

◎行政院暨所屬機關因公出國人員報告書  
(出國類別：其他-國際會議)

赴日本京都參加第十五屆國際傳熱研討會

出國人：服務機關：台灣中油公司煉製研究所  
職務：化學工程師  
姓名：蕭秀雄  
出國地點：日本京都  
出國期間：103年8月10日至8月15日  
報告日期：103年11月6日

## 壹、摘要

每四年舉辦一次之國際傳熱研討會(International Heat Transfer Conference, 簡稱 IHTC)之主要宗旨是創建一個世界性熱傳論壇, 提供傳熱專家們提出研究成果, 討論傳熱技術進展, 並確定熱科學與工程的各個領域之未來發展方向和重點。第十五屆研討會是在日本國立京都會議中心舉行。來自 43 國家地區總共有 1177 註冊參加, 是歷屆參加人數最多的。本次研討會之論文品質審查嚴謹, 最終接受論文數為 699 篇佔初審論文數的 53%。

選擇參加與化學工業較有關的主題場次, 主要是熱交換器(Heat Exchanger), 傳熱提升(Heat Transfer Enhancement), 熱管(Heat Pipe), 沸騰(Flow Boiling 與 Pool Boiling)與熱能回收: 包括在能源轉換與儲存(Energy Conversion and Storage)與熱電轉換設施(Thermoelectric Devices)等。選出 6 篇最引起我關注的論文詳述內容、心得與相關建議。

傳熱是石化與煉油製程相當重要的操作單元, 熱能更有效能地傳遞, 例如沸騰、冷凝與單相間對流傳熱效能提昇, 不但可反應在熱交換器建造成本降低上, 也會反應在工場操作成本上。參加本次國際傳熱研討會, 有親身與各專家討教, 從年會上的論文, 吸取先進傳熱技術與經驗, 對本公司工場擴大產能與節省能耗, 將會很有助益。

本公司煉油廠與石化廠許多廢熱未善加利用, 例如蒸餾塔塔頂蒸汽(vapor)送往空氣冷凝器冷凝成液體, 換言之, 將蒸汽的潛熱排放至大氣, 殊為可惜。應該研究利用 ORGANIC RANKINE CYCLE 技術將這些能量轉換成電能, 增加工場的操作效益。此外, 熱能直接經由半導體元件轉換成電能之技術發展, 是很值得關注的, 如果此技術成熟, 則工場熱能將會有長足的進步。

化學熱泵可以將提升熱能溫度水平, 善加利用, 可以回收低水

平熱能。熱管在煉油與石化業，可用在燃燒爐煙道氣熱能回收，亦即燃燒爐的煙道氣藉助熱管將熱能傳遞予燃燒爐進料空氣。這次日本專家所提議的熱管應用於核能電廠之核子堆反應爐核芯緊急冷卻與貧核燃料水池的冷卻熱值得台灣參考評估。

## 貳、目的與行程

此行之目的係參加於日本舉行京都的第十五屆國際傳熱研討會 (The 15th International Heat Transfer Conference (IHTC-15))，蒐集相關傳熱與質傳領域之最新信息、知識、技術與應用經驗。每四年召開一次的國際傳熱大會，有“傳熱奧林匹克”暱稱，是世界上首屈一指的會議，為在傳熱與質傳領域的科學家和工程師，提供最新信息、知識與應用經驗交流平台。熱能為本公司各個生產製程的生產要素之一，熱能傳遞的效率提升將會體現在能源節約、生產設備效能與減少二氧化碳之排放，對本公司各個生產工場相當重要，值得參加。

出國行程表列於下表：

出國行程表

起迄日期	天數	到達地點	詳細工作內容
103.8.10	1	桃園-京都	由桃園國際機場啟程經大阪至京都
103.8.11-103.8.14	4	京都	第十五屆國際熱傳研討會
103.8.15	1	京都-桃園	該日會議結束後，由京都經大阪返程回桃園國際機場
合計	6		

## 參、國際傳熱研討會與會議場址簡介

每四年舉辦一次之國際傳熱研討會(International Heat Transfer Conference, 簡稱 IHTC)之常設主導機構是國際傳熱研討會大會(The Assembly for International Heat Transfer Conferences, 簡稱 AIHTC, 網址為 <http://www.aihtc.org/>), 它的歷史始於 1951 年在倫敦舉辦的傳熱討論會; 四年的 IHTC 週期開始於第三次會議, 1966 年在芝加哥舉行, 該年大會國際傳熱會議 (AIHTC) 成立, 主要宗旨是創建一個世界性熱傳論壇, 提供傳熱專家們提出研究成果, 討論傳熱技術進展, 並確定熱科學與工程的各個領域之未來發展方向和重點。

AIHTC 的存在確定, 國際傳熱研討會每四年會在世界主要城市舉辦, 今年第 15 屆研討會在京都會舉辦, 是 1974 年東京舉辦後, 第二次在日本舉行, 近兩次的第 14 屆(2010 年)與第 13 屆(2006 年)研討會分別在美國華盛頓與澳洲雪梨舉辦, 而下一屆 2018 年將在北京舉辦。

本次研討會場所是日本國立京都會議中心(Kyoto International Conference Center, 簡稱 ICC Kyoto, 網址為 <http://www.icckyo.or.jp/>), 京都會議中心佔地面積 156,000 平方米, 是一個巨大的場址, 擁有主樓, 附件廳, 活動廳和日式花園和停車位 450 輛。連同毗鄰的酒店, 該場址建構成為最先進綜合會議中心。京都國際會議中心擁有超過 70 間會議室, 包括 9 大廳, 同聲傳譯設備。主樓, 附件廳和活動廳通過室內通道連接, 並通過包括 600 多個光纜的數字網絡系統相連。這使得網絡視頻直播繼電器容易, 從而能夠承辦大規模的 7000 餘人參加的會議。該會議中心於 1962 年底開始興建, 第一期與第二期分別於 1966 年與 1972 年完工, 自京都車站搭乘地鐵烏丸線(Karasuma Line)20 分鐘便可到達該線北端終點站, 即國際會議中心站, 交通相當便利。

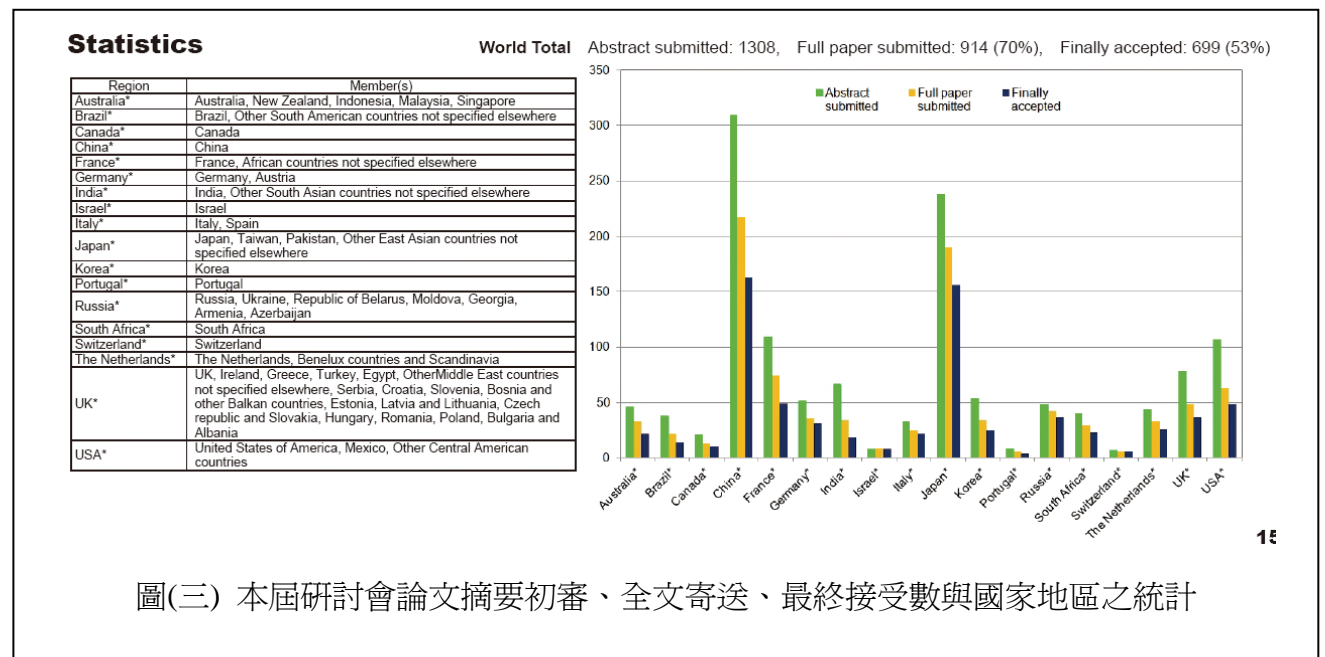
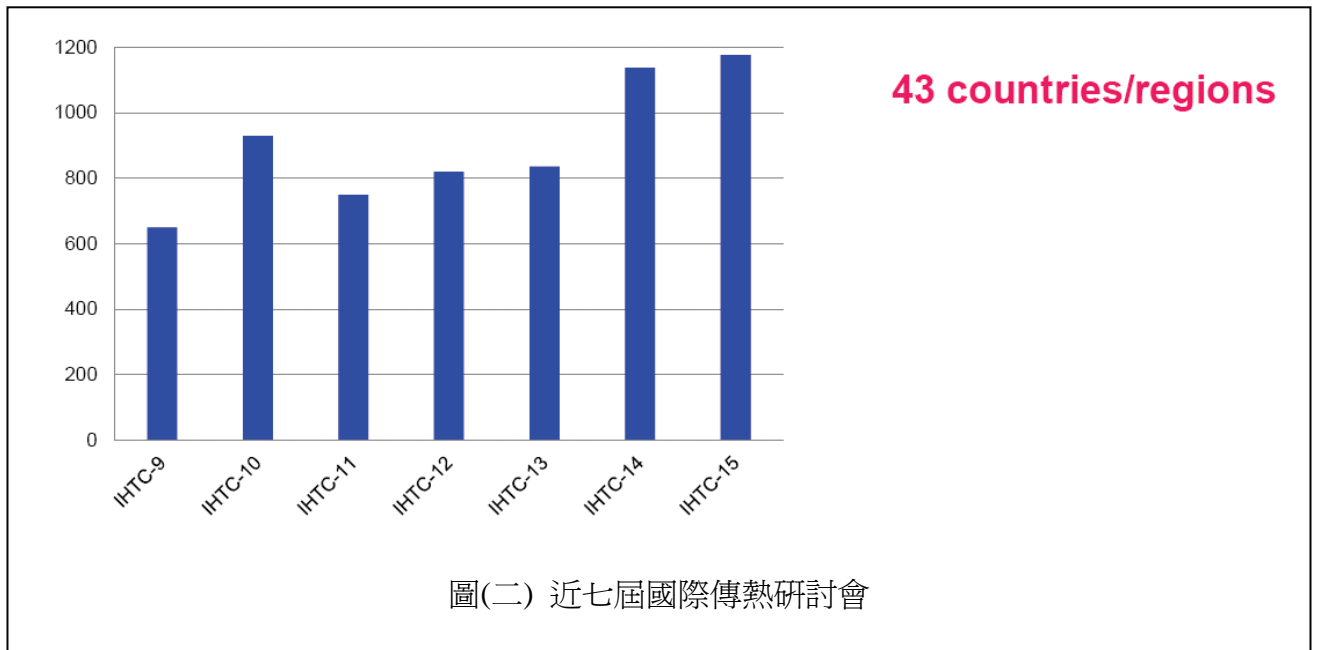
1997年12月在日本京都簽署「京都議定書」的集會地即是京都會議中心，當年決議時所用的議事槌仍在該中心櫥窗內展示。



圖(一) 日本國立京都國際會議中心

#### 肆、參加國際傳熱研討會過程與心得

國際國際傳熱研討會(International Heat Transfer Conference, 簡稱 IHTC)每四年舉行一次，本次在日本京都所舉辦的第十五屆國際傳熱研討會，來自 43 國家地區總共有 1177 註冊參加(見圖(一))，是歷屆參加人數最多的。圖(二)顯示各國家地區之論文統計資料，包括摘要初審、全文寄送與最終接受數，前三名論文最多的國家為中國、日本與美國；本屆摘要初審論文數為 1308 篇，全文寄送數為 914 篇約為初審論文數的 70%，而最終接受論文數為 699 篇佔初審論文數的 53%，顯示該研討會對論文品質審查嚴謹。



表(一)為本次研討會各主題與其場次數，每一場次約 2 小時，而有六篇論文發表，每一篇論文有 13 分鐘簡報與 5 分鐘討論時間；研討會同步在 12 間會議室舉行。此外，每天也在較大會議室安排數個 Keynote 主題同步發表，主講者一般是各領域之大師。

表(一) 本屆研討會各主題與其場次數

簡碼	主題	場次數	簡碼	主題	場次數
ACR	Air Conditioning and Refrigeration	1	MTR	Mass Transfer and Drying	2
ADS	Adsorption and Desorption	1	NCV	Natural Convection	3
BMA	Bio and Medical Applications	2	NMM	Nano/Micro Scale Measurement and Simula	4
CDS	Condensation	5	NMS	NEMS/MEMS	1
CMB	Combustion	2	NMT	New Materials	1
CND	Conduction	4	NSM	Numerical Simulation	2
CNV	Convection	2	OPT	Optimal Control/Theory	1
CPM	Computational Methods	2	PBL	Pool Boiling	6
ECS	Energy Conversion and Storage	1	PLS	Plasma	1
EEC	Electronic Equipment Cooling	3	PMD	Porous Media	7
EEF	Energy Efficiency	2	PPE	Photon, Phonon and Electron Transport	1
EES	Energy Environmental Systems	2	RAD	Radiation	4
EVP	Evaporation, Droplet/Spray/Liquid Film	3	RNE	Renewable Energy	1
FBL	Flow Boiling	3	SAT	Spray and Atomization	1
FCL	Fuel Cell	1	SOL	Solar Energy	3
FCV	Forced Convection	7	TBF	Two-phase, Bubble Flow, Water Film	1
FLM	Film	1	TDY	Thermodynamics	3
GTB	Gas Turbine	1	TEL	Thermoelectric Devices	1
HEX	Heat Exchanger	4	TMG	Thermal Management	3
HPP	Heat Pipe	2	TPA	Two-phase, Application	1
HTE	Heat Transfer Enhancement	9	TPB	Two-phase, Boiling/Condensation	1
INV	Inverse Problems	1	TPF	Two-phase, Flow Behaviour	2
IPJ	Impinging Jet	1	TPM	Two-phase/Multiphase Flow	2
MCV	Mixed Convection	1	TPN	Two-phase, Numerical Simulation	2
MFP	Materials and Foods Processing	1	TPP	Thermophysical Properties	4
MIN	Measurement and Instrumentation	3	TPS	Two-phase, Spray/Droplet	1
MLT	Molecular Transport	1	TST	Thermal Storage	1
MNF	Manufacturing	1	TTR	Turbulent Transport	2

