

國產盾構機「崛」起 地下航母全球挖隧

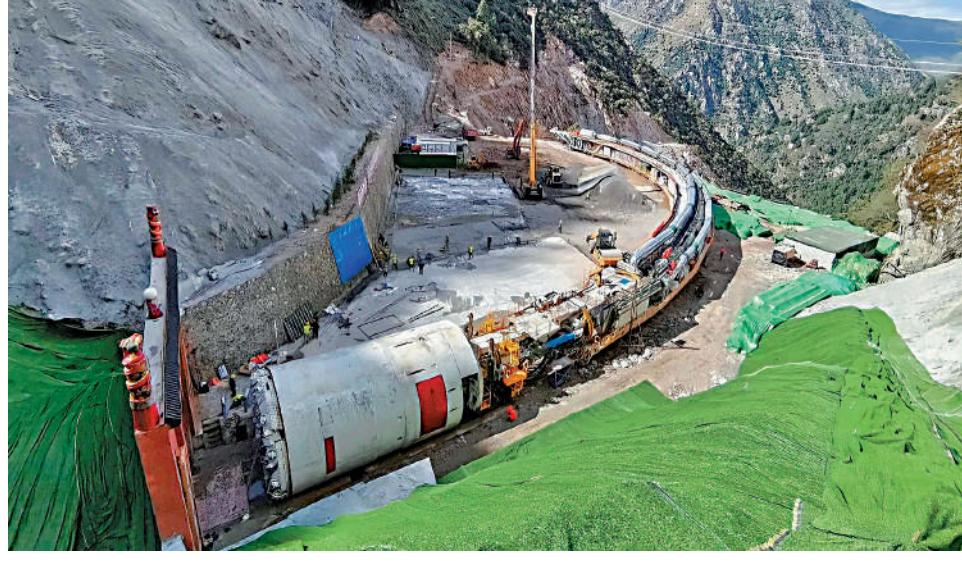
從依賴進口到自主研製 把核心技術牢握手中

9月26日，中鐵1463號單護盾TBM（掘進機）「江漢先鋒號」下線，即將投入到我國南水北調中線引江補漢工程。但時間回到22年前，中國若想建同類工程只能使用國外的盾構機。為擺脫受制於人的困境，中國工程師們勵精圖治，將中國盾構機從寂寂無聞幹到世界第一矩陣。

參與過多個盾構機研發的中鐵裝備技術中心副主任賀飛接受大公報專訪時表示，中國自主研製的盾構機技術先進成熟，把國際市場同類產品價格拉低了四成，國產「地下航母」已佔全球市場2/3，遠銷新加坡、意大利、波蘭、法國等30多個國家和地區。「中國在盾構機領域終於把『卡脖子』的手指一根根掰開，把核心技術緊緊掌握在自己手裏。」賀飛自豪的說。

大公報記者 蘇雨潤、羅洪嘯

▶ 9月25日，中鐵裝備的「大中號」礦用硬岩掘進機在四川加達鋰礦順利始發。



遠銷意法等30多個國家和地區

賀飛坦言，中國在盾構機開發起步較晚，很長一段時間都依賴國外進口。而且國外盾構施工時有洩露國家地理信息的可能，用於國防工程建設更是危險。自主研發生產盾構機，成為擺在中國面前的唯一出路。

2002年，由中鐵隧道股份新鄉機械製造公司承擔的「關於隧道掘進機關鍵技術的研究」被科技部列入「國家高技術研究發展計劃」（簡稱「863計劃」）。2002年10月，中國中鐵成立了盾構機研發項目組，開啟了中國盾構機研發的新征程。項目啟動後，中鐵工業總設計師王杜娟和同事們做的第一件事，就是到處看盾構機。

從零起步 打破「洋盾構」壟斷

全程參與盾構機國產化研發的王杜娟回憶說：「為了近距離看，我們四處找項目，深入隧道現場，一根根管子排查，一個個元器件核對，比較參數、核實數據、查閱資料，經常奮戰到凌晨兩三點。」作為女性工程師，王杜娟要面對隧道施工現場不讓女性進入的窘境。回憶那段歲月，王杜娟坦言：「試驗必須是第一手資料，我就軟磨硬泡，或者把頭髮挽進安全帽，把臉塗黑，冒充男工蒙混進去。」

研發過程的艱辛，賀飛也深有體會。賀飛回憶，在研發初期，盾構研發組的許多成員從未見過實體盾構機，即使見過，也都只是遠遠一瞥。就在這種條件下，研發小組從零起步，先從圖紙的設計着手，為了弄清刀盤、刀具的問題就花費近5年時間，為了印證一個數據，研發人員不斷前往施工現場求證，用實際行動詮釋了「科學有險阻，苦戰能過關」的深刻內涵。「加班熬夜是家常便飯，通宵也是常事。」



