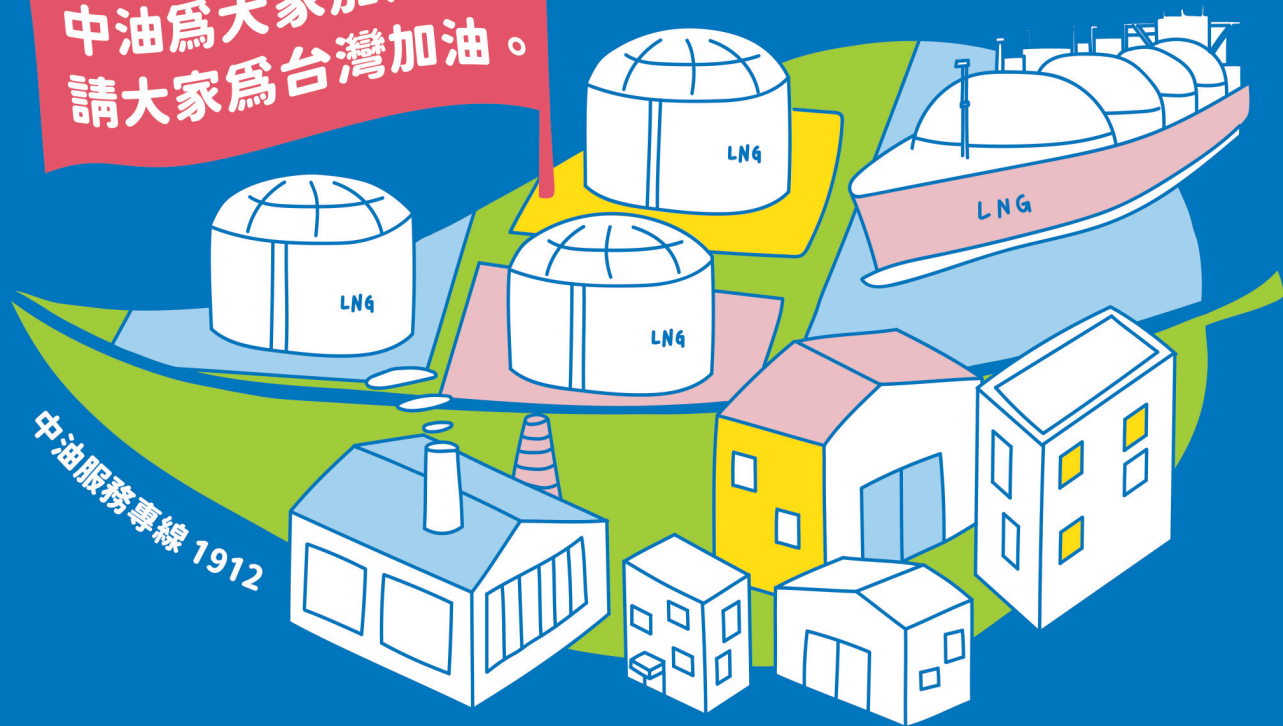


天然氣清潔又安全
一分用心 百分安心

中油為大家加油，
請大家為台灣加油。



中油服務專線 1912

廣告

台灣中油股份有限公司
CPC Corporation, Taiwan

瓦斯



147期

季刊

七十六年十月創刊 一一一三年四月出版

瓦斯季刊

(一四七期)

中華民國一一一三年四月出版

COP28決議引發
化石能源淨零轉型

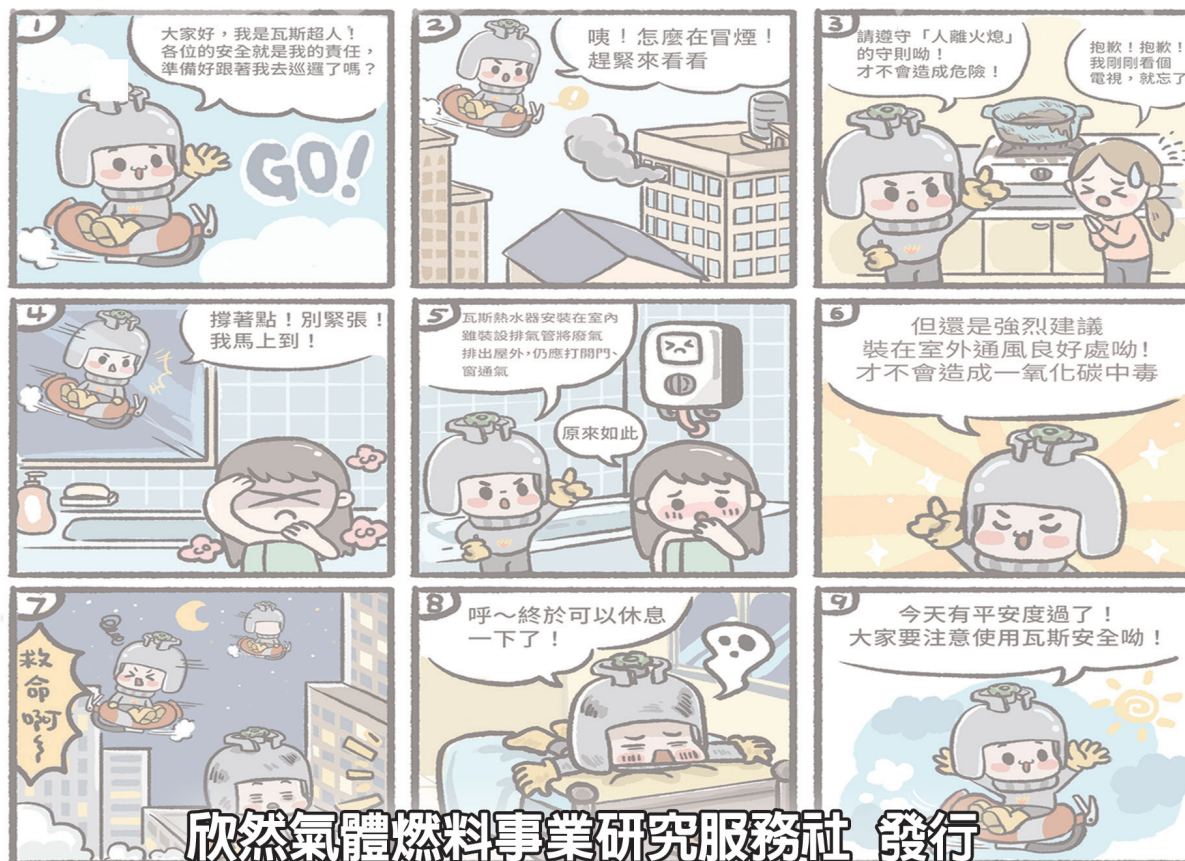
全球經濟成長及演化液態天然氣角色至關重要

2023年全球航運動盃
影響天然氣供應

LORA安全管理系統
LOR無線子機守護安全

強化瓦斯用氣安全宣導減少災害發生

瓦斯超人的一天



欣然氣體燃料事業研究服務社 發行

微電腦瓦斯表

智慧守護才安全

金



3大安全
遮斷功能



漏氣遮斷



超時遮斷



地震遮斷

宣導大使
陳亞蘭

簽名



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
陳
亞
蘭



瓦斯超人的一天



封面說明：瓦斯超人的一天 瓦斯人的園地
資料來源：瓦斯超人的一天 瓦斯人的園地

發行人：許績陵

編輯委員：（以姓氏筆劃為序）

王文一 李正明 林登章

蔡三郎 盧東岳 謝俊雄

執行編輯：唐惠英

發行所：欣然氣體燃料事業研究服務社

地址：台北市松山區南京東路四段100號12樓

電話：(02)2579-1137

E-mail: sjgrtw@gmail.com

印刷所：鼎順印刷有限公司

地址：新北市中和區景平路703巷2弄1號

電話：(02)2309-1319

E-mail: a638177@yahoo.com.tw

本刊收編印費每本新台幣140元

全年四期收編印費新台幣480元

匯款欣然研究社:華南商業銀行東台北分行

帳號124-10-005376-8

中華郵政台北雜字第1633號執照登記為雜誌交寄

本刊電子網頁 facebook.com/sjgrtw/

目錄

能源瞭望

2 2023年下半年運河重大事件對我國LNG進口航運影響分析

臺灣經濟研究院助理研究員、副研究員／
林梵紘、文軍強、謝宗憲

創新研發

15 LORA安全管理系統LOR無線子機守護安全

欣中公司經理／汪匡平

能源探討

16 全球液化天然氣發展之過去與未來

資深石化人／謝俊雄

國際瞭望

28 從美國政府暫停LNG出口項目審核看美國天然氣發展

作者／徐瑋成

安全宣導

45 瓦斯超人的一天

作者／許雅茹

能源轉型

46 石油和天然氣產業淨零轉型概論

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

瓦斯人的園地

63 獲獎感言 工作分享

作者／陳柏村 陳建廷

2023 年下半年運河重大事件 對我國 LNG 進口航運影響分析

臺灣經濟研究院 助理研究員林梵紘、文軍強 副研究員謝宗憲

前言

我國天然氣供應 99% 仰賴從國外進口液化天然氣 (Liquefied Natural Gas, 以下簡稱 LNG)，須依靠 LNG 運輸船將天然氣運抵我國，但是運輸船在海上航行時易受地緣政治、天候因素及意外重大事件（如 2021 年長賜號造成蘇伊士運河雍塞）影響航運時間的長短。2023 年全球航運狀況較為動盪，如 2023 年 5 月起中美洲因降雨不足，造成巴拿馬運河水位持續下降，影響運河載運量能，此外，10 月起葉門叛軍對行經紅海船隻襲擊，船舶不得不避開蘇伊士運河，依路透社報導，前述兩項事件，可能擾亂全球超過三分之一的貿易，並造成全球航運供應期程延宕及成本增加。

本文將盤點巴拿馬運河及蘇伊士運河對 LNG 航運之重要性，並分析造成我國天然氣供應之影響。

一、航運樞紐 -- 運河簡介

（一）巴拿馬運河 (Panama Canal)

1、概要說明：連接太平洋與大西洋，全長約 82 公里，運量約占全球貿易 3% 至 6%，自 1913 年首航以來已營運 110 年。目前由於運河使用的水資源主要來自加通湖 (Lake Gatun)，而加通湖的水主要來自雨水，巴拿馬的雨季在每年 4 月中旬至 12 月中旬，其餘月份為旱季。如遇上降雨量較低的季節，就會使加通湖水位下降，進而影響到巴拿馬運河水位的調節及船隻通行如圖 1。

圖 1 巴拿馬運河地理位置



資料來源：Google Map，本研究整理。

2、**運量**：平時每天約有 34 至 36 船次通過（最大運量可達 38 至 40 艘 / 天），隨著美國頁岩氣蓬勃開發，通過巴拿馬運河運往亞洲的 LNG 運輸船增加，但 LNG 運輸船對航線安全要求高，故巴拿馬運河自從 2016 年擴建後，優先讓 LNG 運輸船使用新巴拿馬型船閘，以利安全通過，因此成為 LNG 出口大國的美國 LNG 運往東北亞各國之重要航線。運河擴建後，新巴拿馬型船閘可讓全球 90% 的 LNG 運輸船通過，當時 ACP 為鼓勵 LNG 運輸船使用該運河，建立新收費結構，平均 350 億立方英尺的 LNG 運輸船通過成本為 0.20 美元 /MMBtu。ACP 年報數據指出近 3 年每年通過巴拿馬運河之 LNG 運輸船數量（含出口運輸船及卸貨返港船），2020 年 419 艘、2021 年 537 艘及 2022 年 374 艘，平均每天有 1 至 2 艘通行。

（二）蘇伊士運河 (Suez Canal)

1、**概要說明**：位於紅海北側，係連接歐洲及亞洲的最快航線，全長約 193.3 公里，是全球少數無船閘運河，具備大型船舶通航能力。自 1869 年 11 月 17 日重建通航後，已營運 154 年，目前由埃及蘇伊士運河管理局 (Suez Canal Authority, SCA) 營運。運河提供船隻一條行經地中海及紅海，往返北大西洋及北印度洋的重要捷徑，可避開好望角，縮短至少 3,000 哩的航路。若非紅海周邊國家，船隻勢必通過紅海及紅海南側的曼德海峽 (Bab-el-Mandeb strait) 才能向北前往蘇伊士運河或向南前往阿拉伯海及印度洋如圖 2。

圖 2 蘇伊士運河及曼德海峽地理位置



資料來源：Google Map，本研究整理。

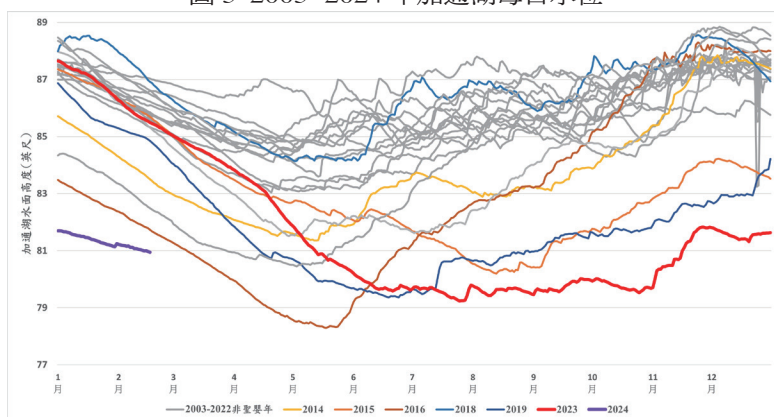
2、運量：蘇伊士運河及曼德海峽航道對石油和 LNG 的運輸尤其重要，據 SCA 數據顯示，2023 年 LNG 貨物占蘇伊士運河總運量 3.2%；路透社資料庫顯示 2023 年全球 LNG 出口運輸船中有 5.9% 通過該運河，其中最主要是卡達的 LNG 運輸船隊。

二、2023 年下半年運河重大事件

(一) 巴拿馬運河乾旱及船舶通行限制措施

由於聖嬰現象引發 2023 年巴拿馬雨季雨水缺乏，主要河道面臨 120 年來歷史上最嚴重的乾旱。2023 年 6 月 ACP 表示「前所未有的乾旱」影響巴拿馬運河的供水，聖嬰現象致使中美洲持續高溫，河道及加通湖水蒸發量增加，雨季降雨量創新低，加通湖水位創同期歷史新低，導致運河水量不足，7 月中旬水位一直保持在同期最低水位，9 月僅 80 英尺，到 11 月底為止，始終維持在 20 年中同期最低水位（如圖 3）。

圖 3 2003~2024 年加通湖每日水位



資料來源：ACP，本研究繪製。

為因應乾旱，ACP 開始削減運量，陸續提出管制，包含限制每天通過船舶數、船舶重量（即船舶吃水深度）及徵收附加費等。2023 年 7 月底 ACP 明定減少每天通行船舶數，舊、新巴拿馬型船閘每天可通行船舶數分別減至 22 艘、10 艘，以減少船閘用水。9 月 ACP 進一步限制船舶最大吃水深度，自 15.24 公尺減少至 13.41 公尺（LNG 運輸船吃水深度為 12.19 公尺），綜上之影響導致運河通行的貨物量大幅減少。

由於 LNG 運輸船吃水較貨櫃船淺，2023 年 10 月前通行巴拿馬運河，並未受到明顯影響，但 ACP 於 11 月起將多數 LNG 運輸船使用的新巴拿馬型船閘之每日通行船舶數從 10 船席減為 9 船席，並開放其中 8 個船席可競標預約，惟有 3 個船席優先提供予客輪及依排名的長期客戶貨輪 (在 ACP 釋出的客戶排名表中，雪弗龍排第 18、殼牌排第 21、Cheniere 排第 58)，剩下 5 個可預約船席中，貨櫃船的優先權大於 LNG 運輸船，致影響 LNG 運輸船通行。Angelicoussis Group 副執行長 11 月 23 日表示巴拿馬運河 LNG 運輸船通行數量從每天 1 艘遞減至每月 4 至 5 艘。2023 年 11 月日本 ENEOS 集團支付 400 萬美元讓一艘 LNG 運輸船優先通過巴拿馬運河，由於需花費更多時間與金錢通行巴拿馬運河，多數貨運船隻改由其他替代水路運輸 (如美國往亞洲改採蘇伊士運河或繞行好望角等路線)，雖然花費更長的運輸時間，但也節省等待通航的時間。ACP 原預測聖嬰現象的乾旱，至少持續至 2024 年春季，因此在 2023 年 11 月初預估 2024 年 1 月及 2 月每日船席分別減低至每日 20 艘及 18 艘，惟 11 月的降雨量卻超出預期，ACP 於 12 月 16 日表示 2024 年 1 月每日船席增加為 24 艘。巴拿馬運河通行政策時間表彙整如表 1。

表 1 巴拿馬運河通行政策時間表

日期	發展狀況	通行船舶數
2023 年 6 月	聖嬰現象開始，巴拿馬運河正常運輸量為平均每天 36 艘船舶數。	36 艘 / 日
7 月 30 日	ACP 限制每天通過運河船舶數減少至 32 艘。	32 艘 / 日
9 月	維持新巴拿馬型船閘通行船舶吃水深度 13.41 公尺。	32 艘 / 日
9 月 12 日	加通湖水位降至 80 英尺 (10 年平均水位 85 英尺)，每天通行船舶數維持 32 艘。	32 艘 / 日
10 月	降雨量 70 年來最低紀錄，每天通行船舶數降至 31 艘。	31 艘 / 日
10 月底	每天通過船舶 29 艘。	29 艘 / 日
11 月 1 日	新巴拿馬型船閘每天通航數由 10 艘減為 9 艘。其中有 8 個船席可以競標預約，但客船、長期客戶的貨輪、貨櫃輪等均有優先權預約權，LNG 運輸船沒有優先競標預約權。	28 艘 / 日
11 月 3 日至 6 日	每天通過船舶 25 艘。	25 艘 / 日

11 月 7 日	每天通過船舶 24 艘。	24 艘 / 日
11 月底	船席競標開始，LNG 運輸船無優先通航權，拍賣競標底價為 5.5 萬美元，且要花費更多時間與金錢通過巴拿馬運河。運河東側要前往亞洲的船舶，平均等待時間為 11 天，運河西側要前往大西洋的船舶，平均等待天數約為 9 天。	24 艘 / 日
12 月	巴拿馬運河旱季延長，運河船席競標費增加，新巴拿馬型船閘所釋出的船席 ACP 讓貨櫃船優先於 LNG 運輸船通過運河，預估 LNG 運輸船通航量從每天 1 艘降低至每月 4 至 5 艘。	22 艘 / 日
2024 年 1 月	2023 年 12 月 16 日發布將 2024 年 1 月每天通行船舶數增加到 24 艘，因 2023 年 11 月降雨量超過預期。	24 艘 / 日
2 月	2024 年 1 月 16 日發布每天通行船舶數維持 24 艘，若沒有特殊情況發生，此限制將持續到 2024 年 4 月。	24 艘 / 日

資料來源：ACP、JOGMEC、新聞報導整合資料，本研究整理。

依路透社報導，巴拿馬運河水位雖在 12 月的降雨後有上漲，然而土壤溼度仍處於 5 年來最低標準，12 個月的乾旱指數顯示長期水文狀況仍不樂觀，最新預測 2024 年 2 至 4 月的季節性預測乾旱仍會持續，且聖嬰現象預計持續到 3 至 5 月，巴拿馬乾旱的狀況應將持續到 2024 年上半年。

(二) 紅海危機迫使船舶避開蘇伊士運河

葉門的伊斯蘭教什葉派反政府武裝組織青年運動 (Houthi movement) 自 2023 年 10 月中旬開始疑似對紅海的船隻發射多枚巡弋飛彈及無人機，並於 12 月 15 日宣稱對兩艘前往以色列的船隻發射飛彈。發動襲擊的主因係以色列與哈瑪斯戰爭，青年運動宣布支持哈瑪斯，並表示攻擊目標是所有與以色列及其盟友有關的船隻，但尚不清楚如何辨別所有遭到攻擊的船隻與以色列有關，船隻遇襲地點如圖 4。

圖 4 紅海曼德海峽及亞丁灣船隻遇襲地點



資料來源：Guardian graphic、Ambrey Analytics，本研究整理。

SCA 表示從 2023 年 11 月 19 日至 12 月 15 日已有 55 艘船舶改道行經好望角。12 月 18 日英國石油公司 BP 宣布暫停所有通過紅海的航運規劃。2024 年 1 月 11 日 SCA 官員向媒體表示，通過蘇伊士運河的同期船舶數量從 2023 年 777 艘減少至 2024 年 544 艘，致 SCA 的收入下降 40%。

