

涡轮叶片精铸模具知识模板构建及应用*

Construction and Application of Knowledge Template for Turbine Blade Mould

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 史华杰 张定华 汪文虎 卜 昆 蒋睿嵩

[摘要] 为了缩短涡轮叶片精铸模具的设计周期, 本文通过研究知识模板的组织结构和实现方法, 提出了一种基于知识模板的产品快速设计方法。通过提取和总结涡轮精铸叶片模具设计过程中的相关知识和参数化设计规则, 建立了模具外围机构的知识模板, 并通过实验验证了基于知识模板的设计的有效性和实用性。

关键词: 知识模板 涡轮叶片 模具设计 参数化设计

[ABSTRACT] For the purpose of shortening design time of the investment casting mould for turbine blade, the construction and design method of product knowledge template are studied, and a new rapid design method based on knowledge template is presented. Based upon mining and summarizing the design knowledge and parameter rules, the knowledge template of outside structure of turbine blade mould is constructed. The experiment shows that the design based on knowledge template is effective and practical.

Keywords: Knowledge template Turbine blade Mould design Parametric design

目前, 航空发动机涡轮叶片主要采用无余量熔模精密铸造辅以机械加工的工艺来完成, 而精铸模具作为空心涡轮叶片毛坯生产中最重要的工装, 具有结构复杂, 设计周期长、制造难度大等特点, 使得精铸模具设计制造技术成为制约我国航空发动机行业发展的主要“瓶颈”之一。实现叶片精铸模具的快速设计, 能够缩短模具设计周期, 对新机研制具有关键意义。

模板技术是基于事物相似性和设计方法复用原理的技术, 其核心就是设计信息的重用和参数化的变异, 将模板技术与工程设计相结合, 可以大大提高产品设计效率。模板的概念源于建筑施工中, 并最先被用于软、硬件设计及建模与仿真等领域^[1-4], 旨在对设

计对象和设计过程实现标准化。在模具设计领域, 目前的主要研究集中于对模具撑杆件、压模板和标准件等单个零件或组件的表达与建立^[5-10]等方面, 通过使用尺寸约束的方法实现了模板的参数化设计, 在一定程度上提高了设计效率。但由于模具是一个复杂的装配体, 设计过程需要用到各种经验、知识和规则, 而目前的研究很少涉及产品的装配建模, 也没有很好地利用设计过程中的知识, 还不能实现知识对整个设计过程的控制。

为了更好地利用相关设计知识来控制产品的开发过程, 本文提出了基于知识模板的设计方法。基于知识模板的设计方法利用模板化设计思想, 采用自顶向下的装配建模, 支持设计全过程相关和全数据相关的参数化设计, 通过将设计知识嵌入到模板中, 实现了知识对产品设计意图和几何结构的有效控制。本文通过构建涡轮精铸叶片模具的知识模板, 实现了模具外围机构的快速设计, 显著提高了模具设计效率。

1 涡轮精铸叶片模具结构

涡轮叶片精铸模具与常规模具相比, 其结构更为复杂, 主要由型腔机构、锁紧机构、定位机构和起模机构 4 部分组成, 如图 1 所示。涡轮精铸叶片的外围机构包含了除型腔之外的所有结构, 包括盖板、底板、四周锁紧框、注蜡口、起模支架、起模板等。这些机构的几何形状和装配定位较为复杂, 但外形变化相对不大, 主要特点如下:

