

航空智能制造创新实践

聚焦装配质量效率提升，打造行业智能制造试点示范

智能制造是制造强国建设的主攻方向，是我国航空制造业创新驱动发展、工业转型升级的关键举措之一，也是提高我国航空制造业自主创新能力、促进航空产品制造长远发展的重要举措和迫切需求。全球航空产业链体系面临深度调整，未来新型航空产品的复杂性和成本呈指数增长，对靠资源投入提高交付能力和质量保证能力的制造模式形成极大挑战，高效率、低成本制造已成为未来航空产品发展的趋势。急需以智能制造为引领方向，调整优化传统生产组织模式，推进柔性化、敏捷化生产，加快提升以智能化生产为特征的生产制造能力，促进航空制造业数字化智能化转型升级。

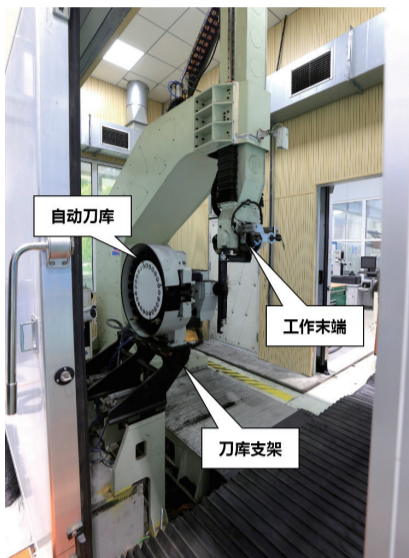


图1 智能制孔总窝系统。



图2 基于视觉识别的人工作业辅助系统。

航空工业制造院作为集科研生产于一体的航空制造技术科研院所，随着批产配套任务大幅增加，资源、效率、成本、质量等短板或瓶颈交叉叠加，不确定因素和应对难度进一步加大，急需尽快引入先进的数字化智能化理念，构建具有航空科研院所特色的数字化智能化转型模式，在激烈的市场竞争和严峻的挑战中赢得主动权。制造院选择批量大、技术难度高、制造工艺涵盖全的发动机复合材料构件生产全流程为试点，综合运用数字化、自动化和智能化技术，建设复合材料构件装配智能生产线，探索数字化智能化转型模式。

复合材料构件装配智能生产线重点围绕设备智能化升级、生产智能化管控和物料精准化配送三方面展开技术攻关，突破了设备数据感知与数字孪生、基于在线检测的加工过程实时调整与优化、面向工业环境的视觉识别、生产计划与物流配送动态匹配等一批关键技术，自主研发了软件系统和硬件设备，建设了多层级的“感知—分析—决策—执行”闭环智能控制系统，解决了航空产品复杂作业环境中模型难构建、信息难统一、数据难采集、

业务难决策等问题，解决了复合材料构件产品传统手工装配模式效率低、技能水平依赖度高、质量稳定性差、作业噪声与粉尘超标等问题，提升了装配的效率和精度，降低了生产成本，满足了型号精品工程的要求，客户满意度显著提升。

核心工艺+智能调控 实现瓶颈工序效率大幅提升

自主研发智能制孔总窝系统（如图1所示），以装配生产线制孔总窝自动化为基础，突破了产品自动压铆过程的机器人离线编程与控制技术，增强压铆过程的灵活性，使设备具备执行多种定制加工任务的能力，并配套了视觉定位系统，辅助测量孔位位置找正，缩短产品加工时间。同时，结合自动刀库、刀具管理系统软件和测量刀长的对刀仪，通过刀具几何参数进入控制系统实现刀具的智能化管控，使智能制孔总窝系统在自动换刀过程

