

基于 CATIA 复杂钣金件展开技术研究

撰文 / 中航飞机西安飞机分公司 彭艳敏

一、引言

钣金加工是飞机零件、组件和部件制造的重要工艺，钣金零部件约占飞机总零部件数的 50% 以上，飞机钣金零件的生产对保证飞机生产进度、达到技术质量要求具有重要影响。

钣金件展开是指从将三维零件设计模型进行分析和计算得到平面毛料的过程，对于框肋零件、部分蒙皮零件等复杂双曲率钣金件而言，其展开形状决定了成型的外形尺寸精度。钣金零件的毛坯展开计算是冲压工艺设计的一个重要环节。精确的毛坯形状不仅能够节约原材料，减少成形后的修边工作量，而且可以改善成形条件、提高成形质量。因此，研究开发冲压零件的展开技术，具有重要的意义。但是由于零件成形过程中材料的塑性变形行为较复杂，目前还没有很好的方法来准确地计算毛坯形状。常见的展开方法归纳为：基于材料中性层的零件展开；基于零件外表面的曲面展开；基于有限元分析软件逆算法的零件展开。本文所述为基于材料中性层的零件展开和零件外表面的曲面展开。

传统折弯钣金件加工工艺以粗放展开加工并结合机械切削为特点，先近似以展开尺寸放样落料，预留后续加工余量后进行折弯。折弯后再修准尺寸，加工孔槽。这种工艺对展开图精度要求低，存在着工艺路线复杂、效率低、浪费材料及加工质量不易保证等缺点。

现代折弯钣金件加工工艺以精确展开加工、零机械切削为特点，先按展开图全部切割出外形及孔、槽，然后折弯成型。这种工艺具有钣金零件的单元封闭加工、工艺路线简化、效率高和加工质量好等优点，但对钣金展开图的精度要

求高。因此，现代折弯钣金件加工中精确展开图的绘制就成了首先要解决的问题。

二、零件展开原理

为了观察板料弯曲时的金属流动情况，便于分析材料的变形特点，可以采用在弯曲前的板料侧表面用机械刻线或照相腐蚀制作正方形网格的方法。然后用工具观察并测量弯曲前后网格的尺寸和形状变化情况，如图 1 所示弯曲前，材料侧面线条均为直线，组成大小一致的正方形小格，纵向网格线长度。弯曲后，通过观察网格形状的变化，如图 1 所示，可以看出弯曲变形具有以下特点。

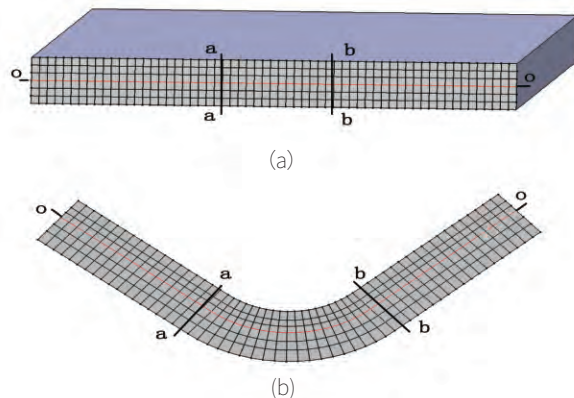


图 1 弯曲前后坐标网络的变化

1. 弯曲圆角部分是弯曲变形的主要变形区

通过对网格的观察，弯曲圆角部分的网格发生了显著的变化，原正方形网格变成了扇形；而在远离圆角的直边部分，则没有这种变化；在靠近圆角处的直边，有少量的变化，

这说明弯曲变形区主要在圆角部分。通过不同角度的弯曲,会发现弯曲圆角半径越小,该变形区的网格变形越大。因此,弯曲变形程度可以用相对弯曲半径来表示(r/t)。

2. 弯曲变形区的应变中性层

比较变形区内弯曲前后相应位置的网格线长度可知,板料的外区(靠凹模一侧),纵向纤维受拉而伸长;内区(靠凸模一侧),纵向纤维受压缩而缩短。内、外区至板料的中心,其缩短和伸长的程度逐渐变小。由于材料的连续性,在伸长和缩短两个变形区域之间,其中必定有一层金属纤维材料的长度在弯曲前后保持不变,这一金属层称为应变中性层(图1中o-o层)。应变中性层长度的确定是进行弯曲件毛坯展开尺寸计算的重要依据。当弯曲变形程度很小时,应变中性层的位置基本上处于材料厚度的中心,但当弯曲变形程度较大时,可以发现应变中性层向材料内侧移动,变形量愈大,内移量愈大。