(1) 锁紧机构。主要通过上下盖板加四周边框进行锁紧, 盖板和边框的尺寸可由型腔尺寸推导得到, 而边框厚度可以通过锁紧力计算和经验值获得。

(2) 定位机构。主要由定位螺钉、定位销和支撑窗口构成, 定位螺钉、定位销采用国家标准, 支撑窗口外形较为固定, 可以通过尺寸推导和经验计算得到。

(3) 起模机构。由起模螺钉、起模板、起模支架等构成, 外形较为固定, 其主要参数可由模芯尺寸推导得到。

在模具结构设计中, 可通过总结设计过程中的相关知识预先建立一个参数化的标准装配模板, 然后改

* 国家“863”计划项目(2006AA04Z144)、科技支撑计划(2006BAF04B02)基金项目资助。

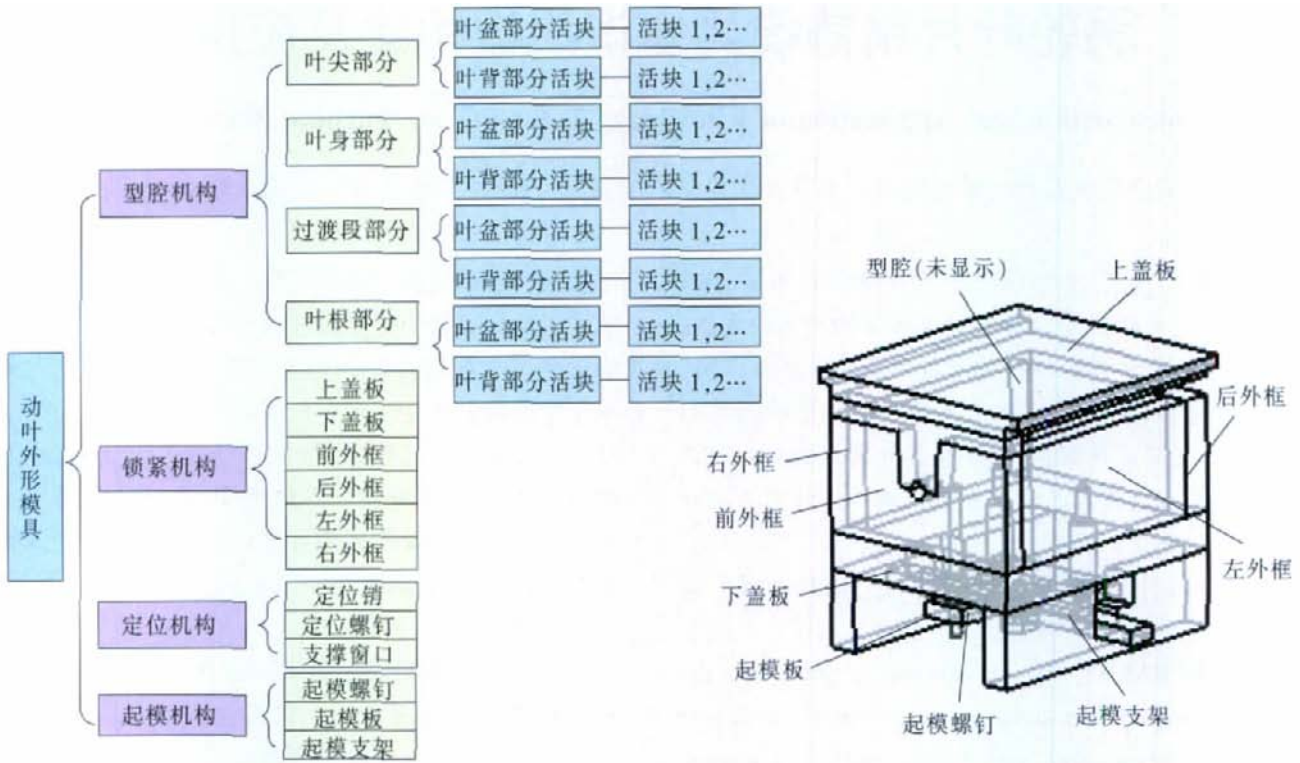


图 1 涡轮精铸叶片动叶外形模具
Fig.1 Structure of wax mould of turbine blade

变模具各部分的结构和尺寸参数,从而实现新模具的快速设计。蕴含模具设计知识可用于修改的标准模具结构被称为知识模板。

2 产品的知识模板

产品的设计过程通常都比较复杂,但同类产品在设计流程和结构上往往具有相似性,所以,可以将产品的设计方法和典型零件的开发流程进行抽象,构建出产品设计的标准知识模板,然后通过使用标准模板来实现新产品的快速设计。

2.1 模板特点

产品的知识模板是一个嵌入了产品设计知识的参数化标准结构实例抽象,不仅规定了各装配零部件的结构和尺寸参数,而且规定了它们之间的位置配合关系和工程约束关系,同时关联了相应的二维工程图。知识模板具有以下几方面特点:

- (1)嵌入了产品设计知识,可以进行知识的推理,并能够增加、删除、修改库中的知识。
- (2)定义了产品的完整参数化约束,支持参数化装配建模。
- (3)使用基准、草图来控制整个产品中所有零部

件的基本形状、尺寸和装配位置,通过关键参数的传递和推理得到生成参数,驱动新产品的设计。

产品的知识模板通过对模具设计过程中的各种设计知识和参数推导规则进行归纳和提取,实现产品的知识化,并对产品特征、零件和装配模板进行实例化,通过输入关键参数实现模板的更改和调用。使用产品的知识化模板可以极大地提高设计效率,有利于促进了设计方法学的标准化,并能够广泛适用于机械行业及产品开发领域。

