

# 全長5.6公里歷時3年「深海之吻」媲美「天神之吻」

## 港珠澳大橋島隧蓄水

# 啟動沉管對接



一場凝結人類智慧與汗水的「深海之吻」昨日(22日)在伶仃洋拉開序幕——港珠澳大橋西人工島島隧結合部基坑正式蓄水，首節沉管與西人工島現澆築段將在海平面下13米深處進行對接，耗時3年的港珠澳大橋深海沉管對接也由此拉開帷幕。「『深海之吻』的難度可與神九與天宮一號『天神之吻』相提並論，甚至更難。」港珠澳大橋島隧項目部副總工程師劉亞平稱，「對接在環境複雜的海底進行，受多種環境介質影響，共需對接33次，耗時3年，堪稱『馬拉松賽跑』」。

■香港文匯報記者 熊君慧、張廣珍、李望賢 珠海報道

對接過來的第30段合龍，形成海底沉管隧道。首次對接時間初步定於春節後，但從蓄水開始，整個項目工作人員已經高懸的心，將更加緊張萬分。

### 技術要求達世界級水平

為了沉管對接項目啟動，在港珠澳大橋島隧項目部總負責人林鳴已經連續幾個月每天只睡4至5個小時。對於他來說，建設海底隧道並不困難，但以往海底隧道都是淺埋，隧道上只有2到3米的覆蓋層。而在伶仃洋軟弱的地基上建設至今世界上最長、埋深達40米以上的海底沉管隧道，深埋段將有22米的覆蓋土層。這意味着2,000餘米的深埋段沉管頂上大概每平方米要承受16噸荷載，這是世界級的挑戰。

此外，隧道長距離通風及安全設計、沉管浮運和沉放安裝接、隧道軟土地基不均勻沉降控制等的技術要求均達到世界最高水準，一切都沒有先例可循。而對環境的一點點判斷誤差都有可能給工程帶來毀滅性的影響。這對於工程設計人員來說，確實「壓力山大」，港珠澳大橋島隧項目部設計負責人劉曉東跟記者打趣，「跟大自然打交道，真是讓人睡不着覺的」。

### 環境因素影響對接效果

兩個航母般的沉管在海平面以下13米至44米不等的水深處進行無人對接，這一難度可與神九與天宮一號的交會對接相提並論，甚至更難。相較於太空對接，海底沉管對接要面臨更複雜的環境，潮汐、水流、泥沙、波浪、船行波、附近密集的航道等因素都可能造成影響。

劉曉東指，最大的意外是沉管「不聽使喚」，讓它沉反而浮起來，或者繫泊在固定的點等待對接時發生走錨，萬一與附近航行的船舶發生碰撞，後果不堪設想。據悉，為將誤差控制在2-3厘米內，工程使用了大量專業化設備，包括深水無人沉放定位測控系統、世界上最大的外海沉管隧道安裝船等。工程人員測算，對接的過程大約需要36小時。但首次對接每一個步驟都將經過小心翼翼的檢測，確保萬無一失後才繼續下一步，因此這次對接預留了72小時。

在伶仃洋上，海面闊平靜，每天數千艘海船往來穿梭，其中不乏數十萬噸級遠洋貨輪。在這條世界上最繁忙的黃金水道上，一個世界性工程——港珠澳大橋正在日夜趕工。昨日上午10時許，隨著3台水泵轟鳴啟動，伶仃洋的海水緩緩注入基坑內，港珠澳大橋西人工島小島結合部基坑回水施工開始。



這個工程中的最高難度的項目段——沉管隧道，是目前全世界綜合難度最大、唯一一條深埋沉管隧道，也是中國第一條外海沉管隧道，全長5.6公里，其長度與規模居世界之首。

### 33沉管耗230萬噸鋼土

港珠澳大橋島隧項目部高級工程師孟凡利介紹，回水施工按一天灌水不能超過3米，總灌水21,000餘

立方，預計5日完成，屆時可切除鋼圍筒，首節沉管對接將步入最後的衝刺階段。「回水施工是沉管對接之前形成對接條件的一道關鍵工序，我們為此奮鬥了2年，就為等到這一時刻的到來。」

