

風雨中 踏浪 前行

柴山多杯孔珊瑚是 2012 年被發表的世界新種
2017 年大潭藻礁發現了它的身影
但學術界對它認識不多……

中油出錢出力監測調查柴山多杯孔珊瑚

2018 年，三接動工前
中油調查發現 75 個群體



調查人員紀錄柴山多杯孔
珊瑚生長狀況

2020 年，三接動工後
中油調查發現 100 個群體以上

沒有調查 就沒有保護

76年10月創刊 111年10月出版

瓦斯季刊 141期

Fuel Gas Quarterly



欣然氣體燃料事業研究服務社 發行

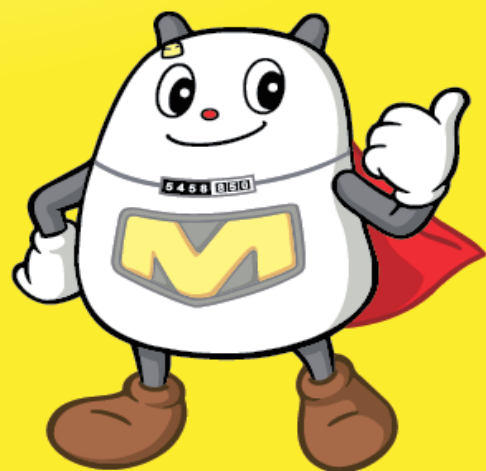
10年換表 首選

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 141期

Fuel Gas Quarterly
76年10月創刊・111年10月出版

目錄



封面說明：

供應利基市場之小型LNG設備

資料來源：

世界天然氣產業產能全開市場擴張

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

郵政劃撥0178888-3號 欣然研究社帳戶

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/

國際瞭望

2 國際天然氣市場關注焦點與未來發展動向

作者／徐瑋成先生

能源探討

25 世界天然氣產業產能全開市場擴張

資深石化人／謝俊雄先生

33 環境劇變中的能源市場--2021年全球能源統計回顧

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

能源展望

50 他山之石--日本邁向零碳社會的雄心壯志

作者／卓群先生

國際天然氣市場關注焦點 與未來發展動向

作者 徐瑋成

一、前言

俄烏戰爭自 2022 年 2 月 24 日發生以來，已持續半年多，初期俄軍保有軍事優勢，大規模入侵烏克蘭境內，甚至一度近逼首都基輔 (Kyiv)。惟隨著歐盟與美國等國之軍事及經濟援助，加上烏軍奮力抵抗，俄軍逐漸喪失優勢，自 4 月後戰情逐漸趨緩，雖尚有零星攻勢與小規模軍事行動，但已無較大規模軍事行動。

然俄國軍事腳步並未停歇，2022 年 8 月對烏國東南部扎波羅熱 (Zaporizhzhia) 核電廠發動砲擊，該電廠同時為歐洲最大核能電廠。外界擔憂此舉將引發更大一波戰事，且隨著攻擊持續擴大，恐有核能輻射外洩之隱憂，因此呼籲俄國應停止攻擊行動。

有關烏克蘭扎波羅熱核電廠地理位置參見圖 1：

圖 1 烏克蘭扎波羅熱核電廠地理位置



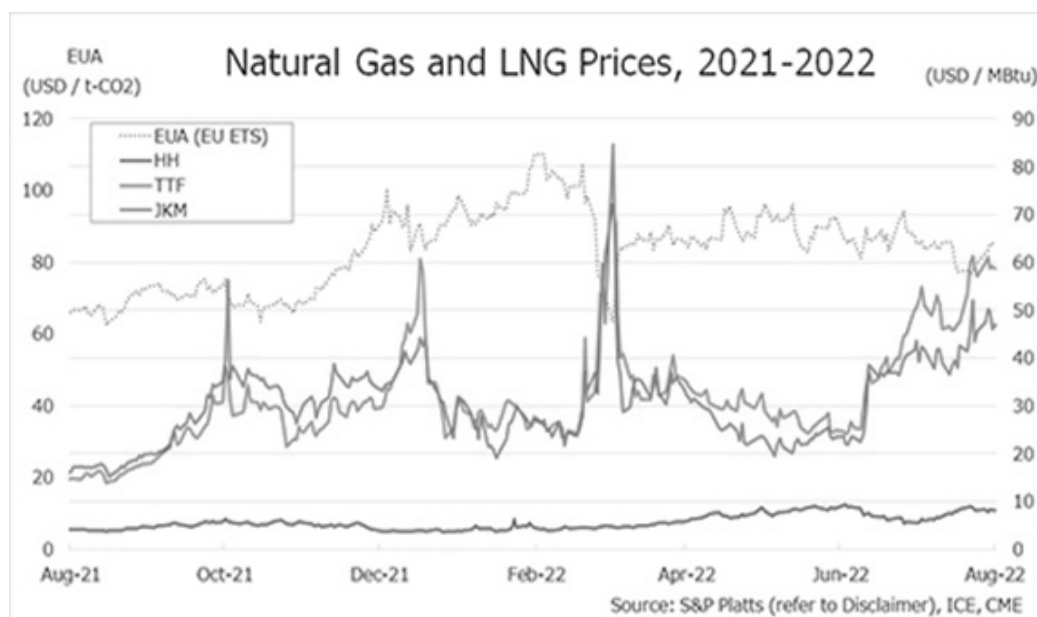
資料來源：BBC-Zaporizhzhia nuclear workers: We're kept at gunpoint by Russians. (2022.8)

截至目前為止，俄烏戰爭仍未見停止跡象，而國際能源市場早已籠罩在不安中，無論是國際天然氣價格之飆升，或是供應不足之隱憂。在看不到戰事的盡頭，且時間逐漸拉長下，所導致的不確定性，對能源市場未來恐有更大衝擊與隱憂。

國際天然氣價格為受俄烏戰爭影響最明顯的指標，尤其是歐洲管道天然氣 (PNG)，歐洲天然氣價格指標 --TTF 現貨價格維持於 58.6 美元 /mmBtu 以上 (2022 年 8 月初)，為下半年的價格高點之一，國際 LNG 重鎮 -- 亞太市場 LNG 價格為 47 美元 /mmBtu 以上 (2022 年 8 月初)，亦為 2022 年下半年以來的價格高點。

有關近期國際天然氣價格變化參見圖 2：

圖 2 國際天然氣價格變化趨勢 (2021 年 8 月 -2022 年 8 月)



資料來源：JOGMEC-Weekly Trend of Natural Gas and LNG Prices.(2022.8)

國際天然氣價格隨著俄烏戰事持續性的影響，預期仍將維持高水位，除價格外，全球天然氣版圖與市場流動亦隨之產生極大變化。另外，各國能源政策及傳統能源使用亦受影響，產生結構性改變。本文以下將概述國際天然氣市場之變化，並探討市場版圖與未來發展趨勢。

二、俄羅斯天然氣供應對全球市場之衝擊與影響

(一) 俄羅斯管道天然氣供應掌握歐洲能源命脈

1、俄羅斯北溪天然氣管道之龐大影響力

2021 年至 2022 年間，俄羅斯天然氣工業股份公司（以下簡稱 Gazprom）其北溪天然氣管道（以下簡稱 Nord Stream）為歐洲最大單一天然氣管道（俄羅斯連結德國的海底管道，德國為俄羅斯最大 PNG 進口買家），超過 40% 歐洲進口量來自該管道，約占歐洲管道天然氣與液化天然氣進口量 15%。除 Nord Stream 外，亞馬爾 -- 歐洲管道 (Yamal-Europe) 亦為俄羅斯輸氣至歐洲市場的重要途徑。

Nord Stream 因其龐大的輸氣能力 (550 億立方公尺/年)，對歐洲天然氣供應之影響力甚鉅。隨著 2022 年 7 月 Gazprom 宣布將對 Nord Stream 進行例行性設備維修（每年預定於 7 月定期維護，避開冬季尖峰需求），引發外界對天然氣供應不足之隱憂。

2、Nord Stream 定期維修導致天然氣供應遽減

Nord Stream 於 2022 年 7 月 11 日起，開始為期 10 天的預定年度維護期，因維護之關係，Nord Stream 所造成之供氣不穩，進而導致歐洲管道天然氣價格上漲。Gazprom 在 2022 年 7 月 14 日向其客戶發出通知書，宣佈引用不可抗力條款 (Force Majeure)，無法保證供氣持續，並追溯至 2022 年 6 月 14 日起生效。

Gazprom 其德國客戶 Uniper(天然氣公司)及 RWE(德國最大電力公司)已確認收到相關通知。Uniper 表示 Gazprom 的解釋並不合理，正式駁回不可抗力之主張，而 RWE 拒絕就 Gazprom 通知書之細節或法律立場評論。

2022 年 7 月 21 日維修結束後，Nord Stream 重新啟動，打破先前外界擔憂維修完成後，將不會重新輸送之預測，造成歐洲天然氣價格一度下降。Nord Stream 雖然恢復天然氣供應，惟仍然低於維修前之輸氣水平（約為 65 至 66MMcm/d）。

然而，Gazprom 於 2022 年 7 月 25 日宣布，另一台燃氣渦輪機 (gas turbine) 將於 Portovaya 壓縮站停止運作（僅留

下一台運行，可能有另一台作為備援機組），因此自 2022 年 7 月 27 至 31 日期間，Nord Stream 輸氣能力將再次下降至 33MMcm/d。通過 Nord Stream 進入德國 OPAL 與 NEL 管道之天然氣流量從 35MMcm/d 逐漸下降至 30MMcm/d。因 2022 年 7 月 27 日管道流量下降，造成市場恐慌，導致歐洲天然氣價格飆升超過 60 美元 /mmBtu。

俄羅斯管道天然氣流量之穩定度，與歐洲天然氣供應及價格變化有高度關聯性，尤其影響西北歐與中歐天然氣用量甚鉅。上述內容突顯俄羅斯 PNG 對歐洲龐大的影響力，無論是天然氣之供需抑或價格，且嚴重衝擊眾多企業，尤其對電力公司或天然氣公司尤為嚴重。

（二）近期俄羅斯天然氣供應下降之盤點

俄羅斯自俄烏戰爭以來，因戰事、政治及商業考量，輸往歐洲之天然氣流量有發生數次降低情形，以下為盤點流量降低之原因與情形：

1、俄羅斯要求客戶以盧布付款及終止相關合約（2022 年 3 月至 5 月）。

俄羅斯於 2022 年 3 月 31 日發布普丁 (Putin) 總統命令，Gazprom 表示其交易對象須以盧布，而非美元或歐元支付天然氣貨物。數家企業對此項命令表示抗拒，並明確拒絕使用盧布支付，俄羅斯中斷拒絕以盧布支付之企業其天然氣供應，被中止天然供應之企業包含：

- 波蘭 --PGNiG、保加利亞 --Bulgargaz(2022 年 4 月 27 日)。
- 芬蘭 --Gasum(2022 年 5 月 21 日)。
- 荷蘭 --GasTerra(2022 年 5 月 31 日)。
- 丹麥 --rsted、德國 --Shell Energy Europe（2022 年 6 月 1 日）。

其中，Gazprom 於 2022 年 7 月 30 日中斷對拉脫維亞 --Latvijas Gze 之天然氣供應，對外說明之原因為 Latvijas Gze 違反提取天然氣之條款。

值得注意的是，Gazprom 與 PGNiG、Bulgargaz、GasTerra 的合約原本皆將於 2022 年底前到期。雖然上述企業之天然氣合約於技術上被暫停，而非於法律上終止，惟鑑於 Gazprom 其歐洲交易對象皆不太可能回溯，並以盧布付款，故實際效果為提前終止天然氣合約。

此外，上述歐洲企業可能會將轉換貨幣之需求，及在拒絕之情況下暫停供應，皆視為違約情形。於 2022 年 5 月 30 日發布之新聞稿中，rsted 明確表示 Gazprom 此舉違反合約內容。以長期角度而言，現行合約其具體內容尚不清楚，惟相關企業可能正在準備採取相關法律行動或途徑。

關於上述 7 家公司合約暫停中止下之影響，總體而言，對俄羅斯流向歐洲之天然氣流量有明顯相關。與 Gazprom 有關的合約量盤點如下：

- PGNiG 合約量約為 100 億立方公尺 / 年 (10Bcm/a)。
- Bulgargaz 合約量為 290 億立方公尺 / 年 (2.9Bcm/a)。
- Gasum 合約量不明，惟 Gazprom 於 2021 年提供約 15 億立方公尺天然氣。
- GasTerra 合約量估計為 60 億立方公尺 / 年 (6Bcm/a)。
- rsted 合約量估計為 18.6 億立方公尺 / 年 (1.86Bcm/a)。
- Shell Energy Europe 向德國供應之合約量估計為 12 億立方公尺 / 年 (1.2Bcm/a)。
- 拉脫維亞從俄羅斯的年進口量約在 13 至 18 億立方公尺 / 年 (1.3 至 1.8Bcm/a2017 至 2021 年)。

若上述合約以推估量粗略估計，且以平日均有供應之形式履行，則向西北歐（rsted、GasTerra、Shell Energy Europe）供應量約為 24.8MMcm/d（9.06Bcm/a）。合約終止可用於解釋 2022 年 6 月 1 至 12 日期間，通過 Nord Stream 之流量下降 25MMcm/d。

2、俄羅斯對亞馬爾 -- 歐洲管道實施制裁（2022 年 5 月）

俄國政府於 2022 年 5 月 11 日對波蘭境內亞馬爾 -- 歐洲管道的所有者 -- 運營商 EuRoPol Gaz 實施制裁，使其向西北

歐輸氣中斷。

3、通過烏克蘭的管道天然氣管輸能力降低（2022 年 5 月）

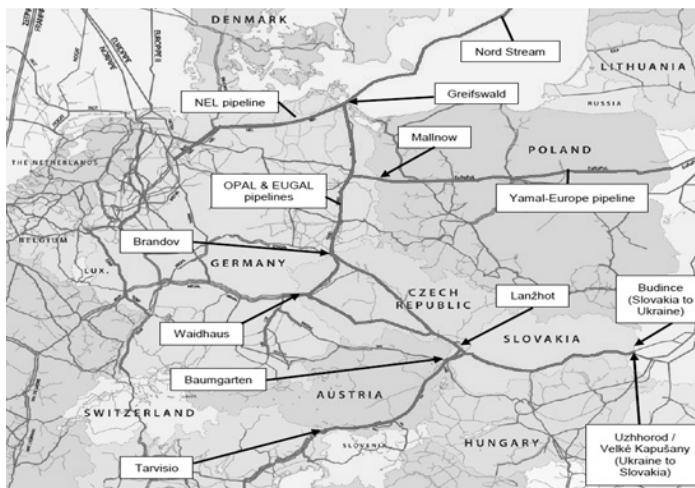
Gazprom 目前持有通過烏克蘭境內之輸氣合約 (109.6 MMcm/d)。天然氣在兩個連結點 (Sudzha 與 Sokhranivka) 從俄羅斯輸入烏克蘭，並在烏克蘭西部邊界之多個節點流出，包含：

- Drozdovichi 至波蘭。
- Uzhhorod/Velk Kapuany 至斯洛伐克。
- Bereg 至匈牙利。
- Isaccea 至羅馬尼亞及摩爾多瓦 (規模較小)。

切斷 PGNiG 之供應意謂不再使用 Drozdovichi，而土耳其溪管道 (Turkish Stream pipeline) 狀況說明 Bereg 與 Isaccea 使用率極低，而摩爾多瓦只進口相對較少的量。因此俄羅斯天然氣經烏克蘭主幹留在 Sudzha 與 Sokhranivka 進入，大部分透過 Uzhhorod/Velk Kapuany 出口至斯洛伐克。

有關俄羅斯輸氣至歐洲地區之主要管道參見圖 3：

圖 3 俄羅斯輸氣至歐洲主要管道分布



資料來源：OIES-EU Members Urge Citizens To Reduce Energy Consumption. (2022.8)

在 Gazprom 通過烏克蘭的輸氣能力 (109.6MMcm/d)，其中約 32.6MMcm/d 分配 Sokhranivka，77MMcm/d 分配 Sudzha。2022 年 5 月 10 日烏克蘭天然氣輸氣商 GTSOU 發

布新聞稿，宣布與俄羅斯部分天然氣流入烏克蘭有關之不可抗力聲明。具體而言，涉及俄羅斯 -- 烏克蘭邊境 Sokhranivka 燃氣計量站 (GMS) 與 Novopskov 壓縮站 (繼 Sokhranivka 之後烏克蘭境內第一個管道系統)。

GTSOU 宣布在俄羅斯對該地區的軍事佔領及未經授權從過境中提取天然氣之情況下，烏克蘭已失去對 Sokhranivka GMS 與 Novopskov 壓縮站之控制，因此將從 2022 年 5 月 11 日起停止於 Sokhranivka 供應天然氣。

Gazprom 於 2022 年 5 月 12 日透過 Telegram 發表聲明稱，該公司「尚未收到任何關於不可抗力情況的確認，並且認為在以前的模式下繼續運作沒有任何障礙」。

GTSOU 甚至指出，雖然 77MMcm/d 輸氣能力分配 Sudzha，惟跨境互連之實質輸氣能力要大得多 (約為 244MMcm/d)。上述顯示 Gazprom 預定之 109.6MMcm/d 輸氣能力可透過 Sudzha 交付。然而，Sudzha 天然氣流量並未上升以彌補 Sokhranivka 的損失，在 2022 年 5 月反而呈現下降，儘管受 Nord Stream 輸氣能力限制，但仍未恢復。

事實上，Gazprom 利用此機會，透過有效地將 Sokhranivka 於過境協議中移除，其通過烏克蘭的預訂輸氣能力從 109.6 MMcm/d 減少至 77MMcm/d。烏克蘭國營企業 Naftogaz 與 Gazprom 簽訂過境合約 (向 GTSOU 預訂輸氣能力)，提出將 Sokhranivka 輸氣能力重新分配予 Sudzha，並要求 Gazprom 增加在 Sudzha 所預訂的輸氣能力。

然而，Gazprom 拒絕此要求，並按比例減少過境費 (transit payments)。Naftogaz 隨後啟動預備仲裁 (pre-arbitration)，聲稱 Gazprom 違反輸氣合約中之「發貨或付款」(ship-or-pay) 條款 (無條件支付條款)。

4、俄羅斯 Nord Stream 管輸能力降低 (2022 年 6 至 7 月)

2022 年 6 月 1 日為 Nord Stream 管道近期最後一次處於滿載運作 (165MMcm/d)，在 6 月的前 12 天，由於與盧布支

付相關合約終止之影響開始顯現，導致輸氣流量下降。Nord Stream 流量在 2022 年 6 月 12 日達到 140MMcm/d。2022 年 6 月 12 至 16 日期間，Nord Stream 流量大幅下降，達到 67MMcm/d 之新低。Gazprom 將流量下降歸因 Portovaya 壓縮站 (將天然氣輸送至 Nord Stream) 之產能下降。

依 S&P Global 資訊表示，Portovaya 壓縮站由 6 台大型 (52MW) 與 2 台小型 (27MW) 渦輪機組成，而 Nord Stream 至少需要 5 台渦輪機才能滿載運作，另外需有 1 台備援機組待命。

2022 年 6 月 14 日 Gazprom 宣布 Portovaya 的 8 台渦輪機僅 3 台運作，此舉意味其中 5 台處於停止營運狀態，並表示因此 Nord Stream 產能已降至 100MMcm/d。2022 年 6 月 15 日 Gazprom 宣布另 1 台渦輪機將停止運作，僅剩 2 台運作，Nord Stream 產能減少至 67MMcm/d。

2022 年 7 月 27 日，路透社 (Reuters) 援引 Gazprom 副執行官 Vitaly Markelov 之言論 (其接受 Rossiya24TV 採訪)，於 2022 年 5 月 Gazprom 就曾期望從西門子能源公司 (Siemens Energy) 收到 1 台維修完畢之機組，惟截至今日，Gazprom 尚未收到機組，意指第 1 台渦輪機應於 2022 年 5 月維修並送回。另外，若非與制裁相關的延誤，至少有 1 台於 2022 年 6 月 14 至 15 日停止運作之渦輪機，應於 2022 年上半年運往加拿大進行維修。

