

證券研究報告/核能行業研究報告

2025 年 10 月 31 日

作者

艾德金融研究部

聯絡電話：(00852) 38966300

電郵：research@eddid.com.hk

港股公用事業指數股價表現



數據來源：

相關報告

無

裂變支撐當下，聚變引領未來：持續關注核聚變技術發展及產業鏈投資機會

核心觀點及邏輯

- **核裂變技術是中短期內核能開發與利用的核心支柱，市場需求持續旺盛。**中國在建核電機組數量與裝機容量均居世界首位，裝備製造與燃料加工環節國產化率高。目前中國核電佔總發電量的比重僅 5% 左右，遠低於全球平均 9% 和法國 65% 的水平。未來十年核裂變新增裝機需求將持續擴大。
- **核聚變技術商用化仍有大量挑戰，持續關注技術突破進程。**當前核聚變仍處於從實驗驗證向工程可行性跨越的階段，能量增益、等離子體約束穩定性、材料耐輻照性能、氦自持迴圈及散熱管理等關鍵技術尚未完全突破。雖然 ITER、EAST、SPARC 等專案已實現高溫長脈衝等階段性成果，但距離商業化發電仍需 15 - 20 年。建議持續關注全球示範堆建設進度，以及在高溫超導磁體、第一壁與包層材料、氦增殖系統、真空與低溫系統集成、AI 即時控制演算法等方向的技術突破。
- **核聚變產業鏈孕育巨量投資機會。**上游材料方面，在鎢資源領域，關注佳鑫國際資源（03858.HK）；鎳資源領域，關注力勤資源（02245.HK），金川國際（02362.HK）；防輻射材料-中子遮罩新材料領域，關注天工國際（00826.HK）。中游核心設備建造部分，關注東方電氣（01072.HK）、上海電氣（02727.HK）等相關企業。下游商業化及電站運營部分，關注中廣核電力（01816.HK）。
- **長期趨勢指向“裂變支撐當下、聚變引領未來”的核能能源格局。**二者在不同階段將分別承擔關鍵使命並形成有效銜接。在核聚變技術實現商業化應用前（預計 2050 年前後），核裂變憑藉成熟的技術體系、穩定的發電能力，將持續作為能源安全與碳減排的核心支撐。若核聚變實現商用，有望成為新一代主力能源；屆時核聚變不僅能滿足全社會激增的電力需求，還將與 AI 數據中心、氫能製備、先進製造等高耗能產業深度融合，徹底重塑全球能源生產與消費模式。

并购家 免费行业报告网

IPOIPO.CN 每日更新 不用注册会员 无广告 永久免费

目錄

1. 核能概況 1

 1.1 核能的定義與分類 1

 1.2 全球能源結構中的核能定位 1

2. 核裂變技術 2

 2.1 核裂變技術原理 2

3. 核聚變技術 4

 3.1 核聚變技術原理 4

 3.2 核聚變技術難點與挑戰 7

 3.3 全球主要核聚變專案 8

 3.4 核聚變商業化路徑與重要時間節點 11

4. 核能產業鏈 12

 4.1 核裂變產業鏈 12

 4.2 核聚變產業鏈 14

5. 核能市場規模與潛力 15

 5.1 核裂變市場規模和潛力 15

 5.2 核聚變市場規模和潛力 17

6. 總結 错误！未定义书签。

分析員聲明 18

圖 1 核裂變反應微觀示意圖 2

圖 2 核裂變反應堆的核心結構示意圖 3

圖 3 核聚變反應微觀示意圖 4

圖 4 托卡馬克結構剖面圖 6

圖 5 2025 年 1-9 月全國發電量統計分佈 16

圖 6 2024 年 1 月至 2025 年 9 月全國運行核電機組發電量趨勢 16

圖 7 2024 年 1 月至 2025 年 9 月全國運行核電機組上網電量趨勢 17

表 1 核聚變磁約束技術與慣性約束技術的差異 7

1. 核能概況

1.1 核能的定義與分類

核能是通過核反應（核裂變或核聚變）釋放原子核內部能量，並將其轉化為電能、熱能等可利用形式的能源。根據核反應類型的不同，核能可分為**核裂變能**和**核聚變能**兩大核心類別，二者在反應原理、技術成熟度、應用場景上存在顯著差異。

1.2 全球能源結構中的核能定位

在全球“碳中和”與能源安全雙重目標下，核能已成為基荷能源（指能夠 24 小時連續、穩定輸出電力，且出力波動極小的能源類型）的核心組成、零碳轉型的關鍵支柱、能源結構多元化的戰略選項——它既彌補了可再生能源的間歇性短板，又規避了化石能源的碳排放與地緣風險，在全球能源體系中佔據不可替代的特殊地位，具體可從三大核心定位展開。

第一，**核能可以填補可再生能源的穩定性缺口**。核能穩定性遠超可再生能源，全球核電機組平均年利用率達 85.7%（2024 年數據），法國、韓國等核電大國利用率超 90%，單機組可連續運行 12-18 個月才停機換料；而光伏、風電受天氣影響，年利用率僅 15%-35%，需依賴儲能或其他電源調峰。以德國為例：2023 年棄核後，其風電、光伏出力波動導致電網頻繁依賴法國核電“跨省調峰”，2024 年冬季用電高峰時，法國核電對德輸電佔比達 18%，凸顯核能的基荷支撐作用。

第二，**核能是零碳轉型核心主力**。在全球“2050 碳中和”目標下，核能是“唯一能大規模替代化石能源的零碳基荷電源”，其碳排放強度遠低於其他能源，且全生命週期碳排放可控。根據國際能源署（IEA）數據，核能全生命週期碳排放僅為 4gCO₂ eq/kWh（含鈾礦開採、燃料加工、機組建設、退役），僅為煤電（820gCO₂ eq/kWh）的 1/205、天然氣發電（490gCO₂ eq/kWh）的 1/122，與風電（12gCO₂ eq/kWh）、光伏（48gCO₂ eq/kWh）接近，且無污染物（如 PM2.5、氮氧化物）排放。2024 年全球核電年發電量約 2.8 萬億千瓦時，折合減少碳排放 16.8 億噸（按煤電替代計算），佔全球年度碳減排總量的 12%。

第三，**核能可以作為能源安全戰略緩衝，降低對化石能源的地緣依賴**。全球能源地緣格局高度不均（中東佔全球石油儲量 48%、俄羅斯佔天然氣儲量 24%），核能憑藉“燃料運輸量小、資源分佈廣”的特性，成為降低化石能源依賴、保障國家能源安全的關鍵選項。全球鈾資源分佈相對均衡（澳大利亞佔 30%、哈薩克斯坦佔 25%、加拿大佔 15%），且可通過“乏燃料再處理”實現鈾資源迴圈利用（法國再處理率達 95%，鈾利用率提升 50 倍）。相比之下，石油、天然氣的進口依賴易受地緣衝突影響（如俄烏衝突導致歐洲天然氣價格暴漲 10 倍），而核能的燃料供應鏈更穩定，抗風險能力更強。

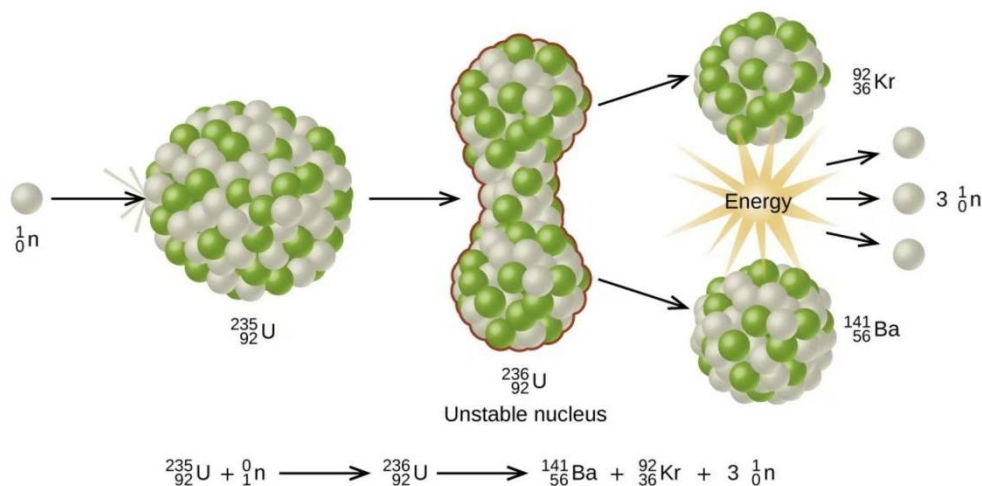
2. 核裂變技術

2.1 核裂變技術原理

核裂變能的核心是重原子核在中子轟擊下分裂為輕原子核，同時釋放能量與新中子的可控鏈式反應。關鍵原理可拆解為“反應觸發 - 鏈式維持 - 能量傳遞”三環節。

在反應觸發階段，用慢中子（能量約 0.025eV，也稱“熱中子”）撞擊鈾 - 235 原子核，使其吸收中子後形成不穩定的“鈾 - 236 復核”；鈾 - 236 在極短時間（ 10^{-12} 秒）內分裂為 2 個輕原子核（如氪 - 92、鋇 - 141），同時釋放 2-3 個快中子與 γ 射線，伴隨品質虧損（約 0.215 原子品質單位），虧損品質按 $E=mc^2$ 轉化為能量（1 個鈾 - 235 原子核裂變釋放約 200MeV 能量，相當於 2700 噸標準煤 / 噸鈾的熱量）。