沉管隧道是指在海底挖一條深溝，將鋼筋水泥澆注的隧道管節沉入海底的溝槽中。港珠澳大橋沉管隧道由33節沉管組成，將耗費230萬噸鋼筋混凝土。每個標準管節長約180米，重約7.4萬噸，比一艘遼寧艦還重，因此也被稱為「沒有動力的航空母艦」。這些「航空母艦」將在海底實現精密的無人對接，劉亞平將這個過程形象地比喻成「深海之吻」。

### 首節沉管春節後始對接

在基坑回水施工即將開始前幾天，記者到西人工島探班採訪。這個由61個直徑為22米、高40餘米、重達500噸的鋼圍筒圍成的人工島上，工程車夜以繼日趕工，將東側三個鋼圍筒的泥沙挖走。這三個鋼圍筒猶如水閘，護着大橋的「入口」——也就是沉管對接的起點。蛙人們潛到水下將鋼圍筒上半部分切割移走，「入口」就將完全沒入水中，正式進入「深海之吻」的倒計時。孟凡利稱，鋼圍筒切除完成後，首節沉管將浮運過來與西人工島小島結合部現澆築結構進行對接，將於春節後，大概3月份開始對接。

按照工程計劃，沉管將從人工島上的現澆築段開始向東逐段安裝對接，直到第29段，與從東人工島逐段



### 沉管對接步驟

- 1 沉管完成預製後，頂推至預製廠的淺塢區，完成第一次舾裝，即安裝壓載水系統(水箱、鋼封門等)
- 2 往塢內灌水
- 3 通過「深塢繫泊絞纜系統」將兩端已密封的沉管起浮、橫移至深塢區
- 4 塢內降水、深塢寄存、完成二次舾裝即安裝所需的測量及定位系統，並在沉管頂上安裝2艘沉放安裝船(用於水下高精度定位及安裝等施工任務)等
- 5 利用管節沉放作業窗口管理系統選擇沉管作業施工窗口，窗口時間為48小時
- 6 時間確定後，沉管出塢
- 7 用6艘大馬力拖輪將沉管從預製廠拖運至沉放現場，大概7海里遠。大約6小時後，拖運至沉放現場附近
- 8 沉管繫泊：沉管到達對接現場附近，安裝船上的錨機將纜繩繫在事先已經拋在海底的錨上，將沉管繫泊固定
- 9 通過定位系統、測量塔尋找合理位置，用沉放安裝船的錨機將沉管緩緩地拉向對接處
- 10 拉至對接處後，往早已安裝在沉管內部的水箱內灌水。沉管慢慢下沉
- 11 深水無人沉放定位系統調位，即在沉管上方安裝了導向裝置，讓一方的導向桿落到對方的導向槽裡面，剛好卡住
- 12 沉管慢慢沉至與底面接近的時候，通過千斤頂拉合
- 13 拉合後兩個沉管之間形成一個結合腔，再抽掉結合腔內一部分的水，形成真空，通過海水壓力將兩個管節貼合，完成水力壓接後，GINA止水帶充分壓縮，完成管節對接
- 14 再往水箱裡面灌水，讓沉管沉底，即着床
- 15 精確調整：技術員從西島現澆築段的「水密門」進入沉管裡面，測量管節位置有無偏差，如有，則通過精調系統進行調整
- 16 鎖定回填、覆蓋回填，通過石料將沉管固定

