

CFP供图

站在珠江口两岸，无论从深圳端眺望中山，还是从中山端远望深圳，都会让你发出水天苍茫、人类渺小的慨叹。然而，当我以访者身份，数次走进横空出世的深中通道时，这种慨叹又变成了惊叹：天堑面前，人的创造力一旦爆发，势不可挡！深中通道，这一集“桥、岛、隧、水下互通”为一体的超级工程，如是。

## 咫尺天涯

南国大地，昌盛繁荣。珠江之畔，像是葳葳蕤蕤的经济大花园，那些娇艳的花、美丽的花，茁壮热烈，芬芳浓郁，香气四溢，但是，到了珠江口东西岸边，再也无法畅意蔓延了。

辽阔的伶仃洋，汤汤的大水域，阻隔了双向奔赴的脚步。

深圳，隔着珠江口，对面则是中山。深圳需要融通，中山需要机遇，双方都在盼。这种被天堑激发出来的盼，这种因海水隔绝而产生的盼，最终形成了千千万万大湾区人的共同期盼——粤港澳大湾区想要高质量发展，交通运输是“先行官”。这一点，身临其境者感受最深、最真。

深中通道通车前，我曾多次前往建设一线采访，亲历了彼时深圳与中山之间的交通状况。

那是2023年8月的一个早晨，我再次从中山赶往深圳。

一场夜雨，飘至天蒙蒙亮了，才彻底消停。吃过早饭，来到室外，举目所至，楼房、街道、树木、花草，乃至城市东方初升的太阳，都显得湿漉漉，似乎伸手一抓，就能从阳光中攥出晶莹的水珠儿。

我们乘坐的是一辆绿牌新能源车，司机师傅姓黄，一位五十出头的精瘦汉子，中山本地人。

“黄师傅，一个半小时能到吗？”上车后，我问司机。采访对象已在东人工岛等候，我不想浪费时间家的时间。

“周末，不好说。”黄师傅回答得很严谨。

“也是。”我将视线投向了车外。路旁，几棵蓊蓊郁郁的大叶榕，一动不动地矗立在绿化带中，像憨头憨脑的绿巨人，目送我们渐渐远去。“但愿不会堵车。”我像是在喃喃自语。

黄师傅没接话。是啊，城里不堵，出城不堵，谁敢保证虎门大桥不堵呢？

这座1997年建成通车的大桥，守在珠江口这一硕大“A”字形的顶端，成为中山与深圳等地往来的最近通道。除此之外，在虎门大桥与港珠澳大桥之间，约60公里的茫茫海面上，再无其他桥梁可供渡江。但是，随着区域经济的快速发展，设计日均车流量上限8万辆次的虎门大桥，日均车流已增至10万辆次以上，甚至达到过惊人的18.5万辆次，且愈演愈烈……怎么可能不堵！

我们很幸运，车至虎门大桥，居然没堵，顺利抵达。不过，傍晚返回时，再经虎门这一“虎口”，就已堵得水泄不通了。两个小时左右的车程，我们足足用去了近四个小时！

堵在车内，我彻底理解了珠江口两岸人们的心。多年前，人们就热切期盼在虎门大桥与港珠澳大桥之间，再建一条飞越伶仃洋的直通通道，使两地共享发展，共创繁荣。这种期盼，最终汇聚成汹涌浪潮，一波又一波，急促拍打着决策者的心房。回声，很快传来。

2015年12月25日，深中通道深圳机场互通立交先行工程动工建设。这条连通深圳与中山的海上直通通道的建设，拉开宏大序幕。

## 神奇定位网

无规矩，不方圆。作为超大型跨海通道工程，深中通道集结了超大型跨海中桥梁、深水人工岛、超宽变截面海底隧道、水下互通立交四位一体的多种组合方式。若想将这—蓝图完美变成现实，需要一张网——工程控制网。这是针对工程而布设的专用控制网，像是鲁班的尺线，贯穿整个施工过程。

2016年12月底，来自长江三峡勘测研究院的测控团队，一支以“80后”为主的生力军，在湖南益阳人陈向阳的带领下，来到深中通道现场。

首级控制网的建立，浸透了他们的汗水。

推进行程，相当艰辛，不亚于荒野探险。从这年的冬季，测控队一直忙到2017年初秋。他们的身影，频繁出现在深中通道两端的登陆区——中山端翠亨新区，深圳端宝安区。哪儿条件最艰苦，哪儿人迹罕至，陈向阳等人就出现在哪里，远看像一群荒野猎人。只不过，他们狩猎的对象，是最精准、最可靠的数据。

