|  |
| --- |
| **主標題** |
|
|
|

作者單位

作者名稱

氫能源被視為「後石油時代」重要的能源技術之一，由於化石燃料逐漸枯竭，且燃燒化石燃料為造成溫室效應的主要原因，各國希望藉由「氫能經濟」取代現行的「石油經濟」。氫能源有相當多的優點，例如氫燃燒後只會產生水，不排放二氧化碳、氫的能源效率高於石油、藉由氫燃料電池驅動的車輛，噪音遠低於一般車輛。雖然氫能源有許多好處，但是其發展目前仍面臨許多挑戰，短期內技術仍無法實用化。本文將簡介氫能源技術與發展之發展概況與趨勢，以及未來的展望。

**一、大標題**

氫用於能源領域上屬於新興領域，尚在開發階段。目前全球每年產氫約五千萬噸，大部分作為工業原料如生產氨氣、鹽酸之用，少部分用於半導體、電子材料的製程。氫能源的優點主要有三點：第一、氫在地球的含量豐富，僅次於氧與矽，取得來源無虞；第二、氫氣的能量含量很高，是同樣質量的汽油的3倍，天然氣的3.5倍；第三、氫燃燒時產生能量及水，不會產生二氧化碳等溫室氣體，是一種潔淨的能源。氫能源的利用主要透過兩種形式：一為燃料電池，另一為作為燃料直接燃燒。

氫能源利用在燃料電池，是利用氫氣與氧化物在電解質層進行化學作用以產生電力，由於燃料電池使用氫氣做為燃料來源之外，為目前能源產業中最適合運用氫能的應用產品。若氫直接然燒，主要是以氫內燃機的方式進行，氫內燃機原理類似一般使用汽油或是柴油的內燃機，不過燃燒氫的能源效率較高，且不會排放二氧化碳。雖然氫能源有不少的優點，不過氫能源在利用上有相當多的限制與挑戰，包括氫的生產、運輸、儲存，以下分別分析這些議題。

1. 次標題

氫能源產業中，氫的製造主要以化石燃料製氫、工業餘氫純化，以及水電解法為較常用的方式，其中化石燃料製氫、水電解法為技術較成熟的方式，而水光電解法與生物法尚在開發階段，技術成熟度仍低(詳細比較見表1)。現階段氫氣生產以化石燃料製氫為主流，但是利用再生能源發電，所得到的電力以水電解法製氫，為產業界認為未來有機會發展的技術。

表1 表格範例

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 方法 | 生產方式 | 技術成熟度 | 特點 |
| 化石燃料製氫 | 生產方式眾多，最常用的一種為水蒸氣重組法：在高溫下水蒸氣通過碳氫化合物，產生氫氣與二氧化碳 | 高 | 目前工業上超過95%以上的氫氣均用水蒸氣重組法製造。  優點：成本相對便宜  缺點：會產生大量二氧化碳 |
| 水電解法 | 水電解得到氫氣和氧氣 | 高 | 只有電力非常便宜或有過剩電力的地方才具商用化價值。目前約有4%的氫氣使用電解法製作。  優點：不會排放二氧化碳、生產規模具彈性  缺點：相當耗電 |
| 工業餘氫 | 利用工業製程中產生的於氫，加以純化而得 | 低 | 純化技術尚在開發階段。  優點：料源成本低  缺點：純化技術成本仍高 |
| 水光電解法 | 利用光觸媒分解水得到氫氣和氧氣 | 低 | 技術尚在開發階段 |
| 生物法 | 利用微生物代謝產生氫氣 | 低 | 生產效率低，目前尚在開發階段 |

資料來源：工研院產科國際所

1. 氫的運輸

氫產生後，如何有效率且安全地儲存及運輸需要慎重考慮，因為儲存及運輸方式攸關氫能的後續應用，例如如何把已儲存的氫氣供應給移動的車輛，或如何運輸至消費地點如加氫站等。常用的運輸方式有兩類，茲分述如下：

1. 小標題

將氫加壓之後，再運送至目的地。由於氫特性活潑，分子相當小而導致氣體型態時容易流失，比起運送天然氣的要求更為嚴格，需要特殊的裝置來可以運輸氫。遠地的傳輸則須把氫氣加壓或液化，然後以特殊的罐裝拖車運送。

