

大型飞机零件展开工艺模型设计技术研究与应用

Research and Application of Large Aircraft Part Spreading Technical Model Design Technology

中航飞机技术装备 COE 张耀平 陈金平 党建卫 杨亮
西北工业大学陕西省数字化制造工程技术研究中心 王永军 刘闯



张耀平

高级工程师, 现任中航飞机技术装备 COE 副总经理, 主要研究方向为飞机工艺装备数字化设计与制造。

快速准确的飞机零件展开工艺模型设计技术对于缩短大型飞机的研制周期, 提高飞机研制性能以及促进现代飞机制造技术的发展具有重要意义。本文介绍了整体壁板展开工艺模型的设计流程及其关键技术, 对比了长桁、机身蒙皮和复杂钣金件的传统制造工艺和基于展开工艺模型的制造工艺, 并分析了工艺方法演化过程中的一些技术问题。

DOI:10.16080/j.issn1671-833x.2015.01/02.073

省材料、减少甚至免去后续的修边工艺、降低生产成本, 而且能改善成形条件、提高成形质量。

机翼整体壁板的展开

1 机翼整体壁板制造工艺

将壁板蒙皮与加强筋条融为一体的整体壁板, 具有重量轻、刚性好、气密性好的优点。作为飞机的关键构件, 机翼整体壁板尺寸大、外形和结构特征复杂, 因而制造难度大、工期长、成本高。

国内目前最常用的机翼整体壁板制造工艺主要涉及如下环节: 先

将壁板设计模型在三维 CAD 软件中进行展开设计, 建立展开工艺模型, 然后普铣加工出展开板坯, 最后采用喷丸成形或时效成形等特种工艺将其加工为最终形状。其中, 壁板展开设计是从壁板零件的设计模型出发, 逆向求解其展开工艺模型的过程。某机翼整体壁板及其展开工艺模型如图 1 所示。

2 机翼整体壁板展开流程

作为连接设计和制造的纽带工艺, 机翼整体壁板展开设计主要涉及展开外形曲面、映射结构特征和重构板坯模型 3 个步骤^[1]。

现代大型飞机普遍具有双曲率的超临界气动外形, 因而存在大量外形曲面复杂的零件, 其中部分零件制造过程需要用到展开工艺模型, 包括整体壁板、长桁等机加类零件, 以及机身蒙皮、框肋等钣金类零件。合理的零件展开工艺模型不仅可以节

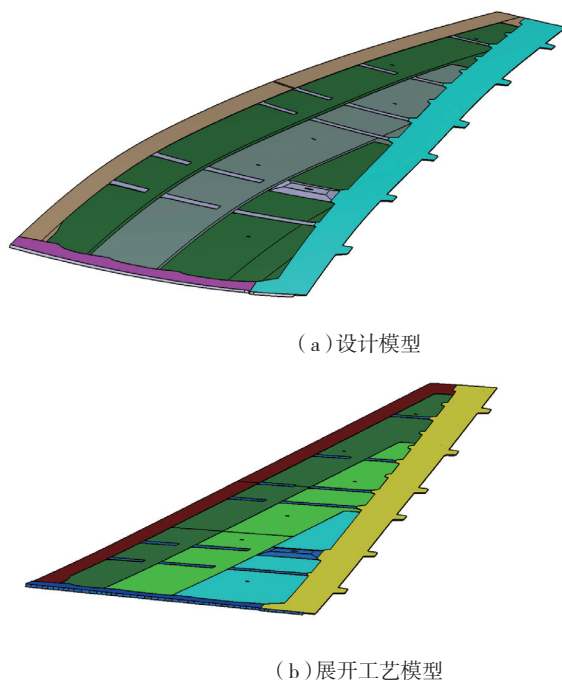


图1 某机翼整体壁板及其展开工艺模型

整体壁板外形曲面多为几何上不可精确展开的双曲率曲面,强制展开需要进行合理的工程近似,难免产生一定的展开误差。根据展开原理的不同,双曲率曲面展开方法可分为几何方法和力学方法2类。将外形曲面展开为平面后,需要进一步确定壁板结构特征在展开平面的对应位置,这一过程称为结构特征的映射。这一环节的难点体现在2方面:一是壁板结构特征信息的准确完整辨识,二是精确的映射算法。重构板坯模型是将整体壁板的结构以展开平面为基准重现出来的过程。一般情况下,板坯建模过程与壁板零件的设计建模过程类似,建模顺序和布尔运算类型基本一致。

