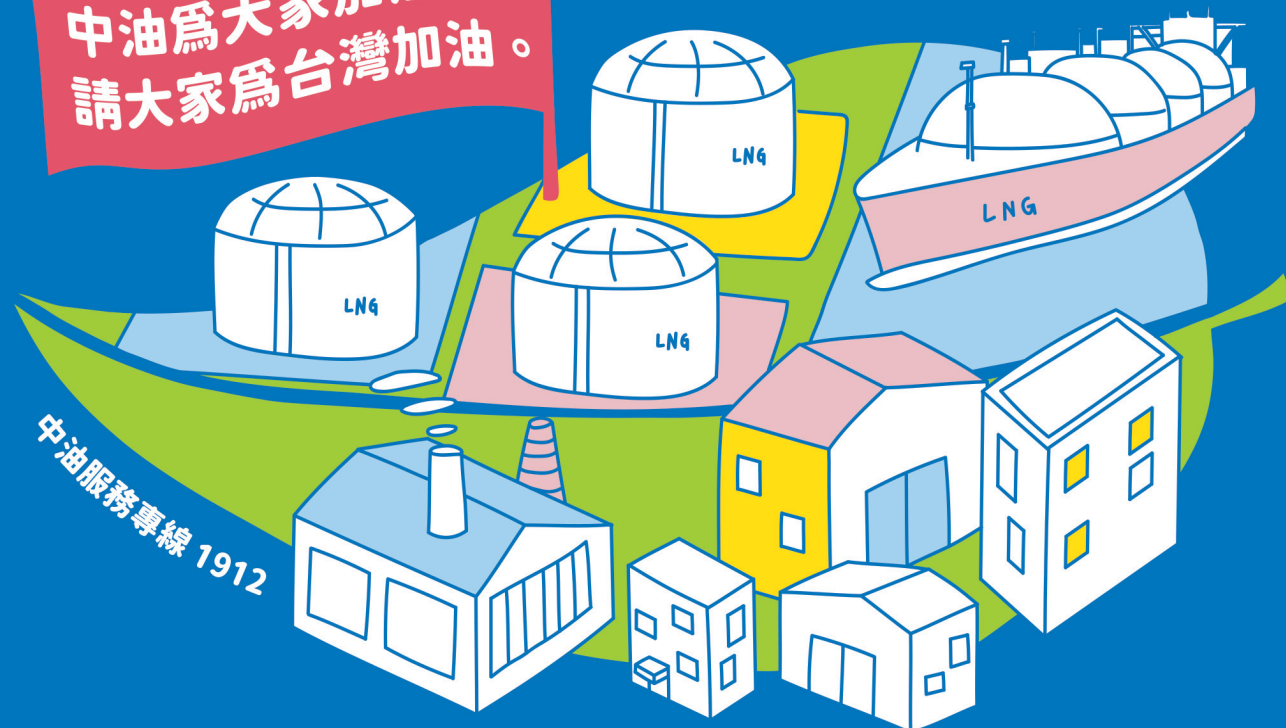


天然氣清潔又安全
一分用心 百分安心

中油為大家加油，
請大家為台灣加油。



中油服務專線 1912



台灣中油股份有限公司
CPC Corporation, Taiwan

廣告

瓦斯季刊

(一四四期)

中華民國一十二年七月出版

瓦斯季刊

76年10月創刊 112年07月出版

Fuel Gas Quarterly

144期

歐盟要求天然氣庫存水平確保歐洲穩定供氣挺過冬季危機

天然氣——為低碳排放燃料能源轉型之替代品

2050年達成全球碳中和目標的關鍵

天然氣之亂——惡性通脹重創經濟致民怨沸騰

核能發電將扮演能源重要角色

瓦斯爐禁令——引發政府業者及民間利益衝突

生活習慣與健康危害如何取捨

瓦斯人的園地



獲獎感言

職涯轉換

面對天然氣管延敷設遭受反對陳抗

與各界溝通排除萬難戮力達成任務

超音波瓦斯表自動復歸功能有效節省人力

欣然氣體燃料事業研究服務社 發行

10年換表

首選

微電腦瓦斯表

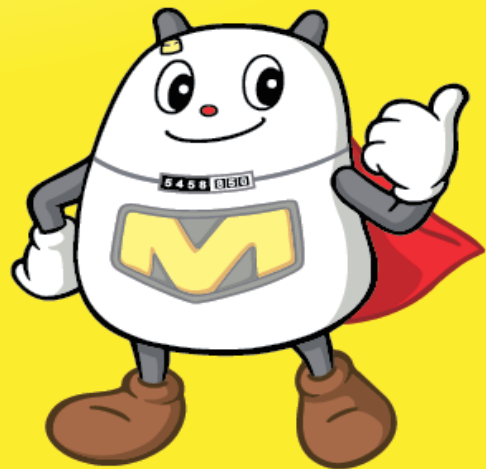
你們家的瓦斯表幾歲了？

一天只多1.3元，加買家人的安全

3

漏氣 超時 地震

大安全遮斷功能



經濟部能源局 關心您 廣告



微電腦瓦斯表

智慧換表金安全

3大安全遮斷功能



漏氣
遮斷



超時
遮斷



地震
遮斷



宣導大使
郭靜怡



經濟部能源局 廣告

瓦斯季刊 144期

Fuel Gas Quarterly
76年10月創刊・112年07月出版



封面說明：

倫敦西敏橋煤氣燈 瓦斯人的園地

資料來源：

漫談瓦斯表的過去、現在和未來發展
瓦斯人的園地之一至之三

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

國際瞭望

- 2 全球天然氣市場動向觀測-歐洲的下一個挑戰與機會

作者／徐瑋成

能源探討

- 18 天然氣在全球能源轉型中之角色近況

資深石化人／謝俊雄

- 25 「天然氣之亂」重創英國經濟-能源政策與產業結構重整

作家／高永謀

- 30 漫談美國瓦斯爐禁令風波

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

能源札記

- 42 面對地方天然氣公司管延敷設遭受陳抗
應處作為-以屏南工業區為例

欣屏天然氣公司總經理／劉靖中

能源知識

- 48 漫談瓦斯表的過去、現在和未來發展

作者／卓群

瓦斯人的園地

- 61 職涯轉換 獲獎感言 工作分享

作者／吳永順 包祥生 周承緯 辛庭瑄

全球天然氣市場動向觀測－ 歐洲的下一個挑戰與機會

作者 徐瑋成

前言

歸因 2022 年末至 2023 年初冬季處於暖冬態勢，且在歐盟委員會（European Commission）的要求下，會員國天然氣庫存水平達到至少 80% 之目標（實際上處於超額儲存狀態），歐洲天然氣市場在俄烏戰事下，堅毅的挺過嚴峻情勢。2023 年冬季（提取季節）結束後，整體的庫存水平仍保持（超過 50%），可見歐盟對會員國的要求，實務上的確有一定的成效。

在安然的度過 2023 年初的冬季，歐洲將面對下一階段的能源挑戰是「如何挺過 2023-2024 年的冬季」，尤其俄烏之間的衝突尚未劃下休止符，且俄羅斯天然氣公司 Gazprom 持續縮減對歐洲市場管線天然氣（Pipeline Natural Gas, PNG）的供應，歐盟除維持天然氣庫存水平的要求（2023 年冬季前須達到 90%）外，還要擴大來自非俄羅斯天然氣的來源。

另外，除上述的措施外，歐盟勢必提出更完善、長遠的策略，因應俄烏戰爭對能源市場的衝擊，及面對亞太（全球第一大天然氣市場）和其他地區的天然氣價格與數量競爭，透過更完善的方案，維持歐洲市場在未來幾年內，仍能穩定供氣，並使價格趨於合理，減輕民生與工業部門的負擔，進一步協助淨零排放（Net Zero）政策的推動與執行。

能源的充足與安全一直以來皆為全球致力達成與奮鬥的目標。然而，國際能源市場局勢的變化多端、地緣政治事件頻發、傳統能源使用與達成淨零排放的權衡與折衷，在各種因素的交互作用下，大幅增加能源安全的困難度及衝擊經濟負擔。本文將針對歐洲天然氣市場面臨的挑戰，及歐盟近期之策略和因應措施，提出相關論點與解析。

一、全球能源安全關鍵仍聚焦於歐洲市場

（一）俄烏戰爭變數仍多，烏克蘭尋求更多援助

1、澤倫斯基積極與各方對談，促進軍事或經濟支持

烏克蘭總統澤倫斯基自 2022 年 12 月赴美拜會總統拜登後，於

2023 年持續走訪海外和進行電話對談（包含各國首長、國際組織高層，如英國首相蘇納克、法國總統馬克宏及德國總理蕭茲、中國大陸領導人習近平及義大利梵蒂岡天主教教宗方濟各等），爭取支持。

2、關鍵核電廠失去聯繫，增加能源供應隱憂

歐美政府一致對外表態支持烏克蘭，甚至中國大陸也對烏克蘭表示友善，惟未減緩與更動俄羅斯攻擊烏克蘭的力道。

2023 年 4 至 5 月接連發生俄羅斯無人機、飛彈空襲、陸面部隊侵入、札波羅熱核電廠失聯和斷電等事件。前述札波羅熱核電廠位於烏克蘭東南部（如圖 1），為歐洲最大的核電廠之一，烏克蘭尤其仰賴，若俄方切斷核電，估計將失去 20% 的電源。之後烏克蘭政府表示札波羅熱核電廠已連回電網系統，恢復對境內供電。由此可見俄羅斯的軍事動向對歐洲能源供應存在威脅與不確定性，甚至加大歐洲市場對俄羅斯的恐懼。

圖 1 烏克蘭境內核能電廠分布位置



資料來源：aljazeera-Mapping Ukraine's Zaporizhzhia nuclear power plant.

3、G7 公開力挺烏克蘭，規劃提供軍事援助

澤倫斯基於 5 月 22 日出席日本舉行的 7 大工業國峰會（G7 峰會）表示持續制定與推動「和平方案」，向外界宣揚理念及表達善意，盼能獲得各方的支持，美國總統在會中也公布 3.75 億美元的軍援新方案，提供烏克蘭必要的軍事設備和援助，持續維持兩國關係及堅決力挺的理念，截至 2023 年獲得高達 370 億美元的財務援助。

G7 領導人紛紛表示將對烏克蘭伸出援手，並站在對抗俄羅斯的同一陣線。此次 G7 峰會的目標為對外宣示各國抗俄援烏的決心，另外，則是對中國大陸作為經濟或貿易夥伴表達不信任態度。G7 峰會後，俄羅斯仍向烏克蘭發動空襲，並將戰術核武運送至白俄羅斯境內。依目前發展情勢，俄羅斯似乎未受歐美國家經濟制裁、G7 的團結抗俄，各國政府的表態施壓的影響，而結束戰事。

俄羅斯天然氣事業受歐美經濟制裁，承受巨大損失，Gazprom 2022 年財報數據顯示，因經濟制裁與對歐洲的天然氣出口量減少，致該年淨利為 1.2 兆盧布（約 154 億美元），比去年同期下降 41%，淨利大幅縮水，連帶股票價格跌落。

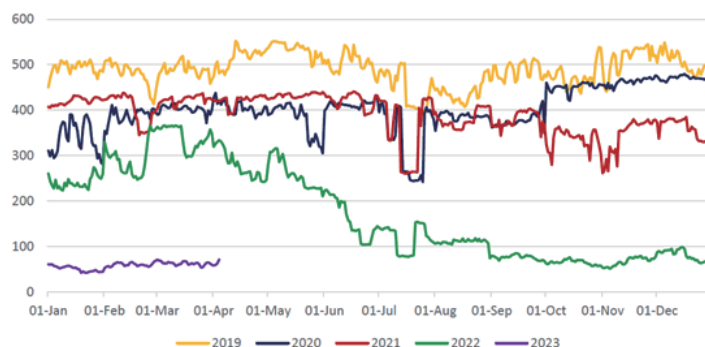
雖然俄羅斯在經濟上承受巨大影響，仍持續推動軍事布局，綜觀種種跡象，未見戰事停止的關鍵點。因此，全球天然氣市場，尤其是歐洲地區，時時刻刻面臨供應與價格之眾多未知數，並為冬季蒙上更多的陰影。

（二）全球與歐洲天然氣市場回顧

1、全球天然氣價格自冬季高峰後，已逐漸趨向平緩

雖然自俄烏戰爭後，俄羅斯不斷發話將中斷對歐洲市場的天然氣供應，但實際上並未完全停止 PNG 供應，仍有少量流入歐洲市場（如圖 2）。因俄羅斯維持一定量的 PNG 供應，間接導致俄烏戰爭引發的價格大幅上漲的因素消散。觀察國際天然氣指標價格（TTF），自 2022 年 4 月後呈現明顯的下降趨勢，7 月前降至 20 美元 /MMBtu 區間。

圖 2 俄羅斯 - 歐洲市場 PNG 流量趨勢

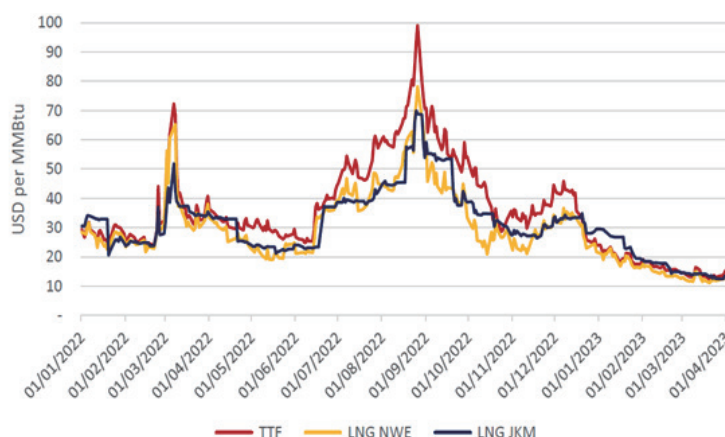


註：單位為百萬立方公尺 / 日（MMcm/d）
資料來源：OIES-Quarterly Gas Review 2023.

2022 年 7 至 9 月期間，歐盟為達成庫存水平目標，大量自美國及其他國家提高液化天然氣 (Liquefied Natural Gas,LNG) 進口量，為冬季的到來進行準備；此外，全球最大的亞太市場，也在為冬季預作準備，且擔心歐盟搶貨對採購造成排擠壓力，亦在此期間積極購買 LNG 船貨，因此歐洲與亞太地區處於數量與價格競爭階段，進一步導致天然氣價格飆升，惟隨著 LNG 繼續湧入歐洲，天然氣價格於 2022 年 9 月至 11 月初明顯下降。

在邁入 2022 年的冬季後，11 至 12 月天然氣價格開始反彈，惟隨著暖冬的到來、歐洲天然氣需求減緩，及亞洲 LNG 需求疲軟（主要為中國大陸進口量減少；中國大陸為全球第一大 LNG 進口國），全球天然氣價格在 2023 年逐漸恢復過往同期水平，2023 年 1 月後呈現明顯下跌趨勢，降至 10 至 20 美元 /MMBtu 區間（如圖 3）。

圖 3 全球天然氣計價指標變化趨勢（2022/1-2023/4）



資料來源：OIES-Quarterly Gas Review 2023.

另一項值得關注的焦點為自 2022 年俄烏戰爭爆發後，TTF 與西北歐 LNG 價格 (LNG NWE) 之間的差距擴大，此舉反映西北歐 LNG 受限於歐洲國家的天然氣接收站卸收產能的不足，一般而言，兩者天然氣計價指標連動性高，但過盛的 LNG 透過卸收產能不足的系統進入市場，造成計價指標發生脫鉤的情形。

然而，西北歐 LNG 相對於 TTF 的脫鉤情形在 2022 年 12 月開始消散，因歐洲地區 LNG 卸收產能不足的瓶頸課題隨著荷蘭和德國新建卸收碼頭的設置獲得改善。德國自 2021 年歐洲能源危機後，

即規劃建置浮式接收站（FSRU），俄烏戰爭加快引入 FSRU 的腳步及決心，2022 年 12 月於威廉港啟用 Esperanza FSRU，產能達 50 億立方公尺 / 年（1 年將近 400 萬公噸的卸收量），同時規劃啟用更多 FSRU，因應 2023 年末至 2024 年初的冬季。

觀察 2022 年天然氣價格數據，LNG 價格與亞太市場天然氣計價指標 Japan Korea Marker (JKM) 處於緊密連動關係。其中，在 2022 年 7 至 9 月 LNG NWE 因大量對外進口 LNG，且爭相採購，使 LNG NWE 處於溢價情勢，吸引出口商將 LNG 船貨銷往歐洲市場，進而帶動 LNG 價格水平。此後，因大量的 LNG 進口與歐洲庫存逐漸填滿，歐洲與亞太 LNG 價格產生交叉現象，邁入 2023 年後歐洲與亞太 LNG 價格變動與水平趨向一致。

2、俄羅斯管線天然氣仍維持低量供應態勢

觀察 2023 年第 1 季的流量資訊，俄羅斯對歐洲市場流量的改變主要來自 2022 年俄烏戰爭後北溪管線（Nord Stream）停止供應，現行俄羅斯 PNG 持續透過烏克蘭與土耳其溪（TurkStream）管線流向東南歐，白俄羅斯流向波蘭與德國的流量則保持停止狀態（如圖 4）。

圖 4 烏克蘭與土耳其溪管線流量變化

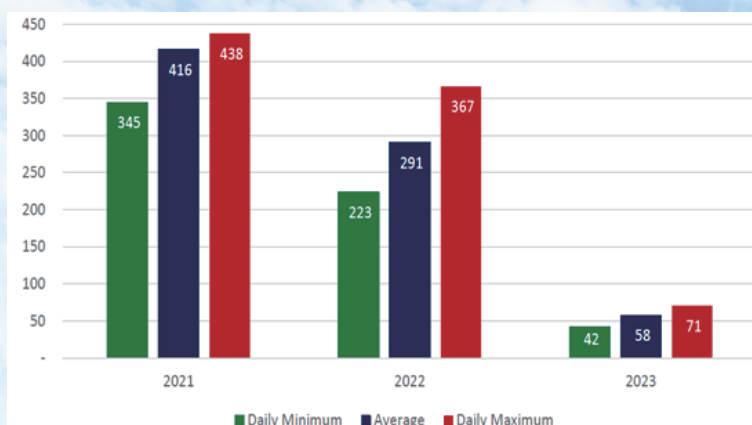


註：單位為百萬立方公尺 / 日（MMcm/d）

資料來源：OIES-Quarterly Gas Review 2023.

依流量數據資訊，2023 年第 1 季俄羅斯輸送到歐洲的管線天然氣日流量遠遠低於前兩年，日流量在 42 至 71MMcm/d 之間，平均為 58MMcm/d，然而與去年同期相比，至少下降 5 倍，日流量在 223 至 367MMcm/d 之間，平均為 289MMcm/d（如圖 5）。

圖 5 俄羅斯供應歐洲 PNG 管輸量比較圖



註：單位為百萬立方公尺 / 日 (MMcm/d)
資料來源：OIES-Quarterly Gas Review 2023.