▲中鐵裝備技術中心副主任賀飛向大公報講述中國盾構機研發歷程。

經過長達六年的不懈奮鬥與艱苦卓絕的努力，終於在2008年迎來了勝利的曙光——中國首台擁有完全自主知識產權的複合式土壓平衡盾構機「中國中鐵1號」問世，並成功應用於天津地鐵項目，標誌着中國盾構機技術實現了從無到有的歷史性跨越，徹底打破了長期以來「洋盾構」一統天下的局面，為中國盾構機在全球市場中的競爭地位奠定了堅實基礎。

性能優異 馬國工程提前貫通

早在2012年，中鐵裝備將目光投向了海外市場。然而，由於中國隧道掘進機行業起步晚，彼時，國外對「中國製造」並不信任。馬來西亞的業主甚至直言不諱道：「你們在中國做得好，但在海外市場沒有經驗，我對你們非常擔心。」經過10多次的深入溝通，馬方同意簽下了兩台盾構機。最終，中國盾構機憑藉優異的性能，以最高日掘進21米、提前計劃工期43天貫通的優異成績，創造了馬來西亞盾構施工新紀錄。

2019年12月4日，中鐵裝備設計製造的兩台大直徑土壓平衡盾構機用在巴黎地鐵16號線項目建設，這是中國盾構機第一次出口到世界盾構機的發源地和製造強國，「中國製造」自此順利進入全球頂級高端市場。

世界首台馬蹄形盾構、世界最大矩形盾構、世界首台綠色節能盾構……中國廠家的產品迭代升級越來越快，而且在不少領域都做到了世界領先。截至目前，中國盾構機已經遠銷新加坡、意大利、波蘭、法國等30多個國家和地區。

盾構機裝「智慧大腦」邁向無人掘進

面對地下世界，每一次穿越都是一次技術的積累和升級。2023年4月12日，集眾多盾構智能化技術於一身的「基石一號」在北京地鐵22號線始發。這台盾構集中搭載了刮刀磨損檢測、盾尾間隙測量、渣土體積測量、軸線糾偏自動控制、自動保壓控制、自主掘進控制系統、地面集控中心、盾構遠程監控平台等系統，在智能化技術上實現了從「局部智能」到「全局智慧」的跨越，「基石一號」順利貫通第一區間，驗證了創新技術的可靠性和實用性，實現了盾構機在均質地層的一鍵啟動、無人掘進。

在數據驅動的人工智能時代，盾構施工過程的信息採集與處理成為自動駕駛系統性能的基石。賀飛表示，如何克服施工信息感知難、數據監測滯後及極端環境下傳感信號不穩定等難題，已成為提升自動駕駛系統決策精度與控



▲9月14日，技術人員通過浙江甬舟鐵路金塘海底隧道智慧工程監控管理平臺進行遠程施工管理。新華社



▲中國盾構機技術世界領先，遠銷新加坡、意大利、波蘭、法國等30多個國家和地區。圖為由中國研製的世界大直徑TBM「高加索號」在格魯吉亞開始步進。受訪者供圖

中國盾構機發展歷程

依賴進口 (2002年前)

我國1953年開始採用盾構進行隧道修建，晚於國外128年，2009年之前，我國大約有85%的盾構掘進機依賴進口。

起步探索 (2002年-2007年)

2002年開始中國致力於「造中國最好的盾構」，國家科委將盾構技術研究列入「863」計劃。2004年，上海隧道研製出國內首台全自主設計、具有知識產權的土壓平衡盾構機「先行號」樣機。並在2006年底，「先行2號」盾構在滬製造安裝完成並正式下線，首次實現了國內地鐵盾構的批量生產。

高速發展 (2008年至今)

2008年4月首台國產複合盾構「中國中鐵1號」下線，該機國產率65%，填補了我國在複合盾構製造領域的空白。從此，國內盾構市場徹底打破了進口盾構對國內市場的壟斷，開啟了國產盾構的自主研發、製造的新篇章。

話你知

中國90%以上地鐵隧道，以及穿越大江大河的隧道大都採用盾構法施工，盾構機是挖掘地下空間、暢通路途的最佳幫手。

「大臉盤」，長滿「鐵齒鋼牙」，專門「啃」硬岩、「吞」沙土；身披鋼鐵盔甲，外可抵擋壓力、防止坍塌，內可由螺旋輸送機將渣土運出。施工過程中，盾構機每掘進一段距離，便停下來「歇歇」，用預製好的混凝土管片拼裝隧道。這樣，隧道一挖完，隧道也隨之建好。

當前，國產盾構機刀盤直徑已實現0.5米到15米全覆蓋，尺寸不一、形狀各異，可水平、斜向、豎向、轉彎掘進，小到城市綜合管廊，大到穿江越海隧道，都能滿足施工需求。

人民日報

外國工程師維修現場 過去嚴禁中國工程師進入

受制於人

作為國產盾構機研發帶頭人，王杜娟印象最深的是，有一次發現外方圖紙中有幾處錯誤。但因為不是設計方，我們無權修改圖紙，只好催外方派設計人員來處理。其間我們要負責往返交通、食宿。對方走出家門開始算工作時間，每天工作八小時，周末不加班……明明是他們的錯誤，不但沒有賠償還要收費！

