

“大象”也在学跳舞

全球重工行业首个“灯塔工厂”三一桩机的数字化转型实践



●通过人机协同的数字化，三一桩机破解了品种多、批量小、工艺复杂等重工行业数字化转型难点，实现从刚到柔的转变

●在三一桩机的未来布局中，数据成为企业核心优势，也是制造业弯道超车的机会

●三一桩机的数字化转型，印证了“灯塔工厂”的意义：人让机器变得更有效率，机器让人变得更有价值

本报记者刘荒、张典标、李坤晟、黄海波

与汽车、家电等行业知名厂商相比，三一重工北京桩机工厂（以下简称为三一桩机）似乎并不起眼，但主产的旋挖钻机高擎百米、重逾百吨，称得上“钢铁巨象”了。

旋挖钻机俗称打桩机，用于大型基建工程的桩基开孔。这些桩基深度往往决定建筑高度。

2年前，这家国内三分天下有其一的旋挖钻机制造商，依托物联网、大数据和人工智能技术赋能，跻身世界经济论坛全球灯塔网络，荣膺全球重工行业首个“灯塔工厂”。

三一桩机从规模生产到柔性制造，破解了重工行业品种多、批量小、工艺复杂等离散化制造难题，全员劳动生产率提高85%、生产周期缩短77%，年人均产值突破千万元。

“以柔克刚”的三一桩机，如何玩转这些“钢铁巨象”？“举重若轻”的变化背后，对制造业数字化转型有何启示？

“焊接大拿”的徒弟不是人

走进三一桩机厂区，昔日挥汗如雨、满身油污的工人不见了，取而代之的120余台焊接、抓取、组装和搬运等机器人，围绕16条智能化生产线各显神通：小到分拣一块钢板，大到装配16吨重的动力头，都能轻松自如完成。

人气冷清的焊接线上，几台配备自动焊枪的机器人，正在焊接一根20多米长、8吨重的钻杆：蓝色弧光追逐着红外线靶点和轨迹，夹杂着脉冲般吱吱作响的焊接声……

手握15年焊枪的赵清霞，是全厂有名的“焊接大拿”。他做梦也没想到，徒弟竟是一群机器人。自己会把焊接桩机方头的看家本领，都“传”给这些“没心没肺”的“钢铁小子”。

连接钻杆与钻斗的方头，是桩机的核心部件。方头焊接质量不好发生断裂，钻斗可能掉进地下几十甚至上百米深的孔洞里，轻则影响工程质量，重则需要重新设计打孔。

此前，全厂400多名焊工中，只有赵清霞和另一名高级技工能焊接方头。“如果他俩全不在，整个生产都得停！”制造管理经理胡展鹏入厂20年，对此仍记忆犹新。

他还向记者解释说，焊接方头跟绣花差不多，主要工艺难点就是用1.2mm焊丝，环绕40mm厚、60mm宽的焊缝反复施焊上几十层，还要确保每层都不出现气泡和裂痕。

“每个焊层温度不同，施焊速度和节奏掌握不好，质量就难以保证。”70后赵清霞说，当年师傅就是这么教的，他也按这个套路带徒弟。

然而，这些类似于厨师口中“盐少许、油少量”的经验，经常让新手们琢磨不透，没有一年半载出不了徒。

赵清霞干活都穿防护服，只露出一双眼睛。赶上大热天再捂也不敢开电风扇，生怕焊缝里吹出气泡。焊工是个体力活，经常一蹲就是几个小时，腰间盘突出都成了职业病。

“年轻人不愿意吃这个苦”，他操着浓重山东腔说，“可技术得往下传，这不机器人都成徒弟了。”

连人都难以掌握的经验，机器人怎么能听得懂呢？

“不是简单模仿工匠的焊接轨迹。”三一桩机总经理王龙刚揭开了机器人学艺秘密：“每一条焊缝背后，都有焊枪角度、摆幅、瞬时速度、电弧、温度等大量工艺参数做支撑。”