依據荷蘭 ING 銀行表示，若繞行好望角，將會增加約 3,000 至 3,500 哩及約 10 天的航程，預估額外燃料費增加高達 100 萬美元，致使整體運輸成本增加。蘇伊士運河受阻，亦會造成歐洲各港口的大型樞紐周轉時間連鎖反應。

2024 年 1 月 9 日青年運動向紅海船隻發動迄今最大規模的襲擊，美國及英國軍艦反擊，依據路透社報導，卡達有 3 艘 LNG 運輸船避開紅海及蘇伊士運河，改道好望角，並確認紅海安全前，暫停卡達旗下 LNG 運輸船行駛紅海。卡達在 2023 年供應歐洲 16%LNG，且是通過蘇伊士運河的最大 LNG 運輸船用戶，每月約有 30 至 40 艘滿載的 LNG 運輸船穿越紅海，紅海事件發展狀況如表 2。

表 2 紅海事件時間表

日 期	發 展 狀 況
10 月 7 日	以色列與哈瑪斯衝突開始，並引發戰爭。
10 月中旬	青年運動開始襲擊與以色列相關的船隻。
11 月 20 日	青年運動扣押汽車運輸船「銀河指揮官號 (Galaxy leader)」。
12 月 13 日	貢沃集團 (Gunvor group) 承租的多艘 LNG 運輸船改道，避開行駛紅海。
12 月 15 日	青年運動宣稱對兩艘前往以色列的船隻發射飛彈。
12 月 18 日	美國國防部發布聲明，聯合英國、巴林、加拿大、法國、義大利、荷蘭、挪威、西班牙與塞席爾等多國發起「繁榮衛士行動 (Operation Prosperity Guardian)」應對紅海危機，確保所有船隻航行自由，並促進區域安全與繁榮。
12 月 20 日	為迴避受攻擊風險，我國三大航運公司陽明、長榮與萬海皆宣布暫停紅海航線。地中海航運、馬士基航運等國際物流巨頭、英國石油公司 BP、挪威石油及天然氣公司 Equinor 等讓旗下船舶暫停經由紅海運輸。
12 月 30 至 31 日	貨櫃船馬士基杭州號在 24 小時內受到青年運動襲擊 2 次。
2024 年 1 月 4 日	美國、英國、日本、澳洲等 12 個國家聯合聲明警告青年運動，呼籲停止攻擊商船，但青年運動表示將繼續瞄準認為與以色列有關的船隻。
1 月 15 日	全球航運巨頭馬士基宣布旗下船隻避開紅海。

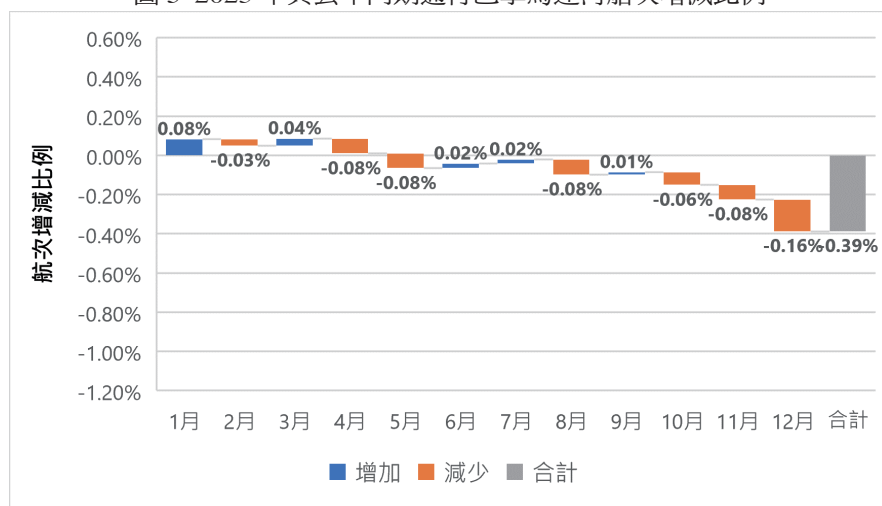
1 月 9 日	青年運動對紅海船隻發動最大規模襲擊，21 架無人機和飛彈均被英、美兩國的軍艦擊落。
1 月 11 至 12 日	英、美兩國對青年運動發動空襲。
1 月 12 日	因青年黨事件，SCA 收入下降 40%。1 月 1 日至 1 月 11 日船舶交通量較同期下降 30%。
1 月 13 至 14 日	路透社報導，因英、美兩國海軍對青年運動空襲，4 艘 LNG 運輸船行程受阻。Al Ghariya 號、Al Huwaila 號及 Al Nuaman 號本應駛往蘇伊士運河，但於 1 月 14 日停靠阿曼海岸；Al Rekayyat 號於 1 月 13 日在紅海沿途停靠。卡達 LNG 運輸船自 1 月 12 日暫停航行紅海與蘇伊士運河運送 LNG。
1 月 15 日	青年運動於亞丁灣發射飛彈，擊中一艘美國商船「直布羅陀鷹號 (Gibraltar Eagle)」。
1 月 18 日	彭博資訊報導全球 LNG 運輸船避開紅海及蘇伊士運河。

資料來源：各家新聞報導，本研究彙整。

三、近期巴拿馬運河、蘇伊士運河及好望角 LNG 出口運輸船流量之比較

依據路透資料庫數據，全球 2023 年 LNG 運輸船出口船次共 7,030 次，較去年 6,862 船次，成長 2.40%，但是 2023 年全球 LNG 運輸船約 2.20% 行經巴拿馬運河，則較去年下降 0.39%，乾旱造成 ACP 自 2023 年 7 月底開始實施限制通行船舶數，除 9 月與去年同期相差 1 船次以外，8、10、11 月每月各減少 4 至 5 船次，12 月減少 11 船次，8 至 12 月共計減少 24 船次，2023 年與去年同期每月通行船隻增減比例如圖 5。

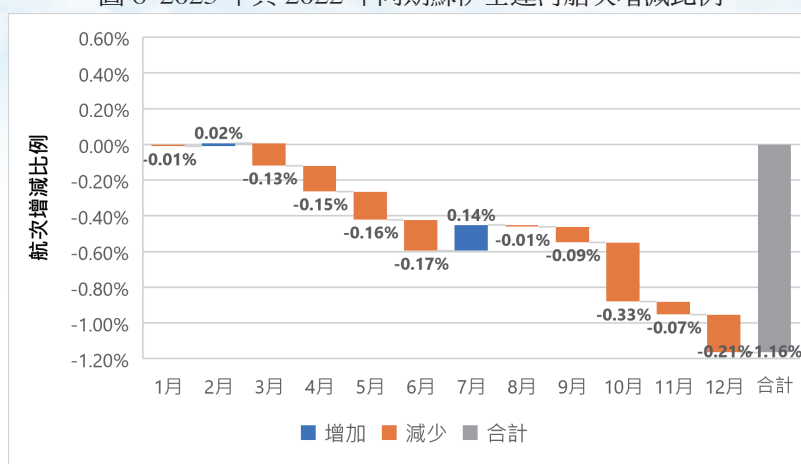
圖 5 2023 年與去年同期通行巴拿馬運河船次增減比例



資料來源：Refinitiv Eikon，本研究繪製。

2023 年全球有 5.90%LNG 運輸船行經蘇伊士運河，比去年同期減少 1.16%，2023 年依月份與去年同期比較，僅 2 月及 7 月船次有增加，其他 10 個月船次均減少，尤其 10 月及 12 月減少幅度最大，可能係青年運動，致使運輸船改道，2023 年 10 至 12 月通行運河計 94 船次，較 2022 年同期減少 40 船次，2022 年與 2023 年 LNG 運輸船通過蘇伊士運河增減比例彙整如圖 6。

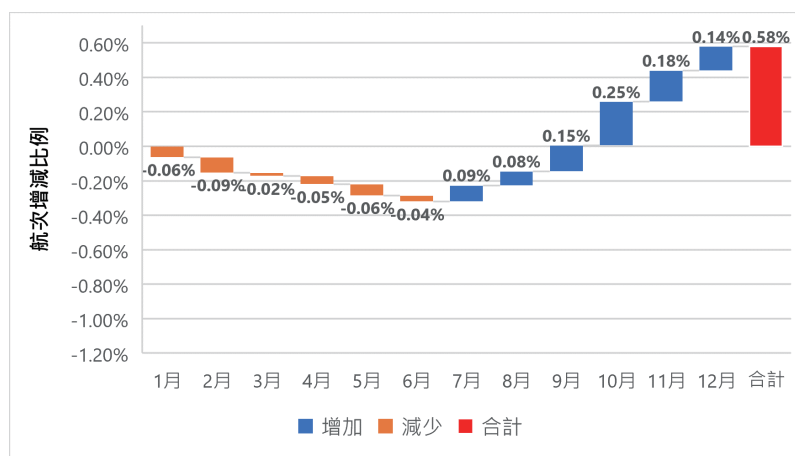
圖 6 2023 年與 2022 年同期蘇伊士運河船次增減比例



資料來源：Refinitiv Eikon，本研究繪製。

2023 年全球 LNG 運輸船有 3.16% 行經南非好望角，較 2022 年同期增加 0.58%。1 至 6 月通行好望角船次每月減少，平均每月比 2022 年同期減少約 3 航次；7 至 12 月通行船次遽增，平均每月增加約 10 航次，2023 年與 2022 年同期行駛好望角船次比例變動彙整如圖 7。

圖 7 2023 年與 2022 年同期行駛好望角船次增減比例



資料來源：Refinitiv Eikon，本研究繪製

2023 年美國成為全球最大 LNG 出口國，其貨物運往亞洲可選擇往西通過巴拿馬運河、往東通過蘇伊士運河或往東南行經好望角；巴拿馬運河為美國東岸至亞洲最快航線，以墨西哥灣運往日本為例，經巴拿馬運河需 20 至 49 天、經蘇伊士運河需花費 31 至 68 天、經好望角需 34 至 74 天才能抵達。由於 LNG 運輸船因排隊等待巴拿馬運河船席時間拉長，或往替代水路而導致運往亞洲的航運天數拉長，用 LNG 運輸船數量減少，導致租賃 LNG 運輸船舶費用增加，未來可能致使 LNG 價格上升。巴拿馬運河乾旱事件發生後，因蘇伊士運河航運穩定，即使比巴拿馬運河需要額外至少 10 天航程，更多公司選擇蘇伊士運河作為美國 LNG 運往亞洲的保障通道。但 2023 年 10 月起青年運動對紅海船隻發動襲擊，致使航行蘇伊士運河的 LNG 運輸船減少，2024 年初攻擊加劇，在安全運輸的前提下，愈來愈多運輸業者選擇航行好望角。

由於美國 LNG 貨物需要通行運河或好望角才能運抵亞洲，如選擇將 LNG 貨物運往歐洲，可降低風險及成本；卡達供應歐洲 LNG 若需要經過蘇伊士運河或好望角，更大的可能是運往亞洲，以減少成本。

四、近期運河重大事件對我國 LNG 進口航路影響評估

至 2023 年我國進口來源國之 LNG 運輸船通過蘇伊士運河及巴拿馬運河的有美國及埃及，俄羅斯則經蘇伊士運河運往我國，惟我國自 2023 年 2 月後暫無從埃及進口，並逐年減少自俄羅斯進口，而紅海事件受影響最大的是美國出口之 LNG，近年來僅美國是行經巴拿馬運河出口 LNG 至我國之來源國。依美國運往我國的航行距離及天數，據以分析 2023 年運河事件對我國 LNG 進口之影響如后：

（一）美國至我國航程比較

由美國出口 LNG 至我國行經巴拿馬運河為最短航線，平均航行距離 10,852 浬，平均航行天數為 34.2 天，航運天數介於 28 至 44 天主要受巴拿馬運河船閘等待時間影響；若行駛蘇伊士運河，則需增加 3,028 浬的航程，平均航行天數為 39.5 天，航運天數介於 32 至 59 天，主要受蘇伊士運河等待通行時間影響；行駛好望角則比最短航線平均多出 3,622 浬，平均航行天數為 40.05 天，航運天

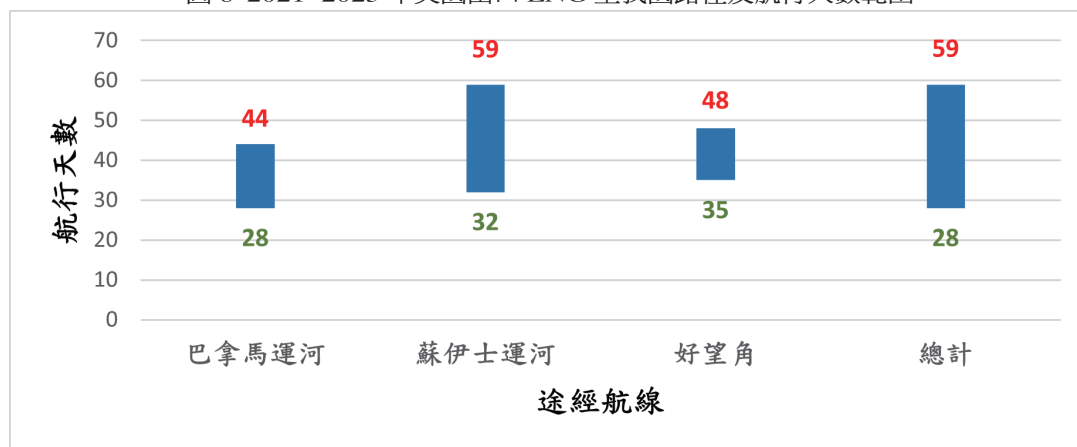
數介在 35 至 48 天，雖行駛較遠，但僅受風浪因素影響航程時間。整體而言，美國 LNG 出口至我國航行天數介於 28 至 59 天，巴拿馬運河為最理想航線，且加上 ACP 給予固定航期之 LNG 運輸船次的優先權，多數通過巴拿馬運河之 LNG 運輸船僅需 35 天就能抵達我國，若選擇蘇伊士運河則有可能因運河等待時間差異，造成最短與最長航程有 27 天浮動，而選擇無需等待運河通行時間的好望角航線，則介於 35 至 48 天，雖航路較遠，但航行天數幅度變化最小。美國 LNG 出口至我國航程統計與天數範圍分別彙整如表 3 及圖 8。

表 3 2021~2023 年美國 LNG 出口至我國航程統計

行經路線	平均航運距離(哩)	平均航行天數	航行天數眾數
巴拿馬運河	10,852	34.20	35
蘇伊士運河	13,880	39.50	38
南非好望角	14,474	40.05	39

資料來源：Refinitiv Eikon，本研究整理。

圖 8 2021~2023 年美國出口 LNG 至我國路徑及航行天數範圍

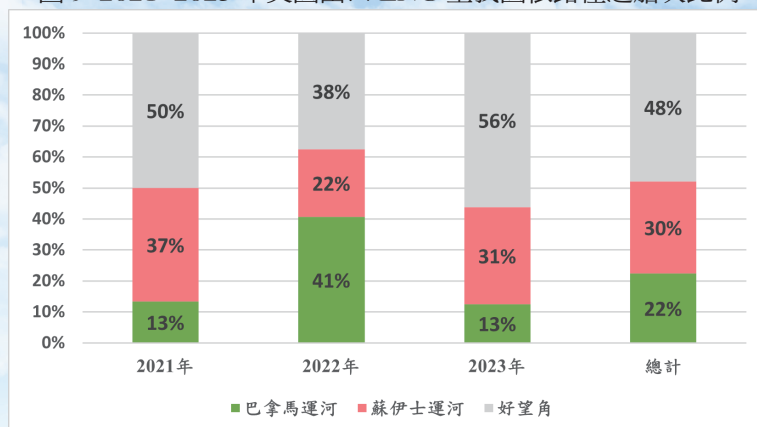


資料來源：Refinitiv Eikon，本研究繪製

(二) 好望角航路為穩定我國進口美國 LNG 之重要航道

綜觀 2021 至 2023 年我國自美國進口之 LNG 運輸船共 94 船次 (排除中途停靠其他港口之船次)，平均每年 31 船次抵達，其中 48% 通行好望角，30% 經過蘇伊士運河及 22% 航行巴拿馬運河 (如圖 9)。

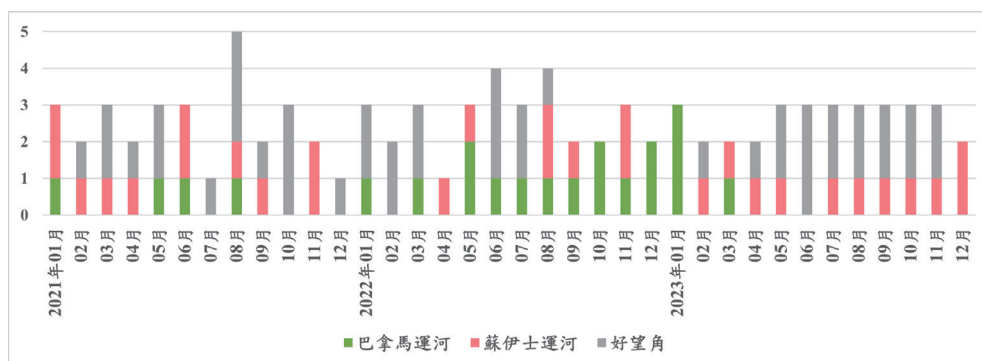
圖 9 2021~2023 年美國出口 LNG 至我國依路徑之船次比例



資料來源：Refinitiv Eikon，本研究繪製。

2022 年 41% 船次行經巴拿馬運河，平均每月都有 LNG 船經巴拿馬運河抵達我國；惟 2021 及 2023 年每年僅有 4 艘船次通行巴拿馬運河，31% 至 37% 船次行經蘇伊士運河，超過 50% 的船次經好望角運往我國，每月進港船舶數變化不大，巴拿馬運河並非必要行經路線。2023 年每月抵達之美國 LNG 運輸船為 2 至 3 船次，每月進港船次較前 2 年穩定，4 月以後就無船舶行經巴拿馬運河至我國，因此 7 月底開始實施的巴拿馬運河通行船次限制，並無影響每月美國 LNG 運輸船抵港數，繼之 10 月後發生紅海危機，亦未損及每月美國 LNG 船抵港數，且 2023 年有 56% 航次透過好望角航道運輸，因此運河事件對我國影響較小，因好望角航道可穩定我國自美國 LNG 貨物進口量，2021 至 2023 年我國每月美國 LNG 運輸船進港船次如圖 10。

圖 10 2021~2023 年運抵我國之美國 LNG 運輸船行經路徑及船次



資料來源：Refinitiv Eikon，本研究繪製。

結語

綜上分析，巴拿馬運河及蘇伊士運河的事件，並沒有直接導致我國 LNG 短缺或產生嚴重影響，雖繞行好望角致使運輸距離增加，惟 2023 年美國供應量並沒有顯著下降，每月 LNG 運輸船抵港數維持 2 至 3 船次，進口量平均每月 16.7 萬公噸。

我國天然氣供應依靠 LNG 進口，近年來因全球氣候變遷與地緣政治不穩定等因素，建議穩定進口來源作法需考量來源國多元化，選擇較為安全航道，並強化與日、韓等 LNG 進口大國的合作機制，俾於面對運輸航線受阻，可向來源國協調調整海運航線，或與 LNG 進口商辦理調換貨等事宜。

參考文獻

- 一、Ahmad Ghaddar, “How Houthi attacks in the Red Sea impact shipping in the Suez Canal” ,2023/12/19, <https://www.reuters.com/>
- 二、“Asia LNG buyers are paying a Panama Canal chokepoint premium for 2024” ,2023/11/17, <https://www.businesstimes.com.sg/>
- 三、Autoridad del Canal de Panam, <https://pancanal.com/en/>
- 四、Clyde Hughes, “Maersk says its ships will avoid Red Sea for the foreseeable future” ,2024/01/11, <https://www.upi.com/>
- 五、“Egypt's Suez Canal revenues down 40% due to Houthi attacks” ,2024/01/13, <https://www.jpost.com/>
- 六、“El Nio to affect LNG trades - Canal problems” ,2023/11/23, <https://lngjournal.com/>
- 七、Emily Chow & Marwa Rashad, “Tankers carrying Qatari LNG change course amid Red Sea tension -data” ,2024/01/17, <https://www.reuters.com/>
- 八、Frank Gardner, “Hard choices for the West in Red Sea stand-off” ,2024/01/12, <https://www.bbc.com/news>
- 九、Glenn Taylor, “Panama Canal Restrictions Not Expected to Change Until April” ,SOURCING JOURNAL,2024/2/15, <https://sourcingjournal.com/>

