



普通高等教育“十二五”卓越工程能力培养规划教材

机械产品数字化 设计技术

龚友平 主编



机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS

普通高等教育“十二五”卓越工程能力培养规划教材

机械产品数字化设计技术

主 编 龚友平
参 编 卞向娟 苏少辉 陈国金
主 审 金 涛



机械工业出版社

本书着重介绍数字功能样机在工业产品设计过程中的关键技术及应用实例。全书共分为4章,主要包括:机械产品数字化设计技术绪论;“数字功能样机”的建模设计基础,并给出实际应用实例,针对参数化设计,给出基于Pro/Toolkit离合器参数化建模和多功能装载机关键部件参数化建模;针对仿真模型,以MSC公司的ADAMS软件的应用和开发作为介绍对象,包括ADAMS/View基础,离合器起步仿真以及装载机工作过程仿真,并初步介绍ADAMS二次开发技术及在工业产品仿真中的应用,包括离合器虚拟仿真平台的开发及多功能装载机的虚拟仿真平台的开发过程;以ANSYS软件在工业产品中的设计应用为主线进行CAE技术的介绍,包括有限元技术的原理、基于ANSYS分析实训、离合器的关键零部件结构分析和模态分析、多功能装载机关键零部件的结构静力分析及模态分析等实例。

本书适合对Pro/ENGINEER、ADAMS、ANSYS软件有初步了解,要提高实际工程设计分析能力的读者阅读,可作为机械工程类本科生、研究生数字化设计课程的教材,也可作为专业技术人员和管理人员专业培训的参考书。

图书在版编目(CIP)数据

机械产品数字化设计技术/龚友平主编. —北京:机械工业出版社,2013.11
普通高等教育“十二五”卓越工程能力培养规划教材
ISBN 978-7-111-44308-7

I. ①机… II. ①龚… III. ①机械设计—数字化—高等学校—教材

IV. ①TH122

中国版本图书馆CIP数据核字(2013)第239032号

机械工业出版社(北京市百万庄大街22号 邮政编码100037)

策划编辑:蔡开颖 责任编辑:蔡开颖 李超 王小东

版式设计:霍永明 责任校对:刘岚

封面设计:张静 责任印制:李洋

北京瑞德印刷有限公司印刷(三河市胜利装订厂装订)

2014年1月第1版第1次印刷

184mm×260mm·16.5印张·404千字

标准书号:ISBN 978-7-111-44308-7

定价:33.00元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换

电话服务

网络服务

社服务中心:(010)88361066

教材网:<http://www.cmpedu.com>

销售一部:(010)68326294

机工官网:<http://www.cmpbook.com>

销售二部:(010)88379649

机工官博:<http://weibo.com/cmp1952>

读者购书热线:(010)88379203

封面无防伪标均为盗版

前 言

数字化时代,三维设计技术和制造方式已迅速全面地取代传统的二维设计和制造方式,成为产品设计和加工制造的核心。数字化设计是随着计算机技术在众多领域中的广泛应用而发展起来的新技术,是计算机科学技术应用的重要分支,并发展迅猛。中国已跻身于制造大国之列,但是离制造强国还有相当大的差距。在全球一体化格局和激烈的市场竞争环境下,我国制造企业迫切需要提升创新产品的开发能力、高质高效制造能力和快速响应市场能力,数字化设计及虚拟仿真技术为这些能力的提升提供了必不可少的支撑手段。目前,一些新的前沿热点正逐渐形成,如分布式协同设计与多学科设计优化、协同制造与智能制造、智能化管理与管理优化。在数字化设计方面,正在形成基于多领域知识、面向多学科协同优化的新一代数字化设计方法学与技术体系。面向多场、多领域和多学科的物理建模、设计、分析和优化,融合了多种设计方法与技术,知识可重用、可重构的产品综合设计平台技术是 21 世纪数字化设计发展的重要趋势与方向,是新一代数字化设计研究与应用的重要技术特征。

教育部“卓越工程师教育培养计划”(简称“卓越计划”),是贯彻落实《国家中长期教育改革和发展规划纲要(2010—2020 年)》和《国家中长期人才发展规划纲要(2010—2020 年)》的重大改革项目,也是促进我国由工程教育大国迈向工程教育强国的重大举措。该计划旨在培养造就一大批创新能力强、适应经济社会发展需要的高质量各类型工程技术人才、为国家走新型工业化发展道路、建设创新型国家和人才强国战略服务。本书根据卓越计划培养目标,以机械设计制造及自动化专业的本科生为主要对象,按照以知识点为主线、强调回归工程,整合课程体系,优化教学内容,加强实验实践教学环节,突出问题驱动、案例教学,理论与实践紧密结合的原则,主要探讨基于“数字功能样机”进行数字化设计的几个内容:

(1)“数字功能样机”建模基础模块 该模块作为数字化虚拟仿真设计及优化的基础,只有精确地建立了产品的三维模型,才有可能展开后续系列的设计和分析,以企业应用比较广泛的 CAD 软件 Pro/ENGINEER 的应用为介绍对象,包括 Pro/ENGINEER 草图建模基础、三维实体建模设计基础,并给出实际应用实例;结合项目实际应用,介绍 Pro/ENGINEER 参数化建模基础,包括离合器参数化建模、多功能装载机关键零部件参数化建模,可以实现零件的快速模型变更。

(2)“数字功能样机”虚拟样机模型建立模块 该模块充分利用三维零件

的实体模型和零件有限元模型的模态表示,在虚拟实验室或虚拟试验场的试验中精确地预测产品的操作性能,如运动/操纵性、振动/噪声、耐久性/疲劳、安全性/冲击、工效学/舒适性等。本书主要以 MSC 公司的 ADAMS 软件的应用和开发作为介绍对象,包括 ADAMS/View 基础、离合器起步仿真以及装载机工作过程仿真,并初步介绍 ADAMS 二次开发技术及在工业产品仿真中的应用,包括离合器虚拟仿真平台的开发及多功能装载机的虚拟仿真平台的开发过程。

(3) “数字功能样机”关键零部件分析模块 即计算机辅助工程 CAE (Computer Aided Engineering) 及应用模块,CAE 是近 20 年发展起来的一种新兴学科,是一个涉及面广,集计算力学、计算数学、工程科学、工程管理学和现代计算技术等多种学科与工程于一体的综合性、知识密集性的数值模拟分析技术,在现代工业技术改造与高新技术发展中具有重要的地位和作用。本书主要以 ANSYS 软件在工业产品中的设计应用为主线进行 CAE 技术讲解,包括离合器的关键部件结构、模态、多功能装载机关键部件的结构静力及模态等实例的分析。

