

复合材料构件自动铺带支撑软件实现方法的探讨

Research on Automated Tape-Laying Support Software for Composites Components

北京航空制造工程研究所 孟月梅

[摘要] 就自动铺带机对制造数据的需求、自动铺带支撑软件的数据流程进行了分析。并在此基础上,对预浸料带规划中料带几何种类及计算方法、铺带编程功能的几何处理与参数设置等方面进行了探讨。

关键词: 复合材料 自动铺带 预浸带规划 预浸带展平 铺带编程

[ABSTRACT] The demand of manufacturing information for automated tape-laying machine and the flow of the support software are analyzed. And the geometrical types and algorithm of tape, the parameters for tape-laying programming are discussed in detail.

Keywords: Composites Automated Tape-Laying Prepreg tape design Prepreg tape flattening Tape-laying programming

复合材料在航空、航天等领域的广泛应用,推动了其构件自动化制造技术的迅速发展。自动铺带技术就是针对大型复合材料构件的制造需求而产生的一种新型制造技术。对于该技术的实现,关键是要解决自动铺带设备、铺带相关支撑软件、铺带工艺等几个方面的问题,最终达到通过自动铺放特定宽度预浸料带的方式制造复合材料构件的目的。国外已实现了该技术的商品化(如法国Forest-line公司、西班牙M. TORRES公司等),已能够提供自动铺带机以及与CATIA V5系统集成的支撑软件。这些设备在国外的一些航空公司得到了实际应用,已实现了大型客机翼面、壁板等大型复合材料构件的制造,取得了良好的效果^[1]。目前,国内对自动铺带技术也进行了探索,并取得了较大的进展,如南京航空航天大学与北京航空材料研究院等单位合作试制了自动铺带原型机,一些航空企业也采用了自动铺带机及相关技术。

自动铺带支撑软件是实现复合材料构件自动化制造的重要组成部分。该软件通过提供预浸料带设计与数控编程工具,为铺带设备输出所需制造数据。本文就复合材料构件自动铺带支撑软件中的几个主要问题进

行了探讨,并提出了解决部分关键技术的方法。

1 自动铺带机制造数据的需求

自动铺带机将带有背衬纸的单向预浸料带进行定位、剪裁、铺叠、辊压等一系列操作,实现铺层中预浸带的逐条铺放,进而实现逐层铺叠,并最终完成零件的制造^[2]。由于涉及到预浸带剪裁、废料去除、衬纸回收、质量检测等多种辅助功能,所以对铺带设备的运动控制比数控机床更复杂,所需数据种类也较多。除了给出预浸带铺放轨迹相关数据外,还需提供表达预浸带形状的数据。

在预浸带铺放过程中,首先要确定预浸带长度、中心轨迹各点位置以及每点主轴方向数据。同时,为保证预浸料带铺放后的长度、形状,预浸带边界的裁剪应在该部分料带铺放之前完成。预浸带裁剪是在某个固定平面内进行的,因此,需要给出预浸带展平后的边界形状,也就是预浸带轮廓展平后反映其形状的数据。另外,自动铺带机在铺放过程中不同运动状态下的进给速度、压辊压力、压辊姿态状态调整等参数也是必不可少的。

在自动铺带支撑软件中,通过实现基于铺层信息的预浸带设计、编程等工具,为铺带机提供各类制造数据,最终达到高效率、高质量地完成自动铺放预浸料带的目的。

2 复合材料构件自动铺带支撑软件概述

在铺层数据模型中,各个铺层的定义已完成,其基本信息包括铺层基面、铺层轮廓曲线、材料信息(如材料种类、铺层厚度等)、铺层参考坐标系、纤维铺放方向等。在此基础上进行预浸带设计与制造,可确保数据的一致性。

自动铺带支撑软件应在铺层数据模型的基础上开发,其主要功能模块包括预浸带规划、预浸带编程、后置处理3部分。

① 预浸带规划是自动铺带支撑软件中基础数据的准备。首先在铺层中确定每条预浸带位置(即预浸带中心线所处位置)以及轮廓边界,并适当调整预浸带位置或宽度,以提高铺放效率和质量。其中预浸带展平是预浸带规划中非常重要的功能,是预浸带形状描述的另一