1. 供氫管線

直接將氫氣注入特殊材質的專門運氫管線，或是注入現有的天然氣管線。氫氣具有良好的助燃能力，若注入的氫氣量不超過總體的5~10%，將不影響管線的安全性，並可提升天然氣的效能。

然而不管是以何種方式運送，都需要經過加壓的過程，這是非常耗費能源的。另外，運輸氫氣的車輛、管線、容器會產生氫脆的現象，需要嚴格執行定期檢修。綜合以上，氫的利用最佳狀況是製氫後立即使用，若需要運輸，最好以短程運送為宜。

1. 氫的儲存

氫的儲存方式現階段可分為壓縮氫氣、液態氫、儲氫合金(金屬氫化物)、奈米碳管儲氫四種(如表2所列)，其中壓縮氫氣、液態氫為目前較成熟的技術，儲氫合金技術已實用化，但相關研發活動仍持續進行中，奈米碳管儲氫則在發展初期，離商用化階段仍遠。

壓縮氫氣係將氫氣經壓縮後儲存在加壓鋼瓶內，為現階段普遍使用的技術，但加壓鋼瓶體積笨重，其潛在危險性高，使用需特別注意。液態氫亦為成熟之技術，但由於氫的沸點為攝氏零下253度，液化的過程需要加壓和冷卻，耗損用很多能源。由於溫度低，液態氫的儲存需要特殊的低溫裝置，另外需要妥善隔熱，以減少氫氣的蒸發。以同樣體積，液態氫約為80大氣壓之壓縮氫氣五倍容量，運輸、儲存較不佔空間。但是液態氫會自然蒸發，若一段時間未使用液態氫將自然蒸發完畢，因此液態氫不能作為長期儲存之用。

儲氫合金使用容易吸附氫氣之金屬，與氫氣形成合金，發展中的材料相當多元，包括鐵鈦、鑭鎳、鉻等合金，近期則有人發展鎂、鋁等成本較低之合金材料，儲氫合金有很多種，氫的吸附率大多是本身重量的1~2%，較先進的技術可達5~7%。儲氫合金充放氫氣屬於可逆反應，加熱時會釋放氫氣，填充氫氣時會吸收熱量。儲氫合金吸附氫氣時也會吸附其他氣體，但釋放時只會釋放氫氣，因此一段時間後儲氫合金吸附氫氣的容量會逐漸降低。儲氫合金的優點為是安全和方便，但其單位體積儲存量較小，成本較為高昂。

奈米碳管的可由數個至數十奈米的中空管組合，其結構空隙的比率很高，儲存的氫氣密度甚至比液態或固態氫氣的密度還高，是一種理想的儲氫材料，理論上最高可以儲存本身重量65%。奈米碳管及用其作為儲氫材料之技術仍在發展初期，距離實用化仍有需相當的時日。

就儲存方式未來的展望，壓縮氫氣與液態氫使用上均有很大限制，短期內儲氫合金強化儲存密度是發展重點，長期若奈米碳管技術有所進展，則為優秀的儲氫材料。

1. 氫能產業發展概況

氫能產業的發展主要可分成兩個部分，一為氫的生產、運輸與儲存，另一為氫的應用。在氫的生產上，可以分成集中式大量生產與現場製氫兩種方式。大量產氫是現階段主要生產方式，大部分利用使用化石燃料製氫，多為大型化工集團所經營的業務之一，現場製氫為在需要氫的場所現場製作，主要可分成利用重組器與電解水兩種方式，使用重組器的方式類似大量產氫，只是生產規模較小，而電解水方法與設備簡易，利用於電價便宜或是需要少量氫的地點。在運輸方面，只有大量產氫的廠商才有這方面的需求，一般由生產廠商負責，廠商於生產後利用車輛或是管線輸送至需要使用的地點。

在儲氫方面，壓縮氫氣與液態氫均為已大量商用化之技術，許多廠商均同時提供壓縮氫氣與液態氫；而在儲氫合金方面，目前亦已商用化，但技術仍在快速發展中，相對於壓縮氫氣與液態氫，儲氫合金安全性高、儲存不會耗損，但其單位體積容量較低。

