

清潔替代燃料二甲醚概述

► 環境資源中心 楊顯整

自工業革命以來，人類對於能源的使用量不斷的増加。從1997年至2006年這十年間，全球總初級能源消費的平均年成長率約為2.2%，其中石油是各國消耗最多的初級能源。雖然石油占世界整體能源消耗比例已從1997年的38.45%下降至2006年的35.76%。然而，石油依然是全球消耗最多的初級能源，我國亦不例外。我國能源98.1%仰賴進口，僅1.9%為自產能源，其中煤炭占31.9%、石油占51.3%、天然氣占0.4%、液化天然氣占7.6%、水力發電占1.5%、核能發電則占7.3%。亦即我國目前的能源主要仰賴於煤炭以及石油的進口。

截至2006年底全球石油可開採年限為40.5年，天然氣可開採年限是63.3年，煤炭則為147年。由於化石燃料枯竭的問題，全球能源價格快速提升，世界各國均對能源安全與能源多元化的議題非常重視。再者，溫室氣體所帶來的溫室效應更是受到世界各國的關注，傳統化石燃料由於含有硫等眾多複雜成分，燃燒時產生CO₂以及NO_x、SO_x、PM等空氣污染物，對環境破壞較為嚴重，因此找尋一個潔淨的再生或替代燃料是當務之急。二甲醚燃燒時不會產生SO_x、PM，且NO_x、CO₂等溫室氣體排放量極低，是一種類似於LPG的液化氣燃料。相較於甲烷、甲醇、乙醇、FT-柴油等替代燃料，從生命週期的溫室氣體排放、能源效率、非化石原

料的儲存量、燃料的用途、現有設施的相容性、及經濟性等議題來看，二甲醚可以說是最具有發展潛力的替代燃料。

一、二甲醚的燃料特性

二甲醚俗稱為甲醚，簡稱DME (dimethyl ether)，是結構最簡單的醚類，分子式為CH₃OCH₃，分子量為46.069。有關二甲醚與其它燃料的性質如表1所列，其物理性質非常類似液化石油氣（丙烷與丁烷），在常壓-25℃下或常溫6大氣壓下很容易液化，可利用現行LPG儲運設備，混入或替代LPG作為家用或商用燃料。二甲醚本身具有醚類特有的味道，不像天然氣或LPG需再添加有臭味之添加劑，且燃燒時火焰類似甲烷、亮度高。而在汽車燃料方面，由於LPG、天然氣、甲醇等燃料之十六烷值均小於10，僅適合用於點燃式發動機（汽油引擎），而二甲醚十六烷值大於55，具優良壓縮性，非常適合用於壓燃式發動機，作為柴油的替代燃料。

二甲醚作為替代燃料的優點包括：

- （一）沸點低：二甲醚在氣體與液體之間轉變容易。
- （二）氧含量高：再加上分子間沒有碳-碳鍵結，二甲醚的燃燒性極高，在大範圍燃燒條件下不會產生黑煙。
- （三）高十六烷值：在柴油內燃機燃燒性質良好，具有較低的燃燒溫度快速氣化



表1 二甲醚與其它燃料之性質比較

項目	二甲醚	丙烷	正丁烷	甲烷	甲醇	柴油
分子式	CH_3OCH_3	C^3H_8	C_4H_{10}	CH_4	CH_3OH	-
沸點(°C)	-24.9	-42	-0.5	-161.5	64.6	180-370
液體密度(g/cm^3 20°C)	0.667	0.49	0.57	-	0.79	0.84
氣體比重(比空氣)	1.59	1.52	2.0	1.55	-	-
飽和蒸汽壓(atm 25°C)	6.1	9.3	2.4	246	-	-
十六烷值	55-60	5	10	0	5	40-55
低位熱值(kcal/Nm^3)	14,200	21,800	28,300	8,600	-	-
低位熱值(kcal/kg)	6,900	11,100	11,000	12,000	5,040	10,200

的性質，也產生較少的 NO_x 。

雖然二甲醚有許多作為替代燃料的優點，但是依然有些缺點需要克服才能大量的應用於各種替代燃料，包括：

- (一) 單位體積或質量的熱值低：貯存與運輸同熱值時，必須增加容積。
- (二) 潤滑性低：易造成機械磨損。
- (三) 溶媒作用強、黏度低：對許多高分子材料具有膨潤作用，加上黏度低，容易造成燃料洩漏問題。
- (四) 低體積彈性率：液體狀態的二甲醚具有低體積彈性率，其體積隨壓力變化較大，會造成燃燒設備內的壓力波動。

二、二甲醚的製造

二甲醚可以由含碳的原料來生產，包括石油焦、煤炭、天然氣等化石燃料，也可以利用農業廢棄物、廢木材、黑液等生質材來製造。二甲醚生產的方式類似於甲醇，其生產方式主要有兩種：(1) 兩步驟甲醇脫水反應，以及(2) 合成氣直接轉化法(一步驟法)。不論哪一種方式，生產二甲醚的第一步都要先將原料轉化為合成氣，然後再用來製造二甲醚。一般生產二甲醚的原料都採用天然氣，則天然氣必須先經過蒸汽重組反應以產生合成氣。利用煤、生質材為原料，則先要將原料氣化成合成氣，再用來合成二甲

