

# 基于 CATIA 的复合材料构件设计知识库系统

北京航空航天大学机械工程及自动化学院 梅中义 周俊 范玉青



梅中义

北京航空航天大学机械工程及自动化学院副教授, 博士, 1996年毕业于北京航空航天大学航空宇航制造工程专业, 主要从事数字化设计与制造、知识工程、数字化装配等方面的研究与开发工作。

由于复合材料具有比强度、比刚度高, 耐腐蚀、耐疲劳性能好, 可设计性强等一系列独特的优点, 在各种装备的轻量化、小型化和高性能化上起到了无可替代的作用, 使之成为飞机、导弹、火箭、人造飞船等结构上不可或缺的战略材料和技术。

知识库是知识工程中结构化、易操作、易利用、全面有组织的知识集

以选材和典型复合材料构件设计为入口, 构建具有一定通用性的复合材料构件设计知识库系统, 可通过扩充知识库的方式实现其他典型构件的设计。

群, 将知识库技术应用于复合材料构件设计领域可以有效地实现辅助设计人员进行辅助选材、飞机构件的铺层设计和典型构件设计等工作, 从而大大地提高设计效率, 简化设计流程, 使设计工作的自动化水平有了显著的提高。

由于飞机复合材料设计过程中设计经验的数量、种类十分巨大, 所以针对复合材料典型构件设计中的经验知识加以总结, 与三维设计软件 CATIA 相结合, 开发了复合材料构件的设计知识库系统。

## 复合材料构件设计知识库系统总体结构

复合材料构件设计知识库系统包括设计实例库、铺层设计规则库和

计算机辅助选材 3 个子系统, 各子系统都由两大部分组成: 知识库使用和知识库维护。

复合材料构件设计知识库系统的结构如图 1 所示。其中数据库服

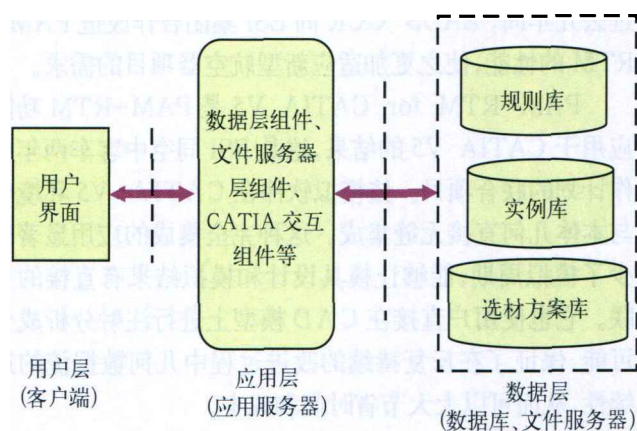


图1 复合材料构件设计知识库系统结构

务器负责复合材料构件设计知识数据的存储; 应用层是客户端与数据库服务器之间的层, 是基于组件的层; 用户层在客户端运行, 集成于 CATIA 界面中, 向用户提供了交互式的界面, 包括设计要求、产品工程

