

走近大国工程

穿越胶州湾

探访世界最长海底道路隧道项目

本报记者 沈东方 自山东青岛报道



随着声声汽笛响起，一艘艘满载出口物资的货轮缓缓驶离山东胶州湾畔的青岛港，航行于大海之上。在胶州湾海平面百米之下，一项“看不见”的超级工程正在如火如荼进行。

4月19日至4月25日，2024年世界隧道大会在深圳举行，中国共有9个项目入选“全球隧道与地下工程领域50项标志性工程”，青岛胶州湾第二隧道项目就是其中之一。这条隧道连接青岛主城区和国家级新区青岛西海岸新区，设计时速80公里，工程全长17.48公里，隧道总长14.37公里，建成后将成为全世界最长的海底道路隧道。

头顶是汪洋大海，前方是复杂地质，身处于多样的水文地质环境，这个建设规模最大、长度最长、综合施工难度最高的海底道路隧道工程需攻克哪些“世界级挑战”？青岛实践将为全球海底隧道建设带来哪些经验和启示？一起走近胶州湾第二隧道项目。

1 极其复杂的地质条件、极度敏感的建造环境、极高要求的建造质量、极端恶劣的服役环境

TJ-04标段北主线工程开挖掘进突破2100米，成功解决了开挖地质复杂、施工涌水量大等技术难点，为后续工程施工顺利推进奠定了坚实基础；探路先锋“国信号”盾构机掘进达1100环，标志着该工程服务隧道盾构段掘进里程已过半……近一个月来，关于胶州湾第二隧道建设的好消息不断传来。

“二隧的主体工程采用对向掘进的施工模式，目前青岛端和黄岛端的开挖里程总和已超4公里，隧道整体进度大约完成了三分之一。”青岛国信胶州湾第二海底隧道有限公司总经理李翔介绍，主体项目分别在黄岛陆域段主洞口、海域段斜井洞和青岛港八号码头设置了三大工区、六个标段，总工期计划72个月。

这项超级工程将创造五项世界纪录：世界建

设规模最大的海底道路隧道、长度最长的海底道路隧道、穿越大规模断层最大断面海底隧道、水压最高的超大直径盾构隧道、首座超大直径盾构与大断面钻爆法对接的海底隧道。而这些世界纪录的背后，有着超乎想象的复杂条件。

与2011年通车运营的青岛胶州湾隧道相比，二隧工程建设条件更加复杂，具有“四极”特点——极其复杂的地质条件、极度敏感的建造环境、极高要求的建造质量、极端恶劣的服役环境。

整个项目已探明的就有22条断层破碎带、节理裂隙密集发育等不良地质体，重大地质灾害风险源众多，其中，最大的一条“沧口断裂带”影响宽度达到了610米。这些构造极易导致隧道衬砌错断、结构断裂，诱发坍塌及涌水突泥灾害等。

“我们可以简单地把地壳想象成一张巨大的千层饼，地壳运动就像在扭断这张‘千层饼’。其中，受到挤压产生的裂隙被称作压性裂隙，被撕裂产生的裂隙就叫张性裂隙，二隧主要面临的张性裂隙的挑战。”李翔告诉记者，由于胶州湾海底表层沉积物少、沉积厚度小，这一条条裂隙就像张着的大嘴，与海水直接连通。在隧道施工过程中稍有不慎，就极易形成连接海水的导水通道，导致大规模涌水灾害。

相比山岭隧道，海底隧道的服役环境更为严酷，将面临“多离子、高浓度、大水压”的耐久性问题。胶州湾海域水体中的氯离子和硫酸根离子浓度较高，它们都属于钢筋混凝土的腐蚀源，容易逐渐腐蚀隧道主体。此外，埋深超过百米带来的高压水，给施工和装备带来耐压密封的挑战。

2 因地制宜采用“钻爆+盾构”组合施工法，从胶州湾东西两岸对向掘进并在海底对接

为了摸清复杂的水文地质情况，二隧工程构建了“空-海-隧”三位一体的勘察技术体系。项目团队经过勘察发现，靠近黄岛端一侧的地层多为较为完整的花岗岩，靠近青岛端的一侧多为凝灰岩，岩质软硬不均。

面对这个复杂条件，项目决定采用“钻爆+盾构”组合施工法。黄岛端采用钻爆法施工，青岛端采用盾构法施工，分别从胶州湾东西两岸向胶州湾掘进，并在海底对接。

据了解，黄岛主线钻爆段隧道长约10公里，其中陆域段约3公里、海域段约7公里，单线开挖尺寸宽约15米、高约10米。施工过程中，在国内海底隧道施工领域首次推广采用三臂凿岩台车、喷射混凝土机械手、拱架安装台车等大机配套全工序机械化施工技术，降低了工人劳动强度、改善了作业环境，同时减少掌子面作业人数和隧道开挖扰动次数，有效降低安全风险。

