

飞机长桁类零件工艺板坯数模的展开设计

Process Rough Spread-Modeling for Aircraft Stringer Structure

中航飞机西安飞机分公司 张耀平 陈金平 党建卫 杨亮 武杰

[摘要] 飞机长桁类零件工艺板坯数模的精确展开设计对于提高加工效率、降低加工成本、节省原材料以及改善零件成形性能具有重要的工程意义。基于长桁类零件的结构特点和成形工艺,提出一种零件设计数模向工艺板坯数模的展开转换方法。通过建立局部笛卡尔坐标系,逐步对长桁的基础特征和局部特征进行展开转换,最终将零件设计数模展开为适用于三坐标数控加工的工艺板坯数模。同时,通过在展开转换过程中对零件成形过程中产生的延展变形进行前置补偿,有效避免了零件的超差或报废。

关键词: 长桁类零件 展开设计 工艺板坯 补偿

[ABSTRACT] Precise process rough spread-modeling for the aircraft stringer structure can significantly enhance the machining efficiency, reduce the cost, save the material and improve the part performance. A new process rough spread-modeling method for the aircraft stringer structure is proposed based on the part feature and machining process. By establishing the local Cartesian reference frame, and then gradually transiting the basic feature and the local feature, the designed stringer structure model is finally transformed into process rough model which adapts to the three coordinate NC machining. On the other side, the method allows to compensate the prolongation induced during bending forming in advance. As a result, the over-error and disuse can be avoided.

Keywords: Stringer structure Spread-modeling Process rough Compensate

DOI:10.16080/j.issn1671-833x.2015.15.033

现代飞机普遍具有复杂的双曲率气动外形,因而存在大量形状随外形曲率变化的长度可达 10m 以上的条形零件,其中以长桁最为典型,本文将这类零件称为长桁类零件。作为承受机体载荷和支撑气动外形的重要承力件,长桁类零件在飞机结构中大量运用。外形曲率变化复杂、结构特征多、成形精度要求高等特点使长桁类零件的制造工艺成为航空制造领域的重要研究方向。

目前长桁类零件最常用的加工方法是:首先将零件设计数模在三维 CAD 软件中进行展开设计,建立零件

的工艺板坯数模;然后用三坐标数控铣床加工出工艺板坯;最后采用弯扭成形等工艺将其成形为最终形状。与传统的直接采用五坐标数控机床进行加工的方法相比,这种加工方法效率高、节省材料、零件成形性能好。零件设计数模的展开设计是指从零件的设计数模出发,逆向求取其工艺板坯数模的过程,是零件设计数模向中间过渡数模的逆向转换过程。快速准确的工艺板坯数模展开设计方法对于提高零件加工质量和效率、降低生产成本具有重要的工程意义。

在长桁类零件设计制造方面,一些研究人员和工程工作者开展了广泛的探索研究和工程应用。裴蕾等^[1]对飞机长桁类结构件进行特征划分,利用参数化技术建立与装配环境相关联的特征模型,实现了基于特征的飞机长桁类结构件快速建模系统架构。田爱萍^[2]通过分析零件几何特征,在掌握长桁类零件外形变化规律的基础上,成功将零件工艺板坯成形为设计形状。展开设计方面,张贤杰等^[3]通过开发零件外形曲面的最小差量协调展开算法,解决了飞机整体壁板类零件的展开计算。曹蔚等^[4]提出一种针对下陷特征的展开算法,编程实现了该类飞机钣金件的自动展开。然而,国内目前鲜有关于长桁类零件工艺板坯数模展开设计的公开文献。

为有效改善长桁类零件的加工工艺,提高加工效率,下文将基于零件的结构特点和成形工艺,提出一种在 CATIA V5 软件中实现零件设计数模向工艺板坯数模的展开转换方法。同时,为避免零件成形过程中产生的延展变形造成的超差甚至报废,进一步描述在展开转换过程中对该延展变形进行前置补偿的方法。

