

深度观察·重大技术装备这样攻关⑤

探访天津港集团等自主研发的人工智能运输机器人 ART

载箱穿梭 畅行码头

本报记者 邱超奕

记者手记

勇于迈出第一步

“全球首个”，是在天津港采访人工智能运输机器人（ART）时听到最多的一个词。

全球首个“智慧零碳”码头，全球首个ART车队搭载着全球首个港口数字孪生技术底座，连接全球首个5G专网……天津港，何以拿下如此多“首个”？一位研发人员的感慨引人深思：“创新都是不易的，哪儿没顾虑、零风险？我们不过是认准方向、咬紧牙关，勇敢迈出了第一步。”

迈出第一步，当有坚定的信心。ART成功研发的背后，离不开产学研深度合作、多领域协同配合。面对各种技术难题，天津港联合配套企业和科研机构集思广益、聚力攻关，为创新提供了坚实支撑。经过多年发展进步，我国已进入创新型国家行列，拥有完整的产业体系、庞大的研发队伍和一大批具有国际竞争力的创新型领军企业。发挥新型举国体制优势，激发企业创新主体作用，用好各方面有利条件，我们完全有能力在高水平科技自立自强上实现更大作为。对此，要充满信心。

迈出第一步，呼唤勇攀高峰的雄心壮志。这些年，我国科技实力、产业水平不断跃上新台阶，在越来越多领域实现从跟跑到并跑领跑的转变。百尺竿头，更进一步。当前，我国部分领域技术发展已经走在国际前沿，部分科技工作已经走进“无人区”探索发展的阶段。这就要求广大企业和研发机构以更广阔的视野、更自觉的担当，从模仿式的追随转向开拓性的引领，努力实现更多“从0到1”的突破。

路虽远，行则将至；事虽难，做则必成。不畏艰难、敢于创新，我们将在更多新领域新赛道赢得更大主动。



看，它只是一个巨大的卡车底盘。近看，车身上有许多“门道”——车辆四角有圆柱凸起，这是用于避障的激光雷达和摄像头；车架经过减重和强化，极限载重量提升至80吨；载货平面彰显人性化设计，位置与工人解锁作业的高度一致；车辆侧面还配有自动充电口，充电1小时即可满电运行……

“相比传统拖车，ART重量更轻，寿命更长，承载量更大，智能化水平更高。”金岸重工公司总经理曲明告诉记者，这样一款造型独特、功能实用的运输机器人，完全是从零做起的。

从车辆结构、指挥系统到钢板厚度、螺栓样式，研发团队一次次试错，一步步摸索。

光是调试车身控制系统，就耗时半年多。

码头很大，但也有不少地方空间狭小，必须最大化使用场地。比如，当要穿过左前方和右后方都有障碍物的缝隙时，只有前轮这一对转向轮、转弯半径大的传统拖车很可能被“卡”住，而ART则能精细调整4个车轮不同的转向角度，以“螃蟹行”等复杂动作斜行穿过。

为了实现设计目标，金岸重工研发团队不断调试控制算法。第一台样车，只能做到多轴同步转向和控制，难以精准控制运动。后来，研发团队优化了“双轴控”技术，又因为前后轮线速度不同而出现“磨胎”，为找出最优算法，他们每天奔走在测试场地。有个阶段为了修正ART转弯甩尾等异常，测试员得跟车慢跑记录细节，平均每天跑25公里，相当于半个马拉松。磨坏20多条轮胎、迭代30版算法后，车辆终于实现顺畅精准运动。

看似普通的车架，也经历过繁复的打磨。车架是ART整车最受考验的部件：既要能日复一日地承受集装箱下落带来的冲击力，又要能经受海水、海风的腐蚀，还要满足绿色节能、轻便灵活等要求。

“在不熟悉工况的情况下，我们一遍遍用砧码箱去探索载荷临界点。有时，材料强度够了，刚度却不够；有时，净强度达标了，疲劳强度又不足。”金岸重工公司生产管理部经理陈雷说，为求得“最优解”，他们运用大量仿真计算工具，制作出包含车架材料、结构、油路、电路等真实信息的数字模型，一块块微调构造，历时一年，终于找到平衡点。