- 十、JACOB DICK, “Panama Canal Offers More Transit Auctions as U.S.LNG Traffic Continues to Fall” ,2023/11/30, <https://www.naturalgasintel.com/>
- 十一、James Landale, “Houthis defiant after warning over Red Sea attacks” ,2024/01/04, <https://www.bbc.com/news>
- 十二、Japan Meteorological Agency, “El Nio Monitoring and Outlook” ,2024/01/11, <https://ds.data.jma.go.jp/>
- 十三、John Crace, “What is the Red Sea crisis, and what does it mean for global trade?” ,2024/01/03, <https://www.theguardian.com/>
- 十四、Michael Race, “What do Red Sea assaults mean for global trade?” ,2024/01/13, <https://www.bbc.com/news>
- 十五、“Panama Canal operators to cut ship crossings as drought worsens” ,2023/11/01, <https://www.irishtimes.com/business/>
- 十六、“Pause in Qatar gas shipments through Red Sea poses new challenge to Suez Canal” ,2024/01/15, <https://english.ahram.org.eg/>
- 十七、Refinitiv Eikon, <https://eikon.refinitiv.com/>
- 十八、“Statement from Secretary of Defense Lloyd J.Austin III on Ensuring Freedom of Navigation in the Red Sea” ,2023/12/18, <https://www.defense.gov>
- 十九、Suez Canal Authority, <https://www.suezcanal.gov.eg/>
- 二十、林俐凱, “Drought-hit Panama Canal restricts daily crossings in water-saving move” ,2023/08/08, <https://www.taipeitimes.com/News>
- 二一、廖子杰, “紐時：「青年運動」機動性高 空襲難重創攻擊力” , 2024/01/15, <https://www.ydn.com.tw/>
- 二二、謝明珊, “巴拿馬運河陷 70 年最嚴重乾旱聖誕海運與能源運輸都受影響” ,2023/11/13, <https://e-info.org.tw/>



欣中天然氣

最安全

LORA安全 管理系統

您的用氣安全
我們用心守護



LoRa無線子機



安全傳輸設備



安全管理系統



供氣安全監控



系統自動回傳



用戶遠端管理



欣中天然氣股份有限公司
SHINCHUNG Natural Gas Co., Ltd

服務專線 04-2313-9999
40748 台中市西屯區天水中街36號

facebook 欣中天然氣



欣中LINE



欣中官網

廣告



全球液化天然氣發展之過去與未來

資深石化人 謝俊雄

前言

今日天然氣是最便宜的碳氫化合物燃料，然而其用途不僅是提供保暖與烹飪而已，近年來用途已不斷擴展，已是石化工業不可或缺的原料之一，不論在燃料或工業原料用途上都已扮演重要、不可或缺之角色。

天然氣送進管線系統輸送即所謂的都市瓦斯，是為今日多數人們生活必需品，取代遠古長期使用之草木、煤炭等，對人類文明貢獻不言而喻，因應用途日益擴展，美國能源部曾宣稱，全球許多發電廠都是採用天然氣發電，且該國預計今後新設發電廠中十之八、九為燃氣。

在化學上天然氣稱為甲烷，是多數化學肥料的原料，其中所製造出的尿素（氮肥）被視為產量最大的石化品；另外亦用於製造塑膠、紡織品、油漆、橡膠等產品，直接影響每個國家經濟的戰略性能源，如同石化廠、鋼鐵廠、發電廠等大規模工廠原本皆以重油為燃料，在能源轉型下需改用天然氣。

據研究報導地球上石油之存量估計有三兆噸，迄今已使用一兆噸，剩下的雖多，然而大都存在荒野蠻山之地或深海中，不但開採困難，且費用高昂。

全球各地汽車、卡車、農耕機等以內燃機驅動之設備，採用某種形態的天然氣為燃料，構成挑戰往昔汽油、柴油獨占的市場局面，尤其電動車之出現益增變化趨勢。尤有甚者，為配合聯合國推動全球溫室氣體管制公約，積極實施二氧化碳 (CO₂) 排放減量，以期於 2050 年前達成地球碳中和的目標。據此採用 CO₂ 排放量最高的重油為燃料的海運船舶（包括大型及超大型貨輪及郵輪），還有翱翔天空，排放 CO₂ 已占地球空際總排放量 3% 以上的飛機用油，將改用天然氣，此轉換將對天然氣供需產生重大影響。

近來由於技術之創新，更將天然氣製成液體狀態之天然氣 (Liquefied natural gas, LNG)，用途更廣，重要性更大，市場發展倍受相關業界關注。

本文參考國內外相關文獻及報導，以淺顯易懂的文字對天然氣與 LNG 做解說，敘述 LNG 之全般情境，也是天然氣產業未來重點課題。

一、天然氣出處多元

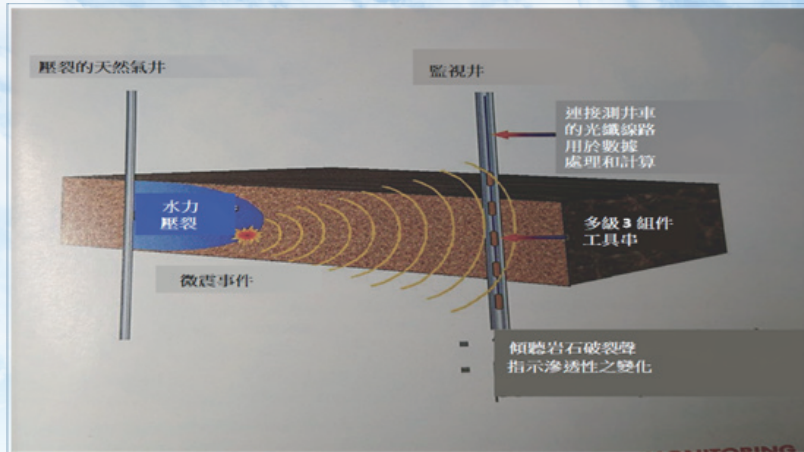
天然氣有不同來源，除尋常天然氣 (Conventional gas) 外，有隨同原油產出的伴生氣 (Associated gas)、煤層氣 (Coal bed methane) 及非尋常天然氣 (Non-conventional gas)。

(一) 頁岩氣 (Shale gas) 之開發：在 1990 年代末，全世界天然氣供應量曾一度下降，尋常天然氣來源趨減，但市場需求卻增加，甚至需求總量超出原油，導致非尋常天然氣應運而出，廠家集資投入開採技術研發，由美國拔得頭籌，逐步擴散到中國、加拿大及南美等地，蔚為油氣界的一陣旋風，所開發的天然氣源被美國幽默稱做來自石頭，事實上頁岩氣屬非傳統之天然氣，與煤層氣、緻密氣主要區別在於甲烷分子存在岩石中之地質物理機程的差異。

不過非尋常天然氣中所含甲烷，與尋常天然氣內的甲烷並無不同。另外緻密氣藉由新的鑽採技術，自頁岩層或砂岩層之緻密儲藏中抽出天然氣，為頁岩氣之開發與增產帶來更大之希望，據稱其蘊藏量極廣，在美國已探勘到的面積比荷蘭國土還大；殼牌公司估計技術上可生產數量總計達 3,000-10,000 兆立方英尺；全球緻密氣主要蘊藏地為美國、歐洲、北非、亞洲及中東，未來產出速度視市場需求與開採經濟性而定。

(二) 水力壓裂法 (如圖 1) 之發明：此類技術在 1940 年代便有，將來自地下的石油或天然氣蘊藏抽取到地面，惟到 2000 年初因頁岩氣之開發，而有與傳統不同的新技術誕生。地下蘊藏油氣之岩石中本身即有小裂縫，稱為孔隙率，油氣也會自行流出，但經年累月極為緩慢，水力壓裂法可將原有之岩石裂縫延伸、擴增，過程中將大量的水和砂在高壓下打入天然氣蘊藏的目標區，壓力將水與砂粒擠入岩石孔隙，形成小裂縫網，可深入岩石層數百英尺；水中的砂有「支撐劑」之功能，在水壓降低後仍維持岩石裂縫開通，一般要再加進化學藥劑 (增稠劑)，以使更能夠深入岩石裂縫孔洞。在水力壓裂操作開始幾星期後，約有一半的水會流回地表，因頁岩氣之開採需使用大量的水，生產過程的廢水造成環保問題，曾一度構成投資之障礙。

圖 1 水力壓裂法頁岩氣井及監視井示例



資料來源：殼牌 (Shell) 公司。

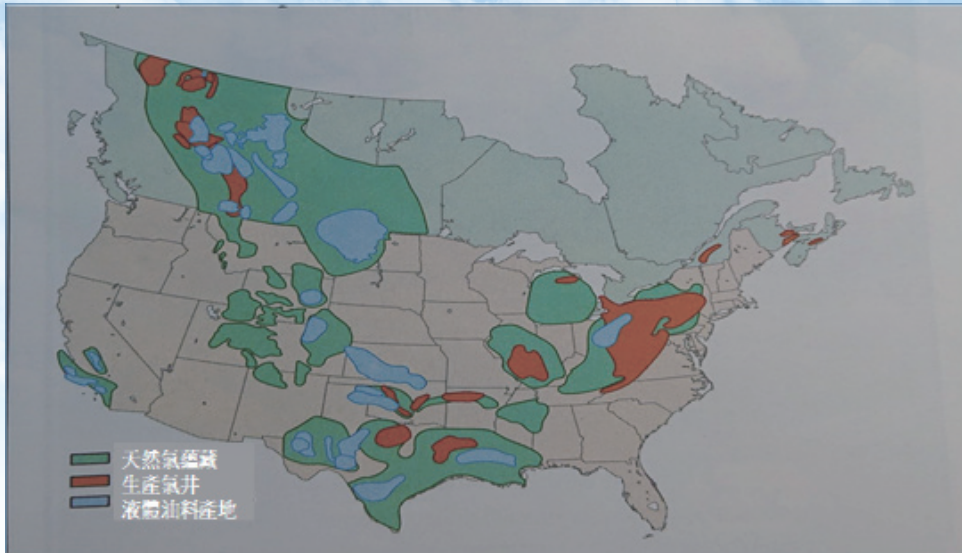
(三) 產出頁岩氣和緻密氣 (如圖 2、3): 兩者不同之處在於頁岩氣帶有液體，即頁岩油，須加以分離，而緻密氣是乾的氣，無附著油。美國馬歇拉斯頁岩油氣層結構是全球最大的蘊藏區，自 2000 年迄今有多家業者投資開採，惟費用甚高，廠家均致力於降低成本。另外近來加拿大卑斯省也是頁岩氣開採熱門地區，成為新的天然氣來源地，產品亦已行銷遠東地區，此處為一片廣大的天然氣田，地下 8200-9800 英尺下蘊藏豐富天然氣的西萊岩、頁岩及砂岩。頁岩氣產品中的甲烷、乙烷和丙烷，分別售往亞洲遠東地區，甲烷及乙烷的很大的貢獻是都能生產最熱門的石化原料乙烯，而丙烷則是能製造市場常供不應求的丙烯。

圖 2 全球經評估有頁岩氣蘊藏之盆地



資料來源：pdq 季刊 Q4 2017。

圖 3 北美地區主要油氣蘊藏與生產地



資料來源 :GAS PROCESSING。

二、從天然氣到 LNG

所謂 LNG 生產中心或製造園區是將天然氣製成 LNG 所建立的一群工廠。據載 CB&I 公司在 1959 年首開先河，成為全球 LNG 產業之先鋒，立下產業發展之里程碑，在產地附近成立生產廠，包括一系列複雜之前處理廠，首創將 LNG 自美國運至英國，開啟越洋輸送之歷史新頁。迨至 1964 年該公司投資全球首座大型 LNG 儲運計畫，在北非阿爾及利亞完成儲槽基地建設，之後的 50 餘年，一直扮演佼佼者角色，近來更在祕魯新建 LNG 設施，無論在工程設計、建造工程、試車程序及正式營運操作等，均立下示範性之成果。

(一) LNG 製造園區掃描

在大氣壓力下，將天然氣冷凍至約 -160°C (約 -256°F)，即成 LNG。基本製程技術在此僅略提要點，俾供後續說明持續優化與創新之狀況。天然氣製成 LNG 後體積可縮小 600 倍，便於輪船長距離運輸，且經濟，一般是將來自產地之天然氣以管線輸送至鄰近 LNG 廠。不同來源、類別之天然氣，不論是尋常天然氣、非尋常天然氣等，須先經不同前處理，符合供作 LNG 廠進料之規範，其粗天然氣前處理措施與設備要項如下：

- 1、**重成分之分離**：將重碳氫化合物與雜質分離，目地在除去天然氣液烴 (NGL)，亦稱為天然汽油，其成分複雜，且依產地、來

源而異，包括 C₁-C₁₅ 等不同化學品。

- 2、**去除水分與雜項氣體**：此程序為 LNG 廠進料氣體之重要處理步驟，將粗天然氣中所含水分及 CO₂、H₂S 與水銀等分離除去。
- 3、**NGL 回收與分餾**：回收天然氣中乙烷、丙烷、丁烷及較重成分，以符合 LNG 規範，而回收物可供做交通燃料或石化原料，也可分別出售。
- 4、**外銷產品之儲槽與裝運設備**。
- 5、**公用物質工廠**：提供冷卻、加熱、電力、空氣或水冷卻、加熱油、加熱用熱水或蒸汽、儀器操作用壓縮空氣、氮氣、去離子水、燃料、發電及配電及排水和排泄處理。
- 6、**人員與安全管理室**：廢氣排放口及壓力過高防護，火災與漏氣偵測，火災撲滅，其他安全事項。
- 7、**操作與維修工廠**：控制系統、維修、管理、車間、材料倉庫、醫務室、食堂。若基地設在遠地，尚需建設員工宿舍。另外，有些 LNG 工廠如須同時處理供外銷或內銷之天然氣，需要更多額外處理設備。

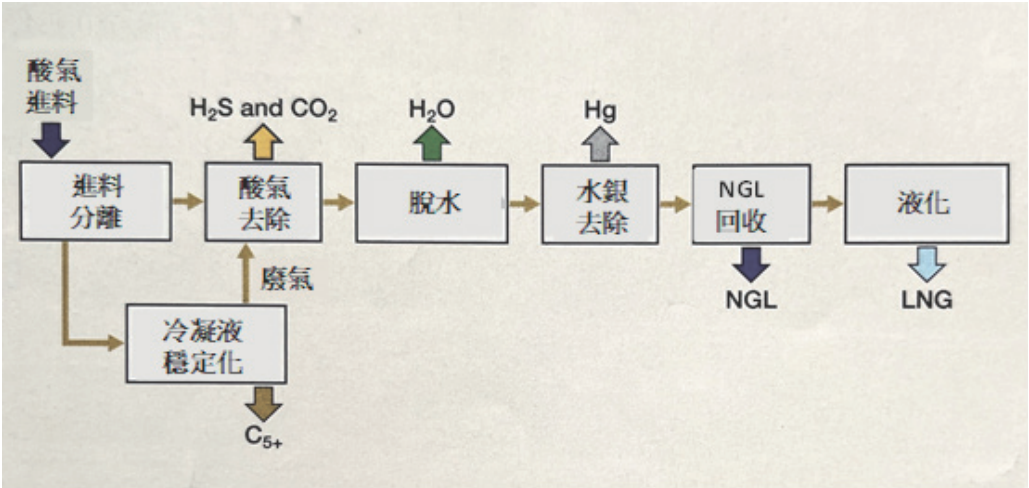
(二) LNG/NGL 廠配對增進經濟性

如上所述，將 LNG 生產與粗天然氣處理（主要是 NGL 之分離）於同一製造園區配對設在一起，具有顯著之經濟性。近年來因 LNG 燃燒較清潔乾淨，已迅速取代煤炭、汽油和柴油，市場大幅成長。全球天然氣市場隨經濟發展而成長，要使廠家能更快、以更低成本將 LNG 推廣上市，需研究有效之方法，如同 LNG/NGL 之配對生產應運而生，此一方式已被證實是將 LNG 配送到市場更有效之途徑。另外，業界也趨向將大規模、大產能製造轉向較小型 LNG 廠之投資，以適應區域市場需求，因此有關發展小型 LNG 廠之技術報導屢見不鮮；LNG 之價格取決於天然氣價格、液化成本及運輸成本等三大因素，其中液化成本約占總成本的 30%-40%，除非是外銷，否則小規模 LNG 廠可降低成本，將成本轉嫁予區域營運者，同時擴增市場占有率。

國外發電廠也有改用天然氣，因在發電尖峰單靠管線天然氣會

產生供應不足，依賴 LNG 作為「尖峰調節」，取代汽油、柴油、鐵路及海運用油，甚至航空用油。至於為何要將 LNG 製造和 NGL 回收設備配對？在過去市場上總是把兩者分開，然而目前在全球許多市場與基礎設施都將 LNG 之配銷侷限於小範圍，因而 LNG 製造已被轉移到天然氣產業鏈的中游位置，致力於縮短市場供應鏈，便於用戶採購，也是生產廠家得到更多之銷售選擇與機會。圖 4 所示一條生產線可將粗天然氣加工，同時得到 LNG，且回收用為交通燃料與石化原料之 NGL。因此小型 LNG 工廠設置如同與天然氣處理廠共構，更便於購售雙方之產品，在此情境下，大規模 LNG 廠家專注於國際行銷，把貨物直接運交國外終端用戶；而另一方面，小型廠則分占需求量大之區域市場。然而，不論大型或小型 LNG 廠，產品品質規範均相同 (如表 1)。

圖 4 LNG/NGL 廠配對生產線



資料來源：ptq quarterly，Q4,2017。

表 1 典型 LNG 品質及其原料之設計規範

成 分	數值	生產原料設計要求雜質去除程度
甲烷，容積 %	96+%	
乙烷，容積 %	< 4%	少於 4mol%
丙烷及其他高碳烴，容量 %	< 2%	少於 2mol%
己烷及其他高碳烴，容量 %	0%	少於 0.02%
O ₂ ，容積 %	0%	

N ₂ ，容積 %	< 4%	
CO ₂ ，ppm(v)	< 50	少於 50ppm
H ₂ S，ppm(v)	< 1	少於 1ppm
H ₂ O，ppm(v)	< 0.1	少於 0.1ppm
Hg，容積 %	0%	100% 去除

資料來源：Gas processing magazine。

(三) 天然氣面臨新課題

有專家認為，未來 50 年內天然氣市場將面臨複雜的情境，在於全球正致力於達到 CO₂ 淨 - 零排放的終極目標，天然氣衍生產品仍將在此道路上與其他既有的化石系與新的可再生系能源（如生質能、太陽能等）所構成的低碳及無碳能源組合中，扮演突出之角色，擁有一定之市場占比，總而言之，情境之所以複雜，取決於所面臨的一些因素。首先是如前所述天然氣液化相關製程技術的創新，還有市場需求之成長，能否有足夠的氣源及天然氣處理技術之進步等。

緣天然氣需求之增加，產生需要更複雜的天然氣處理設備，以純化產品，確保達成降低 CO₂ 排放之品質標準，另外需解決的氣源問題，也是一個要項。誠如本文前言中提及，好的氣井多已耗竭，新的氣源之尋找要導向深海或頁岩氣蘊藏地，況且來自此等新的氣源之非傳統天然氣，需更複雜的技術以處理粗天然氣，始可用於 LNG 之生產。

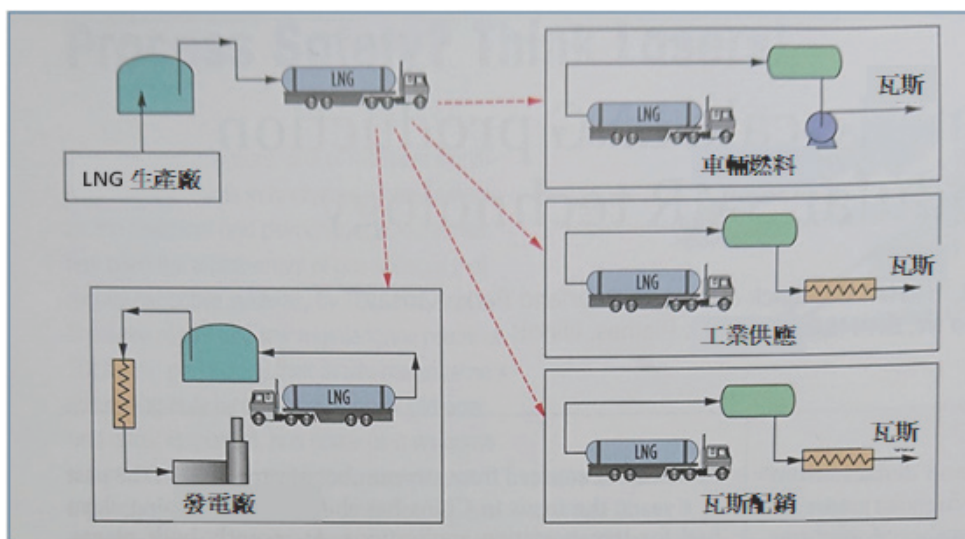
約 20 餘年前美國、加拿大等頁岩氣之開發吸引許多投資，對此新氣源開發與鑽探技術之成功寄以厚望。然而，原油價格未如預期上漲，時而低迷，令部分投資人打退堂鼓。又因頁岩氣、緻密氣鑽井耗水多，產生廢水與藥劑有環保問題、水力壓裂技術造成礦區小地震等，使投資熱度趨緩。有專家就經濟面認為 LNG 廠將天然氣液化，便於運輸與儲存，因在液化階段是資本密集的部分，將既有的液化生產線產能提高，對 LNG 業者而言具高度優先性，有助於增進效率，降低成本，增加獲利。