本书结合“数字功能样机”在设计实施过程中常用软件及企业实际项目中的应用,使读者进一步透彻地理解“数字功能样机”设计知识点;通过多样化的应用实例开拓读者思路,培养读者对实际问题的分析和解决能力;通过上机操作实训培养读者熟练操控数字化设计软件能力,为从事计算机辅助机械设计和制造工作打下坚实的基础。

本书由陈国金编写第 1 章 1.1 节,卞向娟编写第 2 章,苏少辉编写第 1 章 1.2 节,龚友平编写第 1 章 1.3、1.4 节与第 3、4 章,全书由龚友平统稿。浙江大学金涛教授担任本书主审,金教授提出了很好的意见和建议,对提高本书质量帮助很大,对此我们深表感谢!由于作者水平的限制,书稿难免有疏漏或者不足之处,敬请读者批评指正。

感谢杭州电子科技大学机械工程学院机械设计与车辆工程研究所所有同仁对本书的大力支持。

编 者

目 录

前言

第 1 章 绪论 1

1.1 机械产品数字化设计概述 1

1.1.1 传统机械产品设计 1

1.1.2 基于虚拟样机的产品设计 3

1.1.3 基于虚拟样机的产品 设计关键技术 3

1.2 基于“数字功能样机”设计软件功 能使用特点 9

1.2.1 “数字功能样机”模型快速 成型软件——Pro/ENGINEER Wildfire 4.0 9

1.2.2 “数字功能样机”虚拟仿真模型 软件——MD ADAMS 11

1.2.3 “数字功能样机”关键零部件分析 软件——ANSYS 16

1.3 基于“数字功能样机”产品数字化解决 方案及实例 18

1.3.1 基于“数字功能样机”离合器虚拟 仿真平台设计 18

1.3.2 基于“数字功能样机”多功能物流 装备多领域仿真优化设计平台 20

1.4 总结 21

第 2 章 “数字功能样机”的 建模设计基础 22

2.1 Pro/ENGINEER 模型构建及实训 23

2.1.1 启动 Pro/ENGINEER Wildfire 4.0 的方法 23

2.1.2 Pro/ENGINEER Wildfire 4.0 工作界面介绍 23

2.1.3 文件操作 24

2.1.4 视图菜单操作 25

2.1.5 “窗口”下拉式菜单 基本操作 26

2.1.6 操作和系统设置 26

2.1.7 鼠标视图控制 28

2.1.8 参数化草图绘制 29

2.1.9 草图实训 34

2.1.10 参数化实体模型的绘制 39

2.1.11 三维实体建模实训 53

2.2 Pro/ENGINEER 二次开发及实例 75

2.2.1 Pro/Toolkit 开发环境配置 76

2.2.2 基于 Pro/Toolkit 开发中离合器参数 化设计中的应用实例 78

2.2.3 多功能装载机执行机构参 数化设计应用实例 98

2.3 总结 111

第 3 章 基于产品“数字功能 样机”仿真 112

3.1 基于 ADAMS 数字功能样机 操作基础及实例 113

3.1.1 ADAMS/View 操作基础 114

3.1.2 ADAMS/View 建模约束添加 及仿真例举 121

3.2 基于 ADAMS 二次开发 定制用户界面 130

3.2.1 定制菜单 131

3.2.2 定制对话框 134

3.2.3 约束和测量窗口的添加 138

3.3 离合器“数字功能样机”实例 140

3.3.1 离合器三维模型的构建 140

3.3.2 通过接口将几何模型 导入 ADAMS 144

3.3.3 汽车离合器工作过程 仿真分析 145

3.4 HT-25J 多功能装载机执行机构“数字功 能样机”建立及仿真分析 158

3.4.1 HT-25J 多功能装载机工作装置数 字样机的创建 158

3.4.2 装载机数字功能样机的载荷及仿

真初始条件	159	4.2.1 ANSYS 软件的主要特点	198
3.4.3 基于 ADAMS 装载机执行机构 的机液耦合仿真	166	4.2.2 ANSYS 软件的主要功能	198
3.4.4 基于 ADAMS 装载机执行机构的数 字样机二次开发	176	4.2.3 利用有限元软件 ANSYS 进行工程 分析的过程	199
3.5 总结	189	4.2.4 利用 ANSYS 有限元 分析实训	200
第 4 章 基于“数字功能样机”机械 产品有限元分析技术	190	4.3 有限元技术在机械产品中的应用	235
4.1 有限元分析的理论基础	192	4.3.1 有限元分析在离合器关键零部件 设计中的应用	235
4.1.1 连续介质的数学物理方程	192	4.3.2 有限元分析在多功能装载机关 键零部件设计中的应用	247
4.1.2 有限元数学基础——加权 余量法	192	4.4 总结	253
4.2 ANSYS 操作基础	197	参考文献	254

第 1 章 绪 论

产品设计的数字化是企业信息化的重要内容。近年来,随着产品复杂性的不断增长,以及企业间竞争的日趋激烈,传统的产品设计方法已经很难满足企业当前生存和发展的需要。为了能在竞争中处于有利位置,实现产品设计数字化势在必行。产品设计过程本质上是一个对信息进行采集、传递、加工处理的过程,其中包含了两种重要的活动:设计活动和仿真活动,因此产品设计也可以看作是一个设计活动和仿真活动彼此交织、相互作用的过程。设计活动推动信息流程向前演进,而仿真则是验证设计结果的重要手段。随着技术的发展,仿真的重要性正在不断加强。目前为止数字化设计技术的发展历程可以大体上划分为以下三个阶段。

(1) CAX 工具的广泛应用 自 20 世纪 50 年代开始,各种 CAD/CAM 工具开始出现并逐步应用到制造业中。这些工具的应用表明制造业已经开始将利用现代信息技术来改进传统的产品设计过程,标志着数字化设计的开始。

(2) 并行工程思想的提出与推行 20 世纪 80 年代后期提出的并行工程是一种新的指导产品开发的哲理,是在现代信息技术的支持下对传统的产品开发方式的一种根本性改进。PDM(产品数据管理)技术及 DFX(如 DFM、DFA 等)技术是并行工程思想在产品的设计阶段的具体体现。

