

# 用智能制造的方式生产智能产品

◎本报记者 刘园园

每10分12秒下线一组产品,可24小时连续生产,1天的产量基本可装备一个采煤工作面……

走进中国煤炭科工集团有限公司旗下北京天玛智控科技股份有限公司(以下简称中国煤炭科工智控)的矿用电控换向阀智能工厂,只见各式各样的机械臂、机器人各司其职,为数不多的操作人员则不慌不忙地行走其间。

坚持“用智能制造的方式为用户提供智能产品”是中国煤炭科工智控的一大特色。近日,该公司生产的“智能化综采超大流量液压控制系统”荣获北京市科学技术委员会、中关村科技园区管理委员会等部门联合颁发的北京市新技术新产品(服务)证书。

## 三大系统助力煤矿智能化开采

中国煤炭科工智控智能化产品主要用于助力各大煤矿的智能化开采。

中国煤炭科工智控科技发展部主任王峰介绍,公司以自动化控制系统为核心,产品涵盖煤矿SAM型综采自动化控制系统、SAC型液压支架电液控制系统、SAP型智能集成供液系统等三大系统。公司可为煤矿客户提供无人化智能开采控制系统成套解决方案,满足不同类型煤矿开采工作面的智能化应用需求。

中国煤炭科工智控生产的三大系统,分别在煤矿无人化智能开采中扮演着不同角色。

“SAC型液压支架电液控制系统实现了对液压支架的控制,保证工作面液压支架对顶板的有效支撑,确保工作面人员与设备安全。”王峰介绍。

SAP型智能集成供液系统实现了对泵站及水处理等供液系统的控制,给工作面提供清洁、安全、高效的乳化液,为工作面高效、连续生产提供可靠保障。SAM型综采自动化控制系统实现了对采煤工作面所有子系统的控制,使就地操控模式转变为远程集控模式,可大量减少单机设备就近操作岗位人员,实现远程智能化操作。

“中国煤炭科工智控生产的三大系统可以助力煤矿综采工作面的作业方式从手动机械化作业升级为自动化、智能化作业。这些产品可以全面提升煤矿综采工作面的智能化采煤水平和安全作业水平,降低生产运营成本,提高采煤效率,同时有效减少工作面作业人数,降低作业人员劳动强度。”王峰表示。

## 柔性自动生产线实现定制化生产

值得一提的是,中国煤炭科工智控的智能化产品,都是用智能制造的方式生产出来的。



图为中国煤炭科工智控高压大流量液压阀柔性数字化加工车间。受访单位供图

中国煤炭科工智控副总工程师魏冠伟告诉记者,中国煤炭科工智控坚持关键零部件高精度自动化自主生产的策略。公司创新研发适合于柔性智能生产的工艺方法,推行工艺标准化、模块化,确保基础工艺数据准确可靠;深耕工艺技术创新,从基础材料研究、加工工艺、组装工艺三个方面加强试制孵化能力建设,掌握核心工艺技术,解决“卡脖子”技术难题。

“我们不断推动生产制造模式的自动化、智能化转型升级,实现多品种、小批量、定制化柔性生产,促进公司提质、降本、增效。”魏冠伟说。

以这家公司的核心产品电液换向阀生产为例,公司可以基于客户差异化需求对该产品进行定制化设计。收到客户订单后,公司首先对客户需求进行分析并确认交付方案,完成生产计划排程、物料采购等工作后,依托柔性自动化加工及装配生产线,实现产品的智能化生产。

据介绍,中国煤炭科工智控还建设应用了覆盖研发、生产、供应链、销售服务等全业务链条的20余个信息化管控系统,通过横向及纵向信息有效集成,实现生产运营智能管控、智能决策。

