

在位于河南郑州的中国中铁工程装备集团（简称中铁装备）盾构总装车间里，直径9.16米、相当于3层楼高、上百米长的盾构机已经进入调试阶段，将于5月迎来意大利客户验收。

研发团队结合客户需求，创造性地为设备搭载了连续掘进技术和“绿色节能TBM”技术，通过对盾构掘进过程中各系统的自动智能管理，实现与掘进地层的自适应调节匹配，自主达到掘进效率和能源消耗的最佳匹配，实现绿色节能目的。意大利客户赞叹：“这是世界第一台绿色盾构机！”

中国在隧道掘进机领域虽然起步晚，但是中国科技工作者凭着敢为人先、攻坚克难、一往无前的“盾构精神”，通过约20年接续奋斗，一步一个脚印，完成从完全依赖进口到引进消化吸收，再到自主创新的巨大转变；逐步实现了从跟跑到并跑，再到领跑的伟大跨越。



国产首台高原高寒大直径硬岩掘进机“雪域先锋号”。

# 创新盾构科技 建设交通强国

贺开伟

## 初心不改 逐梦启航

我的家乡是美丽的重庆璧山，那里的地貌总轮廓是“两山夹一谷”，即两个背斜山中间夹一个向斜谷。当地人长期只能通过蜿蜒曲折的山路进出，对外交通极为不便。开辟大道通途，让偏僻的家乡更好与外界交往，改变乡亲们的命运，就成为我儿时的梦想。

经过十年寒窗苦读，我顺利考上了大学，终于走出了大山，接触到广阔的外部世界。在大学期间，我读的专业是机械设计及自动化。这是一门应用学科，以有关的自然科学和技术科学为理论基础，结合生产实践中的技术经验，研究和解决在开发、设计、制造、安装、运用和修理各种机械中的全部理论和实际问题，其中就包括道路交通机械领域。

2007年，我大学毕业，在选择职业时，儿时为山区修路的梦想依然激励着我投身交通建设领域，运用自己所学的专业知识，为打通大山，发展山区交通事业作出贡献。

打通大山最有效的利器当然是盾构机，而中铁装备当时正致力于国产盾构机研发。于是，我就选择加入中铁装备，心中埋下了打造中国国产盾构机梦想的种子。

## 首战告捷 初露锋芒

盾构机学名叫全断面隧道掘进机，按照应用地质条件不同，分为硬岩掘进机、土压平衡盾构机、泥水平衡盾构机。国内习惯把后两种简称为“盾构机”。该类设备被称为“工程机械之王”，集机械、电气、液压、传感、信息、力学、导向研究等技术于一体。

地下隧道是很多重大工程施工的难点，传统开凿掘进依靠打风钻、放炮、刨石渣等方法，安全性和效率都很低下。为了加快基础设施建设，20世纪90年代，我国斥巨资从德国进口了两台硬岩掘进机，用于西康铁路秦岭隧道建设。但这些进口机器不仅售价高昂，而且后续服务费用更高。

当时，我国基建大开发方兴未艾，对盾构机的需求量很大。中国中铁建设者们清醒地意识到，唯有掌握核心技术，才不会受制于人，中国必须有自主生产的盾构机。2001年，中国中铁盾构机研发项目组成立。2008年4月，中国中铁自主研发的国内首台具有自主知识产权复合式盾构机“中铁1号”下线。

中国人自己研制的盾构机成功了！这极大地振奋了中国中铁建设者们，同时也增强了盾构机研发团队的责任感和紧迫感。国外隧道掘进机技术已经发展了100多年，拥有雄厚创新实力，占有绝对优势，完全掌握话语权。中国在此领域还只是初出茅庐的少年，虽然前程远大，但是困难重重，步履维艰。

2009年，中铁装备承担第一台敞开式“隧道掘进机TBM (Tunnel Boring Machine)”改造项目任务，我担任主要设计师之一。第一台意味着资料短缺，无经验可



作者贺开伟肖像画。

张武昌绘

循。由于缺少经验，我们多次到现场测量、分析，以掌握第一手资料。通过一遍遍反复设计论证、改进，我们硬是凭着“5+2、白+黑”的拼劲，在上千次的改造方案中找到了最优解决途径，不仅完成了改造项目，而且在应用中创造了月掘进1868米的世界纪录。

