

本月專題

俄羅斯停止出口天然氣對德國能源轉型之影響

王俊凱¹

摘要

德國是全球推動能源轉型的領航者，2021 年底德國聯合政府上任時承諾加速拓展再生能源，提前至 2035 年實現 100% 再生能源發電目標，以作為德國能源轉型和氣候政策的核心。此一雄心勃勃的轉型政策，面臨多重挑戰，德國為高度仰賴能源進口國，俄羅斯為德國主要化石能源進口供應國家，北溪 1 號天然氣管線，更加深。也因此，今年烏俄戰爭發生後，俄羅斯以減少/停止天然氣作為反制歐盟制裁武器，即造成德國能源供應危機，迫使德國必須提出多項積極因應策略，包括節能、替代天然氣進口、確保足夠天然氣存量、及增加燃煤使用等措施，天然氣嚴重短缺的風險仍在，但可避免今年冬天最嚴重擔憂。另外，短期燃煤使用會造成溫室氣體增加，但不影響德國長期氣候目標，德國將加倍努力改造能源系統，轉向氣候中和能源，不但減少化石燃料使用，擺脫對俄羅斯能源供應的依賴，更具有減碳氣候效益。

一、前言

德國是全球推動能源轉型的領航者，也是全球淨零排放的推動者。2021 年底德國社會民主黨(SPD)、綠黨和自由民主黨(FDP)的聯合政府上任時承諾加速再生能源為主體的能源轉型，在未來十年內建造更多的陸上風機，為所有部門提供再生能源電力，並提前至 2035 年實現 100% 再生能源發電目標，以作為德國能源轉型和氣候政策的核心。德國加快能源轉型的雄心勃勃，但仍面臨多重挑戰，德國

¹財團法人台灣綜合研究院 副研究員

為高度仰賴能源進口國家，在非核、退煤的轉型過程中，需要以天然氣作為橋接能源，為確保天然氣穩定供應，德國與俄羅斯興建北溪 1 號管線進口天然氣，俄國已成為德國主要化石能源進口供應國。也因此，今年烏俄戰爭發生後，俄羅斯以減少/停止天然氣作為反制歐盟制裁武器，造成德國能源供應危機，迫使德國必須積極因應，以擺脫對俄羅斯能源供應的依賴。以下就德國能源結構、俄羅斯停止天然氣出口對德國影響、德國因應天然氣供應不足策略及對能源轉型影響等進行說明，以提供我國研擬淨零轉型推動路徑與策略之參考。

二、德國能源結構與電源結構分析

德國是歐洲最大的經濟體，約 60% 以上能源消費仰賴進口化石能源，俄羅斯為重要化石能源供應國。其中，天然氣消費約佔四分之一，2021 年天然氣消費占比為 26.7% (如圖 1 所示)，其中，德國天然氣消費結構主要工業(37%)、家庭(31%)和商業(13%)的加熱需求，僅少部分(12%)用於發電，如圖 2 所示。

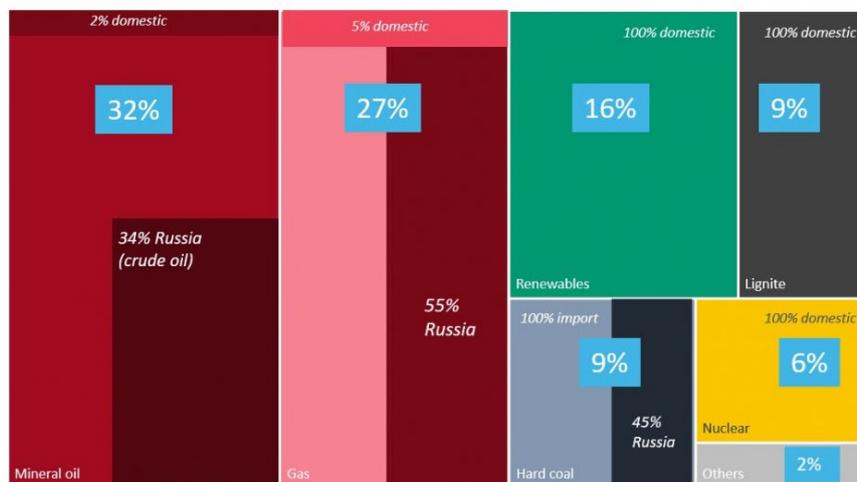


圖 1、德國 2021 年能源消費(12,193PJ)

資料來源：修改自 Kerstine Appunn, Julian Wettengel(2022), Key challenges of a halt to Russian fossil gas imports, Clean Energy Wire.