表2 各種氫氣的儲存方式

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 方法 | 儲存方式 | 技術成熟度 | 特點 |
| 壓縮氫氣 | 加壓存在高壓鋼瓶中 | 高 | 加壓鋼瓶體積笨重，需定期檢查其安全性 |
| 液態氫 | 液化後存在低溫裝置中 | 高 | 氫正常沸點是攝氏零下253度，儲存需要特殊的低溫裝置，且不使用時會逐漸蒸發 |
| 儲氫合金(金屬氫化物) | 以金屬氫化物方式儲存，加熱時會釋放出氫氣 | 中 | 使用較為安全和方便，但目前儲存密度較其他技術小、成本較高，近期許多廠商積極開發中 |
| 奈米碳管儲氫 | 以奈米碳管吸附氫氣 | 低 | 為吸附氫氣的良好材料，但量產仍是問題，若材料技術與成本有所突破，可望成為優秀的儲氫材料 |

資料來源：工研院產科國際所

**二、全球氫能發展趨勢**

1. 全球市場發展趨勢

隨著技術的持續進步，全球氫能市場規模也隨之穩定上升，預估自2016~2022年，製氫市場的複合成長率可達5.6%，詳細資料如圖1。

不過對照國際目前對於再生能源的規劃與需求量，此成長速度與其他再生能源並不相符，表示氫能技術與產業仍需加速腳步。

1. 全球政策發展趨勢

如前段所述，現階段氫能源技術發展仍

相當緩慢，但是基於化石燃料逐漸枯竭，而氫能源未來有相當發展潛力，全球主要國家仍將發展氫能源視為未來能源的重要技術選項。由於氫能源的技術並非短期內可以進入大量商用化階段，包括美國、歐盟、日本均訂出未來氫能發展的長期規劃。

例如美國能源部早在2003年已發表「The President’s Hydrogen Initiative」，訂出2015年以前均為氫能技術發展期，至2015年才決定開始發展商用化相關規劃，而市場發展健全要等到2025年以後。

歐盟則在2008年發表「European Hydrogen Energy Roadmap」，設定了各階段的目標以及政策需要支援的項目，訂定2015年開始進行商用化的歷程，雖然2014年開始H2020計畫中，氫能相關計畫項目陸續增加，若要成為有成本競爭力的技術則要等到2030年以後。

目前最為積極發展氫能相關技術的以日本為首，由於在2014年即發佈將於2040年達

成零碳社會與能源安全的目標，並要在2020年東京奧運建立氫能示範城市，因此在氫能的相關技術、基礎建設建置速度以及相關應用的規劃與發展，為全球最有規模的國家。然而，日本目前的發展是以大規模的國家型補助支援氫能發展，此方式並非其他國家能輕易效仿；且其產業鏈主要建設於國內，如何向國際拓展，在全球建立價值鏈，皆有待觀察。

**百萬美元**

資料來源：工研院產科國際所

圖1 圖片範例

**三、結論**

本篇介紹全球氫能技術、市場與政策發展趨勢，受到國際潮流與再生能源蓬勃發展的影響，氫能相關技術在能源產業的地位也隨之提升，然而由於商業化規模仍不足，促使各技術之發展，仍以降低成本為最主要發展方向。

製氫技術為氫能產業之核心，水電解法為未來主要技術趨勢，但仍待提高轉換效率與規模經濟以降低成本；運氫與儲氫技術仍待技術的精進和材料的開發，否則未來仍將以一站式的現場製氫並立即使用為主流應用方式。

氫能主要發展國家，尤其是日本與歐盟皆有明確的目標與推行方式，為氫能產業擴張最快速的兩個地區，不過目前仍受限於氫能載具與基礎建設的建置量不夠多、成本居高不下，以及民眾接受度仍待提升等因素，難以在短期內有效擴大市場。

另外，現今各項新及再生能源技術的發展的競逐相當激烈。氫能身為應用相當多元，且能與許多再生能源整合的新能源技術，從上述發展現況可見，各項技術皆具有商業化潛力，若可積極累積應用實績，並加速其技術發展與成本改善狀況，未來能源產業版圖是否能夠有立足之地，值得我們持續關注。