

奋斗为本

恪守民机发展初心

编者按：

“新舟”作为国产民机的“代表作”，取证至今整整20年。20年间，航空工业民机人不断探索国产民机发展之路、不断改进和扩充“新舟”飞机谱系。在这一历程中，民机发展的路径越发清晰，2016年底，西飞民机顺势而生。近四年的时间，西飞民机秉承“以客户为中心，以奋斗者为本”的理念，在原有机型改进、新机型研发、公司管理体系构建等各个方面，开拓进取、不断创新，努力开创国产民机发展的全新局面。



客户服务中心调到集成交付中心，任“新舟”60/600项目生产经理。在经过几个月不断深入了解业务之后，他迎来了一次实战“考试”。2019年9月底，计划年底交付贝宁的飞机已经到总装厂。面对总装生产周期压缩一半，总装、试飞、喷漆总共不足3个月的紧迫时间，单磊投入了所有的精力。

长期的工作中，单磊养成了一个良好的习惯：越是紧张的工作，越要做好计划，越细越好。项目涉及外销，一定要按节点推进，把前期滞后的时间赶回来。仅依靠加班加点肯定不行，首先要合理调整计划。再三考虑和几次尝试修改计划后，单磊向大家说出自己的想法，建议采取工序穿插与并

行。将安装、调试、喷漆等工序，按照进展情况，先完成条件具备的工作。

看似简单的想法，在真正落实过程中，需要大量的准备与准确的信息收集。与之相关的大量工作，都与西飞息息相关。要做到时间节奏紧凑，就要掌握西飞喷漆厂房工作安排、关键部件进出库时间和流程等准确且详细的信息。为此，单磊骑着自行车，一个单位一个单位落实、一次次不断调整，最终拿出一份详细实施方案。这些为贝宁项目后来得以顺利推进奠定了坚实的基础。

清晰的思路、厚积薄发的积累，单磊与团队一起交了一份让人满意的答卷。

单磊业余爱好是打羽毛球，羽毛球赋予单磊的敏锐观察预判能力与快速反应能力，这些也被他同样带到了工作中。作为“新舟”60/600系列飞机型号团队生产经理，单磊总是活跃在生产一线，统筹协调生产管理。“新舟”60/600飞机零部件生产依托西飞，中间要协调各项物资和人员，在项目管理团队中，单磊“两手抓”，一方面

按照公司项目管理任务清单积极筹备，另一方面自己学习项目管理，积极策划，认真总结分析梳理生产管控“瓶颈”、针对潜在风险重点布局管控，建立现场生产问题表单传递和跟踪机制，组织实施生产过程风险预警机制和看板化管理，对各类保障计划层层落实，精细化管控配套缺项，带领项目团队戮力同心、携手攻坚。

在来集成交付中心之前，单磊在客户服务中心服务了9年，负责合同全程的跟踪执行的管理。这让他熟练掌握掌握了飞机合同签约整个管理流程，对客户需求和飞机从投产到交付，哪一环节容易“卡”、在哪里出现问题的频率高等都了然于心。在整个采访过程中，单磊没有看过一次材料，对所有问题都能娓娓道来。清晰的思路、全盘工作娴熟的业务能力让人叹服。

面对新冠肺炎疫情影响，他积极组织“新舟”60/600系列飞机复工复产，型号生产赶工，建立1110架机结构改装、1302架机总装生产和结构改装生产例会制度，稳步推进各项总装及改装工作，用有效组织和高效协同

将疫情影响进一步消除。

思路清晰、统筹全局的他总能提前筹划安排做好各项准备工作。面对持续改进的开年之战，轮胎改装改进项目直接影响外场运营支持的正常进行，在遭受疫情影响的当下，他内部协调设计、工艺指导改装生产，消除技术质量问题；外部协同中航飞机、成品供应商，在成品供应、起落架返修导管取样等工作环节中有效衔接，确保项目进展，为运行支持工作贡献力量。