由表(一)可知傳熱研討會的主題包括：

- (1) 應用類：熱交換器 (heat exchangers)、燃料電池(fuel cell)、熱管(heat pipe)、核能, 太陽能, 地熱與再生能源 (Nuclear, solar, geothermal and renewable energies)、電池(Batteries)、空調與冷凍(Air conditioning and refrigeration)、熱電轉換(Thermal electric conversion)、氣輪機(Gas turbines)、化學反應器(Chemical reactors)、能源轉換與儲存(Energy conversion and storage)等。
- (2) 基礎類：兩相/多相流(Two-phase/multi-phase flow)、奈米/微



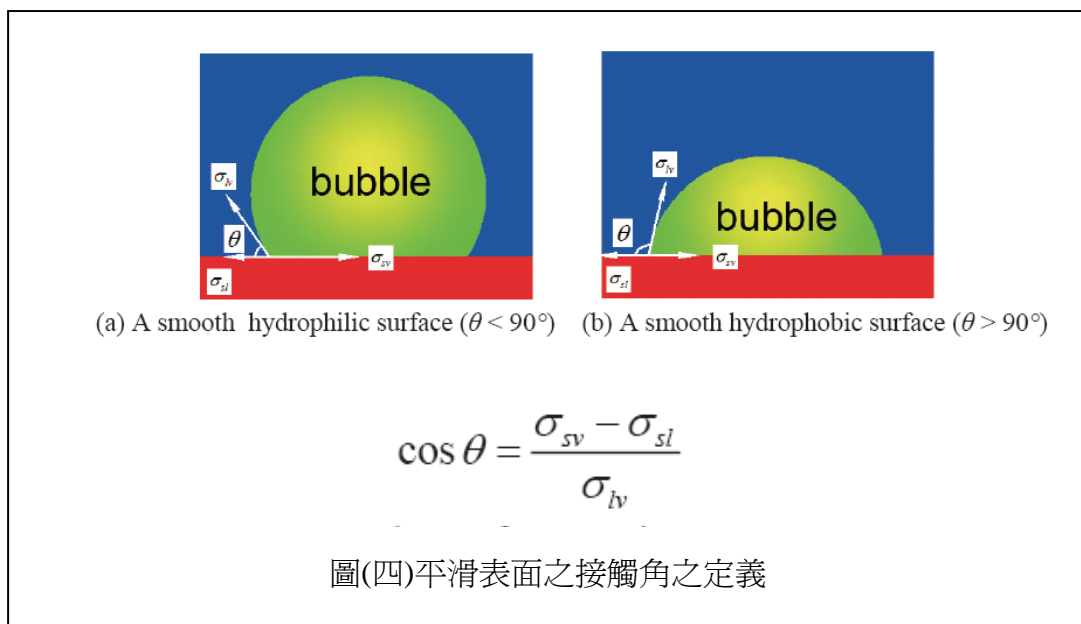
米傳熱(Nano/micro heat transfer)、燃燒(Combustion)、擾流(Turbulence)、熱力學與熱物理性質(Thermodynamics and thermalphysical properties)、生物與醫學熱工程(Biological and medical thermal engineering)、化學反應(Chemical reactions)、幅射(Radiation)等。

由於各主体場次之論文均同步在不同會議室舉行發表與討論，不可能參加所有場次；因此，我選擇參加與化學工業較有關的主題場次，主要是熱交換器(Heat Exchanger)，傳熱提升(Heat Transfer Enhancement)，熱管(Heat Pipe)，沸騰(Flow Boiling 與 Pool Boiling)與熱能回收:包括在能源轉換與儲存(Energy Conversion and Storage)與熱電轉換設施(Thermoelectric Devices)等。希望獲取相關技術資訊，以便對其公司熱能使用效能有所改進。

下列所選出 6 篇是本次發表論文中，最引起我關注的：

- 1. RECENT STUDIES ON SURFACE ROUGHNESS AND WETTABILITY EFFECTS IN POOL BOILING**
- 2. OPTIMAL SIZING OF HEAT EXCHANGERS FOR ORGANIC RANKINE CYCLES (ORC) BASED ON THERMO-ECONOMICS**
- 3. STUDY ON THE IMPROVEMENT OF THE PERFORMANCE OF A NOVEL ADSORPTION HEAT PUMP SYSTEM FOR GENERATING HIGH-TEMPERATURE STEAM**
- 4. EFFECT OF HYDROCARBON ADSORPTION ON THE WETTING OF RARE EARTH OXIDES**
- 5. HEAT PIPE APPLICATIONS IN COOLING NUCLEAR FUEL**
- 6. THERMAL FLUID FLOW TRANSPORT CHARACTERISTICS IN PIPE FLOW USING GRAPHENE-OXIDE-NANOFUID**

第一篇是講述粗糙度 (roughness) 和潤濕性 (wettability) 對於水平加熱表面之池沸騰影響的最近的解析，數值模擬和實驗研究；從具有微結構(微柱(micro-pillars) 和微腔(micro-cavities)) 和奈米結構 (奈米線 (micro-wires) 和奈米腔 (micro-cavities)) 之親水性 (hydrophilic) 加熱表面的池沸騰，對氣泡的成核密度，氣泡脫離直徑，氣泡脫離頻率，傳熱係數和臨界熱流密度 (Critical Heat Flux, 簡稱 CHF) 之測量進行了比較。提出根據吉布斯自由能 (Gibbs free energy) 和可用性 (availability) 變化之熱力學分析；並說明潤濕性和微觀結構對成核半徑、成核溫度和成核熱通量的影響。根據將微結構的毛細力與臨界波長扭曲納入考量的泡沫力平衡所導出之臨界熱通量模型與實驗結果一致。在具各種接觸角之水平表面加熱的池沸騰中，氣泡成核，生長和脫離的 Lattice Boltzmann 模擬結果也被呈現。



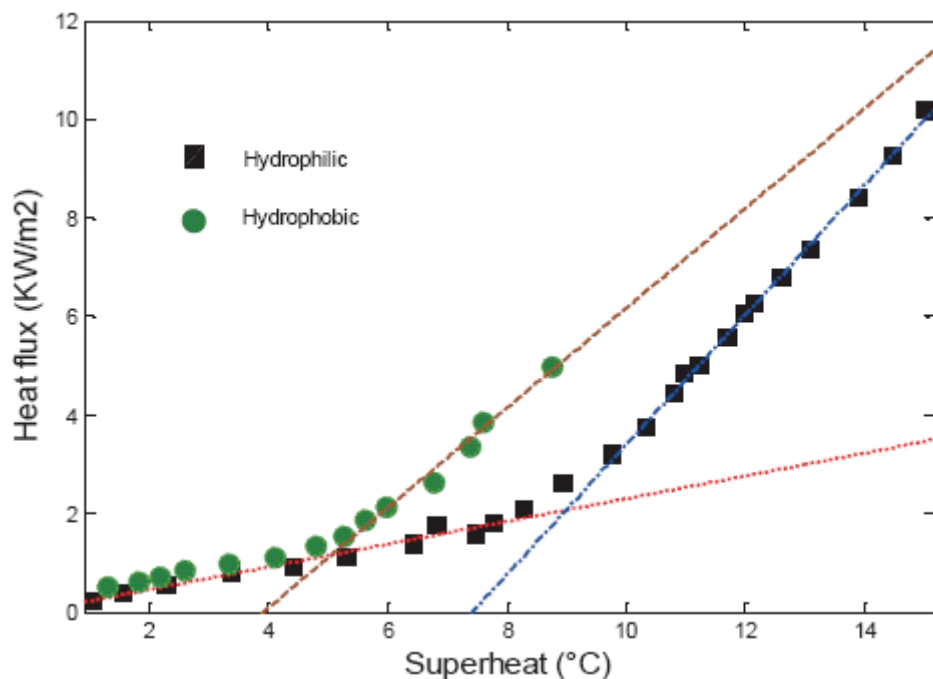
光滑表面的潤濕性的特徵在於楊氏方程定義所述接觸角  $\theta$  (參見圖 (四))。  $\sigma_{sv}$ 、 $\sigma_{sl}$  與  $\sigma_{lv}$  分別表示固體—氣體、固體—液體及液體—氣體間之表面張力。如果  $\sigma_{sv} > \sigma_{sl}$ ，即  $\theta < 90^\circ$ ，表面是親水性的；而如果  $\sigma_{sv} < \sigma_{sl}$ ，即  $\theta > 90^\circ$ ，則表面是疏水性的。

$$r = \frac{\text{actual rough surface area}}{\text{smooth surface area}} > 1$$

$$\cos \theta^* = r \cos \theta$$

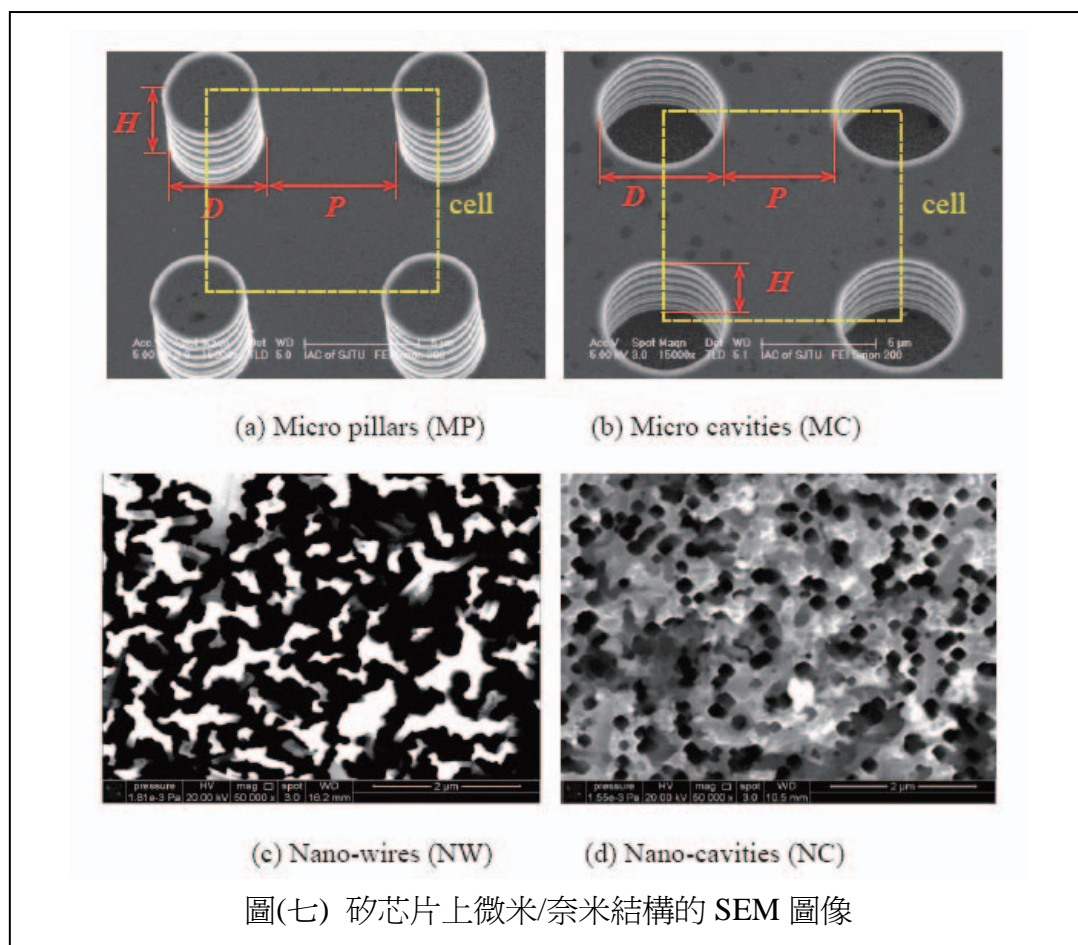
圖(五) 表面粗糙度因子  $r$  與其表面的接觸角  $\theta^*$  之定義

粗糙的表面之特徵以粗糙度因子  $r$  表出， $\theta^*$  是一個粗糙表面的接觸角，它們定義如圖(五)所示。由於  $R > 1$ ，方程式表明， $\theta^* < \theta$  為  $\theta < 90^\circ$ ， $\theta^* > \theta$  為  $\theta > 90^\circ$ 。即粗糙結構使親水性表面更具親水性而疏水性表面的疏水性更強。

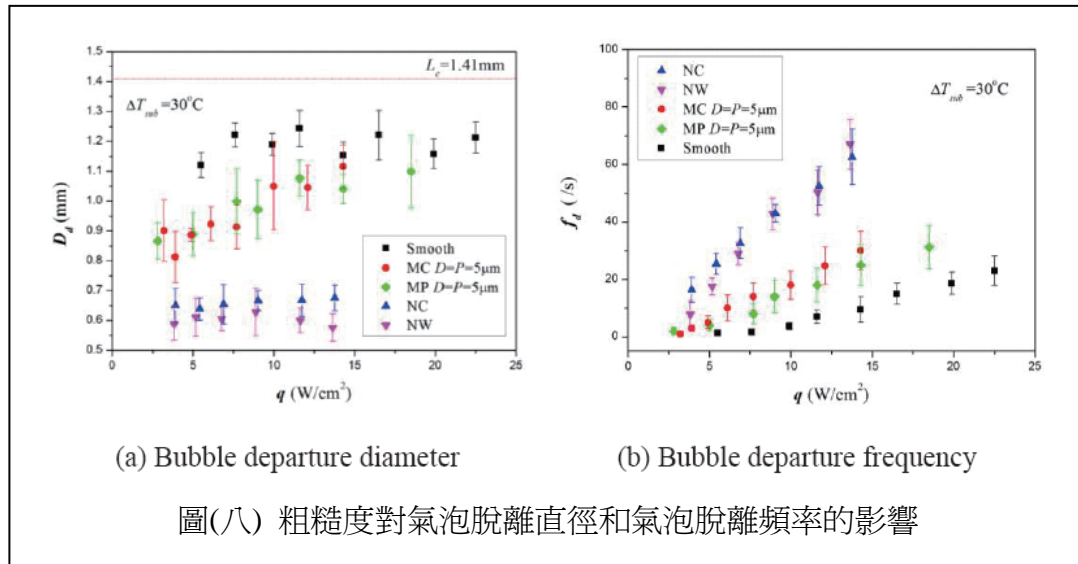


圖(六) 親水性與疏水性之傳熱通量與過熱溫度之比較

潤濕性對沸騰傳熱影響之研究結果表明二氧化鈦塗覆的超親水表面之臨界熱通量(CHF)比沒有塗覆表面約大2倍，Leidenfrost temperature隨著接觸角提高而下降。得出的結論是超親水表面可以是沸騰理想的表面熱傳遞。超級防水 (super water-repellent, SWR) 表面的沸騰特性研究顯示無泡核沸騰區存在，很小的過熱就生成穩定的薄膜沸騰。採用納米塗層技術將水接觸角從 $20^\circ$ 增加到 $110^\circ$ ，探討表面潤濕性對池沸騰傳熱的影響，發現隨著親水性表面的接觸角減小，氣泡脫離直徑增加但泡沫脫離頻率降低，此外疏水表面的氣泡成核所需過熱度降低。另一潤濕性對於沸騰初始的影響實驗研究表明，嫁接疏水性表面會促進成核和降低初始沸騰發生的過熱度，如圖(六)所示。實驗證明了含有疏水性點之親水性表面可以顯著提升臨界熱通量與池沸騰傳熱係數。



