

# 橡皮囊液压成形模具快速设计方法及实现

西北工业大学机电学院 王俊彪 肖乐 刘闯  
洪都航空工业集团工装工具公司 汪蕾



王俊彪

教授,博士生导师。主要从事钣金精密成形工艺与装备、设计制造一体化技术、CIMS与制造业信息化等研究。研制了国内首台转台式数控拉弯机,提出并发展了飞机钣金数字化系统技术。获得省部级科学技术奖4项,主编教材3部,航空标准2项,发表学术论文60余篇,已授权专利5项。担任陕西省制造业信息化专家组组长、国防科工委信息技术应用标技委委员等职。

橡皮囊液压成形是飞机钣金零件主要成形工艺方法之一,具有效率高、成形后零件表面质量好、成形过程噪音低等优点。在国外的现代化飞机制造厂,通过橡皮囊液压成形的

成形模具设计在整个飞机钣金制造体系中起着承上启下的重要作用,快速化、专业化以及精确化是其发展趋势。本文提出的基于知识的设计方案检索、设计流程导航、设计信息快速提取、结构参数化驱动设计等多种方法相结合的解决方案提供了一种实现橡皮囊液压成形模具快速设计和降低设计经验要求的有效途径。

零件已达飞机钣金零件总数的50%以上,国内也占到35%~40%,且有进一步增多的趋势。

橡皮囊液压成形模具通常又被称为模胎、型胎、压型模等,用于橡皮囊产生的高压下弯边、下陷、弯边减轻孔、加强窝、加强槽等钣金零件结构要素成形并获取零件最终外形。由于飞机钣金零件一般为单件小批量生产,因此需要的成形模具数量很大,以L15飞机为例,共有橡皮囊液压成形模619项,占其钣金制造工装的51.4%。

目前,三维CAD和以产品数模为基础的数字量协调模式正逐渐成为橡皮囊液压成形模具设计的主流,但是由于飞机钣金零件形状复杂多变等特点的制约,橡皮囊液压成形

模具设计仍存在对设计经验高度依赖、设计周期较长的缺点。专业化程度和设计效率的提高一直是各类模具设计研究关注的热点,文献[1]采用基于特征的参数化设计方法利用SolidWorks平台开发了一种铸造模CAD系统,实现了铸造模具设计过程的自动化,文献[2]根据拉深模设计的相关经验和规则总结出设计流程与知识,在CATIA上开发出设计流程和知识驱动的拉深模快速设计系统,帮助实现了拉深件成形模具的快速响应设计。

本文针对如何实现橡皮囊液压成形模具快速设计这一问题,在分析该类模具结构特征的基础上,面向整个模具设计过程,将影响其设计效率的不同问题进行具体分析,提出基于

知识的设计方案检索、设计流程导航、设计信息快速提取、结构参数化驱动设计等多种方法相结合的解决方案,并依据该解决方案,利用UG二次开发技术开发了橡皮囊液压成形模具CAD系统,最后结合实例对系统的相关功能作了介绍。

### 橡皮囊液压成形模具结构特征及设计难点

作为目前主要应用于飞机钣金零件生产加工的工艺装备,橡皮囊液压成形模具结构特征与一般冲压模具相比有很大的不同:

(1) 橡皮囊液压成形模具的外形主要取决于零件型面形状,与飞机气动外形紧密相关,高度比零件弯边高10~15mm左右<sup>[3]</sup>。

(2) 由于液压成形过程中橡皮充当了凹模(或凸模),所以橡皮囊液压成形模结构比传统的刚性凹凸模具简单,一般只需半模,并且不需要模架。

(3) 模具标准件少,模体可分为工作部分和非工作部分,工作部分难以参数化描述,不同零件所对应的模具形状差异较大。

(4) 模体上分布有下陷等各种结构要素,且与所成形的零件结构要素之间存在相互映射关系。

(5) 对于结构细长或者带斜角的零件,模体通常设计出加强部分,以防止其在高压下发生变形。

设计橡皮囊液压成形模具时,首先应根据零件结构确定模具方案。由于缺乏严格的设计标准,模具方案的合理与否往往取决于设计人员的经验。目前,在国内航空制造企业,橡皮囊液压成形模具虽然已大量采用三维数字化设计,但尚未完全考虑零件成形后的回弹影响,模具外形设计仍以零件内型面为主要依据,因此在模具详细设计阶段,根据零件型面获得用于确定模具外形所需的曲面是设计的主要目标,而飞机钣金零件