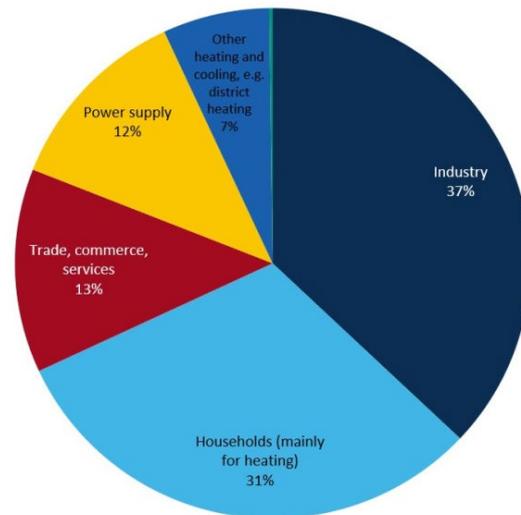


圖 2、德國 2021 年天然氣消費結構

資料來源：修改自 Kerstine Appunn, Julian Wettengel(2022), Key challenges of a halt to Russian fossil gas imports, Clean Energy Wire.

德國天然氣由 1960 年代自產逐步增加進口比重至 2021 年已 95%仰賴進口，主要供應國為俄羅斯(2021 年 55%)、挪威和荷蘭(如圖 3 所示)。目前，德國僅透過天然氣管道進口天然氣，尚未建置自有液化天然氣接收站，而進口液化天然氣則利用鄰國(特別是比利時和荷蘭)的接收站卸收後，再利用天然氣管線送入德國。

在 2011 年之前，德國等西歐國家從俄羅斯進口天然氣要通過東歐的白俄羅斯、烏克蘭、波蘭等國之天然氣陸管。為避免繞道東歐可能產生的各種政治與經濟問題，德國和俄羅斯開始合資開通連結德俄的北溪 1 號(Nord Stream 1)管道，2011 年 11 月 8 日正式投入使用，正常情況下北溪 1 號(Nord Stream 1)管道，每年可輸送約 550 億立方米的天然氣至德國和西歐國家(荷蘭、法國、義大利、奧地利、捷克等)，業已成為歐俄國際能源格局中重要的一環。2011 年起興建從俄羅斯到德國的北溪 2 號(Nord Stream 2)管道，期將年供氣量提高至 1,100 億立方米，北溪 2 號已於 2021 年 9 月完成，但受政治因素及烏俄戰爭影響尚未投入使用。

