

“蛟龙”潜底架通途

——大连湾海底隧道工程建设情况调查

本报记者 苏大鹏

南有港珠澳，北有大连湾。重大工程项目的建设牵引有效投资、稳定经济增长，是实现经济高质量发展的重要支撑。从祖国南端的伶仃洋，到向北2000公里开外的大连湾，我国在跨海沉管隧道施工领域的技术、装备、经验日臻成熟。在超级工程的跨地实践中，建设者们克服了哪些困难？又有哪些技术创新？经济日报记者近日深入大连湾海底隧道施工现场展开采访调研。

大连湾海底隧道工程——

建成通车后
过去绕行大连湾1个多小时的路程
10分钟即可穿越



是我国北方第一条大型跨海沉管隧道工程

也是继港珠澳大桥之后又一项技术难度大、施工工况复杂、环保要求高的跨海交通工程



大连湾海底隧道工程沉管安装中的管节浮运现场。本报记者 苏大鹏摄

海上，抓斗船、挖掘机等设备联合作业，机器轰鸣；陆地上，工人们在进行混凝土浇筑等工序，紧张忙碌。入秋时节，记者在大连湾海底隧道施工现场看到一片热火朝天的施工场景。

2017年，辽宁省大连市启动重大民生工程——大连湾海底隧道和光明路延伸工程，预计2023年竣工通车。其中，大连湾海底隧道是我国北方第一条大型跨海沉管隧道工程，也是继港珠澳大桥之后又一项技术难度大、施工工况复杂、环保要求高的跨海交通工程。

2013年5月6日，港珠澳大桥岛隧工程首个沉管安装开启了我国跨海沉管隧道施工的新纪元。2021年，在大连湾海底隧道施工现场，我国已完成50余个“航母级”沉管的安装。从96个小时安装一个管节的探索到10余小时即可完成，8年来，我国跨海沉管隧道施工技术在港珠澳大桥、大连湾海底隧道、深中通道等一个个超级工程中持续探索与创新。

短短数年，我国在跨海沉管隧道领域何以实现突飞猛进？有哪些技术创新与突破？又遇到了哪些意想不到的困难？对下一个海底隧道工程又意味着什么？

精准对接创纪录

位于黄渤海交界的大连，老城区呈“C”字形海湾结构，南北交通干道仅有东联路和东北路两条通道，车流量早已远超设计通行量。大连亟需缓解主城区南北交通瓶颈问题，拓展城市发展空间。大连湾海底隧道和光明路延伸工程正是为破解该问题，以PPP模式建造的辽宁省重大工程项目。

“海底隧道建成后，将为大连新增一条纵贯南北的快速通道，过去绕行大连湾需要1个多小时，以后10分钟就可以穿越。这对于缓解大连中心城区交通拥堵、拓展城市发展空间、推动大连湾两岸一体化建设具有重要意义。”大连湾海底隧道有限公司党委书记、总经理李进说，项目不仅方便市民出行，也将优化城市功能，推动大连湾两岸一体化建设。

沉管安装，是大连湾海底隧道的控制性核心工程，难度极高。首先要在陆地上将预制的重达数万吨的沉管密封管口后，依靠浮力一节节运到海中，再沉入海底，对接成为隧道。在这一过程中，面对复杂的海底地形和水文条件，施工需要借助海洋气象预报找到精确的窗口期。

9月15日，中交第一航务工程局有限公司承建的我国南北两条跨海沉管隧道再次迎来双“管”齐下的历史性时刻——世界最长最宽的钢壳沉管隧道深中通道E12管节与E11管节顺利对接，建成隧道长度突破2000米大关；同日，我国北方首条大型跨海沉管隧道大连湾海底隧道E9管节成功安装，沉管安装施工任务过半。

