



# 奈米流體 在能源領域的應用

■ 撰文／圖片提供：鄧敦平

隨著全球節能減碳的觀念風起雲湧，開發高效率的元件與設備以因應此一風潮已是不可避免的趨勢。由於奈米科技的發展，在傳統工作流體中添加奈米粒子形成奈米流體能夠克服傳統毫微米級固／液懸浮液於應用時發生沉澱、阻塞與磨損管路等問題，並且能大幅提升熱傳性能與實用性。此外，將奈米流體應用於鍍膜、塗料、磨潤等領域，藉由其優異的特性，可對傳統技術提供革命性的發展。然而在奈米材料安全性的問題方面，仍是一個亟需深思與解決的課題。

**白** 1995年美國阿根國家實驗室（Argonne National Laboratory）的研究者Choi將添加奈米粒子且穩定懸浮的固液混合液命名為「Nanofluids」之後，開啓全世界的研究者對於奈米流體的相關研究。事實上，早在100年以前，Maxwell就提出固／液混合物能夠提升基礎液體（Bulk Liquid）熱傳導係數（Thermal Conductivity）的觀念，只不過當初是針對毫微米級的添加粒子，在實際應用時常常面臨沉澱、阻塞與磨損管路等缺點。隨著奈米科技的發展，添加到基礎液體的粒子已經縮小到奈米級，能夠大幅改善上述的問題。由於固液接觸面積很大，加上固體粒子的熱傳導係數遠高於液體等因素，奈米流體的熱傳導性能得以大幅地提升，引起眾多研究者進行熱傳相關領域的基礎與應用研究。

## 奈米流體的製造方法

在傳統工作流體之中添加奈米粒子，並製作出懸浮穩定的懸浮液均即稱為奈米流體。奈米流體除了可應用於熱交換之外，亦可應用於鍍膜、塗料、磨潤等新技術的開發，應用範圍可說是十分廣泛。表1為常見奈米顆粒的製造方法，奈米粒子的製造方式眾多，主要有氣相合成（Vapor Synthesis）、液相

關鍵字 ■ 奈米流體、奈米粒子、熱傳導係數、熱交換

▼ 表1 常見的奈米粒子製作技術一覽表

氣相合成	物理氣相沉積	電阻加熱法
		電漿加熱法
		電弧放電法
		雷射熔蝕汽化法
		高週波感應加熱法
		電子束加熱法
		濺鍍法
	化學氣相沉積	催化化學氣相沉積法
		微波等離子體電子迴旋共振法
		火焰合成法
液相合成	化學沉澱法	
	溶膠-凝膠法	
	噴霧法	
	水熱法	
物理研磨		

合成 (Liquid Synthesis) 與物理研磨 (Physics Grinding) 等3大類, 各種製造方式各有其優劣, 製造的方式與製程參數會影響顆粒外型、材質與表面特性。

如圖 1 所示, 直接在流體中製造出奈米粒子而形成奈米流體的方式稱為一階合成法 (Single Step synthesis), 如圖 2 所示, 為國立台灣師範大學奈米材料製造團隊利用電漿電弧法一階合成法製造出的奈米碳 (nano-carbon) 之穿透式電子顯微鏡 (Transmission Electron Microscopy, TEM) 影像; 如果是事先製造出奈米顆粒, 然後再用定量添加的方式混入工作流體之中, 接著經由機械攪拌、超音波分散與分散劑添加等技術製作出奈米流體的方法則稱為直接合成法 (Direct Synthesis)。如圖 3 所示, 為使用 Degussa P-25  $\text{TiO}_2$  奈米粒子利用直接合成法製作出不同濃度的