2.2 模板结构组织

建立产品的知识化模板,包含确定产品的开发目标、总体设计、结构设计等主要步骤,同时需要对各装配零件尺寸、位置、装配关系进行控制管理,主要结构组织如图 2 所示。构建产品的知识模板主要从以下 4 个方面进行。

2.2.1 确立基点、坐标和基准面,确定/确立产品装配关系

在总装配文件中建立基准坐标系和基准平面,通过坐标系和基准平面控制各草图平面的位置。模具中的每个零件应当有一个中心基准,例如基准点、基准轴或基准面。基点选择是同实际调用有联系的,往往

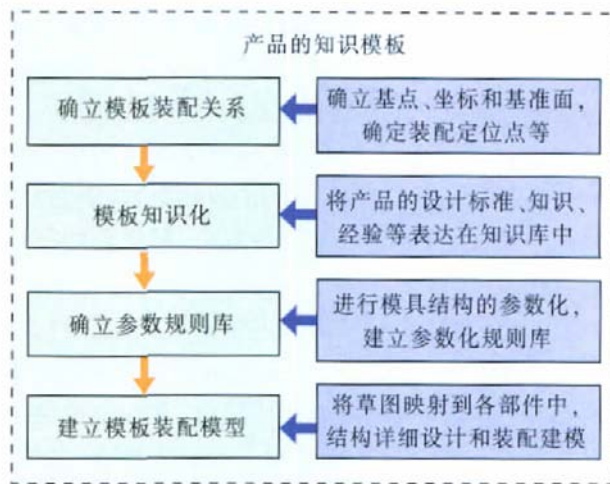


图2 产品知识模板主要构成

Fig.2 Architecture of product knowledge template

是装配中的定位点；对于圆锥状和球形的定位点，在建模标准上要添加辅助平面，因为装配中其定位点很难捕捉。

2.2.2 提取设计知识,实现知识的表示

通过在设计中融入产品的一些工程设计知识,建立各设计变量之间的内在联系,运用工程设计规则,约束参数化过程中各参数之间的变化规律、趋势和范围,可以使设计知识直接驱动并验证设计。精铸模具

设计是典型的复杂问题,在实际设计中所用到的知识是多方面的,包括制造资源选择知识、制造对象模型构建知识、结构设计知识、制造工艺知识等,范围十分广泛,信息量和知识量相当庞大。在知识模板的知识数据库中,结合使用了框架表示法与产生式表示法来对产品的设计标准、知识、经验等进行表示和存储。数据库中的知识表达形式有如下几种:

(1)常量或常量系列,记录标准常数、经验值等用于直接调用,可以方便地设定常用零件的尺寸或尺寸系列。

(2)由产生式规则表示,通过运用程序判断语言和数学函数,可以实现函数运算、条件判断、几何表达式等功能,主要用于结构推理和尺寸推导。

(3)由部件间关联关系式表示,表达式不仅可以继承主装配件的参数,而且可以通过部件间的引用建立各部件间的尺寸链接关系。

(4)结构抑制因子,通过条件表达式判断其状态,进而控制相关结构的生成类型或抑制状态。

以模具前框为例进行说明,其相关设计知识表示如表1所示。

2.2.3 建立参数化规则库,进行模具结构的参数化设计

参数化设计技术使数据的改变在不同层次,如不

表1 前框设计知识总结

序号	名称	知识表述	说明
1	后框长度 BB_l/mm	$BB_l = box_w + LB_w + RB_w$	box_w: 模芯包络块宽度 LB_w: 左锁紧框厚度 RB_w: 右锁紧框厚度
2	后框下底面高度 BB_down/mm	$BB_down = \text{if}(\text{heighttype} == \text{mid_type})(-0.5 * box_h) \text{ else } (-box_d_h)$	heighttype: 高度类型 (mid_type 注蜡口在中间; height_type 高度自定义) box_h: 模芯包络块高度 box_d_h: 注蜡口高度
3	后框拉伸起始面 BB_off/mm	$BB_off = -0.5 * box_l$	box_l: 模芯包络块长度
4	后框拉伸终止面 BB_bot/mm	$BB_bot = -0.5 * box_l - BB_w$	box_l: 模芯包络块长度 BB_w: 后框宽度
5	后框拔模斜角 BB_tj_angl/(°)	$BB_tj_angl = 95^\circ \&\&$ $BB_tj_angl = [95^\circ, 105^\circ]$	95°为工程计算最优值 [95°, 105°]是工程有效范围
...

