

基于特征分解及模板库的涡轮叶片分模方法研究^{*}

Approach of Parting Design of Turbine Blade Based on Feature Decomposition and Parting Template Library

西北工业大学现代设计与集成制造技术教育部重点实验室 郑军棋 汪文虎 史华杰 蒋睿嵩

[摘要] 为实现复杂涡轮叶片外形模具分模自动化,提出了一种基于特征分解及模板库的涡轮叶片分模方法。该方法运用离散和集成的思想,采用自动特征识别和人机交互特征识别的方式提取型腔体模型分解特征,将涡轮叶片的核心包络块分解为简单特征体,然后针对每个简单特征体,采用基于模板库的分模方法实现自动分模,从而有效地提高了涡轮叶片外形模具的设计效率,为涡轮叶片精铸模具设计自动化奠定了基础。

关键词: 涡轮叶片 特征分解 模板库 自动分模

[ABSTRACT] A new approach of parting design of turbine blade based on feature decomposition and parting template library is put forward. The exceeding obstacles of turbine blade with complicated outer structure is addressed. First, automated feature recognition and man-machine interaction feature recognition are adopted to extract decomposition features of cavity. The core block of turbine blade is extracted to simple features. Second, for each simple feature, the parting design approach is selected automatically from parting template library. This new approach enhances the design efficiency of turbine blade mould and sets a foundation of automated design of precise casting mould of turbine blade.

Keywords: Turbine blade Feature decomposition Template library Automatic parting

涡轮叶片作为航空发动机的动力核心,由于其设计制造难度很大,被誉为“皇冠上的明珠”。涡轮叶片由大量的自由曲面组成,外形复杂,精度和质量要求高,多采用精密铸造辅以机械加工的方式得到;由此,精铸模具成为叶片制造过程中最重要的工装,其中,模具设计过程中最重要的一个工作即为型腔分模。目前,分模多以手工为主,要求设计人员具备丰富设计经验,劳动量大、设计知识不能积累,自动化程度不高。

目前,国内外对分模研究主要集中在计算几何领域:Ravi 和 Srinivasan 提出了分型线和分型面的 9 个判断标

准^[1],以在脱模方向上选择最佳的分型面;Weinstein 和 Manoochehui^[2]在 1997 年提出了通过区分型腔体的凹凸区域来确定分型线的方法;Tan 等提出通过判断三角面片的可见性和不可见性^[3]及切分型腔体的方法确定分型线^[4];Nee 等^[5]提出了通过对型腔体分组抽取最大边环的方法确定分模线;韩建文等^[6]提出通过对型腔体的凹凸面集合采用平切的方法确定分型线;顾正朝等^[7]提出通过自动特征识别和模具因子计算的方法确定型腔体的脱模方向。

上述算法主要针对注塑模分型方法展开,且要求塑件有比较规则的形状特征,而本实验室研究的涡轮叶片形状复杂,简单的分模方法不再适用。

为此,本研究提出一种基于特征分解及模板库的涡轮叶片分模方法,基于分模设计知识,将核心包络块分解为有利于后续分模的简单特征体,结合手工分模过程的丰富经验,构建分模模板库,对简单特征进行独立分模,进而构建出完整型腔。本研究所提方法有效地利用了简单特征现有成熟的分模方法,简化了叶片分模过程,能有效提高分模效率,实现复杂涡轮叶片分模的自动化。

1 基于特征分解及模板库的涡轮叶片分模方法

1.1 核心包络块及生成

相对于模具所压制出的型腔体,在确定了分模方向后的坐标系下,有一个能包裹其型腔体模型的最小长方体,即最小包络块,模具核心包络块即是在此最小长方体的基础上通过添加尺寸得到的,如图 1 所示。所有分模研究就是相对该核心包络块展开的。

