

蒙皮拉形柔性多点模具型面生成系统开发及应用

Application Research and Development to Generation System of Surface for Skin Stretch Over Reconfigurable Multi-Point Die

北京航空制造工程研究所 潘青 侯志霞

[摘要] 采用柔性多点模具对蒙皮进行拉形制造具有传统方式无法相比的优点,本文在对这项新兴技术的起源、国内外情况做了简要介绍之后,阐述了型面生成系统。该系统根据数模生成柔性多点模具进行拉形的调形数据并详细论述了利用 CATIA 二次开发工具 CAA 所开发的型面生成系统中的关键算法和技术以及功能的具体实现。

关键词: 蒙皮拉形 多点模具 CAA

[ABSTRACT] Flexible multi-point die is more excellent than traditional method for skin stretch forming. The origin and current status of flexible multi-point die are introduced, and the generation system is expounded with an emphasis. The system needs to generate the adjusted data for the multi-point die stretch, which is the important link between the preceding and the following. The realization of key algorithm, technology and function of profile generation system is discussed by using CATIA secondary development tool CAA.

Keywords: Skin sketch forming Multi-point die CAA

柔性工装技术是减少大飞机制造成本、缩短准备周期、提高生产效率、加快对市场响应的一项重要技术,是将传统的工装设计与计算机数字控制集成的一种先进数字化工装技术。在各种形式的柔性工装中,多点成形技术便是其中之一,它利用计算机控制很多可调整的基本体,形成所需要的造型曲面,实现三维钣金件的成形,从而替代传统的实体模具。利用这种技术研制的柔性多点模具应用于蒙皮件的拉形中,不仅可以节省因重复制造模具而耗费的巨大成本,而且可以在任何时候通过数控技术快速生成所需的目标曲面,使工作效率明显提高。

1 多点成形技术的发展

早在 60 年代,日本首先提出了无模成形的构想。

此后的 30 多年间,日本石川岛播磨重工业株式会社、东京大学、东京工业大学等公司及机构先后对多点压力机及成形实验方面进行了研究。美国麻省理工学院 MIT 的 D. E. Hardt 等学者于 1981 年提出了柔性多点成形模具的概念,并与 DARPA 和 CB 等公司合作进行柔性模具多点蒙皮拉形技术研究,研制了一套台面尺寸为 410mm×512mm 的原型机以及一套台面尺寸为 1 075mm×1 536mm 的工程化应用柔性模具系统。2002 年,该系统进入工程验证阶段,在美国一个空军修理厂投入生产,取代了该厂 49% 的固定模具,而 76% 的蒙皮零件采用该技术进行生产。此外,波音公司也已经购买了 2 套该柔性模具系统用于飞机蒙皮类零件的生产^[1]。

国内在这一领域处于领先地位的是吉林大学无模技术开发中心。近年来,在理论研究方面,吉大对柔性模具多点成形的基本理论与实用技术进行了系统研究,提出了 4 种不同的多点成形的的基本方法,并首次提出了实现无回弹成形的反复成形法,发明了有效防止压痕及皱纹的网状结构弹性垫;在实用化方面,吉大开发研制出国内第一台多点冲压成形装备。

北京航空制造工程研究所在 20 世纪 90 年代开展了这方面技术的研究,掌握了柔性多点模具的机械设计制造技术、柔性多点模具蒙皮拉形过程有限元分析技术,以及包括弹性垫层的选择和蒙皮拉形工艺参数选择在内的柔性多点模具蒙皮拉形工艺技术等关键技术。