深圳望牛亭公园的乘风邀月亭，中山马鞍岛的集中营地、烂山公园、彩虹桥……这些陈向阳本来陌生的地名，在近一年的时间内，被他以踏石留印的工作态度，用双脚深深地刻在了心底。有时，人的胆量、胆魄，也会经受考验。那天，陈向阳照常在一处野外监测点忙碌，突然感觉四周出奇的静，静默中，又有一阵奇怪的响动惊扰着耳畔。他停下手中的工作，警惕地四下查看，在看清的刹那，后背的汗毛倏地竖了起来。一条眼镜蛇，一条一米多长的眼镜蛇，原本在草中蜿蜒穿行，此刻已停下来，扭过三角脑袋，直勾勾盯着陈向阳。

电光石火间，陈向阳强迫自己迅速冷静下来。看情形，眼镜蛇并非想要攻击人，只是路过。他急忙屏息敛声，一动不动。大概并未感觉到威胁，眼镜蛇停顿片刻，重新钻入草丛，不见了。

**编者按：**2024年6月30日正式通车的深中通道，是一个集“桥、岛、隧、水下互通”于一体的世界级超大型跨海集群工程。这项超级工程的建设者，凭借智慧、创造与激情，将“国之重器”与“民族之道”完美融合。海天一色之间，这条钢铁巨龙傲立于波涛之上，连缀起粤港澳大湾区一体化发展的恢弘画卷。

著名作家、中国报告文学学会副会长李春雷多次前往深中通道建设现场进行实地调研和采访，深度书写深中通道的建设历程和英雄群像。为庆祝新中国成立75周年，海风版特约李春雷和本报记者撰写报告文学《碧海舞飞虹——深中通道建设纪实》，让读者身临其境地感受这项超级工程建设的艰辛历程，致敬勇于创新、甘于奉献的建设者和劳动者。

# 碧海舞飞虹

## 深中通道建设纪实

●李春雷 刘炜茗



《湾区建设——逐梦深中通道系列》（水彩画）余镇河 作

良久，陈向阳才长长吐出一口气。

工作的艰难、野外的艰险，在明确的目标面前，全都阻挡不了前进的步伐。2017年9月，深中通道项目测量控制中心，高标准建成了连续运行卫星定位参考站系统——深中通道SZTD-CORS。这是国内第一个真正意义上的高精度桥梁工程CORS！

其平面精度可达2厘米，高程精度可达3厘米，实现了全天候自动连续观测，完全满足深中通道项目施工测量需求，为深中通道工程“桥、岛、隧、水下互通”顺利贯通提供了测量保障。

路上基准完成后，还要在海上推动测量平台的建设。

在测控中心的统一调度下，陈向阳和同事们在深中通道全长约24公里的设计轨迹内，连续建设了8个测量平台，平均3公里左右一个，形成海上首级加密控制网，确保能将陆上基准引导至各个平台。

一张无形的定位网，在深圳至中山的海面上迅速形成。

## 三维隔绝

深中通道的西人工岛，是用57个超大型钢圆筒，在伶仃洋上劈波斩浪，硬生生围出来的。这一过程，说起来简单直白，仿佛在用竹竿子扎篱笆墙，真正实施起来，却惊心动魄、险阻重重。

2017年5月1日上午，伶仃洋上空万里无云，天空呈现迷人的湛蓝色，苍穹显得愈加辽阔、深邃。海水静得像是睡着了，只有各式船舶经过时，才会泛起梦的涟漪，很快又归于平静。

西人工岛的施工现场，却是另一番情形。海面上已停了一台液压振动锤十二锤组联动系统，远看像一台大型龙门吊，上面漆着“中交一航”四个大红花，整套系统如高高耸立的变形金刚，在其他工程船的护卫下，威风凛凛，气场强大，压得周边海水愈加不敢释放波澜。

作为西人工岛项目部负责人之一，甘肃定西人王刚和他的同事们，此刻表情都很严肃，毕竟这是第一根钢圆筒，第一个“巨无霸”振沉，顺利与否，直接影响后续施工。即便所有细节都考虑到了，但

