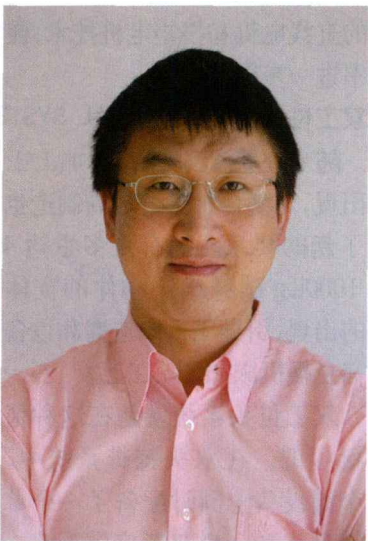


# 高效、全自动的碳纤维 复合材料铺放设备

弗雷斯特-里内机床集团 薛企刚



薛企刚

法国弗雷斯特-里内机床集团中国区总经理。获北京交通大学自动控制专业学士学位,法国路桥大学交通管理专业工商管理硕士学位。曾任北京交通大学数控系助教,北京系统工程研究所助理研究员,美国西提自动化公司中国区销售总监等职务。

## 复合材料飞机制造 对制造设备的要求

在用户希望飞机的生产成本不断降低和运输能力不断提高的情况下,当航空企业设计新型飞机时,减轻机体重量常常被视为首要目标,而重量的减轻要通过优化机体的设计及使用更多的复合材料来实现。

复合材料在飞机上的应用范围越来越大,为满足这种不断扩大的需

求,飞机制造商不断地开发出高效率、低成本的材料制造技术。其中,用于制造复合材料结构件的工艺装备的设计制造严重地影响着飞机产品的质量及其成本目标的实现。

求,飞机制造商不断地开发出高效率、低成本的材料制造技术,如纤维缝合技术、树脂转移模塑成形技术(RTM)、树脂膜渗透成形技术(RFI)、真空辅助树脂渗透成形技术(VARI)、纤维铺放技术(AFP)、自动铺带技术(ATL)、电子束固化技术等。

采用复合材料结构件最重要的条件是设计、工艺、材料三方面的紧密配合和相互促进。其中,用于制造复合材料结构件的工艺装备的设计制造严重地影响着飞机产品的质量及其成本目标的实现。

早期的飞机复合材料零部件均采用手工铺设,工作效率低下且部件质量不稳定,无法生产大型和复杂的飞机零部件。目前复合材料正普遍地应用于飞机上的大型关键结构(机翼和机身),由于结构的尺寸不断增长,致使制造工艺变得极为重要。手工铺设方式因其效率低下、可靠性差、误差大等因素而极少被制造部门

选用,制造铺设率已成为制约零部件生产的一个关键因素。

由弗雷斯特-里内公司自行开发的双工序铺设技术是高效、全自动制造的典型代表,其生产出的样机于1988年就服务于法国空客,完美地满足了飞机制造商的要求。

## 弗雷斯特-里内公司先进、 高效、全自动铺设技术

### 1 先进复合材料铺设设备

弗雷斯特-里内是久负盛名的专业研究军民飞机结构件生产制造设备的公司,一直致力于开发研制新型制造技术。80年代初公司就预言复合材料将逐步取代飞机结构件里的铝合金和钛合金,并开始了对纤维树脂复合材料切割和铺设设备的研究开发。

20多年来,弗雷斯特-里内已成为航空复合材料零件加工自动化方面的佼佼者。自2004年起,工厂40%的产品是航空复合材料的切割

与铺带设备,主要用户均为欧洲及日本的一二级飞机制造企业,这些企业为空客 A380、A400M 和波音 787 进行部件生产和分包。

## 2.4 类铺带产品

弗雷斯特-里内在纤维铺放技术(AFP)、自动铺带技术(ATL)方面,共有4类产品可提供给世界级的航空航天制造企业:

- 单工序铺带机 WR ALTAS(Advanced Tape Laying System——先进铺带系统);