1.2 核心包络块特征分解

核心包络块的特征分解即通过提取型腔体模型各个部分的某些特征对核心包络块进行切分,得到形状较规则且互不干涉的简单特征体,使其有利于后续分模。核心包络块的特征分解采用特征识别的方法,由于涡轮叶片结构复杂,无法实现完全自动特征识别,故采用自动特征识别和人机交互择优选择的方式进行。

图 2 为核心包络块的分解过程,首先根据型腔体的

^{*} 863 计划项目(2006AA04Z144)、科技支撑计划(2006BAF04B02)资助。

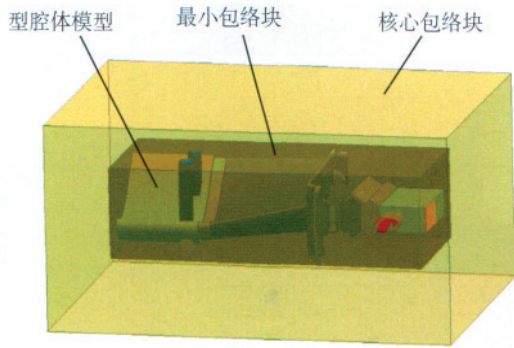


图1 模具核心包络块
Fig.1 Core block of mould

模型建立分模坐标系,生成最小包络块和核心包络块;其次对型腔体模型进行特征识别,自动识别型腔体的所有面特征,筛选并提取有用的面特征对核心包络块进行切分;而人机交互的特征识别方式需要手工进行体特征识别,选取型腔体的某个部分,此后便可提取切分特征用以剩于核心包络块的切分。

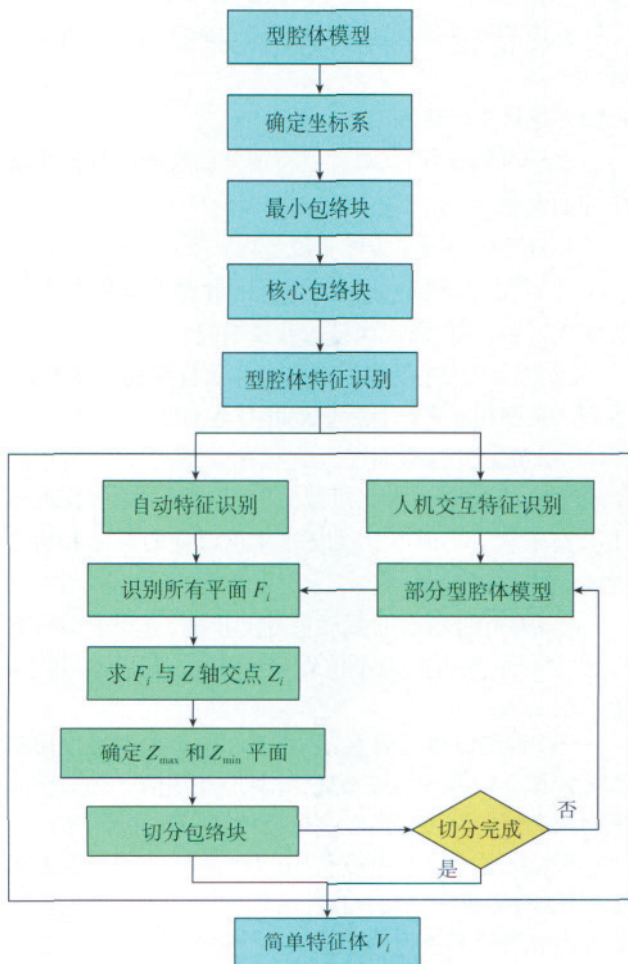


图2 特征识别的分模特征分解算法
Fig.2 Feature decomposition algorithm based on feature recognition

