

复合材料构件自动铺带 数控编程系统研究*

Research on Automated Tape-Laying NC Programming System for Composites Component

中航工业北京航空制造工程研究所 梁岱春 向 颖



梁岱春

中航工业北京航空制造工程研究所高级工程师,主要从事集成制造技术研究。

复材构件手工成型时,预浸带经剪裁后手工铺叠、压实到模具表面。随着复材构件在现代大型飞机上广泛应用,人工铺放工艺已难以满足实际需要,急需自动铺带技术来提高生

自动铺带软件技术是实现复合材料构件自动化制造的关键技术,软件功能将直接影响复合材料构件的制造效率和产品质量,材料工艺技术和装备技术研究的深入对自动铺带软件技术提出了更高的要求。

产效率,改善制造过程的可控制性,降低成本以及提高产品质量。

自动铺带技术利用数控技术实现预浸带剪裁、定位、铺叠的自动化。与手工相比,自动铺带技术可降低制造成本 30%~50%,主要适用于各种大尺寸、小曲率部件的制造。与传统的数控加工不同,自动铺带技术属于典型的增料制造技术,由装备技术、软件技术和工艺技术构成,国外均已形成相关的工业产品。在自动铺带 CAD/CAM 软件方面,西方发达国家经过几十年的研究,已经开发了多套商用自动铺放 CAD/CAM 软件,并形成了完备的复合材料设计制造解决方案。其中, Tapelay 软件应用比较成熟, Tapelay 软件是由空中客车公司(AIRBUS)与法国应用数学中心(CIMPA)以航空航天领域广泛采用的 CATIA V5 软件为平台,基于 CATIA CAA V5 技术联合开发的自动铺带 CAD/CAM 软件。该

软件可直接集成到 CATIA V5 系列软件中,包括自动铺带 CAD 部分的 Tape Generation 模块和 CAM 部分的 Tape Manufacturing 模块。Tape Manufacturing 模块则能针对部分一步法铺带机与两步法铺带机生成相应的加工 NC 代码^[1]。目前,国内报道可见的自动铺带 CAD/CAM 技术研究主要集中在轨迹规划和加工仿真的基础理论方面。

CATIA/CAA 二次开发

自动铺带数控编程系统采用组件应用架构(Component Application Architecture, CAA) C++ 二次开发实现。Automation API(自动化应用接口)与 CAA C++ 是 CATIA 二次开发常用的两种方法, Automation API 入门容易,但功能限制大, CAA C++ 入门困难,但提供的接口全面,开发的程序效率高,能够满足用户深层次专业化的要求。

* 用于翼面类结构的大型复合材料铺带机(2009ZX04004-101“高档数控机床与基础制造装备”科技重大专项)、基于全三维信息模型的复材工装设计技术(先进制造技术预研项目)与基于全三维信息模型的复材工艺设计技术(先进制造技术预研项目)项目资助。

CAA C++ 是基于组件的定制开发, 是对其组件对象的组合和扩展, 采用了组件对象模型 (COM) 技术。CAA C++ 这种组件式的解决方案采用的开放式、可扩展的模块化开发架构, 使得全球诸多软件开发商可以参与达索系统 (Dassault Systemes) 产品的研发。CAA C++ 在具有更大的复杂度和难度的同时它也能够实现更强大的功能。CAA 的实现, 是通过提供的快速应用开发环境 RADE (Rapid Application Development Environment) 和不同的 API 接口程序来完成的。

自动铺带规划与编程软件概述

自动铺带规划与编程软件的主要功能模块包括铺带规划、铺带编程、后置处理 3 部分^[2]。

铺带规划是自动铺带支撑软件的 CAD 部分, 是自动铺带软件中基础数据的准备。在铺层中确定每条铺带位置 (即铺带中心线所处位置)、轮廓边界, 以及铺带展平数据, 并能够适当调整铺带位置、宽度, 以提高铺放效率和质量。

铺带编程模块是自动铺带支撑软件的 CAM 部分, 是本文的研究范畴, 主要实现铺带铺放过程数据文件的输出, 文件输出格式为 APT。这种文件可读性强, 容易及时发现问题。

