

编者按 制造业是立国之本、强国之基,是我国实体经济的主体和创新驱动的主战场。党的二十大报告指出,加快建设制造强国,推动制造业高端化、智能化、绿色化发展。本报于今日起推出制造版,记录新时代中国制造业的转型与升级、攻坚与突破,书写其背后的科技创新故事。



6月8日,“一航津安1”号沉管运输安装一体船将E23管节和最终接头浮运至安装现场。新华社发

大国重器海底造“长龙”

——世界首艘沉管运输安装一体船研发投用纪实

出奇“制”胜

◎本报记者 矫阳

6月11日8时,深圳和中山两市在伶仃洋海底“牵手”。沉管运输安装一体船“一航津安1”号,犹如一只巨大的长方形钢铁夹子,将最后一节沉管和最终接头,牢牢抱在船底。经船上安装的智能系统控制,精准推出最终接头,实现了最后一节沉管与东侧E24管节的精准对接。自此,世界最长也是最宽的钢壳混凝土沉管隧道——深中通道海底隧道正式合龙。

“一航津安1”号主船体采用双体船型设计,集沉管浮运、定位、沉放和安装等功能于一体。船长190.4米、船宽75米、型深14.7米。“它是世界上安装能力最大、沉放精度最高、施工作业最高效、性能最先进的海底隧道沉管施工专用船舶。”中交一航局副总工程师李增军说。

为建设深中通道钢壳混凝土沉管隧道,中交一航局研发团队与建设方一起,从2013年启动研发,到2016年取得根本突破,直至2017年完成可行性论证,又历经3年研制,终于设计制造出“一航津安1”号。

设计一体船解决施工难题

深中通道是继港珠澳大桥后又一世界跨海集群工程。其沉管隧道长5035米,由32节双向8车道钢壳混凝土沉管相接而成,从建设立项开始,就面临一个又一个世界难题。

与港珠澳大桥相比,深中通道沉管隧道面临钢壳结构形式新、尺寸超宽、浮运距离超长等许多新难题,已有装备无法满足施工要求。

为此,中交一航局组建起一支涵盖设计、研究、装备、施工等专家和工程师的专题研发团队。

“深中通道沉管尺寸超宽,我们首先提出,将原本用于港珠澳大桥沉管建设的两艘安装船合并加宽,匹配深中通道沉管的宽度。”李增军说。

然而,由于两船无法自航,合并加宽后的船体,需在左右两侧加拖轮进行拖带。“而已有航道宽度无法满足安装船和拖轮编队的航行需求。”李增军说。

此后,研发团队又提出新造自航式半潜船方案,拖带沉管并完成安装,但这一方案造船周期太长……合并船体航道不够,新造自航式船又周期太长,研发

陷入困境。

2016年,在一次专家讨论会上,研发团队有人提议:干脆给船带上“腿”(即让船自带动力),把两个安装船连成一体。“当时,这个提议让大家眼前一亮,觉得是一个很好的思路,我们细化研究后觉得方案可行。”中交一航局总工程师李一勇回忆说。

3个月后,研发团队发布了一体船建设方案。李一勇向记者描述了一体船的四个“一体”。

船体结构一体,原来用两条船,现在变成一条船;集沉管浮运和沉放安装于一体;动力一体,以前沉管施工,需用八九个拖轮拖着船走,现在把拖轮的动力合为一体,更便于操作也更节能环保;船舶和沉管一体,船、管通过刚性连接,组合为一个整体,就像一条大鲸鱼肚中怀着一条小鲸鱼在水中游动。

“从2013年启动研发以来,4年间,我们几乎把所有可能采取的方案进行了‘摸排’,终于迎来了‘柳暗花明’。”李一勇说。

一体船完成浮运安装首秀

从2017年初开始,研发团队联合上海交大等科研机构,就一体船动力、航行及沉管沉放等关键课题进行了反反复复的研究论证,于2018年7月正式进入建造阶段。

一体船配有2套9280千瓦主推进系统和8台大功率侧推,可满足带着标准沉管在静水、深水中浮运,航速达5节(注:1节为时速1.852公里)的要求。

2019年6月1日,一体船顺利出坞,标志着世界上安装能力最大、沉放精度最高、施工作业最高效、性能最先进的海底隧道沉管施工专用船舶取得重大阶段性成果。该一体船也被正式命名为“一航津安1”号。

