

# 飞机钣金零件弯边自动展开系统

## Automated Flat Pattern Development System for Aircraft Sheet Metal Components

西安工业大学机电工程学院 曹 蔚  
西北工业大学机电学院 甘 忠

**[摘要]** 由于飞机钣金件的复杂性,普通钣金展开软件不适合该类弯边零件的展开。本文分析了飞机钣金零件独有的特征,研究开发了基于 CATIA 环境下的飞机钣金零件的弯边自动展开系统,提出了一套特有的法向截面展开方法和下陷处理方法,并以实例说明零件的展开过程。

**关键词:** 飞机钣金零件 弯边展开 下陷

**[ABSTRACT]** Because of the complexity of aircraft SMCs (sheet metal components), there is no suitable public domain software available for its FPD (flat pattern development). The special features of aircraft SMCs are analyzed. An automated FPD system for aircraft SMCs based on CATIA is designed and developed. A set of unique development algorithm comprising of normal cross-section and joggle development techniques is provided. An example is given to illustrate the development of the component.

**Keywords:** Aircraft SMCs FPD Joggle

长期以来,飞机钣金零件的弯边展开一直以手工计算或根据经验为主。随着 CAD/CAM 技术的快速发展以及型号研制任务的迫切需要,开发钣金制造的数字化技术已经成为我国航空钣金技术改造的重点项目,钣金制造自动化首先是实现钣金展开自动化。

许多大型通用 CAD/CAM 软件都包含了钣金设计模块,如美国 UGS 公司的 UG 钣金设计模块,是专门为直弯边钣金产品的展开、压模、剪切定制的;美国 PTC 公司的 Pro/ENGINEER 提供的专用钣金设计模块可以将平板材料弯曲成形,也可以通过自动补偿将零件展开成平板形状。但是,上述 2 种软件都需要在各自的钣金模块里对需要加工的钣金零件进行实体建模,不能处理其他模块所建立的实体模型,而且也不是针对航空零件的,无法处理曲线弯边以及连续弯边和下陷。

我国航空钣金零件大多用法国 Dassault 公司的

CATIA 建模,CATIA 提供的航空钣金模块虽然专门针对航空零件,但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。另外,航空钣金模块弯边的展开算法与国内所用的算法并不相同,也无法处理曲线弯边以及连续弯边。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要小些,导致加工出废品。同样,它不能处理弯曲角度变化的弯边,也不能进行斜角值的标注,所以也无法应用于飞机钣金零件展开。当然,随着版本的更新,这些大型软件的功能也许会有所改进。

针对这一现状,本课题组开发了满足航空工业、基于 CATIA 环境下的飞机钣金零件弯边展开系统,主要用于飞机框、肋类零件的展开样板设计,能够实现飞机框、肋类零件的直弯边、曲线弯边、双弯边以及连续弯边的自动展开,生成三维展开图,实现展开样板斜角值标注。本软件系统内嵌于 CATIA V5 平台,其检测点、恢复和启动性同 CATIA 系统,采用二次开发工具 CAA (Component Application Architecture)。CAA 组件应用架构是 Dassault Systemes 产品扩展和客户进行二次开发的强有力的工具,可以进行从简单到复杂的二次开发工作,并且和原系统的结合非常紧密。

## 1 系统设计

### 1.1 几何形状分析

飞机框肋类零件形状复杂,不同的类型要采用不同的算法。为了便于采用合适的展开方法,有必要对零件进行归类。通过对飞机零件几何形状的分析,飞机弯边零件可以分为:

(1)单弯边:零件只包括 1 个腹板和 1 个弯边,可能是直线弯边,也可能是曲线弯边;

(2)双弯边:零件经过 2 次弯边成形,第一次为曲线弯边,然后在曲弯边上再次弯曲形成双弯边;

(3)多次弯边(连续弯边):经过多次弯边成形,腹板面和弯边面均为平面;

(4)下陷:下陷是钣金零件独有的特征,既可能出现在腹板面上,也可能出现在弯边面上,弯边上有下陷时,需考虑展开后下陷部分的连接;