同子装配系统和不同零件之间的传递变得唯一、及时,使自顶向下的设计成为可能。参数化设计的主要特点是:基于特征、全尺寸约束、全数据相关和尺寸驱动设计修改。

在用户输入主要驱动参数后,系统按照基于规则的方法进行模板各参数的逐步求解。对于以表达式方式存贮的知识,通过建立 IF-THEN 规则,进行自顶向下的逐层推理,更改模型中的参数值,从而自动驱动产品模型的更新;对于以几何形体元素存贮的知识,通过建立部件间几何链接关系,自顶向下地逐层推理,更改不同部件的模型形状,从而驱动产品模型的自动更新。以前框为例,其截面形状主要尺寸的参数化表示如图 3 所示。

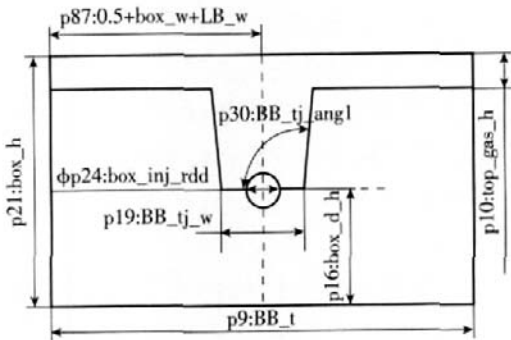


图 3 前框主要结构的参数化公式
Fig.3 Main parametric formula of front-rail

2.2.4 建立模板装配模型,设置各配件的引用集

将草图及相关尺寸映射到各部件的结构设计中,通过相关参数化建模进行结构详细设计和装配建模。对于典型组合件,至少由 2 个标准零件装配在一起而组成,要注意建立各标准零件间的尺寸链接关系,并用一个主要的标准零件去控制和约束其他次要标准件。同时,为了使实体模型看上去更加简洁,标准装配件应在装配模式下设置引用集,实际调出的只是它的特征实体。

3 基于知识模板的设计

构建知识模板要求所使用的软件可以进行数据全相关的参数化设计,并且支持自顶向下的装配建模。本文选用 UG 软件作为平台,通过二次开发建立了产品的知识模板,实现了基于知识模板的设计。在模板中使用 WAVE 技术建立了组件之间的关联性,并通过一系列自顶向下工程参数的控制,来驱动整个

产品的总体设计、功能评估和工程更改,以确保产品的设计意图和整体性。

本文按照以下步骤进行产品知识模板的建立:

(1)确立产品的开发目标,规划装配体的组成和结构。在开发目标的指导下采用最大可能原则,规划模具的结构图,以便包括某个最复杂、最完整的模具装配组合。

(2)建立产品装配模板的主体框架,装配结构设计。建立模板的主体框架,主要包括建立主要的模架板类组件、起模组件的基础几何结构、装配定位关系和引用集等几部分,并利用 WAVE 技术建立总体控制结构。

(3)建立相关的数据库、知识库和函数库,建立相应的数据映射和参数推导规则。将产品数据、设计知识和操作函数分开进行保存,这样可以减小程序的耦合性,便于程序的管理和升级。

(4)添加相关常用件和标准件到模架装配中。本文还建立了模具的标准件和常用件模板,同时建立相应的组件抑制表达式,用于控制模具结构变换时标准配件的抑制状态。

(5)建立标准配件安装腔体或孔特征。通过布尔运算建立孔特征,在结构规划时,我们设计了 2 个全局抑制表达式 supp_0 和 supp_1,通过部件间表达式链接方法的引用,实现更新失败特征的自动抑制和安装孔特征的应用控制。

(6)调用 UG 函数,自动绘制模具外围结构的二维工程图。当装配体被调用后,各部件的二维工程图随三维模型一起被调用,且当参数设置发生变更时,二维工程图随之被更新。

(7)验证与调试。

4 实例验证

以某型号涡轮精铸叶片模具为例,基于本文方法所建立的知识模板进行模具外围机构的快速设计。输入的设计主参数为模具模芯 Block 块的相关尺寸和注蜡口高度,其他参数如表 2 所示。其中,一类参数为关键驱动参数需要用户输入,二类参数可以使用系统默认值也可由用户设定,三类参数则由系统自动生成。系统通过知识推理求解出所有参数和结构,使用参数化技术建立各部分结构,并按照装配定位关系自动生成了动叶外围机构装配体结构,如图 4 所示。经验证,生成的涡轮精铸叶片模具外围机构各部分零件均满足形状、尺寸精度要求,并实现了零件间的装配

