

中科院嶄新工藝 攻克掘隧機「心臟病」

冶煉加「維他命」製成高端稀土鋼



▲9月30日，中科院舉行自研直徑8米級主軸承驗收會。
受訪者供图



▲中國科研團隊開發出「低氧稀土鋼」關鍵技術，採用這一技術生產的稀土軸承鋼性能好於進口產品。圖為上海自主研製的超大直徑盾構機「騏驎號」在進行安裝調試。
新華社



▲9月27日，「大灣區號」盾構機掘進深江鐵路珠江口隧道。
資料圖片

3年聯合攻關
科研成果走向商用

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。雖然國外企業佔據了中國高端軸承市場，但是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。

「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」，中國科學院金屬所所長左良表示。

值得一提的是，在這次科研攻關中，科技成果從實驗室走向商業應用以實現其市場價值。左良表示，高端軸承的「卡脖子」問題，根源在材料，難點也在材料。科研團隊以原創稀土特殊鋼技術作價人民幣3.5億元與西王特鋼成立中科西王特鋼有限公司，共建了國內首條「高端裝備用特殊鋼製備示範線」，助力打破「普鋼嚴重過剩、特鋼依賴進口」的產業現狀，有力地拉動了裝備製造鏈條。

中國盾構機後來居上



▲今年8月舉行的第六屆絲路博覽會上，觀眾參觀中國中鐵展出的盾構機模型。
新華社

話你知

盾構機，全名叫盾構隧道掘進機，是一種隧道掘進的專用工程機械，現代盾構掘進機集光、機、電、液、傳感、信息技術於一體，具有開挖切削土體、輸送土渣、拼裝隧道襯砌、測量導向糾偏等功能，涉及地質、土木、機械、力學、液壓、電氣、控制、測量等多門學科技術，而且要按照不同的地質進行「量體裁衣」式的設計製造，可靠性要求極高。盾構掘進機已廣泛用於地鐵、鐵路、公路、市政、水電等隧道工程。

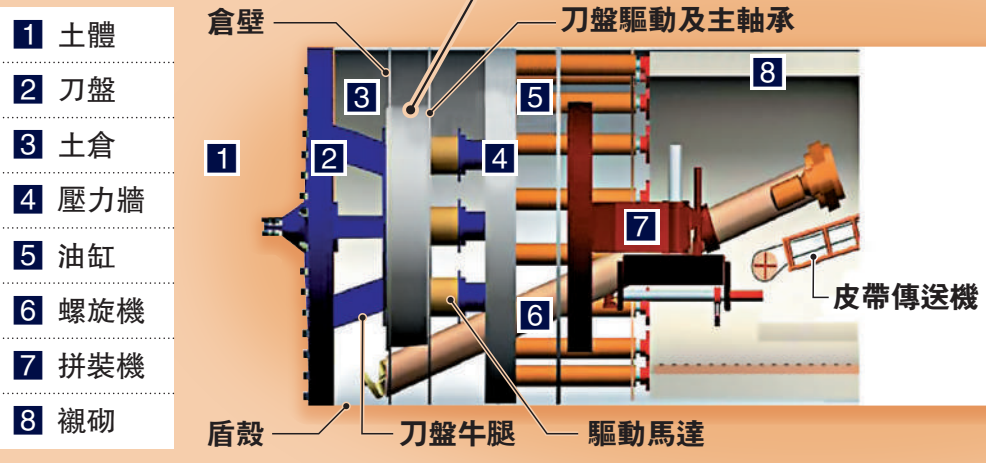
中國1953年開始採用盾構進行隧道修建，晚於國外128年。2000年前，中國盾構多為主要部件進口，國內工廠拼裝組合，無自己的核心技術。2002年開始中國致力於「造中國最好的盾構」，國家科技部將盾構技術研究列入「863」計劃。隨著相關技術的突破，目前中國盾構機行業處於世界領先地位。
大公報整理

中國盾構機需求

- 年需求量
- 盾構機保有量約3300台
- 盾構機新增需求量300台／年
- 盾構機新增+再製造>550台／年
- 行業現狀
- 依賴從德國進口主軸承
- 其中8米直徑主軸承超過人民幣1000萬元／套
- 供貨期不保證（8個月以上）