## 牢记嘱托 挺进前沿

每一台盾构机都是针对地质条件和项目需求“量身定制”的。盾构机掘进面临非常复杂的环境，有时候是在地铁下面施工，有时候从100多米的深海底部穿越，有时候是在地震带带带掘进……对设备的技术先进性、地质适应性和可靠性有很高的要求。我们幅员辽阔，地质复杂，如何设计研发门类齐全的盾构机，适应不同施工条件，是我们盾构人孜孜以求的目标。

2014年5月10日，习近平总书记在在中铁装备集团考察时指出，“一个地方、一个企业，要突破发展瓶颈、解决深层次矛盾和问题，根本出路在于创新，关键要靠科技力量”“推动中国制造向中国创造转变、中国速度向中国质量转变、中国产品向中国品牌转变”。

习近平总书记的讲话指引我们向新的目标挺进，激励我们向大直径、超大直径盾构机的研制发起新的冲锋。彼时，中铁装备用于修建地铁的盾构机刚实现量产，技术能力和产品性能与世界先进水平还有很大差距。

研制超大直径盾构机是满足国家建设需求的必然要求，然而超大直径不是简单地把盾构机尺寸做得大一点就可以了。盾构机的直径每扩大一点，整个技术难度都会上升一个台阶，研制超大直径盾构机就意味着我们要连续实现一系列高难度技术突破，形成了高技术创新集群。

国家需求是紧急命令，科技创新是光荣使命。作为时任中铁装备设计研究院泥水研究所所长，我正承担泥水平衡盾构机这一新领域的技术攻关重任，与同事们一起全力以赴迎接一个个技术挑战，攻克一个个技术难关，持续提高中国盾构机研制水平。

山西太原铁路枢纽新建西南环线中的东晋隧道，盾构区间全长4850米，区间地质条件复杂，掘进路线长，大粒径高含量卵石层长达1800米。我们要为其研制一台直径超过12米的盾构机。

设计研发紧锣密鼓地开展，在设计过半时，我们突然收到消息，最新地层探测显示，地层中存在大量粒径620毫米左右的卵石，而此前报告显示这些卵石粒径只有300毫米。这就意味着我们前期设计的图纸几乎全部作废，必须推翻重新设计；同时，由于世界上还没有12米大直径盾构机处理600毫米大卵石的先例，我们新的设计只能完全靠自己摸索。

靠自己摸索重新设计对我们整个团队而言，无疑是一次创新精神和毅力的大考。当时，我们整个研发团队32人全部主动放弃周末，加班加点进行技术攻关、抢赶工期，这种高强度工作状态持续了两个多月。在辗转考察了15个工地现场，召开多次专项研讨会之后，我们最终敲定思路，重新设计开挖系统和排渣系统，打造出直径为12.14米的当时国内最大直径土压平衡盾构机，成功解决了各项施工难题。该机型在整机方面实现了四大创新，填补了我国在大直径土压平衡盾构领域研发的空白，标志着我国全面掌握了超大直径土压平衡盾构设计与制造中的一系列关键技术。

2015年，“世界级挑战性工程”汕头海湾隧道启动建设。项目需要两台直径15米的泥水平衡盾构机。当时我们国内盾构机最大直径12米。在12米以上，还没有国产的身影。

那段时间，我和同事们认真对照项目标准和要求深挖细研，反复向院士等专家咨询并开展论证，天天和团队成员在办公类聚在一起编制、修改、再编制、再修改技术方案。大家常常干到深夜，有时甚至通宵达旦。

2017年10月26日，我国首台具有自主知识产权的超大直径泥水平衡盾构机“中铁306号”下线，打破国外对大直径盾构机关键技术的垄断。设备搭载的超高压密封系统、集成设计、常压换刀技术、主驱动伸缩摆动等关键技术，在国内都是首创。掘进过程中，“中铁306号”相继攻克了孤石群、高黏度软土、浅覆土高水压、海中高强度基岩凸起层掘进及淤泥地层带压进仓等世界级施工难题，比同线的国外盾构机提前76天完成任务。

2018年，我们研制的直径15.8米的泥水平衡盾构机“春风号”下线，让“中国造”盾构站稳了国际化、高端化盾构市场，标志着我国超大直径泥水平衡盾构机研制技术达到世界领先水平。

## 自主创新 硕果累累

关键核心技术是要不来、买不来、讨不来的，掌握关键核心技术，必须靠自力更生，靠自主创新。中国盾构机的创新历程深刻地诠释了这一点。

2012年，郑州市政府准备在该市中州大道与红砖路交叉口修建一条地下人行隧道，如果按照传统的施工方法，势必会对地面交通和周边环境造成影响。如何打破城市道路频频开膛破肚的“魔咒”？我们创造性地提出了“矩形盾构”施工方法。