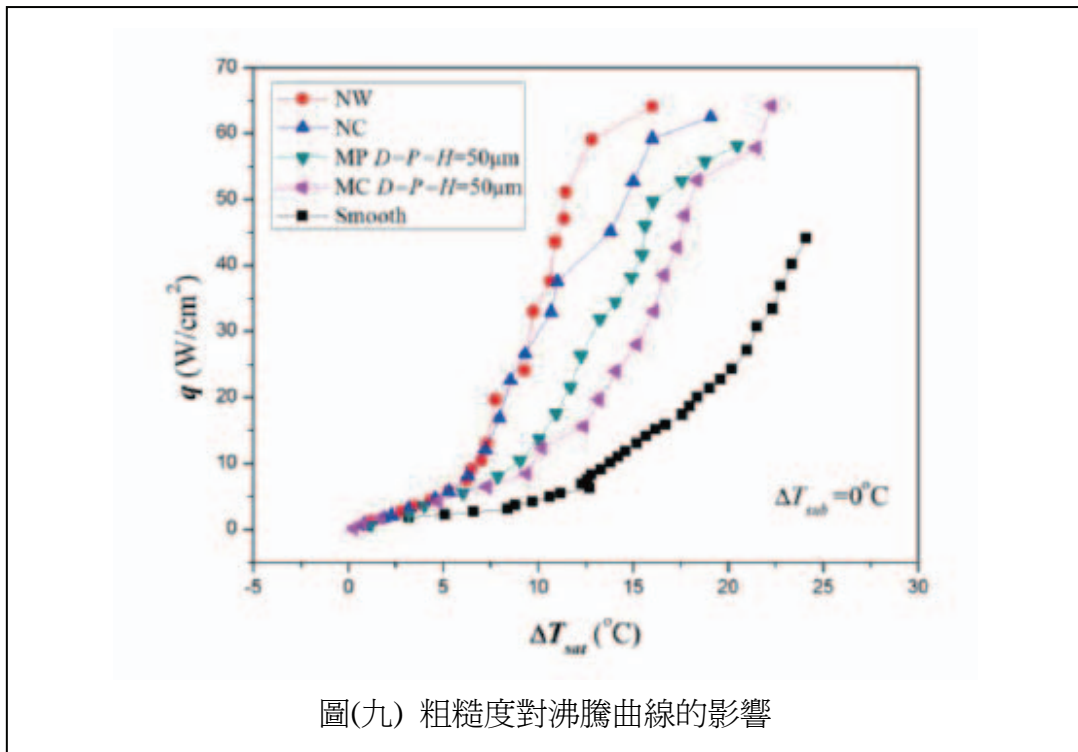
圖(七)為矽芯片上微支柱(Micro pillars, 簡稱MP)、微空穴(Micro cavities, 簡稱MC)、奈米線(Nano-wires, 簡稱NW)與奈米空穴(Nano-cavities, 簡稱NC)之圖像。



圖(八) 粗糙度對氣泡脫離直徑和氣泡脫離頻率的影響

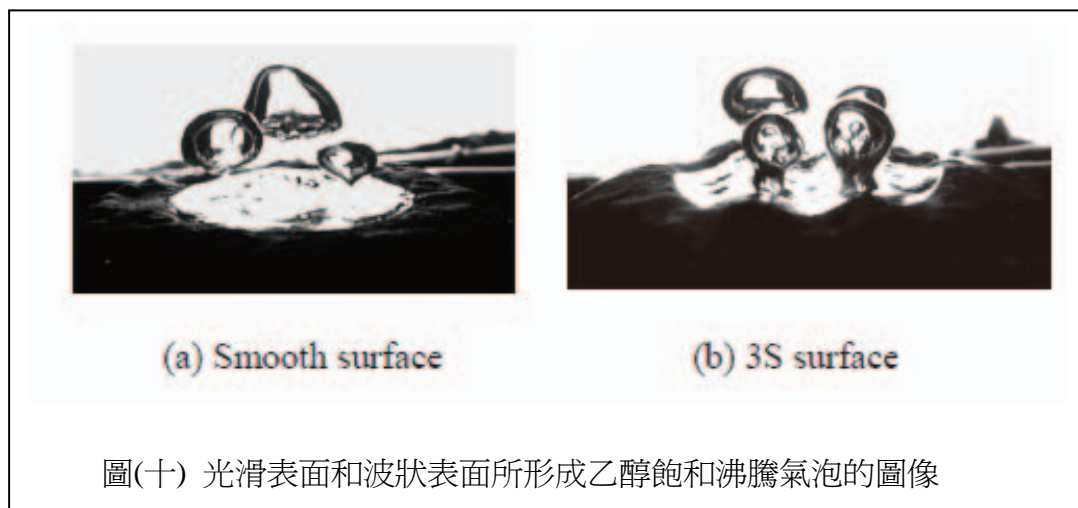
圖(八)-(a)表出氣泡脫離直徑  $D_d$  隨熱通量  $Q$  的變化，顯示光滑的表面之氣泡脫離直徑是最大的而奈米結構表面則是試最小的。平滑與微腔的表面，在小的熱通量時，氣泡脫離直徑隨熱通量提高而增加；而在大熱通量時，氣泡脫離直徑則水平走向。奈米線和奈米空穴表面的氣泡脫離直徑則和熱通量不相關。

圖(八)-(b)表出粗糙度對氣泡脫離頻率  $f_d$  的影響，它示出氣泡脫離頻率幾乎呈線性隨著熱通量的增加而增大。和光滑的表面相比，奈米結構顯著改善泡沫脫離頻率  $f_d$ ， $f_d$  值且隨微觀結構尺寸的增加而減小。



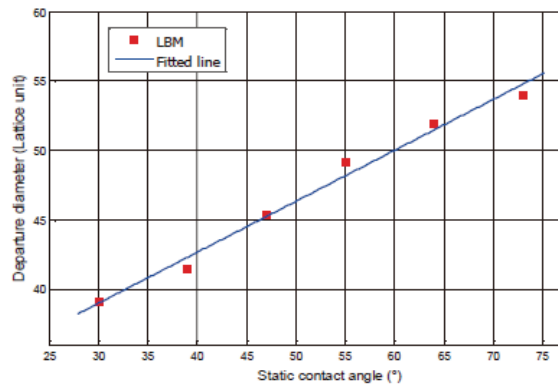
圖(九) 粗糙度對沸騰曲線的影響

圖(九)示出不同奈米和的微米結構化表面的乙醇的沸騰曲線(以投射表面積為基準之熱通量  $q$ )。顯示相同過熱的程度，奈米線表面的沸騰熱通量  $q$  是最高的，最低的為光滑的表面；就臨界熱通量而言，光滑表面的是最低而奈米線的則是最高。

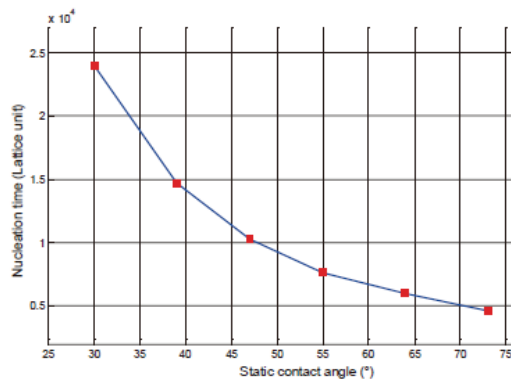


圖(十) 光滑表面和波狀表面所形成乙醇飽和沸騰氣泡的圖像

實驗表明，表面幾何形狀，可縮短臨界波長從而增加臨界熱通量。在該實驗中，波狀表面的表面粗糙度使臨界波長的減小。



圖(十一) 潤濕性對從單穴生成氣泡之脫離直徑的影響

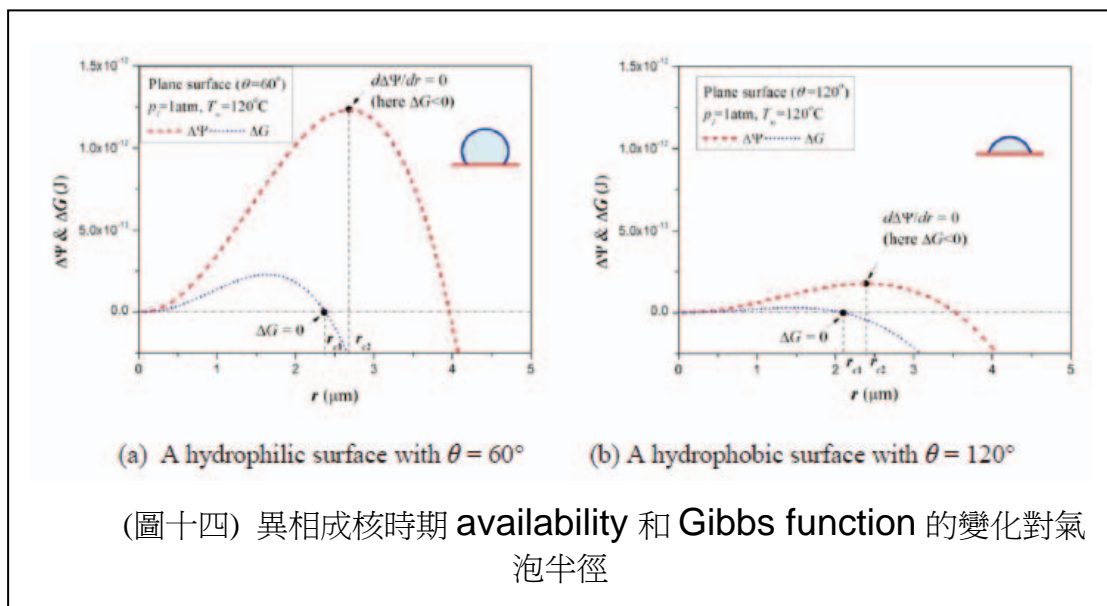
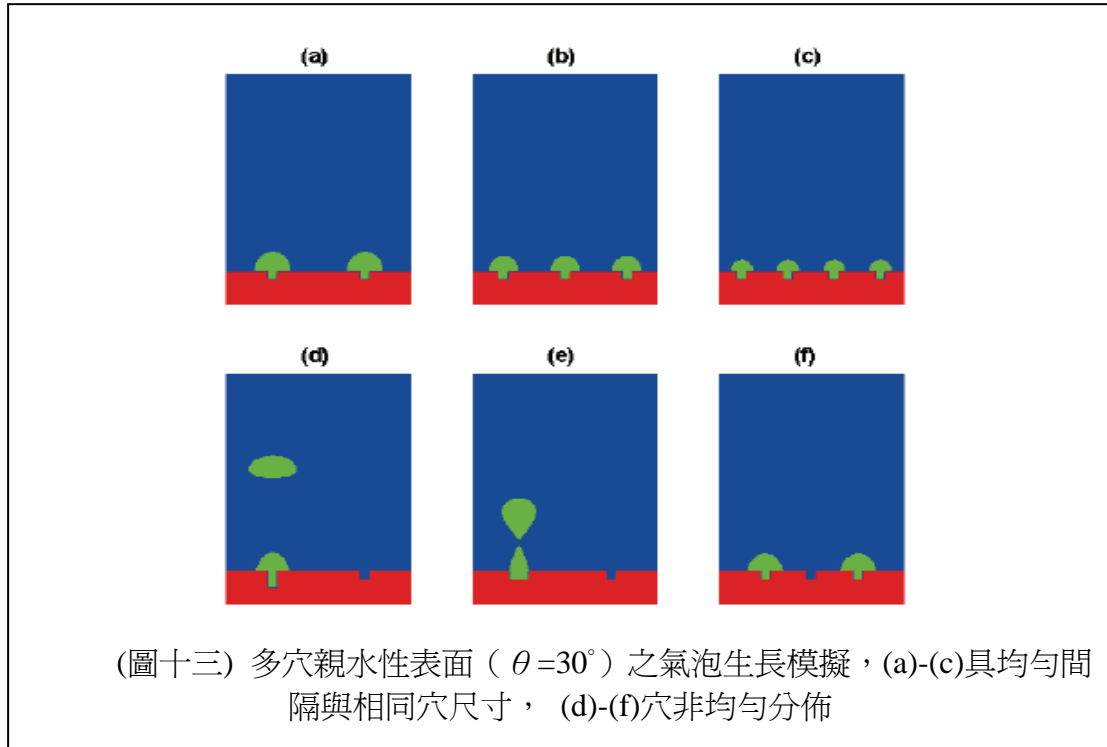


圖(十二) 潤濕性對從單穴生成氣泡之成核時間的影響

圖(十一)顯示了氣泡脫離直徑幾乎是線性地隨著靜態接觸角增加而增大，這與文獻關聯式吻合。圖(十二)成核時間隨著靜態接觸角增加而縮短，這表明疏水性表面成核所需的時間比在親水表面上較短。

模擬表面粗糙度對多穴池沸騰之氣泡成核和生長的影響如圖(十三)所示，如果穴體均勻分佈（即所有的空穴具有相同的尺寸和它們之間的距離是相同的）如圖(十三)中 (a)，(b) 和 (c) 所示，泡沫在所有的空穴同步成長；如果空穴大小不是均勻的（圖(十三)中 (d) 和 (e)）的或空穴的距離不是均勻的（圖(十三)中 (f)），在一些空穴