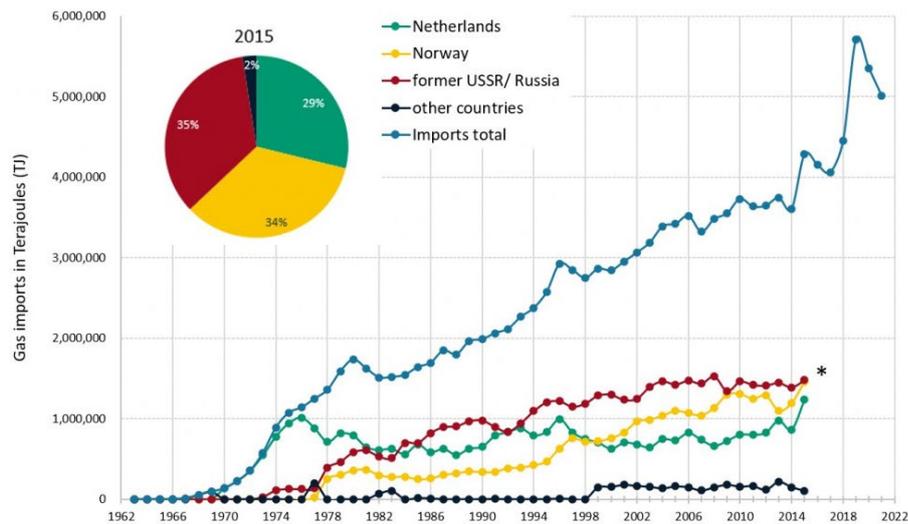


圖 3、德國天然氣歷年進口來源

資料來源：修改自 Kerstine Appunn, Julian Wettengel(2022), Key challenges of a halt to Russian fossil gas imports, Clean Energy Wire.

三、俄羅斯停止天然氣出口對德國影響

(一)俄羅斯停止天然氣出口，造成歐盟天然氣危機

俄羅斯和烏克蘭戰爭開打之後，面對歐盟多方面廣泛制裁，俄羅斯總統普丁利用俄羅斯出口能源作為戰略武器，對俄羅斯實施制裁的歐盟國家施加壓力。在 6 月中旬，俄羅斯天然氣公司(Gazprom)即以德國西門子能源(Siemens Energy)負責維修的北溪 1 號(Nord Stream 1)渦輪機被加拿大政府扣留為由，減少北溪 1 號輸氣量至平時的 40%，引發歐洲不滿。7 月俄羅斯天然氣公司(Gazprom)在北溪 1 號(Nord Stream 1)進行為期 10 天的年度維護作業，暫停向歐盟輸送天然氣 10 天，復氣後北溪 1 號輸氣量已降至平時的 20%，8 月 31 日起更進一步無限期停氣，迫使歐洲各國政府紛紛採取因應策略，以面對即將到來的冬季天然氣危機。俄羅斯每日天然氣供氣量如圖 4 所示，斷氣後德國每日天然氣進口量約為 3,000GWh 上下，如圖 5 所示。

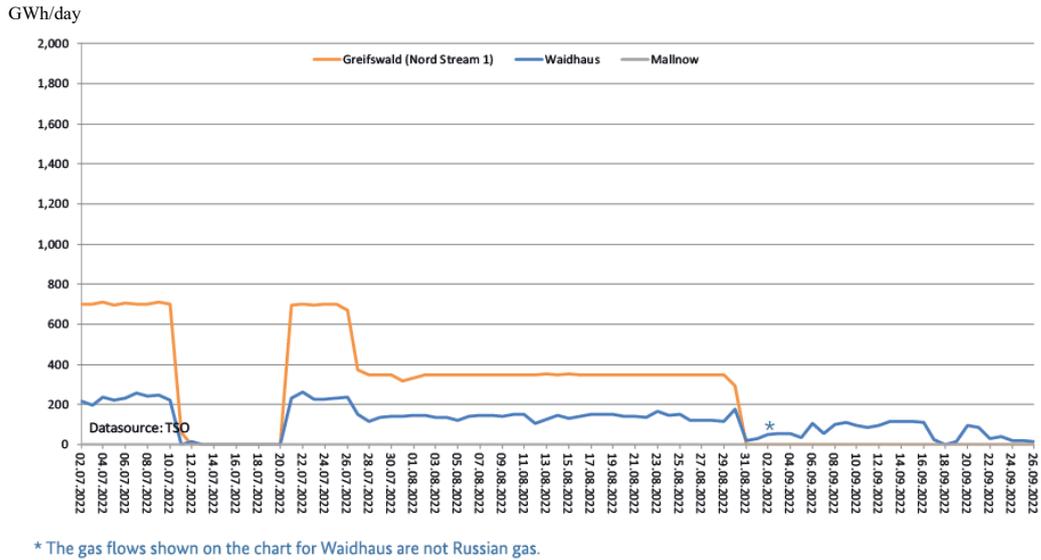


圖 4、俄羅斯每日天然氣供氣量

資料來源： BMWK(2022), Gas supply status report .