1.2.1 自动特征识别分解算法

图2中包含有自动特征识别的分解流程。核心包络块的切分先采用自动特征识别的方式进行。首先识别型腔体的所有面特征 F_i , 建立 F_i 的方程

$$F_i = \{F(x, y, z) | (x, y, z \in Q)\},$$

(其中 Q 为最小包络块的域), 求其与 Z 轴的交点 Z_i , 即 $Z_i = \{F(x, y, z) | (x, y = 0, z \in Q)\}$, 比较所有的 Z_i , 得到最大值 Z_{max} 和最小值 Z_{min} , 确定 Z_{max} 和 Z_{min} 对应的面 F_{max} 和 F_{min} , 如图3所示。用 F_{max} 和 F_{min} 平面分别切分核心包络块, 得到涡轮叶片外形模具的堵头段特征体 V_1 和 V_2 。

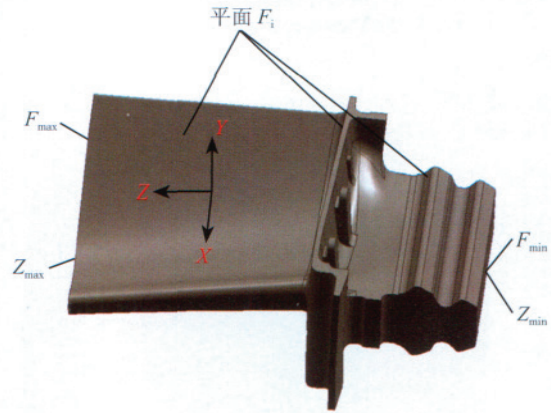


图3 自动特征识别提取的特征
Fig.3 Extracted feature of automated feature recognition

1.2.2 人机交互特征识别

人机交互的特征识别方式需要手动选取模具型腔体的某部分特征, 鉴于型腔体的结构复杂, 故在人机交互过程中采用交互式界面提示方式进行。人机交互特征识别分解中, 选择简单特征体对应的型腔体模型, 如叶身、缘板模型等, 提取此模型的所有面特征 F_i , 建立 F_i 的方程 $F_i = \{F(x, y, z) | (x, y, z \in P)\}$, (其中 P 为所选型腔体的域), 求其与 Z 轴的交点 Z_i , 即

$$Z_i = \{F(x, y, z) | (x, y = 0, z \in p)\},$$

比较所有的 Z_i , 得到最大值 Z_{max} 和最小值 Z_{min} , 确定 Z_{max} 和 Z_{min} 对应的面 F_{max} 和 F_{min} , 再用 F_{max} 和 F_{min} 平面对剩下的核心包络块进行切分, 从而得到模具的所有特征体 V_i 。

$$V = V_1 + V_2 + \dots + V_i (i \in N) ,$$

其中, V 为核心包络块的属性集合。

1.2.3 特征分解实例

本研究提出的基于特征识别的分模特征分解算法已在涡轮叶片模具的设计中得以试用, 图4为某叶片核心包络块特征分解界面, 执行自动特征分解和人机交互特征分解命令, 将核心包络块分解成多个特征单元, 如图5所示。