在完成多项准备及试验后,2020年6月16日,“一航津安1”号首次建设海底沉管的重要时刻开启。

当天,2万吨的“一航津安1”号“抱着”8万吨重的沉管,在伶仃洋上徐徐启航,它将在海上航行近50公里,历经7次航道转换,到达深中通道安装海域。

中交一航局深中通道项目部常务副总工程师宁进进回忆说,在经过最后一个转向区时,不明原因的横流陡增,“一航津安1”号与航线的倾斜角度持续扩大,极易跨出航道搁浅。当时,宁进进沉着开启了无人驾驶模式。

按照设定航线,“一航津安1”号稳定航行。当天下午6时,“一航津安1”号顺利把首节沉管带到深中通道西人工岛附近240米处。

除了长,风机叶片的内部主梁结构首次采用碳纤维材料,重量减轻了20%。此外,这款叶片96%以上的材料实现了国产化,拥有100%的自主知识产权……超长叶片的这些“过人之处”,为我国风电技术走向国际市场打下了坚实的基础。

定制化设计风机叶片

世界上没有完全相同的两片树叶,也没有完全相同的两组风机叶片。因为海域不同,风况各异,叶片翼型也各具特色。

“风机的叶片负责捕获风能并将风力

传送到转子轴心。叶片的翼型设计、结构形式,直接影响机组的性能和功率。因此需要针对不同地区的风资源特点,对叶片进行定制化设计。”新疆金风科技股份有限公司(以下简称金风科技)研发中心叶片结构工程师袁洲告诉科技日报记者。

在福建省福州市平潭县,16兆瓦风机叶片的内面风速每秒差异最高可达5至10米,极端运行阵风(EOG)较国际电工委员会(IEC)标准超出50%。为了将风资源评估得更精准,金风科技的研发团队将国外的多源观测资料融合技术与国内首创的虚拟测风技术相结合,两套技术系统观测的结果互为参考,实现了对风资源数据的准确评估。

评估之后,动辄百米的叶片在真实环境下进行测试已然不可行,仿真模拟成为关键的替代方式。利用金风科技自主研发的“风匠”仿真平台,风场的物理现象可以实现高保真度和高精度的还原,风机叶片与机组载荷也可以实现高精度的模拟,让工程师可以实时调整风机叶片的翼型,寻找安全运行前提下最合适的气隙余量边界,实现最优设计。

掌握自主制造知识产权

在江苏省盐城市,123米长的风机叶片在经历5道大工序、数百道小工序、历时22天后,从模具静置车间诞生。

就在1个月前,叶片的主腹板还躺在铺陈车间,由人工完成繁琐的铺陈工序,而后进行真空灌注。当腹板完成灌注之

“一航津安1”号开启全自动稳船功能,牢牢悬停在沉管基床正上方;随着沉管一点点下放,测量塔实时计算沉管三维动态……“100厘米、90厘米……”在拉合系统作用下,E1管节一点点向对接端靠近。

历经34小时的奋战,沉管顺利实现与西人工岛暗埋段对接,“一航津安1”号完成浮运安装首秀。

“这条船同时具备自动定位、抵抗横流、自动循迹、原地旋转等功能。”李一勇说。

相比传统管节浮运安装方式,采用一体船进行沉管施工,可减少浮运航道疏浚量1500万立方米,节省造价数亿元。

8万吨重沉管实现毫米级对接

在30余米深的海底,让8万吨重的沉管实现毫米级对接,难度堪比载人飞船和“天宫”空间站对接。

测量是工程的眼睛,是沉管高精度安装的基础。首节沉管安装前,“一航津安1”号自动循迹系统曾出现GPS卫星信号突然丢失的情况。

没有卫星信号,在茫茫大海,一体船就像失去了眼睛。“这更加坚定了团队启用北斗定位系统的决心。”李一勇说。

建设者在“一航津安1”号9层楼高的测量塔上,装置了北斗卫星天线,收集的信号通过接收器传到监控电脑上,电脑里同步加装了根据沉管浮运安装工序自主研发的测控系统。

2020年8月27日,深中通道首个深水区管节E3抵达沉放水域。就在沉管对接的关键时刻,项目团队分别用北斗系统和GPS系统采集数据,两者竟存在较大出入。

时间一分一秒过去,潮水渐渐达到沉管安装最佳高度,安装窗口期转瞬即逝。到底采用哪一个数据?“经过多种方法进行核算,结果显示北斗数据更优。”中交一航局深中通道项目部测管中心主任成益品回忆说,采用北斗数据后,E3管节与E2沉管完成精准对接。测量塔数据及潜水员测量数据均显示,安装精度满足设计要求。