三、基于零件中性层的展开方法

1. 几何计算法

几何计算法又称钣金件展开经验公式,主要对于一般的弯边零件和几何形状规整的框,肋等平面零件以及成形时材料流动较小的零件,均可采用此方法。

通常,零件展开是计算值(图2),其计算公式如下:

$$Z = L - (L_1 + x)$$

$$= B - \left[\left(2tg \frac{\alpha}{2} - \frac{\pi\alpha}{180^\circ} \right) R + \left(2tg \frac{\alpha}{2} - K \frac{\pi\alpha}{180^\circ} \right) \delta \right]$$

$$\text{令: } m_1 = \left(2tg \frac{\alpha}{2} - \frac{\pi\alpha}{180^\circ} \right) R$$

$$m_2 = \left(2tg \frac{\alpha}{2} - K \frac{\pi\alpha}{180^\circ} \right) \delta$$

$$m = m_1 - m_2$$

$$\text{则: } Z = B - m$$

式中, B 为弯边实际高度; R 为弯曲内半径; δ 为零件材料厚度; α 为 $90^\circ \pm M$; M 为斜角值; n 为零件内表面到弯曲中性线的距离; m 、 m_1 、 m_2 称为展开修正值,根据常用的 R 和 δ 的几种组合算出值。

当 R 和 δ 的比值小于2时,应查 K 值表计算展开。具体数值可查阅航空制造工程手册—飞机模线样板相关章节。

几何计算法适用于零件腹板面为平面,且展开面形状简单的系列零件。用此方法,计算比较繁琐,效率比较低。

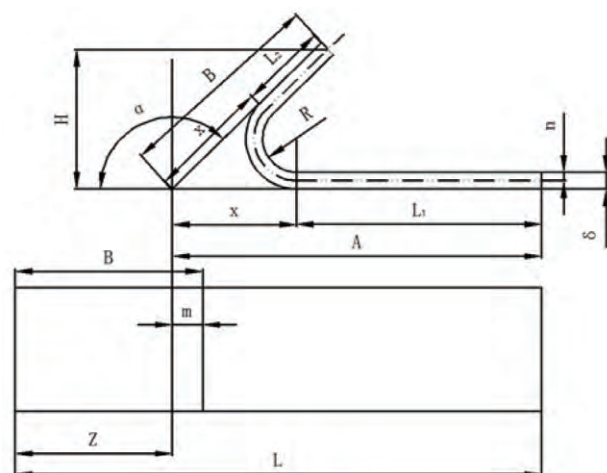
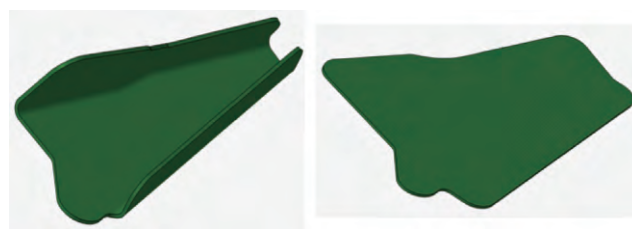


图2 零件弯边展开图

2. CATIA V5 航空钣金模块的展开

该方法的特点是在钣金模块下建立的钣金件三维实体模型,均可利用该模块的 fold/unfold的功能,进行展开,并且可以展开零件外形形状比较复杂的普通钣金件。另外,经过比较,CATIA 钣金模块得到的展开尺寸比国内飞机公司技术人员展开的尺寸相对要小一些。所以,需合理选取材料的成形参数— K 值,具体步骤是:①进入CATIA V5 航空钣金模块(Aerospace Sheet Metal Design),设立钣金件的建模参数(Sheet Metal Parameter),在建模参数对话框中分别设置钣金件的材料厚度、弯曲半径以及材料的弯曲参数— K 值等。②建立腹板面以及弯曲面,以及下陷、各种减轻孔、加强窝等。③完成钣金件的实体建模,运用模块中的展开功能实现展开。钣金零件展开实例如图3所示。