圖 1 核裂變反應微觀示意圖



圖片來源: Chemistry LibreTexts

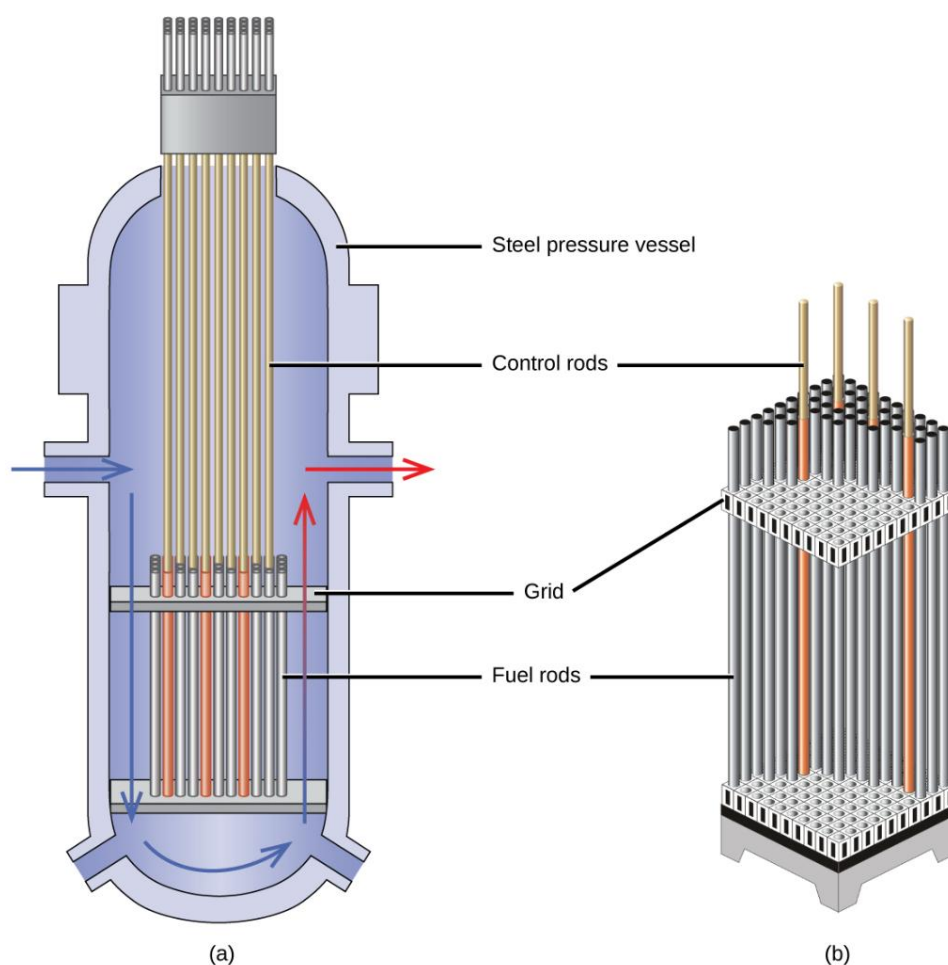
在鏈式維持階段，鏈式反應需達到“臨界狀態”，即中子產生量 $\geq$ 中子消耗量（含中子洩漏與被非裂變核素吸收），商用反應堆通過三項核心設計實現這一狀態：一是提升燃料富集度，將天然鈾中僅佔 0.7% 的可裂變核素鈾 - 235 濃縮至 3%-5%（壓水堆標準），確保可裂變核素佔比滿足反應需求；二是配置慢化劑與反射層，以水等慢化劑減速裂變產生的快中子（使其更易觸發新裂變），以石墨等反射層反射即將逃逸的中子，減少中子損失；三是設定最小堆芯體積（如壓水堆堆芯直徑約 3 米、高約 4 米），避免中子因堆芯過小而過多逃逸。同時，為即時控制中子密度以調節反應強度，反應堆通過“控制棒 + 硼水調節”雙重機制實現精準調控：控制棒由硼、鎳等強中子吸收材料製成，插入堆芯可吸收中子以降低功率，拔出則減少吸收以提升功率，緊急情況下可快速插入實現“停堆”；壓水堆的冷卻劑中會溶解硼酸，通過調節硼濃度可微調中子數量，適配日常用電負荷變化帶來的功率需求波動。

圖 2 展示的是壓水堆核反應爐堆芯結構（Pressurized Water Reactor Core）的示意圖。左側（a）為堆芯的剖面圖，外層為鋼制壓力容器（Steel Pressure Vessel），用於承受高溫高壓並防止放射性洩漏。內部排列著大量燃料棒（Fuel Rods），它們裝有鈾燃料芯塊，是核裂變（Fission）釋放能量的主要來源。冷卻水（Coolant）從下方進入，流經燃料棒之間吸收熱量後，從上部流出，將裂變產生的熱能帶走。

圖中穿插於燃料棒之間的金色細棒為控制棒 (Control Rods)，由硼 (Boron) 或鎘 (Cadmium) 等強吸中子材料製成，用於調節中子數量與反應速率。通過插入或拔出控制棒，反應堆可以實現功率調節或緊急停堆 (Shutdown)。燃料棒與控制棒由格架 (Grid) 固定，以保持穩定的幾何結構並確保冷卻水均勻流動。

右側 (b) 展示了單個燃料組件 (Fuel Assembly) 的三維結構：灰色棒為燃料棒，金色棒為控制棒。這樣的組件通常成百上千個組合在堆芯內部，構成反應堆能量釋放的主體區域。整套系統實現了核能→熱能→機械能→電能的能量轉換，是商用核電站發電的核心部分。

圖 2 核裂變反應堆的核心結構示意圖



圖片來源: Chemistry LibreTexts

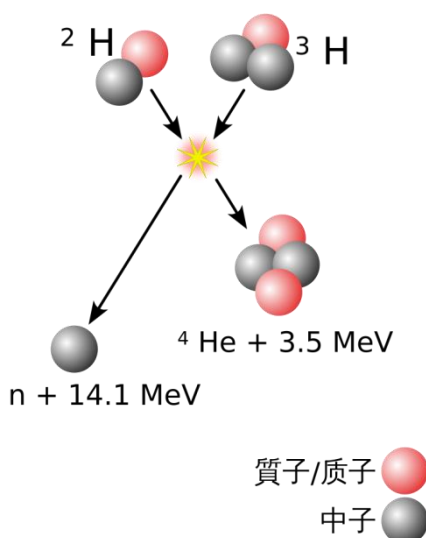
在**能量傳遞階段**，核裂變釋放的能量 99% 以熱能形式存在，需通過“三回路系統”完成“熱能→機械能→電能”的轉化，整個過程以“隔離放射性”和“提升熱效率”為核心：一回路（核島）中，15.5MPa、320°C 的高壓水作為冷卻劑流經堆芯吸收熱量，隨後通過蒸汽發生器將熱量傳遞給二回路，自身則返回堆芯迴圈，全程不與外界接觸，從根源上避免放射性洩漏；二回路（常規島）中的水吸收熱量後沸騰，產生 250°C、6MPa 的蒸汽，蒸汽推動汽輪機高速旋轉，進而帶動發電機產生電能；三回路（輔助回路）則引入海水或河水，這些迴圈水進入凝汽器，將做功後降溫降壓的蒸汽冷卻為液態水（以便重新進入二回路迴圈），同時將約佔總能量 60% 的餘熱排放到外界。

3. 核聚變技術

3.1 核聚變技術原理

核聚變是指輕原子核（如氘、氚）在極高溫度和壓力下克服靜電斥力，聚合形成較重原子核（如氦）並釋放巨額能量的過程，其能量來源與太陽發光發熱的原理一致，核心是通過“創造極端條件實現持續聚變燃燒”，目前主流技術路線圍繞**磁約束**和**慣性約束**兩大方向展開，二者在原理設計和實現路徑上存在顯著差異。

圖 3 核聚變反應微觀示意圖



圖片來源：維基百科

磁約束是當前核聚變研發中最成熟、最接近商業化的技術路線，其核心原理是利用強磁場對帶電粒子（等離子體）產生的洛倫茲力，將等離子體約束在特定空間內，避免其與裝置壁接觸。該路線的核心裝置為“托卡馬克”，其研發投入佔全球聚變總投入的 70% 以上，是各國突破聚變能源的重點方向。