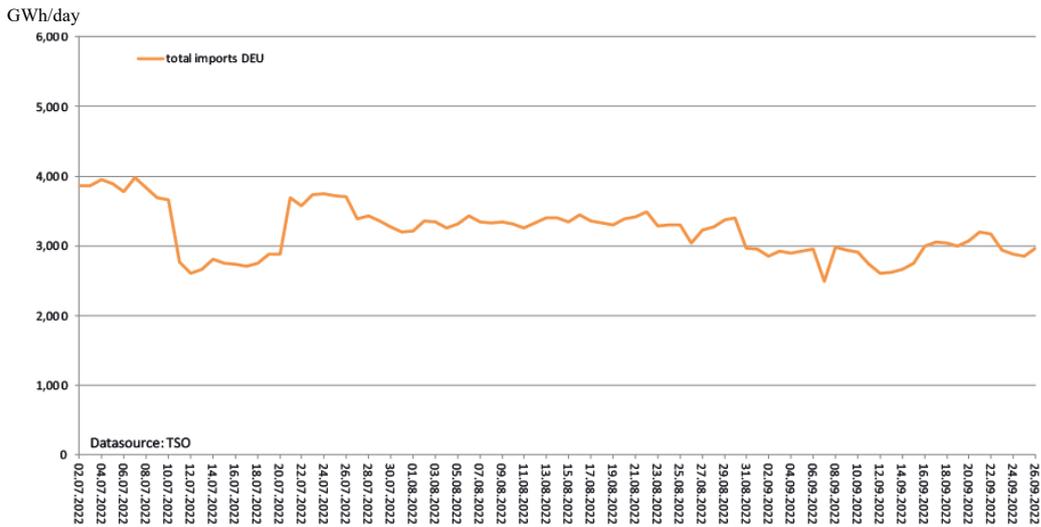


圖 5、德國每日天然氣進口量

資料來源： BMWK(2022), Gas supply status report .

(二)天然氣價格高漲，導致能源貧窮及經濟衰退

天然氣供應危機已造成歐盟能源價格高漲，在俄羅斯襲擊烏克蘭後首次飆升破 230 歐元/MWh 之後降至 100 歐元/MWh。然自 2022 年 6 月以來俄國引發天然氣問題，天然氣價格開始快速上漲。由快速成長至 8 月 22 日高峰接近 350 歐元/MWh(如圖 6 所示)，其後價格雖有下跌，但仍接近 150-200 歐

元/MWh，已使得家庭跟公司無法負擔高昂的能源價格，不但造成弱勢家庭能源貧窮現象，亦使越來越多公司放棄在德國生產或限制運營，德國工商會(DIHK)7月調查結果，昂貴的能源價格迫使近六分之一的德國工業減產，能源密集型企業(如鋼鐵、造紙等)受到打擊更為嚴重，能源密集的中小型企業(飲料、物流等)也將面臨嚴峻挑戰。因此，德國政府正積極給予受能源價格影響的家庭與產業各項協助。另外，能源價格上漲已成為通貨膨脹的關鍵驅動因素，隨著物價全面上漲，將給經濟帶來進一步壓力，德國經濟部、德意志銀行(Deutsche Bank)、德國經濟研究院(German Economic Institute)研究均指出，天然氣價格持續上漲，將德國經濟推向衰退。



圖 6、德國天然氣價格走勢

資料來源：BMWK(2022), Gas supply status report.