后置处理工具通过对铺带编程中输出 APT 文件进行处理, 输出铺带设备铺放、切割、检测所需 NC 文件与其他数据文件。

自动铺带数控编程系统实现

铺带规划完成之后进行自动铺带的数控编程。自动铺带的数控编程设置工艺参数, 生成铺带编程模型, 然后进行轨迹计算并输出 APT 文件。自动铺带数控编程系统结构如图 1 所示, 包括机床加工模式定义、加工操作创建、铺放操作加工轨迹计算、超声切割操作加工轨迹计算、激光检测操作加工轨迹计算、加工轨迹保存与仿真

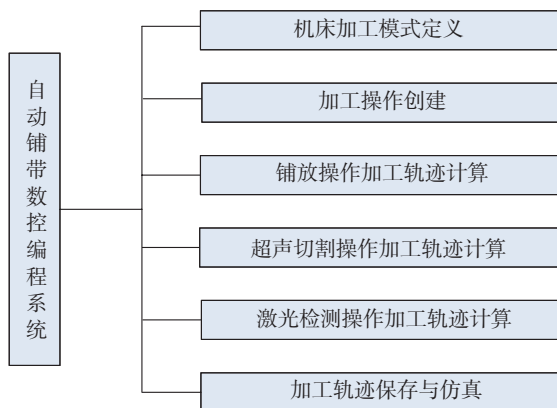


图1 自动铺带数控编程系统

算、激光检测操作加工轨迹计算与加工轨迹保存与仿真。

1 机床加工模式定义

机床加工模式定义一些基本信息, 包括选择机床与加工坐标系等。机床有 4 种加工方式, 分别为 A 工序、B 工序、超声切割与激光检测。由这 4 种加工方式组合成 6 种不同的机床加工模式。机床的这 6 种加工模式中可包括 A 工序、B 工序 (可选项, 有可能不包括)、超声切割与激光检测。A 工序的加工模式根据带宽 (300mm, 150mm) 的不同有两种, A 工序、B 工序都包含的加工模式, 根据 A 工序的带宽 (300mm, 150mm) 与 B 工序带宽 (150mm, 75mm) 组合成 4 种。A 工序、B 工序中设置的参数包括压棍的直径与长度、压辊力、进给速度、进 / 退刀高度等信息。超声切割中设置调整点速度、进刀速度与切割速度。激光检测中设置进给速度。在零件操作 (Part Operation) 中设置加工坐标系。

2 加工操作创建

自动铺带过程由铺放、切割与检测 3 部分构成, 本文的加工操作相应地包括铺放操作、超声切割操作与激光检测操作。

自动铺带编程系统在 CATIA 平台上运行, 其编程操作的交互方式尽可能与 CATIA 数控加工模块保持一致。CAA 加工模块中提供了加工操作的基本框架, 分别为几何、加工策

略、刀具、进 / 退刀、进给速度与主轴转速等。本系统开发过程中, 根据铺带编程中加工特征属性, 建立既能满足铺带编程需求, 又可以合理利用 CAA 框架结构的加工操作。针对铺带编程中加工特征包含的各类属性, 将特征几何、加工策略、进 / 退刀方式、加工轨迹离散参数、进给速度等属性进行分类, 确定各类属性在加工操作框架中所属位置, 建立相应的加工操作。

3 铺放操作加工轨迹计算

根据预浸带在自动铺带头中切割、铺叠的不同实现形式, 自动铺放有两种工作模式, 分别为一步铺带法、两步铺带法。一步铺带法中铺带头集成了切割系统和铺叠系统, 在铺放过程中完成预浸带的精密切割, 即“边切边铺”。两步铺带法则将预浸带切割与铺放分离: 在铺放前, 先由下料机按所需带形完成预浸带的切割与排序, 然后再由铺带机完成预浸带铺放, 即“先切后铺”。

铺放操作主要实现工序分配 (A 工序与 B 工序)、铺放方式 (单向与双向)、安全平面、进 / 退刀高度、进给速度、压力、最大步长、最大弓高与最大角度等信息的设置, 并且能够对铺放顺序与铺放方向进行调整。

