



系列 下篇

中國完全自主可控 四代核技術領跑全球

唯一沙漠建核電廠「AI能源賽道」走在世界前列

在全球新一輪核電復興升溫下，中國核電建設速度領跑世界。這背後最大的底氣，來自牢牢掌握在中國人自己手裏的核工業體系。自主三代核電「華龍一號」建設進入批量化新階段，中國第四代核電技術多向發展，並已率先投入運行，這代表着中國率先掌握了第四代核能技術，一躍成為全球新能源領域的領跑者。目前，中國最新核電技術已能將核電廠建在沙漠裏，全球唯一！終極能源「夸父啟明」計劃也在加速推進，未來在AI的競爭賽道中，中國的能源裝備已準備就緒。

●香港文匯報記者 劉凝哲 北京報道

上世紀八九十年代，中國核電艱難起步，一度被戲稱為「萬國牌」。彼時的中國核電機組，來自法國、加拿大、俄羅斯、美國的技術輪番上陣，不止大型裝備，就連核電廠作業必備的高性能輻射防護服、專用防護耗材都主要依靠進口。經過引進、吸收、再創新，到自主研發，中國核電開啟了一場持續30多年的追趕。

今年3月，「未來能源」首次寫入政府工作報告，其與量子科技、生物製造、具身智能、腦機接口、6G等前沿領域一同列入未來產業，且位居首位。當下AI超級周期正在重新定義電力需求，核電可能成為最優解。

沙漠建廠常壓運行無需水冷卻

當前，全世界四代核電技術整體仍處於早期研發和商業化探索階段。這一次，中國的「未來能源」建設已走在世界前列。2023年，中國華能石島灣高溫氣冷堆投入商業運行，是全球首座四代核電站。2025年11月，位於甘肅武威沙漠地區的2兆瓦液態燃料鈾基熔鹽實驗堆首次實現鈾燃料轉換，成為目前全球唯一運行並實現鈾燃料入堆的熔鹽堆，其關鍵設備100%國產化。

傳統核電站需要大量冷卻水，只能建在海邊。今年夏天歐洲的極端高溫乾旱天氣，導致河流水位降低，水溫突破安全紅線，還引發了一場核電關停潮。而鈾基熔鹽堆採用熔融氟化鹽作為冷卻劑和燃料載體，在常壓下運行，無需水冷卻，可深入內陸甚至沙漠戈壁建設。

試想一下，以後在茫茫戈壁上，建滿核電站，不僅避開了居民集中的沿海地區，減少發生核電事件對民眾的影響，更名為沙漠地區的省地市創造經濟價值。

目前中國已探明鈾資源工業儲量達28萬噸，僅次於印度，位居世界第二；其中內蒙古白雲鄂博礦區佔比超75%。1噸鈾裂變產生的能量抵得上200噸鈾、相當於350萬噸煤炭。按當前能耗計算，僅白雲鄂博礦區現有鈾資源儲量即可滿足中國長達數千年的能源需求，這意味着中國可以徹底擺脫鈾資源不足的約束。據悉，10兆瓦電功率小型模塊化鈾基熔鹽堆正在開展初步設計，未來甚至可作為宇宙飛船動力。

核聚變「第一度電」指日可待

「中國是一個富鈾的國家，鈾資源可供核能發電用上幾萬年，如果鈾基熔鹽堆能夠推廣，有望助力我國實現能源獨立。」中國科學院上海應用物理研究所學術委員會主任徐洪傑研究員曾表示。按照規劃，鈾基熔鹽堆力爭在2035年左右實現百兆瓦級示範堆的建成和併網發電，最終推動工業化應用。

除此之外，可控核聚變技術研發加速推進，人類追逐「終極能源」的夢想也在中國加速照進現實。中國聚變能研發已形成規模化的商業投資格局，累計融資規模突破百億元人民幣，呈現「國家隊主