采访间隙，单磊不停地接电话处理事宜，挂完电话总是一脸灿烂的笑，说着不好意思，采访也因他马上要参加的会议提前结束，他时时流露出的微笑，让人不由得有一种踏实的感觉。

单磊职业生涯中的每一次岗位变动，对他而言都是一次做好充分准备的提升，这些都离不开在工作20多年里始终坚持的用心与用情——因为这是他真正热爱的事业。

| 本报通讯员 席丹

初见单磊，是在羽毛球场，娴熟地挥动手中的球拍，在赛场挥洒汗水。相约去现场，到达总装厂房时，他热情站在总装厂房门口，满脸的微笑。

进入总装厂房，他如数家珍地给我们讲解现场停放的每一架飞机，“这是正在改装雷达罩的特种飞机，这是

今年新生产的增雨机”，讲解每一架飞机就像讲自己的孩子，流露出满眼的溺爱，“这架机我们今年9月份就要完成，这架我们……”一句接着一句略带着急切的介绍让我感受到了一个跟球场上不一样的、心里眼里都是飞机的单磊。

采访伊始，单磊给我们讲了一个故事。

时间追溯到去年的春天，单磊从

## 机器人平台助力欧美航空自动铺丝高效化发展

| 阴鹏艳

自动铺丝技术（AFP）以其铺放灵活性和更低的废料率拓宽了复合材料的应用范围，实现了复合材料结构的“低成本、高性能”制造。近年来，用于制造大型复杂复合材料构件的自动铺丝技术获得了快速发展并得以工业化应用，其装备形式也呈多样化发展。基于机器人平台的自动铺丝技术以其高效铺放复杂构件的优势，受到了航空制造领域的高度关注。

### 应用背景

复合材料在航空工业中用量的大幅提升离不开自动化制造技术的强力支撑，如纤维缠绕、自动铺带、自动铺丝等技术。其中，自动铺丝技术以其实时性与可控性的优势，逐渐成为大型复合材料复杂部件的典型制造技术。典型的自动铺丝设备主要由机床主体、纱架系统、铺丝头三部分组成，根据机床主体的不同可分为立式、卧式和龙门式。

但受装载铺丝头的运动平台限制，对于不规则曲面类构件，机床型铺设设备往往无法满足轨迹、姿态调整与参数控制等方面的要求，此外，机床型铺丝装备体积大，面对小型、小批量部件铺设需求时运行成本较高。相比之下，工业机器人手臂能够提高铺丝头在可控空间范围内的姿态调整能力，增加了铺放过程中的柔性，可以满足回转部件的铺丝成型，提高铺放生产效率，降低设备运行成本。另一方面，各大机器人厂商如KUKA、ABB、FANUC等公司可以提供产品化的成熟机器人及控制系统，搭建铺放系统时可以依赖机器人本身的控制方案，既可靠稳定，又相对省时经济。因此，搭载机器人平台的铺丝装备因具备明显优点而逐渐成为发展与应用热点。近年来，欧美各装备制造公司都针对搭载机器人平台的自动铺丝技术与生产模式展开了研究。

### 机器人自动铺丝的主要形式

根据平台主体与铺设模式的不同，机器人铺设可以分为单机机器人模块化铺设、多机器人协同铺设以及可移动机器人自动化铺设三种类型。

#### 1. 单机机器人模块化铺设

单机机器人铺设是目前应用最广且稳定高效的铺设形式。在进行铺放工作时，铺丝头通过末端法兰与机器人平台连接，可以为不同模具分别设计可拆装的铺丝头。这种模块化的铺放系统更具针对性，能更好地适应不同情况下的铺放需求。

法国Coriolis Composites公司是开发机器人自动铺丝设备的先行者，其研发的机器人式自动铺丝机功能强大，集成了预浸纱的储藏、输送、引导与切断等功能，铺丝头的运动功能通过一台KUKA或ABB机器人来实现。目前，Coriolis的新型铺丝头可以兼容铺放热固性、热塑性材料和碳纤维，只要更换相应的加热模块，就能够一头多用。

为了进一步打入大型结构件市场，Coriolis开发了新款C5自动铺丝机。C5自动铺丝机具备极高的铺丝效率、极低的废料产生率，是世界最先进、灵活的干纤维铺放系统之一，充分满足了了几何形态高度复杂的零部件的生产需要，保证了航空工业对精度和重复生产的要求。

