

中國基建在卡塔爾世界盃上再度「出圈」，是中國建造蓬勃發展的一個縮影。基建水平與重大裝備研發水平息息相關。香港文匯報記者最新獲悉，近期，由中國科學院金屬研究所李殿中研究員、李依依院士團隊率頭攻關的超大型盾構機（港稱隧道鑽挖機）用直徑8米主軸承研製成功。該主軸承重達41噸，是目前中國製造的首套直徑最大、單重最大的盾構機用主軸承。該主軸承將安裝在直徑16米級的超大型盾構機上，用於隧道工程挖掘。

作為國民經濟建設的重大裝備，承載着穿山越嶺、過江跨海重任的「鋼鐵穿山甲」——盾構機，有着旺盛的市場需求。盾構機已實現國產化，但其核心部件、有着盾構機「心臟」之稱的主軸承卻主要依賴進口，是典型的「卡脖子」問題。通過中國科學院在2020年啟動的「高端軸承自主可控製造」戰略性先導科技專項，超過500名科研工作者聯合攻克國產盾構機的「心臟病」。目前，中國已掌握盾構機主軸承的自主設計、材料製備、精密加工、安裝調試和檢測評價等集成技術。

◆香港文匯報記者 劉凝哲 北京報道



◆自研超大型盾構機用直徑8米級主軸承。 中科院金屬所供圖

超大型盾構機核心部件研製報捷 直徑8米主軸承上線

國產鋼鐵穿山甲 裝上超級中國心

中國科學院於2020年啟動了「高端軸承自主可控製造」戰略性先導科技專項，中國科學院金屬研究所、中國科學院蘭州化學物理研究所等7家院內科研單位組成建制化團隊，聯合中國交通建設集團有限公司的中交天和機械設備製造有限公司、洛陽新強聯回轉支承股份有限公司等20餘家單位進行協同攻關。

「我國盾構機保有量大概3,300台，市值千億元以上，盾構機年新增需求量約300台，每年盾構機新增加再製造約500多台，除主軸承以外的所有零部件國產化問題都得到了解決，只有主軸承依賴進口」，李殿中在接受香港文匯報採訪時回憶起被「卡脖子」的滋味。從國外進口一套8米直徑的主軸承，價格在1,000萬元（人民幣，下同）以上，供貨周期長達8個月，而且隨時面臨斷供的風險。如果主軸承被卡住，則將嚴重影響工程進度。

用於支撐刀盤旋轉 高承載力高可靠性

李殿中介紹，主軸承是盾構機刀盤驅動系統的核心關鍵部件，盾構機掘進過程中，主軸承「手持」刀盤旋轉切削掌子面並為刀盤提供旋轉支撐。直徑8米的主軸承在運轉過程中承載的最大軸向力達到10⁵千牛、徑向力達10⁴千牛、傾覆力矩達10⁵千牛·米。李殿中進一步解釋說，1千牛約等於0.1噸物體的重力，如果一頭成年亞洲象的體重按4噸算的話，這相當於軸向受到2,500頭亞洲象重力的作用。

為保證主軸承的高承載能力和高可靠性，特別要求製造主軸承的軸承鋼要高純淨、高均質、高強韌、高耐磨，同時對主軸承成套設計、加工精度、潤滑油脂等都提出了很高的要求。而大型盾構機在掘進過程中，只能前進，不能倒退，主軸承一旦失效，會造成嚴重損失。

打造稀土鋼品牌 成「撒手鋼」技術

要做好超大直徑主軸承，首先要解決鋼材的問題。「我們不能複製國外的材料和工藝」，李殿中表示，稀土是中國的優勢戰略性資源，具有「工業維生素」的美稱，科研團隊通過十餘年攻關，開發出「低氧稀土鋼」關鍵技術。目前，由相合作企業生產的稀土軸承鋼綜合力學性能優異，好於進口產品。「打造出中國的稀土鋼品牌，形成了超越國外的「撒手鋼」技術，」李殿中說。

攻關團隊認為，要製造高純淨、高均質、高強韌、高耐磨的軸承鋼材料，一定要從源頭解決材料製造的問題，他們將目光瞄準了稀土軸承鋼。已有大量研究表明，鋼中添加微量稀土能夠顯著提高鋼的韌塑性、耐磨性、耐熱性、耐蝕性等。然而，稀土鋼在工業化生產時遭遇兩大難題：一是工藝不順行，存在澆口嚴重堵塞的問題；二是稀土在鋼中添加後，鋼的性能劇烈波動，存在穩定性不好的問題。這兩大難題一直未能有效解決，導致中國稀土鋼的研究與應用由熱變冷。

「整個團隊深入生產一線，用了15年時間，前前後後整個研究稀土在鋼材工業化應用中存在的問題，最後我們發現是元素氧的問題，需要把氧含量降下來」，李殿中說。經過大量的實驗、計算和表徵，他們揭示了稀土在鋼中的主要作用機制，開發出「低氧稀土鋼」關鍵技術。團隊通過控制氧含量，製備出性能優越、穩定性好的低氧稀土鋼，研製出的稀土軸承鋼拉壓疲勞壽命提高40多倍，滾動接觸疲勞壽命提升40%，相關基礎研究成果於今年發表在國際著名期刊《自然材料》（Nature Materials）上。同時，有效解決了稀土軸承鋼工業生產時遭遇的澆口嚴重堵塞的問題及加入稀土性能不穩定的問題，牽頭制訂了多項稀土鋼標準。