3 机翼整体壁板展开关键技术

由于尺寸结构和加工工艺的特殊性,大型双曲率机翼高筋整体壁板展开建模过程复杂繁琐,影响建模质量的因素多。

(1)复杂外形曲面的精确展开。整体壁板的制造精度要求高,展向长度20m左右的整体壁板,制造允许误差通常只有2mm~3mm。无论采

用何种曲面展开方法,都容易出现展开误差过大的情况,导致最终建立的展开工艺模型超差。为有效控制外形曲面的展开精度,展开前后应进行展开误差检测和必要的曲面优化处理。CATIA软件提供的多种曲面处理功能,包括多截面曲面、网格曲面以及通过点云构造曲面等,都可以用于壁板外形曲面的优化。

(2)变厚度壁板蒙皮的快速展开。构造变厚度壁板蒙皮板坯的传统方法是手工在内型面上取大量点,逐个测量各点处壁板蒙皮的厚度值,然后基于这些厚度值在外形展开面上拟合内型面,进而构造出蒙皮板坯。上述过程操作繁琐、工作强度大,且构造的内型面精度有限。采用编程手段,以指定的密度提取壁板蒙皮内型面上的点位,形成内型面点云;然后自动测量各点位处壁板蒙皮的厚度并映射到外形展开面上,可有效提高壁板蒙皮的展开效率和精度。编程过程中,可根据展开精度要求设定点位的提取密度。

(3)壁板成形延展的预先补偿。由于环境温度、成形工艺参数以及材

料本身应力状态等因素的交错影响,壁板在成形过程中会有不同程度的延展变形,且变形量随机性大,难以精确计算。计算壁板成形延展量主要有解析计算、有限元分析和试验测量3类方法^[2]。获得壁板的成形延展量后,就可以对壁板展开板坯模型进行补偿修正。需要强调的是,补偿壁板延展时,应充分考虑装配工艺过程,优先保证壁板各基准面和关键特征处的精度。

长桁零件的拉直展开

1 长桁“靠模铣”工艺

作为承受机体载荷和支撑气动外形的重要承力件,长桁在飞机结构中大量运用。外形曲率和走向变化复杂、结构特征多、成形精度要求高等特点,导致长桁类零件的制造工艺成为飞机研制的瓶颈之一。

长桁“靠模铣”是基于模拟量传递的加工工艺,先根据靠模板仿形加工长桁各形面厚度变形量,普铣补加工特征形面和轮廓,再进行弯、扭成形,完成长桁零件制造^[3]。这种方法的缺点是需要大量的工装,手工操作强度大,周期长,且加工精度不宜保证。

2 长桁“拉直展开”工艺

长桁的最新加工工艺与整体壁板类似:首先将长桁拉直展开,建立零件的展开工艺模型,然后加工出展开板坯,最后采用弯扭冷加工工艺将其成形为最终形状。与“靠模铣”方法相比,这种加工方法效率高,节省工装,零件成形性能好。某长桁及其展开工艺模型如图2所示。需要说明的是,整体壁板的展开方法对于长桁具有一定借鉴意义,但长桁展开一般要求底面和立筋面均为平面状态,这与壁板零件仅底面为平面有着明显的区别。

3 长桁“拉直展开”关键技术

(1)基于基准线的展开方法。提取长桁的基准线,构造一条等长的

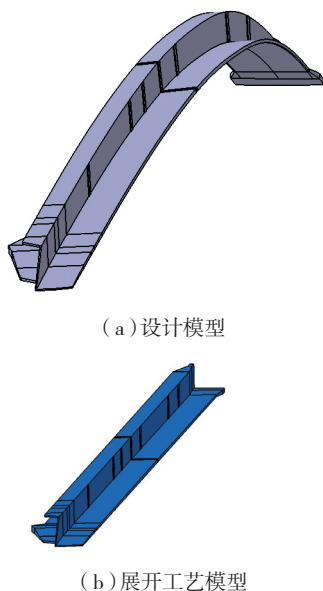


图2 某长桁及其展开工艺模型

直线作为展开基准线,然后在基准线上选取一定数量的法向切面去切长桁,形成一组长桁截面。接着,将所有截面转换到展开基准线的对应位置,并扭转摆正。最后,以展开基准线为引导线,通过摆正的截面拉伸出长桁的主体结构,在主体结构添加局部特征即可得到展开工艺模型。

(2)局部特征的处理。对于凸台、下陷、变截面、复杂端头等局部特征,需要确定它们在基准线和展开基准线上的基准点,通过在基准点建立坐标系实现局部特征由设计模型向展开工艺模型的定位和转换。此外,将长桁立筋面摆正为平面的过程中,长