在生产组织方面,魏冠伟介绍,公司实现了销售、供应、生产、交付多方协同,可依据订单快速生产客户的定制化产品,并通过预投、滚动生产等实现标准零部件的合理备货,再根据市场需求预测与研判,动态设置适量库存。这样就实现了与市场需求相匹配的生产运营管理,有效缩短项目及备件交付周期。与此同时,公司通过工艺和管理输出,开发培育核心产品战略供应商,解决核心产品交货环节的瓶颈问题,推动生产及供应链整体配套能力和质量稳步提升,实现提质、增效、降本。

## 打造高效运行的智能工厂

中国煤炭科工智控走过了十几年的转型升级之路。魏冠伟回顾,早在2007年,为解决某项产品产能不足的问题,中国煤炭科工智控配套研发了以全自动车削机床为中心的自动化专机,实现了无人值守全自动连续加工。

“1台智能化机床的产能与原来的3台数控机床相当,可节省操作工人8人,占用厂房面积不到3台数控机床的一半。总投资和3台数控机床基本相当,智能改造后,1年就收回了投资成本。”魏冠伟说,这一项创新带来的显著效益,激发了公司发展智能制造的积极性和主动性。

此后,中国煤炭科工智控在智能制造的道路上持续精进。魏冠伟介绍,2012年至2016年,公司建成2条智能加工生产线和7条自动化装配线,生产自动化水平不断提高,产品质量得到大幅提升,为智能工厂的建设奠定了坚实基础。

2019年,依托智能制造建设成果,中国煤炭科工智控高压大流量液压阀柔性数字化车间被评为“北京市智能制造标杆企业(数字化车间)”。2020年,公司启动智能开采高端装备关键控制部件智能工厂建设项目,在前期建设的数字化车间的基础上,对企业生产装备、业务流程、信息化系统进行全面优化提升,建成了1个包括7条智能生产系统及产线、13套专机系统、1套智能物流系统、1套大数据分析平台及13套生产运营信息系统的智能工厂。2022年,中国煤炭科工智控智能工厂获评“北京市智能工厂”称号。

“公司智能工厂的高效运行,使电液换向阀等核心产品不良品率降低了89%,综合工作效率提高7倍,产能提升5倍,比传统生产方式节省人工87名,走出了一条智能制造创新之路。”魏冠伟说。

制造,其性能指标超过新的叶片,并可节约生产成本75%至80%。

由多名院士和航空制造专家组成的专家组给出鉴定意见:该发明专利攻克了航空发动机涡轮叶片关键表面改性及保形控制等难题,技术原创性强,具有自主知识产权,整体技术达到国际先进水平,其中形性调控技术达到国际领先水平。

目前,该发明技术已实现产业化,在多家行业头部企业得到应用和推广,产生了显著的经济效益。2020年1月至2021年12月底,该发明技术合计应用单位6家,新增销售额6.25亿元,新增利润2.42亿元。

鲁金忠说,他们团队为解决国家重大战略需求而设计的夹具,不仅仅是一个装置,还集成了快速定位、多点感应自适应和柔性夹装等方法。

行各种操作。在笔记本生产线测试段,联想集团自主开发的全自动测试系统2小时内可测试8大类150余个产品项目,可实现全过程100%黑灯操作;在包装段,材料自动配送,流程实现无人化。

同时,产业园广泛应用自动化与智能化技术,沿用、升级联想集团自研的多个数字化系统,让产业园综合生产效率提升200%,产品不良率下降30%。其中,联想的制造执行系统(LeMES)全面追踪与管理生产过程,使生产效率提升10%。智能排产系统(APS)将排程时间从2小时缩短至10分钟内,产量提高19%。此外,联想的智能工艺平台(ESOP)利用AI算法生成最佳工艺排布方案,实时动态指导员工操作。

除智能工厂外,产业园还建成了业内最高水准的零碳黑灯智慧化立体库。该仓库建有2.8万个货位,能够全自动运送物料至生产线及收回制成产品,并在黑灯情况下正常运营。

关伟介绍,在可见的生产线和仓储之外,产业园还打造了数字化智造“大脑”——智造中平台。通过对生产、零碳、园区等各类运营数据的采集与分析,产业园实现了全方位智能化管理。