(3) 虚拟样机技术 随着技术的不断进步,仿真在产品的设计过程中的应用变得越来越广泛而深刻,由原先的局部应用(单领域、单点)逐步扩展到系统应用(多领域、全生命周期)。虚拟样机技术正是这一发展趋势的典型代表。

1.1 机械产品数字化设计概述

1.1.1 传统机械产品设计

面对目前日益激烈的市场竞争环境,企业要想通过采用产品快速设计技术来增强产品创新能力、缩短设计周期、提高产品开发效率、赢得更大的市场份额,就必须仔细分析企业的产品设计流程,在产品设计的不同阶段采用不同的产品快速设计技术,从而来改造传统的产品开发模式。企业产品生产的来源有三种:全新产品开发、已有产品改型设计、原有产品的重复投产。而在实际的产品开发设计过程中,全新产品开发在日常设计工作中所占比例较小;主要参考归档设计或在已有成形产品的基础上改型设计往往比较多;在产品定型之后,原有产品的重复投产基本不涉及产品设计过程了,多数情况下就是解决加工过程中出现的一些意外情况。由此可以看出,已有产品改型设计就成为产品开发设计过程中的主要的产品开发设计形式,它可以占到整个产品来源的 80% 以上,甚至更多。一般来说,厂家的产品开发(图 1-1)分为以下四个阶段:

(1) 产品规划阶段 进行产品的需求分析、市场预测、可行性分析,确定设计参数及

制约条件,最后提出详细的设计任务书。

(2) 方案设计阶段 在功能分析的基础上通过创新构思,优化筛选,求取较为理想的原理方案,列表给出原理参数,并做出新产品的功能原理方案。

(3) 技术设计阶段 将已经确定的产品的功能原理方案具体化为装置及零部件的合理结构。应提供新产品的总装图、结构装配图和造型图。

(4) 施工设计阶段 把技术设计的结果变成施工的技术文件,其任务就是完成零件工作图、部件装配图、设计说明书、工艺文件、使用说明等有关技术文件。

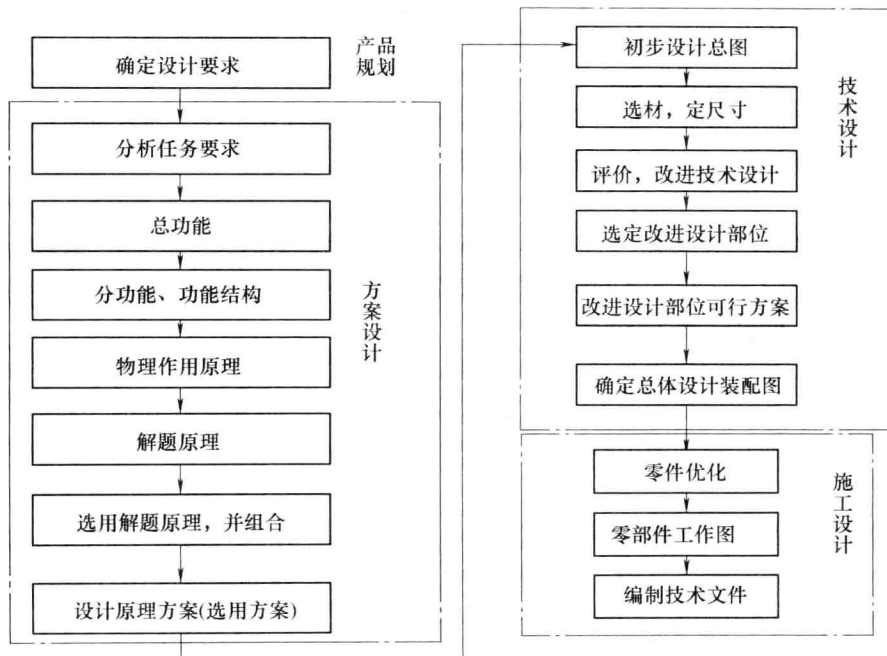


图 1-1 产品设计开发流程

对于改型产品的设计来说,一般情况下对产品的整体结构的改动不是很大,多数情况下是先根据用户的需求来提出多套的产品初步设计方案,然后对各个方案进行评审,确定最优的方案作为产品的设计方案。方案设计阶段,对最终的设计方案进行分析,确定此方案是否有相似的产品,没有则按全新产品的开发流程;若有相似的产品,则找出此产品的设计案例进行分析,根据新产品的设计方案和案例分析,确定对产品的配置方案。

技术配置流程大致为:合同或订单→产品主要性能要求→计算→方案调整→参照产品类型确定型号→下发指令单进行配置。而在产品配置的过程中,根据配置指令单提出的相关技术参数,一般情况下会有大量的零部件满足配置的要求,但是也有一部分零件不满足产品配置的要求,要对这些零件重新进行设计,这就是零部件的改形设计。

在零件的改形设计过程中,根据设计的要求,设计人员只需要改动模板零件(原来零件)中的一些参数,就可以生成新的满足要求的新零件,同时再根据产品装配设计的要求,生成产品的总装图,设计完成之后出装配工程图和零部件工程图。

图样发放流程大致为:产品 BOM 形成、零部件设计出图→审查、意见反馈(打回修

改)→区分零件类别(自制件、标准件、外购件等)→制订工艺→提交档案室→分出图样并下放涉及处理或加工部门。过程中,采用电子和纸质文档同时并行传递、管理。

通过对机械产品设计流程的分析,我们可以熟悉产品设计流程,主要包括产品需求定义、方案设计、详细设计、工艺工装设计、新产品试验试制、产品定型、产品批量生产等阶段。在此设计过程中,各个制造企业纷纷将各种先进的产品快速设计技术引入到企业产品设计的各个阶段中,来缩短产品的开发周期,提高产品设计的质量,以及提高企业对市场的快速响应能力。每个产品在概念设计(产品规划)之后,是一个“产品设计—样机建造—测试评估—反馈设计”的循环反复过程,这其中的每一次循环,都伴随有物理样机的建造或修改,以及随之而来的产品开发周期的延长和开发成本的增长。