Gazprom 自俄烏衝突後，面對歐美國家的經濟制裁，仍維持不額外供應非現有長期合約量 (Long Term Contract) 之政策，因此歐洲進口商的合約量為俄羅斯 PNG 流向歐洲的關鍵因素。此外，雖然部分進口商仍與 Gazprom 保有長期合約關係，惟 Gazprom 的另一項政策條件須以盧布支付，某些進口商因拒絕此要求，致未能獲得 PNG 供應（如 PGNiG、Gas Terra、Shell Energy Europe 等歐洲進口商）。

另外，歐洲幾家大型進口商，包含 ENGIE、Eni、VNG、RWE、Uniper 及 Wintershall 持有的合約到期日介於 2030 至 2035 年，上述企業現正對 Gazprom 提起仲裁訴訟。合約供應的恢復須取決於以盧布付款要求的撤銷、北溪的修復，及透過白俄羅斯與波蘭至德國的天然氣運輸恢復等。

為求 PNG 穩定供應，歐洲有不少進口商願意配合 Gazprom 的政策條件簽訂長期合約，以盧布支付天然氣商品，包含 OMV（奧地利）、PPD（克羅地亞）、SPP（斯洛伐克）、MVM（匈牙利）、DEPA、Mytilineos、PPC（希臘）、Makpetrol（北馬其頓）、Srbijagas（塞爾維亞）與 Energoinvest（波斯尼亞與黑塞哥維那）等，因此 Gazprom 將 PNG 供應上述企業。

依進口商年度合約預估 Gazprom 的 PNG 供應量介於 14.7 至 25.8bcm/a，而 2023 年第 1 季的每日流量數據，Gazprom 對歐洲市場供應與進口商年度合約供應量尚且吻合，顯示若遵守規範，原則

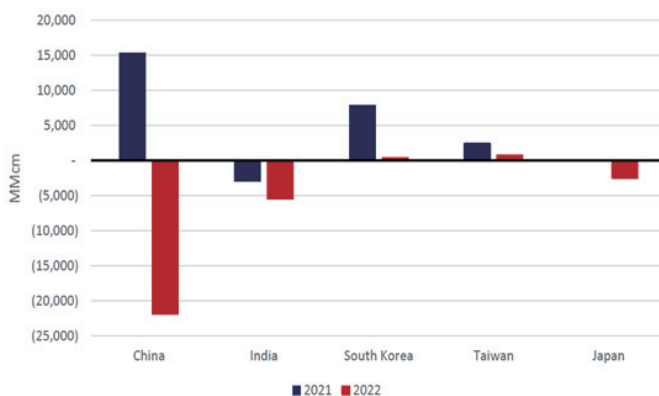
上仍會繼續供應，惟考量 Gazprom 配合俄羅斯政府對外的政策與態度，2023 年應不會改變，俄羅斯對歐洲市場的供應量預期仍維持低量情勢。

3、亞太市場天然氣需求明顯縮減

亞太地區為全球最大的天然氣市場，前三大 LNG 進口國皆為亞洲國家（中國大陸、日本與韓國），亞太地區動向對全球市場有牽一髮而動全身的重要性。中國大陸自躍升為全球第一大 LNG 進口國後，對市場價格與船貨的流向影響力加劇，然而 2022 年中國大陸因 Covid-19 疫情，採取封鎖政策之故，經濟活動的銳減，使民生與產業用氣需求減少。

2022 年亞洲 LNG 需求減少約 250 億立方公尺（約 1,900 萬公噸），減少的動力主要由中國大陸驅動（如圖 6），而日本進口需求則延續過往 5 年的下降趨勢，進口量低於 2011 年福島事件前（主要為因應核能政策的執行）。相對進口大國的需求縮減，反觀新興市場的東南亞國家，受現貨價格推高的影響較小，仍有國家呈現微幅增加趨勢。

圖 6 亞洲主要 LNG 進口國進口量變化（2021-2022）



資料來源：OIES-Quarterly Gas Review 2023.

亞太地區 LNG 需求為全球供需平衡的關鍵因素，而中國大陸被視為亞洲 LNG 需求恢復增長的關鍵，在於已放寬疫情封鎖的政策，經濟活動漸漸復甦，用量將回升至過往水平。雖然中國大陸的總體天然氣需求可能回升，惟該國自產天然氣產量成長穩健，且考量價格因素，預期透過西伯利亞力量 2 號管線（Power of Siberia 2）進口更多俄羅斯 PNG，綜合上述原因，有機率限制中國大陸

LNG 進口的復甦力道。

其他進口大國包含韓國與臺灣保持一定的需求，不會有大幅度的成長，日本需求則有逐漸減少之趨勢。亞洲地區的天然氣需求成長，主要來自南亞與東南亞等國家，歸因於新興市場國家對能源政策的態度（增加天然氣用量，如燃氣發電），且 2022 年因俄烏戰爭推高全球 LNG 價格，導致某些國家考量價格因素減少天然氣用量，改用其他替代能源。但依現行天然氣價格的走向，若 LNG 現貨價格能持續保持合理的價格水平，新興市場將擴大 LNG 船貨的進口。

觀察 2023 年第 1 季進口量數據，中國大陸、印度及日本相較 2022 年同期下降（如圖 7），但幅度已較之前減緩，韓國及臺灣仍朝上升趨勢，新興國家中泰國需求量則呈現提升。雖然主要國家與新興市場呈現此消彼長的態勢，成長力道或多或少被抵銷，惟隨著價格下跌，且中國大陸 2023 年經濟活動回溫，下半年亞洲天然氣需求有望提高，但此舉也將造成歐洲市場的競爭壓力。

圖 7 亞洲主要 LNG 進口國進口量變化（2022Q1-2023Q1）



資料來源：OIES-Quarterly Gas Review 2023.

二、歐盟提出的因應措施與解決方案解析

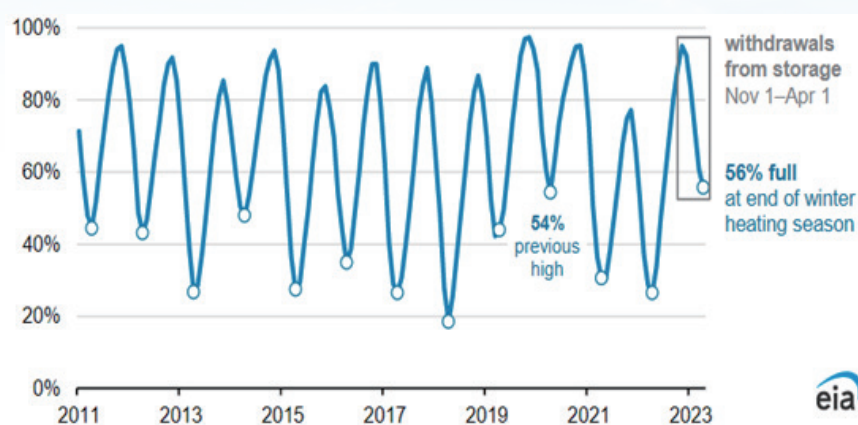
（一）天然氣庫存水平為歐盟因應冬季之關鍵

歐洲天然氣庫存水平為檢視歐盟天然氣安全的關鍵指標，歐盟 2022 年宣布其庫存水平目標，在冬季來臨前至少須達到 80%。依歐洲天然氣庫存水平數據，歐盟會員國 2022 年 11 月 1 日的庫存水平達 95%，遠超過設定目標，各國確實執行天然氣的儲存，致能安然度過 2022-2023 年冬季。

除庫存水平過高外，恰逢歐洲處於暖冬狀態，大幅降低民生

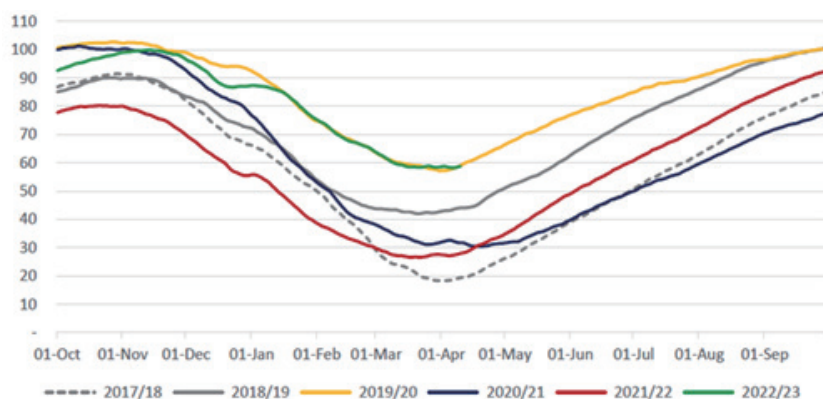
部門製熱需求，亦為歐洲市場挺過冬季的關鍵要素之一。因歐洲各國積極儲存天然氣，2023 年冬季結束不但維持還超出預設的庫存目標。依能源機構 Gas Infrastructure Europe 的綜合天然氣儲存庫存 (AGSI+) 數據，截至 2023 年 4 月 1 日庫存水平達 56%（如圖 8），為近 10 年來的新高，上次在冬季結束後仍有高庫存表現為 2020 年（約 54%）。觀察近 5 年數據，2023 年的庫存狀況較 2022 年改善（冬季結束存量近 300 億立方公尺），趨近於 2020 年的水平（冬季結束存量近 600 億立方公尺），庫存處於穩健的狀況（如圖 9）。

圖 8 歐洲天然氣庫存水位變化（2011-2023/4）



資料來源：EIA- Europe ended winter 2022 - 23 with the most natural gas in storage on record.

圖 9 歐洲 1-12 月庫存水位變化（2017-2023）

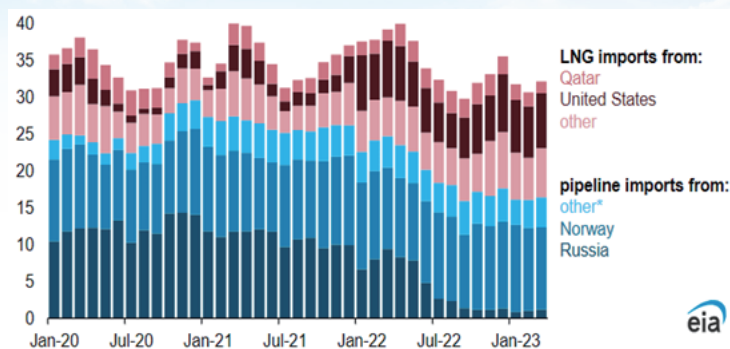


註：單位為 10 億立方公尺 (Bcm)

資料來源：EIA- Europe ended winter 2022 - 23 with the most natural gas in storage on record.

為努力達成天然氣儲存目標，及因應俄羅斯 2022 年開始降低對歐洲市場的管輸量，歐盟和英國擴大非俄羅斯天然氣之進口，PNG 來源方面，加大第二大供應國挪威的供應量（如圖 10）；LNG 來源方面，擴大對美國的進口量，美國因此增加歐洲市場的銷售與營利，自 2021 年已連續 2 年成為歐洲最大的 LNG 進口來源，2022 年占歐洲（包含歐盟與英國）LNG 總進口量約 44%。歐洲 2022 年度 LNG 進口量保持高水位，進口量平均為 14.9Bcf/d，比 2021 年增加 65%（5.8Bcf/d）。

圖 10 歐洲天然氣進口數量與來源（2020/1-2023/3）



資料來源：EIA- Europe ended winter 2022 - 23 with the most natural gas in storage on record.

歐洲能順利進口 LNG，有賴於亞太地區於 2022 年總體 LNG 需求大幅下降，減弱歐洲與亞太市場在冬季的數量競爭。同時，因歐洲天然氣價格居高不下，對 LNG 出口商較具誘因，故多數 LNG 船貨從亞太地區轉移至歐洲市場，此舉成為達成天然氣庫存水平的助力之一。歐盟 2023 年的政策目標為天然氣庫存水平在冬季前須達到 90%，而 2022 年不僅達成目標，甚至超越預期達到 95%。然而，95% 的庫存水平目標為綜合多方的條件才促成，包含穩定的 PNG 與 LNG 來源、溫暖的冬季、第一大市場亞太地區 LNG 需求的減弱。若 2023 年冬季上述因子再次重現，或許能大幅減輕歐洲國家的負擔，惟只要欠缺某一項因子，恐將增加歐洲地區冬季用氣壓力及能源安全隱憂。

（二）歐盟大力推動天然氣接收站之興建

因應 PNG 來源的減少，歐盟僅能擴大 LNG 進口數量，使進口量自俄烏戰爭後持續上升，總進口量占比逐步提高（約介於 40 至 50%）。進口大量的 LNG 勢必須搭配足夠的卸收設備，故增

加天然氣接收站數量，提高卸收產能為歐盟積極達成之目標。

歐盟委員會正致力提高 LNG 進口能力，並準備 2023 年及未來幾年進口更多的 LNG 貨物。該會於 2023 年 3 月表示歐盟境內的天然氣接收站將增加至 35 座，高於現行 27 座，而 LNG 進口卸收能力從 178bcm（約 1.35 億公噸）增加至 227bcm（約 1.8 億公噸），透過擴大與新增天然氣基礎設施，為之後的冬季及俄烏情勢作好充足的準備。

歐洲的最大經濟體，同時也是俄烏戰事最大的能源受害者德國，規劃 2030 年達成 7,070 萬噸 / 年 LNG 進口能力之目標，可能成為歐洲最大的 LNG 進口國，且在全球市場中，進口能力僅次中國大陸、日本及韓國。為達成進口目標，規劃興建 10 座 FSRU，其中部分屬於過渡性質，預計 10 年內陸上天然氣接收站建成後取代 FSRU，成為主要的進口設施。

德國目前總共有 3 座 FSRU，包含 2022 年底引進的 Esperanza FSRU，及 2023 年初引進的 Neptune FSRU 與 Hoegh Gannet FSRU，3 座名目進口產能總計約 1,200 萬公噸（如圖 11）。10 座天然氣接收站，規劃設置於 Wilhelmshaven 2 座、Brunsbuttel 1 座，Stade 1 座，其他 6 座在 Lubmin。政府甚至成立國營企業，專門管理境內 FSRU，預計 2023 年底至少再啟用 3 座接收站。從上述作為看出承受俄羅斯中斷供應天然氣的壓力極大，透過靈活性較高的 FSRU 可以應急目前的狀況，惟此舉也顯示歐盟致力擺脫俄烏局勢所造成的困境，及從 PNG 轉向 LNG 的決心。

圖 11 德國 FSRU 位置分布圖



資料來源：Energy Intelligence- Three German LNG Terminals Expected to Start by January.

三、歐洲市場面臨的挑戰與隱憂

(一) 亞太地區天然氣需求復甦恐成為阻力

2023 年末至 2024 年初的冬季將成為歐盟 2023 年度最重要的挑戰，全球天然氣價格因季節性要素開始逐漸攀升。除天然氣價格外，高緯度的歐洲與東北亞國家皆有冬季供熱需求的共同點，故亞太地區與歐洲地區的數量競爭從冬季來臨前就已燃起煙硝味。

回顧 2022 年歐洲的天然氣情勢，總結幾個主要的原因，使歐洲安然度過冬季，敘述如后：

- 1、歐盟成功達成天然氣庫存水平目標 (80%)。
- 2、2022 至 2023 年冬季氣溫暖和，減緩高峰需求壓力。
- 3、亞太地區 LNG 需求顯著下降，降低歐亞市場競爭。
- 4、歐盟擴大非俄羅斯的氣源，尤其美國 LNG 貢獻良多。
- 5、歐洲國家增加天然氣基礎設施，強化 LNG 進口能力。

綜觀上述原因，天然氣庫存水平目標的達成為最關鍵，且歐洲暖冬與亞太地區 LNG 進口需求減少，同時減緩歐洲市場面臨的價格與數量競爭的壓力。然而，氣候非人為可控的因素，溫暖的冬季是否能於 2023 年底重現，機率難以衡量。

2022 年亞太地區 LNG 需求的減少，其縮減動能主要來自中國大陸因 Covid-19 疫情封鎖政策所致，目前中國大陸政府已放寬嚴格的「動態清零」政策，預期政策鬆綁後，經濟與工業活動將逐漸回溫，進一步帶動天然氣需求的增長。

亞洲國家 LNG 進口大國中，除日本因能源政策的執行，進口需求有緩慢衰退的情況，但韓國與臺灣仍呈現一定幅度的成長；新興市場中的南亞與東南亞國家，亦為另一個強勁的天然氣需求成長動能。綜觀全球前五大 LNG 進口國，僅日本進口量下降，其他 4 國皆為成長趨勢（中國大陸、韓國、印度與臺灣），此情勢發展不利歐盟達成天然氣庫存目標，除維持數量外，價格的競爭亦影響市場的穩定。

考量全球市場現正處於注入季節（4 至 10 月），歐洲國家已積極準備存入更多的天然氣至儲氣設施，以迎冬季到來及達成歐盟委員會設定之目標。亞洲國家因應需求成長動能，必須於冬季前盡可能提升 LNG 存量，提早進行船貨的購置，故在 9 至 10 月是搶貨最激烈的時間，而亞太地區需求的回溫，可能提高數量競爭的強度，

推高天然氣現貨價格，重現 2022 年高氣價情勢。

(二) 歐盟天然氣採購策略恐影響價格與供應之穩定

1、淨零排放目標之達成，影響歐洲買家簽訂長約之意願

歐洲 2022 年約進口 1.21 億公噸 LNG，與去年同期相比增加 60%。從仰賴穩定且相對低價的俄羅斯 PNG，轉向進口價格高昂的 LNG，在競價下為滿足需求，僅能支付高額價格購買現貨，2022 年歐洲買家占 LNG 現貨市場總採購量約 33%。因能源進口策略的改變，導致歐盟付出極高的成本。

東北亞國家等非歐洲進口商則選擇另種方式，即優先考慮簽訂長期合約。雖然近年因能源危機不斷攀升，導致 LNG 長約的簽訂比以往成本更高（計價指標升高，且賣方可重新檢視合約條件），但相比隨市場供需變化幅度過大的現貨價格，長約的簽訂有助於抑制價格飆升與穩固買家的進口成本。因此，過高的天然氣價格將為歐洲關注的焦點之一。