(a) 零件三维数模

(b) 零件展开

图3 钣金零件展开实例

CATIA V5 航空钣金模块的不足:①要求钣金零件必须在航空钣金模块中生成才能展开,而实际生产中零件是在零件设计模块中生成的。②要求钣金零件必须至少一个面为平面或近似平面,即腹板面为平面,但是飞机上有一部分钣

金零件，不存在平面，均为曲面。例如，带翻边的垫片、角片等。③在航空钣金模块创建双曲度弯边存在一定的局限性，无法建立或很难创建曲率变化比较大的双曲度零件。因此，要对零件的外形曲面进行适度

(1) 曲面模块的曲面展开。

曲面展开可以运用 CATIA V5 中的创成式曲面设计模块 (Generative Shape Design) 以及 CATIA V4 里的 develop 模块。创成式曲面模块提供较为全面的曲面展开功能包括展开原点选择，展开方向的选择，以及展开后的误差云图分析。

具体步骤是：①根据零件的厚度，计算零件内表面到弯曲中性线的距离 n ，一般取 $n=0.446\delta$ (δ 为零件的厚度)；②将包围零件最大外形的曲面偏置至中性层，曲面略大于零件外形且尽量取裁规整，以确保展开后的曲面质量；③将零件最大外形轮廓线，参考元素以及孔轴线投影到中性层曲面；④利用 CATIA V5 或 V4 的展开功能，展开零件外形并分析曲面展开后的误差。

在 CATIA V5 实体模块，创建展开后的实体模型，如图 4 所示。

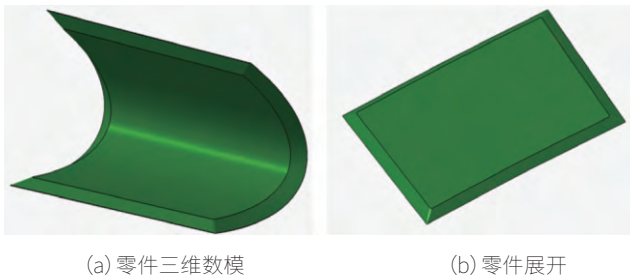


图 4 零件展开实例

(2) 展开误差分析。

为保证简单曲面类零件展开的准确性，利用检查曲面边缘、对角线和网格线三类检测线在曲面展开前后的长度变化，以及曲面展开前后的网格是否变形，确定曲面类零件展开的准确性。

三类检测线：如图 5 所示，红色线：检测曲面展开后 4 个外边的变形情况；青色线：用与检测曲面展开的对角线变形情况，防止曲面的扭曲变形；黑 K 色线：检测曲面内部局部由于曲面构形不同造成的局部突变。

曲面网格是曲面最重要的构成元素，利用自由曲面中控制点查看工具  查看曲面展开前后网格有无明显的弯曲

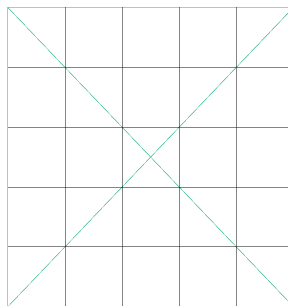


图 5 三类检测线

变形或扭曲变形，若存在严重的网格变形，则展开曲面不可用；若网格展开前后规整，无变形且三类检测线符合数字样板设计要求，则展开曲面准确，展开误差为三类检测线中最大差值。将展开曲面划分网络，如图 6 所示。

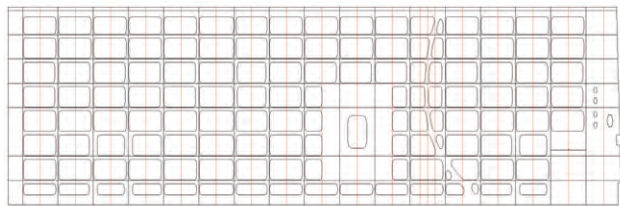


图 6 划分网络后的展开曲面

对展开后曲面与原来的已存曲面相比较，误差在规定的范围内，完全能够满足设计和制造上的需要。在展开数据上增加化铣余量线，定位耳片，得出化铣样板展开数据，如图 7 所示。