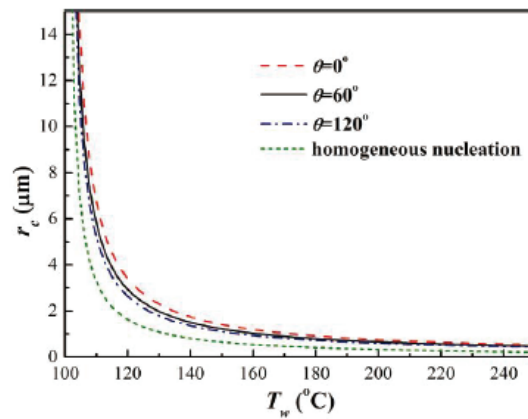
氣泡成核和生長被抑制，比較 (a)，(d) 和 (e) 可以看出，氣泡傾向在較深或更廣口的空穴成長，在較淺或較窄穴中氣泡的成核被抑制。比較 (b) 和 (f)，可發現，由於非均勻的空穴距離分佈，中央空穴的氣泡成核和生長受到抑制。



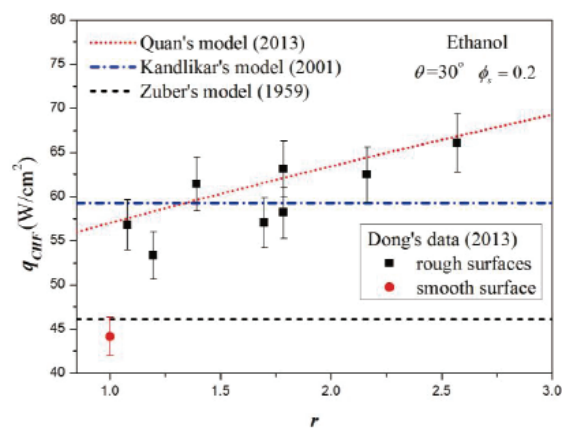
圖(十四)顯示依據 Gibbs 變化量為零所得到之臨界半徑  $r_{c1}$  比依



據 availability 變化量最大值所得到之臨界半徑  $r_{c2}$  小； $120^\circ$  接觸角之臨界半徑的 availability 變化量是小于  $60^\circ$  接觸角之臨界半徑的，在為  $120^\circ$  的接觸角的臨界半徑在可用性的變化是小于  $60^\circ$  的接觸角，表明氣泡比較容易在一個較疏水性的表面形成。(圖十五)中也指出臨界半徑隨著接觸角增加而下降，這也表明成核更易發生在一個疏水性表面。



(圖十五) 潤濕性對在光滑受熱表面上臨界半徑的影響



(圖十六) 粗糙度對臨界熱通量之文獻實驗數與模式預測值的比較。

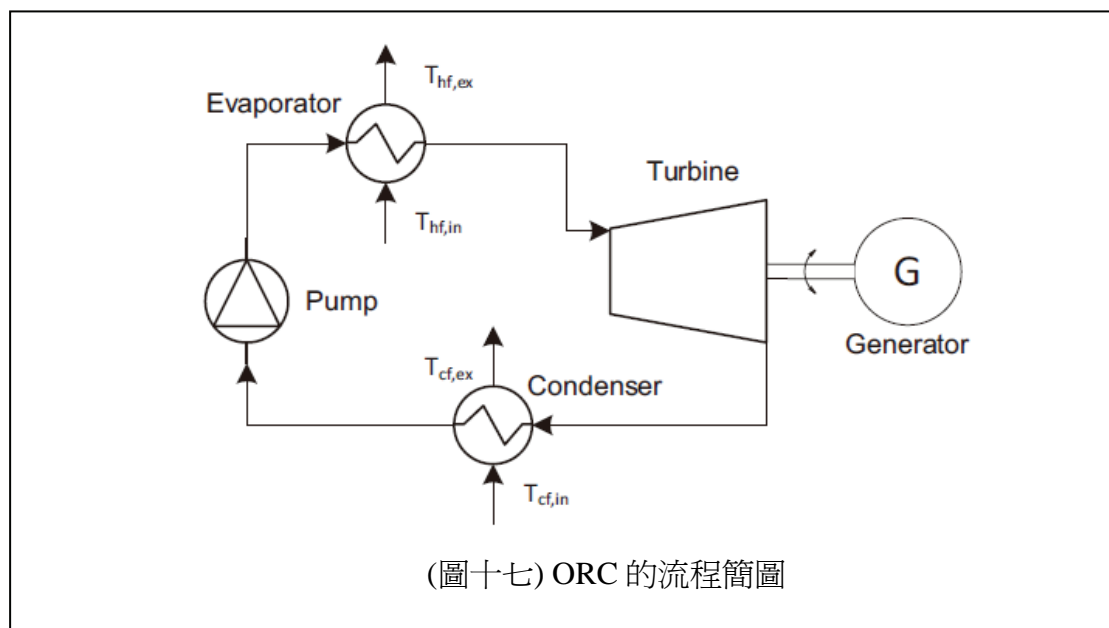
(圖十六)表出表面微結構的存在會提高由於臨界熱通量，這是因為它會降低泰勒不穩定(Taylor instability)的波長，以及它會藉由親水性表面上微結構的毛細力作用促使液體的再潤濕。

沸騰是煉油廠與石化廠工場非常見到的操作單元之原理，本篇論文提供許多關於此現象與傳熱表面特性之關聯，對於將來現場服務、研發與設計工作很有助益。

第二篇的篇名是” **OPTIMAL SIZING OF HEAT EXCHANGERS FOR ORGANIC RANKINE CYCLES (ORC) BASED ON THERMO-ECONOMICS**”

主題和廢熱回收有關引起我的學習興趣。

**ORGANIC RANKINE CYCLES (簡稱 ORC)** 被認為是一個將廢熱轉化為電能的可行技術。雖然已經有一些實施案例存在，對於熱能之經濟優化仍有很大的可行性。因為熱交換器佔 ORC 投資成本中很大一部分，最好是先優化這些。熱交換器被優化作為系統的一部分。幾個設計問題需要考慮。首先，熱交換器的壓力降將減小系統功率的輸出。其次，在蒸發器的傳熱率是至關重要的。太小的蒸發器將導致在它的出口製冷劑不會完全蒸發，這可能導致渦輪損壞。與此相反，過大的蒸發器將導致成本增加。類似的問題出現在冷凝器側。因此，合適的換熱器選擇和尺寸有利於投資和運營成本。ORC 的熱力學模型將聯結到熱交換器（板式換熱器）之熱工水力設計方法。有了這個模型可以執行熱經濟優化，淨功率輸出與投資成本、淨功率輸出與熱交換面積可被確定。被指定的情況下，廢熱可從  $100^{\circ}\text{C}$  的水。結果作為指導新的 ORC 裝置寶貴。從  $100^{\circ}\text{C}$  水的廢熱利用案例，可作為新的 ORC 安置之寶貴指引。



(圖十七) ORC 的流程簡圖

基本 ORC 包含一個泵，該泵加壓工作流體，並將其輸送到蒸發器中。在蒸發器中工作流體被加熱至飽和蒸氣點。接著，工作流體膨脹通過該渦輪機和產生機械功。然後該軸功由發電機轉換為電能。在渦輪機的出口處的過熱工作流體在冷凝器被冷凝成飽和液體。液態工作流體由泵再次加壓，形成一循環。

表(二) ORC 工作流體資料

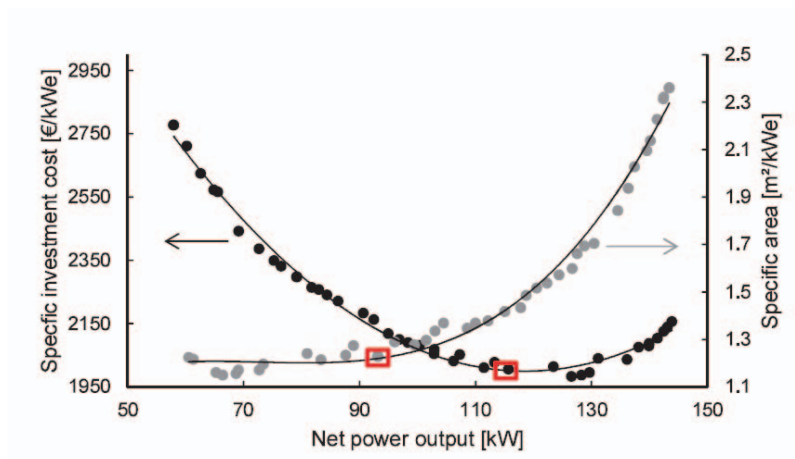
Working fluid	Heat source temperature [°C]	Manufacturer(product)
R245fa	80-150	BEP (E-rational)
R245fa	77-116	Electratherm (Green Machine)
R245fa	120-150	Bosch KWK
R245fa	91-149	Turboden (PureCycle)
R245fa	>120	GE (Cleancycle)
n-pentane	150-300	ORMAT
toluene	>350	Tri-O-Gen

表(二)表列 ORC 之工作流體種類、熱源溫泉與製造廠家。

本篇論文之案例為熱水 100°C 為發電之廢熱回收熱源，熱能經經濟最適化變數範圍如表(三)所示。最適化分兩 case: SA case 是以單位淨電能輸出之熱交換器面積最適化，SIC case 則是以單位淨電能輸出之總投資成本最適化。

表(三) ORC 最適化變數範圍

Variable	Description	Lower	Upper
$\dot{m}_{c,wf}$	Mass flux working fluid condenser [kg/(m <sup>2</sup> s)]	10	100
$\dot{m}_{e,wf}$	Mass flux working fluid evaporator [kg/(m <sup>2</sup> s)]	10	100
$PP_c$	Pinch point temperature difference condenser [°C]	5	15
$PP_e$	Pinch point temperature difference evaporator [°C]	5	15
$T_c$	Saturation temperature liquid condenser [°C]	35	50
$T_e$	Saturation temperature liquid evaporator [°C]	55	90
$N_e$	Number of passes hot fluid side evaporator [-]	1	3
$N_c$	Number of passes cold fluid side condenser [-]	1	3



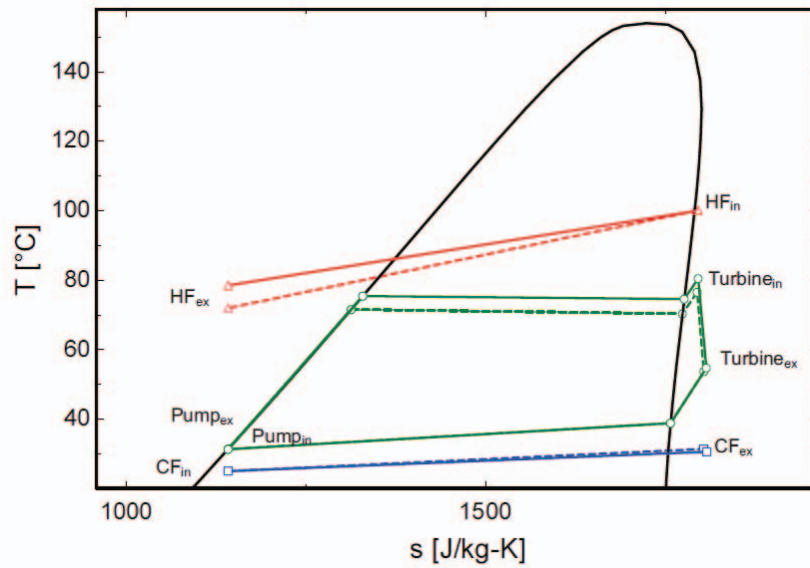
圖(十八) 單目標績效標準 SIC 與 SA 對淨功率輸出和回歸模型

表(四) Case of minimum SIC

Cycle		Heat exchangers	
Variable	Value	Variable	Value
$\dot{W}_{net}$ [kW]	115.6	$A_e$ [m <sup>2</sup> ]	62.6
$\mu_{thermal}$ [%]	6.58	$A_c$ [m <sup>2</sup> ]	109.6
$T_e$ [°C]	71.53	$N_{e,hf}$ [-]	1
$T_c$ [°C]	38.8	$N_{c,cf}$ [-]	1
$C_{inv}$ [k€]	231	$M_{e,hf}$ [-]	51
$SIC$ [€/kWe]	2005	$M_{c,cf}$ [-]	88
		$\dot{m}_{e,wf}$ [kg/m <sup>2</sup> s]	93
		$\dot{m}_{c,wf}$ [kg/m <sup>2</sup> s]	54

表(五) Case of minimum SA

Cycle		Heat exchangers	
Variable	Value	Variable	Value
$\dot{W}_{net}$ [kW]	93.1	$A_e$ [m <sup>2</sup> ]	43.8
$\mu_{thermal}$ [%]	6.88	$A_c$ [m <sup>2</sup> ]	70.4
$T_e$ [°C]	75.4	$N_{e,hf}$ [-]	1
$T_c$ [°C]	38.8	$N_{c,cf}$ [-]	1
$C_{inv}$ [k€]	197	$M_{e,hf}$ [-]	40
$SIC$ [€/kWe]	2120	$M_{c,cf}$ [-]	48
		$\dot{m}_{e,wf}$ [kg/(m <sup>2</sup> s)]	91
		$\dot{m}_{c,wf}$ [kg/(m <sup>2</sup> s)]	76



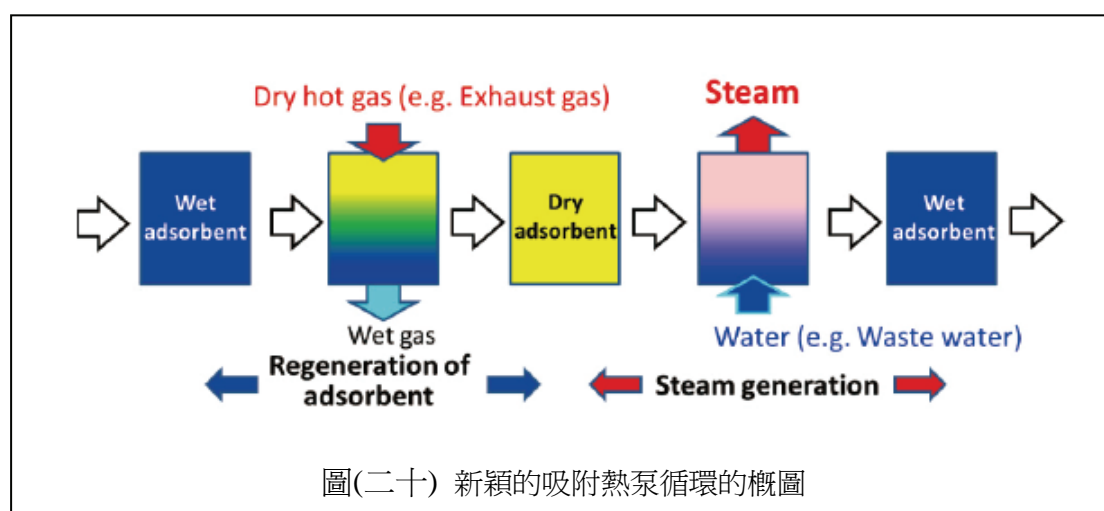
圖(十九) T-S diagram for minimum SA (full line) and minimum SIC (dotted line)

