



【協會每日頭條 | 全球能源轉型中的關鍵燃料趨勢】

鈾能擁有豐富的資源、更高的安全性、更少的核廢料，被視為下一代清潔能源的潛力方向。儘管面臨成本、技術成熟度和監管等挑戰，但中國正積極推動其發展，預計在 2030 年左右實現商業化運營。文章也強調，核能的供應鏈存在地緣政治風險，而小型模組化反應爐 (SMR) 的發展將有助於降低建造成本和時間，滿足新興高耗能產業的需求。

本摘要旨在為您梳理目前全球能源轉型中的關鍵燃料趨勢，特別是中國在鈾基熔鹽反應爐(TMSR)技術上的突破，並對比鈾與煤，以期提供您在未來能源佈局與智慧解決方案發展上的參考依據。

中國鈾基熔鹽堆 (TMSR) 的發展與影響

中國在鈾基熔鹽堆技術方面取得了全球領先的進展，該技術被視為清潔能源領域的一大革新。

● 商業化進展與里程碑：

- 中國已在甘肅省武威市建成並運行全球首座實驗性鈾基熔鹽堆，標誌著鈾作為核燃料的實用性與商業化潛力提升。
- 中國正逐步推進「實驗堆、研究堆、示範堆」三步驟戰略。
- 計劃於 2030 年，在甘肅建成一座 10 兆瓦的小型模組化鈾基熔鹽研究堆，預計實現滿功率運行。
- 預計 2029 年，中國將建成全球首座熱功率約 60 兆瓦的商用鈾基熔鹽核電站，並開始向電網供電，這將是該技術商業化的重要里程碑。
- 整體而言，中國鈾基熔鹽堆的商業化有望在 2030 年左右實現全面推廣應用。

● 技術與戰略優勢：

- **能源豐富與可持續性：**地球地殼中的鈾含量比鈾高出三到四倍。中國內蒙古發現約 22 萬噸鈾礦，理論上足以供應數萬年的能源需求，保障長期能源安全。
- **安全性大幅提升：**熔鹽冷卻及液態燃料設計使反應堆能在常壓下運行，自然限制過熱風險，從根本上提高了安全性，具備「與生俱來的安全性」。
- **環境效益與核廢料：**鈾基堆產生的放射性廢料遠少於傳統鈾反應堆，且半衰期短（數百年即可轉化為無害物質），對環境危害及核安全風險大幅降低。這使得其核廢料處置挑戰相較於鈾反應爐的數萬年半衰期更易管理。
- **運行效率與經濟性：**允許小型模組化、低成本且高效運行，並可在線燃料補充和淨化，實現持續穩定運行。
- **選址靈活性：**具備在乾旱地區等傳統核電無法覆蓋地帶發電的優勢。
- **防核擴散：**鈾本身難以用於製造核彈，這從根本上解決了核擴散的疑慮。
- **國家戰略重要性：**此技術有望成為中國能源轉型的關鍵，減少對化石燃料的依賴，並可能推動核動力裝置應用，包括核潛艇等戰略用途。專家預測，鈾基熔鹽堆的發展可能使中國核能裝置容量至 2050 年突破 5,000 萬千瓦，佔總裝機量 15%。

- **商業化挑戰：**
 - **成本與技術成熟度：**鈾的提取、燃料製備及熔鹽材料的耐高溫耐腐蝕性能仍需進一步突破，初期投資和研發成本較高。
 - **監管與標準：**現有核能相關法律標準及審評機制尚不完善，需配套政策與國際合作支持。
 - **運營穩定性：**新技術需要更多示範及長期運行檢驗來保障運營的穩定性與安全。
 - **市場接受度：**商業化推廣需克服技術接受與公共安全認知的挑戰。

煤、鈾、鈾三種能源的綜合比較

為了更全面地理解鈾基核能的潛力，以下將其與傳統的煤炭及鈾基核能進行比較：

特性	煤炭	鈾基核能	鈾基核能
能量密度	低，燃燒產生大量污染物	極高，較清潔	極高，廢料輻射低且半衰期較短
環境影響	高碳排放、空氣污染嚴重	低碳排放，但核廢料需長期管理	更環保，產生核廢料少且安全風險低
資源豐富度	豐富但有限	鈾礦集中，供應有地緣政治風險	較豐富，尤其中國礦藏充足
技術成熟度	已非常成熟，廣泛使用	高度成熟主流核能技術	新興技術，研發成本高，正逐步突破
成本	低燃料成本但高環境成本	運營成本較高，燃料市場波動大	目前提煉成本較鈾高，但隨需求可降
安全性	有燃燒安全和污染風險	核危機風險存在，需嚴格管理	天然安全性高，風險相對最低
廢棄物挑戰	體積巨大，廣泛分散污染	高放廢料半衰期長（數萬年），無永久處置場	廢料半衰期短（數百年），但技術未成熟
供應鏈風險	相對穩定	濃縮技術高度集中（中俄佔 60%）	提取成本高，技術未成熟

