

国外复合材料纤维自动铺放编程软件的功能特点及分析

Function Characteristics and Analysis of Foreign Programming Software About Composite Automatic Fiber Placement

中航工业北京航空制造工程研究所 池召艳
中航工业复合材料技术中心先进复合材料国防科技重点实验室 周晓芹

[摘要] 随着复合材料在现代航空飞行器制造上的广泛应用,用于复杂曲面复合材料构件铺放制造的复合材料自动铺丝机(AFP)已成为现代大型飞机制造的关键设备,而AFP控制系统通常需要通过复杂的指令实现纤维铺放运动的控制,这些指令通常需要通过专用的编程软件来生成,以实现复杂的工艺铺放过程。目前国际上成熟应用的商用编程软件系统虽然复杂多样但也具有明显的共通性,通过对其分析介绍可以为我国今后自主研发相关自动铺放编程软件系统提供有益借鉴。

关键词: 复合材料 复合材料自动铺丝机 编程软件 模拟分析

[ABSTRACT] As the widespread use of composite materials in the modern aircraft manufacturing, automated fiber placement machines (AFP) has become the key equipment for manufacturing of composite structure with complex curve surface. The generated by special programming software complex commands control movements of fiber placement, is needed on AFP machine to realize a better manufacturing process. The commercially mature programming softwares used at present are various but similar. The paper introduces these programming softwares and analyzes their characteristics with the wishing to supply some inspirations for our independent research and development of programming software.

Keywords: Composite AFP Programming software Simulation and analysis

复合材料自动铺放编程软件系统在自动纤维铺放设备的使用中具有非常重要的作用,它是生成纤维铺放程序指令的关键支持工具,并且由软件产生的指令数据能够通过仿真模拟软件进行可视化显示,从而可以快速获得铺放程序,实现铺放过程的准确控制,以获得满足规范要求的理想产品和质量,实现复合材料构件快速设计和制造的目的。AFP技术起源于国外,自动纤维铺放编程软件系统的研发亦在国外得到发展。目前来看,国

外AFP设备制造商在进行设备开发的同时均会投入大量的人力和物力进行编程软件系统的开发,他们或根据其产品特点自行开发相应的软件系统,或借助于独立的专业软件开发公司的力量进行相关工作。从现有研发成果的开发背景及应用范围来看,自动纤维铺放编程软件系统主要有自主研发类、委托研发类及联合研发类3种。

1 自主研发编程软件系统

自主研发编程软件系统以美国的先进复合材料环境软件系统ACES及法国的CADFiber与CATFiber编程设计和模拟系统为代表,两个系统的研发主体均为实力雄厚的机床制造公司,开发者进行软件开发的目的在于配合自己制造设备的使用,因此这种软件系统的特点之一就是不能用于其他机床制造商的产品。

1.1 先进复合材料环境软件系统(ACES)

先进复合材料环境软件(Advanced Composites Environment Software, ACES)系统是由美国辛辛那提公司自行开发的编程软件系统。辛辛那提公司作为一个具有百年历史的世界级机床制造厂商,其生产的复合材料自动铺放设备自20世纪90年代开始就已应用到各大飞机制造商的飞机生产制造中,如雷神公司的商务喷气式飞机机身前段的制造、空客公司(Airbus)巨型客机A380机身后段的制造以及A340宽体客机发动机短舱的制造等。为配合其复合材料自动铺带机(ATL)和复合材料自动铺丝机(AFP)的使用,Cincinnati公司于1989年研发了先进复合材料环境软件系统。