采用可重构柔性多点模具替代传统的实体模具实现拉形,能够有效利用模具包络型面的可重构性来修正影响蒙皮成形精度的回弹问题。可重构柔性多点模具

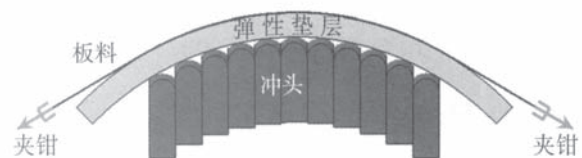


图 1 柔性多点模具成形原理

Fig.1 Forming theory of reconfigurable multi-point die

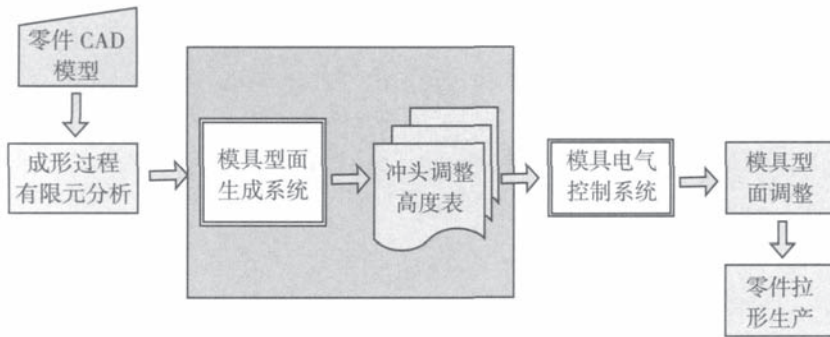


图2 采用柔性多点模具进行拉形生产的主要流程

Fig.2 Main process of stretch forming by using reconfigurable multi-point die

的成形原理如图1所示。采用可重构柔性多点模具进行蒙皮零件拉形生产的主要生产流程如图2所示。

为了实现模具型面的快速、准确重构,需要开发面向飞机蒙皮拉形的可重构柔性模具型面生成系统,同时为可重构柔性模具蒙皮拉形型面提供调形数据。柔性多点模具型面生成系统是采用多点模具进行蒙皮拉形的一项关键技术,是联系零件设计和制造的桥梁^[2]。系统接收零件模型或经过有限元补偿分析后的零件型面数模,将设计型面转换到制造坐标系,按模具冲头尺寸和排列方式、数量,求出每个冲头的调形高度,并将计算得到的数据输出,作为控制系统的输入,进行模具调整,从而得到符合要求的模具,然后便可进行拉形,最终得到零件。

与传统的实体模具相比,采用可重构柔性多点模具具有以下优点:

- (1) 减少模具数量,由原来上百套固定模具,减为几套柔性模具。
- (2) 缩短制造周期,由原来月计,减为分、小时计。
- (3) 减少投资规模,由原来上亿元,减为2~3千万元。
- (4) 减少占地面积,由原来上千m²,减为十几m²。
- (5) 提高重复利用率,由原来一对一,变为一对多。

在使用型面生成系统后,使得整个系统的数据传递完全采用数字量传递,简化了尺寸、位置协调关系,提高了数据的准确性,完全实现了设计过程与制造过程的数字一体化。2种蒙皮拉形生产流程的对比见图3。

2 型面生成关键算法及技术

柔性多点模具型面生成系统的开发框架示意图如图4所示。

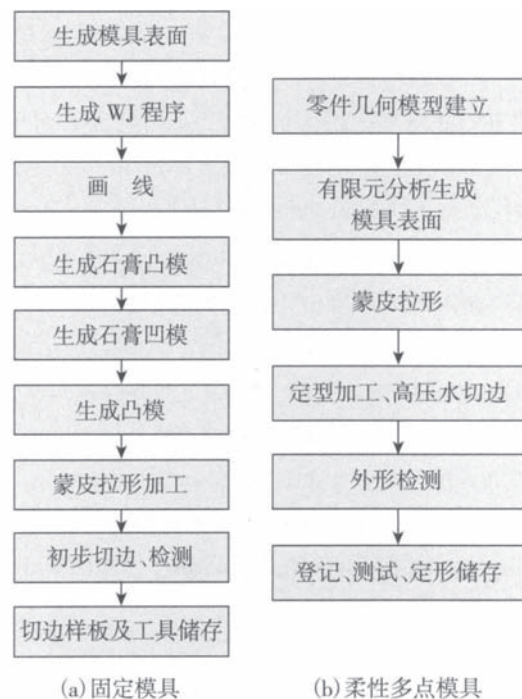
在使用柔性多点模具对蒙皮进行拉形时,关键步骤

之一是根据设计人员所设计的零件几何模型生成模具调形的位置点,并且要保证数据计算准确无误,这也是柔性多点模具型面生成系统的主要功能。在从设计数据向制造数据转换的过程中,涉及到曲面变换、投影点计算等图形学计算。