马其顿Mikrosam公司研发的自动铺丝系统可以在平面、弯曲和圆柱面上加工热塑性材料，并实现原位固化。这种8轴的机器人AFP系统能够实现精确地实现纤维铺放、预浸料放置，为采用复合材料制备复杂3D零件等提供可能。此外，该系统

使用激光加热源，可实现精确的温度控制及热固性预浸带的自动双向铺放。近年来，Mikrosam也积极开发工艺集成化铺丝机器人装备，先后推出了创新的AFP/ATL与AFP&FW解决方案。AFP/ATL方案分别适用于热固性和热塑性预浸料，可以通过简单地更换铺放头，使设备在铺丝和铺带作业之间双向自如切换。

美国EI公司研制的机器人自动纤维铺放系统包括铺放导轨以及安装于其上的机器人，导轨上设有可安装AFP接头的接口。EI公司对高速AFP接头进行了一系列升级，使其自动化铺放速度达到传统AFP接头的2倍，生产的复合材料产品质量提升了近3倍。新的高速AFP接头还具有更高的加工精度，同时具备自动铺放过程实时监控的功能，支持更多样化、复杂、精密的复合材料零部件自动化生产。

#### 2. 多机器人协同铺设

随着对机器人相关交叉技术的深入研究，为满足实际生产中相对复杂的任务需求，可使用多个机器人相互协调工作，共同完成加工任务。多机器人方法意味着可以同时部署不同数量和宽度的丝束，从而提高制造效率和灵活性。

德国航空航天中心（DLR）首次测试了双工位生产法，两台机器人在具有重叠工作区域的轨道上同时铺设飞机机翼外壳纤维。数据表明，如果只采用一台机器人逐层铺设碳纤维，即使采用三班制工作也需要7天时间，延缓了新飞机的制造进程，而此项目首次测试即缩短了38%的生产时间，通过进一步优化程序以及固化工艺，将进一步有效缩短铺丝工作时间。

为开发高速率、大型结构的航空复合材料制造技术，DLR启动了GroFi项目，即多机器人AFP/ATL制造单元。在DLR构造的GroFi单元中，可以使用五个机器人同时在工件的任意部分工作，通过在带电轨道上移动免去了繁琐的布线。在GroFi模式下，机翼蒙皮制造单元包括一个垂直方向的机翼蒙皮工件，工件被线性轴和转盘包围，机器人单元在其上进行操作以放置胶带和丝束。每个机械手单元均包括AFP/ATL接头、多轴机械臂以及纱架。该系统的目标是生产下一代单通道商用飞机机翼。目前，项目仍处于攻克机器人单元协同编程障碍阶段，但其传达给商业机翼制造计划的潜在优势是显而易见的。

类似地，Mikrosam也提出了新型纤维铺放多机器人工作单元概念。

目前，双机器人铺设模式已经具备了投入生产应用的较为成熟的解决方案，多机器人铺设方法则仍需进一步开发与优化。

总的来说，多机器人铺设模式是倍速提高生产效率的有效方法，标志着航空复合材料制造朝着生产中的冗余性和鲁棒性迈出了巨大的一步。

#### 3. 可移动机器人自动化铺放

DLR在巴黎发布了一款极具创新性的可移动纤维铺放单元设备，该款移动单元在进行纤维自动铺放过程中可以自由移动，且纤维可直接铺放在模具中。该项目在JEC World 2019展出了样机，这一项目目前仍处于早期开发阶段，代号为Flappybot，意为灵活的自主生产铺设机器人。Flappybot源自GroFi项目，是一款三辊自动模块化AFP/ATL机器，与GroFi项目类似，DLR设想在工件上同时部署多个Flappybot，以制造大型商用飞机结构。

