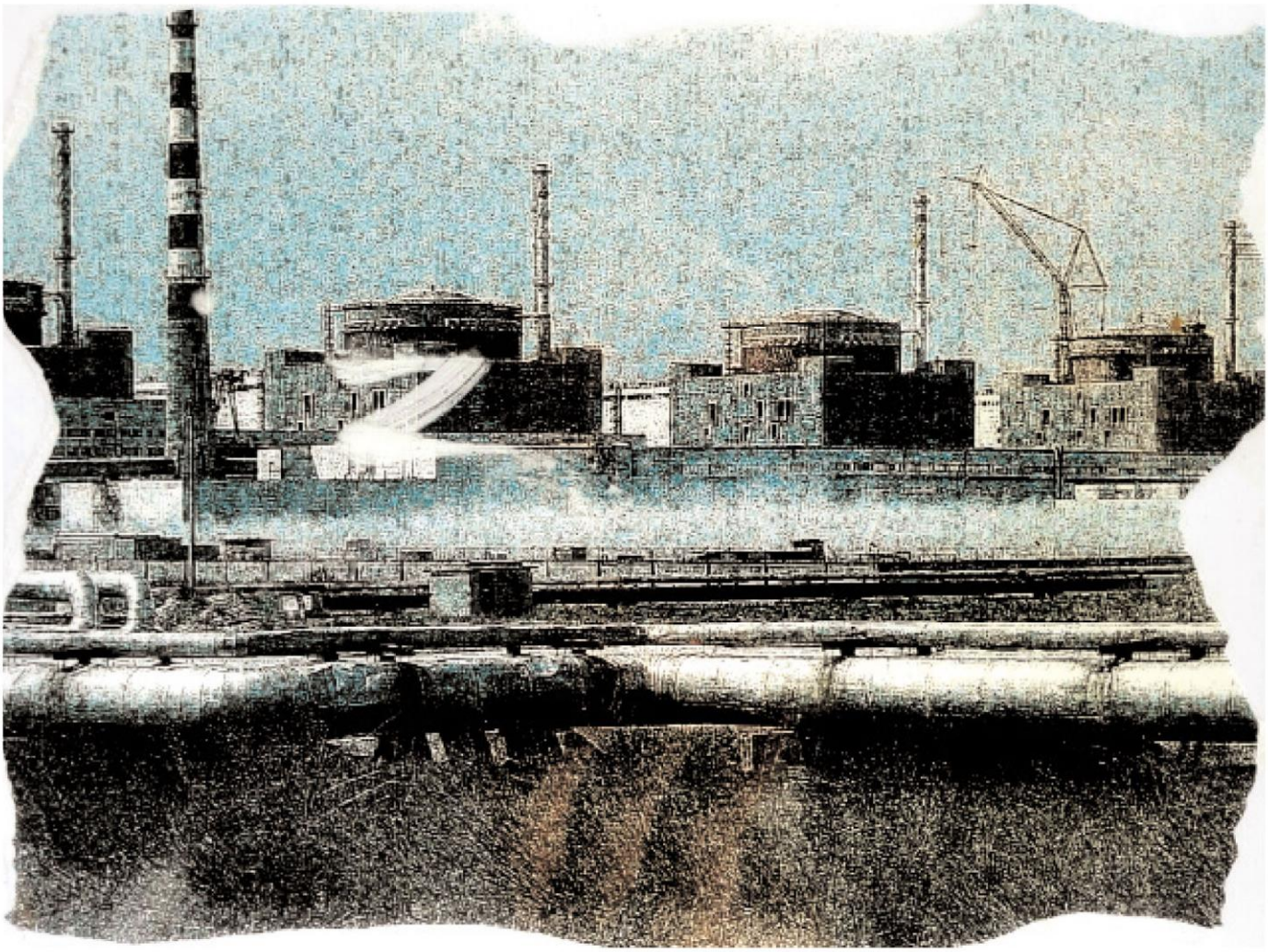
A Mycle Schneider Consulting Project
Paris, October 2022 (V3–02/2023)

2022世界核能產業現況報告

The World Nuclear Industry Status Report 2022



MacArthur Foundation | NRDC | HEINRICH BÖLL STIFTUNG | EWS Elektrizitätswerke Schönau | THE GREENS/EFA in the European Parliament | SES energiestiftung.ch

2022年世界核能產業現況報告

前言

Aviel Verbruggen
比利時安特衛普大學名譽教授、博士

Mycle Schneider
法國巴黎獨立顧問
計畫協調人暨主要作者

Antony Froggatt
英國倫敦獨立顧問、漆咸樓環境與社會計畫資深研究員暨副主任
主要作者

協同

Julie Hazemann
法國巴黎 EnerWebWatch 主任
負責研究文件、建立模型和視覺化數據

M.V. Ramana
加拿大溫哥華英屬哥倫比亞大學公共政策和全球事務學院之裁軍、全球和人類安全主任
協力作者

Michael Sailer
德國達姆施塔特獨立顧問，
反應爐安全委員會前主席、應用生態研究所前執行長
協力作者

Tatsujiro Suzuki
日本長崎大學廢除核子武器研究中心副主任，
前內閣府原子力委員會副主席
協力作者

Christian von Hirschhausen
德國柏林工業大學經濟與基礎建設政策工作組教授、德意志經濟研究所研究主任
協力作者

Alexander James Wimmers
德國柏林工業大學經濟與基礎建設政策工作組副研究員
協力作者

Nina Schneider
法國巴黎
校對、查核事實、製作、翻譯
負責校對與製作

Agnès Stienne
法國利曼藝術家、平面設計師、地圖繪製師
負責平面設計與版面編排

Friedhelm Meinass
德國羅德高視覺藝術家、畫家，
負責封面設計、繪畫與排版

Paris, 2022–2023 © A Mycle Schneider Consulting Project

報告主要作者聯繫方式

Mycle Schneider
45, Allée des deux cèdres
91210 Draveil (Paris)
France
電話: +33-1-69 83 23 79
電郵: mycle@worldnuclearreport.org

Antony Froggatt
53a Neville Road
London N16 8SW
United Kingdom
電話: +44-79 68 80 52 99
電郵: antony@froggatt.net

報告摘要中文翻譯單位

綠色公民行動聯盟

文字翻譯：周世瑀

圖表翻譯：林正原、陳詩婷

校訂：房思宏

網站: http://gcaa.org.tw/

電郵: gcaa.official@gmail.com

電話: 02-2393-0500

原文報告全文可至世界核能產業現況報告官方網站免費下載

https://www.worldnuclearreport.org/

目 錄

重要見解 5

執行摘要和結論 7

核電生產及核電角色 8

反應爐啟用和關閉 10

興建數據 11

運轉機齡 14

福島現況報告 17

除役現況報告 19

潛在新進國家 21

小型模組化反應爐 22

核電與戰爭 24

烏克蘭戰爭時間軸 31

核電對比再生能源部署 31

核電與戰爭 34

烏克蘭戰爭時間軸 34

附錄 2 - 全球核電現況 51

重要見解

核電佔比降至 10% 以下，官方數據顯示，反應爐數量 / 裝置容量於 2018 年達到高峰

- 核電於 2021 年在全球商業總發電量的佔比降至 9.8%，首次低於 10%，是 40 年以來的最低佔比，較 1996 年時 17.5% 的高峰降低 40%。
- 國際原子能總署的統計數據顯示，2018 年正式運轉的反應爐有 449 座，裝置容量為 396.5 GW，兩項數字均為高峰（GW 係指 Gigawatt 或百萬瓩）。國際原子能總署認定，全球至 2021 年年底時共有 437 座反應爐「正在運轉」，其中包括 23 座自 2010 年至 2013 年以來並未發電的反應爐。
- 2022 年中時，在 33 個國家中共有 411 座反應爐運轉，較去年同期減少 4 座，相較於 1989 年減少 7 座，至於相較於 2002 年 438 座的高峰，則減少 27 座。
- 6 座機組於 2021 年併網，其中 3 座位於中國。另有 5 座新機組於 2022 年上半年起開始運轉，其中 2 座位於中國。
- 有 8 座反應爐於 2021 年遭到關閉；英國則宣布關閉另外 2 座，然而這 2 座核子設施自 2018 年以來並未產出任何電力。
- 自 2002 年至 2021 年的 20 年間，共啟用 98 座反應爐並關閉 105 座機組。其中 50 次啟用位於並未關閉任何反應爐的中國。因此，中國境外地區在同期間淨減少 57 座反應爐；淨容量下降 25 GW。
- 世界核電發電量增加 3.9%，但仍低於 2019 年的水平。至於中國以外地區，核電發電量則成長 2.8%，與 2017 年相近。

俄羅斯主導國際市場：施工延宕情況更趨惡化

- 中國迄今擁有最多興建中的反應爐（至 2022 年中時共有 21 座），但是並未在國外興建核電廠。
- 俄羅斯目前主導國際市場，至 2022 年中時正在興建 20 座機組，其中有 17 座位於其他 7 個國家中。尚不確定戰爭制裁與其他潛在的地緣政治情勢對這些興建計畫的影響。
- 2021 年共有 10 座反應爐動工興建，其中 6 座位於中國。其他 4 座則是由俄羅斯國家原子能公司於印度（2 座）、土耳其以及俄國國內興建。在中國動工興建的機組中，2 座亦由俄羅斯國家原子能公司所承作。
- 孟加拉和土耳其這兩個潛在的新進國家，在 2022 年中時亦有核子反應爐興建中。埃及緊接在後開始動工興建。這些計畫皆由俄羅斯核工業所承作。
- 除了俄羅斯國家原子能公司，只有法國和韓國公司在海外擔任施作核電廠的主要承包商。
- 53 個興建計畫中至少有近半數（26 個）遭遇延宕。其中 14 個計畫的延誤次數增加，另有 2 個計畫則於過去 1 年中首次出現延誤。
- 2021 年初時預計該年將有 16 座反應爐併網，不過最終僅有 6 座併網，另外 10 座則至少延宕到 2022 年。

福島

- 場內和場外的情況仍非常不穩定。
- 安全當局同意將超過 130 萬立方公尺的污水排放至海洋中，為期至少 30 年。大部分的水在稀釋和排放前必須經過再次處理。該計畫在日本與海外一直倍受爭議。

值得關注的各國發展

- **中國**。核電發電量增加 11%，一如 2020 年的數據，2021 年時核電佔總發電量的 5%。
- **芬蘭**。自 2005 年開始在歐陸興建首座壓水式反應爐，總算在 2022 年 3 月啟用，相較於原定計畫延遲了 13 年。
- **法國**。在反應爐的緊急冷卻中意外發現應力腐蝕龜裂，導致必須大規模檢修所有核電機組。該問題加劇由於其他問題所造成的運作中斷期。隨之而來的發電量下降，將導致 2022 年的預計發電量跌落至 1990 年間的發電量水平。
- **印度**。核電發電量自 2019 年以來持續下滑，佔 2021 年總發電量的 3.2%。8 座反應爐處於興建中狀態，其中 4 座係由俄羅斯所設計。
- **美國**。核電產量於 2019 年達到高峰，至 2021 年累計下降 3.9%；核電在商業發電中的佔比下降到 18.9%，這是自 1995 年達到最大值後的最低水平。

除役

- 關閉的核子反應爐數量於 2021 年底時首次超過 200 座，至 2022 年中期達到 204 座，較一年前增加 8 座。
- 只有 22 座反應爐或 11%關閉的反應爐已然完全除役；其中，僅有 10 座或僅佔關閉反應爐總數的 5% 已然復原成為綠地，可不受限制地讓人使用。