## 7步驟實現對接 6拖輪拉動「航母」



在回水施工啟動前夕，記者到施工現場探班採訪。在距離西人工島7海里的珠海桂山島沉管預製廠，記者看到，澆築好的沉管已經準備就緒。首批2節沉管已完成第一次舾裝，並已從淺塢區起浮橫移至深塢區，準備第二次舾裝。在不遠處，「建造世界級通道」的標語，矗立在寬闊的海洋上，令人熱血沸騰。頂着猛烈的海風，劉亞平給記者講解着這艘「沒有動力的航母」如何航行到12公里外的西人工島，並在2至3厘米誤差之內吻上西人工島的對接口。

### 浮運偏差或致嚴重事故

整個過程可以簡單分為7步驟：沉管起浮、出塢、浮運、繫泊、錨固、沉放、對接，其挑戰主要在於浮運與沉放對接。浮運需要6艘5,200至6,900馬力的大功率拖輪同時拖運，6個小時左右沉管就可以到達西人工島。但水流、波浪，甚至風向都可能對沉管的浮運有影響。國外曾出現沉管浮運過程中，水流、波浪將鋼封門損壞，致使沉管大面積漏水，最後沉至海底的嚴重事故。因此窗口時間選擇十分苛刻，要提前一個星期預測出相關水域的水流、波浪的具體值，再選擇一個連續3天天氣晴好的窗口時間。按照計劃，一個月只能完成一個沉管對接，共需對接33次，至2015年完成。

## 防隧道漏水 斥1億購止水帶

建造海底隧道，止水尤為關鍵。港珠澳大橋5.6公里長的沉管隧道由33節沉管拼接組成，而每個標準管節又由8個節段組成，這麼多的接頭為止水帶來更多的困難。為此，施工方採取了針對性的止水措施，管節管段間採用柔性接頭形式，並專程從荷蘭特瑞堡公司進口GINA橡膠止水帶和OMEGA止水帶，單是這些止水帶就耗資1億元人民幣。

### 兩層止水帶 雙重保障

陳偉彬介紹，每個沉管管段之間有採用中埋式止水帶和OMEGA止水帶雙重保障。「這些傢伙都非常重，一條

OMEGA止水帶約20噸左右，安裝時需要560個工人同時操作，裝上去後，900顆螺絲釘將把止水帶牢牢地固定住。一個標準管節需要安裝14條這樣的止水帶。沉管與沉管之間則採用GINA止水帶，安裝在待裝管節的A端，與已安裝管節的B端對接、擠壓，使管節接頭水密。

為保證高水壓下大橋有120年設計使用的壽命，工程人員們還自行研發了另外兩道止水程序，包括在沉管接縫上噴塗一層防水防腐的化學材料聚脲，就像是給沉管穿了一件雨衣。聚脲下的接縫裡面再裝一道遇水膨脹向下調材料，它如海綿一樣遇水即膨脹，把縫隙嚴實堵上。

## 引先進設備 工廠化預製沉管



這是國內首創，也是世界第二例。上千工人進駐珠海桂山島的預製廠為港珠澳大橋打造這些航母級沉管。

如此大型沉管對預製有很高的要求。為此，沉管預製廠從世界各地採購了大量的先進設備，包括振華和德國公司聯合製造的沉管預製模板、法國的頂推系統、日本速控的鋼筋加工設備等。為控制開裂，這個工程對混

土質量的控制達到了核電工程中核島混凝土的要求。據悉，廠內共設置了兩條生產線，平均每兩個月生產兩節沉管，一節沉管造價約1億元人民幣。港珠澳大橋島隧項目部總負責人林鳴表示，根據多天的測試，目前已生產出來的2節沉管沒有發現一條裂縫，實現了「滴水不漏」。

### 實行自動信息化監控

沉管在海底沉放安裝以後，數據監控也十分重要。劉曉東介紹，沉管在預製的時候就埋了不少用於數據自動採集的裝置，沉管安裝到水下以後，這些設備在水下無人的條件下，遙控傳輸數據，傳回相連接的電腦，實行信息化監控，如果數據超出之前由多種分析得出的「紅線」，電腦就會自動報警，並立即啟動應急預案。