三、小型 LNG 廠興起

本世紀初以來北美地區天然氣之供需發展掀起一番新的潮流，市場普遍需求更清淨、更便宜、本地供應之交通與高馬力設備燃料，於是解決供需雙方的方案應運而起，其中之一是將 LNG 用於重型卡車、高馬力及越野車用途；美國採用 LNG 已逾 40 年，然而用於一般車輛與越野車卻仍屬初期，未來具發展潛力。

小型 LNG 生產設備應用自 1960 及 1970 年代逐漸興起，基本上適用於高峰用氣調節 LNG 設備，亦即用氣不足時增加供氣之設備，而小型 LNG 廠是指單線 LNG 產出每日小於 4000 萬標準立方呎，或 485 千加侖之規模，依市場需求來看，北美地區自 2012-2020 年期間需新建 30 座小型液化廠，以供應 LNG 燃料，至於世界其他地區，包括巴西、中國大陸等也在發展小型 LNG 廠建設及輸送車輛，以對偏遠地區供應 LNG，及輸送清潔交通燃料（如圖 5）。

圖 5 中國大陸小型 LNG 廠產品採分散式配銷模式



資料來源：GAS PROCESSING，Mar-Apr,2014。

關於小型 LNG 廠生產技術，大致有三種製程，即甲烷膨脹法、氮氣冷凍法及模組化單一混合冷媒法。甲烷膨脹法是自高壓天然氣輸送管線將天然氣膨脹，引入低壓管線，用此壓力差製造 LNG。另外氮氣 (N₂) 為冷凍法是利用氮氣壓縮、膨脹，產生冷凍系統，生產 LNG。模組化單一混合冷媒技術特點是採用冷凍劑之混合物，可設計為特定冷凍需求，對 LNG 生產具彈性，目前約有 80% 廠採用此法，為應用最廣的小型天然氣液化技術。

四、大規模 LNG 儲運站之開發

近年來「monetization」常被提及，經由大規模開採海上與陸地之天然氣，新計畫案此起彼落，製成 LNG 運銷全球，巨型 LNG 輸出港極其宏偉壯觀，將貨卸載於各國接收站，繼而經由管線網通往全國各地，供應廣大民眾；另有部分以運輸車配銷至交通用、工業用、商業用等客戶，隨著經濟發展與人們生活水準之提高，易於長程運輸且兼具經濟效益之 LNG，未來市場發展盛況可期。

近來 LNG 作為綠色、來源豐富之能源，受到廣泛關注，及自北美開採頁岩氣成功後，更開啟自美加外銷之途徑，同時由天然氣製造液體燃料計畫案也迅速增加，使得需求量大為提增，在此背景下，LNG 儲運站在世界主要天然氣產區大量出現，設備作業包括外銷、接收及進口及再氣化等。

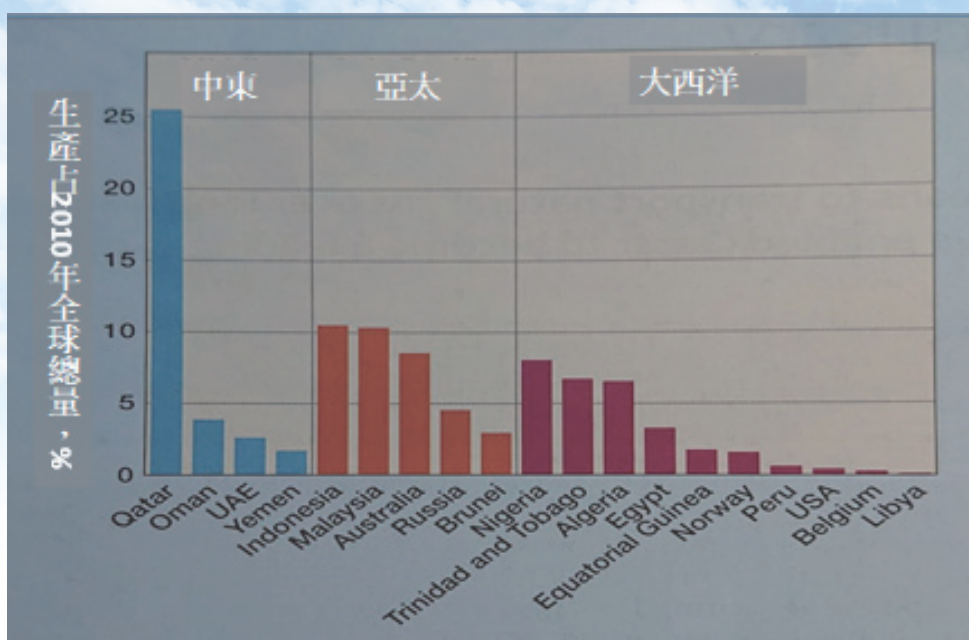
LNG 進口接收站在天然氣供應鏈中具有幾項重要功能，敘述如后：

- (一) 從運輸船接收並卸載。
- (二) 儲存至冷凍槽。
- (三) 氣體品質管理。
- (四) 再氣化，符合客戶需求品質與數量。
- (五) 導入全國性輸氣管線系統。

約莫 2013 年全球 LNG 儲運站急速擴張期，據統計附設再氣化廠的 LNG 接收站總數達到 91 站，計畫及施工中尚有 67 站，迄今全球推估已有 150 站。以下介紹幾處大型、著名的儲運站，如后：

- (一) 戈蘭 LNG 接收站：此站是英國老牌、最大的接收站，於 1980 年完工，投入運作，主要接收來自北美、中東及加勒比海的 LPG 運輸船，將氣化後之天然氣輸入全國輸氣管線系統及地區配銷系統，每艘船裝載量高達 265,000M³，於碼頭將 LNG 卸入冷凍儲槽，低壓儲存。
- (二) 拉斯拉凡 LNG 出口站：中東卡達人口少，盛產石油、天然氣，其油氣銷售收入占國家 GDP 超過 50%，一度是全球人均所得最高，失業率最低的國家，已證實原油儲量為 250 億桶，足夠持續開採 57 年。至於天然氣儲量超過 25 兆立方公尺，占全球總量 14%，排名第三，亦是世界最大 LNG 出口國（如圖 6），2010 年 LNG 外銷量就已攀登世界之首。

圖 6 世界 LNG 生產量卡達名列前茅



資料來源：BP2011；WWW. Eptq.com。

天然氣蘊藏主要在與伊朗交界的裡海區域，產出大部分在海中。1991 年政府出資 10 億美元，建造拉斯拉凡 LNG 出口站，經不斷擴建，如今已增加到 7 條 LNG 巨型生產線，除 LNG 外，尚有大量 LPG 和 GTL 產出。單是 LNG 外銷量年可達 7700 萬公噸，以優勢地理位置，加上擁有大型及先進的 LNG 運輸船，足將產品交運全球消費地。

(三) 耶克拉斯 LNG 出口基地：澳大利亞近年致力於油氣開發，亦已成為生產大國。西澳西北部與東帝汶、印尼為鄰，中間隔帝汶海，往東是著名的達爾文港，西澳海濱向帝汶海延伸，是世界級油氣產區的布勞斯盆地 (Browse Basin)，自 1960 年代即進行探勘，近年來更在海中開採油氣，並於耶克拉斯油氣田區設置天然氣處理廠、LNG 製造廠等，所有設備均是大型、世界級規模。區內有 4 條巨型 LNG 生產線，2016 年開始運作，年產量 840 萬公噸，另產 LPG160 萬公噸、凝結油 10 萬桶 / 日，出口站兩處設在淡皮爾港，另兩處在達爾文港，據稱此油氣產區至少能生產 40 年，所產 LNG 大量運銷日本，其中東京瓦斯、大阪瓦斯、東邦瓦斯等皆為重要客戶。

(四) 印尼 LNG 出口站：計有邦潭、潭咕及東格暹挪洛等 3 個出口站，年出口量能分別為 22.6、11.4 及 9.5 百萬公噸 / 年；另有計畫中的新站馬歇勞 (Maselao)，預計 2020 年代運作。

(五) 永安 LNG 接收站：位於高雄永安港，為台灣第一座 LNG 進口接收站，與全球 150 餘座 LNG 接收站相較，規模雖小，但卻讓民眾享用到清潔方便的管線瓦斯。

永安 LNG 接收站計畫於 1984 年定案，進行建設，至 1990 年完成第一期工程，順利接收第一艘進口的 LNG；1991 年總進口量 150 萬公噸 / 年，貨源來自印尼及馬來西亞；1992 年完成第二期擴建，進口量增至 450 萬公噸 / 年。

第三期擴建自永安港經水深 60 至 110 米之海底管線，往北經台中至通霄上岸，將天然氣注入鐵砧山地窖，並在台中港設立第二座接收站，而籌備中的尚有桃園觀塘第三接收站及基隆第四接收站，總計年總進口量可增加到 800 萬公噸以上。

結語

在全球面臨 2050 年 CO₂ 淨 - 零排放的情境下，許多化石系油氣產品將陸續被生質系與可再生能源所取代，唯獨化石系的天然氣產品尚可延展一段消費時日，在過渡時期仍扮演要角，並隨著市場需求之擴大，開採及供應有增無減，且由傳統天然氣進展到非傳統天然氣（頁岩氣、緻密氣），市場、技術亦將不斷精進。

本文以簡顯方式敘述 LNG 之前世今生，藉而瞭解天然氣產業鏈之過去與未來，再者介紹 LNG 大規模、現代化 LNG 園區、出口站運作情況、主要國家消費端 LNG 接收站，及為服務區域性客戶與特定用戶漸興起之小型 LNG 廠及其供應站，其中 LNG 由產地出口站以現代化運輸船輸送，是經濟有效的輸運方式，在世界五大洋間穿梭，由產地送達消費地的接收站，無遠弗屆，造福產業與民生，創造近代生活與產業應用之新景象。

正當全球經濟持續成長及演化，LNG 至關重要，為能源中不可缺席的角色，如能經濟、有效輸送助益更大，有機會經歷重大成長，並透過全球出口站與接收站的普遍設立，使國際市場成長突飛猛進，貿易量持續成長。

參考文獻

- 一、A new age for natural gas,Shell Natural Gas,OIL & Gas Journal Supplement.
- 二、Natural Gas Development,Technology innovations improve LNG terminal and gas operations,Hydrocarbon Processing,Aug.,2013.
- 三、SPECIAL REPORT:Natural Gas Development,Hydrocarbon Processing,Jan.,2014.
- 四、Gas,a ptq yearly supplement,2009,2013,2019,2023.
- 五、Gas Processing,Mar./Apr.,May/Jun.,2014 ; Mar./Apr., May/Jun.,Jul./Aug.,Sep./Oct.,2015.
- 六、ptq quarterly magazine,Q2,2011,Q4,2017,Q4,2023.
- 七、Processing shale feed-stocks,2015,2016.
- 八、LNG Technology breakthrough,Prospect,Western Australia International Development Magazine.
- 九、賴英朗，中油液化天然氣接收站及輸送系統簡介，中鼎月刊 247 期。
- 十、Warren R.True,Chief Technology Editor,OIL&GAS JOURNAL,LNG Production Complex.

從美國政府暫停 LNG 出口 項目審核看美國天然氣發展

作者 徐瑋成

前言

在國際大力推崇淨零排放（Net Zero）與碳中和（Carbon Neutrality）的風潮下，天然氣在全球能源結構組成中的重要性逐步提高。天然氣因其低排碳、可負擔且穩定供應的特性，契合歐美等先進國家推動淨零排放政策的目標，同時可作為電力、民生的穩定輸出能源外，並被視為因應再生能源蓬勃發展的「橋樑」能源。在逐步推進低碳能源（擺脫石油與煤炭）與兼顧能源供應的轉型路徑下，各國對天然氣需求的快速成長，國際市場的交易熱絡與蓬勃程度已與早期的天然氣市場狀況呈現極大差異。

美國作為全球最大的天然氣生產與消費國，在國際天然氣市場中佔據關鍵的一席之地。自「頁岩革命（Shale Revolution）」後，除大量提升天然氣生產量與庫存，並逐漸成為將天然氣輸出國際市場的關鍵要素，不再僅限於北美市場，儼然成為國際天然氣市場（尤其液化天然氣）的重要供應來源。自 2022 年「俄烏戰爭」後，因俄羅斯中斷管道天然氣（Pipeline Natural Gas, PNG）供應，歐盟依靠大量進口美國 LNG，以填補俄羅斯 PNG 的缺口，美國 LNG 扮演穩定歐洲能源供應的關鍵角色，再度將天然氣的地位推升至高峰，並達成新的里程碑。

然而，美國政府在 2024 年 1 月宣布將暫停 LNG 出口廠的審核作業，此舉政策指令對於能源大廠無疑是一大打擊，且對該國天然氣產業釋出不利的訊息。同時，現行在國際天然氣市場作為領導霸主，能源政策將對國際市場情勢牽一髮而動全身。本文將探討美國天然氣在國際市場的影響，及在新的政策方向下，分析天然氣產業的影響與衝擊。

一、美國天然氣生產與出口情勢觀測

（一）美國天然氣生產與消費情勢

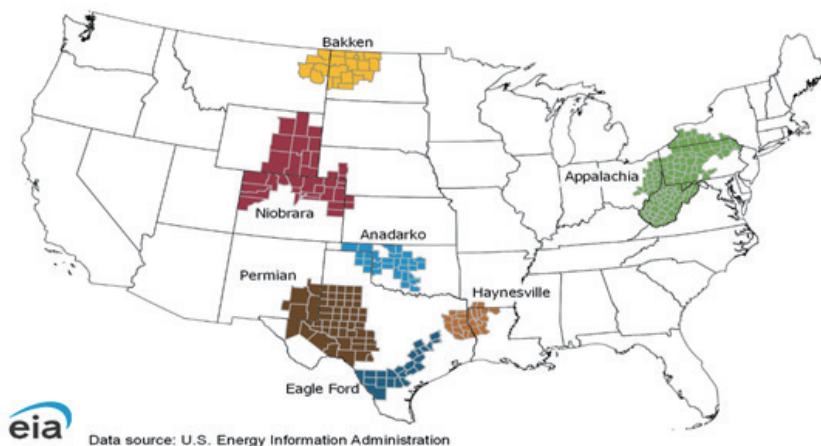
1、頁岩革命的成功，將天然氣生產推升至新的境界

早期天然氣生產主要為供應民生部門（家庭供熱能源）以及工業部門（工業熱能，如鍋爐），隨著經濟與工業活動逐漸蓬勃發展，天然氣需求逐漸增加，而早期的天然氣生產量未能完全滿足市場需求，尚需從國外進口天然氣（如自加拿大進口 PNG）以滿足終端需求。

21 世紀後發現龐大的天然氣資源與蘊藏量，尤其「頁岩氣」成為改變天然氣產業與生態的關鍵角色。自 2008 至 2009 年，眾多能源大廠開發頁岩資源（頁岩油與頁岩氣），頁岩氣瞬間成為傳統能源市場的新寵兒。頁岩革命的成功後，天然氣生產量呈現爆發性成長，除逐步滿足內需市場外，並因產量的增加，逐步降低加拿大 PNG 的進口量。頁岩革命的成功除取決於具有龐大的頁岩蘊藏資源外，水力壓裂與水平鑽井技術的發展與演進，為推進產量大幅度提升的關鍵利器，並加速產業的發展腳步與擴張速度。

天然氣供應現行約 7 成以上來自頁岩氣資源，早期的頁岩氣開發集中於西南部地區，主要為德克撒斯州、新墨西哥州、奧克拉荷馬州及路易斯安那州等，因東北部的頁岩資源開發逐漸具有規模性發展，至發展重心逐漸轉向東北部的賓夕法尼亞州、俄亥俄州及西維吉尼亞州等（美國天然氣主要產地分布如圖 1）。

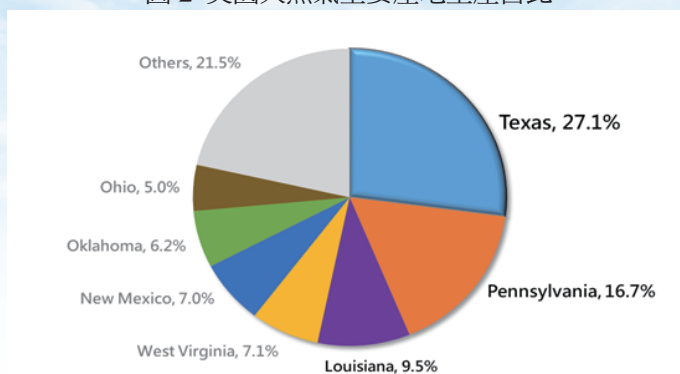
圖 1 美國天然氣生產主要產地分布示意圖



資料來源：EIA。

天然氣生產主要礦區包含德州的二疊紀盆地、鷹堡、海恩斯維爾及賓州與俄亥俄州接壤的阿帕拉契盆地山脈中的馬賽勒斯盆地。其中，德州仍為現今最大產地，其生產占比約為 27%，其次為賓州、路易斯安那州及西維吉尼亞州等（如圖 2）。

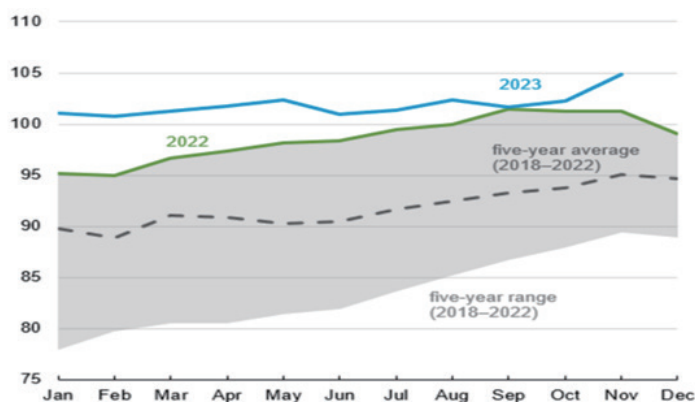
圖 2 美國天然氣主要產地生產占比



資料來源：EIA，本文彙整。

因應國內天然氣終端消費與 LNG 出口所需的原料氣需求，2023 年生產量相較 2022 年增加，2023 年 11 月（正值冬季提取季節）本土（不含阿拉斯加與夏威夷州）的 Dry Gas 產量達到歷史新高水平，至 1,049 億立方英尺/日 (Bcf/d)，而 2023 年總產量相較 2022 年年平均值成長 3.3%（如圖 3）。美國 2023 年的天然氣成長主要來自東北地區，包含賓州、西維吉尼亞州，另外德州地區仍呈現持續成長趨勢。近年美國 LNG 的出口量持續擴大，為美國天然產量增加的主要貢獻因子，出口的增加大幅帶動天然氣的供應量與提取量（天然氣生產變化如圖 3）。

圖 3 美國天然氣產量變化趨勢（2022-2023）



註：圖表單位為 Bcf/d 資料來源：EIA。

美國能源署（EIA）預估天然氣產量仍將持續增長，預期 2024 年產量將比 2023 年增加，年成長幅度預期為 1.2%。2024 年 Dry Gas 平均產量將達到 1,040 億立方英尺 / 日，至 2025 年將進一步增至 1,060 億立方英尺 / 日。