2.1 曲面变换

曲面变换是将蒙皮零件数模由其所在的设计坐标系变换到柔性多点模具所在的坐标系空间,方便计算调形点的坐标。这一过程类似于数控编程中的加工坐标系的变换。柔性多点模具所在的坐标系如图5所示。

程中的加工坐标系的变换。柔性多点模具所在的坐标系如图5所示。



(a) 固定模具 (b) 柔性多点模具

图3 2种蒙皮拉形生产流程的对比

Fig.3 Comparison between two stretch forming processes

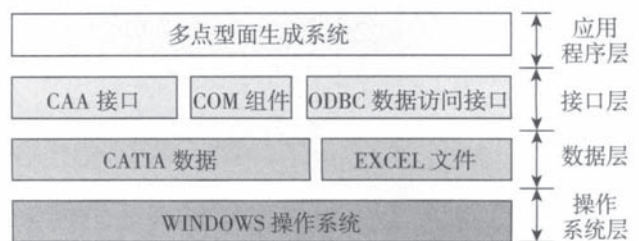


图4 多点模具型面生成系统开发框架

Fig.4 Generation system development frame of multi-point die profile

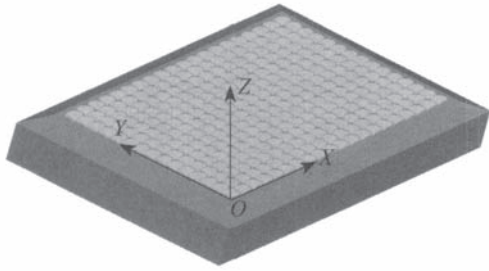


图5 模具所在的坐标系
Fig.5 Coordinate of die

将基准面变换到 XY 平面,并施加相同的变换于零件数模曲面,最后考虑到零件数模曲面所覆盖的面积有可能大于模具所有冲头的总面积,因此变换时以数模曲面的中心为基准点,使其在基准面上的投影点重合于模具的中心点。其原理如图 6 所示。

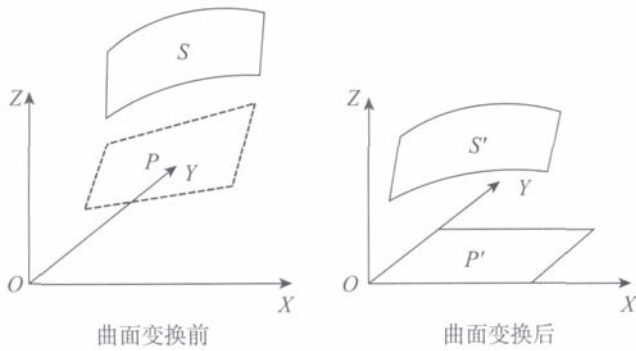


图6 曲面变换原理图
Fig.6 Principle of curved surface transformmng

2.2 投影点的计算

将零件曲面变换到模具所在的制造坐标系后,计算每一个冲头调形高度的问题便转换为每一个冲头的中心沿 Z 轴方向在零件表面上的投影问题。在 XY 平面上以坐标原点为起点,根据冲头纵向间隔、冲头横向间隔、冲头长度、冲头宽度等参数值确定被投影点的坐标,投影曲面为蒙皮零件数模曲面沿 Z 轴负向偏移冲头半径宽度所得到的曲面,然后利用 CAA 所提供的计算投影点的函数得到投影点坐标,再加上冲头的半径值即为冲头的调形高度。为了保证边界冲头的位置准确,还应将曲面延展一个冲头的宽度。其原理如图 7 所示。

