

自动化生产

CH-53K 直升机复合材料 柔性梁的自动化生产

Accudyne 公司通过实现柔性梁构件复杂手工铺层工艺的步进式自动化，让生产速度倍增并消除了铺层错误。

文 | GINGER GARDINER

美国海军陆战队 CH-53K 重型直升机计划于本年度首飞，并于 2019 年组成中队服役。这款直升机在设计上将现役 CH-53E 直升机的最大总重上限提升至 39 916 kg，但却没有增加直升机的基本尺寸。其工作目标是让外部承载能力提升 3 倍，在 110 n mile 任务范围内达到 12 247 kg。这种有效载荷容量得以扩大的部分成绩要归功于复合材料的采用，包括 35 ft (1 ft = 304.8 mm) 长的第 4 代旋翼叶片以及新型金属复合材料混合材质机身，机身采用的复合材料超过 75%。

其中一个做出大力贡献的复合材料构件就是柔性梁。柔性梁是一个对飞行具有关键作用的机尾旋翼部件，用于将每根旋翼翼片的翼梁、上蒙皮、下蒙皮固定至后水平轴之上。柔性梁尺寸为 64 in × 13.5 in × 3 in (1 in = 25.4 mm)，狗骨形的外形让人容易联想到一种抗拉试验样片，但却沿

其轴向有 9° 的扭转，每件柔性梁由 737 叠预浸材料构成。而美国海军陆战队已经订购了 200 架此型直升机，因此需要执行非常大量的手工铺层作业。

更糟糕的是，当前采用的铺层工艺涉及到多层切割、铺放和压实作业步骤，这些步骤不仅要求投入大量的工时并拉高生产成本，而且在健康和安全方面也有些令人担忧，因为有些步骤存在一些人机工学方面的难题。因此，在 2011 年，海军航空系统司令部 (NAVAIR) 将第 2 阶段小企业创新研究合同授予给定制制造解决方案开发商 Accudyne Systems 公司，由其开发铺层自动化解决方案。针对这个 CH-53K 直升机复合材料柔性梁，NAVAIR 明确提出了如下目标：通过将每件柔性梁的生产周期用时从 40 h 缩减至 10 h，由此加快生产速度并降低劳动力成本；消除作业人员在人机工学方面遇到的问题；通过无失误铺放 737 叠预浸料提升品质。

在理论上，自动化生产可以最大程度降低这些风险，其原因在于：可编程加工设备在作业方面的稳定一致性，再结合计算机视觉系统连续在线检查，形成了一定的优势。在实际上，Accudyne 拥有提供这项解决方案所需要的专业知识和经验。这家公司之前曾经开发过部件专用的自动铺带机 (ATL) 和自动纤维铺放机 (AFP) 以及完整的制造单元。此外，还开发过一系列用于范围宽广的其他各种制造作业的机械化解决方案，包括预成形、机器人拣取铺放、铺层固化和树脂传递模塑，并针对各种制造和实体问题开发过各种非复合材料的解决方案。

耗用大量工时的重型部件

为了开发能够满足 NAVAIR 生产需求的设备和工艺步骤之前，公司先对柔性梁手工铺层工艺展开了分析。Accudyne 发现，绝大多数预浸材叠都是从宽为 48 in 的