ACES软件系统由ACRAPHATH和ACRAPHACE这2个子系统构成,分别应用于ATL和AFP。

ACES软件系统和其他软件系统的最大区别就是它同时包含了复合材料自动铺带编程系统和复合材料自动铺丝编程系统,而且还支持这两个系统的混合编程。

但是ACES软件系统虽然是在微软Windows计算机系统下运行,却仅支持CATIA V5数据模型,这不利于机床用户选择其他的CAD软件建立数据模型和定

义铺层数据等工作。ACES 系统的工作流程可归结为: CATIA 数据模型→生成铺放路径→后置处理器→模拟模块→生产评估模块→机床接口模块→铺放生产。

具体来说,编程人员需先导入 CATIA V5 数据模型,然后根据模型中的数据生成铺放路径,再通过后置处理器生成 NC 程序,进入模拟模块,通过仿真模拟对程序进行有效性验证。模拟结束后进入生产评估模块,从而得到工作循环所需时间、材料使用情况等信息,之后即可进入机床的通讯接口模块进行生产。在其中的路径生成模块中,有“自然路径”和“限制路径”两种模式,编程人员可根据实际需要灵活选择,而“限制路径”模式又有固定角度方式和路径平行方式两种方式可供选择使用。

1.2 CADFiber 和 CATFiber 编程设计和模拟系统

一直专注于以工业领域通用机械手为平台的 AFP 机床的法国 Coriolis Composites 公司针对其自身产品特点和不同的客户需求开发了 CADFiber 与 CATFiber 编程设计和模拟软件系统,该系统与 Coriolis Composites 公司生产的 AFP 机床一起,在空客公司、庞巴迪公司等大型飞机制造商中得到广泛运用。

CADFiber 和 CATFiber 的工作原理类似,但二者也有明显区别,CATFiber 依赖于 CATIA 系统;而 CADFiber 则具有一定的独立性和适应性,因为此软件系统是在 Windows 系统环境下运行的,而且兼容 CATIA 系统和 Fibersim 系统的设计数据模型。表 1 对 CADFiber 和 CATFiber 软件系统的构成和特点等进行了介绍和比较,图 1 为 CADFiber 软件系统示意图。

表 1 CADFiber和CATFiber软件系统

软件系统	模块构成及作用		运行系统	兼容性
CADFiber	编程模块	进行铺丝头的参数设置、机床运动动作设计以及铺层设计等	微软 Windows 系统	兼容 CATIA 和 Fibersim 数据模型
	模拟模块	对编制完成的程序进行有效性验证、碰撞分析和安全检查以及模拟机床环境;生成相应的生产数据,如工作循环所需时间、所消耗的纤维数量等		
	后置处理模块	生成 NC 制造程序		
CATFiber	编程模块	进行铺丝设计、模拟和分析等	CATIA V5	仅适用 CATIA 数据模型
	模拟模块	同 CADFiber 模拟模块		
	后置处理模块	生成 NC 制造程序		

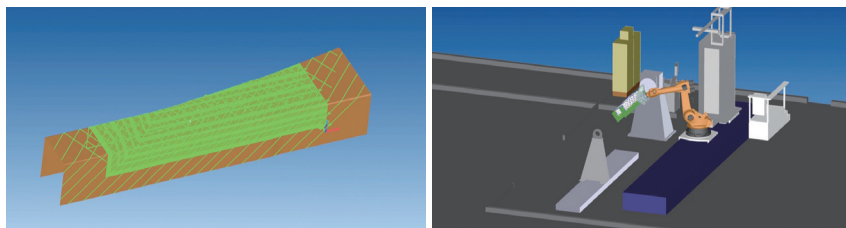


图1 CADFiber软件系统示意图
Fig.1 Software System of CADFiber

此外,虽然 Coriolis Composites 公司只生产以机械手为平台的铺丝机,但其生产的铺丝头和纱架以及配套铺放编程和模拟软件系统也可用于传统的大型数控加工机床平台,只需根据相应的机床参数开发对应的后置处理模块即可。

2 委托研发编程软件系统

委托研发的编程软件系统以美国 CGTech 公司开发的 VERICUT 复合材料铺放编程和模拟软件系统 (VERICUT Composite Programming (VCP) & VERICUT Composite Simulation (VCS)) 最具代表性。