圖(十八)、圖(十九)、表(四)與表(五)為本篇論文主要結果，雖然熱交換器是主要成本，由於成本函數的影響，單僅基於熱表面積的最適化是不足。最小化 SA 的淨功率輸出為 93.1 千瓦且相應的 SIC 為 2120 \$ / kWe。與此相反，當最小化 SIC 的淨功率輸出為 115.6 千瓦且相應的 SIC 是 2005 年 \$ / kWe。

煉油廠與石化廠許多廢熱未善加利用，例如蒸餾塔塔頂蒸汽 (vapor) 送往空氣冷凝器冷凝成液體，換言之，將蒸汽的潛熱排放至大氣，殊為可惜。應該研究利用 ORGANIC RANKINE CYCLE 技術將這些能量轉換成電能，增加工場的操作效益。

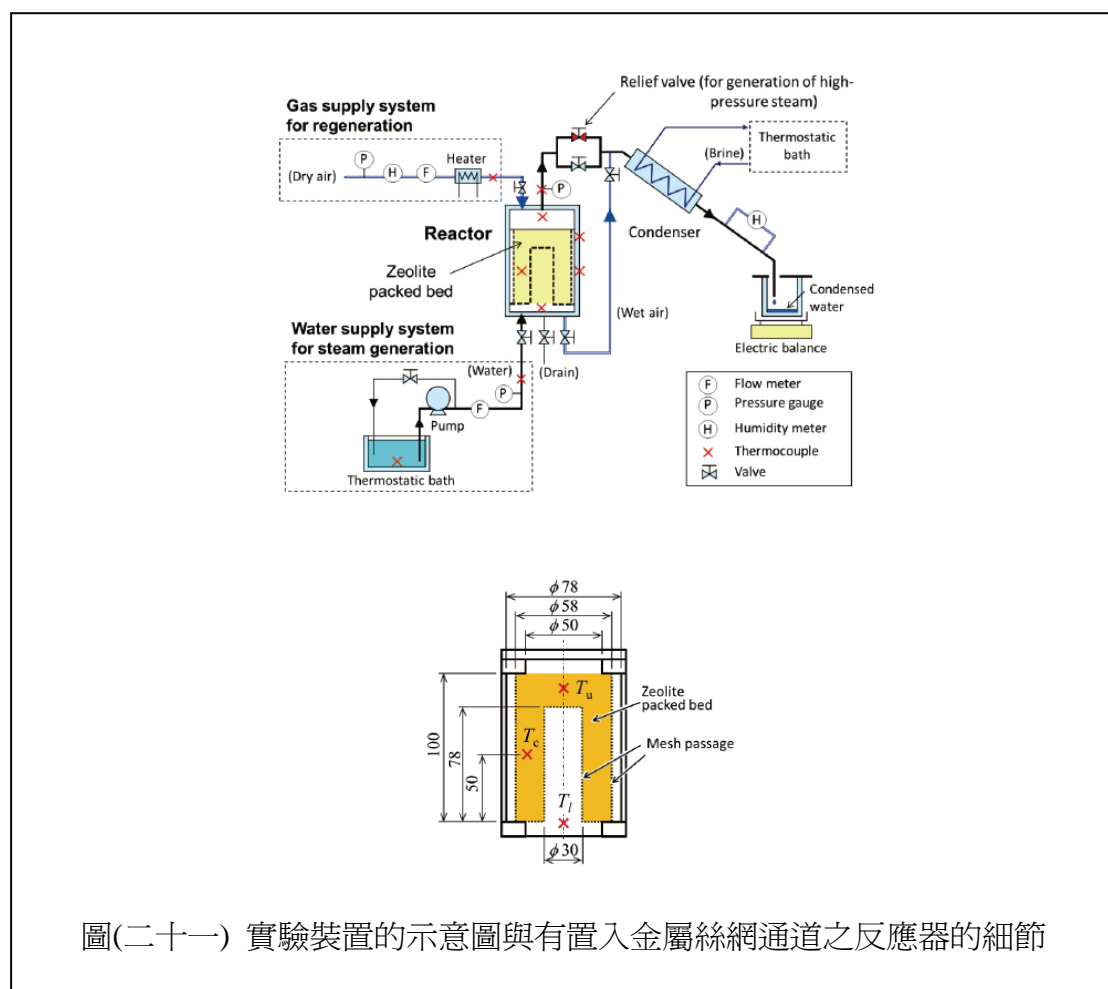
第三篇的篇名是” **STUDY ON THE IMPROVEMENT OF THE PERFORMANCE OF A NOVEL ADSORPTION HEAT PUMP SYSTEM FOR GENERATING HIGH-TEMPERATURE STEAM**” 主題和低溫廢熱利用有關。

能源的有效利用是最重要的問題之一。許多能量如化石燃料在工業製造過程、運輸與我們的生活中被消耗，但卻也產生許多低質量(溫度較低)能量，低溫熱能是典型廢熱能量。因此，熱能存儲對有效利用能量至為重要。因為熱傳遞驅動是靠熱能源頭和熱能受體間的溫差，因此提高溫度水平的方法是改進熱能存儲的效能的關鍵技術。熱泵系統有一些不同類型。機械熱泵通常用於空調和製冷。使溫度提至更高水平時，機械熱泵是不合適因為組件之材料的耐用性溫題。化學熱泵利用可逆反應的反應熱，基本上它可以適用於較廣溫度範圍，因為它的工作溫度依賴於化學反應。



本篇著眼於沸石-水吸附熱泵，它被歸類為化學熱泵，用以提升的溫度水平。該吸附熱泵系統特別採用直接的熱交換法，以克服填充床和傳熱流體之間的低導熱率。圖(二十)示出新的吸附熱泵循環的示意圖。熱泵系統的蓄熱過程是進行沸石的再生，乾熱氣體被用作熱傳遞流體，直接引入到沸石的填充床。熱泵系統的熱排放過程中，水被

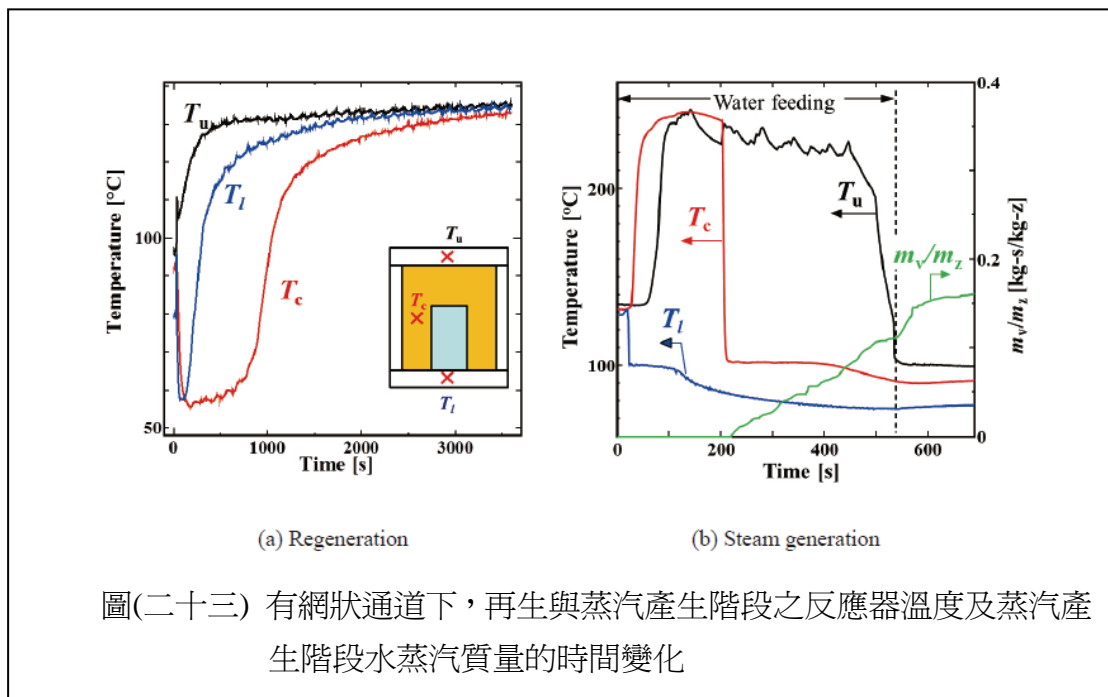
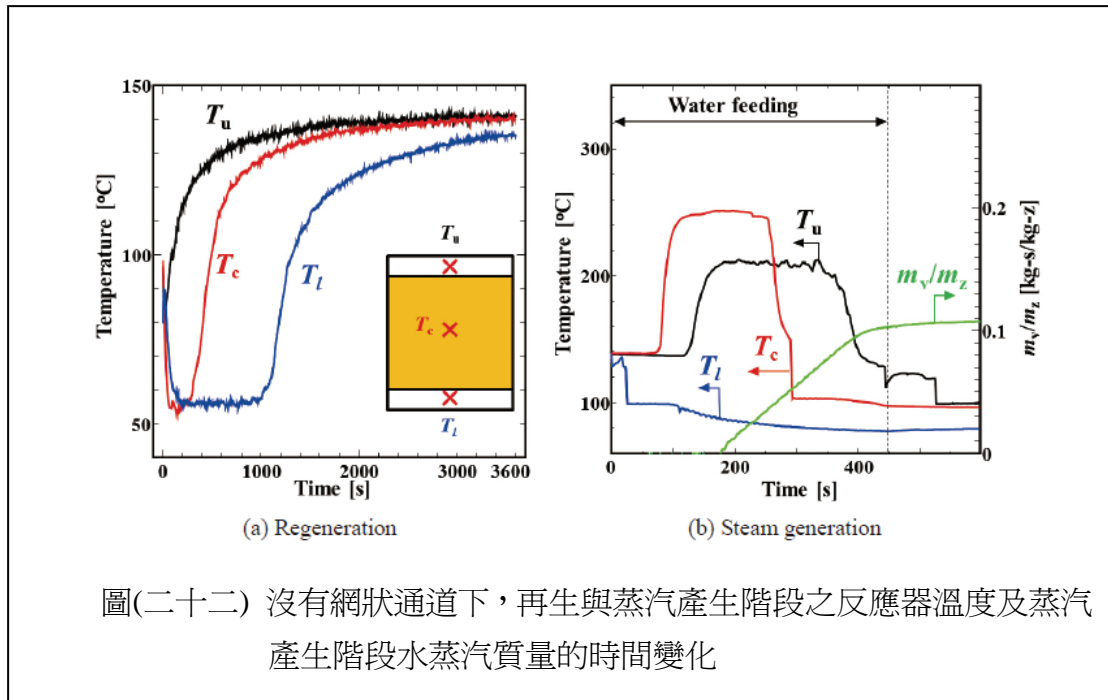
引入沸石填充床作為被吸附物而且傳熱流體。水和沸石直接接觸結果使得沸石釋放吸附熱，將過量的水蒸發成為蒸汽。用直接熱交換方法，沸石填充床的大表面面積可用於熱對流傳遞以及該吸附反應。另一方面，引入傳熱流體將增加壓力降，因為通常需要高流速，特別是在沸石的再生時利用乾熱氣體。壓力降和送風機之負載密切相關，因此為了實際應用，應該設法降低壓力降。在這項研究中，探討降低沸石填充床於再生過程中的壓力降。金屬絲網製成的通道被置入，以增加沸石填充床的孔隙率。



圖(二十一)示出實驗裝置的示意圖。該裝置包括一個不銹鋼製成的圓筒形反應器，供給熱水至反應器中的水供給系統，氣體供給系統和量測從水蒸汽冷凝成水的質量電子天平。沸石 13X 作為吸附劑。進料水和乾燥氣體的溫度分別為 80 攝氏度和 130-140 攝氏度。在填



充床中的乾燥氣體的空塔速度為 0.45 立方米/秒。為降低沸石的填充床的壓力降，金屬絲網製成的通路被插入到填充床。圖中也示出有置入金屬絲網通道之反應器的細節。



無網狀通道下，圖(二十二)分別示出 (a)再生過程和 (b) 蒸汽產生過程填充床溫度的時間變化。圖(二十二)中的再生過程，填充床溫度先下降然後保持較低的溫度，一段時間後，溫度上升到氣體入口溫度，意味著再生在這時間點上，幾乎完成了，再生過程從氣體入口（填充床的頂部）進行到氣體出口(填充床的底部)。圖(二十三)中可見，使用了網狀通道，再生期的點  $T_c$  之進度比其他點顯著地慢，使用網狀通道，再生過程中的壓力降從 2.8kPa 下降至 1.9 kPa。

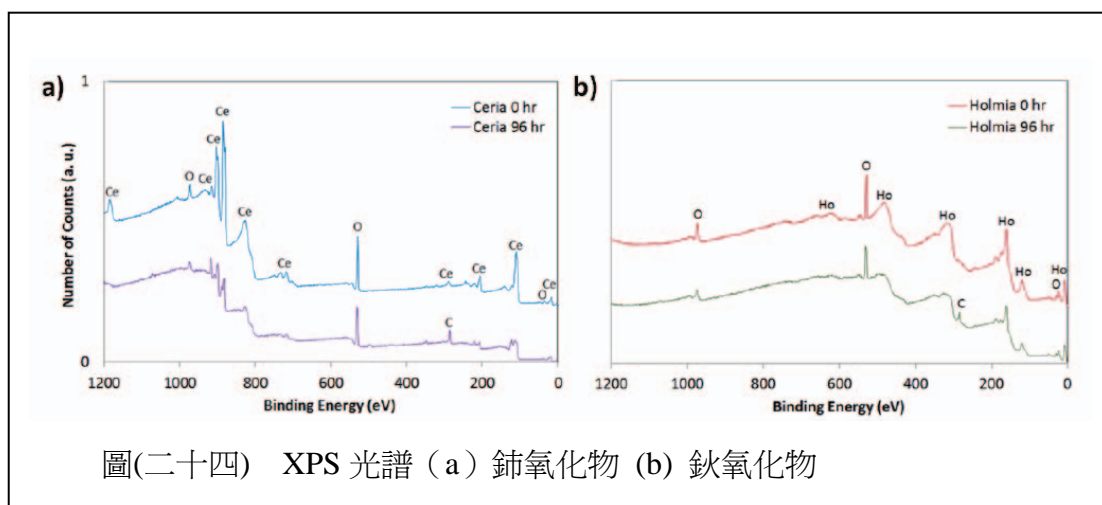
圖(二十二)-(b) 蒸汽產生過程中，在反應器的中心溫度  $T_c$  升高後，反應器的上部溫度  $T_u$  隨著升高。蒸汽的產生過程中，溫度的上升表示吸附在該點發生。當  $T_c$  增加， $T_u$  保持初始溫度意味著吸附並沒有發生在反應器的上部；所有在反應器下部產生的蒸汽被反應器的中心的周圍吸附。另一方面，溫度的下降表示通過吸附之熱沸石和從反應器的底部所供給的水之間已進行了熱交換。從圖(二十三)-(b) 蒸汽產生過程中溫度-時間變化，使用了網狀通道， $T_c$  最大值是幾乎和  $T_u$  相同，這表明從該反應器的下部產生的蒸汽容易去使用網狀通道到達反應器的頂部，並沒有參與吸附。實驗結果顯示，使用網狀通道每單位沸石所產生蒸汽量幾乎和沒有使用網狀通道的相同。