歐盟除能源危機議題外，淨零排放目標的達成，亦為影響對天然氣採購的另一項因子。歐盟規劃 2030 年減少 55% 的碳排放量，更長遠的目標為 2050 年達成淨零排放，實現碳中和願景即表明將盡其所能增加零碳能源（核能與再生能源）及致力減少傳統能源的使用（煤炭與天然氣）。在零碳能源中，「氫能」具備零碳且能源效率佳的特性，被視為碳中和議題下的最佳主角。隨著再生能源使用擴大，綠氫生成技術與設備逐漸成熟下，某些市場專家認為 2030 年「綠氫」可能取代 LNG。預期氫能將逐漸崛起，歐盟在兼顧供應穩定，且優先考量氣候變遷與碳中和課題下，慢慢降低天然氣在能源供應及發電的重要性，連帶影響歐洲進口商簽訂長期合約的意願。

2、國際能源大廠傾向簽訂年限相對較短的合約

觀察產業的佈局，國際能源大廠殼牌（Shell）與德國萊茵集團（RWE）等歐洲能源巨頭在與 LNG 供應商卡達能源公司（QatarEnergy）的長期合約談判中陷入僵局。卡達能源公司期望能達成為期 25 年的長期合約協議，惟萊茵集團僅願意簽訂 10 至 15 年之合約，以配合該國的碳中和目標（至 2043 年完全淘汰天然氣）。除德國外，亦有其他歐洲進口商不願簽訂合約年限過長的協議。

基於商業利益考量，卡達能源公司提出簽訂 25 年的要求實屬合乎常理，但一直以來歐盟在爆發俄烏戰爭之前，亟欲擺脫對俄羅斯天然氣之依賴，且歐洲國家現正積極推動天然氣基礎設施之興建，擴大 LNG 進口產能，故簽訂長約不失為最佳選項。

基本上，或許歐盟的根本問題在於低估天然氣作為過渡燃料的重要性。雖然淨零排放目標的達成至關重要，但決策者眼光過於聚焦在長遠的目標，未意識短期內天然氣無論在數量或價格上仍具有一定的風險，尤其俄烏局勢仍混沌，戰事何時結束尚未明朗。另外，前述所提亞洲 LNG 需求的復甦可能導致全球 LNG 市場邁向緊張情勢，極可能在冬季（或甚至冬季前）爆發新的價格衝擊事件。

3、歐盟推動天然氣聯合採購策略

為因應俄烏戰爭與防範 2022 年高氣價再次發生，歐盟在天然氣採購上仍有對應的措施，2023 年 4 月公布一項新措施，啟用天然氣聯合採購策略，歐洲進口商透過歐盟採購機制 (AggregateEU)，向市場大量採購以進行議價，達成降低價格，滿足進口商的購氣需求，截至 2023 年 4 月總計已有 76 家企業登記註冊，首批採購協議於 2023 年夏季達成。

天然氣聯合採購策略為歐盟自俄烏戰爭後即開始研擬，於 2022 年 10 月歐盟理事會正式決議通過。此措施推動之目的為歐洲的冬季進行事前準備，同時保持價與量的穩定，並為達成庫存水平目標鋪路，歐盟規定會員國須達成國家總體需求至少 15% 的儲備量目標，即總計的採購量至少須達到每年 135 億立方公尺（約 1,000 萬公噸）。

歐洲進口商不願簽訂更長的合約年限，或許與天然氣聯合採購策略有一定程度的關聯，若「AggregateEU」機制仍順利執行且發揮其功效，或許可降低高氣價的發生機率，也可保障會員國的用氣需求，至於是否能發揮效益，則尚需時間證明，但歐盟若欲擺脫俄羅斯，反轉過往的天然氣生態，或許長約的簽訂仍有其必要性。

歐洲地區面臨的天然氣供應短缺與冬季引發的用氣需求，皆會加劇市場壓力，歐盟為因應此情勢已要求各會員國積極儲備天然氣庫存（90% 目標），2023 年 11 月的存量將成為歐盟檢視會員國成果的關鍵查核點，及聯合採購的成效。

綜合國際政局與全球天然氣市場狀況，歐洲在 2023 年天然氣供應是否可達成設定目標，與維持天然氣穩定供應的主要影響因素盤點如下：

- 一、正面因子：歐洲冬季氣溫趨暖（不確定性過高）、歐洲天然氣進口設施陸續於冬季前啟用、美國 LNG 供應情勢穩健、天然氣聯合採購發揮效用等。
- 二、負面因子：俄羅斯進一步減少供氣、中國大陸 LNG 進口量復甦力道強勁、俄烏戰爭情勢升溫等。

若上述正面因子能發揮，有助於減少天然氣供應不足之課題，但較大部分仍取決於負面因子的影響與衝擊程度。

中國大陸為影響歐洲天然氣缺口的關鍵負面因子，亦為後續須適時留意與觀察的重點對象，該國 LNG 進口量復甦之力道恐左右歐洲天然氣市場的數量競爭與價格變化，若未如外界所預期的強勁，或許可緩解歐洲 2023 年冬季用氣的緊張情勢。

中國大陸 2023 年度如自產氣產量充足，或擴大對俄羅斯 PNG 之進口量，預期 LNG 進口量的回溫幅度將較為緩和，反之不如預期，將形成歐洲與亞洲每到冬季面臨的數量競爭，在俄羅斯供氣穩定性狀況不明的情況下，歐洲為確保需求與儲備，也會出現高價搶購市場現貨，可能又引發一波新的天然氣價格攀升情勢，因數量競爭進一步抬升全球天然氣價格，在此惡性競爭下，高昂的氣價與短缺的供氣對民生經濟與產業造成嚴重衝擊。

綜觀而言，歐洲未來是否深陷能源危機情勢，市場後續的觀察重點聚焦在以下幾點：

- 一、中國大陸 2023 年 LNG 進口復甦力道。
- 二、歐盟天然氣庫存水平動態。
- 三、天然氣聯合採購的執行狀況

結語

自 2021 年以來，歐洲的能源情勢不僅影響該地區，亦擴散至全球市場，故在全球能源安全扮演舉足輕重的角色，歐洲地區能否安然度過 2023 年冬季，為全球能源安全關注重點。能源警鐘的響起，或許可喚起全球市場與各國政府的危機意識，能源對於國家發展與安定至關重要，而天然氣產業多數為公用事業，動向極高程度取決於政策推動的方向，故決策者的思維牽一髮而動全身，影響全球天然氣價格的變動及市場供需平衡。

參考文獻

- 一、Argus (2023.2), German LNG import capacity to hit 70.7mn t/yr by 2030.
- 二、BMWK (2022.12), First German LNG terminal inaugurated in Wilhelmshaven.
- 三、CNN (2023.5), Evacuations from Zaporizhzhia renew concerns for nuclear power plant safety.
- 四、EIA (2023.5), Europe ended winter 2022 - 23 with the most natural gas in storage on record.
- 五、EU (2023.4), EU Energy Platform: Commission launches first call for companies to jointly buy gas.
- 六、ING (2023.4), Commodities: Europe ends winter with comfortable gas storage.
- 七、LNG Prime (2023.1), German FSRU terminal operator starts operations.
- 八、McKinsey&Company (2023.4), A balancing act: Securing European gas and power markets.
- 九、OIES (2023.4), European gas demand fundamentals 2022 & Q1 2023 review and short-term outlook.
- 十、OIES (2023.4), Quarterly Gas Review 2023.
- 十一、Oilprice (2023.5), Europe' s Mad Dash To Build LNG Terminals Could End In Tears.
- 十二、Oilprice (2023.5), Gazprom' s Profits Plunge 40% As Sanctions Bite.
- 十三、Oilprice (2023.4), McKinsey: Europe Must Cut Gas Demand To Offset Supply Shortage.
- 十四、Oilprice (2023.4), Europe' s Shortsighted LNG Strategy Explained.

天然氣在全球能源轉型中之角色近況

資深石化人 謝俊雄

前言

本世紀以來，專家學者經過多年研究，大致認為欲解決日益嚴重的地球溫暖化所導致問題，能源轉型是最佳方案，而且事不宜遲。簡言之，能源轉型是將原本大量耗用之化石能源，轉為生質能源及可再生能源，預期效應降低二氧化碳與其他溫室氣體之排放，有朝一日達到碳中和 (Carbon neutrality) 目標，各種能源消耗由不排放二氧化碳之生質能源及可再生能源取代，能源轉型期間天然氣仍不可或缺及持續佔重要份量。主要碳排放國家協議，於 2050 年達到碳中和之境界，即 CO₂ 淨 - 零排放；去碳化、脫碳化 (Decarbonisation) 之聲亦甚囂塵上，英國、印度、美國等國家分別召開大型國際會議，邀約專家及相關人士與會，共同研討及發表論文，解決碳排相關問題。

一、天然氣為目前碳排較低之能源

化石能源主要有煤炭、石油、天然氣等，近一個世紀以來開發由微量至大規模，對全球產業發展、生活水準及方便性之提升，貢獻卓著。事實上，化石能源總產量已是天文數字，導致的地球暖化，伴隨而來之極端氣候變化，益趨驚人，如低溫及酷暑、颱風及海嘯、龍捲風及水災等，發生頻率增加。地球南北極地冰層之融化，專家預言將造成不可測之未來，又如某些地區夏季氣溫高過 50℃，引起大片森林火災，損失極為慘重，不容小覷。

目前發展電動車之目的，希冀降低或無碳排放，期使全球碳中和之情境早日到來，然而高溫、寒冷氣候等因素可能有影響電動車及自駕車正常操作之虞，在技術方面也仍存掛慮，尚有很大研發進步空間。

天然氣雖被認為是清潔能源，但終究亦屬化石能源族類，與其他能源不同之處是 CO₂ 排放率相對較低。另一方面，如欲仰賴天然氣扮演碳中和最終要角，專家認為需擴大供應數量，增加來源。

隨著經濟發展與生活水準提高，天然氣供需有增無減，尤以供應來源之增加備受關注，已由陸上產氣、原油生產所副產之伴生氣 (Associated

gas) 到海上產氣，產能與供應量不斷提升。近期緣於美國頁岩氣開發，為油氣產業注入歷史性創舉，掀起其他國家群起效尤，除產出頁岩油外，伴隨大量非常規天然氣之氣體產品，加入既有天然氣市場之競爭，一度供過於求，導致新創廠家倒閉，後來才逐漸步入供需平衡之境。

時至今日，天然氣與石油之開發仍是重要產業，與以往不同的是天然氣鑽探與生產，觸角往更艱難之陸地、深海區伸展，如過去在淺海大陸棚鑽探，逐漸往深海邁進，隨著深海開採天然氣技術已日益精進，有些天然氣存於水深 2000 公尺以上之海中陸地，只需再鑽井數千公尺就到達儲藏區，如南美巴西南方海域約十幾年前發現油氣礦之蘊藏，蔚為當時熱門新聞，此一海上天然氣田藉由先進技術向海面下陸地鑽探數千公尺後，取得天然氣產品。

天然氣除至關未來尋求碳中和成敗外，由烏俄戰爭之啟示，也將是國安問題。爾來臺海局勢，使國人對天然氣穩定供應甚為關心，媒體報導目前國內天然氣安全存量約兩星期。我國天然氣供應仰賴進口 LNG，輸入接收站設置困難重重，隨著煉油、石化、鋼鐵等能源密集產業為降低碳排放，勢必改用天然氣，是故未來為滿足軍需民用，LNG 之充分進口供應，或將成為重中之重之課題，因此對全球 LNG 技術、市場等各方面的發展，均需確實瞭解及掌握。

二、世界 LNG 市場發展近況

依據英國石油技術季刊之報導，全球 LNG 市場規模可望於 2027 年前達到 661.3 億美元，相當於 2022 至 2027 年平均年成長率 6.92%，最大的產能來自巨型 LNG 廠，而一些利基市場則由較小型的 LNG 液化廠供貨。總之隨著此項工業漸趨成熟及新技術與應用之發展，估計 2023 年後仍會持續成長擴充，在此時期，卡達、澳洲及美國將是世界主要天然氣生產國。

業界預測 2040 年前，LNG 之需求量將到達 6.5 億公噸，甚至超過 7.0 億公噸，需投資添置更多液化設備，以免 2020 年代後期發生的供需缺口，投入進步技術，減低天然氣與 LNG 供應鏈中產生之 CO₂ 排放量，鞏固能源轉型中扮演之角色，並帶來永續性能源供應安全。

由天然氣製造 LNG 不僅成本低，CO₂ 排放量亦小，已迅速在能源轉型選擇組合中搶占甚高的比例。國際海事組織 (IMO) 2020 年有關海運輪船用油之含硫量需降低至 0.5% 之規定，改用 LNG 的選項引發全球關注，有些國家已在港口設立 LNG 加給站，直接供貨櫃輪及其他輪船使用，取

代重油或柴油。

開採電動車用貴金屬的島嶼、礦區率多建設小型 LNG 供應廠，再與電網設備連結即可運作，相比大型 LNG 廠不複雜，所需時間短、方便。大型 LNG 供應商對價格敏感性較高，必須考慮影響極大的長期合約及其他收費條件。

三、LNG 生產技術最新動向

專家指出現今全球天然氣之市場規模，單是工業用，將於 2028 年超過 1470 億美元。

LNG 生產大都因地制宜，基本上有大小不同之製程，隨著用途擴大及品質要求之提升，2035 年生產加工的複雜度將進一步增高，以因應市場擴大、不同區域，除工廠規模差異外，新的液化技術也持續在開發中。

LNG 生產技術之變化源於幾項因素，首先是天然氣市場需求之成長，為滿足更多、不同數量之供需，液化工廠設計簡易、複雜度也有區別，如日本每年進口 7000 萬公噸以上之 LNG(我國約 2000 萬公噸)，必須尋求大規模的液化天然氣廠配合，加上大型海上運輸船與進出口碼頭等設施。近年來大型 LNG 廠採用高效率壓縮機自動化操作，帶動產能，由此可見生產技術的不斷進步確實至關重要(圖 1 為一座世界級的 LNG 廠之樣貌)。

其次視天然氣蘊藏地及產量，設立大型或加工規模較小之工廠，及分別研發適合的 LNG 生產技術，專家預測未來 50 年間，各種衍生自天然氣之能源產品陸續推出，供應能源轉型之需，而達到節能減碳之要求，且與其他可再生能源(如生質能、氫能、太陽能、風能等)在市場上並駕齊驅。

隨著天然氣需求量之增加，其加工設備要求更趨複雜，因全球 CO₂ 淨 - 零排放政策正加快推動，為最重要燃料的天然氣必須做到一定的品質標準。另受到不少天然氣生產井逐漸耗盡枯竭的影響，廠家必須轉而尋求新的、更具挑戰性的生產氣井。前面提過在偏遠、蠻荒的陸地或深海鑽探新的天然氣井、頁岩氣井，產出的粗天然氣品質較差及組成分複雜，在製成 LNG 前需經繁複的處理程序，使用更先進的加工技術萃取及精煉(如粗天然氣中所含 CO₂ 之捕捉及分離，要用很精密之技術)。

圖 1 採用高效率壓縮機生產線之世界級 LNG 廠



資料來源：Burokhardt Compressor AG

在整個天然氣產業中，屬資本最密集部分是由天然氣製成 LNG 的液化製程。由於天然氣在全球市場持續擴增，需轉化為 LNG，以利運輸與儲存，就天然氣業者而言，提高既有工廠液化生產線之產能，增進效率、降低成本及增加獲利之作法，被列為高度優先。

新近有所謂依模型 (Model) 之解決方案，就如同許多市場、經濟相關之研究常採用建立模型之途徑。如先進製程控制系統，係採用數學計算模式應用於 LNG 廠，優化製程操作，增加 LNG 之產量，此項技術可改善對生產中的關鍵變數 (包括溫度、壓力和流量) 之控制，提高液化生產線之效率及產能，有助於減少製程中不可預期的變數，特別是針對 LNG 生產中之主要設備 (如透平壓縮機)，不僅可增進產品品質，且減少故障停車。

另有其他新開發的生產控制系統，適用於不同的製程與操作情況，對生產操作進行預測性、即時性之控制，如許多大型廠採用機器人 (AI) 作業，各種進步技術是助於提升天然氣液化生產線產能的強有力工具。

以上顯示在未來數十年能源轉型期，石油、煤炭及其他能源之需求量與消耗量都會下降，而 LNG 需求量預計將維持強勁，直至被可再生能源取代為止。

自天然氣生產源頭取得之天然氣，經過處理廠做出不同用途所需之品質規範 (包括 LNG 廠進料)，所得到的 LNG 自陸地或海上輸往全球廣大的市場銷售。LNG 除到目的地再氣化而進入管線系統外，可直接使用，包括做為車輛、飛機、輪船等之低碳排放燃料，這方面之應用亦正在持續發展中。

四、不同國家與地域之策略差異

前面提及對我國而言天然氣既是能源問題，也是國安問題。在達到 CO₂ 淨 - 零排放目標年限到來前，將面臨能源轉型議題，可預見的是化石能源逐漸被生質能源及可再生能源取代。新的能源組合或能源配比

(Energy mix) 尚有待確定，目前可再生能源中之太陽能已推廣數年，達到一定占比，而利用西南海岸之強勁風場發展風能，正引進技術。至於核能，則隨著核四建設之終結及既有核電廠機組逐漸關閉，朝向廢核之方向前進。

天然氣之應用則是擴大可期，計畫中的第四進口接收站將由臺電建置，顯示未來發電廠燃料改由天然氣取代重油和煤炭，已箭在弦上，除非如美國、中東等大量產氣國家，未來能源占比相對單純，天然氣加上生質能源及可再生能源，足可因應能源轉型，達成碳排放之降低。

日本的情況與我國類似，所需能源 99% 仰賴進口，在能源轉型中的因應政策及思維，或可借鏡，相同之處是未來 LNG 均將扮演要角，以下探討其相關措施及作法供各界參用。

日本 LNG 之進口有悠久的歷史，首批到貨可溯至 1969 年，其後成為全球 LNG 最大進口國。迄至 2021 年進口量高達 7400 萬公噸，其中 57% 用於發電，另外民生用、商業用、工業用各占約 7%，直到 2022 年進口量被中國超越。

日本之能源轉型策略除引入可再生能源外，仍保留核能選項。雖然福島核電廠意外受到震驚性災害，經恢復後計畫在其他地點增加核電設施，未來幾年的能源配比中，核能仍存在，進口的 LNG 多數用於發電，而可再生能源在 2020 年已提高至 13%。

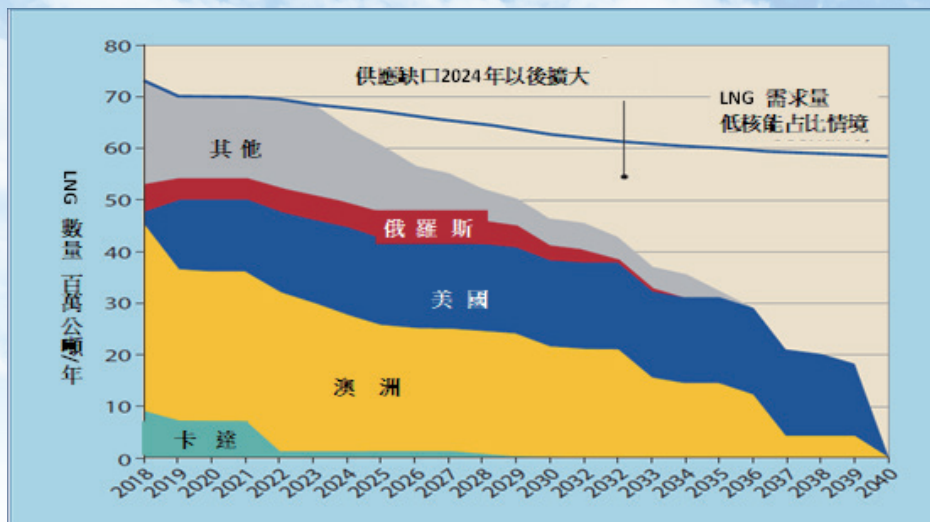
日本與歐美確定於 2050 年達到溫室氣體淨 - 零排放，較 2019 年水準相當要降低 46%，欲達此目標需先期減量，2030 年前石油、天然氣、煤炭等發電能源占比要從 76% 降至 41%，顯見天然氣在維持長期發電能源組合中的重要角色，雖數量在緩慢下降，但不會完全消失。

然而日本的政策期程設定存在相當大之挑戰，因尚有長期間需依賴核能，始可望於 2050 年前達成 CO₂ 淨 - 零排放之目標。而核能發電復甦對 2030 年天然氣與 LNG 之市場需求造成很大衝擊。換言之，核能與可再生能源占比高低，對天然氣需求量差異可高達 50% 之多，亦即天然氣需求量存在不確定性，而進口籌劃需有彈性。

(一) 彈性 LNG 採購合約

前述日本天然氣需求量會緩慢下降，若以核能占比低之情境估算，LNG 進口合約將於 2025 年出現缺口 (如圖 2)，因合約已過期。另外，原自俄羅斯進口每年 500 萬公噸合約，極大可能不會再續約，需尋求供應合約。

圖 2 日本 LNG 供應合約來源與今後增減



資料來源：Jeromy Goh, Baker and O'Brien Inc.