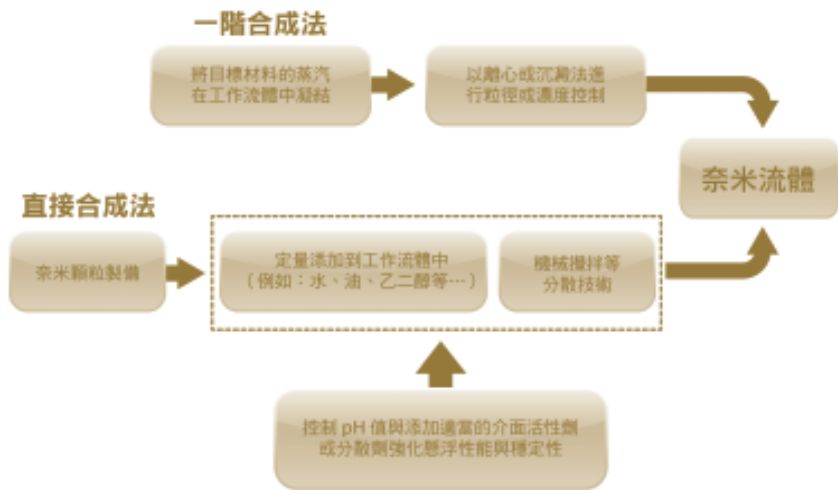
$\text{TiO}_2$  / water 奈米流體以及奈米粒子的 TEM 影像。

一般而言, 一階合成法具備自我篩選的機制, 製程中所產生的較大顆粒會自動沉澱, 粒徑較小的顆粒會懸浮於液體中, 因此產出的奈米流體通常具有較佳的懸浮性能, 不過有粒徑分布較廣與生產濃度不易控制等缺點, 並需再經由離心與沉澱等技術加以改善; 直接合成法則可事先篩選奈米粒子的粒徑與材質, 並且方便控制奈米流體的濃度, 不過在合成過程中常會有團聚的問題, 因此在分散技術方面必須特別注意。

### 奈米流體提升 熱傳性能的機制

隨著產品小型化與功能要求越來越高, 散熱是一個值得關注的課題。一般提升熱交換性能常用的方法不外乎增加熱交換器的表面積、採用高導熱材料製作熱交換器、提升工作流體的流量與採用高導熱的工作流體等4大途徑。其中, 增加熱交換器的表面積會隨著產品小型化的需求以及加工技術而受限; 而目前主要使用銅、鋁製造的熱交換器已有極佳的導熱性能; 再者, 加大工作流體的流量將會造成輸送耗功的增加與噪音等問題。因此使用高熱傳性能的工作流體是一個值得研究的方向。

1989年, Birringer即闡述奈米流體能夠比傳統工作流體提升熱傳性能的主要原因包括: 一、奈米粒子能夠



▲ 圖1 奈米流體的製造

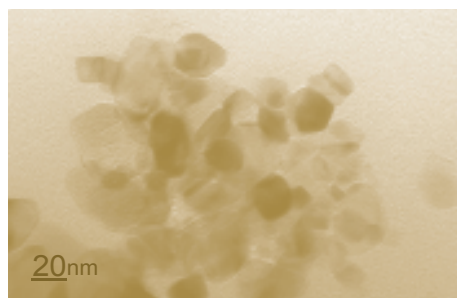
增加流體的固／液界面的表面積；二、奈米粒子具有較高的熱傳導係數，能夠提升流體整體的熱傳性能；三、奈米粒子能夠增強流體與管壁的碰撞機率，有助於提升熱對流的效果；四、添加的奈米粒子有助於流體的擾動；五、奈米粒子能夠降低溫度梯度與熱阻；六、添加奈米粒子到工作流體之中不會造成太大的壓降。

許多學者指出造成上述奈米流體增進熱傳的因素包含：固體粒子具有較大的熱傳導係數、粒子碰撞強化能量傳輸、固液界面層效應（Solid-liquid Interfacial Layer）、布朗運動（Brownian Motion）、聲子彈道理論（Ballistic Phonons Theory）等莫衷一是，仍有待深入的研究。不過奈米流體仍是極具開發潛力的新一代熱交換工作流體。

