民用航空制造技术2020年发展综述

阴鹏艳　刘亚威

2020年，航空制造技术在民机多个领域全面发展。数字工程方面，以数字孪生为代表的数字工程技术正不断推动民机产品与制造工艺设计向高精度建模仿真及可视化方向发展；复合材料构件方面，制造工艺与应用持续向自动化、大型化、承力部件发展，并针对热塑性复合材料制造工艺开展了大量研究与应用试验；增材制造方面，金属增材制造突破更大尺寸零件制造，发动机、超声速飞机等高温结构成功突破高温合金、钛合金增材制造应用，快速高效的增材制造工艺与设备不断涌现；数字化与智能制造方面，航空制造商积极建设集成优势技术的智能互联工厂，数字化和自动化在制造过程中的应用进一步深入，虚拟现实、机器人、物联网等技术不断为产品装配与全周期管理带来更先进的解决方案。

随着5G等新一代网络与通信技术的快速发展，欧洲多国积极探索面向工业4.0的先进网络部署与应用途径，为制造业的高可靠无线互联、增强现实和实时监控等带来无限可能。

数字工程有力支撑 航空产品研发、生产和服务

2020年11月，美国航空航天局（NASA）艾姆斯研究中心表示正在与其承包商洛马公司紧密合作，创建一个大型计算流体力学仿真数据库，以验证X-59飞机的超声速性能，并确保飞机的设计性能在预期的噪声范围内。该数据库将包括飞行员控制飞机的设置组合仿真，以及飞行过程中可能遇到的飞行条件仿真，为X-59试飞的飞行规划工具提供输入。艾姆斯研究中心团队的所有X-59仿真都是在NASA Pleiades超级计算机上完成的，仿真工具将帮助飞行员在飞行试验过程中确定最佳飞机飞行状态。艾姆斯研究中心还与兰利研究中心的团队合作，确保该项目使用的不同软件代码可预测X-59的近似噪声值。

2020年5月，NASA“技术转让计划”授予了M4工程公司开发的M4SS软件认证。该软件的核心算法已经被NASA的工程师在艾姆斯、阿姆斯特朗、格伦和兰利研究中心用于非常规飞机的建模和分析。M4SS内嵌了解决超声速客机的结构建模和重量预测难题的知识，简化了结构分析模型生成、尺寸和重量估计过程，可用于非常规飞机配置。M4SS可以生成由NASTRAN编写的有限元结构分析文件，其客户目前正在用该软件设计超声速商用运输机，以及可重复使用的运载火箭、亚声速非常规运载火箭、电动垂直起降城市空中机动车辆、无人机等无人驾驶飞行器和旋翼飞行器，其最突出的客户之一是优步公司，该公司正在使用M4SS设计城市空中出租车。

2020年6月，空客旗下德国最大的航空结构供应商Aerotec公司选择了宝捷公司的SOUL OLPS解决方案，作为其铆接系统离线编程和仿真的标准软件，新系统在首次使用时便可正常工作，降低了非质量成本。该系统通过使用数字孪生仿真进行模拟，使整个作业过程变得完全透明，消除了机器人与零件之间的冲突，使得在数控编程期间进行返工成为了过去。该软件的标准化使Aerotec公司可以利用多种协同效应，所有工厂都可以使用SOOL OLPS统一交流作业，灵活性大大提高。

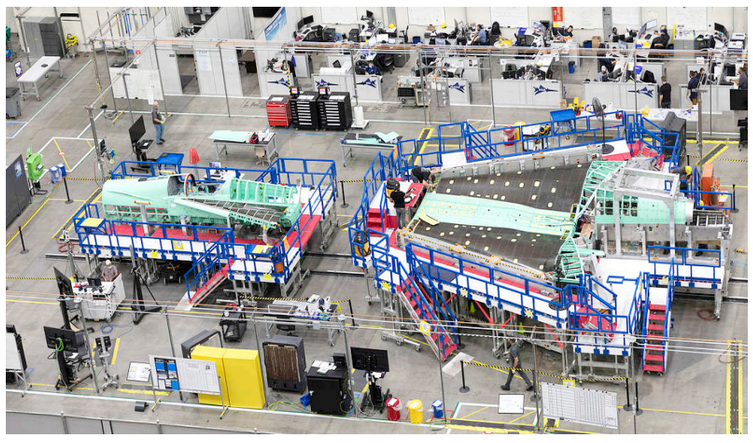
2020年5月，罗罗公司启动了其远程培训计划，全面讲述了其为“湾流”G650公务机研制的系列BR725发动机的构造、设计和操作。数字化技术使罗罗公司的“智慧发动机”愿景成为现实，为发动机的设计、测试和维护提供了新途径。同时，全新的沉浸式实时虚拟培训工具使客户通过互联网和虚拟现实（VR）设备就能远程参加培训，培训程序使学员沉浸在逼真图像、交互功能和听觉反馈增强环境中，可全面加深对发动机技术的理解和掌握，并通过身临其境地观看操作过程、步骤熟悉各自的任务，实现各种交互，在教练的监督指导下完成任务。

