

# 自零起步,从追赶到并跑,再到部分领域领跑 国产盾构机如何实现跨越

本报记者 李心萍

## 经济新方位

出发!4月29日,我国自主研发的“领航号”盾构机,开启沪渝蓉高铁崇太长江隧道掘进之旅。

这条隧道正线长14.25千米,其中11.325千米需由盾构机在长江底独头掘进,是全球独头掘进距离最长的过江隧道;开挖直径达15.4米,相当于5层楼高;最深处距水面89米,最大水土压1.02兆帕,是长江流域开挖最深、水土压最大的隧道……施工难度如此之大,“领航号”身负重任。

谁能想象?20多年前,我们还没有自己的盾构机;如今,国产盾构机已占全球市场近七成。

自零起步,从追赶到并跑,再到部分领域领跑,国产盾构机如何实现跨越?近日,记者走入盾构机生产企业,探寻行业跃升的密码。

## 从无到有,造自己的盾构机 “有人说我们是异想天开”

盾构机,全称为全断面隧道掘进机,集机、电、信息、人工智能等技术于一身,被誉为“工程机械之王”。

秦岭隧道是我国第一个使用盾构工法挖掘的铁路隧道。一山横亘,山南岭北景物迥异。隧道全长18.46千米,最大埋深1600米,两端落差155米。

评审专家判断,采用传统钻爆法,可能要10多年才能打通隧道,而使用盾构法,只需两年。

咬牙花费7亿多元,从国外采购两台机器。“这是一笔巨大的投资,也是我们学习世界先进技术的绝佳机会。”中国工程院院士孙永福说。

机器开动,铿锵突进。无爆破、无振动、无粉尘快速掘进,施工效率提高3至5倍。

然而,机器维修时长按分钟计算,费用高昂;保养时中方不能参与,进度无法控制……关键技术受制于人,就没有话语权。2000年初,中国中铁决定:造中国人自己的盾构机。

“有人说我们是异想天开。”中铁高新工业总工程师王杜娟回忆,盾构机零部件超2万个,一个控制系统就有2000多个控制点。“当时,不少同事刚走出校门,很多人都没见过盾构机。”

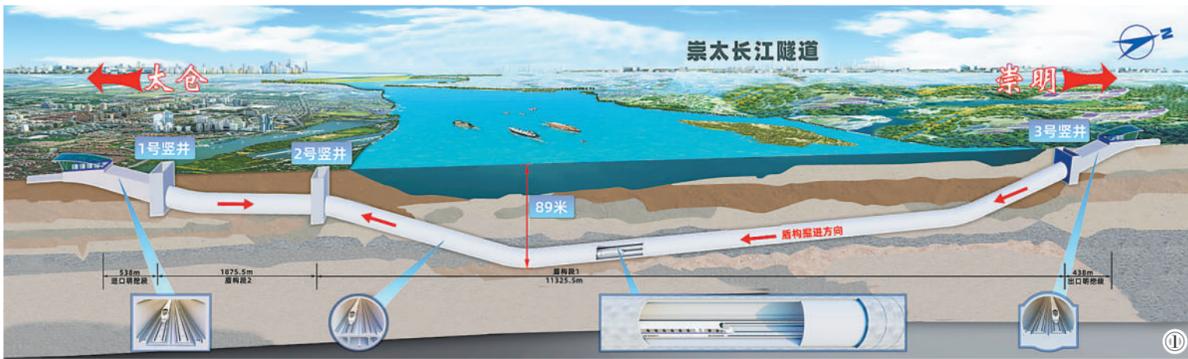
到处找项目,去隧道挖掘现场观摩学习盾构机原理,王杜娟和同事们一根管子排查,一个个元器件核对,比较参数、核实数据、查阅资料。

