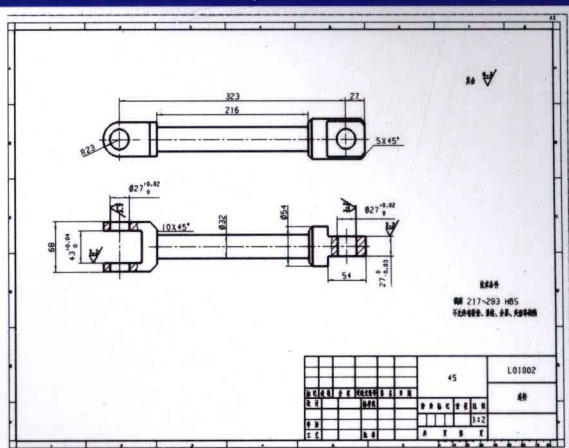


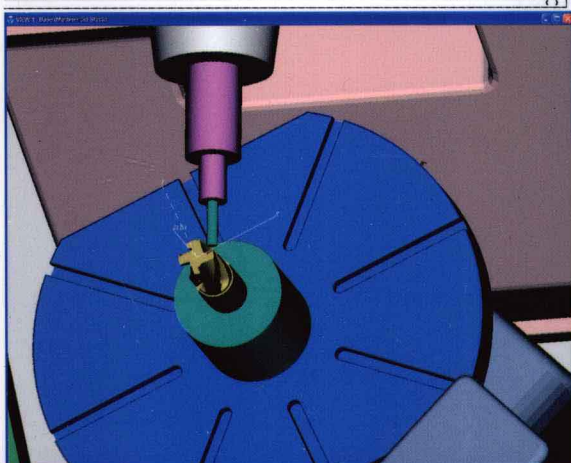
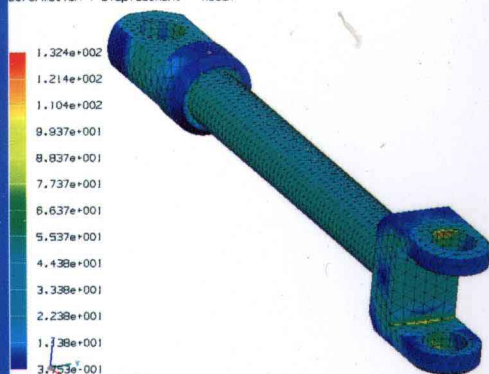
普通高等教育“十一五”规划教材

数字化设计制造 应用技术基础

刘溪涓 刘镒时 编著



Link2.sml : Solution 1 Result
Load Case 1, Static Step 1
Stress - Element-Nodal, Unaveraged, Von-Mises
Min : 3.753e+001, Max : 1.324e+002, N/mm2(MPa)
Deformation : Displacement - Nodal



普通高等教育“十一五”规划教材

数字化设计制造应用技术基础

刘溪涓 刘镒时 编著

于忠海 主审



机械工业出版社

本书系统介绍了数字化产品开发全过程,并对其中核心活动和相关技术进行重点介绍及应用举例。

全书共7章。第1~6章介绍了产品数字化设计制造的相关常用技术,包括数字化产品开发中基于知识的变型设计、设计意图表达与参数化建模、运动学分析与结构优化、数控加工等基础技术,每一章都配有应用实例;第7章,给出了一个“滚丝机”中凸轮连杆机构设计、优化、加工过程的综合实例,对前6章的内容进行了具体应用,该实例简单有趣、方便易行,有具体的参数和详细的步骤,可供读者进行计算机模拟练习和上机加工实践之参考。本书重点突出,实例丰富,主线明确。

本书可作为技术应用型高等工科院校的机械设计、机械制造、工业工程、模具设计加工、计算机辅助设计等相关专业的本科教材,亦可供相关制造企业中工程技术人员的学习参考。

图书在版编目(CIP)数据

数字化设计制造应用技术基础/刘溪涓,刘镭时编著. —北京:机械工业出版社,2009.7

普通高等教育“十一五”规划教材

ISBN 978-7-111-27205-2

I. 数… II. ①刘…②刘… III. ①数字技术-应用-机械设计-高等学校-教材②数字技术-应用-机械制造工艺-高等学校-教材 IV. TH122 TH16

中国版本图书馆CIP数据核字(2009)第080772号

机械工业出版社(北京市百万庄大街22号 邮政编码100037)

