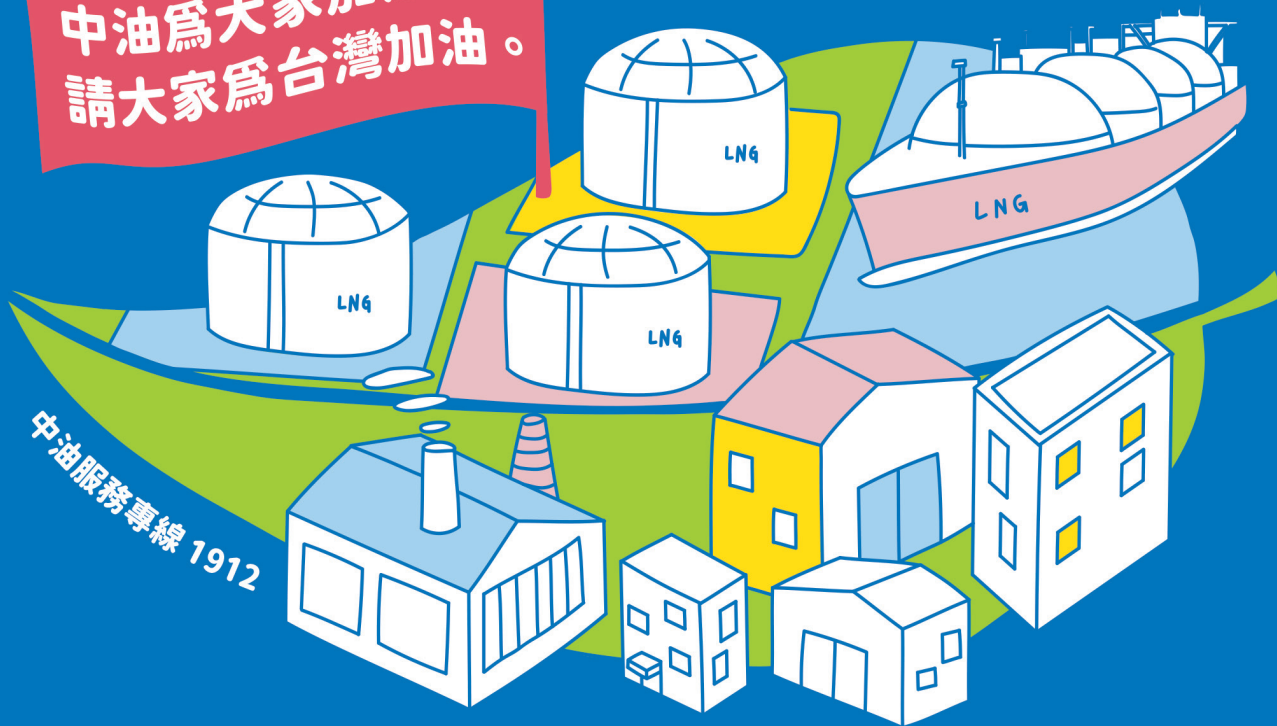


天然氣清潔又安全
一分用心 百分安心

中油為大家加油，
請大家為台灣加油。



中油服務專線 1912

廣告

台灣中油股份有限公司
CPC Corporation, Taiwan

瓦斯季刊

149期

76年10月創刊 113年10月出版



天然氣管制與應用

確保品質儲運最佳化

配合數位國家政策 規範民生公共物聯網與智慧民生用表制度
天然氣接收站擴建 提升儲槽容積和安全存量 滿足用氣需求供應可靠度



氢能於淨零轉型浪潮

具備高度發展潛力及關鍵



欣然氣體燃料事業研究服務社 發行

瓦斯季刊

(一四九期)

中華民國一十三年十月出版

宣導大使 曾國城

曾國城

智慧換表 增安心

微電腦瓦斯表



3大安全遮斷功能



漏氣遮斷



超時遮斷



地震遮斷

經濟部能源署 廣告

微電腦瓦斯表 3大安全功能

微電腦瓦斯表多了晶片，比起傳統機械式瓦斯表增加了漏氣遮斷、超時遮斷、地震遮斷，三大安全遮斷功能，使用更安心。

漏氣遮斷

當管線鬆脫導致大量漏氣會緊急遮斷。



超時遮斷

當瓦斯使用超過設定時間，將進行遮斷。



依燃氣器具及燃氣消耗量區分

地震遮斷

震度五級以上地震，使用中
的瓦斯將立即遮斷。



微電腦瓦斯表遮斷後 恢復供氣3步驟

STEP.1

關閉使用瓦斯裝置（如熱水器、瓦斯爐）之開關（但不要關閉進氣口的總閥）。

STEP.2

按下瓦斯表復歸鈕5秒鐘，安全警示LED燈會開始持續閃爍。

STEP.3

等待約3分鐘，當LED燈不再閃爍後即完成復歸（若LED燈仍持續閃爍，則需聯繫供氣之天然氣公司）。



微電腦瓦斯表 V.S. 傳統機械表

⚡ 計量比較

不論是微電腦瓦斯表或是傳統機械表，都是經濟部標準檢驗局檢定合格上市，計量精確度並無差異。

💰 計價比較

微電腦瓦斯表具有精密微電腦晶片、感震器、壓力開關、緊急遮斷閥等零組件，可於漏氣、超時、地震時進行遮斷，提升用戶的用氣安全。
但因成本較機械表高，分10年每月攤提至基本費中，以5燈以下用戶為例，微電腦瓦斯表基本費每月100元，較僅有計量功能之機械表多出40元。



宣導大使 曾國城

瓦斯季刊 149期

Fuel Gas Quarterly
76年10月創刊・113年10月出版



封面說明：瓦斯超人用氣安全宣導 瓦斯人的園地
資料來源：瓦斯超人用氣安全宣導 瓦斯人的園地

發行人：許績陵

編輯委員：（以姓氏筆劃為序）

王文一 李正明 林登章

蔡三郎 盧東岳 謝俊雄

執行編輯：唐惠英

發行所：欣然氣體燃料事業研究服務社

地址：台北市松山區南京東路四段100號12樓

電話：(02)2579-1137

E-mail: sjgrtw@gmail.com

印刷所：鼎順印刷有限公司

地址：新北市中和區景平路703巷2弄1號

電話：(02)2309-1319

E-mail: a638177@yahoo.com.tw

本刊收編印費每本新台幣140元

全年四期收編印費新台幣480元

匯款欣然研究社：華南商業銀行東台北分行

帳號124-10-005376-8

中華郵政台北雜字第1633號執照登記為雜誌交寄

本刊電子網頁 facebook.com/sjgrtw/

目錄

能源瞭望

- 2 氫能在全球淨零轉型浪潮下，發展潛力與關鍵議題解析

作者／徐瑋成

- 21 瓦斯超人用氣安全宣導

作者／許雅茹

能源探討

- 22 談天然氣儲存

臺灣中油公司探採研究所前所長暨中國文化大學地質系
兼任副教授／翁榮南

- 37 天然氣生產與配銷過程中之品質管制

資深石化人／謝俊雄

- 48 燃氣設備落實查 安全供氣最在意

中華民國公用瓦斯事業協會

能源政策與展望

- 49 我國智慧三表發展概況與未來展望

臺灣經濟研究院助理研究員／王增智

瓦斯人的園地

- 61 獲獎感言 工作分享

作者／葉家慶、張俊德、王浣綾、林立偉

氫能在全球淨零轉型浪潮下， 發展潛力與關鍵議題解析

作者 徐瑋成

前言

碳中和（Carbon Neutrality）已成為各國政府與全球能源發展的首要關鍵課題，能源轉型推動再生能源發展和發電占比、降低傳統化石能源使用等方案及措施，逐漸在全球成為主流，以緩解氣候變遷帶來的影響與衝擊。

再生能源（或綠色能源）被視為實現碳中和願景的關鍵利器，除熟知的太陽能、風能、水力、生質能源外，「氫能（Hydrogen）」同時亦被各國政府與能源產業視為具備高度發展潛力的新興能源。

世界各國政府皆制定、推動氫能戰略及政策，旨於設定目標、提高公眾意識，並增強投資者信心，促進氫能使用與相關產業發展。其中「綠氫」被視為實現淨零碳排放目標的重要解決方案，尤其可應用於碳排放量難以降低的行業和產業。

然而氫能發展目前仍有諸多課題尚需解決，尤其「綠氫」的推廣面臨多重挑戰，如生產成本高（相對灰氫、藍氫或其他能源替代品）、市場需求不足及缺乏支持廣泛採用的法規框架，因此各國政府制定全面性的綠氫戰略尤為重要，此舉有助於達到宣示效果，並能吸引市場投資，促進產業發展，進一步擴大氫能穩定供應和商業規模可行性。

全球氫能市場供需雖有方案和產業行為，惟相較於其他能源（無論傳統或再生能源），在市場規模、技術採用、法規規範等層面，尚未達到成熟，市場與企業在考量成本或供應的可行性時，易遭受其他類型能源之排擠。

本文將針對全球氫能發展與市場的角度進行探討，解析有關氫能產業現況、市場發展潛力及所面臨的挑戰和困境，提出氫能發展的關鍵課題。

一、全球氫能市場發展觀測

（一）全球氫能發展與興起之緣由

全球氫能興起發展主要來自對減少碳排放的迫切需求、能源安全考量及相關技術演進衍生的際遇。回顧全球氫能發展，大規

模興起約啟於 2010 年代中期，尤其 2015 年《巴黎協定（Paris Agreement）》簽署後，各國更加重視減碳目標與能源轉型。隨著氣候變遷（Climate Change）壓力持續增大（負面增強因子）和技術進步的推動（正面增強因子），氢能逐漸被視為解決氣候問題及能源挑戰的關鍵技術之一。

2017 年為全球氢能發展的重要轉折點，氢能委員會（Hydrogen Council）於達沃斯論壇成立，匯聚全球多家領先的能源企業與工業巨頭，在論壇上宣告氢能將在全球能源結構轉型中扮演重要角色。此後許多國家開始制定氢能發展戰略，如日本《氫氣燃料電池戰略路徑圖（2019）》、歐盟《歐洲氢能戰略（2020）》、美國《國家潔淨氢能戰略與路徑圖（2023）》等。雖氢能技術的研究及應用可追溯至更早的時期，惟真正大規模全球發展始於 2010 年代中期，在 2017 年後逐步加速。

此外氣候變遷的影響與衝擊加劇，促使各國政府尋求更加清潔的能源（Clean Energy）解決方案，因此「氢能」被視為實現碳中和目標的關鍵技術之一，並可聚焦鎖定於較難以達到脫碳的行業和產業，如鋼鐵業、化工業、重型運輸業等。

上述行業的二氧化碳（CO₂）排放量龐大，而氢能作為燃料（或原料），能夠替代傳統的化石燃料（如石油及天然氣），進一步顯著降低碳排放。

其次能源安全問題同為氢能興起的重要因素。傳統能源供應（石油及天然氣）的地緣政治風險與市場波動（如 2022 年烏俄戰爭、2024 年以巴衝突），使得各國希望透過發展氢能實現多元化能源來源，減少對單一能源的依賴。

氢能可使用本地再生能源生產，如風能、太陽能等，進而增強能源自主性，同時具備儲能能力，因而能在再生能源發電過剩時儲存能量，需求高峰時釋放能量，有助於提升能源系統的穩定性與靈活性。

另外技術演進為氢能興起的另一大驅動因子，隨著電解水製氫技術的發展及成本的下降，尤其綠氫（透過再生能源電解

水生產氫氣）的成本逐漸接近經濟可行的水準。依據國際能源署（International Energy Agency,IEA）預測，至 2030 年綠氫生產成本將顯著下降，使其在多個應用場景中與傳統能源競爭。

此外政策支持與國際合作均為氫能興起的催化劑，歐盟、日本、韓國、中國大陸等主要經濟體（亦是能源消費大國）皆已制定推動國家氫能發展戰略，設立具體的氫能發展目標，並投入巨額資金促進氫能技術及相關基礎設施的發展。上述政策不僅促進氫能市場與產業發展，同時強化國際間在氫能技術、標準和市場上的合作。

總體而言氫能的興起源於氣候變遷的壓力、能源安全的需求、技術進步的驅動及政策支持的助力，隨著上述因素的共同推動，有望成為未來能源體系中的重要一環，助力全球實現低碳經濟轉型。

（二）氫能技術發展與供應模式

全球氫能技術的發展正逐漸成為實現低碳經濟的重要途徑，隨著技術演進與市場需求的增長，氫能供應模式亦不斷演變。市場現行氫能供應主要分為三種類型，分別為灰氫（Gray Hydrogen）、藍氫（Blue Hydrogen）及綠氫（Green Hydrogen），上述氫能皆具特定生產方式、技術挑戰和市場應用潛力。針對上述類型氫能，說明如后：

- 1、**灰氫**：為目前全球氫氣供應的主要來源，占總氫氣產量的大部分。灰氫在技術上使用蒸氣甲烷重整（Steam Methane Reforming,SMR）生產，過程中甲烷（主要成分為天然氣）和水蒸氣發生化學反應，生成氫氣及二氧化碳。灰氫技術在國際市場已相對成熟，優勢在於生產成本低廉，因此廣泛應用於工業領域（重工、化肥產業），然而劣勢在於 SMR 過程會產生大量二氧化碳，被認為是高碳排的氫能形式，對於全球減排目標的實現具負面影響，在全球碳稅與碳排放法規規範愈趨嚴格情況下，灰氫未來在市場上可能面臨逐步淘汰的態勢。

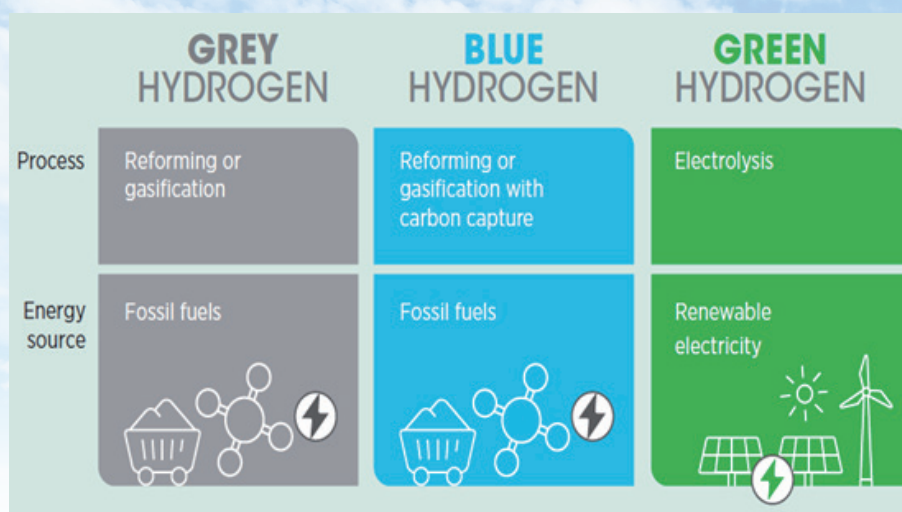
2、**藍氫**：為減少氫氣生產過程中的碳排放，藍氫生產技術應運而生。藍氫與灰氫的生產方式相近，同為透過天然氣的蒸汽重整生成氫氣，不同處在於藍氫過程中會採用碳捕捉及封存技術（Carbon Capture and Storage, CCS）。CCS 技術能夠捕獲並封存生產過程中產生的 CO₂，從而大幅減少碳排放，被視為向綠氫過渡過程中的技術，在保持相對低廉的生產成本的同時，亦能夠顯著減少環境影響。國際上眾多能源企業與國家已開始投資藍氫技術，並納入未來能源轉型的戰略規劃中。然而藍氫技術依賴 CCS 技術的成熟度與成本效益，惟目前 CCS 技術仍處發展階段，存在成本高昂、長期封存可靠性等挑戰。

3、**綠氫**：綠氫為全球氫能發展中，最受關注之技術發展方向，主要其生產模式，可達到零碳排放生產。透過再生能源（如風能、太陽能）進行電解水而生產，過程不涉及任何化石燃料，不產生 CO₂，因而被市場視為最環保的氫能形式。隨著再生能源技術的快速發展與成本的持續下降，生產潛力巨大，尤其是國際上眾多擁有豐沛再生能源資源的國家或地區，如澳洲、中東北非地區（Middle East & North Africa, MENA）等。綠氫技術的最大挑戰在於目前的生產成本仍然較高，遠高灰氫和藍氫，而隨著電解槽技術的進步、規模經濟的實現及再生能源的價格進一步降低，預計成本將顯著下降，有望在未來 10 年內達到與化石燃料競爭的水平。

綠氫的應用前景廣泛，不僅能作為清潔燃料，應用於運輸領域，特別是在重型卡車、鐵路、海運等難以電氣化的領域，還能作為工業原料，替代依賴化石燃料的生產過程（如鋼鐵、化工等行業），此外可用於再生能源儲能的解決方案，有效應對發電的不穩定性，因多用途的應用場景使得在全球能源轉型中占據關鍵位置。

總體而言氫能技術的發展正在加速，灰氫、藍氫及綠氫各自扮演著不同的角色。在向低碳經濟轉型的過程中，氫能將成為能源結構的重要組成部分，特別是隨著技術進步和市場成熟，多元化應用將推動實現可持續的能源未來（如圖 1）。