中國鈾基熔鹽堆技術優勢

選址自由 徹底擺脫水源束縛



採用熔融氟化鹽作為冷卻劑和燃料載體，在常壓下運行，無需大量冷卻水，可深入內陸、沙漠、戈壁等缺水地區建設。



本質安全「失效安全」被動停堆機制

當熔鹽溫度超過預定值時，設在反應堆底部的冷凍塞自動熔化，攜帶核燃料的熔鹽隨即流入應急儲存罐，核反應自動終止。熔鹽冷卻後變為固態，既不易洩漏，也不會與地下水發生作用而造成生態災害。



資源戰略優勢 鈾資源儲量巨大

中國已探明鈾資源工業儲量達28萬噸，位居世界第二。



核燃料循環突破 鈾鈾轉換技術

中國液態燃料鈾基熔鹽實驗堆是目前全球唯一運行並實現鈾燃料入堆的熔鹽堆，已成功實現鈾鈾核燃料轉換。



技術、設備 自主可控

甘肅武威實驗堆關鍵設備100%國產化。

導、地方國資支撐、市場化機構活躍」的投資結構。多種聚變技術研發同步推進，「中國環流三號」首次實現原子核溫度1.17億攝氏度、電子溫度1.6億攝氏度的「雙億度」重大突破。在安徽合肥，緊湊型聚變能實驗裝置「夸父啟明」(BEST)建設正全速推進。2025年5月總裝工作正式啟動，2026年6月30日裝置第一段主機組件完成精準吊裝。按計劃，BEST力爭2027年左右基本建成，2030年前後演示用核聚變發出第一度電。

核聚變能被視為最具潛力的終極能源之一，已被寫入國家「十五五」規劃綱要，列入未來產業發展重點領域。專家指出，從三代核電批量化建設，到四代鈾基熔鹽堆全球領跑，再到核聚變「第一度電」指日可待，在這場關乎人類未來能源的賽道上，中國已成為領跑的第一梯隊。

中國四代核電技術發展歷程

第一代

20世紀50-90年代

1955年1月15日中央作出發展原子能事業戰略決策；1970年8月30日，中國核潛艇陸上模式堆實現滿功率運行，發出中國第一度核電；1985年開工、1991年建成投用的秦山核電站，終結中國無核電歷史

第二代

20世紀90年代-21世紀初

引進俄、加、美、法多國核電機組，進入「萬國牌」發展階段，在引進吸收中積累核心技術經驗

第三代

21世紀初至今

中國「華龍一號」、「國和一號」，設備國產化率超94%

第四代

2023年至2030年後

2023年，石島灣高溫氣冷堆、甘肅武威液態燃料鈾基熔鹽實驗堆率先投入運營，到2030年後將規模化運用

來源：據公開資料



●華能石島灣高溫氣冷堆示範工程外景。 資料圖片

特稿

近年來，在全球能源低碳轉型浪潮之下，小型模塊化核反應堆（簡稱「小型堆」）正成為世界核能發展的重要方向。不同於傳統百萬千瓦級大型核電站，小型堆憑借模塊化建造、安全性高、部署靈活、投資門檻較低等突出優勢，跳出單純發電的傳統定位，向着海洋開發、深空探索、工業供熱、偏遠地區供能等廣闊場景延伸。中國在這一前沿領域持續取得多項關鍵技術突破，為全球先進核能發展貢獻中國方案。

按照國際原子能機構（IAEA）定義，電功率10-300兆瓦電（MWe）區間的核反應堆被歸為小型堆。它並非簡單把大反應堆「縮小」，而是從設計源頭實現創新：設備模塊在工廠預製完成，運抵現場組裝搭建，如同「搭積木」，大幅壓縮建設周期。據《中國核電發展報告（2026）》顯示，小型模塊化反應堆的研究與開發快速進步。截至2025年7月，全球小型模塊化反應堆設計達到127個。美國、俄羅斯、中國佔據全球超70%的小型堆設計專利與核心技術儲備。