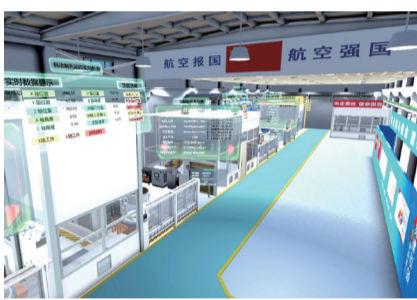


图3 设备—生产线多层级数字孪生（左右两图）。

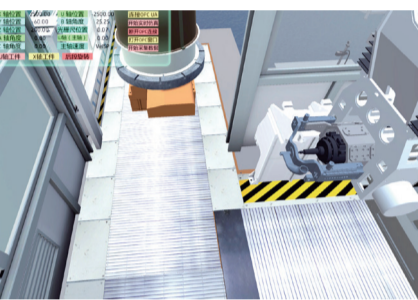
中，能够根据特定编号的刀具的信息自动调整加工参数，并对加工任务进行记录。

机器视觉+深度学习 实现智能辅助人机高效协同

在安装座涂胶工位有很多金属座形状和大小几乎一样，人工容易混淆，错配后果不堪设想。自主研发了基于机器视觉和深度学习的涂胶上件辅助系统（如图2所示），计算机视觉技术识别金属座的图号，将需要装配的位置投影到壳体表面，指导操作人员进行装配。在自动压铆工位，采用模拟仿真结合理论计算的方法，设计的图像识别和光学测距集成式传感系统，对压铆位置精确测量后，进行智能修正，动态补偿压铆进给，实现了孔位和钉头高度闭环智能控制。

相控阵扫描+图像识别，实现复合材料无损检测

在生产线最终的检测工位，需要对铆接后的复合材料构件材料分层和



纤维断裂等情况进行超声无损检测。将超声波扫描系统的超声探头由扫描缓慢的单头结构升级为相控阵式多通道探头，并开发了自动检测和识别软件，实现了多探头同时扫描的系统，显著缩短了单套产品检测。

数据采集+数字孪生 实现工艺过程的透明化管理

针对装配智能生产线内的自动化设备，进行了运动机构几何的数字化建模，利用自动化设备的执行程序——G代码的解析，实现虚拟环境下机床设备加工过程的动态模拟，验证参数一化建模的可达性和准确性。在此基础上，开发了人机交互界面，封装后的虚拟设备运行状态展示结果，自动生产 Web 端文件并集成到管控系统中，与物料、人员、进度等信息集成展示，构建设备—生产线多层级数字孪生系统（如图3所示），提高了生产管理透明度，也为工艺管理和业务管理决策提供了量化数据支持。

智能管控+自动配送，实现生产线全过程协同管控

自主开发面向装配生产线的智能管控系统，以智能排产为核心，以现场采集实时数据为驱动，实现对计划、资源、质量和现场执行的全面管理和控制。建设智能仓储系统，研发物流

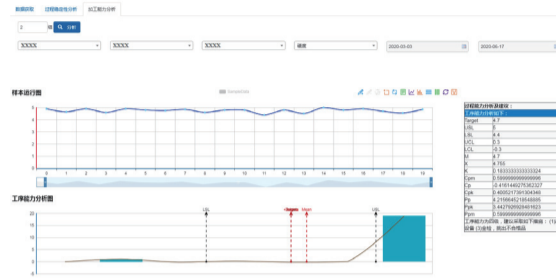


图4 智能管控系统。

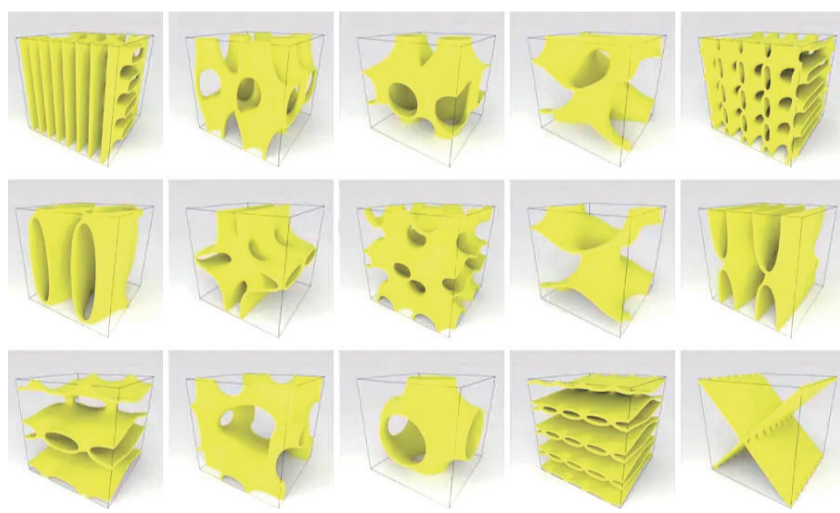
批自主可控的软硬件成果，技术成果已推广至航空、航天、兵器等行业的智能化车间/生产线，实现了技术成果的精确复制和推广，助力行业内外数字化转型升级。

