

二氧化鈦 光觸媒的應用 自潔建築材料

要使材料具有自潔的效果，
主要的方法是讓材料表面具「超疏水性」或「超親水性」。
把植物表面的細微結構製作在瓷磚上，可得到超疏水性的表面，
把二氧化鈦膜鍍在玻璃或塑膠上，可得到超親水性的表面。

■ 周開平 陳郁文

在實際生活中，建築材料如瓷磚或窗戶玻璃等的清潔是很麻煩的，因為會消耗大量的能源及清潔劑，所以成本甚高。根據研究，若要使材料可自潔表面，主要的方法是使材料表面具有「超疏水性」或「超親水性」。

暴露在空氣中的固體的潤濕性與界面間的張力有關。水／空氣、水／固體及固體／空氣兩兩之間的界面張力決定了水滴在固體表面上的接觸角。接觸角零度表示完全潤濕，而 180 度表示完全不潤濕。水在疏水性的表面上接觸角大於 100 度具低潤濕性。一般而言，接觸角越大，附著性越低，換句話說，接觸角的減少會使附著性增加，趨向親水性表面。

植物表面的斥水現象早已為世人所知，而其斥水性表面也顯現出自潔的性質。1997 年，巴樂特 (W. Barthlott) 等人說明了蓮花葉面的結構、潤濕性及其自潔特性的關係，並稱它是「蓮花效應」。他們還指出蓮花葉片表面具有細微粗糙結構，且接觸角高於 130 度。這意謂著，當水接觸到蓮花葉面時，會立刻收縮成水珠，而污染物粒子也會附著在水珠表面，當水珠滾動時，就會被一起帶走。如果能把這些植物表面的細微結構製作在實際的物品上，或許就可得到超疏水性的表面。

另一方面，自從發明肥皂後，我們就已知清潔程序與低接觸角有關。一般來說，清潔劑會

蓮花葉片具有細微粗糙結構的斥水性表面，當水接觸到蓮花葉面時，會立刻收縮成水珠，而污染物粒子也會附著在水珠表面，當水珠滾動時，就會被一起帶走，而顯現出自潔的性質。

降低水的表面張力，使得接觸角減小。最近人們發現一個不用清潔劑也能造成低接觸角的例子，那就是在材料表面製備一層光催化活性的薄膜。

在過去數年中，許多人對二氧化鈦深感興趣。因為二氧化鈦若暴露在紫外光下，可得到小於 1 度的接觸角，可見這類

物質具有獨特的「親水性」，而且停止照光後，二氧化鈦表面的超親水現象仍可持續兩天。此外，二氧化鈦照射紫外光後也能有效氧化及分解細菌、有機和無機物質。

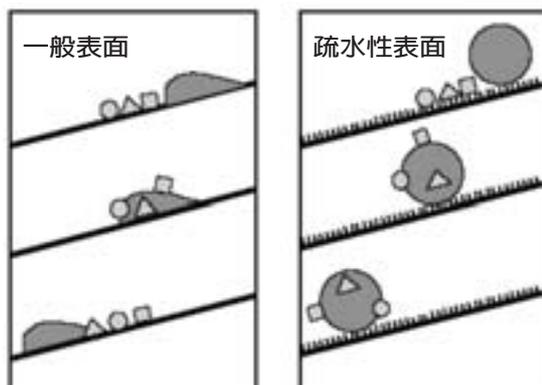
非均相光催化

在缺乏催化物質時，大部分碳水化合物氧化進行的非常緩慢，這現象可從化學反應動力學來解釋。由於光觸媒會降低反應的活化能，所以在光驅動下，會產生強氧化性及強還原性的物質。一個非均相光催化系統，是由半導體粒子，即光觸媒，與液相或氣相反應物質接觸所構成。觸媒照光會產生激發態，因而啓動一連串反應，如氧化還原及分子轉換。

在光催化作用的反應機制中，光觸媒的電子組態是具有填滿的共價帶和空的傳導帶。傳導帶最低能階與共價帶最高能階的能差就是所謂的帶距能，這剛好是照光使物質產生導電性所需的最低能量。

當光子的能量超過帶距能時，電子會從共價帶躍遷到傳導帶，而留下一個電洞在共價帶裡。對導電的物質而言，所產生的電荷載體會立即再結合。但對半導體而言，光激發所產生的電子—電洞對會擴散到觸媒粒子的表面，而參與化學反應，並和被吸附的施體 (donor) 或受體 (acceptor) 分子作用。電洞會氧化施體分子，而位於傳導帶的電子會還原受體分子。

半導體性的金屬氧化物有一特點，就是電洞的強氧化力。它們可以和水反應進行單電子氧化



蓮花效應可使表面具有自潔的特性

步驟，產生高度反應性的氫氧離子基。電洞和氫氧離子基都是很強的氧化劑，可氧化大部分的有機污染物。

一般而言，空氣中的氧氣分子也會像受體分子一樣形成超氧離子，

超氧離子也是具有高度反應性的物質，可以氧化有機物質。

二氧化鈦光觸媒

二氧化鈦是日常生活中常用的物質，廣泛應用在白色顏料、化妝品及食物中。一般來說，二氧化鈦是一種半導體材料，可藉由照光啟動它的化學作用。近年來，二氧化鈦的光催化性質被廣泛研究，尤其是塗料方面的應用。由於二氧化鈦在光照下可分解有機物質，使得塗料中的有機成分被分解掉，導致了著名的油漆白化現象。

二氧化鈦有3種晶相：銳鈦礦、尖晶石及板鈦礦。與尖晶石及板鈦礦相較，銳鈦礦有較好的光催化性，因此，工業用的二氧化鈦光觸媒幾乎不使用尖晶石相或板鈦礦相。以下敘述所提到的二氧化鈦，都是指銳鈦礦相。