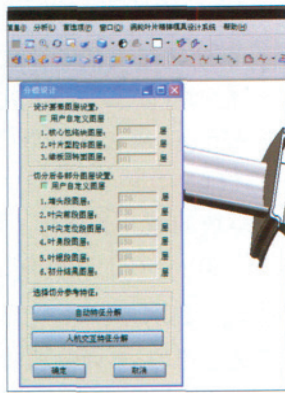


图4 特征分解界面

Fig.4 Feature decomposition interface

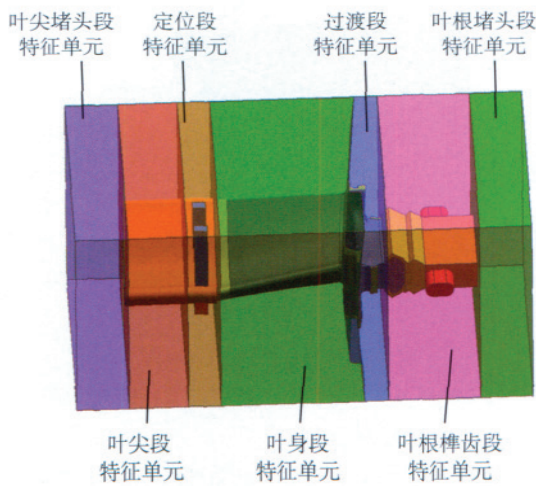


图5 包络块特征分解

Fig.5 Feature decomposition of block

1.3 模板库构建

1.3.1 模板库分模定义

在分模研究中,模具分型线和分型面的自动生成成为分模自动化的关键技术,分型线决定了分型面的形状及其复杂性,因而分型线的确定是实现模板库的关键技术,也是实现模具自动分模技术的关键。在本试验研究的涡轮叶片精铸模具分模设计中,分模需要在多个简单特征体上独立进行,而针对不同的简单特征的结构特点,采用具体合理的分模方法进行分模。模板库是将简单特征体的分模方法进行系统集成,在对简单特征体进行分模的时候,只需要选择其对应的型腔体模型,对模板库进行检索,选择最匹配的分模算法,实现自动分模。

1.3.2 规则模板库分模流程

图6为基于模板库分模设计的流程图。在完成模具核心包络块分模特征分解后,模具的核心包络块依据模具型腔体模型的结构被分解成若干个简单特征体,选择待分模型腔体模型,检索规则模板库分模算法,选择

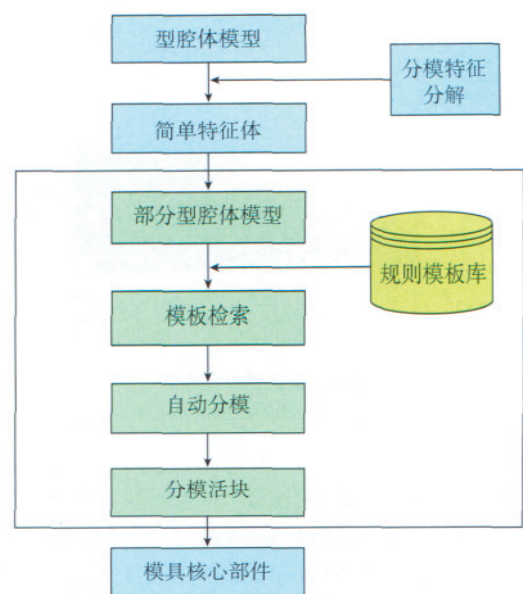


图6 模板库的分模实现过程

Fig.6 Parting process of template library

最优分模方式,利用模板库算法实现自动分模,得到各个特征体的分模活块,其为模具核心部件的重要组成部分。

1.3.3 模板库构建实例

由于篇幅有限,只对叶身特征体的模板库分模算法做详细说明。

叶身特征体的模板库实现过程如下:

(1)将由分模特征分解得到的叶身特征体与叶身实体进行布尔差,形成模具的叶身型腔;

(2)以与XY平面平行的平面和叶身型腔模型求交,得到一系列相互平行且密集的叶身截面线;

(3)提取叶身截面线上的所有点,然后将所有点按X坐标的大小进行排序,求取截面线上沿X轴方向的最小值点A和最小值点B,如图7中前缘处的点A和后缘处的点B;

(4)对叶身所有的截面重复上步骤,直到求得所有截面中沿X方向的最小值点 A_i 和最大值点 B_i ,其中*i*表示截面数;

(5)将所有最小值点 A_i 和最大值点 B_i 通过使用函数分别拟合成两条分模型线,并将分型线沿Z轴方向分别向两端延伸使之超出叶身单元体,记为LA和LB;

(6)使用函数分别将LA和LB沿与Y轴垂直方向进行拉伸,选取合适的拉伸长度使得拉伸得到的分模面应超出叶身单元体,分别得到前、后缘分模面。

(7)叶身单元体切分。先将叶身单元体用YZ平面切分为左、右两块(叶身前段和叶身后段),然后分别用前、后缘分模面对其进行切分,得到叶盆、叶背的4个活

块,最后通过布尔运算分别将叶盆的两活块和叶背两活块进行结合,形成完整的叶盆、叶背活块,如图7所示。

1.3.4 模板库分模实例

图8为基于模板库的某涡轮叶片分模过程,其中

图8(a)为模板库分模菜单,选择相应特征单元体的模版库分模命令,弹出模板库分模界面,如图8(b)所示,执行所有的分模操作,得到涡轮叶片外形模具的核心部件,图8(c)为部分核心模具。