1 长桁类零件的结构特点

长桁类零件的结构特点体现为:零件通过在基础特征上添加局部特征形成,其中基础特征是指包括 T 字型、工字型、Z 字型等在内的类型材结构,局部特征是指在基础特征上添加的切边、凸台、耳片、孔等局部结构。零件设计数模的建模过程一般包括如下步骤:(1)基于零件与飞机气动外形的位置关系构造零件基准线,沿基准线选取若干个位置(优先选取有配合关系的位置或其他关键位置),作出各位置处零件基础特征的截面草图;(2)以零件的基准线为引导线,通过各截面草图拉伸出

基础特征;(3)在基础结构上添加零件的局部特征。

图1是典型长桁零件及其建模过程示意图,该零件由基础特征和局部特征(切边)构成,其中基础特征以基准线为引导线,拉伸截面草图获得,切边通过平面分割基础特征获得。后文将具体描述该零件工艺板坯数模的展开设计方法。

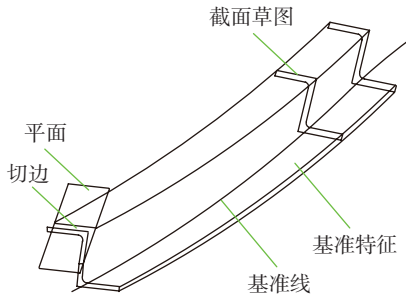


图1 典型长桁零件及其建模过程

Fig.1 Typical stringer structure and its modeling process

2 长桁类零件的展开设计

2.1 基础特征的展开

基础特征的展开转换精度直接决定长桁类零件工艺板坯数模的建模精度以及零件的最终成型质量。展开设计时,首先任作一个平面作为展开平面,在展开平面上任意作一条与零件基准线长度相等的直线作为展开基准线;然后,在设计数模中作出截面草图所在平面与长桁基准线的交点,并将该交点映射到展开基准线上。当截面草图不是平面图形时,通过向平面投影的方法将其转化为平面图形;接着,通过局部笛卡尔坐标系对零件的基础特征进行展开转换,具体涉及2个环节:(1)分别在设计数模中各截面草图所在平面与基准线的交点处和展开基准线上各对应的映射点处建立局部笛卡尔坐标系,2数模中局部笛卡尔坐标系的坐标轴方向协调一致。以图1所示的长桁为例,在设计数模中,以各截面草图与引导线的交点为原点建立局部笛卡尔坐标系 $OXYZ$,坐标轴方向如下: X 轴沿各交点处零件基准线的切线方向, Y 轴沿各交点处零件底面的法线方向。在展开数模中,以各映射点为原点建立局部笛卡尔坐标系 $O'X'Y'Z'$,坐标轴方向如下: X' 轴沿展开基准线方向, Y' 轴沿展开平面法线方向,坐标轴正向与设计数模中的 $OXYZ$ 协调一致。(2)将设计数模的所有截面草图通过各自的局部笛卡尔坐标系 $OXYZ$ 转换到展开数模中的对应局部笛卡尔坐标系 $O'X'Y'Z'$ 中,得到展开截面草图,如图2所示;最后,以展开基准线为引导线,通过展开数模截面草图拉伸出长桁的展开数模的基础特征,结果如图3所示。