1.1.2 基于虚拟样机的产品设计

虚拟产品开发,将传统的“产品设计—样机建造—测试评估—反馈设计”的循环过程采用虚拟样机技术,以数字化方式进行,避免了物理样机的建造,不仅利于缩短产品开发周期和降低产品开发成本,而且数字化方式采用利于协同工作的进行,数字化模型的应用使得产品全生命周期的统一成为可能。图1-2所示为离合器产品数字化设计基本过程,其中涉及产品参数化建模、结构静力分析、工作过程动力学仿真分析。利用虚拟样机分析技术建立汽车离合器动力学分析及试验平台,能够比较真实地模拟离合器的工作状况,并按照行业标准完成综合性能模拟测试,复现现有离合器在使用过程中出现的问题,进行优化,提出解决方案。图1-3所示为基于数字样机为核心的多功能装载机系统开发方案。

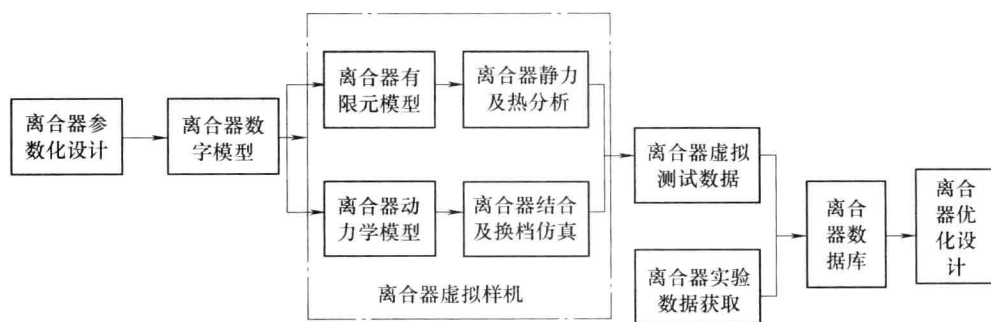


图 1-2 离合器产品数字化设计基本过程

1.1.3 基于虚拟样机的产品设计关键技术

由如图1-2和图1-3所示的产品数字化开发流程可以看到,在产品数字化设计过程中,起到核心作用的是产品“数字化功能样机”,它统一了产品开发过程中的“产品设计—样机建造—测试评估”过程,对一个与物理样机具有功能相似性的系统或者子系统模型进行的基于计算机的仿真。基于虚拟样机为核心的机械产品数字化设计流程,涉及以下关键技术:

1. 产品的数字化模型的建立

如图1-4所示,首先根据零件的二维图形在三维CAD系统中创建一个初步的三维模型;其次对模型参数的名称进行规范化,并分析参数之间的约束关系;然后通过相应参数的修改来验证三维模型是否能重新生成,若能重新生成,则模型正确,若不能重新生成,则需要对