(5)斜角值:分为外形斜角值和零件弯边斜角值,本软件需要对这2种斜角值进行标注。

## 1.2 系统整体框架及各部分功能模块介绍

本系统采用结构化程序设计方法,根据设计任务将系统分成若干模块,各模块有独立的功能,按照一定的方式组织起来,各模块又可以继续细化,系统总体结构如图1所示。

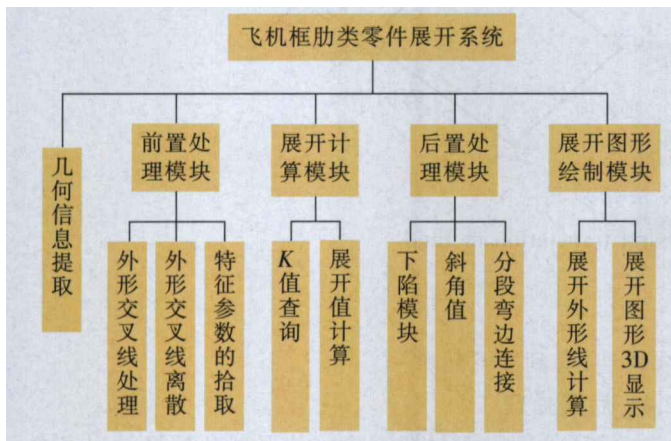


图1 飞机框肋类零件弯边展开系统功能模块

Fig.1 Functional module of FPD system for aircraft frame and rib components

### 1.2.1 几何信息提取模块

根据用户提供的零件结构数模,利用CATIA的图形拾取功能及CAA交互式界面得到3D图形的零件腹板面和弯边面的几何信息。

### 1.2.2 前置处理模块

该模块可以细分为:

(1)外形交叉线处理模块:通过VC++及CAA软件将腹板外形面与弯边外形面延伸,得到外形交叉线;

(2)外形交叉线离散模块:在弯边外形交叉线上每隔一定距离取一个点将曲线离散,并确定离散点的法矢量;

(3)特征参数的拾取:在外形交叉线的各离散点上做法平面切零件数模,在每个切面上得到材料厚度、弯边长度、弯曲半径或弯曲角度等特征参数。

### 1.2.3 展开计算模块

该模块包括:

(1)K值的查询模块:查表计算展开长度用K值,

这里的K值即中性层系数K,根据材料厚度和弯曲内半径可以唯一地确定一个K值;

(2)展开值计算模块:根据弯边长度、弯曲内半径、零件材料厚度和斜角值计算展开值。

### 1.2.4 后置处理模块

分为以下3部分:

(1)下陷模块:判断下陷区域,用下陷算法进行弯边展开;

(2)斜角值:依次将各离散点的斜角值进行比较,当斜角值相差大于 $0.5^\circ$ 时,就将该点的斜角值标注出来;

(3)分段弯边展开连接模块:零件各段弯边展开后的外形线可能出现间断,该模块将间断的外形线用过渡圆弧连接起来。

### 1.2.5 展开图形绘制模块

该模块包括:

(1)弯边展开外形线计算模块:根据外形交叉线上的点坐标,过每个点做法线,法线长度为展开长度,得到法线终点,将终点连接即为轮廓外形线;

(2)展开图形3D显示模块:将零件展开后的轮廓外形线、外形交叉线、弯曲线等结构信息数据以3D图形的形式显示,展开模型存储为\*.CATPART零件。

## 2 展开方法

### 2.1 轮廓扩大法

该方法的要点是沿着弯曲始线的法线方向,按照不变或者线性变化的距离,偏移弯曲始线上所有的点,只有当半径、角度、弯边高度等参数不变或呈线性变化时才适用这种方法。具体步骤是:

(1)在腹板面的弯曲始线上作两个具代表性的截面。截面垂直于腹板面,且分别靠近弯曲始线的两端;

(2)检查弯边高度、弯曲半径和弯曲角度是否为常数或者在规定的变化范围内;

(3)提取截面曲线,计算弯曲区域展开长度 $BCL = \pi(R+K\delta) \frac{\alpha}{180^\circ}$ 。式中,R为弯曲半径, $\alpha$ 为弯曲角度, $\delta$ 为板料厚度,K为中性层系数;

(4)将弯取始线向外平移,偏移距离为 $BCL$ +弯边面长度;

(5)在弯曲始线的两端画法线与偏移曲线连接,得到展开轮廓。

### 2.2 旋转平移法

这种方法主要针对连续弯边零件。该方法每个弯

边都被展开,通过适当的几何变换,零件的弯边和弯曲区域都和腹板面共面,如图2所示。该方法也可用于弯曲角度固定不变或呈线性变化的直弯边,主要步骤为:

