. (左)PCHE層板式熱交換器設計與熱流分析；(右)試製雛形

參考文獻:

- [1] 金屬中心，「超臨界 CO₂ 熱發電系統模組創新前瞻計畫」，103 年度新及再生能源技術先期研發計畫書，2014。
- [2] 金屬中心，「地熱溫泉熱發電模組技術探索創新前瞻計畫」，109 年度新及再生能源前瞻技術掃描評估及研發推動計畫研究報告，2020。
- [3] Steven A. Wright, Ross F. Radel, Milton E. Vernon, Gary E. Rochau, and Paul S. Pickard, “Operation and Analysis of a Supercritical CO₂ Brayton Cycle”, Sandia Report, SAND2010-0171, 2010.
- [4] Wright S.A., Fuller R., et. al. , “Operational Results of a Closed Brayton Cycle Test-Loop,” Proceedings of Space Technology and Applications International Forum (STAI-2005), February, AIP Conference, Proceedings, Albuquerque, NM, February 2005.
- [5] Qi Li, Gilles Flamant, Xigang Yuan, Pierre Neveu, Lingai Luo, “Compact heat exchangers: A review and future applications for a new generation of high temperature solar receivers”, Renewable and Sustainable Energy Reviews, Vol. 15, Issue 9, December 2011, Pages 4855-4875.
- [6] Heatric, <https://www.heatric.com/heat-exchangers/>

註：1.請計畫執行單位上傳提供較具策略性的知識物件，不限計畫執行有關內容。

2.請計畫執行單位每季更新與上傳一次，另有新增政策建議可隨時上傳。

3.文字精要具體，量化數據盡量輔以圖表說明。