（航空智能制造创新中心和航空工业制造院联合供稿）

麻省理工学院采用新方法 简化复杂材料的构造过程

借助新的、用户友好的界面，研究人员可以快速设计许多具有独特机械性能的细胞超材料结构。工程师们不断寻找具有新颖、理想的性能组合的材料。例如，超强轻质材料可用于使飞机和汽车更加节能，或者多孔且生物力学友好的材料可用于骨植入物。细胞超材料——由各种模式重复的单元或细胞组成的人造结构——可以帮助实现这些目标，但很难知道哪种细胞结构会产生所需的特性。即使

共同主要作者 Liane Makatura 说。当科学家开发细胞超材料时，通常首先选择一种用于描述其潜在设计的表示形式。此选择决定了可用于探索的形状集。例如，可能会选择一种使用许多互连梁来表示超材料的技术。然而，这阻止了探索基于其他元素的超材料，例如薄板或球体等 3D 结构。这些形状由不同的表示形式给出，但到目前为止，还没有一种统一的方法采用一种方法描述所有形状。



麻省理工学院和奥地利科学技术研究所的研究人员创建了一种技术，将许多不同的细胞超材料构建块纳入一个统一的基于图形的表示中。他们使用这种表示创建了一个用户友好的界面，工程师可以利用该界面快速轻松地构建超材料模型、编辑结构并模拟其属性。

人们关注的是由较小的构件（如互连梁或薄板）组成的结构，也有无数种可能的布置需要考虑。因此，工程师只能手动探索所有假设可能的细胞超材料中的一小部分。麻省理工学院和奥地利科学技术研究所的研究人员开发了一种计算技术，使用户可以更轻松地以任何较小形状的构建块快速设计超材料单元，然后评估所得超材料的特性。

他们的方法就像超材料的专用 CAD（计算机辅助设计）系统一样，允许工程师快速对非常复杂的超材料进行建模，并对可能需要数天时间才能开发的设计进行实验。用户友好的界面还使用户能够探索潜在超材料形状的整个空间，因为所有构建块都可以使用。

“我们提出了一种表示方法，可以涵盖工程师传统上感兴趣的所有不同形状。因为你可以通过相同的方式构建它们，这意味着你可以在它们之间更流畅地切换。”麻省理工学院电气工程和计算机科学研究生、该技术的论文

“通过提前选择特定的子空间，会限制你的探索并引入基于你的直觉的偏见。虽然这可能很有用，但直觉可能是不正确的，并且对于特定应用来说，其他一些形状可能也值得探索。”Makatura 说。

她和合作者退后一步，仔细研究了不同的超材料。他们发现构成整体结构的形状可以很容易地用低维形状来表示——梁可以简化为线，或者薄壳可以压缩为平坦的表面。

他们还注意到，细胞超材料通常具有对称性，因此只需要表示结构的一小部分。其余部分可以通过旋转和镜像最初的部分来构建。“通过结合这两个观察结果，我们得出了这样的想法：细胞超材料可以很好地表示为图形结构。”她说。

通过基于图形的表示，用户可以使用由顶点和边创建的构建块来构建超材料骨架。例如，要创建梁结构，需要在梁的每个端点放置一个顶点，并用一条线将它们连接起来。然后，用户使用该线上的函数来指定梁的厚