作为联想集团在津发展的主要区域合作平台,天津港保税区为联想集团提供“专家+管家”的全方位服务,营造营商环境,开拓产业链上下游合作,共同推进联想集团“一总部、两园区、三中心”建设。天津港保税区党委书记、管委会主任尹晓峰表示,保税区将以此为契机,与联想集团一道聚力战略性新兴产业发展。

# 以技术创新擦亮“工业皇冠上的明珠”

◎本报记者 张晔 通讯员 吴奕

近日,第二十四届中国专利奖颁奖。获得中国专利金奖的共有29个项目,其中就有江苏大学鲁金忠教授团队的“一种用于多种叶片激光冲击的变形抑制夹具”。

航空发动机是飞机的“心脏”,被称为“工业皇冠上的明珠”,同时也是衡量一个国家高端制造集成技术的标准。其中,叶片作为航空发动机的核心构件,价值约占航空发动机的29%。在极端恶劣环境下,

叶片承受交变载荷,极易产生疲劳,导致失效和断裂。

“装夹装置是叶片激光冲击强化过程中不可替代的环节,欧美国家对我国进行封锁,我们必须自主研发。”鲁金忠介绍,当前航空发动机涡轮叶片激光冲击强化装夹主要面临4个难题:叶身强化容易产生颤动和变形,叶片型面冲击轨迹规划难,表面加工精度要求高,尺寸形状差异大。

针对这4个难题,团队提出发明一种用于多种叶片激光冲击的变形抑制装夹方法和夹具,可以根据叶片几何特征,进

行叶根定位、叶身夹紧,同时又能抑制叶片变形。

基于这样的想法,团队最终采用磁吸式和组合设计,实现多种叶片快速装夹、灵活切换;叶片采用多点感应柔性支撑,自适应叶片形状,抑制了强化过程中的叶片变形;叶身则采用柔带式夹装,约束叶片悬垂末端,提升叶片的夹持刚度。

采用该发明技术强化的涡轮截面位置度、变形扭转角、表面粗糙度、疲劳寿命均达到或超过国际上先进的同类产品;利用激光冲击对损伤涡轮叶片进行绿色再

# 减碳“组合拳”打造零碳智造范本

◎本报记者 陈曦

近日,科技日报记者位于天津港保税区空港经济区的联想集团创新产业园(天津)(以下简称产业园)零碳黑灯智慧化立体库探访。这座黑暗的“钢铁森林”式仓库没有传统仓库灯火通明、工人热火朝天工作的场景。由于应用了5G、数字孪生、视觉识别等43种智能技术,仓库实现了仓储占地节省超70%、成本降低47%、备料拣选效率提升10倍、拣货准确率达99.99%。

而这只是产业园实现“绿色零碳、智能制造”的一个缩影。产业园集生产制造、研发实验、数字化展示于一体,打造了一个高度自动化、全面智能化、可复制的零碳智造解决方案。

## 减碳无处不在

记者采访发现,有别于很多工厂建成后才考虑减碳,产业园在规划、建筑设计等阶段就注重将低碳或零碳作为建设目标。产业园在绿色能源、建筑设计、智能制造、园区管理、数字化协同等九大领域共落地90项减碳举措,打出零碳工厂建设“组合拳”。

产业园采用动力房中心化设计,将供能

半径从国家标准的500米减至200米以内,减少了能源损失和材料浪费;产业园引入雨水调蓄和中水系统,年节约新鲜水用量超2.5万吨;利用地热能,通过换热器调节新风系统温度,可节能50%。

该产业园在运营中抓住每一个微小的减碳机会,有效回收资源和能源。例如,产业园利用空压机排放的热量供电,每年可节省112万度电,节省80余万元电费。此外,产业园餐厅实现了100%的厨余垃圾回收,并将其资源化成为化肥,垃圾减量率超过90%。