圖 1 灰氫、藍氫、綠氫生產模式簡介



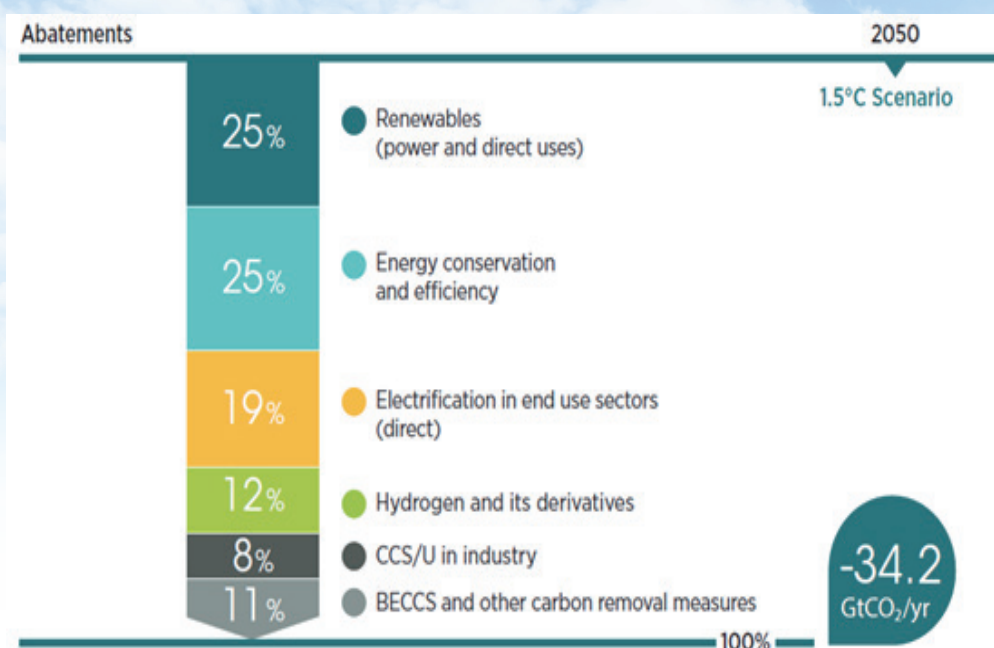
資料來源：IRENA。

(三) 全球氫能政策發展與策略概覽

依據國際再生能源總署（International Renewable Energy Agency, IRENA）2024 年發布報告中制定的 1.5°C 情境（1.5°C Scenario），誠如該機構在《世界能源轉型展望》強調氫能居中發揮的重要作用，上述情境符合將 21 世紀末全球平均氣溫相較於工業化前水平增幅限制在 1.5°C 目標的能源轉型路徑，經優先考量已可用，並能以必要速度擴展的技術解決方案，實現巴黎協議訂定的 1.5°C 的目標。

在 1.5°C 情境中，清潔氫能及其衍生品預計 2050 年將貢獻 CO₂ 總減排量的 12%，在此情境中為達成 2050 年目標，IRENA 預估每年減碳量將達 34.2 兆噸 (GtCO₂/yr)，更指出若要實現減量 12%，全球需付出巨大努力，清潔氫能的年產量需從 2022 年的 70 萬噸，增加至 2050 年的 5.23 億噸，2050 年綠氫在清潔氫能中的占比將達到 94%；清潔氫能基礎設施的投資需求（如電解槽、加氫站、加注設施及長期儲存設施）從 2022 年的 11 億美元，至 2050 年將增至 1,700 億美元，其中電解槽累計安裝容量將從 2020 年 550 兆瓦（MW）增加至 2050 年的 5.7 太瓦（TW），如圖 2 所示。

圖 2 IRENA 1.5°C 情境下至 2050 年之減碳潛力結構

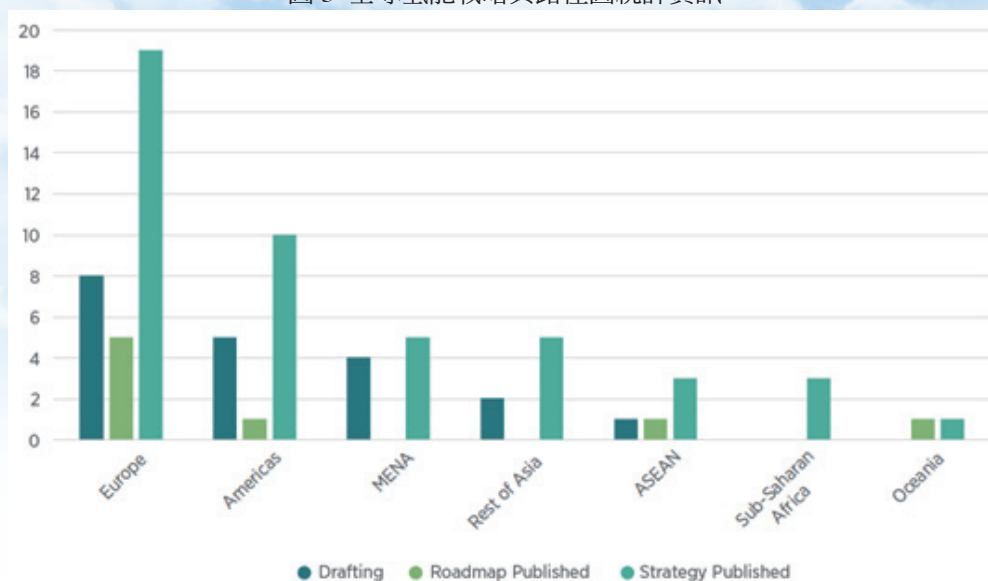


資料來源：IRENA。

IRENA 除減碳情境設定外，同時盤點各國政府在氢能戰略和政策。截至 2024 年 5 月全球已有 46 個國家（或組織）制定並發布氢能國家戰略和 8 個氢能路徑圖 (Roadmap)，另外至少有 20 個國家正在制定或發布相關政策文件、74 個國家參與清潔氢能部門的戰略規劃。

綜觀盤點內容，將近一半的氢能國家戰略已由歐洲國家（包括歐盟戰略）發布，7 個主要地區的國家正處於制定新戰略文件的階段，其中歐洲、美洲及中東北非地區的國家起草總數近 80%。然而隨著更多國家制定氢能戰略或路徑圖，上述統計數據正在迅速變化，此舉亦顯示各國政府已相當重視氢能在國家能源戰略，及實現設定的淨零目標的重要性（如圖 3、4）。

圖 3 全球氢能战略与路径图统计资讯



資料來源：IRENA。

圖 4 全球已發布國家氢能战略之國家分布圖



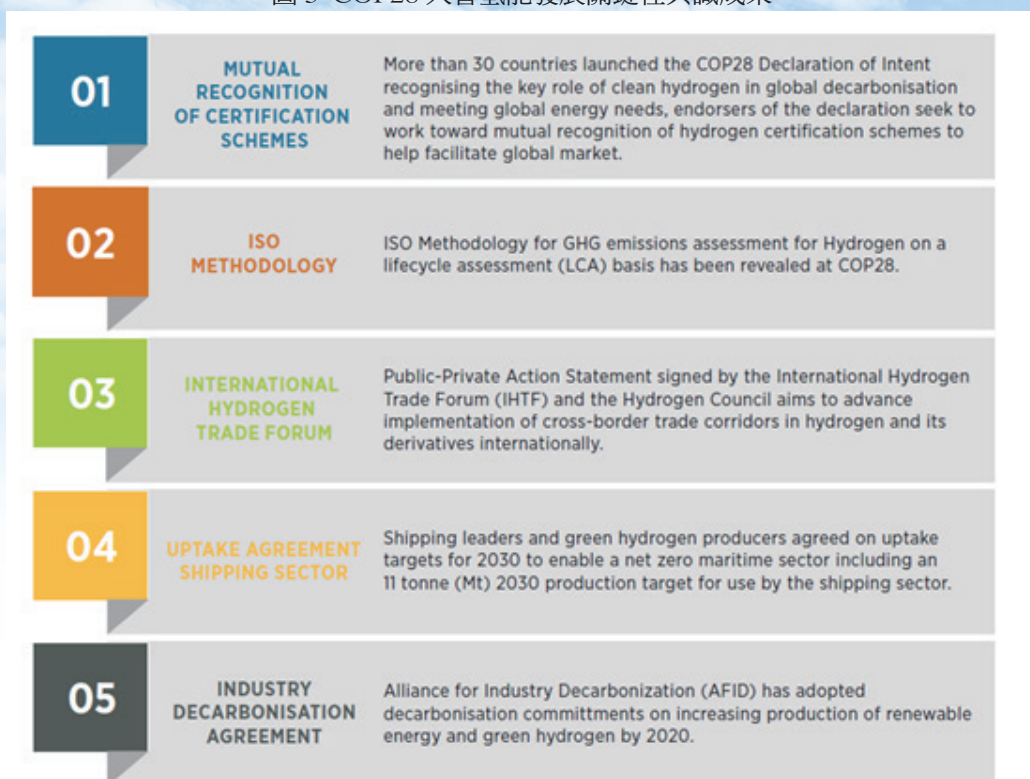
資料來源：IRENA。

此外氫能同樣在 2023 年 COP28 大會發揮關鍵作用，會中多個專題會議聚焦於氫能的各面向發展，在其最終報告指出實現淨零 CO₂ 與溫室氣體排放需在所有部門進行系統轉型，迅速擴大再生能源的應用，廣泛電氣化最終用途，使用包含低碳氫能和氨在內的清潔燃料，最終成果報告中呼籲各方為加速淨零排放及低排放技術的應用做出貢獻，其中包含低碳氫能生產，值得一提的是各參與國對於氫能發展取得一定共識，共有 5 項關鍵性成果 (如圖 5)，如后：

- 1、認可認證計畫 (Mutual Recognition Of Certification Schemes)：超過 30 個國家發起意向聲明，認可清潔氫能在全球減碳與滿足全球能源需求中的關鍵作用，並致力於相互認可氫認證計畫，以促進全球市場。
- 2、ISO 方法論 (ISO Methodology)：揭示基於生命週期 (Life cycle Assessment,LCA) 氫溫室氣體排放評估的 ISO 方法論。
- 3、國際氫能貿易論壇 (International Hydrogen Trade Forum,IHTF)：國際氫貿易論壇與氫能理事會簽署公私合作行動聲明，以推進氫及其衍生物的跨境貿易走廊的實施。
- 4、航運部門的採購協議 (UPTAKE AGREEMENT SHIPPING SECTOR)：航運領導者與綠氫生產商同意 2030 年的採購目標，以實現淨零航運部門，包括航運部門使用的 1,100 萬噸生產目標。
- 5、產業減碳協議 (Industry Decarbonisation Agreement)：產業減碳聯盟 (Alliance for Industry Decarbonization,AFID) 採納增加再生能源與綠氫生產的減碳承諾。

全球氫能技術的發展不僅需要技術突破，且需要政策支持與市場推動。眾多國家已制定國家氫能發展戰略，設置氫能發展目標，並投入大量資金支持氫能基礎設施建設和技術研發。國際合作亦在氫能技術推廣中扮演著重要角色，跨國間的技術交流及氫能貿易將進一步加速氫能的全球普及。

圖 5 COP28 大會氢能發展關鍵性共識成果



資料來源：IRENA。

二、從市場供需解析氢能發展潛力

基於達成淨零排放已成為全球關注焦點，且各國政府及區域組織皆積極制定氢能戰略與路徑圖，顯示氢能預期成為達成淨零排放目標和路徑的關鍵驅動力，在淨零浪潮、政策的助力下，氢能市場需求規模將擴增，促使更多能源產業（無論傳統或再生能源產業）投入氢能發展，帶動先進技術的演進（如製氢技術、碳捕捉技術、儲能技術等），進一步降低生產成本，達成商業規模化，使氢能逐漸成為主流能源商品，進而發展達到新的境界，同時滿足全球碳中和需求，以下就全球氢能市場供需面進行探討：

（一）全球氢能市場需求端觀測

全球氢能市場因淨零排放議題和各國政府進行能源轉型，對於零碳能源需求的增長，正經歷顯著的增長，展現多方面的需求及應用潛力。氢能的需求主要受到能源轉型、環境政策與技術進步的推動。現行氢能在多個領域的應用正在擴大，尤其於交通、工業、電力及未來的住宅和商業部門之應用。

全球氢能市場的需求也在多部門範圍內逐步增長，各個部門的需求特點與發展趨勢概略如下：

- 1、**交通部門**：氢能在交通部門的需求正顯著增加，主要在燃料電池電動車（Fuel Cell Electric Vehicle,FCEV）領域，由於具高效能源轉換與零排放的特性，成為傳統燃油車與電動車（Electric Vehicle）的一項重要替代方案。依據 SNE Research 全球燃料電池電動車發布數據，截至 2023 年累計銷量約近 8 千輛，其中中國大陸、韓國和美國是主要市場，大多數新車型為商用車輛（如卡車、公車）。隨著技術的進步及加氢站的增加，預計交通部門對氢能需求將持續上升。
- 2、**工業部門**：為氢能需求的主要領域之一，用於重工業與化學工業中的各種應用，如鋼鐵生產、化肥製造及其他需要高溫熱能的工業過程。低碳氢應用在工業部門尤為重要，因能有效減少碳排放，當前許多企業專案已通過最終投資決策 (Final Investment Decision,FID)，尤其在低碳氢的生產和使用方面，顯示出對氢能的強烈需求。
- 3、**電力部門**：氢能於電力部門的應用集中在儲能及發電。氢氣可作為儲能介質，將多餘的再生能源轉化為氢氣儲存，以便在電力需求尖峰時使用。此外氢燃料電池同時可用於發電，為電網提供穩定的能源供應。儘管現行氢能在電力部門的應用尚處於發展階段，惟隨著儲能需求的增加和再生能源占比預期仍高，因此氢能在電力部門的需求預計將持續增長。
- 4、**住宅與商業部門**：替代天然氣用於供暖和熱水系統中，減少碳排放，然而現行此領域的應用尚未廣泛，主要原因在於成本及基礎設施的限制。儘管如此隨著技術進步和成本下降，未來有可能在住宅與商業部門中獲得更廣泛的應用。

綜上所述，氢能市場在交通與工業部門的需求最為強勁，而電力部門和住宅、商業部門的需求則相對較新，正在逐步發展。各部門的需求特點反映氢能在全球能源轉型中的多樣化角色，技術演進和政策支持為推動氢能市場增長的關鍵作用。隨著氢能技術的成熟與成本的降低，預計這些需求領域將進一步擴大。

(二) 全球氢能市場供應端觀測

供應產能的發展關鍵（尤其綠氫）主要取決於電解槽、製氫產能、氢能基礎設備（如加氫站）的供應和部署、製氫生產成本等。本文依據氢能委員會發布報告資訊，對幾項重點進行探討如后：

1、電解槽部署呈現穩步增長

全球市場截至 2023 年已部署近 400MW 的電解槽，總量達到 1.1 吉瓦（GW），其中大部分新增容量位於中國大陸。2023 年電解槽部署增長約 60%，較 2022 年 700MW 增加至 1.1GW。現有電解槽容量相當於每年約 15 萬噸的再生氫氣供應，占全球既有的清潔氢能生產能力約 15%。相較過往 2021-2022 年呈現翻倍成長。2022 年大部分的產能成長源於中國大陸的 260MW 的大型項目，占總增長 65%。

目前全球最大的電解槽容量位於中國大陸（610MW），其中包含兩個最大的運行計畫，容量分別為 260MW 與 150MW，次為美國和德國（各 60MW），西班牙、瑞典和加拿大（各約 25MW）。2022 年除中國大陸外，最大的新增容量集中在美國和瑞典（分別約 50MW、20MW）。

依據統計資訊，全球通過最終投資決策的電解槽容量總計為 12GW，其中約 40% 屬技術類型；鹼性電解槽約 80%，質子交換膜（PEM）約 20%，顯示 PEM 的占比保持穩定發展。中國大陸約 90% 的電解槽容量基於鹼性技術，而歐洲和北美 PEM 技術占總安裝容量的 80%。

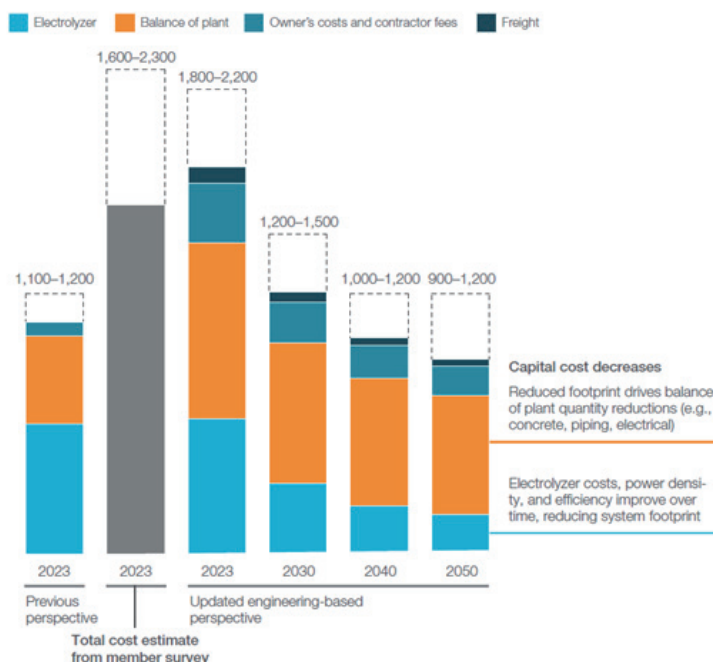
綠氫資本支出（Capex）主要來自電解槽，Capex 可拆解成電解槽、材料零件與安裝成本。依據氢能委員會估算數據，至 2030 年成本仍有可能下降達 35-45%。多個因素導致近期的 Capex 估算增加，包括材料、設備與勞動力的通膨率。

電解槽系統成本的降低有極大機率是 2030 年實現成本下降的主要驅動因素，而成本下降亦取決成功擴大電解槽製造的能力，以滿足十年間的中、後期的大規模需求。電解槽成本的降低同時可能透過成本設計實現，包含減少核心零件的貴金屬

使用及優化系統設計。電解槽的功率與效率之提升，可減少整體系統占地面積，並降低實現相同氫氣產量所需的名目電解槽產能。

電解槽系統的技術進步可能會產生連鎖效應，近一步降低電廠輔助設備 (Balance of Plant, BOP) 與間接成本。更高效、精簡的工廠設計（占地面積更小）需要較少的材料（如混凝土、鋼材、管道、電氣導管等）和施工時數，並且單位運輸成本也會略微降低。間接成本如管理費用、承包商費用及業主費用，通常是直接成本的一項因素，隨著直接資本支出的總額減少，而相應降低（如圖 6）。