上分布的长桁缺口、止裂孔、下陷、弯边、减轻孔等结构要素所引起的型面缺陷给实现该目标带来了很大难度。此外,模具加强结构和标准件的设计也需要花费较长时间。这些都限制了橡皮囊液压成形模具整体设计效率的提高,使得橡皮囊液压成形模具数字化设计成为一个相对繁琐和复杂的过程。

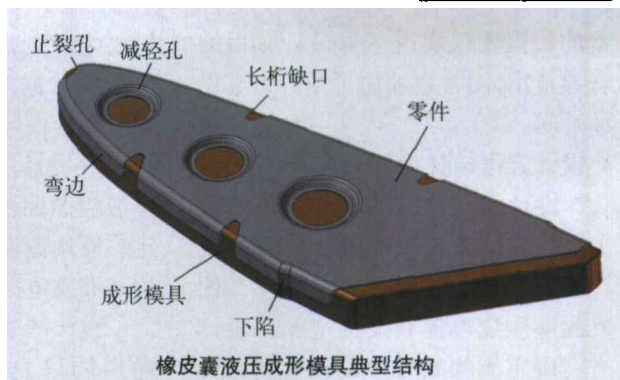
### 橡皮囊液压成形模具快速设计方法

为了实现橡皮囊液压成形模具设计的快速化,针对从方案设计到详细设计的模具设计全过程,采用以下几种方法相结合的解决方案。

#### 1 基于知识的设计方案检索

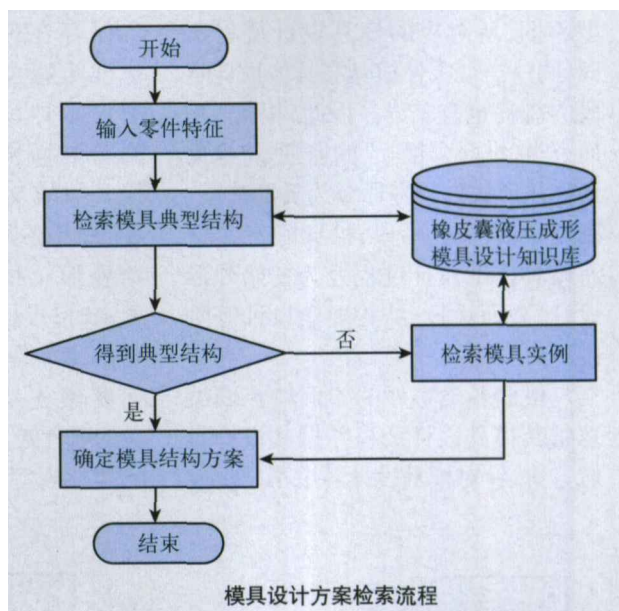
橡皮囊液压成形模具方案设计知识包含在以往的设计中,是后续设计类似模具时的重要参考依据。根据已有的设计积累总结各类橡皮囊液压成形模具设计知识,建立起包括模具典型结构和实例结构在内的模具设计知识库。