核電與戰爭

- 俄羅斯入侵烏克蘭造成數個前所未見的情勢，包括在全面戰爭時期運轉商業核電廠。
- 世界上從未有核電廠的設計是用於在戰時條件下運轉。
- 關鍵挑戰是使反應爐心和用過的燃料棒在燃料池持續冷卻，即使在反應爐關閉後亦能維持。
- 無法排出殘留的衰變熱可能導致爐心在數小時內熔燬，或在數日或數週內導致用過燃料棒的冷卻池著火，並可能洩漏大量輻射。
- 冷卻需要環環相扣的因素相輔而成，方可提供可靠的電力與水。
- 在戰爭期間，場內和場外既有的問題，乃至於潛在的蓄意和意外影響，皆可能導致電力和供水中斷。
- 核子設施有賴於積極任事、充分休息並且技術嫻熟的作業人員方能運作，然而操作人員在戰爭期間或於軍事佔領期間可能會承受巨大的壓力。
- 外部的專家，乃至於在核電廠維護操作和執行檢查或維修所需要的備用零件，在戰時可能無法獲准或進入該設施。

再生能源使核電式微

- **世界**。投資於非水力再生能源的總額於 2021 年達到創紀錄的 3,660 億美元，為電網增加約 250 GW 的淨容量，同時運轉中的核電容量則是減少 0.4 GW。僅僅風能和太陽能於 2021 年在總發電量的佔比就達到 10.2%，首次超過全球電力供應的 10%，並超越核電。
- **中國**。2021 年時，以再生能源為基礎的發電量成長速度超過任何其他能源。風電產量成長 40%，太陽光電則成長 25%。風力渦輪機所產出的電力比核子反應爐多出 71%，而太陽光電僅比核電產出少 15%。
- **印度**。風電和太陽能於 2021 年各佔核電發電量的 150% 以上。

執行摘要和結論

由於 2021 年的絕大多數期間仍持續受新冠肺炎疫情影響，到年底時全球能源危機已然出現，天然氣和電力的價格達到前所未見的水平，並衝擊許多人的福祉以及將來的經濟系統。烏克蘭戰爭加劇能源危機，長期而言並且會深遠地改變國際地緣政治 。正在運轉的商業核子設施是史上頭一遭，在一場全面戰爭中，遭到敵對力量的直接襲擊和佔領 。

與先前的報告一樣，《2022 世界核能產業現況報告》全面概述核電廠數據，包括有關反應爐機齡、運轉、發電和興建的數據。但由於烏克蘭的局勢前所未有，《2022 世界核能產業現況報告》特以專門章節評估核電和戰爭的具體挑戰和風險。

《2022 世界核能產業現況報告》分析（至 2022 年中）33 個核電國家中的某些國家以及潛在的新進國家的新建計畫現況。《2022 世界核能產業現況報告》包含 10 個重點國家，這些國家代表 30% 的核電國家、全球 2/3 的反應爐機組、以及世界上 5 個最大核電生產國中的 4 個。

除役現況報告概述已永久關閉的核子反應爐當今的情況。關於核電對比再生能源章節提供有關核電、風電和太陽能以及世界各地其他再生能源的投資、裝置容量與發電量的比較數據。最後，附件 1 概述重點國家章節所未能涵蓋的國家之核電計畫。

核電生產及核電角色

在 1970 年《防止核武擴散條約》生效之前，共有 14 個國家運轉核電反應爐。到 1985 年時，另有 16 個國家有反應爐併網。自 1991 年至 2020 年的 30 年間（2021 年間並無啟動），只有 5 個國家啟動該國首座核子反應爐：中國（於 1991 年）、羅馬尼亞（於 1996 年）、伊朗（於 2011 年）、阿拉伯聯合大公國和白俄羅斯（皆為 2020 年）；2021 年，未有新進國家啟動任何一座反應爐。3 個國家放棄核電計畫，義大利（於 1987 年）、哈薩克（於 1998 年）和立陶宛（於 2009 年）。

反應爐運轉和裝置容量。截至 2022 年 7 月 1 日止，共有 33 個國家運轉 411 座反應爐（不包括長期停機 ），較《2021 世界核能產業現況報告》的統計減少 4 座，較諸 1989 年則減少 7 座，相較於 2002 年高峰的 438 座，更下降 27 座。2021 年名目核電淨發電量較前一年度下降 0.4 GW。[1] 2022 年中時運轉中的核電裝置容量與 2021 年中相同，均為 369 GW，略高於 2006 年底的高峰記錄 367 GW。（此狀況可能會於年底發生變化。）

對照國際原子能總署以及《2021 世界核能產業現況報告》的評估。國際原子能總署的統計數據顯示，正式運轉的反應爐數量為 449 座，加上 396.5 GW 的裝置容量，兩者皆於 2018 年達到歷史高峰。2021 年 12 月，國際原子能總署所列出全球 437 座「 運轉中」的反應爐裡，已納入日本的 33 座反應爐，然而其中 23 座機組自 2010 年至 2013 年以來並未發電（其中 3 座則是自 2007 年以來並未發電）。《世界核能產業現況報告》截至 2021 年 12 月，則將 29 座

1 原文註釋 7。啟動 6 座反應爐增加 5.2 GW，關閉 8 座反應爐則減少 7.6 GW，重啟長期停機的機組又增加 1.6 GW，名目容量變動（升級）為 +0.4 GW = -0.4 GW。於 2021 年宣布關閉另外 2 座反應爐，但該等機組自 2018 年以來並未產出任何電力，故而依據《世界核能產業現況報告》標準追溯關閉。

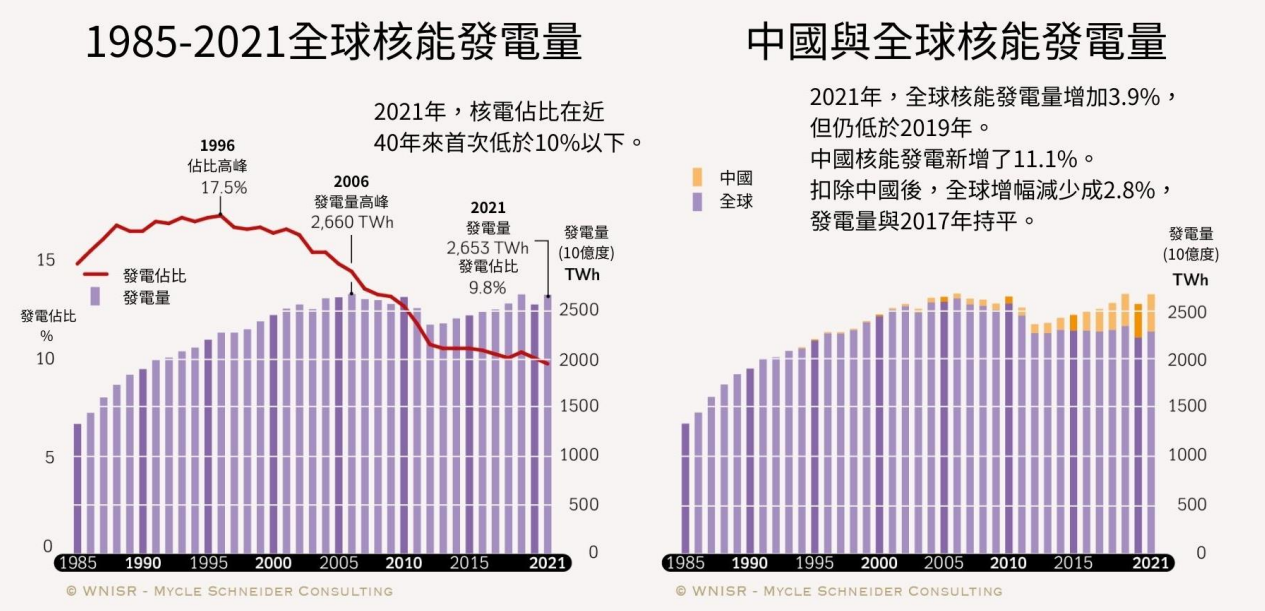
機組列為長期停機，其中 23 座位於日本，3 座位於印度，加拿大現有 2 座，韓國則有 1 座。截至 2022 年中，這 29 座反應爐仍處於長期停機狀態，相較於《2021 世界核能產業現況報告》所認定該類別的反應爐，數量多出 3 座。

核電生產。2021 年，全世界核電廠產出 2,653 TWh（發電量 1 TWh 等同於 10 億度）的電力。2021 年核電產量增加 3.9%，不過仍然略低於 2019 年的水平。

中國的核能發電量連續兩年超越法國，並且在核電國家中位居第二，僅次於美國。在中國以外，核電產量增加 2.8%，約等於 2017 年的水平。

電力 / 能源組合佔比。隨著全球發電量持續上升，核電在全球商業總發電量中的佔比在 2021 年下降至 9.8%，首次低於 10%，這亦為 40 年以來的新低，相較於 1996 年 17.5% 的高峰減少了超過 40% 。

圖二：全球和中國的核電發電量



資料來源：《世界核能產業現況報告》與 BP、國際原子能總署機組資訊系統，2022 年

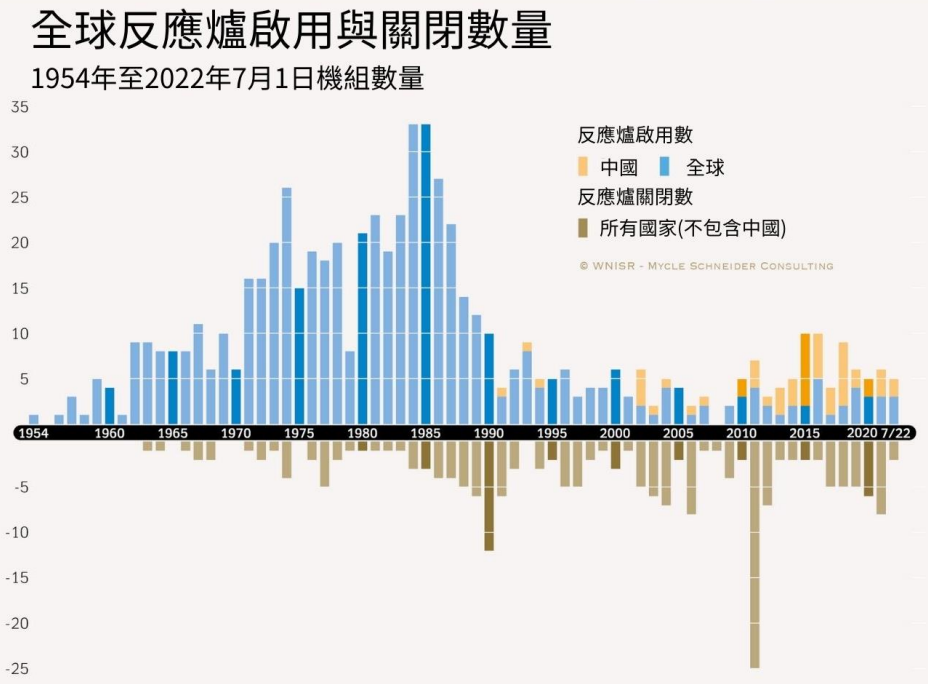
反應爐啟用和關閉 [2]

啟用。6 座機組於 2021 年併網，其中 3 座位於中國，而印度、巴基斯坦（由中國所建造）、阿拉伯聯合大公國則各有 1 座。2022 年上半年有 5 座新機組開始運作，其中 2 座位於中國，而芬蘭、巴基斯坦（由中國所建造）與韓國則是各有 1 座。

關閉。[3] 2021 年共有 8 座反應爐關閉，其中德國有 3 座，巴基斯坦、俄羅斯、臺灣、英國和美國各有 1 座。另有英國有 2 座機組於同年宣布關閉，不過該等機組自 2018 年以來並未產出任何電力，《世界核能產業現況報告》遂據此追溯認定這 2 座機組於 2018 年時已經關閉。

自 2002 年至 2021 年的 20 年間，共啟用 98 座機組和關閉 105 座機組。其中，有 50 座機組啟用位於中國，而且該國並未關閉任何反應爐。因此，在中國境外，同期反應爐數量淨減少 57 座；淨容量下降超過 25 GW。

圖五：全球反應爐啟用與關閉數量—及中國的影響



資料來源：《世界核能產業現況報告》與國際原子能總署機組資訊系統，2022 年

2 原文註釋 8。參見重點國家與附件 1，以瞭解各國概況。

3 原文註釋 9。《世界核能產業現況報告》根據反應爐最後一次發電對應年份來紀錄關閉情況，如果機組在受查核的年度並未發電，則追溯調整統計數據。

興建數據[4]