在这神秘莫测的海水中，振沉如此一个硕大家伙，结果究竟如何，大家还是难免忐忑。

万一精度达不到设计要求，岂非前功尽弃？

这是决不允许出现的状况！

紧张感，像零度的水，迅速在施工海域弥漫开来。

一只海鸥从人们头顶掠过，似乎也感受到了这种情绪，没敢发出以往的清脆叫声。王刚的耳畔安静极了。但很快，一阵大型机械特有的沉闷响动，轰然击碎了岑寂。4000吨的起重船，将写有“深中通道”四个大字的巨型钢圆筒缓缓吊起，稳稳地送至定位驳船侧方的预设位置，紧紧夹持筒身的液压振动锤十二锤组联动系统准备就绪。

起重船与定位驳船上的施工人员，用对讲机不停交流着，仔细校准每一步动作，确保振沉精准、可靠。随着硕大的钢圆筒被一点点振沉入海，前期对海床的软化处理，此刻发挥了效能，曾经坚硬的夹砂层，已被搅拌成“豆腐层”，在振动锤的作用下，钢圆筒一点一点，向海床平稳振沉，并确保了正位率百分百。

咣当，咣当，咣当……

约三个小时后，深中通道西人工岛第一根钢圆筒振沉到位。

蓝图上的深中通道，从二维平面竖起一根定海神针，直直地插入三维世界的伶仃洋，朝着连接珠江口东西两岸的那一天，迈出了坚实的第一步。

望着稳稳当当矗立海水中的第一根钢圆筒，在场的所有施工人员都暗自松了一口气，有人带头鼓起掌来。

接下来，仅用了4个多月，具体说是前后历时141天，建设者将57根钢圆筒精准振沉入海，围出一个风筝形的岛壁轮廓。随即，这些钢圆筒通过副格被紧密连接，形成一圈严丝合缝的壁垒。西人工岛建设，由此驶入快车道。

## 百分百防护

深中通道深圳端，东人工岛的建设，同样在如火如荼地推进。

东人工岛不仅比邻深圳宝安机场，作业面还贯穿着一条重要高速——广深高速，珠江口东岸城市的经济大动脉，承载着重要的交通疏解功能，车流量非常大。东人工岛在施工过程，必须严格保护其不受影响。

难上加难的是，涉及的41组高速桥墩承台，均矗立在海水中，水面之下，还有8至14米厚的淤泥层，像是在豆腐上插了几十根粗“筷子”。东人工岛在填筑及深基坑施工等过程，极可能引起桥墩承台的变形，超过一定标准，将会给沿江高速带来严重安全隐患。

来自河北徐水的“80后”、项目部常务副经理刘坤，对此有着清醒的认识：保护沿江高速，是东人工岛施工中的关键环节，必须确保万无一失！

很快，多重隔离保护措施，在施工现场得到了严格落实。

为了让所有“筷子”风雨不动安如山，先用钢板桩或钢管桩将其一根根围拢起来，再往护圈内吹填砂。打桩过程，为避免对高速桥梁产生震动，建设者采用了静压植桩的施工方式。而回填砂更是一个“稳”中求胜的过程，必须保证回填对称偏差小于1.8毫米，避免“筷子”们被砂料挤压发生倾斜。

这些事关大局的宝贝“筷子”们，值得建设者为它们殚精竭虑。

然而，问题还是层出不穷。施工船在往桥墩周围回填海砂时，只能集中吹填到一处，做不到实时分散，这肯定会产生短时应力集中的情况。

怎么办？那就化整为零。

建设者将海砂装进一个个特制的袋子里，做成一床床“砂被”，再一层层均匀地摊铺在桥墩四周，有效解决了偏载的问题。

这，只是完成了工作的一半。

东人工岛建成后，主线隧道会从沿江高速下面穿过。按照设计，需开挖一个长70多米、宽46米、深约18米的巨大基坑，而坑壁距高速桥墩承台最近处仅有1.17米——已然挖到了高速桥墩的“鞋帮”。“鞋帮”一旦垮掉，“脚”将无处安放。为此，必须对基坑进行加固。

刘坤他们采取了新的工艺，高压旋喷桩——用高压旋转的喷嘴，将水泥浆喷入土层与土体混合，形成水泥固固体，并在基坑两侧实施锁扣钢管桩及止水帷幕，再配以伺服数控系统进行支撑……基坑纵向、横向变形，设计要求在5毫米之内，竟被中国工程师们做到了2毫米之内。