种方式,也是铺放过程中必须提供的数据。

② 预浸带编程模块主要实现预浸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。在预浸带编程中,铺层顺序不能修改,而同一铺层中各预浸带加工顺序能够根据需求调整,如可从加工效率、废料量、质量等方面考虑调整预浸带铺放顺序或方向。

另外,为使系统使用方便,也可以从不同角度提供

多种预浸料带分析功能(如对料带扭曲度、曲率半径等的分析),确定其可制造性,提示用户铺放过程中需要特别注意的事项。

③ 最后,根据自动铺带机设备的需求,提供相应的后置处理工具。该工具通过对预浸带编程中输出的 APT 文件进行处理,输出铺带机铺放预浸料带所需的 NC 文件。

图 1 为自动铺带支撑软件数据流程图。

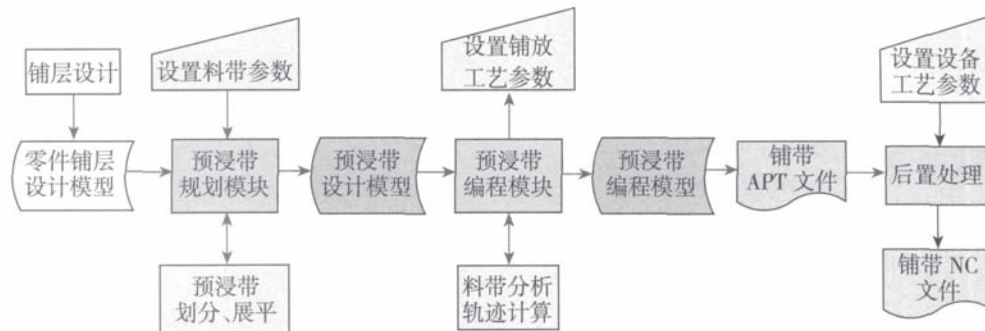


图 1 自动铺带支撑软件数据流程

Fig.1 Flow of automated tape-laying support software

3 基于铺层信息的预浸带规划

在预浸带规划中,除了利用铺层提供的基本信息(如铺层所在基面、铺层轮廓几何、铺层坐标系、纤维铺放方向等),还需提供预浸带参考位置、宽度、两料带间隙距离等,便可对该铺层的料带进行规划。预浸带几何由料带中心线、轮廓线以及这些曲线的展平几何构成。预浸带中心线决定了料带铺放轨迹以及带的长度,而料带轮廓线、展平几何用于描述不同状态下预浸带的形状。

① 预浸带中心线计算方法。

关于预浸带中心线的计算,现在最常用的是“自然路径”(即测地线)方法。表面上的测地线指其测地曲率恒等于 0 的曲线^[3]。对于平面、可展曲面(如柱面、球面等),其测地线展开后为直线;而对于一般曲面,测地线展开后可近似为直线。研究表明,过曲面上任意一点及该点的任意切向量,必有一条测地线。因此,只要给定表面上的点和该点的切向量,必可得到一条测地线,且测地线在该点的切向量为给定方向。测地线作为预浸带的中心轨迹,可确保预浸带纤维自然舒展地贴合到所铺曲面上。但是,采用测地线方法计算预浸带中心线也存在一定的缺陷,如果曲面曲率变化比较大,可能会

导致两条料带之间的间隙误差过大,即两条料带之间缝隙过大或有明显的重叠部分。

针对以上情况,人们提出了另一种预浸带中心线的实现方法,即利用曲面上生成平行线的方式计算料带中心线。当然,这种方式也存在缺陷——可能会使铺放的预浸料带与曲面贴合得不好,预浸料带出现扭曲、折痕等现象。

对于这 2 种预浸带中心线的实现方法,在实际应用中究竟采用哪种方式,由铺层曲面形状、铺放工艺需求等多方面因素决定。

② 预浸带轮廓边界的生成。

预浸带轮廓线是一条封闭曲线,它的计算是以预浸带中心线、铺层轮廓曲线、带宽等信息为基础进行的。料带两侧轮廓线的计算通过预浸带中心线、铺层曲面、带宽实现;而料带两端边界则通过对铺层轮廓曲线的裁剪实现。对于当前带宽不能达到设定料带宽度值的情况,系统直接根据铺层轮廓线的边界确定预浸带轮廓线。由于铺层轮廓线为封闭曲线,对于裁剪后曲线部分的选择需要根据实际情况确定。