从此,北斗系统成功被引入跨海沉管隧道施工领域。实践证明,“一航津安1”号将沉管隧道施工提升到机械化、智能化施工的新高度。

“一体船从概念提出到成为现实,依靠的是我们70多年水工建设的历史积淀,凝聚了各协作单位及研发团队的集体智慧,更是我国整体工业水平飞跃的见证。”李一勇感慨地说。

后,被放于两块主梁之间,形成一个完整的“工”字梁结构。袁洲表示,首先让两块主腹板与大腹板工装相连,确保主腹板的位置和间隙能够满足设计的要求,再连接主腹板与主梁,使主腹板起到支撑主梁的作用。

16兆瓦风机叶片特有的大厚度翼型设计,与传统的差值翼型大有不同。“其更好的结构友好性,会带来更高的机组可靠性;大肚子的钝尾缘设计,能够延缓流动分离,提高叶片升力,带来更好的发电性能……”袁洲告诉记者,这种独立知识产权的全新翼型,具有高升力、高颜值、高稳定性,能够满足机组12到17兆瓦以上的额定功率要求。

2022年7月19日,国际风电整机巨头维斯塔斯的碳纤维主梁叶片拉挤工艺专利到期,中国碳纤维风机叶片在破除专利障碍后迎来规模化制造热潮。彼时,16兆瓦风机叶片的研制正在攻坚,借助新的发展形势,制造团队选用碳纤维作为主梁材料,采用后掠设计,合理利用了超长柔性叶片的弯扭耦合效应,在降低约3%的叶根极限载荷的同时,叶片的重量相对传统叶片降低了20%以上,大大减轻了叶片的吊装和运输难度。

在叶片研发与制造阶段,尽管维斯塔斯的碳纤维拉挤工艺专利到期,但核心的灌浆技术专利仍在保护期内。灌浆是叶片主腹板制造的关键一步,要让树脂浆液逐步均匀分布在叶片的每个角落,需要精巧的线路设计与精细的灌注工艺。为了避免专利侵权,风机研发团队更换技术路线,形成自己的灌浆技术专利,保障了叶片在技术工艺上拥有100%的自主知识产权。

◎本报记者 叶青

在位于广东省江门市的维达纸业(中国)有限公司(以下简称维达纸业)车间,一条条生产、包装纸巾的自动传送带在有条不紊地工作着。“我们已经接近‘黑灯’运作。”维达国际控股有限公司运营总裁王波说。

6月27日—30日,第十八届中国国际中小企业博览会在广东省广州市举行。在工业互联网展区,广州博依特智能科技有限公司(以下简称博依特智能)联合维达纸业等单位,分享了亚洲最大的造纸产业集群之一——江门造纸产业集群基于工艺AI的数字化转型新模式。

传统造纸业面临的挑战

在大部分造纸工厂里,生产车间各种生产设备的操作都是由“老师傅”手把手教给新的操作工人,新手往往只能以“死记硬背”的方式先学会操作,再慢慢理解其中的原理,遇到突发情况时的处理措施也往往因人而异。

“老师傅”越来越稀缺。以一个30亿产值左右的造纸厂为例,如果是四班三倒,需要200个以上“老师傅”,企业亟须通过AI技术降低对“老师傅”的依赖。”博依特智能董事长兼CEO李继庚介绍。

和大多数造纸企业一样,维达纸业对纸张质量的检测都是采用离线抽检的形式,即每5万米的母卷生产完成后,只测量最后一米的质量信息;如果检测到质量问题,5万米的母卷也随之成为不合格品。这样的质检方法不仅严重落后于生产,还大幅增加了成本。

令造纸企业更为烦恼的是,在造纸过程中,碎浆磨浆、脱水干燥等环节会用到大量的蒸汽热能和电能,造纸业也就自然地成为“耗能大户”。

为此,维达纸业与博依特智能合作,开发出不同的工艺AI模型,如纸质质量预测模型,质量预测准确率可达97%;冷凝水分级循环利用模型、热风优化模型等,可以大幅提高蒸汽利用率。