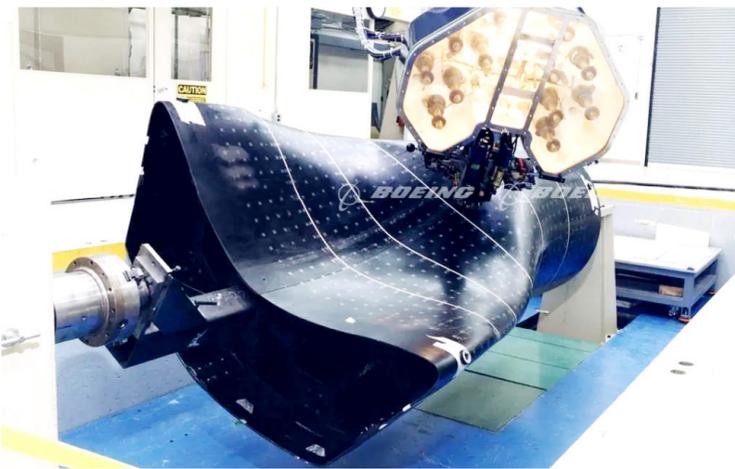
Flappybot集成了AFP/ATL系统的所有设备和功能，并将其封装在一个模块化的自驱动、可编程无线机器人中，该机器人通过在工件上移动将纤维和胶带放置在制造中的结构体上，该技术可以在现有的生产车间内使用。可移动机器人铺设方法创新地开辟了机器人自动铺丝的新模式，为未来大型商用飞机结构的高效灵活铺放带来无限可能。

#### 关键技术

一是高精度铺丝头硬/软件研发。铺丝头作为铺丝设备的核心结构，其精度直接决定了材料的铺设精度与质量。航空工业对构件精度要求极高，提升和优化铺设精度是自动铺丝技术发展的永恒话题。硬件方面可以通过优化铺丝头结构设计降低铺放的操作难度，从而提高铺放精度；软件控制方面，需要通过增加传感器等闭环反馈手段完善丝束张力、模具标定、环境温度湿度等工艺参数的控制，从而实现根据模具的变化实时调控压力精确控制铺放厚度。

二是铺丝头模块化、集成化研究。模块化可更换的铺丝头是简化装备结构、提高铺放效率的重要手段，目前已被多数机器人公司与航空制造公司所应用。集成化一方面体现在铺丝头的一头多用性，另一方面则是功能完整性，例如集成铺带、缠绕、缺陷检测、在线质检等功能，将上游或下游工序一体化不仅可以提高生产效率，也可以大大降低生产成本。

三是机器人平台轨迹规划与后处理。机器人平台的末端执行轨迹与定位精度会直接影响产品的成型精度。在现有定位的基础上，需要改进各关节运动控制算法，优化针对不同区域的铺设轨迹规划算法，实现高质高效铺放。



波音X-32飞机S型进气道也采用自动铺丝技术。

四是多机器人协同控制与管理。目前，如何精确控制多机器人的协作系统也成为机器人领域研究的热点问题之一，与之相关的调配管理与监控技术有待进一步研究与验证。

#### 航空制造中的自动铺丝机器人应用

各工业科技公司的自动铺丝机器人产品销量不断增加，基于工业机器人平台的自动铺丝装备在机翼、机身、整流罩等复合材料构件的铺设上已得到成功应用。

2015年1月，美国国家航空航天局兰利研究中心启用了EI公司开发的先进复合材料集成结构装配设备，如图所示，ISAAC机器人具有加载了16个碳纤维丝轴的可替换铺丝头，旨在为航空航天飞行器开发更轻、强度更高的复合材料结构和材料，用于航空研究任务部的先进复合材料项目和空天技术任务部的复合材料上级探索项目。

2019年6月，英国国家复合材料中心（NCC）斥资购入了Coriolis公司的新款C5自动铺丝机用于研发下一代机翼制造系统。Coriolis公司已在全球范围内安装了60多台机器人，这些机器人大多用于生产FAA和EASA认证的商用飞机，如空客A320、A350和A220（前庞巴迪C系列）。

2019年5月，美国Spirit System接收了EI公司最新研制的机器人自动纤维铺放系统，进一步巩固了其作为全球最大AFP技术应用厂商的优势地位。Spirit的研究和技术团队正在利用机器人AFP技术扩展可自动化制造的零部件类型，以摆脱零部件复杂程度和成本的限制。