2.3 模具的三维仿真显示技术

当计算出曲面上所有冲头调形对应的数据点之后,需要在本系统对计算结果进行三维模拟仿真,使用户在实际控制柔性多点模具调形之前有一个非常直观的

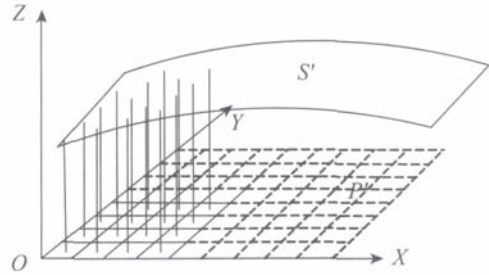


图7 投影点计算原理图
Fig.7 Calculation principle of project point

效果。实现模具调形结果的三维仿真,关键在于解决以下 2 方面的问题。

① 标准冲头的显示。冲头的外形如图 8 所示。由该图可以看出,冲头主要由 5 个平面和 1 个曲面组成。首先将曲面离散成小的三角面片,然后将离散后的数据作为参数传递给 CAA 的显示函数,便可在屏幕上显示出冲头外形。

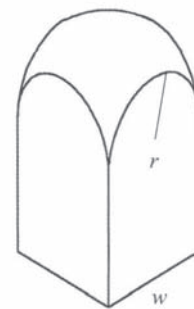


图8 冲头外形示意图
Fig.8 Outline of pin

② 模具调形结果的显示。将不同位置的冲头按照调形高度显示成相应的高度,便可表示出每一个冲头调形的最终位置,从而显示出模具调形后的形状(见图 9)。

3 型面生成系统的具体实现及主要功能

在柔性多点模具上进行拉形的蒙皮零件均采用 CATIA 设计。为了能够直接利用数模文件,减少格式转换可能产生的误差,型面生成系统采用 CATIA V5 的二次开发工具 CAA 实现^[3]。CATIA V5 是达索公司推出的三维 CAD/CAM 设计系统,由于它具有强大的曲面造型及逆向功能、全面组合分析功能,以及个性化的界面、智能的操作功能,现已成为航空工业、汽车工业重要的设计软件。此外 CATIA 提供了功能丰富的曲面运算接口^[4],使得开发过程中涉及到的曲面运算也大大简化。利用

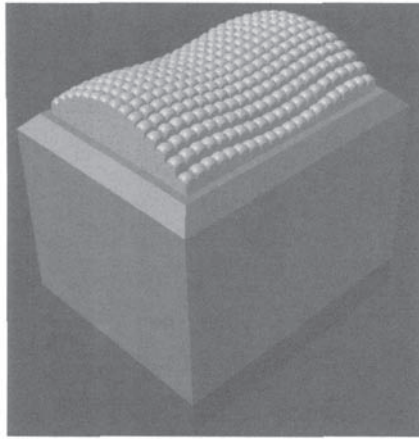


图9 模具调形结果显示示意图

Fig.9 Display of adjust result by using die

CAA 开发的型面生成系统能够与 CATIA 现有功能完全集成,是现有 CATIA 功能的扩充,并且 CATIA 的原有功能可照常使用。

在利用 CAA 实现型面生成系统的用户交互界面时,主要使用到了 workbench 和对话框的定制和开发技术。通过新建的 workbench 可以将二次开发形成的一系列命令集中显示在一个 workbench 中便于以后的操作。多点柔性模具蒙皮型面生成系统软件的所有命令操作集中在“多点模具型面生成”工作台中,包含在 CATIA 的 START 命令中的“机械设计”中,如图 10 所示。