圖 6 全球綠氫資本支出預測路徑（至 2050 年）



資料來源：Hydrogen Council。

2、綠氫生產產能成長來自於承諾產能與 FID 之通過

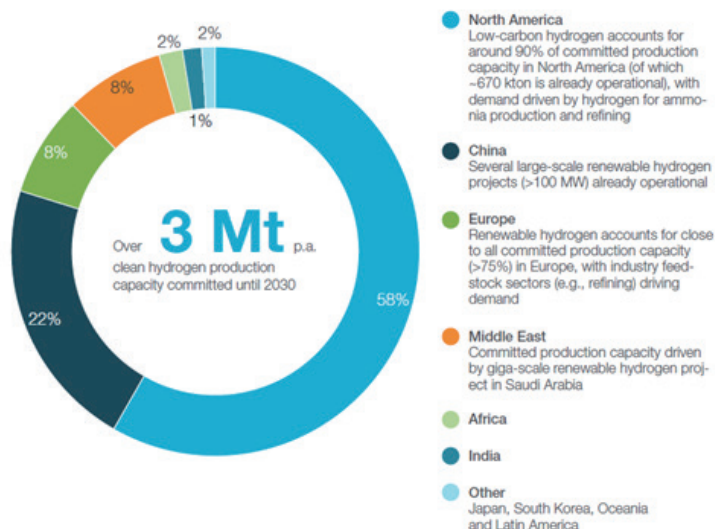
全球已有超過 300 萬噸 / 年的清潔氫能產能通過最終投資決策，其中北美和中國大陸為主要的市場領頭羊，除已運營的 86 萬噸產能外，尚有約 220 萬噸 / 年通過最終投資決策。大部分承諾產能 (Committed Production Capacity) 及運營產能為低碳氫氣（170 萬噸 / 年），其餘為綠氫。淨承諾產能較

2022 年發佈增加約 10 萬噸 / 年，主要來自綠氫產能增加，惟由於某些計畫的延遲，部分產能被削減。

北美在承諾的清潔氫氣產能中占最大市場，約 180 萬噸 / 年，其中約三分之二在美國，三分之一在加拿大。上述容量中約 90% 為低碳氫氣，主要為成熟度較高與 CCS 技術在灰氫生產中的早期應用。北美低碳氫氣容量中約 65% 表明其技術類型，其中 40% 為自熱重整（ATR），30% 為 SMR 和煤氣化結合 CCS。綠氫產能（約 130 萬噸 / 年）集中在中國大陸（約 60 萬噸 / 年），其次為中東（約 25 萬噸 / 年）。

若按地區劃分，中國大陸在承諾的清潔氫能產能中占最大比例，約占宣佈氫氣供應量 40%。北美緊隨中國大陸之後，約占宣佈的 1,000 萬噸 / 年供應量 20%。其他地區如中東供應量約 7%、非洲 4%、歐洲 2%。拉丁美洲及大洋洲的承諾產能中，少於 1% 已通過 FID(如圖 7)。

圖 7 全球氫能承諾生產產能 (至 2030 年)



資料來源：Hydrogen Council。

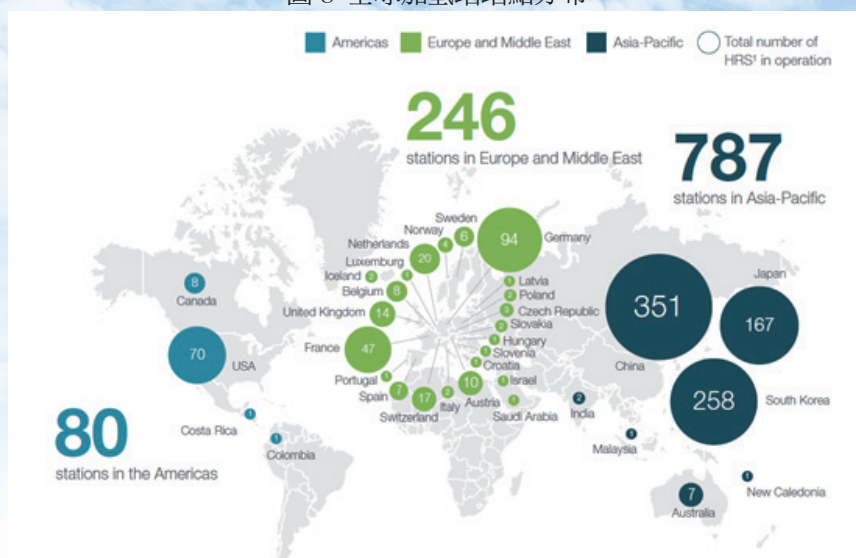
3、氢能基礎設施的部署腳步加快進程

全球已有超過 1,100 個加氫站投入運營，自 2021-2023 年增長將近 60%。上述加氫站大部分位於亞洲，包含中國大陸、日本和韓國為主要市場，共有近 800 個站點，其次為歐洲約 250 個站點。

若各國政府設定的目標得以實現，全球加氫站的數量可能顯著增加。韓國及日本規劃 2030 年將各自的氢能供應網絡擴展至 600 多個站點，此舉預期使亞洲的站點數量翻倍。歐盟方面近期通過《替代燃料基礎設施法規（AFIR）》要求在泛歐運輸網（TEN-T）每 200 公里需部署一個加氫站，此外超過 10 個國家（主要為歐洲國家）已安裝或規劃設置首批加氫站。

氫燃料車輛銷售和基礎設施的推廣密切相關，韓國在輕型氫燃料車輛領域持續領先（約占當前輕型車隊的 50%），中國大陸在全球氫燃料卡車及公車市場中領先（分別約占 80%、90%）。重型氫燃料車輛，尤其是卡車的成長尤其明顯，隨著氫燃料車輛向重型車輛的過渡，對加氫站產能的需求預期將增加，既有氢能供應網絡因應市場需求亦要進行擴展。另外額外的氫燃料基礎設施也許可能向鐵路或內陸航運等非公路移動領域。儘管大多數氫燃料車輛仍為 FCEV，但在市場上部分廠商同時在研發氫燃料內燃機用於新車和既有車型（如圖 8）。

圖 8 全球加氫站站點分布



資料來源：Hydrogen Council。

4、氢能平均化生產成本因市場環境變動略為上升

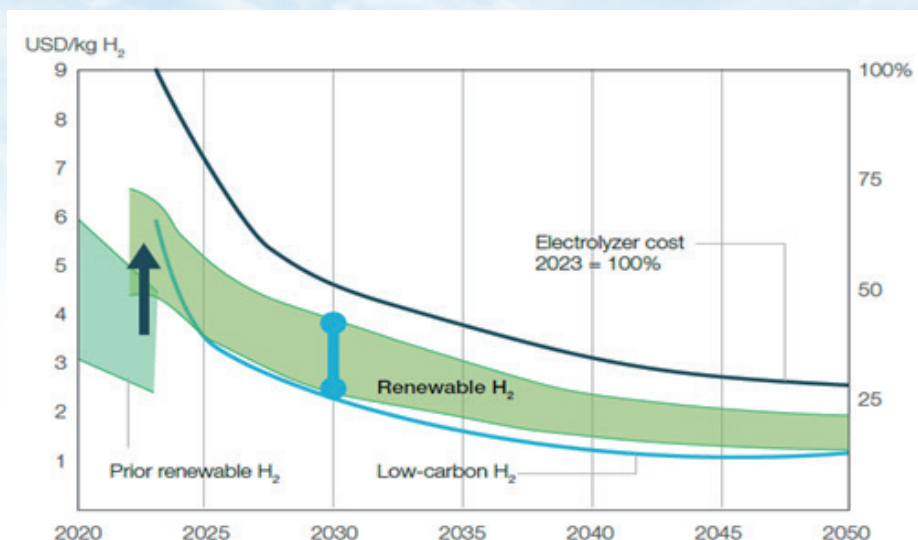
氢能的平均化成本（Levelized Cost of Hydrogen, LCOH）面臨全球性挑戰，依據氢能委員會估算成本增加 30-65%，達到 4.5-6.5 美元 /kg。製氢成本的增加，主要由於綠氢生產技術與支持的再生能源供應高度資本密集，全球利率上漲的情勢下，顯著提高資本成本。有關其他推高成本的因素，包含再生能源的全球供應限制、稀土金屬短缺、技術勞工缺少及供應鏈中斷情勢。氢能並非唯一面臨上述問題的行業，其他領域同樣經歷類似成本上漲的情形。

上述所提成本因素預期將推升 LCOH，惟在沒有補貼的情況下，至 2030 年 LCOH 仍有可能降至 2.5-4.0 美元 /kg，預計至 2050 年進一步降至 1-2 美元 /kg。近期 LCOH 的下降需要再生能源資本支出的正常化、融資成本的降低及全球電解槽製造能力的迅速擴大。

儘管製氢成本上漲，電解槽成本至 2030 年預期降低多達 45%，2050 年有機會降低 70%。相比當前水準，全球電解槽生產的急劇擴張將導致 2030 年前系統成本大幅下降，而持續的技術演進也可能同時推動 2050 年前成本的進一步降低。

至於透過 SMR 或 ATR 技術結合 CCS 生產的低碳氫氣的 LCOH，近期預估仍低於綠氫，並且在碳價充足之地區，可能與灰氫競爭。除個別具有非常有吸引力的再生能源資源的區域外，直至 2030 年低碳氫氣的成本預計仍低於綠氫（如圖 9）。

圖 9 LOCH 預期發展路徑 (2020-2050)



資料來源：Hydrogen Council。

三、全球氢能發展預期面臨課題

氢能被能源市場視為實現淨零排放和新興商業能源的潛力發展項目，現行氢能市場需求最大趨動力來自各國因應達成巴黎協議的減碳目標及尋求替代傳統或低碳能源的零碳能源，進一步將氢能應用擴散，滿足各類部門的能源需求（無論燃料、原料）。

綜觀前述各面向的分析，氢能發展極具潛力，惟若要在國際能源市場成為穩定且熱門能源商品，或具備更高的商業價值，仍有許多課題需要克服，現以三個重要面向分別解析如后：

（一）政策執行面：各國氢能戰略與政策執行力道影響發展速度

誠如前文所述氢能的市場需求主要來自淨零排放目標，與各國能源轉型政策、淨零目標和路徑圖、氢能戰略等環環相扣，尤其各國政府的減碳及實現碳中和執行力道、態度，很大程度影響市場需求能否達到市場規模擴增。

全球氢能發展面臨的政策挑戰涉及多方面因素，首先各國在推

動淨零排放的戰略中，氫能被視為關鍵技術，但政策執行力道與決心參差不齊，如氫能委員會統計資訊中，雖然大部分國家政府皆已公布氫能戰略，惟截至 2024 年仍有近 20 國尚處於政策起草階段，導致氫能技術的發展和部署進展不均；此外能源政策及戰略制定關鍵在於後續政策的執行力道與強度，以烏俄戰爭的影響為例，因天然氣價格飆升及俄羅斯大幅度減少供應量，導致歐洲多國增加核能、燃煤發電作為發電替代措施，甚至推遲核能除役進度，同時影響歐盟無法達成制定淨零排放的路徑目標。

其次碳權市場的發展同為一大挑戰，尤其在缺乏全球一致的碳定價機制下（目前仍為區域型定價），不同地區的碳價差異可能影響低碳氫（藍氫、灰氫）、綠氫的經濟可行性。此外現有的能源政策及基礎設施規劃往往與傳統能源相關，使得氫能項目的融資和推廣更為困難。綜上所述政策的不確定及持續變動將增加市場風險，使得投資者對於長期氫能項目持觀望態度。為推動氫能真正成為全球能源轉型的核心，各國需要加強政策協調，穩定碳權市場，並確保氫能技術在能源政策中的優先地位。

（二）能源替代面：遭受其他能源之排擠，且基礎設施尚未完備

氫能雖然極具發展潛力，惟在眾多終端應用領域始終面臨其他能源的競爭（替代性），如住宅部門天然氣仍為主流能源（燃料），既有的天然氣管線系統已經廣泛部署且成熟，若要將既有天然氣管網系統轉換為氫能使用，不僅需要進行大幅度的調整，還涉及巨大的基礎設施投資及技術改造，此舉將使氫能的推廣變得更加困難；此外，在交通部門雖然氫燃料電池車具有快速加氫和長續航的優勢，惟電動車市場的強勁增長對氫能車造成排擠效應。電動車憑藉較低的營運成本與不斷完善的充電基礎設施，已經在市場中佔據領先地位（充電站部署規模擴大，同樣會對加氫站造成排擠和選址困難），國際電動車大廠如特斯拉（Tesla）、比亞迪（BYD），及國際各大傳統車廠亦爭相投入電動車開發（如福斯集團），反觀氫能車僅日本豐田汽車（Toyota）與韓國現代汽車（Hyundai）較積極開發，惟以銷售量而言，和電動車仍有一段距離（電動車年銷量超過 1,000 萬台，氫能車僅超過 1 萬台），使得氫能車難以快速擴展市場份額。

在工業部門天然氣與石油仍然被廣泛用作化學品的原料，上述終端應用對氫能的替代具有很高的技術門檻及經濟性挑戰。因此氫能在工業應用中同樣需克服技術和成本方面的障礙，才能實現大規模應用。總體而言氫能在市場上的發展需要應對基礎設施調整、經濟性競爭、市場接受度及在工業中取代傳統化石燃料的挑戰。

(三) 生產與技術面：碳捕捉和製氫生產成本是否如預期降低

有關氫能是否能在全球能源市場逐漸達成普及和應用擴散，或受到市場力量驅動，很大程度仍取決於成本價格，尤其在綠氫及低碳氫（藍氫）的生產層面。綠氫的製氫技術主要依賴電解水，雖然理論上能夠完全消除碳排放，但現行市場尚未達到規模化生產，導致製氫成本高昂，現行仍難與傳統能源競爭。生產規模化和技術演進對於降低生產成本至關重要，惟若要達到此一目標尚需大量的資本投入及技術創新。

另外藍氫雖然透過 SMR 結合 CCUS 技術以減少碳排放，惟 CCUS 技術本身的演進速度及其大規模部署能力仍是重大挑戰。雖然理論上碳捕捉成本將隨著時間的推移下降，但現行未有明確證據支持此一論點（未如太陽能、風能和電池儲能成本大幅下降的情況）。另外 ATR 技術不曾在大规模的氫氣生產設施中使用，及在商業規模下結合 CCUS 技術進行使用。

藍氫項目存在顯著的不確定性，包含各類計畫項目可獲得多少政府補貼（補貼規模與持續時間）；藍氫的生產成本，很大一部分取決於天然氣價格，因此有面臨成本價格波動的風險（尤其發生地緣政治事件）。

氫能項目最終投資決策往往依賴於市場環境和政策支持的穩定性，任何政策的取消或推遲都可能導致投資放緩，甚至項目擱置，進一步影響氫能技術的發展進程，上述提及的不確定性使得全球氫能產業在技術發展面臨巨大挑戰。

結語

全球氫能發展面臨多重挑戰，惟氫能作為實現淨零排放目標，成為更具價值及市場普及的能源商品的潛力依然巨大。從政策層面來看，各國對氫能的支持和實施策略雖然不一致，惟氫能被廣泛認為是實現淨零排放目標的關鍵技

術。隨著政策與市場環境逐漸明朗，氫能的發展將迎來更多機遇。從市場層面上來看，雖氫能面臨來自不同能源的替代性競爭，尤其在住宅及交通領域，但因具有的高能量密度和低碳排放優勢，就長期角度而言仍具競爭力。此外技術層面的挑戰，如綠氫生產成本高與藍氫碳捕捉技術尚需改進，然而凡此種種同為推動技術創新及規模化生產的進步動力。儘管氫能發展面臨諸多挑戰，但其潛力與未來發展前景依然值得期待，隨著技術的成熟和成本的降低，有望成為未來能源系統的關鍵要素。

參考文獻

- 一、BloombergNEF(2023/8), Green Hydrogen to Undercut Gray Sibling by End of Decade.
- 二、Hydrogen Council (2023/12), Hydrogen Insights 2023 December Update.
- 三、ICCT(2024/5), The price of green hydrogen: How and why we estimate future production costs.
- 四、IEEFA(2024/6), CCS and Blue Hydrogen Unproven Technology and Financial Risk CCS and Financial Risk.
- 五、IEEFA(2024/6), Green hydrogen incentives and ammonia.
- 六、IRENA(2024/7), Green hydrogen strategy: A guide to design.
- 七、IRENA(2024/6), International co-operation to accelerate green hydrogen deployment.
- 八、OIES(2024/6), 2024 State of the European Hydrogen Market Report?
- 九、OIES(2024/6), Green Hydrogen Imports into Europe An Assessment of Potential Sources.
- 十、OIES(2024/4), From natural gas to hydrogen what are the rules for European gas network decarbonisation.
- 十一、Oil Price(2024/8), The Hydrogen Hype Is Proving To Be a Hard Sell.
- 十二、Newclimate(2023/2), The role of hydrogen in decarbonisation - Investment opportunities for Latin America.

