# 『定海号』盾构机穿海记

## ——世界最长海底高铁隧道舟山侧完成盾构掘进背后的攻坚故事

□记者 方智斌 徐祝君

隧通甬舟，定海已至。

昨天上午，位于海面下最大埋深约80米的甬舟铁路金塘海底隧道盾构施工现场，喜庆的氛围里透着一丝紧张——

“只差1毫米！‘定海号’盾构机已抵达设计对接点！”工程测量队长熊想紧盯全站仪，报出盾构机掌子面所在位置。

同一时间，“定海号”盾构机操作手党金磊，先后按下推进停止键和刀盘停止键。“定海号”盾构机刀盘缓缓停止转动、锁定。

910个日夜，6720米！这是“定海号”留下的行程轨迹。

全球长度最长、直径最大、地质最复杂、施工难度最大！这是金塘海底隧道在目前铁路建筑史上标记的“四最”。

攻克超高水压、超长距离、超高强度、超复杂地层的世界级技术难题！这是“定海号”在海底隧道建设中创造的奇迹。

“金塘海底隧道是我国第一条高铁海底隧道。”中国工程院院士钱七虎多次到现场调研表示，该工程将对其他海底隧道具有启发意义和参考价值。

不负“东海龙王”之名，“定海号”穿海之旅，穿出了一条全新的“海底隧道”。

### 海底难破

**既能『咬钢墙』也能『切豆腐』**

昨天上午，随着“定海号”盾构机被锁定，这位“东海龙王”露出了真容——一把把磨损的刀具、一块块嵌入的渣样……诉说着这段穿海之旅的艰辛。

“浑身是伤！是铁与石碰撞的见证！”“定海号”盾构机操作手孙文博，指着被磨掉了两三厘米深的滚刀刃口，讲述着“定海号”一路穿越的“拼咬”历程——

展开金塘海底隧道的横截面图，深浅不同颜色显示着地质的复杂性，9处断层、6处节理密集带、1处构造影响带，还有近200兆帕高强度弱风化凝灰岩。

“打个比方，就是既有钢墙也有豆腐，我们难的是，如何配置好一口‘好牙’。”孙文博笑称，光面滚刀对付全断面硬岩，球齿滚刀对付破碎带硬岩，撕裂刀对付含软土层……配置合理，才能既“咬钢墙”也能“切豆腐”。

项目总工程师匡新雨还记得一看到地质图时的“头疼”：工程上通常认为，岩石强度超过200兆帕，隧道掘进机不适合直接开挖。

“海底的全断面火山石，硬度接近钢材，怎么办？”匡新雨坦言，经过反复试验，终于找到了高强度合金滚刀，“但一试，发现每天一点点‘啃碎’，一天只能掘进4米至6米。”

而在舟山侧，这样的“火山石墙”约3000米！

遇“硬”，慢慢“啃”；遇“软”，则“粘牙”。一旁的孙文博则对黏土层记忆犹新：整个刀盘都会被黏土裹住，每前进10厘米就要洗一次舱。

910个日夜，“定海号”创下了日均掘进16米的纪录。

### 海底换刀

**『中国方案』改写施工极限**

“定海号”完成使命，摸着其磨损的“牙齿”，匡新雨又自豪地讲起“换牙”的故事——

“开始加压！”时间回到今年5月9日，第一次带压换刀在海平面下69米处实施。

在世界首套盾构超高压“三元混合气”带压作业生命支持系统支持下，两组换刀人员交替上阵，每次一小时，如履平地，一次次把破损刀具卸下、新刀具安上。

超高压换刀是盾构施工领域公认的世界级难题。

“传统压缩空气进舱作业的安全压力上限为5.0bar，而金塘海底隧道最大埋深达80米，最高水土压力达8.5bar。”匡新雨坦言，这如一吨的重物压在一个成年男子手掌上，同时还存在氧中毒、氮麻醉等风险，如何破难，一度深受困扰。