这些“心中有数”的机器人，巧用AI算法学艺，仅两个月就学会方头焊接。技术水平就连赵清霞都服气：不光效率翻倍，一次成功率达100%，个个都成了“焊接大拿”。

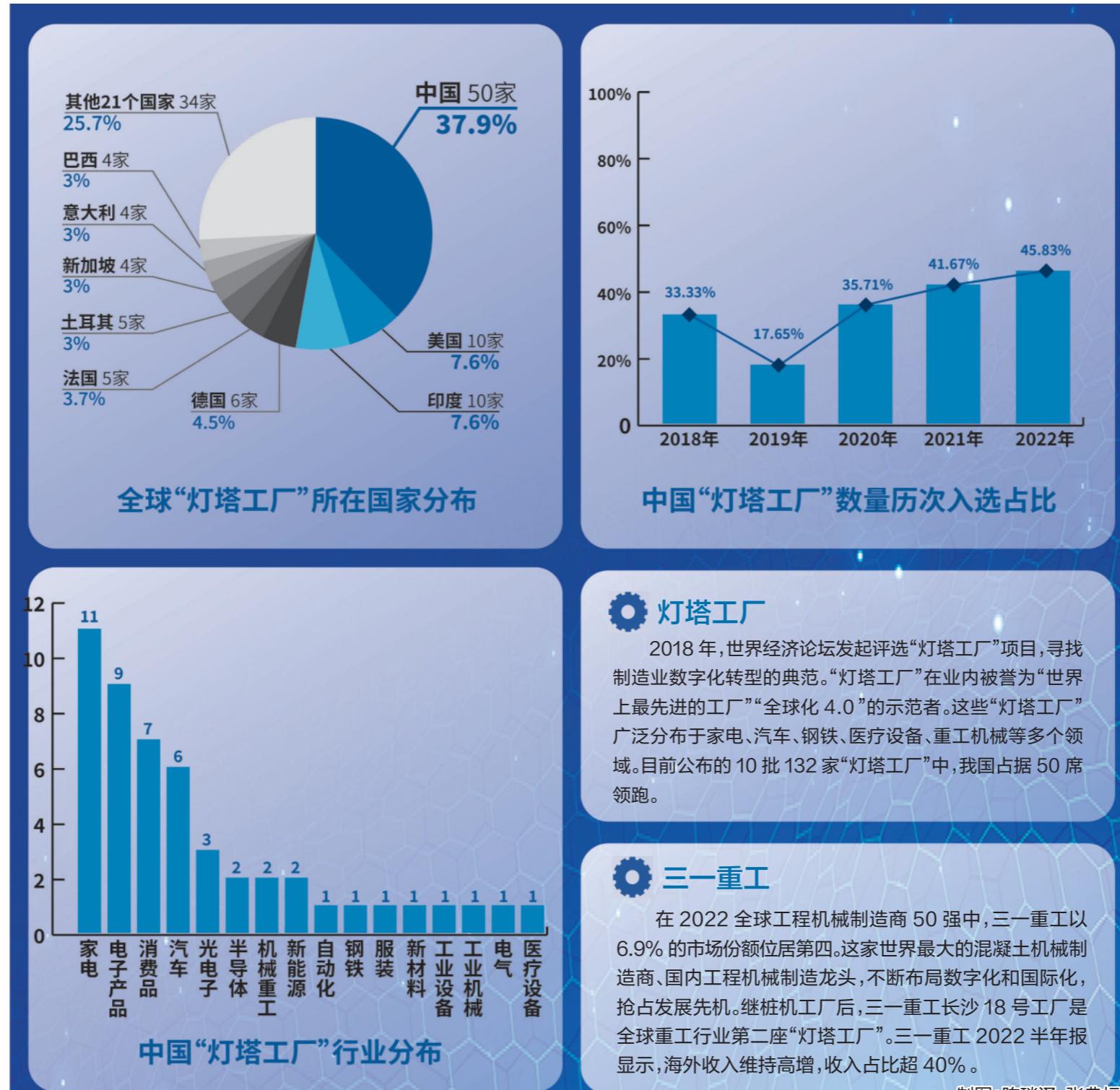
以前焊接一根7节长的钻杆，6个人白加黑两班顶多焊一节；现在4个人操纵8台机器人，一个白班就能全焊完。