Gazprom 在其 2 份聲明中將通過 Nord Stream 的流量下降歸因於 3 個因素：

- 由於加拿大對俄羅斯之制裁，其中 1 台渦輪機被運往加拿大維修，但並未送返俄羅斯。
- 渦輪機服務許可時間到期。
- 在渦輪機中檢測發現故障。

總體而言，在 2022 年 7 月 27 日大型渦輪機中，1 台處於運行狀態、1 台備用、1 台等待送回俄羅斯 (已在加拿大維修)，若上述為 6 台大型 (52MW) 渦輪機中的 3 台，則剩下 3 台大

型渦輪機與 2 台亦處於停止運作狀態的小型渦輪機 (27MW)；Gazprom 於 2022 年 8 月 4 日 Telegram 頻道聲明中證實此點。

另依 S&P Global 數據顯示，6 台大型渦輪機 (編號 071、072、073、074、075、076) 及 2 台小型渦輪機 (編號 120、121) 中，073 號在德國待命，而 072、074 及 121 號因定期維護而未運作，其他 3 台大型渦輪機 (071、075、076)，1 台正在運行、1 台備用、1 台狀況不明。同樣，2 台小型渦輪機中，1 台 (121) 下線進行維修、1 台 (120) 狀況不明。上述 2 台狀況不明的機組，有可能正在等待現場維修，或在常規維修計畫之外損壞，需更長的維修時間；兩者間差別在於現場 (on-site) 維修，或將機組帶至專業服務中心進行大修。2020 年 6 月西門子確認於接下來的 3 年內負責維修來自 Portovaya 的 9 台 52MW 與 3 台 27MW 渦輪機，並可能執行運往西門子能源服務中心維修之作法。

3 年合約期間，6 台大型渦輪機中，3 台維修 2 次、另 3 台則維修 1 次；2 台小型渦輪機中，1 台維修 2 次、另 1 台則維修 1 次，即每台渦輪機將每 2 年進行 1 次大修，並在約定的 1 年中，僅一半來自 Portovaya 的渦輪機停止運作。在每 2 年進行 1 次大修期間，渦輪機很可能每年都在現場進行維修，屆時 Nord Stream 會在 2022 年 7 月停止運作進行維護。

在正常情況下，目前至少要在 Portovaya 運作 3 台大型渦輪機與 1 台小型渦輪機。但顯然事實並非如此，造成此種情況之部分原因可能為在常規服務計畫外損壞至少 1 台渦輪機。

2022 年 7 月 19 日俄羅斯表示實際上還有 1 台渦輪機出現故障，然而 2022 年 7 月 27 日路透社援引西門子能源之論述，該服務中心尚未收到來自俄羅斯 Gazprom 的 Nord Stream 管道渦輪機任何損壞報告，且表示在現場有無法使用的渦輪機。

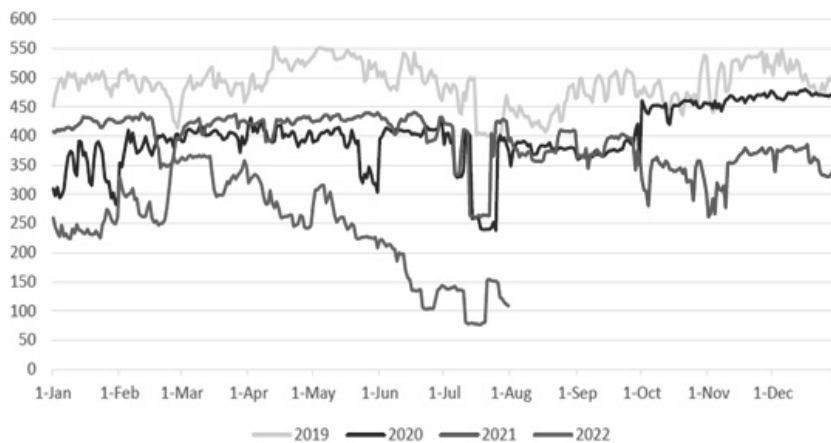
2 天後路透社再次援引 Gazprom 高層之論述，西門子能源並未解決有關渦輪機的所有技術問題，Gazprom 同意將渦輪機運往德國，但並非直接送往加拿大，關於其他需要維護之渦輪機，則表示尚未瞭解燃氣渦輪發動機之維護是否會受到制裁影響。

依路透社報導，Nord Stream 直到管道關閉前 (2022 年 7 月 11 至 21 日期間進行定期年度維護)，從 2022 年 6 月 16 日起以 67 MMcm/d 的輸氣能力運作。當 Nord Stream 於 2022 年 7 月 21 日恢復運營時，其流量為 65 至 66MMcm/d，略低於維護前的 67 MMcm/d。2022 年 7 月 25 日 Gazprom 宣布另 1 台燃氣輪機將停止運作，從 2022 年 7 月 27 日起，通過 Nord Stream 產能降至 33 MMcm/d。2022 年 7 月 27 日實際流量經由 Nord Stream 下降至 35 MMcm/d，隨後在 2022 年 7 月 28 日下降至 32MMcm/d，最後於 2022 年 7 月 31 日下降至 30MMcm/d。

有關近年俄羅斯 -- 歐洲管輸流量變化參見圖 4：

圖 4 俄羅斯輸氣至歐洲管輸流量變化

單位：MMcm/d



資料來源：OIES-EU Members Urge Citizens To Reduce Energy Consumption. (2022.8)

(三) 俄羅斯供應之不穩定性對歐洲市場之衝擊

如前所述，因 Gazprom 降低對西北歐國家或企業的輸氣量，顯示其供應西北歐的 PNG 出口產能多數處於閒置狀態。過往 Gazprom 一直透過 Nord Stream 向斯洛伐克、奧地利及義大利輸送天然氣。因近來 Nord Stream 流量下降導致流向 Gazprom 在斯洛伐克 (SPP)、奧地利 (OMV) 及義大利 (Eni) 的交易客戶實質流量下降 (儘管上述公司已同意支付長期費用，並以盧布支付長期合約供應)。

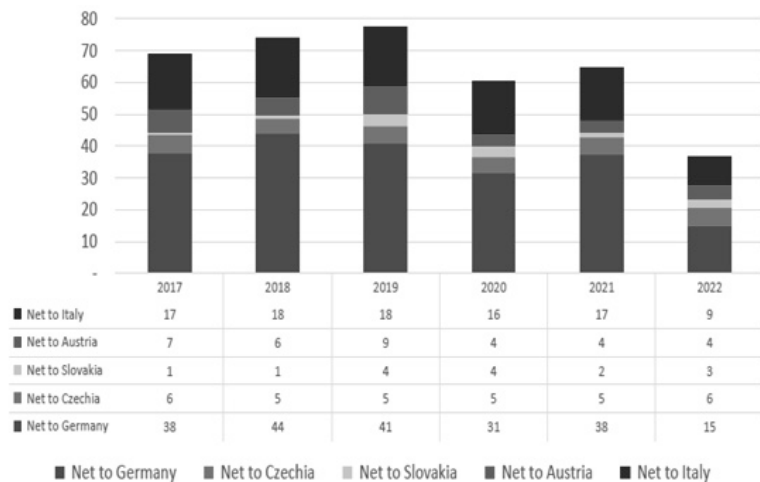
此外，Gazprom 並未增加沿 Sudzha、Uzhhorod/Velk Kapuany 之間主要管道（通過烏克蘭）的供應量，儘管該管道有閒置產能（已經預訂並支付費用），且 Gazprom 以往透過上述途徑供應斯洛伐克、奧地利及義大利。

隨著 Nord Stream 輸往德國流量在 2022 年 6 至 7 月下降，對其他國家的供應如同骨牌效應開始下降。骨牌效應同時適用於俄羅斯多條出口路線的流量，順序為亞馬爾 -- 歐洲、烏克蘭、波羅的海，最後為 Nord Stream。

流量的同比下降（如圖 5），顯示 2022 年 1 至 7 月與過去 5 年期間通過上述路線流向 5 個主要市場的俄羅斯天然氣淨流量（Net Flow）。尤其 2022 年流向德國淨流量的下降顯而易見，從 2021 年 1 至 7 月 38 億立方公尺 (38Bcm) 降至 2022 年 1 至 7 月的 15 億立方公尺 (15Bcm)。

圖 5 歐洲主要市場天然氣管輸流量變化

單位：10 億立方公尺 (Bcm)



資料來源：OIES-EU Members Urge Citizens To Reduce Energy Consumption.(2022.8)

以歐洲整體市場而言，俄羅斯對其管道天然氣出口降至近 40 年來最低點，2022 年前 7 個月，俄羅斯出口至歐盟及英國的管道天然氣與 2021 年同期相比下降近 40%，若與前 5 個月相比下降近 50%。依路透社數據，2022 年 7 月中旬出口量降至 12 億立方英尺 / 日 (Bcf/d)，為近 40 年以來的最低水平。

依歐盟統計局 (Eurostat) 數據，在 2016 至 2020 年期間俄羅斯透過管道供應之天然氣占歐盟與英國約 1/3。

依 Gazprom 數據，俄羅斯透過 3 個主要管道向歐盟及英國出口天然氣 (另加上規模較小的分流)，3 個管道之管輸能力總計約為 160 億立方公尺 / 年 (16.0Bcf/d)，分別為：

- Nord Stream 進入德國 (入口點 Greifswald)，並進一步通往荷蘭、法國、英國及其他歐洲國家。
- 通過白俄羅斯至波蘭 (入口點 Kondratki) 及德國 (入口點 Malnow，亞馬爾管線之最西端)。
- 途經烏克蘭至斯洛伐克 (入口點 Velke Kapusany)，天然氣管道從入口點分流至捷克及奧地利，並將天然氣進一步輸送至北、南歐國家。

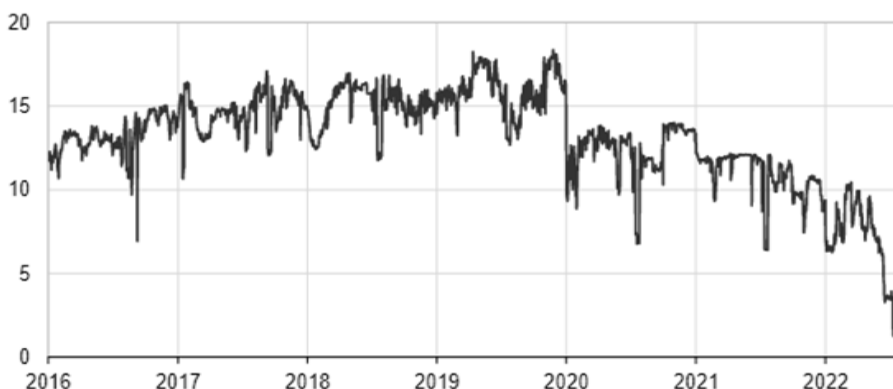
自 2020 年以來，俄羅斯對歐盟及英國 PNG 出口持續下降，起初是歐洲因應 COVID-19 疫情流行，導致需求減少，2021 年中俄羅斯開始對歐洲的天然氣出口僅限長期合約供應，並停止市場現貨販售。俄羅斯對歐盟及英國天然氣出口量在 2019 年平均為 160 億立方英尺 / 年 (16.0Bcf/d)，2020 年為 124 億立方英尺 / 年 (12.4Bcf/d)，2021 年為 109 億立方英尺 / 年 (10.9Bcf/d)。

為彌補俄羅斯管道天然氣出口下降之影響，歐盟及英國於今年 (2022 年) 持續大量進口 LNG (尤其從美國進口)，進口量甚至創下紀錄高點。

有關近年俄羅斯供氣歐洲市場出口量變化參見圖 6：

圖 6 俄羅斯供氣至歐洲出口量變化 (2016 年 -2022 年 7 月)

單位：10 億立方英尺 (Bcf/d)



資料來源：EIA- Russia's natural gas pipeline exports to Europe decline to almost 40-year lows. (2022.8)

綜觀而言，俄羅斯 PNG 於俄烏戰爭後開始有極顯著下降趨勢，部分原因為欲透過減少天然氣供應，作為與歐盟的政治抗爭籌碼。另外，Nord Stream 管輸流量下降，亦造成市場擔憂及恐慌，尤其是對俄羅斯 PNG 依賴度極高的德國。

德國為俄羅斯 PNG 最大買家，過往太過依賴其天然氣作為能源供應來源（甚至投資興建 Nord Stream 2），國內亦未有天然氣接收站，可作為替代管道天然氣進口方案。若俄羅斯未來完全停止供應天然氣，德國遭受之損失及衝擊將為全歐之冠。

依上所述，俄羅斯不但掌握歐洲能源命脈，且連帶影響全球天然氣市場動向，包含天然氣價格變化、LNG 市場流動及各國天然氣策略布局，預期其所有動向仍為國際市場關注焦點。

三、國際天然氣市場未來關注焦點

俄羅斯天然氣供應之不穩定性，嚴重衝擊歐洲天然氣市場，並連帶影響產業與民生發展，包含電力及民生部門用氣需求；能源市場亦因供需失衡造成價格攀升。

除歐洲市場之變動外，全球天然氣市場結構及版圖亦逐漸改變，各國亦因天然氣價格高升及貨源不穩定之情況下，開始檢視能源政策，並考量調整使用結構。本文以下提出在俄羅斯天然氣供應不穩定影響下，全球市場未來趨勢與焦點：

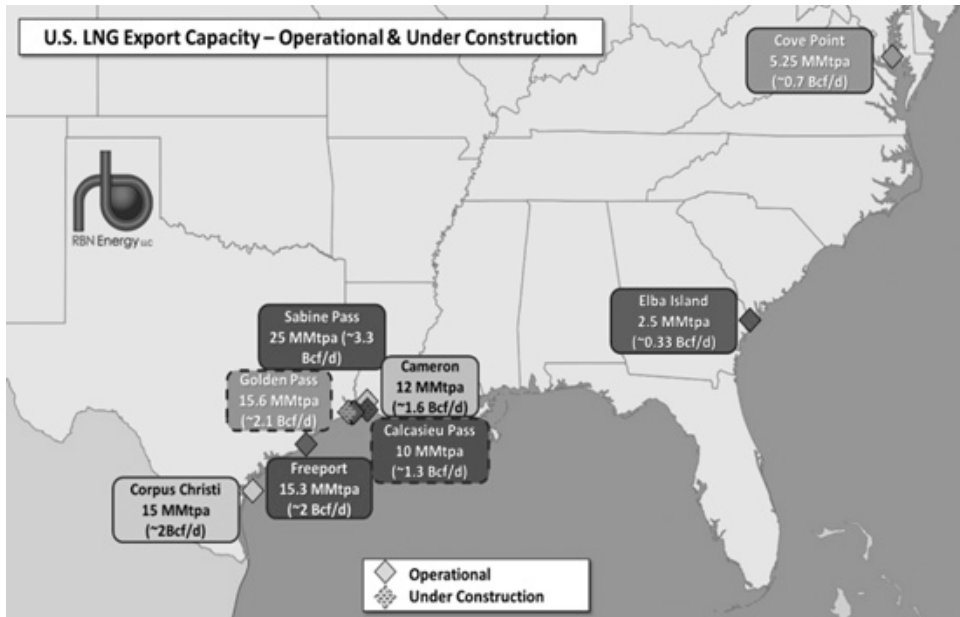
（一）美國成為全球 LNG 新霸主

美國因國內頁岩氣 (Shale Gas) 資源豐盛，加之 LNG 出口廠產能不斷擴增及新出口廠啟用，出口能力逐漸提高。自 2016 年出口第 1 批 LNG，至 2021 年已成為全球第 3 大 LNG 出口國，僅次澳洲及卡達。2021 年本土共 6 座 LNG 出口廠，分別為 Sabine Pass、Cameron、Cove Point、Freeport、Corpus Christi 及 Elba Island，並於 2022 年初第 7 座出口廠 --Calcasieu Pass 正式啟用。主要流向全球最大的亞太市場，2021 年出口至亞太地區占總出口量將近 50%。

自俄烏戰爭爆發後，因歐洲市場對天然氣之需求逐漸加深，美國為援助歐盟及商業考量，開始將出口導向全球第 2 大市場 -- 歐洲地區。

美國既有及興建中之 LNG 出口計畫分布情形參見圖 7：

圖 7 美國既有與興建中之 LNG 出口計畫



註：Golden Pass 為興建中之 LNG 出口計畫

資料來源：RBN Energy-Such Great Heights, Part 2 - U.S. LNG Outlook: Feedgas Demand Headed To 12 Bcf/D In Late 2021.(2021.12)

依美國能源情報署 (EIA) 公布資訊，於 2022 年上半年成為全球最大的 LNG 出口國。與 2021 年下半年相比，2022 年上半年出口量成長 12%，平均達 112 億立方英尺 / 日 (11.2Bcf/d)，持續成長 3 個原因分別為：

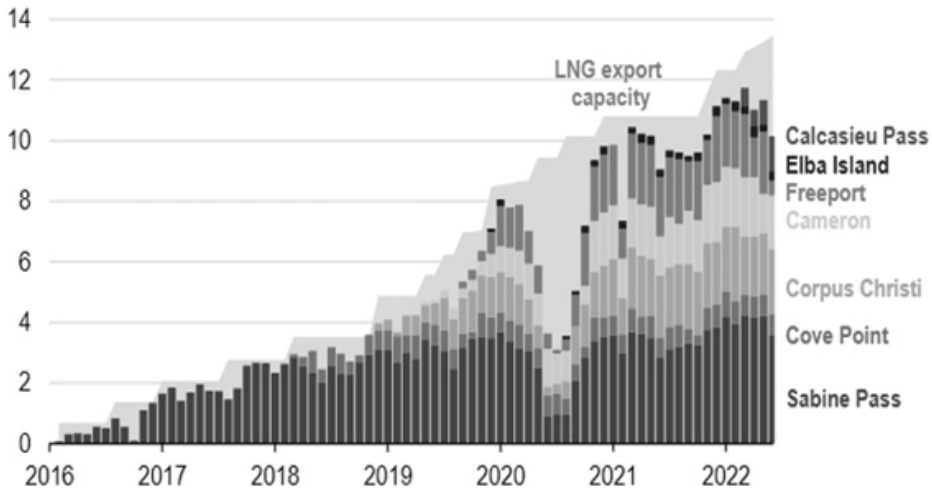
- 出口產能逐漸增加。
- 國際天然氣與 LNG 價格上漲。
- 全球天然氣需求暴增（尤其歐洲市場）。

依 EIA 估計，自 2021 年 11 月以來出口名目產能 (Nominal export capacity) 增加 19 億立方英尺 / 日 (1.9Bcf/d)，出口峰值為 21 億立方英尺 / 日 (2.1Bcf/d)。LNG 出廠新增產能包括 Sabine Pass 第 6 條生產線 (Train 6)，Calcasieu Pass LNG 18 列新中型液化生產線，及 Sabine Pass 與 Corpus Christi LNG 設施的 LNG 產能增加。截至 2022 年 7 月估計 LNG 出口能力平均為 114 億立方英尺 / 日 (11.4Bcf/d)，短期峰值產能為 139 億立方英尺 / 日 (13.9 Bcf/d)。

有關歷年 LNG 出口量變化參見圖 8：

圖 8 美國 LNG 出口量變化情勢 (2016 年 -2022 年)

單位：10 億立方英尺 / 日 (bcf/d)



資料來源：The United States became the world's largest LNG exporter in the first half of 2022.(2022.7)

國際天然氣與 LNG 價格於 2021 年 Q4 及 2022 年上半年創歷史高點。自 2021 年 10 月以來，歐洲天然氣價格指標 --TTF 價格屢創歷史新高。2022 年上半年 TTF 平均為 30.94 美元 /MMBtu。除歐洲外，亞洲 LNG 現貨價格亦處於高水位，同期平均為 29.5 美元 /MMBtu。

自 2021 年底以來，歐洲國家進口越來越多 LNG，以彌補俄羅斯 PNG 進口量減少之缺口，並填補歷史低位之天然氣庫存水平。2022 年上半年，歐盟及英國 LNG 進口量成長 63%，平均為 148 億立方英尺 / 日 (14.8Bcf/d)。