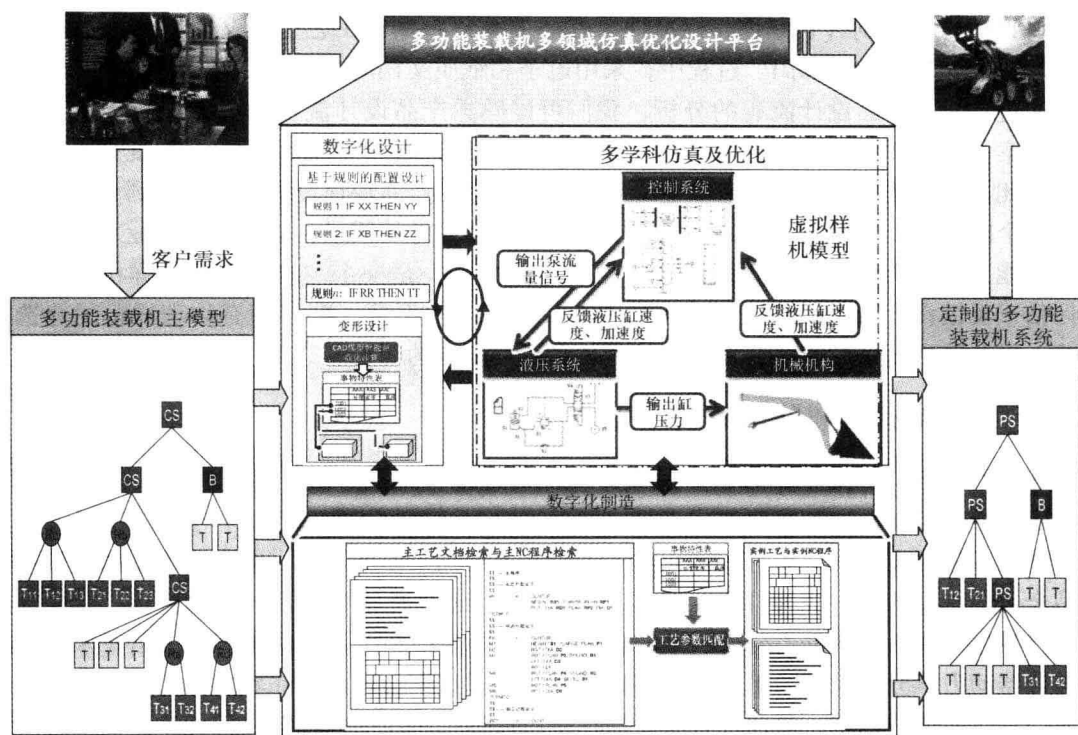


图 1-3 基于数字样机为核心的多功能装载机系统开发方案

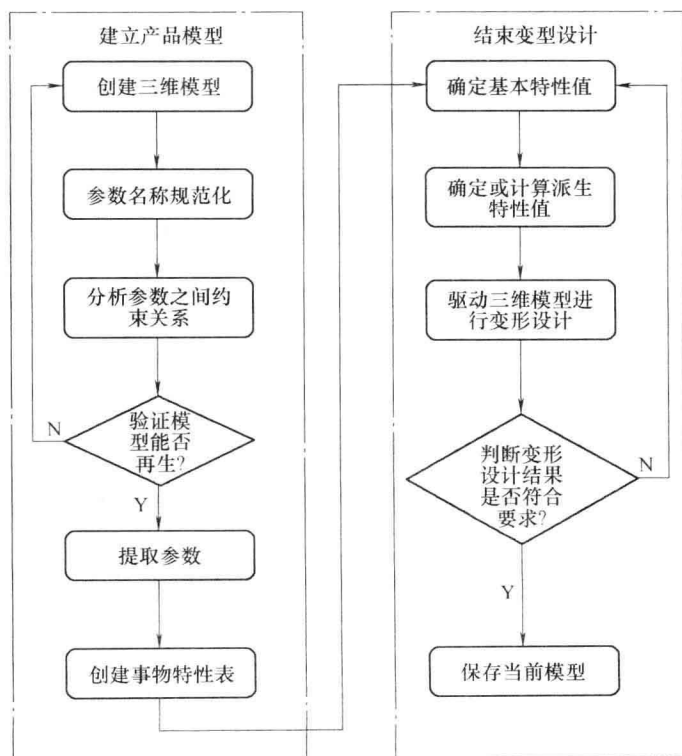


图 1-4 基于变型设计方法的机械产品数字化模型建立流程

模型进行修改,直到模型能合理再生为止。当今设计领域,绘图软件的发展趋势是三维CAD绘图软件将逐渐取代二维绘图软件。在众多的三维绘图软件中,Pro/ENGINEER已经成为三维建模软件中的佼佼者。PTC的系列软件中包括了在工业设计和机械设计方面的多项功能,如:大型装配体的管理、功能仿真、制造、产品数据库管理。Pro/ENGINEER软件在提供强大的设计、分析、制造功能的同时,也为用户提供了多种二次开发工具,常用的有:族表(family table)、用户自定义特征(udf)、Pro/Program、J-link、Pro/toolkit等,因此可以便捷实现基于变型设计方法的机械产品数字化模型方法,实现机械产品的快速变型设计。

2. 机械产品“数字化功能样机”的建立

数字化功能样机技术(Functional Digital Prototyping, FDP)是在CAD/CAM/CAE技术和一般虚拟样机技术(Virtual Prototyping, VP)基础上发展起来的,其理论基础为计算多体系统动力学、结构有限元理论、其他领域物理系统建模与仿真实论,以及多领域物理系统混合建模与仿真实论。该技术侧重于系统层次的性能分析与优化设计,通过虚拟试验精确、快捷地预测产品系统性能。基于多体系统和有限元理论,解决产品的运动学、动力学、变形、结构、强度、寿命等问题;基于多领域物理系统理论,解决复杂产品机、电、液、控等多领域能量流和信号流的传递与控制问题。

机械产品“数字化功能样机”特性分析的诸多软件系统,在这里我们简要介绍一下其中几个应用广泛、影响深远、深具代表性的软件系统,主要是实现功能虚拟样机的美国MSC公司的ADAMS和实行有限元集成分析的美国MSC公司的NASTRAN和ANSYS。

MSC ADAMS软件由于其领先的“功能化数字样机”技术,迅速发展成为CAE领域中使用范围最广、应用行业最多的机械系统动力学仿真工具,占据了全球该分析领域绝大部分的市场份额,被广泛应用于航天、航空、汽车、铁道、兵器、船舶、工程设备及重型机械等行业,众多国际化大型公司、企业均采用MSC ADAMS软件作为其产品研发、设计过程中机械系统动力学仿真的平台。借助MSC ADAMS所提供的强大的建模功能、卓越的分析能力以及灵活的后处理手段,可以建立复杂机械系统的“功能化数字样机”,在模拟现实工作条件的虚拟环境下逼真地模拟其所有运动情况,帮助用户对系统的各种动力学性能进行有效的评估,并且可以快速分析比较多种设计思想,直至获得最优设计方案,提高产品性能,从而减少昂贵、耗时的物理样机试验,提高产品设计水平,缩短产品开发周期和产品开发成本。图1-5所示为在ADAMS/View基础上搭建的离合器动力学仿真模型,图1-6所示为小型多功能装载机-液耦合仿真模型。

美国ANSYS公司集成有限元分析软件系统包括三个方面内容:CAE通用分析工具、CAE客户化应用及协同仿真环境开发平台和垂直应用及行业仿真工具。CAE通用分析工具主要用于虚拟样机仿真,在产品设计过程中通过仿真得到其工作性能及各种指标,相应产品包括多物理场仿真分析工具ANSYS Multiphysics、显式瞬态动力分析工具LS-DYNA、前期设计校验工具Designspace、前后处理工具ANSYS ICEM CFD、设计优化工具Design Explorer及新一代前后处理环境ANSYS Workbench Environment。CAE客户化应用及协同仿真环境开发平台以优化设计流程为目标,以强大的分析功能和客户化应用为手段,通过捕捉专家经验、规范设计流程、高可靠性的CAD/CAE互操作技术、高效率的优化技术等大幅度缩短研发过程,相应产品为CAE开发平台ANSYS Workbench。ANSYS垂直应用及行业解决方案是在通用CAE工具的基础上,经过客户化定制,与行业经验、行业规范、行业最佳实践等相结合,