表 2 参数列表

一类参数	值/表达式	二类参数	值/表达式	三类参数	值/表达式
模芯长度	box_l=156	盖板厚度	GB_h=25	前框高度	FB_h=box_h_top_gas_h
模芯宽度	box_w=120	后框斜角	BB_tj_angl=95°	后框边长	BB_l=box_w+LB_w+RB_w
模芯高度	box_h=87	注蜡口径	box_inj_rad=12	盖板下宽	TB_w_2=box_w+LB_w+RB_w
注蜡口高度	box_d_h=40

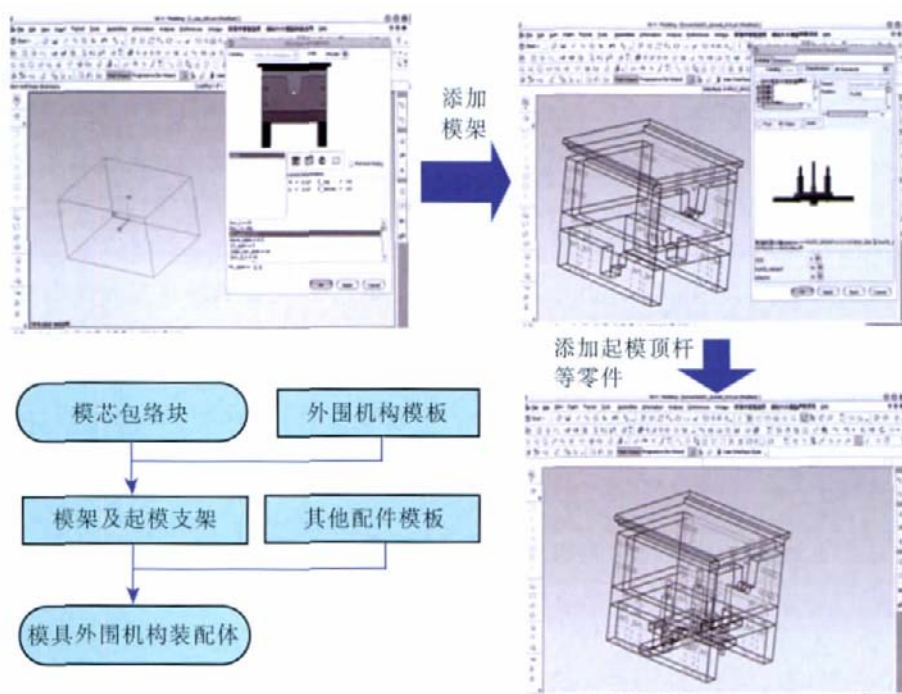


图 4 设计实例验证

Fig.4 A study case of design using knowledge template

和腔槽打孔,大大提高了设计效率。

5 结束语

本文提出了一种基于知识模板的产品快速设计方法,通过总结和归纳涡轮精铸叶片动叶模具的相关设计知识和参数化规则建立了知识模板,并应用此模板进行了实例生成。经实例验证表明,依据此方法进行涡轮叶片精铸模具设计,能够大大缩短模具设计周期,具有很高实用价值。

参 考 文 献

[1] Srivastava M B, Brodersen R W. Rapid-prototyping of hardware and software in a unified framework. IEEE International

Conference on Computer-Aided Design ICCAD-91, Piscataway, NJ: IEEE Service Center, 1991, 152-155.

[2] Corazao, Miguel R, Marwan A, et al. Performance optimization using template mapping for datapath-intensive high-level synthesis. IEEE Transactions on Computer-Aided Design of Integrated Circuits and Systems, 1996, 15(8): 877-888.

[3] Defense Modeling and Simulation Office, HLA Object Model Template, Version 1.2, 1997.

[4] Petty M D, Cox A. HLA interoperability for existing simulations. The Proceedings of 1997 Summer Computer Simulation Conference, 1997, 437-442.

[5] 侯亮. 机械产品广义模块化设计理论研究及其在液压机产品中的应用[D]. 天津:天津大学, 2002.