联合攻关，借鉴深海潜水技术原理，通过科学配比氦氧氧，中铁十一局携手国内知名院所，在世界首创氦氧“三元混合气”盾构带压作业装备，将安全作业深度稳定提升至水下100米，打破了国外技术垄断。

500余次舱带压进舱作业，1500人次安全进出舱，累计检查、更换刀具300余把！依托这套世界首创的装备，“定海号”创下了盾构工程领域作业深度最深、压力最高、超高压换刀频次最多、连续作业周期最长等多项世界纪录。

“这项新技术应用，将为全球深海高压隧道建设提供一套可复制、可推广的‘中国方案’。”上海国铁工程建管公司副总工程师兼舟山指挥部指挥长李冰认为，其将推动我国超高压盾构施工技术跻身世界先进行列。

### 中接海对

**毫米级差静待『海底穿针』**

按下“停止键”，尽管已有9年盾构机操作经验，但操作手党金磊仍是心潮澎湃。

最大开挖直径14.57米、长约135米的庞然大物，约4350吨的总重量，是普通盾构机的8倍，要在海底实现精准对接，于操作手而言，亦是一道世界级难题。

讲起“解题”的过程，党金磊坦言，每天都在做一台精密手术——

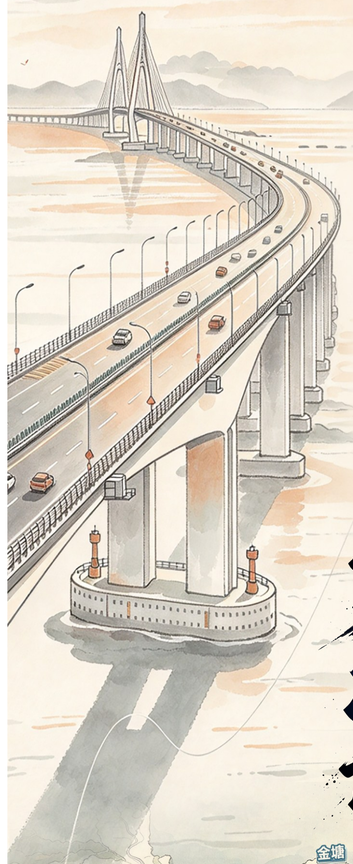
隧道要向左转，右侧油缸就得多推一点；抬头爬坡，底部油缸就得加大出力……每一组油缸的行程差，必须以“毫米”为单位校准。