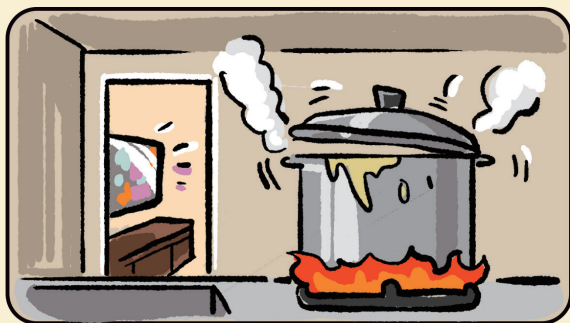


微電腦瓦斯表 3 大安全遮斷功能

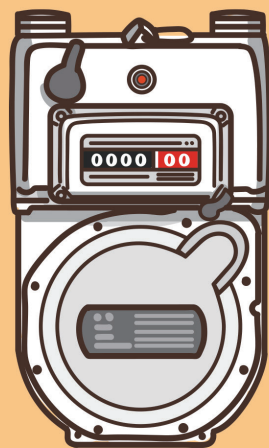
漏氣遮斷 瓦斯流量異常增加，可能是因為管線脫落漏氣了，就算沒聞到漏氣也不擔心！



超時遮斷 當瓦斯使用超過設定時間，可能是忘了關火，瓦斯自動斷氣避免釀災！



地震遮斷 發生5級以上的地震時，使用中的瓦斯就會馬上遮斷！



廣告

談天然氣儲存

臺灣中油公司探採研究所前所長暨中國文化大學地質系兼任副教授 翁榮南

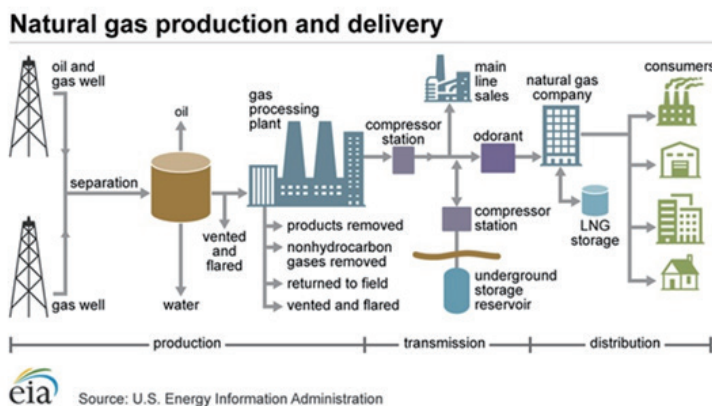
前言

我國能源大量仰賴天然氣，囿於自產天然氣有限，99% 依靠進口液化天然氣供應，因航程遠，且易受天候及地緣政治環境影響，其儲存更攸關能源穩定和國家安全。

天然氣從氣田開採出來後，經由管道或液化天然氣輸予遠端用戶，整個基礎設施系統包括開採加工、運輸和儲存。由於天然氣需求地點多遠離氣田，且需求有季節性波動，藉儲存天然氣保障供應，確保滿足需求波動變化，避免自然災害導致天然氣生產及輸送過程的斷氣事件。天然氣儲存除充當運輸和分配之間的緩衝區，另外從市場經濟的考量，可在氣價較低時儲存，待高價時提取出售。

多數國家都建有天然氣儲存量，歐盟各國共有 146 座的地下天然氣儲存場，總儲存量約為 1148 億立方公尺，2022 年初烏俄戰爭爆發，引發天然氣危機，各成員國緊急將其境內的天然氣儲存場容積填充至 80% 以上，方才順利供暖越冬。全球最主要的液化天然氣出口國之一澳洲，於 2023 年 5 月宣布實施「東海岸天然氣系統框架」，天然氣儲存量約為 75 億立方公尺，其中超過 7 成位於東海岸地區。依據 IEA 的資料，日本主要儲存液化天然氣，當前約有 190 個 LNG 儲槽，儲存容量約為 960 萬噸，約為 13 億立方公尺。本文就天然氣儲存 (natural gas storage) 各個面向進行 (如圖 1) 探討。

圖 1 天然氣開採、儲存和運輸流程示意圖



資料來源 :EIA,USA。

一、天然氣儲存方式

天然氣為氣體，儲存方式較特殊，通常以氣體儲存於地下大型儲氣窖，或液態儲存於常壓低溫的液化天然氣儲槽 (LNG storage tanks)，儲存方式如后：

(一) 地下儲氣窖：以地層作為天然氣容器，將天然氣注入地層，儲存在岩石孔隙或空洞中。

地下天然氣儲存的成功案例，始於 1915 年加拿大安大略省將天然氣井改造成儲氣井，把天然氣注儲於地下枯竭的天然氣層。

1、地下儲氣窖規模相關的定義如后：

- (1) 儲氣容量 (Total gas storage capacity)：儲氣窖儲存天然氣的最大容量，取決於儲層的物理參數、操作程序及工程方法。
- (2) 儲氣總量 (Total gas in storage)：儲氣窖特定時間實際儲存的氣體總量。
- (3) 物理上不可回收的氣體 (Physically unrecoverable gas)：地下儲氣窖中被永久嵌入地層中，而永遠無法被提取的氣體。
- (4) 基礎氣體或緩衝氣體 (Base gas；亦稱為墊底氣 cushion gas)：儲氣窖為維持一定的壓力，以便提取儲存氣體，必須保留的一定量氣體。
- (5) 工作氣 (Working gas)：儲氣窖正常可抽取的天然氣量，相當於儲氣總量減去基礎氣體。
- (6) 工作氣容量 (Working gas capacity)：儲氣窖的最大工作氣體容量，相當於儲氣容量減去基礎氣量。
- (7) 循環率 (Cycling rate)：儲氣窖在一定時間（通常一年）內工作氣量平均可週轉的次數。
- (8) 注入能力或速率 (Injection capacity or rate)：儲氣窖每天可以注儲氣體的量，相對的是輸送能力 (Deliverability；也稱輸送率、提取率或提取能力)，為每天可以從儲氣窖提取輸送的天然氣量。注儲和提取能力通常與地層壓力相關，一

一般在開始提取週期時，儲氣窖地層壓力高，可以高速抽取工作氣體，隨著儲存的氣體減少，壓力下降，提取及輸送能力會下降。

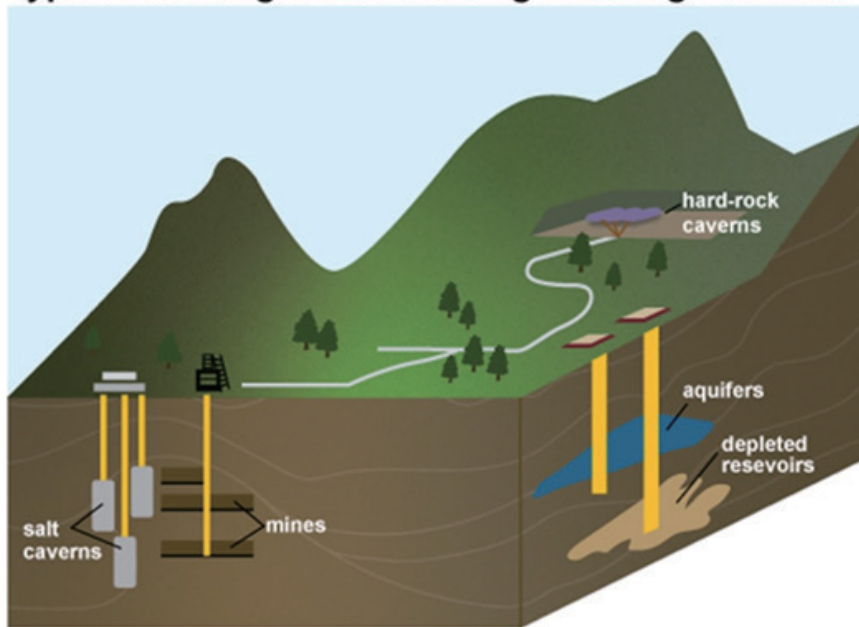
對於特定的儲氣窖，藉由改變操作參數，在技術進步或工程程序允許下，可以增加儲存容量，或在需求非常高期間提取基礎氣體，將基礎氣體重新分類為工作氣體。

2、地下儲氣窖的主要類型

現今地下儲氣窖主要建在枯竭油氣田 (Depleted Natural Gas or Oil Fields)、含水層 (Aquifer reservoir) 和鹽穴 (Salt caverns)，如圖 2。

圖 2 地下儲氣窖類型示意圖

Types of underground natural gas storage facilities



Source: PB-KBB, inc., enhanced by U.S. Energy Information Administration

資料來源 :<https://www.eia.gov/naturalgas/storage/basics/>

(1) 枯竭油氣田

是最常見的天然氣地下儲存方式，將開採過的天然氣田改造成儲氣窖，原有的儲氣層，經開採枯竭後，其高孔隙空間能儲存天然氣，且具高滲透率，能夠注儲與抽取天然氣，儲存的天然氣因有圈閉及緻密的覆蓋層，而不會遷移到其他

地區或溢散流失。此外岩石（儲氣層和密封層）能承受天然氣注儲和抽取時的壓力反覆變化循環。

枯竭儲氣田的地質、物理特徵已經地質學家及石油工程師深入研究，也有既存的開採和輸送設施，可適當修改利用，降低啟用成本，因此通常是三種地下儲氣類型中最便宜，且最容易開發、操作和維護。

一般為維持儲氣層的工作壓力，必須保留約 50% 的天然氣為墊底氣，由於枯竭氣田的儲氣層原已充滿天然氣和碳氫化合物，因此不需要額外注入物理上無法開採的氣體，提供進一步經濟利益，特別是在高氣價時。

決定枯竭氣田能否成為經濟上可行的儲氣窖的因素，包括具有良好的孔隙度和滲透率，天然氣層必須有效密封，避免氣體溢散損失，靠近天然氣市場，且有基礎設施適合改造，方便注產天然氣。

在美國大概 400 座天然氣地下儲氣窖中，約 80% 是枯竭的天然氣或原油田所改造。

(2) 含水層

含水層是地下孔隙發達，且滲透率良好的岩層，在具適合條件下改造成儲氣窖。通常必須先投入大量資金調查地層的地質和物理特徵，評估是否適合儲存天然氣，如果適合儲氣，則開發建設所有相關基礎設施，包括安裝井、提取設備、管道、脫水設施、壓縮設備，與枯竭的天然氣藏相比明顯增加開發成本。由於含水層中原來幾乎沒有天然存在的氣體，必須先注入物理上無法回收的氣體及墊底氣，因此儲氣場通常比枯竭的氣藏需要更多的基本氣體，高達總氣體量的 80%。隨著天然氣價格上漲，含水層儲存的開發成本變得更加昂貴，大多數含水層儲存設施都是在天然氣價格較低時開發。由於含水層充滿水，必須使用強大的注入設備提供足夠的壓力，將天然氣取代地層水。

從含水層儲氣窖中提取的天然氣通常需要在運輸前進一步脫水。另外含水層的天然氣保留能力可能不如枯竭儲氣層，注入的天然氣可能會從地層中逸出，必須透過專門設計的收集井提取收集。因此開發含水層作為儲氣窖既耗時又昂貴，在某些情況下，可能需要長達四年的時間，是開發枯竭氣藏作儲氣窖所需時間的兩倍以上。含水層儲氣窖的儲存氣體積在美國約佔 10%，通常僅在附近沒有枯竭儲氣窖可用的地區。

(3) 鹽穴

鹽層具有極佳的緻密不透氣性，非常適合建造儲氣窖，注儲在鹽層洞穴的天然氣不易逸出，鹽層儲氣窖在使用期間也不會受到氣體的影響。

鹽穴是在鹽礦床挖掘形成，地下鹽礦床多以鹽丘和鹽床的兩種形式存在。鹽丘是天然鹽沉積物形成的厚層，可能形成大型圓頂型結構，直徑可達一英里，高度可達三萬英尺。通常鹽丘儲氣窖建在地表下 6,000 至 1,500 英尺深度。鹽床是較淺較寬而薄的地層，深度通常不超過 1,000 英尺，開發成本可能比鹽丘高。

在鹽層中開發儲氣窖，通常鑽井將淡水注入鹽層中溶解鹽，鹽水被泵回地表，形成洞穴，直到洞穴達到所需的大小，有些洞穴高 800 公尺，直徑 50 公尺，體積約為 50 萬立方公尺。鹽穴做為具有高輸送能力的地下天然氣儲存容器，墊底氣量需求較低，通常約為總氣體容量的 30%。

鹽穴通常比枯竭儲氣窖和含水層儲氣窖的規模小得多，面積可能僅為枯竭儲氣窖的百分之一，然而鹽穴的產能遠高於枯竭儲氣窖或含水層儲氣窖的產能，氣體能夠更容易、更快速地抽取和注儲，特別適合用在緊急或短期意外需求激增時，在美國僅佔地下儲氣窖的少數，約 4%，主要位於墨西哥灣沿岸以及北部各州（儲氣窖比較如表 1）。

表 1 三種地下儲氣窖比較表

類型	墊底氣	注入期 (天)	提取期 (天)
枯竭的氣藏	50%	200-250	100-150
含水層	50%-80%	200-250	100-150
鹽穴	20%-30%	20-40	10-20

資料來源 :https://en.wikipedia.org/wiki/Natural_gas_storage。

3、地下儲氣窖的設施

地下儲氣窖主要設施包括儲氣井和壓縮機、注儲與抽取天然氣、氣體處理設施，移除抽取氣中不需要的元素、水、高碳氫化合物、二氧化碳及硫化氫，另外也可能需要改變氣體的熱值，再進入燃氣網路。

4、地下儲氣窖的開發成本

地下儲氣窖的開發成本主要取決於儲氣窖類型，一般以單位工作氣體容量計算，鹽穴儲氣窖的開發成本最高，然而其交付性循環較快，可略為彌補。鹽穴設施的成本可能為每十億立方英尺工作氣體容量 1000 至 2500 萬美元，價格因地質條件、地形、所需的壓縮馬力而異。枯竭的油氣田儲氣窖每十億立方英尺工作氣容量的成本在 500 至 600 萬美元之間。另外建造新儲氣窖有墊底氣體的成本，含水層儲氣窖的基礎天然氣含量可能高達儲量的 80%，使得含水層儲氣窖的開發在高氣價時非常有吸引力。鹽穴所需的墊底氣最少，墊底氣的高成本影響現有儲氣窖的擴張和新場地的開發。

5、地下儲氣窖的技術發展

許多天然氣儲存的技術研究正在進行，例如將鹽層冷卻，從而儲存更多的氣體，並從中提取鹽。另外利用如花崗岩的堅硬岩層打造內襯岩石洞穴，安裝鋼罐，並用混凝土包圍儲存氣體，儘管開發成本相當昂貴，但具有多次循環氣體的能力，類似於鹽穴設施。此外水合物也能儲存天然氣，高壓低溫環境下，水結凍時可包攏天然氣形成氣體水合物，一單位體積的天然氣水合物中可儲存多達 180 單位的天然氣。

(二) 液化天然氣儲存

液化天然氣是現今天然氣的重要輸儲產品，尤其是從生產國跨洋長途運輸到消費國（或區域）。天然氣田生產的天然氣先在液化廠淨化處理，去除較重的碳氫化合物及雜質，避免在超低溫的製程中凝固，發生管路設備堵塞等現象，最終在大氣壓力下攝氏零下 162 度左右，成為液態，體積只有原來氣態天然氣的六分之一。液化天然氣在常壓下以特製的運輸船或車輛運送，海上用液化天然氣運輸船，著重於可靠的貨載系統，建造一艘 15 萬公秉液化天然氣運輸船的費用約新台幣 80 億元。

液化天然氣運輸船抵港後在液化天然氣接收站卸載，液化天然氣的接收站主要設備包括碼頭設備、卸收管臂、儲槽、氣化器、輸送管線、公用設備等。液化天然氣經卸收管臂卸下後，泵送至儲槽儲存，之後再氣化以管線運送至各地使用。液化天然氣的氣化一般利用海水為熱源，氣化器以鋁合金製成，傳熱管內有鰭狀物加強熱傳，海水降溫通常控制在攝氏 5 度以內。

液化天然氣儲存在儲槽中（如圖 3），早期的液化天然氣儲存庫是在地下土坑，土坑周圍的地面被冰冷的液體凍結，形成密封，例如英國坎維天然氣終端的 21,000 噸液化天然氣儲存設施。現今的液化天然氣儲槽是在穩定的壓力下儲存液化天然氣，儲槽的工作壓力必須保持在設計極限範圍內。儲槽設備材料具有低溫持久性，合乎保冷需求。儲槽內部多使用對液體及氣體具良好密閉性的金屬薄膜，內槽及槽頂在施工上相連部分甚多，對精密度、溫度條件、變形條件等都需特別設計，儲槽外壁有嚴密的保冷隔熱材料。

圖 3 中油台中液化天然氣接收站液化天然氣儲槽



資料來源：台灣中油公司全球資訊網。

儲存於儲槽內的部分液化天然氣會因吸熱蒸發而產生蒸發氣，儲槽內若加入不同成分、溫度及密度的液化天然氣，氣體在相互混合的情況下會有吸熱或放熱反應，產生蒸發氣，使儲槽內的壓力急遽上升形成滾騰現象，造成爆炸危險，因此儲槽上設有通氣管線及安全閥裝置，適當減低儲槽內部壓力，同時儲槽內須安裝循環攪拌泵浦及警報系統。

液化天然氣儲槽因液體所佔用的空間比氣體少約 600 倍，也不需要墊底氣體，比地下儲氣窖更具儲存效率，儲槽設施通常靠近市場，可以快速交付，但建造和維護成本比開發地下儲存設施更昂貴。

液化天然氣儲槽大概可以區分坑式儲槽、地下式儲槽及地上式儲槽等三類，敘述如后：

- 1、**坑式儲槽**：地表下挖坑，周圍設有坑牆。
- 2、**地下式儲槽**：地表下混凝土外牆與土壤直接接觸，如中油公司永安接收站的儲槽。
- 3、**地上式儲槽**：內層為薄膜內槽，內外層間有保冷絕緣層。又分四種型式，如后：
 - (1) 傳統式儲槽：四周有防溢堤，槽體內外層為金屬板。

(2) 預力混凝土牆式儲槽 (PC tank)：槽體之外槽為自撐式預力混凝土牆取代防溢堤，儲槽體包括內外層金屬板，層間有保冷絕緣層，如中油公司台中接收站的儲槽。

(3) 預力混凝土牆薄膜式儲槽：四周有防溢堤，槽體之外槽為預力混凝土牆，內層微薄膜。

(4) 覆土混凝土牆式儲槽：類似傳統式儲槽，四周以覆土做堤防。

現今以預力混凝土地上式與地下式儲槽為主，儲槽多採用全密閉型，內槽密封液體，外槽能抵抗內槽洩漏的液體和產生的氣體。儲槽依頂部型式分為雙拱頂及懸頂，中油台中接收站 6 座儲槽均為雙拱頂型式。