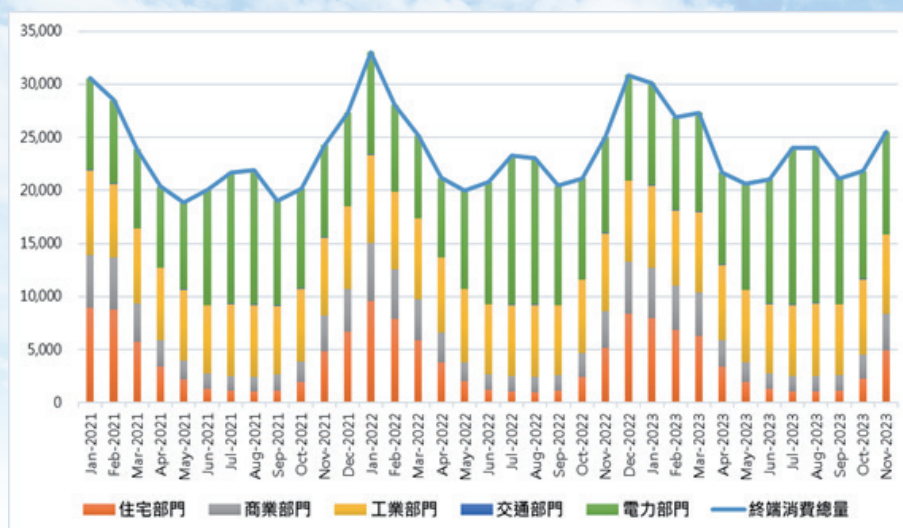
2、美國電力部門天然氣消費量逐年升高

美國天然氣消費量主要結構分為終端消費、工廠燃料及天然氣管線分配。在 2019 年 Covid-19 疫情爆發前，總消費量即達到 31.1 兆立方英尺，2020 年疫情導致經濟與生產活動降低，降至 30.2 兆立方英尺。2022 年 Covid-19 疫情趨緩，全球總體經濟逐漸復甦，生產活動的增加使美國天然氣消費攀升至新高，達到 32.3 兆立方英尺，相較 Covid-19 疫情期間增加 7%。

以終端消費而言，主要分為電力部門、住宅部門、工業部門、商業部門及交通部門，因為天然氣生產國為降低碳排放量，除推動再生能源外，並積極推動燃氣發電；另外天然氣用於住宅部門的供熱燃料，及工業部門同為天然氣消費主力。依 2023 年數據，終端消費以電力部門為最，占比約達 45.1%，其次為工業部門 29.3% 及住宅部門 11.0%。

巴黎協議制定後，隨著聯合國對淨零排放目標逐步的要求與政策推進下，全球的先進國家皆加大潔淨能源的開發及使用力道，提升燃氣發電占比成為擺脫碳排放的有效政策工具。美國在具有天然氣生產的優勢下，電力部門的天然氣消費量亦逐年提高，近幾年的數據顯示，2018 年電力部門占天然氣消費約 38.4%，2020 年躍升至 41.9%，至 2023 年更進一步提升至 45.1%，足見電力部門的天然氣使用成為消費主力，消費量急遽成長，而住宅部門及工業部門則呈現較溫和的成長趨勢（終端消費量變化如圖 4）。

圖 4 美國天然氣消費變化趨勢（2021/1-2023/11）



資料來源：EIA，本文彙整。

(二) 美國 LNG 出口情勢

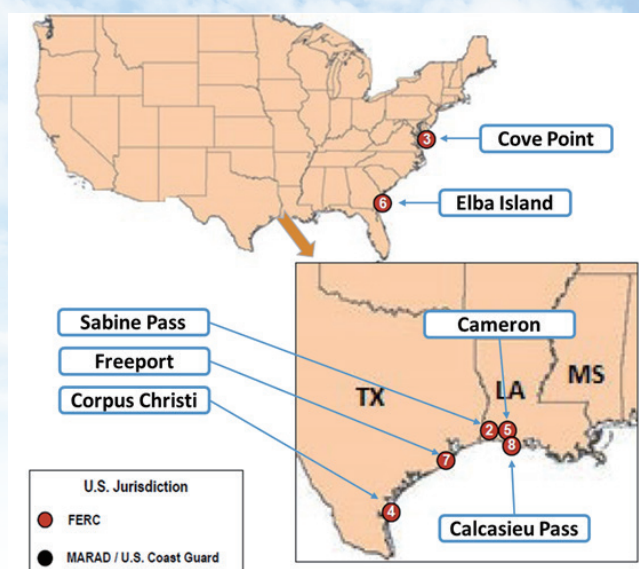
1、依靠豐盛資源與新擴建設施，從本土貿易邁向全球市場

早期天然氣需求不高，且未大規模開發，除既有的生產外，同時自加拿大進口 PNG，早期並有設置天然氣接收站，以本土產量及進口天然氣滿足市場需求。

頁岩革命後已逐漸可滿足國內市場需求，既有的天然氣接收站利用率逐漸下降，甚至處於暫停營運的狀態，部分能源大廠在預見生產量已有餘裕，可進行出口的趨勢下，陸續投入天然氣出口的廠房設置與相關規劃，包含將既有的天然氣接收站改建成天然氣出口廠，或選擇新建 LNG 出口廠。

2016 年本土第一座 LNG 出口廠 Sabine Pass 正式啟用，並宣告開啟 LNG 出口的時代來臨。2016 年迄今除 Sabine Pass 逐步的擴充其出口產能外，眾多能源大廠投入出口設施的興建，本土陸續新增 LNG 出口廠，包含 Cove Point、Elba Island、Freeport、Cameron、Corpus Christi，及近年啟用的 Calcasieu Pass，截至 2023 年底計有 7 座 LNG 出口廠處於營運狀態（LNG 出口廠分布如圖 5）。

圖 5 美國本土 LNG 出口廠分布



資料來源：FERC，本文彙整。

本文前述介紹本土頁岩氣生產主力位於德州與路易斯安那州等地，因此多數 LNG 出口廠皆設置於鄰近的墨西哥灣區，LNG 出口廠就近從產地獲得原料氣，透過液化工程，於液化後從港口藉由船運進行 LNG 出口。

現今最大的 LNG 出口廠路易斯安那州的 Sabine Pass，其出口產能為 3,000 萬噸 / 年 (MTPA)，其他包含 Corpus Christi 1,500 萬噸 / 年及 Cameron 1,350 萬噸 / 年，同是出口重地（各 LNG 出口產能如表 1）。

表 1 美國各 LNG 出口產能

出口廠	出口產能 (MTPA)	地點
Sabine Pass	3,000	路易斯安那州 LA
Corpus Christi	1,500	德克薩斯州 TX
Cameron	1,350	路易斯安那州 LA
Freeport	1,500	德克薩斯州 TX
Cove Point	525	馬里蘭州 MD
Elba Island	250	喬治亞州 GA
Calcasieu Pass	1,000	路易斯安那州 LA

資料來源：GIIGNL，本文彙整。

因應國際市場的需求漸增，如傳統的亞太市場（需求成長來源來自中國大陸與新興市場國家），及受俄烏戰爭導致天然氣供應短缺的歐洲市場，在產量充裕的情形下，眾多企業積極展開擴廠（增產），並投入新 LNG 出口廠設置。

現行經由美國聯邦能源管理委員會（FERC）審核通過，並正在新擴建出口項目共 5 個，新建的出口廠如 Golden Pass、Plaquemines、Rio Grande、Port Arthur，及擴建的 Corpus Christi。上述項目若完工，預計將增加 97 億立方英尺 / 日的出口產能，本土的 LNG 總出口產能預期可突破 1 億公噸。

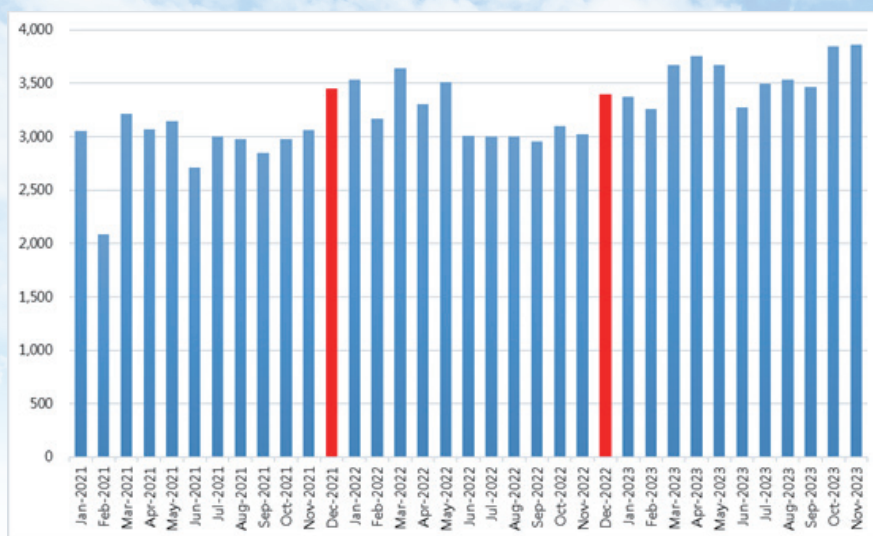
2、LNG 出口流向從傳統亞太市場邁向歐洲地區

自 2016 年出口 LNG 後流向亞太地區，主要出口目的地為中國大陸、日本及韓國，但 2022 年俄烏戰爭後，為因應歐洲盟國提出能源供應的協助要求，優先將非合約的船貨輸往歐洲市場，同時歐洲地區因俄羅斯中斷天然氣供應導致天然氣價格攀升，部分出口廠選擇將船貨賣給歐洲國家賺取龐大的能源收入，亦使美國成為俄烏戰爭下的為佳受益者。

2021 年 LNG 出口量達 6,703 萬公噸，全球僅次於澳洲及卡達，亞太市場占出口約 49%，而歐洲市場則占 32%；2022 年因歐洲地區需求大增，出口呈現飛躍性成長，達到 7,544 萬公噸，相較 2021 年同期成長 12.6%。2022 年因俄烏戰爭出口流向呈現反轉情勢，亞太市場占比降至 24%，而歐洲市場則攀升至約 69%。出口亞太地區的降幅在於除受歐洲市場的高價格與高需求所驅動的出口轉向外，亞太地區中，中國大陸因經濟不振，導致進口量減少，而傳統進口大國如日本及韓國推動核能發電，並規劃降低進口量，致使占比大幅下降。

2023 年因出口廠的產能擴增，及 Freeport 恢復生產，使出口產能進一步提升，並加大對歐洲地區的出口量。2023 年約出口 8,900 萬公噸 LNG，超越澳洲及卡達成為全球第一大 LNG 出口國。除 LNG 出口量的大幅攀升外，歐洲市場成為奠定出口流向的關鍵區域，2023 年約有 7 成流向歐洲市場，成為最大出口市場（LNG 出口變化如圖 6）。

圖 6 美國 LNG 出口量情勢（2021/1-2023/11）



註：圖表單位為 Bcf 資料來源：EIA，本文彙整。

二、美國 LNG 出口情勢變化與後續發展方向

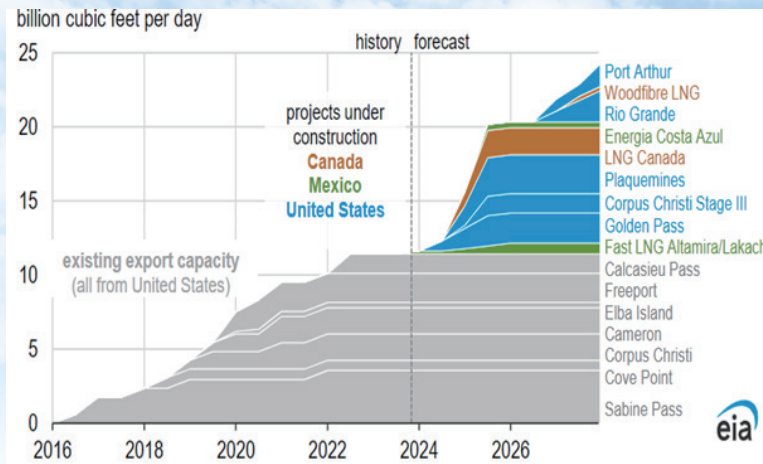
因全球大量發展潔淨能源的使用，且俄烏戰爭致歐洲地區天然氣需求攀升，眾多廠商紛紛投入 LNG 出口廠的新擴建規劃，將使出口產能進一步提升。然而，政府在 2024 年 1 月以維護環境議題為由，宣布暫停出口廠的審核作業，此舉無疑為天然氣產業投下一枚震撼彈，以下針對該國政策命令，探討對天然氣的發展影響：

（一）LNG 出口產能的未來局勢變化

1、能源大廠紛紛推動新擴建計畫，致力提升出口產能

依據美國能源署報告指出，該國 LNG 出口產能在未來幾年將進一步攀升至新高度。除既有的 7 座 LNG 出口設施，目前經過審核，並處於興建狀態計有 5 個出口項目。另除美國外，北美地區包含加拿大及墨西哥皆投入 LNG 出口廠的興建，美國能源署預估北美 LNG 出口能力將從現今的 11.4Bcf/d 提升至 24.3 Bcf/d，預估至 2027 年，美國將隨著新出口廠的陸續啟用，增加 9.7 Bcf/d 的出口產能（如圖 7）。

圖 7 北美 LNG 出口產能成長趨勢



註：上圖藍色與灰色為美國 LNG 出口項目 資料來源：EIA。

LNG 出口廠的興建受到嚴格的監管，企業在投入出口廠的興建，需向 FERC 進行申請，及提出設廠場址選擇、出口產能規劃、環境影響評估等。此外，針對美國 LNG 出口的流向同樣具有管制，尤其政府針對與美國簽署自由貿易協議（FTA）及非簽署的國家（Non-FTA），評估出口是否符合國家公共利益，故 LNG 出口由美國能源部（Department of Energy, DOE）轄下的化石能源與碳管理辦公室（FECM）負責評估及決議否可進行出口。

2、暫停美國 LNG 出口廠審查，衝擊能源大廠營運布局

政府在 2024 年 1 月宣布暫停對新的 LNG 出口項目審核決議，及未來申請的批准，因應政策命令執行，新的 LNG 出口項目的審查，預期將延宕至 2024 年底或甚至 2025 年。

政府在發布內容中表示，今後將認真研究出口對能源成本、能源安全及環境的影響，並說明氣候變遷危機的本質，將對這時代與美國造成未來的生存威脅，透過暫停出口項目的審查，以因應響應國際淨零排放願景的推動，致力降低碳排放量，同時亦降低對於傳統化石能源的依賴。政府此舉反映對氣候變遷的承諾，並顯示逐步放棄化石燃料擴張的機率。

美國能源部表示出口項目的暫停，適用於所有當前與未來待決議的申請，直到審查完成，此舉表示若出口項目之前已通

過 FERC 審議批准，仍需暫停其出口廠的執行。在此期間，美國能源部考量歐洲盟國對於天然氣供應的急迫與重要性，此次的出口審核暫停審查不會傷害歐洲盟友，若歐洲國家仍需要更多 LNG 供應，則歐洲盟國仍可享受國家安全豁免權，宣示會保障盟國的能源穩定供應與國家安全。

3、眾多能源企業其 LNG 投資遭受影響，成為首當其衝之對象

在新政策宣布下，部分企業投入出口項目成為首當其衝的受影響對象，包含 Calcasieu Pass 2 (Venture Global LNG 投資)、Lake Charles (Magnolia LNG 投資)、Pascagoula (Gulf LNG 投資)、Hackberry (Sempra 投資) 及 Commonwealth (Commonwealth LNG 投資) 等，上述 LNG 出口項目為 FERC 審核通過，但尚未處於興建階段（興建中與審核中的 LNG 出口項目如圖 8）。

圖 8 美國本土 LNG 出口項目分布圖（興建與規劃中）



資料來源：EIA。

暫停命令除對美國天然氣產業釋出不利的訊息外，在實質層面上，嚴重影響企業的營運與投資決策。LNG 出口廠的建設投資規模動輒數十億美元起跳，而在投資的過程中，主導的企業除依靠企業自身的資金外，並包含其他股東的資金投入，及引入金融機構（銀行、投資機構、大型基金等）的資金。

一般而言，LNG 出口項目的股東組成結構，多數為 LNG 買家（如大型的天然氣公用事業、電力事業或是能源企業），為求未來有穩定的進口來源，

上述企業願意投入 LNG 出口廠興建，除確保獲得國外的出口產能外，並可協議簽署長期契約，以享有長遠且穩定的貨源，且作為股東同時可享有經營決策權。

金融機構針對申請資金的 LNG 出口項目發起方，以出口產能、獲利率及股東結構，且是否有獲得眾多的長期合約（以確保穩定獲利），作為評估投入或借貸資金的關鍵指標。然而新的政策命令，釋出將減少 LNG 出口的擴張訊息下，或許將影響金融機構投入資金的意願。

另外興建 LNG 出口項目為一門高門檻的投資，除初期需耗費超過數十億美元的資金外，同時受 DOE、FERC 的審核與高度管制，而審核的時程冗長，加之審核後的硬體設施興建尚需時日，LNG 出口項目從無到有至少需 5 至 6 年以上的時間。

能源產業為受政府高度監管的行業，且在資金籌措難度增加、初始投入資金高、投入時程冗長的情況下，容易影響企業的最終投資決策（FID），進而暫停或甚至直接取消出口項目的投資。

新政策命令在未來除影響企業的營運方針，並須吸收前期的前置作業投入成本，更甚產生連鎖效應，導致天然氣產業對於投入出口項目產生卻步的心態。

（二）天然氣發展與達成碳中和目標的難解之題

1、近年能源政策主軸的變革

綜觀近三屆的政府，在能源政策上歷經不同的階段。歐巴馬總統以發展潔淨與再生能源為主要調性，推動潔淨能源計畫，於 2016 年通過《美國復甦與再投資法案，Recovery Act》，對清潔能源進行大規模投資；川普總統則與前任總統採取背道而馳的政策，大力推崇致力開發與使用傳統能源（包含煤炭與天然氣），推動化石產業，並增加國內的經濟發展及就業機會，能源與經濟發展彼此共榮，而 LNG 發展在川普總統任期間獲得高速成長；現行政府推翻前任時代的能源相關政策，轉換為聚焦潔淨能源發展之主調，如「美國國家潔淨氫能戰略與路線圖 (U.S. National Clean Hydrogen Strategy and Roadmap)」，並編列 70 億美元預算，在各州成立「氫能中心 (Hydrogen Hubs)」，致力發展新興潔淨能源，以符合美國宣示響應淨零排放的決心（近年能源政策如圖 9）。

圖 9 美國近 3 屆政府能源政策方針比較



資料來源：本文彙整。

2、天然氣在國際碳中和發展下的困境

在國際瀾漫碳中和的風潮下，降低化石能源並積極發展潔淨能源為各國政府的共識與下一步，高碳能源（石油、煤炭）將逐步被低碳能源（天然氣）與零碳能源（核能、再生能源與氢能）取代。聯合國於 2023 年 12 月召開第 28 屆「聯合國氣候變遷大會（COP28）」，各國領袖再次聚首，峰會內容為再次聚焦各國對減碳的決心與相關推動措施，並針對全球調適目標（GGA）盼參與國對架構達成共識，重點在於 2030 年加快所有減碳領域的行動與執行力道，並期望全球溫度限制控制於 1.5°C 的目標能提前完成，亦被視為標誌化石燃料時代的「終結的開始（Beginning of the End）」。

美國政府的新政策命令在 COP28 結束不久後即宣布，亦可解讀為對於達成碳中和的決心，並起一定的政策宣示作用。天然氣作為潔淨能源，及被視為發展再生能源的「橋梁」，具有一定的重要性，惟正因其本質與特性，亦有模糊與不明確的定位。

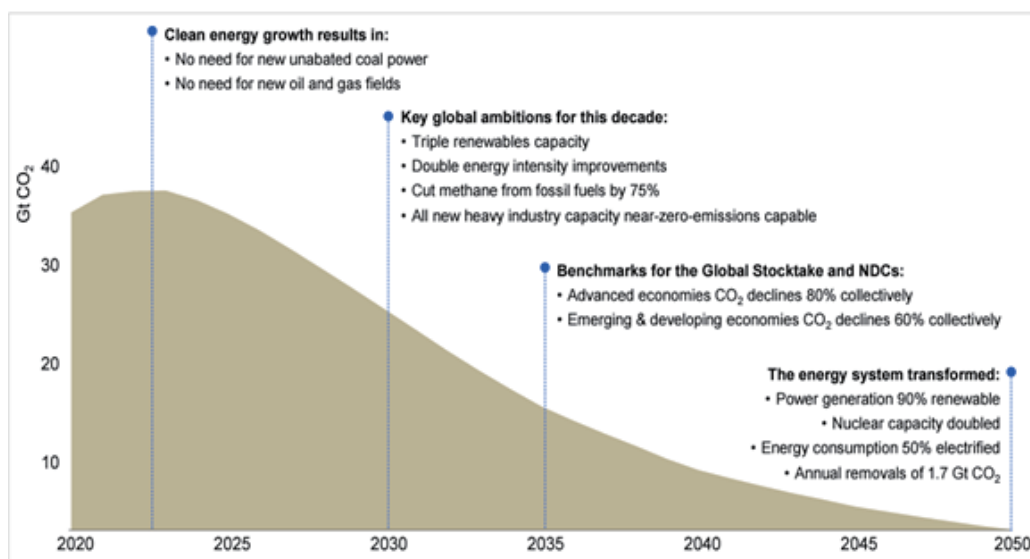
能源作為國家經濟發展與工業生產的關鍵要素，其重要性無可取代，在目前碳中和的發展趨勢下，可將各類能源從「潔淨性」、「可負擔性」、「穩定性」等三個面向觀看，過往天然氣市場的發展，如以潔淨性（低碳排放）角度而言，相比煤炭與石油具備更低排碳的特性，且因市場供給充足，相比再生