由此篇論文可以發現，原本乾熱氣的溫度只有約 140°C，藉助新穎的沸石-水吸附熱泵循環，可以產生溫度 210°C 以上的蒸汽，提升熱能效率。這應該頗具有發展前景的技術。

第四篇的篇名是” EFFECT OF HYDROCARBON ADSORPTION ON THE WETTING OF RARE EARTH OXIDES” 主題和冷凝表面材料開發有關。

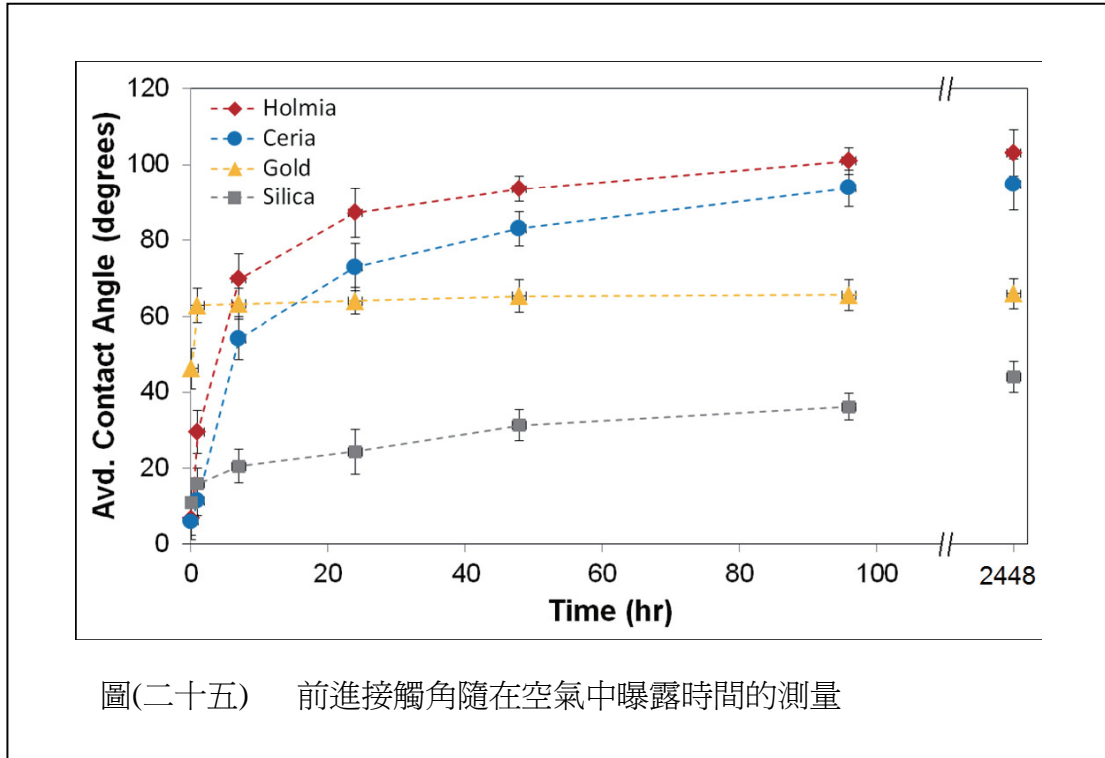
水蒸汽冷凝在工業上是經常被使用的有效傳熱操作。在一般工業系統，由於一般冷凝器傳熱材料表面能量高，水蒸汽冷凝時，是在傳熱面上形成液膜；假如冷凝在表面能量低的表面發生，冷凝水傾向形成分離的液滴，在液滴半徑約 2mm 時會脫離冷凝面，使冷凝面能夠更新供新液核生成，使得這樣分離液滴式之傳熱效能是一般液膜式的 5~7 倍。目前技術是冷凝面經由塗層高分子等形成疏水性表面，但因不具耐久性而不適合工業上使用。1960 年發現貴重金屬(例如金與銀)表面會因吸附碳氫化合物之自然污染而形成液滴式冷凝表面，文獻有報導金表面連續 5 年操作均維持液滴式冷凝，但是因貴重金價格昂貴阻卻廣泛使用。最近發現稀土氧化物 (rare earth oxide, 簡稱 REO) 的疏水性引起應用於液滴式冷凝之興趣，因為材料成本只有金的 1%。

本篇論文透過實驗探討 REO 的疏水性質也是經由吸附碳氫化合物之自然污染而形成如前述金一般。所選擇的稀土氧化物為二氧化鈾 (CeO<sub>2</sub>) 與鈹氧化物(Ho<sub>2</sub>O<sub>3</sub>)，對照用物質為金與矽石 (silica)。

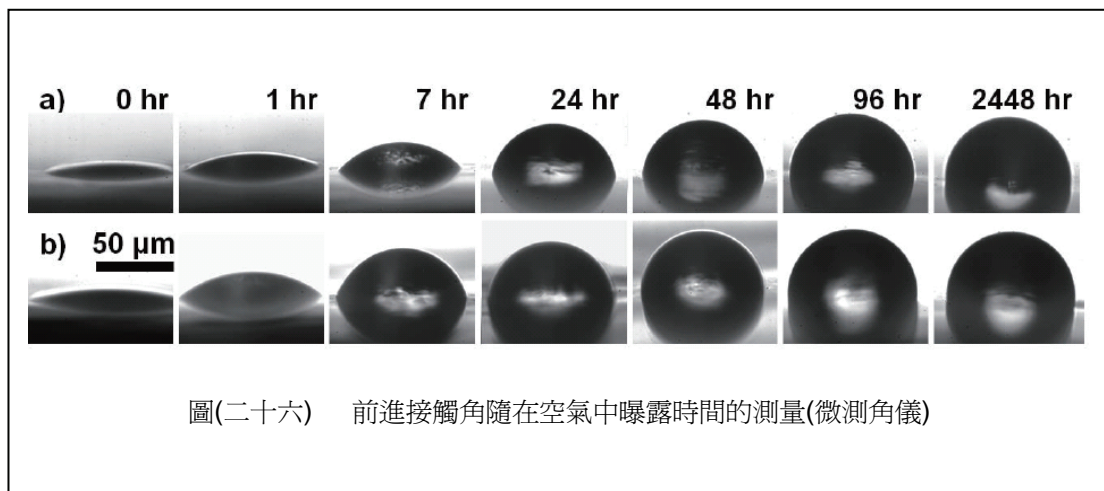


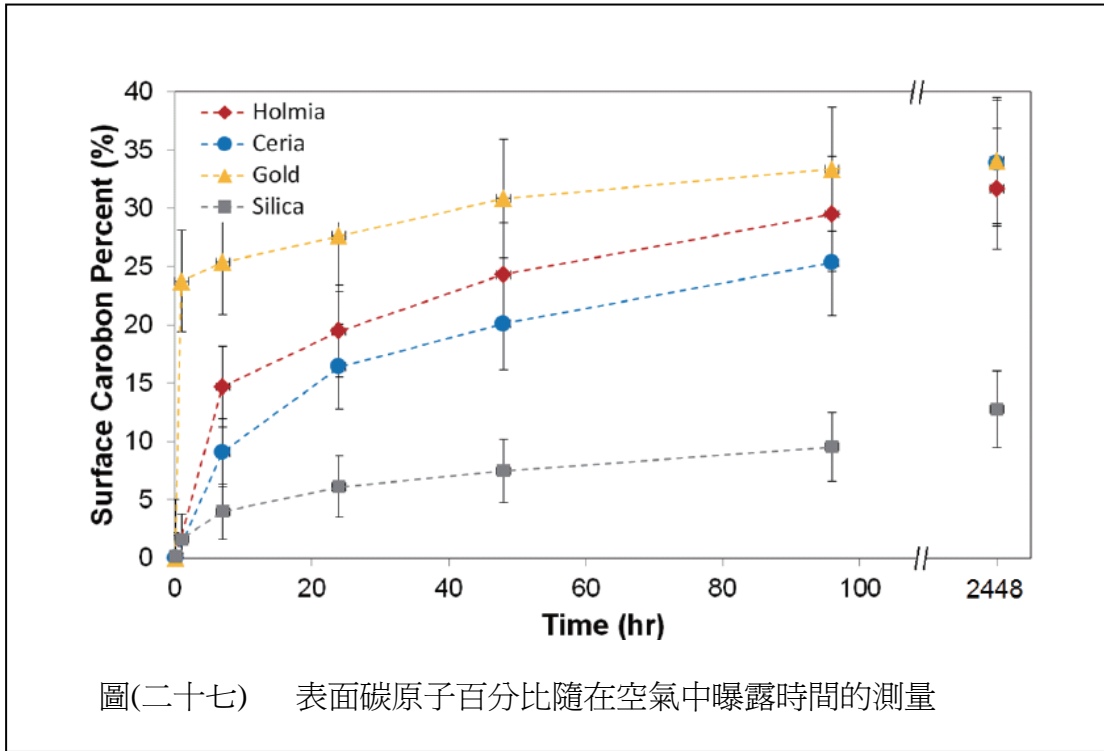
圖(二十四) XPS 光譜 (a) 鈾氧化物 (b) 鈹氧化物

圖(二十四)示出鈾氧化物與鈾氧化物在剛清潔完與曝露空氣中 96 小時之 XPS 光譜，原本無碳 peak 的樣品到 96 小時均有碳的 peak，顯示鈾氧化物與鈾氧化物均會吸附碳氫化合物。



圖(二十五)示出隨著在空氣中曝露時間接觸角升高，最後鈾氧化物與鈾氧化物的接觸角分別達到 95 度與 103 度。圖(二十六)示出兩 REO 隨著在空氣中曝露時間微測角儀的量測圖像，表示原本親水性向疏水性轉變。





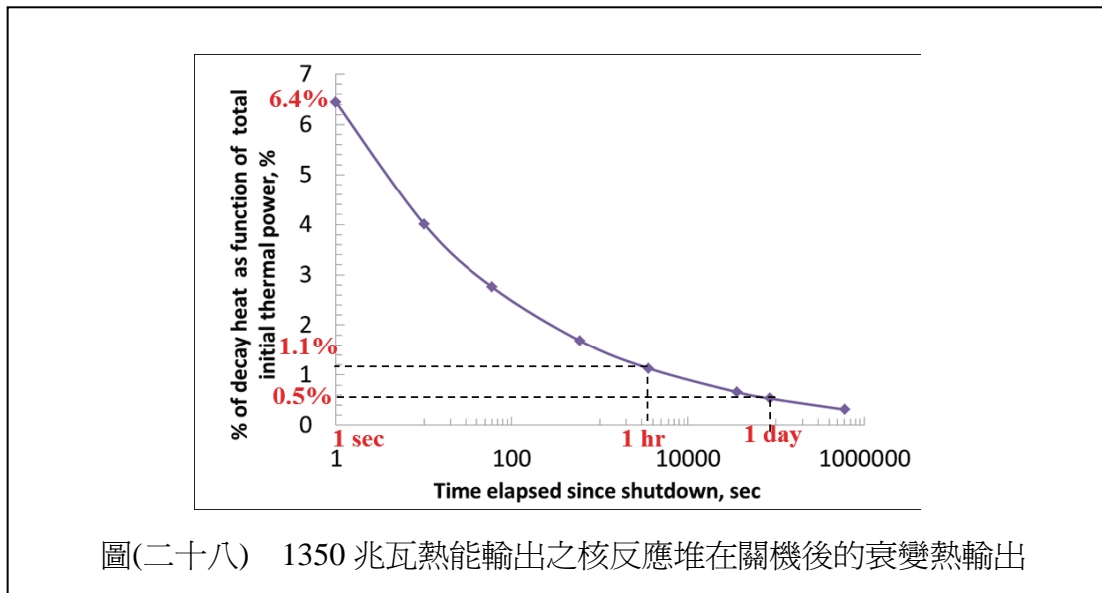
圖(二十七)示出 REO 隨著在空氣中曝露時間表面碳含量比例顯著升高，表示吸附在表面的碳氫化合物量提高。由圖(二十五)與圖(二十七)經過解析可以確認接觸角變化與表面碳氫化合物有關聯。