原則上 LNG 進口合約都訂有限制條款，內容包含最低量卸貨或付款 (Take or pay，貨到無法卸收，仍要付款)、限制交貨目的地、再轉售及交貨期長達 15-20 天等。鑒於日本對可再生能源之使用率與核能政策具有相當大的不確定性，廠家必須尋求更有彈性的 LNG 合約，特別是放寬交貨目的地與再轉售彈性，使買家能夠優化投資組合，將過剩的貨轉售 (圖 2 原與卡達所簽合約至 2022 年已不再續約)。

(二) 美國可望採彈性合約供應 LNG

美國天然氣之新開發陸續進行中，包括非傳統之頁岩氣日增，預劃 2025 年後 LNG 將以彈性合約 (Flexible contracts) 交易，數量、轉售和交貨目的地不設限制條款，外銷產能約 2800 萬公噸 / 年正在建設中，於 2026 年完工投產。

日本是美國 LNG 重要買主之一，自 2016 年來已採購 2590 萬公噸，僅次南韓。日本經濟大臣光一萩生田 (Koichi Hagiuda) 2022 年 5 月訪美時指出，日本業者對採購美國 LNG 很有興趣。另外，首相岸田表示未來需要尋求自政治風險低、穩定的國家進口 LNG。業者也積極尋求美國長期 LNG 供應，2022 年 12 月 Inpex 公司宣布已簽訂為期 20 年之合約，每年供應 100 萬公噸 LNG，出貨來源地 Venture Global 公司的 Calcasieu Pass 計畫廠址。2023 年 1 月伊藤忠公司與 NextDecade 公司簽訂為期 15 年 (每年 100 萬公噸) 之 LNG 合約，出貨地在德州 Brownsville 的 Rio Grande LNG 出口基地。

結語

天然氣未來將持續擔任供應全球都市瓦斯與發電燃料之主導性任務，隨著產量之不斷增加，被轉製成 LNG、氫氣及合成氨等，作為低 CO₂ 排放之燃料，同時讓天然氣業者創造更多營業產品項目，獲取現金收入，專家形容是將更多衍生品「貨幣化」。基本上，天然氣用作因應地球溫暖化之解決方案，在能源轉型期取代化石燃料，冀求早日達成全球碳中和之目標。

不僅如此，上述三種產品除供應燃料市場外，尚有其他潛在商業化應用，如石油化學原料（乙烷製乙烯）、農業應用（肥料）、氫氣供作車輛燃料、用於煉油廠供生產含硫量近乎零之各類煉製產品。

本文以日本為例說明能源轉型之際，其因應計畫與策略，俾思考可供借鏡之處，在可預見未來，LNG 負有長期發電燃料之關鍵任務，亞洲和其他地域要選擇能源轉型配合之低碳燃料來源，需要更具彈性之供應模式。由於選用核能和可再生能源之量與比率的關係，導致日本 LNG 需求量範圍甚廣。因傳統限制性之長期 LNG 供應合約不可能具有充分彈性，須更加仰賴來自美國的長期 LNG 供應合約，除非其他供應來源能放寬交貨目的地及再轉賣之限制，俾為能源轉型提供解方。

參考文獻

- 一、2023 Gas,PTQ Supplement,PTQ Quarterly.
- 二、Decarbonisation Technology，Feb.2023,Honeywell International,Inc.

「天然氣之亂」重創英國經濟－ 能源政策與產業結構重整

作家 高永謀

前言

2022 年 2 月烏克蘭、俄羅斯兩國戰事擴大，俄羅斯為反制歐美國家的經濟制裁，以減產天然氣要脅，試圖迫使鬆綁經濟管制；高度倚賴俄羅斯天然氣的歐洲國家，則紛紛致力降低能源依賴。

由於烏俄迄今未見休戰曙光，國際天然氣價格持續居高不下，帶動物價飛漲，通膨噩夢席捲全球。與歐陸國家相較，孤懸海外的英國，距離俄羅斯較遠，對其能源依賴較低，自產天然氣足以支應約 50% 的消耗量，離另一天然氣出口大國之挪威亦不遠，理應受天然氣價格波動的影響較小，卻仍出現嚴重的能源危機。

一、能源支出倍增令民怨沸騰

2022 年 10 月起英國能源價格暴漲，平均每位民眾年支出電費、天然氣費增加約 80%，原 1 年約支出 1917 英鎊，驟升至約 3549 英鎊，嚴重排擠其他日常生活消費預算，引發中低階層民眾強烈反彈，已釀成國安級的政治、經濟危機。

由於能源支出幾乎倍增，生產、製造、服務、行銷成本亦隨之墊高，被視為通膨指標的消費者物價指數（Consumer Price Index, CPI），增幅累月超過 10%，物價一月多價，不僅失業者、一般退休族、中低收入戶苦不堪言，若干中產階級也難以招架。

面對節節高升的電費、天然氣費及物價，許多民眾只能勒緊荷包，縮衣節食，在溫飽不能兩全時，先選擇飽，增加超市、公共設施停留的時間，尋求溫。依統計 2021 年 10 月約 400 萬戶家庭處於能源短缺狀態，2022 年 10 月已高達約 900 萬戶。

益普索（Ipsos）研究機構調查顯示，從 2022 年底至 2023 年初的冬天，能源價格持續攀高，逾 3 成的家庭陷入能源貧窮（energy poverty）的泥淖中。然而，面對排山倒海而來的危機，能源公司倡議「節能小撇步」，不僅無濟於事，更彰顯其顧頹、龜縮，在無適當「對症下藥」的因應對策下，激起更洶湧的民怨浪潮。

由於天然氣價格維持在高檔，CPI 年增率屢創紀錄，2022 年 7 月高達 10.1%，創 40 年來新高，消費者實際感受則遠過於此。2022 年底政

府明訂能源費收費上限為 2500 英鎊，並凍漲至 2024 年。

二、惡性通膨衝擊中低收入戶

英國政府資料顯示所消耗的天然氣，自產及進口約各佔 50%，主要進口國為挪威、美國、卡達，自俄羅斯進口的天然氣，佔比微乎其微。半世紀前於北海發現天然氣田後，即高度仰賴天然氣，雖進口天然氣在總消耗量的佔比，遠低於歐陸國家，但依然深受國際天然氣價格波動影響。

同樣是天然氣消費大國，且在烏俄兩國全面開戰前，約 55% 天然氣由俄羅斯進口的德國，不到一半的家戶以天然氣為房屋熱能系統（如暖氣、熱水器）的主要能源，且僅約 15% 的發電量，來自天然氣發電。但英國高達 85% 的家戶以天然氣供應熱能系統，且約 40% 發電量來自天然氣，甚至曾一度高達 50%。因此，國際天然氣價格飛漲，德國雖深受其害，民眾必須力行節約以抗通膨，在政府呼籲擰節消費、共體時艱下，社會秩序尚維持有條不紊。但英國惡性通膨造成民眾的生活困境，較德國有過之而無不及，不少社區開辦「大眾暖堂」，供民眾躲避寒冬，連若干雙薪家庭也得求助食物銀行，才能免於挨餓。

20 世紀 70、80 年代全球接連爆發 3 次石油危機，英國也遭受重創；1974 年由於石油嚴重短缺，政府曾下令製造業 1 周僅能開工 3 天。幸運的是在北海探勘到豐沛的石油、天然氣礦藏，此後自給率大增，羨煞眾化石能源匱乏的歐陸國家。只是歷經數十年的開採，蘊藏量已逐漸枯竭，且伴隨經濟發展，能源消耗量持續增加，天然氣總消耗量的佔比，也逐年下滑。北海天然氣在天然氣總消耗量的佔比現約 40%，北海過渡管理局（North Sea Transition Authority, NSTA）預估 2030 年將降至約 30%，出現約 10% 缺口。

因天然氣熱能系統普及率甚高，加上價格低廉，與歐洲建築相較，英國不易防寒、保溫，造成天然氣使用效能不佳及不必要的浪費。由於之前天然氣價格相對低廉，民眾對因浪費所付的能源費用並不在意，但在價格暴漲後，便有切膚之痛。

三、既有能源政策已不合時宜

在可見的未來，英國對進口能源的依賴程度，將逐年增加。但因數十年來，仰賴進口天然氣的程度，低於歐陸國家，故天然氣儲存設備建設，遠遠落後歐陸國家。於是，當諸多能源進口國競買液態天然氣時，總落於下風，2022 年 10 月天然氣存量一度驟降，只剩 9 天的存量，情況岌岌可危。

德國、法國、荷蘭天然氣儲氣量分別約為 89、103、123 天量。與此 3 國相比，英國天然氣儲氣量相對低，不能沒有居安思危的意識，

因而迅速擴充天然氣儲存設備，是平息「天然氣之亂」的最可能途徑。

「天然氣之亂」破壞原有的能源政策規劃，以天然氣為綠色能源（green energy）普及前的過渡能源，顯然已不可行。

除迅速擴充天然氣儲存設備，與持續提供低收入戶、家計困頓者經濟援助，政府還需思考如何調整能源政策、產業結構，否則一旦價格飆漲，「天然氣之亂」便將再次上演，且甚難從中脫身。

首先是調整能源政策，在烏俄戰爭擴大前，英國能源轉型的進程原本超越歐洲國家甚多，如今反倒成為能源安全的軟肋。2020 年 11 月及 2021 年 10 月政府接連公佈 2 項重大能源政策，不到 3 年的時間就面臨改弦易轍，或加速前進，以因應變局。

2020 年 11 月政府佈達「綠色工業革命 10 項計畫（The Ten Point Plan for a Green Industrial Revolution）」，主旨為落實 2050 年溫室效應氣體零排放目標，所採取的 10 項計畫，包括加速離岸風電建設、推進低碳製氫成長、研發新興與先進核能技術、加速交通載具轉向零排放、強化綠色公共運輸，增建單車和人行空間、擴大投資碳零排放飛機及綠色船舶、保護自然環境、強化綠色金融及創新，投資碳捕集、封存及再利用技術。

在「綠色工業革命 10 項計畫」的基礎上，2021 年 10 月商業、能源暨工業策略部（Department for Business, Energy and Industrial Strategy, BEIS）頒布「淨零戰略」（Net Zero Strategy），承諾 2030 年停售石化燃料新車，2035 年停售燃氣鍋爐。

「綠色工業革命 10 項計畫」遠期目標 2050 年溫室效應氣體零排放，中期目標大都設定 2030 年，如加速離岸風電建設計畫發電量達 40GW（百萬瓩）、創新浮動式離岸風電發電量 1GW、推進低碳製氫成長計畫發電量達 5GW、研發新興與先進核能技術計畫禁售汽油車、柴油車。

四、燃煤電廠被迫延役以應急

距離 2030 年尚有數年，英國便已遭逢「天然氣之亂」，「綠色工業革命 10 項計畫」的每一項子計畫規模均甚大，實難加快速度，更可能因國家財政困難，又增加購買液態天然氣的預算，進度被迫延宕。

雪上加霜的是 2022 年 7 月高等法院以「英國政府未評估、解釋如何實現溫室效應氣體減量目標」為由，裁定「淨零戰略」違背《氣候變遷法（Climate Change Act, CCA）》，要求商業、能源暨工業策略部應修正其內容，並提供量化數據的分析報告。

2008 年英國制定《氣候變遷法》，之後 10 餘年成功擺脫對燃煤的高度依賴，被視為國家減碳與能源綠色轉型的典範。原是燃煤使用大國，燃煤發電在總發電量的佔比 2012 年仍約 40%，現已降至約 1.5%，其缺

口多由天然氣發電填補；「綠色工業革命 10 項計畫」、「淨零戰略」皆可視為《氣候變遷法》的延伸，但前提要在天然氣供應無虞，且價格平穩之下，方能順利實施，烏俄戰爭讓此前提不復存在。政府原規劃 2025 年告別燃煤發電，但為避免能源缺口繼續擴大，已與多家燃煤電廠達成協議，將除役時間延後至 2024 年；2025 年「除煤」已從目標轉為理想，實踐機率愈來愈低。

在「綠色工業革命 10 項計畫」中，加速離岸風電建設、推進低碳製氫成長、研發新興與先進核能技術等 3 項子計畫，皆與發電有關，但離岸風電發電量受制於氣候，只能扮演電力系統的配角，無法及時擴大發電量，緩和缺電危機，因此推進低碳製氫成長、研發新興與先進核能技術兩項子計畫，未來將更受重視。2021 年起啟動首個氫經濟計畫，預計 2030 年前投資 40 億英鎊，降低製氫過程的碳排放量，並新增 9000 多個工作機會，研發以氫氣取代天然氣的技術。

2023 年英國國家天然氣公司（National Gas）開始在天然氣管道中注入氫氣，取代純天然氣，作為電廠發電與家庭熱能系統的能源。2025 年前氫氣混合天然氣的比例約為 5 及 95%，之後佔比將漸次提高。

因氫氣可自行產製，若技術純熟，當能自給自足，不必受制於他國，並用於天然氣相關設備，加速研發低碳製氫的技術。然技術研發應用於產業，非一蹴可幾，在短時間內氫氣很難成為主要能源，擁核的聲浪必定再度崛起。

五、核能發電將扮演能源要角

英國約 40% 發電量來自天然氣，再生能源發電（如風力、太陽能）佔比達 40%，核能發電約 16%。在能源史上，英國不僅是最早應用燃煤發電的國家，也是核能發電的先驅；如今政府已決定重新大力推動核能發電，強化能源安全。2022 年 4 月政府推出「能源安全策略」（Energy Security Strategy），成立統籌核能事務的英國核能署（Great British Nuclear），計劃 2030 年前新建 8 座核能發電反應爐，2050 年前將核能電廠的年發電量提升至 24GW，年總發電量的佔比提升至 25%。

除確立逐步增加核能發電佔比，「能源安全策略」中將離岸風力電廠審核執照的時間，從 4 年縮短為 1 年，2030 年發電量目標從「綠色工業革命 10 點計畫」設定的 40GW，增加至 50GW，並嘗試與若干社區建立合作關係，興建內陸風力發電廠。

「能源安全策略」規劃改革家庭房屋、商業建築裝設太陽能板的規範，以期在 2035 年前將發電量提升 5 倍，2030 年低碳氫能發電量目標從「綠色工業革命 10 項計畫」設定的 5GW，倍增為 10GW。

「能源安全策略」是因應烏俄戰爭擴大的產物，內容雖安撫人心，

相較「綠色工業革命 10 項計畫」更難落實，且緩不濟急。真正可解燃眉之急的方式，當是擴大天然氣進口量。

英國約 50%天然氣源自進口，其中 33%購自挪威，以氣態經海底管道輸送，在烏俄戰爭擴大後，佔比快速增加。2022 年冬季起便與挪威政府進行協商，希望簽署 20 年購買契約，期遠離冬季缺電之苦。

另 17%進口的天然氣，多為桶裝的液態天然氣，烏俄戰爭後，英國對俄羅斯施行經濟制裁，大幅削減進口數量，轉而提高美國液態天然氣的進口量，並嘗試從南美洲祕魯進口液態天然氣，分散來源。

烏俄戰爭使天然氣奇貨可居，歐洲、東亞國家大肆搶購液態天然氣，導致價格節節高漲，英國雖是大國，但既無足夠的天然氣儲存設備，新興能源公司財力有限，難與競爭國家的國營企業、大財團相抗衡。

被稱為資本主義母國的英國，在 20 世紀 80 年代、90 年代時，政府執行「公用事業（public services）」私有化政策，推動資本市場自由化；然而，此舉雖然讓各能源公司可自由競爭，但新興能源公司規模不大，不僅無法在國際市場上搶得貨源，又不能承擔虧損，平抑電價、能源價格。

除此，民營能源公司不願「共赴國難」，自產天然氣的價格，也隨不斷竄升的國際天然氣價格水漲船高，導致通貨膨脹亂象，比歐洲國家更難控制。英國國家天然氣公司 2022 年獲利遠超 2021 年，引發巨大爭議與民怨。

大能源公司乘機獲利，若干規模較小的能源公司，卻因周轉不靈而關閉，政府被迫收拾殘局。更讓政府難為的是調整能源產業結構，遠比修正能源政策困難許多，將引發既得利益者更大的反彈；若不調整能源產業結構，下一次能源之亂必更劇烈，且危害更大。

結語

一場「天然氣之亂」，讓英國隱藏的能源問題暴露無遺。政府、民眾應已深刻體悟到，能源安全是國家安全的重要環節之一，當下沒有任何一種能源，可以無後顧之憂。如何兼顧能源安全與節能減碳目標，將是英國任重道遠、艱鉅無比，無可迴避的挑戰。