能源亦受到天候與環境因素影響，其價格波動穩定，且未如再生能源單價高，而作為熱能或電力供應，具有穩定的特性，可持續性輸出能量，符合各國穩定供應電力或熱能的燃料。但在近期國際加速淘汰化石能源的情勢下，則有其根本缺陷，雖為低碳能源，但仍無法達到像核能或再生能源的無碳性質，近年更因俄烏戰爭市場的供需情勢產生極大變化，全球價格亦受到國際局勢與地緣政治的影響產生大幅波動，高昂的價格對於民生或產業發展帶來沉重的成本。

國際能源署（IEA）於 2021 年發布「2050 淨零排放路徑（Net Zero by 2050 Roadmap）」的報告中指出為達成淨零排放目標，應大幅度減少化石燃料的使用與開發（包含天然氣），並加速再生能源的發展，致使 2050 年全球多數的電力供應皆來自再生能源。

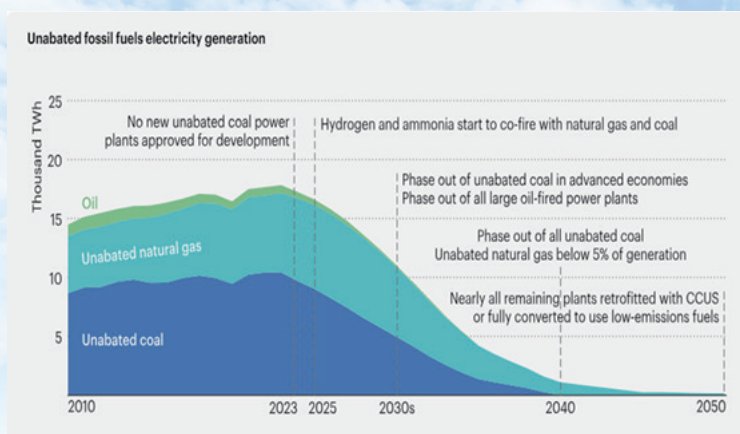
IEA2023 年 9 月再度發表最新版本的淨零排放路徑報告（如圖 10），強調為實現淨零排放目標，及依據再生能源發展速度，未有必要投資新的煤炭、石油與天然氣開發。2050 年全球電力供應預估超過 90% 由再生能源供應，其他則由核能與極少量的天然氣供應（如圖 11）。

圖 10 國際能源署 2050 淨零排放路徑圖（2023 年版本）



資料來源：IEA。

圖 11 國際能源署淨零排放情境下全球電力燃料發展路徑圖



資料來源：IEA。

天然氣在 IEA 與環保團體眼中視為過渡性能源，且在 IEA 的淨零排放假設條件下，因再生能源的擴張，及全球加大淨零排放措施的執行力道，未來天然氣需求僅會越趨下降，過多的投資與開發皆會造成浪費，且對達成淨零排放未有實質幫助，故開發過多的天然氣或 LNG 出口設施，是否為浪費或過度投資，亦在美國成為社會大眾的關注話題。

美國天然氣生產與 LNG 出口，不只穩定內需市場，並有利於促進經濟與產業發展，但天然氣未來的發展走向預期將面對政策方針、社會輿論、環境保育議題等的阻礙，而政府的新命令可視為響應碳中和目標的所執行的第一步。

三、從政策角度與長期面相看美國天然氣發展

(一) 暫停 LNG 出口審核對美國天然氣發展之情境分析

1、短暫的政策手段，抑或為實現淨零的決心表現？

政府發布暫停 LNG 出口廠審核的命令，現行已影響到部分的 LNG 出口項目，在審核暫停的狀況下，首先將影響到出口項目的動工與後續的啟用期程，間接影響企業的營運決策及推遲邁入商業階段的時程，造成商業投資的不確定。

針對美國政府的新命令，後續的發展以兩個情境進行分析，情境一為假定政府僅為考量緩解社會輿情壓力，將暫停 LNG 出口作為短期的策略，後續仍會恢復 LNG 出口項目的審核，此舉雖延遲 LNG 出口項目啟用與商業獲利時程，但對於投資的企業尚為可接受的情勢。

情境二為假定暫停 LNG 出口為政府實現碳中和願景，放緩產業與 LNG 出口的第一步，預期後續可能將減少出口項目的審核通過（增加審核難度、提高管制程度等）。對於正在審核階段（或準備提出申請）出口項目的廠商而言，在此情境下預期將吸收前置作業的沉沒成本，甚至放棄此投資項目；對於既有的出口項目，其股東與營運方或將考量暫停或取消新建或擴增出口產能，將導致 LNG 出口發展呈現停滯。

另外，在此情境下可能產生「骨牌效應」，因出口項目發展停滯，進一步影響到天然氣產業，天然氣需求除來自內需市場（電力、工業部門），另外一個龐大需求則為 LNG 出口的原料氣。若政府欲降低或放緩 LNG 出口的擴張，市場對 LNG 原料氣的需求預期將降低，需求降低的情況下，將影響天然氣上游廠商（鑽探、生產）的投資決策，降低天然氣田的開發或減少鑽井數量，進而導致天然氣產業的發展腳步放緩。

2、全球環保意識逐漸抬頭，將影響美國天然氣開發

頁岩氣目前為天然氣生產的大宗，惟頁岩氣生產在境內伴隨的負面聲量已非新鮮事。頁岩氣生產仰賴水力壓裂技術，因深藏於岩層中，透過水結合化學藥劑以增加壓力擴大氣體的採收，但化學藥劑容易造成環境汙染，並破壞土壤品質，另外水力壓裂被外界視為引發地震的原因之一。

基於上述因素，部分的頁岩氣開發地區遭到當地居民與環保團體的抗爭，政府提出暫停 LNG 出口審查的考量因素為基於環境保護，若未來愈加強環境保育的決心，頁岩氣生產的高汙染風險，易成為社會輿論的抗爭利器，難以通過環境影響評估，或透過加嚴環境影響評估條件以遏止。

另外若美國堅決實現淨零排放目標，預期再生能源供應逐步增加與傳統化石能源占比的降低下，是否需要開發更多的天然氣與出口 LNG 為重要的選擇課題。

依據 IEA 的淨零排放路徑圖，未來天然氣的使用量與能源占比將劇烈下降，美國欲達成 2050 碳中和目標，推動 LNG 出口項目與天然氣資源開發是否仍有其必要，過多的開發項目在

未來恐有淪為閒置設施的可能性，上述推論在政府傾向實現碳中和的態度下，有機率成為停止或放緩天然氣開發的絕佳政策論述。

（二）暫緩美國 LNG 出口擴張，可能導致 LNG 市場版圖變動

LNG 現行出口主力鎖定歐洲市場，歐洲國家在因應俄羅斯 PNG 降低供應的情境下，勢必須拓展非俄羅斯氣源作為解決方案，歐洲各國在 2022 至 2023 年進口量大增，並期望美國作為盟國輸送更多的天然氣以緩解市場需求壓力，並因應冬季尖峰用氣需求。

若美國未來規劃放緩天然氣開發與 LNG 出口，對於歐洲地區而言並非有利訊息，歐盟渴望尋求穩定且多元化的氣源，以作為完全替代俄羅斯 PNG 的解決方案，若美國 LNG 出口量持平（或降低）的情況下，預期歐盟將擴大其他出口氣源，包含卡達、阿爾及利亞，甚至更多新興來源。

美國 LNG 出口產能為現行全球第一，若納入已在興建中的出口項目，預計在未來幾年仍可維持市場霸主地位，若政府實現碳中和目標的情境成真，出口產能擴張將處於停滯。卡達於 2022 年宣布將擴大其 LNG 出口產能，規劃 2025 年從 7,700 萬噸提升至 1.1 億噸，2027 年再進一步提升至 1.26 億噸。在美國放緩與卡達擴張的此消彼漲下，卡達未來可能重返 LNG 出口霸主地位，掌握市場的話語權，歐洲為開發氣源因應市場需求，可能加大對卡達的進口量，預期有更多非美國的氣源流向歐洲地區，改變全球 LNG 市場版圖，同時對美國在 LNG 市場的數量與價格競爭產生影響。

結語

綜觀美國政府宣布暫停 LNG 出口審核，可能為短期因應社會輿論的方案，但或有機率美國為堅定邁向碳中和目標，所採取的第一步策略。

依據美國政府現行的能源政策較傾向於積極發展再生能源與推動淨零排放政策，若堅決執行其政策方針，預期可能對天然氣產業發產生影響，此舉攸關出口項目的投資決策，進而產生連鎖效應，進一步影響天然氣上游廠商的開發力道與投資意願。同時未來如放緩 LNG 出口的擴張，在卡達逐步提升其出口產能之際，及歐洲市場尋求更多 LNG 氣源的需求下，預期影響 LNG 市場版圖，現行在 LNG 市場的領導地位將受到衝擊，並影響市場競爭力。

國家的能源產業發展與政策走向具有高度相關性，美國天然氣發展的走向，未來 LNG 出口計畫審查的變化可視為產業發展的風向球，影響層面鉅大，不可不慎。

參考文獻

- 一、CSIS (2024),LNG Export Boom:Defining National Interests.
- 二、EIA(2023),LNG export capacity from North America is likely to more than double through 2027.
- 三、FERC(2024),LNG Maps for the Web.
- 四、IEA(2023),Net Zero Roadmap:A Global Pathway to Keep the 1.5°C Goal in Reach - 2023 Update.
- 五、OIES(2024),What next for US LNG Exports?
- 六、OIES(2024),Ten key conclusions from COP28:a farewell to fossil fuels?
- 七、Oil Price(2024),Climate vs.Commerce:Inside the Debate Over U.S. LNG Expansion.
- 八、Oil Price(2024),As U.S.Pauses New LNG Project Permits,Iran Moves Full Ahead On Its Own.
- 九、Oil Price(2024),Is the World Overbuilding LNG Capacity?
- 十、Oil Price(2024),How Fracking Helped the U.S.Become the World's Top LNG Exporter.
- 十一、Oil Price(2024),U.S.Overtakes Qatar to Become World's Top LNG Exporter.
- 十二、Offshore Technology(2024),US tops LNG exports in 2023.
- 十三、Reuters(2024),Biden pauses LNG export approvals after pressure from climate activists.
- 十四、Reuters (2024),US was top LNG exporter in 2023 as hit record levels.
- 十五、Reuters(2024),Companies most affected by US pause on LNG export permits.
- 十六、The New York Times(2023),A Natural Gas Project Is Biden's Next Big Climate Test.

瓦斯超人的一天



石油和天然氣產業 淨零轉型概論

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

2023 年 12 月 13 日第 28 屆聯合國年度氣候會議 (COP28) 近 200 個國家承諾進行能源系統轉型，脫離化石燃料，並以公正、有序且公平的方式，以科學為基礎，在未來關鍵的 10 年內加速行動，以利在 2050 年實現淨零排放，可以預見逐步淘汰化石燃料是不可避免的，石油和天然氣產業終於要面對淨零轉型挑戰。石油和天然氣產業龐大，包含眾多且多樣化的參與者，從小型專業營運商到大型國家石油公司，整個產業面臨能源系統轉型，勢必要做出前所未有的應變抉擇。

國際能源總署 (IEA) 在 COP28 氣候變遷會議之前，發布一份具有里程碑意義的報告 -- 淨零轉型中的石油和天然氣產業，探討分析石油和天然氣產業的轉型路徑，本文略述 COP28 對化石能源的相關決議，並摘錄 IEA 報告概述石油與天然氣淨零轉型的因應方向，以供參考。

一、COP28 決議與爭議

COP28 自 2023 年 11 月 30 日起在阿拉伯聯合大公國杜拜的世博城舉行，由阿布達比國家石油公司執行長蘇丹·阿爾·賈比爾 (Sultan Al Jaber) 擔任會議主席，與會登記代表人數 10 萬名，其中 2,000 多名是化石燃料公司的正式代表。

(一) COP28 成果

化石能源的走向是本屆會議的主要議題之一，會議原定於 12 月 12 日閉幕，但各國代表就結果是否包括呼籲「逐步減少」或「逐步淘汰」石油、天然氣和煤炭等導致全球暖化的化石燃料展開激烈談判，迫使會議延長徹夜討論，直到 2023 年 12 月 13 日各國終於批准一份擺脫化石燃料的路線圖，近 200 國承諾「進行能源系統轉型、脫離化石燃料，並以公正、有序且公平的方式，以科學為基礎，

在這關鍵的 10 年加速行動，俾於 2050 年實現淨零排放」。

其他有關化石能源前途的討論與決議，包括如后：

- 1、認可全球碳排放將在 2025 年前達到高峰，惟開發中國家的達峰時程可能會延後一些，並承諾淘汰無效率的化石燃料補貼。會議代表也允諾 2030 年前將再生能源產能提高 2 倍，能源效率提高 1 倍，並在適應和融資方面取得進展，包括為發展中國家應對氣候變遷相關災害提供損失和損害基金。
- 2、全球減碳盤點顯示減碳進展速度不夠快，需要積極推動進程，降低化石燃料使用及其對地球造成的燃燒污染，同時呼籲加快減少包括甲烷在內的非二氧化碳排放，鼓勵將所有溫室氣體納入國家自主貢獻。
- 3、甲烷是三大溫室氣體之一，已有 155 國簽署全球甲烷承諾，2030 年將排放量較 2020 年的水準減少 30%，以加快減量力度。
- 4、約佔全球油氣產量 40% 的 50 多家石油公司簽署阿拉伯聯合大公國和沙烏地阿拉伯提出的石油和天然氣脫碳憲章，目標 2030 年實現石油和天然氣生產中的甲烷洩漏接近零，及零常規火炬燃燒，最終在 2050 年前實現公司營運的淨零排放

(二) COP28 爭議

COP28 確定擺脫煤炭、石油及天然氣的方向，但有專家指出 COP28 決議仍不夠積極，且存在漏洞。理論上本次會議協議預示著化石燃料時代的結束，但仍為石油和天然氣生產國及化石燃料利益集團留下漏洞，包括在暫時維護能源安全方面，可使用過渡燃料（如破壞氣候的天然氣、液化石油氣）；另外過度倚賴碳捕獲和封存（CCS）技術，CCS 在應對氣候變遷僅能發揮有限的作用，無法成為合理使用化石能源的藉口，減緩轉型至清潔能源。

值得一提的是會後儘管有「擺脫」化石燃料的全球協議，主席宣布阿拉伯聯合大公國將在十年內將石油和天然氣產量增加 1 倍，阿布達比國家石油公司將繼續投資石油，滿足不斷增長的全球能源需求。

二、石油和天然氣產業概述

石油和天然氣產業從上游的油氣探勘、開發生產，中游的煉製、儲存、配送，到下游的加工和產品銷售，是一個龐大的產業。現今全球有數千家從事石油和天然氣產業的公司，包括小型企業到世界上最大的集團公司，從業者近1200萬。

油氣公司一般劃分成四種主要類型，陳述如后：

- (一)大型(巨頭)油氣公司：如著名的英國石油 BP、康菲石油 ConocoPhillips、雪佛龍 Chevron、埃尼 Eni、埃克森美孚 ExxonMobil、殼牌 Shell 及道達爾能源 TotalEnergies，均是美國和歐洲股票上市的大公司，專注於開發大型資本密集型專案，其財務價值及收入主要來自上游油氣探採部門。
- (二)獨立油氣公司：規模較小的整合型公司或獨立的上游運營商，範圍甚廣，如盧克石油公司 Lukoil、雷普索爾 Repsol 和伍德賽德 Woodside 公司，及許多北美頁岩氣和緻密油公司；另外具上游活動的多元化國際企業集團，如三菱公司 Mitsubishi Corp。
- (三)國家石油公司(NOC)：由國家政府授權開發國家資源，並在上游開發中發揮法律規定的作用，其大部分資產都位於本國的上游業務；全球最大的國家石油公司多位於中東地區，如沙特阿美 Saudi Aramco、伊朗國家石油公司 National Iranian Oil Company、科威特石油公司 Kuwait Petroleum Corporation、阿布達比國家石油公司 Abu Dhabi National Oil Company 及卡達能源公司 QatarEnergy；另有歐亞大陸(包括俄羅斯)、拉丁美洲以及非洲和亞洲的許多地區國家的 NOC。
- (四)國際國家石油公司(INOC)：類似 NOC，但在境外有大量上游投資，通常是與地主國或私營公司合作。一些 INOC 也是全球天然氣市場的主要參與者，如 Equinor、中國石油天然氣集團公司 CNPC、俄羅斯天然氣工業股份公司 Gazprom、馬來西亞國家石油公司 Petronas 及印度石油和天然氣公司。

(五) 其他相關專業公司

除前述直接參與油氣探採及產品製造的公司外，其他相關油氣產業的公司包括提供鑽井、油藏管理、基礎設施建設和環境管理的服務公司（如 Schlumberger 及 Baker Hughes）；經營煉油廠和石化廠的純下游公司；參與實物資產市場營運的貿易公司；管道系統的中游運營商；經營油輪和液化天然氣運輸船的航運公司；管理和租賃原油和產品儲罐容量的儲存公司；油氣銷售的零售公司。

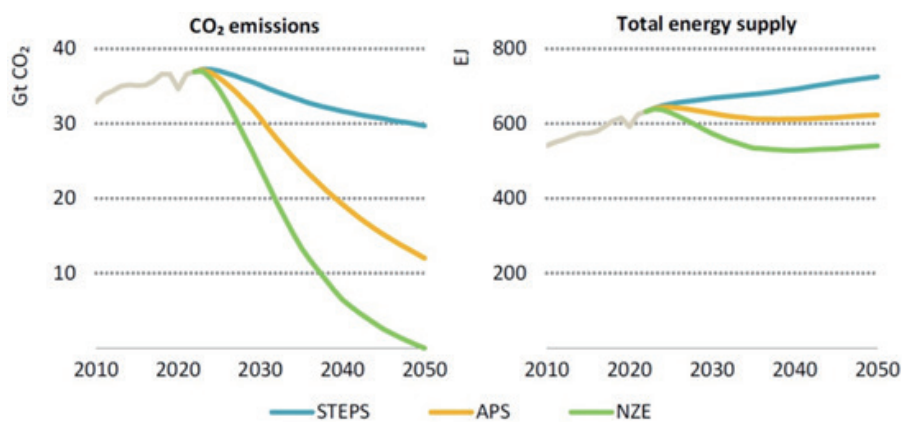
三、能源轉型的三種減碳情境：NZE、APS、STEPS

- (一) 2050 年淨零排放（NZE）。
- (二) 政府的承諾情境（APS），按時完成履行宣布的所有氣候相關承諾。
- (三) 既定政策情境（STEPS），基於對當前政策格局的詳細審查，政府提供對能源系統發展，不僅考慮到現有政策和措施，及正在制定的政策和措施。

此三者中以 STEPS 最為保守（相對其他情境，較不積極減碳），NZE 最積極有目標性。APS 和 STEPS 情境下，化石燃料將在 2030 年前達到峰值，但至 2050 年排放量無法達到淨零。IEA 預測 2100 年 NZE 目標全球平均氣溫將上升 1.5°C，在 APS 情境為 1.7°C、STEPS 為 2.5°C。