复合材料制造工艺与应用 向高精度、多领域拓展

2020年1月，波音777X成功完成了首次试飞，该型机大尺寸复合材料机翼的高效创新制造得益于电冲击公司高速自动纤维铺放系统。该系统将所有纤维束料都集成在模块化铺丝头上，取消了传统AFP设备上专设的纤维轴架辅助装置。同时，铺丝头与控制平台分离并可模块化拆卸更换，在满足高铺放生产率前提下可以适应不同应用对象的铺放成形。

2020年5月，自动纤维铺放专家科里奥利复合材料公司展示了与法国德图公司合作开发的基于自动化检测和工业视觉技术的自动纤维铺放在线检测技术。通过在自动铺放机的铺丝头中集成先进传感器，该解决方案允许在连续生产复杂形状零件期间进行100%的检查，并且可以检测所有标准缺陷，包括缝隙、重叠、丝束扭曲和绒毛等。该系统易于配置，可用于多种复合材料，包括碳纤维增强的热固性材料、热塑性材料以及陶瓷材料。与当前方法相比，可以将生产率提高20%~30%。

2020年9月，由法国ESTIA复材公司发起的欧洲公司联盟正在联合开发用于全尺寸热塑性飞机后机身及水平安定面验证件的制造解决方案，这项为期2.5年的“框架”项目侧重于开发概念以及后机身和尾翼优化技术，通过研究刚性、复杂、双弯曲的纤维增强热塑性塑料结构的制造技术来支持“洁净天空”2计划。该项目将开发一种用于自动纤维铺放的内含氙气加热设备的光学——热学仿真模型，可以实现蒙皮的快速分层；项目还将提供一种自加热模具解决方案，能够一次性实现蒙皮和加强筋的整体固化。



X-59静音超声速飞机

2020年3月，美国“湾流”G700公务机配备了由大合集团制造的翼梢小翼。这种翼梢小翼由复合材料——金属杂化部件制造，由大合公司的热塑性复合材料制造工厂生产。10月，大合公司与英国威格斯公司合作生产了176层层压结构飞机壁板，厚度为32毫米，达到了过去无法实现的厚度。双方使用基于大合公司推出的热塑性复合材料和自动纤维铺放技术，与金属相比，该材料的比强度和比刚度高5倍，耐疲劳性高4倍，耐腐蚀性、加工性和隔热性也得到了改善。

2020年6月，德国弗劳恩霍夫生产技术研究所与研究合作伙伴德国亚琛公司开发出用于商用增强现实眼镜的软件，该软件可以将产品的正确沉积数据显示为模具上的虚拟数字模型，与基于激光的辅助系统提供的纤维层位置和方向的信息相比，使用增强现实软件可以使材料的位置和精确对准状态直接显示在设备上，并通过分步引导指导工人完成预成型过程。

增材制造技术助力 快速、低成本制造与维护

2020年9月，通用电气宣布其民航发动机GE9X经过将近5000小时和8000个循环的测试后取得FAA适航认证。GE9X作为一款巨大的高旁通比涡扇发动机，拥有7类共304个3D打印的零件，包括燃油喷嘴、T25传感器外壳、热交换器、粒子分离器、5级低压涡轮叶片、6级低压涡轮叶片、燃烧室混合器。其中，热交换器和粒子分离器通过3D打印实现了一体化制造。这是GE首次将多种材料和增材制造工艺投入到单一航空发动机的生产中，并基于此建立了增材制造工业化航空供应链。采用粉末床电子束增材工艺制造的钛——铝合金相比传统的镍基合金轻50%左右，具有优异的强度重量比，使整个低压涡轮机的重量减少20%，同时将使GE9X提高了10%的推力。