李殿中表示，稀土軸承鋼在西王特鋼、建龍北滿特鋼、西寧特鋼、大冶特鋼、浙江天馬等企業均已生產，其純淨度高、成分均質性好、尺寸穩定性高、服役壽命長，企業採用稀土鋼已製造數千萬套軸承，替代同類進口產品。

「高端軸承自主可控製造」戰略性先導科技專項已經先後解決了主軸承材料製備、精密加工、成套設計中的12項核心關鍵技術問題，開發出直徑3米級至8米級的盾構機主軸承共10套。在瀋陽市政府的大力推動與支持下，直徑3米的主軸承已在瀋陽地鐵工程中成功應用。

2022年9月30日，經國家軸承檢驗檢測中心評測、專家組現場檢查和評審，8米直徑主軸承各項技術性能指標與進口同類主軸承相當，可滿足超大直徑盾構機裝機應用。



◆用於瀋陽地鐵一號線東延線中的3米軸承。 中科院金屬所供圖

突破精密加工技術

香港文匯報訊（記者 劉凝哲 北京報道）滾子看起來不起眼，就像一個個普通的圓柱體，不過它卻是軸承運轉時承受負荷的元件，是軸承中最薄弱的零件之一，其製造質量對軸承工作性能有很大的影響，是影響軸承使用壽命的主要因素。此次超大直徑主軸承研製成功，盾構機主軸承技術總師胡小強的研究員團隊聯合企業集智攻關，研製出直徑100毫米以上的一級滾子，使中國軸承行業突破了一級大型滾子精密加工技術。

胡小強研究員帶隊深入生產一線，聯合骨幹企

業成功攻克了主軸承高精度加工和精度保持性難題。研製中發現，目前國內進口設備由於受國外技術限制，大型滾子加工精度只能達到二級，尚不能實現一級精度加工。

針對這種情況，團隊形成了自主設計的理論模型，同時結合國產生產設備和國內生產線的工業現狀，解決了加工的問題，形成了整套的高精度大型滾子加工的技術條件和零件圖紙。「完全採用國內的設備，通過工藝流程的優化，以及材料的特性，我們實現了一級滾子的加工。」胡小強說。

從實驗室迅速走向市場

香港文匯報訊（記者 劉凝哲 北京報道）軸承是各類機械傳動裝備的核心部件，代表一個國家基礎零部件製造水平。國外企業佔據了中國高端軸承市場。不過，中國依然買不到最好的軸承。高端軸承在採購、技術、供貨周期與價格等方面受制於人，是典型的「卡脖子」問題。

探索出成果轉化新機制

「在精準分析高端軸承全產業鏈的痛點、難點和堵點基礎上，我們重點在創新鏈前端和核心關鍵技術環節上聚力、發力，協同40餘家科研院所和優勢企業開展聯合攻關，僅用3年時間就解決了三類典型軸承嚴重依賴進口的『卡脖子』問題，取得了多項有顯示度的重大成果」，中國科學院金屬研究所所長左良表示。

左良表示，為了打通大型盾構機主軸承科研成果

走向應用的「最後一公里」問題，促進科技成果從實驗室走向商業應用以實現其市場價值，科研團隊持續深入探索成果轉化新機制，實踐解決制度保障、轉化模式、激勵機制、體系完善等成果轉化過程中的重點和難點問題，進一步釋放了成果轉化的新動能。

在各方的共同努力下，自主研製的直徑3米主軸承圓滿完成瀋陽地鐵一號線延長線的示範標段施工任務，使用狀態良好；同時，國內最大的完全自主化的直徑8米級主軸承也確定了示範應用的意向標段。他希望，通過多項措施，完成從破解「燃眉之急」到消除「心腹之患」的轉變，加速貫通軸承研發應用的「快車道」，盡早形成中國高端軸承自主製造的持久保障能力，進而輻射到更多的核心基礎零部件，盡快打破受制於人的困局。

中國盾構機 年需求量

保有量：約3,300台

新增需求量：300台/年

新增+再製造量：>550台/年



◆中國盾構機保有量大概3,300台。圖為盾構機在軌道交通工程中成功出洞。 資料圖片

中國盾構機軸承 行業現狀

依賴從國外進口主軸承

8米級主軸承價格超過1,000萬元/套

供貨期不保證（8個月以上）

主軸承是盾構機中唯一未國產化的核心部件，受制於國外，需解決有無問題

重大基礎設施建設需要大量的盾構機，如主軸承卡住，將嚴重影響工程進度

整理：香港文匯報記者 劉凝哲

盾構機運用場景 地鐵修建

2020年4月20日，中鐵一局二公司瀋陽地鐵1號線東延線段伯官大街站至世博園站區間掘進工程正式啓動，是全線首次盾構始發。該工程的啓動宣告了中國首台100%國產化盾構機進入「實戰」階段。工程採用的盾構機已實現完全國產化，產品由6個主電機構成，每個主電機功率達到210千瓦，總的驅動功率達到1,260千瓦，動力系統已達到同類級別盾構機世界最高水平，可實現平均月掘進500餘米。

海底隧道修建

珠江口隧道全長13.69公里，是深江鐵路重點控制工程。隧道下穿多條主航道，最大埋深106米，為目前內地埋深最大、水壓最高的海底隧道，是內地在建施工難度最大的水下隧道之一。鐵建重工研發團隊聯合中鐵十四局對盾構機進行了針對性的選型設計，量身訂製「深江1號」超大直徑泥水平衡式盾構機，擁有完全自主知識產權。盾構機採用雙盾殼設計，大大提高了設備在海底超高压水壓下的適應能力。

來源：澎湃新聞及百度百科