托卡馬克的約束邏輯圍繞“環形場+極向場”的磁場疊加展開，最終形成沿環形真空室螺旋運動的磁場，讓等離子體像“繞著彈簧”一樣運動，從而無法觸碰壁面。其中，環形場（TF）由纏繞在真空室外側的超導線圈產生，磁場方向沿真空室環形切線方向（類似輪胎圓周方向），強度可達 10-20 特斯拉（相當於地球磁場的 20 萬-40 萬倍），是約束等離子體的“主力磁場”，主要作用是防止等離子體向真空室徑向逃逸；極向場（PF）由上下對稱佈置的線圈產生，磁場方向沿真空室極向（類似地球南北極方向），與環形場疊加後不僅能形成螺旋磁場，還能控制等離子體的形狀（如“D 形”“圓形”）和位置，避免其貼壁。此外，通過中心螺線管線圈（CS）的變化磁場，還能在等離子體內感應出數千萬安培的強大電流，電流產生的焦耳熱可初步加熱等離子體，同時電流自身也會產生極向場，進一步輔助約束。

托卡馬克的運行過程可分為“啟動-加熱-約束-能量提取”四步，核心是通過多階段加熱讓等離子體達到聚變溫度，並維持長期穩定約束。在等離子體啟動階段，會向真空室（壓力 $< 10^{-7}$ 帕，比宇宙空間更稀薄）內注入氘氚氣體，再通過高壓電弧擊穿氣體，使其電離為電子與原子核分離的等離子體；加熱階段分為初始加熱和輔助加熱，初始加熱利用等離子體電流的焦耳熱，將溫度升至 1000 萬-1 億 $^{\circ}\text{C}$ ，輔助加熱則通過“中性束注入”（高能氦粒子束

行業研究報告

轟擊等離子體)和“射頻波加熱”(微波共振傳遞能量),將溫度進一步提升至聚變所需的1.5億°C以上;穩定約束階段依賴AI控制系統,通過即時調整線圈電流、氣體注入量,抑制等離子體的不穩定性(如“邊界局域模”會導致能量驟失),確保等離子體維持高密度和長約束時間;能量提取階段,聚變產生的中子會轟擊裝置內的鋰增殖包層,加熱包層內的冷卻劑(如氦氣、液態金屬),冷卻劑再通過熱交換器產生蒸汽,推動汽輪機發電,同時鋰在中子作用下會轉化為氚,作為燃料迴圈用於後續聚變反應。

圖4展示的是托卡馬克(Tokamak)核聚變反應堆結構剖面圖,主要分為三個系統。第一個系統是**外層與低溫系統**。主要部件有:

Cryostat (低溫絕熱罩): 整個反應堆最外層的封閉結構,用於保持超導磁體在低溫下工作,隔絕外部熱量。

Cooling System (冷卻系統): 迴圈液氦或液氮以冷卻超導線圈和其他高溫部件。

Centering System (居中系統): 維持裝置各部分在強磁力作用下的幾何對稱和平衡,防止磁體偏移。

Support System (支撐系統): 機械支撐結構,承受幾千噸重量及強磁力帶來的應力。

第二個系統是**磁約束系統**。主要部件有:

Central Solenoid (中央螺線管): 位於裝置中心,是托卡馬克的“心臟”,通過感應電流產生環向電場,驅動等離子體電流(Plasma Current),從而形成極向磁場。

Toroidal Field Magnets (環向場磁體): 圍繞真空腔體分佈,產生沿環方向的強磁場,防止等離子體向徑向擴散。

Poloidal Field Magnets (極向場磁體): 分佈在裝置的上下,用於控制等離子體形狀和位置,保持其穩定。

Correction Coils (校正線圈): 微調磁場分佈,抑制等離子體的不穩定擾動。

Magnet Feeders (磁體供電裝置): 為各類磁體提供高電流和低溫超導電力。

第三個系統是**反應核心區**。主要部件有:

Vacuum Vessel (真空腔): 形成高真空環境(約 10^{-6} Pa),防止雜質進入等離子體區域,同時承受內部高溫與機械負載。

Blanket (包層): 位於真空腔內壁,用於吸收聚變產生的高能中子,將其動能轉化為熱能,並通過鋰(Lithium)反應增殖氚燃料。

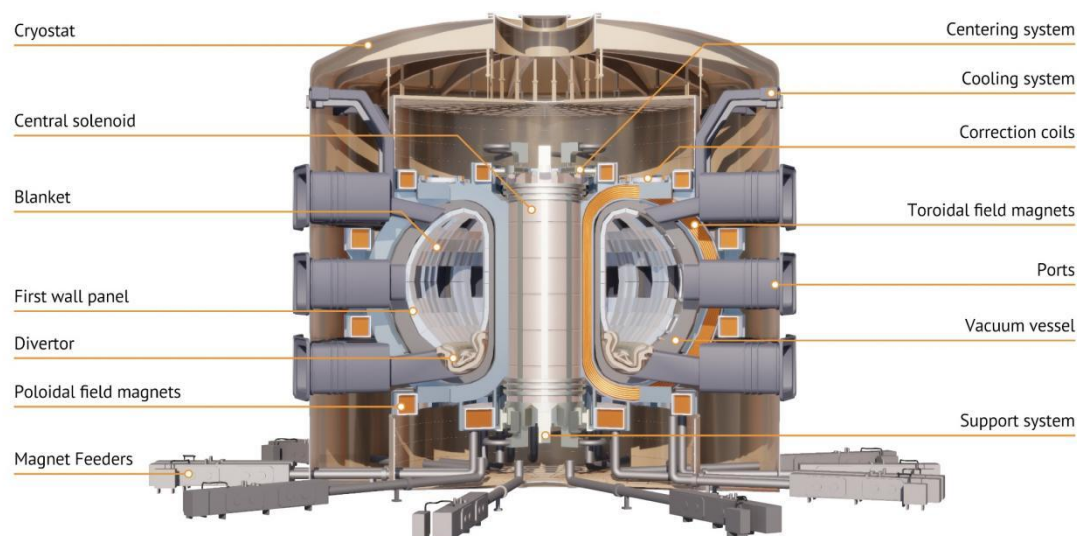
First Wall Panel (第一壁): 直接面對等離子體的內層金屬壁,需耐高溫 and 強中子輻照,是反應堆最受熱衝擊的部件。

Divertor (偏濾器): 位於底部,用於引導並排出等離子體中的雜質和聚變產物氦灰(Helium Ash),維持等離子體純淨。

Ports (介面): 用於燃料注入(Fuel Injection)、診斷裝置(Diagnostics)、加熱系統(Heating Systems)及中子監測。

磁約束核聚變的核心裝置托卡馬克,其核心材料是**超導體材料**,以及耐高溫、抗輻射材料(鈾銅合金, RAFM 鋼等)。

圖 4 托卡馬克結構剖面圖



圖片來源: *Energy Encyclopedia*

慣性約束核聚變以“超強鐳射或粒子束瞬間壓縮燃料”為核心，依靠等離子體自身慣性在擴散前完成聚變反應，整體類似炸藥爆炸的衝擊波壓縮效應。其反應時間極短，僅為納秒級（ 10^{-9} 秒），核心裝置是高功率鐳射系統，其中美國國家點火裝置（NIF）是該路線的標誌性設施，代表當前慣性約束技術的最高水平。

從核心原理來看，慣性約束的邏輯可概括為“以快制快”——通過極短時間的高強度能量輸入，將燃料壓縮至滿足聚變的極端條件，讓原子核在尚未擴散時完成聚合。具體過程圍繞靶丸設計與鐳射作用展開：靶丸核心是直徑約 1 毫米的氘氚冰球（或氘凝膠靶），外層包裹厚度約 100 微米的金屬外殼（如金、鉑），為能量吸收與衝擊波形成提供基礎；數千束總能量達百萬焦耳級的高功率鐳射會同時聚焦在靶丸外殼上，外殼瞬間吸收鐳射能量並汽化，產生向外噴射的等離子體；這些等離子體噴射時產生的反作用力（類似火箭推進原理）會形成向內的衝擊波，將靶丸核心的氘氚壓縮至 10^{25} 粒子/立方米的密度（相當於鉛密度的 100 倍），同時溫度升至 3 億℃以上，完全滿足聚變反應的條件；由於壓縮速度極快（每秒數百公里），靶丸核心的等離子體因自身慣性，會在 10^{-9} 秒內保持高密度狀態，聚變反應便在這一短暫窗口期內完成。