桁底面会发生扭曲,这就需要对长桁截面形状进行修型优化,以保证零件的展开质量。

(3)长桁成形延展的预先补偿。与整体壁板类似,长桁弯扭成形过程中也会产生延展变形。传统上,当长桁零件上没有位置精度要求高的局部特征时,处理这种延展变形的办法是,成形前在零件端头预留一定加工余量,成形后将加工余量和延展变形量一并切除。然而,随着长桁特征复杂度的不断提高,零件上往往会出现配合精度要求高的局部特征,导致加工出来的零件超差。为避免这种现象,应在拉直展开过程中预先补偿零件的成形延展。

机身蒙皮的展开

1 化学铣切工艺

化学铣切,也叫湿腐蚀,是利用强腐蚀溶液,借助有效的保护膜(如刷涂化铣保护膜),将成形后的零件上不需要的部分去除,从而获得零件所需尺寸和形状的一种加工方法^[4]。沿袭多年的化学铣切是飞机制造业中一种重要的、不可缺少的加工方法,特别是对复杂外形蒙皮零件的加工中,与传统机械加工方法相比,具有生产效率高、变形量小、适应性强等不可替代的优势。但由于化学污染、耗电量大和加工精度低等固有弊病,化学铣切也一直是行业的一项困

扰。化学铣切车间现场如图3所示。

2 机身蒙皮“先铣后弯”工艺

对于外形曲面以单曲率为主的机身蒙皮,近年来采用了“先铣后弯”的制造工艺:先建立零件的展开工艺模型,然后依据该模型直接在蒙皮毛料上铣出开口及减轻槽等特征,最后采用滚弯、拉形等工艺将其成形为最终形状。图4为某机身蒙皮及其展开工艺模型。

“先铣后弯”工艺具有环境污染小、加工精度高、手工劳动强度小等

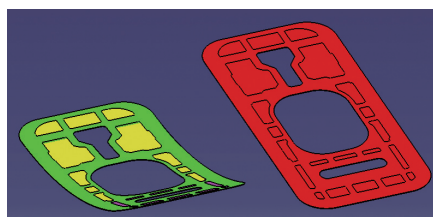


图4 某机身蒙皮及其展开工艺模型

优势,有效弥补了传统化学铣切的弊端。然而,该工艺依赖于稳定的成形工艺,要求零件成形阶段不能有太大的局部变形,否则会导致特征偏移、强度降低等质量问题。因此,该工艺特别适用于单曲率机身蒙皮的滚弯成形。对于较复杂的双曲率蒙皮,需要在稳定工艺的基础上测量成形过程变形,进而在展开过程中进行前置补偿,但仍然要慎重考虑由于材料去除造成的零件局部强度降低问题。

复杂钣金件的展开

1 复杂钣金件及其下料工艺

飞机钣金件复杂性不断增加,新结构不断涌现,同时制造周期和质量要求也不断提高。典型复杂双曲率外形钣金件如图5所示。

由于缺乏展开技术的支撑和经验数据积累,复杂钣金件如变角度、变截面、变高度弯边的框肋件、双曲率曲面蒙皮,各主机厂普遍采用了“展开试”的方法,其工艺工程主要涉及在样机或模胎上取形、将取形样件拍平形成下料样板、依据下料样板



图3 化学铣切车间现场

下料、成形零件等环节。由于毛料取样和反求周期长、工艺稳定性差、手工修整工作量大等问题，“展开试”工艺已经无法适应航空制造技术水平提升和新型号快速高质量研制的要求。

2 复杂钣金件的精确展开

改善复杂钣金件“展开试”工艺的有效途径是深入研究钣金件成形过程和展开算法,直接将零件设计模型展开得到平面毛料尺寸,这是数字化钣金精密成形的工艺基础。初始毛坯对于钣金件的成形质量有着很大影响,合理的毛坯设计不仅可以节约材料,更重要的是可以改善成形过程的应力应变分布,增强板料的成形性,减少起皱、拉裂等现象的发生,减少切边余量^[5]。

目前钣金件展开存在的问题主要体现在2方面:一是钣金件是具有品种项数多、所用材料种类多、成形工艺方法多的特点,难以用一种通用的方法来解决,需要针对不同类型的钣金零件研究与开发相应的算法和