- 双工序下料机和铺带机 ACCESS(Advanced Composite Cassette Edit/Shear System——先进复合材料料带编辑/剪切系统)及 ATLAS;

- 双工位头铺带系统 DUAL SYSTEM;

- 铺丝机 FP ATLAS。

它们的主要特点如下:

(1) 单工序铺带机 WR ALTAS。

这类产品同世界上其他几家同类产品制造商的设计思想一样,是在同一个铺带设备上将切割工序和铺设工序集合起来。其优点为不需另备一台下料机,缺点为需要人工干涉,生产效率低,且需要在铺设过程中停止铺设专门去排除废料。

(2) 双工序下料机和铺带机 ACCESS 和 ALTAS。

此产品单设一个复合材料料带的下料切割机,将下料切割和铺设分离开来,其优点为全自动铺设、生产效率高、废料率低,一台下料机可配数台铺设机。缺点为前期需另采购一台下料机。

(3) 双工位头铺带系统 DUAL SYSTEM。

(4) 铺丝机 PF ATLAS。

此铺丝机可采用龙门结构式或落地式,最多可同时铺设 32 束宽度 0.63cm 的料丝。

## 3 双工序设计思想

54 航空制造技术·2008年第4期

命名为“ACCESS-ATLAS”(复合材料的自动切割-铺设系统)的“双工序”系统,意思是切割和铺设是在两台独立的机床上进行的。

双工序系统在两台专业设备上完成作业:料带在“ACCESS”机床上进行预切割管理和下料切割,然后将切好的料带放置于“ATLAS”机床上进行铺设。

双工序铺带设备的4个研发目标是:

- 保证整个工艺过程的可追溯性。这对于复合材料主体结构件(如 A340/600 的梁、A380 的中央翼盒、波音 787 的整体机翼)的设计非常重要;

- 保证高性能与低重量之间的优化;

- 保证所采用工艺的高生产率,降低零件的加工成本;

- 保证工艺的适应性,提高铺设带子和带子压紧的质量。

## 4 双工序下料机 ACCESS

ACCESS 为第一道切割工序,它除了使用 2 把超声波刀切割各种所需的料带之外,还有以下重要功能:

- 排出全部废料;
- 分离背衬纸上的废料以方便铺设;

- 录像控制和图像分析,以保证预浸质量;

- 将被切割好的料带重新卷起,贴上标签,制成已切割成型的料带卷。

## 5 双工序铺带机 ATLAS

ACCESS 机床生产出的切割料带卷被贴上不干胶条形码标签,当此带卷被安装在 ATLAS 机床上时,机床可自动识别并调入相关铺设软件。

机床的 PLC 管理的带子铺设顺序被置于零件程序中,实现零件可追溯性功能。它可以保证每个零件都使用正确的预浸料带并按照其设计程序进行铺设。由于此铺带机只进

行料带铺设工序,这种工序相对简单,所以能快速完成零件,并能帮助优化料带铺设,从而提高生产率。

双工序工艺具有的优势是:

- 零件严格遵守最佳优化设计,不多切也不少切料片;

- 需要局部加强的部分可在主铺带工序中完成(包括间隔性局部加强),不需人工干预;

- 废料重量可从总重量的 10% 减少到 5%;

- 实际生产的零件重量可达最小,完全符合零件初始设计要求。

该设备使用了由本公司熟练掌握的直线电机和扭矩电机技术,使生产率进一步提高。

## 6 双工位头铺带系统 DUAL SYSTEM

随着飞机新设计和新加工工艺的出现,对复合材料结构的制造也提出了新的要求。拥有众多重达 400 ~ 1000kg 碳纤维结构件的宽体飞机的出现,引导飞机制造商和设备供货商更换机床和加工工艺。