醚。其製造流程如圖1所示。

目前大部分的二甲醚都是經由兩步驟法所製造，亦即先由合成氣在銅系觸媒作用下生成甲醇，再利用鋁系、或沸石系觸媒，將甲醇脫水以獲得二甲醚。而最新的一步驟法，則是在合成和脫水催化劑(非上述觸媒)的共同作用下，讓甲醇合成反應和脫水反應在同一個反應器中同時進行，使得甲醇一經生成即被轉化為二甲醚，並能提高二甲醚的轉化率。

雖然二甲醚可以用化石燃料或生質材為原料，且生質二甲醚也具有很大的吸引力，然而以經濟的觀點來看，在沒有補助的情形下，以化石燃料生產二甲醚才是目前可行的方式。由於天然氣在一些偏遠地區價格非常低，因此以天然氣直接合成法，一步驟直接生產二甲醚才是未來大規模生產的最佳途徑。

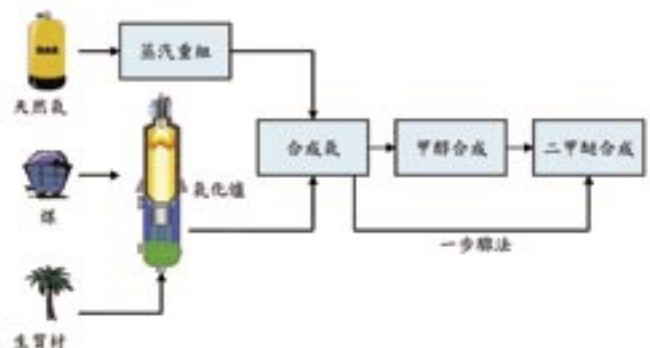


圖1 二甲醚生產流程

三、二甲醚的應用

二甲醚的應用領域主要包括化學品原料、CFC化合物替代品、柴油車替代燃料、家用或商用LPG取代、氣渦輪機或柴油發動機發電、燃料電池燃料等，茲分別敘述如下：

（一）化學品原料

二甲醚是一種重要的化工原料，可用來合成製造多種化學品，包括硫酸二甲酯、烷基鹵化物、乙酸甲酯、乙酸、乙酸乙烯、碳酸二甲酯、二甲基硫醚、低烯烴、甲醛和有機矽化合物等。其中最主要用途為生產硫酸二甲酯。

（二）CFC化合物替代品

二甲醚對環境友善、不會破壞臭氧層，具有極低的溫暖化潛勢($GWP = 0.3$)，與各種樹脂、溶劑有良好互溶性，因此被廣泛地用來取代CFC化合物作為發泡劑、噴霧劑、以及冷媒。國外已陸續開發出以二甲醚作為聚苯乙烯、聚胺基甲酸乙酯、熱塑聚酯泡沫的發泡劑。利用二甲醚作為發泡劑能使發泡材的孔洞大小均勻、柔韌性、耐壓性增強。

二甲醚亦是一種理想的噴霧劑。其無腐蝕、無毒、成本低、價格便宜，在西歐各國已經成為民用氣溶膠製品的CFC化合物替代品。自從1996年以來，全球每年生產約100,000-150,000公噸的二甲醚，其中約有80%是用於替代CFC化合物作為噴霧罐的噴霧劑。在冷媒應用方面，目前使用的HFC冷媒雖在製冷市場上占有主流優勢，但由於HFC大多都有較高的溫暖化潛勢，於2030前將被禁止使用(得以提前)。因此使用不會破壞臭氧層、溫暖化潛勢也為0的環保冷媒來替代現有的HFC冷媒是一定的趨勢。環保冷媒R600a是丁烷冷媒，其性能比目前常用的R-134a冷媒更環保，可以讓冰箱有更高

的COP值。二甲醚作為冷媒則具有比R600a更好的熱力性質和安全性，R600a冰箱改用二甲醚後冷媒的最佳填充量可以縮小，冰箱的耗能減少約20%，製冷量增加約80%，冰箱的冷卻速度更快。二甲醚的爆炸極限比R600a高，因此更安全。另外，二甲醚與R600a一樣，可以良好的溶解常用的礦物油和脂類油。因此，二甲醚比R600a更適合作為冰箱冷媒。

（三）柴油車替代燃料

柴油引擎的效率比汽油引擎高7~9%，但是目前柴油引擎因為污染大而逐漸被淘汰，二甲醚有較高的十六烷值，非常適合於壓燃式發動機，其壓縮點火性質甚至優於一般的高級柴油，因此是柴油汽車燃料理想的替代品。柴油發動機燃用二甲醚的優點是，可以減少NO_x、CO、以及碳氫化合物的排放，且二甲醚燃燒幾乎不產生黑煙、也不會有SO_x排放。另外，二甲醚注入引擎系統後立刻汽化，引擎燃用二甲醚時噪音遠低於柴油。