研制无人驾驶系统，也走过不少弯路。“经过一年多反复优化，本以为ART的无人驾驶系统比较成熟了，结果，去年夏天的几场大雨，又给我们浇了一头‘冷水’。”天津港第二集装箱码头公司技术部设备运行主管彭云辉说，当时他们发现，大雨过后，ART经常停滞不动或偏离路线。

经过故障分析，原来是激光雷达外部留下积水，导致激光折射，严重干扰了车辆定位。后来，他们加班加点，专等恶劣天气去码头跑车。3个多月后，一套“雨天作业模式”成功研发，有效降低了天气影响。

合力攻坚 天津港集团“总牵头”， 组建创新联合体

建造ART，硬件要够“硬”，大脑也要够聪慧。

港口就像一座微缩版城市，空间复杂、设施繁多，对效率和安全的要求极高。每跑一趟任务，ART都要与周边设备进行上百次指令交互。“既要接受码头管控系统指挥，还要与岸桥、轨道桥、锁站、充电桩‘对话’，多台车辆之间也得分工合作、避免拥堵，这就需要一套高效可靠的车队管理系统。”高延辉说。

系统工程谁来建？起初，天津港研发团队心里没底，尝试寻求外包服务。不过，由于这套系统没有“模板”，得从“白纸”开始原创，多家有实力的企业洽谈之后都犯了难。

“他们中，有的信息化功底扎实，有的人工智能积淀深厚，还有的通信技术实力强大。强强联合、取长补短，是有能力拼出‘智慧大脑’这张复杂拼图。”高延辉分析，“关键点在于各家都不了解港口的业务需求，迈不出第一步。”

“别人不了解，咱还不了解吗？”于是，2019年7月，天津港集团当起“总牵头”，组建创新联合体合力攻坚。

“一些科技企业在智能算法上实力雄厚，但光有技术还不能让车队管理系统高效运转。”天津港第二集装箱码头公司信息部经理刘喜旺告诉记者，起初，ART在堆场提取集装箱的设计方案是调度车辆先到达目的地，再由轨道桥将集装箱运上车。后来，港口技术部门从码头运营经验出发，提出了“预到达”的设想，即轨道桥在车辆抵达作业位置前就预备到位，由此使得堆场作业时间压缩近一倍。

刘喜旺认为，港口与科技企业紧密合作，实现了“1+1>2”的创新效果。天津港获得了自主可控的车队管理系统，科技企业则在合作中拓展港口信息化业务，打开了全新的市场空间。

创新联合体还广泛吸收研发机构、高校团队的经验智慧，在基础研究、前沿探索上攻关突破。“通信及定位功能是保障车队管理系统运行的‘底座’，然而集装箱码头的金属遮挡屏蔽现象是个‘老大难’。”中国移动天津公司政企客户部副总经理陈奇志介绍，公司联合中国移动上海产业研究院组建“5G+北斗实验室”，为天津港码头量身设计双频段5G专网、研发远程驾驶车载设

编后

海量应用场景驱动宝贵产业机遇

刘志强

走企业、进车间、访员工，采写“重大技术装备这样攻关”系列报道过程中，记者实地了解到研发技术人员持之以恒攻坚克难的辛劳付出，感受到广大企业和有关部门坚持不懈加快创新的坚定决心，也体会到海量应用场景给中国制造带来的强劲驱动和宝贵机遇。

我国幅员辽阔、人口众多，新型工业化、新型城镇化、农业现代化扎实推进，为重大技术装备大显身手提供了广阔的舞台。比如，交通、通信、能源等基础设施领域和房地产领域的一个个建设项目，推动着起重机、掘进机等工程机械和智能运输机器人等物流装备的不断成长。又如，保障国家粮食安全、能源安全的需要，促成了收割机、播种机等农业机械和钻井平台、储油

平台等能源装备的升级迭代。市场是最稀缺的资源。近年来，国际形势严峻复杂，产业链供应链加速重构，我们既要在全球经济舞台上坚持开放合作、追求互利共赢，也要立足巨大内需潜力，加快建设现代化产业体系，不断提升发展的独立性、自主性、安全性。“全球首位”“世界领先”“零的突破”……我们高兴地看到，诸多重大技术装备的研发过程中，具备研发制造能力的装备企业与拥有应用场景的需求端企业攥指成拳，形成了推动产业升级的强大合力。有些合作，是装备企业基于产业基础、结合先进技术研制新产品，再寻求工程、项目等场景落地试验、完善提升，进而实现新产品日臻成熟、新市场逐步打开。有些合