參考文獻

- 一、英國政府「氣候變遷法（Climate Change Act, CCA）」,2008 年。
- 二、英國政府「綠色工業革命 10 項計畫（The Ten Point Plan for a Green Industrial Revolution）」,2020 年。
- 三、英國商業、能源暨工業策略部「淨零戰略（Net Zero Strategy）」,2021 年。
- 四、英國政府「能源安全策略（Energy Security Strategy）」,2022 年。

漫談美國瓦斯爐禁令風波

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

瓦斯爐是美國家庭最普遍的爐具，使用方便且適用於各種烹飪技術，但室內燃燒氣體造成空氣污染，可能影響健康而倍受爭議，近年來氣候暖化問題更促使環保團體及地方政府推動建築物斷絕連接天然氣設備，減少碳排放。今年初消費品安全委員會基於健康考量，表示將監管瓦斯爐，甚至未來在新建築物中禁止使用，瓦斯爐禁令頓時成為各界熱門議題。

一、近年來瓦斯爐影響健康和環保的疑慮

2022 年瓦斯爐影響健康疑慮的報導經常出現於媒體，美國能源機構洛磯山研究所 (Rocky Mountain Institute, RMI) 及其他 3 個環保組織在 2022 年報告中稱瓦斯爐排放物對人類構成健康威脅，呼籲政策制定者進行嚴格的監管。2022 年 12 月多名參議員致函消費品安全委員會，指出瓦斯爐危害健康，特別是對少數族裔和低收入社區尤為嚴重，敦促採取相關行動，明確評估傷害程度，及天然氣洩漏對地球暖化之影響。

自 2022 年秋季以來，消費品安全委員會已陸續對瓦斯爐採取行動：同年 10 月特魯姆卡 (Richard Trumka, Jr.) 委員建議開放公眾評論瓦斯爐及徵詢其排放的污染物與哮喘、呼吸系統疾病相關的意見；該會建議準備購買新爐具的消費者注意瓦斯爐的氮氧化物排放，改用電氣產品；12 月特魯姆卡委員向美國公共利益研究小組 (public interest research group, PIRG) 說明越來越多的科學證據顯示瓦斯爐排放的氣體可能有害健康，需要研討規範，姑且不論是大幅改善排放，還是完全禁止。

此外，美國能源部 (DOE) 2023 年初提出針對爐灶和烤箱（包括瓦斯爐）的能效法規，要求更加節約能源，擬議的標準如獲得批准，將於 2027 年生效，但並未禁用瓦斯爐。

二、媒體公開瓦斯爐監管與禁令

消費品安全委員會特魯姆卡委員 2023 年 1 月 9 日接受全球最大財經資訊公司彭博新聞社 (Bloomberg News) 採訪，首次表示瓦斯爐是一種隱患 (hidden hazard)，可能導致健康問題（包括兒童呼吸系統疾病），並

指出不安全的產品應該被禁止，未來計劃採取行動監管爐灶，消息一出，衝擊普羅大眾的家庭，各界譁然。

面對各方強大的抗議，特魯姆卡委員隨即於推特 (twitter) 澄清該會不會禁用瓦斯爐，監管法規僅適用於新生產的瓦斯爐，且對選擇從天然氣轉型至電力爐具者進行補助。主席霍恩 - 薩里奇 (Alexander Hoehn-Saric) 也在推特表達並未禁用瓦斯爐，而是研究爐灶中的氣體排放，尋求解決健康危害的方法。該會亦於今日美國 (USA Today) 新聞媒體聲明，目前尚未對瓦斯爐提出監管行動，任何管制行動都要經歷漫長的過程，預備蒐集與瓦斯爐相關健康危害的數據和觀點，找出解決方案。

面對各界抗議，白宮發表總統並不支持禁止瓦斯爐的聲明，但為達到 2050 年淨零碳排的目標，具有里程碑意義的《降低通貨膨脹法案》將為消費者轉型電爐或其他電器提供高達 840 美元的補貼及 500 美元的電力費用。

消費品安全委員會發言人宣布該會已以 3 比 1 的投票結果批准公開徵求關於瓦斯爐排放物對健康的危害及解決方案，待綜整所得建議與意見，做為未來監管家用瓦斯爐的基礎 (包括新的性能標準、警告標籤和使用抽油煙機)，同時繼續與自願性標準組織合作，調查碳排放，瞭解潛在危害，確保消費者可以獲得充分的信息，選擇適合需求的爐具，為執行規範瓦斯爐的起步；上述作法迄今仍未平息騷動，爭議繼續燃燒。

瓦斯爐成為公共爭議問題：美國公共衛生協會 (American Public Health Association, APHA) 聲稱瓦斯爐是公共健康問題，呼籲聯邦機構做進一步研究，讓公眾瞭解相關風險；關心氣候暖化的科學家也普遍認為，如要實現脫碳目標，就應大幅減少使用天然氣，包括家庭停止使用瓦斯爐。

消費品安全委員會對瓦斯爐監管、預備禁止新建築使用天然氣，被大眾及媒體視為禁令。「禁令」之詞彙易激發一系列抗議活動，如反對政府對改變生活方式的要求、決斷、選擇等。類似的情形曾發生在 1970 年環境保護署 (EPA) 成立時，被反對的保守派稱為“命令和控制機構”。

瓦斯爐禁令主要是禁止新建築物連通天然氣管道，而不是拆除現有的瓦斯爐。環保人士認為新建築物連接天然氣管道意謂將繼續使用瓦斯

幾十年，近期無法擺脫對化石燃料的依賴，以致延遲達到零碳排的目標，讓氣候暖化問題益加嚴重。

三、瓦斯爐禁令爭議風暴

網路上出現大量消費者情緒化的抗議 -- 如果家裡瓦斯爐被拿走，政府必須付出相當代價；政府無權干涉家庭使用何種爐具做飯；環保主義者霸道阻止使用天然氣；消費品安全委員會擬議的瓦斯爐禁令是政府的恐嚇行為；知名電視廚師將瓦斯爐具背負身上以示抗議。

消費品安全委員會是美國聯邦政府的獨立機構，委員由總統提名，瓦斯爐監管的議題激怒政界人物，指責總統，稱禁令為災難。媒體如福克斯新聞 (Fox News) 認為政府行動過當，試圖改變傳統生活，如果消費品安全委員會真的想為公共衛生做些事情，應該在解決瓦斯爐問題之前先禁止香煙或汽車。

部分參議員對消費品安全委員會的言論和推動禁令的意圖表示擔憂，駁斥關於瓦斯爐對消費者健康、人身安全和環境保護構成重大風險的負面說法。就消費者的健康而言，消費品安全委員會和環境保護署都未將瓦斯爐列為造成不良空氣質量或健康危害的重要因素，另外委員會擔心的消費者人身安全，全國消防協會也已經證明，與其他爐具相比，瓦斯爐造成烹飪火災、死亡和相關損失的風險更低。

四、瓦斯爐具及天然氣業者的因應

瓦斯爐的爭議對爐具製造商和燃氣公用事業造成莫大的壓力，美國天然氣協會 (American Gas Association,AGA) 指出過去 15 年中大量使用天然氣為減碳排做出顯著的貢獻，住宅天然氣僅佔溫室氣體排放總量的 4%。

對於爐具危害健康的顧慮，天然氣行業、公用事業和爐具製造商在幾十年前就面臨這類的批評，感受到產業生存的威脅，一直有改善的因應措施。

早在 1980 年代室內空氣污染也曾成為新聞，當時消費品安全委員會的目標是煤油加熱器，燃燒煤油會排放有害污染物，主要是氮氧化物和二氧化硫，兩者都會導致呼吸問題，尤其是對於哮喘患者。

業者意識到監管機構的關注，擔心下一步可能針對瓦斯爐具，因此

著手改進燃燒器，研發噴氣式瓦斯紅外線燃燒器 (jet-powered infrared gas-range burner)。紅外線燃燒器是一塊帶有蜂窩狀穿孔的平坦陶瓷板，瓦斯燃料和空氣穿過時燃燒產生肉眼難以看到的火焰，而非普遍瓦斯爐上標誌性的藍色火焰。紅外線燃燒器的燃氣消耗大約只有一般瓦斯爐的 40%，排放的氮氧化物減少 40%。設計師力推紅外線燃燒器的另一個好處是可以保持廚房涼爽，讓更多的能量進入烹飪容器間，但成本較高，發出紅光的陶瓷板易破裂，價錢貴加上消費者缺乏空氣質量的要求，最終沒有完全發展成商業化的燃燒器。目前市面上有使用紅外線燃燒器製作炭烤爐和煎鍋，也有應用於農產品和工業加工，而用於爐灶或烤箱則不普遍。

天然氣協會的爐具污染物研究，催生減少二氧化氮污染的方法，如將金屬棒插入火焰降低溫度，減少排放量。1990 年起業者取消全天 24 小時亮著的母火（早期瓦斯爐以母火點火，現今改為電子點火），減輕污染。儘管如此，仍無法完全消除瓦斯燃燒排放污染物的疑慮。

長期以來烹飪設備的燃燒器設計一直沒有太大變化，但面對可能來臨的瓦斯爐禁令，製造商和天然氣公用事業需要重新重視燃燒器，包括提高效率、改進控制，當然也要涵蓋改善排放量，凡此種種都需時間才能一一達成。

美國家電製造商協會 (Association of Home Appliance Manufacturers, AHAM) 表示製造商關注的是消費者的需求，如易於清潔，且功能更強大的瓦斯爐。為解決烹飪和燃燒排放污染問題，該會將重點放在制定充分通風標準上，建立一套新的瓦斯爐二氧化氮排放自願標準。但環保人士認為業者過去即便已知有更安全的替代品，40 年來都沒有改善，因此不相信業者會實施自願性標準，傾向於由監管機構強制採取行動監管。

天然氣公用事業一直在努力淡化有關瓦斯爐和室內空氣質量危害健康之間的關係，同時加強行銷活動告訴消費者使用燃氣做飯最便宜，希望售出瓦斯爐以維持業務生存。天然氣協會表示產業的立場是善盡責任，減緩氣候暖化，不輕言退出市場。天然氣公司對於低碳計畫，正開發更清潔的替代品，包括來自垃圾填埋場和牲畜糞便發酵所生成的可再生天

然氣與氫氣混合，並通過現有的公用事業管道網絡運輸。業者認為確保天然氣的基礎和輸送設施是實現未來能源清潔、安全、可靠和負擔得起的最實際方法，禁止使用瓦斯爐只會增加屋主和餐館的成本，對環境的改善微乎其微。

天然氣協會為反駁能源機構洛磯山研究所 (Rocky Mountain Institute,RMI) 有關瓦斯爐排放污染危害健康的報告，特別委託美國燃氣技術研究所 (Gas Technology Institute,GTI Energy) 比較瓦斯爐和電爐的排放量，研究結果二者的顆粒物排放量並沒有差異。所有類型的爐灶烹飪都會產生油煙，但燃燒天然氣產生的污染物不同於烹飪產生的顆粒物排放，瓦斯爐除油煙之外，天然氣燃燒確實會在室內排放包括一氧化碳、氮氧化物、微量甲醛等危害健康的污染物。天然氣協會考量並非每個家庭都有通往室外的抽風機，試圖將燃燒產生的空氣污染等同於烹飪產生的油煙，迴避必須的通風問題。其實瓦斯爐煎炒油炸會產生油煙，即便沒有油煙也會產生有害的空氣污染物，需要抽油煙機將之排出室外。

家用設備製造商協會認為瓦斯爐禁令不明智，影響全國 40% 以上的家庭使用首選、負擔得起的烹飪設備，且無法解決室內空氣整體質量的問題，注重通風是有效解決方案，環保署建議在瓦斯爐上安裝排氣扇，降低空氣污染，然而此信息並未傳達至所有消費者，銷售人員只有被詢問時才會說明室內污染問題，一般消費大眾都不甚瞭解使用瓦斯爐的潛在健康風險。

五、瓦斯爐歷史

人類知道天然氣存在的歷史甚為久遠，中國早有利用天然氣煮鹽水的應用。英國約在 1785 年首先使用煤炭生產的天然氣照明房屋和街道。1817 年美國馬里蘭州巴爾的摩使用煤造天然氣，成為美國第一個天然氣照明街道的城市。19 世紀初期天然氣主要用在照明，20 世紀開始建造輸氣管道後，天然氣的使用除工業製造和鍋爐加熱發電外，範圍擴大到家庭建築物內烹飪和取暖，瓦斯爐、烤箱和熱水器等家用氣體燃燒器設備應運而生。現今天然氣是全球的重要能源，供應住宅和商業建築物所消耗能源的一半以上，約佔美國工業所用能源的 41%，為最清潔、最安全和最有用的能源之一。

瓦斯爐是 1820 年代所開發，在此之前爐灶主要依賴煤炭或木材等固體燃料。瓦斯爐以合成氣、天然氣、丙烷、丁烷及液化石油氣等氣體為燃料，優點是易於調節火力大小，不用時可以關閉，有效改善烹飪技術。1836 年英國開始有瓦斯爐具製造廠，1851 年瓦斯爐在倫敦展覽會上展出，直到 1880 年代大部分地區已經遍布龐大而可靠的天然氣管道運輸網絡後，取得商業上的成功而普及。天然氣的使用相對便宜和高效，20 世紀初瓦斯爐加裝烤箱拓展到歐洲大陸和美國的家庭廚房。早期的瓦斯爐相當笨重，之後縮小尺寸適合廚房擺設，20 年代初期瓦斯爐普遍帶有搪瓷飾面，以求美觀且方便清潔，同時大量使用絕緣材料提高燃燒效率。

100 多年以來瓦斯爐的高效能和方便使用，造就美國的烹飪文化，現今約 40% 的家庭使用瓦斯爐，在加利福尼亞州和新澤西州等州甚至接近 70%。瓦斯爐支持者認為比電力替代品更便宜、更高效，烹製的食物味道也更好。天然氣協會及天然氣公用事業數十年來努力利用廣告及社交媒體推廣用瓦斯爐做飯，不乏具影響力的人士對瓦斯爐贊不絕口。“用瓦斯做飯”成為 1930 年代的廣告語，已深植人心。

六、瓦斯爐的健康危害問題

瓦斯爐有其缺點，高溫烹飪會產生油煙顆粒物，而天然氣燃燒排放污染物，釋放二氧化碳溫室氣體，助長全球氣候暖化。

天然氣以甲烷為主，尚含有少量非甲烷雜質，燃燒時除生成有害物質，還有洩漏之虞。此外，高溫油炸會釋出煙霧（油煙）、丙烯醛和多環芳烴。室內油煙顆粒物污染的問題較易感受，可使用抽油煙機減輕。

另外天然氣燃燒時會產生少量可檢測的二氧化氮和其他污染物，當沒有足夠的通風時，室內的污染與嚴重的哮喘有關，原因在於很少有人有打開爐灶通風扇的習慣，甚至許多家庭和公寓沒有足夠的爐灶通風，或只是通過濾網循環空氣，而濾網不能去除氮氧化物。空氣監測調查顯示廚房中的二氧化氮濃度達 159ppb，高於世界衛生組織 (WHO) 的安全標準 106ppb。

一般質疑電爐的電源也可能來自天然氣發電，但燃燒發生在很遠的發電廠，碳排放及污染可就地設法集中處理，而家庭瓦斯爐燃燒，藍色火焰所產生的污染就直接發生在廚房內。早在 1992 年就有研究發表，住在

煤氣爐家裡的孩童罹患呼吸道疾病的風險增加約 20%。2022 年 12 月《國際環境研究與公共衛生雜誌（International Journal of Environmental Research and Public Health）》指出超過 12% 的兒童哮喘病例可歸因於使用瓦斯爐，針對解決污染建議使用排氣罩將污染物排放到屋外，如果沒有排氣罩，打開窗戶或風扇，讓空氣淨化。

七、瓦斯爐對全球氣候暖化的影響

天然氣一直被認為是清潔能源，但事實上燃燒天然氣會排放二氧化碳，據調查每年燃燒天然氣造成 80 億噸二氧化碳污染，2019 年全球溫室氣體排放量創下歷史新高，科學家表示為避免氣候暖化災難，全球大部分的化石燃料都需要留在地下，包括近一半的天然氣儲量。使用瓦斯爐，甲烷也可能會從管道洩漏到大氣中，且令人意外的是美國大約 80% 的甲烷排放發生在爐子關閉狀態下，原因是燃氣管道和配件中的微小洩漏造成，而甲烷是一種比二氧化碳更有效的溫室氣體。整個供應鏈中的二氧化碳排放和甲烷洩漏導致天然氣的碳排不容忽視，由於家庭中天然氣的廣泛使用，每年 4000 萬個瓦斯爐產生的溫室氣體相當於 50 萬輛汽車的尾氣排放。

環境保護署表示商業和住宅建築物每年排放的溫室氣體量佔全國排放量的十分之一以上，約 13%，主要是使用燃氣爐具和保暖。建築物是減少溫室氣體排放的目標，拜登總統氣候計畫包括 2035 年將建築物的碳足跡減少一半，必須讓民眾改用電爐、熱水器和暖氣的電熱源，停止在建築物中使用天然氣。

八、美國各地對瓦斯爐的抵制

美國 35% 至 40% 的爐灶使用天然氣，在西部、中西部和東北部最常見，東南部較少。基於健康與環保的考量，有些州及地方政府在環保人士及醫界的鼓吹下，傾向於支持瓦斯爐禁令，努力逐步淘汰新建築連接天然氣，阻絕天然氣的使用。

2018 年來美國一些城市的禁氣有很大的進展，大約有 100 個城市、縣及 3 個州正在制定新的建築法規，禁止在新建房屋和建築物中安裝天然氣連接裝置，或提供阻絕天然氣的獎勵措施。

加州截至 2023 年 1 月已有 42 個城市採取行動，限制新建築使用天然氣，其中有 10 多個城市徹底禁止新建築物裝置燃氣管線設備。另外加州能源委員會 (CEC) 已制定新標準，要求瓦斯爐比電爐具備優良的通風設施，尤其較小的室內空間更要有排氣功能。加州空氣資源委員會於 2022 年 9 月決定 2030 年禁止銷售天然氣爐具和熱水器，加州灣區監管機構最近也同意逐步停止在現有建築中銷售燃氣鍋爐和熱水器。

加州以外，猶他州鹽湖城也希望建築商在新建築物中不要使用天然氣。克羅拉多州丹佛市計劃 2027 年大部分建築物全電力化。紐約市議會於 2021 年投票決定，2023 年底 7 層樓以下的新建築物禁止安裝天然氣連接裝置。紐約州議會和參議院提出不同版本的天然氣禁令提案，州長凱西 - 霍赫爾 (Kathy Hochul) 表示支持禁令。是故在紐約州有如此的作為，將帶動其他州效仿。東北各州也正在努力尋找降低碳排放的方法，但要求建築物全電力可能影響消費者的能源賬單，尤其對低收入者而言更甚。