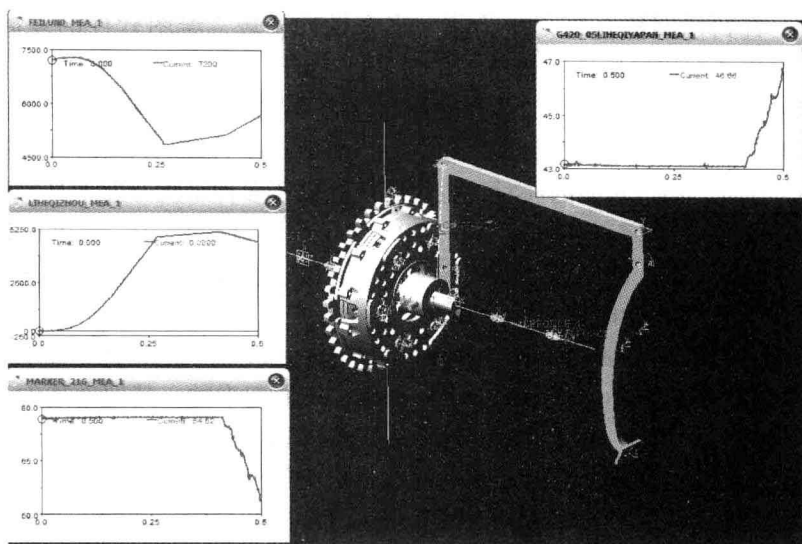


图 1-5 在 ADAMS/View 基础上搭建的离合器动力学仿真模型

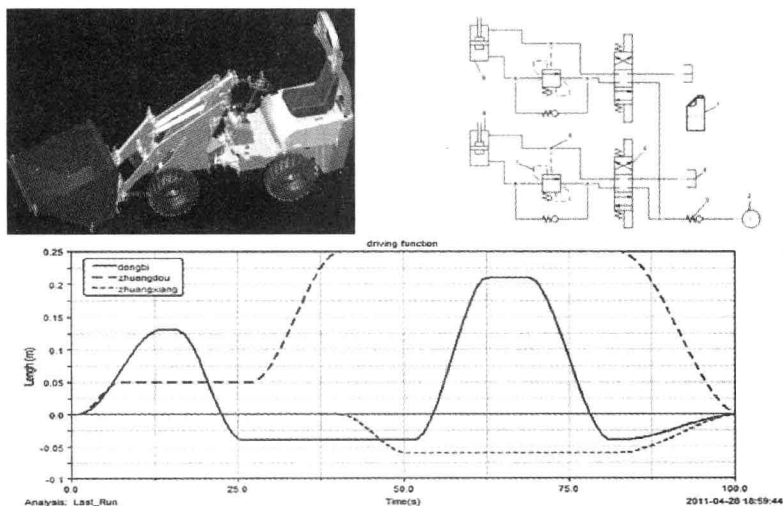


图 1-6 小型多功能装载机-液耦合仿真模型

该类工具采用专业化、行业化的用户界面，配以行业数据库，将专家经验和行业规范固化于软件之中，相应产品包括疲劳分析专用软件 FE-SAFE、汽车虚拟实验场专用软件 VPG、板成形仿真专用软件 DYNAFORM、土木工程专用软件 CIVILFEM、跌落仿真专用软件 DROP-TEST、高频电磁 FEM 法专用软件 ANSYS EMAX、高频电磁 MOM/PO/UTD 混合法专用软件 FEKO、MEMS 设计工具 MEMSPRO。图 1-7 所示为在 ANSYS 平台上完成的离合器关键部件有限元分析。

3. 基于知识的“数字功能样机”设计过程集成管理

机械产品特别是复杂机械系统产品的设计仿真往往涉及机、电、液、控等多学科领域知识的综合集成应用，工程技术人员必须花费大量精力学习和运用各种知识，解决分析仿真中

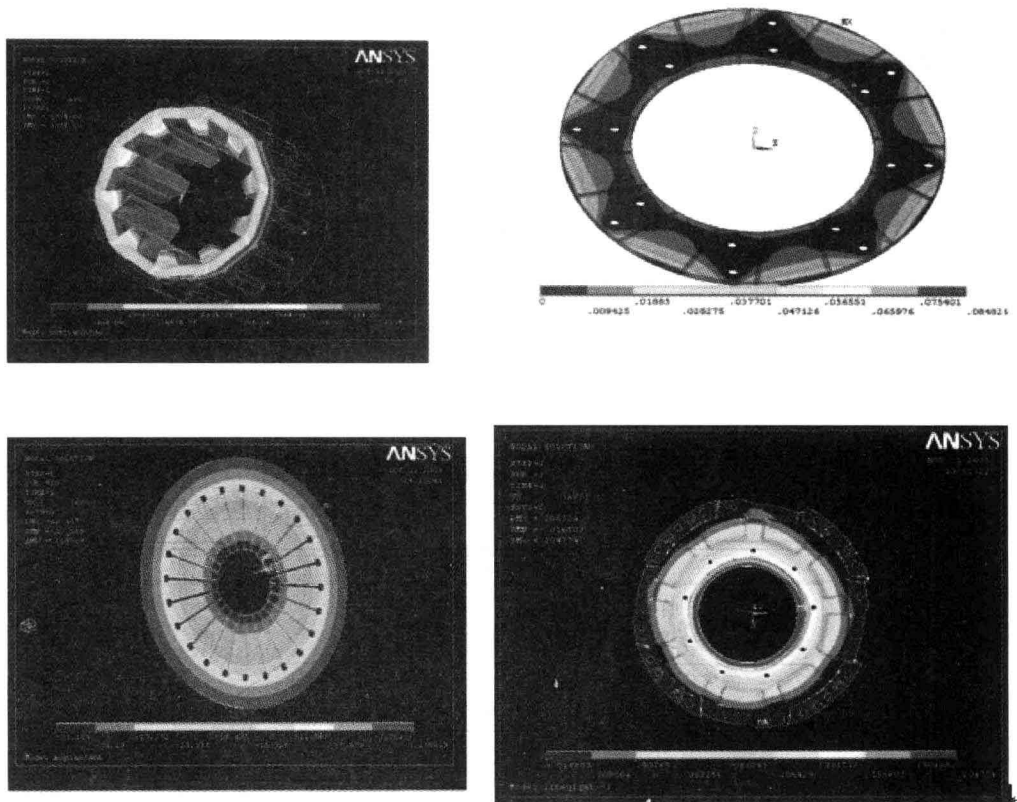


图 1-7 在 ANSYS 平台上完成的离合器关键部件有限元分析

的问题，不仅效率低，而且可靠性差。因此有必要对仿真中的各种分析方案、重要性能参数、模型及方法、经验及规则、规范及标准、仿真实例及模板等方面的知识进行管理并得到有效重用。仿真数据管理是协同仿真环境的关键之一。仿真数据与 CAD 模型数据的特点具有较大差异，CAD 模型数据的版本具有相对稳定性，而分析仿真模型及数据的更改状态具有动态性，通常对于不同的分析仿真类型，同一个零部件从不同角度的分析仿真模型也是截然不同的；对于同一个问题，不同的工程师（即使在同一个团队）的计算结果有时甚至也不具可比性。因此有效的仿真数据管理是实现可重用和提高设计仿真效率的重要支撑。

如何为企业提供一种知识架构让工程技术人员把设计仿真知识作用于产品设计仿真过程，创建设计准则、技术规范等知识的能力，并对知识进行有效管理，提供方便的知识重用工具，称为基于知识的机械产品设计过程集成管理研究的主要内容。将知识表达、知识工具以及知识库推理机封装为知识管理组件，供外部产品设计仿真工具系统调用，以知识管理为中心，最终形成嵌入到数字功能样机仿真模型中的知识管理引擎。为此，本书将知识管理组件分为知识建模、知识表达、知识推理、知识管理等方面内容，其中知识表达细分为应用层、逻辑层和物理层。图 1-8 所示为多功能装载机基于知识的“数字功能样机”过程管理系统集成框架。