系统^[6]。二是由于物理成形过程复杂,形状不规则或带有复杂特征的钣金件,单一的经验法、解析法或是数值模拟方法都难以得到精确的毛坯尺寸。为此,对于复杂钣金件展开方法,首先采取稳定的工艺过程,使钣金件的最终形状与毛坯形状之间建立稳定的物理映射关系;对于不稳定的工艺过程,一方面应优化工艺过程,使其对控制参数的敏感度最低,其次提高控制精度,使过程参数偏离最小,这样保证工艺过程的稳定。建立展开经验知识库,分门别类,将各种复杂零件及其工艺过程知识有效地存储起来,便于展开时查询相应的经验修正系数,如图5所示。

如图6所示为复杂钣金零件精确展开实现过程,作者认为,只有在稳定的工艺过程前提下,结合丰富的工程实践数据,针对零件的特点,采用多种展开方法中最适合的方法,通过逐步积累,迭代求解,才能有效解决这一工艺难题,最终实现复杂钣金零件的精确展开。

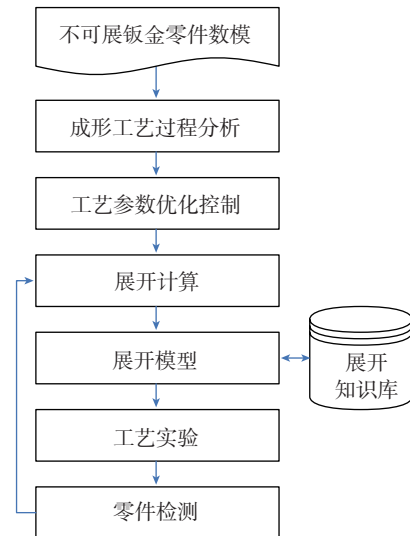


图6 复杂钣金零件精确展开实现过程

结束语

零件的展开过程是对零件结构的强制重构,往往会破坏其工艺性能,导致建模质量差、加工效率低等问题。探究展开建模过程的工艺优化方法,是完善飞机零件展开技术的一个重要途径。同时,展开设计过程存在大量的重复性手工操作,展开周期长,易出错。开发具有通用性、精确性、集成性的展开设计专用软件,是进一步提高零件展开效率的工作重点

参考文献

- [1] Wang T, Platts M J, A computer-aided blank design method for the peen forming process. *Journal of Materials Processing Technology*, 2002, 122:374-380.
- [2] 王永军,陈龙辉,乔明杰,等. 大型客机机翼壁板喷丸成形延展问题研究与分析. *航空制造技术*, 2012(17):32-35.
- [3] 田爱萍. ARJ21 复杂双曲面长桁类零件弯扭复合冷成形方法. *西安航空技术高等专科学校学报*, 2008(26):11-13.
- [4] 何凌,王建华. 某型机化铣零件成形工艺. *洪都科技*, 2010(144):13-15.
- [5] 吴建军,郭军. 钣金零件毛坯展开计算方法研究进展. *航空制造技术*, 2011(19):26-31.
- [6] 卢元杰,刘闯,王俊彪. 飞机钣金零件展开计算方法的研究和应用现状. *航空制造技术*, 2008(21):86-89.

(责编 亿霖)

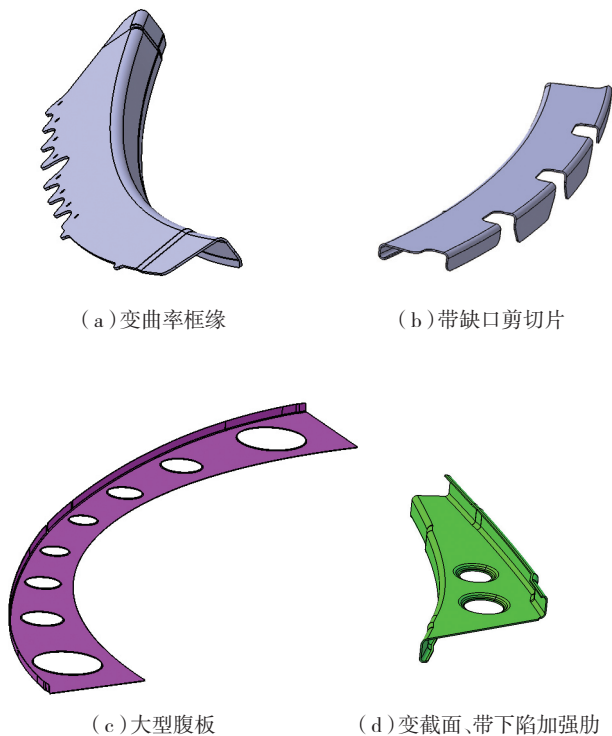


图5 典型复杂双曲率外形钣金件