(三)供熱天然氣不足改用电暖器，恐導致電網負擔過重

俄羅斯入侵烏克蘭後天然氣價格上漲導致更多德國人轉向其他供暖來源(如木材)，電暖器的銷售量也有所增加，網絡機構(BNetzA)負責人克勞斯·穆勒(Klaus Müller)指出“即使燃氣價格非常高，使用電暖風仍比使用燃氣取暖更貴，而且如果太多人同時使用電暖取暖，這可能使當地電網達到負荷極限甚至更高。”目前電網機構(BNetzA)正在對電網進行“壓力測試”，以確保冬天電網供應安全。

四、德國因應天然氣供應不足策略及對能源轉型影響

(一) 德國因應天然氣供應不足策略

根據德國能源供應安全法 (EnSiG)、歐盟 SoS 法規 (SoS) 和天然氣應急計劃，德國訂定三階段計劃以因應可能發生的俄羅斯天然氣供應危機。

- 預警級別：由於供應尚未受到威脅，本階段對天然氣最終用戶沒有直接影響，但有助於為危機升級做好準備，建立更堅實的法律和組織基礎。
- 警報級別：預期天然氣市場即將失衡，本階段尚未對天然氣分銷進行直接的國家干預，但政府推動價格、法規、自願作為、替代天然氣發電等策略減少天然氣消費，並增加液化天然氣進口、訂定天然氣儲氣目標等策略確保天然氣供應。
- 緊急級別：一旦天然氣供應狀況“顯著惡化”，就會進入第三階段。網絡機構 BNetzA 將成為國家供應協調員，承擔接管和分配稀缺天然氣資源的法定職責。為協助確定配給和關閉順序，BNetzA 要求燃氣網運營商和工業客戶在“燃氣安全平台”申報消費水平和未來燃氣需求。因此許多公司已開始採取預防措施，減少天然氣需求並尋找替代燃料，以避免面對天然氣分配限制影響製程生產。

今年 3 月下旬俄羅斯用求天然氣用戶以盧布結算，德國政府擔心影響天然氣，迅速啟動國家天然氣供應安全計劃的第一階段“預警”，關注天然氣供應的變動。隨 6 月俄羅斯開始減少天然氣供氣，德國政府也宣布國家天然氣供應安全計劃提升到第二等級“警報階段”，並宣佈推動節氣、訂定天然氣儲氣目標、承諾建設液化天然氣(LNG)進口終端，並增加燃煤及核能發電，以減少天然氣使用，為因應可能的供應中斷並擺脫俄羅斯能源進口依賴做準備。

1. 提供能源救助計劃

德國政府已推動二次能源成本計畫，9 月推動第三次能源成本減免計畫，德國政府希望緩解對冬季供暖和電力價格飛漲的擔憂，並支持較貧窮社會成員，但企業抱怨未提供足夠措施來保障經濟穩定和因應高能源成本風險。德國第三次救助措施包括：

- 延後德國運輸和供暖行業國家二氧化碳價格上調計畫，推遲至 2024 年 1 月 1 日起上調每噸 5 歐元。
- 對能源公司因天然氣價格飆漲所獲得的超額利潤課稅，用以至動電價波動。
- 提供聯邦預算補助全國公共交通票。
- 為無法轉嫁成本給客戶的能源密集型公司提供支持計畫。
- 增加住房補貼，同時為氣候行動和供暖提供永久保費。
- 提供所有家庭一次性取暖補貼，額度為單身家庭 415 歐元、兩人家庭 540 歐元，每增加一名成員額外增加 100 歐元。
- 2023 年增加德國失業救濟金(Hartz IV)，每月將增加約 50 至 500 歐元。

提供一次性能源補貼，養老金領取者將獲得 300 歐元，大學生和實習生將獲得 300 歐元。

2. 推動節能，減少天然氣使用

節能是歐洲應對今年冬天能源危機的關鍵手段，歐盟在夏季批准了一項提議，要求所有歐盟國家在今年 8 月至明年 3 月期間自願將天然氣使用量較 2017 年至 2021 年平均水平減少 15%。另外，德國政府呼籲全國公私共同努力減少天然氣消費，並推動一系列長/短期“法律義務和自願努力”措施來抑制天然氣消費量，為冬天做好準備。