作，是需求端的企业发出具体的设备订单，让装备企业更有针对性地创新技术、改进生产、响应需求，从而实现双赢。作为“总装车间”的装备企业勇攀高峰，还有力拉动着产业链各环节配套企业共同进步、群体跃升。总体看，随着企业间合作的不断深化，需求得以更有力地驱动供给，供给得以更紧密地贴近需求，供需良性互动迈向更高水平。

有规模庞大的市场，有源源不断的需求，就有潜力无限的发展空间。前行道路上，无论是逐梦苍穹、探秘深海、筑路架桥，还是城市更新、乡村振兴、能源转型，广大制造业企业特别是装备制造企业都大有可为。期待更多大国重器传来捷报，中国制造再上台阶！

2019年1月，习近平总书记在天津港考察时强调：“要志在万里，努力打造世界一流的智慧港口、绿色港口，更好服务京津冀协同发展和共建‘一带一路’。”

2021年，全球首个“智慧零碳”码头在天津港建成投产，码头建造周期缩短2年、建造成本降低30%、作业效率提高20%。和其他自动化码头通常采用“磁钉+自动导向搬运车（AGV）”的物流方案不同，这里创新使用了我国企业自主研发的人工智能运输机器人（ART），实现了智能化程度更高的商用无人驾驶，成为以全新模式引领世界港口自动化、智能化升级的“中国范例”。

看着一辆辆ART满载集装箱穿行码头，天津港集团党委书记、董事长褚斌感慨：“从AGV到ART，我们实现许多从‘0’到‘1’的突破，为现代化港口建设作出了积极贡献。”

ART先进在哪儿？研制难在哪儿？天津港是如何成功的？记者进行了采访。

降本增效

码头运输工具之变，给港口整体运转带来多方面变化

渤海之滨，海天一色。走进天津港北疆港区“智慧零碳”码头，只见一艘艘靠泊巨轮旁边，10多辆15.6米长、1.55米高的蓝色“智能拖车”往来穿梭。这就是天津港集团联合其他企业共同研发的ART。“虽然它样貌简单，却十分聪明，可实现全球港口中最高级别（L4）的无人驾驶。”天津港集团副总裁杨杰敏说。

走到高处，杨杰敏向记者详细介绍了ART的作业流程：船舶靠岸后，一辆辆ART便按照系统指令，驶入自动化岸桥边上的指定位置，与预定位置的误差小于3厘米。随后，岸桥上的吊具将集装箱从船上起吊至40多米高，再快速精准地落在ART的车架上。装好集装箱，ART随即驶离，自动“搜寻”解锁站，再绕进迷宫般的堆场，把集装箱“交”给轨道桥，随后再回到岸边排队等候新任务。

码头运输工具之变，给港口的整体运转带来多方面变化。

提升效率。前不久，“现代哥本哈根”号集装箱船靠泊天津港“智慧零碳”码头。7000多个集装箱，仅用37小时就完成作业，创下1小时装卸203箱的作业效率纪录，在该船经停的10座海内外港口中排名第一。

节省用工。在传统人工码头，为满足24小时作业条件，一台拖车需配备4名司机。而在天津港“智慧零碳”码头，ART的投用令用工节省六成以上，作业安全水平也大幅提升。

降低成本。自1993年世界上第一个自动化集装箱码头建成以来，“磁钉+AGV”成为多数自动化码头的“标配”。不过，港口用的AGV一直价格高昂，而ART由国内企业自主研发，单车成本可比AGV便宜一半左右。此外，AGV必须依靠埋在地下的磁钉来辨明方位，建设一座250万标箱吞吐量的自动化码头，仅布设磁钉就要上千万元，后期维修成本也不低。而ART采用“5G+北斗导航”，不用布设磁钉，建设成本大为降低。

