

# 中國「人造太陽」新突破 兩大核心磁體全國產化

## 環向場磁體通過驗收 綜合性能達國際領先水平

中國「人造太陽」——國家重大科技基礎設施「聚變堆主機關鍵系統綜合研究設施（CRAFT）」27日取得最新進展。中國科學院合肥物質科學研究院等離子體物理研究所公布的消息顯示，CRAFT最大的超導部件——環向場磁體完成最後製備工藝，並通過專家驗收。同時，高溫超導中心螺管線磁體也完成滿工況參數測試。核心技術實現100%國產化，綜合性能達到國際領先水平。

●香港文匯報記者 劉凝哲 北京報道

環向場（Toroidal Field, TF）磁體是聚變堆最重要的部件之一，承擔着在聚變反應堆運行壽命周期中對高溫等離子體進行約束的作用。聚變堆超大型超導磁體須在極低溫、大電流、強輻射、高應力等極端條件下，穩定可靠運行60年。中國「人造太陽」的TF磁體體積是國際熱核聚變堆ITER TF磁體的1.3倍，儲能為ITER TF磁體的3倍，是目前世界上最大的聚變堆超導磁體，各項性能指標達到國際領先水平。

TF磁體項目申請授權專利47項

據介紹，TF磁體運行電流98千安，總儲能120吉焦，16個TF磁體在裝置等離子體中心磁場6.5特斯拉，磁體最高磁場14.5特斯拉。單個TF磁體尺寸為21米（長）×12米（寬）×3.3米（高），重量達582.4噸。這一項目歷時6年，經過設計、預研、研製、測試等一系列關鍵環節，最終實現100%國產化。項目申請授權專利47項，制定標準25項。

項目團隊攻克十餘項技術難題

「這一成果標誌着中國已全面掌握聚變堆核心磁體設計及研製技術，中國成為全球具備百千安級大型超導磁體全流程自主研製能力的國家。」中國科學院合肥物質科學研究院等離子體物理研究所發布的消息指出。瞄準未來聚變堆運行工況，項目團隊堅持自主創新，採用混合繞組創新設計，攻克了低阻超導接頭、低溫絕緣、失超保護、大電流電源等十餘項關鍵技術難題，研製出新型高性能超導線、高強度低溫不銹鋼、高強度絕緣材料，突破了超大尺寸磁體線圈高精度製與真空壓力浸漬工藝瓶頸，發展了大型鉅三錫超導磁體熱處理技術，實現了全系統從設計分析到製備、測試的全國產化，各項指標均優於設計要求。

多家優勢企業參與 聯合攻關

此外，在項目實施過程中，國內多家優勢企業深度參與，形成了覆蓋關鍵材料、核心部件、製造工藝和系統集成的協同攻關體系，圍繞高性能超導材料、特種結構件、高精度製造和加工等多個核心環節聯合攻關，有力支撐了這一重大裝備的自主化研製，也帶動了中國聚變工程高端裝備製造能力和產業配套能力的整體提升，為下一步聚變堆建設奠定了堅實基礎。



●「人造太陽」項目兩套聚變堆關鍵超導磁體先後完成研製驗收與滿參數測試。圖為6月27日，項目組成員和驗收組專家與聚變堆環向場超導磁體合影。 新華社



●26日，科研團隊對高溫超導中心螺管線進行滿參數測試。 新華社



●高溫超導中心螺管線磁體。 央視圖片

## 「十五五」核聚變技術轉向工程化產業化

**新聞鏈接** 核聚變能的基本原理與太陽的能量來源相同，因此被稱為「人造太陽」。在國家「十五五」規劃綱要中，核聚變被列入未來產業重點方向之一；可控核聚變研究，被列入未來五年的八大前沿科技攻關項目之一。這些重大布局顯示出中國對核聚變技術的高度重視，業界認為，「十五五」時期正是中國聚變技術從科學實驗全面轉向工程化、產業化的戰略關鍵期。

