DOI:10.16080/j.issn1671-833x.2008.11.008

自动下料系统在先进复材数字化制造中的应用

Application of Auto-Cutting System in Digital Manufacturing of Advanced Composite

成都飞机工业（集团）有限责任公司　刘　兰

刘　兰
成都飞机工业(集团)有限责任公司助理工程师。主管下料机的应用以及FIBSIM、CPD软件在复材生产中的应用分析。

自动下料通常可保证材料利用率在单件生产时达到70%以上，而批量生产由于可以大量套裁，材料利用率甚至达到90%以上，相对于50%的手工下料利用率，自动下料机效率有了很大的提升，在多机种批量生产中其优越性更加突出。

在以层叠法制造的复合材料产品的生产过程中，每一铺层大多采用样板为制造依据，手工进行下料。由于操作者技能的差异，可能造成铺层角度和外形的不同甚至偏移，影响固化后产品的性能和质量。现代飞机生产全面采用数字文件取代了图纸和样板等传统手段对产品进行定义，手工下料这一方法越来越不适应飞机精确制造的发展。于是，在复合材料制造中出现了数字量传递、自动化生产的先进模式。复合材料铺层的自动下料系统就是一个典型的例子。

超声往复式自动下料系统的工作原理

首先自动下料机利用Cutwork软件或AutoCAD软件接收读图版数据或DXF、IGES格式数据的输入进行数据采集，产生样片，再校对样片进行精确设计，然后进行计算机排料编程，经过系统资料管理，人工排版、自动排版或人机交互排版，生成切割机NC程序并打印排版图，最后通过下料机计算机控制系统，应用超声震动能切割的原理对未经固化处理的复合材料预浸料、胶膜等进行切割，实现预浸料和胶膜的自动排序、送料、下料等功能，并做标记。

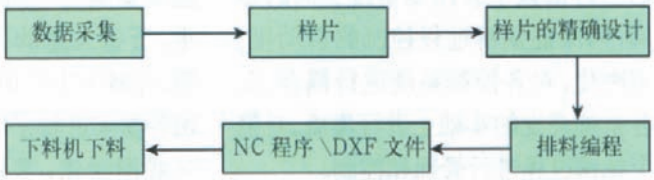
1 制造过程数据的采集

样片的数据采集有两种方式：即正向建模与逆向建模。

(1)逆向建模。

利用读图板，根据复材零件的每一铺层料片的样板读图，并根据采集到的数据产生样片图形数据。

由于受读图板有效读图面积的限制，这种方法主要应用于铺层形状简单且尺寸小的零件。并且，该方法



自动下料系统的工作流程

(C)1994-2023 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

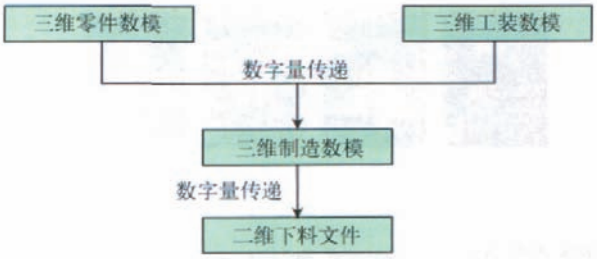
存在由于模拟量传递带来的误差，包括工装型面、下料样板及定位铺叠样板本身的不精确等。同时还存在由于样板使用特点而带来的操作精度难以保证和生产效率低的问题：具体表现为采用下料样板进行预浸料手工下料时精度低和效率低；采用聚酯铺叠定位样板手工定位铺叠时因为工装型面多曲度而难以精确定位和贴合型面，造成角度、定位不稳定和效率低。这几方面原因最终造成下料和铺叠等手工操作标准化程度差、产品质量不稳定、工作效率低。

（2）正向建模。

产品设计时通过数字量传递的三维数模产生三维制造数模，使用专业复材设计软件（FiberSim 软件和 CATIA V5 的 CPD 软件）对其进行制造性分析和模拟，最终生成展开的 DXF 或 IGES 格式文件的图形。

