

集“桥、岛、隧、水下互通”于一体的超级工程将于年内建成通车，中山至深圳车程可缩短至半小时以内

深中通道探秘

本报记者 康朴

跨山越海中国桥



扫码观看视频

挺起一道海上脊梁

深中通道最吸睛的部分，无疑是伶仃洋大桥。从马鞍山出发一路向东，过中山大桥，就能看到伶仃洋大桥的轮廓。

寒潮来袭，伶仃洋上的海风劲吹，作业车辆在已贯通的桥面上缓缓驶过。记者拿出相机找好角度，没拍几张，手已冻得僵硬，赶紧缩回衣兜。

记者的窘态，被深中通道中交二航局项目副经理张平看在眼里。“最冷的时候你赶上了，前几天我们还是短袖加薄外套。今天风太大，早上准备鞍罩施工和塔冠安装的工人来了一趟，没法施工，已经回营地了。”张平说，“下午再看情况，都盼着能早点完工。”

风，还不是建跨海大桥最大的难题。廖文龙是中交二航局深中通道项目生产经理。2018年项目部成立的时候，他就来到这里。当时为了赶工，项目部在海上搭建了约4000平方米的钢平台，工作生活都在平台上。

海上无遮蔽的作业环境，让30岁出头的廖文龙脸晒得黝黑。“吃得单调，天气也潮，尤其是到了回南天，连被子都是湿的。”廖文龙说，“不过这些都不算什么，海上作业，最难熬的是孤独。白天看海浪，晚上数星星，太枯燥了，信号也很差，跟家人打视频电话都难。”

廖文龙在海上平台生活了4年半，一个月才能回一次陆地，最长的一次，在海上一连住了近3个月。

“不过，大海也磨砺了施工团队的品格。”廖文龙说。历时5年多，伶仃洋大桥建设者克服了重重困难，在海面上挺起一道脊梁，创造多个世界之最：

最大跨径全离岸海中钢箱梁悬索桥——主跨1666米；桥面最高的海中大桥——高约91米；最高通航净空——76.5米；最大海中锚碇——单个锚碇重量约100万吨；最高的海中桥塔——270米……

“这可不是为了‘炫技’，每个纪录的创造都着眼于现实需要。”廖文龙说。

这里有全世界最繁忙的港口之一——广州南沙港，万吨级船舶往来频繁。为了不影晌通航，就要让桥面足够高，进而需要更高的桥梁主塔。既要避免影响通航，又要抵抗浪涌和船行波对钢平台的巨大冲击，可海底是厚厚的流塑状淤泥，如何让这座超级桥梁稳稳扎根海底？

锚碇是关键。“东西两个锚碇将桥梁主缆紧紧拉住，承受整个桥梁的重量和今后的行车荷载。”廖文龙说。

但施工初期就面临巨大挑战。“拿东锚碇来说，施工区域处于无遮蔽的宽阔海域，海底流塑状淤泥层深厚，地基都不稳，怎么稳得住桥梁？”廖文龙说。

经过反复论证，中交二航局项目团队提出以“围堰筑岛+地连墙”方式在海中进行软基处理。“要在海上打下158根直径2米的钢管桩，形成一个巨大正圆形，为8字形地下连续墙施工形成陆地作业环境，就像在‘水豆腐上插筷子’。”廖文龙说。

变水上施工为陆上施工，建设者在海上如履平地，让一块巨大的“秤砣”稳稳扎在海中，为建造大跨度跨海悬索桥打下坚实基础。海中软基处理、围堰筑岛、地连墙成槽等成套建造技术，开创了宽阔海域建造大跨度悬索结构体系桥梁工程的先河。

大桥塔顶看创新

在伶仃洋大桥制高点，可以俯瞰整个深中通道。张平带着记者坐上主塔“体内”的电梯，经过约5分钟的爬升，再手脚并用走一段楼梯，就登上了伶仃洋大桥270米高的东塔塔顶。远望四周，广州、深圳、中山、珠海、香港等大湾区城市的高楼大厦映入眼帘。海面上，一艘艘远洋货轮满载集装箱驶过这座桥梁。

张平喜欢拍照，几乎每次来到塔顶，都会拍上几

展开广东省的地图来看，一个倒“V”字形将珠江口分隔为东西两岸。人们从西岸的中山去往东岸的深圳，必须向北绕行虎门大桥，直线距离虽然只有20多公里，行车却要2个小时。不过，这种情况即将成为历史，倒“V”字形的珠江口正添上关键一横。从中山市马鞍岛向东望去，一条海上通道在伶仃洋上蜿蜒伸展。在海浪声与机器轰鸣声的交织中，深中通道已清晰可见，它穿行24公里最终抵达深圳宝安。