液化天然氣儲槽主要考慮安全性、可靠性、成本及對環境的影響。地上雙層金屬罐類型的甲烷和液態氧儲存裝置已經使用很長的時間，具有相當豐富的設計、建造經驗，是目前最可靠、可預測的儲存類型，普遍認為與其他類型的石油產品儲存一樣安全，其重要優點是罐體絕緣的防火性，及完全封閉的儲存空間，沒有爆炸的危險性。

二、台灣的天然氣儲存

台灣的天然氣儲存場現有鐵砧山地下儲氣窖及永安、台中兩個液化天然氣接收站，共 12 座液化天然氣儲槽，儲運示意圖如圖 4。

(一) 鐵砧山儲氣窖

鐵砧山儲氣窖是鐵砧山氣田所改造，1962 年中油公司在苗栗通宵鐵砧山鑽探成功，1965 年起開採天然氣，累計至 2016 年共生產 240 億立方公尺的天然氣，是台灣最大氣田。近年來油氣耗竭，自 1988 年開始逐步由生產油氣轉型為儲氣窖，油氣井設備也從採氣轉為注氣。於 2002 年底開始營運，現有主要注儲設施包括 8 座注／產氣井、監測井、壓縮機設備等。規劃儲氣容量約為 40 億立方公尺，墊底氣占 20 億立方公尺，剩餘則為營運氣儲存容量。最大每日注氣量 150 萬立方公尺，產氣量 100 萬立方公尺，維持安全存量 3.37 億立方公尺。

鐵砧山儲氣窖具完整的四方圈合背斜封閉構造，儲氣層厚度足夠，滲透率良好，位於海平面下約 2,700 公尺，深度適中，且蓋岩

層緻密厚實，是理想的天然儲氣窖，氣田剩餘的天然氣，可成為儲氣窖運作時現成的墊底氣。注入氣與儲氣層的殘留氣成分相近，其水驅強度弱，可節省壓縮機的能量，地理位置靠近市場輸氣幹線，有利於發揮天然氣儲氣與調節供需的功能，已成為北台灣的天然氣輸儲重要基地，調節尖峰、離峰用氣量，鐵砧山儲氣窖接收永安接收站及台中接受站的進口天然氣，轉送到北部用氣戶及大潭、通霄、新桃等發電廠發電，超過 7 成以上供給台電公司。

大規模的地下儲氣可調節市場尖離峰之用氣量，及天然氣購氣合約與安全儲存量的需求，地下儲氣窖成為重要資產，但民眾擔心儲氣窖可能會影響地殼變化，中油公司指出天然的天然氣藏歷經數千萬年都不受影響，且儲氣窖位在深部地層，地質上具有完整的封閉結構，相較於地上儲存槽，沒有失火或爆炸的危險。全球使用中的地下儲氣窖有 6 百多座，其中 4 百多座以枯竭天然氣田改造，具有近百年的注儲經驗，技術已相當成熟。

（二）進口液化天然氣儲存

台灣天然氣主要以液化天然氣進口，依經濟部能源統計數據，2020 年液化天然氣進口 1775 萬噸、2021 年 1943 萬噸、2022 年 1996 萬噸、2023 年 1992 萬噸。預計 2025 年天然氣發電佔 50%，進口量逐年增加。

目前永安接收站及台中接收站各有 6 座儲槽，共計 12 座，總容積 165 萬公秉，年供應能力 1,650 萬噸。依經濟部能源署資料，2022 年 LNG 進口 1,995.8 萬噸，換算設備使用率為 120.96%，幾乎是全球平均值 41% 的三倍，顯見天然氣接收與儲存的能力緊縮。

天然氣儲存攸關能源安全，為因應國內受天然氣進口中斷及天候等不確定性事件影響供應，針對安全存量經濟部《天然氣事業法》明定天然氣生產或進口事業應維持供氣穩定，並儲存其供氣用戶所需之供應量，自備一定天數之儲槽容量，包括「儲槽容積天數」與「事業存量天數」兩個重要的標準，定義如下：

儲槽容積天數 = (自有儲槽容積 + 承租之儲槽容積 - 出租之儲槽容積) ÷ 事業申報日前 6 年度之日平均供應量。供應期間不足 6

年者，以實際供應期間計算。

事業存量天數 = 事業當日上午 8 時之事業存量 ÷ 前 1 年度日平均供應量。

日平均供應量 = (生產量 + 進口量) ÷ 日數。

經濟部 107 年 8 月 27 日公告修正天然氣生產或進口事業自備儲槽容量，明定天然氣進口業者應儲備天然氣安全存量，儲槽容積天數 2019 年為 15 天，2027 年達 24 天，事業安全存量天數 2019 年至少為 7 天，2027 年達 14 天，以因應進口中斷及天候等偶發性事件之影響 (如表 2)。

表 2 台灣天然氣安全存量表

年份	2019	2022	2025	2027
儲槽容積天數	15	16	20	24
安全存量天數	7	8	11	14

資料來源：經濟部能源署

依此法規試算目前我國天然氣儲存狀況如下：

1、液化天然氣儲槽最大存量：現有 12 座儲槽，合計儲槽容量 165 萬公秉，以 1 公秉液化天然氣重量 0.453 噸計，約合 74.75 萬噸。一般操作不能儲存超過 90%，因此估算最大存量為 148.5 萬公秉，約合 67.27 萬噸。

2、天然氣日均消耗量：依經濟部 2023 年能源統計手冊，2024 年的前 6 年度日平均供應量為 5.12 萬噸，儲槽容積天數為 $67.27/5.12=14.6$ 天，略低於規定的 16 天。

2024 年的前 1 年度日平均供應量為 5.54 萬噸，若儲槽均儲滿 90% 容量，事業存量天數為 $67.27/5.54=12.14$ 天，高於規定的 8 天。

政府非核家園能源配比政策 2025 年燃氣發電占比將達 50%，估計全國天然氣需求量大為增加，若無新建儲槽，2025 年儲槽容積天數及事業存量天數恐難達到法規所定的 20 天及 11 天。已知中油公司第三接收站正積極建設中，若於 2025 年加入其 2 座儲槽共 32 萬公秉儲槽容積，或可稍解燃眉之急。

天然氣存量不足可能嚴重影響能源安全，是以需要有緊急應變措施，在經濟部《天然氣供應及價格管制實施辦法》，訂有「存量可用天數」與「存量下

限天數」的標準，因應液化天然氣運輸船無法入港的緊急應變措施。

「存量下限天數」定義為三艘 LNG 運輸船能提供的天然氣供應天數，例如一艘 LNG 運輸船可載 5 萬噸的 LNG，而日均進口量是 4 萬噸，1 艘船可以提供 1.25 天的進口量，3 艘船可以提供 3.75 天，此為存量下限天數，如果存量不足此數字，就啟動減供等緊急應變措施。

「存量可用天數」是現有液化天然氣存量的可供應天數，每天早上 8 點時儲槽內加上已經到港的液化天然氣運輸船的總量，除以每天的供應量，例如日均進口量是 4 萬噸，早上 8 點時，所有的儲槽共有 15 萬噸，同時有一艘載運量 5 萬噸的船到港，則存量可用天數為 $(15+5)/4$ ，也就是 5 天。「存量下限天數」是存量的底限，當「存量可用天數」小於「存量下限天數」，就進入緊急狀況，得要採取減量供應等應變措施，由此更顯見天然氣儲存量的重要性（如表 3）。

表 3 我國天然氣供應需求量表（單位萬噸）

年度	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023
供給量	1682.42	1712.61	1683.49	1801.08	1975.22	2031.37	2022.73
自產	17.89	13.31	11.26	7.09	7.42	6.45	6.12
進口	1664.53	1699.3	1672.23	1793.98	1967.8	2024.92	2011.63
進口占比 (%)	98.94	99.22	99.33	99.61	99.62	99.68	99.45
當年日平均量	4.61	4.69	4.61	4.92	5.41	5.57	5.54
前六年度日平均量						4.97	5.12

資料來源：經濟部能源統計手冊 2023

三、國內天然氣存量之隱憂

為預防短期不確定因素發生，如夏季颱風侵襲、冬季東北季風、海域封鎖、船隻故障、地緣政治因素及戰爭等導致供氣中斷問題，必須維持一定儲氣量，以確保天然氣供應安全。然目前國內液化天然氣儲存天數，較煤炭 (30 天) 及石油 (60 天) 安全存量天數相對低。同為主要液化天然氣進口國，我國天然氣儲槽存量天數，遠低於韓國的 53 天、中國大陸的 51 天及日本的 36 天。夏天颱風若肆虐，或有地緣政治干擾，燃氣電廠恐將停擺。

我國液化天然氣進口主要供應國，澳洲的運輸航期約為 6 天、巴布亞紐幾內亞為 7 至 8.5 天，占比最高之卡達則長達 12 天，颱風、東北

季風、地緣政治風險及船運航道等特殊狀況，均影響 LNG 船靠港，安全存量天數實有適度提高之必要，以避免斷氣風險。

2022 年我國液化天然氣進口量是 1996 萬噸，以 1 艘 LNG 船可裝載 14.5 萬公秉，約 6.57 萬噸計算，需要有約 300 艘船靠港卸氣，平均約 6 天就要 5 艘，到 2025 年 LNG 進口量更高，天然氣儲量攸關能源韌性，存量不足難免令人擔憂。

另外目前法規計算存量天數的分母為「前一年度日平均供應量」，並未考量季節性需求的變化，實際上台灣夏季用電量高，在尖峰期 7 月，較離峰 2 月多，天然氣儲備天數有明顯季節性的變化，尤其夏天存量天數較緊，又逢颱風季節，將引發斷氣顧慮。

儲槽容積天數全由進口代供的中油公司負擔，增加一個儲槽約 16 到 18 萬公秉容量，相當新增一天安全存量，可提升能源安全韌性。

四、天然氣接收站及儲槽增建規劃

我國天然氣接收站及儲槽增建規劃（如圖 4），敘述如后：

高雄永安接收站（一接）目前有 6 座儲槽，將再擴建 2 座儲槽，成為全台年供氣量最大接收站，年供應量高達 1050 萬噸，主要供應大林、興達、森霸、嘉惠、星能、國光、通霄等燃氣電廠。

台中港接收站（二接）現有 6 座儲槽，將增建 2 座，預計於 2026 年完工，供應能力每年達 1,000 萬噸，供應大潭及長生等電廠用氣。

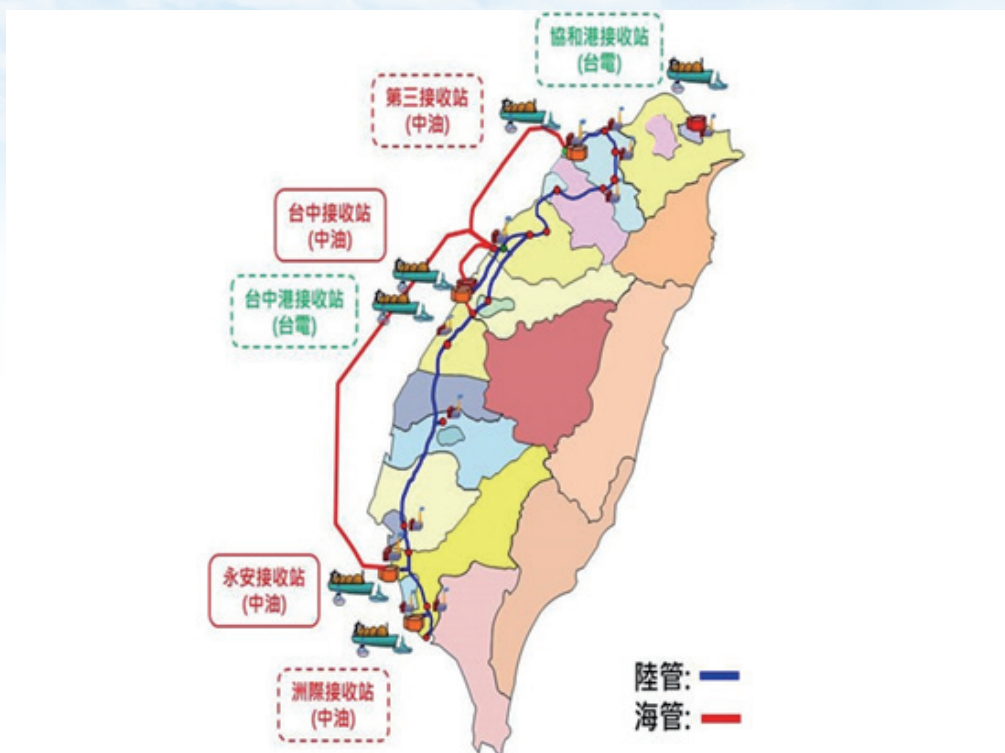
桃園觀塘的三接包括年進口量 300 萬公噸以上的接收站卸收碼頭、2 座 16 萬公秉 LNG 儲槽及氣化、供氣設施，並與現有供氣系統銜接。2016 年開始推動，原預計 2025 年中完工供氣，主要供應大潭電廠用氣、北部新增民生工業及其他電廠用戶需求。

台電公司投資建設基隆協和（四接）及台中接收站（五接），總投資金額達 2399 億，供氣量分別為 180 萬噸及 154 萬噸，主要滿足台中火力發電廠和協和電廠的燃氣機組，預計 2025、2032 年陸續供氣。

中油公司另將於高雄建設洲際液化天然氣接收站（七接），蓋 4 座儲槽、氣化設備加上卸貨碼頭，斥資 900 億元，初估 2024 年完成環評，2030 年完工供應台電大林電廠。

另外台塑公司也計畫在麥寮建造接收站（六接）和儲槽，預計國內到 2032 年將有 7 座液化天然氣接收站，38 座總儲氣槽，分別是一接永安 9 座、二接台中港 12 座、三接觀塘 2 座、四接協和 2 座、五接台中 5 座、六接麥寮 4 座及七接洲際 4 座。

圖 4 台灣液化天然氣接收站及儲運擴建規劃示意圖



資料來源：經濟部能源署 2024-02。

結語

國內天然氣發電佔比 50%，幾乎完全倚賴進口液化天然氣，充裕的天然氣儲存攸關能源穩定安全。天然氣儲存設施現有台灣中油公司鐵砧山地下儲氣窖及主要的永安和台中 2 座液化天然氣接收站、12 座儲槽，液化天然氣設計供應能力總計每年 1,650 萬公噸，輸儲設施營運操作量均已趨飽和，儲氣容積及安全存量均有待擴增。為落實國家能源政策及穩定供應國內天然氣需求，正積極推動多項液化天然氣輸儲設施計畫，預計在各接收站擴建後，儲槽總容積和安全存量可大幅提升，滿足全國天然氣用氣需求與提高天然氣供應可靠度。

參考文獻

- 一、曾宇，2022，地上式液化天然氣儲槽法規標準及構造。中華產業機械設備協會。<https://www.cima.org.tw/expert/blog202201-04/>
- 二、王子豪，2024，天然氣儲槽與容量列表。焦點報導。<https://eventsin-focus.org/issues/7145948>
- 三、台灣中油股份有限公司 112 年度營業預算評估報告。
- 四、立法院全球資訊網。<https://www.ly.gov.tw/Pages/ashx>
- 五、劉致峻，天然氣安全 - 天然氣儲存的重要性。能源教育資源總中心
<https://learnenergy.tw/index.php?inter=knowledge&caid=4&id=913>
- 六、天然氣解釋交貨及儲存。<https://www.eia.gov/energyexplained/natural-gas/delivery-and-storage.php>
- 七、地下天然氣儲存的基礎知識，2015-11-16。<https://www.eia.gov/natural-gas/storage/basics/>
- 八、陳碧道，2024，擘劃能源轉型藍圖 - 天然氣接收站擴建及規劃。工程 97 卷 01 期，P5-16。
- 九、經濟部能源署，能源統計手冊 2022。
- 十、劉禹伸，2016-7-10，我國興建液化天然氣接收站有助於改善能源穩定供應安全的風險。經濟部能源署能源知識庫。<https://km.twenergy.org.tw/Data/db-more?id=1290>
- 十一、經濟部能源署，確保天然氣供應穩定。https://www.moeaea.gov.tw/ECW/populace/content/Content.aspx?menu_id=8748
- 十二、https://en.wikipedia.org/wiki/Natural_gas_storage

天然氣生產與配銷過程中 之品質管制

資深石化人 謝俊雄

前言

眾所周知天然氣是一種氣體燃料，在今日世界能源供應上具有重要地位。又因天然氣與汽油、柴油、重油等同屬化石能源，為因應全球氣候變遷，解決方案之一是改用無碳、低碳之燃料，亦即實施能源轉型，目前積極發展推動合成燃料、生質燃料及可再生能源等取代，亦被稱為替代能源 (Alternative energy)。

依據國際公約的設定，2050 年做到全球二氧化碳之淨 - 零排放，達成碳中和的情境，冀望能阻絕暖化，使氣溫之升高控制在不超過 1.5°C，需經由交通、產業、生活、商業等的積極、共同努力，始可望克盡其功，此乃人類社會有史以來首次遭逢的一項節能減碳之龐大工程。

雖然能源轉型正緊鑼密鼓地進行，不少技術發展已至成熟階段，過去與天然氣截然不同的應用，像航空燃料、海運用油及交通燃料等都可由天然氣取代，尤其是 LNG。由於天然氣燃燒 CO₂ 排放遠低於多數化石能源，不少報導稱，在能源轉型完成前，天然氣將持續扮演重要角色，在此時期天然氣之品質要求將更加嚴格，各種品管之解決方案應運而生，特別是自生產到應用階段中諸多測量、分析儀器之應用。

一、關於燃料燃燒之話題

人類社會對燃料之使用與時而異，亙古以來，人類自發明鑽木取火起，即與地球大自然相依為命，率多以隨手可得之草木等生質物為燃料，因使用相對有限，長期以來，自未特別對環境造成影響，也未引起地球之反撲，如現今的酷熱、沙漠化、颶風等鮮少發生。