采用正向建模进行数据采集不仅可以避免多种数据源的产生和传递过程中产生的误差，而且可在实际生产前预先进行模拟制造，对模拟发现的铺层问题进行优化，然后输出料片数据和铺层激光投影样板数据，在自动下料机和激光定位仪的辅助下，最大限度地降低手工铺叠过程中的误差，提高手工下料和铺叠的效率，提高复材制件的铺叠质量和操作稳定性，形成产品的标准化、精益化生产，基本上可以克服逆向建模所带来的量值传递误差问题。

正向建模采集数据的另外一种方法是根据产品设计和实际生产中的工艺要求设计出二维平面图，转换成 DXF 或 IGES 格式文件，得到 ACCUMARK 样片。



正向建模数据采集流程

2 样片的精确设计

（1）样片校对。

对得到的样片在处理前进行核对，检查样片的方向是否和生产设计的要求一致，然后按照实际情况进行适当修正：

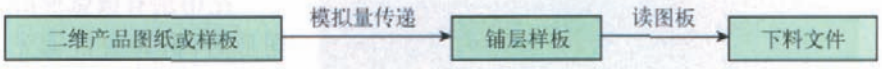
- 根据制造工艺要求，对部分铺层尺寸进行放量。例如边缘为零件切割净边的铺层；
- 根据拼、搭接工艺要求确定是否进行修正；
- 根据材料的特性（如下料吸附张力、延展性等），确定是否放量；
- 使用部分原料在工装上进行实际铺叠，并及时对料片进行反馈，确定最好的设计展开方案。

（2）样片图形连续性修正。

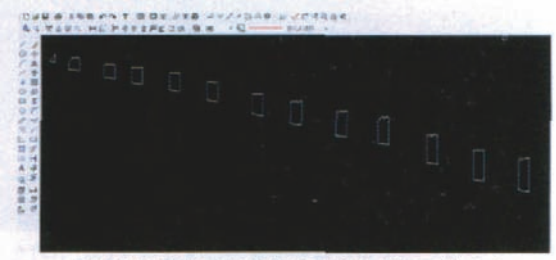
由于复合材料分析软件生成的二维图形是由很多的点和断线组成的，特别是在有圆弧的地方。这样会降低下料机的运行速度，而且下料机是应用超声振动能来切割的，因此当图形中点太多时，机床运行抖动很剧烈，也大大降低了机床的精度。所以在进行优化排版前，要通过手动修改的方式，在 CPD 生成的二维图形样片上进行修改，尽量用直线和曲线代替点和断线。修正后料片图形更为连续，这为自动下料机的连续工作提供了可靠保证。

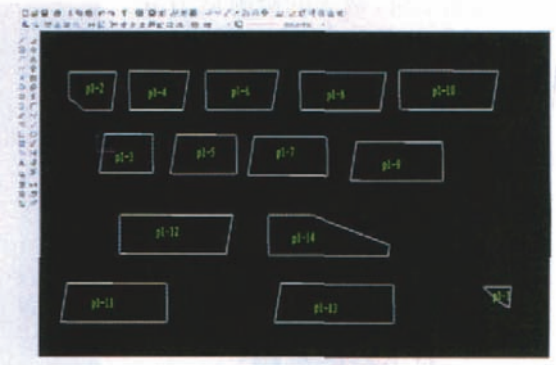
3 排版编程

料片确定后进行比较精确的排版，可以按照单件生产和批量生产分别进行排版，从而最大限度地节约用料。自动下料通常可保证材料利用率在单件生产时达到 70%以上，而批量生产由于可以大量套裁，