严谨加创新，有条不紊中，2023年6月20日，随着主线隧道最后一段顶板混凝土完成浇筑，东人工岛主体结构施工全面完成，国内首个高速公路水下互通立交主体，正式成形。

## 超级制造

在深中通道，有位“一号员工”——宋神友，深中通道总工程师。

早在2010年，宋神友就已参与深中通道的前期工作。后来，随着工程建设的全面展开，他更是与整条通道融为一体。

海中建通道，人们当然对海底隧道格外关注。深中通道的海底隧道沉管采用钢壳混凝土结构，按照传统工艺，造出这样一个海底隧道的标准管节，需要几个月。

“一号员工”却认为，要想隧道建设不拖整个通道建设的后腿，沉管制造必须缩短至一个月。

闻听此言，人们被惊住了。

“我们的技术水平已经实现飞跃，在确保质量的前提下，只要改进制造工艺，提升制造效率，

一定能缩短制造时间……”宋神友气

定神闲地解释。

信心，来源于实力。

他们已构建起国内第一条大型

钢结构智能制造生产线，并调整了沉管制造工序。

过去，沉管内的交通设施、机电设备、消防设备等舾装件与壳体连接的部分，需要等沉管安放海底后才上马，如今提前到钢壳建造时便安装了，不仅施工环境大为改善，安装起来更便捷，效率也更高。当然，效率只是一方面，安全才是终极目标。

为确保钢壳沉管的安全，更为海底隧道百年无虞，工程师们将自己和集体的智慧发挥到了极致。

钢壳沉管浇筑水泥后，最终要沉放到几十米深的海底，管节的钢壳构为不可更换部分，也不可能更换。因此，其设计使用年限100年，仅是必须满足的基本要求。在这漫长的100年里，即便在陆地上，钢制物体也会渐渐腐蚀，更何况在高盐、高湿、高压的伶仃洋底，海水对钢壳结构的腐蚀情况会更严重。

对此，宋神友却信心十足。

全因他们采用了三种技术手段，以三管齐下的方式，做到了钢壳防腐。

首先，管节迎水侧预留腐蚀厚度，所用优质钢板最厚达到40毫米；再者，加以重涂装，采用玻璃鳞片漆，干膜厚度达700—1000微米；在钢壳迎水侧增加铝合金牺牲阳极——阴极保护可以有效防止金属在海洋腐蚀环境中的电化学腐蚀。一个令人挠头的大问题，就这么被中国工程师给出完美答案。

2019年6月26日，深中通道项目GK01标E1管节完工出运，前往沉管预制厂浇筑。哦，首节钢壳诞生了。

## 海底建长城

2020年6月16日凌晨2时，珠海桂山镇牛头岛。

岛外，天色苍穹下，海面上灰蒙蒙的，层层波浪在夜色怱怱下，前赴后继扑向岛边礁石，将海的梦呓荡散至小岛的角角落落。

岛上，深中通道海底隧道沉管预制厂内，一派繁忙。

这一天，是完成浇筑的E1管节正式奔赴安装海域的大日子，中交一航局深中通道项目部测量管理中心副主任锁旭宏，看似表情平静，内心却已波澜起伏。

终于，在“一航津安1”沉管浮运安装一体船的带动下，偌大的E1管节通过坞内外的带缆，缓缓通过深坞口，进入伶仃洋外海。在船上，锁旭宏与同事们又将所有检测设备检查一遍，一切正常，这才深吸一口气，将目光投向了远处黑黝黝的伶仃洋水面……

6月16日下午4时许，历经七次航道变更、浮运50公里后，一体船携带着6万多吨的E1管节，顺利抵达西人工岛附近，经过两次转向，最终将对接首端朝向向了西人工岛暗埋段方向。沉管系泊作业随即展开。这一过程，要确保沉管精准停泊在预安装位置上方。

八根缆绳朝向八个方位，将钢壳混凝土管节稳稳地系泊在指定位置。在这拖拽形成的平衡中，沉放对接的各项准备工作也全部开始。西人工岛附近，施工船舶往来穿梭，调度频繁，静悄悄浮在水面的E1沉管显得愈加安静，像大海面向苍穹开出一扇窗。