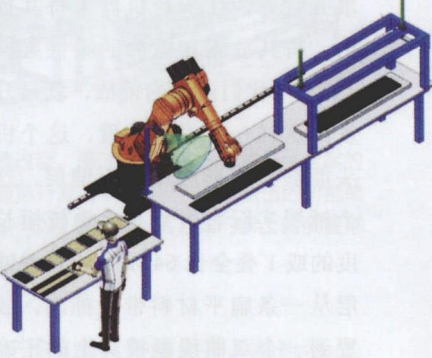
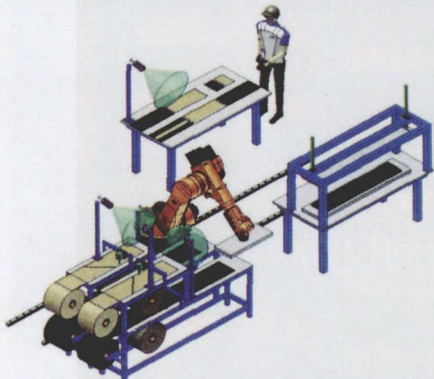
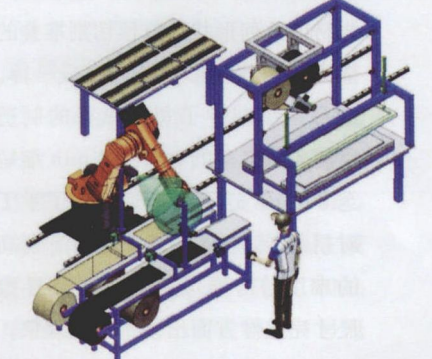
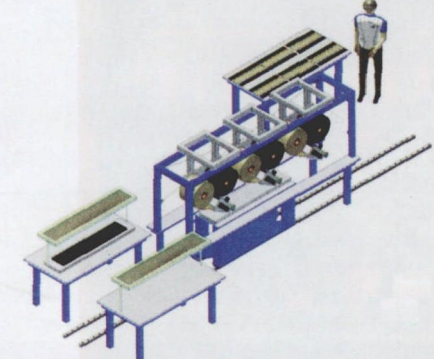
单向带上切割下来的，而这种单向带由 Hexcel 公司供应，其中含有约 60% 的 IM7 单向带和 40% 的 S-2 Glass 单向带，且都采用 8552 树脂。其中所涉及的制造公差、确保堆叠合格的质量保证任务以及压实步骤增加了工时并拖长了制造周期。此外，手工铺层这些堆叠在作业所产生的单调感也给排序作业造成了发生重大失误的可能性。这时必须将已正确铺放的分层拉出，执行更换切割操作。这种脱离正常过程的作业耗时长久：新用到的材料还必须先行解冻，而解冻有可能需要整夜等待，这将进一步拖长延误时间。

一步一步扎实前进

“我们许多客户会想要直接研究全自动化生产设备。” Accudyne 项目工程师 Tracy Dolan 这样强调说，“NAVAIR 对于从完全非自动化飞跃进至自动化的做法非常谨慎。” Dolan 还指出，“如果取消了中间开发步骤，就很难证明生产量增加、品质改进和成本削减方面的成效，而这些成效是证明自动化投资合理性所需要的基础。” NAVAIR 与 Accudyne 商定采用步进式方法将会是最佳的方案。

根据自己的分析，Accudyne 开发了 9 种自动化概念方案。在这些方案当中，选择了 4 种概念方案(表 1)并提交给了 NAVAIR。“这些方案的前景最为光明。” Dolan 解释说，“处于这些概念方案之间的方案都是混合型方案。”但是，NAVAIR 决定，作为低风险和高回报的最好组合，应当集中精力开发由 Accudyne 公司精选的 4 个方案当中的前 2 项，从 1 号概念方案开始，直至累积进展至 4 号概念方案，在自动化发展进程上采用了步进式方法，首先针对那些

表 1 Accudyne 精选的最有开发前景的复合材料柔性梁自动化概念生产方案

概念方案 1	概念方案 4
	
半自动化生产过程。拣取铺放机器人。作业者仍然手工放置堆叠而不将其在模具上适形。作业者将 2 个堆叠放置在平坦工作台上，按下按钮，机器人执行堆叠在模具上的适形作业。	自动化程度更高的过程，以拣取铺放机器人为特点。机器人将来料卷切割成所需尺寸，然后执行这些材料在模具上的适形作业。
概念方案 7	概念方案 9
	
拣取铺放机器人+安装在龙门加上的 ATL 机头。机器人只用于拣取 45° 材料，而 ATL 用于铺放 0° 材料。	自动化程度最高，完全采用 ATL。由 6 台自动化机头直接将 6 种不同的材料卷 (IM7 和 S2 两种材质的 0° ± 45 材料) 铺放至弯曲模具上。