此次安装的E9管节是大连湾海底隧道年内安装的第八节沉管，也是今年第三季度完成的第4个管节，跑出国内沉管安装“新速度”。

本版编辑 郎冰 闫伟奇
美编 王子萱

大连湾海底隧道和光明路延伸工程主线全长12.1千米，建设标准为城市快速路，设计时速每小时60千米，双向6车道。其中，大连湾海底隧道全长约5.1千米，海底沉管段全长3035米，共需安装18节大型沉管。单节标准沉管长180米，宽33.4米，高9.7米，重约6万吨，相当于一艘航空母舰的排水量。

海上风浪、流速等不利气象条件对海况影响大，给沉管施工带来极大挑战。9月15日当天，大连湾海底隧道E9管节安装于清晨6时启动，在先后完成拖轮编队、浮运、系泊、安装等工序后，于当日晚20时08分顺利安装完成。“气候条件对沉管安装影响大，E9管节的安装是在提前安排水深多波束扫测，实时测算海水密度，排除各项风险隐患等充足准备下确保沉管顺利对接完成的。”大连湾海底隧道有限公司总工程师潘立文说。

对于海底沉管工程而言，气候影响只是“小插曲”，真正的挑战可谓“一个接一个”。去年底，大连湾海底隧道有限公司历经17小时连续作业，重约4.1万吨的首节(E1)沉管成功沉放海底，与北岸岸埋段实现精准对接，实现了我国寒冷地区首条海底沉管隧道建设零的突破。

“E1管节施工海域为岩石基础，地质状况较差，无法采用全抬升式常规整平船插桩作业。”潘立文说。为确保沉管精准对接，研发团队历时3年攻关，克服了岩石基础条件下无法插桩的技术难题，采用了全国首创的整平船全漂浮式碎石基床整平工艺。

万事开头难，迈出了第一步，后期的沉管作业越来越熟练，越来越顺畅。迄今为止，施工方中交一航局成功完成了54个航母级沉管的精准海底对接，也创造了世界跨海沉管隧道建设史上前所未有的新纪录。

因地制宜破难点

“大连湾海底隧道工程存在地质条件复杂、隧道曲线半径小、寒冷海域考验混凝土耐久性、通航条件复杂等诸多全新考验，施工难度大、质量要求高。”潘立文说。

首先要解决的难题就是低温。在寒冷地区建设沉管隧道，是此前我国从未有过的施工经历。大连地处我国东北地区，冬季寒冷天气会给施工带来诸多不便，无论对船机设备还是施工人员都是极大考验。冬天在室外吹半小时海风，穿再厚的衣服也顶不住；低温状态下安装设备是否会出故障，谁也不敢保证。

大连湾的首节沉管安装是在冬季进行的，然而，我国首套沉管安装专用设备“津安2”“津安3”在设计之初并未考虑低温影响。于是，施工方针对冬季施工特点，对沉管基床整平船“津平1”、沉管安装船“津安2”“津安3”等主要船舶进行了一系列适应性改造：加装锅炉、暖气等保暖设备，更换低温标号齿轮油、液压油，外露油管、水管用保温棉包裹，绞车液压站移至机舱，为甲板设备定制防寒篷布……这一切就是为了确保船舶在冬季施工不受影响。

大连湾海底隧道第四工区负责沉管安装。

工区经理王殿文介绍：“我们结合北方寒冷地区的实际，因地制宜采取应对措施，对专用船舶的系统软件进行了自主升级和创新。不少技术之前未曾考虑过，可以说是填补了部分沉管隧道安装领域的技术空白。”以水下电缆插座安装工艺为例，大连湾海底隧道干坞法批量预制的特点决定了插座数量增多，受疫情影响，从国外采购成套设备周期长，势必影响整体进程，技术团队经过数月研究，水下电缆插座的安装工艺由一次舾装调整为二次舾装，不仅克服了疫情影响，还将这项技术实现了国产化。