“幸好，我们有位好助手！”党金磊口中的“助手”，就是“洞外北斗基准+洞内多手段复核”精密测控体系。

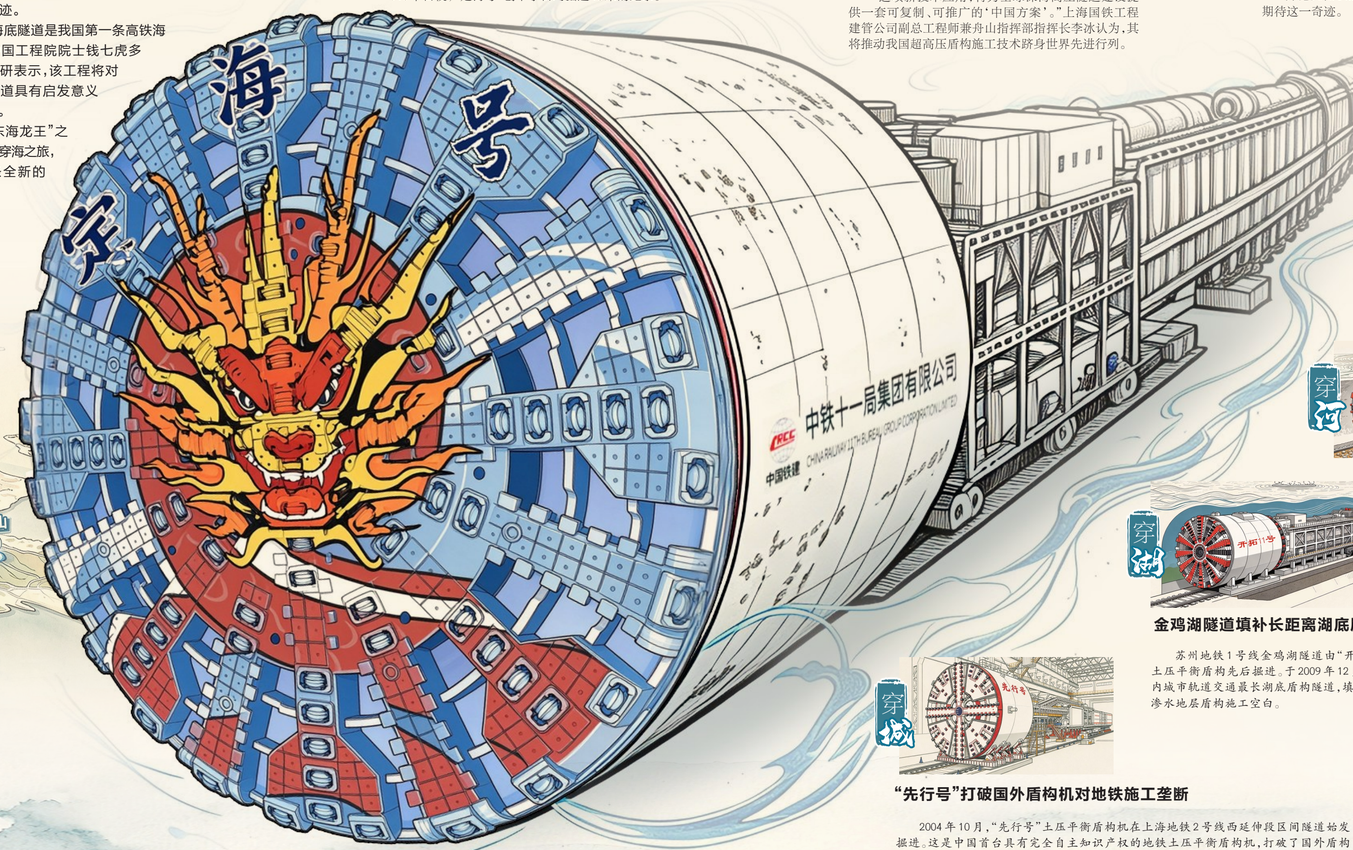
依托BIM全流程建模计算技术，该测控体系不仅可以操控“定海号”按照设计路线精准掘进，而且可以提前探知隧道前方的地质状况，确保盾构机以最佳状态稳定前行，并为两侧盾构机按统一坐标体系精准对接提供支撑。

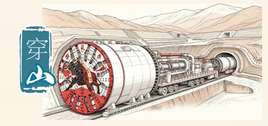
大海深处，“定海号”已在对接点静静等待“甬舟号”。明年3月，两个巨无霸将携手上演“海底穿针”。

开挖直径14.57米，误差控制在20毫米内！我们期待这一奇迹。






**“拓荒牛”首次通过斜井进入山体洞室组装始发**

2025年10月24日，国产直径14.31米的“拓荒牛”泥水平衡盾构机下线，参与深山高铁龙岗隧道掘进。该盾构机通过斜井进入山体洞室组装始发，在国内超大直径盾构施工中属首例。



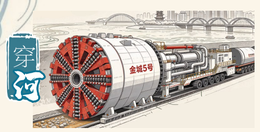

**首条采用盾构法修建的跨海地铁隧道**

2019年3月，厦门地铁2号线过海隧道双线贯通。“成功号”复合式泥水平衡盾构机在海底段持续穿越孤石群、基岩突起、断裂带，成为全国首条采用盾构法修建的跨海地铁隧道。