截至 2022 年 7 月 1 日，有 53 座反應爐（53.3 GW）經認定為正在興建，這與一年前《世界核能產業現況報告》所載的數目相同，不過相較於 2013 年則減少 16 座，其中有 5 座機組興建計畫後續遭放棄。

5 座反應爐中便有 4 座建於亞洲或東歐。15 個國家正在興建核電廠，相較於《2021 世界核能產業現況報告》中之統計減少 2 個國家（芬蘭和巴基斯坦）。只有 4 個國家興建不只 1 座核電廠：中國、印度、俄羅斯與韓國。自 2021 年中以來，全球有 7 座反應爐開始興建，其中有 6 座位於中國，另 1 座則位於印度（Kudankulam-6）。

資料來源：《世界核能產業現況報告》與國際原子能總署機組資訊系統，2022 年

註：

此一數字包括 2 座分別位於榮成 / 石島灣型號為 CAP1400 的反應爐，雖然官方尚未宣布開始興建（參見報告的中國焦點專節）。位於石島灣的高溫氣冷式反應爐核電廠自 2012 年以來動工興建，有 2 座反應爐模組，因此《2020 世界核能產業現況報告》已計入 2 座反應爐。首座反應爐於 2021 年 12 月 20 日併聯電網。並未有跡象顯示第二座機組已併聯電網（參見報告中國焦點專節）。

---

4 原文註釋 10。參見附件 3，以深入至 2022 年中全球 53 座興建中的反應爐的詳細說明。

➔ 截至 2022 年中，中國有 21 座興建中反應爐，佔所有興建中反應爐 40% ，係為迄今興建反應爐數量最多的國家。但是中國目前並未於海外任何地方興建。

➔ 身為技術供應商的俄羅斯極大程度主導國際市場，到 2022 年中，俄羅斯於全球正興建 20 座機組，其中只有 3 座在國內興建。其餘 17 座機組則在 7 個國家建造，其中中國和印度各有 4 座，土耳其則有 3 座。[5]入侵烏克蘭後，目前尚不確定制裁俄羅斯與其他隨之而來的地緣政治發展會為這些興建計畫帶來多大程度的影響。

➔ 除了俄羅斯國家原子能公司，只有法國和韓國的公司為在海外興建核電廠的主要承包商。

興建時程

➔ 對於正在興建的 53 座反應爐，自動工之時起計算的平均時程為 6.8 年，略低於 2021 年中統計的 7 年平均水平。

➔ 15 個國家中至少有 10 個國家，興建中的所有反應爐都經歷為期一年的延宕。

➔ 所有興建計畫中至少有半數（26 座）遭遇延宕。其中至少有 14 座經通報再添延誤，另有 2 座在過去一年中則宣布新的延宕。

---

5 原文註釋 11。土耳其的 Akkuyu 場址於 2022 年 7 月 21 日動工興建第四座機組，參見《世界核能產業現況報告》，〈土耳其的 Akkuyu-4：俄羅斯核工業一周內第二次動工，總之 4 座〉，2022 年 7 月 24 日，參見 https://www.worldnuclearreport.org/Akkuyu-4-in-Turkey-Second-Construction-Start-in-a-Week-for-the-Russian-Nuclear.html，網頁瀏覽日期：2022 年 9 月 9 日。

- ➔《2020 世界核能產業現況報告》指出，共有 19 座反應爐擬於 2021 年啟動，2021 年初時，仍有 16 座反應爐擬於當年度併網，不過其中僅有 6 座如期完成，而其他 10 座反應爐啟動時間則至少延遲到 2022 年。
- ➔ 斯洛伐克的 Mochovce-3 和 Mochovce-4 兩個計畫的興建年度可追溯至 37 年前，併網時間更是一延再延。早在 45 年前，伊朗的 Bushehr-2 於 1976 年開始興建，並於 2019 年再度興建，目前計劃於 2024 年併網。

- ➔ 另有 6 座反應爐列於「 興建」狀態的期間已超過 10 年或更久：原型快中子增殖反應爐、印度的 Kakrapar-4、 Rajasthan-7 與 Rajasthan-8 反應爐、日本的島根 3 號反應爐，而法國則有 Flamanville-3 反應爐（FL3）。今年法國與印度的計畫再次延宕，日本的反應爐甚至尚未暫定啟動日期。

開始動工

- ➔ 有 10 座反應爐於 2021 年起始建造，其中有 6 座位於中國。其他 4 座則是由俄羅斯國家原子能公司於印度（2 座）、土耳其以及在俄國國內施造。中國的兩個興建計畫亦為俄羅斯所承包。換言之，全球開始動工的 10 座反應爐中，即有 6 座反應爐是由俄羅斯所設計建造，另外 4 座則為中國核工業所設計。

- ➔ 自 2022 年上半年開始興建的 3 座反應爐全數位於中國，當中有 2 座係由俄羅斯所設計。

- ➔ 自 2020 年初至 2022 年中的 30 個月期間，全球開始動工的 18 座反應爐全由中國和俄羅斯政府所擁有或所控制的公司建造。

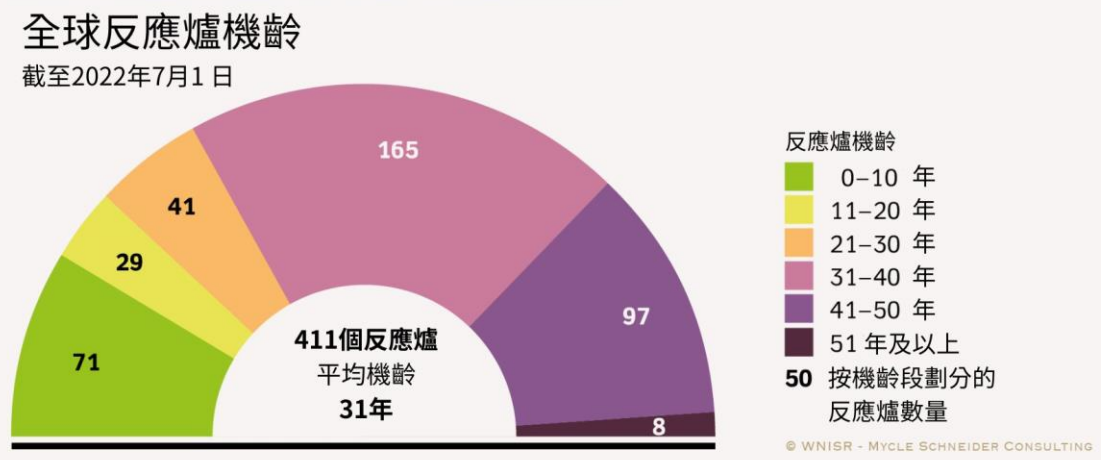
運轉機齡

➔ 自 1984 年以來，運轉中的核電廠（自併網時起算）的平均機齡持續增加，至 2022 年中時為 31 年。

➔ 佔世界核電機組 2/3 的 270 座反應爐，已然運轉 31 年或更長期間，其中有 105 座至少運轉了 41 年，即每 5 座就有 1 座。

➔ 如果目前已獲准的延役和執照更新皆得以持續，所有興建計畫得以完工，加上所有其他機組運行 40 年（除非另行宣布確定更早或更晚的關閉日期），在邁向 2030 年的 10 年內，運轉中反應爐數量的淨平衡最快將於 2024 年轉為負值，這代表必須有另外 110 座新反應爐（83.5 GW）啟動或重啟以取代遭到關閉的反應爐，亦即每月增加 1 座機組或 0.7 GW。這表示過去 10 年的興建率必須加倍，在 2030 年前由每年 6 座增加至 12 座。

圖十五：全球運轉中反應爐機齡分佈



資料來源：《世界核能產業現況報告》與國際原子能總署機組資訊系統，2022 年

重點國家

本報告所深入探究的以下 10 個國家佔核電國家總數的 30%，這些國家運作為數達到 2/3 的全球反應爐。 以下為 2021 年和 2022 年上半年的某些關鍵發展：

中國。核電發電量增加 11%，並穩定地佔總發電量的 5%。在此同時，風電容量增加 40%，太陽能發電則增加 25%。中國尚未實現原定的 2020 年核電營運容量目標，並與原先的 2025 年 70 GW 目標相去至少 9 GW。

芬蘭。自 2005 年開始興建該國的第 5 座反應爐，即歐陸第一座壓水式反應爐 ，該機組最終於 2022 年 3 月啟用，相較於原定計畫延後 13 年。不過反應爐的委託案卻因一系列的「 意外 」事件，使發展一波三折 。後續由俄羅斯設計的 Hanhikivi 計畫，在俄國入侵烏克蘭後遭到取消。

法國。核能發電量於 2020 年下降 12% 後，2021 年核電發電量增加 7.5%。2021 年 12 月首次在最大和最新型的反應爐之安全注入系統中發現應力腐蝕龜裂。後來檢測其他機組時也發現類似情況。[6]由於老化問題、依現行規範更新設備、每 10 年一次的大檢修，乃至於依據安全機關所要求的升級，均使得反應爐必須停機，而加上應力腐蝕龜裂事件更延長停機時程。2022 年核能發電量將隨之下降，達到 1990 年以後就未曾見過的水平。政府已宣布重新國有化即將面臨破產的核電業者 EDF。

德國。核電發電量在 2020 年下跌 14% 後，其後又增加 7.4%。根據具有法律約束力的核電退場時程，3 座反應爐已於 2021 年底關閉，其餘 3 座反應爐則

6 原文註釋 12。截至 2022 年 9 月 21 日，有 15 座反應爐受到調查或維修的影響。

計劃於 2022 年底關閉。因此，核電佔比在 2022 年上半年已降至 5.6%。因持續發展的能源危機所觸發，關於延役或延長剩餘 3 座機組營運年限的爭議正出人意表地展開。政府已提出其中 2 座機組進入備用狀態，直到冬季於 2023 年 4 月中旬結束。

印度。核能發電自 2019 年以來略為下降，佔總發電量的 3.2%。8 座反應爐被列為興建中，其中有 4 座係由俄羅斯所設計。與此同時，風能和太陽能則是持續成長，分別貢獻超過 150% 的核電發電量。

日本。自發佈《2021 世界核能產業現況報告》以來，有 1 座反應爐自長期停機後重啟，並未計劃關閉反應爐。核電的發電量增加 42.2%，卻只提供該國 7.2% 的電力。不過 10 座獲得許可的機組中，至 2022 年 7 月僅僅有 7 座發電。基於擔憂用過燃料棒的儲存安全和海嘯防護的水準，北海道地方法院做出一項史無前例的判決，禁止島上僅有的 3 座反應爐重啟。

韓國。核電發電量略為下降，提供 27.5% 的電力。新任政府的明確目標係為轉變汰除核電的長期政策（而非計畫限制），並考慮使核電作用較為吃重，從而降低再生能源的佔比。在經濟合作暨發展組織所有會員國的電力結構中，韓國的再生能源佔比已然為最低。

臺灣。2021 年中關閉 1 座反應爐後，核電發電量下降了 11.6%。臺灣遵循非核計畫，將於 2025 年關閉其餘的 3 座反應爐。反對人士和核電遊說團體試圖以公投推翻非核政策並再次動工建造位於龍門的 2 座反應爐，但該公投於於 2021 年 12 月失敗。再生能源僅貢獻 4.2% 的電力，到目前為止，只有太陽能光伏迅速發展，全年新增的裝置容量為 1.9 GW。

英國。核電計畫的衰退速度較預期的還要快。自 2021 年 6 月以來已經關閉 2 座反應爐，並決定關閉另外 2 座自 2018 年以來並未發電的機組。核電在全國電力生產的佔比為 14.8%，低於 1997 年的 26.9%。再生能源在過去 20 年大幅成長，從 2001 年佔比 2.5% 上升至 2021 年的 39.6%，至於煤炭在過去 10 年中則自 39.2% 的佔比下降至 2.6%。欣克利角 C 的核電興建計畫持續面臨成本超支和時程延誤。