表 1 核聚變磁約束技術與慣性約束技術的差異

對比維度	磁約束核聚變	慣性約束核聚變
原理核心	利用強磁場將高溫等離子體約束在真空室內，維持足夠時間使核聚變反應持續進行	用高能量密度的鐳射或粒子束瞬間加熱並壓縮燃料靶丸，依靠慣性在燃料飛散前完成核聚變反應
典型裝置	托卡馬克、仿星器	鐳射聚變裝置
燃料形態	氘氚氣體等離子體	氘氚冷凍靶丸（微米級小球，內裝氘氚燃料）
反應時間	毫秒至分鐘級（需持續約束等離子體）	納秒級（瞬間完成反應）
技術成熟度	研究歷史長，工程化進展領先	技術難度高，目前處於實驗驗證關鍵期
商業化前景	被視為最可能率先實現商業化的路徑，目標是建造持續發電的聚變堆	短期內更側重科研與特殊能源應用，商業化發電難度較大
代表專案	ITER、中國環流三號、CFETR	美國國家點火設施（NIF）、中國神光系列裝置
核心挑戰	如何維持磁場穩定性、提升等離子體能量約束時間、降低裝置建造成本	如何提高鐳射能量轉化效率、實現靶丸的均勻壓縮與點火、解決重複運行的工程問題

3.2 核聚變技術難點與挑戰

核心難點 1：實現並維持“聚變條件”——極端環境的控制

達到溫度能量損耗過大。太陽核心溫度約 1500 萬℃，而地球核聚變裝置（如托卡馬克）需將等離子體加熱到 1 億℃以上（是太陽核心的 6 倍多），才能讓氘氚核有足夠動能突破斥力。當前主流加熱方式（射頻加熱、中性束注入、電子迴旋加熱）存在“能量損耗大”問題——

加熱過程中約 30%-50% 的能量會通過輻射、粒子逃逸等方式流失，需持續輸入巨量能量才能維持溫度，難以長時間穩定。

等離子體約束存在挑戰。1 億°C 的等離子體（帶電粒子集合體）無法接觸任何實體容器（否則會瞬間冷卻並燒毀容器），需通過“磁約束”或“慣性約束”將其“懸浮”並限制在極小區域內：

磁約束（如托卡馬克、仿星器），依賴強磁場（是地球磁場的幾十萬倍）束縛等離子體，但等離子體具有“不穩定性”——會像流體一樣產生湍流、破裂（如“邊緣局域模 ELM”），導致粒子逃逸，目前最長約束時間僅數百秒（如中國“人造太陽”EAST 實現 1.2 億°C 持續 403 秒），距離商用所需的“連續運行數千小時”差距極大。

慣性約束（如鐳射聚變）：用超強鐳射（功率達 100 萬億瓦）瞬間壓縮靶丸（含氘氚），靠慣性維持高溫高壓，但鐳射能量利用率極低（僅約 1% 能轉化為壓縮能量），且靶丸製備精度要求極高（直徑誤差需小於 1 微米），難以批量生產和連續供靶。

核心難點 2：突破“能量收支平衡”——從“耗能”到“產電”的跨越

核聚變的關鍵指標是能量增益因數（Q 值）：即聚變反應釋放的能量與輸入裝置的能量之比。目前全球頂尖裝置的 Q 值剛突破“1”，但距離商用要求的“ $Q \geq 10$ ”（即輸出能量是輸入的 10 倍以上）仍有本質差距，核心問題在於：

能量損耗環節多輸入能量不僅要用於加熱等離子體，還需驅動強磁場、冷卻裝置、維持真空環境等，而聚變釋放的能量中，約 80% 以高能中子形式存在，需通過“包層”（吸收中子的裝置）轉化為熱能，再通過傳統蒸汽輪機發電——整個過程中能量轉化效率僅 30%-40%，導致實際“淨輸出能量”（扣除所有輸入能耗後）仍為負值。

短時反應難持續，目前 Q 值超 1 的實驗均為“脈衝式”（如 NIF 的反應僅持續幾納秒，EAST 的長脈衝運行未實現高 Q 值），無法像核裂變電站那樣“連續穩定產電”。若要實現連續運行，需解決“持續供料”（如向磁約束裝置中穩定注入氘氚燃料）、“即時排熱”（避免裝置過熱）等問題，技術複雜度呈指數級提升。

核心難點 3：材料耐受——對抗“高能中子轟炸”

核聚變反應會產生能量高達 14.1MeV 的高能中子（是核裂變中子能量的 5-10 倍），這些中子會像“子彈”一樣持續轟擊裝置內部材料（如托卡馬克的第一壁、包層），帶來致命問題：

材料結構損傷高能中子會嵌入材料晶格，導致晶格畸變、產生空位和位錯，使材料出現“輻照腫脹”（體積膨脹）、“脆化”（韌性下降）——例如常用的金屬材料（如鎢、銅）在中子轟擊下，可能在幾年內失去結構強度，無法承受裝置運行壓力，目前尚無材料能在聚變環境下穩定工作 10 年以上（商用電站需材料壽命 20-30 年）。

3.3 全球主要核聚變專案

國際熱核聚變實驗堆（ITER）

國際熱核聚變實驗堆（ITER）是人類歷史上規模最大、影響最深遠的核聚變國際合作專案，核心定位是驗證和平利用聚變能的科學與工程可行性，為未來商用聚變堆的發展奠定關鍵基礎。該專案彙聚了全球頂尖科研力量，由歐盟、中國、美國、俄羅斯、印度、日本、韓國七

行業研究報告

方作為核心成員國，澳大利亞、加拿大等非成員國參與技術合作，覆蓋 35 個國家的科研資源與人才，構建了超越地緣政治的國際合作框架。

在技術路線上，ITER 採用目前最成熟的磁約束技術，以托卡馬克裝置為核心，通過強磁場形成“磁籠”約束超高溫等離子體，使其與容器壁隔離併發生聚變反應，這一路線也是當前最接近商業化的核聚變技術方向。專案設定了明確的核心設計目標：聚變功率達到 50 萬千瓦，能量增益 Q 值 ≥ 10 （即輸出能量為輸入能量的 10 倍），並實現 500 秒的持續運行，以此驗證大規模、長時間聚變反應的可行性。

在關鍵進展方面，2025 年 4 月完成了全球最大、最強的脈衝超導電磁體系統全部組件製造，該系統作為 ITER 的“電磁心臟”重達 3000 噸，包含美國製造的中心螺線管模組以及中、俄、歐聯合製造的極向場磁體，成為聚變領域具有里程碑意義的技術突破。

當前，ITER 正處於裝置組裝與系統集成的關鍵階段，根據最新規劃，預計 2036 年前後啟動首次等離子體放電實驗（原定 2034 年），後續將進入為期 20 年的實驗運行期，逐步驗證全功率運行、能量增益等核心指標。不過，專案在推進過程中也呈現出顯著的優勢與挑戰：其核心優勢在於集中全球頂尖技術資源，有效分攤了研發成本與技術風險，推動了超導材料、極端環境材料等多個前沿領域的技術進步；但受參與方眾多、協調機制複雜、工程技術難度極高等因素影響，專案面臨著明顯的進度滯後（原計劃 2025 年開展的首堆等離子體實驗已推遲）和成本超支問題，總預算從最初的 100 億歐元上漲至 200 億歐元，部分關鍵實驗階段的啟動時間也相應調整。儘管挑戰重重，ITER 的推進仍為人類探索無限清潔能源提供了關鍵平台，其每一項突破都在推動人類向解決能源問題的終極目標邁進。

日本-歐盟聯合超導托卡馬克（JT-60SA）

日本-歐盟聯合超導托卡馬克（JT-60SA）是聚焦先進等離子體運行模式研究的國際合作裝置，核心定位是為國際熱核聚變實驗堆（ITER）及後續商用聚變堆，提供關鍵技術支撐與實際運行經驗，填補基礎研究與工程化應用之間的技術空白。

該裝置由歐盟與日本聯合出資建設，彙聚了 500 餘名來自兩國及其他合作方的科研人員，同時有超 70 家專業供應商參與核心組件製造，形成了“科研機構+企業”協同推進的研發模式，覆蓋超導磁體、等離子體診斷、真空系統等多個關鍵領域的技術整合。

在技術路線上，JT-60SA 採用超導托卡馬克設計，區別於常規托卡馬克，其超導線圈可實現長期穩定運行，無需頻繁降溫與維護，核心研究方向聚焦長脈衝、高參數等離子體物理實驗——通過延長等離子體約束時間、提升運行參數，探索更貼近商用堆需求的等離子體控制模式與能量傳輸規律。

在關鍵進展方面，JT-60SA 於 2007 年正式開工建設，歷經十餘年技術攻堅，於 2023 年 11 月成功點火並投入運行，標誌著裝置進入實質性實驗階段。根據規劃，其後續核心目標明確：未來兩年內將產生持續 100 秒、溫度達 2 億 $^{\circ}\text{C}$ 的高參數等離子體，重點圍繞約束時間延長、能量傳輸效率優化等核心參數開展實驗，為 ITER 優化運行策略、商用堆設計關鍵參數提供直接數據支撐。

中國東方超環（EAST）

東方超環（EAST）是全球首個全超導托卡馬克裝置，其核心定位是中國聚變能研發的“基礎實驗平台”，聚焦探索長脈衝、高參數等離子體的運行規律，為後續大型聚變裝置（如 ITER）和中國自主商用堆提供關鍵物理數據與技術驗證。