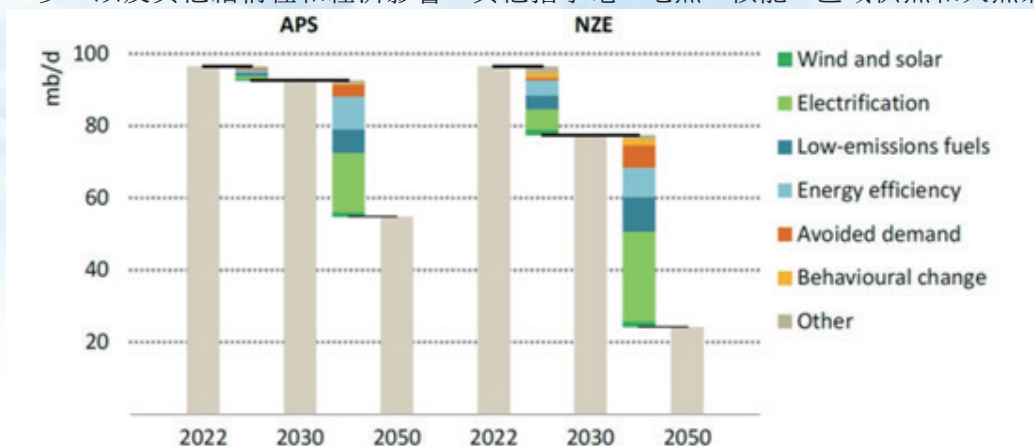
不同的減碳情境有不同的油氣供需，油氣產業也將因而受到不同的影響（如圖 1、2、3、4、5）。

圖 1 能源相關二氧化碳排放量和能源供應總量（按減碳情境劃分）；不同的減碳情境（STEPS、APS、NZE）顯示出截然不同的碳排放和能源供應趨勢。



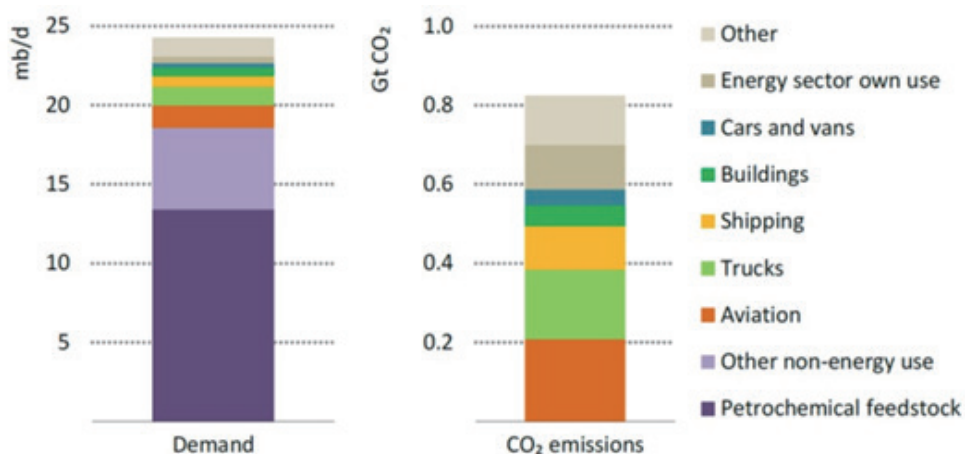
資料來源：國際能源 2023。

圖 2 APS 和 NZE 減碳情境下的石油需求將減少；汽車和卡車的電氣化對減少石油需求做出最大的貢獻，能源效率的提高和低排放燃料的加入也發揮重要作用。避免的需求 (avoided demand) 主要是因為材料效率、需求下降導致煉油廠用油量減少，以及其他結構性和經濟影響；其他指水電、地熱、核能、區域供熱和天然氣。



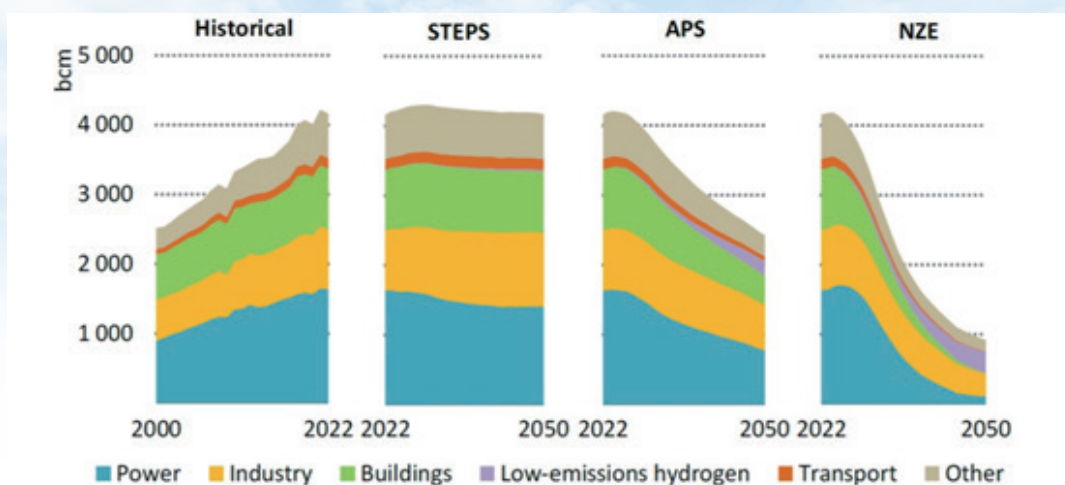
資料來源：國際能源署 2023。

圖 3 2050 年 NZE 情境下的石油需求和所產生的二氧化碳排放；到 2050 年，四分之三的石油用於非燃燒的行業，石油使用將排放約 8 億噸 (0.8 Gt) 二氧化碳，主要來自航空和卡車。其他非能源用途包括非能源應用的產品，如石蠟、瀝青和瀝青。



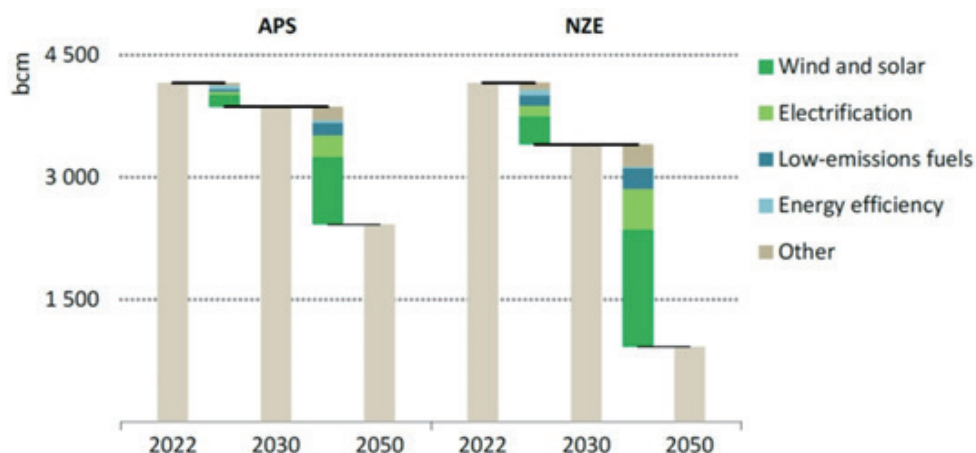
資料來源：國際能源署 2023。

圖 4 2000-2050 年的天然氣需求 (按不同減碳情境分列)；APS 情境的天然氣需求穩步下降，降幅最大的是建築和電力領域；在 NZE 情境中，天然氣做為過渡燃料的空間很小，甚至沒有。



資料來源：國際能源署 2023。

圖 5 APS 和 NZE 情境下天然氣需求減量的原因；風能和太陽能發電是減少天然氣需求的主要原因，其他部門的天然氣減量有待廣泛的其他燃料和技術。其他包括核能和其他可再生能源。



資料來源：國際能源署 2023。

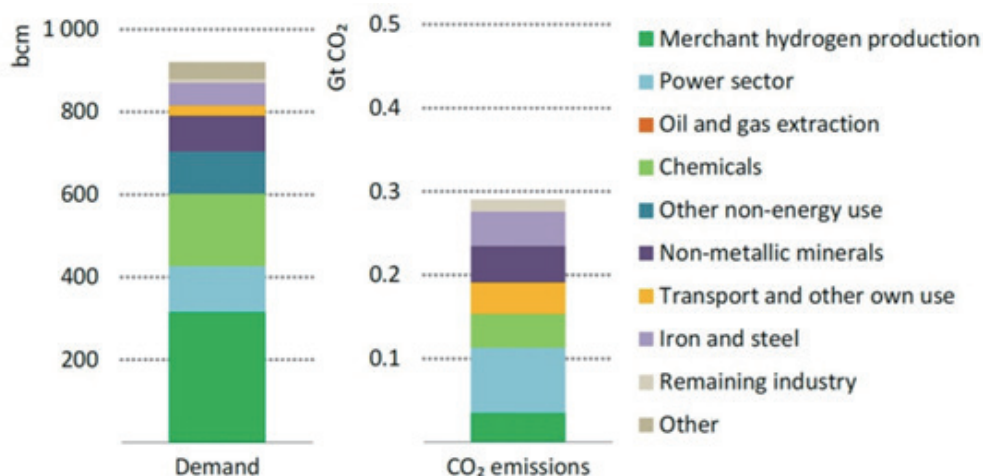
四、石油天然氣產業面對能源轉型

(一) 能源轉型中石油和天然氣的供需變化

2022 年全球每天消耗約 9700 萬桶的石油和 4.15 兆立方公尺的天然氣，產生的 CO₂ 排放量超過 180 億噸，約佔能源相關 CO₂ 排放總量的一半。能源產業結構正在快速變化，預期石油和天然氣需求量將於 2030 年前達到高峰，然而高峰過後，依目前預測的需求下降速度顯然無法達到巴黎協定的 1.5°C 氣候目標，在各國政府能夠充分實現其國家能源和氣候承諾 (APS 情境) 下，2050 年石油和天然氣需求將比目前下降 45%，氣溫上升可能會限制在 1.7°C 之內，但若要成功追求 1.5°C 的軌跡，全球能源部門的排放至本世紀中葉須達到淨零，到 2050 年油氣使用量將必需下降 75%。

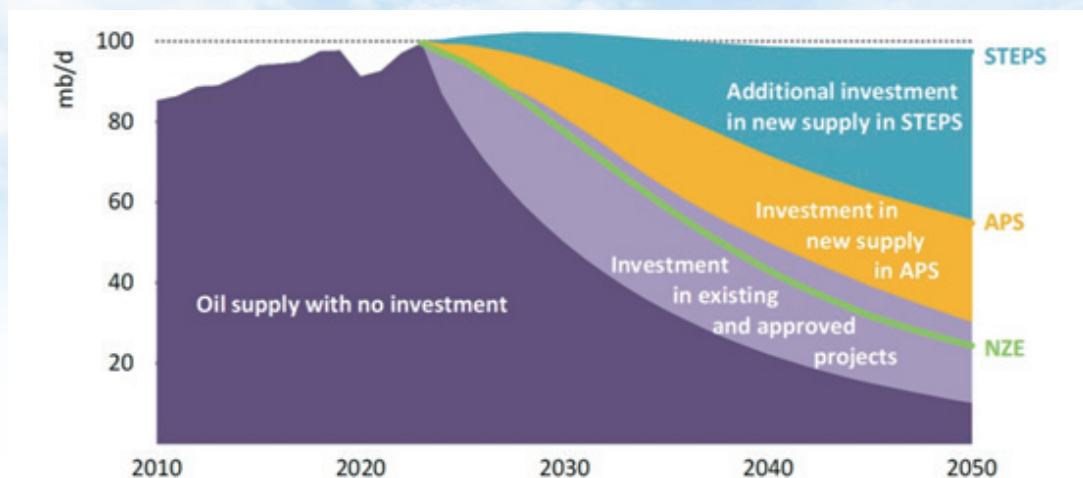
淨零轉型需要大幅加速佈署清潔能源，並減少石油和天然氣的使用，在 APS 情境下，2050 年石油和天然氣需求量平均每年下降約 2%，降至每天 5500 萬桶石油和 24000 億立方公尺天然氣，而在 2050 年淨零排放 (NZE) 情境中，油氣需求量更需多下降 5% 以上，到 2050 年每天 2400 萬桶石油和 9200 億立方公尺天然氣 (如圖 6、7、8、9、10)。

圖 6 NZE 情境下 2050 年的天然氣需求和碳排放;到 2050 年,NZE 情境下天然氣需求仍約為 9200 億立方公尺,比 2022 年低 75%，天然氣的碳排放強度下降 85%。化學品和鋼鐵產業包括使用天然氣生產氫氣。



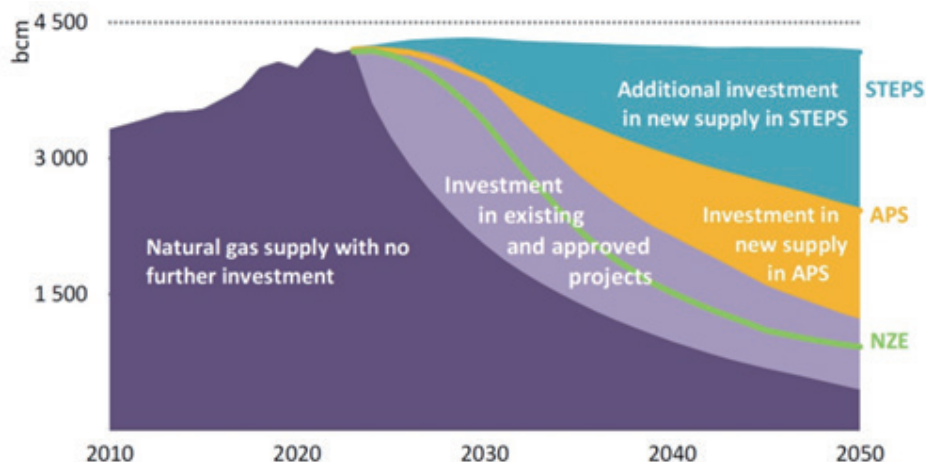
資料來源：國際能源署 2023。

圖 7 不同減碳情境下 2010-2050 年的石油供應；APS 情境下仍需要新的傳統石油專案項目，但在 NZE 情境下則不需要批准開發新專案，甚至將從 2030 年代開始關閉成本較高的專案。



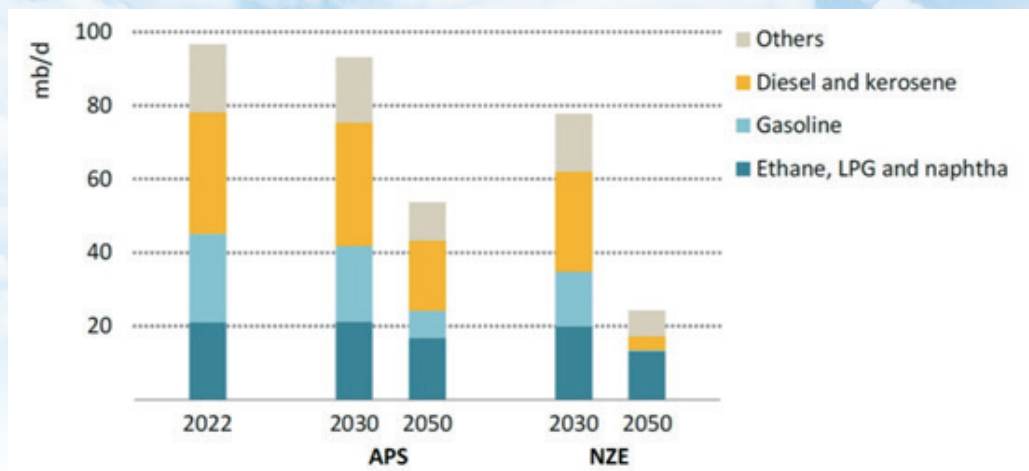
資料來源：國際能源署 2023。

圖 8 不同減碳情境下 2010-2050 年的天然氣供應；在 NZE 情境下，不需要新的長週期天然氣專案，現有及已批准專案的產能已供過於求；在 APS 情境下，到 2050 年需要新增 12000 億立方公尺 (1200 bcm) 產量。



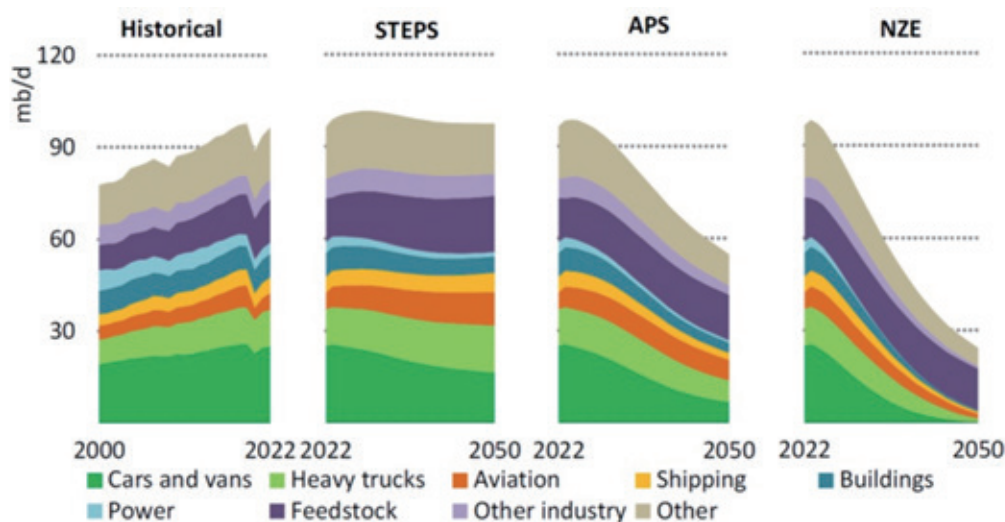
資料來源：國際能源署 2023。

圖 9 APS 和 NZE 情境下石油產品的走向；石油需求量的減少伴隨著產品走向石化原料的重大轉變 (LPG 液化石油氣)。



資料來源：國際能源署 2023。

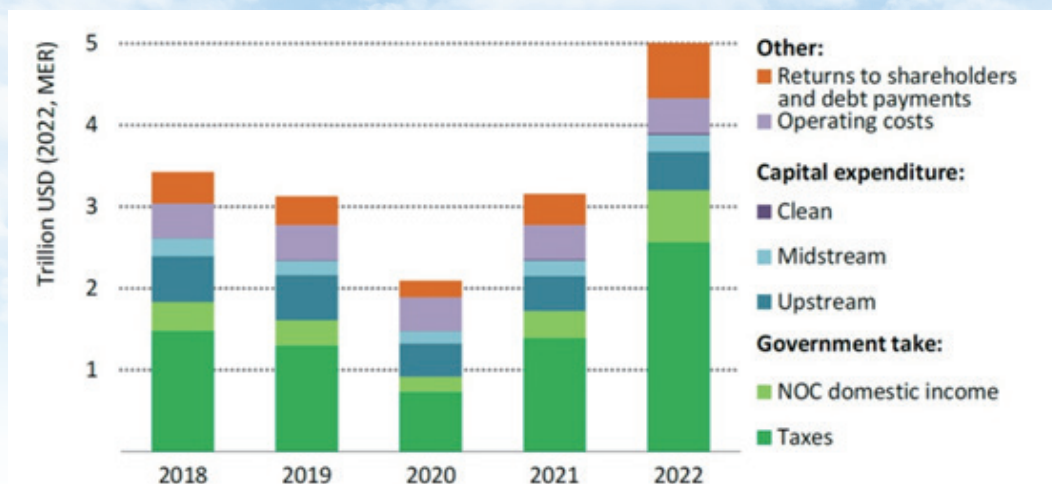
圖 10 2000-2050 年各減碳情境下的石油需求量；公路運輸幾乎佔當今石油需求的一半，到 2050 年大幅降低；石化產品的石油需求量儘管回收利用有所增加，但仍持續增加。(其他包括公共汽車、大型車輛、農業、其他能源部門和其他非能源用途)。



資料來源：國際能源署 2023。

淨零轉型對於石油和天然氣產業將有重大影響。自 2018 年以來油氣產業年均收入接近 3.5 兆美元，其中約一半流向政府，40% 繼續投資，10% 返還股東或用於償還債務。淨零轉型對龐大油氣產業中廣泛的參與者，如小型專業運營商或大型國家石油公司的影響遠非一致。一般對油氣產業的注意力常常集中在大型國際巨頭，然而這在全球石油和天然氣產量和儲量的佔比不到 13%，相較之下，國家石油公司的石油和天然氣產量則佔全球一半以上，儲量是全球近 60%(如圖 11)。

圖 11 2018-2022 年石油和天然氣產業的收入支配；自 2018 年以來，石油和天然氣產業產生約 17 萬億美元的收入，其中一半支付給政府（包括稅收及國家石油公司在本國的收入），40% 用於開發和運營石油和天然氣資產，其中清潔佔比甚低。



資料來源：國際能源署 2023。

目前油氣生產商僅貢獻全球清潔能源投資總額的 1%，其中 60% 以上來自當今數千家油氣生產商中的少數幾家，可見石油和天然氣產業顯然還未全力投入轉型至清潔能源體系。