「玲龍一號」擬今年併網發電

小型堆近來越發受到歐美政府及全球科技巨頭關注，其最大亮點在於可以更貼近算力中心、工業園區等高耗能場景，可以成為支撐算力基礎設施的新型能源底座。

而在這一領域上，中國已經形成先發優勢。目前，「玲龍一號」（ACP100），是全球首個通過國際原子能機構安全審查的陸上商用模塊化小型堆，也是中國在核電自主創新上的重大突破。有核能「充電寶」之稱的「玲龍一號」，於2021年在海南昌江開工建設，計劃在2026年併網發電。

此外，它的應用場景廣闊。浮動式小型堆可部署於海上平台，為遠海島礁、海上油氣開採基地穩定供電供熱，同步開展海水淡化，破解遠海柴油發電成本高、補給困難的現實難題，為深海空間站、海洋科研設施提供長效能源保障，支撐海洋資源開發利用。

小型堆還是深空探索的關鍵動力選項。太陽能月球極地、行星夜間環境效能大幅衰減，而核電源不受光照條件約束，能夠為月球科考基地、行星探測器提供持續穩定的電力與熱能，支撐深空探測任務長遠發展。

小型反應堆是全球核能新方向 中國具先發優勢

鈾基熔鹽堆前景廣闊 商業化仍需闖關

專家解讀

作為第四代先進核能的代表，鈾基熔鹽堆憑借安全性高、核廢料少、可利用本土鈾資源等突出優勢，成為中國破解能源轉型、降低鈾資源對外依賴的重要發展方向。中國已經建成全球唯一投入運行的鈾基熔鹽實驗堆，創下多項世界級技術成果。不過，專家表示，從實驗室走向商業應用，鈾基熔鹽堆仍有不少技術難關需要攻克。

未來能源研究中心專家田力撰文指出，中國布局鈾基熔鹽堆研發，通過國家級專項集結科研院所、企業開展聯合攻關。位於甘肅民勤的鈾基熔鹽實驗堆，完成了鈾燃料入堆等多項世界首次試驗，證實了鈾資源用於核能發電的可行性。這座實驗堆核心設備全部實現國產，整

套供應鏈可以自主把控。

根據規劃，中國今年將啟動10兆瓦級研究堆建設，2030年實現其滿功率運行，2035年建成百兆瓦級示範工程，逐步推進技術商業化落地。田力認為，這一系列進展，不僅鞏固了中國在國際熔鹽堆研究領域的引領地位，而且為利用中國豐富的鈾資源奠定基礎，有望破解中國鈾資源對外依存度超70%的困局。

四代核能領域「先手棋」

不過，實驗堆取得成功，不等於可以馬上投入商業使用。專家指出，想要真正建成可用的商用核電站，還需要攻克多項難題。例如，商用反應堆要安全運行數十年，堆內環境高溫、強腐蝕，同時持續

受到核輻射，對設備材料提出極高要求。中國已經研發出適配實驗堆的合金與核石墨材料，但在長年累月的高溫腐蝕、輻射之下，材料容易出現老化、開裂。如何改良材料，滿足商用堆長達60年的使用壽命，就是必須攻克的硬骨頭。

田力認為，鈾基熔鹽堆是中國在第四代核能領域的「先手棋」。其技術突破不僅關乎能源安全，而且能推動中國在高溫製氫、熔鹽儲能等關聯產業的發展，構建多能互補的低碳複合能源系統。面對上述技術難題，國家已制定清晰的攻關路線，集聚多領域力量，從基礎研究到工程應用進行全鏈條突破。有理由相信，鈾基熔鹽堆將成為中國引領全球能源革命的重要力量，開啟清潔、安全、可持續的能源新時代。

●科研人員在2兆瓦液態燃料鈾基熔鹽實驗堆廠房，用機械手分析燃料鹽樣品。 資料圖片



●科研人員在2兆瓦液態燃料鈾基熔鹽實驗堆主控室工作。 資料圖片



●在甘肅省民勤縣拍攝的2兆瓦液態燃料鈾基熔鹽實驗堆廠房。 資料圖片