行業研究報告

作為聚變研究的“核心實驗室”，EAST 的關鍵成就集中在突破等離子體約束時間的世界紀錄：已成功實現 1056 秒長脈衝高參數等離子體運行，不僅驗證了全超導托卡馬克裝置的長週期穩定運行能力，更在等離子體控制、加熱技術、邊界物理等領域積累了大量一手數據——這些數據直接為 ITER 優化運行策略、中國商用堆設計等離子體參數提供了重要支撐，也讓中國在長脈衝聚變實驗領域躋身全球領先行列。

中國聚變堆主機關鍵系統（CRAFT）

聚變堆主機關鍵系統（CRAFT）的定位更偏向“工程化突破”，是中國聚變能源商業化進程中的“核心預研設施”，核心目標是攻克聚變堆主機的關鍵系統與核心技術，同時構建從材料研發、部件製造到系統集成的全產業鏈體系，為中國自主建造商用聚變堆奠定工程基礎。

在關鍵進展上，CRAFT 於 2025 年 10 月實現重大突破：成功交付全球最大的環向場（TF）磁體線圈盒。該部件重達 400 噸，尺寸達 21 米×12 米，超出國際熱核聚變實驗堆（ITER）同類部件 1.2 倍以上，製造過程中攻克了超大尺寸結構焊接變形控制、低溫超導材料性能調控等多項技術難題。這一成果不僅標誌著中國在聚變高端裝備製造領域躋身世界前列，更打破了國外在大尺寸聚變核心部件製造上的技術壟斷，為中國後續商用堆核心設備自主化提供了關鍵保障。

美國 SPARC 緊湊型托卡馬克

美國 SPARC 緊湊型托卡馬克由麻省理工學院（MIT）與初創公司 Commonwealth Fusion Systems（CFS）聯合研發，核心定位聚焦“小型化、快速商業化”，旨在成為全球首個實現高能量增益的緊湊型聚變裝置，打破傳統大型聚變專案“週期長、成本高”的瓶頸，加速聚變能源的市場化落地。

在技術路線上，SPARC 延續磁約束（托卡馬克）的核心邏輯，但以“高溫超導帶材線圈”為關鍵創新點——採用第二代高溫超導（REBCO）帶材製造磁體線圈，使磁場強度可達 20 特斯拉，是國際熱核聚變實驗堆（ITER）磁場強度的 2 倍以上。更強的磁場能大幅提升等離子體約束能力，這也讓 SPARC 在體積上實現突破：設計體積僅為 ITER 的 1/60，卻能達到更優的能量增益效果，凸顯“小型化、高參數”的技術優勢。

其關鍵指標與進展規劃清晰且極具挑戰性：設計目標為能量增益 $Q \geq 20$ （輸出能量是輸入能量的 20 倍），遠超 ITER 的 $Q \geq 10$ ；計劃 2025 年開展首次等離子體實驗，驗證核心技術可行性，2030 年前後實現持續發電，整體研發週期較傳統專案縮短 50% 以上。這種高效推進節奏，源於其獨特的“產學研結合”模式——依託 MIT 的基礎科研實力突破物理與技術難題，借助 CFS 的商業資本與市場化思維整合供應鏈、優化研發效率，注重技術成果向商用產品的快速轉化，完全區別於純科研專案“重理論、輕應用”的推進邏輯。

不過，SPARC 仍面臨兩大核心挑戰：一是高溫超導帶材在聚變極端環境（強輻射、高溫梯度）下的穩定性尚未經過長期驗證，帶材性能衰減可能影響磁體壽命與裝置可靠性；二是緊湊型裝置內等離子體控制精度要求更高，需解決小空間內等離子體不穩定性、能量傳輸效率等問題，這些都需要進一步驗證與優化。

英國能源生產球形托卡馬克（STEP）

英國能源生產球形托卡馬克（STEP）的核心定位圍繞“經濟性與可維護性”展開，旨在打造一座聚變原型電廠，核心目標是驗證聚變能源的淨能量輸出能力與氬自持迴圈技術，為後續商用堆的成本優化與運維體系建設提供實踐依據，計劃於 2040 年實現首次運行，推動聚變

能源從實驗走向實用化。

在技術路線選擇上，STEP 採用球形托卡馬克設計，與傳統圓柱形托卡馬克相比具有顯著優勢：球形結構體積更小，可減少材料用量與建造成本，據測算其建設成本較同功率傳統托卡馬克降低 30% 以上；開放式的裝置結構便於後期遠程維護，能大幅縮短停機檢修時間，提升設備年利用率；同時，其配備的先進偏濾器設計可承受更高熱通量（每平方米熱負荷達 20 兆瓦），有效解決聚變反應中能量沉積與裝置壁耐受的核心矛盾，更貼合商用堆長期穩定運行的需求。

3.4 核聚變商業化路徑與重要時間節點

1. 原理探索階段（已完成）

本階段核心目標是驗證核聚變反應的物理可行性，突破等離子體加熱與約束的基礎理論。通過早期實驗裝置，全球主流國家均實現了氘氚聚變反應的實驗室觀測，掌握了等離子體基本控制原理——例如中國通過早期小型托卡馬克裝置，完成了聚變反應基礎物理規律的驗證，為後續大型裝置研發奠定了理論基礎，標誌著人類從“認知聚變”邁入“探索利用聚變”的初始階段。

2. 規模實驗階段（進行中）

階段核心目標是在大型實驗裝置上實現高參數等離子體穩定運行，驗證聚變反應的工程可行性。關鍵任務集中在突破 1 億°C 以上高溫等離子體約束、長時間穩態運行等核心技術，同時解決超導磁體製造、等離子體診斷控制等工程難題。全球代表性裝置包括中國 EAST（東方超環）、中國環流三號、美國 DIII-D、歐盟 JET 等，其中中國環流三號已實現原子核溫度 1.17 億°C、電子溫度 1.6 億°C 的“雙億度”運行，進入關鍵實驗階段，為後續燃燒實驗積累了重要工程數據。

3. 燃燒實驗階段（當前核心階段）

此階段是核聚變商業化的關鍵轉折，核心目標是實現等離子體“自持燃燒”——即聚變反應產生的能量可維持自身溫度，無需外部大量加熱，為淨能量輸出奠定基礎。關鍵任務包括攻克燃燒等離子體物理、氦自持迴圈、抗中子輻照材料等核心技術，驗證聚變堆芯關鍵參數。目前，中國正通過升級中國環流三號開展相關實驗，計劃 2027 年左右完成燃燒等離子體實驗；國際熱核聚變實驗堆（ITER）作為該階段全球最大合作專案，將集中驗證燃燒等離子體的長期穩定運行能力。

4. 實驗堆/先導堆階段（2027 年後啟動）

階段核心目標是首次演示聚變能輸出，驗證“聚變發電”全流程可行性，打通從聚變反應到電能轉換的技術鏈條。關鍵任務需集成等離子體約束、能量轉換、氦迴圈、安全控制等系統，實現穩定的能量輸出與轉換，並積累工程運行經驗。代表專案包括中國 BEST 裝置（2025 年進入總裝，預計 2027 年建成並首次演示聚變發電），以及中國聚變公司規劃的先導實驗堆，這些專案將首次實現“聚變產生的熱能→電能”的完整轉化，是從實驗到工程應用的關鍵一步。

5. 示範堆階段（2035 年後主導）

本階段核心目標是建成可穩定並網的示範電站，驗證核聚變發電的經濟性與可靠性，形成標

準化技術方案。關鍵任務聚焦降低建造成本、優化運行效率、建立完善的運維體系，最終實現持續穩定的淨電力輸出（能量增益 $Q>10$ ）。從全球佈局來看，歐盟計劃在 ITER 實驗完成後建設 DEMO 示範堆；中國計劃 2035 年啟動示範堆建設，2045 年左右實現示範堆發電驗證；美國私營企業如 CFS 則計劃在 2030 年代初通過 ARC 專案實現示範供電，多方並行推動聚變能源從“能發電”向“能穩定供電”跨越。

6. 商用堆階段（2050 年前後落地）

作為商業化的最終階段，核心目標是實現核聚變電力的大規模商業化應用，形成標準化、模組化的商用堆設計，將成本降至與傳統能源可比水平。關鍵任務包括通過規模效應降低建造成本、完善產業鏈配套（如超導材料量產、氬供應鏈建設）、建立政策法規與並網標準體系，最終實現核聚變能源的規模化推廣。應用場景將優先覆蓋 AI 數據中心、工業園區等高密度用電場景，逐步替代化石能源與傳統核能，成為全球低碳能源體系的核心組成部分，徹底改變人類能源供給格局。