核聚變能被認為是未來最理想的能源。按照目前主流的核聚變實驗路徑，一升海水中提取的氘通過聚變反應產生的能量，相當於300升汽油產生的能量，且幾乎不產生放射性強的核廢料，也沒有碳排放。當前，全球可控核聚變產業已進入政策、資本、技術三重共振的加速期，美國等國家已明確將發展核聚變能上升為國家戰略。

中核集團聚變領域首席科學家段旭如在接受內地媒體採訪時表示，當下中國核聚變的研究水平跟歐美、日本處於第一方陣，其中部分技術領先。近些年，中國在裝

置高參數運行、長脈衝放電控制、射頻負離子源中性束加熱、堆芯內部件研製、聚變堆主機裝配等方面的技術水平平均步入國際前列。

將打通從「實驗堆」到「商業堆」

據了解，為推動核聚變技術從實驗室走向產業化，全國多地正加快構建產業平台，打造核聚變產業生態。在成都，正在建設的聚變科創城及配套核聚變技術研發基地，將打造國內領先的聚變產業中試服務平台，加快核聚變技術成果從實驗室向商業化應用轉化。在合肥，依託大科學裝置的牽引帶動，合肥核聚變產業加速集聚，目前，在合肥核聚變產業鏈的相關企業已經超過200家，衍生出等離子體診斷、太赫茲激光等一批新產業。

當前，中國已構建起從基礎研究、關鍵技術攻關到工程化驗證的全鏈條創新體系。業界認為，隨著「十五五」期間關鍵技術攻關的持續深化，中國可控核聚變產業將進一步打通從「實驗堆」到「示範堆」再到「商業堆」的發展路徑。

話你知 「人造太陽」小知識

Q：核聚變能為什麼被稱為「人造太陽」？

A：核聚變，顧名思義，是利用原子核聚變反應產生能量。人類最早發現的核聚變反應是太陽內的核反應，它不斷地向外輻射能量，向地球輸送能源。因此，核聚變也被看作是宇宙的能源。它的好處也是顯而易見，比如安全性高、廢料處理成本低、原料容易獲得等。由於受控核聚變裝置的基本物理原理與太陽內部核反應的機理相仿，所以這種裝置被稱為「人造太陽」。

Q：全球核聚變研究的現狀如何？

A：數據顯示，截至2025年中，全球商業聚變產業累計融資達97.66億美元。北美擁有29家商業化聚變企業，佔全球54.7%，美國在融資規模和公司數量上佔據絕對主導地位。主要國家紛紛將核聚變上升為國家戰略，美國發布《核聚變科學與技術路線圖》並啟動「創世紀使命」；英國、德國、日本、韓國均大幅增加投入並提前商業化目標時間表。

Q：中國的「人造太陽」研究處於什麼位置，在產業化方面有什麼特點？

A：中國核聚變的研究水平跟歐美、日本處於第一方陣，其中部分技術領先。中國聚變領域形成了「國家隊引領、民企補位、多元協同」的獨特格局。以中國「東方超環」（EAST）和「中國環流三號」為代表的先進托卡馬克裝置，構成科學前沿探索的「主力軍」。正在建設中的國家重大科技基礎設施——聚變堆主機關鍵系統綜合研究設施，致力於聚變關鍵技術研發與驗證，為工程化落地提供核心支撐；合肥緊湊型聚變能實驗裝置（BEST）作為下一代「人造太陽」的工程驗證平台，力爭在2030年實現發電演示。

整理：香港文匯報記者 劉凝哲



●26日，科研人員在檢查高溫超導中心螺管線測試平台。 新華社

## 中俄聯合空中戰略巡航 共同飛越宮古海峽

### 專家：機制化常態化 兩國作戰協同體系全面成熟

香港文匯報訊（記者 馬靜 北京報道）國防部網站27日對外發布消息，27日，中俄兩國空軍在日本海、東海、太平洋西部空域組織實施第11次聯合空中戰略巡航，展示共同維護地區和平穩定決心能力。據報道，中俄雙方此次派出殲-16、轟-6K、空警-500A、圖-95等多型軍機，戰機帶彈巡航，中俄雙方共同飛越了宮古海峽。此次巡航屬於中俄兩軍年度既定訓練項目。