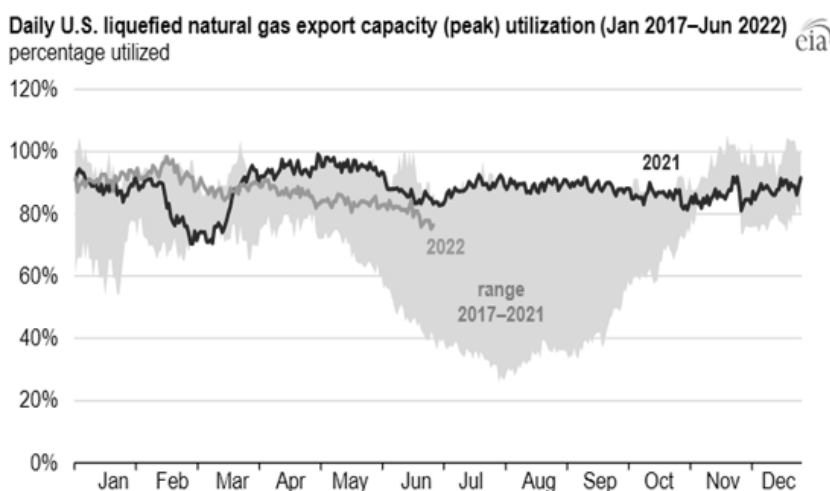
2022 年前 5 個月，美國多數的 LNG 出口至歐盟與英國，占出口總量約 64%(約 7.3Bcf/d)。與 2021 年相近，2022 年上半年向歐盟及英國輸送占比最多，占歐洲 LNG 進口總量 (14.8Bcf/d) 約 47%，其次為卡達，占比約 15%，俄羅斯占比 14%，而非洲地區合計約占 17%。

特別需關注的是，2022 年 6 月美國 LNG 出口量比 2022 年前 5 個月的 114 億立方英尺 / 日 (11.4Bcf/d) 平均出口量減少 11%，主要由於 Freeport LNG 出口設施意外中斷所造成 (2022 年 6 月廠房設施發生爆炸與火災，導致設施供應中斷)。

因應意外事件的發生，Freeport LNG 官方於 2022 年 6 月立即發布不可抗力聲明，惟於 8 月聲明撤回，表示意外事件應屬於人為疏失，但後續可能面臨買家要求的損失賠償，粗略估計可能高達 80 億美元。Freeport LNG 預計 2022 年 10 月上旬恢復部分出口作業，但出口產能完全恢復可能須至 2022 年底。

2022 年上半年美國 7 個 LNG 出口設施峰值產能利用率平均為 87%(Freeport LNG 停止營運之前)，此與 2021 年平均利用率相近。有關美國 LNG 出口廠之利用率參見圖 9：

圖 9 美國 LNG 出口廠利用率概況



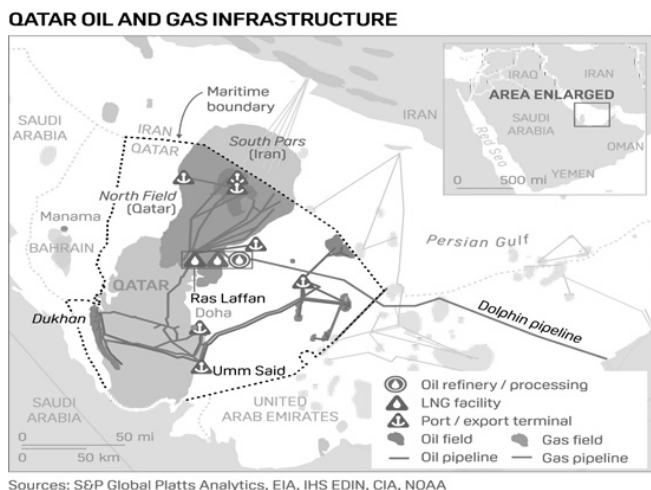
資料來源：The United States became the world's largest LNG exporter in the first half of 2022.(2022.7)

依 GIIGNL 資料，2021 年全球最大 LNG 出口國為澳洲，其次為卡達。2022 年上半年美國躍升為全球最大出口國，因出口產能之增加及歐洲市場對天然氣之渴求，美國 LNG 出口已逐漸與澳洲、卡達拉開差距。

澳洲與卡達相比美國在 LNG 出口上有其競爭劣勢，澳洲名目出口產能約有 8,700 萬公噸 / 年，但近期未有較明顯 LNG 出口產能擴增及新出口廠計畫；卡達在 LNG 出口產能上亦有相同劣勢，卡達國營企業 -- 卡達能源公司 (Qatar Energy) 推動出口擴增計畫，規劃擴大開發北方氣田 (North Field)，預計於 2025 年總體 LNG 出口產能提升至 1.1 億噸 / 年 (現行約 7,700 萬噸 / 年)，2027 年將提升至 1.26 億噸 / 年。

有關卡達北方氣田擴建計畫參見圖 10：

圖 10 卡達北方氣田天然氣計畫地理位置



資料來源：S&P global-Interview: Qatar to ink LNG carrier deal as North Field expansion continues apace.(2020.4)

雖然卡達有長遠規劃與願景，但依上述資訊，顯現短期內出口產能無法提升。美國除既有 7 座 LNG 出口廠外，未來有新的出口廠陸續啟用，包含 Golden Pass LNG(預計 2024 年啟用，出口產能 1,800 萬噸 / 年)、Driftwood LNG(預計 2026 年啟用，出口產能 2,760 萬噸 / 年)，出口能力將進一步攀升。

澳洲與卡達除受限於出口產能之劣勢外，多數產能已被合約簽訂，為無法大量出口至歐洲市場之關鍵，主要出口流向多為亞太地區，但多數出口產能已被亞太買家長期合約綁定，無多餘出口至歐洲市場，且澳洲離歐洲市場距離過遠，顯是無法大量出口之硬傷。

相較澳洲與卡達而言，美國因多數產能未被長期合約綁定，具轉售(resale)及未設有目的地條款(Destination Clause)等優勢，靈活性較高，且地理位置距歐洲較近，可配合市場需求及時供氣。

在出口產能增加、合約靈活及地理位置等優勢下，美國預期下半年仍會大量出口至需求最急迫的歐洲市場(尤其 Q4 將邁入需求尖峰之冬季)。世界各國大部分因俄烏戰爭及俄羅斯供氣不穩之影響受到嚴重衝擊，但美國或許是此波衝擊下的最大贏家，而隨著出口產能逐漸增加及對歐洲大量 LNG 出口，預計短期內可持續穩固全球 LNG 新霸主地位。

(二) 天然氣長期合約或將捲土重來

國際 LNG 市場貿易，一般分為長約(Long Term)、短約(Short term) 及現貨(Spot) 交易形式。依 GIIGNL 之定義，超過 4 年的合約期限歸類為長約，4 年以內歸類為短約。於國際市場早期因 LNG 貿易量少，且未如其他能源(石油、煤炭)興盛，市場賣家(出口商)為保障權益，多數與買家簽訂長約，以獲得穩定之收益，並降低衍生之風險。

天然氣貿易於能源市場越來越興盛後，交易量與頻率上升，買家對長約之需求日漸降低，原因具僵固性、價格不透明，且多數不能轉售或設有目的地條款，較無法促進 LNG 船貨之流動。

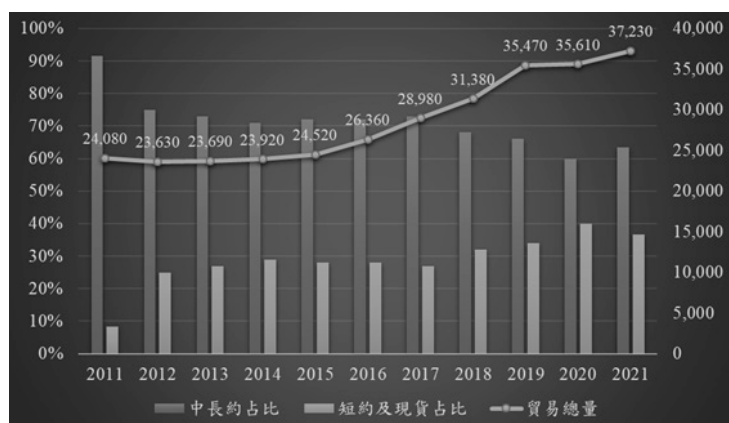
因 LNG 市場需求之激增，且全球出口產能逐漸增加下，短約或現貨逐漸崛起，及現貨價格現行有價格指標可進行勾稽，如 ICIS 的 East Asian Index (EAX) 及逐漸成為主流的 JKM 指標 (Japan Korea Marker)，買家可透過價格指標明確掌握資訊(透明度較高)，且全球市場處於供過於求之情勢下，更容易傾向購買現貨或簽訂短約。

觀察近幾年國際市場情勢，短約與現貨於全球貿易量中之占比逐漸上升，從過往不到 3 成，逐漸增加趨近 4 成。

有關國際 LNG 長約比例之變化參見圖 11：

圖 11 全球 LNG 貿易量與長約變化情勢 (2011-2021 年)

單位：萬噸



資料來源：本文繪製。

LNG 現貨雖有其優勢與便利性，惟其缺點易受國際能源市場影響，綜觀 2021 年 Q4 的歐洲能源危機及 2022 年俄烏戰爭，價格皆發生飆升情形，造成買家購買成本提高，且須面臨採購競爭（歐洲與亞洲市場互相搶貨）。

LNG 現貨之缺點在俄烏戰爭之影響下被逐漸放大，尤其是歐洲國家，為因應俄羅斯天然氣供應中斷之隱憂，且歐盟大力推動 2050 淨零排放 (Net Zero) 政策，歐洲國家考量能源安全性，並兼顧減碳目標之達成，需有長期穩定氣源，天然氣長約特性恰好滿足需求。部分歐洲企業已開始著手保障長期氣源之規劃，如法國 Engie 與美國 NextDecade 簽訂一項長期 LNG 供應協議 (SPA)；德國公用事業公司 EnBW 與 Venture Global 亦簽署一項長期 LNG 供應協議。

歐洲國家為逐漸擺脫對俄羅斯天然氣供應之依賴簽訂 LNG 長約，或許將成為新的解決方案，對於買家而言，能獲得長期且穩定的貨源，合約價格亦較不受市場波動影響；對於賣家（出口商）而言，透過長約簽訂或市場買家投資出口廠之建設（持有股份占比），能減輕投資負擔，且較容易向金融機構申請貸款或提高貸款成數。

俄烏戰爭之結束仍未明朗化，買家為保障貨源之穩定，全球天然氣長約之比例未來或許將逐漸回升，惟其增加之力度須視俄羅斯供氣之後續動向及全球 LNG 需求增加的速度。

（三）歐盟推動眾多政策與措施以因應市場衝擊

在國際天然氣市場中，俄烏戰爭下的最大受害者為歐洲市場，無論是擔憂戰事的衝擊、俄羅斯中斷供氣之隱憂，或面對高水平的天然氣價格。身為目前全球最大的經濟體 -- 歐盟，為保障盟國的能源安全，並穩定天然氣供需與價格，推動一系列策略與因應措施，包含：

- 提出聯合採購政策：歐盟於 3 月峰會上發布聲明，同意會員國於 2023 年冬季來臨前進行能源聯合採購，包含 PNG、LNG 及氫能。
- 成立能源平台：作為協調各會員國之需求及合作模式，以加速聯合採購之效益。
- 天然氣庫存水平草案：提出天然氣儲存水平草案，要求會員國於 2023 年冬季前 (11 月前)，天然氣儲存水平至少須維持 90% 以上，而 2022 年冬季前至少須維持 80% 以上。

- 與美國合作，保障用氣需求：美國 2022 年 3 月與歐盟發布聯合聲明，規劃於 2022 年保障用氣需求，預計供應 150 億立方公尺 LNG 予歐盟。另外，至 2030 年前歐盟保證每年向美國採購 500 億立方公尺 LNG，以長期保障會員國之用氣。

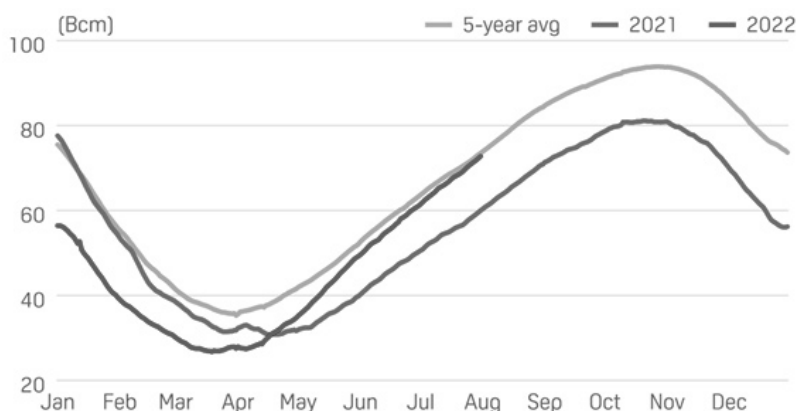
歐盟於 2022 年上半年已提出眾多政策草案及因應措施，以降低俄烏戰爭對歐洲能源市場之影響及衝擊。俄羅斯 Nord Stream 管道於 2022 年 6 至 7 月發生管輸流量降低之事件，引發歐洲市場擔憂供氣不穩定及對天然氣價格之影響。

歐盟擔憂未來歐洲天然氣供應局勢可能邁向惡化，於 2022 年 7 月宣布執行機構 -- 歐盟委員會 (European Commission) 規劃提出緊急權力 (emergency powers)，其中包含若發生供應緊急情況（如俄羅斯完全停止供應天然氣）時具備強制力，以約束會員國減少天然氣使用量。國際能源署 (IEA) 亦呼應歐盟發表言論，認為歐洲需立即採取因應措施保障天然氣，並減少使用，防止未來俄羅斯發生更大幅度之減供行為。

用氣需求高的德國與其他歐盟成員國，已開始著手規劃討論於供暖旺季（冬季）前，立即減少天然氣消費之必要性，並強制分配管制，包含在工業用戶之間進行配給與制定優先順序，及在未有足夠之天然氣供應下，各會員國如何將天然氣進行分配共享。為滿足冬季需求，需確保在夏季（淡季）剩餘時間內加速累積天然氣庫存，以確保歐洲國家以盡可能高的庫存水平邁入冬季。

歐盟總體天然氣庫存水平變化參見圖 12：

圖 12 歐盟天然氣總體庫存水平概況



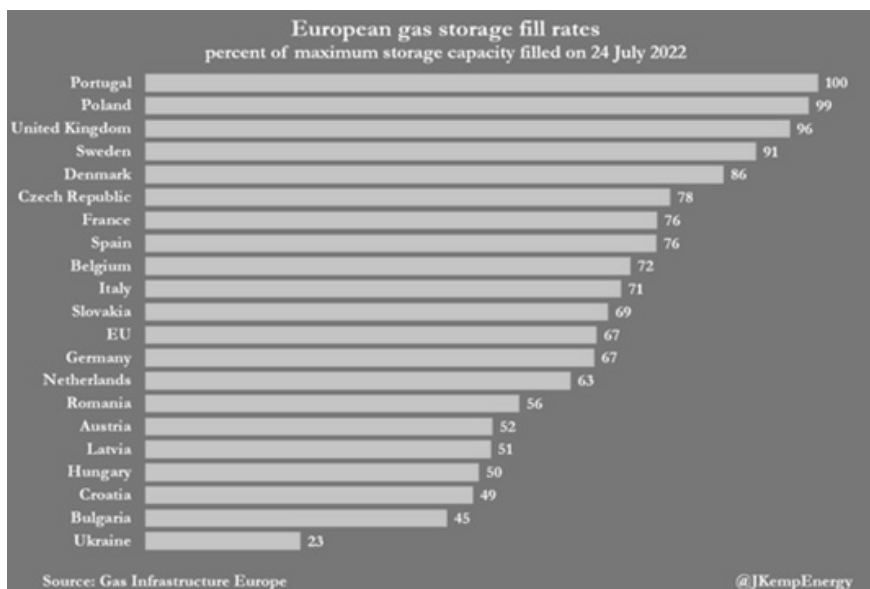
資料來源：S&P global- EU-wide gas stocks on track for Nov.1 target after July injections. (2022.8)

依據歐盟目前的天然氣庫存水平，2022 年 8 月已比去年同期高約 100 億立方公尺，並已趨近近 5 年的庫存水平數量，顯見成員展現出積極因應俄羅斯中斷天然氣可能性之作為。多數國家已於冬季來臨前的夏季（注入季節）致力提升水平，依 2022 年 7 月數據，德國天然氣庫存水平已達 67%、義大利 71%、法國 76%，逐漸趨近今年（2022 年）上半年宣布的目標（冬季來臨前儲存水平須達 80%）。

歐盟天然氣儲存目的在於因應天然氣消費的季節性波動，而非類似戰時的戰略封鎖情形，意即若俄羅斯完全切斷流向歐洲的 PNG 供應，就算有再高的庫存水平仍無法因應。

有關歐盟國家天然氣庫存水平概況參見圖 13：

圖 13 歐洲國家天然氣庫存水平概況（2022 年 7 月）



資料來源:Oilprice - EU Members Urge Citizens To Reduce Energy Consumption. (2022.8)

四、結論

因俄羅斯天然氣供應對國際能源市場牽一髮而動全身，天然氣市場的關注焦點已從市場需求最大的亞太地區轉移至歐洲地區。考量無法完全排除俄羅斯中斷天然氣之可能性，歐洲國家積極規劃與布局，以防範供氣中斷（或減少）對市場及產業之衝擊。

夏季已過，歐盟能否透過政策之推動及提高庫存水平迎接冬季的到來，將是全球未來關注的焦點。

因歐洲市場局勢的變化，對全球天然氣市場版圖與流向產生重大影響，預期越來越多的 LNG 船將出沒於大西洋海域而非太平洋海域。歐洲對 LNG 之渴求比亞太地區更為強勁，預期歐洲 LNG 進口量與全球占比將逐漸提高，市場流向有望從亞太市場逐漸轉向歐洲市場。

國際天然氣市場未來將有 3 大重點須持續關注與留意，分述如后：

- (一) 俄羅斯對歐洲天然氣出口動向。
- (二) 歐盟設定之天然氣庫存水平目標達成情形。
- (三) 美國下半年對歐洲市場之 LNG 出口情勢。

歐洲地區欲逐漸擺脫對俄羅斯天然氣之依賴與控制，為達成不再從其進口天然氣之長遠願景，將倚靠美國 LNG 出口之挹注、歐盟能源策略推動及淨零排放政策調整與執行力道（如再生能源之使用，是否延緩核能或燃煤機組除役等）。未來全球天然氣市場之供需與價格變化，將極高程度取決於上述重點交互影響之結果。

參考文獻

- 一、BBC(2022),Zaporizhzhia nuclear workers:We're kept at gunpoint by Russians.
- 二、EIA(2022),Russia' s natural gas pipeline exports to Europe decline to almost 40-year lows.
- 三、EIA(2022),Natural Gas Weekly Update-The United States became the world' s largest LNG exporter in the first half of 2022.
- 四、GIIGNL(2022),The LNG industry GIIGNL Annual Report.
- 五、JOGMEC(2022),Weekly Trend of Natural Gas and LNG Prices.
- 六、Offshore Technology(2022),Qatar selects four partners for \$30bn North Field expansion project.
- 七、OIES(2022),EU Members Urge Citizens To Reduce Energy Consumption.
- 八、Oilprice(2022),Global Thirst For Natural Gas Triggers Middle East Spending Spree.
- 九、Oilprice(2022),EU Considers Mandatory Gas Rationing.
- 十、Oilprice(2022),Long Term LNG Contracts Are The Future For Natural Gas Markets.
- 十一、Oilprice(2022),U.S.Natural Gas Production Hit An All-Time High In 2021.
- 十二、Oilprice(2022),EU Members Urge Citizens To Reduce Energy Consumption.
- 十三、Reuters(2022),EXCLUSIVE Freeport LNG retracts force majeure,widening losses for gas buyers – sources.
- 十四、S&P global(2022),Interview:Qatar to ink LNG carrier deal as North Field expansion continues apace.
- 十五、S&P global(2022),EU-wide gas stocks on track for Nov.1 target after July injections.