2020年10月，Boom超声速公司推出首架自主研发的超声速喷气机XB-1演示验证机，XB-1在发动机等高温、复杂结构部件中成功运用增材制造技术，实现了对钛合金材料的自由设计制造和质量控制。来自VELO 3D公司的蓝宝石系统采用了“智能融合”技术，利用粉末床激光熔融工艺烧结金属粉末，并凭借独特的“无支撑”技术免除了大量支撑结构。系统还集成了前处理软件和质量控制软件，满足了生产过程对效率、质量一致性以及加工稳定性的需求。此外，Boom公司还与Stratasys公司建立合作，通过其F900机床与飞机内饰解决方案（AIS）软件包为XB-1创建数百个3D打印零件，AIS软件包旨在帮助改善零件机械性能和可重复生产性，这些零件不仅直接装配到XB-1上，还用于工具、样机和测试台等。

2020年10月，欧洲“洁净天空”计划AddMan项目利用增材制造技术开发出一种比传统制造方法重量轻得多的机身部件。项目团队使用了电子束熔化和选区激光熔化两种工艺，设计并制造了一个钛制的载荷提升装置货舱门，将该部件的重量降低了23%~29%。此外，研究团队采用喷丸处理和激光抛光等表面改进技术改善了试验件的疲劳性能。

2020年8月，金属增材制造公司Optomec透露其已经使用金属增材制造技术翻新和维修了超过1000万个涡轮叶片，包括修复涡轮叶片尖端、密封和磨损表面、压气机叶片、导流罩和其他重要部件。该公司基于定向能沉积工艺的激光熔覆技术被业内广泛采用，其制造系统包含自适应控制软件、用于先进冶金的受控惰性气体处理、总包维修工艺和自动化解决方案，已获得15个国家/地区的航空维修运营批准。

数字化智能生产与装配技术 不断创新

2020年6月，空客公司宣布其位于汉堡的新制造铣削中心（MMC）全面投入运营。该中心可容纳从铣削到表面保护、所有翼角配件的生产组装以及特殊部件的生产流程，将提高空客A320系列的生产率。在按需生产的数据传输方面，MMC已实现全数字化，可以交互并可视化工作，两个采用3D扫描仪的机器人辅助测量单元使过去由人工执行的质量检查实现自动化。此外，MMC还承担了翼角配件系列的特殊铣削工艺，并支持应对特许安排的“特快产线”。MMC正致力于学习如何从系统生成的数据中得出正确的结论，以支撑在数控程序编制中使用人工智能等先进技术，并做出正确的决策。

2020年12月，正在洛马臭鼬工厂中进行组装的X-59静音超声速飞机达到了重要的装配节点，技术人员已经完成了作为飞机油箱的机翼内部的封闭工作，具备了将飞机机身和尾翼等其他关键部件组装在一起的条件。在将复合材料机翼表面加工成精确的形状并将其连接到机翼内部翼梁上的过程中，Mongoose和COBRA机器人系统发挥了巨大作用。Mongoose是用于铺设复杂几何形状的复合材料机翼蒙皮的商用工具，并在铺层移动时使用紫外线实现原位粘合；COBRA则可以在机翼表面移动过程中自动精准制孔，平均仅需约20秒即可完成每个孔的创建。

2020年12月，空客汉堡联合弗劳恩霍夫制造技术与先进材料研究所公司开发了一种自动化、高精度的预装配定位和末端钻孔执行器，并已进行大规模原型验证。该末端执行器可在制造飞机机身时自动在CFRP整体框架上预先装配加强筋元件（夹板），使用防滑钉定位并进行钻孔。此外，紧凑的末端执行器可以由标准工业机器人拾取，这可以在保持质量的同时，提高生产力并降低成本。

先进网络与通信技术有望加速 制造业迈向数字互联时代

2020年3月，英国政府宣布启动5G——Encode项目，以国家复合材料中心部署一个专用5G网络。项目将研究三个工业5G事例，以提高复合材料设计和制造的生产率和效率。项目还将研究在工业环境中交付5G的最具成本效益的方法，以及制造业专用移动网络的新业务模型。