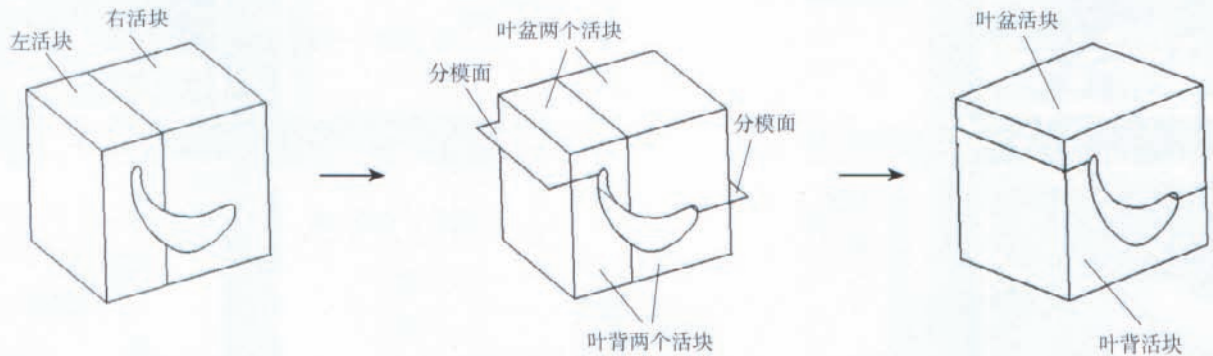


图7 叶身单元体分模原理

Fig.7 Parting principle of turbine blade body



(a) 模板库分模菜单

(b) 模板库分模界面

(c) 部分核心模具

图8 基于模板库的某涡轮叶片分模过程

Fig.8 Parting process of turbine blade based on template library

2 结束语

特征分解及自动分模技术的研究,是实现涡轮叶片精铸模具自动化分模设计中一个重要环节。本文探讨了采用特征识别方法对核心包络块进行特征切分,然后依据成熟的分模算法构建分模模板库,实现特征体的自动分模。该方法将复杂的涡轮叶片外形模具分模转化为简单的规则特征体分模;提出了模板库的分模思想,避免简单特征体在多次模具设计中的重复分模。目前该方法已在涡轮叶片精铸模具设计系统中应用,运行状态良好。

参考文献

[1] Ravi B, Srinivasan M N. Decision criteria for computer-aided parting surface generation. Proceedings, Manufacturing International Conference, Ahlanta, ASME, 1990:125-129.

[2] Weinstein M, Manoochehri S. Optimum parting line design of molded and cast parts for manufacturability. Journal of Manufacturing System, 1997,16 (1):1-12.

[3] Tan S T, Yuen M F, Sze W S, et al. Parting lines and parting surfaces of injection moulded parts. Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part B: Journal of Engineering Manufacture, 1990, 204: 211-221.

[4] Wong T, Tan S T, Sze W S. Computer-aided parting line generation for free-form solid models. International Conference on Manufacturing Automation, Hong Kong, 1997,1 097-1 105.

[5] Nee A Y C, Fu M W, Fuh H Y H, et al. Automatic determination of 3-D parting lines and surfaces in plastic injection mould design. Annals of the CIRP, 1998, 47 (1):95-98.

[6] 韩建文,闫关荣,雷毅.射线探测法在模具CAD自动化分模中的应用.计算机辅助设计与图形学学报,2006,18(7):958-958.

[7] 顾正朝,周振勇,高曙明,等.一种基于自动特征识别确定模具脱模方向的方法.计算机辅助设计与图形学学报,2000,12(5):360-366.

(责编 小城)