世界天然氣產業產能 全開市場擴張

資深石化人 謝俊雄

一、前言

由於地球溫室氣體效應帶來氣候變遷，其嚴酷效應之一是地球溫度之上升。以今年(2022年)夏季而言，由6月份進入7月份在我國沒有感受到特別炎熱，但在緯度較高的美國大部分地區，普遍遭受40℃高溫之肆虐。日本首都東京也飆至40℃左右，可謂185年來首次迎來的熱浪。海濱或有水之處，擠滿戲水消暑人潮。

據說中國自唐朝至20世紀，地球溫度僅上升約1℃而已，而近年來因生活與工業生產大量消耗能源，排放巨量二氧化碳，導致地球升溫加劇。

許多研究與出版物均指出造成地球氣溫近年來快速上升的元兇是燃燒化石燃料產生溫室氣體的二氧化碳，這已是眾所周知的事實。在地球溫室氣體中，二氧化碳之貢獻度最高，其他溫室氣體尚有甲烷、N₂O、SOX及氟氯碳化物等。而在一個世紀以來，尤其是工業革命迄今，普遍使用的化石能源包括煤炭、重油、汽油、柴油等，二氧化碳排出量都甚高。

為因應與最終解決氣候變遷及造成的地球暖化，節能減碳已是世界各國，特別是先進國家的共識。經過歷次氣候變遷公約與國際會議之討論，已議定淨(零)排放時程，欲在2050年達成碳中和目標。

所謂碳中和(Carbon neutral)意即全球產生的二氧化碳排放量，應等於改用低碳或無碳燃料使碳排減量，達到真正排放之總量，二氧化碳淨排放量為零。所謂低碳或無碳燃料或能源係指燃燒後二氧化碳排放量相對較低或不排放二氧化碳者。

至此世界進入能源轉型的新時代，多年來扮演要角的煤炭、石油等化石能源，將逐漸被可再生能源取代。而持續適用的化石系油料則逐步改為二氧化碳排放低者，如海運重燃料油改為輕燃料油、LNG等。在源自石油的碳氫化合物中以天然氣燃燒後二氧化碳排出量最低，故在能源轉型潮流中扮演「脫碳」(Decarbonization)之重要角色，不亞於可再生能源(Renewables)。故諸多市

除使用二氧化碳排出小的燃料外，另一重要的課題是設法將燃燒後排出的二氧化碳予以捕捉，不讓其散佈至大氣中（如圖 1 示例代表性做法），特別是將來自鋼鐵、煉油、石化等大量排放 CO₂ 的工廠設置捕捉設備，進行回收。目前所謂 CCU 就是將 CO₂ 捕捉、儲存、再利用；CO₂ 是生產醋酸及合成氨之重要原料。

天然氣和汽油、柴油、重油等自原油煉製而得之產品均屬化石能源，所不同的是天然氣為氣體，各種石油煉製品為液體。在地球上天然氣（主成分甲烷約占 90% 以上）是最富含氫氣的產品，其分子結構係由一碳原子和四氫原子所組成。在追求全球碳中和之中，氫氣是另一重要話題，與天然氣同屬能源轉型中被高度矚目的焦點。

天然氣資源蘊藏於世界各地，只是數量不同而已。在熱門、運輸方便、接近消費市場地域，開採與供應成本較廉，價格較低，其消費正在往全球不

同地域伸展。代表性價格，北美地區 3.92 美元 /MMBtu；歐洲地區 12 美元 /MMBtu。據預測受能源轉型、2050 年實現地球碳中和目標之驅動，全球天然氣價格可望與時俱增，而作為清潔能源之天然氣，將受到更大的青睞。

據報導柴油 (diesel) 在傳統上被認為是燃料選擇的首選，因天生所具有能源密度、可靠性、方便性及相對之成本優利性。柴油廣用於交通車輛、工廠加熱、海運船舶等。然而如今廣被認知的是相較於柴油，天然氣燃燒後排氣較少，CO₂ 減 40%、NOX 減 80%、SO₂ 減 99%。機構或廠家為因應二氧化碳減量規定，第一步可採取的是以天然氣取代原用的燃料，我國國發會已擬定配合 2050 年達成碳排放之政策作法，提交立法院審議。

最近俄烏之戰對世界能源供需之影響，坊間已有很多報導、解析及評論。緣俄羅斯為世界天然氣儲量最大國家，其國土橫跨歐亞兩洲，從最東邊的堪察加半島至西邊的歐俄邊境，普遍有大量蘊藏。尤以廣闊無際的西伯利亞，地下存在巨大驚人的天然氣庫。

歐洲國家習以原油、煤炭為主要能源，天然氣儲量、產量較少。尤其德國發動兩次世界大戰，皆賴煤炭供作工業原料及能源，技術開發盛極一時。在前蘇聯時期，以德國為首的西歐國家與蘇聯簽訂長期天然氣之購售合約，並建造自西伯利亞通往西歐的大型天然氣輸氣管道系統，近年又鋪設通往該國的北溪 2 號管道。

俄烏戰爭方熾，俄羅斯雖被制裁，然要求向其購氣需以盧布付款，否則斷氣之下，各國也不得不面對現實。回顧冷戰時期，戰略學家們頻頻警告，仰賴俄羅斯天然氣後果，此時不幸應驗。

三、降低碳排放天然氣應運而起

如上所述在降低碳排放之優勢下，天然氣之供需預測在 2020 至 2030 年可見快速成長，而由可再生能源的各項解決方案取代之之前，天然氣之需求將於 2037 年達到高峰。有專家認為，天然氣較其他化石能源另一項優點是儲存更具環境友善性。有些預測指出，天然氣依目前消費水平來看，未來尚足夠開採供應 230 年。

儘管近幾年氣體碳氫化合物價格隨著經濟情勢之波動而起伏，不過有專家認為天然氣技術發展成熟。上山下海，甚至深海探採，還有水平鑽採生產頁岩氣之新發展，顯示天然氣供應無虞、可靠。對需求大的工商界之應用，也具有

能源選擇之彈性。舉例來說全球各類採礦業快速發展，在較偏僻地區需要動力甚殷，過去仰賴柴油或丙烷發電，現在可改採天然氣發電機，為礦場作業提供足夠動力。

天然氣事業的技術發展快速而顯著，從天然氣井頭到終端用戶，技術與效率偕同時提高，轉化成用戶成本之節省。特別是液化天然氣生產設施，無論大型廠或小設備，見諸全球各地。美國能源情報管理局預測其天然氣之產銷，將由 2022 年 1044 億立方呎 / 日增加至 2023 年 1066 億立方呎 / 日，達到歷史新高。

依主要生產國包括卡達、澳洲之報告數據，世界天然氣需求增加主要是工業部門消耗之成長。目前約 8% 天然氣用於石油化學原料，其餘擴張部門尚有余中游天然氣預處理部門、LNG 製造、氫氣製造及合成氨之生產。

四、世界 LNG 發展新貌

LNG 產業之發展已歷 50 年，今後在能源轉型與二氧化碳排放削減，達成淨(零)排放之所謂碳中和境界中，將扮演主宰性任務。天然氣將與發電、氫氣、合成氨、石油化學等生產製造發生密切連動。

世界燃料淨(零)碳排放政策與發電之需求，加速天然氣市場發展。有一例是非洲、南美及加勒比海盆地等偏遠地區貴金屬採礦業之興起，導致分佈式能源需求大增，此需建立 2 至 35MW 之微電網，LNG 成為最適宜的發電燃料。

中國及印度皆是擁有 14 億人口之大國，為使能源充份供應，採取多元化之策略，因而煤製造天然氣是帶動 LNG 需求之主要因素。猶記幾年前之報導稱中國北京市所需天然氣供應有一半是煤製氣；中國因煤炭產量豐富，至今能源供應仍有 70% 左右仰賴煤炭；近年更與俄羅斯簽訂為期 30 年金額高達 4,000 億美元之天然氣購售長期合約，屬管道瓦斯，需建造大型管道系統，從西伯利亞至中國東北入境，延伸至華北，直至上海，另由其他國家海運進口之天然氣則屬 LNG。

歐洲也是新興的 LNG 消費地區，自 10 餘年前美國開發頁岩氣成功，主要石油化學企業亦開始進口乙烷取代輕油，生產乙烯，雖 2019 年起發生新冠病毒大流行，接著爆發俄烏戰爭，仍不受影響。為擺脫俄羅斯對天然氣外銷歐洲之阻擋，今後各國自其他地區進口 LNG 將大增。依市場研究報告指出，至 2040 年進口量將新增 2.10 億公噸 / 年，與今日進口量相比幾提高 50%。

過去 LNG 市場全球性之擴張一直存在無法跨越之瓶頸，即缺乏進口港站與相關設施及政府之支持，凡此種種都有待解決。

由頁岩氣生產并得出的大量天然氣，被稱為非傳統天然氣 (Non-conventional gas)，此天然氣直接由生產地運送至輸出港，在岸邊或沿岸的海上生產船製成 LNG，再用運輸船行銷世界各地，供製造乙烯及民生等用途。

供製造 LNG 之天然氣一般先經過預處理過程 (Pretreatment)。原料天然氣因產地等之差異，成分有別，污染物含量亦不同，經過氣體處理場可做各項調整。今日大型 LNG 廠採用最新之技術，包括新式混合型冷凍劑 (Mixed refrigerants, MR) 之使用，使天然氣液化操作更加優化，此種新型冷凍液化技術亦適用於大型液態氫生產廠；另為適合中小規模市場消費之需，各類中小型 LNG 生產廠也競相於不同地域出現，應用高效率模組化設備 (Modular LNG unit)，爭取潛在消費市場。

有專家認為各國之國家政策對 LNG 市場之增長速度有重大影響。LNG 使用對未來面對降低碳排放所仰賴之可再生能源，如風能、太陽能及電動車 (EV) 等穩定性不足，可提供很好的保險。換言之，LNG 可穩定供應，而再生能源供應可能呈現不穩定性或間歇性。如受天氣影響，陽光不足，太陽能供應將減少、風力減弱風能產生就小。

近年因電動車、風力發電機及儲蓄電池之生產，對鉑、鈮、鈷等金屬需求增多，導致價格大漲。某些專家認為或將延緩全世界推動二氧化碳零排放目標達成的時程，可能有賴更多 LNG 消費。

不過眾所熟知，新 LNG 輸、儲設施建置限制甚多，如退而求其次，只能從既有設施提升操作效率及實行優化，以增加營運量。縱觀我國第三 LNG 接收站歷經 10 餘年之辛苦籌劃，值得欣喜的是已走向開工階段；另為推動以天然氣取代煤炭供作發電燃料，臺灣電力公司刻正於基隆尋覓上站位址，過程雖困難，應能慢慢克服。

依國外報導，已於其他產業使用的人工智能技術 (AI)，包括機器學習 (ML) 及各項操作解決方案，亦將被引進天然氣產業，應用於自生產至市場行銷，裨益 LNG 運營。

據說採用這些新技術應用於天然氣生產，即使是增加 1 至 2% 的產量，也

能創造出 1000 至 2000 萬美元的額外收益。AI 和 ML 配合使用，可分析、確認影響生產的各項因素，包括不易發現的不同時段產率變化及品質狀況。

五、天然氣延伸用途之市場發展

(一) 小型 LNG 設施

前面提過 LNG 大規模儲運，接收站之設立不易，尤以偏遠地區為甚，因此近年小型生產廠發展迅速，不少技術顧問公司可提供中小型設備與製造技術，此類廠家正致力爭取利基市場機會；圖 2 示例一座小型 LNG 設備。

圖 2 供應利基市場之小型 LNG 設備



圖 4 新型天然氣行銷模式稱為 SSLNG(Small style LNG)，即小型 LNG 設備，用於小型市場。目前如加勒比海、中美洲、部分南美洲為主要推動地區，其利基是彌補用風力、太陽能等再生能源之不確定性，即當發生間歇性停頓或不足，需要其他電網提供電力，以資平衡，確保穩定性。

(二) 氫氣 (H₂)

今後降低 CO₂ 能源系統中，專家們認為氫氣具有極大潛力。全球很多國家都在探討、生產氫氣，將其視為具有永續性及成本效能能源的來源，未來也可利用 LNG 設備輸儲水性液態氫，或將氫氣與既有天然氣摻配，裨利於全國性、區域性的能源儲存，降低氣體洩漏。氫氣可加入天然氣管線中，終端用戶可用兩種氣體之混合產品。

氫氣之用於發電、交通運輸及其他用途，正受投資人青睞。LNG 外銷業者正考慮將氫氣業者列入客戶名單，盼其使用 LNG 設施運輸水性液態氫；部分 LNG 製造中使用之冷凍劑，也考慮用於液化氫氣。

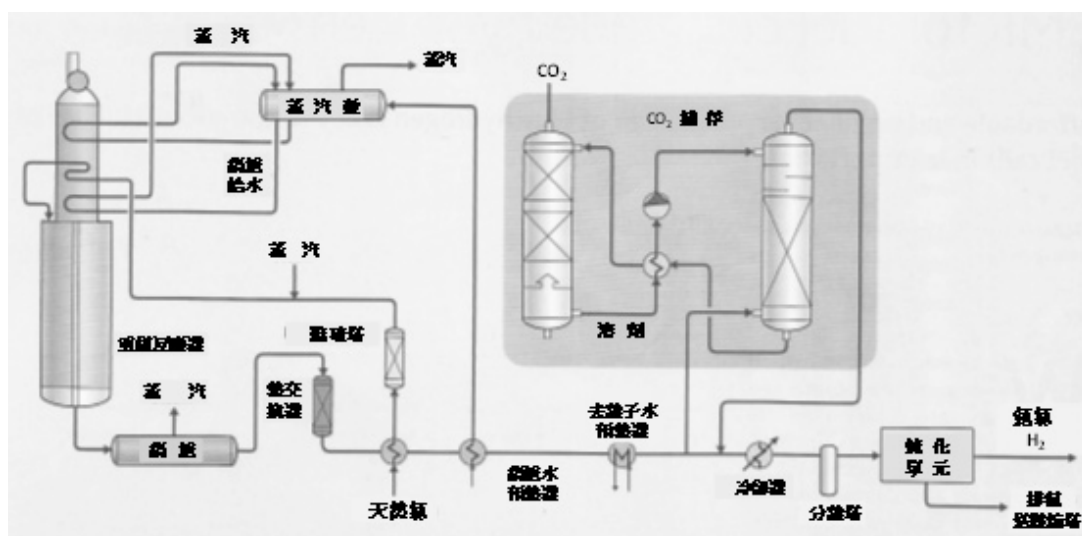
另製造 LNG 之冷凍技術，用於使具揮發性的氫氣，冷卻至零下 253℃ 製成液態氫，提增密度。關於液態氫之管道輸送較令人憂心，因氫氣可能會使輸送管道發生脆化作用，減損安全性。就終端用戶而言，液態氫具高能源密度，是減少 CO₂ 排放最佳的選擇，尤其適合供作海運船舶燃料。

據報導稱，以 LNG 生產設備製造液態氫，比單獨建造成本約省 55%。

在實施二氧化碳減量，以期達到排放淨零的目標，氫氣是重要而具關鍵的物質。全球工業用之氫氣市場至今已達 1200 億美元，預期持續增加。綠色氫 (Green hydrogen) 純度高，作為一項單獨的生態系統燃料，在下游煉油、石化工業更具重要性，需求將持續成長。美國銀行最近估計至 2050 年前綠色氫之投資機會將高達 11 兆美元。

天然氣是大規模生產氫氣的原料，最著名為甲烷蒸汽重組製程 (SMR)。如圖 3 所示，甲烷經蒸汽重組 (Reforming) 生成合成氣，其組成為 CO₂+H₂。將 CO₂ 以胺溶劑吸收分離，就得出氫氣，此氫氣產品純度較低，稱為灰氫，純化後可得藍氫和綠氫，供工業用。

圖 3 由天然氣生產氫氣流程圖



(三) 合成氨

合成氨 (Ammonia) 是一種石油化學工業大量製造的產品，曾被譽為產量最大的石化品。合成氨製造原料是氫氣及氮氣，前者來自天然氣，後者來自空氣，合成氨廣泛使用為農業肥料，若與 CO₂ 反應，生成另一種更重要的氮肥，即尿素。

除供作肥料用之外，合成氨在綠色能源經濟上不斷擴大其角色，因易於液化，利於儲存或做全球性輸送，可用與 LNG 相同之運輸設備。拜技術進步所賜，使用再生能源或甲烷重組工廠獲得的 CO₂ 生產的合成氨，直接燃燒不會排放二氧化碳，屬於綠色能源。

由於先進技術開發，在此「氫能革命」時代，合成氨一躍成為主角，其能源密度大於氫。據研究報告稱，以體積計算，相同體積的合成氨密度大於氫約 45，即更多合成氨可儲存於相同體積的氫儲槽。

環境劇變中的能源市場 -- 2021 年全球能源統計回顧

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

摘要

全球能源市場度過 2020 年新冠病毒肺炎疫情影響所造成的嚴重萎縮，2021 年在各國政府全力防疫，快速研發並使用疫苗，雖然仍有病毒變種的問題，未能完全控制及解除疫情，但已日漸擺脫全面封鎖，回復經濟活動。

2021 年初級能源需求反彈 5.8%，超過 2019 年水平，化石燃料消耗量佔能源使用總量的 82%，但仍比大流行前水平低，主要是因為航空業暫時尚難以恢復乘客數量。天然氣消耗量同比增長約 5%，煤炭消耗量上升 6%。石油、天然氣及煤炭等能源價格高漲。2022 年初俄烏戰爭爆發，西方國家對俄羅斯實施經濟制裁，包括石油、天然氣，導致各國急於確保能源供應，以取代俄羅斯能源。

能源造成的溫室氣體排放隨著能源消耗的增加而大幅上升，世界仍然走在一條不歸路上，這勢必難以實現 COP 26 氣候協議的承諾。儘管如此，可再生能源出現令人鼓舞的增長跡象，其中風能和太陽能的強勁擴張佔總發電量 13%。要達到淨零碳排的目標，目前已經存在各種實現快速和深度脫碳所需的低碳能源及技術，包括風能及太陽能、生物燃料、藍色及綠色氫、CCUS（碳捕獲、使用及儲存）及二氧化碳去除，但最大的挑戰是如何以前所未有的速度及規模應用。

在劇變環境中整個能源系統正面臨自 1970 年能源衝擊以來最大的挑戰及不確定性，包括日益嚴重的能源短缺和價格上漲，能源安全和可負擔性，及邁向低碳的能源轉型。

前言

2019 年底新冠肺炎 (COVID-19) 發生於中國大陸，2020 年迅速蔓延至全球，嚴重影響經濟活動及能源市場，尤其能源市場大幅衰退，包括天然氣及各種能源，碳排放量也因此顯著降低。

英國石油公司 (BP) 於今 (2022) 年 6 月 28 日發表第 71 版世界能源統計回顧 (BP Statistical Review of World Energy 2022, 71st edition)，完整蒐集分析 2021 年全球能源數據。BP 自 1952 年來持續發布全球能源統計報告，70 年來的歷史資料可看出能源市場深切反映自然環境、政治、經濟、戰爭、科技的變動，提供作為追蹤分析能源市場發展的重要數據。近年來全球氣候變遷促成能源轉型，綠能及低碳能源成為全球趨勢，新冠肺炎疫情肆虐、俄烏戰事、加上通貨膨脹，造成全球經濟發展前景的不確定性，環境瞬息萬變，皆對能源市場造成重大影響。本文試從 BP 發表數據檢視能源市場變化軌跡。

新冠肺炎疫情對能源市場的影響

2019 年疫情爆發前，全球經濟穩定快速成長，能源需求逐年成長，總初級能源量屢創新高，縱有全球氣候暖化的憂慮，設定淨零碳的目標，化石能源仍佔總初級能源量的最大比例，碳排放量未曾下降，均在 2019 年達到新高。