当选择该命令后, CATIA 系统自动将“多点型面”工具条加载至当前工作环境中。

该工具条中的每一个图标对应一项功能,通过定制的对话框界面与用户交互。

3.1 系统主要功能

柔性多点模具系统按功能主要可分为 3 个模块,见图 11。其主要包括以下功能。

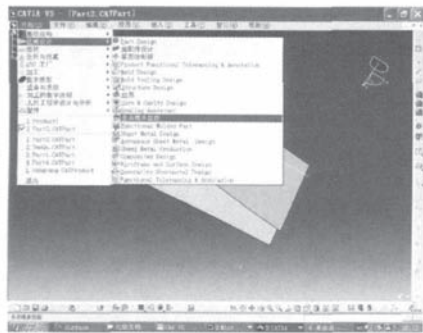


图 10 加载多点模具型面生成工具条

Fig.10 Loading toolbar of multi-point die generation system

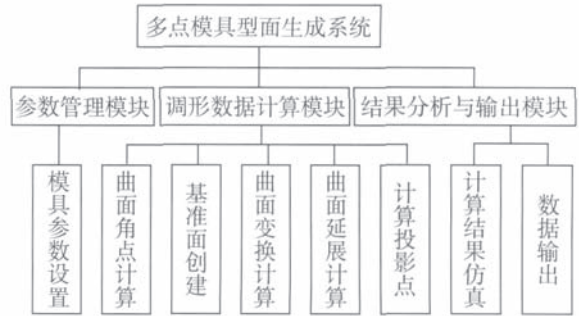


图 11 多点模具型面生成系统功能示意图

Fig.11 Function of multi-point die profile generation system

① 模具参数设置功能。用于设置模具的基本参数,包括模具长度、模具宽度、冲头长度、冲头宽度、冲头半径、高度行程、纵向间距(H)、横向间距(W)、横向个数(m)和纵向个数(n)。

② 计算曲面角点。用于计算选定曲面的角点坐标,并显示在图形区和树结构中。

③ 生成基准面。根据用户选择的点及输入的距离值计算出平面的参数。

④ 曲面变换。根据用户指定的基准面、曲面和拉伸方向进行变换,将指定曲面变换到坐标系的第一象限,方便点的计算。

⑤ 计算点。计算每一个冲头中心点沿 Z 轴在表面上的投影点坐标。

⑥ 仿真。对计算结果进行显示,使计算结果更加直观。

⑦ 数据输出。将计算结果输出到指定的 EXCEL 文件中。

3.2 柔性多点模具型面生成系统工作流程

型面生成系统接收曲面数模文件,计算出该曲面的角点,供用户选择用于创建基准面。当基准面创建完成后,便可进行曲面变换,将曲面变换到模具坐标系中,然后计算每一个冲头中心位置沿 Z 轴方向在表面上的投影点坐标,得到每一个冲头的调形高度。整个柔性多点模具型面生成系统的工作流程图(见图 12)。

4 总结与展望

在利用柔性多点模具进行蒙皮拉伸时,通过使用蒙皮拉伸柔性多点模具型面生成系统,可以避免大量冲头调形数据的数学计算。型面生成系统根据 CATIA 蒙皮数模只需进行几步简单的操作,就能准确、迅速地计算