4. 核能產業鏈

4.1 核裂變產業鏈

上游-核燃料供應環節

上游核心是為核電站提供合格的核燃料，需經歷“鈾資源開發→鈾轉化→鈾濃縮→核燃料元件製造”四大步驟，是核裂變產業鏈的起點，技術核心在於鈾的提純與核燃料形態加工。

在鈾資源開發方面，核心產品是天然鈾 (U_3O_8 ，俗稱“黃餅”)，全球鈾資源主要集中在哈薩克斯坦、加拿大、澳大利亞等國；其關鍵環節涵蓋鈾礦勘探（通過地質勘查定位高品位鈾礦）、開採（分露天開採、地下開採，低品位鈾礦採用“地浸法”提取）、提煉（將礦石加工為純度約 80%-90% 的 U_3O_8 ），代表企業有哈薩克斯坦國家原子能公司（Kazatomprom）、加拿大卡梅科公司（Cameco）、中國核工業集團鈾業公司等。在港股及 A 股中，中廣核礦業（01164.HK）以及中國鈾業（擬 A 股上市）是核心直接參與鈾礦開發的企業。

在鈾轉化與濃縮方面，鈾轉化是核燃料製備的關鍵中間步驟，需將天然鈾產品 U_3O_8 轉化為可用於濃縮的六氟化鈾 (UF_6)——這種物質常溫下為固體，加熱後可變為氣體，便於後續離心分離操作，且整個化學反應需在密閉、防腐蝕的專用設備中進行，避免洩漏與污染；鈾濃縮則是提升可裂變核素佔比的核心環節，主流採用離心法（部分仍用氣體擴散法），將天然鈾中僅佔 0.7% 的鈾-235 濃縮至核電站所需濃度（壓水堆需 3%-5%，重水堆可直接使用天然鈾），該環節技術壁壘極高，要求濃縮設備的離心轉子以約 5 萬轉/分鐘的速度高速旋轉且長期穩定運行，代表企業包括俄羅斯 TVEL 集團、法國歐安諾公司（Orano）以及掌握離心法濃縮技術的中國原子能科學研究院。在該領域，A 股及港股市場沒有直接對應的標的。

在核燃料元件製造方面，需經過多道精密工序：先將濃縮後的 UF_6 轉化為二氧化鈾 (UO_2) 粉末，壓制成直徑約 8mm、高度 10mm 的圓柱形“燃料芯塊”，再將芯塊裝入耐高溫、抗腐蝕的鉍合金管（可防止放射性物質洩漏）組裝成“燃料棒”，最終按核電站堆芯尺寸將燃料棒拼接為“燃料組件”（壓水堆燃料組件通常含 264 根燃料棒，重量約 600kg）。該過程對技術精度要求嚴苛，如燃料芯塊密度需達到理論密度的 95% 以上，鉍合金管焊接精度誤差需小於 0.1mm，以確保元件在長期運行中不破裂，代表企業有法國法瑪通公司（Framatome）、日本三菱重工以及中核集團西安核設備有限公司。港股沒有直接相關標的。

中游-核電裝備與發電環節

中游是核裂變能量轉化為電能的核心環節，分為“核電裝備製造”和“核電站運營”兩大板塊，技術核心在於核電設備的安全性與可靠性，以及核電站的穩定發電控制。

在核電裝備製造方面，核心設備按功能可分為三類，分別是“核島設備”“常規島設備”和“輔助設備”：其中核島設備直接接觸放射性物質，技術壁壘最高，包含反應堆壓力容器（核電站“心臟”，需承受 15MPa 高壓和 350°C 高溫，由低合金鋼鍛造且內壁堆焊不銹鋼防腐蝕）、蒸汽發生器（實現一回路與二回路熱量交換，U 型管需無洩漏）、穩壓器（維持一回路壓力穩定），全球僅中國一重、上海電氣、俄羅斯 Atomenergomash 等少數企業能製造；常規島設備聚焦能量轉化，與火電站常規設備類似，涵蓋汽輪機（將蒸汽熱能轉化為機械能，需適應核電低參數蒸汽特性）、發電機（將機械能轉化為電能）、凝汽器（冷卻乏汽），代表企業有西門子、通用電氣（GE）、中國東方電氣；輔助設備如核級泵（輸送放射性冷卻劑，需長期耐輻射）、核級閥門（控制介質流向，故障概率需低於 10^{-6} /小時），德國 KSB 集團、美國克瑞公司（Crompton）是該領域代表企業。同時，核電裝備需滿足“核安全級”標準，設計壽命通常為 40 年（可延壽至 60 年），製造過程需全程品質追溯，任一環節缺陷都可能引發核安全風險。

在港股市場中。在核島與常規島主設備環節有東方電氣（01072.HK）、上海電氣（02727.HK）、哈爾濱電氣（01133.HK）佈局相關核心裝備。

在核電站運營方面，需在建設完成後歷經“裝料→臨界試驗→並網發電→商業運行”四個核心階段，運營過程中要持續監控堆芯狀態（通過中子探測器監測裂變反應強度）、嚴格控制放射性物質（確保一回路無洩漏）、保障設備穩定運行（如每 18 個月更換 1/3 燃料組件，定期檢修核島設備）；其關鍵指標為年利用率需達 85% 以上（全球先進核電站如法國昂熱核電站年利用率超 90%），發電成本約 0.3-0.4 元/千瓦時（低於煤電，高於風電光伏），全球範圍內的代表運營企業包括法國電力集團（EDF，全球運營核電站最多）、美國愛克斯龍電力公司（Exelon）。港股方面，中廣核電力（01816.HK）從事相關領域。

下游-核廢料處理與退役環節

下游是核裂變產業鏈的“收尾環節”，核心是解決“核廢料處置”和“核電站退役”兩大問題，確保全生命週期的核安全，技術核心在於放射性物質的長期隔離與無害化處理。

在核廢料處置方面，核廢料處理首先按放射性強度分為三類，高放廢料如核電站用過的燃料組件，放射性強且半衰期長，需隔離數萬年；中放廢料如反應堆部件、冷卻劑篩檢程式，半衰期為數十年；低放廢料如防護服、檢測設備，半衰期僅數年。處理流程上，高放廢料先在核電站“乏燃料水池”冷卻 5-10 年以降低溫度和放射性，再轉運至法國拉海格中間儲存庫等“中間儲存設施”，最終目標是像芬蘭 Onkalo 地質處置庫（2025 年投入使用，全球首個永久高放廢料處置庫）那樣，將其封裝在銅罐中埋入數百米深的花崗岩地層實現“地質處置”；中低放廢料則經壓縮、固化（如水泥固化、瀝青固化）後，運往中國甘肅低放廢料處置場等“近地表處置場”，隔離數百年後放射性可降至安全水平，法國放射性廢物管理機構（ANDRA）、美國核廢物技術評審委員會（NWTRB）、中國原子能科學研究院核廢料處理研究所是該領域的代表機構。

在核電站退役方面，核電站在運營 40-60 年後需啟動退役工作，核心任務按“退役準備→設備拆除→場地去汙→環境監測”的步驟推進，最終要確保場地恢復至可安全利用狀態（如轉為工業用地或綠地）；退役過程中需運用多項關鍵技術，包括放射性設備切割（需通過遠程

行業研究報告

操作避免人員接觸輻射）、場地土壤去汙（採用化學藥劑或電滲析法去除放射性核素）、退役廢物分類處置（其中高放部件需按高放廢料標準處理）；全球範圍內的代表退役專案有德國 Stade 核電站（2011 年關閉，預計 2030 年完成全流程退役）與美國 SanOnofre 核電站（該專案投資超 40 億美元，是全球最大的核電站退役專案之一）。在港股市場，沒有與下游業務強相關的上市企業。

4.2 核聚變產業鏈

上游-核心原材料供應

核聚變產業鏈上游聚焦裝置所需關鍵材料與燃料供應，技術壁壘高且直接決定裝置性能與成本，核心品類可分為三類：一是超導材料，其佔裝置總成本 40% 以上，是約束超高溫等離子體的核心，低溫超導以 NbTi、Nb₃Sn 線材為主，高溫超導則以性能更優的 ReBCO、YBCO 帶材為核心，中國已突破高純淨噸級哈氏合金（C276）金屬基帶工業化製備技術，解決高溫超導帶材“地基”材料長期依賴進口的難題；二是耐高溫抗輻照材料，用於直接接觸等離子體的關鍵部件，如鈳銅合金、鎳基合金，三是燃料與增殖材料，氚從海水中提取且儲量近乎無限，中國核電等企業已穩定應用，鈷-6 作為生產氚的關鍵原料，青海已建成千噸級分離生產線，同時全球已研發出無汞分離新技術，通過 γ -V₂O₅ 材料電化學迴圈實現鈷-6 富集，為規模化供應提供新路徑。

在港股市場的核聚變產業鏈關鍵材料領域，可關注以下方向的標的：鈳資源領域，佳鑫國際資源（03858.HK）；鎳資源領域，力勤資源（02245.HK），金川國際（02362.HK）；防輻射材料-中子遮罩新材料領域，天工國際（00826.HK）。