除美國外，澳大利亞基於健康考量、室內空氣質量和氣候保護等原因已訂定法規，減少在新建築物中安裝瓦斯爐設備，商用廚房則可豁免。未來零售商將被禁止銷售任何烹飪或取暖的燃氣產品，並從今年開始禁止某些新房產建築連接天然氣。政府承諾在未來 20 年內逐步停止居民和商業主使用天然氣，以實現 2045 年淨零碳排放目標。瓦斯爐具設備廠商和天然氣分銷商的業務越來越受到家庭電氣化威脅及禁令的影響，相關公司很可能裁員數千人。

九、美國天然氣業者的遊說立法

面對瓦斯禁令，天然氣業者感受到巨大的經營危機，天然氣協會及天然氣公用事業組成遊說團體積極說服立法者和公眾，電力替代天然氣將傷害消費者，導致更高的賬單，另外提醒大眾，建築物全電氣化的隱憂是斷電，當暴風雨來襲停電時，家中同時擁有電力和天然氣的好處是仍然有天然氣可用。業者也宣稱使用天然氣與因應氣候變化是相容，儘管不乏大量相反的科學證據。

天然氣行業正努力企圖阻止建築物瓦斯禁令規範，截至 2022 年 2 月

已有多個州通過「先發制人法」，強烈反對禁令，阻擋市政當局對建築商實施天然氣的限制。

以亞利桑那州為例，2 年前該州公佈一項雄心壯志的氣候計畫，積極推動建築物電氣化，目的在減少對化石燃料的依賴及導致氣候變化的溫室氣體排放，規劃 2040 年所有新建築物實現溫室氣體淨零排放，然而在主要天然氣公用事業公司的支持下，立法機關通過法案，阻止市和縣禁止新建物和天然氣基礎設施連接，因此嚴重妨礙電氣化目標，這是天然氣行業目前正在部署的生存戰略之一，依自然資源保護委員會 (NRDC) 資料，天然氣公用事業公司夥同行業貿易團體，在過去一年中成功遊說 12 個州立法機構引入類似的優先購買 (preemption) 立法。天然氣行業的戰略速度和規模，可見其生存受到政府努力大幅減少化石燃料的威脅。

天然氣協會的大部分預算來自納稅人，該組織及當地天然氣貿易行業積極參與州級立法，採取先發制人的策略，擴大參與聯邦、州和地方各級政府的立法，以政策、法規和其他舉措確保客戶對能源的選擇，為消費者提供天然氣。到目前為止，已知亞利桑那州、田納西州、路易斯安那州和奧克拉荷馬州通過先發制人的立法。另外尚有 14 個州正在進行中，包括阿肯色州、科羅拉多州、佛羅里達州、喬治亞州、印第安納州、愛荷華州、堪薩斯州、肯塔基州、密西西比州、密蘇里州、北卡羅來納州、賓夕法尼亞州、德克薩斯州和猶他州等，其中幾個州獲得通過的可能性很高。

然而過度的遊說和公關活動引起監管機構的注意，加州的納稅人倡導者辦公室指出某天然氣公用事業公司不當利用稅收，促使平衡能源解決方案組織反對天然氣禁令和能源效率措施，建議處以高額罰款，並表示天然氣行業如只繼續花費精力在優先購買法上，而不願因應不斷變化的環境，將錯失與社區、州政府或聯邦政府合作尋求解決氣候變化方案的良機；另外國家優先購買法被利用來幫助行業保護特定市場，扼殺改革計畫，同樣也可能阻礙政府採取關鍵行動，減少碳排放的決心。

令人憂心的是如果類似的優先購買法案獲得通過，恐怕在禁止任何歧視、限制、限製或損害公用事業服務之外，業者可能會因擔心減少天

然氣的消費量，妨礙提高能源效率，導致進步緩慢。另外法案也可能牽涉激勵措施，進而影響新建築物的全電力建設，畢竟從現有房屋的天然氣轉換為電力很昂貴，建造全電力的新房屋可能比帶有天然氣連接裝置的房屋便宜。

結語

瓦斯爐看似不起眼的家用設備，因被美國政府基於健康考量，準備規劃監管、甚至禁用，支持與反對者兩方激烈表達看法，成為熱門討論議題。環境保護者認為建築物必須全電氣化，以緩和全球氣候暖化，天然氣業者面臨巨大威脅，表示將致力減少化石燃料，並轉向運用更多可再生能源做為因應措施。天然氣協會宣稱從能源版圖中消除天然氣是短視，放棄天然氣基礎設施建設改為電網不但所費不貲，天然氣公用事業公司經營亦將面臨嚴苛的挑戰。

回顧我國一般居家環境中，瓦斯（天然氣）與水、電和電話網路通訊被認為是必要的條件，瓦斯普遍用於烹飪及熱水器，瓦斯爐是家庭廚房中最常見的標準配備，適合煎炒炸等各種做法。

瓦斯是易燃氣體，在設備及使用方面首重安全問題，要避免洩氣導致氣爆，熱水器設置於通風處，才不會引發一氧化碳中毒。而廚房中的瓦斯爐所產生的油煙，醫界認為長期曝露於此，可能造成肺癌的風險，在大力推廣注意通風，以降低致癌的宣導下，業者及消費者普遍均有安裝及使用抽油煙機的觀念。對應美國，我國似乎較少提及天然氣造成室內空氣污染與呼吸疾病哮喘的關係。多年來瓦斯爐配合抽油煙機是目前最適合國人生活習慣及經濟考量的作法，而且即便沒有高溫烹煮，也會產生有害的空氣污染物，還是需要藉由抽油煙機排出室外。

隨著電氣化日益普遍，瓦斯爐之外的其他電氣和加熱設備（如電鍋、微波爐、電烤箱、氣炸鍋及電熱水爐等）逐漸進入家庭廚房，另外新世代人類生活習慣改變，喜好電磁爐、電陶爐，在在挑戰瓦斯爐的地位。美國的瓦斯爐禁令風波或許不會在我國發生，但所引發的爭論或規劃措施，應可作為政府管理者、瓦斯業者和消費者參考。

參考文獻

一、Ban new gas stoves, a federal safety commissioner proposes; CPSC says no such official plan yet.

<https://www.nbcnews.com/business/consumer/gas-stove-ban-proposal-when-and-why-rcna65078>

二、You can soon tell the government what you think about gas stoves as it weighs whether to regulate them.

<https://fortune.com/2023/03/01/gas-stoves-public-input-safety-emissions/>

三、Canberra Natural Gas Bans To Hit Appliance Retailers.

<https://www.channelnews.com.au/canberra-natural-gas-bans-to-hit-appliance-retailers/>

四、We need to talk about your gas stove, your health and climate change.

<https://www.npr.org/2021/10/07/1015460605/gas-stove-emissions-climate-change-health-effects>

五、Gas stoves leak climate-warming methane even when they're off.

<https://www.npr.org/2022/01/27/1075874473/gas-stoves-climate-change-leak-methane>

六、Gas stoves became part of the culture war in less than a week. Here's why.

<https://www.npr.org/2023/01/21/1150397853/gas-stoves-became-part-of-the-culture-war-in-less-than-a-week-heres-why>

七、Gas stove makers have a pollution solution. They're just not using it.

<https://www.npr.org/2023/02/04/1149736969/gas-stove-makers-have-a-pollution-solution-theyre-just-not-using-it>

八、As Cities Grapple With Climate Change, Gas Utilities Fight To Stay

In Business.

<https://www.npr.org/2021/02/22/967439914/as-cities-grapple-with-climate-change-gas-utilities-fight-to-stay-in-business>

九、How gas stoves became part of Americas culture wars.

https://www.economist.com/the-economist-explains/2023/01/17/how-gas-stoves-became-part-of-americas-culture-wars?utm_medium=cpc.adword.pd&utm_source=google&ppccampaignID=17210591673&ppcadID=&utm_campaign=a.22brand_pmax&utm_content=conversion.direct-response.anonymous&gclid=CjwKCAjwzuqgBhAcEiwAdj5dRqdMBUhhZShsT-tX2Cy4J3ffc7rMghnwzX7KkOMvp4bUi3GJggE2zhoC5uoQAvD_BwE&gclsrc=aw.ds

十、A Brief History of Natural Gas.

<https://www.apga.org/apgamainsite/aboutus/facts/history-of-natural-gas>

十一、Gas stove.

https://en.wikipedia.org/wiki/Gas_stove

面對地方天然氣公司管延敷設 遭受陳抗應處作為－ 以屏南工業區為例

欣屏天然氣公司總經理 劉靖中

前言

民國 57 年間行政院頒發行政令函：「本省有導管輸送之天然氣……由行政院國軍退除役官兵輔導委員會經營」。輔導會遂於民國 60 年陸續於各地區成立或與民間合作，設立「欣」字輩的天然氣公司。

欣屏天然氣公司座落於屏東市區，民國 77 年 6 月由輔導會、光華投資公司、屏東縣桶裝瓦斯業者、地方人士及市公所等共同籌組設立，並於 79 年 12 月初正式供氣營運，自創立迄今已逾 35 年。

天然氣使用在重要城鎮已相當普及，而面處較偏遠地區的行政縣市，因普遍認為天然氣屬具危險、易爆炸等觀念，造成投資管延敷設不易，作為困難，且陳抗力度強烈，影響地方發展深遠。

一、地理位置簡介

屏東縣位處臺灣最南端的縣市，輪廓狹長，依山傍海，東臨太平洋，西向臺灣海峽，南面巴士海峽，地處熱帶，四季如春，風光明媚，椰影婆娑，充滿南國風味，有「臺灣南洋、國境之南」等稱謂，是國內不可多得的觀光聖地。以高雄半屏山劃分，以東稱為屏東；全縣面積達 2775.6003 平方公里，是臺灣西部最狹長的縣，共轄 33 個鄉鎮市，總人口數約 80 萬人，南北相距超過 100 公里，擁有海拔 3092 公尺的大武山為倚，臺灣唯一同時面臨太平洋、巴士海峽、臺灣海峽的縣市，構築出瑰麗壯闊的山海景色及蘊育豐富的自然資源。

二、天然氣對地方發展的重要性

（一）臺灣能源的供給

臺灣能源供給高度依賴進口，依經濟部能源局的統計資料，2021 年的能源進口量占總供給量 98%，而能源總供給量 45% 則用於公用發電及汽電共生（cogeneration），其中又以煤炭及天然氣

發電占最大宗，兩者合計超過八成。

（二）地方工業需求

自 2020-2021 年我國發電燃料仍以天然氣、煤炭及核能為主，而天然氣由 35.7% 升至 37.2%，組成百分比已略漸改變，其中工業用戶屬用氣量最大、最多，天然氣不但為發電、工廠燃料需用首選，也為車輛、海運、農機等用途取代石油。

屏東縣屏南工業區位屬枋寮鄉，占地 278 公頃，目前設廠數已達 92 家，以金屬製品製造業、基本金屬製造業、非金屬礦物製品製造業等為主要產物聚落，早期係因地方民代陳抗，致使天然氣管線無法到達工業區，廠家只能燃燒重油，造成工業汙染，影響百姓健康，長期更嚴重危害生命安全。

（三）解決陳抗、貫通全線

106 年起欣屏公司為配合政府落實空氣污染防治政策及檢討工業大廠換裝鍋爐需求下，重啟林邊段天然氣管線工程建案，為使林邊鄉全線管線貫通，108 年初在時任董事長指導下，責由總經理帶領幹部積極協調地區陳抗代表及人士，並尋求立法委員、地區議員、公務部門、警察機關、地方仕紳及媒體支持，陸續召開 6 次說明會，向鄉親亟力澄清各項疑慮及報告使用天然氣之安全、便宜、便利等特性，多面相尋覓救濟管道，一一化解阻力，致使陳抗力度逐步趨緩，於 109 年 2 月 15 日重啟開工，後續各項檢測、整壓站建置、設備提升、管線延伸及改管等工程，進展順利，同時藉由媒體客觀正面報導，對公司的各項努力給予高度肯定。林邊段已於 110 年 7 月 1 日正式開始供應通氣，屏南工業區計簽約 24 家廠商，大幅提高每月用氣量，亦解決工業區燃燒重油造成空汙等相關問題。

三、重大作為與分享

本案啟於 86 年即規劃執行，投資金額達 1 億 2 千餘萬元，惟受地方民代、鄉親多次陳抗，期間雖歷任董事長、總經理戮力以赴，仍無法動工，導致已埋設 22 公里 6 吋鋼管無法連通送氣。

自 108 年始積極協調地方陳抗人士及代表，並尋求各方支持，召開說明會，以排除萬難，順利動工及完工。茲就相關重大作為，敘述如後：

（一）編成緊急應變組

本案歷程久遠，屢遭民代與鄉親陳抗，為能妥善處理，成立專

案編組，由總經理擔任指揮官，納編緊急應變組、工程執行組、行政支援組等，各部門經理擔任組長，相關專業幕僚擔任組員，總經理全程指揮、參與、掌握，定期召開研討會議，拜會關鍵人物、支持者，尋求認同，一同打拚，共創未來。

（二）主動回應訴求

天然氣管線開挖，依法必須向中央及地方政府申請路權，核准後公告地方周知，因此鄉親獲知後即向民代陳情，公司須掌握訊息立刻前往說明，針對天然氣運用及安全性予以溝通，尋求支持政府政策，而期間除與民代辦公室保持聯繫外，並主動前往和反對鄉親採面對面的溝通及回應訴求，期能化阻力為助力。

（三）拜會鄉長請益

鄉長為地方重要人士，亦具相當影響力，隨時保持聯繫，並在規劃執行、路權申請、動工施作前，多次拜會地區鄉長、公所主秘、鄉代會主席、副主席，期召開說明會時，適時給予協助與支持。

（四）做好敦親睦鄰

- 1、為尋求地方民意支持，製作 Q&A 說明資料及懶人包，由總經理帶領公司重要幹部主動邀約、拜會地區重要民代，藉溝通說明，尋求認同和支持。
- 2、由總經理帶領施工團隊，親赴開挖管線附近地區之村辦公室、關懷據點、社區活動中心、學校等場所慰問、扶助弱勢家庭及老人、清寒學子，做好敦親睦鄰工作，並贊助公所活動及落實企業社會責任。
- 3、舉辦活動，藉以懇請鄉長、鎮長、主席、村長、代表及重要人士，共同協助達成任務。

（五）誠懇溝通陳抗

為解決施工各項疑慮，配合地方民代要求召開多場次說明會。說明會為重要場合，亦為本案重中之重，故均由總經理帶領重要幹部及屏南工業區主任、廠商代表出席，立委服務處亦派辦公室主任出面協調，藉由廠商提出需求，帶動地方發展與就業機會，天然氣屬乾淨的能源，可有效降低罹患肺腺癌的機率，同時予以裝設民生及商業用戶優惠等便民措施，惟仍有反對、陳抗聲浪，採取策略如后：

- 1、不刺激民代、鄉親。
- 2、高階幹部親臨第一線說明，展現誠意。
- 3、柔性說明政策（乾淨能源、安全、便利）。
- 4、全面蒐集、掌握陳抗者資料，進行拜會溝通，藉由面對面溝通，能有效降低、消弭陳抗力度（說明會現場如圖 1、2）。

圖 1 說明會現場



圖 2 說明會現場



（六）善用公權力：

運用同袍情誼，協請警界幫忙，引見重要幹部，藉以聯繫在地各分局長，尋求公權力支持，成效如后：

- 1、說明會會場派遣警力參與。
- 2、開工動土當日，協調派遣警力採車巡方式，實施現場施工作業戒護及輿情蒐集。
- 3、施工當日派遣戒護警力，以落實公權力伸張，強調違法究辦之決心。

（七）運用地方人脈：

- 1、多次拜訪地區內重要仕紳，並敦聘具有聲望人士擔任榮譽顧問，協處後續工作。
- 2、由榮譽顧問居中協調重要陳抗人物及協助安撫民心，並深入瞭解陳抗重點、訴求及尋求解決之道，多次造訪、研討、說明溝通，冀達到疏通、化解怨懟的成效。

（八）重視媒體聲量：

- 1、為求新聞輿論公正、客觀報導，減少負面新聞產生，防止混淆視聽、增加無謂困擾，遂於開挖管線前，拜會地方記者公會理

事長及媒體記者，發送 Q&A、懶人包及簡報等文件（宣），尋求支持。

- 2、邀請地區媒體記者說明天然氣使用安全性、施工規範、工法，可大幅減少空汙，有利環境改善及路權申請的合法性，取得認同公司各項作為，天然氣對促進屏南週邊地區經濟發展與空污減量咸有助益，允諾採用客觀、正面方式報導（如圖 3、4）。

圖 3 媒體報導圖

圖 4 媒體報導



(九) 嚴密督工品質：

解決陳抗隨即面臨工程壓力（舊管已埋設長達 21 年需重新評估檢測、新管建置、新建整壓站、潛鑽如何貫通林邊大橋等），採「專業監工、專案管理、高階督工」等模式，強化「監管的密度與強度」，「日日督導、週週檢討」，期能如質、如期完工，達成全線貫通供氣之目標（施工作業如圖 5、6）。

圖 5 施工作業

圖 6 施工作業



結語

屏南工業區的貫通，帶來三方面效益，一是廠商因改用天然氣，價格較便宜，節約成本；二是解決空汙的問題，還給鄉親健康的環境；最後才是公司業績上揚。一舉多得的作為，期間所有的努力都很值得，心得如后：

一、化解陳抗群眾歧見很難，展現誠意決心卻很容易：

偏鄉地區鄉親的觀念較保守，要改變其想法、觀念並不容易，唯許多作為仍需逐一展開，各個擊破是很好的方法，掌握意見領袖，藉由第三方力量（如村長、代表等）引見，建立溝通管道，瞭解陳抗訴求，盡可能解決，達成協議。

二、運用關係掌握重要關鍵人物：

先期調查公司員工的周遭人事物及連帶背景關係，掌握資深員工對外交際人脈及地區公家機關力量，亟力找出地方重要人士，可與陳抗帶領者、意見領袖溝通，並代表我方談判意見，全力延攬，為我所用。

三、勤能補拙，凡事不要等待，去做就對：

凡事起頭難，只要掌握方法，瞭解來龍去脈，細心面對，勇往直前，集思廣益，一定會撥雲見日，達成任務。

參考文獻

- 一、欣欣氣爆律師：榮民要會做工程、當醫生、賣天然氣，2014/08/18 今日新聞-生活中心報導。
- 二、I-pingtung.com/ 屏東導覽 - 尋訪屏東、認識屏東。
- 三、<https://www.thenewslens.com/article/168697/> 缺乏能源的臺灣，電力從哪裡來？未來三年臺灣將處於供電極度吃緊的狀態，2022/07/18。
- 四、<https://www.storm.mg/article/4475430?mode=whole~> 風傳媒 / 臺海封鎖戰 9/ 唐筱恬。
- 五、瓦斯季刊 136 期 / 天然氣將扮演全球碳中和之重要表現 / 謝俊雄 / P32。
- 六、瓦斯季刊 141 期 / 環境劇變中的能源市場 -2021 年全球能源統計回顧 / 翁榮南 / P38。