美國。核電發電量於 2019 年達到顛峰，之後到 2021 年時累計減少 3.9%；核電在商業發電的佔比下跌至 18.9%，此為自 1995 年達到顛峰後的最低水平。美國的機組數量仍然為全球最多，擁有 92 座，此亦為世界上最老舊的核電機組群之一，平均機齡為 41.6 年。沃格特爾（Vogtle）核電廠場址所僅有的 2 座興建中的反應爐成本，估計現已超過 300 億美元。聯邦層級和州層級均就無法合乎經濟運轉的反應爐和新核電計畫實施補貼。涉及新反應爐與核電補貼案的 3 項嚴重貪汙和詐欺調查仍在持續進行，並牽涉政治人物、公用事業和業界高層。

福島現況報告

2011 年 3 月 11 日東日本大地震所引發的福島第一核電廠災難，至今業已歷時 11 年，此事件在本報告中稱之為 3/11。目前情況仍非常不穩定。

場內和場外挑戰概述

場內挑戰

清除用過的燃料棒。3 號機組池中用過燃料棒的清除工作於 2021 年 2 月完成。1 號機和 2 號機的清除準備工作才剛開始，最早擬於財政年度 2024 年開始清除。

爐心冷卻。2022 年 3 月 16 日發生 7.4 級地震後，3 座反應爐槽的水位全都下降。因而再次提高注水率。

燃料碎片清除，前次期程定於 2021 年由 2 號機組開始清除，卻「由於新冠肺炎疫情蔓延而延誤大約一年」，此時程在裝置於遠距操作車輛上的攝影機發生影像傳輸遺失後再受延誤。目前尚未設定清除碎片的新時間表。

污水管理。為繼續冷卻燃料碎片而持續注水，高度污染的水自破裂的圍阻體中流出，再進入地下室，並與從地下河滲入地下室的水在此混合。各種措施已使進水量從每日 500 立方公尺降低至大約每日 130 立方公尺。等量的水經部分除污後貯存於容積為 1,000 立方公尺的儲水槽。因此，幾乎每週就需要一個新的儲水槽。

大約 130 萬立方公尺經處理過的水貯存於 1,020 個儲水槽中。容積飽和度在 2022 年 7 月 28 日已達到 96%，故現有儲水槽之容量將於 2023 年夏季或秋季前達到飽和。

安全部門業已同意業者東京電力公司排放污水入海的計畫。約莫 3/4 的水必須再次處理，再稀釋至少 100 倍，其後經由 1 公里長的海床下隧道釋出。這項行動為期至少 30 年。此一計畫在海內外皆飽受爭議。

場外挑戰

數以萬計撤離者的未來、食品污染，乃至於除污廢棄物的管理仍為場外的重大挑戰。

撤離者。 截至 2022 年 3 月，福島縣仍有約莫 32,400 位居民經歷撤離者的生活，相較於 2012 年 5 月接近 165,000 人的高峰，人數已減少。一個經指定為

「難以返回」區域（即高輻射水平的區域）的撤離命令，首次於 2022 年 6 月解除。不過卻只有 4 戶人家共 8 人表達返回該地區的意願。福島核電廠所在的大熊町的部分地區，首次解除疏散命令。只有 3.6% 的居民返回。在解除整個城市地區疏散命令後，返回率會高得多，約莫為 62%至 85%。

食品污染。根據官方統計，2021 財政年度共分析 41,361 個樣本，其中 157 個樣本超過法定上限（較前一年度增加 30 個，佔總數的 0.4%）。有 14 個國家至 2022 年 2 月仍然就日本食品設下進口限制，但已低於 54 個國家的高峰。英國於 2022 年 6 月取消了進口限制。

除污和污染土壤管理。福島縣暫存區的污染土壤目前正轉移至於 8 個區域的中期貯存設施，至 2022 年 8 月底為止，大約有 1,330 萬立方公尺的污染土壤已移至此類中期貯存設施。政府就污染土壤的最終處置，在法律上責無旁貸。

健康問題和法律案件。經診斷自孩童時期罹患甲狀腺癌的 6 名男女，史無前例地於 2022 年 1 月對東京電力公司提出集體訴訟，要求 540 萬美元的賠償。日本最高法院於 2022 年 3 月命令東京電力公司賠償 3,700 名受災人員，然而卻於 2022 年 6 月的一項判決中，排除政府在這樁災難的責任。東京地方法院於 2022 年 7 月要求東京電力公司的 4 名前高層支付公司 13 兆日元的賠償金，即 950 億美元。此案由東京電力公司股東群所提告，該判決係為法院頭一遭認定，前管理高層應就核災負起責任。

除役現況報告

隨著越多的核子設施走向預定營運年限的終點，或因經濟情況惡化而必須關閉，除役現已成為一項關鍵挑戰（請注意，放射性廢棄物管理的現況不在本次分析的內容）。

➔ 關閉的核子反應爐數量於 2021 年底時超過 200 座，到 2022 年中期達到 204 座，裝置容量為 97.4 GW，較前一年增加 8 座。182 座機組正在等待除役或處於不同的除役階段，較前一年多出 5 座。

➔ 只有 22 座或佔比 11%的機組完全除役，較前一年多出 2 座：17 座位於美國，4 座位於德國，日本則有 1 座。[7] 所有已關閉的反應爐當中，只有佔比 5%的 10 座業已復原成為綠地，可供人不受限制地使用。

➔ 平均除役期程約莫為 21 年，期程落差極大，自 6 年至 45 年不等。（這兩個極端案例的額定功率很低，分別為 22 MW 和 63 MW 的反應爐。）

➔ 在 23 個關閉反應爐的國家中，只有 3 個國家完成至少 1 座反應爐的技術除役過程：美國（17 座）、德國（4 座）與日本（1 座）。

➔ 針對 11 個主要核電國家的分析指出，這些國家所關閉的反應爐佔所有已關閉反應爐的 85%，除役進展仍然緩慢：在處於各種不同階段的 146 座機組中，66 座現為「準備階段」，24 座為「熱區階段」，11 座處於「緩和階段」，45 座現今則為「長期封閉」階段。

➔ 英國、法國、俄羅斯與加拿大等早期投入核電發展國家中，尚未有任何 1 座反應爐完全除役。

---

7 原文註釋 13：有別於先前《世界核能產業現況報告》的分類視 Gundremmingen-A 為完全除役，該核電廠因為工作尚在進行，應列為除役之「緩和階段」。

潛在新進國家

孟加拉和土耳其這兩個潛在的新進核電國家在 2022 年中時皆有興建中的核電機組，埃及則緊接其後開始興建。所有這類計畫皆由俄羅斯核工業所施作。戰爭制裁和其他潛在的地緣政治發展，將對這類計畫帶來哪些影響尚未可知。

奈及利亞、波蘭或沙烏地阿拉伯等其他國家或多或少都有先期計畫，不過截至目前為止，既未選定設計，亦未提出確定的融資方案。包括印尼、約旦、哈薩克、泰國、烏茲別克與越南在內的數個國家，已經暫停或取消先前計畫。某些關鍵進展如下：

孟加拉。2 座由俄羅斯所設計的反應爐自 2017 年、2018 年以來開始興建。2 座機組擬於 2023 與 2024 年啟動。核電廠的安全和安防議題在該國受到廣泛關注。

埃及。儘管烏克蘭發生戰爭，不過首座由俄羅斯所設計的核電廠已於 2022 年 7 月 20 日在艾爾達巴（El-Dabaa）基地動工興建。

奈及利亞。該國與多國簽署核電合作協定，並考慮開發容量達 4 GW 的核電。然而計畫仍混沌不明，既未選定設計者或供應商，亦未做出投資決定。

波蘭。該國於 1986 年車諾比事故後放棄 2 座興建中的反應爐。從此以後，又多次嘗試使該計畫死灰復燃 。2021 年 12 月，位於波美拉尼亞（Pomerania）的哈切澳（Choczewo）一地獲選成為首座核電廠址。然而，該計畫既未決定反應爐設計者，也未選定供應商，更遑論確保融資方案。

沙烏地阿拉伯。該國於 2013 年宣布將部署 18 GW 的核電計畫，並於 2022 年開始運作首座反應爐，不過兩者均未實現。沙國政府終於在 2022 年 5 月邀請

中國、法國、俄羅斯、韓國等國家，就建造 2 座 1,400 MW 的反應爐投標（MW 係指百萬瓦）。

土耳其。該國於 1976 年選定阿庫育（Akkuyu）場址，但執行該計畫之多次嘗試均告失敗，直至 2010 年與俄羅斯達成協議，預計興建 4 座於 2019 年開始運轉的反應爐。在幾經拖延後，這 4 座機組於 2018 年至 2022 年間開始興建。4 號機組的興建始於 2022 年 7 月，當時烏克蘭正處於戰火中。土耳其當局期望 1 號機組能於 2023 年土耳其共和國建國百年時併聯電網。

小型模組化反應爐

在早先各年度的《世界核能產業現況報告》評估小型模組化反應爐的發展狀況與前景後，本年度的更新並未顯示任何重大進展，不過，媒體關注程度與某些額外的公共資金承諾有增加。
各國情況：

阿根廷。CAREM-25 計畫自 2014 年以來一直持續興建。歷經多次延誤，最新的啟用年度預計為 2027 年。安裝每度電成本估算的下限，已約當於最昂貴的第三代反應爐之兩倍成本。

加拿大。聯邦政府和省政府繼續大力支持推廣小型模組化反應爐。雖然對不同設計開發商的撥款已經達數到千萬美元，但相較於使該等設計獲得施工許可所需要的金額相比，猶如杯水車薪。目前尚未有任何設計已呈送安全機關審查，更遑論獲得認證。

中國。兩個高溫反應爐模組始建於 2012 年。首座模組於 2021 年 12 月併聯電網數日，比原定計畫延遲近 5 年。據報導指出，這些機組均未發電，原因不

明。第二種設計之模組 ACP100，又稱為玲瓏一號，於 2021 年 7 月依照設計動工，較原定計畫延宕 6 年，擬於 2026 年初完工。

法國。馬克宏總統於 2022 年 2 月宣佈將挹注 5 億歐元（5.59 億美金）於 Nuward 小型模組化反應爐設計的開發，直至 2030 年。然而，法國電力公司 EDF 卻明言，該計畫並非當務之急。

印度。該國自 1990 年代以來持續開發先進重水式反應爐（AHWR）的設計，但施工卻幾經延宕。政府於 2022 年初宣布「業已完成反應爐核發許可前的設計安全評估」。

俄羅斯。俄羅斯在名為羅蒙諾索夫院士（Akademik Lomonosov）的駁船上運作 2 座小型模組化反應爐，2 座反應爐於 2019 年 12 月併網，相較於原計畫落後了 9 年。其後這類機組表現平平 。第二個小型模組化反應爐計畫，即鉛冷快中子設計，於 2021 年 6 月展開。

韓國。該國自 1997 年以來持續開發系統集成模組化先進反應爐（The System-Integrated Modular Advanced Reactor，SMART）。該設計於 2012 年獲得安全機關的批准，不過卻一直未能獲得訂單。據報導，其他多項設計仍處於很早期的發展階段。

英國。自 2014 年以來，勞斯萊斯一直在開發「英國小型模組化反應爐」，此為功率 470 MW 的反應爐（超出一般小型模組化反應爐所定義的 300 MW 的尺寸限制）。勞斯萊斯於 2021 年 11 月宣布已獲得政府所挹注的 2.81 億美元和私人來源（包括公司資金）所提供的 2.61 億美元，這遠遠低於它早先所要求的 28 億美元支持。監管機關於 2022 年 3 月接受「通用設計評估」的設計。