铺层逆向建模数据采集流程


复材分析软件正向建模后直接生成的下料图形


修正后的下料图形

材料利用率甚至达到 90%以上，相对于 50%的手工下料利用率，自动下料机效率有了很大的提升，在多机种批量生产中其优越性更加突出。

（1）使用 AutoCAD 软件进行手动排版，最后生成 DXF 文件。

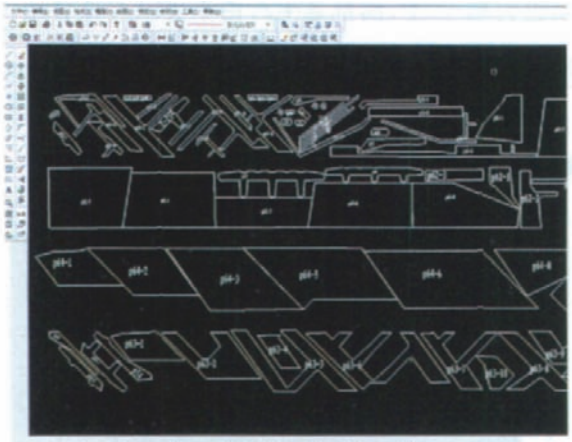
这种排版方式的优点是：针对样片的外形线的修改可按工艺要求灵活调整，相邻料片重复时，可以删掉共同线，这样使材料的利用率增加，也提高了设备的运行能力。但这种方式也存在排版速度慢、不可控、容易出错的缺点。

（2）使用机床附带的工业排版软件 Cutwork 进行排版，最后生成 NC 文件。

这种排版方式的优点是：速度快，效率高。但有以下缺点：进行排版的样片必须是独立的封闭图形。

(C)1994-2023 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

这种排版方式不适合胶膜这种材料。在下胶膜材料时，由于材料本身的特性非常容易打卷。当料片被完整切割下时，裁床的吸附能力减弱，样片会自动卷成筒状，这样就阻挡了裁头的移动，使切割好的样片卷入裁头因而被切坏或是还未切割的胶膜被裁头拉伤。因此需要在绘制图形的时候使图形不闭合，使料片不能一次性被完整地切割下来。



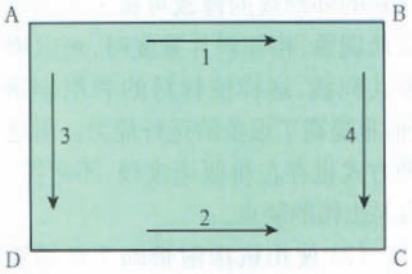
经过分析并根据使用材料宽度进行排版后的 *.DXF 下料文件

AutoCAD 生成图形对下料的影响

1 AutoCAD 生成图形与下料的关系

下料机运行时，走刀并不是按照顺时针或是逆时针方向，刀片的运动顺序是跳跃式的。

以矩形样片为例，转换成二维坐标点进行分析发现，下料机的走刀方向和顺序与绘制图形时的线条顺序是一致的。



矩形样片走刀顺序示意图

在料片裁断的地方，由于裁床对预浸料的吸附力减弱，裁头移动时容易把预浸料刮起、拉伤。这样，裁头走刀次数的增加就会大大增加料片拉伤的机率。所以应注意绘图的方式，减少裁头在机器运行时的走刀次数，从而大大提高工作效率。

2 减少下料误差的方法

在切割有圆弧形的图形时，机器会自动先切割圆弧，再切割连接圆弧的两条直线。这样切下的料片，比按顺序切割的图形误差要大。通过反复实验，发现通过在 Cutter 软件中将图形设置为“自动连接所有线”，并设定封闭线切割顺序，选择“顺时针或逆时针”切割就可以解决这个问题。

结束语

运用 Cutwork 工业排版软件或 CAD 图形软件，通过正向数据采集，生成样片，通过对展开料片的核对、修改，生成下料切割文件，传给下料机准备切割。下料前，对下料机参数进行设置（切割不同的材料设置不同的相应参数），准备好后由下料机完成自动下料。实现了复合材料预浸料及胶膜等材料的数字化精确下料，为先进复合材料的数字化自动生产打下基础。

（责编　晓霖）

(C)1994-2023 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net