(1)短期措施：

- A. 辦公室和公共建築的法定最低室溫從 20°C 降低到 19°C。

- B. 禁止公共非住宅建築的大型室內空間(如門廳、技術設施)供暖。
- C. 禁止私人游泳池使用燃氣/電加熱器。
- D. 在不影響衛生標準下，關閉公共非住宅建築的飲用水加熱系統。
- E. 減少公共地標和建築物的外部照明。
- F. 私人節能措施的強制性信息。
- G. 強制關閉加熱商店的入口門以避免熱能損失。
- H. 禁止在晚上 10 點至次日下午 4 點投放照明廣告。

(2)長期措施：

- A. 強制供暖系統維護和優化
- B. 大型建築物中優化供熱系統水力平衡義務，建築物的所有者必須自費實施維護措施。
- C. 大型能源用戶(超過每年 10GWh)有義務實施效率措施，包括更換 LED 照明、優化工作流程和設備等。

3. 加速天然氣儲冬天天然氣供應不足，影響產業及民生

國際能源總署(IEA)署長 Faith Birol 警告，俄羅斯削減天然氣供應目的是避免歐洲填補天然氣儲量，以增加俄羅斯在冬季的影響力。為因應冬季缺口，德國宣布天然氣儲氣目標(2022 年 9 月 1 日達到 75%、10 月 1 日達到 85%、11 月 1 日達到 95%，2023 年 2 月 1 日仍為 40%)。根據德國聯邦經濟事務和氣候行動部(BMWK)資料顯示，德國總儲氣量為 91.3%、Rehden 設施的存儲水平為 75.5%，提前達成 10 月 85%目標(如圖 7 所示)，而下一個 11 月 1 日達到 95%目標，按照目前的速度也應該提前實現，將可避免今年冬天對天然氣嚴重短缺的最嚴重擔憂。但德國能源監管機構(Federal Network Agency)總裁 Klaus Mueller 表示，即使儲氣設施全部儲滿，如果俄羅斯停止供氣，德國仍有可能面臨過冬難題。

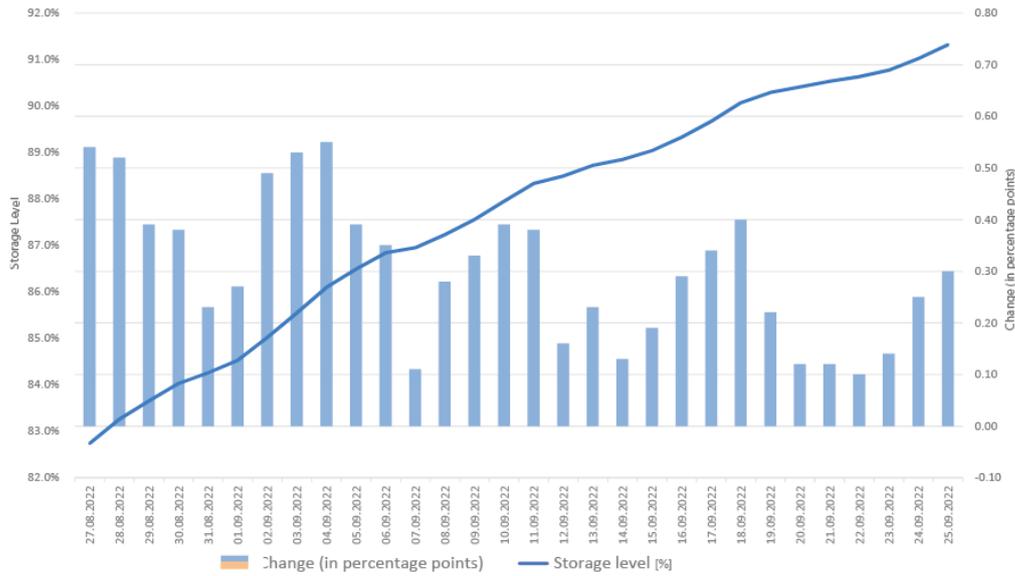


圖 7、德國天然氣儲存量走勢

資料來源：BMWK(2022), Gas supply status report .