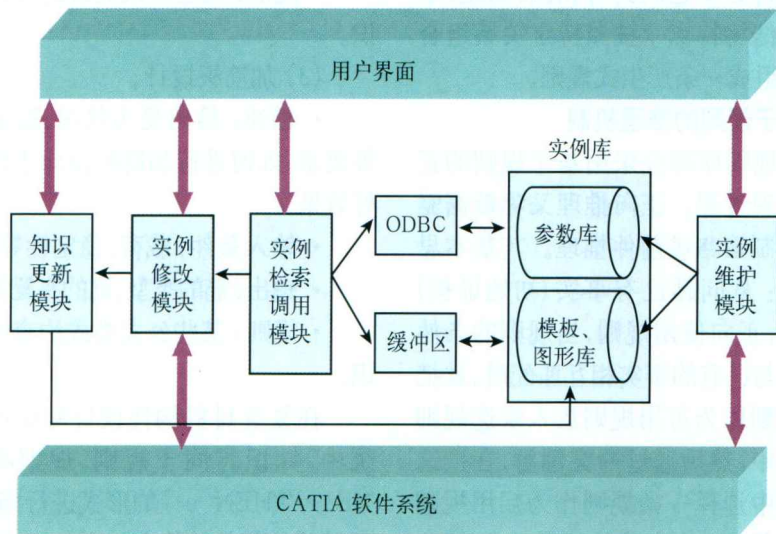


图2 实例库系统构架

参数的输入、零件参数交互式修改、结果输出和系统操作过程的提示等。

## 复合材料构件设计实例库

复合材料典型构件设计实例库系统构架如图2所示,实例库存放的服务器端包含数据库服务器和文件系统服务器,分别存放结构化的参数数据和文件格式的图形、图标文件。

### 1 实例库所包含的实例

复合材料构件设计实例库包含两大类实例,一类是国内外成功的大型复合材料部件设计实例,这些部件包括固定翼飞机的复合材料机翼、复合材料安定面、复合材料操纵面、复合材料机身等,以及直升机中的复合材料机身结构等,该类实例主要通过资料收集和航空企业自身研制的部件实例获得,该类实例可对设计人员进行方案设计起参考作用;另一类是航空企业自行开发的复合材料典型构件设计实例,这些典型构件包括:槽型梁、Z型梁、工字梁、Ω梁等,基于该类实例,设计人员可以采用基于实例的推理进行新的设计。

### 2 设计实例的描述

当设计一个构件时,首先要知道构件的一些设计要求,如构件类型、使用环境、载荷状况、性能要求等,然后才能针对该构件的设计要求构建

构件的三维实体模型和铺层设计方案。复合材料典型构件设计实例可表示为“实例编号+问题描述+解决方案+综合评价”的形式,其中实例编号是唯一确定一个实例的标识符,可由实例库管理员给出或由系统自动产生;大型部件设计实例和典型构件设计实例问题描述部分及解决方案部分的内容如表1和表2所示;综合评价部分是对解决方案的评述,说明其设计效果如何。

### 3 基于实例的推理与检索

基于实例推理通过访问知识库中过去同类问题求解过程与结果,从而获得当前问题解决的一种推理模式。实例的检索与匹配是实现实

表1 大型复合材料部件设计实例

构建信息特征描述	实例编号	综合评价
	实例名称	
	应用机型	
	使用环境	
	载荷状况	
	其他	
构件设计方案	材料类型	
	方案概述	
	结构简图	
	雷电防护	
	成形方法	
	积木式试验	
其他		

例推理的关键,根据典型构件的特征信息检索相应的实例,通过相似度计算判断构件是否相似,从而检索出相似性最高的设计实例,基于实例推理的复合材料构件设计的流程如图3所示。

按照基于实例的推理流程,从实例库中检索与当前问题最相似的实例,并对其调用。调用过程通过在客户端硬盘开辟一个图形缓冲区来实现,默认状态下系统从缓冲区中调用实体图形文件(.CATPart文件)和图标(示意图.bmp文件),如果在调用时遍历图形缓冲区找不到所需的文件,再从服务器数据库中下载该文件到缓冲区,再从缓冲区调用。

表2 复合材料典型构件设计实例

构建信息特征描述	实例编号	综合评价
	实例名称	
	构件类型	
	使用环境	
	载荷状况	
构件设计方案	其他	综合评价
	模板文件	
	铺层文件	
	成形工艺	
	材料类型	
	其他	

### 4 实例的维护

实例的维护包括实例入库、实例修改和实例删除功能,将实例按照一定的方式组织起来,存入实例库中,这个过程叫实例的入库。归纳实例的问题属性和结果属性,存入实例的数据库表和文件系统中,在进行实例的入库之前,要计算新实例与库中已有实例的相似度,相似度低于0.9时,当作新实例进行入库,否则不进行该实例的入库。对于实例的修改,三维模型采用参数化设计来实现,设计人员在图形模板文件的基础上,通过修改构件的关键参数,自动生成新的三维实体模型,实例的修改采用基于CATIA进行二次开发实现修改。

## 复合材料构件铺层设计规则库

复合材料构件铺层设计规则库由两大部分组成：知识库使用和知识库维护。知识工程师从设计专家处获得知识，利用维护工具构建知识库并负责维护知识库，即将新的知识添加到知识库中，将不正确的知识修改或删除；设计人员在知识库使用环境中利用系统界面指导设计工作。设计规则库包括信息的输入、输出、推理机、知识库的构建和维护、综合数据库等。