美国 CGTech 公司的 VERICUT 软件在金属加工领域一向负有盛名。自 2004 年开始,为满足其客户波音公司的需求,CGTech 公司开始进军复合材料领域,为波音 787 客机的制造开发 AFP 机床的铺放编程和模拟软件,最终开发出了 VERICUT 复合材料铺放编程和模拟软件系统。此系统分为 2 个模块,即编程模块 (VCP) 和模拟模块 (VCS),下面就 2 个模块的工作原理和特点进行具体介绍^[1]。

2.1 VERICUT 复合材料铺放编程模块 (VCP)

VCP 可读取常见的多种 CAD 数据模型及其输出的铺层定义数据,如 CATIA V5、NX、STEP、ACIS.sat。因此,该软件系统可以说是目前适应性最强的软件,可用于不同的机床制造商生产的 AFP 机床。

通过 VERICUT 复合材料铺放编程模块,编程人员可根据工程要求和制造标准为铺层添加纤维材料、设定铺放轨迹、连接铺层路径、定义并优化铺层顺序等,并且在设计完成后,编程人员还可根据具体需要对材料和机床动作的各种限制进行分析,最后根据选定的机床通过后置处理器生成 NC 机床加工程序。

2.2 VERICUT 复合材料铺放模拟模块 (VCS)

VCS 可打开一个虚拟机床环境,并在此虚拟环境中对机床动作进行仿真模拟,如进料、切割、铺放动作等,而且还可对虚拟环境中完成铺放的纤维材料进行测量和检查,如测量材料厚度,检查机床转向时压辊是否能贴合模具等,以保证 NC 程序符合制造标准和要求。在模拟过程结束后,VCS 还会自动生成一份模拟结果文件,以便于用户对模拟过程和结果进行研究和分析。VCS 系统还可以直接模拟标准的 NC 程序。

从实践角度来看, VCS 最重要的意义就在于, 用户可以根据自己的实际生产需求设置机床运动轨迹并进行控制模拟, 从而防止制造过程中碰撞事故的发生。

VERICUT 复合材料铺放编程和模拟软件系统因与众不同的独立性而得以在实践中广泛应用, CGTech 公司交付第一套软件用于波音 787 机身制造之后, 又陆续交付两套软件给美国 Electroimpact 公司, 用于壁板、U 型结构件和整流罩的编程设计和生产。除此之外, 辛辛那提公司也于 2008 年购买一套此软件用在其 Viper 1200 AFP 机床上, 用于飞机进气道生产前的仿真模拟, 另外西班牙 MTorres 公司也于 2009 年购买此软件与其生产的 AFP 机床配套使用, 用于空客 A350XWB 宽体客机机翼前梁的制造编程工作。图 2 所示为 Electroimpact 公司的铺丝机。



图2 Electroimpact 公司的铺丝机
Fig.2 AFP of Electroimpact

3 联合开发编程软件系统

联合开发的编程软件系统是指由 AFP 机床制造商和法国达索系统公司一起, 基于 CATIA V5 技术开发出来的, 直接集成到 CATIA V5 系列软件中的复合材料铺放编程软件系统。这种系统最大的优势在于, 编程人员可于设计人员在 CATIA V5 系统完成数据模型设计和铺层数据定义等工作后, 在同一软件环境下直接使用这些信息, 而不需要把设计数据导入到其他编程软件中, 从而避免了数据输入及输出过程中可能出现丢失或者偏差的问题。

但是对于某些机床用户来说, 这种优势也正是其局限性所在, 因为使用这种铺放编程软件系统, 就意味着机床用户必须选择 CATIA 系统进行复合材料构件的设计工作, 而不能自由地选择其他的 CAD 设计工具。

目前, 国际上这种软件系统主要有英格索尔机床公司的集成复合材料铺放编程软件系统(Ingersoll Composite Programming System, ICPS)和西班牙 MTorres 公司的 TORFIBER 软件系统这两种。

3.1 集成复合材料铺放编程软件系统(ICPS)

集成复合材料铺放编程软件系统是由英格索尔机床公司联合法国达索系统公司开发出来的, 集成在 CATIA V5 软件中, 由设计模块和制造模块 2 个模块构成, 设计模块主要功能为通过定义铺放策略和铺放曲面等方式进行复合材料零件铺放的优化工作; 制造模块主要功能为对零件的可制造性进行分析并生成铺放丝带、分析零件曲率和相应的铺放路径、生成 NC 程序源代码等。

