

机器人技术在飞机发动机维修领域的应用

Robotic Technologies for MRO

■ 成磊

在机体维修领域，机器人可以替代维修人员在危险环境中作业，提供更快更准的检查结果；在发动机维修领域亦是如此，机器人不仅可用于发动机部件的检查，还可以进行部件修理，减少发动机下发。

机器人是一种半自主或全自主工作的机器，集现代制造技术、新型材料技术和信息控制技术为一体，是智能制造的典型代表产品之一。机器人包括在制造环境下应用的工业机器人和非制造环境下应用的服务机器人两大类。其中，服务机器人根据应用环境不同，又分为应用于家庭或直接服务于人的个人/家用服务机器人和应用于特殊环境的专业服务机器人。在飞机发动机维修领域应用的机器人可以看作是专业服务型机器人。

尽管人们对机器人的应用充满想象，但现实中的机器人还是与期望值有较大的差距。一方面，机器人融合了多个学科体系，需要整合软件、硬件等方面的不同知识，需要较大规模的研发团队和较长的研发周期，进入市场的时间会更长；另一方面，目前的工业机器人大多在结构化的环境中工作，服务机器人也只能完成一些简单的任务，而特种机器人还要依靠遥控来完成特定的工作。

受飞机发动机维修的特殊性的影响，机器人技术的应用相对滞后。近年来，随着数字化技术和人工智能技术的发展，机器人技术在航空维修领域的应用崭露头角，但距离大规模的



图1 Invert爬壁机器人

应用还需一段时间。以下介绍一些机器人在航空维修领域应用的实例。

飞机机体检测修理机器人 Invert爬壁机器人

2016年，新西兰航空公司与基督城的Invert机器人公司合作，采用安装了摄像头的爬壁机器人(见图1)进行飞机机体的检查。将机器人部署在机体表面，技术人员用远程控制设备检查那些不易被肉眼发现的损伤，并实时传回高分辨率的图像。

瑞航技术公司也采用Invert机器人公司的爬壁机器人进行飞机的维修检查。Invert机器人通过吸附装置

附着在飞机上，用高分辨率的摄像头拍摄图像并传送到地面，由维修人员进行分析，评判是否需要修理。这些图像记录下了飞机当前的状态，可在以后用于飞机状态的对比。Invert机器人可以通过超声波和热成像测试技术来提升能力，这种自动化测试技术可将飞机的检查时间从几小时缩短至几分钟。瑞航技术公司计划在2018年第2季度将机器人检查逐步应用到基地维修和航线维护，主要进行飞机机体、机翼、操纵面和稳定器的检查。

中新红科的航空检测机器人

今年9月在成都召开的2018(第



图2 中新红科的检测机器人

九届)民用飞机工业国际论坛上,中新红科科技(武汉)有限公司(中新红科)展示了公司的航空检测机器人(见图2)。中新红科于2016年2月成立,据公司董事长赵伟介绍,其产品的技术原理是:给被检测物施加热激励,利用被检测物的不连续性缺陷对热传导性能的影响,使得被检测物表面温度不一致,即机体表面的局部区域产生温度梯度,导致物体表面红外辐射能力发生差异,借助红外热成像仪探测被检物的辐射分布,获得在特定时间内温度变化的数据,再通过红外热成像系统算法,实时呈现出材料内部结构和可能存在的缺陷或损伤。

汉莎技术的复合材料修理机器人

复合材料应用的增加,给机体维修带来新的挑战。传统的复合材料的修理是手工进行的,修理时间长、效率低。自动化的修理过程因为采取了更加严格的检查和修理程序,可提高修理质量、缩短修理时间,是未来主要的发展方向。

汉莎技术公司通过复合材料适应检查和修理(CAIRE)计划,研发了一款复合材料斜接修理机器人,以改进纤维增强复合材料(FRC)结构的修理。机器人通过专门开发的软件扫描

和诊断受损部位,计算出斜接面的形状和切割路径并将受损材料切割下来。技术人员将修复层切割成合适的尺寸并将其插入机器人创建的三维斜接面,进行黏合和固化。

在没有任何帮助的情况下,维修人员可以将CAIRE机器人(见图3)通过定位装置固位在机体表面的任何位置。目前,该机器人通过了在单个部件或者整架飞机上的所有测试,可以吸附在关键的FRC上完成修理工作。首个CAIRE机器人系统计划于2018年秋季部署在汉莎技