刀具是盾构机的“铁齿铜牙”,既要高硬度、耐腐蚀,又要柔韧性好、耐疲劳。中铁装备和清华大学联合攻关刀具材料,对十几种添加元素进行了上千次试验,最终解决难题。

还有众多难关要攻克:买不到的陶瓷球阀、销售和维修都价格高昂的控制系统……历时8年,克服重重困难,投入大量人才财力,我国首台具有自主知识产权的“中国中铁1号”复合式土压平衡盾构机终于下线。

样机下线,才算迈出了半步。经受实践检验,才算真正成功。

2009年2月6日,“中国中铁1号”在天津开



掘。“盾构机要下穿‘瓷房子’等文保单位,容不得半点闪失。”王杜娟说。4个月后,天津地铁3号线营和右线区间顺利贯通,地面沉降控制在3毫米以内,专家验收全部通过。

自此,行业开始发力,以中铁装备、铁建重工、中交天河等为代表的一批具有竞争力的盾构机制造企业,陆续成立、成长壮大。时至今日,我国盾构机保有量约5000台,世界第一。我国90%以上的地铁隧道采用盾构法施工。

## 从有到优,拓展海外市场 “好盾构机自己会说话”

根据不同施工环境,盾构机分为土压盾构、泥水盾构、复合盾构和硬岩掘进机(TBM)。

“当时业内流传一句话,不掌握TBM技术,不能算成熟、有竞争力的隧道掘进机厂商。”中国中铁装备集团技术中心副主任、掘进机研究院院长贺飞说。

通常,城市轨道交通、管网建设时,盾构机施工埋深在30米左右。但TBM埋深可达几百米甚至上千米。大埋深、长距离、岩石强度高、施工条件,对设备的可靠性、适应性、耐久性和安全性提出更高要求。

带着“从有到优”的追求,研发人员绘制3万多张图纸,日夜奋战180天。2015年1月26日,“永吉号”TBM下线。在吉林松岭供水工程建设中,“永吉号”以超强的地质适应性和稳定性,成功穿越7.9千米浅埋灰岩岩溶区、断层破碎带及浅埋富水沟谷带,提前9个月完成任务。

2018年,汕头海湾隧道正式掘进。这是我国第一条地处八度地震带、穿越海底复杂地质的超大直径盾构隧道。

西线,由国产盾构机负责施工,这是我国自主设计制造的第一台15米级超大直径泥水平

衡盾构机;东线,由进口盾构机负责施工。先后始发、同向掘进。最终,进口盾构机历时736天完成隧道掘进,国产盾构机只用时660天。同样的质量,更短的时间。

“好盾构机自己会说话。”中国中铁装备集团总经理张志国说。

2012年,国产盾构机迎来出口第一单:中标马来西亚吉隆坡地铁建设项目。施工中,“中国中铁50号”日均掘进8环,连续7天掘进环数超10环,创下马来西亚地铁盾构施工纪录。

2015年,“张衡号”“詹天佑号”盾构机中标新加坡地铁项目;2016年,矩形顶管掘进机再次中标,开创了国内异形掘进机走向海外的先河。

2019年,“中国中铁699号”盾构机中标意大利北部铁路项目,我国高端隧道掘进装备首次应用于欧盟国家。同年,两国盾构机中标法国巴黎地铁建设项目。

“这说明国际高端市场对中国盾构机品牌综合实力的认可。”张志国说。

## 攻克难题,迈向智能化 “我们要坚持自主创新”

水平、斜向、竖向、拐弯掘进,刀盘直径从0.5米到23米,断面形状有单圆形、矩形、马蹄形、多圆形、U形……地质环境复杂多变,需要工程师不断磨砺技艺、创新产品。

——攻克短板,增强产业韧性。

一台盾构机有几层楼高,几百头大象重,由几个零部件组成。要想提升产业链供应链韧性,每个环节都需要协同发力。

“中国盾构机产业走的是整机带动零部件的路线。”张志国介绍,10年前,产业链存在短板,轴承、减速机需要进口。如今,正一一攻克。

最难突破的是主轴承。主轴承被誉为盾构机的“心脏”,直面超重载、大偏载、频变载等极端恶劣工况考验,需要满足高可靠、长寿命等关键性能要求,其材料、设计、制造与试验难度极大,处于大型高端精密轴承产业链的最顶端。