组件顶层是用户使用设计仿真工具层，工程技术人员通过各种专业的设计仿真工具调用知识管理工具应用接口与知识建模及推理引擎相连。专业知识建模提供专业应用工具与内部

知识表达的通道,从而使知识得到有效管理,内部知识通过知识推理引擎被专业应用工具重用。知识管理模块提供内部知识的维护管理,如增加、修改、删除、检索等。

为了便于知识的有效维护,内部知识表达将分为三个层次:应用表达层直接按企业产品设计仿真方面的知识进行组织,增强易用性;逻辑表达层则按通用领域进行组织,具有更好的通用性和可拓展性,产品设计仿真专业知识则是对各种领域知识封装组合的结果;底层为物理存储,则利用通用数据库管理系统,以便获得更高的效率和知识管理工具维护的稳定性。

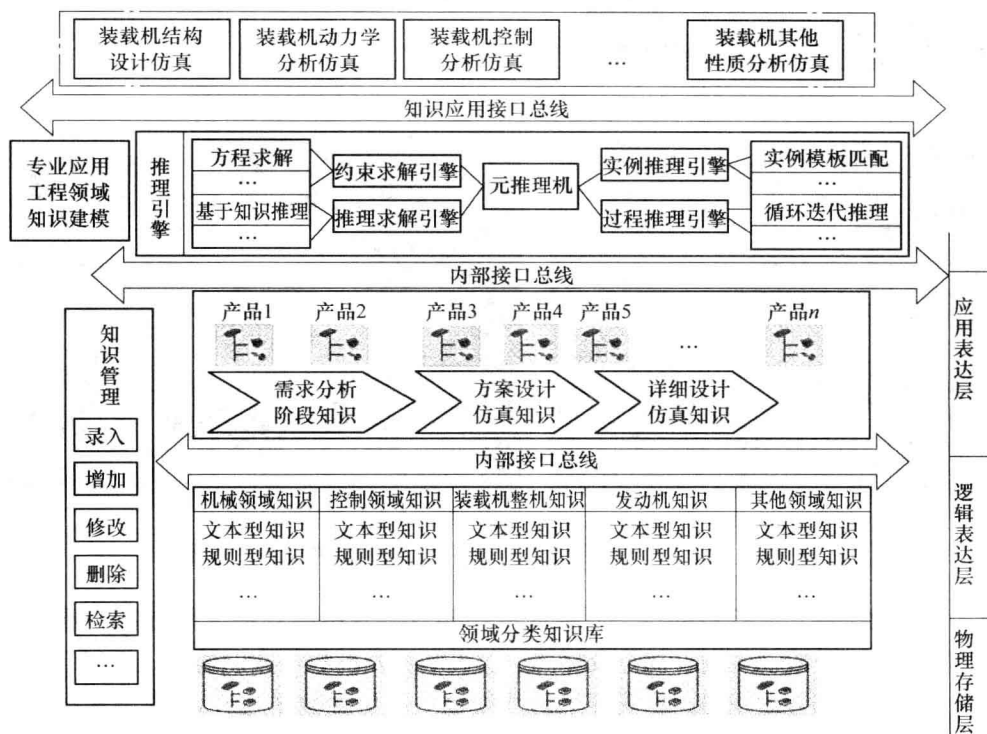


图 1-8 多功能装载机基于知识的“数字功能样机”过程管理系统集成框架

4. 基于元模型的“数字功能样机”产品数据集成技术

设计与制造数据模型应能覆盖产品的开发、设计、制造等整个过程。这就要求设计与制造数据模型必须能够完整地提供设计制造各应用领域所需的各种几何信息和非几何信息。一般来讲,在实际应用过程中这些数据都是由不同的计算机应用系统或人工产生,存放在不同的介质(如电子文档、纸介质、物理模型等)和不同的地点中,并且具有不同的格式(如 TIFF、IGES、DXF、STEP 等)。因而,设计与制造的各个部门应对其所产生的数据进行一致性描述,以便于其他部门对这些数据进行共享和互操作。

基于设计与制造数据模型的以上特点,采用基于元模型的产品建模方法,可以将这些不同介质、不同格式、不同地点的描述全生命周期的产品数据模型在逻辑上集成为一个整体,形成一个完整的产品数据模型——集成化产品数据模型,为产品全生命周期提供服务。图 1-9 所示为基于元模型的数据模型集成方式。

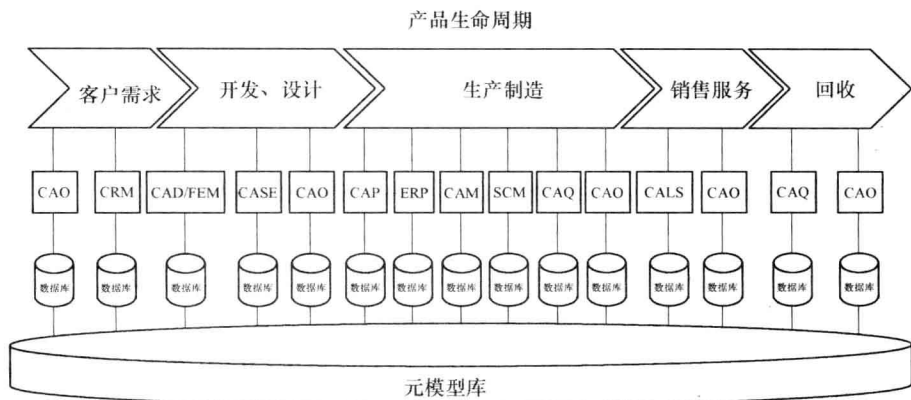


图 1-9 基于元模型的数据模型集成方式

元模型（Meta-Model）是描述数据模型的模型，它是关于数据模型的基本概念、基本关系、基本约束的语义。此外，它还包含有建立数据模型的建模步骤、建模时应该遵循的原则，从而使数据模型的建立和使用有理可依。其内容包括：数据模型的描述、数据模型的来源、数据模型的所有者、数据模型产生历史说明、数据模型质量描述、数据模型处理信息说明以及数据模型转换方法描述等。它已经在信息处理、程序语言以及对象建模等领域得到了广泛的应用。在介绍如何基于元模型技术建立面向产品全生命周期数据模型前，下面主要阐述一下元模型建模的建模流程。