2020 年是全球能源市場歷史性的一年，市場受到新冠肺炎疫情嚴重衝擊，發生數十年來最動蕩的劇變，整體能源市場大幅衰退，包括天然氣和各種能源，碳排放量也因此顯著降低。依據 BP 2021 年出版的世界能源統計，2020 年全球初級能源消耗量 556.63 艾焦 (exajoules, EJ)，較 2019 年減少 24.88 EJ (4.3%)，是自 1945 年以來降幅最大的一年，最主要原因是石油消耗量下降，佔總初級能源消耗淨下降量的近 3/4，遠大於其他化石能源天然氣和煤炭的下降。儘管整體能源消耗量下降，但風能、太陽能和水力發電均有所增長。2020 年能源消耗所造成的碳排放量達 32284.1 百萬噸二氧化碳，較 2019 年下降 2072.5 百萬噸，相當於年減 6.3%，也是 1945 年後最大降幅，一度被認為若每年持續此降幅，將有望達成巴黎協議的減碳目標，唯 2021 年碳排再度上升，短暫的下降只是曇花一現。

2020 年的全球天然氣市場變化，天然氣價格跌到多年來的低點，美國亨利港 (Henry Hub) 天然氣平均價格為 1.99 美元/MMBtu，為 1995 年以來最低價，而亞洲液化天然氣價格 (日本韓國市場價格 Japan Korea Marker, JKM) 也創下歷史最低紀錄 (4.39 美元/MMBtu)。

天然氣消耗量 38228 億立方公尺，較 2019 年減少約 811 億立方公尺，相當於年減 2.3%。儘管全球天然氣消耗量下降，所提供的初級能源達到

137.62EJ，佔全球初級能源 24.7%，天然氣的比重持續逐年上升，創歷史新高。面對疫情的影響，全球天然氣消耗量雖下降，但韌性很顯然地遠高過煤炭，受惠於低油氣價及減碳的需求，天然氣發電在美國佔比提升，也在歐洲保有一席之地。

2020 年全球天然氣產量 38537 億立方公尺，較 2019 年減少 1225 億立方公尺（約 3.1%），其中降幅最大的是俄羅斯和美國，液化天然氣供應量相當於 4879 億立方公尺天然氣，較前一年增加 41 或 0.8%。全球區域間天然氣交易量 9401 億立方公尺，較 2019 年減少 500 億立方公尺，相當於 5.3%，主要是管道氣交易量下降 540 億立方公尺。歐洲是全球最大的天然氣市場，俄羅斯和其他管道天然氣出口國家面臨與液化天然氣競爭。

2020 年煤炭受到電力需求下降和可再生能源部署增加的影響，創有紀錄以來最大降幅（405terawatt-hour,TWH，相當於年減 4.4%），部分減少的份額被可再生能源的增長所取代，此外煤炭還受天然氣競爭的影響，尤其是在美國及歐盟，但煤炭在初級能源及發電部門仍扮演極大角色，要達到淨零碳目標的能源轉型，顯然還有很長的路要走。

2021 年新冠肺炎疫情緩和後的能源市場

度過 2020 年新冠肺炎疫情影響所造成的嚴重萎縮，2021 年在各國政府全力防疫，快速研發並使用疫苗，雖然仍有病毒變種的問題，未能完全控制及解除疫情，但全球已日漸擺脫全面封鎖，回復經濟活動。能源市場亦擺脫疫情影響迅速反彈，回復至疫情肆虐前的狀況。

全球初級能源消耗量上升，達到 595.15 EJ，較 2020 年增加 5.8%。能源消耗所造成的總碳排放量也因此高達 33884.1 百萬噸二氧化碳，較 2020 年增加 5.9%，已幾乎回復到疫情前的碳排放量。天然氣、石油及煤炭等化石能源仍居能源需求的主流，可再生能源繼續強力成長。

2021 年的全球能源石油、天然氣及煤炭價格大漲，全年平均油價布蘭特原油 70.91 美元 / 桶、西德州原油 68.1 美元 / 桶（相較於 2020 年 41.84 及 39.25 美元），天然氣價美國亨利港 (Henry Hub) 天然氣平均價格為 3.84 美元 /MMBtu，亞洲液化天然氣價格（日韓市場價格 Japan Korea Marker,JKM）18.6 美元 /MMBtu（相較於 2020 年 1.99 美元及 4.39 美元）。煤炭價格西北歐

煤價 121.7 美元 / 噸 (相較於 2020 年 50.16 美元)，亞洲平均價格為 145 美元 / 噸，均創 2008 年以來的新高。

天然氣

2021 年全球天然氣消耗量為 40375 億立方公尺，較 2020 年增加約 1919 億立方公尺，相當於年增 5.3%，恢復至 2019 年疫情大流行前水平，並首次突破 40000 億立方公尺 (4Tcm) 大關。天然氣所提供的初級能源達到 145.35EJ，佔全球初級能源的 24.4%，約與前一年持平。

全球天然氣產量 40369 億立方公尺，較 2020 年增加 1754 億立方公尺 (約 4.8%)。

液化天然氣供應量在 2021 年增加 260 億立方公尺 (5.6%)，達到 5160 億立方公尺，是自 2015 年 (2020 年外) 以來最低年增長率。美國的液化天然氣供應量增加 340 億立方公尺，佔全球新增供應量的大部分，抵消主要來自其他大西洋盆地液化天然氣出口量的下降。中國超過日本成為全球最大的液化天然氣進口國，幾佔 2021 年全球液化天然氣需求增長量的 60%。

自 2000 年以來，BP 一直不斷追全球液化天然氣貿易。本世紀初，日本是世界上最大液化天然氣進口國，每年進口量約相當 750 億立方公尺天然氣，2011 年東北大地震關閉許多核電站後，液化天然氣進口量達到顛峰，整個歐洲是第二大進口區域，其次是韓國。中國直到 2006 年才開始進口液化天然氣，去年 (2021 年) 進口液化天然氣 1095 億立方公尺，現已成為世界上最大的液化天然氣進口國，比歐洲多 13 億立方公尺。過去十年中，亞洲佔全球液化天然氣貿易量的 70%，特別是中國在全球液化天然氣貿易及亞洲液化天然氣貿易中的份額都增加 2 倍多。

石油

2021 年石油消耗量每天 9408.8 萬桶，約增加 530 萬桶，相當於 6%。

2021 年全球石油生產量增加 140 萬桶 / 天，其中歐佩克 + (OPEC+，石油輸出國組織與夥伴國) 佔增加量 3/4 以上，利比亞增加 84 萬桶 / 天、伊朗增加 54 萬桶 / 天及加拿大增加 30 萬桶 / 天，增幅最大，尼日利亞減少 20 萬桶 / 天、英國減少 17 萬桶 / 天，安哥拉減少 15 萬桶 / 天，跌幅最大。

2021 年全球煉油廠產能由於經合組織急劇減少 (110 萬桶 / 天)，30 多

年來首次下降近 50 萬桶 / 天。經合組織國家 2021 年煉油能力處於 1998 年以來最低水平。

煤炭

煤炭消費量在 2021 年增長超過 6%，達到 160EJ，略高於 2019 年水平，為自 2014 年以來的最高水平。其中中國及印度煤炭需求量分別增長 3.7 和 2.7EJ，佔全球煤炭需求增長量 70% 以上。

配合全球煤炭消費量的增加，2021 年煤炭產量增加 4.4 億公噸，主要是中國及印度的增長，大部分供應國內消費，另外有印尼的增產出口。值得注意的是，在能源轉型過程中，煤炭消費量在經歷近 10 年的連續下降後，2021 年歐洲及北美煤炭消費量都出現增長。

可再生能源

可再生初級能源（包括生物燃料，但不包括水電）在 2021 年增加約 5.1EJ，年增長率 15%，高於前一年 9%，並高於 2021 年任何其他燃料。太陽能及風能裝機容量在 2021 年持續快速增長，增加 226 吉瓦 (GW)，接近 2020 年的創紀錄增幅 236GW。2021 年中國仍是太陽能及風能產能增長的主要驅動力，分別佔全球新增產能 36%、40% 左右。

電力

2021 年全球發電量 28466.3 太瓦時 (terawatt-hour,TWH)，增加 6.2%，與 2010 年金融危機後的強勁反彈（6.4%）相似。煤炭仍是 2021 年發電的主要燃料，其佔比從 2020 年 35.1% 增加至 36%。天然氣發電量在 2021 年增長 2.6%，儘管其佔比從 2020 年 23.7% 下降至 2021 年 22.9%。風能及太陽能佔發電量的比重達到 10.2%，二者首次提供超過 10% 的全球電力，並超越核能的貢獻。

可再生能源電力、水電及核電

可再生能源（風能、太陽能、地熱能、生物質能及水電）近年來持續成長，對世界電力結構的佔比在 2019 年突破 10% 大關，2021 年更達到近 13%，其中以風能及太陽能主導，兩者之發電量已高於核能發電量。

過去兩年全球發電增長量有一半是由可再生能源發電所貢獻。2021 年中國生產的可再生能源電力已超越歐洲，全年內可再生能源總發電量 1152.5 TWH，較前一年增加近 290TWH。日本及印度總發電量為 302TWH。回顧 1965 年美國生產的可再生能源電力 13TWH，歐洲生產 3TWH，而中國直到 1990 年才有可再生能源發電數據，當時是 0.1TWH，至 2016 年其可再生能源發電總量超過美國，並達到歐洲可再生能源發電總量的近 60%，2021 年超過歐洲。

水力發電量在 2021 年下降約 1.4%，這是自 2015 年以來首次下降。

核電在 2021 年實際上還是很重要，增長近 4%，是自 2004 年以來最大增幅，達到 2800.3TWH，約佔總發電量 28466.3TWH 的 10%，主要由於中國的增加。

我國能源的變化

我國總初級能源逐年成長，2020 年受疫情影響顯著下降後，2021 年回升，較前一年增加 6.2%，達到 4.98EJ，佔全球總初級能源 595.15EJ 的 0.8%。

2020 至 2021 近兩年我國發電燃料仍以天然氣、煤炭及核能為主，天然氣由 35.7% 升至 37.2%，煤炭由 45% 降至 44.3%，核能由 11.2% 降至 9.6%，而水力發電及可再生能源發電則由 4.8% 升至 5.4%，組成百分比已略漸改變，但與政府能源轉型目標仍有相當距離。

天然氣發電逐漸成為主流，液化天然氣進口量逐年增加。2021 年我國液化天然氣進口量較前一年增加 25 億立方公尺，達到 268 億立方公尺，佔全球液化天然氣進出口交易量 5162 億立方公尺的 5.2%，是亞洲第四大液化天然氣進口國，僅次於中國 1095 億立方公尺、日本 1013 億立方公尺及韓國 641 億立方公尺。

2021 年我國液化天然氣進口國包括美國 24 億立方公尺、千里達 2 億立方公尺、俄羅斯 26 億立方公尺、阿曼 6 億立方公尺、卡達 65 億立方公尺、阿拉伯聯合大公國 1 億立方公尺、埃及 3 億立方公尺、奈及利亞 8 億立方公尺、澳大利亞 86 億立方公尺、汶來 1 億立方公尺、印尼 16 億立方公尺、馬來西亞 7 億立方公尺及巴布亞紐基內亞 2 億立方公尺。

俄烏戰爭對能源市場的影響

2022 年 2 月 24 日俄烏戰爭爆發，持續至今仍未見終止跡象，戰事引發西方國家對俄羅斯的經濟制裁，包括呼籲抵制俄羅斯的能源。俄羅斯是化石能源主要生產國，一直以來就是歐洲等國的能源主要進口國，此舉嚴重影響全球，尤其是歐洲能源市場的供需。

俄羅斯與歐洲的能源關係密切，其化石能源豐富，2021 年石油產量每天 1094.4 萬桶，佔全球石油產量每天 8987.7 萬桶的 12.2%，是全球第三大產油國，僅次於美國和沙烏地阿拉伯。石油出口量每天 823.4 萬桶，全年出口原油 263.6 百萬噸及石油煉製產品 140.7 百萬噸，共 404.3 百萬噸，其中 138.7 百萬噸原油及 75.9 百萬噸油品輸往歐洲，超過全歐洲石油進口量的一半。

俄羅斯天然氣產量 701.7 億立方公尺，佔全球天然氣產量 4036.9 億立方公尺 17.4%，是全球第 2 大產氣國，僅次於美國。全年天然氣出口量 241.3 億立方公尺，包括管道氣 201.7 億立方公尺及液化天然氣 39.6 億立方公尺，其中管道氣 167 億立方公尺輸往歐洲。

歐洲每年大量進口天然氣 3410 億立方公尺，包括管道氣 2328 億立方公尺及液化天然氣 1082 億立方公尺。管道氣進口以俄羅斯為主 (1670 億立方公尺)，另外來自非洲阿爾及利亞 (341 億立方公尺) 和利比亞 (31 億立方公尺)、亞塞拜然 (195 億立方公尺) 及中東伊朗 (91 億立方公尺)。液化天然氣 1082 億立方公尺來自美國 (308 億立方公尺)、俄羅斯 (174 億立方公尺)、卡達 (225 億立方公尺)、阿爾及利亞 (154 億立方公尺) 及奈及利亞 (130 億立方公尺)。

因應擺脫對俄羅斯能源的倚賴，歐洲能源將做改變，例如北非阿爾及利亞對歐洲的管道天然氣出口是去年該地區供應增長的最大來源（增加 130 億立方公尺），其次是阿塞拜疆（增加 60 億立方公尺）。儘管 2021 年俄羅斯對歐洲管道供應總量維持在 1670 億立方公尺，但對歐盟出口量減少 120 億立方公尺（8.2%）。

俄羅斯煤炭產量 433.7MT，佔全球 8172.6MT 的 5.3%，相當於初級能源 9.15EJ，其中 5.99EJ(65%) 出口，主要出口至歐洲 (2.11EJ) 及中國 (1.46EJ)，歐洲雖有產煤炭 516MT，但仍不足，需大量進口，每年進口 4.38EJ，其中 2.11EJ 來自俄羅斯。換言之俄羅斯生產之煤炭有 65% 出口，其中有 35% 輸至歐洲。而歐洲的煤炭進口量有 48% 來自俄羅斯。

結語

2020 年全球受新冠病毒疫情影響，地區封鎖，經濟活動減緩，能源需求減少，油價暴跌，碳排放量也因此史無前例大幅下降，但一年後，隨著疫苗出現，世界各地陸續逐漸解封與病毒共存，經濟活動復甦，能源市場開始活絡。2021 年初級能源需求反彈 5.8%，超過 2019 年的水平，化石燃料消耗量佔能源使用總量的 82%，全球石油需求每天增加 530 萬桶，但仍比大流行前水平低 370 萬桶，主要是因為航空業暫時尚難以恢復乘客數量。天然氣消耗量同比增長約 5%，煤炭消耗量飆升 6%。石油、天然氣及煤炭等能源價格高漲，歐洲天然氣現貨市場價格創紀錄飆升 4 倍，亞洲現貨市場價格也上漲 3 倍。2022 年初俄烏戰爭爆發，西方國家對俄羅斯經濟制裁，包括石油、天然氣，導致各國急於確保能源供應，以取代俄羅斯能源。

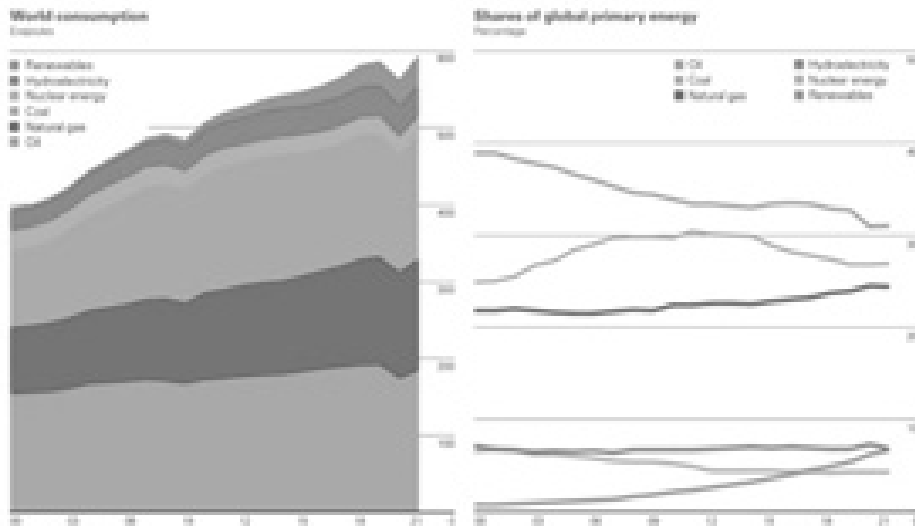
能源造成的溫室氣體排放隨著能源消耗的增加而大幅上升，自巴黎協議達成目標共識以來，碳排放量除 2020 年下降外每年均在增加，世界仍然走在一條不歸路上，這勢必難以實現 COP 26 氣候協議的承諾。

儘管如此，可再生能源出現令人鼓舞的增長跡象，其中風能及太陽能的強勁擴張，佔總發電量 13%。要達到淨零碳排的目標，目前已經存在有各種實現快速和深度脫碳所需的低碳能源及技術，包括風能及太陽能、生物燃料、藍色及綠色氫、CCUS（碳捕獲、使用和儲存）及二氧化碳去除，但最大挑戰是如何以前所未有的速度和規模應用。

綜言之，隨著世界大部分地區對 COVID-19 限制放鬆及經濟活動的復甦，能源消耗量正在急劇擴大，增加對可用能源供應需求，另外 2022 年初俄烏戰事，導致糧食及能源短缺，嚴重影響經濟發展，加上長期而言，為實現巴黎氣候協議目標所要求的快速大幅脫碳，雖然主權承諾方面取得相當大的進展，但尚未轉化為實際的進展，在在突顯能源系統的脆弱性。整個能源系統正面臨自 1970 年能源衝擊以來最大挑戰及不確定性，包括日益嚴重的能源短缺和價格上漲，能源安全和可負擔性，及邁向低碳的能源轉型。

圖示 初級能源

圖 1 2000-2021 年全球各類初級能源佔比逐年變化圖 (單位：百分比)



資料來源 :Statistical Review of World Energy, BP 2022/ 71st edition。

圖 2 2019-2021 年全球初級能源燃料組成百分比

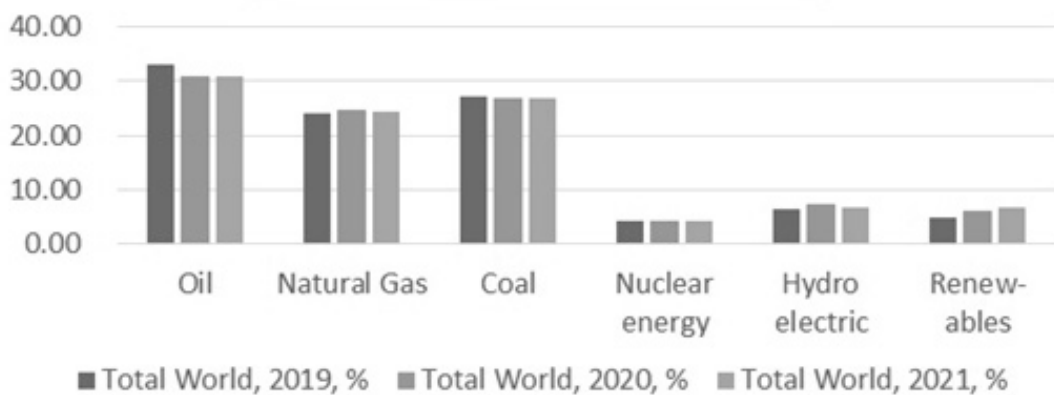
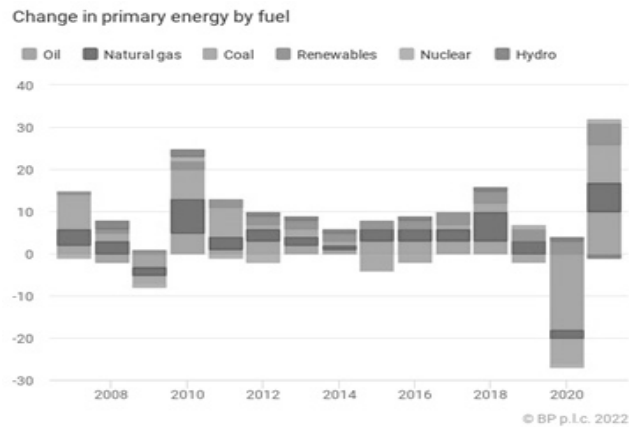