美國。能源部已於小型模組化反應爐耗費超過 12 億美元，並宣佈會於未來 10 年內再進一步撥款，金額可能達到額外的 55 億美元。然而，尚未有任何 1 座反應爐開始施工興建，僅有 NuScale 的一款設計取得最終的安全評估報告。不過在此之後，該設計之容量從每個模組 50 MW 增加至 77 MW，許多問題仍待解決。8 個行政區於 2021 年 10 月退出猶他州唯一一項投資計畫，使得認購 6 個模組共 462 MW 的計畫僅只剩下 101 MW。成本估算（包括融資）已驟增至 53 億美元。

核電與戰爭

俄羅斯入侵烏克蘭帶來數起前所未有的事件，包含在大規模戰爭期間運作商業核電廠、商業反應爐的所在地遭受砲擊、敵軍佔領核子設施，乃至於反應爐在物理威脅下運作。世上從未有核電廠設計於這類條件下運轉。

反應爐與用過燃料棒冷卻池之脆弱

➔ 核電廠依賴持續運轉的冷卻系統，藉此以出反應爐心與用過燃料棒水池中的衰變熱，即便關閉反應爐時仍舊如此。

➔ 反應爐停止運作後，反應爐心仍會產生約莫 7% 的名目熱功率。衰變熱會隨期間先迅速遞減，嗣後緩慢遞減。一日後餘熱大約為 0.5%（以 1,000 MWe 電功率的反應爐而言，餘熱仍有 15MWth），而 10 日後餘熱仍有一半。

➔ 達到使用年限後，必須從反應爐心中退出用過的燃料棒，並置於裝滿水的冷卻水池。並且必須從池中永久排出餘熱，以防止燃料棒過熱。

➔ 未能排出殘餘的衰變熱會導致爐心熔燬或用過的燃料棒起火，這將可能大量洩漏輻射。

➔ 有效的冷卻鏈通常係由熱交換器與最終散熱器（如河流、湖泊或海洋等）所鏈結而成的 3 個冷卻迴路，這必須時時刻刻能從反應爐心與用過燃料棒的冷卻池中排出餘熱。

戰爭中的核電廠和用過的燃料棒儲存

戰時供電

➔ 某些國家高度仰賴核電。8 個國家在 2021 年間有超出 1/3 的電力源自於核電廠，烏克蘭之核電佔比為 55%。核電的佔比越高，要基於預警原則在戰時關閉所有反應爐就越發困難。

➔ 攻擊方可能意欲於短期內中斷遭攻擊國家的電力供應，不過，如果目標係為佔領受攻擊國的領土，長期而言則可能希望維持電力供應。無論如何，核電廠皆為戰略要地。

核電廠和核子武器

➔ 核子爆炸裝置可能包含鈽和 / 或高濃縮鈾作為裂變材料。

➔ 一般的商業核子反應爐不使用高濃縮鈾，儘管某些研究用反應爐、海軍用途與快中子反應爐會使用高濃縮鈾。

➔ 每座核電廠在一般運作時期，在燃料中會產出可供武器所使用的鈽。從高度放射性輻射燃料中分離出鈽需要遠距處理設備（大型熱室或再處理廠）。

➔ 攻擊方可能懷疑或影射特定敵方已然使用或計劃以核子反應爐產出核武計畫所需要的鈽。

以懼怕發生意外事故當成政治壓力的工具

➔ 核電廠在遭遇事故時會大量洩漏輻射。戰爭時期帶來的破壞可能導致類似的後果 。

➔ 攻擊方可以藉著威脅破壞核電廠來當作勒索，因為擁有核子設施的國家有必須維護公共衛生安全與環境的明顯利益。

核安在戰時所遭遇的多重間接威脅

無論是否有軍事理由佔領、奪回或以焦土政策摧毀核電廠場址，戰爭時期都可能存在種種意想不到但足以影響核安的原因。

➔ 因武器系統不夠精準而導致意外擊中核電廠。

➔ 軍事行動中所造成之附帶損害。

➔ 交戰雙方就影響核電廠安全之相關要素所知有限。

➔ 在生死攸關的戰鬥中，核安可能並非當務之急 。

➔ 核電廠場址可成為戰時護盾 ，因而成為堅不可摧的要塞。

核電廠的特殊弱點

核電廠是一複雜的工業設施。它們的安全運作取決於穩定的技術、人員、監管、政治與經濟環境。以往的核安研究視這類穩定條件為理所當然。
不過，無論是由事故或戰爭衝擊所引發，系統失靈所造成的後果卻是殊途同歸。

➔ 軍事砲火可能出於蓄意或誤擊，導致直接破壞安全相關零件。

➔ 某些重要的安全系統位於設計差異極大的反應爐建築群。雖然大多為堅固的建築物，但僅有極少數為真正掩體。

➔ 許多重要的安全系統位於其他傳統工業建築中，包含部分冷卻鏈、絕大部分的電源、變壓器、提供緊急電力的柴油發電機、發電機燃料、開關設備，乃至於控制室。

電力供應

➔ 電力供應的首要要求即為穩定連結電網。

➔ 冷卻鏈中大型幫浦的運作時時刻刻都需要電力。

➔ 在電網中斷時，緊急發電機可於短期提供維持冷卻系統運作所需要的最低限度電力，然而它們並非設計用以長期連續運轉。

➔ 關閉的核子反應爐無法經由柴油發電機重新啟動，必須要併聯電網方能重新運作。

➔ 在有多個機組的廠址，運轉中的單一反應爐可用來滿足自身與其他機組的基本電力需求（孤島模式）。但切換到孤島模式不僅頻繁失敗，也極不穩定。

冷卻水供應與其他重要基礎設施

➔ 冷卻裝置的運作，就如同可靠的電力供應一般，對核安都至關重要。

➔ 管路受阻、最終散熱器的連結損壞，乃至於幫浦入口遭碎片堵塞皆會危及冷卻裝置。

➔ 道路暢通無阻對於人員輪班、運送備用零件、外部人員之進入，乃至於消防等緊急服務至關重要。

嫻熟的作業人員

➔ 反應爐操作人員係由特定核電廠所培訓，無法輕易由其他電廠的操作人員所取代，包括來自攻擊方國家的操作人員。

➔ 在戰爭時期，工作人員無法確定可否於輪班結束時離開廠區，這類不確定性會增加他們的壓力。

➔ 在槍口下運作核子設施易導致即便是標準安全程序，亦淪為次要問題。

➔ 員工可能遭人剝奪手機等常用通訊工具，進而限制他們與同事、主管和主管機關交換意見的能力。在槍林彈雨的戰區中，無法確知家人和朋友的安危會進一步帶來更多壓力。

維護

➔ 定期維護不可或缺，包含更換零件的運送和安裝，其中某些零件可能必須向國外供應商訂購。

➔ 年度停機時期通常牽涉眾多分包廠商的協作。這些公司可能不欲或無法派遣員工至戰區或遭到佔領的核電廠。

檢查

➔ 國內主管機關人員或其他第三方的檢查是維持核安不可或缺的部分。在戰爭條件下可能難以執行這些檢查。

➔ 國際組織如國際原子能總署依據國際法會享有一定的檢查權限。若非在一般情況下實施，恐怕會難以落實。

用過燃料棒貯存設施的特殊弱點

➔ 所有核電廠都有用過燃料棒的儲存池，有些在反應爐機房內，有些則位於其他且不甚堅固的建築物內。

➔ 雖然用過燃料棒的冷卻池在圍阻體內可以受到保護，不過一旦反應爐發生嚴重事故，亦有可能波及冷卻池。

➔ 用過燃料棒的冷卻池，尤其是為數個反應爐所設立的集中池裡，包含相當於數個，乃至於數十個反應爐爐心，因此積蓄極大的放射性儲量。

➔ 經過幾年的冷卻後，可以移出用過的燃料棒到乾式貯存桶裡。這個階段以氣流排出餘熱，不需要主動冷卻系統。

➔ 水池毀壞或電力和冷卻水供應中斷：

- 水池的冷卻鏈可能會中斷，這會造成冷卻水逐漸蒸發，燃料將於數日或幾週內露出水面。

- 如果水池本身損壞或遭人摧毀，水就會流失。這可能會使燃料自燃並且釋放出大部分放射性物質。

- 電力供應中斷將導致冷卻鏈無法照常運作。相較於反應爐爐心冷卻，寬限期要長得多，但最終仍會導致燃料摧毀。

可能的輻射釋放機制和情境

核電廠

➔ 運作中核子反應爐的爐心冷卻中斷後，會在不到 1 小時乃至幾小時內造成爐心熔燬事故。關閉的反應爐亦會發生熔燬，延遲時間取決於各種參數，尤其是關閉後所經歷的時間。

➔ 在爐心熔燬過程中，會形成可能爆炸的氫氣（參閱福島事件）。

➔ 如果圍阻體遭受破壞，譬如在戰時遭受軍事攻擊，爐心熔燬會洩漏絕大部分輻射儲量至環境中。

用過燃料棒的貯存

➔ 池中用過燃料棒的冷卻中斷會導致冷卻水逐漸蒸發，直至露出部分或全部燃料元件。接著燃料會升溫，直至燃料束包覆層遭破壞並且朝環境中洩漏輻射。溫度更高時，則會形成爆炸性氫氣。當強烈加熱的包覆層材料暴露於空氣中，也可能著火。在此情境下，絕大部分的放射性儲量會洩漏到環境中並造成大量污染。

➔ 在乾式貯存設施的情況下，只有破壞貯存桶的完整才會造成戰爭所引發的輻射釋放。除非是由彈藥所引發的用過燃料棒火災，多數乾式貯存桶遭到破壞的情境中會造成具有地理侷限的輻射效應。

烏克蘭戰爭時間軸

➔ 值得注意的是，本報告的核電與戰爭章節於 2022 年 5 月起草。不幸言中的程度發人深省，由報導中得知，許多假設，已於幾個月後在烏克蘭戰爭中成為事實。

➔ 戰爭形勢下，難以查核部分報導所稱千真萬確之事究竟是否誇大或不實。因此，我們並未嘗試就烏克蘭的核子設施本身及廠內所遇之事提出客觀說法。

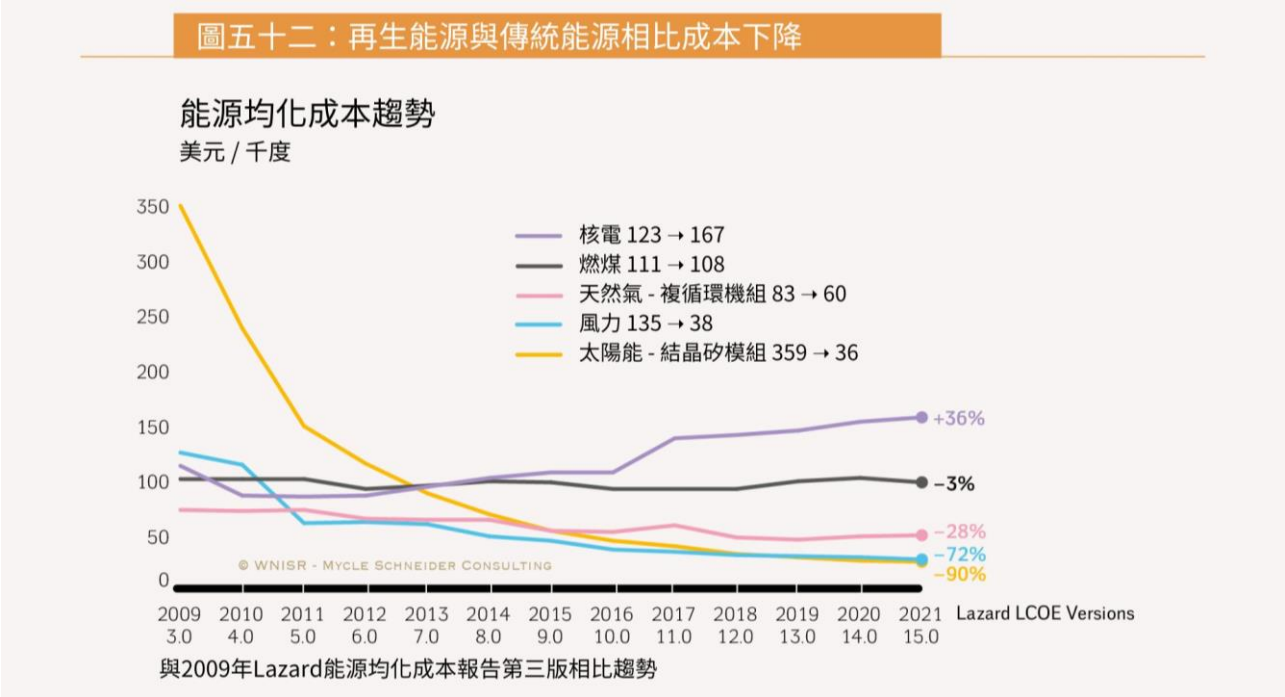
➔ 不過，仍應該就事態發展提出某些見解。因此，我們編製自 2022 年 2 月 24 日至同年 9 月 13 日的時間軸，完全根據兩個機關的資訊：烏克蘭國家核子監管檢查局（the State Nuclear Regulatory Inspectorate of Ukraine）和國際原子能總署。雙方在此衝突中皆非中立，因此需要審慎因應。