度，该厚度可以变化，以便梁的一部分比另一部分厚。

曲面的过程类似用户用顶点标记最重要的特征，然后选择一个求解器来推断曲面的其余部分。这些易于使用的求解器甚至允许用户快速构建高度复杂的超材料，称为三周期最小表面（TPMS）。这些结构非常强大，但开发它们的过程通常是艰巨的并且容易失败。

“通过我们的展示，您还可以开始组合这些形状。也许同时包含 TPMS 结构和梁结构的单元可以提供有趣的特性。但到目前为止，这些组合还没有得到任何程度的探索。”她说。

在该过程结束时，系统输出整个基于图形的过程，显示用户为达到最终结构而采取的每项操作：所有顶点、边、求解器、变换和加厚操作。

在用户界面中，设计人员可以在构建过程中的任何点预览当前结构，并直接预测某些属性，例如其刚度。然后，用户可以迭代地调整一些参数并再次评估，直到达到合适的设计。

研究人员使用他们的系统重新创建了跨越许多独特类别的超材料的结构。一旦他们设计好骨架，每个超材料结构只需几秒钟即可生成。

他们还创建了自动探索算法，为每个算法提供了一套规则，然后在他们的系统中将其放开。在一项测试中，算法在大约一小时内返回了 1000 多个潜在的基于骨架的结构。

此外，研究人员还对 10 名几乎没有超材料建模经验的人进行了一项用户研究。用户能够成功地对他们给出的所有六种结构进行建模，并且大多数人都认为程序图表示使过程变得更容易。

“我们的设计让人们更容易接触到各种结构。我们对用户生成 TPMS 的能力感到特别满意。即使对于专家来说，这些复杂的结构通常也很难生成。尽管如此，我们研究中的一种 TPMS 在所有六种结构中具有最低的平均建模时间，这令人惊讶且令人兴奋。”她说。

未来，研究人员希望通过结合更复杂的骨骼增厚程序来增强他们的技术，以便该系统可以模拟更广泛的形状。他们还继续探索自动生成算法的使用。

从长远来看，研究人员希望使用该系统进行逆向设计，其中指定所需的材料属性，然后使用算法来找到最佳的超材料结构。（航柯）

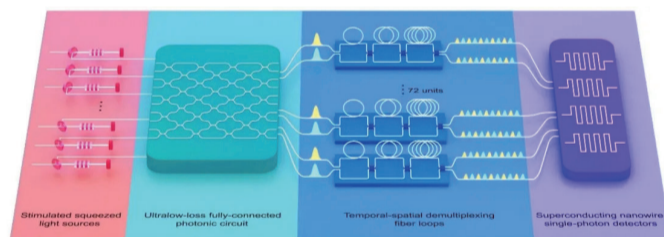
“九章三号”光量子计算原型机 研制成功 再度刷新世界纪录

近日，中国科学技术大学中国科学院量子信息与量子科技创新研究院潘建伟、陆朝阳、刘乃乐等组成的研究团队与中国科学院上海微系统与信息技术研究所、国家并行计算机工程技术研究中心合作，成功构建了 255 个光子的量子计算原型机“九章三号”，再度刷新了光量子信息的技术水平和量子计算优越性的世界纪录。

科研人员设计时空解复用光子探测新方法，构建高保真度的准光子数可分辨探测器，提升了光子操纵水平和量子计算复杂度。根据公开正式发表的最优经典精确采样算法，“九章三号”处理高斯玻色采样的速度比上一代“九章二号”提升一百万倍。“九章三号”在百万分之一秒时间内所处理的最高复杂度的样本，需要当前最强的超级计算机“前沿”花费超过二百年的时间。这一成果进一步巩固了我国在光量子计算领域的国际领先地位。

量子计算是后摩尔时代的一种新

的计算范式，它在原理上具有超快的并行计算能力，可望通过特定量子算法在一些具有重大社会和经济价值的问题方面相比经典计算机实现指数级别的加速。因而，研制量子计算机是当前世界科技前沿的最大挑战之一。



实验装置示意图。

为此，国际学术界制定了三步走的发展路线。其中，第一步是实现“量子计算优越性”，即通过对近百个量子比特的高精度量子调控，对特定问题的求解展现超级计算机无法比拟的算力。同时，在此过程中，发展出可扩展的量子调控技术，为具备容错能力的通用量子计算机的研制提供技术基础。