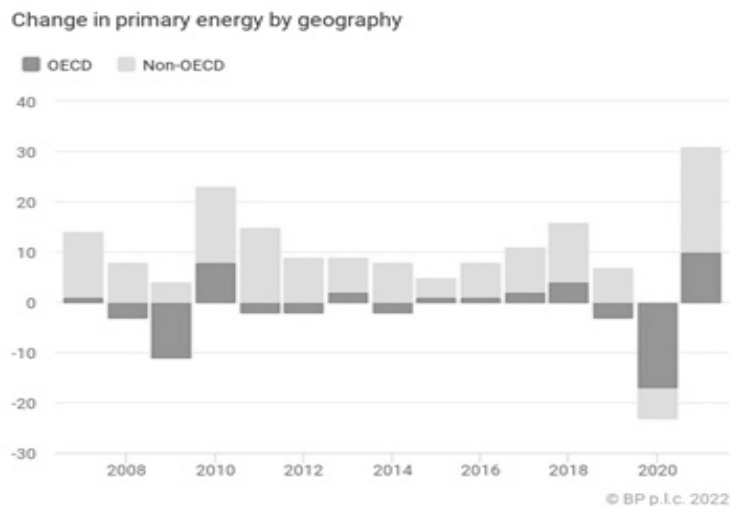
圖 3 2007-2021 年全球初級能源消耗逐年變化量圖 (單位：exajoules)



資料來源 :Statistical Review of World Energy, BP 2022/ 71st edition。(顯示燃料組分)

說明：2021 年初級能源需求量增加 31 EJ，創下歷史最大增幅，扭轉了 2020 年的急劇下降趨勢，比疫情前 2019 年的用量高出 8 EJ。值得注意的是 2019 年至 2021 年間初級能源的增長量完全由可再生能源驅動，可再生能源增加 8 EJ 以上。2021 年化石燃料的消費量基本上與 2019 年類似，佔初級能源使用量的 82%，低於 2019 年的 83% 和五年前的 85%。2021 年石油消費量減少 8 EJ，天然氣增加 5 EJ，和煤炭增加 3 EJ 所抵消。

圖 4 2007-2021 年全球初級能源消耗逐年變化量圖 (單位：exajoules, EJ) (顯示區域，經濟合作發展組織 (organization for economic cooperation and development, OECD) 和非經濟合作發展組織)

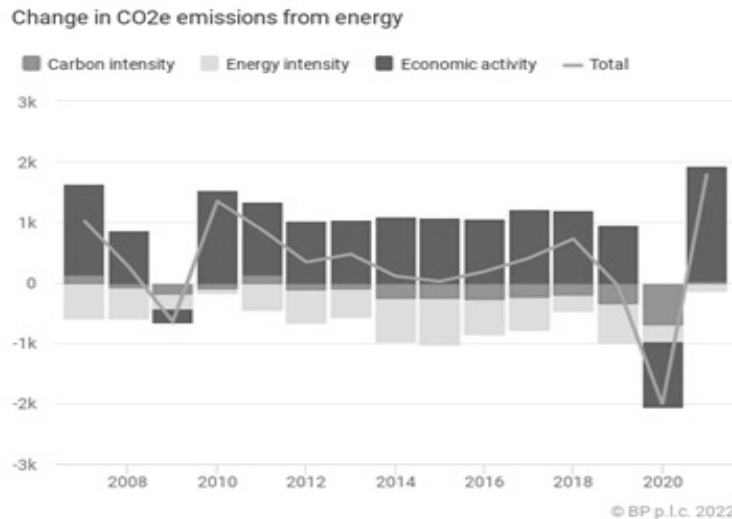


資料來源 :Statistical Review of World Energy, BP 2022/ 71st edition。

說明：2021 年初級能源的增長主要是由新興經濟體地區 / 國家推動的，增加 13 EJ，其中中國增加 10 EJ。相比之下，2021 年經濟發達國家的能源需求量比 2019 年低 7 EJ。

碳排放量

圖 5 2007-2021 年能源造成的碳排放變化量圖 (單位：百萬噸)



資料來源 :Statistical Review of World Energy, BP 2022/ 71st edition。

說明：2021 年經濟活動復甦，能源消耗量急劇增加，碳排放量因此隨之增加。2021 年能源使用、工業過程、燃燒和甲烷（以二氧化碳當量計）的二氧化碳排放量上升 5.7%，達到 39.0 Gt CO₂ e，能源產生的二氧化碳排放量上升 5.9% 至 33.9 Gt CO₂，接近 2019 年水平。燃燒產生的二氧化碳排放量以及甲烷和工業過程的排放量分別溫和增長 2.9% 和 4.6%。碳強度及能源強度在 2021 年沒有明顯改善。

石油

圖 6 全球天然氣消費量 1965-2021 年 (單位：十億立方公尺 BCM) 2021 年 - 4037 BCM

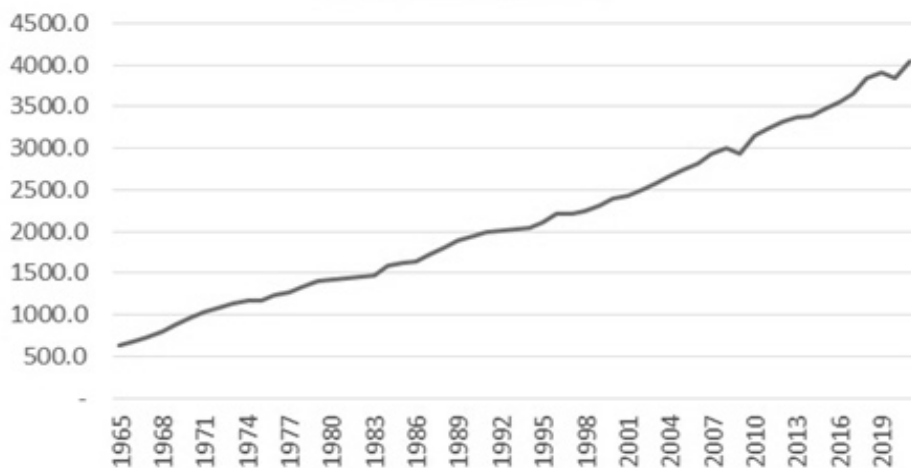


圖 7 2000-2021 年亞洲四大液化天然氣進口國進口量 (單位:BCM)

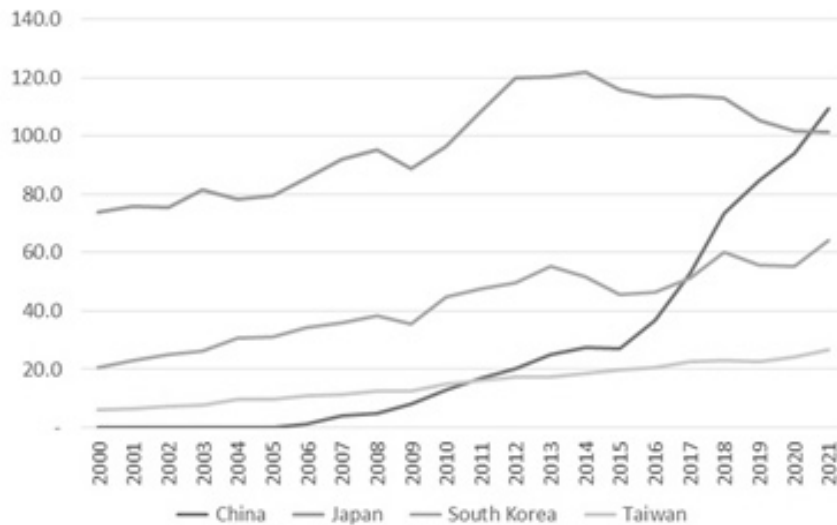
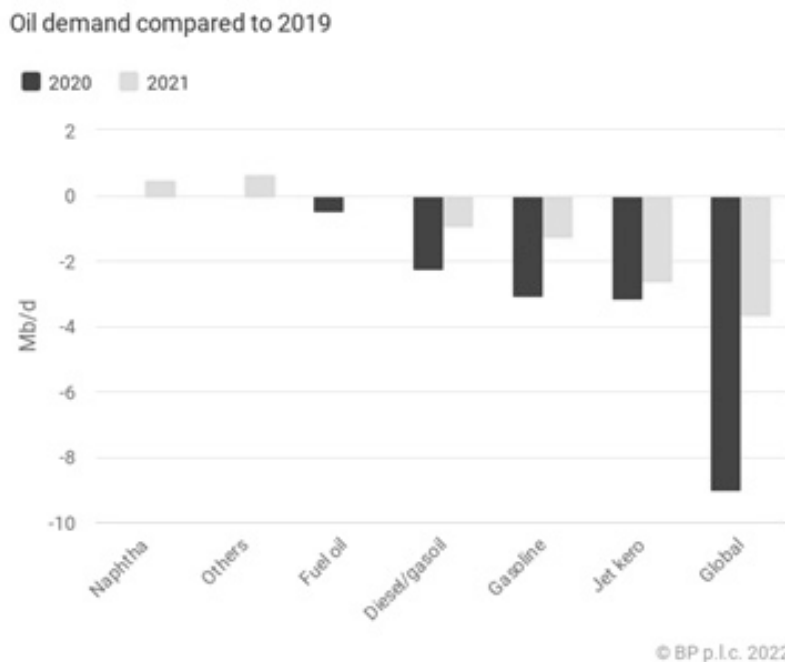


圖 8 2020 和 2021 年石油需求相較於 2019 年的變化量圖 (單位:百萬桶/天)

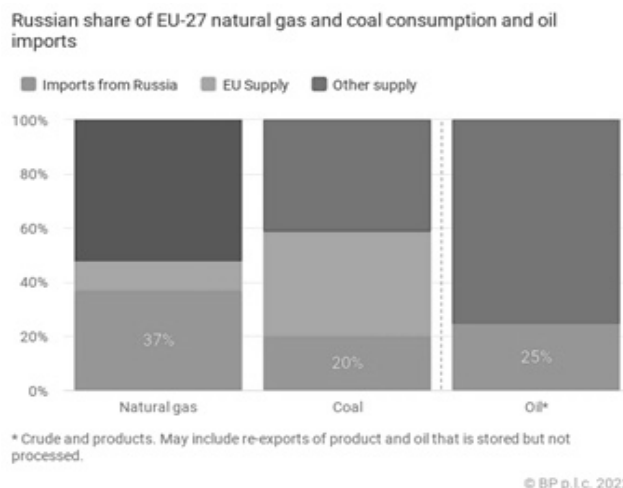


資料來源: Statistical Review of World Energy, BP 2022/ 71st edition。

說明: 2021 年石油消費量每天達 9408.8 萬桶, 較 2019 年增加 530 萬桶, 大部分的增長來自汽油 (180 萬桶/天) 和柴油 (130 萬桶/天), 但總消費量仍比疫情前的 2019 年少 370 萬桶/天, 主要是因為與航空相關的石油需求尚未回復, 低 250 萬桶/天 (33%) 以上, 對柴油的需求也比疫情大流行前少 88 萬桶/天 (3%), 而石腦油、其他石油產品和燃料油需求則高於大流行前的量。從地區來看, 大部分增長發生在美國 (150 萬桶/天)、中國 (130 萬桶/天) 和歐盟 (57 萬桶/天)。

石油、天然氣和煤炭化石能源貿易

圖 9 2021 年歐盟國家的天然氣、煤炭和石油需求供應來源配比

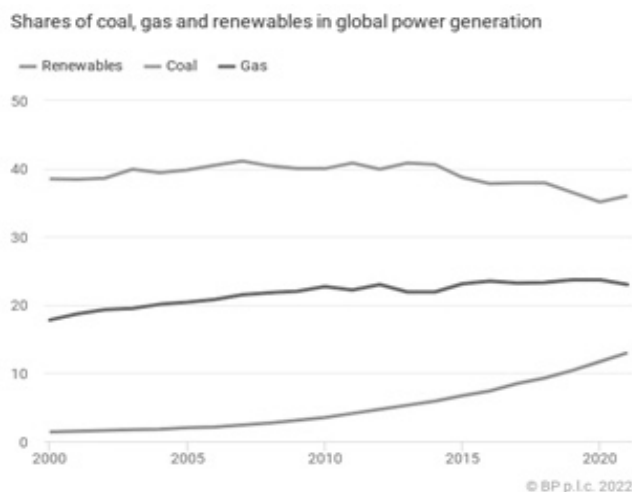


資料來源 :Statistical Review of World Energy, BP 2022/ 71st edition。

說明：2021 年俄羅斯通過管道和液化天然氣提供歐盟天然氣總消費量的 37%。俄羅斯煤炭佔歐盟煤炭消費總量的 20%，俄羅斯石油佔歐盟石油進口總量的 25%。

可再生能源在全球發電中的佔比

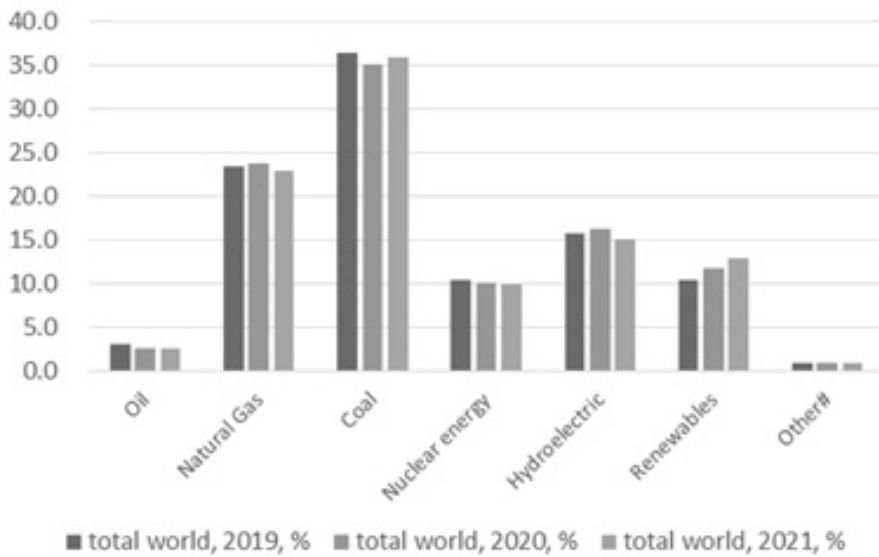
圖 10 2010-2021 年煤炭、天然氣和可再生能源在全球發電的佔比變化圖（單位：%）



資料來源 :Statistical Review of World Energy, BP 2022/ 71st edition。

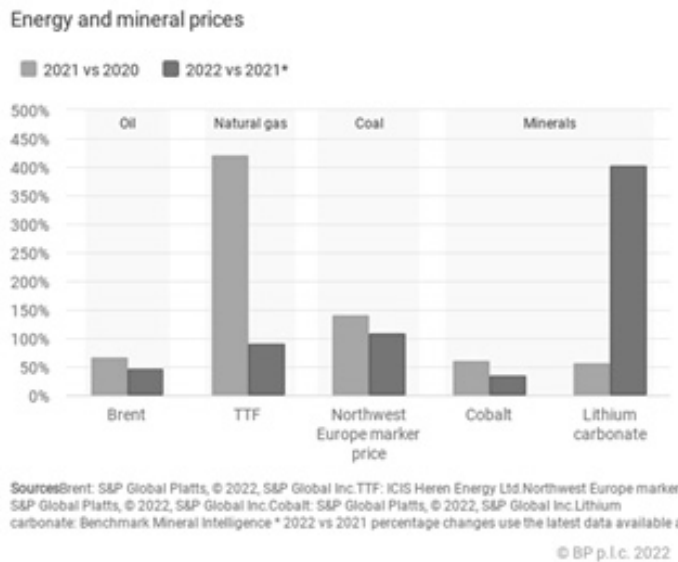
說明：由於太陽能和風能的強勁擴張，可再生能源（不包括水電）在全球發電中的佔比繼續上升，2021 年可再生能源在發電中的佔比接近 13%，高於核能的佔比（9.8%）。天然氣發電的佔比 22.9%，仍維持接近其 10 年平均佔比水平。煤炭在電力的佔比從 35% 小幅上升至 36%，但仍低於 2019 年的水平。

圖 11 2019-2021 年全球發電燃料組成佔比



能源商品價格

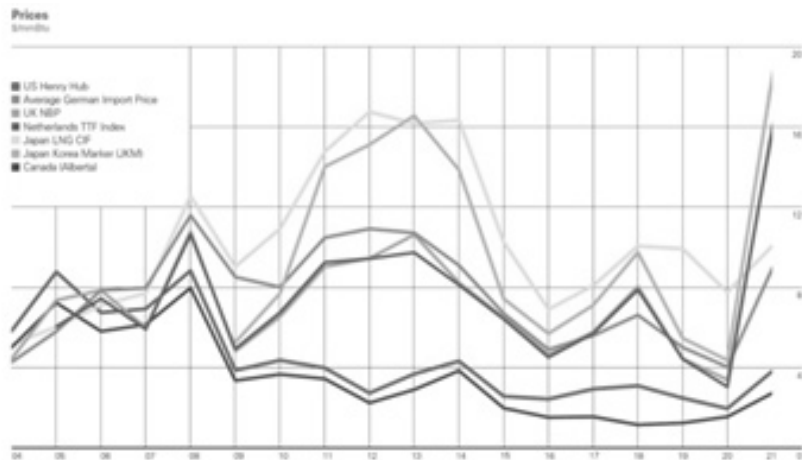
圖 12 2021 年及 2022 年初能源和關鍵礦物價格相對於前一年度的變化圖 (單位：%)



資料來源 :Statistical Review of World Energy, BP 2022/ 71st edition。

說明：2021 年能源和礦產價格在 2021 年大幅上漲，並在 2022 年初繼續上漲。全球能源價格大幅上漲，漲幅最大的是天然氣價格，英國 National Balancing Point (NBP) 氣價漲了 350% 以上，平均達到 16 美元 / 百萬英熱單位。油價上漲約 70%，布倫特原油價格在 2021 年底約為 70 美元 / 桶。關鍵礦物鋰產量大幅增長 27%，鈷產量僅增長 4%，2021 年鈷的價格上漲 63%，平均為 51,000 美元 / 噸，碳酸鋰價格上漲 58%，平均 11,000 美元 / 噸。2022 年初礦產價格持續飆升，前五個月鋰價格飆升超過 400%，達到 54,000 美元 / 噸的創紀錄水平。

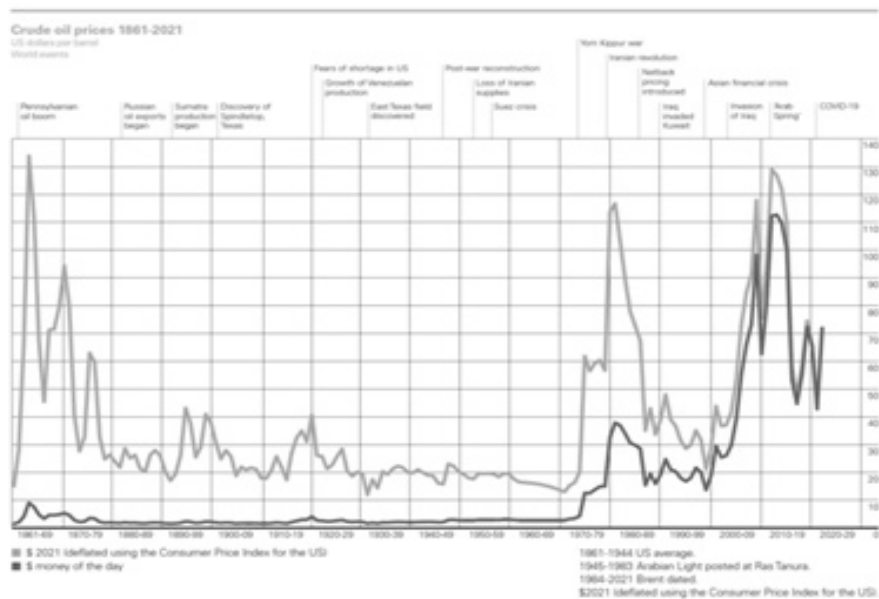
圖 13 2004-2021 年天然氣價格 (\$/mmBtu)