铺带编程中关键控制点为铺放数据点和切割数据点。铺带规划 (自动铺带软件的 CAD 部分) 生成每条铺带的中心线, 铺放操作实现按照铺

带中心线进行铺放的加工轨迹。

铺带中心线上相邻两点的步长、弓高与角度的示意图如图 2 所示。

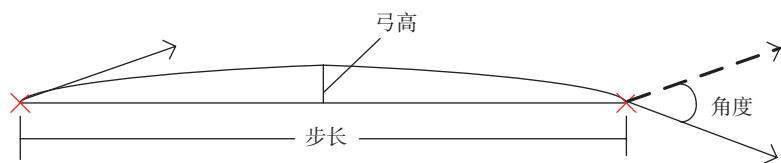


图2 铺带中心线上相邻两点的步长、弓高与角度示意图

(1) 最大步长: 相邻两点的直线距离的最大值, 数学表达式为:

$$\max \sum_{i=1}^n (l_i)。$$

(2) 最大弓高: 相邻两点所夹的曲线段上的点到相邻两点所形成的直线的距离的最大值, 数学表达式为:

$$\max \sum_{i=1}^n (h_i)。$$

(3) 最大角度: 相邻两点在曲线上的切向所形成的角度最大值, 数学表达式为:

$$\max \sum_{i=1}^n (\alpha_i)。$$

最大步长、最大弓高与最大角度, 为求解铺放轨迹的离散点提供依据, 要求求解的铺放轨迹任意相邻两点的步长、弓高与角度必须在最大步长、最大弓高与最大角度范围内。压辊可以快速地当前位置移动到安全平面, 进刀 / 退刀高度是铺放起始点沿法向方向上的距离。

根据设置的铺放工艺参数, 结合 CAA 接口即可计算铺放轨迹离散数据点。计算铺放轨迹流程见图 3。

4 超声切割操作加工轨迹计算

超声切割根据切割轮廓等信息计算生成切割轨迹。超声切割操作的结构包括 4 部分, 分别为曲线轮廓、轨迹离散参数、安全平面 / 安全距离与进给速度。

曲线轮廓设定参考铺层, 调整点与切割轮廓。参考铺层, 调整点均只能选一个, 切割轮廓可以选多条曲

线。曲线轮廓离散参数设定最大步长、最大弓高与最大角度, 为求解超声切割轨迹的离散点提供依据, 要求

求解的超声切割轨迹任意相邻的两点的步长、弓高与角度必须在最大步长、最大弓高与最大角度范围内。

安全平面 / 安全距离设定切割过程中的安全平面与安全距离。铺带头可以快速地当前位置移动到安全平面。安全距离是切割起始点沿法向方向上的距离。进给速度设定调整点速度、进刀速度与切割速度。调整点速度是刀头从调整点在安全平面映射点运动到真正切割的第一点在安全平面映射点的速度。进刀速度是刀头从切割的第一点沿法向距离为安全距离的点运动到切割的第一点的速度。切割速度是超声切割时的速度。

根据设置的超声切割工艺参数, 结合 CAA 接口即可计算切割轨迹离散数据点。计算切割轨迹的流程如图 4 所示。

5 激光检测操作加工轨迹计算

激光检测根据检测轮廓等信息计算生成检测轨迹。激光检测操作的结构包括 3 部分, 分别为曲线轮廓、轨迹离散参数与进给速度。

曲线轮廓设定铺层、检测轮廓与轮廓类型。曲线轮廓离散参数设定最大步长、最大弓高与最大角度, 为求解检测轨迹的离散点提供依据, 要求求解的检测轨迹任意相邻两点的步长、弓高与角度必须在最大步长、最大弓高与最大角度范围内。进给速度设定检测的速度。

根据设置的激光检测工艺参数, 结合 CAA 接口即可计算激光检测轨迹离散数据点。计算激光检测轨迹的流程如图 5 所示。

6 加工轨迹保存与仿真

加工轨迹 (Tool Path) 计算完成之后, CAA 提供了刀轨生成类厂 CATIMfgToolPathFactory 进行加工轨迹的添加, 通过接口 CATIMfgCompoundTraject 或是接口