▲自研超大直徑盾構機用直徑8米級主軸承。
受訪者供圖

盾構機結構示意圖



稀土煉鋼Q&A

什麼是稀土鋼？

稀土鋼就是在鋼中加入鐳（La）、鈰（Ce）、釔（Y）等稀土元素。稀土被譽為「工業維他命」，可使鋼液脫氧淨化，減少疏鬆和偏析，以及細化晶粒，讓鋼微合金化等。20世紀50年代末，中國就開始進行稀土鋼的相關研究，隨著稀土金屬分離、提純技術不斷進步，稀土鋼的製備和應用實現迅速發展。

怎樣在鋼中加入稀土元素？

隨著煉鋼方式的轉變，稀土添加也發生了變化，主要是從鋼包內添加和鑄模內添加變為結晶器添加和鋼包添加。此外，包頭稀土研究院開發出適宜稀土鋼生產使用的高潔淨稀土鐵合金新產品及其低成本製備技術，屬業內首創。

中國稀土鋼研究進展如何？

2021年12月，江西新鋼集團高品質稀土鋼順利實現5爐以上板坯連續澆鑄，稀土在鋼中收得率達到40%以上，並實現批量化生產。近日，山東山鋼日照公司稀土處理高品質鋼冶煉試驗取得成功，鑄坯無表面缺陷。

大公報整理

鋼企歷290爐次試驗
實現批量生產

【大公報訊】據內地媒體報道，山鋼集團稀土鋼冶煉及連鑄生產關鍵工藝技術近日取得實質性突破，國內首次實現5爐以上連續澆鑄，實現批量化生產。

從2018年底開始，山鋼研究院承擔山東省重大科技專項——高端製造裝備用高品質稀土特殊鋼關鍵技術研究及產業化項目，圍繞加入稀土後鋼材冶煉過程中「卡脖子」環節，建立特鋼潔淨鋼生產技術平台並推廣應用到2條生產線、4個產品，經過28批稀土鋼工業化試製、290爐次數據比對，改善了水口堵塞影響生產等問題，潔淨鋼平台、碳化物調控、夾雜物控制、脈衝處理等4項稀土鋼關鍵共性技術進步明顯，取得15項專利、10多項技術秘密，參與2項團體標準、1項國家標準，並培養了一批技術精湛的科研團隊和科技人才。經山東省冶金工業總公司組織鑒定，軸承鋼潔淨化生產平台、夾雜物表徵與控制技術平台、脈衝外場解決水口堵塞3項技術達到國際先進水平。

截至2021年底，山鋼軸承鋼產量由每年5000噸提升到4萬噸，2022年有望突破8萬噸。



▲山東山鋼集團在冶煉稀土軸承鋼。
網絡圖片

國之重器

上

中國因強大的基建能力被網友賦予「基建狂魔」稱號，其中盾構機的作用功不可沒。近日，由中國科學院金屬研究所李殿中研究員、李依依院士團隊牽頭攻關的超大直徑盾構機用直徑8米主軸承研製成功。李殿中表示，這得益於科研團隊開發出「低氧稀土鋼」關鍵技術，在煉鋼過程中加入被譽為「工業維他命」的稀土製成稀土軸承鋼，將其拉壓疲勞壽命提高了40多倍，這一技術一舉攻克了國產盾構機的「心臟病」，成為超越外國同行的「撒手鐮」，高端稀土鋼堪稱「國之重器」。

大公報記者 劉凝哲

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」，李殿中告訴記者，稀土是中國的優勢戰略性資源，具有「工業維他命」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，由相關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，形成了超越外國的「撒手鐮」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。

稀土鋼已量產 可替代進口

「整個團隊深入生產一線，用了15年時間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，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》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，稀土軸承鋼已在內地多家企業進行量產，其純淨度高、成分均質性好、尺寸穩定性高、服役壽命長，可以用於製造數千萬套軸承，替代同類進口產品。

解除斷供風險 保障工程進度

「我國盾構機保有量大概3300台，市值在1500億元（人民幣，下同）規模，盾構機新增需求量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解決，只有主軸承依賴進口」，李殿中在接受大公報採訪時回憶起被「卡脖子」的滋味。從國外進口一套8米直徑的主軸承，價格在1000萬元以上，供貨周期長達8個月，特別是貿易戰以來，外國供貨商經常長期不回復中國的需求，隨時面臨斷供的風險。如果主軸承被卡，則將嚴重影響工程進展。

李殿中介紹，為解決「卡脖子」問題，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，先後解決了主軸承材料制備、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。目前，直徑3米的主軸承已在瀋陽地鐵工程中成功應用。

值得一提的是，此次研發成功的國產8米直徑主軸承重達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，各項技術性能指標與進口同類主軸承相當。該主軸承將安裝在直徑16米級的超大型盾構機上。