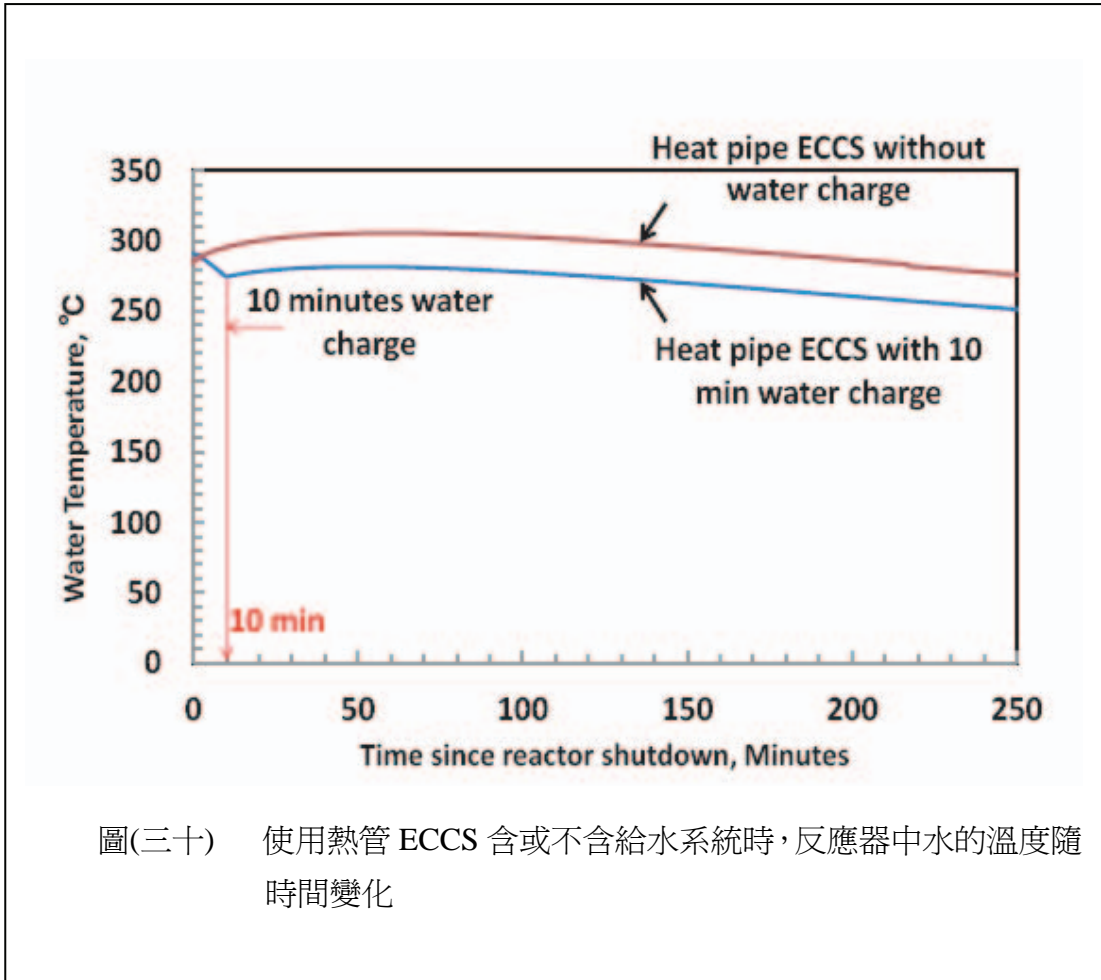
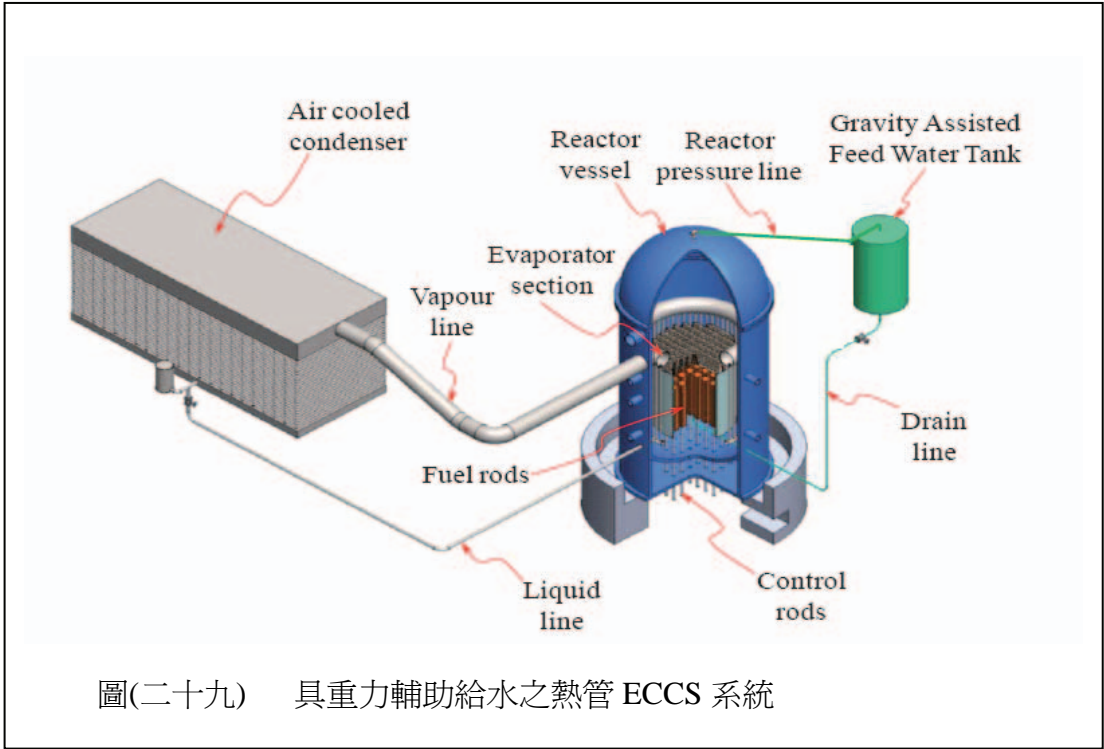
REO 塗層在冷凝表面，可以提供堅固的疏水性特性，以讓冷凝以液滴式操做運轉。

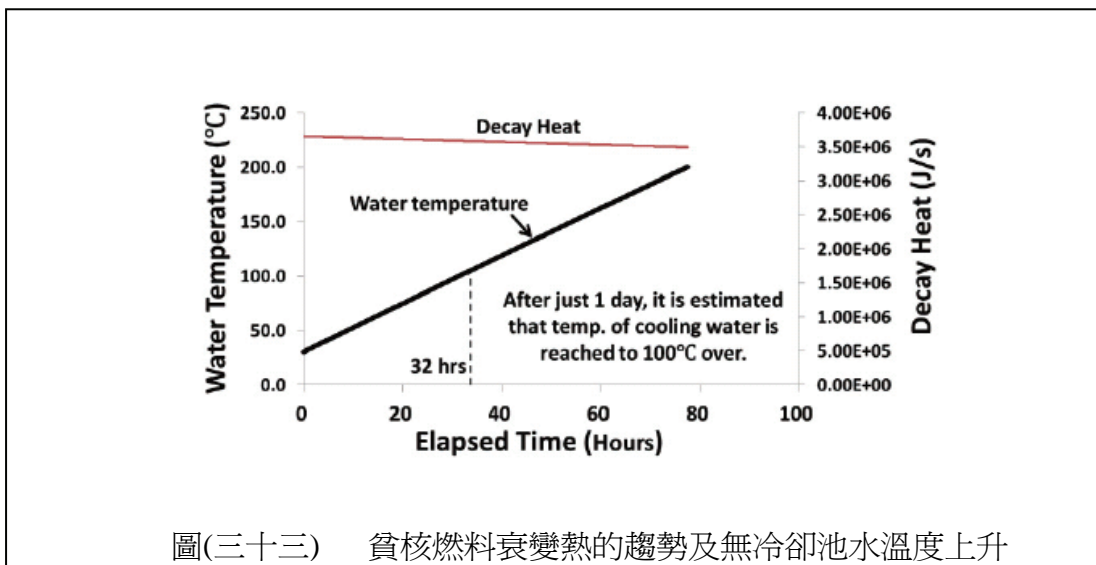
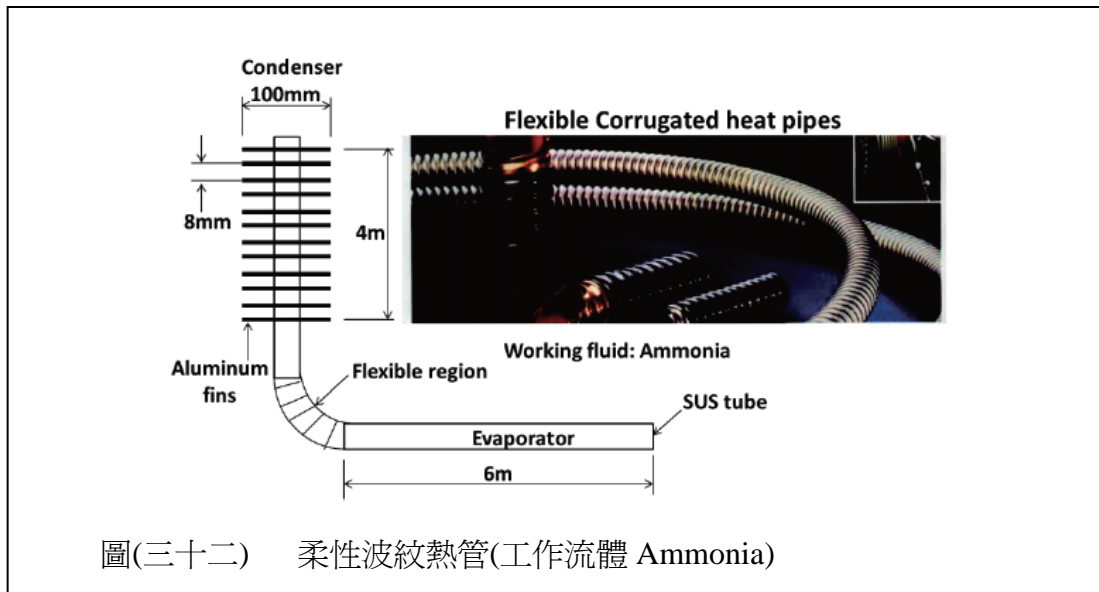
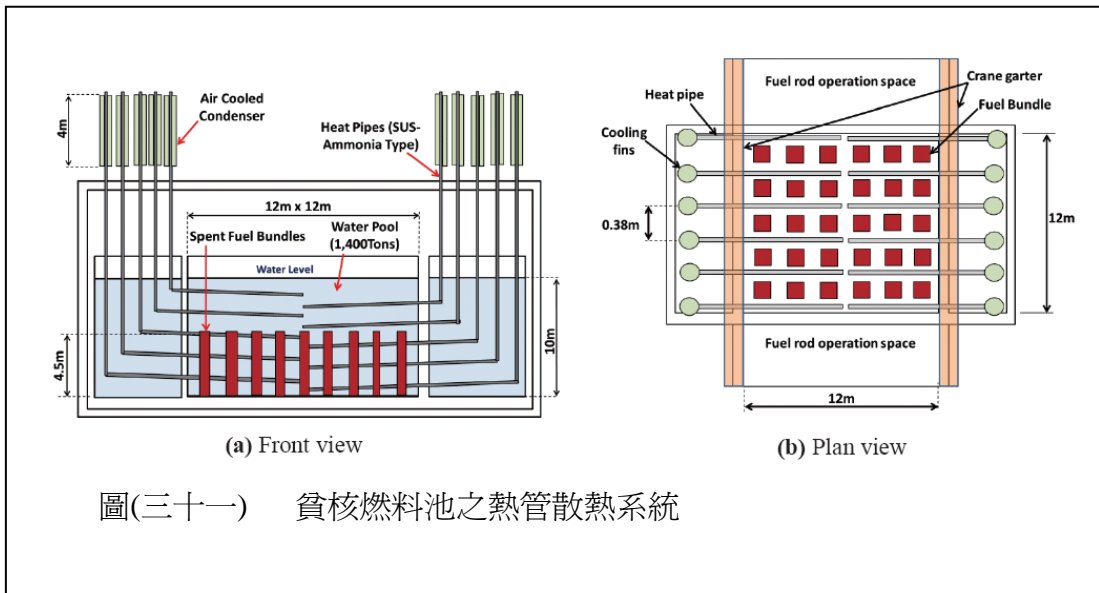
第五篇的篇名是” **HEAT PIPE APPLICATIONS IN COOLING NUCLEAR FUEL** ” 主題和熱管應用於核能電廠冷卻有關。

熱管有潛力提供核發電廠被動的，兩相和可靠的冷卻系統。在本文中，熱管應用於緊急核反應器內核芯冷卻與貧核燃料冷卻已經確定並詳細分析。已提議的環狀型熱管包括 (1) 圓筒狀的蒸發器，它具有 62 的垂直管，每個直徑 150 毫米和 6 米長，安裝在圍繞核燃料組件圓周上，和(2) 21 米 x 10 米 x5 米安裝在主圍體外之自然冷卻翅片冷凝器。 $1.44 \times 10^{-5} \text{ C/W}$  總熱阻的熱管和初始 10 分鐘將芯淹沒的給水就能在 4.3 小時內冷卻核芯。

對於貧燃料池的冷卻，建議採用熱管熱敏二極管特性和自然空氣對流冷卻的冷凝器之完全被動散熱系統。提供各熱管設計例詳細分析以確定最佳設計概念包含冷卻功率、建造與成本。最好的設計是熱管散熱系統，具有 0.9 兆瓦容量的 1662 熱管模組。這設計的情況下，水的溫度在 75 小時後將達到峰值  $68^{\circ}\text{C}$ ，然後 2000 小時後將達到  $50^{\circ}\text{C}$ 。