将“老师傅”经验转化为数字资产

在王波看来,企业的数字化改造过程并非一蹴而就。“我们首先围绕最大的痛点,搭建能源管理平台,从某一个机台入手,到所有机台连接,再推广到整个工厂,每一次的投入都能看到回报,不至于让数字化过程推进失败。”她说。

通过工艺AI模型,对生产任务、不同时段电价、设备状态等关键变量数据进行最优组合计算,将工人的操作经验转化为数据模型,能用最省钱的模型监控生产,指导员工优化错峰操作。“加权电价降低了8%,一条生产线每年可节省电费10万元。”李继庚说。

再比如,通过对质检数据、浆板数据、磨浆数据、纸机运行参数进行数据建模,使用支持向量机(SVM)机器学习算法进行磨后纤维形态预测,同时使用模型进行纸张质量预测,再经过数据模型的计算得到每一米纸张生产过程的质量参数,能够实现纸张质量的实时在线全检,既能防止不合格纸张流入后续工艺,同时也能降低企业的经济损失。

基于一系列工艺AI的应用,可以传承“老师傅”经验,让“老师傅”工作更轻松,让“小师傅”更有成就感,满足稳定生产、优化生产的需求。

如今在维达纸业的工厂里,不仅硬件实现了自动化,连软件也“聪明”起来,工艺AI模型会实时推荐最佳生产方案。

数字化的转型升级带来的惊喜不止于此。“江门工厂的数字化能力,可以在北京、浙江等工厂复制。”王波说,数字化、智能化带来夜班无人化的解决方案,实现以人为本、安全生产。

截至目前,维达纸业各个基地已经上线了博依特云桥工业互联网平台的多个应用,整体生产效率提高了约10%,相当于增加了一个虚拟工厂的产能。

通过数字化带动产业集群发展

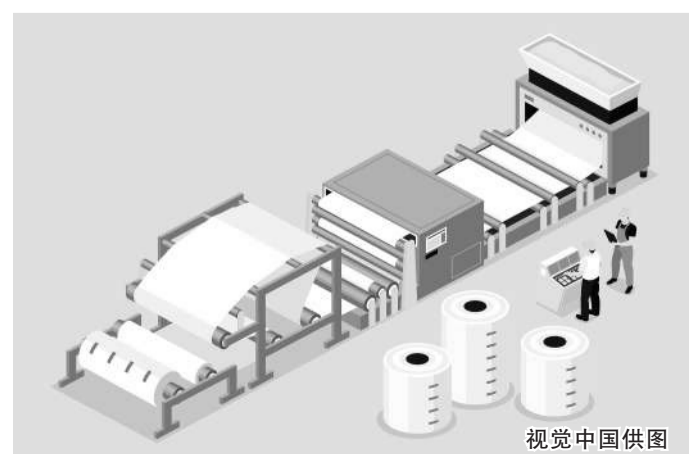
“流程制造业的数字化转型升级分成3个阶段:第一阶段是数字化,用来提升管理效率;第二阶段是通过智能化来解耦人和生产工具之间的关系;第三阶段是基于数字化和智能化的基础,改变整个产业上下游协同的供给方式,形成数字产业集群。”李继庚说,在江门市,博依特智能在数字产业集群中也进行了初步探索。

江门造纸产业集群,是华南地区、全国乃至全亚洲最大、技术最先进的造纸产业集群之一。2022年,江门市造纸及纸制品产业链实现产值376.89亿元,现有规模以上企业142家,包括维达纸业、亚太森博(广东)纸业有限公司、江门中顺纸业有限公司等一批产业链优质企业。

“江门造纸产业集群得到了江门市政府的大力支持。第一期试点项目里,以维达纸业为代表的链主企业站出来,带动它的上下游企业,一起通过数字化的技术完成企业内部的数字化、智能化建设,传统造纸企业面貌焕然一新。”李继庚说。

李继庚认为,建设数字产业集群,让中小企业借助集群势能、借助大企业的力量,和大企业一起完成数字化、智能化的转型升级,对于产业效率提升会有巨大帮助。

除了造纸行业外,博依特智能还服务于玻璃、食品、化工、陶瓷和水泥等传统流程制造业。“良好的自动化基础是流程制造业实现数字化和智能化的一大优势,遇上工业互联网的流程制造业还有巨大的数据价值释放空间。”李继庚表示。



视觉中国供图



123米风机叶片运抵福建省福州市平潭县指定海域。

新疆金风科技股份有限公司供图