如今工程按照时间节点有序推进，陆上施工最繁忙的当属沉管预制。

记者在现场看到，工人将一根根钢筋绑扎成一个一个钢筋笼。经过混凝土浇筑后，这些火柴盒形状的巨型管节将连接成一个重达数万吨的标准沉管。

在冬季浇筑管节在国内尚属首次。“光是研究高强度混凝土抗冻抗渗，保证海水环境下百年使用寿命就用了两年时间。”潘立文介绍，“最终，大连湾海底隧道创新采用干坞法沉管预制，并实现多个作业面同时进行。”据介绍，这套专为大连湾海底隧道量身定制的沉管预制方法，经过行业评定已经达到国际先进水平。

除了寒冷气候，复杂的海域地质条件也对施工提出了挑战。与较多淤泥为主的单一地质不同，地处北方的大连湾海底隧道施工海域地质复杂多变，地质管节遍布沟、槽、孤石、石笋，中间还夹杂着丰富的红黏土。

潘立文介绍，“施工海域海底溶洞沟多，岩基裂隙发育，18节沉管中有5节坐落在黏土层上。这一部分施工需要将黏土挖走，重新填上碎石，夯实整平后才能安装沉管”。

整平，是沉管安装工作的重要环节。大连湾海底隧道有限公司副总经理马宗豪介绍，整平施工前，需要进行基槽精挖，在岩基段基槽增加岩基爆破和清渣等工序，“我们采用了水下高精度爆破、水下精挖等先进工艺，这都是国内领先的技术”。具备整平条件后，被誉为“海底3D打印机”的整平船进场作业，为沉管铺设一个能够安睡的“床”。

然而，大连湾海域的基槽边坡炸礁后会存在大量裂隙。这也意味着曾经采用的全抬升整平工艺将不适用于大连湾。

为解决这个困难，中交一航局研发团队组织骨干力量集中研究，半漂浮式整平、半幅整平、降低平台高度、整平船加宽、整平船设置定位桩……每个方案都经历了无数次技术论证和推演。3年筹备期间，百余次的专题技术研讨，最终确定了全漂浮碎石基床整平工艺。

“为了确保漂浮状态下整平的精确控制，GPS和声呐都派上了用场。全漂浮的整平工艺在全国属于首创。”大连湾海底隧道有限公司党委书记田爱哲说。

正是这样一个个难题的解决和突破，让跨海隧道施工技术不断发展进步。丰富的经验并不是一朝一夕就能拥有的，而是在艰难的实践中不断创新、不断积累。

此外，大连湾海底隧道在最终接头的考虑

上，创新性地采用“顶进节段法”工艺，全部工作均在干地作业环境下完成，具有结构制作简单、施工质量有保证、施工周期短、建设成本低和安全性强等优点。“这个工艺一方面避免了大型船的吊装，更具经济性；另一方面是不受风浪影响，安全性更高。最重要的是质量方面的精度要更高。这一工艺是国内首创，我们也申请了专利。”潘立文说。

值得一提的是，大连湾海底隧道未来还将实现“实体工程”+“数字化工程”双产品移交。“所谓数字化工程，就是将BIM技术、互联网协同技术、物联网技术深度应用于工程设计、建造施工、运营维护全生命周期。简单来说，隧道所有的实体都将通过计算机建模形成数据库。”潘立文说，“比如预制沉管使用的钢筋是哪里生产的，炉号是多少，批号是多少，哪个班组做的……这些内容都将实现数字化。”

协调合作保工程

重大工程的建设过程中，除了要针对当地条件突破各类技术难题，还要有应对不同场景、工况下的应用和突破。只有不断创新，才能推动整个技术不断成熟、完善。

海底隧道施工期间，如何保障施工与通航两不误？这考验着项目的组织、协调与执行能力。

大连湾水域狭窄，通航条件复杂，客轮、货船等往来频繁，海上施工高峰期时船舶可达百余艘，而工期仅50个月，这对施工安全和海上通航能力都带来极大考验。

大连港客运码头、大船重工、大船海工等我国重要船舶与海洋工程制造基地均位于大连湾腹地。从空中俯瞰大连湾海底隧道沉管工程线路，恰好与许多重要船舶行驶线路特别是航运线路交叉。这意味着在建设海底隧道的同时，还要确保航运畅通。