(1) 模具典型结构:成形模具中被广泛使用并且能够代表该系列零件成形模具的结构形式(如同向双凹



橡皮囊液压成形模具典型结构

弯边零件液压成形模),以及具有代表性和通用性的部分结构要素及标

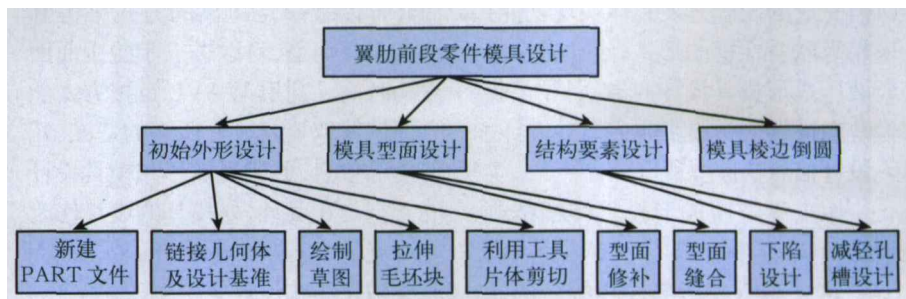


模具设计方案检索流程

准件等。

(2) 模具设计实例:已经设计完成并且在生产中得到良好应用的模具结构形式。

在模具方案设计阶段,设计人员通过橡皮囊液压成形模具CAD系统的知识库查询接口,根据零件特征检索设计知识库得到方案设计知识并最终确定模具结构方案。结构方



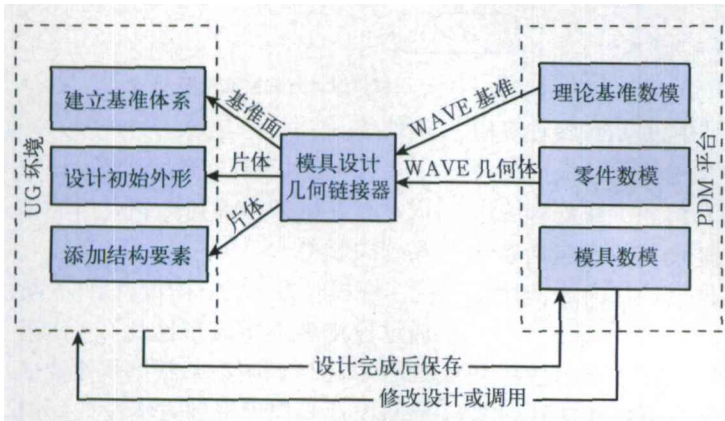
翼肋前段零件模具设计

案的检索不仅实现了对设计知识的有效重用,同时也缩短了模具方案设计时间。

## 2 设计流程导航

设计流程导航的目的是使经验欠缺的设计人员也能很快地掌握设计步骤和设计所涉及的知识<sup>[4]</sup>。橡皮囊液压成形模具设计遵循从设计方案确定到初始外形设计再到详细结构要素设计这一宏观思路,但在方案设计完成进入到橡皮囊液压成形模具详细设计之后,钣金零件结构类型不同,所对应的模具设计流程不同,同一类型零件模具在具体设计阶段的流程也有差异。因此,根据“横向分类,纵向分层”<sup>[5]</sup>的原则,将橡皮囊液压所成形的零件分为翼肋前段、翼肋中段、翼肋后段、机身框等类型,将模具详细设计过程分为初始外形设计、型面设计、结构要素设计等阶段。

根据各类零件的不同特点归纳总结其模具设计流程并据其设计导航方案,针对模具设计各个不同阶段



通过模具设计几何链接器获取设计信息

所需完成的内容开发具体实现功能,采用级联对话框的形式,建立起橡皮囊液压成形模具设计向导,引导经验欠缺的设计人员逐步完成模具设计。

## 3 设计信息快速提取

橡皮囊液压成形模具详细结构设计时,为了保证零件的装配协调,需要建立与所成形零件相统一的基准体系;而设计模具初始外形和结

构要素时则需要大量的曲面作为外形控制依据。通过建立橡皮囊液压成形模具设计专用几何链接器,实现将模具设计所需的设计基准、草图、外形控制曲面等信息快速链接到新建的模具数模文件中,作为模具设计的基准或依据。