需要劳动力最多、用时最多以及失误风险最高的步骤实现自动化：45° 层合、材料堆叠对弯曲模具的适形以及压实步骤。

整卷 45° 单向带

“市场并没有整卷无缝合的仅有 + 45° 或仅有 - 45° 纤维的单向带。” Dolan 表示。所以，Accudyne 的第一件要务是制造一台 45° 制带机。此设备采用了 8 个卡爪抓住 0° 单向预浸带的来料卷，来料卷已经自动剥除了衬纸。然后用一套气动系统将单向带抽出，

用切刀切割成 45° 角。由 EPSON Robots 公司提供的一台机器人机头随后将 45° 铺层放置到白色衬纸上(图 1)。“为了制造出连续卷，我们将 2 个半厚度 45° 段叠合起来，形成全厚度的过渡段，其结果类似于膜拼接，从而在衬纸上形成了 45° 单向带的连续卷。” Dolan 叙述说。Accudyne 必须表明这台设备制作的接头处于部件铺层厚度公差范围内。

自动化铺层铺放和压实

在概念方案 1 当中，作业

瞬间开启的 E2 micro 拖链

E2 micro 系列 1 米拖链
打开时间仅需 2 秒

在线：
商铺
产品查找
产品配置器
3D-CAD 文件
使用寿命计算器

移动供电更便捷：
小拖链，大身手！比前一代产品更坚固，更安静，
更持久。专用打开工具瞬间开启。
在线配置：igus.com.cn/E2micro



申请免费样品
扫描二维码或登录：

www.igus.com.cn/PQLCN310

▲反馈服务编码M2276

plastics for longer life® ...motion plastics

igus®
易格斯拖链轴承仓储贸易（上海）有限公司
电话：021-5130 3100 传真：5130 3200

者仍然以手工方式切割出 0° 和 45° 单向带，一次将 2 叠单向带堆叠起来，让一台机器人将其拣出，将其放置在弯曲的柔性梁模具上。“我们面临的挑战，就是开发出这样一个机头装置，这个机头能够拣取形成压合层铺层，这个铺层实际有可能是 2 叠较短长度的或 1 叠全长 64 in 层，这些铺层从一条扁平材料带上拣出，放置到一个双曲线型模具上的正确位置，且不能出现皱折。” Dolan 解释说。

Accudyne 公司曾经开发过一种用于制造 T 型和 Z 型纵梁的创新型拣取铺放机器人系统。这一系统能够针对超过 160 种不同加强材的几何形状，将预切割堆叠的插入与形状成形作业结合成一体。这个系统减少了每个纵梁的制造周期，将之前的 30 ~ 60 min 缩短至 8 min。这套系统还降低了手工对挤压层叠的难度，而之前较高的难度曾导致废品过多，并导致尺寸完整性方面出现不一致现象。

对于 CH-53K 直升机的柔性梁，这种能够适形的机头使用了数十个吸杯夹具来拣取堆叠。

完成上述内容并非易事，在部件和模具上方平拉了一条囊袋，这

条囊袋伸出至模具边缘之外，让操作者可将其与模具所坐落的工作台之上贴紧密封。通过这个工作台表面上的开口，可执行真空抽吸。这种抽吸作用让预浸材料叠与模具适形，并抚平在铺放期间有可能发生的小皱折。在全自动化生产设备当中，这个囊袋将定位在工作台上面，并由一个安装在位于模具工作台后方的单独龙门架上的装置来操作这个囊袋（图 2）。

“一开始时，我们曾以为压实是本项作业单元的高风险领域。” Dolan 说道，“但当我们理解了需求和其中细微差别之后，这项风险反而降低了。”在手工作业过程当中，减量操作有必要每 25 ~ 30 叠执行一次，每次耗时 15 ~ 30 min。Dolan 回忆说：“Accudyne 公司曾经研究过许多备选方案，包括使用 2 个铺层模具以及根据手工工艺规格执行减量但将一些任务嵌套在自动化过程当中进行。”但最终，我们认识到可以在设备转向抓取下一组用于铺放的材料叠时，将压实当作自动化作业过程的一个组成部分来执行。在这种场景下，压实作业将每 1 ~ 2 叠执行 1 次，但每次