從官方發布視頻可以看出，此次中俄聯合空中戰略巡航，兩國出動主力機型，巡航現場出現了轟-6K與圖-95平行伴飛、兩軍戰機混合編組默契配合、預警機出動巡航、空中加油等震撼畫面。

中俄聯合空中戰略巡航機始於2019年7月23日，當時兩國空軍在東北亞地區組織實施了首次聯合巡航。此後，該行動成為兩國年度軍事合作計劃內的常規項目，在2020年、2021年保持了一年一次的頻率，自2022年起頻率增至每年兩次，截至2025年12月已成功實施十次。聯合空中戰略巡航行動空域從最初在日本海、東海相關空域，逐步擴展至西太平洋海域。2024年7月25日，中俄兩軍在白令海相關空域組織第8次聯合空中戰略巡航，此次也是中國空軍飛機首次赴白令海相關空域執行巡航任務，飛行時間長、航程遠、空域環境陌生。

此次巡航不針對任何第三方

中俄雙方均多次強調，聯合空中戰略巡航年度合作計劃內項目，不針對任何第三方，全程在國際空域飛行，嚴格遵守國際法。其主要目的在於檢驗和提升兩國空軍遠洋聯合行動與協同作戰能力，並展示雙方共同應對地區安全挑戰、維護地區和平穩定的決心與能力。

軍事專家張軍社接受香港文匯報採訪時表示，此次中俄

聯合空中戰略巡航，是繼去年12月兩國完成第10次聯合空中戰略巡航後的又一次行動，也是2019年中俄首次開展聯合空中戰略巡航以來，雙方第11次實施此類巡航，充分說明中俄聯合空中戰略巡航已經全面實現機制化、常態化。

有助提升兩軍聯合行動能力

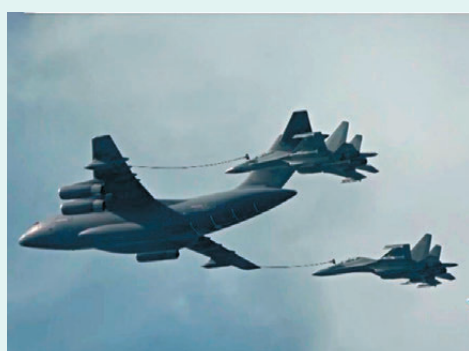
張軍社指出，中國空軍轟-6系列轟炸機等戰略打擊力量參加了過去幾次中俄聯合空中戰略巡航。從官方媒體發布的本次巡航現場視頻能夠清晰地看到，此次參加戰略巡航的空中力量體系完備，涵蓋轟炸機、殲擊機、預警機、空中加油機等多類空中戰略力量。從早期戰略巡航的轟炸機單一機型協同，如今已形成預警指揮、制空掩護、遠程打擊、空中補給等完整的體系化作戰保障模式，足以說明中俄聯合空中戰略巡航的裝備體系不斷完善。這種常態化、機制化的空中戰略巡航，可以不斷提升雙方空軍遠海作戰能力和跨區機動能力，增強積極防禦作戰能力。從中俄轟炸機近距離同步伴飛、空中加油等戰術可以看出中俄作戰協同體系全面成熟。

「中俄同為聯合國安理會常任理事國，肩負着維護世界和平穩定的重要責任。」這位專家指出，中俄聯合空中戰略巡航有助於進一步提升中俄兩軍戰略協作水平和聯合行動能力，共同維護全球戰略穩定，也充分展示了中俄雙方共同應對地區安全挑戰、維護地區和平穩定的決心和能力。

張軍社強調，在過去的11次中俄聯合空中戰略巡航期間，中俄兩國空軍飛機都嚴格遵守了國際法有關規定，聯合巡航行動完全符合國際法和國際實踐，個別國家不應該說三道四，歪曲抹黑。



●27日，中俄兩國空軍在日本海、東海、太平洋西部空域組織實施第11次聯合空中戰略巡航。圖為27日拍攝的參加巡航的戰機。 新華社



●27日拍攝的參加巡航的戰機。 央視截圖



●27日拍攝的參加巡航的戰機。 央視截圖