漫談瓦斯表的過去、 現在和未來發展

作者 卓 群

前言

瓦斯表是一種用於量測天然氣和液化石油氣等可燃氣體的體積流量專用計量器，更是燃氣事業經營者的命脈，沒有量測燃氣的工具，就無法得知所接收/購入、售出的燃氣量。相較於由水流帶動齒輪計量的傳統機械式水表，及通過電流、電壓線圈產生交變磁場轉矩計算電流用量的舊式電表，瓦斯表計量受到天然氣體積壓力、溫度的影響很大，比水、電和其他能源更難精確量測。公用天然氣事業初創時因沒能掌握產品銷量的儀表，導致高投資及成長緩慢，讓經營者屢陷困境。瓦斯業者每年投入大量資金安裝、維護及升級，使類似「收銀機」的瓦斯表成為產業價值鏈中非常重要的一環，隨著科技的發展，瓦斯表除單純的計量(費)，更發展其他創新的附加價值，如透過通信子機遠端抄表、讀取用戶資訊、蒐集大數據，用戶使用手機獲得天然氣相關資料等，但最重要的作用是提供更節能、安全、有效及便利的服務，本文整理不同時期瓦斯表的發明和基本工作原理、當今瓦斯表的應用和未來的發展趨勢供參。

一、天然氣的起源和應用

數千年前希臘、波斯(今伊朗)及印度均有從溫泉中滲出源源不絕火焰的記載，顯示當時已知天然氣的存在，但受到儲存、輸送和容器的限制，大都用來敬拜神祇及占卜。約 2500 年前西漢古籍《蜀王本紀》記載中國四川西境所開鑿的第一口天然氣井「臨邛火井」，以竹管銜接輸送天然氣，做為蒸發海水製鹽的燃料，在其他運用非常有限。

1785 年荷蘭 - 比利時學者讓 - 皮埃爾·明克勒斯(Jean-Pierre Minckelers)使用燃氣為任教的魯汶大學禮堂照明，開啟燃氣在日常生活中的應用。1792 年英國推出從煤炭製成煤氣的工藝，同年蘇格蘭發明家威廉·默多克(William Murdoch)發明煤氣燈。1807 年 1 月 28 日居住於倫敦的德國企業家弗里德里希·艾伯特·策(Friedrich Albert Winzer)為慶祝英王喬治三世生辰，在帕摩爾(Pall Mall)街舉辦用煤氣燈將圖像疊加在街道建築物牆壁上的特別展覽，為全球第一個煤氣燈光影藝術。1812 年倫敦議會核准倫敦、西敏煤氣燈和焦炭公司(London

and Westminster Gas Light and Coke Company) 公共照明的特許經營權，為世界上第一家燃氣公司，1813年12月31日西敏橋 (Westminster Bridge，如圖 1) 的夜晚被煤氣燈照亮。至於燃氣收費的部份，尚無現今的「燃氣表」，全靠燃氣公司評估用戶大約使用的時間而訂合約。燃氣公司巡檢員夜晚巡視用戶，於合約將屆時，在人行道或路邊用木杖敲擊提醒用戶，如用戶未處理續約及繳費，即停止供氣服務。後來作法有稍作改進，依據用戶家中煤氣燈的數量和可能的燃氣用量收取費用。第一批開發的燃氣表以「五燈 (Five Light)」、「十燈 (Ten Light)」分級，意即用戶的用量為五盞或十盞煤氣燈的等級，收費方式是定額而非用量。在當時一盞煤氣燈是依據每小時 6 立方英尺 (0.1699 立方公尺) 消耗量為基礎計算 (與目前市面上所使用的「五燈表」，每一小時相同壓力下氣體的流量是 5 立方公尺的意義完全不同)。後來發現有些煤氣燈 24 小時都在使用，有些燃氣噴嘴 (Ports) 被擴大，用量比估算值要多，也有些從管線被拆下並未使用，加上漏氣 / 偷氣事件層出不窮，綜觀所發生的現象，燃氣公司唯有安裝可正確量測產品使用及收費的儀表，才能繼續營運。

圖 1 倫敦西敏橋煤氣燈



二、瓦斯表的濫觴

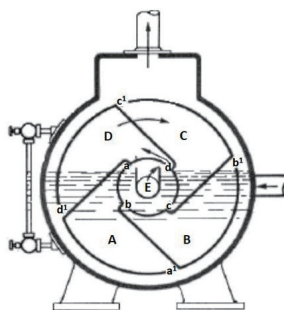
早期的燃氣表有兩種：一種稱為「濕式表 (Wet meter)」，需加入水或油，才能發揮作用；另一種稱為「乾式表 (Dry meter)」，不需加入液體即可量測。第一位使用燃氣表的是英國工程師塞繆爾·克萊格 (Samuel Clegg)，約在 1815 年為多項發明申請專利，其中 3968 號的水封式旋轉鼓輪煤氣表，被用來量測煤氣燈的煤氣消耗量，及記錄通過管道煤氣的體積，可視為早期的燃氣表，Samuel Clegg 也是第一位建立英國燃氣網路的工程師。

1817 年初美國第一盞公共路燈照亮馬里蘭州巴爾的摩的市場街道。

巴爾的摩煤氣燈公司 (The Gas Light Company of Baltimore) 是美國第一家以蒸餾焦油和木材製造煤氣的商業煤氣照明公司。1832 年美國工程師塞繆爾·希爾 (Samuel Hill) 在巴爾的摩市製造第一臺水封旋轉鼓輪式家用煤氣表，依據鼓輪旋轉的數目計算煤氣的輸出量，同時創立美國第一家燃氣表製造公司。1834 年巴爾的摩市開始裝設家用燃氣表，定額制 (Flat rate) 計費方式走入歷史，然而燃氣表量測誤差大，公平性受用戶質疑。

最早期的濕式燃氣表由一個圓柱形鼓所組成 (如圖 2)：A,B,C,D 為計量腔室，E 為燃氣進口，a,b,c,d 是計量腔室入口，a¹,b¹,c¹,d¹ 則是計量腔室出口。濕式燃氣表通常分為 4 個或更多量測腔室 (Compartment)，填充部分的液體 (水或油) 後密封。使用燃氣時量測腔室入口和出口之間的壓降造成滾筒旋轉，腔室逐一由固定體積的氣體置換為液體，滾筒轉一圈代表已知體積的氣體被添加到計數器中完成計量。雖然濕式燃氣表已稱得上是精確的計量設備，但缺點為保持初始校準值，液位必須維持恆定，因蒸發會影響燃氣表的準確性。其次為減少燃氣的洩漏，氣體必須盡可能在低壓情況下流動，但水的阻力會增加輪軸的摩擦力，輪軸轉動時各物件的摩擦力差，構成滾筒內的壓力和震動，加上難以克服的材料腐蝕和體積龐大等問題，在歷經多位工程師實施改良，如調整腔室中隔板至水通過的角度、省去彈簧、閥門、渦旋管降低阻力，採用 5 個偏心腔室 (Exocentric chambers) 減少壓力，增加儀表轉動速度，改變出口和入口罩的形狀，降低水位變化引起的誤差及補償計量等，未見顯著改善。塞繆爾·克萊格在 1858 年為新型液壓氣量計 (New hydraulic gas meter) 申請專利，但濕式燃氣表的製作工序複雜，成本高及維護不易，特別是安裝於冬季氣溫低於攝氏零度的地區，在沒有供暖的情況下，會結冰而無法運作，又因第一個被用來量測燃氣廠輸出的濕式燃氣表直徑達 16 英呎 (4.88 公尺)，發明家自然將重心轉向無需加水的乾式燃氣表上。

圖 2 濕式燃氣表



三、濕式燃氣表與乾式燃氣表

事實上，乾式燃氣表在發展方面並未落後濕式燃氣表太多。塞繆爾·克萊格的同事約翰·馬拉姆 (John Malam) 在 1820 年發表乾式燃氣表，同時申請專利。

最早期的乾式燃氣表主要由閥門、風箱、凸輪、棘輪和計數器所組成，原理是閥門由風箱打開，通過的氣體越多，風箱升得越高，帶動凸輪，讓指針上升或下降，進而通過棘輪轉動計數器，計算氣體用量。

1833 年英國工程師詹姆士·博卡達斯 (James Pocadas) 發明濕式膜式計量表 (Diaphragm meter)，膜的材料是浸過油的絲絹；1844 年世界上第一個乾式膜式計量表由英國工程師湯瑪斯·格洛弗 (Thomas Glover) 發明，此表有兩個圓形皮革隔膜、滑動閥，與濕式表一樣，以不同的體積增量測量氣體。1853 年山繆爾·唐 (Samuel Down) 在紐約世界博覽會上推出長方形膜式表。1855 年乾式燃氣表贏得煤氣燈公司的認可，濕式燃氣表最終被淘汰。

四、膜式表

膜式氣量計 (Diaphragm gas meters，如圖 3) 是種正位移計量裝置 (Positive Displacement Measurement)，由於結構差異而有許多不同的類型，但基本作動原理卻十分類似，內裝均有 2 個柔性薄膜，每一薄膜的兩側各形成容積固定的計量腔室；當燃氣自進氣口進入計量腔室產生壓力，推動薄膜而使其膨脹，待充滿燃氣後，由計量腔室上方之滑閥切換氣流流向而排出，透過滑閥使計量室與氣量計的進口和出口交替作用，轉換成相應的體積量，並帶動連桿機構而將充氣排氣的循環次數傳遞到計數裝置，只要計算循環次數，即可正確的計量氣體體積。早期薄膜多為皮革材質，今日則大多由防水耐用的橡膠塗層織物 (Rubber-coated fabric) 製成。

圖 3 膜式氣量計基本結構



五、燃氣事業的發展模式

英國及美國燃氣事業均起源自 19 世紀初期，且皆由公共街道照明進入家庭照明，再逐步供應家庭烹飪和取暖。1865 年英國將人工煤氣引進上海租界，成立「大英自來火房（後更名為上海英商煤氣公司）」，以煤氣路燈取代煤油燈，成為亞洲第一個使用燃氣的城市。1872 年橫濱鐵路系統自英國引進第一盞煤氣燈，開啟日本的燃氣事業，1885 年東京瓦斯株式會社從東京都市政府接收城市燃氣業務成為民營公司；然而燃氣照明並未全面進入家庭，因 1879 年 10 月 21 日美國科學家愛迪生發明電燈，1886 年第一家私人電力公司「東京電燈 (Tokyo Electric Lighting)」成立，翌年對社會大眾供電，主要是照明業務，約 1900 年燃氣開始用來取暖和烹飪。

1949 年前幾乎所有的燃氣都是以煤炭或重油做為原料的人工煤氣（水煤氣），1953 年日本開始供應家庭用戶燃氣，其主要成分為煤製氣 (Coal-based)94%、廉價石油產品製成的蒸餾油氣 (Oil-based)4%、自產天然氣 2%。1950 至 1960 年煤炭價格大漲，煤製氣的比例逐年降低，1960 年燃氣的成分為煤製氣 85%、蒸餾油氣 10%、自產天然氣 5%，1965 年煤製氣 47%、蒸餾油氣 43%、國產天然氣 10%，1966 年後石油產品已成為城市燃氣主要的原料。1953 年液化石油氣（丙烷）同時進入家用燃料市場，以 10 公斤鋼瓶（俗稱達磨” daruma”）和木炭、煤及木材一併由燃料供應商販售，1961 年「通商產業省 (2001 年更名為經濟產業省)」在家庭能源需求占比的調查首次出現液化石油氣的能源項目，占比為 5%，標誌著液化石油氣在此時期快速普及。液化石油氣（桶裝瓦斯）是由供應商送到用戶家中，由於沒有測量鋼瓶中剩餘氣體容量的機制，消費者對鋼瓶內可能還殘留燃氣存疑。另一方面，供應商必須全天候處理客戶的電話訂單，也形成供應商和消費者間的緊張關係，在此氛圍下矢崎業株式會社 (Yazaki Corporation)1963 年推出第一具液化石油氣鋼瓶專用表 LP10。

LP10 的設計係針對鋼瓶使用過的氣體量而非剩餘量，利用從鋼瓶中氣化的石油氣驅動渦輪葉輪 (Turbine wheel)，帶動指示針累加，當燃氣壓力不足時會變成紅色指示，提醒用戶準備要”叫瓦斯”。

1967 年日本燃氣產業逐漸從以煤炭和石腦油 (Naphtha) 做為原料，生產合成氣 (Reformulate Gas,RFG)，供應用戶的做法轉換為自產天然氣，1969 年 11 月東京瓦斯及東京電力公司聯合與美國菲利浦斯石油公

司和馬拉松石油公司 (Phillips Petroleum and Marathon Oil) 簽訂採購合約，自美國阿拉斯加· 尼基斯基 (Nikiski, Alaska) 的基內液化天然氣港 (Kenai LNG) 進口第一船液化天然氣，目的地橫濱港，開啟進口天然氣的新頁，「東京瓦斯」自此用戶快速成長，截至 2022 年底用戶數已超過 1,200 萬，是全世界最大的民生用天然氣公司。

六、智慧瓦斯表應運而生

一般天然氣的熱值約在 $8,000 \sim 11,000 \text{Kcal/m}^3$ 間，較合成氣熱值 $2,400 \sim 4,100 \text{Kcal/m}^3$ ，高出 1 倍以上，表示通過瓦斯表的天然氣流量減少，對於消耗量的精確度要求更高。1980 年代日本經濟起飛，在建築業蓬勃發展和半導體領域突飛猛進的環境下，許多產品的機械化設計被推向電子化。有感於傳統瓦斯表的安全性不足，「通商產業省 (METI)」邀集瓦斯協會、瓦斯表製造業者及電子產業研商製造集精密量測、安全於一體的智慧儀表，功能必須滿足遙測和遙控，亦即可遠端讀表和開啟 / 關閉閥門，管控電池的耗電量及公用事業服務數據，如測量每一小時單位時間的天然氣消耗量，每 30 分鐘測量逆流 (Reverse flow) 及時間數據。1983 年「阿自倍爾金門株式會社 (Azbil Kimmon Co, Ltd)」推出稱為 MICON (微型計算機) METER-1 的微電腦瓦斯表，在 5 年的先導測試期間總共裝置超過 40,000 具，測試成果顯示微電腦瓦斯表不僅可靠度高，同時也能降低生產成本，主要功能是當地震震度超過 5 級時會自動關閉天然氣供應，避免 2 次災害，1983 年可視為智慧瓦斯表的元年。1986 年正式推廣家庭用戶使用微電腦瓦斯表，1987 年 MICON METER-2 性能提升增加通信功能，且大幅降低電池的耗電量，壽命從 7 年延長至 10 年，1998 年增加雙向閥功能，可以遙控方式開啟及關閉瓦斯閥門。1995 年阪神大地震 (規模 8.7 級強震) 並未發生嚴重的 2 次災害，1997 年立法強制住宅用戶安裝微電腦瓦斯表，迄今幾乎完成 100% 安裝，2011 年 311 東日本發生規模 9.0 超級巨震，事後檢討因瓦斯洩漏所引起之火災事故趨近於零。

七、我國微電腦瓦斯表使用情形

近年來政府大力推廣微電腦瓦斯表，民眾對於「漏氣遮斷」、「超時遮斷」和「地震遮斷」等三大功能大都能朗朗上口，但在何種情況下發揮功能可能不甚瞭解，整理其安全機制及限制如表 1。

表 1 微電腦瓦斯表功能

安全功能	啟動時機	復歸條件
漏氣遮斷	●當連接瓦斯器具的軟管脫落、破洞或其他因素造成瞬間天然氣流量超過計量表設計最大流量的 1.7 倍 (法定為 2 倍)，即會在 1 分鐘內遮斷 (規定為 2 分鐘)。 ●微漏 (日本設計之最長延時遮斷時間為 30 天，我國為 7 天)。 ■流量未達 $0.07\text{m}^3/\text{h}$；7 天後遮斷。 ■流量介於 $0.55\text{m}^3/\text{h}\sim 4.39\text{m}^3/\text{h}$；各瓦斯公司可設定遮斷時間自 40 分鐘至 720 分鐘 (12 小時)。 ■亦可設定流量小於 $4.39\text{m}^3/\text{h}$，統一於 12 小時遮斷。	用戶無法自行復歸，需要瓦斯公司派員排除漏氣情況重新設定。
超時遮斷	依據使用流量，當超過設定之正常使用時間，流量越大越快遮斷。 如流量變化超過 3%，偵測時間重新計算，同時被視為有人監看正常使用中。	可自行復歸。
地震遮斷	瓦斯使用中，當地震震度達到 5 強 (200 Gal) 立即遮斷供氣。	可自行復歸。
供氣壓力過低遮斷	當瓦斯外管脫落或其他原因造成壓力低於 $0.004\text{kg}/\text{cm}^2$ ，立即遮斷供氣。	可自行復歸，復歸後會自行氣密檢查。
電力不足遮斷	當電池電力不足或使用超過 12.5 年。	無法自行復歸。
復歸安全偵測	長按復歸鈕 3~5 秒後 LED 燈會長亮 3~5 秒 (偵測瓦斯表供給壓力)，微電腦表將自動進行壓力及氣密安全偵測約 3 分鐘，在此期間內如有大於 $0.02\text{m}^3/\text{h}$ 流量，將自動關閉閥門，自行偵測期間 LED 燈持續閃爍，停止後即可恢復正常使用。	
LED 顯示	●日本設計不同閃爍方式代表不同之狀況，我國為節電，所有狀況均為一閃一滅。 ●自動遮斷後會閃爍。 ●偵測到微漏時會閃爍。 ●按下復歸按鈕後會閃爍，直到完成內部安全檢測。	

從上表中可知微電腦瓦斯表的特點：

- (一) 漏氣遮斷：在大量漏氣 (超過設計最大流量的 1.7 倍) 時 1 分鐘內會自動遮斷，如果是微漏，視洩漏嚴重程度 (流量介於 $0.55\sim 4.39\text{m}^3/\text{h}$)，等待 20 分鐘至 7 天才會遮斷，且微電腦瓦斯表設計，流量變化超過 3% 時會重新計時，即使有微漏，當開始使用爐具、烘衣機或熱水器等瓦斯器具，計時才會歸零，換言之只有完全停止使用後的 40 分鐘至 12 小時才會遮斷，因此微電腦瓦斯表搭配瓦斯偵測器是更安全的作法。
- (二) 超時遮斷：連續使用超過瓦斯公司設定使用時間即會遮斷，例如設定使用大流量之上限時間為 40 分鐘，當超過時立即遮斷，使用中瓦斯流量變動超過 3%，將重新計時而不會遮斷。
- (三) 地震遮斷：天然氣必須在使用中，發生 5 強以上震度之強震，微電腦瓦斯表會立即遮斷供氣。