2020 年，中国科学技术大学团队成功构建 76 光子的“九章”光量

子计算原型机，首次在国际上实现光学体系的“量子计算优越性”，并克服了 Google 实验中量子优越性依赖于样本数量的漏洞。2021 年，中国科大团队进一步成功研制了 113 光子的可相位编程的“九章二号”和 56 比特的“祖冲之二号”量子计算原型机，使我国成为唯一在光学和超导两种技术路线都达到了“量子计算优越性”的国家。

通过一系列创新，中国科学院团队首次实现了对 255 个光子的操纵能力，极大地提升了光子计算的复杂度，处理高斯玻色采样的速度比“九章二号”提升了一百万倍。在构建“九章”系列量子计算原型机的基础上，研究团队还揭示了高斯玻色采样和图论之间的数学联系，完成对稠密子图两类具有实用价值的图论问题的求解，相比经典计算机精确模拟的速度快 1.8 亿倍。此外，又在国际上首次演示了无条件多光子量子精密测量优势。（央视）

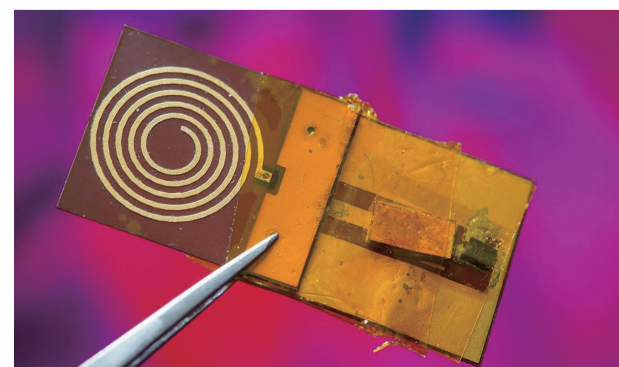
微型无线供电贴片可测量物体间作用力

在许多情况下，了解一个物体对另一个物体施加了多大的力非常重要。科研人员设计了一种小而薄的贴片来测量和传递这类数据，而不需要电线或电池。加州大学圣迭戈分校的科学家们正在开发这种名为 ForceSticker 的设备。它还可用于监测仓库中堆叠包裹的重量，确保人工膝关节不会伤害邻近的软骨，甚至为机器人提供触觉。

ForceSticker 的核心是一个电容器，大小与米粒差不多。它由夹在两条导电铜条之间的柔软聚合物片组成。当对贴片施加外力时，聚合物片会压缩，从而使两根铜条相互靠近。这样，电容器的电荷量就会增加。ForceSticker 的另一个主要部件是 RFID（射频识别）标签，它通

过手持式 RFID 阅读器发出的无线电信号获得临时供电。该标签利用集成天线将修改后的信号传回阅读器——该信号现在包含有关连接电容器当前电荷水平的信息。然后，定制软件会将这些数据转换成外力的测量值。

通过改变电容器所用聚合物的软硬度，可以制造出灵敏度很高或灵敏度较低的 ForceSticker，前者适用于测量较小的力，后者适用于测量较大



ForceSticker 贴在两个接触物体的界面上。

的力。在目前进行的测试中，灵敏度很高的贴片被用来监测模型膝关节的受力情况，而灵敏度较低的贴片则被用来监测放置在盒子中的各种大型物体的重量。

在这两种情况下，ForceStickers 在使用了 10000 多次力之后仍然有效。这些贴片的制造成本也相对较低，每张成本约为 2 美元，如果扩大生产规模，这一数字应该会大幅下降。此外，用户最终还可以用智能手机代替专用的 RFID 阅读器。项目首席科学家 Dinesh Bharadia 教授说：“人类天生就具有感知力的能力。为电子设备和医疗植入物提供这种力感应能力可能会改变许多行业的游戏规则。”

有关这项研究的论文将在墨西哥举行的 UbiComp 2023 会议上发表。（逸文）