研发团队尝试了上百种材料和工艺,开展了上千组理论校验和设计优化,分析了上万组检测及试验数据,才确定了最终设计方案。

铁建重工联合国内顶尖特钢企业,深入研究材料元素匹配优化及夹杂物、碳化物控制技术,打破主轴承材料瓶颈。

2023年10月12日,直径达8.61米的盾构机主轴承在湖南长沙下线,这是全球直径最大、

单体最重、承载最高的整体式盾构机主轴承。

“这标志着国产超大直径主轴承研制能力跻身世界领先水平。实现了盾构机主轴承全面国产化,国产盾构机主轴承从小直径到超大直径型谱全覆盖。”中国铁建重工集团首席科学家刘飞香说。

——迈向智能化,自主掘进、远程操控。行业有句话,盾构施工就像盲人走路。由于无法100%了解周围地质情况,施工过程中安全风险较高。

如何用智能化手段,尽可能探明掘进前方的地质,减少对盾构机操作人员的经验依赖,一直是隧道工程领域的重大挑战,我国企业也作出尝试。

比如,“领航号”盾构机搭载了关键部件状态监测系统,可实时监测刀具、环流泥浆管等部件的磨损、温度信息,并提供损坏预警,从而有效提高盾构机施工效率。智能掘进、智能拼装、超前地质预报、盾尾密封安全预警……普通地质,“领航号”可自动调整参数、自主掘进;特殊情况,工作人员在地面即可操控。

“我们搭建掘进机大数据中心和云计算中心,有效解决智能控制问题。”中国中铁装备集团总工程师贾连辉相信,在不远的未来,无人值守、智能掘进将变成现实。

——开拓新场景,让盾构机“挖掘”更多可能。

除了传统的铁路公路交通、城市轨道交通、综合管廊工程等项目,我国企业正拓展盾构机应用领域,“挖掘”更多可能。

服务水务。4月1日,由铁建重工制造的沉井式竖井掘进机顺利完成首口竖井掘进,这是国产竖井掘进机在水务项目的首次亮相。

服务矿山。4月11日,“龙源号”矿用TBM始发,可攀爬6%坡度的斜坡,大幅提升矿山企业并巷掘进效率。

服务电站。4月19日,“紫薇号”TBM完成衢江抽水蓄能电站排水洞及排水廊道掘进任务。“紫薇号”最小转弯半径只有30米,实现了超小转弯半径TBM在抽蓄工程中的应用。

“我们要坚持自主创新,继续积极研发高端智能掘进装备。”中国中铁党委书记、董事长陈云表示,将联合产业链上下游企业和高校、科研院所,在原始创新、创新成果转化等方面持续努力。

图①:崇太长江隧道施工示意图。

图②:工程师正在巡检“领航号”。高留洋摄(人民视觉)

# 全球产能格局是市场竞争和国际分工的结果

钟才文

18世纪工业革命以来,随着生产力的不断发展和经济全球化的持续深化,各类生产要素在世界范围内加速流动,制造业产能不同国家和地区分布不断发生变迁,形成动态发展的全球产能格局。这是市场经济条件下经济规律决定的客观现象,需要科学理性的认识。

全球产能格局是经济全球化的结果。在开放的市场经济条件下,各国因比较优势不同,形成不同的国际产业分工,通过国际贸易互通有无,共同享有分工和专业化带来的收益,这就是经济全球化和自由贸易的内在逻辑。全球大市场中,产出和需求不是限定在某个国家或地区。每个国家的制造业都同时为国内市场和国际市场而生产,也通过国际市场满足自身多元化的需求。比如,美国半导体协会发布的报告显示,2022年总部在美国的芯片企业销售额达2750亿美元,占全球市场的48%;中国1805亿美元半导体市场中,美国公司的市场份额占53.4%。又如,日本丰田汽车2023财年实现全球销量1030.95万辆,其中877.96万辆在海外销售,海外销量占全球销量比重高达85%。这种产能超出一国国内市场需求的情况,并不是所谓“产能过剩”,而是经济全球化中根据比较优势进行国际分工和专业化的自然现象,是市场机制发挥作用的体现之一。