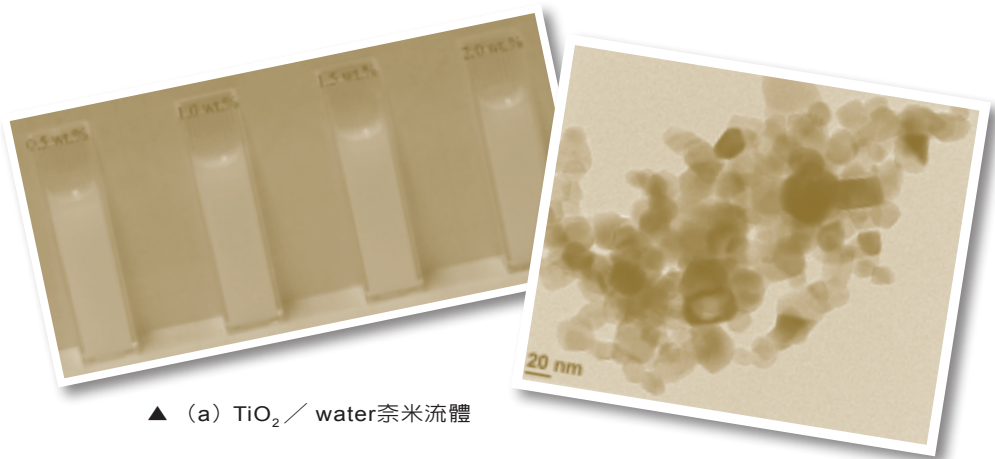
### 應用與挑戰

目前奈米流體應用在熱交換方面已經有許多豐碩的研究成果，包含應

用於柴油發電機的散熱與熱回收、熱管工作流體、電子晶片冷卻、太陽能集熱系統等。利用奈米流體的高熱傳性能，能有效地提升系統熱交換效率，進而達到節能的目的。奈米流體的相關研究除了在熱交換領域之外，還包含建材塗料、表面處理、磨潤等領域。在建材塗料方面已有商用的產品推出，添加奈米銀或氧化鈦的塗料具有防污、自我潔淨與殺菌的作用，能夠改善室內空氣品質，並能強化漆面結構，減低龜裂的現象發生。在表面處理方面，將奈米流體利用電泳沉積法（Electrophoretic Deposition, EPD）可成功地在導電基材上披覆奈



▲ 圖2 奈米碳粒子的TEM影像



▲ (a)  $\text{TiO}_2$  / water 奈米流體

▲ (b) TEM 影像

▲ 圖3 直接合成法製造的 $\text{TiO}_2$ 奈米流體與使用的奈米粒子

米材料，可製作光觸媒金屬濾網、燃料電池電極、防火塗層與反射元件。再者，將奈米粒子分散於潤滑油之中形成奈米潤滑油能強化傳統潤滑油的磨潤特性，並可提升散熱性能。某些奈米潤滑油中的奈米添加物甚至可以達到表面修補的功能，延長機件的壽命。

因此，隨著奈米科技的進步，越來越多的產品均標榜採用奈米科技來強調其優異性能。奈米流體也隨著相關研究的發展以及產品的推出而成為一個熱門的話題，然而現今奈米流體仍存在許多穩定性、耐久性、價格與安全性等挑戰與限制。隨著新的分散技術與添加劑的發展，在穩定性、耐久性與價格方面的問題已經逐步獲得改善，然而許多添加物可能會造成環境的污染與人體的傷害，因此在安全性方面則成為目前最受到關注的議題。雖然許多安全性的研究報告結果並無一致性的結論，然而可確定的是奈米材料生產與研究人員應注意自我

防護以及廢棄物的處理與回收等問題；政府單位應積極對奈米相關產品訂定製造安全規範與國家標準認證；對使用者而言，應該選擇與使用合格認證的奈米產品，如此應可大幅降低奈米科技所帶來的危險性。

### 結語

奈米科技為傳統技術發展開創了一個新的方向，打破傳統添加物比重於基礎液體會發生沉澱現象的觀念，成功開發出穩定懸浮的固液懸浮液—奈米流體。奈米流體能夠克服傳統毫微米級固/液懸浮液在應用時會發生沉澱、阻塞與磨損管路等問題，在熱交換、鍍膜、塗料、磨潤等領域均擁有極佳的性能表現，對於節能減碳將有所助益。然而在奈米材料的安全性與對環境影響方面，則有待更廣泛與深入的研究，以期開發安全與性能兼具的奈米技術與相關產品。✳  
(作者為國立台灣師範大學工業教育學系能源應用組助理教授)