术公司的飞机相关部件(ARC)修理部进行结构件修理。

发动机检测修理机器人 汉莎技术的AutoInspect和AutoRep机器人

自动化及机器人的应用在汉莎技术公司的发动机修理中起到日益重要的作用,并被应用于从自动化的检查,到尺寸测量,再到修理的整个维修过程中。

汉莎技术公司在2015年完成了发动机部件的自动化检查(AutoInspect)机器人研究,并在2016年完成了发动机部件的自动化修理(AutoRep)机器人研究。在AutoInspect项目中,汉莎技术公司成功地将多个检查步骤集成为一个工艺过程中,且所有的测量结果都可以复现。而在AutoRep项目中,汉莎技术公司通过与汉堡工业大学的飞机制造技术研究所(IFPT)和弗劳恩霍夫激光技术研究所(ILT)的密切合作,开发了用于铣削和焊接的机器人。



图3 汉莎技术公司的CAIRE机器人

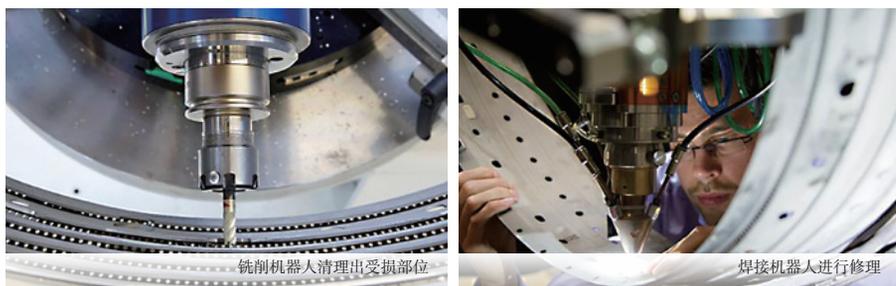


图4 汉莎技术公司开发的自动检测和修理机器人



图5 蛇形臂机器人进行激光切割

先对部件的损伤和变形进行 AutoInspect 自动检测，通过机器人控制的光学计量设备进行数字记录。受损部位的数据在检测过程中被自动记录，先发送给铣削机器人进行清理，再发送给焊接机器人进行补丁修理（见图4）。除了打补丁，AutoRep 也可以自动修复裂纹，这意味着在焊接之前不再需要专门铣削裂纹。AutoRep 最初是用于修理燃烧室部件；然后会用于修理复杂几何形状的旋转对称部件，如机匣；之后会用于修理非旋转对称部件，如风扇叶片等。

通过实施 AutoRep，汉莎技术公司成功地将机器人和维修人员整合到修理过程中。通过使用机器人，维修人员从单调的日常工作中解放出来，专注于需要高水准的人工技

能、创造力和灵活性的领域。自动化自适应工艺链的成功开发，使得部件修理的时间变短，生产效率得以提高，维修质量也得到进一步的改进。

OC 机器人公司的蛇形臂机器人

OC 机器人公司成立于1997年，总部位于英国布里斯托尔，主要从事蛇形臂机器人（见图5）的开发。该公司的蛇形臂机器人的机械臂长度可以超过3m、累计弯曲可以达到180°以上。这种机器人适用于狭窄的空间，在配备合适的工具后，可开展检查、紧固、清洗及其他一些作业任务。蛇形臂机器人的电机、作动系统和控制部件在外面，只有蛇形机械臂进入狭窄和危险的环境中工作。机器人的蛇形臂中间是空

心的，可以装入电缆、软管和其他设备。蛇形臂机器人可以根据要完成的任务进行定制，主要用于受限的和难以到达的区域。

2017年6月，GE航空宣布收购OC机器人公司，目的是为了提升其服务能力，包括发动机部件修理能力的开发和提高在翼支援团队的发动机检查和修理效率。

罗罗公司的机器人项目

在今年2月举行的新加坡航展上，罗罗公司发布了公司的“智能发动机愿景”（IntelligentEngine），这一愿景受一系列技术，特别是数字技术的驱动，其中也包括机器人技术。在今年7月举行的英国范堡罗航展上，罗罗公司与诺丁汉大学和哈佛大学一起，探讨和展示了未来发动机维修的革命性技术并展示了4个机器人项目。