在水深几十米的海底，若要实现E1管节与西人工岛暗埋段完美对接，难点在哪儿？

当然是定位。

在看不见的水下定位，且精度控制在毫米级，难度可想而知——这也是锁旭宏最为关注的环节。在桂山岛期间，他千方百计寻觅提高沉管对接精度的“真经”，创新使用北斗卫星导航系统，通过测量塔数据，实时计算沉管的三维动态，为水下安装作业提供了精准无误的“眼睛”。

6月16日22时30分，系泊作业6.5个小时后，E1管节开始正式沉放对接，并于翌日11时30分许，与西人工岛隧道暗埋段实现完美对接。在接下来的日子，锁旭宏等建设者以平均“一月一节”的深中速度，推进着后续沉管的安装。

时光很快来到2023年6月11日。凌晨，伶

仃洋矾石水道风平浪

静，世界仿佛仍在沉睡。但是，

在24米的深海之下，深中通道海底隧道的最终接头，已顺利推出，与东侧的E24管节实现精准对接。中交一航局团队创新使用了水下双目摄影定位技术和水下拉线技术，通过两者相互复核、联合解算，为最终接头在海底安装对接，提供了更加可靠、更高精度的定位数据。

历经五年建设，深中通道“海底长城”正式合龙。

深圳与中山，在伶仃洋底，实现了首次“牵手”。

## 钢铁长虹

深中通道海上桥梁部分，最引人关注的，当然是深中大桥。

大桥一东一西有两座主塔，远远望去，像是矗立在伶仃洋上的巨型双腿，托举着美丽、牢固的人间长虹。

工程美的背后，凝聚着万千建设者的智慧、汗水与心血。

在水流湍急的伶仃洋中，筑造270米高的主塔，不亚于在海上修天梯。珠江口为咸淡水交汇区，海洋腐蚀严重，为有效阻隔海水与桥梁结构的接触，提高承台及桥梁的耐久性，工程师们想出了一个绝妙的办法：

为主塔承台各套上一副“盔甲”！

这副“盔甲”，其实就是精心制作的巨大钢吊箱，它不仅可以阻隔海水，建设中有利于索塔承台施工，大桥建成通车后，还可以像“铁护踝”那样，避免大桥的“脚踝”遭受船舶的直接撞击，为大桥提供强有力的“坚硬”保护。

“双腿”坚强有力，“躯干”弱不胜衣也不行。

当初，为保证船只顺利通航，深中大桥桥面的设计高度达90米，为世界上最高通航净空的跨海桥梁。珠江口水域历来频发强台风，为此，有国外权威断言：若在伶仃洋上建设这么高的整体钢箱梁大桥，根本无法满足抗风的安全要求，失败在所难免。

这一论断，让人们心里没了底。

关键时刻，“一号员工”宋神友用自己的精湛专业和严谨态度，一语定了乾坤：“这是他们的断定，不是我们的，我觉得我们能行！”

在宋神友的牵头组织下，多个单位戮力同心，研发出了新型组合气动控制技术，攻克了台风频发区超大跨整体钢箱梁悬索桥灾变控制技术，如一抹明媚阳光，将笼罩在人们头顶的阴霾彻底驱散。

深中大桥上其余非通航孔桥的钢箱梁安装，同样富有挑战性，同样需要科学谨慎。

施工海域线路长，钢箱梁运输距离远，穿越航道多，取梁、运梁、架梁，哪个环节都需要特定的潮位，施工受天气影响大，组织协调难度大，安全风险高……作为深中通道项目S07标段的施工方，中铁大桥局成立专门的架梁小组，倒排工期，设置了“一梁九表”的工序，将钢箱梁的架设速度很快提升至约三天两片。

这就是中国速度！

2023年1月4日，随着最后一片110米钢箱梁缓缓落在自己的“岗位”，由广东省交通集团投资，由中铁大桥局施工的深中通道海上非通航孔桥的最后一块“积木”，圆满完成搭设。

至此，海上桥梁部分所有钢箱梁的架设，顺利完成。大国工匠们，用自己的双手，托起了人间彩虹，创造了人间奇迹。

亿万年前，陆地撕裂，形成珠江口，有了伶仃洋。如今，中国人挥洒汗水与智慧，在茫茫大海之上，凭空筑造出一条钢铁通道，将撕裂的大地重新融为一体，使粤港澳大湾区愈加血脉通畅，筋骨强壮！

策划：李贺