全球产能格局是价值规律作用的结果。在市场经济条件下,价值规律从根本上调节着商品的生产 and 交换,也决定着产能的分布格局。在市场竞争中,生产效率更高的产能可以更低的价格来获取更高的利润,从而淘汰生产效率低的产能。在这个过程中,高效产能与低效产能的阶段性并存并不是产能过剩,反而是价值规律发挥作用的体现。比如,随着技术进步和绿色发展理念深入人心,新能源汽车开始逐步替代燃油车。国际能源署发布的《2024年全球电动汽车展望》报告显示,2023年全球电动汽车销量接近1400万辆,占总销量的18%,预计到2030年,中国道路上行驶的汽车有1/3是电动汽车,美国和中国这一比例有望接近1/5。中国汽车流通协会汽车市场研究分会的数据显示,2024年4月上半月,中国新能源汽车零售渗透率为50.39%,首次超过燃油车。从全球新能源汽车发展态势看,全球新能源汽车供需缺口不断扩大,高效产能不是过剩而是不足。因此,什么产业存在产能过剩,哪些产能是过剩产能,应交给市场去判断,放在全球下来衡量。

“过剩”的名义排除竞争,不符合市场经济的基本精神和规则,不符合价值规律的要求,必定导致垄断、低效和停滞,不利于任何一个国家的长远发展。

全球产能格局是经济规律与科技创新作用的结果。产能是动态发展的制造业能力,随着产业组织和科学技术的发展而不断更新进步,是从新到旧、再从旧到新不断循环的过程,其中经济规律和科技创新起着决定性作用。创新活跃、科技进步快的地方,产能形态也就多、产能更新速度就更快,不同科技水平、科技路线的产能同台竞争、兼并重组、淘汰落后是这个过程中的必然现象。伴随新旧产能竞争更替,产能优势也在不同国家和地区之间交替。正如百年内来内燃机、底盘生产、电子化等技术创新推动汽车产业升级,中国新能源汽车崛起的“密码”是绿色低碳发展引领下,电池、电机等能源驱动系统的整体性创新。这一创新也带动全球新能源优质产能向中国集聚。2023年特斯拉全球交付总量中超过50%由上海超级工厂生产。博世、麦格纳、巴斯夫等国际厂商均加大在中国市场研发投入。中国新能源汽车行业整体性创新、整体性崛起既满足中国市场需求,也为弥补全球新能源汽车供需缺口、实现绿色发展作出贡献。德国汽车工业协会主席希尔德加德·穆勒认为,“中国电动汽车的发展以及中国市场的活力对全球汽车产业的发展是有益的”“对于实现全球气候目标而言,中国市场的成功经验至关重要”。要看到,代表先进生产力的优质产能在一国不断涌现集聚是市场活力的显现。中国作为全球制造业规模最大的国家和最大商品出口国,无数新兴产业和企业不断涌现,长江后浪推前浪,不断上演依靠科技创新推陈出新、奋勇争先的市场大戏,这是中国经济活力和创造力的反映,而不是什么过度投资和产能过剩的表现。

市场驱动的全球产能格局调整将在波折中不断向前。近年来,一些国家出于政治目的,在经济领域“脱钩断链”,实施“小院高墙”“友岸外包”“产能备份”等措施,造成大量重复建设和全球性产能过剩。这种逆全球化、排除竞争、违背市场经济价值规律的行为,推高了全球生产成本,降低了经济效率,损害的是全球消费者福祉和相关领域企业利益。只有自由贸易、充分竞争,才能形成全球产能格局的最优解。很多国际企业已经正确认识到,竞争激励、创新活跃的中国市场是一个“设备齐全”的健身房”。面对中国制造业的不断发展壮大,正确的、积极的态度应该是在开放公平的市场上与中国企业光明正大地竞争,并寻求合作机会,共同进步,而不是躲在贸易保护主义和民族主义的共同进步,射出“产能过剩”的冷箭。开放带来进步,封闭导致落后。这是中国从过去两个世纪历史中得出的重要经验,也将得到新世纪历史的进一步检验。