值得注意的是，雖然核廢料常被視為核能的最大挑戰，但其體積極小且處置受到嚴格控制與監管。相比之下，燃煤廢料（煤灰）每年產生數億噸固體廢棄物，含有天然放射性物質和重金屬，透過空氣與水路對環境造成持續、廣泛、大規模的污染和長期健康危害。公眾對核能的恐懼往往源於歷史上的重大核災（如車諾比、福島），而非基於數據化的長期風險比較。

未來趨勢與台灣智慧解決方案的機會

1. 第四代核能技術與 SMR 的興起：



- 鈾基熔鹽反應爐是第四代核能技術的一部分，旨在解決傳統核電的高成本、高核廢料產量與核擴散風險。
 - **小型模組化反應爐 (SMR)** 體積小巧，採用工廠預製和現場組裝，能顯著縮短建設工期、降低成本，並提高質量控制。
 - SMR 具備被動安全系統，可建於地下以抵禦外部威脅，且選址靈活性高，能取代退役燃煤電廠，或為偏遠地區、離島與工業園區提供穩定電力。
2. **AI 與數據中心的高耗能需求：**
- 人工智慧(AI)與數據中心的爆炸性增長導致全球電力需求激增。
 - SMR 等可擴展、可靠、低碳電源，能夠提供這些「電力飢渴」的產業所需的穩定基載電力來源，已吸引許多科技巨頭的濃厚興趣。這為核能發展提供了新的商業與戰略正當性。

對台灣智慧解決方案會員廠商的策略建議

考量台灣的能源現況與未來發展，並結合上述趨勢，建議會員廠商關注以下幾點：

1. **密切關注先進核能技術發展：** 特別是中國在鈾基熔鹽堆 (TMSR) 及小型模組化反應爐 (SMR) 領域的進展。這些技術可能解決傳統核電的高成本、長工期、核廢料處理和公眾接受度等痛點，並提供更靈活、安全的清潔能源選項。
2. **評估 SMR 在台灣的應用潛力：** SMR 的模組化建造、被動安全特性和靈活選址 (例如，可取代退役燃煤電廠，或為高科技園區、數據中心提供專屬電力) 可能為台灣的能源供應帶來新的可能性。智慧解決方案廠商可考慮如何將自身的技術 (如智慧電網、能源管理系統) 與 SMR 的未來部署相結合。
3. **洞察 AI 等高耗能產業的能源需求：** 隨著 AI 產業的快速發展，對穩定、可靠且低碳的基載電力需求將持續增長。智慧解決方案廠商可針對此需求，思考開發相應的能源管理、優化與供應解決方案，並探索與新一代核能技術的合作機會。
4. **促進多元化能源組合的討論：** 沒有單一完美的能源解決方案。建議持續關注並倡導建立多元化的能源組合，將低碳核能 (包括新興技術) 與再生能源互補，以實現能源安全、穩定供應與氣候目標的平衡。
5. **強化能源供應鏈韌性：** 考量鈾燃料供應鏈的高度集中性與地緣政治風險，台灣在能源戰略上需思考如何分散風險，並探索如鈾基燃料等替代選項的長期潛力。
6. **參與公眾溝通與教育：** 基於科學數據，與公眾誠實且透明地溝通不同能源技術的風險與效益，特別是在核廢料管理與核安全議題上，有助於重建社會信任，為能源轉型創造有利的社會環境。

總體而言，中國鈾基熔鹽堆的發展預示著核能技術的革新方向，有望為全球能源結構帶來深遠影響。台灣智慧解決方案協會會員廠商應積極了解並評估這些新興能源技術的潛力，為國家及產業的長期能源策略提供前瞻性的支持。 [歡迎加入台灣智慧解決方案協會 入會辦法與表格](#)