2.2 局部特征的添加

在展开基础特征上添加局部特征的基本思路为:首

先,提取局部特征的特征点,通过特征点作零件基准线的法平面,法平面与零件基准线的交点即为特征点的基

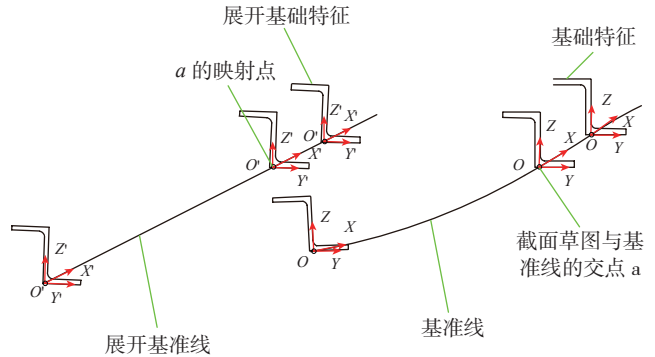


图2 截面草图的局部笛卡尔坐标系转换

Fig.2 Transformation of section sketches by local Cartesian reference frame

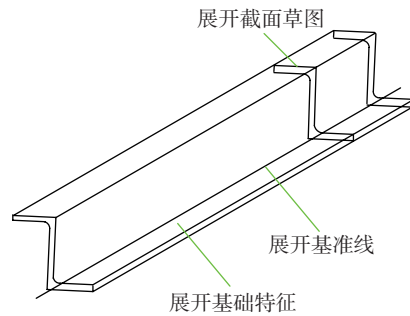


图3 基础特征的展开结果

Fig.3 Spread-modeling result of basic feature

准点;然后,与基础特征的展开过程类似,以基准点及其在展开基准线上的映射点为原点分别建立坐标系,通过坐标系转换实现特征点在展开数模中的定位。其中,特征点的提取原则是通过提取的特征点可以重构局部特征。例如,本文示例长桁零件的局部特征是通过平面切割零件基础特征形成的切边,其特征点应该是平面上不在一条直线上的3个点。将这3个点转换到展开数模中后,就可以构造出展开后的切割元素,进而构造出切边,具体过程如图4~6所示。

需要说明的是,设计数模中切边通过平面切割出来,该平面通过坐标系转换后,理论上应该变成了曲面,而上述过程仍将其近似为平面。由于长桁类零件的弯曲曲率通常比较小,这种近似处理一般能够满足工程精度要求。另外,由于长桁构造形式或展开工艺要求的不同,上述展开转换过程往往会有所变化。个别工艺要求将零件靠近飞机气动外形的曲面展平,这类零件的展开设计过程可参考文献[3]中描述的整体壁板的展开建模过程。