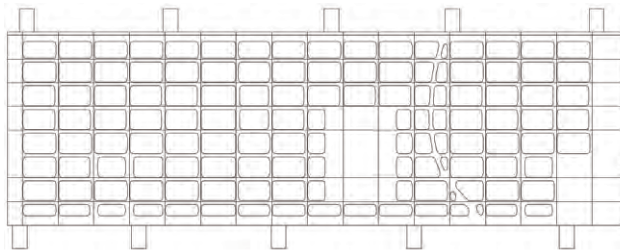


图 7 化铣样板展开数据

(3) CATIA V5 曲面展开模块的不足：①展开单曲度的钣金件，例如机身、机翼的蒙皮类零件或机翼前缘、后缘等部位的蜂窝芯类的零件。②对于双曲度零件，CATIA V5 不可展或展开后误差较大，不能满足零件设计要求。

3. 基于 CATIA V4 的展开

(1) 用 DEVELOP 功能展开计算。

该功能基于曲面的参数 u 或 v 方向的一条基线进行展开计算。它包含 CREATE 和 DEFORM 两部分。基于精度

基于数字样机技术的柴油机设计优化

撰文 / 中国北方发动机研究所 杨维峰

一、引言

随着车用动力强化水平的提高和装备对高可靠性动力产品的需求,高性能、高紧凑和高可靠之间的矛盾越来越突出。运用总体设计理论与方法(包括集成方法、仿真模拟方法和综合比较方法等),将柴油机作为若干分系统有机结合的整体来设计,顶层规划、系统覆盖、综合协调、折衷权衡和反复迭代,以求得总体最优方案。总体设计过程集中体现在解决先进技术应用与工程实现的矛盾,采用先进方法及其支撑技术,改进产品结构、增加对产品性能的了解,使得其产品获得最短的开发周期、最低的成本和最高的性能。数字样机的创建是一个自上而下全相关的总体设计。

柴油机使用以知识工程为依托、CAD / CAE 集成技术为基础、多种学科技术为手段的基于数字样机技术的现代产品设计方法,制定完善的现代流程和规范方法,进行柴油机曲轴、连杆、凸轮轴、机体和气缸盖等关键件的结构优化

设计以及进排气、冷却和润滑等系统的优化匹配,在建立物理样机前通过对数字模型进行仿真、分析和产品优化,提前进行产品性能的预测和评估,减少物理样机阶段的研究工作,节省了研制时间和费用,提高了柴油机产品的质量和可靠性,完成了从依靠个人“经验设计”到基于企业核心能力“预测设计”的转变,使车用动力的研发逐步向“一次成功”方向发展。

二、数字样机技术

数字样机技术是以 CAX (以计算机为辅助手段的各种技术)/DFX (面向产品生命周期各环节的设计)技术为基础,以机械系统运动学、动力学和控制理论为核心,融合三维图形处理和造型技术、多领域仿真技术以及虚拟现实技术,将产品设计开发和分析过程集成在一起,使产品的设计者、制造者和使用者在产品的早期可以直观形象地对数字化产品原

考虑,对于可展曲面用 DEFORM 直接展开,而对于不可展曲面需用 CREATE 沿原曲面的两条边界线构造符合要求的可展曲面,再用 DEFORM 展开。此功能局限性较大,不适用于双曲面曲面的近似展开计算。

(2) 用 FLATPATTERN 功能展开计算。

首先需要把待展曲面网格化,然后选择一组等参数线(U、V)作为展开基准即曲面坐标系的两个轴,再以此曲面坐标系展开网格,最后把表面上的零件结构特征信息映射

到展开网格上以达到零件的展开。该功能适用于双曲面曲面的展开计算。

四、结语

本文论述基于零件中性层理论的钣金零件展开,适用于普通钣金、航空钣金和飞机等直段蒙皮;双曲面飞机蒙皮以及飞机整流外形蒙皮的展开、长桁和双曲面整体壁板。