责任编辑:贡克勤 版式设计:霍永明 责任校对:刘志文

封面设计:姚毅 责任印制:洪汉军

三河市国英印务有限公司印刷

2009年7月第1版第1次印刷

184mm×260mm·11.5印张·263千字

标准书号:ISBN 978-7-111-27205-2

定价:24.00元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换

销售服务热线电话:(010) 68326294

购书热线电话:(010) 88379639 88379641 88379643

编辑热线电话:(010) 88379225

封面无防伪标均为盗版

前 言

21 世纪,随着中国经济的高速增长,中国制造的产品已渗透到世界各个角落。中国已成为制造业大国,在世界经济中的地位日趋重要。但与美国、日本等制造业强国相比,还存在着较大的差距,还有许多问题急需解决,我国的制造业还处在国际分工体系中的末端地位,要摆脱目前这种状况,中国制造业必须走创新设计之路,通过信息化技术提升制造业层次。数字化设计制造是当今世界制造业发展的大趋势,是中国制造业实现跨越发展的重要机遇。为了使读者能够在较短的时间内了解产品数字化开发过程全貌,掌握数字化设计与制造的核心技术和基础知识,理解各个知识模块间的技术依赖和前后次序,特编写了这本教材。

在作者近年来从事机械数字化设计制造专业方向的教学,苦于难找到一本面向技术应用型人才培养的比较合适的教材,主要问题有两点:一是在理论基础和实践技术两方面内容的比例分配欠妥;二是教学案例的缺乏。努力解决上述两个问题是编写本教材的初衷。

从技术应用型人才培养的定位出发,在理论基础和实践技术的内容篇幅比例方面,本书进行了精心取舍。本书从应用角度,撷取了数字化产品开发过程中相关理论的部分内容,并综合考虑了理论知识的前后连续性。包括:概念设计中的基于知识的设计理论、详细设计中的建模理论和设计意图的表达、有限元基础理论、数控加工的基本原理、产品生命周期管理理念。在实践技术方面,本书选取了符合本科层次的面向技术应用的有关内容,并在行文中重视可操作性。本书中从第 2 章到第 7 章都包含实例讲解,第 7 章以一个“滚丝机”中的部分结构的功能分解、概念设计、详细设计、结构优化、运动仿真、数控加工将前 6 章的内容“串”起来,对前 6 章的内容进行了具体应用,该实例简单有趣、方便易行,有具体的参数和详细的步骤,方便读者作为计算机模拟练习和上机加工练习的实例。

本书中教学实例丰富、新颖,绝大多数实例均来自作者经验:教学实践、曾完成的科研项目或专利。本书重点突出,实例丰富,主线明确,帮助读者在学习各个相对独立技术的同时,理解其间的技术依赖和先后次序,进而激发读者兴趣,在掌握部分已知模块的前提下,去探索和学习其他本书未涵盖到的相关技术领域。

前 4 章由刘溪涓副教授编写,后 3 章由刘镛时高工编写,于忠海教授主审。本书的编写过程中,得到了上海电机学院的宋又廉、高鸿庭教授的帮助,感谢他们与作者的多次探讨使得本书内容得到丰富。本书从构思到出版得到了王侃夫、于忠海教授、机械工业出版社的贡克勤老师的大力支持和关心,在此谨向他们表示诚挚地感谢。在本书编写过程中,编者参阅了大量文献,未能一一列出,在此向有关作者深表感谢。由于水平和时间所限,书中难免仍有疏漏和不足,恳请读者批评指正,不吝赐教。