对于多机器人铺设模式，空客A350旗舰机型上已经采用了DLR测试的双机器人新技术铺设机翼部件，使用碳纤维增强材料（CFK）完成了轻质机翼部件的铺设，生产效率得到显著提高。总之，基于机器人平台的自动铺放技术与装备在欧美都得到了良好地发展与应用，并积极向更高效的研发。随着研究的深入，自动铺丝机器人装备及系统会更加趋于稳定、成熟。

#### 趋势与展望

随着商用飞机与战斗机部件小型化、复杂曲面化发展，大型铺丝装备的适用性将逐渐降低，为机器人铺丝装备带来广阔的应用前景，并向着小型化、协作化、数字化的方向发展。

一是铺丝机器人趋于小型化、敏捷化。利用机器人作为小尺寸复合材料铺层装备的平台正在成为设备供应商的基本做法。在实现高精度与协同控制的技术基础上，将机器人小型化有利于提高平台运动的敏捷度，从而更高效地适应小批量、小尺寸的部件，同时也减少了场地与固定地基安装等成本，扩大了应用范围。

二是协作机器人走进自动铺丝车间。具有高安全性、高灵活性和高精度的协作机器人近年来得到了快速发展并成功运用于焊接、装配等领域。在飞机部件小型化的趋势下，利用成熟的协作机器人作为铺丝头平台成为可能。协作机器人可应用于多机器人铺设模式，在机器人进行铺设作业时，工艺人员可以安全地并行工作，这将进一步保障生产质量，提高铺放效率。

三是建成数字化智能铺放“未来工厂”。多机器人铺设模式与可移动铺设模式未来会广泛应用于生产车间，运用数字化手段可以使生产过程稳定可控，高效智能。例如结合实时传感和平台开发对铺丝过程进行仿真与反馈，实现虚实结合的高质量铺放；通过构建物联网网络对机器人系统进行精准控制管理与监测维护，提高装备与生产流程的智能化程度。

## 日本“飞行汽车”完成首飞



日本SkyDrive公司日前宣布，其研制的SD-03有人驾驶“飞行汽车”已于8月25日在丰田汽车公司试验场成功完成首飞。该公司称，SD-03在飞行过程的悬停高度为1~2米，悬停时间约4分钟。

SkyDrive公司成立至今不足两年，SD-03也是迄今世界上尺寸最小的全电动垂直起降飞行器。为保证飞行安全，该“飞行汽车”配备了8台电机，其起降空间大概相当于两个普通停车位。该公司认为，SD-03目前仅能飞行5~10分钟，如果可进一步延长至30分钟，则具备较好的商业应用和对外出口潜力。除日本外，美国、欧洲、土耳其等国家和地区也在积极推进全电垂直起降飞行器的研发工作，美国空军还为此启动了“敏捷至上”项目。（廖尚杰）

## 罗罗完成小型发动机核心机测试

罗罗公司LibertyWorks团队已完成小型发动机新型核心机的台架测试，并在不到一年的时间内成功执行了从设计到测试的快速原型开发计划。该核心机原型专为低成本、有限寿命的应用而设计。

研发团队采用创新方法降低零件成本，并利用叠层制造等新技术来减少零件数量；在采用非传统材料降低零件成本的同时仍能满足性能要求；通过全美国供应链及小型企业采购零件。小型发动机演示可以用于基准分析和模型工具，从而缩短设计时间。核心机在通过硬件测试后可用来演示未来技术，这些技术可以进一步降低成本、提高性能或提供新功能。LibertyWorks是一家位于美国印第安纳波利斯的罗罗先进技术和研究机构。LibertyWorks为国防部、NASA、DARPA和其他政府实体以及美国主要的飞机公司开发技术。（何鸣）

## 马萨诸塞大学发明注射成型3D技术

马萨诸塞大学研究人员在《添加剂制造》杂志发表文章称，该团队开发出一种新的3D注射成型打印技术，该技术结合了材料挤压和注塑成型两项技术，使打印速度大幅提升，注射打印比传统的3D打印技术快3倍左右，硬度、强度和应变失效性能分别提高了21%、47%和35%。

该项技术未来可能普遍应用于飞机和汽车零部件的生产制造。资料显示，全球3D打印机市场规模40亿美元左右，并处于持续上升阶段。（郭文涛）