### 1 规则库的实现

一般地，产生式规则表示多对一的形式，即一条规则由多个条件和一个结论构成。本文所用的产生式规则是多对多，即一条规则由多个条件和多个结论构成。

用关系数据库技术表示出的产生式规则库，必须保持规则库原来所具有的特点，即知识表达清晰、逻辑性强、便于逻辑推理和管理维护。

具体的实现方法如下：首先定义规则元素(rule-element)，规则元素是产生式规则的基本构成元素，

不可再分，它们具有相同、固定、单一的结构特点，按照特定关系组合后，组成一条产生式规则。

### 2 基于规则的推理机制

规则库部分采用基于规则的正向推理过程。正向推理又称数据驱动控制策略或前件推理。其基本思想是：从问题已有事实(初始证据)出发，正向使用规则，当规则的条件部分与已有的事实相互匹配时，就把该规则作为可用规则放入候选规则队列中，然后通过冲突消解，在候选队列中选择一条规则作为启用规则进行推理，并将其结论放入数据库中，作为下一步推理时的证据。如此反复这个过程，直到再无可用规则可以被选用或者求得了所要求的解为止。

### 3 典型构件设计知识库知识表示和规则

该知识库的输入变量为复合材料零件的受力状况以及对零件使用性能的要求，根据所输入的变量值给出满足要求的设计方案。

以几种复合材料典型构件设计为例，描述复合材料构件设计知识库中知识的表示方法如下。

#### (1) 层合板设计。

• 描述：给出受力状况，如何进行铺层设计达到最好效果。

• 输入条件：载荷等。

• 输出：材料类型、铺层数、铺设方向、铺层顺序等。

• 规则：某些公式类或约束性知识。

#### (2) 夹层结构设计。

• 描述：给出受力状况、稳定性、刚度等要求，如何进行面板和夹芯设计达到最好效果。

• 输入条件：载荷、稳定性、刚度等。

• 输出：材料类型、铺层数、铺设方向、铺层顺序、夹芯形状、夹芯材料、夹芯厚度、夹芯密度等。

• 规则：某些公式类或约束性知识。

#### (3) 加筋板设计。

• 描述：给出受力状况、稳定性等要求，如何进行加筋板设计达到最好效果。

• 输入条件：载荷、稳定性等。

• 输出：筋的类型、筋的布置等。

• 规则：某些公式类或约束性知识。

在复合材料构件设计知识库系统中，知识等同于规则，规则将以“IF ... THEN ...”的形式进行描述，以“树”的拓扑结构存储在知识库中。

## 复合材料构件设计选材库

选材库实际上是一个分类存储的数据库，储存的数据是实际生产中常用的各种增强纤维和树脂材料的特性资料，是按照国家标准来选择并组织的。

选材库的功能主要是根据输入的复合材料零件使用环境以及对零件使用性能的要求，查询增强纤维材料库和树脂材料库，选择符合要求的增强纤维和树脂，并验证所选材料与零件结构形式是否匹配。设计过程中用到的材料主要来源于已经成文的复合材料选材手册和有经验的设计者的经验总结。举例说明材料方案知识库的输入变量和取值范围如表3所示。

根据上述变量的输入值，材料方案知识库将给出符合要求的纤维、树脂和固化剂种类供设计人员选用。

复合材料构件设计选材需考虑多个因素，并且除最高使用温度是严格的限制条件外，其他因素是设计人员根据民机或军机对重量、成本、性能等的不同要求，综合权衡、折衷、择优选用的。

## 设计知识库与CATIA的集成

### 1 知识库与CATIA的数据交互和调用

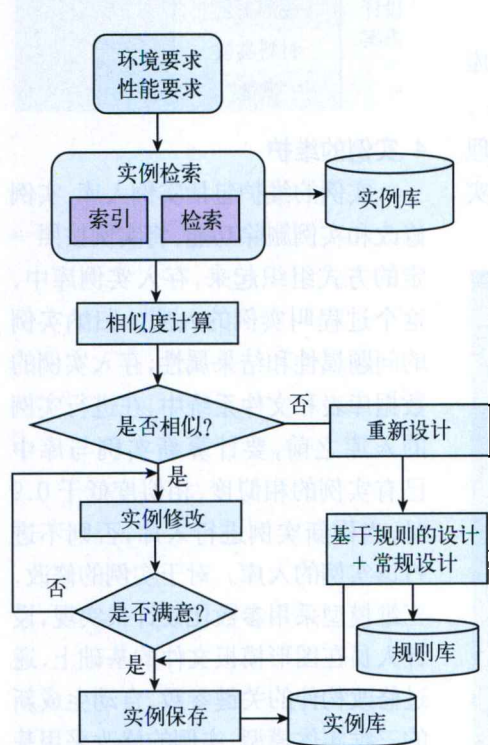
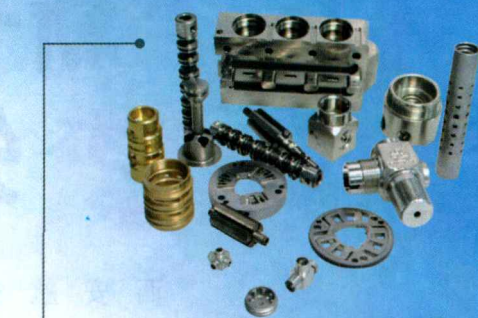