然而最足以表徵燃燒化石燃料的後果，是產生大量溫室氣體，尤其 CO₂ 為罪魁禍首，對地球環境造成嚴重的衝擊，包括北極未曾動搖過的冰山不斷裂解、美洲大面積森林大火、德州及俄亥俄州發生龍捲風，將

車輛、房屋捲飛上天際，觸目驚心，嘆為觀止。

有專家研推中國自唐朝至清朝期間，地球溫度大概僅上升 1°C ，然而 18 世紀工業革命興起，因新能源的發現及不斷使用，逐漸導致地球溫度升高，前中研院院長李遠哲博士亦曾提出警告，稱若氣溫再提高 3°C ，或將導致地球滅絕。

伴隨經濟發展、工商業湧現，雖促進人們生活改善，然而燃料的燃燒快速增加，隨處可見，一根根高聳的煙囪，冒著濃密的煙霧，還有不時劃過天際，發出隆隆聲響的飛機，及公路、街道川流不息的大小車輛，甚至早些年不時出現的烏賊車、炊煙裊裊的住家等，均是不斷地傳播燃料燃燒之訊息。燃料燃燒產生的排放物、殘留物隨處可見，人類生活的地球已逐漸汙濁。

所幸喚醒有識之士與環保團體，產生最近數十年來的環保運動，然而大量燃料燃燒所排放的溫室氣體，先是形成大氣臭氧層的破洞，造成有害紫外線的入侵，接著溫室氣體排放帶來暖化，導致氣候變遷，環境被破壞於焉形成，猶如火上澆油。

由於燃料的改變與燃燒技術的進步，經過無數的嘗試與努力，已獲得初步成果，尤其是在歐美先進地區，例如對於管制工廠煙囪滾滾而出之黑煙排放，首先獲得控制。具代表性的例證還有都市垃圾焚化廠的運作，能夠做到工廠實際是正常操作中，但由附近向煙囪望去，一絲排煙都沒有，且靜悄悄，讓人感覺彷彿是停工中。

我國在工業發展初期，工廠用煤塊為燃料，之後逐漸改進用燃燒更能完全之粉煤。約莫 60 年前，中油公司推出一項推廣活動，並印製宣傳資料，稱為「如何由燃燒煤炭改為燒油」，其中的油是指燃料油（重油），意在減少 CO_2 排放。

二、氣體燃料時代之來臨

時至今日，吾人早已脫離燃用煤炭、煤球時代，配合設計精進的瓦斯爐具，烹飪、沐浴已是既省時又省力，不論燒水、做料理亦不費吹灰之力，尤以管線瓦斯（天然氣）帶來史無前例之方便性，實乃幸福生活的一個重要環節。

在英國，瓦斯之應用甚早。見諸史冊記載，瓦斯之作為街燈燃料，首見於倫敦。晚近自北海油氣田開發完成，非僅擺脫產油國家石油禁運的陰影，也很早就建立起大規模天然氣 (包括 LNG) 的營運系統。

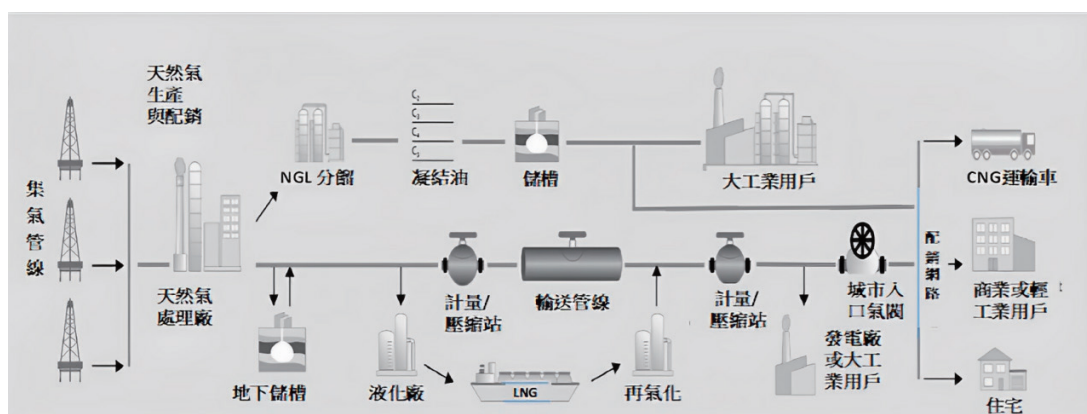
過去大英帝國號稱日不落國，如今雖已物換星移，惟往日帝國韻味猶存。過去筆者因公務、商務等多次往返英倫三島，每每心中暗自期許，希望藉由見微知著，瞭解這個工業先進國家與我國差異在哪裡？最初答案是該國所做的產品我國不能也不會做，例如勞斯萊斯噴射機引擎、精密醫藥與化工設備、天然氣與原油鑽探井的高硬度鑽頭等；而該國不想也不需做的產品是各類低附加價值加工品，尤其是塑膠、合成纖維等的最終製品，是我等不能不做的項目。

值得一提的是我國微電腦瓦斯錶已普遍推廣使用，英國亦如此，據報導稱，該國勤儉持家的主婦會經常注意瓦斯錶上的消費數字，只要按一下計費鈕，就可估算出需支付的瓦斯費金額，這也是微電腦瓦斯錶方便之處。

三、天然氣產業之上中下游

天然氣生產和配銷涉及幾個關鍵階段，包括開採、加工、運輸、儲存和交付給最終用戶 (如圖 1)，下面就每一階段做概述：

圖 1 天然氣之生產加工與配銷流程



資料來源：美國 AMATEK 製程儀器公司

(一) 產氣

陸上產氣是透過鑽探氣井，從地下蘊藏層萃取天然氣，通常位於岩層、頁岩層或煤層中，有時也與原油油田連結在一起。天然氣開採的類型如后：

- 1、傳統開採：直接在天然氣蘊藏地中鑽探氣井，萃取出天然氣。
- 2、非常規開採：包括新發展的水力壓裂和水平鑽井技術，生產出頁岩氣、緻密氣等。

如圖 1 所示，在天然氣蘊藏的地盤，開鑿生產氣井，再利用集氣管線將粗天然氣彙總送到天然氣處理廠。

另外是海上產氣，主要在近海大陸棚鑽井，近年來已發展至深海區開採油氣，甚至在水深數千公尺的海中陸地再往下鑽井。所產原油和天然氣以管線引至海岸上處理，或直接在海上鑽探平台設廠加工處理，包括 LNG 的製造。

(二) 加工處理

此為初步處理，一般是在開採現場，將天然氣與油、水和其他雜質分離，然後將粗天然氣運送至處理廠。

(三) 天然氣處理廠

是天然氣品質管制最重要的一個步驟，去除污染物，例如硫化氫、二氧化碳、水蒸氣和惰性氣體；其次是分離天然氣液烴 (NGLs)，如乙烷、丙烷、丁烷、戊烷和更高分子量的碳氫化合物；至為關鍵的要點是生產管道氣品質、脫水乾燥的天然氣（主成分為甲烷）。

(四) 輸送

- 1、蒐集管線：利用管道輸送，除最前端的蒐集系統，還有將原始天然氣從油井輸送到加工廠的小型管道網路。
- 2、再者就是長距離輸送加工後天然氣的大型高壓管道，通常跨越省市、州或國家。
- 3、分配管道：將天然氣從傳輸管道輸送至最終用戶的較小管道。

(五) 液化天然氣

對於國際運輸，天然氣要冷卻至 -162°C (-260°F)，成為液化天然氣，體積減少約 600 倍。液化天然氣透過專門的低溫油輪運輸。

在接收站，液化天然氣被再氣化並輸送到地區管線網，進入社區住家或其他用戶。

（六）儲存

- 1、地下儲藏室：天然氣可儲存在已枯竭的氣窖、含水層及鹽礦穴中，以平衡供需。儲存可確保冬季等需求高峰期的可靠供應。
- 2、地上存放：進口碼頭和配送中心的液化天然氣儲存槽。

（七）配銷

- 1、當地分銷公司 (Local distribution companies)。
- 2、向住宅、商業和工業客戶輸送天然氣。
- 3、管理地區管線網、計量和監控瓦斯使用情況，並確保安全與維護。

（八）終端用戶

- 1、住宅：用於暖氣、烹飪、熱水和電器等。
- 2、商業：用於產業、學校、醫院及其他暖氣、冷氣和烹飪設施。
- 3、工業：用作化學品、肥料和各種石化工業製程的原料。
- 4、發電：天然氣發電廠燃料。

（九）安全措施

- 1、制定嚴格的法規和安全協議，以防止洩漏、爆炸及環境破壞。
- 2、定期檢查、維護和力求技術進步，增強天然氣基礎設施的安全性。

（十）對環境造成的影響

- 1、與煤炭和石油相比，天然氣被認為是一種更潔淨的化石燃料，排放的二氧化碳及其他污染物更少。
- 2、由於甲烷是一種強效溫室氣體，因此人們仍然擔心生產和運輸過程中的外逸，需注意防範。

（十一）經濟考量

- 1、天然氣價格受供需、地緣政治事件、天氣模式和技術進步的影響。尤其是邇來我國有關 LNG 的安全存量輿論與報章雜誌多所報導，提升至國防安全層次，以保障基本需求。
- 2、天然氣行業提供數以千計的就業機會，並對地方和國家經濟做出重大貢獻，也對人們現代化生活提供關鍵性的服務。

以上是對圖 1 天然氣事業上中下游的分析與描述，總而言之，涉及複雜的流程和基礎設施網絡，旨在有效、安全地將能源提供給各種最終用戶。隨著技術和法規的發展與建制，此行業已不斷多方適應，以滿足持續增長的能源需求，同時解決環境及安全問題。

四、天然氣品質管制與儀器應用

如前面所提天然氣如今已是世界能源供應的重要一部分。除做燃料、原料等，近年來更大量用於發電，產出另一種型態的能源。

天然氣的生產、運輸、分配、儲存和加工已成為全球最重要的經濟活動之一，也扮演不可或缺的角色與影響力。

天然氣必須滿足與熱值、碳氫化合物露點和各種污染物、濃度相關的特定品質要求。天然氣的品質可能會受到水蒸氣、硫化物、重質碳氫化合物和二氧化碳等污染物的影響，這些污染物會對天然氣加熱、燃燒等產生不利作用，促進酸性物、硫化物等的形成，從而損壞機械、儲槽、基礎設施等，並促進水合物的形成，限制與阻礙管道中的氣流，使關鍵零組件損壞、增加維護成本，導致設備或管線系統操作的意外停機。

最近美國 AMATEK 製程儀器公司憑藉 50 多年的天然氣測量技術與儀器製造經驗，發表「天然氣之解決方案」的報導，文中說明可為天然氣品質管制領域提供最佳的品管與分析儀器解決方案，即天然氣在生產與配銷等各階段價值鏈中，透過先進之精密儀器分析，對水分、硫化氫、二氧化碳、碳氫化合物露點、溫度、氧氣、氣體成分、熱值和比重等重要參數進行測量與管控，達成最佳化品管效果。據報導為整個天然氣價值鏈的應用提供的服務範疇，可包括以下各項：

- (一) 氣體脫水
- (二) 氣體脫硫
- (三) 貿易貨物交接
- (四) 傳輸管道
- (五) 地下儲藏室
- (六) 碳氫化合物加工 (LPG 和 NGLs 回收)

(七) 液化天然氣生產等

AMATEK 採用的分析儀器都符合行業標準，且以具高可靠性而聞名，其技術、銷售和服務團隊提供強大的應用及專業知識，以確保設計正確的解決方案，滿足不同業者的天然氣流程需求。以下再就天然氣的主要品管項目與最新儀器應用分別擇要說明：

(一) 天然氣中水分與蒸氣之脫除

天然氣中的水分和蒸氣會促進水合物的形成，像結冰狀態的可燃固體，會阻塞或阻礙管道中的氣體流動，有時導致凍結，進而損壞機械基礎設施或限制天然氣流動，增加天然氣運輸和壓縮成本。在有硫化氫 (H_2S) 和二氧化碳 (CO_2) 情形下，不但會促進腐蝕性酸的形成，另外更嚴重的問題是降低天然氣的熱含量。

大多數天然氣管道營運商都對管道中允許的水分含量制定稅負或合約限制。脫水過程使用幾種不同的方法去除天然氣中的水蒸氣，例如壓縮、相分離 (Phase separation)、用潮解的固體或液體乾燥劑吸收及用固體乾燥劑吸附。

水分測量對於優化乾燥過程，並確保天然氣乾燥至正確的規格至關重要，此測量通常在乾燥過程的出口處進行，例如乙二醇接觸塔或是分子篩吸收床。

市面上販賣的儀器，有使用石英晶體微天平 (QCM)、可調諧二極體雷射吸收光譜的多種水分測量技術 (TDLAS) 或電解 (P_2O_5)，以滿足應用要求。

此等儀器對潤濕和乾燥條件的快速反應，使用戶能夠快速觀察異常情況，並最大限度地減少製程停機時間。

QCM 的內建驗證系統可確保準確、可靠的濕度測量。TDLAS 測量不受乙二醇或甲醇等污染物的影響，從而降低總擁有成本，可提供用戶優異的測量精度和較低的檢測極限。

(二) 天然氣之脫硫

天然氣脫硫的製程是從天然氣中去除 H_2S 和 CO_2 ，又被稱作甜化 (Sweetening) 製程。使用胺溶液 (如單乙醇胺或二乙醇胺) 處理為多，在接觸反應器中減少或去除「酸氣」(具有高 H_2S 濃度的天

然氣)。含 H_2S 濃度較低的低硫天然氣從接觸器的頂部排出，而已吸收較高硫化氫的胺溶液則從接觸器底部排出。

最常見的是於胺洗滌過程中除去 H_2S 和 CO_2 ，不過從天然氣中去除 CO_2 還有其他方法，即在壓力 / 溫度變動吸附程序 (Pressure/temperature swing adsorption process) 中採用固體吸附劑操作、薄膜法及冷凍分離法。

在天然氣處理前和後，有必要測量脫硫過程中 H_2S 和 CO_2 的濃度。今日化驗技術的進步，可利用光學（快速反應）、低濃度、無干擾的 H_2S 檢測儀器，無需用洗滌器 (Scrubber) 即可檢測低濃度的 H_2S 或 CO_2 ，也能夠用分析儀同時測量 H_2S 、硫化羰 (COS) 和甲基硫醇 (CH_3SH) 數值；非色散雙光束空心陰極紫外線 (Non-dispersive, dual-beam hollow cathode ultraviolet UV) 技術，是光度測定技術，此類的測量分析，不必使用試劑或一次性用品，純粹是儀器分析；可調諧二極體雷射吸收光譜 (TDLAS) CO_2 測量，無需分析儀校準或重新歸零，並且不受污染物影響，從而降低儀器購置成本。

(三) 傳輸管道和貿易交接

如前面圖 1 所示，天然氣透過大型管線網路從天然氣處理廠輸送到地下儲存場所、工業用戶（如化工廠、石化廠、發電廠和液化廠）及城市或地區入門計量站。當天然氣沿著管道輸送時，會經過計量點（站），天然氣從一方向另一方出售，稱為貿易交接點。貿易交接測量為一種交易測量，對於瞭解天然氣的熱值和傳輸的氣體量非常重要。

此時進行的氣體品質測量分析包括水分含量、硫化化合物濃度、硫化氫、硫化羰和甲基硫醇、碳氫化合物露點、溫度和比重。這些點的各项檢測，目的在於確保氣體品質符合關稅或交易合約對水分、硫化化合物、碳氫化合物露點、溫度和比重的規定，要準確測量氣體成分、熱值及相對密度，以符合財務會計合約要求。此時保護管路免受壓力降低增加、線路容量減少和設備損壞的影響，也是重要品質目標。

據儀器廠家 AMETEK 指出，來自同一製造商的多種測量儀器功能，包括 H_2O 和 H_2S 分析儀、手動和自動碳氫化合物露點溫度分析儀、氣相色層分析儀 (GC) 和重力計，都是常備之儀器。

透過對關鍵氣體成分濃度變化的快速反應，使用戶能夠快速評估氣體質量並維持管道流量。為確保氣體品質參數，符合管道或關稅要求，高精度測量分析至關重要。

(四) 地下儲藏室

當天然氣暫不需要或產量、需求量超過需求時，就會儲存在地下儲存設施，包括枯竭的石油或天然氣儲窖、鹽礦穴或含水層。

氣體品質測量，包括水蒸氣、硫化氫、碳氫化合物露點溫度和氣體成分等。通常在注入地下儲藏室時，也可同時進行天然氣之提取。當提取天然氣時，在輸送入管線網之前必須測量天然氣品質，以確保天然氣符合必需的合約或關稅要求。

對 H_2O 和 H_2S 的測量分析，目的在確保既有的任何儲存氣體庫存不會被污染，且儲存設施不會受到不利影響。

以上所述地下天然氣存儲之品管作業，有幾項關鍵考慮因素，首先是高濃度的 H_2O 或 H_2S 會污染地下儲存設施；另外需考量天然氣在高儲存壓力下，可能發生凝結，還有在開採或輸送過程中，為確保天然氣符合輸送管道的稅金計算或合約所必須做到的要求，最後在需求高峰期間對天然氣品質進行可靠、精確的分析，以資保證。

上述品管用到多種多功能測量分析儀器，供應商建議採用單一製造商的產品，以簡化採購和服務流程，此等設備通常無需洗滌器即可檢測低濃度的 H_2S 或 CO_2 。尤其是高性能之品管分析設備，在天然氣高需求提取期間對水分含量變化能快速回應，使用戶能夠優化氣體提取過程並避免被管線“鎖定”（停止輸送、輸送不及）。

(五) LPG 與 NGL 回收廠

天然氣中含有必須在萃取後除去的液體，稱為天然氣液烴 (NGLs)，通常是透過吸收製程從天然氣中分離，類似天然氣脫水。

為從天然氣中提取較輕分子量的化合物，例如乙烷或丙烷，採用低溫膨脹法。使用冷媒降低天然氣的溫度，然後在渦輪中膨脹。從天然氣中提出後，天然氣液烴自分餾程序中被分離，此時要加熱至天然氣液烴各個成分的沸點。