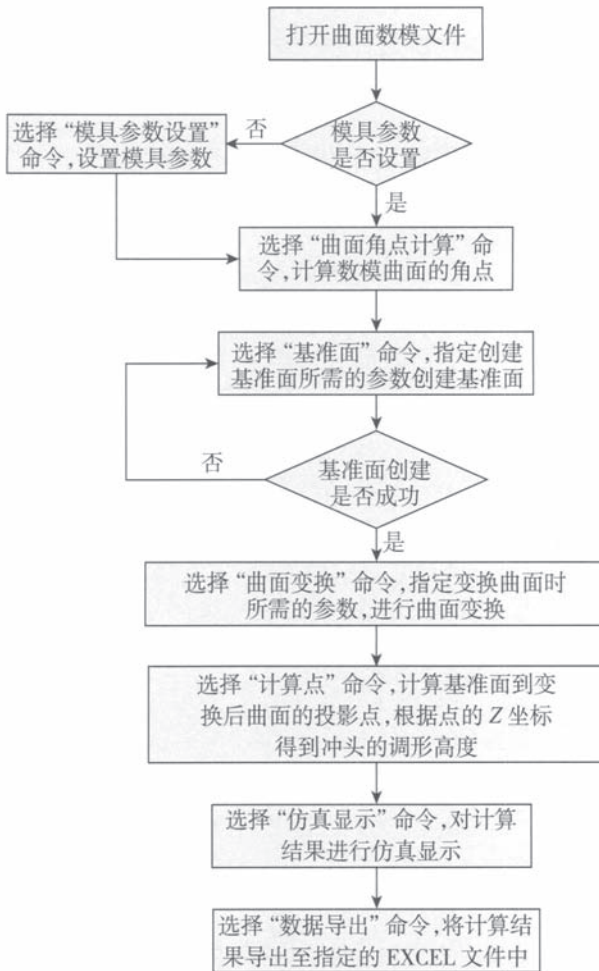


图 12 多点模具型面生成系统工作流程图

Fig.12 Work flow sketch of multi-point die profile generation system

出所有的冲头调形数据,并能进行数据分析校验和三维虚拟显示,极大地提高了生产效率。

蒙皮拉形柔性多点模具型面生成系统针对目前航空企业 CATIA 的普遍使用情况,采用 CAA 对 CATIA 进行二次开发。利用 CAA 二次开发工具所开发的程序与 CATIA 有一致的界面风格和操作习惯,用户只要具备 CATIA 的操作技能便可使用该系统。蒙皮拉形柔性多点模具型面生成系统经过详细的测试,测试结果表明,系统产品质量稳定、可靠,完全适合科研生产的需要。

蒙皮拉形柔性多点模具型面生成系统的开发和应用也为今后进一步研制大型模具奠定了坚实可靠的技术基础。

参 考 文 献

[1] 罗红宇,李东升,曾元松,等. 蒙皮拉形可重构柔性模具

模面生成系统开发及应用研究. 塑性工程学报,2006(12):61-64.
 [2] 白雪飘,曾元松,吴为,等. 典型双曲率零件柔性多点模具蒙皮拉形技术研究. 塑性工程学报,2007(12):105.

[3] 董伊鑫. CATIA 二次开发研究及基于 CATIA 的五坐标数控机床运动仿真的研究与实现 [D]. 北京:北京航空航天大学,2005.

[4] 蒋长锦. 科学计算与C程序集. 合肥:中国科技大学出版社,1998. (责编 阳光)

(上接第 74 页)

联立(5)、(6)式,得到

$$F_2(A, B, y) = \begin{cases} \cos A \cdot \cos B \sum_{i=0}^3 f_i(0, 0, y) l_i(y), 0 \leq y \leq \frac{1}{2} \\ \cos A \cdot \cos B \sum_{i=0}^3 f_i(0, 0, y) l_i(L - y), \frac{1}{2} \leq y \leq L \end{cases} \quad (7)$$

3 变形校正

假设横梁上一点 M 的理论坐标为 (x, y, z) , 由于横梁在自身重力作用下发生变形, 变形后该点的坐标为 (x', y', z') , 位移为 $\Delta M(x, y, z) = (\Delta x, \Delta y, \Delta z)$ 。由于围框或者横梁变形主要是沿 X 方向和 Z 方向, Y 方向的变形不予考虑, 可以认为 $\Delta y=0$ 。则变形后 M 点的坐标为 $(x', y', z') = (x + \Delta x, y, z)$ 。

根据点 M 的坐标 (x, y, z) , 可以用式(3)和式(7)分别求出 Δx 和 Δz :

$$\begin{cases} \Delta x = F_1(A, B, y) \\ \Delta z = F_2(A, B, y) \end{cases} \quad (8)$$

4 结束语

本课题用 Ansys Workbench 对不同转角状态下的横梁进行了线性静力分析; 根据 Ansys Workbench 分析得到的数据, 结合力学分析的方法, 用拉格朗日插值函数构造横梁变形计算公式; 比较横梁变形计算公式计算得到的结果和 Ansys Workbench 的分析结果, 证明了横梁变形公式的有效性; 利用变形公式, 计算出横梁上的点在变形以后的位置, 解决了工装托架变形补偿问题。

参 考 文 献

[1] 余功炎. 型架快速设计与变形分析 [D]. 西安:西北工业大学,2004.

[2] 小枫工作室. 最新经典 ANSYS 及 Workbench 教程. 北京:电子工业出版社,2004.

[3] 封建湖,车刚明,聂玉峰. 数值分析原理. 北京:科学出版社,2001.

[4] 苟文选,金保森,卫丰. 材料力学. 西安:西北工业大学出版社,2000. (责编 岩石)