核電對比再生能源部署

自《2021 世界核能產業現況報告》發布以來，該年度的氣候變遷、能源安全、核電，乃至於再生能源皆深具意義，氣候變遷成為重大政治議程，而在 2021 年下半年能源危機已醞釀形成 。顯然，烏克蘭事件已於 2022 年主導相關事件發展，這些事件大幅影響短期和中期能源政策的決策。

投資。2021 年，挹注於非水電再生電力容量的投資金額達到創紀錄的 3,660 億美元，此金額為記錄在案的全球核電廠興建投資決策的 15 倍，然而核電廠的投資較前一年度增加約莫 1/3，達到 240 億美元，容量 8.8 GW。太陽光電投資驟增 37%，達到 2,040 億美元，風力電廠投資則是增加 2.8%，達到 1,460 億美元。個別來看，太陽光電投資的金額是核電投資決策金額的 8.5 倍，而風力投資金額則為核電投資的 6 倍。

成本。美國拉扎德銀行所作的均化能源成本（Levelized Cost of Energy）分析顯示，公用事業規模的太陽光電成本在 2009 年至 2021 年間下降了 90%，風能成本則下降 72%，但是新的核電成本卻增加 36%。差距仍持續擴大。據國際再生能源總署所作的估計，風電的均化能源成本自 2020 年至 2021 年間下降 15%，太陽光電則是下降 13%，國際再生能源總署並算出全球現有 800 GW 燃煤電廠之營運成本，高於新的公用事業規模太陽光伏發電與新的陸域風電。



資料來源：2021 年拉札德公司評估報告

註：

LCOE 為均化能源成本分析

*本圖所顯示的特定均化能源成本分析係為未經補貼之高與低均化能源成本的平均值。本圖主要與北美地區的再生能源成本趨勢相關，但同時反映總體 / 全球成本。

裝置容量。2021 年，風能新增裝置容量為 92 GW，太陽光伏裝置容量則增加 138 GW，此事在達成 257 GW 非水力再生能源併網的全球新紀錄上厥功甚偉 。相較於這些數字，核電發電量則淨減少 0.4 GW。

發電。全球風力發電在 2021 年的成長率為 17.0%（2020 年時為 11.9%），太陽光電成長率為 22.3%（2020 年為 20.9%），而核電成長率則為 3.9%（於 2020 年下跌 4%）。

在電力結構中的佔比。2021 年僅風能和太陽能在發電量的佔比就達到 10.2%，它們所提供的全球電力首次超過 10%，並超過核電的貢獻，核電佔比下降至 9.8%。此為 40 年以來核電佔比首次低於 10%。非水力發電較核電高出 30.6%。此一差距正擴大。

中國。基於再生能源的總發電量在 2021 年的增加速度超過任何的其他能源，風能發電量為 656 TWh，太陽能發電量為 327 TWh，相較之下核能發電量為 407.5 TWh，而淨發電量為 383 TWh，水力發電量為 1,300 TWh。因此，風機所產出的電力較核子反應爐的發電多出 71%，而太陽光電發電量僅低於核電發電量的 15%。

歐盟。2021 年，歐盟的再生能源發電量達到 1,068 TWh 的新紀錄，佔歐盟電力生產的 37%，相較於 2019 年增加 9%（增加 88 TWh），2019 年佔比為 34%。相較之下，核電總發電量為 733 TWh（淨發電量為 699 TWh），較前一年度增加大約 7%，然而相較於 2019 年大約下降 4%（減少 32 TWh）。核電於 2021 年度佔歐盟電力生產的 26%。

印度。該國太陽光電裝置容量於 2021 年底達到 49.7 GW，首次超過風電裝置容量的 40.1 GW。風電發電量自 2016 年以來便已超過核電。太陽光電則是於 2018 年超過核電，至 2021 年時更超越風電。風能和太陽光電各自產出 68 TWh 的發電量，總量為核電的 3.4 倍。核電發電量自 2019 年以來持續微幅下降。

美國。風力發電裝置容量於 2021 年增加創紀錄的 17 GW，太陽光電增加 15.5 GW。風力發電量成長 13%，太陽光電發電量則是上升 25%，然而核電發電量卻降至 2012 年以來的最低水平。再生能源提供 14%的商業電力，而核電貢獻不到 20%的電力。

核電與戰爭

烏克蘭戰爭時間軸

本章所描述的風險截至目前為止皆為理論假設，但足以使這些假設成真之事與近來在烏克蘭發生的事件相去不遠。值得注意的是，核電與戰爭章節於2022年5月起草。本文不幸言中的程度值得令人警惕，許多推理而得的假設，據報導指出，已於其後幾個月在烏克蘭戰爭中成為事實。

處於戰爭形勢下，對於部分報導所稱千真萬確之事，究竟是否誇大或是不實，尤其難以核實。交戰各方和與其往來的組織和個人各有利益，相關再現（representation）因而不必然客觀。

因此，本篇報告並未嘗試就烏克蘭的核子設施本身及廠區內所遇之事提出一客觀說法。不過仍應就相關局勢發展提出一些見解。因此，我們完全根據兩個來源編制時間軸：烏克蘭國家核子監管檢查局和國際原子能總署。雙方在此衝突中皆非中立，因此皆須審慎因應。其中部分陳述為節錄，但所有轉載於此的引用皆未經過任何修正，包括更正措辭、拼字或語法中任何看似紛歧或明顯不一致之處。

（略）

時間軸

注意：這些是依照國際原子能總署與烏克蘭國家核子監管檢查局所公布的官方聲明時間先後順序而列的輯要。

國際原子能總署 2022年2月24日國際原子能總署署長關於烏克蘭局勢的聲明。[8]

國際原子能總署署長拉斐爾．馬里亞諾．葛洛西今日表達，國際原子能總署密切關注烏克蘭的局勢，他並呼籲各方極力克制，避免採取任何可能危及該國核子設施的行動。

署長表示，國際原子能總署當下恪遵該組織職掌，密切監測烏克蘭的局勢，並且尤為關注該國核電廠和其他核子相關設施的安全與安防。

「.....署長強調，國際原子能總署大會於2009年所通過的一項決議指陳，大會即是該組織所有會員國的年度會議，『任何武裝攻擊與威脅用於和平目的的核子設施，均構成違反《聯合國憲章》的原則、國際法，乃至於國際原子能總署之規章』」。

（2022年2月25日略）

[8]原文註釋1043　國際原子能總署，〈國際原子能總署署長關於烏克蘭局勢的聲明〉，第9/2022號新聞稿，2022年2月24日，2022年3月13日更新，參見 https://www.iaea.org/newscenter/pressreleases/iaea-director-general-statement-on-the-situation-in-ukraine，網頁瀏覽日期：2022年7月18日。

國際原子能總署 2022年3月2日第6號更新報導，國際原子能總署署長關於烏克蘭局勢的聲明。[9]

署長拉斐爾．馬里亞諾．葛洛西今日表述，俄羅斯已通報國際原子能總署，該國軍隊已然控制烏克蘭扎波羅熱核電廠周圍的領域。
（略）

「扎波羅熱核電廠是烏克蘭最大的核電廠，該國15座核子反應爐的其中6座位於該處.....」。

（略）

烏克蘭國家核子監管檢查局 2022年3月4日6時整關於扎波羅熱核電廠現況的公告。[10]

俄羅斯聯邦軍隊於2022年3月4日凌晨1點左右，開始砲擊扎波羅熱核電廠所在地，導致扎波羅熱核電廠廠區起火。

扎波羅熱核電廠核電發電機組完好無損，1號機組輔助廠房雖受損壞，不過並不影響機組安全。影響核電廠安全的關鍵系統與零件現仍持續運作。

---

[9]原文註釋1045國際原子能總署，〈第6號報導： 國際原子能總署署長關於烏克蘭局勢的聲明〉，第15/2022 號新聞稿，2022年3月2日，參見 https://www.iaea.org/newscenter/pressreleases/update-6-iaea-director-general-statement-on-situation-in-ukraine，網頁瀏覽日期：2022年7月18日。

[10]原文註釋1046 烏克蘭國家核子監管檢查局，〈2022年3月4日6時整關於扎波羅熱核電廠現況的消息公告〉，2022年3月4日6時，參見 https://snriu.gov.ua/en/news/information-notice-zaporizhzhia-npp-status-04-march-2022-0600，網頁瀏覽日期：2022年7月18日。

「……輻射情況現今尚無任何改變……」。

發電機組現況：

▹ 1號機組目前停止運作。

▹目前正在冷卻2、3號機組核子設施。

▹ 4號機則以690MW 的功率運作。
▹目前正在冷卻5、6號機組核子設施

2022年3月4日15時整扎波羅熱核電廠更新消息。[11]
經歷埃內爾霍達爾（Enerhodar）街頭激戰後，歐洲最大的核電廠，即扎波羅熱核電廠，已遭俄羅斯聯邦軍隊所佔領。

扎波羅熱核電廠工業場址遭受砲擊的結果

-扎波羅熱核電廠1號機的反應爐槽建築受損；

-2枚砲彈擊中乾儲用過燃料棒設施的區域。

這類核子設施之結構與系統受損程度，以及對安全的影響，必須依據運轉核電組織特別檢修的全面檢查結果，才有辦法再行評估。

（略）

[11]原文註釋1047 烏克蘭國家核子監管檢查局，〈2022年3月4日15時關於扎波羅熱核電廠的更新消息〉，2022年3月4日，參見 https://snriu.gov.ua/en/news/updated-information-about-zaporizhzhia-npp-1500，網頁瀏覽日期：2022年7月18日。

在俄羅斯佔領扎波羅熱核電廠場址之時，當時輪值的作業人員被迫持續在該場域連續執勤超過24 小時。扎波羅熱核電廠人員並無傷亡。部分人員則因壓力接受醫療照顧。

國際原子能總署 **2022年3月6日第13號更新報導，國際原子能總署署長關於烏克蘭局勢的聲明。**[12]

署長拉斐爾．馬里亞諾．葛洛西表示，烏克蘭今日通知國際原子能總署，儘管正規作業人員持續運作扎波羅熱核電廠，但該核電廠管理階層現在必須服從自上周起控制該場址的俄軍指揮官所下達的命令。

此外，烏克蘭告知國際原子能總署，核電廠管理階層的任何行動，包括關於6座反應爐機組的技術操作，皆必須經由俄羅斯指揮官事前批准。

署長表達嚴重關切此一事件的情勢，因為這已違反他於3月2日國際原子能總署理事會上，針對烏克蘭局勢之核安、安防、以及防患未然的討論中，提出不可或缺的七大支柱原則之一。

支柱三說道：「作業人員必須能夠在免於不當壓力之情況下，履行其安全和安防職責，並做出決策」。

（略）

葛洛西署長再三強調作業人員得以休息之重要性，唯有如此他們方能安全無虞地執行必要工作。

---

[12]原文註釋1048 國際原子能總署，〈第13號報導，國際原子能總署署長關於烏克蘭局勢的聲明〉，第22/2022 號新聞稿，2022年3月6日，參見 https://www.iaea.org/newscenter/pressreleases/update-13-iaea-director-general-statement-on-situation-in-ukraine，網頁瀏覽日期：2022年7月18日。