另外,预浸带轮廓边界确定了该料带的实际长度,所以预浸带中心线长度及两端精确位置是通过铺层轮廓边界得出的。图 2 为不同情况下预浸带中心线及轮

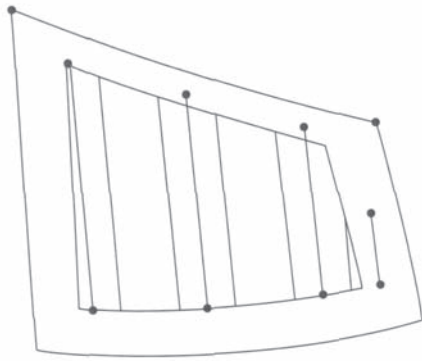


图2 预浸带中心线、轮廓线形状

Fig.2 Center and contour curve of prepreg tape

廓线的形状。

③ 预浸带展平几何的实现。

当预浸带中心线与其轮廓线几何生成后,还需对预浸料带进行展平^[4]。通常,铺层所在曲面尽管曲率不大,但并非可展曲面。因此,通过展开曲面及曲面上的曲线实现预浸带的展平,可能会使计算量加大或展开后出现一些意想不到的问题。如果仅针对预浸带中心线与其轮廓线在表面上的相对位置进行料带的近似展平,可大大减少计算时间。

首先,将预浸带中心线展平后视为直线,而其轮廓线展平后与该直线的相对位置可通过预浸带在曲面上轮廓线相对预浸带中心线的位置确定,获得轮廓线上所有点相对位置即可实现预浸带展平几何的生成。在相对位置计算中,即曲面上预浸带中心线与轮廓线的相对位置计算,是通过分析预浸带中心线上一点的近似垂直线与轮廓线的相交情况实现的。在预浸带展平几何生成过程中,特别需要注意预浸带两端边界处的情况,两端边界的形状与预浸带实际形状的误差要降低到最小程度。因为展平的边界决定了预浸带的实际形状,误差太大,会导致铺放后的预浸带形状超出误差范围而无法满足铺放要求。

预浸带展平后的几何需放置在指定平面上,而且所处位置应该是在用户易于查看的地方,并能够与预浸带表面上的几何位置相对应,这样可方便地检查展平后出现的异常情况。图3即为包括展平几何的预浸带所有几何。

在预浸带几何生成过程中需要特别注意的是,由于铺放方向、铺层轮廓形状等因素的影响,铺层所在曲面边界位置需要进行一定的处理。如果曲面不够大,需要对曲面进行外延,尽可能保证预浸带几何计算的可行

性。另外,铺层所在曲面不够光滑时,也会影响到预浸带几何的生成,这时就需要考虑一些特殊处理方法,如预浸带生成方式的改变、曲面的修改等。这需要根据复合材料构件实际情况而定。

4 自动铺带的数控编程

当预浸带规划完成后,即可进行预浸带的数控编程。自动铺带数控编程模块主要包括预浸带编程操作创建、输出 APT 文件等功能。

预浸带编程功能可实现一个或多个铺层同时操作,多个铺层时必须保证铺层顺序。编程时铺层顺序要保持不变,不能随便调整。在预浸带编程中,首先要确定编程坐标系、需铺放的铺层(该铺层中已包含了所有预浸带数据),并完成铺放方式(即单项或双向)、安全平面、进/退高度、不同状态下的进给速度(如进/退、铺放等)等参数的设定。根据预浸带形状、宽度以及设备铺放工序等实际铺放情况,可适当调整预浸带铺放顺序。另外,在编程中还需要设定自动铺带机所需的特殊参数,如压辊压力等。

预浸带编程功能中预浸带铺放过程仿真是必不可少的。当编程创建后,仿真功能可使用户方便检查其操作的正确性。

根据预浸带编程功能中定义的相关数据,可输出当前操作实现铺放的 APT 文件。文件中主要包括预浸带形状描述数据、进给速度、铺放轨迹、主轴方向、辊压力等信息。通过浏览该文件,可大致了解预浸带的铺放过程。

另外,自动铺带机提供的预浸带裁剪功能是在预浸带铺放之前进行的。由于裁剪时所用超声刀摆放角度、运动轨迹的局限性,导致对裁剪边界也有一定要求,有些形状是无法裁剪出来的。因此,需要对预浸带形状进行分析,确定是否可满足铺带机要求,对于不能裁剪的