八、明天過後

微電腦瓦斯表雖然提供許多現代化的安全和便利性，但最大隱含缺點是如何快速處理自動遮斷後的「復歸 (Restoration)」作業，在最短的時間內讓瓦斯表恢復正常工作，是所有公用事業業者最戒慎恐懼的事。目前沒有強震造成大量用戶被遮斷供氣的情況，但偶有發生用戶微電腦瓦斯表不明原因自動停止供氣的情形，透過電話經常無法順利處理復歸問題，需派員至現場處理，對於人力調配造成極大負擔。

九、他山之石

由表 2 中可以看出日本自 1995 年阪神大地震，天然氣供應受影響 857,400 戶，自全國各瓦斯公司派遣支援人力約 9,700 人次，歷時超過 3 個月方恢復全面供氣，2011 年 311 東日本大地震約 402,000 戶受到影響，4,600 人次參與救援，歷經 39 天恢復，2018 北大阪地震 112,000 戶受災，5,100 人次救援，7 天即恢復供氣，固然每次的災損狀況不同、程度不一，不能做持平的比較，但卻明顯可以看出對災後的復原重建工作一次比一次進步，其中細節深值國內同業師法，納入日常的教育訓練，以因應突發之狀況。

表 2 日本近 30 年發生震災天然氣受影響用戶數及恢復天數

發生日期	地震地區	最大震度	影響戶數	支援人力	恢復天數
1995.1.17	阪神淡路	7.0	~857,400	~9,700	94
2004.10.23	新潟縣中越	6.8	~56,800	~1,600	30
2007.7.16	新潟縣中越沖	6.8	~34,000	~2,600	30
2011.3.11	東日本	9.0	~402,000	~4,600	39
2016.4.16	九州熊本	7.3	~101,000	~4,600	15
2018.6.18	北大阪	6.1	~112,000	~5,100	7

微電腦瓦斯表的地震遮斷只是整體天然氣防災系統的第一道防線，當地震震度到達 5 強 (200Gal)，瓦斯表會立即關閉閥門。2005 年天然氣事業法規定：十樓以上之建築物、位於地下室或總樓地板面積在 500 平方公尺以上之餐廳、旅(賓)館、百貨商場、超級市場等場所及政府機關、醫療院所等必須裝置「緊急遮斷設備 (Emergency Shut Valve,ESV)」。

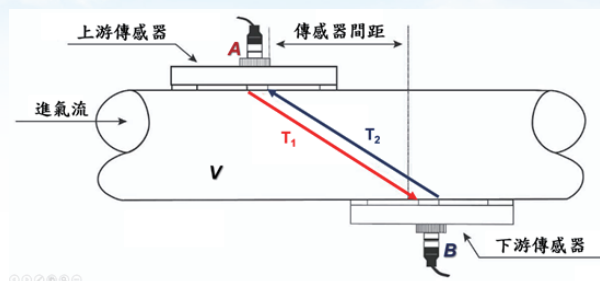
另外，瓦斯公司針對供氣管網事先劃分不同的區域，在整壓站當中設置地震儀，當地震 SI 值到達 60~90cm/sec 時即整區停止供氣，或依據對於災害預測程度，以手動或遙控方式關閉閥門。

十、超音波瓦斯表

2005 年 7 月日本推出家用型超音波瓦斯表，為用戶安裝 42,000 具進行 5 年的先導測試，結果證明高度可靠，同時在成本上也可與傳統的膜式表競爭。超音波瓦斯表為全電子化儀表，與傳統膜式表最大的不同有下列幾項：在量測單元中沒有可以移動的零件、電子元件取代機械零件，模組化封裝大大減少組件的數量，通信介面具擴展性，且耗電量低，耐用並降低生產的成本，預計 2024 年市占率可成長至 37%。超音波流量計使用「重複逆向傳播時間差法 (Repetitive Inverse Transit Time Difference Method)」，測量流經管道的氣體或液體，儀表在整個管道中發送聲波頻率，並測量由顆粒和氣泡反射回來的頻率，從而計算出流量。下圖中兩組超音波傳感器 (Transducer) 分別斜置於對向氣體的上游 (A) 與下游 (B)，傳感器施加電壓產生超音波，計算超音波從上游發送到下游傳感器所耗費的時間 (T_1) 和電壓的變化，再自下游到上游相反的方向發送超音波，計算花費的時間 (T_2) 換算燃氣流速，將流速乘以流路的

橫截面面積求出燃氣流量。超音波瓦斯表 (如圖 4) 的發明超越持續百年來的膜式計量方法，以奈米秒 (十億分之一) 為單位進行精準的計量，低耗電的技術使得電池壽命更長。再加上，超音波瓦斯表沒有膜式表內的膜腔及齒輪等機械驅動裝置，使得結構上變得簡單，機體也變得小型化和輕量化，面對部分客戶裝置空間的限制，有更大的彈性選擇。同時，在降低壓力損失、寒冷地區的防凍結、消除機械震動音等性能上也有顯著的提升。並且應用電子燃氣表擅長的瞬間流量即時計量的技術，讓內管洩漏檢測、復位洩漏確認等的功能更容易完成。

圖 4 超音波流量計基本原理



2010 年日本「經濟產業省」組成「智慧表研究小組 (The Study Group on the Smart Meter Scheme)」，成員包括水、電、瓦斯等公用事業業者、水表、電表、瓦斯表廠商及通訊業者，經過廣泛研討做出結論，摘述如后：

(一) 智慧表的功能需求：

- 1、能夠遙測和遠端控制開關 / 閥門。
- 2、交換的數據資料有耗電量及其他公用事業服務數據、逆流 (Reverse flow) 量測和時間數據，測量間距為每 30 分鐘乙次。其中，對於天然氣消耗量及時間等相關數據，測量間距為每 1 小時乙次。
- 3、資訊接收方：為客戶和電力 / 天然氣公用事業提供雙向資訊服務。
- 4、資訊提供時限：原則上，假設用戶位於公用事業業者服務範圍內，任何申請指定日期的數據，最遲應在第 2 天提供。

(二) 處理耗電量和其他公用事業服務數據：

- 1、耗電量和其他公用事業服務數據必須由公用事業業者適當地送交給客戶，為有效地通知客戶，應儘快向客戶提供此類數據。
- 2、從智慧瓦斯表到客戶的資訊路徑中不設定任何的限制，並探討即時發送數據資料的可能性。
- 3、做到個人資料保護，避免隱私外洩和安全問題。

2011 年 311 東日本大地震和福島核災後，促使人們更迫切需要智慧瓦斯表提高能源安全，政府要求包含建築物和家庭智慧瓦斯表多達 1 億個物件連接到物聯網內。

十一、瓦斯表的未來發展趨勢

2020 年 9 月「經濟產業省」經過 2010-2011 年智慧表研究後，再次聯合「資源能源廳 (Agency for Natural Resources and Energy, ANRE)」組成「次世代智慧表系統研究小組 (Next Generation of Smart Meter System Study Group)」，成員除公用事業單位、智慧表生產商，尚包括電信業者，希藉由智慧表「物聯網 (Internet of Things, IoT)」提供有關能源的詳細資訊、使用模式，讓消費者意識到節約能源的重要性，並激勵更有效率的使用能源，打造低碳社會。雖然在 10 年前每 30 分鐘和 1 小時的量測頻率獲得共識，解決當時的問題，但是 30 分鐘卻成為創新業務和開展新功能的障礙。物聯網的基本定義是透過傳感器、軟體和其他技術互連物件，與其他設備及系統傳輸、接收資料。由此可知，物聯網上所有的「東西 (Things)」都要能即時存取網際網路，智慧表更需具備即時遠端存取的功能，此為重大的挑戰，由於傳統瓦斯表透過睡眠模式節省電池壽命，每日僅啟動乙次，將數據發送至雲端處理資料更新，以維持電池的壽命，但是災難何時發生無法預料，因此智慧表必須時刻保持連網狀態，當發生地震和海嘯時，才能即時遠端關閉閥門和提供各項加值服務。

隨著物聯網逐漸成為日常生活中的一部分，預計 2028 年全球將有 60% 的家庭安裝 (包括智慧水表、電表和瓦斯表等) 可以連接物聯網的新一代智慧表，物聯網也將成為行業的標準，提供更好的能源網路管理，改善預測和客戶服務，並為消費者提供更高效的能源使用。

瓦斯表自 1815 年問世至今已超過兩個世紀，從單純的計量收費逐漸發展成為一種能源管理和重要的防災工具，從龐然大物到精緻靈巧，除最普遍使用的家庭用表，更衍生出各種的專用表，如供大流量的商用轉子表、渦輪表，工商業專用皮膜表，使用習慣不同的有 IC 充值預付卡等，各種瓦斯表的功能更是不可同日而語，從傳統的樓梯間張貼自填表單，用戶填寫用量，再由抄表員收回統計輸入系統計費，進而發展到電話語音 / 上網自報度數，再進化到「自動抄表系統

(Automatic Meter Reading,AMR)」，以近端感應或遠端自動回傳用量至瓦斯公司。

智慧表已是非常成熟的計量儀器，但許多功能卻難以獨自運作，於是「先進計量基礎建設 (Advanced Metering Infrastructure,AMI)」應運而生，包含水、電和瓦斯等公用事業。簡單說 AMI 是整合智慧表、通信網路、數據管理系統提供公用事業和用戶之間的雙向通信即時系統，許多以往不可能或必須手動執行的重要功能，如遠端抄表 (Remote Metering)、近端抄表 (Near end meter reading)、大數據 (Big Data)、資料探勘 (Data Mining)、預測分析 (Predictive Analysis)、高效能運算 (High Performance Computing,HPC) 和具有無限想像空間的人工智慧加值服務，如與熱感測器 (Thermal Sensor)、磁感測器 (Magnet Sensor)、一氧化碳偵測器、火災警報器及瓦斯警報器等連接提供家庭保安服務。熱感測器即耳熟能詳的紅外線偵測器，藉由人體所發出的熱能達到防盜的功能，磁感測器則一般裝置於門窗，用於防盜，上述的家用偵測器均先連接至家中的控制器，再經由網際網路和虛擬專用網路路由器 (Virtual Private Network,VPN Router) 連接進入瓦斯公司的電腦。

結語

以上對於瓦斯表林林總總的敘述仍難脫以管窺天之窘境，希拋磚引玉啟動更多的腦力激盪。當然，再好的功能也要考慮成本，如果所有瓦斯表的資訊都隨時連接在網路上，通訊費可能會超過瓦斯費。另外，智慧表自動遮斷後的復歸一直是一個重大的議題，好消息是超音波瓦斯表已具有自動復歸功能，對於一些不違背安全的遮斷項目，設計為可自動復歸，如地震遮斷後經過自我安全檢測無虞後，即自動恢復原有功能。隨著科技日新月異，人類的生活將越來越舒適，但就像當今最夯的話題：電動車具自動駕駛功能，端視是否敢將生命交付人工智慧器械上？天然氣是清潔、安全、便利的能源，但大前提是一定要做好應對所有情況的萬全準備。

參考文獻

一、網路資訊 History of lighting

https://www.thevictorianemporium.com/publications/history/article/history_of_lighting

二、網路資訊 A SHORTH HISTORY OF DIAPHRAGM GAS METERS
PART I DESCRIPTION OF THE PRIOR ART

https://www.researchgate.net/publication/283045999_A_SHORTH_HISTORY_OF_DIAPHRAGM_GAS_METERS_PART_I_DESCRIPTION_OF_THE_PRIOR_ART_O_SCURTA_ISTORIE_A_CONTOARELOR_DE_GAS_CU_MEMBRANA_PARTEA_I_DESCRIEREA_PRIMELOR_CONTOARE

三、網路資訊 A SHORTH HISTORY OF DIAPHRAGM GAS METERS
PART II EVOLUTION OF MODERN DIAPHRAGM GAS METERS

https://www.researchgate.net/publication/283045904_A_SHORTH_HISTORY_OF_DIAPHRAGM_GAS_METERS_PART_II_EVOLUTION_OF_MODERN_DIAPHRAGM_GAS_METERS_O_SCURTA_ISTORIE_A_CONTOARELOR_DE_GAZ_CU_MEMBRANA_PARTEA_A_II-EVOLUTIA_CONTOARELOR_MODERNE_DE_GAZ_CU_MEMBRANA

四、網路資訊 Gas meter readings and bill calculation

<https://www.gov.uk/guidance/gas-meter-readings-and-bill-calculation>

五、網路資訊 Is Your Gas Meter Too Small?

<https://jmcinspections.com/is-your-gas-meter-too-small/>

六、網路資訊 Why are gas meters temperature and pressure compensated?

<https://blog.intellimeter.com/why-are-gas-meters-temperature-and-pressure-compensated>

七、網路資訊 FUNDAMENTAL PRINCIPLES OF DIAPHRAGM METERS

<https://asgmt.com/wp-content/uploads/pdf-docs/2006/1/A6.pdf>

八、網路資訊 What Is Advanced Metering Infrastructure?

<https://envocore.com/blog/what-is-advanced-metering-infrastructure/>

九、網路資訊 Spectral intensity (SI)

https://www.azbil.com/corporate/pr/atoz/spectral_intensity/index.html

瓦斯人的園地之一

欣泰石油氣公司高級專員 吳永順

民國 108 年中以屆退官兵身分至輔導會職訓中心參加「公用管線工程師班」職業訓練，先後取得「自來水管配管乙、丙級」、「丙級工業用管配管技術士」、「特定瓦斯器具裝修」、及「氣體燃料導管配管乙、丙級」等多張證照，結訓後順利錄取欣泰公司，擔任技術部門作業人員，歷練養護、工務等相關作業，工作表現優異，深獲主管肯定。

從軍人身分成功轉職至民營企業，看似一帆風順的過程，其實是歷經不斷學習、堅持、認真打拼的結果。個人成功轉職的經驗，認為「虛心學習」及「堅持努力」是兩個很重要的關鍵。

剛踏入職場時，儘管輔導會職訓中心所受的訓練已具備基本的學理基礎及一般性操作能力，但因應機器設備的差異性，實務操作上仍有許多不同的地方，必須多問多學。始終抱持著不恥下問、虛心學習的工作態度，一步步精進專業，最終獲得長官同事的肯定。

此外，當卸下軍裝，決定踏入民間企業任職，一定要做好抗壓的心理準備，遭遇挫折必須抱持堅定的信念，自我鼓勵，積極向上，不斷努力。尤其面對他人質疑，用放大鏡檢視工作態度或能力時，千萬不要輕言放棄，拿出軍人堅毅的本質，展現積極態度，假以時日，必能贏得主管及同事的信任，闖出一片天。



瓦斯人的園地之二

陽明山瓦斯公司幫工程師 包祥生

感謝公司長官的肯定，個人有幸成為 111 年度優秀從業人員，將秉持努力不懈的精神，堅持到底，向前邁進。

進入公司已滿 10 年，回想剛到公司第一件差事是支援挖掘馬路，此情此景歷歷在目，彷彿昨日。由於公司對員工的教育訓練非常審慎嚴謹，個人亦從基本的修護開始學習，進而瞭解管件、工具、工法，及更換後巷共用管、支管等，對增強及提升本職學能，受益匪淺。

7 年前職務調整，負責陰極防蝕、微電腦表、瓦斯安全緊急遮斷設備等業務，激發求知及追根究底的本能，因此順利解決諸多疑難雜症。個人感到自豪在於有關微電腦瓦斯表遮斷判讀的部份，從無數個案中累積學習經驗，瞭解用戶需求，並在安全為前提下，呼應用戶習慣，量身設定微電腦表內部參數，使其誤遮斷率降低。另外深感榮幸的是奉派參加新竹工研院舉辦「106 年度地下高中壓管線防蝕檢測及低壓管線定期檢測專業訓練（北區）」課程，更進一步瞭解陰極防蝕系統原理及可能發生於工作上之問題；閒暇時也經常上網觀看防蝕工程期刊與業務相關的資料，俾吸收新知，精進技能。

未來除持續於工作崗位上精進本職學能，並將所學分享後輩，以達教學相長之效。



瓦斯人的園地之三

欣隆天然氣公司副課長 周承緯

承蒙公司推舉獲得 111 年度瓦斯協會優秀從業人員的獎項，除備感殊榮外，也非常感謝公司對個人的肯定及瓦斯協會提供的平台和機會。

回首 10 年前加入欣隆這個大家庭，從最初的懵懂生疏，凡事必須仰賴長官、前輩及同事指導和協助，一路學習、成長至今，期間最感動莫過於每當遇到挫折困難，均能立即受到幫忙、關懷及鼓勵，這也是公司最暖心的一塊。

在欣隆的職涯歷程中，隨著服務的客戶量越來越多，加上主管機關日益嚴格的要求，公司對員工的期望不再停留只會單一技能即可，個人無懼輪調安排，歷練內管查修、現場監工及設計人員等職務，過程中也取得多張專業證照。除技術專業顯著提升外，在任監工和設計期間精進溝通協調、平衡公司立場與客戶需求的能力，致榮升服務課主管乙職，深深感謝公司的栽培及團隊夥伴的支持與努力。

展望未來，身為承上啟下的中階主管，希望將感謝延伸到培育優秀人才、創造和諧工作環境及打造優質團隊方面；另外，面對經營環境日益嚴峻，目前正值公司面臨轉型挑戰之際，將秉持初衷，不斷精進自身專業，並帶領團隊在第一線服務客戶，持續解決問題，締造佳績。



瓦斯人的園地之四

欣湖天然氣公司科員 辛庭瑄

不知不覺進入欣湖天然氣這個大家庭已經接近 10 年，首先感謝公司的肯定及認可，給予在公司服務的機會。

個人任職於業務部門，負責處理氣費帳務、業務推廣及客服相關問題等項目，工作環境優良、氛圍活潑，除能學習各部門相關的專業知識，還可透過與客戶接觸，訓練說話的技巧及溝通能力。由於客服人員站在公司第一線，能立即瞭解客戶的特點和需求，找出核心的問題，並且解決處理。一邊工作一邊學習，體會到說話不但是智慧，也是藝術，進而瞭解語調及快慢都能成就不同的結果，受益良多。在降低客訴率方面，視客戶實際情況，盡力提供合宜的建議和方案，是避免衝突的最佳方法。

近期公司的重大政策即推廣天然氣專用烘衣機，經過不斷的學習，嫻熟產品、觀摩行銷，積累經驗及技能，致能成功售出公司第一臺烘衣機，獲得行政嘉獎及大家長的鼓勵，欣喜萬分，衷心感謝公司的栽培。

期許自己未來仍然不間斷地學習，以加強專業知識及提升工作效率，相信跟隨公司的發展，個人也一定會有大的進步。