他表示，「本人呼籲，為了安全與安防起見，凡是有效控制車諾比核電廠之人，應即刻允許該處作業人員的輪替」。
「.....監管機關表示，另一個令人擔憂的形勢是，與港口城市馬立波所有使用第一類至三類輻射源之企業與機關的通訊已經中斷，關於現況的消息更付之闕如。如果未能嚴加守護和管理，這類放射性物質可能會使民眾遭受嚴重傷害.....」。

烏克蘭國家核子監管檢查局 2022年3月7日關於扎波羅熱核電廠的更新消息。[13]

（略）

2022年3月6日16時6分，扎波羅熱境內的瓦西里夫卡地區的750kV 高壓電線在激戰中遭損毀斷線。

「.....依據現今由俄羅斯軍隊所控制的扎波羅熱核電廠管理階層所述，作業人員遵照操作程序的要求，監控發電機組的情況，並確保機組安全運作.....」。

武裝敵軍與重型裝備據守扎波羅熱核電廠和埃內爾霍達爾，從而施加核電廠人員和民眾的心理壓力。

鎮上的行動數據中斷連線，大多數網際網路供應商都無法作業，再加上食物問題。這些皆使核電廠作業人員惶惶不定，摧挫核電廠的核子與輻射安全保障。

[13]原文註釋1049 烏克蘭國家核子監管檢查局，〈關於扎波羅熱核電廠的最新消息〉，2022年3月7日，參見 https://snriu.gov.ua/en/news/updated-information-about-zaporizhzhia-npp-znpp，網頁瀏覽日期：2022年7月18日。

烏克蘭國家核子監管檢查局 2022年3月8日11時更新，車諾比核電廠的設施。[14]

（略）

尚未恢復車諾比核電廠的鐵路和機動交通。
330kV 高電壓的「森林站」尚未恢復運作。

由於遭佔領，必須由日間人員在車諾比核電廠設施系統和設備所執行的預定活動、維護以及修理，自2022年2月24日起已停止。此外，涉及合約當事組織所從事的活動亦停止執行。

烏克蘭國家核子監管檢查局 2022年3月12日扎波羅熱核電廠現況報導。[15]

扎波羅熱核電廠與埃內爾霍達爾市仍受到俄羅斯軍事部隊所控制。

發電機組的現今情況維持不變：2座機組運轉中；2座機組維修中，其餘的則為關機模式。在敵人佔據領土的情勢下，1號機停機和6 號機變壓器之緊急維修正以扎波羅熱核電廠現今尚有的餘地與手段下繼續進行。

（扎波羅熱與南頓巴斯）兩條750 kV 高壓線仍舊未能連接，目前已採取措施以期恢復受損高壓線路的運作。此一問題係因線路損壞地區的猖獗敵對行徑，故而變得更加棘手。

---

[14]原文註釋1050 烏克蘭國家核子監管檢查局，〈車諾比核電廠設施至2022年3月8日11時整的最新情況〉，2022年3月8日，參見 https://snriu.gov.ua/en/news/chnpp-facilities-situation-update-08-march-2022-1100，網頁瀏覽日期：2022年7月18日。

[15]原文註釋1051烏克蘭國家核子監管檢查局，〈扎波羅熱核電廠至2022年3月12日現況更新〉，2022年3月12日，參見 https://snriu.gov.ua/en/news/zaporizhzhia-npp-status-update-12-march-2022，網頁瀏覽日期：2022年7月18日。

（略）

國際原子能總署 **2022年3月21日第28號更新報導，國際原子能總署署長關於烏克蘭局勢的聲明。**[16]

拉斐爾．馬里亞諾．葛洛西署長表示，烏克蘭通報國際原子能總署，延宕已久的車諾比核電廠技術人員輪替，已於今日完成，讓人員得以返家休養，這是俄羅斯軍隊自上個月控制核電廠以來的頭一遭。

（略）

烏克蘭監管機關表示，因道路和橋樑受損，導致工作人員不易前往附近城市斯拉夫蒂奇 。自2月24日俄羅斯軍隊控制該場址的前一天起，工作人員就一直待在車諾比。經過將近四週後，他們將業務移交給新來的烏克蘭同事後離開。

（略）

烏克蘭國家核子監管檢查局 **2022年3月29日扎波羅熱核電廠現況消息。**[17]

扎波羅熱核電廠和埃內爾霍達爾市自2022年3月4日起即遭俄羅斯軍事部隊所佔據。除了侵略國軍隊外，俄羅斯聯邦的原子能企業，即俄羅斯國家原子能公司的代表長期非法現身於扎波羅熱核電廠，他們盤桓的目的尚未可知。

---

[16]原文註釋1052 國際原子能總署，〈第28 號報導，國際原子能總署署長關於烏克蘭局勢的聲明〉，第41/2022 號新聞稿，2022年3月21日，參見 https://www.iaea.org/newscenter/pressreleases/update-28-iaea-director-general-statement-on-situation-in-ukraine，網頁瀏覽日期：2022年7月18日。

[17]原文註釋1053烏克蘭國家核子監管檢查局，〈2022年3月29日關於扎波羅熱核電廠現況的消息〉，2022年3月29日，參見 https://snriu.gov.ua/en/news/information-znpp-current-status-29032022，網頁瀏覽日期：2022年7月18日。

（略）

烏克蘭國家核子監管檢查局 2022年4月1日車諾比核電廠設施現況。[18]

根據車諾比核電廠管理階層所提供的消息，俄羅斯佔領軍於2022年3月31日約莫20時，撤出車諾比工業區的領域。

場址的輻射情況與車諾比核電廠作業人員所控制的設備參數，皆在核子裝置各自的流程程序所限制的範圍內。

在車諾比場址的日間、維修人員與承作組織的人員迄今下落不明。

（略）

烏克蘭國家核子監管檢查局 2022年4月20日關於烏克蘭核電廠發電機組。[19]

（略）

扎波羅熱核電廠的發電機組自2022年3月4日起皆由俄羅斯佔領軍所控制。俄羅斯國家原子能公司的代表在扎波羅熱核電廠遭佔領後，違法跨越烏克蘭邊境抵達該核電廠。

---

[18]原文註釋1054 烏克蘭國家核子監管檢查局，〈2022年4月1日車諾比核電廠設施現況〉，2022年4月1日，參見 https://snriu.gov.ua/en/news/chornobyl-npp-facilities-current-situation-april-01-2022，網頁瀏覽日期：2022年7月18日。

[19]原文註釋1055 烏克蘭國家核子監管檢查局，〈關於烏克蘭核電廠廠區內的發電機組〉，2022年4月20日，參見 https://snriu.gov.ua/en/news/regarding-power-units-sites-ukrainian-npps，網頁瀏覽日期：2022年7月18日。

在佔領軍在場的情勢下，俄羅斯國家原子能公司的代表告知扎波羅熱核電廠的管理階層與作業人員，俄羅斯國家原子能公司意圖納編烏克蘭核電廠。隨後，俄羅斯國家原子能公司的代表開始監控扎波羅熱核電廠的技術及管理程序。

（略）

（2022年4月29日略）

國際原子能總署 **國際原子能總署署長葛洛西於2022年5月25日在達沃斯世界經濟論壇，就〈核電、氣候變遷和烏克蘭〉的發言。**[20]

「葛洛西先生說道，『事到臨頭時有旁觀者、置身事外者、分析者，也有處理實事之人。總要有人能實際處理問題』，他形容國際原子能總署為問題解決者。他表示，動用核子武器令人『無法想像』，並解釋道，國際原子能總署的重點在於避免因攻擊核電廠或放射性物質外釋而導致的核災事故。葛洛西先生繼而補述，國際原子能總署正尋求訪視遭俄羅斯軍隊所佔領的烏克蘭扎波羅熱核電廠，以確知儲存於該處的30,000公斤的鈽與40,000公斤的濃縮鈾並未挪用於其他用途.....」。

[20]原文註釋1057邁可．阿姆迪．邁迪森，〈國際原子能總署署長葛洛西出席達沃斯會議：核電、氣候變遷和烏克蘭〉，國際原子能總署公眾訊息暨傳播辦公室，2022年5月25日，參見 https://www.iaea.org/newscenter/news/iaea-grossi-at-davos-nuclear-power-climate-change-and-ukraine，網頁瀏覽日期：2022年7月18日。

烏克蘭國家核子監管檢查局 2022年5月27日烏克蘭國家核子監管檢查局代理局長公開呼籲國際原子能總署。[21]

烏克蘭國家核子監管檢查局代理局長，即烏克蘭國家核子與輻射安全首席檢查員，公開呼籲國際原子能總署。

全球史上首次強行奪取扎波羅熱核電廠之事於2022年3月4日夜間發生，俄羅斯聯邦武裝部隊的砲擊造成3名烏克蘭守護者死亡，並前所未有地威脅該電廠核安，此事可能造成全球規模的災害。

（略）

俄羅斯軍隊漠視襲擊核電廠的可能風險與致災的後果，持續以導彈攻擊烏克蘭領土更加劇此一局面。類似「口徑」（Kalibr）型巡弋飛彈飛越上空的事件，在南烏克蘭核電廠（於2022年4月16日）、赫梅利尼茨基核電廠（於2022年4月25日），乃至扎波羅熱核電廠（於2022年4月28日）皆有紀錄。

俄羅斯這些核子恐怖主義之所以持續發生，是因為即使烏克蘭已就此一問題提出多次呼籲，但國際原子能總署卻未就此事表達明確立場和提出有效回應，而這也讓俄羅斯代表如此有恃無恐，並且採取膽大妄為的行動和聲明。特別是受占領地埃內爾霍達爾市所謂的「市長」係由俄羅斯軍方所任命，他於2022年5月1日提到「國際原子能總署的官方立場與其代表的聲明」時居然辯稱，「國際原子能總署並無扎波羅熱核電廠違反安全運作的紀錄」。

---

[21]原文註釋1058烏克蘭國家核子監管檢查局，〈烏克蘭國家核子監管檢查局代理局長公開呼籲國際原子能總署〉，2022年5月27日，參見 https://snriu.gov.ua/en/news/public-call-acting-head-snriu-international-atomic-energy-agency，網頁瀏覽日期：2022年7月18日。

此外，國際原子能總署的管理階層不僅慫恿加劇佔領扎波羅熱核電廠，更是重覆播送克里姆林宮的宣傳伎倆。尤其當國際原子能總署署長拉斐爾．馬里亞諾．葛洛西於2022年5月25日在達沃斯世界經濟論壇的演講中指稱，據稱「30,000公斤的鈽和40,000公斤可用於製造核子武器的濃縮鈾」儲存於遭俄羅斯所攻占的扎波羅熱核電廠。可見以署長為首的國際原子能總署已經受到俄羅斯宣傳所左右，缺乏可靠資訊。

烏克蘭國家核子監管檢查局嚴正駁斥，有關俄羅斯軍方在攻陷扎波羅熱核電廠，所指控於該等地區發現適合製造核子武器的鈽與濃縮鈾存量的消息，整個烏克蘭亦然。國際原子能總署深知，該署每年皆於《保障執行情況報告》中，確認烏克蘭已履行關於該國所控制的核子材料均應專用於和平之義務。

（略）

可供軍事目的使用的鈽和濃縮鈾，在過去與當下無一儲存於扎波羅熱核電廠。由於政治禁令與技術不足，烏克蘭在技術上與政治上皆無法製造和儲存武器等級的鈽或鈾，哪怕數量僅只數克。令人遺憾的是，國際原子能總署的一名高階官員竟然大肆傳播俄羅斯所宣傳的可憎謊言。在扎波羅熱核電廠與在烏克蘭所有運轉中的核電廠，其核燃料均係用於燃料棒形式，濃縮程度僅僅為5%，不適合製造核子武器。

（略）

（2022年6月6日略）

（2022年6月24日略）

國際原子能總署 **2022年7月4日第85號更新報導，國際原子能總署署長關於烏克蘭局勢的聲明。**[22]

