

深中大橋建成後整體景象。 杜才良 攝

建功大灣區智慧力量鑄造超級工程

先去中山吃石岐乳鴿，再到深圳沙井品嚐生蚝……今年國慶假期，中山市翠亨新區東臨路濱海步道、黃圃省級地質公園、桂南村等網紅打卡地引來無數深圳遊客前來打卡。與此同時，深圳這邊也同樣熱鬧非凡，西灣紅樹林公園、絕美鳳凰山、一眾繁華商圈令中山遊客流連忘返。「花20分鐘開車去看看那邊的景色」成為深中兩地市民不約而同的選擇，而使這一選擇成為現實的，便是今年6月通車的深中通道。

國家重大工程深中通道地處粵港澳大灣區核心區域，是集「橋、島、隧、水下互通」於一體的超大型跨海通道。作為粵港澳大灣區「A」字形交通主骨架的關鍵「一橫」，深中通道北距虎門大橋30公里，南距港珠澳大橋31公里，全長24公里，其中跨海段長約22.4公里，連接深圳和中山，是珠江口兩岸城市群的重要交通紐帶。

作為世界上綜合建設難度最高的跨海通道工程之一，深中通道創下了10項世界之最，其中深中通道關鍵控制性工程之一的深中大橋，更是一舉創下全離岸海中鋼箱樑跨徑最大、通航淨空最高、海中錨碇體量最大、鋼橋面熱拌環氧瀝青鋪裝體量最大、顫振檢驗風速最高等五項世界紀錄。而參與這一超級工程建設的，便是有着「中國建橋夢之隊」之稱的中交二航局。

張迪 周璇 杜才良

圍堰築島 海底築基石

中交二航局承建深中通道S04合同段，線路全長3973米，主要施工內容包括深中大橋東主塔、東錨碇施工，上游側主纜架設，鋼箱樑安裝以及東非通航孔橋下部結構等。然而，在遠離陸地，同時受風、浪、涌及航道等因素影響的寬闊海域環境下施工，即使是「中國建橋夢之隊」，也面臨着巨大的困難。

尤其是深中大橋的建設，更是存在着海中大型錨碇基礎施工難度大、混凝土超高索塔建造難度大、大跨懸索橋上部結構安裝難度大、非通航孔橋下部結構施工難度大、全海上施工（安全風險高）組織難度大等五大難點。對此，中交二航局以科技創新



2018年11月29日，深中通道大橋東錨碇築島圍堰成功合龍。 張政 攝



從中山遙望深圳，深中通道如蛟龍在海中蜿蜒。 杜才良 攝

推動技術與管理的更新迭代，交出了深中大橋建設的「高分卷」。

「基礎不牢，地動山搖」是土木行業內的一句口頭禪，表明無論是橋樑還是樓宇，基礎工程至關重要，關乎着整個工程項目的成敗，深中大橋作為世界最大跨徑全離岸海中鋼箱樑懸索橋，其主塔樁基和錨碇的施工更容不得絲毫偏差。然而，深中大橋的兩個錨碇單個重約100萬噸，是當前世界上最大的海中錨碇。錨碇就像沉入海中的兩個「秤砣」，緊緊拉着大橋主纜，讓海中的大橋堅如磐石。

但在無遮掩且海底淤泥層厚度大的海域，要想造出這兩個巨型「秤砣」可不容易！首先要克服的便是在海底流塑狀淤泥層上精準施沉圍堰鋼管樁的難題。在柔軟的淤泥層上施沉鋼管樁就像在「豆腐上插筷子」，地連牆的成槽和基坑開挖，對圍護結構、永久結構的建設都是極大挑戰。對此，中交二航局項目團隊創造性地採取圍堰築島的方式，將水上施工轉變為陸上施工，研發出海中軟基處理、圍堰築島、地連牆成槽等成套建造技術，克服了這一系列難題。



深中大橋超高混凝土橋塔鋼筋部品柔性製造與快速吊裝。

智能製造 高空架飛虹

此外，深中大橋施工區域地處南亞熱帶海洋性季風氣候區，氣候複雜多變，災害性天氣頻繁，而大橋的海中索塔高達270米，在索塔採用混凝土現澆工藝的大前提下，傳統設備在施工效率、施工品質、人員勞動強度和施工安全風險管控方面都難以與索塔的建設目標匹配。

針對傳統施工設備存在的問題，中交二航局以「工廠化生產、裝配化施工、智能化控制」為總體思路，提出將橋塔高空現場施工打造為「豎向移動工廠」，將施工全過程的人、機、料、物、法、環等要素進行全方位實時監測與控制，開發出具有鋼筋部品調位、混凝土自動輔助布料及振搗、智能養護和應急逃生功能的一體化智能築塔機。它就像一個可以沿着塔柱上下移動的「豎向工廠」，即使遇到大風等極端天氣，工人在百米高空施工作業也如履平地。

深中大橋的主樑由213片鋼箱樑組合而成，單片

鋼箱樑寬44.7米，最大重量約400噸，全橋鋼箱樑總重約5.66萬噸，相當於北京鳥巢用鋼量1.2倍。面對如此龐大的「巨無霸」，採用傳統工藝吊裝顯然不可能。為此，中交二航局項目團隊研發應用了850噸智能化纜載吊機，一舉解決了大噸位、大跨度懸索橋箱樑節段吊裝同步穩定性差、起重能力和起升速度無法保證的難題，並創下最高單日吊裝6片樑段的紀錄。

同時，為確保吊裝精確，中交二航局還同時研發了分布式計算機網絡控制系統，根據設備上各處傳感器和攝像頭採集到的信號，控制集群千斤頂，讓吊裝每一步都在掌控之中。該設備內置的傾角儀還能智能感應並計算吊裝樑段上下游高差，一旦高差超過50公分將自動報警並發送輔助修正數據，反饋到技術管理人員的手機上，實現了對吊裝過程實時監控、調整。

科技創新 建功大灣區

作為目前世界通航淨空最高的海中大橋，深中大橋橋面到海面距離達91米，相當於30層樓高，而大橋所處海域每年6級以上的大風天超過了200天，這給橋樑抗風設計帶來極大挑戰。對此，中交二航局建設團隊經過3年多的平行研究，聯合多家單位研發了新型組合氣動控制技術。

該技術通過優化整體式鋼箱樑的構型，在世界上首次將超大跨整體鋼箱樑懸索橋顫振臨界風速提高至88米/秒，相當於能抵禦17級颱風，達到了世界領先水平，特別是橋身上的傳感器，還可以對颱風進行跟蹤捕捉。

除了海中軟基處理、圍堰築島、地連牆成槽等成套建造技術、一體化智能築塔機、850噸智能化纜載吊機、分布式計算機網絡控制系統、新型組合氣動控制技術外，在2000多個日夜的建設中，中交二航局還研發出鋼筋網片彎折設備，新型綠色混凝土技術等一系列創新設備與技術，為中國跨海工程建設提供了技術儲備。

如今，深中通道已通車100餘天，中山、珠海、

江門及粵西等地通往深圳、粵東地區的過江時間從以前的2個小時縮短至20分鐘左右，這一超級工程不僅推動了廣東省和粵港澳大灣區的經濟和社會發展，更標誌着「中國建橋夢之隊」中交二航局憑借其智慧力量與堅韌意志，再度讓「中國造」在世界基建行業中熠熠生輝。



2021年6月17日，中交二航局承建的深中大橋東索塔封頂，圖為大橋施工整體景象。 張政 攝



深中通道深中大橋東錨碇。 杜才良 攝