作 者

目 录

前言

第1章 数字化技术与产品开发 1

1.1 计算机在制造业中的作用 2

1.2 数字化技术的内涵 3

1.3 产品开发活动的流程 5

1.4 数字化改变了产品开发的方式 5

1.4.1 产品开发过程的要素 5

1.4.2 产品开发过程的发展 6

1.4.3 数字化改变了设计师的工作方式 7

1.4.4 数字化提高了产品信息交换水平 7

1.4.5 数字化使得产品创新更容易 8

1.5 传统产品开发周期和数字化产品开发
周期的比较 8

1.6 小结 9

习题 10

第2章 产品数字化概念设计技术 11

2.1 设计的重要性 11

2.2 产品设计的概念、分类和发展 12

2.2.1 设计的概念 12

2.2.2 产品设计的分类 12

2.2.3 产品设计过程历史 14

2.2.4 产品设计过程的发展趋势 16

2.3 概念设计与数字化 17

2.3.1 概念设计的定义 17

2.3.2 概念设计的重要性 17

2.3.3 计算机辅助概念设计 18

2.4 基于知识的概念设计系统 19

2.4.1 知识工程 19

2.4.2 基于知识的概念设计 19

2.5 计算机支持的变型设计 21

2.5.1 模块化变型设计 22

2.5.2 基于 CSP 的参数化变型设计 23

2.5.3 基于实例推理技术的变型设计 24

2.6 概念设计过程模型简介 24

2.7 含有概念设计数字化模块的商业
软件 25

2.8 应用实例 27

2.8.1 基于知识的变型设计举例——

凸轮连杆机构变型设计 27

2.8.2 配置设计举例——滑板车的配置
设计 29

习题 31

第3章 数字化几何建模技术 32

3.1 数字化几何建模及其发展历程 32

3.2 设计意图与几何模型 33

3.2.1 设计意图的概念 33

3.2.2 设计意图的表达 34

3.2.3 设计意图和几何模型的作用 34

3.3 几何模型分类 36

3.4 基于特征的造型技术 39

3.5 基于约束的造型技术 43

3.6 产品的数字化装配技术 45

3.7 造型实例 49

3.7.1 连杆造型 49

3.7.2 凸轮造型 60

3.8 装配实例 66

3.8.1 凸轮连杆机构的装配 66

3.8.2 可折叠自行车的装配 73

3.9 产品数据与产品数据交换标准 75

习题 77

第4章 产品开发中的数字化分析 78

4.1 有限元分析技术 78

4.1.1 工程问题的解析解与数值解 78

4.1.2 有限元方法概述 79

4.1.3 弹性力学有限元法 80

4.1.4 应用实例 83

4.2 机械产品设计中的运动分析 90

4.2.1 运动分析概述 90

4.2.2 机构运动分析 90

4.2.3 应用实例 91

习题 98

第5章 数字化制造技术 99

5.1 数字化制造技术概述 99

5.1.1 数字化制造的背景 99

5.1.2 数字化制造的特点 102

5.1.3 常用数字化制造的设备 104

5.2 数控机床	108	6.2 产品生命周期管理	143
5.2.1 数控机床的产生及发展历史	108	6.2.1 产品生命周期管理概念	143
5.2.2 数控机床的组成及工作原理	110	6.2.2 PLM 系统的主要功能	145
5.2.3 数控机床的分类	113	6.2.3 PLM 的发展历史	146
5.2.4 数控机床的特点及应用	117	6.3 系统实例	147
5.2.5 数控机床的发展趋势	119	6.3.1 TeamCenter 系统	147
5.3 数控机床编程基础	121	6.3.2 TeamCenter 的主要功能	149
5.3.1 数控机床的坐标系	121	习题	156
5.3.2 程序编制的基础	122	第7章 数字化设计制造实例	157
5.4 计算机辅助制造	125	7.1 设计需求分析	157
5.4.1 计算机辅助编程	126	7.2 设计任务定义	157
5.4.2 数控加工过程检验与仿真	133	7.3 概念设计与详细设计	158
习题	139	7.4 工程分析和设计优化	159
第6章 产品生命周期管理	140	7.5 数控加工工艺开发、样机制造	169
6.1 产品数据管理	140	7.6 小结	174
6.1.1 产品数据管理概述	140	习题	174
6.1.2 PDM 系统的主要功能	141	参考文献	175
6.1.3 PDM 的发展	143		

第1章

数字化技术与产品开发

从古代铁匠在他简陋的店铺里敲出的一把小榔头，到现代的工程师们在互联网的终端计算机上与同伴协同设计出的一架波音飞机，或是数字化加工工厂制造出一台多轴数控机床，人类在认识自然和改造自然的过程中进行产品“设计”和“制造”的实践步伐就未曾停息过。无论是过去还是现代，在一项“设计”活动中，设计活动的过程是相似的：人们根据自己对设计对象的需求理解、功能描述、可选的形状构思，结合自身可获得的制作和工艺条件约束，设计出尽可能好的方案，在脑海中、纸上、计算机里绘制出加工图样，加工出榔头、数控机床或者飞机等他们所期待的产品，如图 1-1 所示，并在随后的实践中通过产品使用者的反馈信息，不断地改进和完善自己的产品。这就是一个逐步改进和优化的我们称之为“设计开发”的过程。然而，由于设计和制造手段所限，这种理解、描述、构思、绘制、改进和优化活动的具体过程和方法却有着本质的区别，它们经历着从模糊到精确、从定性到