1972年，藤島（Fujishima）和本田（Honda）發現在二氧化鈦電極上，水會被光催化而分解，這個發現可說是非均相光催化領域中新時代的開始。雖然二氧化鈦只能吸收大約5%的太陽光，但仍是在化學轉換及太陽能儲存上最實用的半導體。最近幾

當光子的能量超過帶距能時，電子會從共價帶躍遷到傳導帶，而留下一個電洞在共價帶裡。所產生的電子—電洞對會參與化學反應，並和被吸附的施體或受體分子作用，電洞會氧化施體分子，而位於傳導帶的電子會還原受體分子。

年，二氧化鈦光催化技術已經應用在一些重要的環保問題上，例如水和空氣中有毒物質的去除。

二氧化鈦是帶距能3.2電子伏特的半導體，如果它被大於3.2電子伏特，相當於波長小於388奈米的光子照射，電子就會從共價帶躍遷到傳導帶。因此，光照射最基本的程序就是產生電子—電洞對。

半導體是否有因為光照而使電子轉移到被吸附粒子上的能力，是由半導體的能帶位置及被吸附物質的氧化還原電位所決定。熱力學指出，受體物質相關的電位階必須在半導體的傳導帶以下，而為了能施予電子到電洞中，施體的電位階必須在半導體的價帶位置以上。

二氧化鈦光催化的應用

和其他污染物的氧化程序相比，使用二氧化鈦進行非均相光催化氧化，必須滿足下列條件才具有競爭力：使用低成本材料做為光觸媒；在室溫及1大氣壓下，也能非常快速地反應；被轉化成水及二氧化碳的有機污染物種類範圍要廣泛；不必使用化學反應物，且無副反應產生。

過去10年中，已經吸引了許多產業應用光催化技術於水及空氣純化的研發上。與傳統採用的氧化程序相比，光催化技術有不少的優點，如設備建置容易、室溫操作、毋需後續處理、能源消耗較少、成本較低等。

傳導帶最低能階與共價帶最高能階的能差就是所謂的帶距能，這剛好是照光使物質產生導電性所需的最低能量。例如二氧化鈦是帶距能3.2電子伏特的半導體，如果它被大於3.2電子伏特，相當於波長小於388奈米的光子照射，電子就會從共價帶躍遷到傳導帶。

針對廢水中有毒物質去除的議題，已經設計出很多光反應器。在以前，是使極微小的二氧化鈦顆粒分散在液體中。然而，這些系統很難控制，因為以紫外光照射完成分解程序後，二氧化鈦顆粒仍懸浮在水中，若使用過濾或其他方法移除，效率都很差，也耗費成本。另外，有些反應器是設計成把二氧化鈦固定在玻璃、陶瓷或金屬表面上。目前更進一步改善成薄膜固定床反應器，反應時工業廢水是通過表層鍍有二氧化鈦的材料，如玻璃、聚苯乙烯、甲基丙烯酸酯等。

光催化氧化也可去除及分解室內空氣中的污染物，所用的反應器會抓住有機化合物並進行化學氧化，使它們轉化成二氧化碳和水。這些反應器可在室溫下操作，且不必考慮壓力的問題，因此，可進一步與加熱、通風及空調系統整合。

過去10年中，已經吸引了許多產業應用光催化技術，與傳統採用的氧化程序相比，光催化技術的優點包括設備建置容易、室溫操作、毋需後續處理、能源消耗較少、成本較低等。



攝影：張志銘

光鮮亮麗的衛浴環境人人喜愛，但要保持光鮮亮麗卻是件很辛苦的事。在未來，鍍有二氧化鈦的瓷磚頗有可能成為廚房、浴室和地板建材的主流，因為二氧化鈦具有超親水性和自潔能力，可以讓人很輕鬆地完成打掃工作。

鍍有二氧化鈦的瓷磚能有效分解有機和無機物質，同時也能抗菌。這些瓷磚應用在醫院及看護設施上，可以減少傳染的速率和對免疫系統已經很弱的病患的威脅；應用在公共設備和學校中，可以改善衛生條件；應用在廚房、浴室和地板上，可以提升家庭衛生並減少家事的分量，而這也是一般人最感興趣的。此外，這些瓷磚顯現出超親水性的行為，水會在瓷磚表面形成均勻的一大片，油脂、塵垢和其他污染物質會很容易地被水流所清除。超親水性再結合光催化氧化特性，使鍍有二氧化鈦的瓷磚能做到表面自我潔淨。

未來的研究及應用

二氧化鈦光催化有很多戶外的應用，已有二氧化鈦應用於建築材料如瓷磚、混凝土、砂漿及灰泥中的資料。例如，大部分建築物外牆會被含

有油質化合物的汽車廢氣所損壞，若能在原建築材料表面鍍上具超親水性的光觸媒，外牆的塵垢可以很容易地被雨水清洗掉，而長時間保持建築物外觀的清潔。

這類應用須考慮二氧化鈦的兩個特點：第一，超親水性的表面對水比對油具有更高的吸引力；第二，紫外光照射二氧化鈦所形成的電子-電洞對，會與環境中的氧及水反應，而在鍍材表面產生具強氧化清潔能力的媒介，這些媒介會把大的有機分子分解成較小的分子。

總之，結合光催化和超親水性兩項特點，二氧化鈦可讓油脂和塵垢很容易地被水清除。 □

周開平 陳郁文

中央大學化學工程與材料工程學系

鍍有二氧化鈦的瓷磚能有效分解有機和無機物質，同時也能抗菌。此外，超親水性與光催化氧化特性的結合，使鍍有二氧化鈦的瓷磚能做到表面自我潔淨。