**国内首条下穿松花江主江的盾构隧道**

哈尔滨地铁2号线一期穿越松花江主航道段水下隧道于2018年12月25日双线贯通。“松江1号”“松江2号”气垫式泥水平衡盾构机完成“穿江”掘进，成为国内首条成功下穿松花江主江的盾构隧道。




**国产泥水盾构首次在黄河复杂地层下穿**

“金城5号”是我国自主研发的泥水盾构。2014年11月1日，“金城5号”自兰州地铁1号线迎门滩—马滩穿黄隧道迎门滩站始发，首次在黄河复杂地层中完成下穿，是国内首条成功下穿黄河的城市地铁隧道。




**金鸡湖隧道填补长距离湖底盾构掘进空白**

苏州地铁1号线金鸡湖隧道由“开拓11号”“开拓12号”两台土压平衡盾构先后掘进。于2009年12月完成双线贯通，是当时国内城市轨道交通最长湖底盾构隧道，填补了长距离湖底浅覆土、高渗水地层盾构施工空白。




**“先行号”打破国外盾构机对地铁施工垄断**

2004年10月，“先行号”土压平衡盾构机在上海地铁2号线西延伸段区间隧道始发掘进。这是中国首台具有完全自主知识产权的地铁土压平衡盾构机，打破了国外盾构机对地铁施工的垄断。

### 纵深

**覆盖“江河湖海城”五类场景**

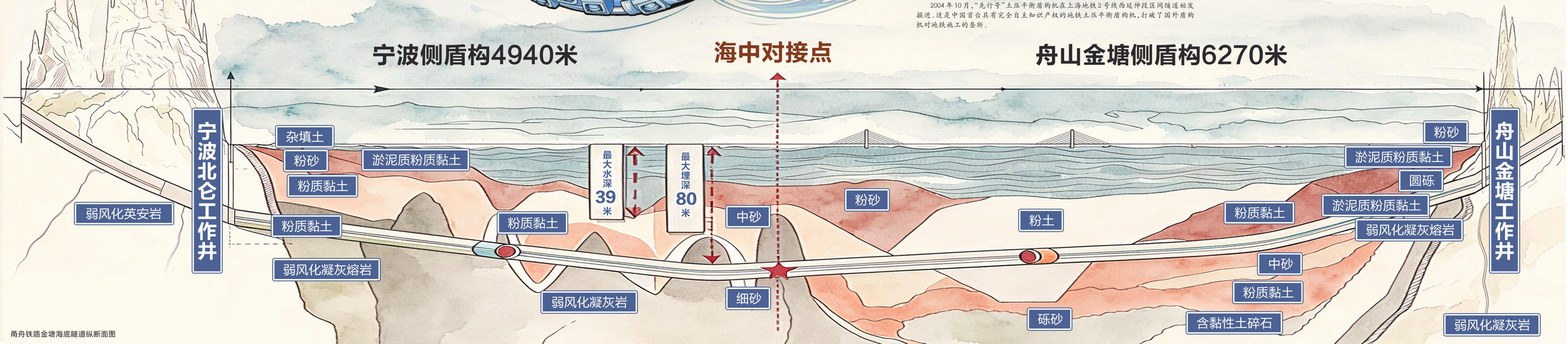
## 国产盾构机的“掘进版图”

盾驰山海，构启通途。

“定海号”盾构机昨日率先抵达目前世界最长海底高铁隧道对接点，甬舟铁路金塘海底隧道舟山侧盾构掘进完成，为国产盾构机在超深水、复杂地层、海底高铁等场景的施工提供了世界级工程样本。

盾构机被称为“工程机械之王”。从受制于人到世界领先，国产盾构机的发展史就是一部“争气机”发展史。

曾经，国外盾构机进入中国工地时，遇到保养维修，中方人员往往不得在场。2004年，我国造出第一台拥有自主知识产权的地铁盾构机。如今，国产盾构机覆盖“江河湖海城”五类场景，已远销30多个国家，占据全球70%~80%的市场份额。




甬舟铁路金塘海底隧道纵断面图