如图 1-10 所示，采用元模型技术建立数据模型通常包括以下四个阶段：数据模型分析阶段、元模型建模规则建立阶段、数据模型元模型属性创建阶段和数据模型元模型建模完成阶段。

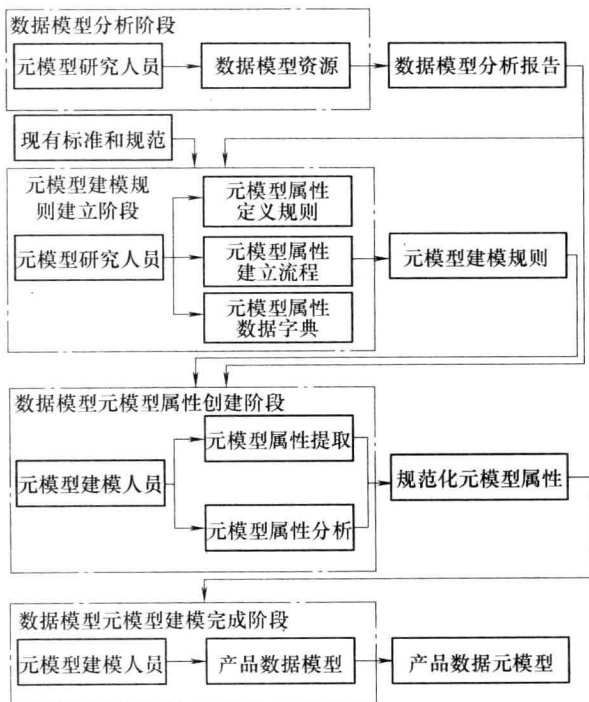


图 1-10 元模型建模流程

1.2 基于“数字功能样机”设计软件功能使用特点

1.2.1 “数字功能样机”模型快速成型软件——Pro/ENGINEER Wildfire 4.0

1. Pro/ENGINEER Wildfire 4.0 功能特点

当今设计领域，绘图软件的发展趋势是三维 CAD 绘图软件将逐渐取代二维绘图软件。在众多的三维绘图软件中，Pro/ENGINEER 已经成为三维建模软件中的佼佼者。PTC 的系列

软件中包括了在工业设计和机械设计方面的多项功能，如：大型装配体的管理、功能仿真、制造、产品数据库管理。下面介绍一下 Pro/ENGINEER 的主要特点：

(1) 全相关性 Pro/ENGINEER 所有模块的信息都是全相关的，由于它采用的是单一模型数据库，即所有的工程文档都是采用同一模型的数据库。这就意味着可以在产品的开发过程中对任意一处进行修改，避免了由于数据的不统一而造成的各种错误。

(2) 基于特征建模 将 Pro/ENGINEER 的使用人员所熟悉的特征作为几何模型的构造因素。这些特征是一些普通的机械特征，如：弧、圆角、倒角、孔、加强筋等，Pro/ENGINEER 把这些简单的特征进行累加从而形成了各种复杂的结构。

(3) 参数化 参数化是 PTC 公司首先提出并在 Pro/ENGINEER 中首先采用的，目前已经成为大多三维设计软件的基本特征。由于采用了参数化，实体造型速度加快，造型功能增强了。参数化的另一个特点是当某一个特征进行修改时，会使相关联的其他特征也自动更改，并可以加入关系式来驱动模型。

(4) 模块化 和一般的软件不同，Pro/ENGINEER 实际上是一个大的软件包，它包含了众多的模块。这些模块可以分为两类：一类是基本模块，如 part（零件）、sketch（草图）、assembly（装配体）、drawing（工程图）；另一类是扩展模块，如电缆布线功能模块 Pro/cabling、钣金造型模块 Pro/sheetmetal 等。

2. Pro/ENGINEER Wildfire 4.0 使用特点

(1) 独特的窗口界面 Pro/ENGINEER Wildfire 4.0 工作界面主要由标题栏、菜单栏、导航栏、工具栏、绘图区、信息栏和过滤器等组成。零件模块的工作界面，窗口上方为主菜单和常用工具栏，窗口左侧为隐藏/显示切换的导航栏。单击导航栏右侧边缘的“>”符号，将显示“模型树”、“层树”、“资源管理目录”、“网络资源”等面板。窗口右侧为常用特征命令的快捷工具栏。窗口底部是信息、状态显示区和特征选择过滤栏，如图 1-11 所示。

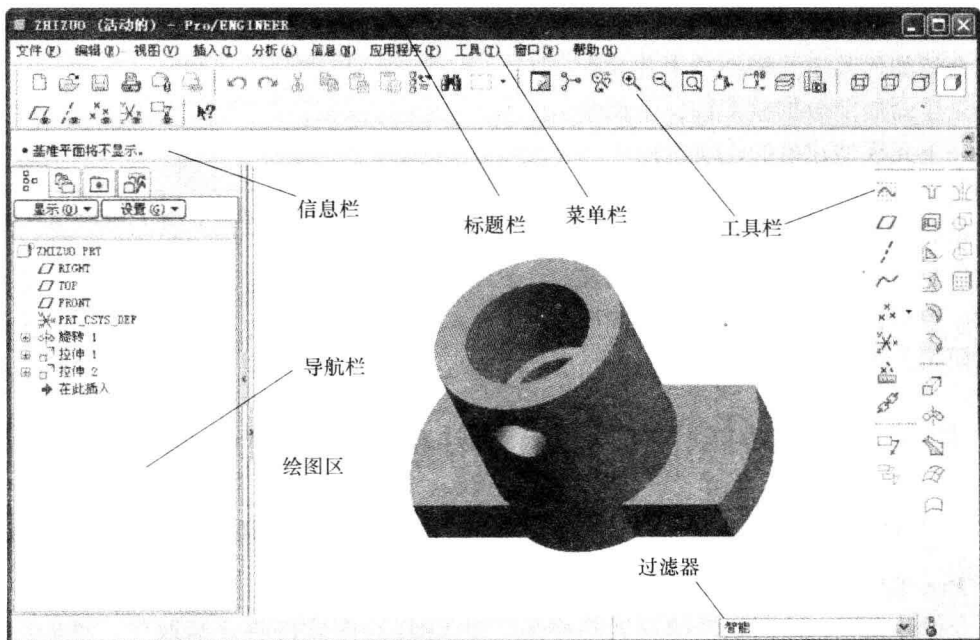


图 1-11 Pro/ENGINEER Wildfire 4.0 工作界面