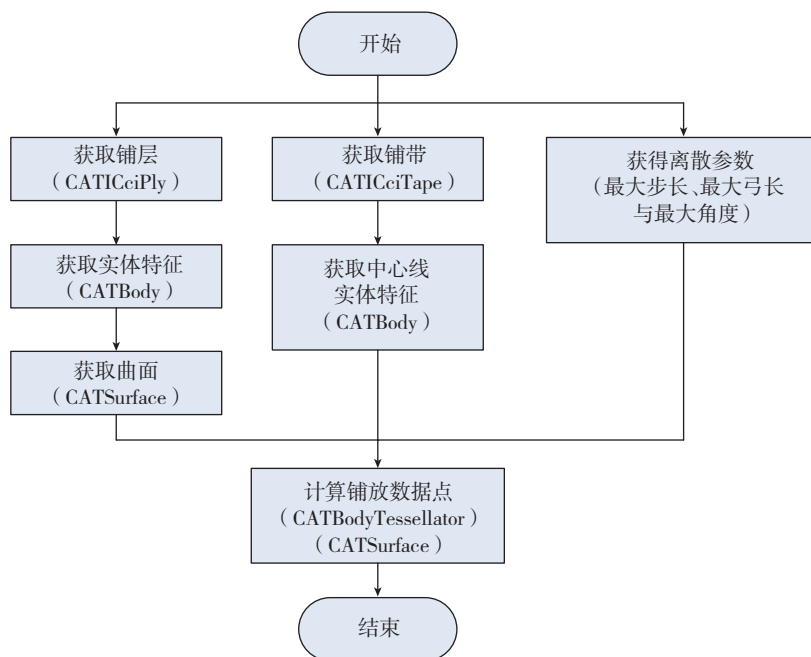


图3 计算铺放轨迹流程图

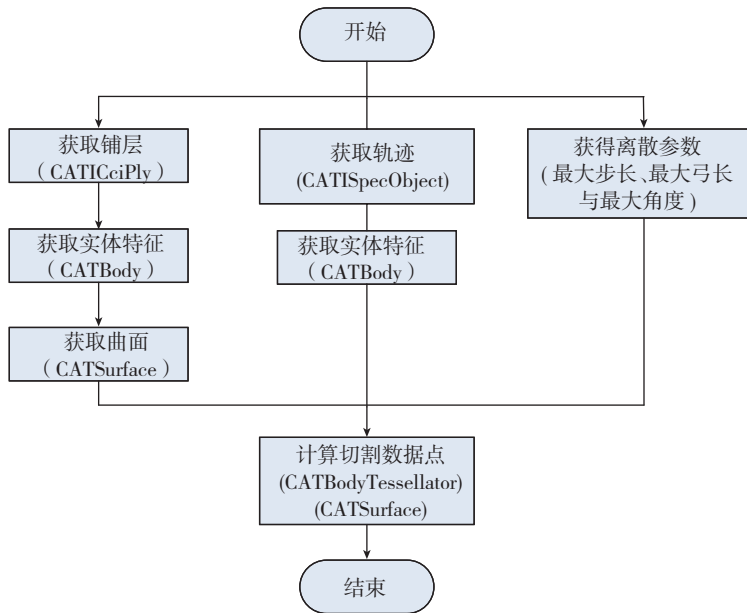


图4 计算切割轨迹流程图

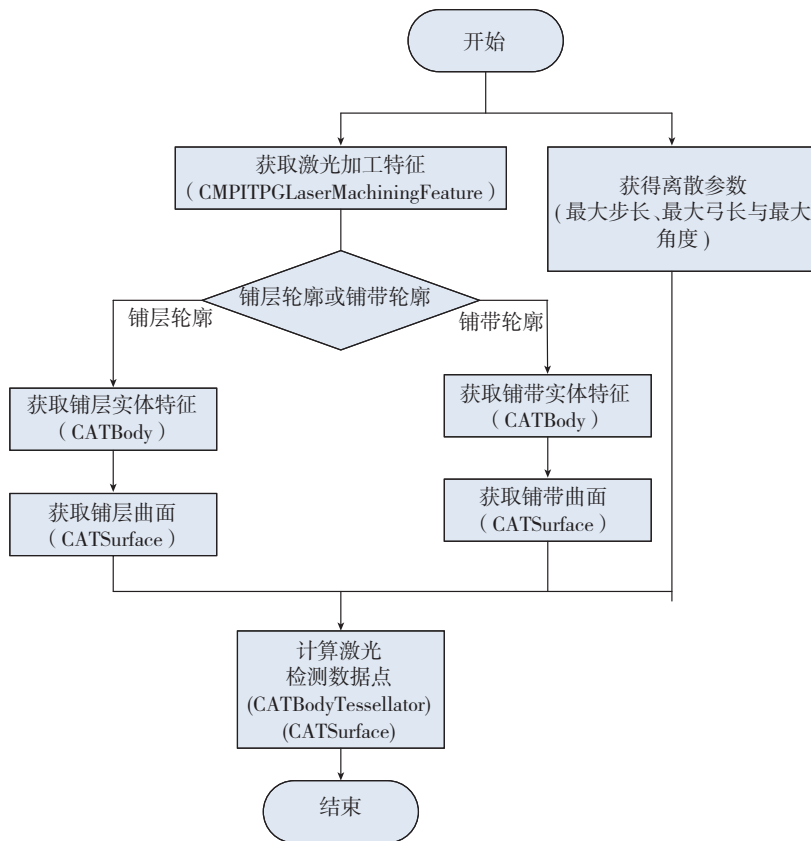


图5 计算激光检测轨迹流程图

CATIMfgToolPathComponents 查询获取相应的接口 CATIMfgTPSaveData, 进行加工轨迹保存, 加工轨迹保存后将生成到加工操作下, 可以进行仿真与 APT 文件输出。

加工轨迹计算完成并进行加工轨迹存储之后, 调用 CATIA 系统 CAM 部分已有的刀具轨迹仿真模块进行加工轨迹仿真, 实现了加工轨迹生成与 CATIA 系统仿真模块的无缝

集成。仿真以动画形式展示铺带编程形成的轨迹, 方便用户方便检查其操作的正确性。仿真界面见图 6。

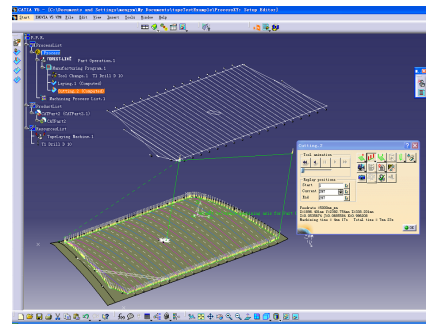


图6 仿真界面

总结