(1)计算腹板面 I 和弯边面(III)的夹角;将腹板面

I 和弯边面(III)延伸,确定外形交叉线;

(2)利用从数模中提取的信息,计算弯曲展量  $BCL$ ;

(3)确定线段  $L1$  和  $L2$  的长度, $L1$  为弯曲始线上

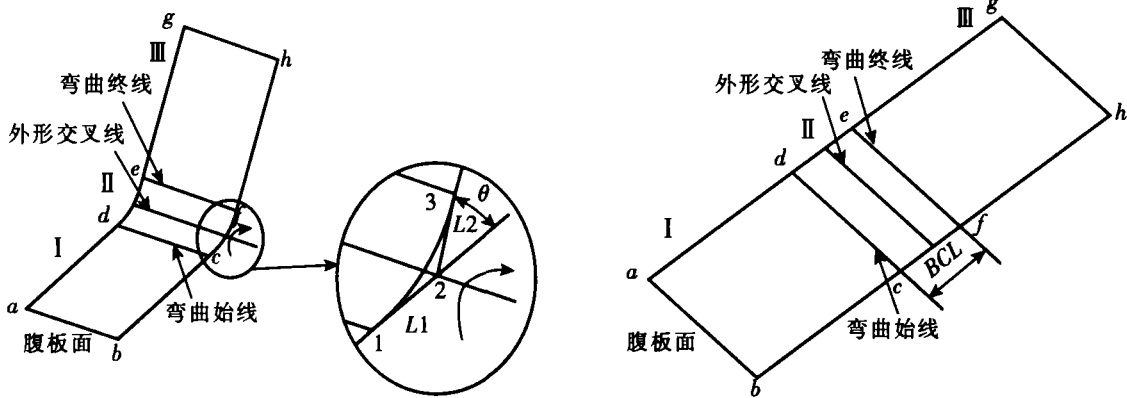


图2 旋转平移方法的应用

Fig.2 Application of rotation and translation method

点 1 与外形交叉线上点 2 的距离, $L2$  为弯曲终线上点 3 与点 2 的距离;

(4)将弯边(III)绕外形交叉线旋转角度  $\theta$ ,使其与腹板面共面,在多次弯边的情况下,剩下的整个实体都要同时旋转;

(5)将旋转后的弯边部分向腹板方向平移一定距离( $L1 + L2 - BCL$ ),如果弯曲角度呈线性变化,还要将其旋转和平移;

(6)连接弯曲始线和弯曲中线的两端,得到展开轮廓,其余的弯边依次重复前面的操作。

### 2.3 法向截面展开法

该方法主要用于双弯边和曲线弯边,对于大部分飞机钣金件,用这种方法展开都比较准确,尽管有较多的几何操作,但这是最可靠的复杂零件展开方法。具体步骤是:

(1)识别与一个腹板面相连的弯曲始线、弯曲区域和弯边面,且过弯曲始线作一系列的点;

(2)过每一个点作垂直于弯曲始线的截面截取零件数模;

(3)计算各截面曲线的长度,并计算展开长度;

(4)确定弯曲始线的法线方向,沿法线方向为每一截面生成一条法线,长度为展开长度;

(5)经过所有法线的终点,做光滑曲线;

(6)过弯曲始线的两端做法线,与步骤 5 生成的曲

线相连,得到展开轮廓。

### 2.4 后置处理

后置处理主要包括下陷、外形斜角值标注以及分段弯边的连接,这里主要介绍下陷。具体处理步骤是:

(1)选择和识别一组连续的弯曲始线,如图3所示;

(2)检测每对相邻弯曲始线线段间的夹角;

(3)如果角度大于  $1^\circ$ (且小于  $30^\circ$ ),则检查其中第二段曲线和下一段曲线之间的夹角;

(4)如果第二、三段曲线夹角的符号与步骤 3 相反,那么第二段曲线上的弯边就是下陷;

(5)将下陷沿自己的外形交叉线的法向展开,展开轮廓外形线是直线,将两端向外延伸;

(6)将相邻弯边展开,画展开外形曲线边界处的切线,延长切线以便和下陷的展开线连接;