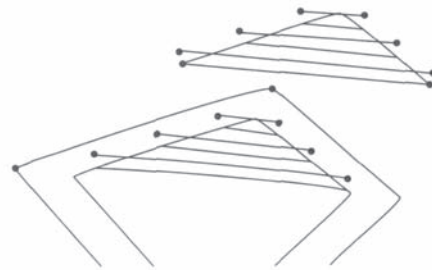


图3 包括展平几何的预浸带所有几何

Fig.3 All geometrical element of tape including flattening curve

预浸带边界,给出存在问题的详细信息,以指导用户修改其形状。这里需要提醒的是,修改预浸带时要尽可能保持预浸带中心线几何数据不变,如果中心线与其轮廓线不吻合,则需要对预浸带中心线进行修改,而修改后的预浸带需重新计算展开几何。

目前,商品化的铺带机也具有激光切边等辅助功能,所以也应该提供这类加工方式的编程与 APT 文件输出功能。

5 自动铺带机的后置处理

后置处理程序的编制是与自动铺带设备完全对应的。后置处理过程就是根据铺带机提供的运动指令,将铺带 APT 文件进行处理,输出满足铺带机铺放的 NC 文件。铺带设备使用的数控系统决定了 NC 程序格式,有时还会包括一些专用指令以便于操作者使用。为方便用户及时了解预浸带各方面信息,也可在处理过程中提供预浸料带使用情况、可能出现的问题等信息,以便用户查阅。

6 结束语

目前,商品化软件 CATIA V5 系统提供了功能丰富的铺层设计模块,多数复合材料构件铺层数据模型就是在此系统中创建的。在此环境下利用其二次开发工具进行自动铺带支撑软件的开发,不仅能够直接利用铺层几何与相关信息,而且也可避免由铺层信息缺失带来的后续几何处理问题。自动铺带支撑软件是实现自动铺带技术的关键,软件功能的实用性直接关系到复合材料构件制造的质量和效率。在该软件中,除了要开发预浸带设计和编程基本功能外,还需针对铺带工艺需求提供方便适用的预浸带分析、检查、修改等辅助功能,最大限度地避免铺放过程中产生不必要的错误,并尽量减少预浸带废料,最终达到降低原材料成本、提高生产效率和质量的目的。

参 考 文 献

- [1] 丁韬. TORRESLAYUP 自动铺带机. 航空制造技术, 2007(1): 108-109.
- [2] 刘林, 文立伟. 复合材料自动铺带机专用数控系统, 南京航空航天大学学报, 2007, 39(4): 486-489.
- [3] 胡翠玲, 肖军. 复合材料自动铺带技术研究(I)——“自然路径”特性分析及算法. 宇航材料工艺, 2007(1): 40-43.
- [4] 臧建峰, 肖军. 复合材料自动铺带技术研究(II)——柱面上沿“自然路径”铺带的压辊坐标生成. 宇航材料工艺, 2007(1): 44-46.

(责编 小颖)

(上接第 103 页)

了因借领时间、地点不一导致的必须进行页面的多处选择才能归还的问题,大大方便了管理人员的操作。图 8 所示为工艺装备多种资源混合归还。



图 7 工艺装备多种资源混合借领

Fig.7 Mixed borrowing multi-kinds resources of manufacturing equipment



图 8 工艺装备多种资源混合归还

Fig.8 Mixed giving back multi-kinds resources of manufacturing equipment

5 结束语

多种资源混合管理系统以批量机械加工企业群为应用对象,体现了较强的针对性。本系统不仅为整合制造资源提供了应用参考,同时为跨行业、跨地域为企业服务提供了应用示范,大大扩展了网络化制造的应用空间,企业能快速响应市场的变化和 demand,实现基于区域或行业的设计制造资源集成与共享,从而加强区域内相关企业间的协同与资源整合,形成具有区域优势的产业集群,推动区域制造业和区域经济的可持续发展。

参 考 文 献

- [1] 任建标. 生产与运作管理. 北京:电子工业出版社, 2006.
- [2] 马鹏举, 陈剑虹, 卢秉恒, 等. 支持动态联盟的制造资源信息建模. 中国机械工程, 2000, 11(7): 780-783.

(责编 玉龙)