中游-設備與系統集成

核聚變產業鏈中游是核心環節，涵蓋技術研發、核心部件製造及系統集成，主流技術路徑以磁約束為主（其中托卡馬克佔比 49.69%，為當前最成熟路線），慣性約束、磁慣性約束同步探索。其核心環節包括三部分：一是核心設備製造，托卡馬克裝置是當前產業化核心載體，關鍵部件中磁體系統為“心臟”部件（佔設備投資 40%-50%，由西部超導、聯創光電等提供），真空室及第一壁直接面對上億度等離子體（合鍛智能中標大額訂單，中國承擔 ITER10% 第一壁製造任務），偏濾器承擔“煙灰缸”功能（國光電氣、安泰科技為核心供應商），另有杜瓦等部件，且國光電氣、海陸重工具備國際競爭力；二是支持系統，包含低溫系統（雪人股份氬氣壓縮機打破國外壟斷）、電源系統（要求大容量、耐高壓，保變電氣、東方電氣為 ITER 提供主變壓器與高壓變電站）、真空系統等，在 ITER 專案中，電源、加熱系統和電流驅動的價值量合計佔比 15%；三是整堆集成與工程建設，東方電氣覆蓋聚變全產業鏈，為“中國環流三號”提供超導磁體系統，中國核建作為核電建設國家隊，憑藉模組化施工技術可縮短聚變堆建設週期 30%。

在中游環節，核心設備製造部分，有東方電氣（01072.HK）、上海電氣（02727.HK）。在支持系統部分（部分關鍵配件），有時代電氣（03898.HK）、中集安瑞科（03899.HK）。

下游-運營應用以及核聚變發電的商業化轉化

核聚變產業鏈下游聚焦技術商業化轉化，以發電為核心場景並拓展多元應用，整體呈現“示範先行、逐步規模化”的發展特點。核心場景商業發電遵循“實驗堆→示範堆→商用堆”路徑，國內合肥 BEST 裝置計劃 2027 年實現首次聚變發電演示，江西“星火一號”目標 2030

行業研究報告

年並網發電、力爭成為全球首個商用專案，中國核電、中國廣核、國家電投等企業還依託核裂變運營經驗，佈局核聚變電站建設與並網，未來將作為電網基荷電源支撐“雙碳”目標；隨著技術成熟，下游也逐步拓展新興應用領域，比如氫能製備（通過核聚變-光伏耦合制氫）、航太推進（利用聚變中子源驅動離子推進器）等，進一步打開長期成長空間；此外，下游發展還依託政策與資本的關鍵支撐，國內“十四五”期間核聚變專項投入超 200 億元，2025 年核電審批加速，疊加企業增資擴股（如中國核電 10 億元參股中國聚變能源有限公司），正推動產業鏈進入“設備訂單釋放-技術驗證加速-商業化電站招標”的良性迴圈。市場規模與發展趨勢。在港股市場中，**中廣核電力（01816.HK）** 將是核聚變商業化運營的關鍵參與方。

5. 核能市場規模與潛力

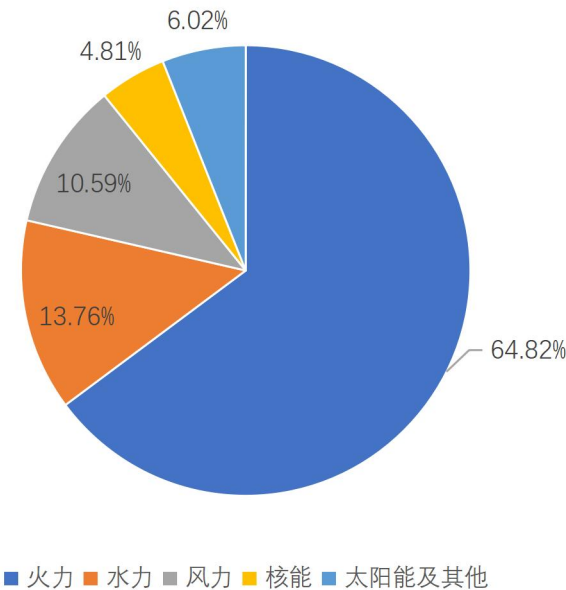
5.1 核裂變市場規模和潛力

從全球範圍看，核裂變市場已進入成熟運行階段，截至 2024 年，全球在運核電機組超 400 台，總裝機容量約 410GW，年發電量佔全球總發電量的 9% 左右，形成涵蓋鈾資源開採、核燃料加工、設備製造、工程建設、運營維護、核廢料處理的完整產業鏈，市場規模超萬億美元。其中，中國已成為全球核裂變市場的核心增長引擎，2024 年行業市場規模達 5876 億元，同比增長 8.3%，預計 2025 年將進一步擴大至 6360 億元，同比增長 8.06%。

全球主要經濟體均將核電作為低碳轉型核心抓手：中國《十四五現代能源體系規劃》明確 2025 年在運核電裝機容量達 70GW 以上、在建裝機容量力爭 30GW，長遠目標指向 2035 年 200GW，這意味著 2025-2035 年平均每年需新增裝機 13GW，按單 GW 建設成本約 120 億元測算，僅工程建設領域就將形成超 1.5 萬億元的市場空間。全球範圍內，中國在建核電機組 27 台、總容量超 32GW，超過全球排名第二至第八位國家的總和，且建設速度領跑全球，過去十年中國新增核電裝機 34GW，而美國完成同等增量耗時近四十年，這種“加速度”將推動全球核裂變市場重心持續向中國轉移。此外，法國、英國、印度等國也在推進核電新建與老舊機組升級計劃，為全球市場提供額外增量。

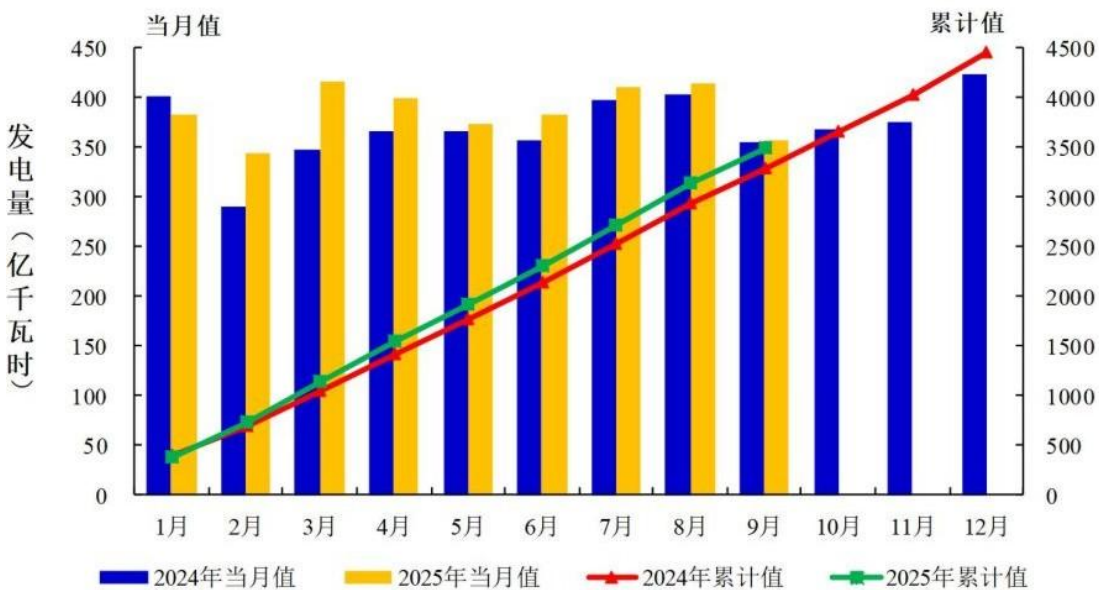
目前中國核電佔總發電量的比重僅 5% 左右，遠低於全球平均 9% 和法國 65% 的水平，與“雙碳”目標下非化石能源佔比提升的要求仍有較大差距。隨著風電、光伏等新能源的大規模並網，對核裂變這類穩定基荷能源的需求將持續增加，以保障電力系統安全。同時，全球範圍內化石能源退出進程加快，核裂變作為零碳排放的穩定能源，將在能源轉型中承擔更重要角色，長期市場增長具備堅實的需求基礎。