矩形盾构需要挑战“大断面、浅覆土、长距离”等世界性技术难题，我们接到任务时，很想与国外专家开展技术合作，但是遭到他们的婉拒，并被告知，这是“不可能”的工程。我们只能顶住压力，独立自主开展技术攻关。

2013年12月，两台宽10.12米、高7.27米的超大断面矩形盾构机下线，是当时世界上最大断面矩形盾构。设备顺利贯通，为地

下工程施工开辟了一种新型的施工方法，在国际隧道行业引起了广泛关注。

后来，矩形盾构技术不断迭代升级，成功应用于新加坡及我国天津、四川成都、浙江嘉兴等地的项目工程，为城市下穿隧道、地铁出入口通道、地下停车场、综合管廊等地下工程建设提供新方案。

前不久，由隧道与地下工程专家、中国工程院院士陈湘生牵头，我们联合深圳地铁集团、深圳大学、中国水电十一局等单位，研制的世界最大断面组合式矩形盾构顶管机“大禹掘进号”（“中铁1179号”），在深圳地铁12号线二期沙三站项目顺利顶推始发，开创了世界上首次采用超大断面机械暗挖车站施工的先河。

多年来，我们坚持走自主创新之路，在隧道掘进机领域不仅提出新的概念，而且把它们变成了现实，取得丰硕成果。2016年，世界首创的马蹄形盾构机下线，施工项目获得了国际隧道协会技术创新项目奖。2018年，首创了盾构法联络通道施工装备，相关专利获得国家专利金奖。2019年，研制的世界首台超小转弯半径硬岩掘进机“文登号”，设备成功应用于山东文登抽水蓄能电站工程，在我国首次将TBM工法引入抽水蓄能电站工程建设领域。2021年，研制了国产首台高原高寒大直径硬岩掘进机“雪域先锋号”，也是世界首台双结构硬岩掘进机，为高原高寒铁路高效建设提供极大助力；同年，世界首台全断面硬岩竖井掘进机，成功贯通浙江宁海抽水蓄能电站排风竖井项目，首次实现动力下沉和井下无人掘进施工，目前处于世界领先水平。2022年，解决了大倾角设备下溜、出渣渣渣、材料运输、流体液压容器自适应等技术难题，研制了国产首台大倾角斜井硬岩掘进机“永宁号”。目前，“永宁号”的性能已经在洛宁抽水蓄能电站得到了验证。

凭着过硬的科技创新实力和关键核心技术，我们已生产1400多台盾构机，产销量连续6年世界第一，出口到了法国、澳大利亚、意大利、新加坡、韩国等30多个国家和地区。此外，我们还开展了激光、水射流破岩技术和智能掘进技术研究，形成22项国际领先技术。

## 创新盾构 永无止境

地下空间奥秘无穷，盾构机科技创新永无止境。展望未来，中国隧道掘进机应用范围将向更深更大更复杂的工程施工领域迈进，面临的施工情况越来越复杂，遇到的挑战也越来越大。比如琼州海峡隧道，在约150米深的海底建设隧道且需要长距离安全掘进，在超高压、复杂地质环境下，如何确保关键部件、核心部件的质量稳定性，是我们面临的一大难题。其中，盾构机的密封结构首当其冲，目前世界上主驱动密封最大承压能力是1500千帕，而琼州海峡隧道的水土压力达到了1700千帕，超过了现有密封结构的极限。这需要我们携手相关单位，通过科学实验、开展攻关，提升关键部件的质量。

我们将继续在核心部件、新材料、创新成果转化等领域加大努力，特别是积极推进智能掘进和绿色掘进科技创新，抢占世界掘进机科技制高点，打造更多凝聚中国创造、体现中国质量、代表中国品牌的大国重器，为世界隧道建设贡献更多中国方案和中国智慧！

（作者贺开伟为中铁工程装备集团有限公司掘进机研究院总工程师、技术孵化中心主任，获中国机械工业科学技术奖特等奖、中国铁路工程总公司科学技术奖特等奖）

## 科技名家笔谈

中国科协科学技术传播中心、科学出版社与本报合作推出

## 世界气象组织：今年出现厄尔尼诺的可能性正在增加

据新华社日内瓦电（记者王其冰）世界气象组织近日发布最新评估报告说，今年晚些时候出现厄尔尼诺现象的可能性正在增加。在世界上许多地区，这将对天气和气候模式产生与长期持续的拉尼娜现象相反的影响，并可能导致全球气温升高。