今年，这座集“桥、岛、隧、水下互通”于一体的超大型跨海通道建成通车后，中山至深圳车程将由2小时缩短至半小时以内。此外，通过万顷沙互通，深中通道还连接起广州南沙，珠江口两岸城市群再添一条交通大动脉。与双向六车道的港珠澳大桥相比，深中通道是双向八车道，桥梁部分超17公里，工程更复杂，施工难度更大，被视为港珠澳大桥的难度“升级版”。这一超级工程是如何建设的？记者来到施工现场一探究竟。

张。手机相册里，存满了他与大桥的故事。张平参加过7座高难度悬索桥，被同事们称为悬索桥上的“空中飞人”。

“你看，这就是伶仃洋大桥的主缆。”顺着张平手指的方向，记者看到两条主缆从东锚碇伸出，翻过东塔塔顶，跨越1666米宽阔水域和西塔，最后与西锚碇连接，将大桥稳稳地吊在海面上。

“主缆是桥梁的生命线。”张平介绍，桥上装载的悬索桥主缆钢丝，单根主缆重达1.7万吨，由199根索股组成，每根索股又由127丝直径6毫米的镀锌铝钢丝组成，两根主缆钢丝总长度加起来能环绕地球4圈，每根主缆缆力超10万吨，相当于能同时承受2艘“辽宁号”航母的重量。

要将每根1.7万吨的主缆搬至270米高空并非易事。“第一根索股架设完成后，后续索股都要以它为基准牵引调位，海上大风让索股摇晃得无法精确测量。”张平说。

昼夜温差也给施工带来困扰。白天架完的索股，到了夜里因降温不均出现不同程度的变形，索股上下交错，影响效率和精度。

智能技术这时大显身手了。项目部采用超长索股无人跟网架设技术，对索股进行远程监控。针对架设后的测量问题，项目团队自主研发智能标靶等设备，对施工关键数据实时传输，显著提升大跨径悬索桥主缆架设自动化、信息化水平。“经过对每根钢丝的位置和气温反复测量，项目团队把握主缆钢丝变化规律，将架设精度控制在5毫米内。”张平说。

伶仃洋大桥是创新的结晶。记者目光投向桥面，这里水域开阔，强台风频发。双向八车道，相当于30层楼高的桥面如何抗风？

这是世界性难题。“经过3年多的研究，建设单位和多所高校、科研机构研发了新型组合气动控制技术，优化了整体式钢箱梁的构型，将超大跨钢箱梁悬索桥临界颤振风速从世界公认的70米/秒，提升至88米/秒。”张平说，“大桥可抵御17级台风。”

桥隧人工岛上牵手

从伶仃洋大桥东塔塔顶向东看，大桥在海面上蜿蜒逶迤，延伸到一片岛屿后消失不见了。

这座岛屿，是西人工岛。再向东，就是深中通道海底隧道。桥梁和隧道的连通与转换，全赖西人工岛，而它也是深中通道建设过程中，在茫茫大海上落下的“第一子”。

西人工岛岛体采用菱形设计，面积约13.7万平方米，相当于19个足球场。“岛体建造，仅用时141天。”中交一航局深中通道项目部技术员刘帅说，“我们把直径重达650吨的57个钢圆筒，用激震力达5800吨的12个液压震动锤组‘敲’进20多米深的海底。呈弧形的副格像胶皮带一样，填补钢圆筒之间的缝隙，保证止水效果。”

钢圆筒在海水之下“手牵手”围成一个人工湖，排水、填筑作业后，伶仃洋上逐渐形成了一座坚实的岛屿。2017年9月18日，最后一根钢圆筒振沉完成，西人工岛围堰结构完工。

经由西人工岛，深中通道沉管隧道深入海底。这条隧道全长约6.8公里，由32个沉管和1个最终接头组成，是世界最长最宽的钢壳沉管隧道。其中单个标准管节长度为165米，重约8万吨，每节沉管需承受来自水底1.7万吨的压力，相当于1.1万辆家用小轿车的重量，制造之难不言而喻。