图3 基于实例推理的复合材料构件设计流程

# 磨粒流—— 数控去毛刺、抛光、表面处理系统

■ 汽车工业零部件



■ 刀具行业

■ 航空航天领域



中国区授权代理

Champion®  
精品机械有限公司

广告索引号 08-062

地址：北京海淀区知春路1号学院国际大厦1605A室(100083)  
电话：010-51660816 Fax：010-82337720  
http://www.champion.com.cn Email:chambj@champion.com.cn

表3 材料方案知识库的输入变量和取值范围

输入变量	取值范围
化学环境	无特殊说明、碳氢化合物、弱酸、强酸、弱碱、强碱、有机溶剂
材料阻燃要求	有、无
湿环境	是、否
使用温度 /℃	-40 ~ 300
应力状态	无、持续、周期、上升
所需弯曲模量 /GPa	0 ~ 420
所需拉伸强度 /MPa	0 ~ 2800

复合材料构件设计知识库软件采用 VB.NET 和 Oracle 进行开发,同时 VB.NET 又支持 CATIA 的二次开发,从而实现了设计知识库和 CATIA 软件的集成。可以使用 CATIA V5 的“宏”操作实现在 CATIA V5 环境中通过工具栏直接调用 VB 编译的可执行程序,利用“宏”在 CATIA V5 界面中添加指定的应用程序后,就如同 CATIA V5 调用了自身的功能一样,例如为工具栏添加宏命令,可选定一个图标拖到工具栏上,只要点击该图标即可成功启动复合材料设计知识库系统,并进入知识库主界面。

CATIA V5 开发功能是针对 VB 程序设计语言的,VB 通过 CATIA 提供的对象可以访问 CATIA V5 环境中所建实体的各种参数,包括各种尺寸、实体表面、实体边界、实体特征等,甚至可以创建、复制、修改实体特

征,在 CATIA 环境中能够执行的操作,都可通过 CATIA V5 提供的 API 中的功能来实现。知识库系统通过 COM 接口访问 CATIA 提供的自动化对象,编写 VB 程序调用其成员函数,实现参数驱动三维实体,另一方面通过 ADO

数据访问接口,存储和读取三维实体的关键参数。

## 2 基于 CATIA 的实体参数化

在知识库系统实例库中最重要的一个模块就是基于 CATIA 的实体参数化,首先建立标准件实体的母板,利用 CATIA 的 Formula 功能创建标准件的三维模型,它将作为标准件库中该系列零件的母版,同类的零件(指结构相同、参数不同)可以利用参数驱动模型的原理自动生成,该知识库系统所有能够进行实体参数化的标准件母板都放在文件服务器中。

在实现参数化驱动阶段之前必须确保零件族中所有相应变化的尺寸都已经在母板零件上标出。工字梁参数化界面如图 4 所示。

## 结束语

本文以选材和典型复合材料构件设计为入口,构建具有一定通用性的复合材料构件设计知识库系统,可通过扩充知识库的方式实现其他典型构件的设计。文章总结归纳了复合材料构件知识库系统的设计思想,希望对促进先进复合材料新技术的研发和相关知识库系统的设计和开发提供一定的参考。

(责编 金卯)

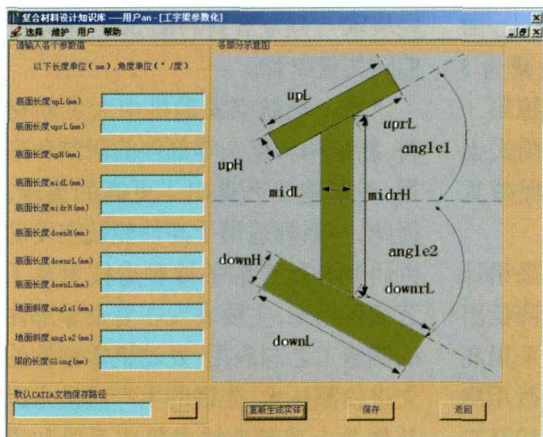


图4 工字梁参数化界面