4. 設液化天然氣基礎設施，增加液化天然氣進口

近年來，德國嘗試建設液化天然氣接受站，但因德國天然氣管線完轉，進口天然氣便利，而且歐洲的液化天然氣卸收能力未充分利用，可透過鄰國進口液化天然氣，德國直接進口液化天然氣較為昂貴等因素，導致德國液化天然氣接收站計劃受到延誤和不確定性的困擾。然而，烏俄開戰以來的天然氣供應危機已改變德國看法，德國將全力擴大天然氣基礎設施，以減少對俄羅斯的依賴。

德國正在加速推動現有幾個進口液化天然氣(LNG)基礎設施專案，並規劃在短期內租用四個浮動天然氣卸收站(FSRU)，安裝於威廉港、布倫斯比特爾港、施塔德港和盧布明港。威廉港將於 2022 年 7 月開始建置德國第一個浮動碼頭和必要的基礎設施建設，第一批天然氣可能在 2022 年底或 2023 年初進口，後續將推動 FSRU 的永久和擴展港口解決方案，並增加氫氣/氨卸收和處理設施。此外，德國政府已決定制定「液化天然氣加速法案(LNG Acceleration Act)」草案，允許當局在特殊情況下(德國天然氣供應的安全受到威脅)，可以合理地加快審批程序，特別是在環境影響評估領域，

以加快直接進口必要基礎設施的規劃和建設。草案也要求現在建造的液化天然氣進口基礎設施必須能夠在 2043 年之前完全轉型為氣候中性的氫氣接收站。

然而，環境 NGO 德國環境行動(DUH)則擔憂液化天然氣基礎設施的“規模過大”，並表示此類設施對化石能源的依賴程度更高，將會在未來幾十年持續破壞氣候。德國環境行動(DUH)和 Heinrich Böll 基金會表示，歐盟應通過協調 LNG 基礎設施的發展來避免未來的 LNG 產能過剩，德國經濟研究所(DIW)報告也指出德國天然氣碼頭建設時間長和中期天然氣需求急劇下降的風險，將使液化天然氣資產面對擱淺風險。

德國也正尋求液化天然氣貨源，9 月德國總理率團訪問沙烏地阿拉伯、阿聯和卡達三國，尋求替代氣源已有成效。德國能源公司萊茵集團(RWE)與阿布達比國家石油公司(Adnoc)簽署協議，阿布達比將在 12 月底前，供應德國 137,000 立方米液化天然氣，儘管最初供應量相對小，但具政治意義，預計阿布達比國家石油公司(Adnoc)將在 2023 年為德國再保留五批液化天然氣現貨。另一方面，美國天然氣也將是德國重要可能進口來源，但美國需要投資新增液化天然氣項目。

5. 增加燃煤及核能發電，替代天然氣發電

德國政府及議會同意批准重新啟動燃煤電廠，依據《替代電廠維護法》(EKBG)規定，允許在國家煤炭退出計劃下停止發電的燃煤電廠可以在 2023 年 4 月 30 日之前，重新運轉進入電力市場，如 2021 年底被封存的 Mehrum 燃煤電廠(690MW)，以幫助減少電力部門的天然氣消耗。經濟部長羅伯特-哈貝克(Robert Habeck)稱增加煤炭使用是“痛苦的”決定，儘管重新啟動，政府仍希望維持原定煤炭退出目標。另外，德國亦出現延役原定 12 月 31 日關閉核電廠的聲浪，德國總理蕭茲(Olaf Scholz)政府尚未正式採納延役核電廠的決定。但據德國佛爾沙研究中心(Forsa Institut)民調顯示，3/4 的受訪

德國民眾希望可以延役電廠，以減少天然氣使用。但德國國內也有不同意見，柏林赫蒂學院的 Lion Hirth 教授估計，保持核電廠開放僅減少天然氣需求 4%，德國欠缺的主要是用於暖氣和製造業的天然氣，無法透過減少天然氣發電來解決德國的天然氣危機。