生产制造基地的主要碳排放源自能源消耗,而产业园最大程度地使用了可再生能源。记者在产业园看到,在3座生产建筑的屋顶上,都铺设了分布式光伏板。除此以外,产业园还采用了光伏座椅、感应垃圾箱和风光互补路灯。

“我们铺设了大约3万平方米的光伏板,年总发电量500多万度,相当于2000户普通家庭一年的用量,此举为产业园减碳3000吨。”联想集团质量标准与环境事务总监刘微介绍。

在产业园中,数字化系统也起到了降低碳排放的关键作用。联想集团自研工厂设计的ESG解决方案通过数字化和信息化技术,实现了数据可视化、可追溯和合规管理,帮助工厂监测能源使用,找准能源浪费

的节点,从而减少能耗,使综合能源消耗降低了5%至10%。零碳3D可视化平台则运用数字孪生等技术,对ESG信息平台(ESG Navigator)等采集的数据进行实时分析,并与产业园的建筑和设备模型匹配,协助管理者了解园区的碳排放情况,帮助管理者制定更科学的减碳策略。

联想集团副总裁、电脑和智能设备首席质量官王会文介绍,经综合测算,产业园年碳排放量约1.2万吨,通过数字化手段确定碳排放量,并采用顶层设计、自身减碳、光伏架设、绿电供能等一套降碳“组合拳”后,工厂将实现碳中和。

## 跑出全制程智造“加速度”

每9秒下线1台笔记本电脑,年产量超300万台,智能笔记本生产线自动化率达到60%;智能高速贴片生产线自动化率达80%,其中贴片段自动化率更高达92%,元器件贴装速度可达每小时17.2万个……

“产业园不仅实现零碳,更是达到了信息与通讯技术(ICT)行业最高的零碳智造水准。”联想集团高级副总裁,全球供应链负责人关伟介绍,产业园利用了物联网、5G、边缘计算、数字孪生、AI等多项先进技术,运用了近千项联想集团的专利。

走进偌大的现代化厂房中,几乎看不到工人,只见各种机器人在有条不紊地进

◎本报记者 罗云鹏  
通讯员 王丹丹

长12.192米、宽2.438米、高2.896米,容积约67立方米,制造一台这样的冷藏集装箱需要多久?总部位于广东深圳的中国国际海运集装箱(集团)股份有限公司(以下简称中集)给出的答案是220秒。

近日,工业和信息化部、国家发展改革委、财政部、国务院国资委、市场监管总局联合发布了2023年度智能制造示范工厂揭榜单位名单,中集团旗下青岛中集冷藏箱制造有限公司(以下简称青岛冷箱)入选国家级“智能制造示范工厂”。

如何在不到4分钟的时间内制造出这样一台“大冰箱”,其背后展现出科技与制造的高度融合。

## “数字工匠”替代“老法师”的小木棒

冷藏集装箱在运输过程中,要经受风吹日晒,对冷藏、保温性能要求极高,除了需要专用温控设备进行温度调节外,还需特殊材料进行隔热保温。

青岛冷箱发泡工程师庄兴民介绍,冷藏集装箱由内外两层钢板和中间保温层组成,其中保温层的发泡工艺是冷藏集装箱核心所在。

然而整个发泡过程需封闭式浇筑,混合液流动覆盖到接近40尺的钢板,化学反应不充分,会出现钢板和泡沫黏结不好,导致分层、漏泡等现象,影响冷藏集装箱保温效果。

“过去只能拿着小木棒敲打冷藏箱‘闻声辨病’,一遍接着一遍。”在青岛冷箱,拥有26年发泡经验的工程师庄兴民被称为“老法师”。

“影响发泡工艺的重要参数有40余种,有的参数人工难以观测。”庄兴民坦言:“过于依赖人工经验,可能会出现判断错误,或者出现有问题查不出的情况。”