(7)用光滑曲线连接各段曲线,得到展开图。

## 3 软件介绍及零件展开示例

本软件是基于 Dassault Systems 通用 CAD/CAM 平台(CATIA V5)和 Microsoft 的 Access 数据库基础上开发的弯边展开专用软件,结构模型和图形数据来源于 CATIA,参数数据来源于 Access 数据库。软件与 CATIA V5 的数据传递通过 VC++ 脚本语言编程和 CAA 程序调用即可实现,可用文本文件(.txt)临时记录

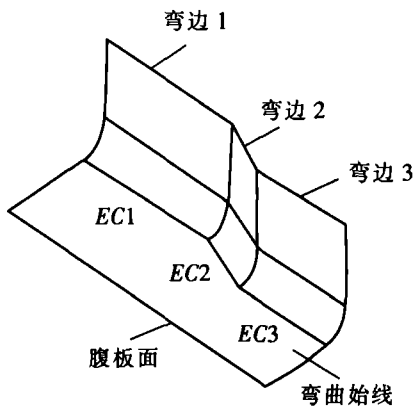
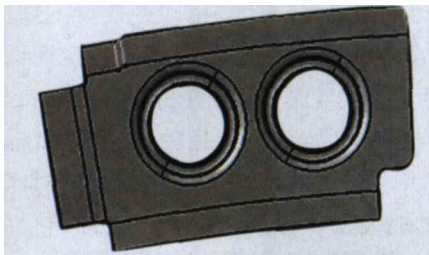


图3 带下陷的弯边展开  
Fig.3 FPD with joggle

CATIA 结构数据和图形信息,也可用文本文件(.txt)传给 CAA 进行处理。软件以图标形式外挂于 CATIA 主菜单,用户通过图形菜单操作,无需了解系统内部结构,即可在界面导航下进行弯边展开。图 4(a)是一个飞机框肋类的零件,带有 3 处弯边,分别为直弯边、曲弯边,使用本软件得到的三维展开结果如图 4 (b)所示。



(a)零件三维数模



(b)零件展开

图4 零件弯边展开实例  
Fig.4 Example of FPD

#### 4 结束语

本文提供了一个专门用于飞机钣金零件弯边的自动展开系统,能够进行飞机零件中各种复杂弯边的展开。展开结果符合航空工业的精度要求,实现了我国航

空工业飞机框肋类零件弯边展开自动化,缩短了研制时间,降低了生产成本。后置处理部分对于止裂孔、减轻孔等部分还未作详细的考虑,本系统还可进一步考虑集成钣金下料模块,实现飞机钣金展开下料的一体化。

#### 参 考 文 献

- [1] 《航空制造工程手册》总编委会. 航空制造工程手册:飞机模线样板分册. 北京:航空工业出版社,1992.
- [2] 翟平. 飞机钣金成形原理与工艺. 西安:西北工业大学出版社,1995:108-213.
- [3] See Toh K H, Loh H T, Nee A Y C, et al. A feature-based flat pattern development system for sheet metal parts. Journal of Materials Processing Technology, 1995, 48: 89-95.
- [4] Lin Zoneching, Chang Yungchuan. Sash sheet metal development and the application of a back-propagation neural network in the calculation of the developed length. Journal of Materials Processing Technology, 1997, 69: 95-105. (黄编 凌川)

#### 威格斯公司在第二十届中国国际 表面处理展上展示其最新涂料技术

VICTREX® PEEK® 聚合物材料、VICOTE® 涂料和 APTIV™ 薄膜等高性能材料的领先全球制造商英国威格斯公司在第二十届中国国际表面处理展上展示了最新的涂料解决方案。公司通过积极参与今年的中国国际表面处理展,进一步表明了其致力于提升涂料技术的一贯决心及其在中国各行业推广尖端涂料产品所做的不懈努力。

威格斯公司的 VICOTETM 涂料属于下一代涂料,具有无可比拟的耐久性、高性能和超长使用寿命。对涂层人员、制造商和用户而言,减少了部件的更换,从而使产品更可靠、更耐久。(本刊记者 依然)

#### SolidWorks Corporation 推出 PDMWorks Enterprise 2008

2007 年 12 月 7 日, SolidWorks Corporation 公布了 PDMWorks® Enterprise 2008, PDMWorks Enterprise 2008 产品数据管理系统与 SolidWorks® 3D CAD 软件完全集成并反映海量客户请求,可以安全地管理工程信息,利用现有设计,连接全球团队,精简 workflow,审核文档,进行密集搜索,而且所有这些功能都具有 SolidWorks 标志性的易用特点。

(本刊记者 凌川)