在上述加工處理中，需要在吸收、渦輪膨脹和 NGLs 分餾過程中做水分含量測量分析，關鍵性之考量是監控和優化脫水程序，防止分子篩乾燥機出現“破損 (Breakthrough)”、保護膨脹渦輪機免受損壞、確保最終產品品質合格。

在此階段的品質管制技術重點是對濕度（水分濃度）變化做快速反應，廠家能夠依據需求及時間，讓乾燥機的除溼性能達到最佳化。

依今日先進的技術，除水系統已無需裝設淨化設備 (Purifier)，即可偵測低濃度水含量，而且測量範圍內的精密度極高。另裝有內建系統，可展現分析儀器由零至全範圍之效能，讓使用者對分析儀充滿信心。

（六）液化天然氣生產

天然氣的陸上行銷多在管線中以氣態運輸，但跨國行銷、運輸都經液化過程轉化為液體，液化要先使用分子篩乾燥機對天然氣進行脫水，然後用冷凍劑把溫度降低至約 -162°C (-260°F) 進行冷卻。液化過程要求天然氣在轉化為液體之前不含雜質，例如水蒸氣、硫化氫和二氧化碳。

LNG 製程操作重點在於監控和優化脫水過程，防止分子篩乾燥機出現「突損」，也要避免冷凍過程中發生結冰。同時避免含有 H_2S 和 CO_2 的水存在而形成腐蝕性酸。還有在品管與儀控設備方面，強調對水分濃度變化的快速反應時間，使用戶能夠依據需求及時間優化乾燥機操作。

今日 LNG 廠各項儀器測量範圍內具高精密度，內建驗證系統，完備的儀器檢測零點至全範圍點的分析效能，可讓使用者對分析儀充滿信心（如圖 2）。

圖 2 天然氣產品品質分析儀器示例



資料來源：AMETEK Process instruments

結語

本文介紹天然氣由生產、加工處理、儲存、運輸、到銷售等各階段價值鏈的品質管制與今日先進的化學分析、儀器分析的應用狀況，庶幾可確保天然氣品質與儲運設備於最佳化狀態。文中所提以先進國家大規模、現代化營運、操作狀況為模式，亦即像美國、加拿大大量生產，跨州、跨國運銷為主要樣態。

另外如俄羅斯自西伯利亞浩大無比的天然氣儲窖，利用超級管線系統，千里迢迢途經烏克蘭，輸配到德國、荷蘭等西歐國家。更有數年前中國大陸與俄羅斯簽訂 30 年天然氣購售合約，並起造號稱西伯利亞 - 遠東新巨型天然氣管線系統，自黑龍江省入境，再延伸至上海，此亦為天然氣上中下游整合營運範例之一。

我國管線瓦斯供應系統係先進而普及，以進口 LNG 供應，在整個天然氣上中下游價值鏈中，大致屬下游區塊，量能上較美、加等大國，或顯小巫見大巫，然而 LNG 輸入量在遠東區亦屬名列前茅，本文對天然氣品質管制與先進的產品品質測量、分析技術等，希能供業者參考運用，擴大營運功效。

參考文獻

- 一、AMETEK process instruments, Natural gas solutions.
- 二、James G. Speight PhD, 「Handbook of Industrial Hydrocarbon Processes」.

燃氣設備落實查

安全供氣最在意



第14屆第二次會員代表大會 2024天然氣能源運用暨設備展

GAS ASSOCIATION OF THE REPUBLIC OF CHINA(TAIWAN)
2024 GENERAL ASSEMBLY & GAS EQUIPMENT AND TECHNOLOGY EXHIBITION

主辦單位：中華民國公用瓦斯事業協會
Gas Association of the Republic of China

協辦單位：台灣中油股份有限公司
CPC Corporation, Taiwan



您的好鄰居
天然氣公司關心您



中華民國公用瓦斯事業協會
Gas Association of the Republic of China

廣告

我國智慧三表發展概況 與未來展望

臺灣經濟研究院助理研究員 王增智

前言

物聯網（Internet of Things, IoT）是一種計算裝置、機械、數位機器相互關聯的系統，簡言之是將日常設備和物品連接至網路，此方式改變人們與世界互動的方式，已經成為當代科技發展的核心趨勢之一。物聯網實現信息的即時交換及智能控制，為各行各業帶來巨大的轉型機遇，從智慧家庭到城市、工業自動化到醫療健康，物聯網的應用領域極其廣泛，並且持續擴展，此技術的迅速普及不僅顛覆傳統的生產與生活模式，也推動數據經濟的崛起，使得數據成為可能的資源，需要被發掘採集。

隨著感測、通信及大數據分析等技術的進步，起到至關重要的作用，透過這些技術，物聯網相關設備能夠蒐集和傳輸大量數據，並且通過智能算法進行分析與處理，從而實現自動化的決策及反應，而物聯網的發展也為現代公共事業管理提供關鍵的技術支撐，即為智慧三表（包括智慧電表、智慧水表、微電腦瓦斯表）的應用，通過感測器與通訊技術的結合，能夠時時監控、記錄用戶的能源使用情形，並將數據傳輸至管理平台進行分析和管理，即時數據的獲取及處理能力，使得能源需求能被精確預測，達到優化能源分配效益，另一方面智慧表也賦予用戶更高能源使用的透明度，能依即時數據調整消費習慣，亦可能達到節能減碳的效果，本文旨在介紹國內智慧三表的發展背景、現況與未來展望，並分析其對公共事業管理及用戶的影響。

一、現行國內智慧三表通訊技術情形

首先分別針對國內智慧電表、智慧水表與微電腦瓦斯表採用之相關技術說明，分述如後：

（一）智慧電表

目前國內所稱智慧電表係指智慧電表基礎建設 (Advanced Metering Infrastructure, AMI)，可分為智慧型電表、通訊系統及控制中心等三個層面，將電表資料透過資通訊技術 (Information

and Communications Technology,ICT) 回傳電力公司的通訊模組與控制中心的電表管理系統 (Meter Data Management System,MDMS)，以利進行電費計算自動化、巨量資料 (Big Data) 等應用，其附加功能亦包含時間電價、記錄需量、雙向計量 (購、售電等)、事件記錄 (停、復電)、電力品質監測、事件回報、遙控軟體更新等，智慧型電表使用年限為 16 年。

而高壓以上智慧電表現行主要採用通訊技術，包含長期演進技術 (Long Term Evolution,LTE)、非對稱數位用戶迴路 (ADSL)、光纖。低壓智慧電表採用的通訊技術，包含無線射頻 (RF)、LTE、窄頻物聯網 (Narrowband Internet of Things,NB-IoT)、高速物聯網 (LTE-CAT M1) 及電力線通訊 (PLC)。

(二) 智慧水表

智慧水表 (SWM) 主要為自動讀表功能水表加裝自動讀表傳輸介面而成，自動讀表功能主要採兩種方式達成：一以機械表為主體，藉由光學 (照相或脈衝) 感應後再透過通訊模組回傳，另一主體則為電子表，藉由電子訊號透過通訊模組回傳，而不論電子水表加裝自動讀表傳輸介面或電子水表均需依水量計檢定檢查技術規範，符合現行水表檢定的合格有效期間為 8 年。

而自動讀表系統部分，智慧水表中的無線通訊可以透過多種技術實現，如蜂窩 (cellular) 網路、wM-Bus、LoRaWAN 及 NB-IoT 等。通訊技術的選擇適用，取決於營運規模、覆蓋範圍、預算和服務品質等，通訊功能除可讓抄水表員毋需進入用戶所在地內讀取水表數值，還可遠距離操作閘管水表，提高工作效率，另一方面亦可透過自動警報和通知，及時辨識洩漏、管線爆裂或設備故障等問題，使自來水公司妥善利用溝通管道積極主動協調檢修工程，最大限度地減少停機時間，並確保得以向使用者穩定不間斷供水。

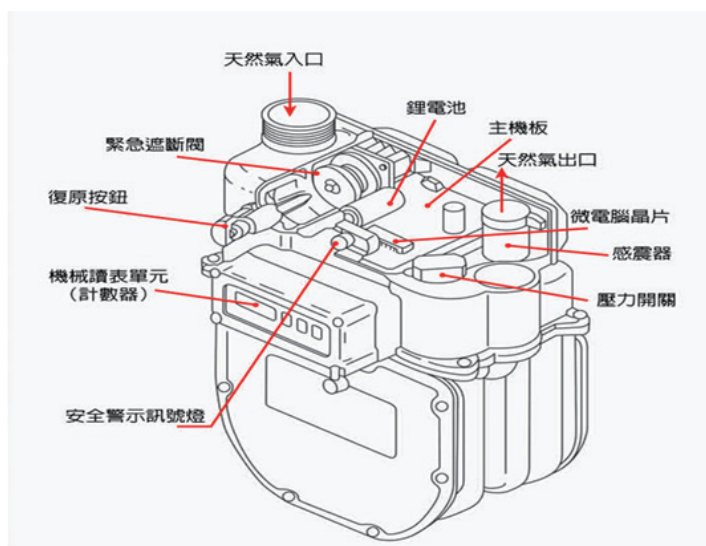
在 NB-IoT 技術方面，係依供水事業精細化營運管理需求，藉 IoT、雲端計算、大數據等技術，將大量水務相關訊息即時彙整與處理，使供水事業提升營運效率，係低功耗廣域網路 (LPWAN) 無線電技術，專為 IoT 設備設計。NB-IoT 對低頻寬應用進行最佳化

通訊技術，使其成為主要傳輸少量數據的智慧水表的理想選擇，可在不中斷主供水之情況下，實現無縫流量調節和維護，進而最大限度地提高效率與便利性。NB-IoT 智慧水表通訊系統按雲端、管理、用戶端之安全系統架構建設，以滿足 ICT 未來演進需求，包括終端用戶端、網路層、物聯網及水務應用等幾個層面，透過 IoT、雲端計算、大數據等技術將各層面整合，支持智慧水務應用之建構和即時上線。

(三) 微電腦瓦斯表

國內微電腦瓦斯表在技術面目前依據中華民國國家標總號 14741「天然氣用微電腦膜式氣量計」，後稱 CNS 規範，天然氣用微電腦膜式計量氣標準，標準之微電腦瓦斯表外觀，如圖 1 所示，微電腦瓦斯表較傳統瓦斯表額外具備緊急遮斷閥，以在異常情況下遮斷天然氣的供應確保用氣安全，並具備微電腦晶片、壓力開關、感震器等設備，藉以感測用戶用氣情境是否正常，設計安全警示訊號燈以利用戶觀察。

圖 1 微電腦瓦斯表結構圖



資料來源：中華民國國家標準 CNS14741。

在功能方面，因國內上市之微電腦瓦斯表皆須符合 CNS 規範，並逐一檢定後才可使用，其有效期限為 10 年；微電腦瓦斯表的安全功能主要可歸納為超時遮斷、漏氣遮斷及地震遮斷，其規範功能摘要如表 1:

表 1 微電腦瓦斯表遮斷功能規範

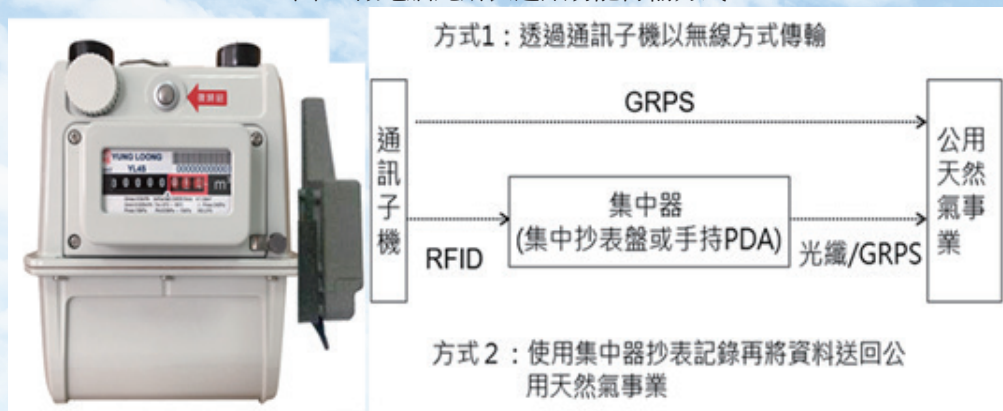
功能	規範條文	規範內容
超時遮斷	6.17.3	(安全持續使用時間遮斷) 在正常使用狀態下，當持續使用時間(依照燃氣器具及燃氣消耗量區分)到達限定時間，氣量計應遮斷，並顯示警訊。
漏氣遮斷	6.14.1	(洩漏檢測能力) 應具有對氣量計出口燃氣連接部分，洩漏量每小時 0.003 立方公尺以上之檢出機能。
	6.14.2	(洩漏檢出作動能力) 應具有對氣量計出口燃氣連接部分，洩漏量每小時 0.003 立方公尺以上連續流通 30 日以內時，自動顯示警訊機能。
	6.14.3	(洩漏警報顯示及還原能力) 應具有燃氣內管洩漏警示，可經過特殊工具及設定操作，使可消除警示顯示，並還原機能。具有自動還原機能者，如繼續檢測到微小流量時，不得自動還原。
	6.17.1	(異常大流量遮斷) 在正常使用狀態下，當流通氣量為最大流量 2 倍時，氣量計應在 2 分鐘內遮斷並顯示警訊。
	6.17.2	(個別最大流量遮斷) 在正常使用狀態下，流通個別最大流量大於氣量計最大流量時，氣量計應在 2 分鐘內遮斷並顯示警訊。
	6.18.2	(燃氣壓力下降遮斷性能) 在正常使用狀態下，燃氣壓力下降至 0.2kPa 時，氣量計應遮斷並顯示警訊。
地震遮斷	6.18.1	(地震感震遮斷性能) 在正常使用狀態下，當氣量計附近發生重大地震時，應該震度到達 250gal 前遮斷燃氣及顯示警訊。

資料來源：CNS 14741「天然氣用微電腦膜式氣量計」。

由前述可知，微腦瓦斯表主要功能係為安全遮斷功能，且 CNS 僅規定微電腦瓦斯表需具備通訊界面，因此微電腦瓦斯表需另附掛外接通訊子機後，才可發揮其通信功能，達成遠端監控、雙向通信、遠端遮斷、自動抄表、緊急告警及通報用戶瓦斯使用狀況（負載調查）或外掛一氧化碳偵測器安全遮斷等功能，即實務上微電腦瓦斯表通常僅具有安全功能，需透過裝設通訊子機發揮通信功能後，配合業者建置的通訊管理平台，方能達成智慧表應具有的功能。

而在微電腦瓦斯表智慧表（通訊功能）技術方面，目前微電腦瓦斯表多於附掛通訊子機後採無線（RFID、GPRS 等）方式進行傳輸，就遠端抄表主要有 2 種方式，第一是使用集中器蒐集數個用戶的微電腦瓦斯表度數及異常訊號，再由抄表人員攜帶 PDA 抄表，另外可能直接利用光纖 /GPRS 將訊息直接或透過中繼器傳回瓦斯公司，如圖 2：

圖 2 微電腦瓦斯表通訊功能傳輸方式



資料來源：參考 25 家公用天然氣事業通訊傳輸作法繪製。

二、國內智慧三表推廣規劃與裝設情形

(一) 智慧電表

智慧電表大致可分為低壓與高壓兩類別，低壓是以一般家戶使用為主要應用；高壓則以用電較高的使用戶為主，如商用大樓及工廠，低壓用電戶多屬住商型用戶，共計 1,300 萬戶，占全台用電量 40%。台灣電力公司於 101 至 102 年開始執行低壓智慧電表試驗計畫，規模為 12,000 具，106 年啟動第二階段智慧電表建置後，低壓智慧電表布建截至 113 年度 1 月初已陸續完成約 280 萬具裝設（約占全面布建總裝置率 21.5%），另相關標準、通訊技術及資料整合已成熟，規劃新型模組式電表將由內嵌通訊的智慧電表變更為通訊模組可插拔式電表。

智慧電表系統有助於配電端與用電端的雙向通訊，為電業及用戶提供各種服務，如負載管理、再生能源 / 配電網應用、聯合抄表和智慧家庭能源管理等隨著智慧電表普及化，水表及瓦斯表的智慧化將成為下一階段推廣目標。

(二) 智慧水表

目前我國各直轄市及縣（市）政府亦均積極推動智慧水表，包括台北市、台中市及台南市等縣市已有推動實行智慧水表，各縣市有其專有機制，承前所述，智慧水表功能除可將水表實際度數直接傳送，且無需人工抄表外，與傳統水表最大的差異係能主動偵測漏水等用水異常狀況，避免水資源浪費。因此近幾年該項轉型核心導

向轉為將水流量數據數位化，並搭配智慧水表之自動讀表、漏水偵測、用水異常警示等管理功能，不僅有助提升資源管理效率，技術將可達成漏損控制、供需平衡和需量預測等目標。

國內智慧水表發展歷程主要以大型用水戶開始，逐步廣泛推進至一般家庭用戶（如圖 3）。以台北市地區為例，為提升水資源永續利用及用戶服務品質，台北自來水事業處（下稱北水）近年為積極汰換老舊管線並降低漏水率，自 104 年起開始推動智慧水表，於大型用戶、公立機關學校、市府新建住宅及公有市場等試辦安裝智慧水表，協助用戶改善異常用水案件計有 2,495 件。藉一定營運規模與時間的實地運作，測試不同場域環境及評估產品耐受性，透過計量管理的整合提升供水效能，並節省水資源，避免不必要浪費。