为了更好地适应实践需要, 英格索尔机床公司已于 2012 年和洛克希德·马丁公司达成合作协议, 旨将其 ICPS 软件系统升级为 CPS2 软件系统。升级后的软件系统将完全独立于 AFP 机床环境和软件操作环境, 并且可以兼容不同的 CAD 数据模型, 同时 ICPS 的编程功能也会得到优化升级, 如优化路径规划, 更加智能地避免碰撞等, 图 3 所示为 ICPS 系统示意图。

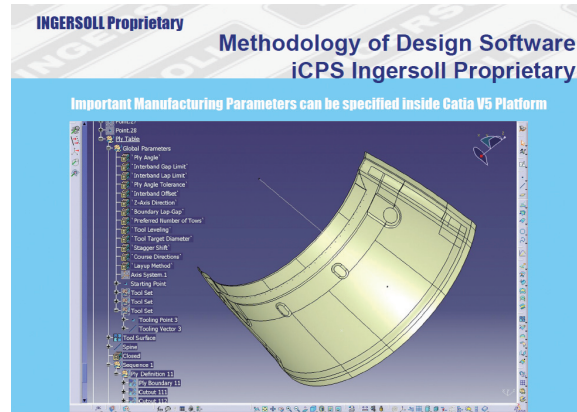


图3 ICPS系统示意图
Fig.3 Diagram of ICPS

3.2 TORFIBER 软件系统

TORFIBER 软件系统是由西班牙 MTorres 公司联合法国达索系统公司基于 CATIA V5 技术开发出来的, 也分为两个模块: TORFIBERDES 设计模块和 TORFIBERMAN 制造模块。

TORFIBERDES 设计模块用来进行编程设计工作, 由于此模块集成在 CATIA V5 软件系统中, 编程人员可直接在 CATIA 环境下利用已设计完成的数据模型和 CPD (CATIA Composite Design) 模块中的铺层定义信息 (如铺层边界数据、铺层方向、纤维材料信息等) 进行编程工作, 并且在利用 CPD 模块中的铺放策略信息的同时可对其加以完善。

TORFIBERMAN 制造模块集成在 DELMIA V5 软件系统中, 在此模块中的工作是直接在 CATPart 模型上进行的, 设计部门提供的一切原始数据和编程人员在 TORFIBERDES 模块中添加的所有信息均可直接使

用。TORFIBERMAN 制造模块在 CATProcess 中生成所有的铺放程序信息,如果有需要,编程人员还可以在这些程序信息中进行某些参数的修改,如铺丝顺序、铺丝方向等。所有编程工作完成之后,编程人员可将所有 CATProcess 的程序信息通过后置处理器生成 NC 程序文件。

除 TORFIBER 软件系统外,MTorres 公司还为客户开发了一套模拟系统,此模拟系统也集成在 DELMIA V5 系统中,并且和 VERICUT 复合材料铺放模拟模块一样,可读取 CAD 数据模型和 NC 程序,并利用一个虚拟的机床环境对这些程序进行仿真模拟,以检查在铺放过程中是否会发生碰撞,同时还可协助编程人员修改可能存在的程序错误,以避免碰撞事故或零件损坏情况的发生。

4 结论与建议

通过上文对各种编程软件系统的介绍和比较可以发现,现有的复合材料自动铺放编程软件系统的工作原理和工作方式基本相同,软件系统必须具备基于 CAD 数据模型的零件编程分析模块、机床仿真模拟模块和最终转换成机床语言的后置处理模块,以满足设计语言向机床语言进行有效精确转换的需要;各编程软件系统的区别仅存在于数据输入输出的兼容性和操作环境的独立性方面。随着复合材料自动铺放技术在航空航天领域的普及,材料工艺和装备技术的发展对相关配套软件提出了更高的要求,将来的编程软件应该能更好地协助用户改善制造过程的可控制性、减少材料浪费、降低生产成本以及提高产品质量及复合材料构件的生产效率,这就要求软件本身应具备更为良好的兼容性和可操作性。