3 延展变形的前置补偿

上述展开设计过程只是将零件设计数模简单地展开为工艺板坯,而没有考虑成形时的弹塑性变形。实际

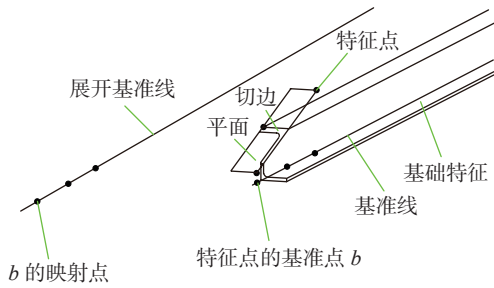


图4 特征点的提取与映射

Fig.4 Selecting and mapping of characteristic points

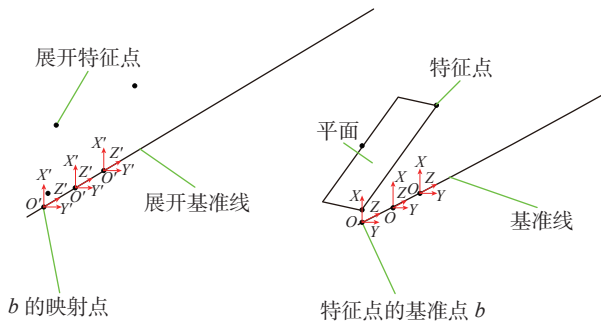


图5 特征点的局部笛卡尔坐标系转换

Fig.5 Transformation of character points by local Cartesian reference frame

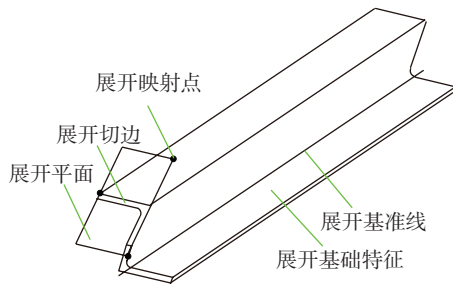


图6 局部特征的展开结果

Fig.6 Spread-modeling result of local feature

上,零件在弯扭成形过程中,外部作用力迫使零件内部材料发生延展变形,导致零件成形后尺寸大于设计值。

处理这种延展变形的传统方法是,成形前在零件端头预留一定加工余量,装配过程中将加工余量和延展变形量一并切除。然而,随着产品设计复杂度的不断提高,零件局部特征的制造精度要求越来越高,传统方法已经难以满足现代高性能飞机零件的精度要求。在工艺数模设计过程中对零件的成形延展进行前置补偿是提高零件制造精度和实现无余量装配的有效途径。

环境温度、成形工艺参数以及材料本身应力状态等因素的交错影响,导致零件延展变形的随机性大,变形量难以精确计算。由于国内关于这类延展变形产生机理的研究还不够深入,通过试验测量获取变形量是目前相对折中的方法。获得变形值后,在零件展开设计过程中,通过下式修正映射点在展开基准线的位置,即可实

现延展变形的前置补偿。

$$L = \frac{M^2}{N}$$

式中,对于基础特征, L 指板坯数模中相邻两映射点之间的展开基准线的长度, M 指原设计数模中对应于 L 的基准线的长度,试验测量数值 N 指将原设计数模不经延展补偿直接展开为板坯数模,并加工成形后 M 对应的长度。对于局部特征, L 指板坯数模中基准点的映射点与展开基础特征中的某一映射点之间的展开基准线的长度, M 指设计数模中对应于 L 的基准线的长度,试验测量数值 N 指将原设计数模不经延展补偿直接展开为板坯数模,并加工成形后 M 对应的长度。

4 结束语

(1)快速准确的长桁类零件工艺板坯展开设计方法,对于提高飞机数字化制造水平,缩短飞机研制周期具有重要意义;(2)文中描述的展开设计过程是以零件基准线为基准进行的。对于部分没有设计基准线的零件,可尝试通过人为构造基准线的方法实现展开设计;(3)目前的延展变形补偿方法需要通过试验件获得变形值,工艺成本大、制造周期长。基于试验数据研究延展变形的解析计算或有限元仿真方法,是进一步完善长桁类零件成形工艺的必经之路。

参考文献

- [1] 裴蕾,黄翔,王强,等. 基于特征的飞机长桁类结构件快速建模系统研究. 飞机数字化制造技术学术会议. 南京:2011.
- [2] 田爱萍. ARJ21 复杂双曲面长桁类零件弯扭复合冷成型方法. 西安航空技术高等专科学校学报, 2008(26):11-13.
- [3] 张贤杰,裴广勇,王俊彪. 基于UG的飞机整体壁板类零件数字化展开. 航空制造技术, 2003(2):57-60.
- [4] 曹蔚,甘忠,李立军. 带下陷航空钣金零件展开及参数化建模研究. 锻压技术, 2010,35(5):148-151. (责编 叶枫)

(上接第 32 页)

特性统计过程控制. 航空制造技术, 2007 (11):90-96.

[4] 刘志存,邹翼华,范玉青. 飞机制造中关键特性的定义与管理. 计算机集成制造系统, 2007,13(10):2013-2018.

[5] 冯子明,邹成,刘继红. 飞机关键装配特性的识别与控制. 计算机集成制造系统, 2010, 16(12):2552-2556.

[6] 唐文斌,余剑锋,李原,等. 产品关键特性量化鉴别与分解方法应用研究. 计算机集成制造系统, 2011,17(10):2383-2388.

[7] 尹峰,王巍,梁涛,等. 基于关键特性的数字化公差分配技术研究. 航空制造技术, 2011(22):53-56.

[8] Mantripragada R, Whitney D E. The datum flow chain: a systematic approach to assembly design and modeling. Research in Engineering Design, 1998,10:150-165.

[9] YANG F. A key characteristics-based model for quality assurance in supply chain. IEEE, 2011:1428-1432. (责编 亿霖)