双工位头系统就是在这种情况下诞生的。在双头铺带系统中,同一个铺设头上同时配备了一个单工序铺带头和一个双工序铺带头。单工序铺带头使用简单、可靠且价格便宜,用来切割和铺设简单外形的料带,且料带之间不产生废料。双工序铺带头用来铺设已经在另一台 ACCESS 下料机上预切和管理过的复杂外形料带。这两个头都由同一个机床鞍板支撑,并同时作为铺带装置针对不同的零件铺层进行交替铺设。此系统的生产铺设能力从 250m/h 预浸料带增大到 800 ~ 900m/h。

机床的直线轴还配备了直线电机驱动,进给速度高达 60m/min,可是噪声很小(75dB),机床的机械磨损程度也减少了很多。

根据欧洲用户的实际使用数据的对比,在采用双工位头系统后:

2001 年某国外用户典型机翼实

验样板生产率提高4倍；

2004年某国外用户实际机翼板件生产率提高1.9倍；

2004年某国外用户实际垂直尾翼板件生产率提高2.5倍。

具体而言,优势体现在以下方面:

- 高生产效率;
- 双头工艺可同时在同一个头上分别铺设2种不同宽度的带子,而不需要停机进行彻底换带。铺设300mm带的高生产率再加上铺设150mm带时的低废料率,能够实时加工成符合零件轮廓的型面,真正实施自动、高效的加工;
- 已切割好的复杂形面成型料带是由一台不在线的ACCESS机床来准备的,因此,可靠迅速的铺设操作 = 工艺事故的消除 = 高价值零件的保证;
- 可使用任何预浸料材料(不同的纤维、树脂、材料厚度等);
- 可在同一个零件上同时使用几种不同类型的预浸料(不同的密度、厚度)并以经优化的铺带速率,制造出符合设计要求的零件;
- 在铺带头上有两个卷轴料带供给,减少铺带中断时间和卷轴的更换次数;
- 全自动化工艺,不需要连续人工监控或停机以等待手工干预(如废料清除);
- 不需要加热系统;
- 专门的“铣床”设计经验,具有高精度度,可获得更高的刚性和更强的压实力。

- 采用直线电机驱动,噪音小,速度快且可靠性好。

### 7 铺丝机 FP ATLAS

铺丝设备FP ATLAS已进入生产使用领域,其最大的优点在于通过四轴联动铺设头,在更复杂的曲面形状和厚度变化上,可同时铺设32个宽度为0.63cm的窄带,且铺带头能同时放置在一个横梁下,根据不同

的需要对同一个零件进行料带的切割和铺设。

### 8 复合材料设计和制造集成软件 TAPELAY

TAPELAY软件被用于切割和铺设预浸复合料带的新一代机床,并直接集成在先进计算机辅助设计/制造软件CATIA V5中。“TAPELAY”软件包含一个“带子生成”和一个“带子制造”模块。

机床的用户可直接从零件的CATIA CPD (Composite Design) 模块将数据输入到TAPELAY软件中,确定铺层设计、铺层展开、路径选择、铺带头选择、投影、铺设速度选择、压实压力选择等项,最终将制造数据通过后置处理器转化为设备执行文件,分别传输给切割下料机 and 铺带机,自动进行铺设制造,为用户提供高效的复合材料数字化设计/制造工具。

### 应用案例

#### 1 法国空客

1988年法国南特空客就在ATR机翼上第一次使用了弗雷斯特-里内自动铺带机。通过大量应用,积累了丰富的复合材料铺带经验。

空客南特生产了如下的碳纤维零件:

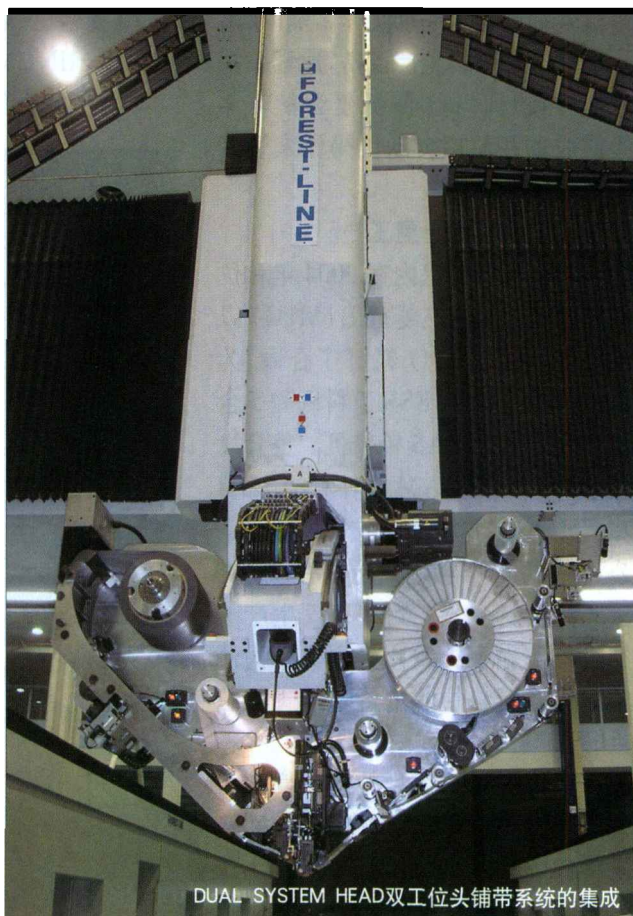
- A340-600 龙骨梁;
- A380 中央翼盒;
- A400M 中央翼盒。

A400M的机翼由3个不同的部件组成,1个中央翼盒和2个外部翼

盒。中央翼盒得益于A380的技术经验;而在两个外部翼盒的设计中也第一次使用了复合材料。

在所有飞机结构件的复合材料铺设生产线上,空客南特共配置了6台ACCESS铺带机,9台ATLAS下料机。

在一个铺带设备上配置双工位头系统,这种配置已经被充分运用到空客所有零件的加工中,其中大约75%的切割带用该系统的单工序头来铺设,25%由双工序头铺设。



DUAL-SYSTEM HEAD双工位头铺带系统的集成

#### 2 法国达索

达索飞机公司在80年代初就已经开始使用自动铺带机了,从那时起,4台弗雷斯特-里内的设备(2台ACCESS,1台ATLAS,1台LINEAR ATLAS)负责生产幻影2000、“阵风”(Rafale)及“隼”(Falcon)的一些相关部件。“阵风”机翼表面的气动力分布极为复杂,它们的蒙皮结构需要很多加强件,还有不少铺层去除/迭加的限制条件,

这些条件都与生产率要求相矛盾。由于这些因素,在对各种不同方案进行了许多研究和对比试验以后,达索公司最终选择了弗雷斯特-里内的 ACCESS 和 ATLAS 双工位系统,设备上同时带有 150mm 宽度的单工序铺带头和 75mm 的双工序铺带头。

公司的最新一代设备 (ACCESS 及 LINEAR ATLAS) 在 2004 年 5 月投入了量产,从那时起达索生产了许多“阵风”蒙皮部件,其质量和产量水平都是非常高的,由于选择了合理的生产设备,达索公司完成了设计目标:降低复合材料零件的成本并使用自动化操作来管理工艺和生产质量。

### 3 三菱重工与富士重工

弗雷斯特-里内在 2004 年和位于日本名古屋的三菱重工 (MHI) 以及富士重工 (FHI) 签订了合同,为其提供 3 台 ACCESS 下料机 and 5 台 LINEAR ATLAS 铺带机。整套设备包括 CAD/CAM 软件和给 MHI 和 FHI 专家的培训/支持。这两家公司在 2006 年初期开始使用这些机床为波音新一代“梦想”787 生产碳纤维机翼和中央翼盒。这些结构件所用复合材料的重量超过飞机总重的 50%。

铺设机翼的每台机床长度均约为 40m,宽度为 8m,铺设复合材料以形成机翼板件的上下表面,由于在机床的轴上都安装了直线电机,这些机床以 60m/min 的速度移动着它们重达 25t 的主床体。