（略）

「……國際原子能總署於6月25日，也就是一個月內的第二次，失去與安裝在扎波羅熱核電廠的防護監視系統之聯繫。署長指出，國際原子能總署與電廠營運者合作解決這項問題，數據傳輸於7月1日恢復，並持續至整個週末。上一次通聯中斷將近兩週，始於5月30日，直至6月12日……」。

烏克蘭國家核子監管檢查局 **2022年7月5日烏克蘭監管機關指出，扎波羅熱核電廠的備用零件供應「可能消耗殆盡」**[23]

（略）

「……烏克蘭國家核子檢查局的歐雷．科里科夫指出，『所有電廠都有備用零件』，雖然容量6 GW 的扎波羅熱核電廠目前尚有所有必須的備用品零件，但是因為電廠設施目前由俄羅斯所控制，眼下無法補充這類零件。他指陳，討論到的零件包含閥門與電廠運作期間所使用的消耗品……」。

---

[22]原文註釋1061 國際原子能總署，〈第85號報導：國際原子能總署署長關於烏克蘭局勢的聲明〉，第119/2022 號新聞稿，2022年7月4日，參見 https://www.iaea.org/newscenter/pressreleases/update-85-iaea-director-general-statement-on-situation-in-ukraine，網頁瀏覽日期：2022年7月18日。

[23]原文註釋1062 烏克蘭國家核子監管檢查局，〈烏克蘭監管機關： 供應扎波羅熱核電廠的備用零件「可能耗盡」〉，2022年7月5日，參見 https://snriu.gov.ua/en/news/supply-spare-parts-zaporizhzhia-plant-may-be-exhausted-ukraine-regulator，網頁瀏覽日期：2022年8月23日。

「……他指出，『扎波羅熱的情況依舊複雜，彈藥直接置於廠區裡，從安全觀點而論，此事完全令人無法接受，廠區內現有50多部俄羅斯軍用車輛，大量炸藥散落於電廠場址四周，情況極度危險』……」。

科里科夫繼而表示，俄羅斯的襲擊「已經摧毀該國大量的基礎設施，乃至於製造和生產能力」，對持續供應該國核子設施的備用和替換零件，已經構成「嚴重風險」。

（略）

國際原子能總署 **2022年8月9日第89號更新報導，國際原子能總署署長關於烏克蘭局勢的聲明。**[24]

拉斐爾．馬里亞諾．葛洛西署長今日表示，烏克蘭已通報國際原子能總署，週六在該國扎波羅熱核電廠的乾式貯存設施附近發生的砲擊事件，造成某些破壞，不過從現下可用的輻射測定措施，持續顯示場址屬於正常水平。

「根據烏克蘭說法，週六的事件發生於前一日核電廠外部供電系統遭砲擊毀損之後，傷及一名扎波羅熱核電廠的烏克蘭安防人員。烏克蘭告知國際原子能總署，該事件損毀貯存用過燃料棒設施區域的牆壁、屋頂與窗戶，乃至於輻射控制系統部分的通信電纜，可能影響3個輻射檢測感應器的功能運作。然而，裝有用過燃料棒的容器或設施的保護範圍並未有明顯可見的損壞……」。

「然而，週五和周六砲擊扎波羅熱核電廠之事，幾乎全然違犯署長在衝突開始之際所闡述的，核安和安防七項不可或缺的支柱，包含核電廠的實質完整、功能安全、安防系統、工作人員，乃至於外部電源……」。

---

[24]原文註釋1063 國際原子能總署，〈第89 號報導：國際原子能總署署長關於烏克蘭局勢的聲明〉，第126/2022 號新聞稿，2022年8月9日，參見 https://www.iaea.org/newscenter/pressreleases/update-89-iaea-director-general-statement-on-situation-in-ukraine，網頁瀏覽日期：2022年8月23日。

（2022年8月19日略）

烏克蘭國家核子監管檢查局 2022年8月22日依據扎波羅熱核電廠輪班主管的說法。[25]

2022年8月22日下午2時33分，俄羅斯佔領軍砲擊扎波羅熱熱力發電廠。

由於砲擊的關係，備用廠用變壓器 RSST-5與6受損，扎波羅熱核電廠與扎波羅熱熱力發電廠 VL-330 通訊線路斷線。
下午6點33分扎波羅熱核電廠與扎波羅熱熱力發電廠 VL-330電力線路恢復運作。

正在釐清關於受害者的消息。

國際原子能總署 2022年9月7日第99號更新報導，國際原子能總署署長關於烏克蘭局勢的聲明。[26]

「.....國際原子能總署於現場知悉，另一波砲擊毀壞烏克蘭扎波羅熱核電廠與一座鄰近熱力發電廠間的備用電力線路，此事越發顯示這類設施的重大核安風險.....」。

---

[25]原文註釋1065 烏克蘭國家核子監管檢查局，〈烏克蘭國家核子監管檢查局：依據扎波羅熱核電廠輪班主管所述〉，2022年8月22日，參見 https://snriu.gov.ua/en/news/according-zaporizhzhya-npp-shift-supervisor-information，網頁瀏覽日期：2022年8月23日。

[26]原文註釋1066 國際原子能總署，〈第99 號報導：國際原子能總署署長關於烏克蘭局勢的聲明〉，2022年9月7日，參見 https://www.iaea.org/newscenter/pressreleases/update-99-iaea-director-general-statement-on-situation-in-ukraine，網頁瀏覽日期：2022年9月17日。

「然而此次750/330 kV 線路的損壞，再次彰顯扎波羅熱核電廠遭遇外部電源供應問題時的困境與脆弱。扎波羅熱核電廠在早先的衝突中失去與所有四條主要外部電力線路的連接，最後一條於9月2日斷連。烏克蘭資深作業人員上週告知在場的國際原子能總署專家，扎波羅熱核電廠與該熱力發電廠間的三條備用線路中，一條遭砲擊損壞，另外兩條則是斷連.....」。

國際原子能總署 **2022年9月11日第100號更新報導，國際原子能總署署長關於烏克蘭局勢的聲明。**[27]

「.....昨晚恢復一條330 kV 備用線路，使得扎波羅熱核電廠得以於今日早上關閉最後一座運轉中的反應爐，該線路由鄰近埃內爾霍達爾市一座熱力發電廠的變電所，連結歐洲最大的核電廠至烏克蘭輸電網路。該反應爐在扎波羅熱核電廠與電網斷連後，於過去一周為電廠供電。隨著線路的恢復，維持核電廠核安所必須的電力再次來自外部電網.....」。

（略）

[27]原文註釋1067 國際原子能總署，〈第100 號報導：國際原子能總署署長關於烏克蘭局勢的聲明〉，2022年9月11日，參見 https://www.iaea.org/newscenter/pressreleases/update-100-iaea-director-general-statement-on-situation-in-ukraine，網頁瀏覽日期：2022年9月17日。

國際原子能總署 2022年9月13日第102號更新報導，國際原子能總署署長關於烏克蘭局勢的聲明。[28]

（略）

熱力發電廠附近的變電所經修復後，150 kV 備用線路再次得以供應扎波羅熱核電廠，它於幾天前遭到砲擊損壞，埃內爾霍達爾市也隨之陷入黑暗。

「.....這表示歐洲最大的核電廠，扎波羅熱核電廠的所有三條備用電力線路在過去幾日業已恢復。其中一條750/330 kV 線路現在正為扎波羅熱核電廠提供冷卻與其他基本安全功能所需要的外部電力。而330 kV 與150 kV 線路現在則為備用。扎波羅熱核電廠的6 座反應爐全數處於冷停機狀態，不過仍需要電力以使機組維持必要的安全功能.....」。

（略）

[28]原文註釋1068 國際原子能總署，〈第102 號報導：國際原子能總署署長關於烏克蘭局勢的聲明〉，2022年9月13日，參見 https://www.iaea.org/newscenter/pressreleases/update-102-iaea-director-general-statement-on-situation-in-ukraine，網頁瀏覽日期：2022年9月17日。

附錄2 - 全球核電現況

圖表2 - 全球核電現況（更新至2023年1月）

國家	核電機組					電力	能源
	運轉中		長期停機	平均機齡	興建中	民生用電力佔比[b] (2021)	民生用初級能源佔比[c] (2021)
	機組	裝置容量 (MW)	機組	年	機組		
阿根廷	3	1 641		32.3	1	7.2% (=)	2.9% (=)
亞美尼亞	1	448		43.0		25.3% (–)	N/A
孟加拉國	-	-		-	2		
白俄羅斯	1	1 110		2.2	1	14.1% (+)	4.7%
比利時	6	4 936		43.2		50.8% (+)	16.8% (+)
巴西	2	1 884		31.6	1	2.4% (=)	1.1% (=)
保加利亞	2	2 006		33.3		34.6% (–)	N/A
加拿大	17	11 929	2	39.5/40.1		14.3% (=)	6% (=)
中國	56	52 170		9.3	22	5% (=)	2.3% (=)
捷克	6	3 934		31.5		36.6% (=)	16.6% (=)
埃及					2		
芬蘭	5	4 394		35.2		32.8% (–)	18.6% (=)
法國	56	61 370		37.6	1	69% (+)[d]	36.5% (=)
德國	3	4 055		34.5		11.9% (=)	4.9% (=)
匈牙利	4	1 916		37.5		46.8% (–)	14.2% (=)
印度	19	6 290	3	24.7/20.9	8	3.2% (=)	1.1% (=)
伊朗	1	915		11.3	1	1% (=)	0.3% (=)
日本	10	9 486	23	31.9/34.7	1	7.2% (+)	3.1% (=)
墨西哥	2	1 552		30.9		5.3% (=)	1.6% (=)
荷蘭	1	482		49.5		3.1% (=)	1% (=)
巴基斯坦	6	3 256		8.1		10.6% (+)	3.7% (+)
羅馬尼亞	2	1 300		21.0		18.5% (–)	7.3% (=)
俄羅斯	37	27 727		29.4	5	20% (=)	6.4% (=)
斯洛伐克	4	1 868		30.8	2	52.3% (=)	N/A
斯洛維尼亞	1	688		41.2		36.9% (=)	N/A
南非	2	1 854		38.1		6% (=)	1.9% (=)

國家	核電機組					電力	能源
	運轉中		長期停機	平均機齡	興建中	民生用電力佔比[b] (2021)	民生用初級能源佔比[c] (2021)
	機組	裝置容量 (MW)	機組	年	機組		
南韓	25	24 431		22.6	3	28% (–)	11.4% (=)
西班牙	7	7 121		37.9		20.8% (–)	9.1% (–)
瑞典	6	6 882		40.5		30.8% (=)	21% (=)
瑞士	4	2 960		46.8		30.8% (–)[e]	15.6% (–)
台灣	3	2 859		39.0		10.8% (–)	5% (–)
土耳其	-	-		-	4		
阿拉伯聯合大公國	3	4 107		1.3	1	1.3%	2.1%
英國	9	5 883		35.6	2	14.8% (=)	5.8% (=)
烏克蘭	15	13 107		33.9		55% (+)	23.4% (+)
美國	92	94 718		42.1	2	19.6% (=)	8% (=)
歐盟27國	103	100 952		37.0	3	25.3 (=)[c]	11% (=)
全球	**411**	**369 279**	**28**	**31.2**	**59**	**9.8% (=)[c]**	**4.3% (=)**

資料來源：《世界核能產業現況報告》與 BP、國際原子能總署機組資訊系統，2022 年

(a) – 斜線前後為包含 / 排除長期停機機組。

(b) – 為2021年資料，來源為國際原子能總署 (IAEA) 機組資訊系統 (PRIS) 發布之「2021年核電佔比」，除非另有說明，統計至2022年6月。

(c) – 2021年資料，來自BP公司2022年之《世界能源統計報告》。

(d) – 法國公用電力傳輸電網公司 (RTE) 2022年1月發布之《2021年電力報告》。

(e) – 瑞士能源局2022年發布之《瑞士電力生產及消費統計報告》。