SWARM“蚁群”机器人是一种协作型的微型机器人，每个机器人（见图6）直径约10mm，通过蛇形臂机器人送达发动机内部，然后自己爬行到人工难以到达的区域进行检查。这些机器人自带小型摄像头，能将所拍摄的视频实时传送给操作人员，无须下发即可快速完成发动机的目视检查。该项目是罗罗公司、哈佛大学和诺丁汉大学之间的合作



图6 “蚁群”机器人

项目。

INSPECT“检查”机器人是一个嵌入到发动机内的“潜望镜”网络，发动机利用这些“潜望镜”相机进行自我检查，发现并报告维修需求。这些铅笔大小的机器人具有热防护能力，不受发动机内部极高温度的影响。作为发动机健康监测系统的一部分，它们拍摄的视频数据与现有发动机健康管理系产生的数百万个数据一起使用。这个项目由罗罗公司、制造压力传感器的Oxsensis公司、光电专家BJR系统公司、电子工程咨询Roke Manor公司和诺丁汉大学共同完成。

远程修复机器人是一种由罗罗公司和诺丁汉大学的团队共同合作开发的。在工程实践中，常常伴随着复杂的修理任务，例如，用激光修复损坏的压气机叶片。通过这类机器人，可以由当地的工作团队完成工具的安装，然后将控制权交由罗罗公司远程控制中心的发动机专家来执行修理任务，大大减少了修理所需的时间。

蛇形臂机器人是通过一对蛇形

臂，灵活地游走在结构复杂的发动机内部，对一些受损的热障涂层进行喷涂修复。该项目由罗罗、诺丁汉大学和Metallisation公司合作开发。

罗罗公司的这些机器人项目处于不同的发展阶段，比如，远程修复机器人已进入测试阶段，几年之内即可投入使用，而“蚁群”机器人还需要很长的时间才能成为现实。

罗罗公司市场营销高级副总裁Richard Goodhead表示：“我们在机器人领域取得的进步是我们将智能发动机愿景变为现实的一个很好例子，通过探索如何利用数字和机器人领域的技术发展，将确保罗罗继续引领服务创新，为客户提供最佳价值。”

协作机器人

专家称，现阶段工业机器人乃至服务机器人发展不理想的原因之一，是因为机器人没有与人很好地融合在一起。机器人下一阶段发展的重点是实现人机共融的模式。人机共融机器人，也称作“协作机器人”(Cobot)。Cobot的目的是协助人

类工作，通过一些应用软件使Cobot的编程变得容易，其周身的传感器和控制软件可以防止机器人带来的意外伤害。

丹麦的优傲机器人公司(Universal Robots)的产品便属于Cobot机器人的范畴。该公司成立于2005年，并于2011年开始进入中国市场。最近，优傲机器人在航空航天部件制造商Tool Gauge进行了UR5协作机器人的验证。优傲机器人公司表示，UR5机器人与传统的工业机器人不同。工业机器人的质量通常在1t以上，需要几周或者是几个月去编程，还需要用螺栓固定，才只能完成一项任务。UR5的首个任务的编程平均只需半天，也不需要专门的机器人编程经验，在不改变生产布局的情况下，可以部署完成多项任务。UR5可以安装在一个可移动的小车上，或者自动导引车辆上，完成多种任务。

除了UR5，优傲机器人公司还制造了UR3和UR10。前者搭载较轻的载荷，可达距离较近；后者在三款机器人当中可搭载的载荷最大，可达距离最远。飞机工具公司(Aircraft Tooling)利用UR10开展高速氧燃料(HVOF)和等离子喷涂的修复任务(见图7)，可以改善或恢复部件的表面特性或尺寸并提高耐磨性。

结束语

飞机和发动机的维修是一种劳动密集型的生产活动，这种工作模式可能还要持续很长一段时间。随着现代机器人技术的发展和运用，可以有效地提高飞机和发动机的维修效率和安全性。但机器人技术的应用是否会为航空维修这一特殊领域带来更多的收益，还有待进一步的观察。 **航空动力**



图7 可进行自动热喷涂修理任务的UR10