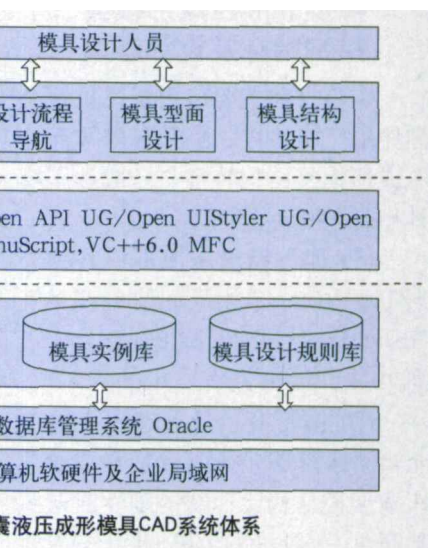
设计基准时,首先根据零件数模提供的信息明确其在全机所处位置,然后利用几何链接器将保存在理论基准数模文件中该零件所处的基准面链入模具数模文件;在设计模具初始外形及结构要素时,设计所需的曲面等几何要素先从相关的零件数模中抽取得到,链接得到的零件内型面往往不是一张完整的

曲面,不能直接用来实施剪切实体,因此有时还采取链接与该零件相装配的其他零件中比较完整的型面(如蒙皮面),再偏置一定距离的方式来得到剪切工具曲面,可以进一步减少曲面重构时间。利用 WAVE 链接方式能方便地获取模具设计所需的基准、几何体等信息,并实现零件和模具设计的并行与相关性,使模具的设计修改变得更加容易。

## 4 参数化结构设计

橡皮囊液压所成形的钣金零件

的形状特点决定了模具结构与零件相贴合的工作型面部分很难用具体参数来描述,在一定程度上制约了参数化方法在橡皮囊液压成形模具设计中的应用,但部分与模具型面无关的结构仍然具有可参数化的特点,如模具加强结构、模具标准件等。为了实现橡皮囊液压成形模具结构参



橡皮囊液压成形模具CAD系统体系

数化设计,首先对可参数化的成形模具结构或者标准件进行参数提取,然后设计包含各个参数项的对话框界面,并为对应结构或零件编写参数化驱动生成程序。设计时,设计人员只需选择或输入具体参数数据值,就可快速得到相应的成形模具结构或标准零件。利用参数化设计技术,可使橡皮囊液压成形模具设计人员免去大量琐碎的绘图工作,提高设计速度,并减少信息的存储量。

## 橡皮囊液压成形模具 CAD 系统设计开发

### 1 系统设计

橡皮囊液压成形模具 CAD 系统以 UG NX2 为开发平台,系统与 UG 无缝集成,结合橡皮囊液压成形模具设计知识库的支持,共同实现橡皮囊液压成形模具设计。系统体系结构包含支撑层、平台层和应用层。

(1) 支撑层。包含系统运行所需的操作系统、设备等计算机软硬件

及网络条件,在 Oracle 数据库管理系统下建立起包含典型结构库、实例库、设计规则库的模具设计知识库,对系统功能进行支撑。

(2) 平台层。包含系统开发架构 UG/open 中所运用的各单元模块,以及 VC++6.0 和 MFC 类库,提供系统开发中所需的各项资源和保证系统的正常运行。

(3) 应用层。面向橡皮囊液压成形模具设计人员与整个模具设计过程,提供模具设计知识检索、模具设计流程导航、模具型面设计、模具结构设计 4 个主要的功能模块。

## 2 系统开发

橡皮囊液压成形模具 CAD 系统各项功能主要通过 UG/Open API 接口函数实现,必要时采用交互的方式,由用户根据对话框提示选择输入信息。系统采用脚本菜单和工具条两种方式的界面进入,由菜单命令和工具条命令调入相关的模块对话框,实现系统功能。系统菜单按 UG/Menu Script 风格设计,工具条图标按 UG/Toolbar 风格设计,对话框利用 UIStyler 用户界面制作工具编辑。为了满足设计需要,系统综合 C/S 模式与 B/S 模式的优点,利用 UG 内嵌浏览器实现设计知识库的自动加载,并通过它对设计知识