## 台湾创业夫妻刘天庭、黄惠君——

# 在深圳追梦、筑梦、圆梦

本报记者 吕绍刚

## 记录中国

窗外路灯亮起,店里的面包行将售罄,忙碌了一天,店主夫妻觉得空闲,与熟客围坐交谈,灯光洒落,细语流淌。

这里是“艾薇达欧包”烘焙坊,广东深圳福田区福强路上小有名气的面包店。店主刘天庭、黄惠君自台湾来深圳创业,已有8年多。

故事,从一罐酵母开始。“这是我们用深圳的空气、水和面粉培养的天然酵母。”小夫妻为之取名“深圳酵母”,每每取用,都希望给面包融入“爱的味道”。

就像酵母让面团膨大、为面包提味,深圳的活力氛围也催发了他们的创业梦想,带来广阔的天地、丰富的体验。

2015年,刘天庭23岁,在台湾一家饭店上班。偶然得到去深圳工作的机会,他收拾行囊,第一次来到大陆。他说:“深圳比我想象中还大,而且更加繁华。”不久后,黄惠君也从台湾飞来深圳,二人在此安家。

干了两三年烘焙培训,刘天庭结识了不少学生,也收到了来自各地学生的邀约:“老师,放假去我家看看。”对大陆的了解,在交流中逐渐加深。

刘天庭观察,当时深圳的面包消费量不小,但有特色、高品质的店面委实不多。合同期满,刘天庭和妻子想留下来,试试创业。

拿过国际烹饪大赛金牌,但从“做好面包”到“做好面包店”,刘天庭的创业之路并不轻



松。起初,运营经验不足,店铺4次开张、关店。最难的时候,小夫妻动过离开念头,黄惠君记得:“当时交完租金,存款只够买回台湾的机票了。”

幸而在这座年轻、包容的城市,同行者众多。

5次“搬家”,刘天庭、黄惠君遇见同样做餐饮培训的夫妻,同样在深圳打拼的台商,还遇到了同样年轻热情的顾客。在他们创业困难之时,这些同行者主动提供场地、赞助设备,甚至愿意出资挽留。

“得到许多照顾和扶持,一路走来,有了非



常强的归属感。”刘天庭说。

2022年,新店开张,客群逐渐稳定。小夫妻早上5点开工,一天要制作50多种、600多个面包;忙碌到午后,新鲜出炉的面包切片、打包,送到顾客手中……刘天庭专注产品研发,黄惠君负责市场推广,两人边开店边继续培训学员。因为经常光顾这里,不少人渐渐成为他们的朋友,结婚生子,孩子也爱上这里的味道。

撒粉、揉搓、切块,醒发箱里,面团发酵膨胀;塑形、改刀、铺盘,烘焙箱里,面包绽放“笑颜”。

在烘焙界,这家小小面包店也开始发挥“酵母”的作用。学员陆续在各地开店,把美味传递得更远。工作之余,小夫妻去各地旅游,发掘当地特产,研发新产品。新疆的核桃、福建的龙眼、四川的花椒……“我们希望把各地食材融入面包,让顾客吃到不同风味,也让地方特色发扬光大。”刘天庭说。

随着面包店生意逐渐稳定,刘天庭、黄惠君把家人接来大陆旅游。看到蒸蒸日上事业、活力满满的城市,家人给他们的生活现状打出了“满分”。刘天庭说:“我希望更多台湾青年能来大陆工作和生活,期待有更多‘两岸梦想家’同行。”

图①:刘天庭做完面包后,将面包上架。

图②:刘天庭、黄惠君在出售面包。

以上图片均为王星摄(人民视觉)