(下转第 89 页)

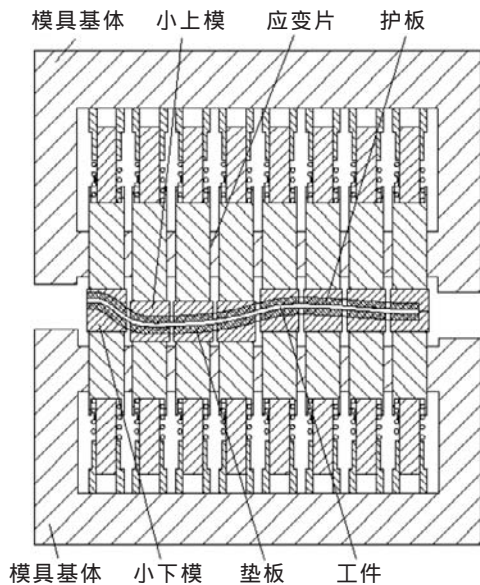


图6 线性弯轮廓多点柔性成形模具

Fig.6 Multi-point flexible die of linear bended outline

出工件。

要注意的是,上下弹簧处于收缩状态,使活动模块与千斤顶紧密相连,工作过程中不会脱离,保证了工作的可靠及制造精度;应变片粘贴牢靠,在活动模块通过计算机计算粗调之后,准确记录各个千斤顶的受力,以便最后判断模具是否严格处于规定的位置。

3.3 整体固化理想单元内骨架

在特定变曲率半径的模具上预叠装腹弧板、面翼板,使其产生一定的弯曲变形,也可使钢片内产生一定的拉应力并保证理想单元的刚度及回弹性能。为保证对称性,将理想单元内骨架中心钢筒支撑在可旋转的特制支座上,理想单元的内、外胎具和夹具等工装设备与旋转机构联动。

3.4 理想单元组焊

(1)清理干净工件表面。

(2)合理设计接头并避免焊缝交叉。

(3)选择同工件金属的化学成分牌号和一致的焊条,以保证获得良好的焊接性能。

(4)由于不锈钢黏性较大,在选择焊接电流时要比正常情况下稍大一些。腹弧板、面翼板板厚小于6mm,用TIG焊;底座、主板板厚较大,采用MIG焊。

3.5 表面处理

(1)机械磨光:选用砂带打磨方式,均匀磨去高点。

(2)表面抛光:为降低射线反射性,采取单向表面加工,其工艺步骤是先用粗磨料抛光,再用粒度为180的磨料研磨。最后用布抛光轮和抛光膏对仍有磨痕的表面进行抛光。

(3)表面电磁性能处理:均匀喷涂导电胶。

4 结论

(1)基于理想单元进行设计及制造,方法和工艺合理,加工成形方便。

(2)腹弧板、面翼板采用“线性变轮廓多点柔性成形”方法,技术新颖,可扩展性强。

(3)上、下刚性小模间加弹性板,成形工件所需的小模数量可减少,调节时间较短,工作量减轻。

(4)由于金属护板及弹性垫板将工件与刚性小凸模隔离,可使工件表面平滑,且使多点模的集中力变为分布力,这样可避免产生凸凹不平的工件表面。

(5)整体工艺措施可靠、有效,解决了低散射塔架成型制造问题。

参 考 文 献

- [1] 全绍辉,何国瑜,徐永斌. 新型微波-毫米波幅相测试系统及扩展应用,微波学报,2002,18(3):71-74.
 - [2] 董长军,国力. 现代战争的障眼术——隐身与反隐身,长沙:国防科技大学出版社,2000.
 - [3] 孙茂才. 金属力学性能. 哈尔滨:哈尔滨工业大学出版社,2003.
 - [4] 马伊民. 在紧缩场进行卫星有效载荷测试. 空间电子技术,2003(3):59-64.
 - [5] 李庆祥,王东生,李玉和. 现代精密仪器设计. 北京:清华大学出版社,2003.
 - [6] Jiao Hongjie. Analysis and research on the structure of low-scattering pylon used in low observable aircraft property Measurement. (责编 依然)
-
(上接第85页)
- [6] 冯晓宁. 基于模板的工程对象设计. 工程图形学报,2000(1):60-65.
 - [7] 王志峰,高锦辉,赵维民. 基于UG的汽车覆盖件模具的模板化设计. 模具工业,2007(5):8-11.
 - [8] 陈军. 基于模板的汽车覆盖件冲压工艺快速设计关键技术研究[D]. 天津:天津大学,2003.
 - [9] 汪文虎,杨丽娜,张西涛,等. 涡轮叶片精铸模具CAD系统参数规则库设计. 现代制造工程,2005(11):70-72.
 - [10] 束庆斌,刘晓平,王浩. 基于模板的冷冲模CAD系统. 合肥工业大学学报(自然科学版),2001(6):332-335.

(责编 淡蓝)