经过3个月的培训，年轻技工岳千喜已能



▲在三一重工北京桩机工厂外，摆放着高大的桩机和粗重的桅杆。

本报记者黄海波摄



制图：陈琰泽、张典标

像玩游戏一样，熟练操控焊接机器人，比传统焊工轻松不少。

赵清霞教会焊接机器人后，又走上给机器人下指令的新岗位，师徒变成人机协同的新搭档。两年前，厂里要求新岗位掌握基础的机器人编程，赵清霞第一个报名参加培训班。

有工友冲他开玩笑：“都这么大年纪了，还报名学那玩意儿？不如回家抱孩子。”

“学到的东西归自己，谁都拿不走。”赵清霞回应道。

生产运行不再靠“人治”

在机加中心，28岁的操作工李田华遥控着磁力吸盘，将七八十斤重的提引器坯料，稳稳当当地吊运到料台上，由机械臂自动夹装到数控机床。一整套动作下来如行云流水。

据李田华介绍，提引器加工精度高，允许误

差仅为头发丝直径的三分之一。由于担心坯料磕碰受损，过去搬运、上料和测量主要靠人工。工人们围着机械设备爬上爬下是常态。

如今，机械臂带摄像头，机床会自动测量，机器视觉的“慧眼”遍布全厂。李田华形象地拿切菜做比喻：就像近视眼配戴高清眼镜，拿菜的手和切菜的刀都更有准了。

从2003年加入三一桩机，制造部经理夏闻世最头疼的事，莫过于粗重的零部件与毫米级装配精度的磨合。直到三年前，零部件生产基本靠“人治”：每道工序都离不开人，一处不到位就得返工。赶上生产繁忙，整个过程就像打乱战。

研发桩机十多年的王龙刚认为，正是这种离散化制造模式，才使该厂成为2019年集团数字化转型首批试点。如果这块最硬的“骨头”都能啃下来，其他工厂就更有把握了。

工程机械行业周期性较强，导致企业用

工弹性过大，产能调整跟不上市场变化。三一重工决策者深知，突破行业周期困局，唯有“要么翻身，要么翻船”的数字化背水一战。

作为三一桩机工业互联网平台服务商，树根互联有限公司市场总经理修斌坦言，让工厂的大量“聋哑设备”学会“说话”，听从“指令”，是传统制造业启动数字化的基础。

三一重工智能研究院院长董明楷，把这个过程梳理为“三现四表互联”。即通过摄像头管理现场，现实、现物，采集水、电、气、油表等能耗数据，实现设备互联互通。

“要把设备连起来，结合不同的工艺和业务要求，才能把数据用好。”这位曾在西门子工业研究院工作多年的数字化专家，深谙工业软件与生产制造的融合之道。

起初，每项工艺只能采集到30多种数

据分类和挖掘技术搭建知识库，使三一桩机实现从刚到柔的转变。

三一桩机的数字工程师和工艺工程师利用这些数据，逐一调试、标定，建立生产知识库，让机器人得心应手地识别和处理不同尺寸的零件。

全厂每台设备的工况、每个订单的进度，包括每位工人的绩效、工厂后台的“智慧大脑”都了如指掌。5G信号打通了信息共享的“经脉”，能根据工厂实时运转情况，把订单分解到不同的产线上。