資料來源 :Statistical Review of World Energy, BP 2022/ 71st edition。

說明：2021 年全球三個主要天然氣交易區的天氣氣價格都強勁反彈，歐洲創紀錄上漲四倍，荷蘭 TTF (Title Transfer Facility) 氣價平均為 16.02 美元 / 百萬英熱單位 (MMBtu)，亞洲液化天然氣現貨市場價漲了兩倍，東北亞 JKM (Japan Korea Marker) 平均為 18.60 美元 /MMBtu，美國亨利中心 (Henry Hub) 的價格也幾乎成長一倍，平均達到 3.84 美元 /MMBtu，是自 2014 年以來的最高價。

圖 14 1861-2021 年石油價格 (\$/bbl)



資料來源 :Statistical Review of World Energy, BP 2022/ 71st edition。

圖 15 1965-2021 年臺灣初級能源（單位 ,EJ）

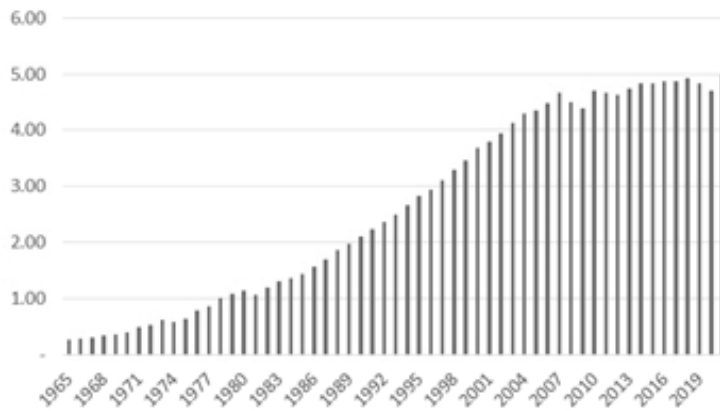


圖 16 2019-2021 年臺灣初級能源燃料組成百分比

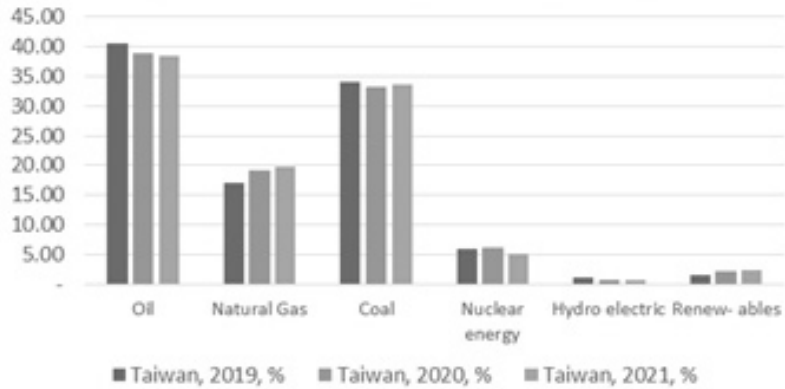
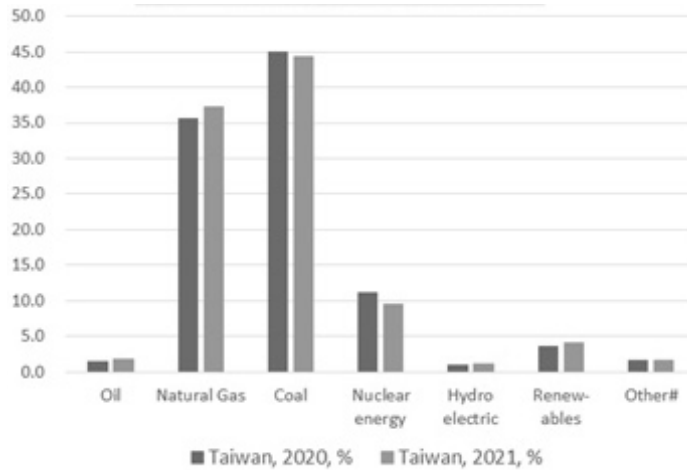


圖 17 2020-2021 年臺灣發電燃料組成百分比



圖目

- 圖 1 2000-2021 年全球各類初級能源佔比逐年變化圖 (單位：百分比)；資料來源：Statistical Review of World Energy, BP 2022/ 71st edition。
- 圖 2 2019-2021 年全球初級能源燃料組成百分比
- 圖 3 2007-2021 年全球初級能源消耗逐年變化量圖 (單位：exajoules)；資料來源：Statistical Review of World Energy, BP 2022/ 71st edition。(顯示燃料組分)
- 圖 4 2007-2021 年全球初級能源消耗逐年變化量圖 (單位：exajoules, EJ) (顯示區域，經濟合作發展組織 (organization for economic cooperation and development, OECD) 和非經濟合作發展組織)；資料來源：Statistical Review of World Energy, BP 2022/ 71st edition。
- 圖 5 2007-2021 年能源造成的碳排放變化量圖 (單位：百萬噸)；資料來源：Statistical Review of World Energy, BP 2022/ 71st edition。
- 圖 6 全球天然氣消費量 1965-2021 年 (單位：十億立方公尺 BCM) 2021 年 - 4037 BCM
- 圖 7 2000-2021 年亞洲四大液化天然氣進口國進口量 (單位：BCM)
- 圖 8 2020 和 2021 年石油需求相較於 2019 年的變化量圖 (單位：百萬桶 / 天)；資料來源：Statistical Review of World Energy, BP 2022/ 71st edition。
- 圖 9 2021 年歐盟國家的天然氣、煤炭和石油需求供應來源配比；資料來源：Statistical Review of World Energy, BP 2022/ 71st edition。
- 圖 10 2010-2021 年煤炭、天然氣和可再生能源在全球發電的佔比變化圖 (單位：%)；資料來源：Statistical Review of World Energy, BP 2022/ 71st edition。
- 圖 11 2019-2021 年全球發電燃料組成佔比
- 圖 12 2021 年及 2022 年初能源和關鍵礦物價格相對於前一年度的變化圖 (單位：%)；資料來源：Statistical Review of World Energy, BP 2022/ 71st edition。
- 圖 13 2004-2021 年天然氣價格 (\$/MMBtu)；資料來源：Statistical Review of World Energy, BP 2022/ 71st edition。
- 圖 14 1861-2021 年石油價格 (\$/bbl)；資料來源：Statistical Review of World Energy, BP 2022/ 71st edition。
- 圖 15 1965-2021 年臺灣初級能源 (單位：EJ)
- 圖 16 2019-2021 年臺灣初級能源燃料組成百分比
- 圖 17 2020-2021 年臺灣發電燃料組成百分比

他山之石 -- 日本邁向 零碳社會的雄心壯志

作者 卓群

日本原定 2020 年 7 月舉行第 32 屆『東京夏季奧林匹克運動會』，受到新冠疫情影響，延到 2021 年 7 月 23 日至 8 月 8 日辦理，奧運會除是 4 年 1 次全球最頂極的運動賽事，更是主辦國向全世界展現國家特色及國力的最佳時刻。

日本希憑藉明確環保理念，將此次奧運會呈現出有史以來最綠色、對地球最友善及可持續性發展，官方口號則是『United by Emotion(因情而聚)』【有網友惡搞成『United by Infection(感染讓我們聚在一起)』】，而出現在各個場館的標語『Be better,together-For the planet and the people(為了地球和人類—讓我們一起變得更美好)』是真正欲凸顯的可持續性發展理念。奧運所有使用的器材，從競賽場地建材、燈光、空調到所使用器械，皆以綠色循環再生為發想，組委會自 2017 年開始舉辦活動，從民眾捐贈超過 78,985 公噸廢棄電子產品中(含 621 萬具智慧型手機)，提煉 32 公斤黃金、3,500 公斤銀及 2,200 公斤銅，用來製作獎牌。以 2012 年倫敦奧運做對比，當時金、銀、銅獎牌總共使用 9.6 公斤黃金、1,210 公斤銀及 700 公斤銅，可看出所回收的貴金屬遠遠超過所需。東京奧運各個比賽場地的頒獎台是由長期合作夥伴「寶潔公司(P&G)」從民眾回收的洗髮精空瓶及海洋中撈取的塑膠垃圾製成，奧運會結束後獎台捐贈學校，部分被再製成寶潔產品的包裝；選手村 18,000 張床架全使用再生紙板製成、床墊由日本知名寢具品牌「愛維福(Airweave)」設計製造，90% 為空氣的立體編織芯材，大幅減少用料，並可無限次回收重新再利用、電力 100% 來自可再生能源等綠色領域。

聖火向來都是奧運會的重頭戲，無論是傳遞過程中的火炬(如圖 1)、聖火台(如圖 2)，抑或開幕儀式中點燃聖火方式，主辦方無不絞盡腦汁突破傳統，讓全世界觀眾皆能眼睛為之一亮留下深刻的印象。東京奧運傳遞聖火的火炬是以「再生鋁」製作，其中約有 3 成材料來自 2011 年 311 大地震後災民建造臨時住宅鋁窗框所剩廢料，象徵「點燃重建(復興)之火」，火炬燃料首次採用

氫氣和丙烷混和，聖火台所使用的氫氣是由福島縣浪江町 (Namie,Fukushima) 太陽能發電廠以電解水方式生產的綠氫。

圖 1 東京奧運聖火火炬



圖 2 東京奧運氫燃料聖火台



東奧期間「豐田汽車 (TOYOTA)」提供 3,700 輛環保交通工具，其中包括以氫燃料電池為動力的 500 輛 4 門轎車 Mirai 和 100 輛巴士 SORA 擔任競技賽場及選手村接駁車，Mirai 取自日文”未來”(如圖 3)，是一款 2013 年於東京車展中首度亮相的氫燃料電池概念車，具備 182 匹馬力(約相當 1,500CC 汽油車)，行駛 1 公里只排出約 80CC 純水。2018 年 SORA(如圖 4)在日本核准上市，取自天空 Sky、海洋 Ocean、河流 River 和空氣 Air 四個英文字首的組合，長 10.5 公尺，可搭乘 79 人(司機 1 人、座位 22 人、站位 56 人)，希望在東京的道路上，將旅客載向零碳、便捷、時尚，行者無界的未來。Mirai 和 SORA 所搭載均是「豐田燃料電池系統 (Toyota Fuel Cell System,TFCS)」以氫作為電池的饋料，除提供車輛行駛的馬達驅動電力，另外配備大容量的外部電源系統，當發生天然災害時可提供高輸出和大容量的電力供應，最大輸出功率 9kW，燃料滿載的情況下可供應 235kWh 作為緊急電源，所使用的氫氣是由日本石油公司「引能仕 (ENEOS)」提供。另外有 850 輛純電動車 (Battery Electric Vehicle,BEV)，其中包含沒有門的無障礙交通車 APM(如圖 5)、無人駕駛車隊 e-Palette(如圖 6)、行人徒步區電動滑板車 (Walking Area BEVs) 及多款不同用途的人工智慧機器人，皆是展現綠色能源的一大亮點。

圖 3 豐田氫燃料電池轎車“未來”



圖 4 東京奧運氫燃料電池巴士 SORA



圖 5 無障礙交通車 (APM)



圖 6 e-Palette 無人駕駛車隊



日本缺乏天然資源，大約 94% 的能源必須依賴進口，1973 年 10 月埃及和敘利亞共同對以色列發起「第 4 次中東戰爭」^{註釋 1}，以沙烏地阿拉伯為首的「石油輸出國組織 (OPEC)」宣佈禁運，暫停石油出口，造成油價暴漲，即史稱「第 1 次石油危機」，也宣告廉價石油時代的結束，人類開始意識到需尋找替代能源。同年，美國國家科學基金會將「聯邦氫能研發計畫」移交能源部，第 1 次討論氫能的國際會議隨後在美國邁阿密召開，會議結束後與會的科學家和工程師們於 1974 年成立「國際氫能協會 (International Association for Hydrogen Energy, IAHE)」，此為全球氫能最具規模和影響政策及技術走向的非營利性民間組織。

有感於化石能源的不確定性，日本在上一世紀 70 年代開始關注氫能源的技術開發。在政府長期政策支持下，規劃不同階段氫能的各項發展策略，明確產業發展方向，並與企業密切合作進行全面性的研發，使得產品逐漸成熟；其過程大致可分為 1974 至 2000 年技術開發、2000 至 2010 年技術驗

證及 2010 年後產品推廣等 3 個階段。其中『家用燃料電池』及『氫燃料電池汽車』是發展氫能的重點項目，2009 年開始大力推廣家用「熱電共生 / 聯產 (Combined Heat and Power,CHP)」系統，截至 2021 年 3 月總共裝置約 35 萬台家用燃料電池 (ENE-FARM)。2013 年氫「燃料電池汽車 (Fuel Cell Vehicle,FCV)」，豐田未來 (mirai) 在東京車展亮相，2014 年 12 月 15 日開始在日本銷售，售價 670 萬日元 (約 57,400 美元)，政府對國內每輛車補助 200 萬日元 (約 19,600 美元)，截至 2021 年 12 月全球總共賣出 17,940 輛，其中美國 9,274 輛、日本 6,618 輛，其他國家合計 2,048 輛，但距離訂出 2025 年 20 萬輛及 2030 年 80 萬輛的目標，還有很大成長空間。

日本一直堅定不移在政治、外交、經濟及工業等各個層面推動『氫經濟』發展，並建構「氫能基本戰略」進一步擴大氫氣利用，設定生產氫氣與發電的成本目標，建構國際供應鏈及建置「無二氧化碳供氫 (CO₂ free hydrogen)」系統，實現未來氫能社會願景，這種全面性投入，除對能源安全未雨綢繆，同時也為因應氣候變遷，朝向 2050 淨零碳排的目標，但轉化為可靠、具成本效益及大規模推廣，尚待觀察，具體執行策略包括供應方、運輸方和終端用戶，透過許多相關產業試行、大項目規模及增加公共資金投入，均在積極推行。日本對氫能野心是促進技術創新的工業努力，及為達成 2050 淨零碳排承諾，但無論是產自可再生能源的清潔氫氣，或以化石能源生產加上「碳捕集與封存 (Carbon Capture and Storage,CCS)」的藍氫，代價均極為高昂，目前估計以純氫氣發電的成本，是天然氣或太陽能發電的 8 倍，比燃煤發電高出 9 倍。長期計畫目標是在 2030 年前以目前天然氣生產氫氣的碳排強度為基準，將碳排量減少 60%，並逐步達成淨零碳排的目標。

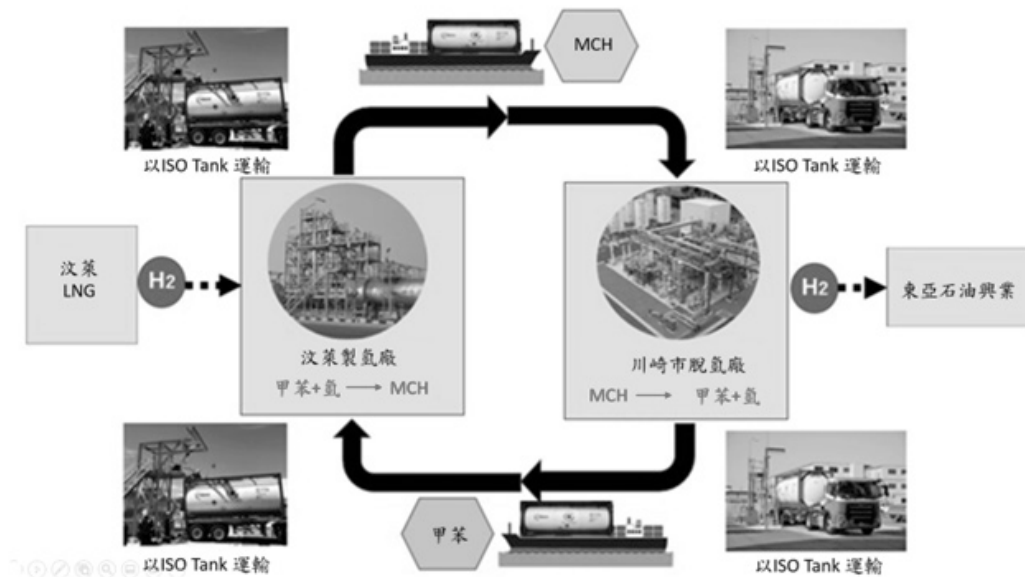
前首相安倍晉三於 2017 年 4 月 11 日出席「第 1 次再生能源及水素 (氫) 燃料內閣會議」，會後公佈「推展水素燃料基本方針」，以達成 2020 年具有 4 萬輛電動汽車之目標，並推展相關氫燃料之相關規範及布局。同年 12 月 26 日政府召開第 2 次會議，會後「經濟產業省 (METI)」公佈世界上第 1 個國家《氫能 (水素) 基本戰略》，為領先世界實現氫能社會，以 2050 年願景做為發展標的，並確立至 2030 年行動計畫及目標，其中包括家庭用燃料電池 530 萬台、燃料電池汽車 80 萬輛、加氫站 900 座、氫氣成本 30 日元 /m³ 等目標。

2020 年 1 月日本豐田汽車 (TOYOTA) 在美國拉斯維加斯國際「消費性電

子展 (CES)」宣佈將在富士山腳下靜岡縣裾野市 (Susono) 占地 70 萬 8 千平方公尺 (70.82 公頃 /175 英畝) 土地上進行造鎮計畫，打造一座完全以氫燃料電池驅動的未來城市，命名為「編織城市 (Woven City)」，除寓意此由製造紡織機起家的豐田汽車所打造全新科技城市，也是將人類夢想中的未來城市編織成真正「生活實驗室」，除氫做為能源，整座城市以「傳感器 (Sensor)」和「物聯網 (IoT)」連接，全職的居民和研究人員將可在真實的環境中測試和開發諸如機器人、智慧家庭、交通運輸和人工智慧等技術，並且開始訂定相關的城市自治規範，從而最大程度的釋放人類潛能和想法，再依實際成效擴張城市的規模。編織城市已於 2021 年 2 月 23 日動土，預計在 2024 至 2025 年間完成第 1 階段，初期將進駐 360 人，為豐田員工、眷屬及研發人員，最終成為 2,000 名豐田員工、家人、退休夫婦、零售商及科學家的家。

『可再生能源』一直是世界各國視為對抗氣候變遷減緩地球暖化的一帖良方，日本也竭盡所能將可再生能源發電的成本價降低到與世界其他國家大致的水平。2022 年大型太陽能發電 (50kW 以上) 平均投標價格為 8.99 日元 (0.065 美元 / 歐元) /kWh，是歐洲的 2 倍，而陸上風電為 14 日元 (0.1 美元 / 歐元) /kWh，是歐洲的 3 倍。經過評估，在國內生產綠氫的產能有限，成本也遠高於其他國家，只能退而求其次在國外生產後運回國，才具競爭力。為確保國際氫能的供應鏈，透過 2 個示範項目驗證其可行性及效能。第 1 是 2020 年 6 月「東亞石油興業公司 (TOA)」自汶萊進口「甲基環己烷 (Methylcyclohexane, MCH)」^{註釋 2} 至神奈川縣川崎市子公司「京濱煉油廠 (Keihin Refinery)」，採用「千代田株式會社 (Chiyoda Corporation)」SPERA 技術分離氫氣及甲苯 (Toluene)，再將氫氣提供 TOA 旗下瑞江 (Mizue) 發電站的燃氣輪機使用。用「甲基環己烷 (MCH)」儲氫是一種「化學轉化氫 (Chemically transformed hydrogen)」技術，供應方 (汶萊) 在常溫和常壓下將氫與甲苯產生化學反應，轉化為穩定液態「甲基環己烷 (MCH)」，儲存於「國際標準罐式集裝箱 (ISO Tank)」運送需求方 (京濱煉油廠) 後，透過特殊催化反應及脫氫技術，將 500 倍體積的氫氣從甲基環己烷中釋放出來 (如圖 7)。