与ART密切相关的还有桥吊系统。天津港第二集装箱码头公司副总经理高延辉算了一笔账：传统自动化码头，桥吊采用双小车配合AGV完成解锁、二次吊装，构造更复杂，每台重达2300多吨。使用ART方案，解锁在其他区域完成，桥吊一次吊装，构造相对简单，重量可减至1400吨以下。“每台桥吊减重近1000吨，意味着整个码头的承重设计、建造投入、桥吊价格都可以降低，据测算，仅桥吊一项就能降本约8亿元。”高延辉说。

从长远看，ART给集装箱码头自动化改造提供了新的选择。当前，全球95%的集装箱码头仍是传统人工码头，改造升级空间很大。“在传统人工码头，堆场几乎都是水平岸线布局。过去受技术限制，自动化改造时必须把堆场设置成垂直岸线布局，相当于‘推倒重建’，难度大、成本高。”高延辉说，使用ART配套方案进行改造，无需改变岸线布局，改造更方便，成本更可控。

自主创新

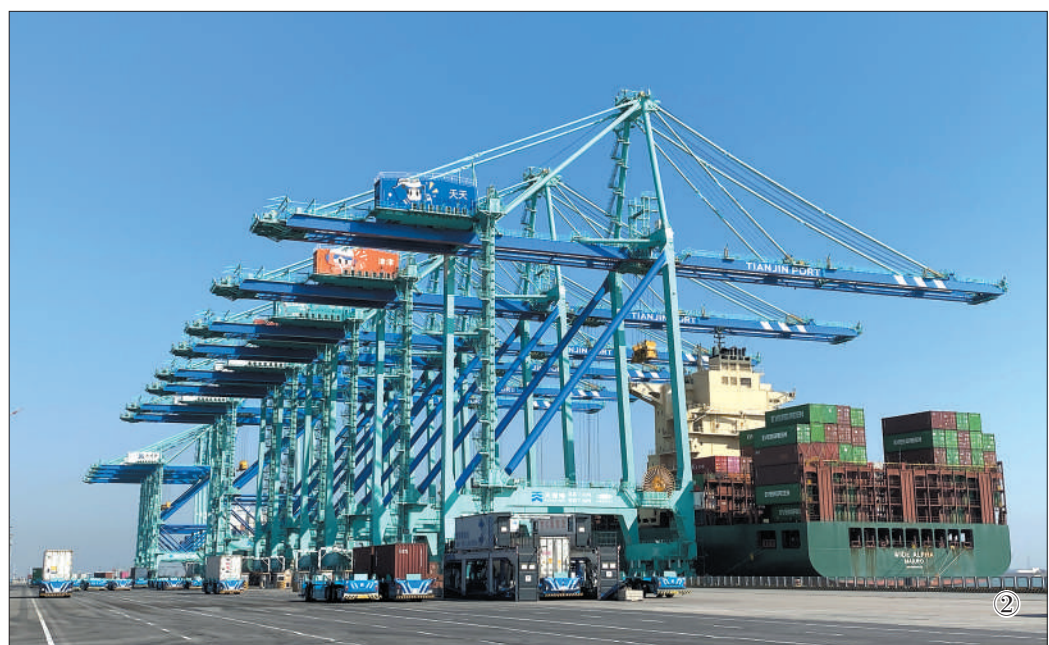
从车辆结构、指挥系统到钢板厚度、螺栓样式，研发团队一次次试错、一步步摸索

天津港研制出ART之前，业界对这款新型港口运输装备“闻所未闻”。

“想法太超前，咋落地？”“前期投入巨大，会不会‘打水漂’？”……一些同行听说后，为天津港捏了一把汗。

“打造世界一流港口，根本要靠自主创新。”褚斌告诉记者，一次次严谨论证和研判后，天津港自主研发的信念越发坚定，“多年来，‘磁钉+AGV’方案的运行效率已经几乎提升到了极限。要想再有所突破，必须另辟蹊径。”

在天津港集团所属企业金岸重工公司的测试场地，记者见到了最新款的第四代ART。远



图①：ART在天津港北疆港区“智慧零碳”码头集装箱堆场作业。 翟小龙摄

图②：在天津港北疆港区“智慧零碳”码头岸桥下装卸货物的ART车队。 李四航摄

本版责编：李心萍 版式设计：张丹峰