桩机物料大多都超长超重，一旦搬运时碰伤报废，损失动辄上万元。智慧物流成为数字化难点之一。

据王龙刚透露，他们对5G自动导引车采取双车联动，实现大宗物料同步搬运和自动上下料。为了提高智能化水平，下一步重点攻关运输路线的实时显示和算法优化。

装配线上的机械臂，个个都长了一双“慧眼”：借助视觉传感技术和AI算法，能快速识别、抓取和装配不同型号的工件。装配精度达到0.2mm以内，仅有两张A4纸厚。

董明楷回忆，在设备上安装高清摄像头，位置放低了生产场景拍不全，高了图片分辨率不达标。再加上机械振动、光线反射等噪声干扰，要反复调试才能找准数据采集点。

通过不断摸索，团队决定采取先拍照再修正的办法：利用图像模式识别，2D/3D视觉定位技术，精准识别工件种类和位姿，并由“智慧大脑”指导机械手平稳作业。

三一桩机数字化试点改造期间，正赶上产能从每月150台上升到200台的爬坡阶段。一直担心产量受影响的夏闻世却意外发现，产值比原来翻了一番，用工还不到过去的一半。

夏闻世清楚地记得，自己进厂那会儿，每月下线桩机10台左右，也就是现在一天的产量。

数字化不能一味做加法

直到今天，仍有人把制造业数字化转型，简单理解成“机器换人”，认为最理想状态就是“黑灯工厂”。

三一桩机也曾算过一笔账：假设购买一台60万元的设备，可替换两位人均年收入15万元的工人，两年就能回本。据此，他们提出3年收回3亿元数字化投资的目标。

随着数字化试点的推进，越来越多的人开始意识到，若完全为了机器换人而换人，既不可行也没有必要。

部件工艺副所长尹言虎反映，对于一些特殊角度的焊缝，焊接机器人实在无能为力，只能依靠人工。

董明楷估计，三一桩机除了下料、成型等环节接近无人化，而焊接、机加、涂装、装配、物流等环节的数字化程度仅六成以上。

三年前从车企跳槽过来的智能制造所所长张雯，本想把车厂的数字化经验移植到桩机上，却遭遇了“水土不服”。

与品种多、批量小的桩机生产不同，汽车制造属于规模化生产，无需频繁转换工艺设备，计划可以直接指导生产。

“同样精确到分钟的桩机排产计划，由于不同机型生产差别过大而经常落空。”张雯深有感触地说。

三一桩机现有38种标准机型，小的挖深二三十米，大的挖深达150米。不少订单还是客户根据施工场景定制的非标型号，一年也生产不了几台。

董明楷也坦言，目前有近30种机型实现数字化生产，但对挖深超限的特殊机型，仍无法完全覆盖兼容。

显而易见，机器换人不仅存在“行不行”的技术问题，也有“值不值”的经济考量。

2021年，王龙刚接棒总经理后，一口气停掉了全厂近1/6的自动化设备，改为人机协同模式。

他算过这样一笔账：一台自动螺栓机成本约200万元，能抵一位年收入10万的工人干20年。与其完全靠自动螺栓机，远不如用人操纵机械臂更为高效和经济。

王龙刚认为，数字化并不是没完没了地做加法，追求所谓的“大而全”和“高大上”没必要。现在做减法就是要回归到降本增效的企业根本目标上。

一直关注企业数字化转型案例的修斌，也反对盲目追捧一些热门概念。他曾见过一家企业为了追求“黑灯工厂”，要求员工在电脑屏幕前关灯工作的滑稽场面。

在王龙刚的眼里，未来三一桩机将实现自决策，自动制定生产计划、调度工人、管理生产要素，真正打通研发、营销和服务，实现产品全生命周期的数字化。

“以后企业更多利润来源于数据，包括基于数据的服务和创新。”王龙刚坚信数据才是企业的核心优势，将成为制造业弯道超车的机会。

三一桩机的数字化转型，印证了“灯塔工厂”的意义：人让机器变得更有效率，机器让人变得更有价值。