盾构段则“集齐”三台盾构机：“国信号”盾构机开挖直径8.18米，用于服务隧道掘进施工，将在复杂海面之下为两条主线隧道探明前方

道路；“海天号”和“深蓝号”盾构机开挖直径均为15.63米，分别用于南、北主线隧道掘进施工。

在胶州湾第二隧道工程安全生产调度指挥中心的不远处，就是青岛端盾构隧道的始发井。记者跟随工作人员，沿着约5层楼深的始发井走到底部，再行进560余米，来到了南线施工作业面。映入眼帘的圆形庞然大物，是正在缓缓转动的“海天号”盾构机刀盘。施工过程中，盾构机每掘进一段距离便停下“歇歇”，用预制好的混凝土管片拼装隧道，换言之，隧洞挖到哪里，隧道也随之建到哪里。

盾构主线隧道长约3.3公里，断面竖向分为上中下三层，车道上部空间布置排烟道，下部布置疏散通道、管廊，沿隧道纵向每80米左右设置一处连通疏散通道的楼梯间。与用钻爆法掘进的隧道不同，盾构隧道给人的最大感受就是整洁、干净，宛如一个标准化车间，全然不见尘土飞扬的场景。

现场工作人员告诉记者，“海天号”盾构机

始发即入海，需长距离穿越复杂多变、软硬不均及断裂带地层。同时，该段隧道最大埋深96米，水土压力巨大，相当于拳头大小面积上要承受接近100公斤的重量。“为了应对复杂地质条件、高压水、长距离硬岩掘进等难点，‘海天号’盾构机创新配备了伸缩式主驱动、伸缩式开挖仓监视系统等，采用了‘短螺旋输送机+碎石箱+碎石机’的设计，将有效减少因前仓渣石堆积造成的滞排风险。”

在盾构机的操作室内，“海天号”盾构机机长翟志浩正在操作台前关注着工程的进展，狭小的空间里装配了多个屏幕和按钮。

“我面前的这两个屏幕分别是主机操作系统和泥水操作系统。主机操作系统就像汽车的方向盘和导航系统，用来控制盾构机前进工作的方向；泥水操作系统则用来处理盾构过程中产生的渣土，将它们运回地面进行后续处理、循环利用。”翟志浩告诉记者，盾构隧道的机械化水平很高，一个班次只需要二三十人即可，实现了人员简配。

3 海底一百米覆盖5G信号和北斗系统，“智慧大脑”为项目建设保驾护航

“洞内人数544人，其中管理人员94人，劳务人员450人；南线隧道开挖4246米，北线隧道开挖4259米，服务隧道开挖3017米……”

走进胶州湾第二隧道工程安全生产调度指挥中心，最显眼的是一块电子显示屏，它承载着青岛国信二隧公司研发的大型基础设施数字建造平台。通过这个“智慧大脑”，坐在电子大屏前的工作人员可以精准监控项目进展情况。

“该平台全面上线后，我们先前线下的工作流程全部转换成了线上信息流。一线管理人员通过手机APP实时报验的数据，包括现场质检资料、计量计价、地质预报等信息，都能同步链接到每个BIM（一种应用于建筑工程设计、建造和管理的数字化工具）模型构件上，同步生成一套完整的孪生数字档案。”李翔介绍，将来项目竣工后，这套数字档案将替代传统的纸质档案，实现原生电子档案单套制移交。

除了为管理提供帮助，数字化也融入到每一位隧道工人的日常工作中，为他们的安全保驾护航。比如，工人进入隧道工作时，除了在洞口闸机刷脸，借助安全帽上的定位标签，平台上也会实时显示其所在位置、行动轨迹和进出隧道时间。隧道内声音嘈杂，工人安全帽和洞内车辆上都安装了有定位和报警作用的小喇叭，一旦车辆和人员超过安全距离，喇叭就会自动报警，保证人车安全。

在二隧项目的隧道里，即便是海平面以下115米的施工一线，5G融合通信网络和北斗定位系统也能保障数字化系统稳定运行。系统串联起手机报验协同APP、5G巡检单兵设备、AI高清摄像机、空气检测传感器、人车定位芯片等一系列物联网设备，通过平台就能随时了解一线掌子面的作业情况，随时做好对突发情况的指挥准备。

在隧道建设中，管片品质直接关系到隧道的成型质量和工程寿命，智能化也是二隧项目管片生产的鲜明特征。

项目设立了数字化管片流水线生产线，通过在智慧管控平台、智能生产线升级、控制集成等方面实现突破，全面提升管片生产的自动化、智能化和信息化水平，进一步减少各工艺环节的人工参与，目前已实现了运载机器人、焊接机器人、清理机器人、喷涂机器人和扫描机器人等单项独立作业和系统综合协作，满足预制管片蒸养过程中温度、湿度的自动控制。

作为青岛市“七横九纵”高快速路网的重要组成部分，胶州湾第二隧道建成后，青岛将开启“双隧时代”，将有效缓解跨湾交通压力、方便市民出行，进一步促进东、西两岸的人流、物流，对青岛环胶州湾一体化发展、优化城市空间布局发挥重要作用。



压题图：胶州湾第二隧道项目示意图。

青岛国信集团供图

图①：海域钻爆段施工现场。

青岛国信集团供图

图②：5月20日，胶州湾第二隧道工程安全生产调度指挥中心内，工作人员正在大型基础设施数字建造平台前实时监控工程进度。

沈东方 摄

图③：“海天号”盾构机掘进过程中，同步进行管片和箱涵拼装。

沈东方 摄



扫一扫看视频