### 与中国航空工业的合作

#### 1 与中国合作的悠久历史

从 1964 年交付给当时的汉中航空工业基地的第一台铣床开始,弗雷斯特-里内机床公司已与中国建立并保持持续发展关系达 40 年之久。弗雷斯特-里内仅在中国就有超过 110 台大型数控机床,其中为航空工

业所提供的产品最为丰富。

### 2 与北京航空制造工程研究所 (625 所) 的合作

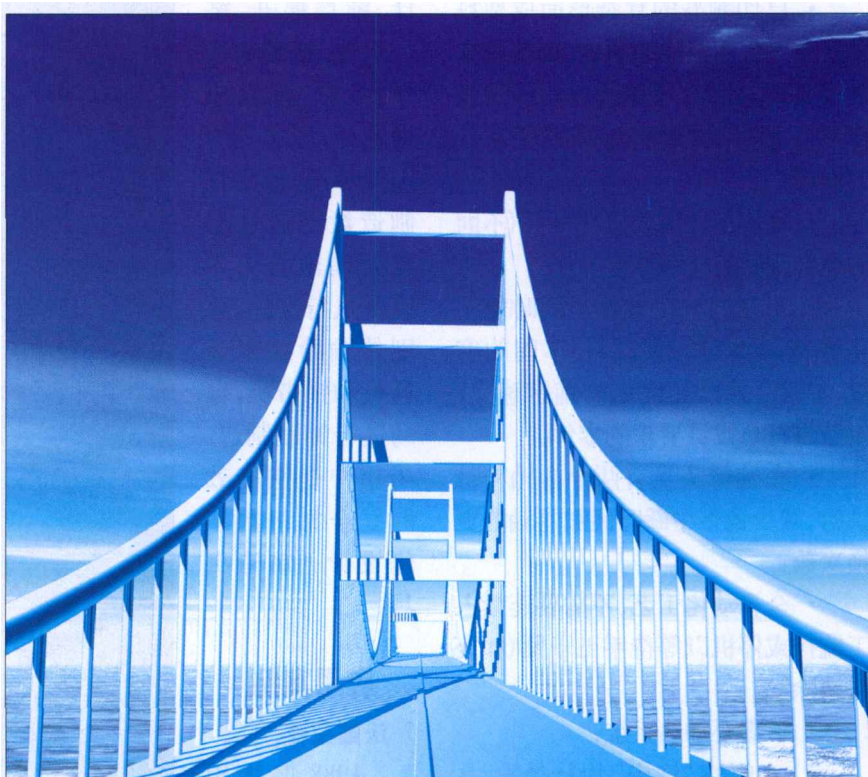
在弗雷斯特-里内的所有合作伙伴中,中国一航北京航空制造工程研究所占据了最优先的位置。从 1985 年到 1996 年近 10 年中,双方共同完成了 20 多台 SERAMILL 型号的龙门加工中心铣床,然后又为航空发动机结构件的生产提供了五轴联动卧式主轴高扭矩加工中心 FLEXIAX 系列,近 10 年来又完成了 10 多台五轴龙门和桥式、立式加工中心 MINUMAC 系列。

最新的合作是在 625 所所内合

作生产 ATLAS 机床。625 所负责生产装配其全部的基础构件和数控系统,其中包括直线电机驱动的直线轴。

拥有了这项技术,625 所就可以用这种技术来提高其它机床的技术水平。同时,由于可以对大型铺带设备进行生产和制造,625 所具备了给自身和其合作单位提供超大型复合材料零件(如大客和大运的零件)的杰出能力,还可通过对不同单位生产的各种不同的复合材料料带进行多种试验,获得最佳的铺设工艺方案,以配合各专业厂的需要。

(责编 依然 侧卫)



传播现代制造业信息的平台  
搭建厂商与用户合作的桥梁



50

中航时代传媒

航空制造技术杂志社  
Aeronautical Manufacturing Technology Magazine

电话: 010-85700465 传真: 010-85700466 http://www.mte.net.cn