圖 5 2025 年 1-9 月全國發電量統計分佈



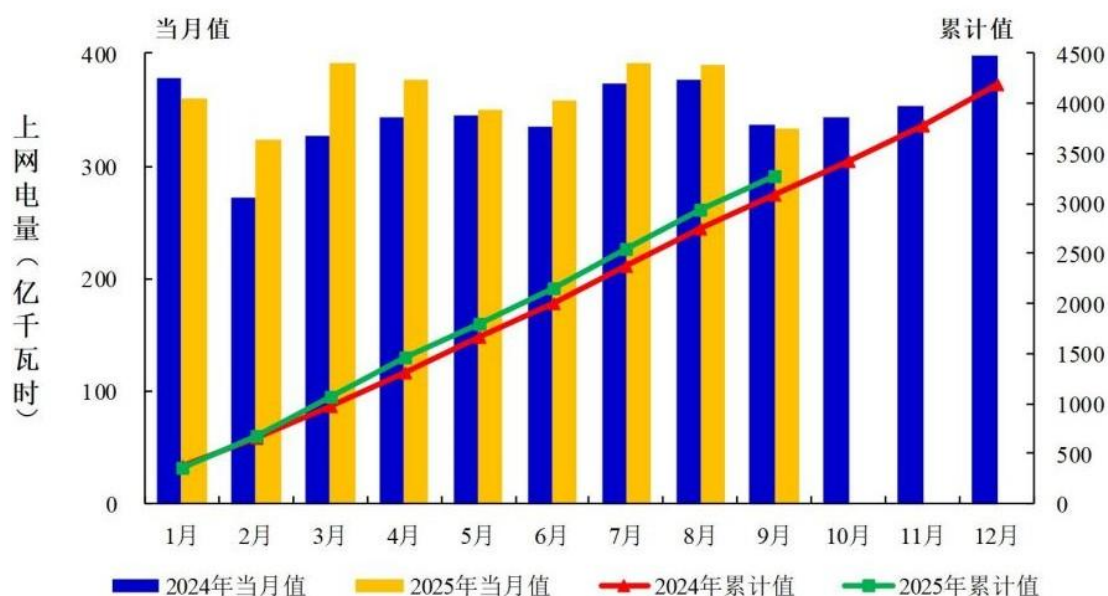
數據來源：中國核能行業協會，艾德金融研究部

圖 6 2024 年 1 月至 2025 年 9 月全國運行核電機組發電量趨勢



數據來源：中國核能行業協會

圖 7 2024 年 1 月至 2025 年 9 月全國運行核電機組上網電量趨勢



數據來源：中國核能行業協會

5.2 核聚變市場規模和潛力

當前核聚變市場仍處於“技術攻堅+產業培育”的初期階段，市場規模以研發投入、實驗裝置建設、核心材料與部件採購為核心，呈現穩步擴容態勢。

從全球範圍看，2024 年全球核聚變廣義市場規模已達 3561.4 億美元，預計 2025 年將增長至 3759.4 億美元，2025-2034 年複合年增長率預計為 5.56%。這一規模主要分佈在三大領域：一是實驗裝置建設，截至 2025 年年中，全球聚變裝置總數已達 172 台，較 2024 年增加 13 台，其中實驗裝置佔比 85%，ITER 等大型專案的設備採購與工程建設成為市場核心支撐，僅未來 10 年全球就將有至少 37 個聚變專案建成，對應超 1100 億美元的設備潛在市場；二是核心材料與部件，高溫超導材料、抗輻照結構材料、中子遮罩材料等關鍵領域需求快速增長，推動上游產業鏈提前佈局；三是研發投入，全球政府與私人資本的研發資金持續加碼，過去 5 年全球聚變行業總投資額從 2021 年的 19 億美元飆升至 2025 年的 97 億美元，累計商業資金已超 100 億美元。

全球核聚變已進入“決定性新階段”，商業化時間表明確落地：2025-2027 年為實驗堆關鍵技術突破期，全球多個裝置將完成總裝點火，驗證工程可行性；2030-2035 年為示範堆建設窗口期，全球多數企業計劃啟動具淨能量增益的商業示範電站，產業鏈將迎來設備招標密集期；2040-2050 年進入商業化應用期，中國預計 2045 年左右建成首個商用示範堆，全球實現規模化商用。

對應市場規模將呈現“階梯式爆發”：中期（2030-2035 年）全球核聚變裝置市場規模有望達 2.26 萬億元人民幣（約 3150 億美元），其中中國計劃主導建設 12 台商業堆，佔據重要市場份額；長期來看，國際原子能機構、彭博新能源等權威機構預測，到 2050 年全球核聚變市場規模將突破 40 萬億美元，屆時聚變能有望佔全球電力供應的 10%-20%，成為與資訊技術比肩的超級賽道。中國市場增速將顯著領先全球，預計 2025-2030 年年複合增長率達 28%，2030 年市場規模將超 160 億元，後續隨著商業堆規模化落地，增速將進一步提升。

投資評級說明：

買入：預期未來 6—12 個月內上漲幅度在 15%以上；

增持：預期未來 6—12 個月內上漲幅度在 5%—15%；

中性：預期未來 6—12 個月內變動幅度在-5%—5%；

減持：預期未來 6—12 個月內下跌幅度在 5%以上。

艾德證券期貨研究部

陳政深 (HKSFC CE No. :BIY455)

Tel: 852-38966397

E-mail: ryan.chan@eddid.com.hk

陳剛 (HKSFC CE No. :BOX500)

Tel: +86 186 7668 5813

E-mail: gang.chen@eddid.com.hk

劉宗武 (HKSFC CE No. :BSJ488)

Tel: +86 137 6042 1136

E-mail: liuzongwu@eddid.com.hk

侯新義 (HKSFC CE No. :BTW322)

Tel: +86 138 2317 0823

E-mail: sunny.hou@eddid.com.hk

免責聲明及披露**分析員聲明**

負責撰寫本報告的全部或部分內容之分析員，就本報告所提及的證券及其發行人做出以下聲明：（1）發表於本報告的觀點準確地反映有關於他們個人對所提及的證券及其發行人的觀點；（2）他們的薪酬在過往、現在和將來與發表在報告上的觀點並無直接或間接關係。此外，分析員確認，無論是他們本人還是他們的關聯人士（按香港證券及期貨事務監察委員會操作守則的相關定義）（1）並沒有在發表研究報告 30 日前處置或買賣證券；（2）不會在發表報告 3 個工作日內處置或買賣本報告中提及的證券；（3）沒有在有關香港上市公司內任職高級人員；（4）研究團隊成員並沒有持有有關證券的任何權益。

重要披露

本報告內所提及的任何投資都可能涉及相當大的風險。報告所載數據可能不適合所有投資者。艾德證券期貨不提供任何針對個人的投資建議。本報告沒有把任何人的投資目標、財務狀況和特殊需求考慮進去。而過去表現亦不代表未來的表現，實際情況可能和報告中所載的大不相同。本報告中所提及的投資價值或回報存在不確定性及難以保證，並可能會受目標資產表現以及其他市場因素影響。艾德證券期貨建議投資者應該獨立評估投資和策略，並鼓勵投資者諮詢專業財務顧問以便作出投資決定。本報告包含的任何資訊由艾德證券期貨編寫，僅為本公司及其關聯機構的特定客戶和其他專業人士提供的參考數據。報告中的資訊或所表達的意見皆不可作為或被視為證券出售要約或證券買賣的邀請，亦不構成任何投資、法律、會計或稅務方面的最終操作建議，本公司及其僱員不就報告中的內容對最終操作建議作出任何擔保。我們不對因依賴本報告所載資料採取任何行動而引致之任何直接或間接的錯誤、疏忽、

行業研究報告

違約、不謹慎或各類損失或損害承擔任何的法律責任。任何使用本報告息所作的投資決定完全由投資者自己承擔風險。本報告基於我們認為可靠且已經公開的資訊，我們力求但不擔保這些資訊的準確性、有效性和完整性。本報告中的資料、意見、預測均反映報告初次公開發布時的判斷，可能會隨時調整，且不承諾作出任何相關變更的通知。本公司可發布其他與本報告所載資料及/或結論不一致的報告。這些報告均反映報告編寫時不同的假設、觀點及分析方法。客戶應該小心注意本報告中所提及的前瞻性預測和實際情況可能有顯著區別，唯我們已合理、謹慎地確保預測所用的假設基礎是公平、合理。艾德證券期貨可能採取與報告中建議及/或觀點不一致的立場或投資決定。本公司或其附屬關聯機構可能持有報告中提到的公司所發行的證券頭寸並不時自行及/或代表其客戶進行交易或持有該等證券的權益，還可能與這些公司具有其他相關業務聯繫。因此，投資者應注意本報告可能存在的客觀性及利益衝突的情況，本公司將不會承擔任何責任。本報告版權僅為本公司所有，任何機構或個人於未經本公司書面授權的情況下，不得以任何形式翻版、複製、轉售、轉發及或向特定讀者以外的人士傳閱，否則有可能觸犯相關證券法規。

報告提供者

本報告乃由艾德證券期貨有限公司（「艾德證券期貨」）於香港提供。艾德證券期貨是香港證券及期貨事務監察委員會（「香港證監會」）持牌法團，及受其監管之香港金融機構。報告之提供者，均為香港證監會持牌人士。投資者如對艾德證券期貨所發的報告有任何問題，請直接聯絡艾德證券期貨。本報告作者所持香港證監會牌照的牌照編號已披露在作者姓名旁。

報告可用性

對部分司法管轄區或國家而言，分發、發行或使用本報告或會抵觸當地法律、法則、規定，當中或包括但不限於監管相關之規例、守則及指引。本報告並非旨在向該等司法管轄區或國家的任何人或實體分發或由其使用。