利用本系统进行了多个铺层的铺带规划与编程, 并输出了各铺层的 APT 文件。并将本系统计算结果与法国 TapeLay 软件计算结果进行比较, 比较结果如下:

(1) 输出的 APT 文件格式与 TapeLay 软件格式完全相同。

(2) APT 文件中铺放轨迹点的输出与 TapeLay 软件输出基本一致, 最大误差为 0.25mm, 主轴方向、切线方向基本相同, 误差可忽略不计。

自动铺带软件技术是实现复合材料构件自动化制造的关键技术, 软件功能将直接影响复合材料构件的制造效率和产品质量, 材料工艺技术和装备技术研究的深入对自动铺带软件技术提出了更高的要求。本文采用 Visual Studio 2005 平台运用 CATIA/CAA 二次开发技术实现了自动铺带的数控编程系统, 并能够输出满足铺带制造需求的 APT 文件, 该系统完成了铺带编程的主要功能, 相关功能的稳定性与方便性还有待进一步完善。

参考文献

- [1] 还大军. 复合材料自动铺放 CAD/CAM 软件技术. 航空制造技术, 2010(17): 42-45.
- [2] 孟月梅. 复合材料构件自动铺带支撑软件实现方法的探讨. 航空制造技术, 2009(24): 104-107.

(责编 深蓝)