柴油車引擎系統不需修改即可燃用二甲醚，但燃料儲存系統與輸送系統則需略作修改才能因應二甲醚燃料的特性。由於二甲醚的熱值比柴油低，為了達到與燃用柴油相同的里程數，二甲醚燃料箱需為柴油燃料箱的兩倍。二甲醚使用於柴油引擎比較具挑戰的地方是由於其物理性質而非其燃燒性質，由於二甲醚的黏度低於柴油甚多，再加上其對高分子物質具有膨潤作用，會導致泵浦與燃料噴射系統的洩漏，因此柴油車的泵浦與燃料噴射系統需要進行修改才能順利燃用二甲醚。另外，二甲醚的潤滑性差會導致泵浦與燃料噴射系統的磨損損壞，因此燃料中亦需要額外添加約100 ppm的潤滑劑。

（四）家用或商用LPG取代

LPG廣泛的用於住宅用燃料包括加熱與



炊煮。在2000年，全球LPG市場為每年180百萬噸，並期待可以成長至260百萬噸。二甲醚無毒性、燃燒性能好、污染排放極低、燃燒尾氣符合國家衛生標準。再者，二甲醚本身含氧，燃燒充分完全、不會有碳析出、無燃燒殘留物，是一種潔淨的替代燃料。常溫下二甲醚蒸汽壓約為0.5Mpa，低於LPG與天然氣，在室溫下即可壓縮成液體，並可以利用現行LPG的儲存與運輸系統，因此具有很大的潛力取代LPG作為家庭用燃料。目前已有二甲醚用於炊煮燃料的實例了。例如在中國大陸的某些地區，二甲醚已經以20-30%的比例混入LPG中作為家庭炊煮的燃料，在這樣的混合比例下不需要修改任何原先的LPG設施（瓦斯桶、瓦斯爐、汽化設施）。如果摻燒比例提高，或者直接使用100%的二甲醚時，則必須稍微修改儲存設備（加大約25%）、爐具、以及汽化設施（密封防漏）。日本JFE公司曾使用家用瓦斯爐進行二甲醚燃燒實驗，結果顯示全部測試項目均符合JIS的要求。亦有研究預測在2010年，全亞洲家庭燃料之二甲醚需求量可以達到每年25百萬噸，是二甲醚作為替代燃料的主要市場，也是一個具高價值的市場。

（五）氣渦輪機或柴油發動機發電

天然氣發電是目前清潔發電的重點，與燃煤發電相比其污染排放、溫室氣體排放均明顯減少。然而，對於缺乏天然氣的地區，則必須要冷凍儲存與運送天然氣，使發電成本大幅增加。因此二甲醚亦可作為火力發電中一個可行的替代燃料。全球發電設備主要生產廠商美國GE公司曾測試氣渦輪機燃用二甲醚之測試，結果顯示燃燒-25℃的二甲醚液體的熱速率僅比天然氣小1.6%，比輕油小6.3%。而三種測試燃料之中，二甲醚產生最少的NO_x及CO。另外，二甲醚亦可使用於柴油發電機以替代柴油，其效率可與柴

油相當，且排放非常低的NO_x、不會產生黑煙。預估在2010年亞洲的DME市場約為105百萬噸，其中約50%會使用於發電。

（六）燃料電池燃料

二甲醚應用於燃料電池的方法包括，水蒸氣重組法及直接燃料電池兩種。水蒸氣重組法是外接一重組器將二甲醚轉化成氫，再供給燃料電池使用。直接燃料電池法則是將二甲醚直接於燃料電池陽極氧化，釋出氫離子與電子。根據工研院的資料，二甲醚與甲醇重組產生氫的水蒸氣溫度分別為350與220℃，亦即甲醇比二甲醚容易重組產生氫。而二甲醚直接燃料電池與甲醇直接燃料電池則能產生類似的電能密度，且二甲醚直接燃料電池之效率大於甲醇直接燃料電池。

四、結語

國內98%的能源皆仰賴進口，能源多元化與能源自主相當重要，因此積極推動再生能源、替代能源是相當重要的工作。二甲醚是一種清潔的替代燃料，可以由多種原料來製造，包括煤、天然氣、生質材等。其用途亦多元化，可用於家庭、商業燃料，亦可用於柴油替代燃料，乃至於發電，因此非常具有競爭性。利用天然氣以一步驟法生產二甲醚是目前最可行的發展方向，雖然已有多家公司宣稱開發成功，但離大規模生產依然有待進一步的努力。而二甲醚未來能否成功打入燃料市場，還需看其與傳統燃料之間的經濟性，包括原油、煤或天然氣價格、政府政策、配合設備等。儘管目前二甲醚仍未大規模被應用於燃料市場，然而許多研究均預測全球二甲醚的燃料市場在近幾年會有大幅的成長，尤其在LPG取代與火力發電方面，因此國內之主管機關可參考國外之政策與作法，適時的導入二甲醚成為國內的替代能源之一。 