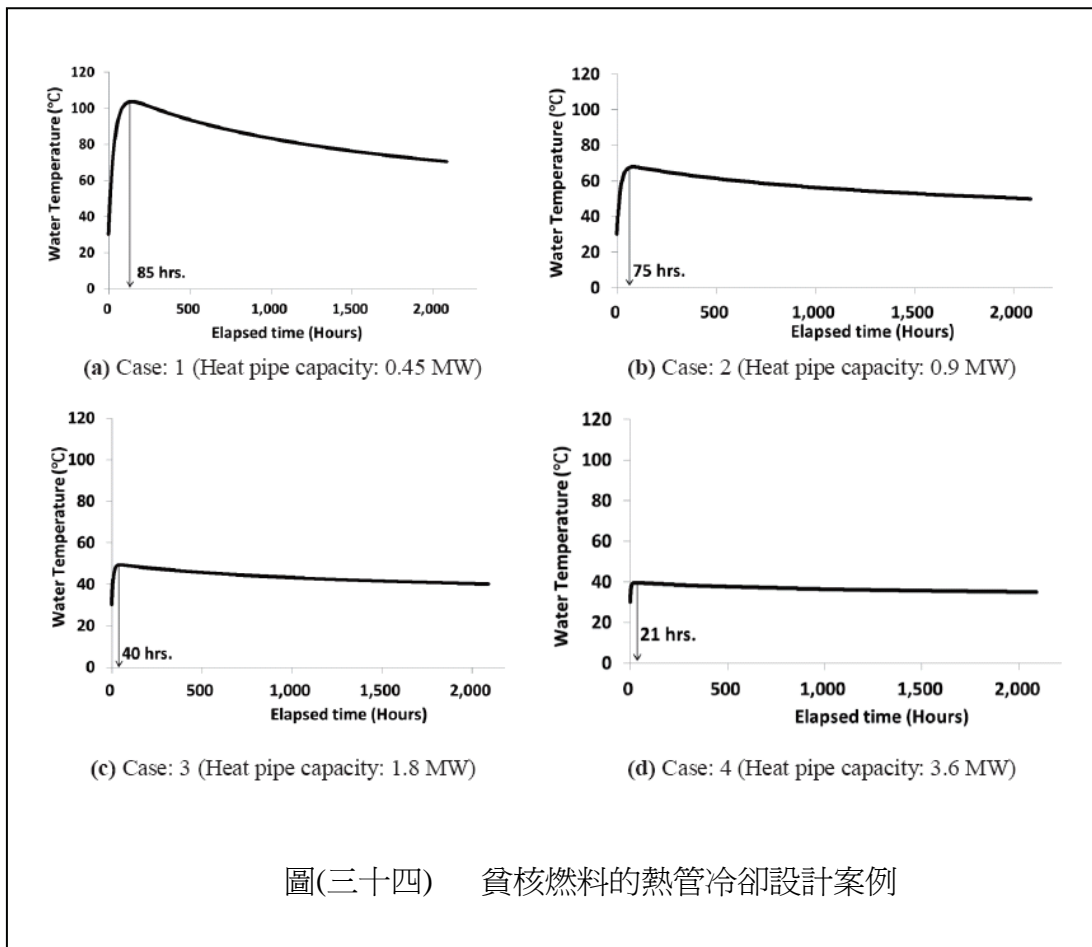






表(六) 熱管散熱系統的設計案例

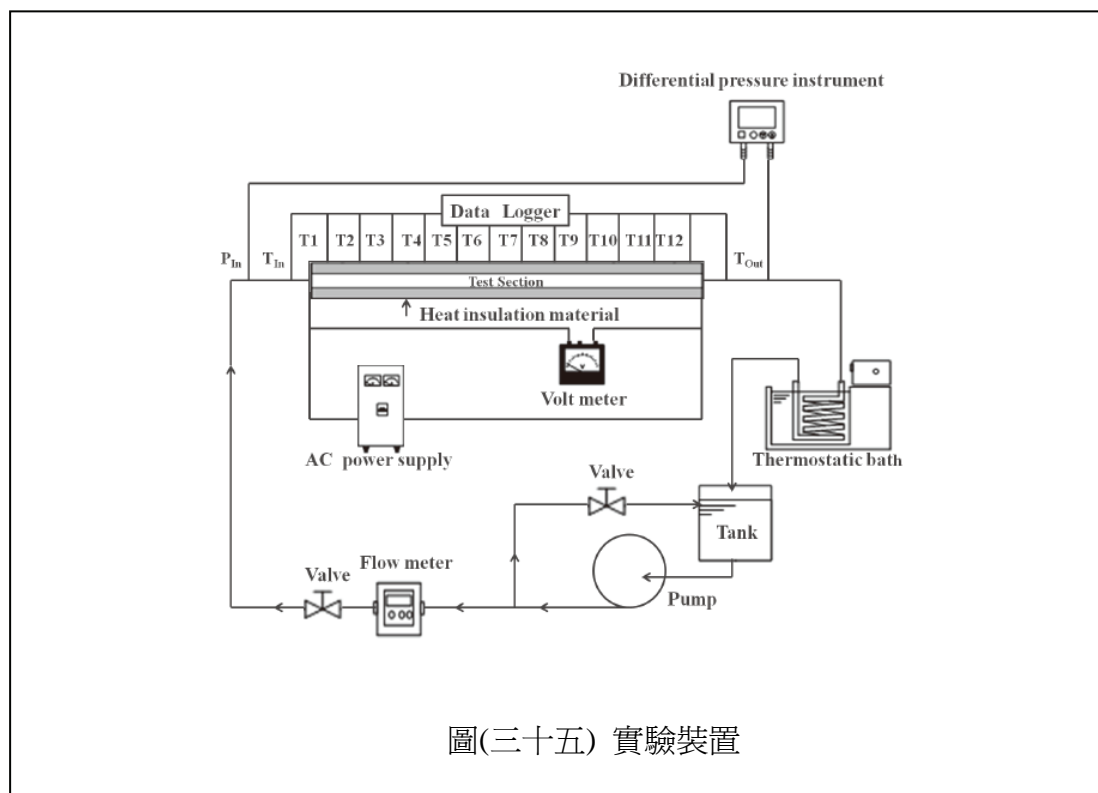
Case	Heat pipe capacity (MW)	Ratio against thermal power (%)	Required heat pipe thermal resistance ( $^{\circ}\text{C}/\text{W}$ )	Number of heat pipe
1	0.45	0.019	$2.19 \times 10^{-3}$	823
2	0.9	0.038	$1.09 \times 10^{-3}$	1662
3	1.8	0.076	$5.47 \times 10^{-6}$	3292
4	3.6	0.151	$2.73 \times 10^{-6}$	6648



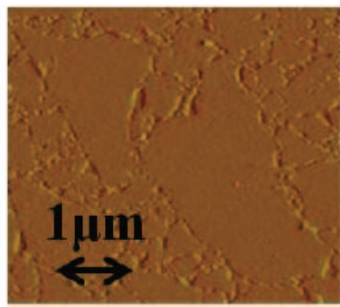
熱管在煉油與石化業，可用在燃燒爐煙道氣熱能回收，亦即燃燒爐的煙道氣藉助熱管將熱能傳遞予燃燒爐進料空氣。本論文所提議的熱管應用於核能電廠之核子堆反應爐核芯緊急冷卻與貧核燃料水池的冷卻熱值得台灣參考評估。

第六篇的篇名是” THERMAL FLUID FLOW TRANSPORT CHARACTERISTICS IN PIPE FLOW USING GRAPHENE-OXIDE -NANOFLUID ” 主題和含奈米粒子流體之流動與傳熱有關。

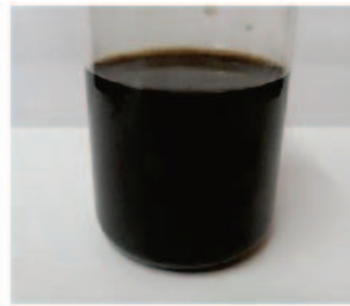
在一般情況下，水，發動機油和乙二醇被用作工業區的工作流體，但這些傳統流體的傳熱性能低阻礙性能提升和熱交換器的小型化。在基液添加懸浮固體顆粒是一用於強化傳熱的技術。流體包括納米顆粒被稱為奈米流體，指的是一個兩相混合物，其連續相一般為液體，分散相是奈米粒子，即低於 100 奈米的尺寸的極微細的金屬顆粒。懸浮的奈米顆粒可以改變基礎流體的傳輸和熱特性。例如，懸浮的奈米顆粒顯著地增加混合物的熱導率和改善能量交換的能力。本篇論文的研究目的是通過測量熱導率，有效粘度，以及對流熱傳遞性能披露奈米流體在圓形管內的熱流體輸送現象。重點放在該懸浮液與顆粒的影響，也就是說，顆粒的體積分數和雷諾數對紊流狀況之傳熱性能的影響。此處開發的石墨烯氧化物奈米流體作為工作流體，以恆定熱通量邊界條件下進行測試。



圖(三十五) 實驗裝置

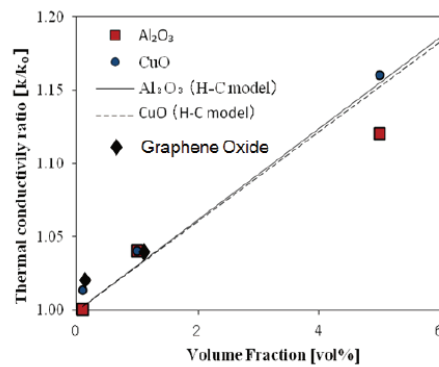


(a) AFM image

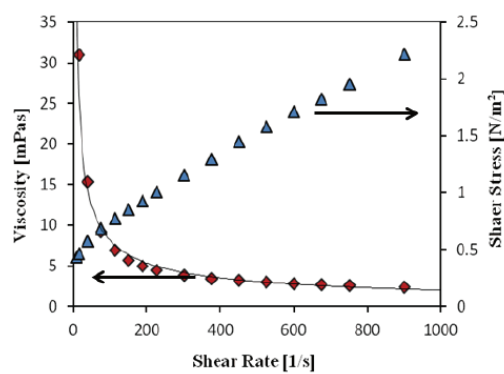


(b) Graphene-oxide nanofluid

圖(三十六) 石墨烯氧化物和其奈米流體的照片



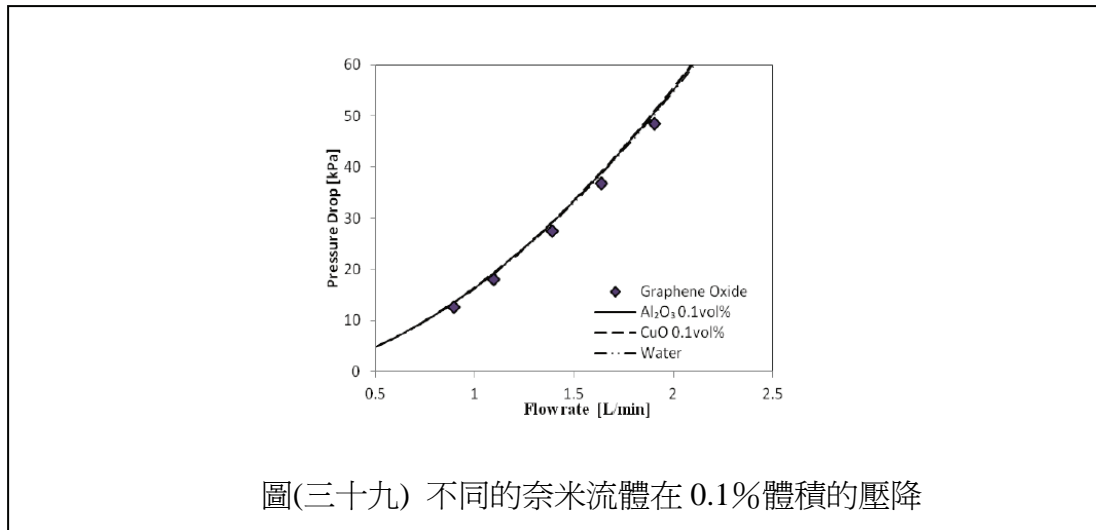
圖(三十七) 奈米流體的熱傳導率



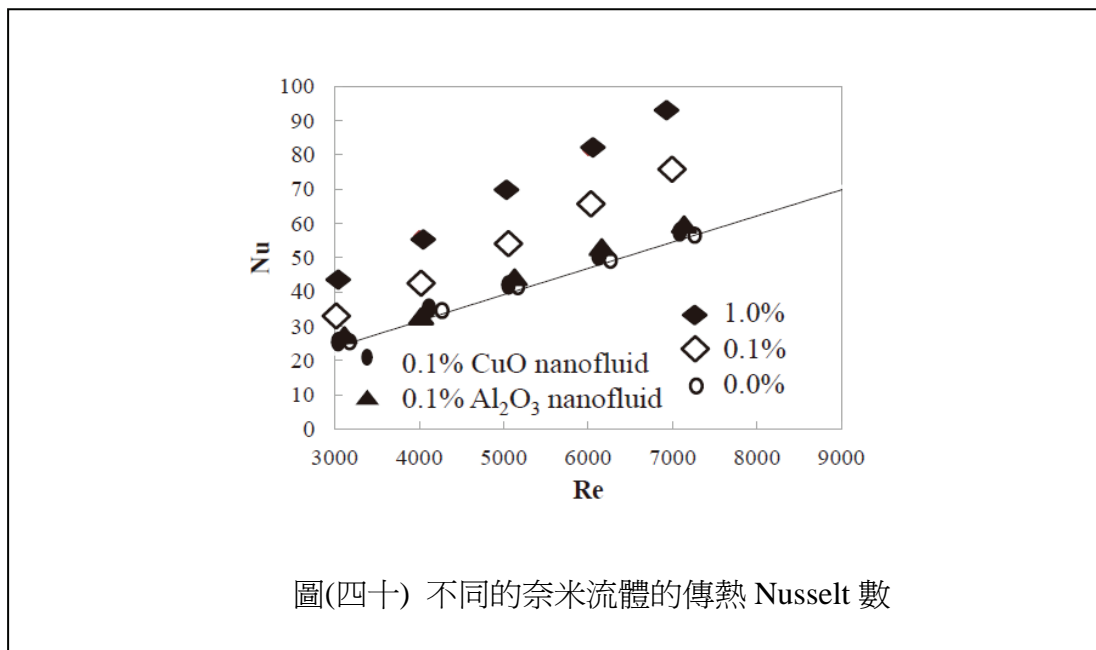
圖(三十八) 石墨烯氧化物奈米流體的粘度

圖(三十七)中示出奈米流體的熱傳導率並非相當高；圖(三十八)中示出這是奈米流體的粘度隨著剪切速率增加而降低，特別是在低剪

切速率區。因此，石墨烯氧化物奈米流體的納米流體是非牛頓流體。



圖(三十九) 不同的奈米流體在 0.1%體積的壓降



圖(四十) 不同的奈米流體的傳熱 Nusselt 數

所述奈米流體的壓力損失略微低於純水，圖(三十九)。圖(四十)指出相對於純水，石墨烯氧化物奈米流體之傳熱性能隨雷諾數增加提高，最高達純水的兩倍，而且傳熱性能也隨著石墨烯氧化物含量增加而提高。

石墨烯氧化物奈米流體的傳熱性能如進一步獲得證實，工業上應用將很大，冷卻水如加入這樣的奈米固體，將能提升工場熱交換效能。

## 伍、結語與建議

傳熱是石化與煉油製程相當重要的操作單元，熱能更有效能地傳遞，例如沸騰、冷凝與單相間對流傳熱效能提昇，不但可反應在熱交換器建造成本降低上，也會反應在工場操作成本上。參加本次國際傳熱研討會，有親身與各專家討教，從年會上的論文，吸取先進傳熱技術與經驗，對本公司工場擴大產能與節省能耗，將會很有助益。

本公司煉油廠與石化廠許多廢熱未善加利用，例如蒸餾塔塔頂蒸汽(vapor)送往空氣冷凝器冷凝成液體，換言之，將蒸汽的潛熱排放至大氣，殊為可惜。應該研究利用 **ORGANIC RANKINE CYCLE** 技術將這些能量轉換成電能，增加工場的操作效益。此外，熱能直接經由半導體元件轉換成電能之技術發展，是很值得關注的，如果此技術成熟，則工場熱能將會有長足的進步。

化學熱泵可以將提升熱能溫度水平，善加利用，可以回收低水平熱能。熱管在煉油與石化業，可用在燃燒爐煙道氣熱能回收，亦即燃燒爐的煙道氣藉助熱管將熱能傳遞予燃燒爐進料空氣。這次日本專家所提議的熱管應用於核能電廠之核子堆反應爐核芯緊急冷卻與貧核燃料水池的冷卻熱值得台灣參考評估。