珠海牛头岛，经历港珠澳大桥建设，这里已建成世界上规模最大的隧道沉管预制工厂。“根据项目工期安排，单个管节预制周期需控制在30天内。”中交四航局深中通道项目经理张文森告诉记者，“依托一整套智能化制造方案，智能浇筑机可实现自动寻孔、下料，1名工程师可以控制200部台车完成沉管的陆上移运。”

与常规隧道的钢筋混凝土结构不同，中国工程师找到最合适、最节约且性能最佳的沉管隧道结构——钢壳混凝土沉管。深中通道管理中心总工程师办公室副主任金文良



图①：深中通道全景。张珂摄
图②：深中通道伶仃洋大桥建设者在架设主缆索股。中交二航局供图
图③：深中通道伶仃洋大桥东锚碇填芯施工现场。中交二航局供图
图④：深中通道伶仃洋大桥。沈仲摄

介绍，以前到国外类似工程调研学习时，对方不让靠近，也不让拍照。经历5年的沉管隧道研发与施工，如今，中国人造出了整体水平世界领先的同类工程，拥有完全的自主知识产权。

8万吨的大块头，从50公里外的预制工厂运到隧址区域安装，这个过程同样挑战重重。中交一航局建设团队创造性提出沉管浮运安装一体化理念，并自主研发出世界首艘沉管浮运安装一体船“一航津安1”。

2020年6月，沉管隧道首节沉管与西人工岛暗埋段顺利实现对接，完成“海底初吻”；2023年6月，沉管隧道最后一节管节安装到位——用了整整3年。

眼下，深中通道主线业已贯通，但建设者们丝毫不敢懈怠，正紧锣密鼓进行最后的“精装修”。期待这项超级工程早日通车，为珠江口两岸城市群发展再添活力。

说起伶仃洋，第一印象是雄壮，这有两个原因：其一是南宋诗人文天祥，曾经在伶仃洋写出千古流传的诗篇；其二则是如今在伶仃洋上，有着许多工程建设的“中国奇迹”，比如伶仃洋大桥。

伶仃洋大桥是深中通道的控制性工程之一，展现的是“中国建造”的硬核实力。在伶仃洋大桥的建设过程中，桥梁建设者们攻克了一项又一项世界性技术难题，创造了多项世界之最。

近年来，中国桥梁建设亮点纷呈，积累了许多建设经验，创新出很多硬核技术。

地基建造技术就是其中的代表之一。大桥或修筑在崇山峻岭之中，或建造在宽阔海面之上，地形地貌复杂，没有一成不变的建造模式可循，需要探索不同的方式方法。伶仃洋海底是流塑状淤泥，稳住桥梁难上加难。施工团队开创性地采用海中软基处理、围堰筑岛、地连墙成槽等成套建造技术，使大桥稳稳立于海中。世界第一高桥——杭瑞高速贵州北盘江大桥建在喀斯特地貌之上，大桥264根桩基，几乎每根桩基在钻孔时都遇到了溶洞。桥梁建设者们一边挖孔一边注浆固结，确保每一根桩基都扎稳，保证大桥的安全。

抗风是大桥建设的一个世界性难题，国外曾有大桥建成通车后不久就因大风坍塌。中国的大桥要面临海面风、峡谷风等各种不同类型的风，所采用的技术也是建设者们潜心钻研探索出来的。云南澜沧江特大桥位于云贵高原西缘的“V”形深沟峡谷地带，峡谷风变幻无常，无论是施工还是通行都面临着巨大挑战。桥梁建设者们采用钢管混凝土代替普通混凝土，使大桥更为结实抗风。在施工中，运用“二次竖转”，利用山体拼接钢结构，有效避免了峡谷风的影响，使大桥顺利合龙通车。伶仃洋大桥的建设者们经过3年多的研究，研发出新型组合气动控制技术，可以抵抗17级台风，有效避免了海面风对大桥的影响。

在修建跨海大桥的过程中，海底隧道建造技术也有长足进步。伶仃洋大桥所在的深中通道一部分是海底隧道，使用的是钢壳沉管隧道技术。相比常规的钢筋混凝土结构，钢壳沉管隧道性能更佳且更加节能。这项技术，中国拥有完全自主知识产权。

这些硬核技术只是中国造桥技术的冰山一角，它们让过去只能存在于想象中的大桥变成现实，促进中国经济发展，造福百姓。硬核技术的背后，是不断开拓创新的中国桥梁建设者们，正是他们的努力付出、攻坚克难，才有了今天中国桥梁建设的一个又一个奇迹，也让全世界对中国桥梁刮目相看。

「桥」见「中国建造」的硬核实力

张一琪

品牌论