（二）石油和天然氣公司的當務之急是減少營運中的排放

石油和天然氣的探採、運輸和加工產生會排放大量溫室氣體，約佔全球能源相關溫室氣體排放量近 15%，需要廣泛的聯盟及更具雄心的目標，方可有效實現整個產業鏈的減排。

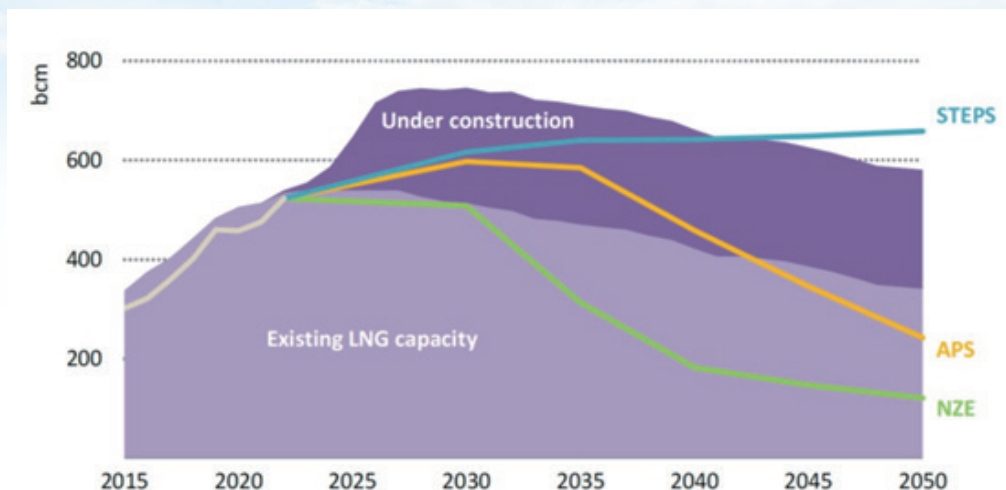
為達到 1.5°C 的氣候目標，2030 年排放量需要比當前水準減少 60% 以上，至 2040 年代初全球石油和天然氣運營的排放強度必須接近零。

（三）能源轉型將損害石油和天然氣公司的利潤

油氣公司的收入可能會因化石燃料價格的波動而逐年波動，並隨淨零轉型的加速，成為利潤較低、風險較高的產業。價格和產量降低，資產擱淺的風險提高，尤其是對包括煉油廠和液化天然氣 (LNG) 設施的中游產業。煉油業將減少生產汽油和柴油等傳統油氣產品，轉而專注於石化原料和瀝青和柏油等產品。全球液化天然氣貿易近期成長強勁，但在 APS 情境下，2035 年前將達到貿易峰值，出口碼頭利用率下降；在 NZE 情境中，已投入運作的工廠將可滿足對液化天然氣的需求，無須增加新的 LNG 設施。如果預期

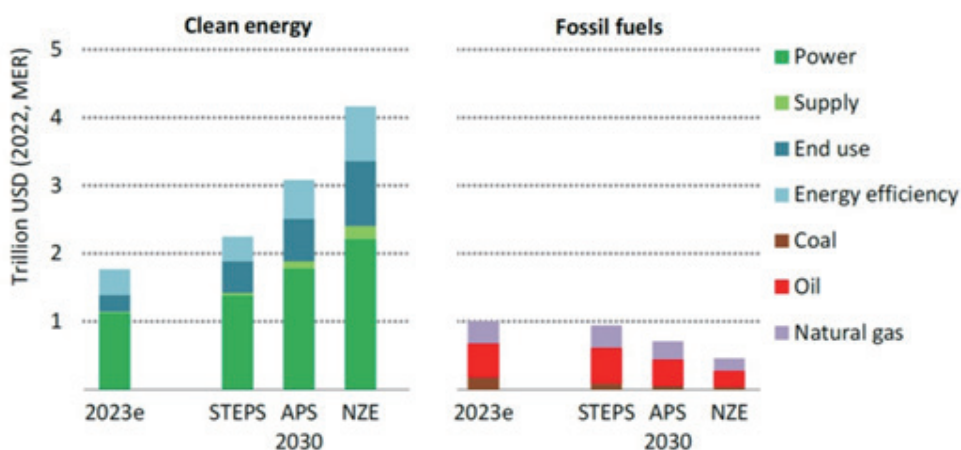
需求和價格依照基於當前政策設定的情境 (STEPS)，私有石油和天然氣公司的估值將達到 6 兆美元左右，但在 APS 情境，該值將降低 25%，淨零情境下 (NZE) 全球暖化限制在 1.5°C，則甚至將降低 60%(如圖 12、13、14)。

圖 12 不同減碳情境下現有和在建的天然氣液化能力和 LNG 貿易；在 NZE 情境下，目前在建的液化天然氣專案不是必要的；在 APS 情境下，到 2030 年 LNG 貿易達到峰值，液化天然氣工廠的產能利用率將大幅下降，到 2050 年降至裝置容量的 85%。



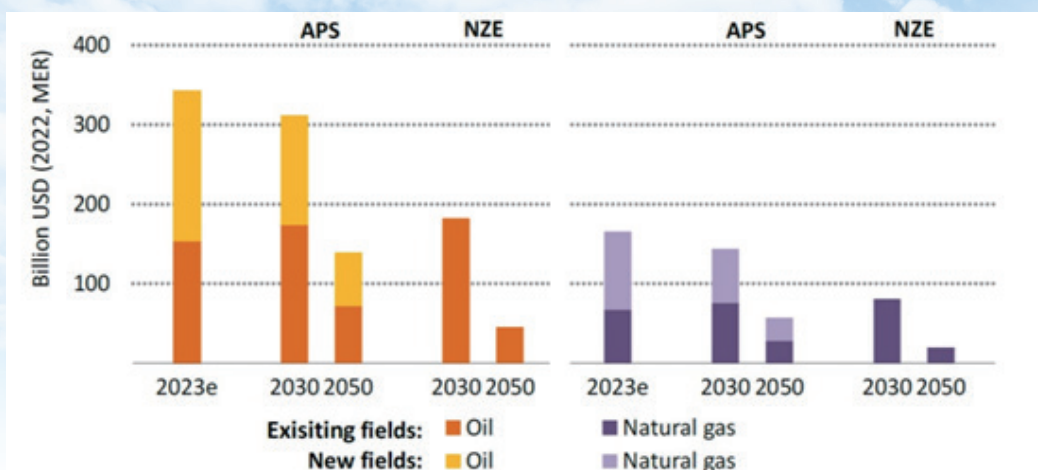
資料來源：國際能源署 2023。

圖 13 不同情境下的清潔能源和化石燃料投資；在 NZE 情境中，到 2030 年，每年化石燃料投資將減少 5000 億美元，而清潔能源投資將增加超過 2 萬億美元。2023e 為 2023 年的估計值。



資料來源：國際能源署 2023。

圖 14 不同情境下的油氣產業對新增領域和現有領域的投資；在 APS 和 NZE 情境下，石油和天然氣產業的投資均下降，而 NZE 情境下只有現有領域的資本支出。



資料來源：國際能源署 2023。

目前石油和天然氣項目的投資報酬率略高，但回報較不穩定。2010 年至 2022 年間石油和天然氣產業的平均資本回報率約為 6 至 9%，而清潔能源項目的資本回報率為 6%，未來石油和天然氣的回報變化將很大，而清潔能源專案較穩定。

(四) 油氣開發投資

所有轉型情境均需持續投資油氣供應，但將逐年下降，目前每年投資 8,000 億美元，1.5°C 情境 (NZE) 下，2030 年由於油氣需求下降，投資將減半。在 APS 情境下，儘管整體不需新的油氣探勘，對現有領域和新領域的投資仍是必要，而在 2050 年淨零排放的積極情境 (NZE) 下，油氣需求量大為下降，因此不需新的長交付週期的傳統石油和天然氣項目，甚至可能需關閉一些現有的生產，2040 年估計每天將有超過 700 萬桶的石油生產項目，在其技術壽命結束之前提早停止運作。新的油氣開發項目將面臨重大商業風險，必須配合 2050 年淨零排放，並避免無法實現淨零目標。

淨零轉型過程中石油和天然氣產量雖然不會消失，但將大幅減少，即使在 1.5°C 的情況下，2050 年每天也需要生產約 2,400 萬桶石油（其中四分之三用於非燃燒用途，特別是石化產業），及約 9,200 億立方公尺的天然氣，其中大約一半被用於生產氫氣，許多

油氣生產商可能無法渡過轉型。

未來油氣供應在生產者之間的分配將取決於降低成本、確保供應多樣性、減少排放和促進經濟發展的權重。整個市場的變化將是複雜，市場力量有利於成本最低的生產，但將導致供應高度集中在當今的主要資源持有者手中，特別是在中東，優先考慮排放密集度最低的油氣來源，有助於推動實現氣候目標。

(五) 石油和天然氣產業掌握實現淨零轉型的關鍵技術

2050 年淨零能源系統的能源中約 30% 來自低排放的燃料和技術，這些燃料和技術多受益於石油和天然氣產業的技能和資源，包括氫和氫基燃料、碳捕獲、利用及封存（CCUS）、離岸風電、液體生物燃料、生物甲烷和地熱能。石油和天然氣公司目前是大部分 CCUS 和電解氫項目的合作夥伴，全球 90% 的 CCUS 產能均來自石油和天然氣產業，CCUS 和直接空氣捕獲是實現淨零排放的重要技術，尤其是對解決或抵消難以減排行業的排放。目前營運中的離岸風電容量中約有 2% 是由石油和天然氣公司開發，然而風電計劃正在擴大，海上風電的前端技術（包括深水海域的浮動渦輪機）是石油和天然氣公司的優勢領域。此外，油氣產業的技能和基礎設施（包括現有的銷售網路和煉油廠）也將在電動車充電和塑膠回收等領域具有優勢。

(六) 投資配置的轉變

對化石燃料的投資過度和不足都會為轉型帶來風險，有序的減少石油和天然氣投資，增加清潔能源投資，對於避免油氣價格飆升或供應過剩至關重要。

目前有油氣公司宣布業務多元化，將目標轉向清潔能源，這些油氣公司約掌握當前石油和天然氣產量的近五分之一。2022 年石油和天然氣產業在清潔能源方面的投資約為 200 億美元，約佔總資本支出的 2.5%。IEA 認為在 1.5°C 情境下，選擇多元化並追求巴黎協定氣候目標的生產商，2030 年合理的投資配置是 50% 的資本支出用於清潔能源。

（七）關於石油和天然氣產業轉型的兩個誤解

首先誤認轉型只能被動的由需求變化引導，「當能源世界發生變化時，我們也會發生變化」，並不足以應對當前巨大的氣候挑戰，只著重減少供應難以有成效，只會增加價格飆升及市場波動的風險。成功、有序的轉型是協作轉型，即供應商、消費者和政府合作，拓展低排放產品和服務的新市場。

其次是對 CCUS 的過度期望與依賴，CCUS 是在某些領域和情況實現淨零排放的關鍵技術，但不能被當作維持現狀、拖延轉型的方法。按照當今政策環境下的預測發展，2050 年將需要捕獲及利用或儲存 320 億噸二氧化碳，才能將上升溫度限制在 1.5°C，需要 26,000 太瓦時 (terawatt hour) 的發電量，超過 2022 年的全球電力需求，從今日至本世紀中葉，每年需超過 3.5 兆美元的投資，相當於整個產業近年來的年平均收入。

（八）油氣生產者面臨重大不確定性，但優勢並未在轉型中喪失

油氣生產者在能源轉型中勢將面臨嚴峻的挑戰和壓力，而有急迫性，將創造強大的動力來加快轉型的步伐，但同時也耗盡為轉型提供資金的收入來源。與 2010 年至 2022 年的年平均相比，在 1.5°C 的情境下，2030 年石油和天然氣生產國來自油氣的人均純收入將下降 60%。新進入市場的生產商將面臨更大的挑戰，可能高估收益同時低估危險，許多生產商也嚴重面臨氣候變遷帶來的風險，這將進一步破壞能源供應的安全。

雖然如此，即使世界逐漸擺脫化石燃料，當今低成本油氣的主要生產商仍保持能源優勢，所擁有的專業知識和充足、未充分利用的可再生能源資源，有助於鞏固其在清潔能源價值鏈和低排放行業中的地位。

五、石油和天然氣產業的技術選擇

- （一）甲烷排放量佔目前油氣產業範圍 1 和範圍 2 排放量的近一半，解決甲烷問題是減少這些排放的最重要措施。其他關鍵手段包括消除所有非緊急燃燒、使用低排放電力為上游設施供電、為石油和天然氣製

程配備碳捕獲利用和儲存，及擴大煉油廠中低排放氫氣的使用。在 NZE 情境中，2030 年之前要將範圍 1 和範圍 2 排放量削減 60%，需要支出約 6,000 億美元。

- (二) 許多石油和天然氣公司正在投資與其現有技能和資源密切相關的清潔能源技術。在 NZE 情境中，到 2050 年這些技術可解決 30% 的最終能源消耗，包括 CCUS、低排放氫氣和氫基燃料 (NZE 情境中，到 2030 年低排放氫氣的使用量將增加 110 倍)、生物能源、離岸風電 (目前營運中的離岸風電容量中約有 2% 是由石油和天然氣公司開發的，計畫正在擴大，包括開發深水區巨大風力潛力所需的浮動渦輪機)、地熱 (地熱產業與油氣產業的上游業務有許多相似之處，特別是在許多新興技術方面，存在巨大的成長機會)、塑膠回收 (油氣公司涉及大量規劃中的化學塑膠回收項目，可以降低化學品的高排放強度)、電動車充電 (目前油氣產業佔全球公共電動車充電樁投資的 15%，到 2030 年電動車充電器的數量將增加五到六倍，以支持 APS 和 NZE 情境中電動輕型車的大量成長)。。

六、石油和天然氣公司的策略應對

- (一) 石油和天然氣公司面臨財務、社會和政治壓力，必須澄清他們在淨零轉型中扮演的角色及策略。
- (二) 石油和天然氣產業目前在全球僱用近 1,200 萬名從業人員。到 2030 年 APS 情境中這一數字將下降 10%，而 NZE 情境中這一數字將下降 20%。政府和企業需要密切合作，以最大限度地增加工人再培訓的機會。
- (三) 全球化石燃料與清潔能源的投資比例從 2023 年全球的 1:1.8 上升至 2030 年 APS 情境的 1:5，及 NZE 情境的 1:10 以上。
- (四) 將現有技能和資本與能源轉型的新要求相結合。

七、出口商和進口商的策略性應對

- (一) 對於油氣生產者經濟體來說，變革是不可避免。轉型增加石油和天然氣生產商繁榮和蕭條週期的可能性，隨著石油和天然氣市場最終進入衰退，預期應該是一個坎坷的旅程。各國的應對策略必然有所不

同，但一個共同點是，雖然淨零轉型將為生產經濟體帶來巨大挑戰，但他們的能源優勢不會在一夜之間消失。

- (二) 中東、非洲和拉丁美洲的多個成熟生產經濟體每年日產超過 3000 萬桶的石油和近 8000 億立方公尺的天然氣。相對於 2010 年至 2022 年期間的平均值，NZE 情境下，2030 年這些經濟體的人均石油和天然氣銷售收入將下降 70%，2050 年將下降 90%。這將為加速改革步伐提供強大的動力，但也同時耗盡為轉型提供資金的收入來源。
- (三) 非洲一些新的潛在生產經濟體，如蓋亞那、莫三鼻克、塞內加爾和坦尚尼亞，近年來發現大量石油和天然氣，這些國家新的大型石油和天然氣專案將面臨重大商業風險，並且可能難以產生任何實際收入。
- (四) 生產者經濟體能源策略的要素應該根據具體情況做更廣泛的改革，以建立宏觀的經濟穩定，包括降低石油和天然氣營運的排放強度；減少火炬和甲烷排放以及增加石油和天然氣的非燃燒用途；逐步取消低效率的化石燃料補貼；推動清潔能源佈署，減少國內石油和天然氣的使用；加強低排放燃料生產；並拓展新的清潔能源供應鏈。
- (五) 油氣生產國和消費國要有明確的方向訊號、以互利的方式合作並實施一致的跨境措施，才能順利實現淨零轉型。有效的國際合作包括發出正確的市場訊號、共同努力投資低排放燃料、技術合作及雙邊和多邊參與。

結語

儘管 COP28 決議並未出現大多國家期待的「逐步淘汰化石燃料」用語，而是以較為中性的「轉型」處理棘手的化石燃料議題，但已標誌後化石燃料時代的開端，油氣產業將面臨極艱困的挑戰，預期是個不穩定和坎坷的過程，油氣市場下滑、地緣政治局勢和極端天氣發生率的增加，也會破壞潛在的市場，需保持警惕，承受轉型過程中油氣供應的不穩定和安全性風險。石油和天然氣產業價值鏈中各個部分之間的互動對於有序地擺脫化石燃料，並確保油氣生產商的利益至關重要，因此油氣產業的產銷對話很重要，消費者要發出明確信號，以指引生產者的投資決策，開發低排放燃料市場，就技術創新進行合作。

參考文獻

- 一、WORLD ENERGY OUTLOOK 2022 - THREE SCENARIOS FOR THE ENERGY TRANSITION. <https://commonwealthclimatelaw.org/world-energy-outlook-2022-three-scenarios-for-the-energy-transition/>
- 二、IEA,2023.The Oil and Gas Industry in Net Zero Transitions,World Energy Outlook Special Report.
- 三、The Guardian,15 Dec 2023.COP28 president says his firm will keep investing in oil. <https://www.theguardian.com/environment/2023/dec/15/COP28-president-sultan-al-jaber-says-his-firm-will-keep-investing-in-oil>.
- 四、Major outcomes from COP28(and next year's is in Azerbaijan,another oil and gas producer). <https://energypost.eu/five-major-outcomes-from-COP28-and-next-years-is-in-azerbaijan-another-oil-and-gas-producer/>
- 五、數位時代，碳盤查是什麼？ <https://www.bnext.com.tw/article/68882/carbon-trans-data-corp-april>.

瓦斯人的園地之一

欣欣公司副工程師 陳柏村

民國 95 年研究所畢業後於工程顧問公司服務，接觸公共工程三級品管制度，奠定標準作業程序及關鍵檢驗停留點應用的基礎，對日後工作增添不少助益。



而後有幸進入欣欣天然氣公司，除先後取得「丙、乙級氣體燃料導管配管」及「特定瓦斯器具裝修」等相關證照，更在歷練養護科及施工科檢驗員等現場監工實務作業。100 年調至設計科，配合土木工程背景發揮所長，對密戶、集合住宅及大型營業戶等執行整體設計規劃，迄今已完成近 13,000 戶。目前擔任設計案件審核，近期除完成即將開幕的新店裕隆城設計案，並配合裝置計費準則修正，完成公司「裝置業務收費作業手冊」修正及相關公告作業。

進入此領域越深入，越發現尚有許多不足之處，更應保持研究學習的熱忱，公司長官、同仁、廠商、同業前輩，亦或是論文指導教授都是持續請益學習的對象。

本次獲得瓦協優秀從業人員的榮譽，感謝長官的肯定，及提供良好的工作環境和可以發揮的平台，未來將更竭盡所能，達成公司永續經營之目標。



瓦斯人的園地之二

欣泰石油氣公司專案經理 陳建廷

在欣泰公司服務至今已 15 年，先於工務部從事裝置設計業務，正逢房市大好、重劃區遍地開發，在團隊努力下達成營運目標。工作中與同事教學相長，良性競爭，並藉由教育訓練，提升專業，致力讓用戶能使用乾淨、安全及便利的天然氣能源。

後續調任養護部監控配氣、整壓站 SCADA 系統，同事間相互的配合、協助，培養良好的默契及信任，並於下班後互相切磋羽毛球技，促進情誼及維持身體健康。

承蒙長官期許，調升工務部設計課課長，歷經管理磨練後，更懂得溝通的重要性，換位思考，與共事的同事建立深厚的友誼，以達到良好的工作連結，使專業與執行也更加穩健。

目前轉任業務部客服行控中心，除協助用戶解答，更進一步透過數據分析改善服務品質。隨著公司的業務持續不斷的擴展，見證管線施工、維護、防蝕等技術及電子化作業的成長進步，深感榮幸。

個人一向工作態度嚴謹，清楚把握每個任務的方向、執行步驟，提升效率和公司的需求契合，以符合決策目標，並秉持勿以善小而不為的理念，全力將事情做得更好。在科技不斷進步及生活形態、資訊快速的改變，未來趨勢必定利用大數據分析，達到全方位的智能管理，配合時勢追求更好的服務是努力的目標，並唯一堅持安全永遠不打折。