“大连湾沉管隧道水上施工主要有基槽开挖、碎石基床整平、管节浮运安装及回填等工序，均需较长时间占用原航道部分水域。为保障水上施工作业和社会船舶水上通航安全，我们专门开挖了

与主航道同等通航能力的临时航道。”李进说。

据介绍，海底隧道项目在香炉礁航道与甘井子航道北侧，专门开挖设置一条与原航道通航能力相同的临时航道，保证船只能顺利通过。临时航道有10多米深、200多米宽，这一大工程就是为了确保项目施工不影响通航。此外，项目还联合研究机构开发了海上船舶管理平台，进行实时监控预警。施工期间通过多次航道转换，既保证了大连湾正常通航，又保证了海上施工安全。

大连湾海域复杂的通航情况，对工程的考验远不止新挖一条航道这么简单。

项目四工区副经理李竹堂至今还记得那惊心动魄的一幕。今年3月9日傍晚，E2沉管的各项沉放准备工作就绪。就在此时，“津安2”突然鸣笛，原来是一艘小渔船误打误撞撞进施工海域。安装船与拖轮、岸上连接的缆绳错综复杂，一旦渔船碰到缆绳，后果不堪设想。好在此时，警戒的海巡船接近渔船并进行了驱离。“因为当天有雾，再加上傍晚光照条件差，渔船就没有看到我们，幸亏有大连海事局的海巡船护航。”李竹堂说。

事实上，为全力保障海底隧道项目，大连多个相关部门与施工单位进行密切协调合作，保障水域安全，研究制定通航保障方案，确定现场管制、临时封航、区域限速等保障措施。为提高这一备受瞩目的重大民生工程实施效率，大连市城市管理局统筹协调项目存在的问题和困难，定期或不定期召开工程推进协调会，深入现场办公解决问题，采取一切有利于工程顺利推进的措施，确保工程项目全速推进。

投资规模大、跨越地域广、动迁难度大、技术难度高，对于服务这一目前我国东北地区投资规模最大的单体PPP项目，大连市城市管理局局长梁春波说：“一方面要熟悉项目的基本情况，掌握项目进展，明确项目公司的诉求，针对性地提出工作建议；另一方面要协调市、区各级政府部门，相关企业单位为项目建设创造便利条件。”

据介绍，仅大连市城管局一家单位就已协调当地30多家政府部门和20余家涉及管线迁改的企业，解决关于用海用地、方案、征地、迁改、文物、环境、通航、建设手续等方面大小困难事项近1000件。

调查手记

海底“雕花”尽显匠心

大连湾海底隧道必须克服低温、复杂地质结构、技术空白等一系列高难度挑战。但所有难题都在建设者手中被一一破解。在采访过程中，记者深感建设者们的不懈努力是这一超级工程建设顺利开展的关键因素。

创新无处不在，对于大连湾海底隧道工程来说，同样如此。北方海底隧道建设面临着许多经验空白，是“摸着石头过河”。如今，工程核心环节之一的沉管工程已经过半，项目建设者告诉记者，必须牵住创新这一“牛鼻子”，才能确保各个环节稳步推进。事实正如此，“顶进节段法”“全漂浮的整平工艺”等一个个国内乃至世界第一的技术创新在建设过程中不断涌现。

百年耐久性混凝土精确制作、爆破控制高精度完成、沉管毫米级精准对接……在极为复杂的海岸地质结构环境中，海底隧道这一庞

然大物的建造正如“雕花”般进行着，大国工匠的精益求精精神在这一过程中不断彰显。建设者们正用每一个零部件、每一道工序、每一处工区建造的精益求精，展现着他们追求极致的品质。

在建设者的奉献中，近8年来，我国跨海沉管隧道施工在港珠澳大桥、大连湾海底隧道、深中通道等一个个超级工程中不断实现突破。在大连湾海底隧道建设现场，许多前来参观的人们都不由感叹：大连湾海底隧道的建设者们令人敬佩！向超级工程的建设者致敬！