過去很多時候，外國工程師在操作和維修時會拉起警戒線，禁止中國工程師入內，種種問題加強了中國要自研盾構機的決心。」回憶起過往被掐脖子的歲月，賀飛仍如鲠在喉。

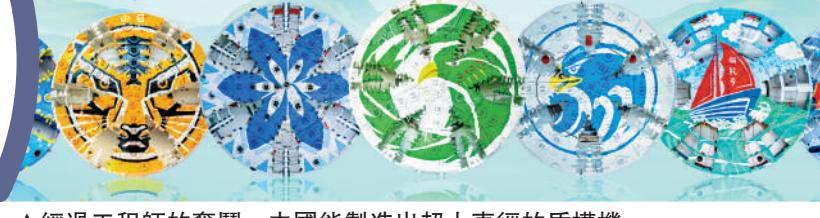
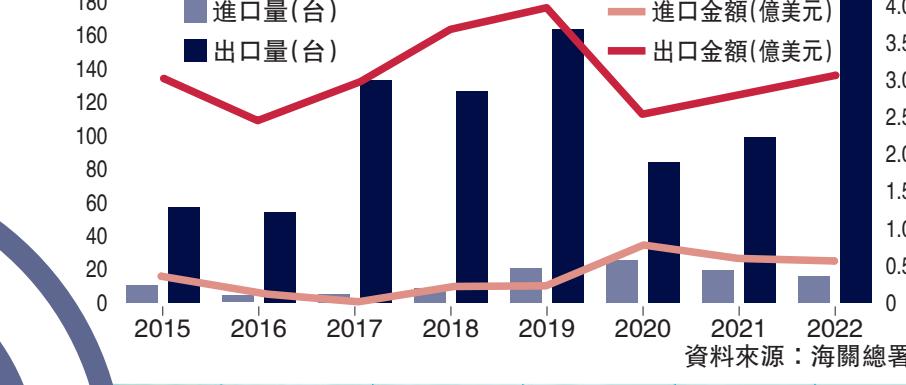
當中國開始自主研發盾構設備時，曾經表面關係很好的外國工程師突然「變臉」，不再提供精細的圖紙參考，而是選擇很粗糙的圖紙來敷衍。在研發過程中，我們有技術問題需要請教時，他們的回答也都含含糊糊，一改往日「熱情」的態度。

2014年，一位外國廠商告訴賀飛，中國不可能自主研發出性能優越的硬岩掘進機，並聲稱中國「一直在模仿，從未能超越」。這句話成為扎在賀飛心頭的一根刺。

2015年1月26日，在賀飛和項目組成員日夜奮戰180天、繪製了3萬多張圖紙後，中鐵裝備集團依託國家「863、973」計劃自主研製的直徑8.03米硬岩掘進機「永吉號」成功下線。這是中國高端裝備製造領域的一項重大技術進步，標誌着中國硬岩掘進機技術已躋身於世界第一方陣。

▲9月6日，江蘇南京的工作人員查看「新征程號」盾構機掘進情況。中新社

2015-2022年中國盾構機進出口貿易情況



▲經過工程師的奮鬥，中國能製造出超大直徑的盾構機。

從愚公移山到盾構穿山 中國技術打通世界

記者觀察

昔日，愚公以鋤頭移山，而今，中國工程師憑藉盾構機這一現代「移山」神器「啃」下硬石頭，輕鬆打通那通往世界的道路。此刻，在中國的大江南北、在時尚之都巴黎、在美麗的意大利西西里島，還有萬里之外的高加索山深處，都有中國的盾構機正在穿山越海。中國盾構機不僅承載着中國工程師的智慧和汗水，更展現了中國在科技創新領域的卓越成就。

造一台盾構機不易，打造整個盾構機產業更難，每台盾構機都包含有萬餘個零件，中國能把這些零件的產業鏈搭建完整，充分展示了中國對於高端製造業的深厚掌控力。目前，全球每10台盾構機就有7台來自中國，如果再給這些盾構機加上「智慧大腦」，那就是攀上了工業製造領域的「珠穆朗瑪峰」，成為引領行業發展

的標杆。如今的盾構機，已不再是笨重的「貪吃蛇」，智能掘進系統、智能拼裝技術、超前地質預報系統、地層界面識別系統……這些創新技術的應用，不僅提升了盾構機的性能和競爭力，更確保了施工的安全和高效。它們如同盾構機的「敏銳感官」，讓盾構機在複雜的地質環境中遊刃有餘，穿山越嶺，無所不能。

欲善其事，必先利其器，中國被譽為「基建狂魔」的背後，中國盾構機功不可沒，世界最長的公路螺旋隧道、世界海拔最高的高鐵隧道、世界最大直徑的單管雙層隧道……無數個世界工程紀錄背後，是中國人勇於用智慧和汗水挑戰世界技術極限的體現。逢山開路，遇水搭橋，穿山越海，中國盾構機工程師們對於技術的極致追求，一直在路上，永不止步。