评估报告说，异常顽固的拉尼娜现象持续三年后现已结束，热带太平洋目前处于厄尔尼诺/南方涛动现象中性状态，既不是厄尔尼诺现象也不是拉尼娜现象。

这份报告显示，今年5月至7月，从“厄尔尼诺循环(ENSO)”中性状态过渡到厄尔尼诺现象的可能性为60%。这一可能性在6月至8月将增加到约70%，7月至9月将增加到约80%。

世界气象组织秘书长彼得里·塔拉斯表示，厄尔尼诺现象的出现很可能导致全球变暖的新高峰，并增加打破气温记录的可能性。

“世界应该为厄尔尼诺现象的发展做好准备，厄尔尼诺现象通常与世界不同地区的高温、干旱或降雨增加有关。它可能会缓解非洲之角的干旱及其他拉尼娜现象带来的影响，但也可能引发更多极端天气和气候事件。”塔拉斯说。

世界气象组织每年发布的《全球气候状况》报告显示，2016年是有记录以来最热的一年，这是因为强烈的厄尔尼诺现象和人类温室气体排放造成了双重影响。厄尔尼诺现象对全球气温的影响通常在它出现后一年内显现出来，因此本次厄尔尼诺现象对气温的影响可能在2024年最明显。

## 中国产碳化硅 受德半导体企业青睐

据新华社柏林电（记者杜哲宇、董瑞丰）总部位于德国慕尼黑的国际知名半导体企业英飞凌科技公司近日发布公报说，已与中国碳化硅材料供应商北京天科合达半导体股份有限公司签订一份长期供货协议，以确保获得更多有竞争力的碳化硅来源，维护整体供应链稳定。

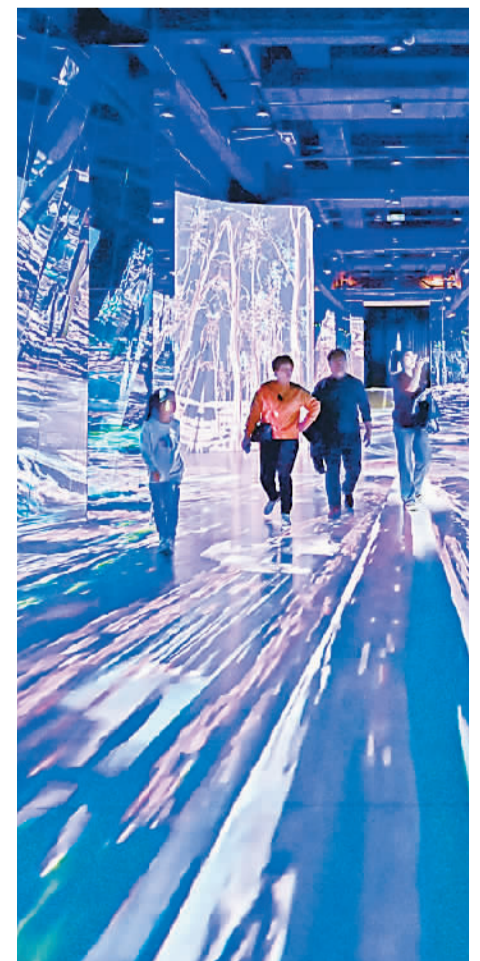
碳化硅是一种性能优异的半导体材料。相比同类硅基器件，碳化硅器件具有耐高温、耐高压、高频特性好、体积小和重量轻等优点，在电动汽车、光伏、5G等产业领域具有重要的应用价值。

公报说，天科合达将为英飞凌提供用于生产碳化硅半导体的6英寸碳化硅晶体，这类半导体在长期需求预测中占可观的份额。英飞凌目前正加倍投资碳化硅技术和产品组合，在此背景下，公司正在实施一项多供应商和多国采购战略，以增强供应链弹性，使广泛的客户群受益。

中国科学院物理研究所研究员、天科合达首席科学家陈小龙介绍，研发团队通过传统“气相法”和新式“液相法”，可以制造出高质量的大块碳化硅晶体。经过不懈努力，制造出的碳化硅晶体直径已从小于10毫米逐步增大到2英寸、4英寸、6英寸和8英寸（1英寸约合25.4毫米），有效降低了单位成本。

据悉，这一中国研发团队历时近20年，从基础研究、应用研究到成果转化，形成了具有自主知识产权的技术路线。

## “时空隧道”光影魅力



近日，在山东省青州市，很多游客到该市古城景区赏玩“时空隧道”项目，体验数字科技营造的光影魅力。王继林摄



贺开伟(中)和设计师在车间研讨解决技术问题。