图 1 Accudyne 公司开发了自动化设备，用于将 0° 单向预浸来料卷按 45° 角进行切割，然后将其铺放于衬纸上，形成没有缝合处的 45° 单向带连续卷

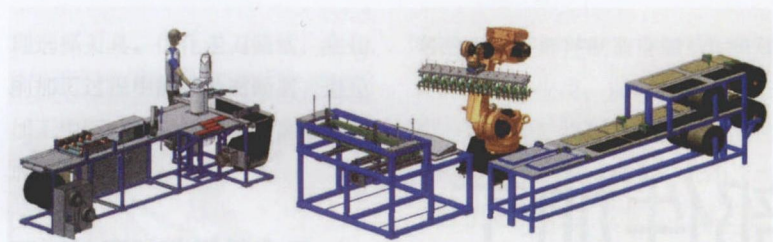


图2 Accudyne 公司正在完善和测试一些方案修改项,通过这些修改将形成最终定案的4号概念方案的自动化柔性梁生产单元,其中包括开发用于将材料从卷上送出的切割单元,以及加入6轴工业机器人。囊袋操作将由一个位于工作台后方龙门架上的装置来执行

压实作业仅持续1 min。”

原型机测试

在制造了两台原型机后,Accudyne 对其展开了测试,旨在制订各项工艺参数,验证工艺输出和生产周期。“当时有太多问题需要解决,设备操作简便度够吗? 45°单向带制造机的搭接接头的准确度够吗? 拣取铺放机头的准确度够吗? 多少次压实作业才够?” Dolan 说道。

正是在这些测试过程中,Accudyne 才逐渐建立了用于制造完整柔性梁的工艺。“我们纠正了自己对于各个步骤时序的估计,确立了这个自动化工艺制造1根完整柔性梁需要多长时间。” Dolan 说,“我们已经将制造周期缩短到了10 h,但是我们还能够再做突破,将每根柔性梁的制造周期缩短到8 h。”

Dolan 说,Accudyne 已经验证:1号概念方案满足了NAVAIR 的目标,并已经确定了,要想全面达成4号概念方案还需要进一步进行开发。这些开发不仅包括了修改极杯间距以适应“斑马”叠需要,还包括在操作者不参与的情况下在每层之后执行压实操作,以及完全自动化执行45°材料的重新粘底。Accudyne 还需要设计、制造和试验切割器组件,此组件能够从来料卷上切割输出铺层用材料,

并将这些材料输出至6轴机器人。“我们需要将这个适形机头与一台机器人集成在一起,再将它们集成到切割器组件和压实工作台内,所有主要部件都已详细检查确认。只是需要将它们整合成一体。” Dolan 总结说。

未来发展方向

Accudyne 公司正在与NAVAIR 就方案修改、最终集成和非破坏性和破坏性验证展开讨论。“需要给数根柔性梁加载至其失效并对飞行条件进行仿真。” Dolan 解释道,“我们已经证明了4号概念方案与自动化程度更高的系统的操作准确度一样,虽然也许不像它们那么快速,但这样就不再需要投资于ATL 的机头了。”最后,这家原始设备制造商(OEM)与其第I级供应商将做出最终的折衷方案并进行分析和决策。

Accudyne 对其自动化概念方案和步进式方法的应用感到高兴,迄今为止,Dolan 坚信步进式方法可以轻松应用于其他领域。“尽管柔性梁这一具体部件存在着一些极具挑战性的几何特征,但我们在此用到的方法可以提升范围宽广的构件产品的一致性、质量和成本。这种步进式方法能够将投资额控制在可承受的水平,并具备随着部件生产量和程序需求的增长提高自动化程度的能力。” Dolan 如是说。MM

... the-chain
用于您的机械

耐油

静音, 快速

极其密闭

长行程

通用型拖链

以及 dry-tech 免润滑轴承

24 小时或当天交货
在线计算使用寿命
精进技术, 降低成本

plastics for longer life® ...motion plastics

igus®

▲反馈服务编码M2276

易格斯拖链轴承仓储贸易(上海)有限公司
电话: 021-5130 3100 传真: 5130 3200