2020年11月，英国梅蒂斯航宇公司宣布已与无线宽带联盟成功合作完成了WiFi 6全球首次工业试验。梅蒂斯航宇生产工厂中环境复杂，高温、噪声、粉尘微粒、移动的重型机械以及熔炉、压力机等都对无线电信号和电缆解决方案带来干扰。此次试验内容主要包括4K视频流、大尺寸文件传输、消息传输和语音/视频通信的应用程序，以及传感器和混合现实测试。

2020年11月，德国弗劳恩霍夫生产技术研究所及其研究合作伙伴德国边缘云公司研究了工业开放测试环境——弗劳恩霍夫边缘云系统，该系统最终将集成到整个弗劳恩霍夫协会的通用研究架构中，使其70多个成员及其国际合作伙伴可以共享计算资源和过程数据。边缘云系统可以将云技术的优势与公司自身网络的数据安全性相结合，从而更方便地监测机器和操作，并将智能传感器技术和机器学习应用程序等工具连接到公司网络。

2020年10月，VeriTX公司提出建立基于Algorand区块链技术的飞机零部件数字供应链计划。VeriTX公司的数字市场为国防部和商业航空公司客户节省了大量制造飞机零部件的时间和资金。预计到2025年，数字化飞机零部件的市场规模将达到31亿美元。该平台建立在Algorand的公共权益证明区块链上，可以验证零件的来源和真实性，使得在不可变的分布式分类帐中跟踪零件从订购到交付的优势得以体现。

Talyn Air公司开发 新型两级电动垂直起降飞机

日前，总部设在洛杉矶的Talyn Air公司创始人Jamie Gull和首席技术官Evan Mucasey表示，计划研发一种两级电动垂直起降飞机，可用于支线货运和客运飞行，或可执行军事任务。两人曾是SpaceX公司“猎鹰9号”火箭项目的工程师，具有丰富的经验和技术背景，目前已筹集150万美元的资金。

Jamie Gull表示，新型垂直起降飞机在某些方面类似于两级“猎鹰9号”火箭，后者在将第二级和有效载荷发射到大气层高空后，助推器级着陆返回地球。新型垂直起降飞机将拥有独立的两级飞行器，包括垂直起降飞行器和巡航飞行器，用于起飞和着陆。

新型垂直起降飞机的两级飞行器将共同垂直起飞，过渡到前飞后，两个飞行器分开，垂直起降部分返回起飞场；然后，飞机开启远程飞行模式，并在目的地与另一个垂直起降飞行器进行空中对接，过渡到垂直飞行后，完成着陆。

该型电动飞机非常高效，符合空气动力学，且质量更低，航程更远。Talyn Air公司表示，新型垂直起降概念机的航程应该是同类飞行器的3倍，约达563千米，预计能以330千米/时运载454千克货物。最初，Talyn Air公司计划将其两级垂直起降飞机用作商业货运。该机的另一个主要优势就是无需跑道。此外，由于不必携带垂直起降旋翼，因此新型垂直起降飞机的阻力和重量也更小。

Talyn Air公司已与美国海军和美国空军各签订一份小型企业创新研究（SBIR）合同，以进一步开发其技术并生产技术验证机，将为现有的固定翼平台增加垂直起降能力。Talyn Air公司与美国海军签订的第一阶段SBIR合同将在约一个月后结束，其开发的小尺寸原型机已成功进行6个月的飞行测试。与美国空军签订的第二阶段SBIR合同是美国空军“敏捷至上”电动垂直起降项目的一部分，计划在2022年夏季结束。

（彩林）

欧盟推进城市空中交通 无人化项目进程

为进一步推进欧盟天空一体化空中交通管理研究（SESAR）计划发展，有序推进城市空中交通相关工作，SESAR下属大型示范项目Uspace4UAM将以联盟方式，重点围绕开发/部署过程中的规范标准等核心问题开展专项攻关/突破。

Uspace4UAM项目联盟由霍尼韦尔公司牵头，包含捷克空中导航服务组织（ANS）、无人交通管理（UIM）技术提供商Altitude Angel公司、Austro Control公司、CATEC公司、CRIDA公司、DLR公司、波兰DroneHub公司、西班牙航空服务公司ENAIRE、德国空中出租车初创公司Lilium、西班牙TECNALIA研究院、捷克无人机公司UpVision、英国垂直起降空中出租车公司Vertical Aerospace等。Uspace4UAM项目将由欧盟“地平线2020”框架计划资助。