进行检索,实现知识库应用与模具 CAD 系统之间的集成。

## 系统应用实例

在某型飞机中,一个典型框肋类钣金零件利用橡皮囊液压成形模具 CAD 系统进行其成形模具设计。启动 UG NX 软件,橡皮囊液压成形模具 CAD 系统自动加载。该零件属于同向双弯边零件,通过 UG 内嵌浏览器输入该检索条件检索设计知识库得到与之匹配的同向双弯边零件的成形模具典型结构和相应的设计流程。

根据其指导,在建模环境下利用系统所提供的毛坯设计工具设计模具初始外形,下陷设计工具设计下陷,利用减轻孔槽设计工具实现减轻孔槽设计,设计这些结构所需片体信息均由模具设计几何链接器链接得到。对于经验不多的模具设计人员,则可以根据该零件类型为翼肋前段零件进入设计导航,利用模具设计导航器进行设计。设计过程中还可以根据需要检索知识库得到设计规则,如在模具设计最后阶段,检索得到对模具非工作棱边倒 8mm 圆角的设计

规则。

## 结束语

成形模具设计在整个飞机钣金制造体系中起着承上启下的重要作用,快速化、专业化以及精确化是其发展趋势。本文提出的基于知识的设计方案检索、设计流程导航、设计信息快速提取、结构参数化驱动设计



等多种方法相结合的解决方案提供了一种实现橡皮囊液压成形模具快速设计和降低设计经验要求的有效途径。所开发的橡皮囊液压成形模具 CAD 系统已在某型飞机研制中初步应用,能较大程度地简化和改善设计工作,提高设计效率。

本研究工作目前只针对橡皮囊液压成形模具设计的快速化。全面考虑钣金成形回弹影响,实现面向零件精确成形的回弹补偿模具设计是橡皮囊液压成形模具 CAD 系统下一步研究的重点。

## 参考文献

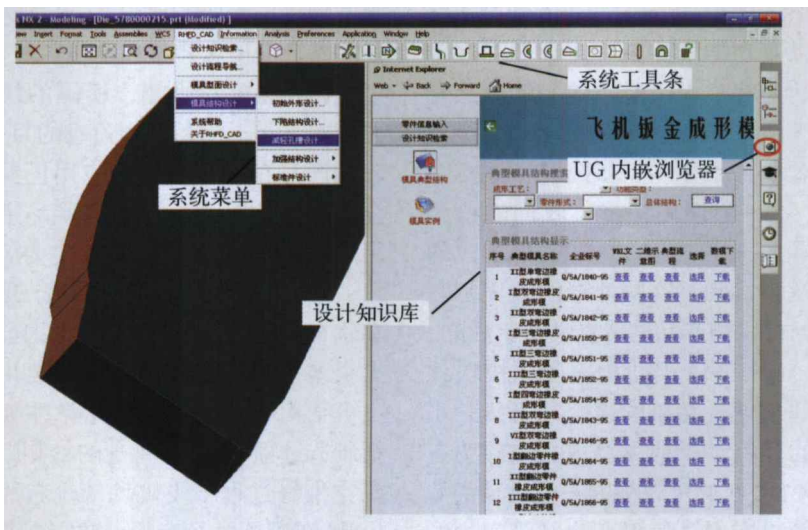
[1]Woon Y K, Lee K S. Development of a die design system for die casting, International Journal of Advanced Manufacturing Technology, 2004, 23: 399-411.

[2]朱燕. 设计流程与知识驱动的拉深模 CAD 系统 [D]. 南京: 南京航空航天大学, 2005.

[3]薛振海, 赵振亚. 飞机工艺装备设计与制造. 北京: 国防工业出版社, 1992.

[4]余思佳, 单泉, 雷毅. 基于三维开发环境的产品设计流程导航模型的研究. 组合机床与自动化加工技术, 2005, 12: 103-105.

[5]王学群, 王学礼, 赵汝嘉. 支持设计流的智能导航技术研究及应用. 小型微型计算机系统, 2000, 5: 475-477. (责编 体斌)



橡皮囊液压成形模具CAD系统用户界面