圖 7 化學轉化氫流程



第2個示範項目為2022年2月25日世界首艘液化氫運輸船8,000噸「Suiso Frontier(水素疆界)」自澳洲維多利亞省「赫斯廷斯港 (Port of Hastings)」載運第1船液化氫 (LH₂) 返回神戶港。「Suiso Frontier」是由川崎重工在日本及澳洲政府支持下於2020年底建造完成，第1船液化氫 (LH₂) 只是川崎重工對於長途輸送液氫貨運處理資料蒐集驗證其中一個項目，最終目標是在未來建立全球的氫供應鏈，也是耗資5億澳元(約3.55億美金)「氢能供應鏈 (Hydrogen Energy Supply Chain, HySTRA)」首航計畫的重要里程碑。雖然Suiso Frontier是第一艘服役的液化氫運輸船，但並非唯一，韓國「韓國造船與海洋工程 (Korea Shipbuilding & Offshore Engineering, KSOE)」及挪威「威爾森集團 (Wilhelmsen Group)」均有相同類型船舶設計。

自澳洲裝運回神戶的第1船液化氫是自「褐煤 (Lignite coal/Brown coal)」中提煉出來，雖然褐煤中「硫 (Sulfur)」含量相較於其他煤炭低，但含水量高達60%、3,000Kcal/kg左右的低熱值，污染嚴重不利發電，在當地褐煤價格還不到煤炭的1/3，用途十分有限，經研究褐煤在高溫高壓下與氧氣反應後會氣化成「合成氣 (Synthesis Gas)」，氣體中含有大量氫氣及一氧化碳，以蒸氣與合成氣作用，使一氧化碳轉化為二氧化碳及更多的氫氣後，把氫氣分離出來，將二氧化碳注入地井封存，經過上述純化程序，所產出氫氣純度可達到高規格99.999%，生產氫氣地點位於澳洲維多利亞省 (Victoria) 雷特伯山谷

(Latrobe Valley)Loy Yang 電廠，該電廠曾經是全澳最烏煙瘴氣的發電廠，在 2017 年除役後，因轉型生產氫氣而重生，所產氫氣以「高壓管拖車 (high pressure tube trailer，如圖 8) 運送至「赫斯廷斯港 (Port of Hastings)」冷凍液化後裝船。

圖 8 高壓管拖車



液化氫是將氫氣冷凍至 -253°C 形成液態，液態氫的體積只有原來 1/800，但液氫約多 25% 能耗，還需承受每日約 0.5% 至 1% 洩漏量，因此目前究竟該投資進口哪一類氫氣 (如表 1)，除遲遲未做成定論，所有注目仍然在此主題懸而未決。另外一種常見氫氣運輸方式是將氫氣高壓 (約 350 bar) 注入儲罐，以卡車、拖車或透過管網輸送，壓縮氫氣適用於加氫站為燃料電池車加氣及比較短途之運輸 (不含管道運輸)，相較於壓縮氫氣，液氫具有儲藏、運輸效率高的特點。

日本對於氫能發電及氫燃料電池未來發展應用雄心勃勃，但是燃料電池車的傳動系統電壓超過 350V，車輛材料使用大量金屬，高電壓會成為車輛中燃料或內部及外部材料的點火源，同時也可能引發觸電問題，儘管電動車系統設計有許多的保護裝置，但在車輛發生事故時，開關有可能短路而造成危險，2022 年 7 月 23 日所發生特斯拉 (Tesla) 在桃園蘆竹自撞事件就是一例。要實現氫能發電又是一個完全不同等級的目標，所需氫氣可能比 80 萬輛的氫燃料電池車的需求量還高出 100 至 1,000 倍，目前將其訂為 10 年期目標。總體而言，日本能源價格較高，但是在相對低成本的石油、天然氣及煤炭價格環境中，氫的競爭優勢幾乎已確定難以實現，經評估預計大部分氫和其他衍生燃料將從海外進口。

表 1 氫燃料碳排成本表

種類	製程	大約成本 (kg CO ₂ /kg H ₂)	碳排放量 (美元 /kg)
綠氫	以可再生能源 (太陽能及風能等) 電解水生產氫氣，所產生之溫室氣體排放最低，為理想之製氫方式。	0.37	3~7.5
藍氫	以蒸汽甲烷重整方式從天然氣中產生氫氣，其中天然氣與非常熱的蒸氣、催化劑混合，產生化學反應，產出氫氣和一氧化碳，過程中之碳排經由碳捕捉及封存，避免排放到大氣。藍氫存在一些爭議，因為天然氣生產不可避免地會導致甲烷洩漏 (fugitive leaks)。	5	1.5~2.9
灰氫	製程類似藍氫，由天然氣重整製成，但沒有任何捕獲二氧化碳副產品機制，目前約有 80 至 85% 的氫氣以此方式獲得，是占比最大的生產方式。	12	0.9~3.2

褐氫	以熱裂解、水解及氯化法透過煤炭製造等方法獲得的氫氣，稱之褐氫，因製成碳含量最高，成本競爭比天然氣低，故一般工業用氫較為少用，如加上碳捕捉技術則變為藍氫。	無資料
粉紅氫	由核能發電的電解製氫，不會產生任何二氧化碳排放，但需考慮核能所產生的放射性廢棄物，必須安全儲存數千年。	
黃氫	透過電網電解製程取得的氫氣，具體取決於電網供電的來源，碳排放量差異很大。	
綠松石氫	由甲烷熱解產生的氫氣，或在反應器、高爐中利用熱量將甲烷分解成氫氣和固體碳。綠松石氫仍處於商業化的初期階段，其氣候意識價值取決於用清潔能源為熱解提供動力並儲存物理碳。	
黑氫	以煤炭做為製氫的原料。	

2020 年經濟產業省 (METI) 編列 800 億日圓 (約 7.48 億美元) 預算做為氫能技術、清潔能源研發及消費者補貼，同時希藉擴大生產、應用，降低潔淨氫燃料及供應鏈上相關技術成本。重點領域包括氫氣生產 (含電解槽)、載體技術、國際供應鏈、燃料電池及發電應用技術轉移等。然而，工業部門並不在政府的優先發展項目中。電解槽效率是產生清潔氫氣及電轉氣技術關鍵，目標在 2030 年實現 50,000 日元 (467 美元) /kW (千瓦) 世界最低成本的目標，低於目前提供系統的大型鹼性電解槽，其成本約為 500 至 1,000 美元 /kW。2020 年 3 月全球最大鹼性電解槽 (10 兆瓦 MW) 在福島縣浪江町開始生產氫氣，電解槽由跨國化學工業公司「旭化成 (Asahi Kasei)」開發，電力由 20 兆瓦太陽能板提供，每小時可生產 1,200 立方米氫氣 (每年最大產能為 900 噸)，福島也成為「新能源社會構想」基地。

氫氣是一種無色、無味、易燃、易爆炸氣體，當在空氣中濃度到達 4% 至 74.2% 間，遇到明火就會爆炸，密度只有空氣的 1/14，在攝氏 0°C，一個大氣壓力 (101.325kPa) 標準狀態下，1 立方公尺氫氣重量為 0.0899 克，是目前世界上已知最輕氣體，將其冷凍至 -253°C 變為液態氫，1 立方公尺體積的重量是 70.8 公斤，同體積的水則重 1,000 公斤，燃燒只會產生純水和極少量的氮，二氧化碳排放量為零，是能源界最寄予厚望的永續能源。由於密度低，優點是一旦洩漏會迅速向上擴散，在非密閉空間可以很快被稀釋，不容易造成危險，也因密度低，儲存是一項很大挑戰，將氫氣壓縮儲存至鋼瓶是目前最常用的儲存方式之一，但鋼瓶儲存和輸送高壓的氣態氫，有一定危險性，且儲氫量小、成本高。液態氫比氣態氫密度高，但是液氫儲存時需要消耗大量能量及很好的絕緣保護裝置，即使採用現今最佳的絕熱容器，每天洩漏量也會到達 0.5% 至 1% 左右。美國國家航空暨太空總署 (NASA) 原訂於 2022 年 8 月 29 日發射「阿提米絲 1 號 (Artemis I)」登月火箭，疑因溫度感應器故障，而延遲至美東時間 9 月 3 日下午 2 點，在倒數計時階段，又發現液態氫閥門嚴重洩漏而喊停。NASA 可說是全球最具權威的科研機構，對液態氫處理都感棘手，其技術門檻要求之高可見一斑。

除甲基環己烷 (MCH)，另外一種「能源載體」註釋 3『氨』被關注度正在快速上升。液氨 (NH₃) 音譯「阿摩尼亞 (Armonia)」是一種被廣泛運用及交易商品，同時也是所有食物、肥料和化工領域的重要成分，估計世界上有一半以

上糧食生產依賴其增加作物產量，數十年來已形成完善的生產、運輸及分銷網絡。2014 至 2018 年日本政府內閣辦公室執行「戰略創新促進計畫 (Strategic Innovation Promotion Program)」，發現氨具有成為氫的能源載體及直接做為發電和工業應用燃料來源潛力。日本經濟產業省在 2020 年對傳統化石燃料能源及資源採購展望中，已確認氨是一種可應對氣候變遷的潛在清潔燃料。原本一直將「終極能源」押注在氫能的日本政府，已開始引入氨能，希望將發電廠和船舶燃料替換成氨，以使用更低成本實現碳中和。氨氣液化溫度為 -33.35°C ，以常壓儲存，高於 33.35°C 就會汽化，相對於氫氣 -253°C 的液化溫度在成本上要低許多。2021 年 10 月最大電力公司「捷熱能源 (JERA)」和「石川島播磨重工業株式會社 (IHI)」共同宣布啟動燃煤電廠混燒氨氣 4 年示範計畫，時間自 2021 年 6 月至 2025 年 3 月，地點位於愛知縣碧南市 (Hekinan) 火力發電站 (日本境內裝置容量最大的燃煤電廠)，目標是在 4 年內將該電廠 4 號機組混燒氨氣比例提高至 20%，計畫中 JERA 負責採購氨、建置儲槽及蒸發器等設備，IHI 則負責研發燃燒器。JERA 與全球最大氮肥製造商「挪威國營雅苒國際集團 (YARA)」簽約，自 YARA 位於澳洲皮爾布拉氨製造廠進口液態氨，建立穩定的供應鏈。火力發電站初期以煤粉混和氨氣做為燃料，期能開發不需經汽化即可直接燃燒的發電機組。

日本於 2002 年 6 月制定「能源政策基本法」，即眾所皆知的『3E+S(如圖 9)』，分別為「能源安全 (Energy security)」、「經濟效率 (Economic efficiency)」、「環境 (Environment)」+「安全 (Safety)」。所謂「能源安全」是指所有可能因能源所帶來的潛在危機，特別是無法自給自足依賴進口的國家，當來源受阻，缺乏時會直接影響電力供應、工業生產、經濟活動、交通運輸和民生日常等，造成社會動盪，因而必須竭盡所能維護穩定供應，日本能源自給率現行目標為達到比 311 大地震前高 20%，即 2030 年 25%(目前 11.8%)。「經濟效率」是指一個經濟體中，所有商品和生產要素均能做最合理分配，或分配到最有價值的用途，尤其是一些稀缺物資能夠在生產者和消費者之間做最大的經濟產出，讓消費者受益，並將浪費減至最低，目標是在制定能源結構時將電力成本自 2013 年 9.7 兆日圓降至 2030 年 9.2 至 9.5 兆日圓。

「環境」是指各種人類經濟活動和工業發展所產生廢棄物、空氣和水污染，對自然環境直接或間接造成破壞和生物多樣性滅絕，甚至損害大氣系統和生態環

境，目標是將溫室氣體排放減量至與歐美相當的程度，具體數字是 2030 年要比 2013 年減少 26%。而 3E 必須是在安全 (Safety) 的大前提下執行。

圖 9 能源政策基本法



日本所有對能源相關議題的努力，除專注於保障能源穩定供應，很大一部分政策方向是因應氣候變遷所造成極端氣候的挑戰，及如何脫碳達到 2050 碳中和承諾，2021 年 11 月燃氣行業宣佈將接受「2050 年天然氣達成碳中和 (Carbon Neutralizing Gas in 2050)」挑戰，並表達實現脫碳社會的決心。要達成所設定的碳中和目標，將溫室氣體排放碳中和在 2050 年降至零，在 2050 年前之過渡期所執行具體行動臚列如下：

- 一、增加可再生能源（太陽能、風能、生物能、地熱、潮汐）發電量。
- 二、降低燃煤、燃油發電占比，加速以天然氣取代，減少二氧化碳的積累。
- 三、天然氣事業以甲烷化 (Methanation) 及摻配氫氣等方式脫碳。
- 四、以科技創新實現廉價的終極能源，如綠氫 (Green Hydrogen) 和核融合 (Nuclear Fusion) 等零碳能源。
- 五、以綠氫做為饋料製造甲烷氫合成氣 (Liquefied Methanated Hydrogen, Syn-gas)，同時以燃料電池取代傳統天然氣。

由於缺乏自產能源，2050 淨零碳排的終極能源是核融合 (Nuclear Fusion)，抑或氫能，目前尚無定論。日本由於氫的生產方式目前仍無法達到 100% 綠氫，且未來發展並不被看好，亦不依循歐洲未來 100% 燃燒氫氣的能源模式。目前歐洲部分地區已開始試行天然氣摻入 2% 至 3% 氫氣的試驗項目，但是尚未看到摻入 5% 至 10% 的可能性。日本的天然氣產業為保持天然氣的

質量和熱值，決定不在城市燃氣管道中摻入氫氣，反而計畫以綠氫生產甲烷做為城市燃氣原料，預估 2050 年「甲烷化氫」^{註釋 4} 將會取代 90% 以上的液化天然氣 (LNG)。然而目前尚未有國家生產或出口「甲烷化氫」，先進的生產技術正在開發中，預計 2030 年左右才會在海外建設生產設施，再將「甲烷化氫」運回國，將從可再生能源豐富的潛在供應商，如澳洲、北美和中東等地區進口甲烷化氫。

日本主要的天然氣公司如東京瓦斯、大阪瓦斯、東邦瓦斯等均計畫於 2030 年前開始投資在海外生產「碳中和甲烷合成氣 (Carbon Neutral Methane, CN Methane)」，理想生產位置是目前液化天然氣出口港附近，如能達成願望則現有液化天然氣基礎建設（液化天然氣出口港、液化天然氣運輸船、液化天然氣接收站、輸配管網及燃氣器具等）將可全盤再利用，預期 2030 年前實現商業化生產，實際做法是將城市燃氣摻入 1% 以上的碳中和甲烷合成氣，達成碳中和的比例預計在 5% 以上。2050 淨零碳排願景，碳中和合成氣占比將達 90%，相當於 2,900 萬噸液化天然氣，直接使用氫氣占 5%，沼氣及其他脫碳氣體占 5%。

截至 2022 年 1 月已超過 137 個國家和地區宣佈 2050 年實現碳中和，這些國家的二氧化碳排放量涵蓋世界總量 88%，占全球 GDP90%，其中排碳大國中國承諾碳中和時間在 2060 年，每個國家所採取碳中和步驟均多方進行，透過不同努力達成。不可諱言，日本脫碳的企圖心和腳步一直都走在世界最前端，除立法實現國家層級的脫碳努力，地方政府及民間企業也紛紛自發性發起減少溫室氣體排放的具體措施，面對能源的不確定性和極端氣候的衝擊，人類還剩下多少時間來拯救地球，沒有誰說得準，只有各盡所能努力達成碳中和目標。

註釋：

- 1、第四次中東戰爭：又稱贖罪日戰爭、齋戒月戰爭或十月戰爭，發生於 1973 年 10 月 6 至 26 日，埃及與敘利亞分別攻擊 1967 年六日戰爭被以色列佔領的西奈半島和戈蘭高地，阿拉伯國家在戰爭期間將原油價格從戰爭前的不到 3 美元一桶提升到接近 12 美元一桶，也造成全球經濟衰退。
- 2、甲基環己烷 (Methylcyclohexane)：是屬於環烴類的有機氫化物，化學式為 C_7H_{14} ，在任何環境和溫度下都保持液態，是非常穩定的「液態有機氫載體 (Liquid Organic Hydrogen Carrier, LOHC)」。1897 年法國化學家保羅·薩巴捷和讓-巴蒂斯特·森登斯等人發現，在介於 $300^{\circ}C$ 至 $400^{\circ}C$ 高溫、高壓下，以鎳觸媒催化，可將氫氣 (H_2) 和二氧化碳 (CO_2) 反應生成甲烷 (CH_4) 和水 (H_2O)，稱為「薩巴捷反應 (Sabatier reaction)」。
- 3、能源載體 (Energy Carrier)：是一種物質 (燃料) 或有時是一種現象 (能量系統)，包含的能量可以轉化為其他形式，如機械能、熱，或用於操作化學、物理過程，這些載體包括彈簧、電池、電容器、加壓空氣、水壩水、氫氣、石油、煤、木材和天然氣等，能源載體不產生能量，只是包含由另一個系統注入的能量。
- 4、甲烷化氫 (Methanated hydrogen)：又稱「液化甲烷氫合成氣 (Liquefied Methanated Hydrogen Syn-gas)」，將氫氣和二氧化碳在高溫 ($300^{\circ}C$ 至 $400^{\circ}C$)、高壓下，以鎳觸媒離子催化 (Plasma-Catalytic) 反應，變成液化甲烷氫，運達目的地後再以觸媒催化將甲烷和水轉化出， $(CO_2+4H_2 \rightarrow CH_4+2H_2O)$ 。

參考文獻暨延伸閱讀：

- 一、網路資訊 Tokyo 2020:sustainable Games for a sustainable society (東京 2020: 可持續社會的一場可持續運動會。)
<https://olympics.com/ioc/news/tokyo-2020-sustainable-games-for-a-sustainable-society>
- 二、網路資訊 The Financial Times opens up a debate around H2 buses in Tokyo. 《Fuel costs 2.6 times higher over diesel》(英國金融時報就東京氫氣公車展開一場辯論，燃料成本比柴油高 2.6 倍。)
<https://www.sustainable-bus.com/fuel-cell-bus/fuel-cell-buses-tokyo->

olympic-games/

三、網路資訊 Basic Hydrogen Strategy(基本氫戰略)

<https://policy.asiapacificenergy.org/sites/default/files/Basic%20Hydrogen%20Strategy%20%28EN%29.pdf>

四、網路資訊 Strategy for Developing Hydrogen and Fuel-Cell Technologies Formulated(制定發展氫能和燃料電池技術戰略)

<https://www.meti.go.jp/english/press/2019/0918-001.html>

五、網路資訊 THE HISTORY OF HYDROGEN(氫能發展歷史)

<https://www.altenergymag.com/article/2009/04/the-history-of-hydrogen/555/>

六、網路資訊 Renewable Energy Purchase Prices, Surcharge Rate, and Other Details related to FIT and FIP Schemes from FY2022 Onward to Be Determined (日本經濟產業省)

<https://www.meti.go.jp/english/press/2022/0325-004.html>

七、網路資訊 Energy Carriers-Becoming a New Energy Society (能源載體-成為新能源社會)

<https://www8.cao.go.jp/cstp/panhu/sip-english/20-23.pdf>

八、網路資訊 Ammonia as a marine fuel: Key points and considerations (氨作為船用燃料：要點和考慮因素)

<https://safety4sea.com/cm-ammonia-as-a-marine-fuel-key-points-and-considerations/>

九、網路資訊 Introduction of Liquid Organic Hydrogen Carrier and the Global Hydrogen Supply Chain Project(液態有機氫載體及全球氫供應鏈項目介紹)

<https://www.energy.gov/sites/prod/files/2018/10/f56/fcto-infrastructure-workshop-2018-32-kurosaki.pdf>

十、網路資訊 Sabatier Reaction(薩巴捷反應)

<https://www.sciencedirect.com/topics/earth-and-planetary-sciences/sabatier-reaction>