圖 3 智慧水表發展重要歷程



資料來源：臺北自來水事業處。

(三) 微電腦瓦斯表

微電腦瓦斯表首創自日本，最初推廣微電腦瓦斯表主要係因其具有安全遮斷功能，能提供居家安全與維護用氣安全。日本於 1987 年正式推廣使用微電腦瓦斯表迄今，已達近 100% 的普及率，有鑑於此，我國擬效法日本全面採用微電腦瓦斯表，以提供社會更高的安全需求與保障人民的生命財產，因此「天然氣事業法」明訂相關規定中央主管機關有擬訂並逐年推廣微電腦瓦斯表之義務，期盼透過微電腦瓦斯表裝置計畫的執行，得以降低天然氣意外災害、地震所帶來的二次災害，進而保障用戶用氣安全與強化居家生活品質等目的。

依據「天然氣事業法」第 36 條規定：「為促進消費者居家安全，中央主管機關應自本法施行之日起，擬定公用天然氣事業推動具有地震遮斷、壓力過低遮斷及通信等功能的微電腦瓦斯表推廣計畫，並逐年實施」，爰經濟部能源署自 103 年起便開始推動微電腦瓦斯表，並定期滾動檢討，目前 110 年核定之推廣計畫概述如下：

1、推動策略：

- (1) 訂定明確目標：120 年全面裝置。
- (2) 規劃滾動檢討：依實際推廣情形，規劃滾動檢討。
- (3) 降低用戶抗拒：持續溝通推廣提升用戶認同，尋找適當時機推動立法。

2、推動措施：

- (1) 積極宣導：持續強化認知、建構共識。
- (2) 費用檢視：檢視基本費調整可行性。
- (3) 創造市場：創造產業發展、明確市場。
- (4) 產業輔導：協助廠商產業技術升級及產業輔導。

整體推廣計畫執行至 112 年底，全國天然氣總使用戶數約為 395 萬餘戶，微電腦瓦斯表裝置累計量為 229 萬餘具，裝置率為 58.06%，各年度裝設率如表 2：

表 2 各年度微電腦瓦斯表裝設率

年度	天然氣用戶數 (戶)	微電腦瓦斯表裝設數 (具)	累積裝設率 (%)
102	3,204,472	228,366	7.13%
103	3,268,767	262,553	8.03%
104	3,312,494	325,047	9.81%
105	3,389,908	410,528	12.11%
106	3,464,145	540,061	15.59%
107	3,548,057	764,603	21.55%
108	3,636,197	1,042,340	28.67%
109	3,714,157	1,368,124	36.84%
110	3,797,417	1,687,019	44.43%
111	3,876,178	1,982,154	51.14%
112	3,956,548	2,297,295	58.06%

資料來源：各天然氣事業 (2023)，本研究整理。

依微電腦瓦斯表推廣計畫規劃，現行微電腦瓦斯表的推廣主要係以微電腦瓦斯表本機為主，並未強迫裝設通訊功能。依據經濟部能源署資料顯示，截至 112 年底，其中具備通訊功能比例者占整體僅 16.67%，且若細究其分布，會發現主要為新竹、竹建、欣中、大台南等 4 家業者的通訊功能比例較高，有超過 6 成用戶使用通訊功能，其餘天然氣事業的通訊功能比例皆低於 30% 以下，且因推廣計畫性質，後續通訊功能占比應會逐漸降低。

三、國內智慧三表整合面臨困難與可能方案

(一) 智慧三表技術與情形小結

總結前面目前為智慧三表技術與裝置情形，彙整各表的主要技術和應用場景，敘述如下：

1、智慧電表

智慧電表的推廣主要針對節能減碳及提升再生能源利用比例。依行政院「智慧電網總體規劃方案」智慧電表的建置目標包括低壓用戶及高壓用戶兩部分，預計至 112 年達成 300 萬戶低壓智慧電表裝設，118 年達成 600 萬戶。智慧電表系統現行主要採用的通訊技術主要是 RF、LTE、NB-IoT、LTE-CAT M1 及 PLC。

2、智慧水表

智慧水表主要係能夠即時回傳用水數據，實現漏水預警及水壓管理等功能，提升水資源管理效率，目前，國內多個城市如台北、台中、台南等已經開始推動智慧水表的應用，並在大型用戶及新建住宅中試點安裝。而智慧水表通訊功能部份主要採用 cellular 網路、wM-Bus、LoRaWAN 和 NB-IoT 等。

3、微電腦瓦斯表

微電腦瓦斯表主要功能係具有安全遮斷功能的瓦斯表，能有效防止瓦斯洩漏引發的意外，台灣通過「天然氣事業法」推動微電腦瓦斯表的普及，現已達到約 6 成的裝置率，惟採用通訊功能的比例約僅 16%。微電腦瓦斯表採用的通訊功能主要係透過附掛通訊子機後採無線方式進行傳輸，再由抄表人員攜帶 PDA 抄表，另外可能直接利用光纖 /GPRS 將訊息直接或透過中繼器傳回瓦斯公司。

(二) 智慧三表整合可能面臨問題

綜合考量並分析現況，目前國內智慧三表主要可能面臨課題如下：

- 1、**不同的通訊方式**：現行各瓦斯公司、自來水公司和台電多採用不同的通訊技術及協議傳輸數據，因此可能造成後續整合的困難。例如電力公司可能使用 PLC 技術，通過電力線路傳輸數據；水公司可能使用無線 RF 技術；瓦斯公司則可能依賴 GPRS、NB-IoT 等移動網絡進行數據傳輸，這些不同的通訊方式和技術標準導致智慧表間的互通性較低，增加數據整合的難度。
- 2、**公司之間的資訊共享問題**：雖目前台電與自來水公司（台水、北水）均屬國營事業，但全台有 25 家瓦斯公司且皆為民營，因此各家公司可能出於數據隱私及商業利益的考量，不願意和其他公用事業公司共享用戶資訊，此種資訊不透明性可能導致整合過程中難以獲取完整的數據流，進而影響整體系統的協同效應和用戶的能源管理體驗。
- 3、**智慧表所在位置不同**：水表、電表和瓦斯表在用戶家庭或商業場所中的安裝位置通常不同。電表通常位於戶外或公共空間，水表通常安裝在頂樓，瓦斯表則可能位於陽台，不同的安裝位置導致通訊信號的覆蓋難度，尤其是在需要統一蒐集和管理數據的情況下，信號可能受到建築結構的影響，而中斷或削弱。
- 4、**瓦斯表及其通訊子機的普及率**：考量國內天然氣用戶僅約 4 成，即並非所有用戶都使用瓦斯，可能導致在進行智慧三表的整合時，智慧瓦斯表的覆蓋率可能相對低於水表和電表。且現行通訊子機的安裝比例亦低，瓦斯數據的匯總可能不具普遍性，可能造成資訊蒐集的結果偏向於特定地區用戶。

(三) 可能的解決方案

- 1、**標準化通訊協議**：推動制定並採用統一的通訊協議，如 LoRa、NB-IoT 等低功耗廣域網絡技術，這些技術能夠在長距離內提供穩定的數據傳輸，且適用於各種智慧表。統一的通訊標準能夠有效解決不同設備之間的互通問題，減少數據整合的難度。
- 2、**建立數據共享機制**：在尊重數據隱私和商業秘密的前提下，可以通過政府或第三方機構推動建立跨公司之間的數據共享機制，這種機制應包括明確的數據權限管理和使用規範，以促進公用事業公司之間的合作，實現智慧三表的數據整合，從而提高整體能源管理效率。
- 3、**部署混合型通訊架構**：針對不同的安裝位置和通訊需求，可以考慮部署混合型通訊架構。例如在地下或遠離電力線路的地方，可以採用無線網絡或移動網絡進行數據傳輸；在有強信號需求的地方，可以考慮增加中繼站或增強型天線提高信號覆蓋範圍。這種靈活的通訊架構能夠確保數據蒐集的穩定性，並適應不同環境的需求。
- 4、**逐步推廣瓦斯表通訊功能**：政府可考量進行主導推廣，鼓勵用戶安裝微電腦瓦斯表通訊子機，透過智慧瓦斯表的普及，能源管理系統的數據覆蓋率將提高，從而提升整合系統的效能，此外，對於未使用瓦斯的用戶，可以通過智能軟件整體的大數據蒐集分析，模擬其可能的瓦斯需求，提供參考數據。

四、未來展望與建議

目前為配合數位國家政策的指示及國家前瞻計畫發展需求下，經濟部標準檢驗局刻正執行「整合智慧讀表平台發展計畫（110 年至 113 年）」，配合前瞻基礎建設的「建構民生公共物聯網」政策施行，建立電表、水表及瓦斯表的共通資訊格式，對智慧民生用表建立制度予以規範，並且擴充國內計量檢測能量和新型智慧民生用表研發與資料共通的能力，以完備我國智慧讀表檢測能量及資訊互通性。

在智慧電表方面，依行政院核定的智慧電表布建期程，台電公司需於 113 年完成 300 萬、119 年完成 600 萬的目標，另依 111 年 3 月國發會公布之淨零排放路徑規劃，台電公司應於 124 年完成 100% 智慧電表全面布建。另一方面配合智慧電網建置推動的契機，除可做為產業發展的助力，亦可藉此推動技術及產業升級，並探尋國際市場機會，輔導廠商參與。而隨著智慧電表、自動化開關的持續布建與電力交易市場的推動，智慧電網年產值達新台幣 400 億元。考量目前我國 4G 通訊技術發展成熟，4G 網路基地台布建已涵蓋全台，其應用除基本語音影像通訊、行動數據服務，已經衍生至智慧城市、智慧路燈、智慧電表，以台電智慧電表布建四家通訊模組（中華電、斯其大、亞太及優必關），行動通訊服務商就有 2 家，未來通訊整合可考量規劃使用 4G、NB-IoT 的通訊技術。

在自來水公司方面，目前其考量成本，用戶付費申請自動讀表為方向：「自動讀表增值服務收費標準」已於 112 年 9 月 5 日公告，自 112 年 9 月 15 日起由桃園、台中及南投優先開辦用戶付費申請自動讀表，並在試辦時間擇用戶點位加裝自動讀表，事前皆已通知用戶並獲得其同意。規劃俟試辦一段時間後，擇期評估開放該公司各區處受理用戶付費申請。透過實施智慧抄表技術，公用事業公司可以提高營運效率、降低成本，並促進永續發展。

在微電腦瓦斯表方面，目前事業主要係配合政府政策推廣微電腦瓦斯表本機，通訊子機的成長仍有待加強，若參考日本經驗，日本公用天然氣事業自 1990 年開始安裝具自動抄表功能的微電腦瓦斯表，至今雖已超過 1,200 萬用戶，但占總用數比僅約 5%，較國內目前比例更低，顯示通訊功能的必要性尚待發展。若考量後續發展，可參考日本公用天然氣事業提供的增值服務，如藉由通訊功能達到遠端監控緊急告警、遠端遮斷與瓦斯是否關閉的確認服務等，透過額外業務的發展，促進事業強化推廣通訊子機誘因。

以目前國內智慧三表的發展概況而言，可說已初具規模，未來在技

術進步及政策支持下，其應用將更加廣泛，可供各種公共事業公司改進資源管理，提升用戶服務品質，並實現更高的能源利用效率，為公共事業管理和用戶生活帶來顯著的效益。然而，智慧三表的通訊整合仍面臨諸多挑戰，主要來自於技術的異質性、不同公共事業間的資訊壁壘、地理分布的複雜性等，後續建議方向如下：

- (一) 技術標準的統一：持續透過「整合智慧讀表平台發展計畫」推動智慧表技術標準的統一，以便不同類型的表計能夠更容易地整合在同一個系統中，需要較長的時間與事業協調和溝通，制定符合國內市場需求的技術規範，政府應扮演協調者的角色，通過政策引導及激勵機制，促使各方願意分享和整合數據。
- (二) 分區域的數據管理：由於智慧表所在的位置可能因房屋形式而有不同程度的分散，爰可考慮使用分區域的數據管理與傳輸系統，依據地理位置及用戶密度優化數據蒐集和處理的效率。
- (三) 漸進式推廣瓦斯表：針對瓦斯表現行通訊子機尚未普及情形，再者考量天然氣非所有用戶均有使用，可以採取漸進式的推廣策略，先針對高需求、高密度或高風險地區進行試點，逐步擴大覆蓋範圍，同時提高用戶對通訊子機及三表合一的接受度。

結語

總結來說，現行的智慧三表的發展基礎已帶來可預期的廣闊前景，但要實現真正的整合與普及，仍需克服技術、管理及市場上的多重挑戰，只有在技術標準化、公司合作、分區域管理和漸進式推廣方面取得突破，才能充分發揮在公共事業管理中的潛力，實現更高效、更智能的資源利用及管理。

參考文獻

- 一、行政院 (2020)，智慧電網總體規劃方案核定本。
- 二、經濟部標準檢驗局 (2022)，整合智慧讀表平台發展計畫。
- 三、經濟部能源署 (2023)，微電腦瓦斯表推廣計畫。
- 四、數位發展部 (2023)，無線電頻率供應計畫。
- 五、台灣電力股份有限公司 AMI 智慧電表資訊網。
- 六、台北自來水事業處官方網站。

瓦斯人的園地之一

欣泰石油氣公司課長 葉家慶

自民國 95 年 2 月進入公司服務，期間歷經工務及養護部門，學習內、外管配管施工、工程監造及管線設備維養等相關專業職能，並參與外部舉辦各項作業主管課程訓練，汲取各方面知識及提升作業安全思維，透過自身努力不懈，獲得公司肯定於 109 年 2 月份晉升課長一職。

接任單位主管職務後，所接觸的層面更加多元、豐富，工作型態也隨之轉變，個人除體驗管理階層辛苦的一面，且深感同仁們的作業安全及輸氣安全完全掌握在團隊良好紀律，唯有按部就班，落實各項規定及標準作業程序，並反覆提醒自己及同仁切勿輕忽，以遠離各種危險因子。此外，管理方面更是一門深奧的哲學，期許未來在各級長官及前輩們的指導之下，持續學習成長。

本人非常榮幸能夠獲選為年度優秀從業人員，今後將帶著這份殊榮，發揮所學及歷年累積的工作經驗，繼續努力向前，帶領同仁執行各項業務。



瓦斯人的園地之二

欣中天然氣公司工務員 張俊德

民國 99 年自弘光科大環境工程研究所畢業後先行入伍，退伍後即投入職場，職涯第一份工作任職長榮空廚廠務工程課，由於在學期間即考取甲級汙水處理專責人員證照，因而負責廠內汙水處理及相關環保申報事宜；期間歷經增建新廠及參與規劃監造等作業，有機會熟稔電腦繪圖、精進諸多營建及配管等工程知能，奠下日後工作的基礎，得以充分應用。

民國 104 年轉職欣中天然氣公司，初職服務工務部養護科，為提升搶修配管等技能，在公司的訓練輔導下，順利考取氣體燃料導管配管乙級技術士證照；



在公司所提供的學習機會和良好工作環境中，陸續考取露天開挖作業主管、高壓氣體特定設備操作人員、高壓氣體製造安全主任等證照，及接受急救人員、台中市政府道路挖掘作業管理人員等訓練，增進及豐富本職學能。105 年調任表務科，執行裝拆表作業，學習於瓦斯表相關知識，並對微電腦瓦斯表有充分的認識；106 年調任設計科，負責受理新建、增設、遷移及汰換等案件，及工業區、集合住宅、營業用戶、家用用戶等配管規劃，為符合用戶需求，需計算氣量、現場環境管材選用、法規熟識、遵行營業章程及施工規範等，以提供用戶安全的供氣環境。

服務迄今，協助部門接受每年度天然氣事業查核，並順利通過檢核；112 年起擔任公司勤務輪班指管長任務，負責輪值下班時間及星期例假、國定假日期間指揮電話接聽服務、工務搶修、維護等派遣管制通報作業，俾使公司營運順利。現職除設計工作，亦負責裝置計費項目手冊及裝置業務計費項目之訂定，在 7 年經歷裡習得各項專業知能，獲得顯著成長。

感謝公司栽培及長官的肯定，提名並獲取 113 年度瓦協優秀從業人員的榮譽，未來必持續精進職能，戮力以赴，貢獻所學、技能，使公司營運蒸蒸日上，永續發展。

瓦斯人的園地之三

欣屏天然氣公司專員 王浣綾

本人今 (113) 年很榮幸獲得屏東縣政府模範勞工的表揚，承蒙公司看重，以致在眾多人選中獲此殊榮，並由周縣長親自頒獎，謹將這份獲獎喜悅分享給所有同仁，也非常感謝公司的栽培與肯定，在職場上締造一份專屬的榮譽。

憶及民國 84 年踏入公司服務迄今，轉眼已近 30 餘年光陰，除負責出納、人事行政等業務，亦協辦財務、股務及股東會、董事會等相關工作，期間隨著資訊科技的進步，導入及運用各項套裝軟體，以精進及解決作業問題，並從累積的學習經驗中不斷成長。

後於 109 年承蒙公司推薦，當選瓦斯協會優秀從業人員，倍感欣喜。職涯裡能獲得績優人員及模範勞工，是工作上表現獲得肯定的嘉勉，爾後將持續秉持虛心學習的精神，懷抱熱忱，為公司付出及貢獻心力。



瓦斯人的園地之四

欣隆天然氣公司專案設計師 林立偉

首先感謝瓦斯協會創立優秀瓦斯從業人員獎項，也謝謝公司提名獲此殊榮。

無論職位高低，每個人都是公司團隊中不可或缺的一員，默默地貢獻一己之力。基層工作人員的辛苦與付出，往往被忽略或無視。但是正因為不計較的付出和努力，才能得到使用戶更多的安全感和歸屬感，而這個獎項更認可其專業度和正向積極的態度。

對我而言獲獎是一種激勵和肯定，同時也是更大的責任和使命。讓用戶安全無虞的使用天然氣，也為公司的發展盡一份力量。

未來自我期許再精進設計能力並提攜後輩，傳承工作經驗，避免重蹈覆轍，造成非必要的意外產生，讓施工人員能更安全有效率的處理問題，將工安意外發生的機率降至最低。

另外亦期待瓦斯協會能多開設相關的研討會議，以及新設備引進的教學課程，讓各家天然氣公司能更有向心力，一起為天然氣事業共同努力，也讓用戶使用的更便利、更安心。