(二)德國天然氣策略對能源轉型之影響

面對烏俄戰爭帶來的能源危機，短期上德國政府決定保持燃煤電廠運行以取代燃氣設施，將導致德國今年溫室氣體排放量急劇上升，依據智庫 Agora Energiewende 估計顯示，儘管 2022 年太陽能 and 風能貢獻持續增加，但德國全年排放量因煤炭使用將增加 30 百萬噸。然而，整體排放仍受歐盟排放交易體系(ETS)總體上限控制，且德國政府限制燃煤電廠暫時運作時限至 2023 年 4 月，仍維持原定 2030 年煤炭退出目標，也不影響長期氣候目標。但也有學者指出天然氣危機導致天然氣價格大幅上漲，如果沒有政策干預，燃煤價格優勢將使支付碳排放費用的燃煤電廠維持運轉更具吸引力，這導致德國政府設定的 2030 年煤炭淘汰日期將更難實現。

長期上德國總理肖爾茨總理認為加倍努力改造能源系統，減少化石燃料使用，轉向氣候中和能源，不但減少對俄羅斯能源依賴，更具有減碳氣候效益，促使德國新政府加速大量修訂相關法規與補助策略，以提高再生能源產能、加速電網規劃和離岸風電發展，為氣候中和的能源系統和更大程度地獨立於能源進口奠定基礎。

五、結論與建議

德國面對俄羅斯天然氣供應危機，仍堅持推動改造能源系統，轉向氣候中和能源，顯示擴展再生能源有助減少化石燃料使用，提高減碳氣候效益更能提升能源供應安全，我國可借重德國化危機為轉機的經驗，堅定推動再生能源發展的信心與決心。另外，德國為擺脫對俄羅斯天然氣的依賴，除增加中東國家(卡達、阿拉伯聯合大公國等)進口來源，亦將增加美國供氣來源，對於亞洲天然氣進口國，

將增加天然氣貨源及價格競爭，我國今年已深受天然氣價格上漲的影響，面對長期天然氣價格趨勢，更需要有及早因應之道。

參考文獻

1. Andreas Rinke(2022), Germany inks LNG deal as chancellor visits Gulf to secure energy, Reuters.
2. Benjamin Wehrmann, Julian Wettengel(2022), Germany introduces energy saving provisions as key relief runs out and higher prices loom, Clean Energy Wire.
3. Benjamin Wehrmann (2022), Old lignite plants and hard coal import hurdles complicate Germany’s emergency coal revival, Clean Energy Wire.
4. Benjamin Wehrmann(2022), Q&A: The “stress test” - what kind of nuclear runtime extension is Germany debating? , Clean Energy Wire.
5. BMWK(2022), Gas supply status report .
6. DIHK(2022), Stark gestiegene Energiepreise gefährden Produktion in Deutschland.
7. DW (2022), Germany: Gas storage filling up faster than expected ahead of winter.
8. Edgar Meza(2002), Resurgent coal power could cause 30 million tonnes of extra emissions in Germany – think tank, Clean Energy Wire.
9. Jessica Bateman(2002), Higher gas prices make market-driven 2030 coal phase-out much harder, report finds, Clean Energy Wire.
10. Jessica Bateman(2022), Prices for firewood and wood pellets almost double due to energy crisis, Clean Energy Wire.
11. Julian Wettengel(2022), Further gas supply cuts are “main risk” for German economy – econ min, Clean Energy Wire.
12. Kerstine Appunn, Julian Wettengel(2022), Key challenges of a halt to Russian fossil gas imports, Clean Energy Wire.
13. Kerstine Appunn(2022), Q&A: Is Germany reverting to coal to fight the gas supply crunch? , Clean Energy Wire.
14. NDR(2022), Gaspreis aktuell: So viel kostet die Kilowattstunde.
15. Sören Amelang, Kerstine Appunn, Benjamin Wehrmann, Julian Wettengel (2022), Putin’s war against Ukraine and its implications for the German and EU energy

transition, Clean Energy Wire.

16. Sören Amelang(2022), German brewers fear wave of bankruptcies due to energy crisis, call for state aid, Clean Energy Wire.
17. Tagesschau(2022), Habeck ruft Alarmstufe aus.