目前我国航空领域的复合材料构件的设计工作主要采用 CATIA V5 和 FIBERSIM 软件系统,因此复合材料自动铺放编程软件系统除具有基本的编程分析、仿真模拟和后置处理功能之外,应具有较高的独立性和适应性,以满足不同用户使用不同机床或 CAD 设计软件的要求。此外由于我国在复合材料自动铺放领域起步较晚,虽然广大技术人员已经进行了很多研究开发工作,也已经取得了一定的成果,但是目前国内尚没有成熟的商用复合材料自动铺放编程软件系统。希望相关部门能提高对软件开发事业的重视并加大投入,尽快缩小和国外公司的差距,开发出适合我国复合材料自动铺放领域需要的软件系统。

参考文献

[1] Hasenjaeger B. Programming and simulating automated fiber placement (AFP) CNC machines. California: AeroDef Manufacturing, 2011.

(责编 小城)

(上接第 63 页)

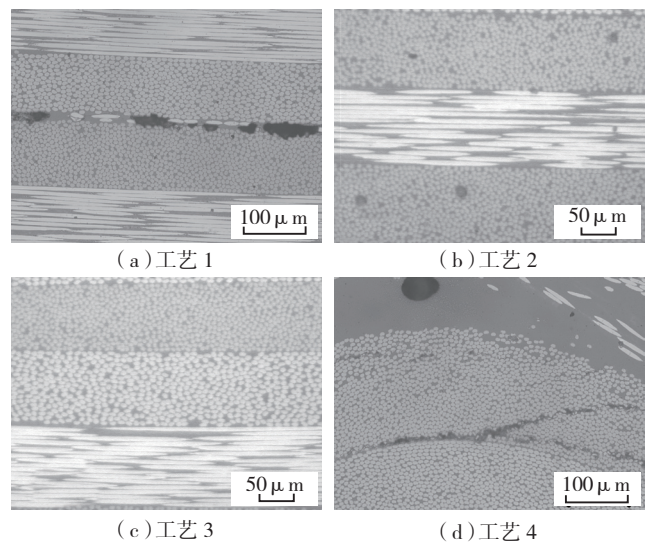


图3 固化后复合材料层压板的金相照片

Fig.3 Metallograph of composite laminate after curing

表4 不同吸胶工艺条件下层压板的力学性能测试结果

吸胶工艺	剪切强度 /MPa	弯曲强度 /MPa
工艺 1	57.38	1158
工艺 2	60.21	1263
工艺 3	60.70	1288
工艺 4	61.33	1312
工艺 5	56.65	1127

其根本原因在于复合材料层压板的树脂含量不合适。因此,该树脂复合材料的吸胶工艺优选为工艺 4: RT → 110℃ (保温 1h) → 60℃。

3 结论

(1) 吸胶工艺不同,预制件出胶量相差较大,直接影响成型后制件的内部质量;

(2) 吸胶工艺不同,成型后层板的孔隙含量不同,大孔隙率在一定程度上降低了材料的力学性能;

(3) 以上分析结果表明,碳纤维/BMP316 吸胶工艺规范为: RT → 110℃ (保温 1h) → 60℃,升降温速率 ≤ 2℃/min。

参考文献

[1] 梁奕珠,谢向莉,韩立军,等. 叠层成型用吸胶材料吸树脂量分析. 玻璃钢/复合材料, 1997(4):15-20.

[2] 杨进军,曹正华. 基于图像处理技术的复合材料纤维密实状态表征. 纤维复合材料, 2009(4):32-37.

[3] 李敏,张宝艳. 不对称铺层复合材料变形规律的试验研究. 玻璃钢/复合材料, 2006(5):28-31.

[4] 孙凯,李敏,顾轶卓,等. 热压罐零吸胶工艺树脂压力在线测试及其变化规律. 复合材料学报, 2010, 29(4):94-99. (责编 亿霖)