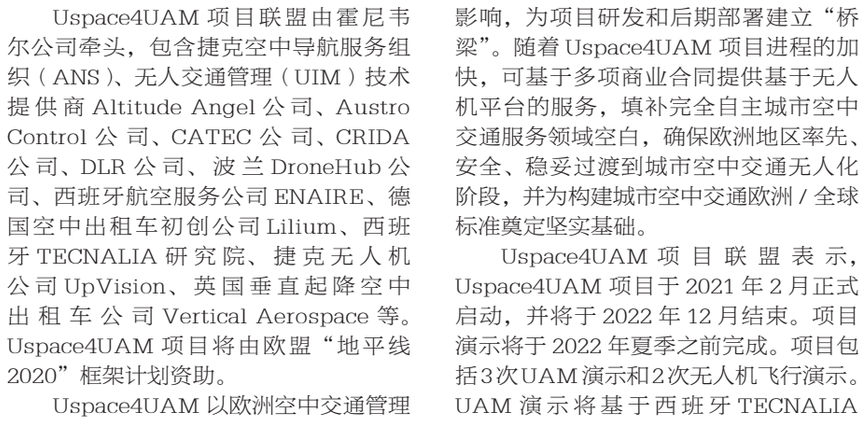
Uspace4UAM以欧洲空中交通管理系统运行概念（CORUS）项目成果为基础，与CORUS-XUAM新型项目协同运行。Uspace4UAM项目重点研究城市空中交通管理安全案例和系统要求，研究相关法规/标准建立，确保各平台在城市空中交通网络中安全/可持续运行。项目将会进行一系列明确定义的多国演示，通过多种关键案例推动整个欧洲开展多种UAM服务。

Uspace4UAM项目能够探索实现城市空中交通领域创新的关键要点，使项目早期参与方发现项目的价值和市场影响，为项目研发和后期部署建立“桥梁”。随着Uspace4UAM项目进程的加快，可基于多项商业合同提供基于无人机平台的服务，填补完全自主城市空中交通服务领域空白，确保欧洲地区率先、安全、稳妥过渡到城市空中交通无人化阶段，并为构建城市空中交通欧洲/全球标准奠定坚实基础。

Uspace4UAM项目联盟表示，Uspace4UAM项目于2021年2月正式启动，并将于2022年12月结束。项目演示将于2022年夏季之前完成。项目包括3次UAM演示和2次无人机飞行演示。UAM演示将基于西班牙TECNALIA平台/英国Vertical平台进行；模拟飞行演示将基于霍尼韦尔UAM仿真器进行。无人机飞行演示将由捷克共和国UpVision、波兰Dronehub公司负责开展。

（石峰）

Volocopter公司 发布城市空运路线图



近日，Volocopter公司发布了名为《可扩展城市空运路线图》的白皮书，概述了构建城市空运生态所需的条件。

该公司是唯一一家获欧洲航空安全局（EASA）设计组织批准书的城市空运飞行器制造商，计划在未来2~3年内启动商业运营，兼顾服务运营和行业生态建设。2019年，该公司发布了城市空运发展白皮书1.0版本。

路线图针对电动垂直起降（eVTOL）飞行器行业面临的挑战，提出了合作构建生态系统的解决方案，内容包括城市空运的定义、当前发展情况，提出了该公司在新加坡、巴黎等城市推出城市空运服务的可扩展业务模式，要点如下：

预计到2035年，城市空运行业潜在市场规模可达2410亿欧元。约1410亿欧元市场为客运（如VoloCity飞行器提供的空中出租车服务），其余部分为物流型货运服务。

强有力的伙伴关系和生态系统战略将在进入电动出租车市场方面发挥关键作用。市场是用户导向的，需要首先考虑安全、基础设施、飞机设计、运营、交通体系集成以及用户接受度。

Volocopter在适航审定方面同时支持EASA提出的小型载人垂直起降飞行器适航审定特殊条件、美国联邦航空局以及新加坡民航局的要求。

数字化和自动飞行技术有助于降低服务价格。Volocopter在开展相关研究，推动飞行器自主飞行和数字化连接。

（穆作栋）