如何解决这个痛点?中集开出数字化转型升级“药方”。

2018年,青岛冷箱通过在生产线上部署传感器和物联网设备,采集了整个发泡工艺过程中的各项参数。这些设备与生产设备和系统进行连接,并实时传输动态数据到云平台。

青岛冷箱数字化技术负责人李强介绍:“工程师对采集的数据进行处理和分析,以获得生产过程中的关键指标和参数,并知晓在什么参数组合之下,发泡会出现化学反应不充分的情况。”

数字化让工程师对发泡过程了如指掌,同时使冷藏集装箱返修率和返修成本大幅下降,这一点在不良品率最高的顶板生产中表现尤为突出。数据显示,顶板不良率下降了14%,稳定在2%以内。

洞悉行业技术诀窍的工程师并未止步于此。当数据积累到了可观量级后,青岛冷箱开始进一步推动工艺智能化升级。

李强介绍,青岛冷箱通过机器学习算法推动工艺改善,预测在给定生产条件下产出不良品率的概率。然后反向优化工艺参数,变事后分析为事前控制。

在这一过程中,中集总部与青岛冷箱还协同开发出发泡AI预测App,包含参数监控、预测注料、质量跟踪、耐压监控等功能。

“通过AI对工艺参数进行精确控制和定制化调整后,发泡液单张顶板用量从126公斤降至116公斤,实现发泡板材料成本降低8%。”李强介绍。

值得一提的是,AI的加入也让工人效率从此前的9人天/台降到如今4.5人天/台。按照产能最高负荷计算,以前一天只能生产240台冷藏集装箱,现在可以轻松生产300台,相当于220秒造出1台。

## AI与数字孪生推动工艺智能升级

在冷藏集装箱的生产过程中,还需大量使用喷漆工艺,漆膜厚度是否均匀是衡量涂装质量的重要指标。

李强介绍,他们在涂装车间搭建了数字孪生平台,通过物联网平台与产线设备互联,建立产线仿真、工艺仿真。

以漆膜厚度是否均匀这一问题为例,工程师们通过收集机器人轨迹程序,以样板测试在不同温度、磨损程度、不同压力值下的喷漆膜厚、喷漆范围等,并把这些数据输入工艺仿真软件。

“通过模拟机器人及往复自动喷漆设备的喷漆过程,可以重现喷漆过程,并可在仿真端对比不同参数下的喷漆效果,供现场参考。”李强说,“喷涂参数优化仿真能提高漆膜厚度的均一性,并在满足质量要求的前提下降低油漆消耗量。”

记者注意到,得益于一比一真实还原生产线,青岛冷箱可对生产过程实现实时监控、故障预测和优化调整,为生产决策提供依据,并根据不同优化解决方案,在生产之前改进喷漆轨迹、速度、角度等。

李强介绍,通过智能工厂建设,青岛冷箱已实现51%的工序全自动化,生产数据自动化采集率达到75%,以数字化转型赋能企业降本增效成效显著。

而这一转型的效果在相关生产环节表现得更为直观。如智能排产系统将排程时间从2小时缩短至10分钟,人均效率提升50%,单箱能耗降低16%,发泡材料成本节约8%,生产制造周期缩短21.4%,整体交付周期缩短11.6%。

事实上,青岛冷箱的智造实践只是中集积极推进两化深度融合和智能制造的一个缩影。目前,中集已打造12家省级、1家国家级智能制造工厂。2023年11月,中集旗下的宁波中集物流装备有限公司打造了全国集装箱行业首家5G全连接工厂。

中集数据网络中心副总经理张钧表示,下一步中集将结合“数字中集”五年规划,通过高标准引领,力争使集团下属的30家核心企业中有4家国家级智能制造示范工厂,实现省级智能制造工厂占比50%,以全球“灯塔工厂”为目标,迈向“工业4.0”,推进智能制造高质量发展。



图摄为中集旗下青岛冷箱生产线。受访单位供图

一百二十秒产出一台冷藏集装箱  
数智化助力青岛冷箱降本增效