图 1-1 榔头和波音飞机

定量、从随机到有序、从二维到三维、从闭门造车到异地协同的进步和跨越。代数、几何、力学、信息技术、计算机科学、自动控制学、管理学等学科的出现和发展是实现这种跨越的一座座桥梁。而数字化技术的出现,则将这跨越进一步综合和提升,它改变了产品开发的方式和结果。

1.1 计算机在制造业中的作用

随着市场竞争加剧和产品更新换代加快,在保证产品质量的前提下,产品制造企业越来越关注如何缩短新产品开发周期、缩短已有产品变型周期、提高满足顾客需求能力,从而使企业在市场浪潮中保持竞争力。由于计算技术和计算机技术在近几十年来的飞速发展,企业可以将先进的产品设计、制造、管理技术应用到其新产品开发项目中,在制定好生产计划,决定好加工工艺后,还可以在产品的批量加工中通过采用数控加工设备来实施生产。在整个过程中,计算机起到非常重要的作用。与传统新产品开发方式比较,计算机及其相关应用技术的引入使得整个制造业在“快交付”、“易变型”、“高质量”方面取得了显著优势,同时也大大降低了除时间以外的其他制造成本。

在产品开发过程中,计算机的主要作用可以大致划分为两大方面:一是监控各种硬件设备在生产过程中正常运行;二是辅助设计人员参与产品开发周期的各个应用阶段。本书中关于数字化产品开发技术的讨论主要集中在上述第二方面。

第一类应用,包括计算机直接与各种加工设备、仪表、仪器发生作用,监控它们在加工过程中按预定计划运行,以及诊断部分常见故障。比如,在一个计算机支持的数控加工设备进行叶轮曲面加工过程中,通过内嵌在计算机内存中的一些程序,计算机可以发出指令,激活适当进程以规范所监控的工艺过程。计算机的这个监控功能很大程度上可以替代人员,从而在节省人力的同时带来更高的可靠性。其实,计算机的这种监控功能不仅仅局限于产品加工制造车间,也同样适用于其他一些工业生产场合,如服装加工、制药、发电、采矿、医疗、教育等行业。

第二类应用,包括计算机在一个完整的产品生命周期中的各个应用阶段所发挥的支持功能。它包括:

数字化设计 (Digital Design, DD) 包括 CACD (计算机辅助概念设计)、CAGM (计算机辅助几何建模)、CAE (计算机辅助工程)、PDM (产品数据管理)。CACD 将计算机及其相关技术应用于产品概念设计过程。很多 CCAD 系统都通过计算机在利用企业设计知识资源并考虑设计后各阶段信息反馈的基础上,通过存储、挖掘、重用与待设计产品有关的模型、数据、知识等途径,得到产品的快速设计或改型。基于知识工程的产品设计以最大程度的减少设计者的重复劳动为目标,知识是驱动力,通过构形 (Configuration) 和工程规则驱动几何形状,它从质上区别于传统以建立几何模型为主的 CAD 技术。CAGM 是采用软件进行产品详细几何造型的过程,相当于传统以几何建模为主要活动的 CAD 技术。CAE 是计算机辅助工程,是通过工程计算软件对先前流程中的设计结果进行设计优化和设计评估的过程。PDM 则是对产品生命周期各种数据进行管理的技术,形成企业的公共数据库与知识库,与产品开发各个阶段进行信息交流和共享。

数字化制造 (Digital Manufacturing, DM) 包括 CAM (计算机辅助制造)、CAPP (计算

机辅助工艺规划)、CATD (计算机辅助刀具设计)、CAP (计算机辅助规划)。CAM 是通过计算机制造仿真、编程、后置处理等手段,采用各种加工设备来完成产品实际生产加工的过程。CAPP 是对通过计算机生成生产工艺规划的过程。CATD 是在已经制定好的生产计划和加工工艺的基础上,在计算机上设计加工过程中所需刀具的过程。CAP 是通过计算机进行生产资源规划、制定生产计划的过程。采用计算机来辅助整个产品开发过程,使该过程变得数字化、定量化、网络化、智能化,这些都得益于计算机及其应用技术的日益发展和完善。计算机则成为产品开发的一系列活动中各种信息的重要储存载体和信息表示、分享、处理、反馈的重要工具,如图 1-2 所示。我们可以看到企业知识库在一项产品设计的各活动阶段中始终起到重要的作用,它是产品创新、变型速度和效率的驱动力,这也可以一定程度地解释为什么企业的知识资本如同硬件、软件、人员一样,是一项同样宝贵的企业财富。

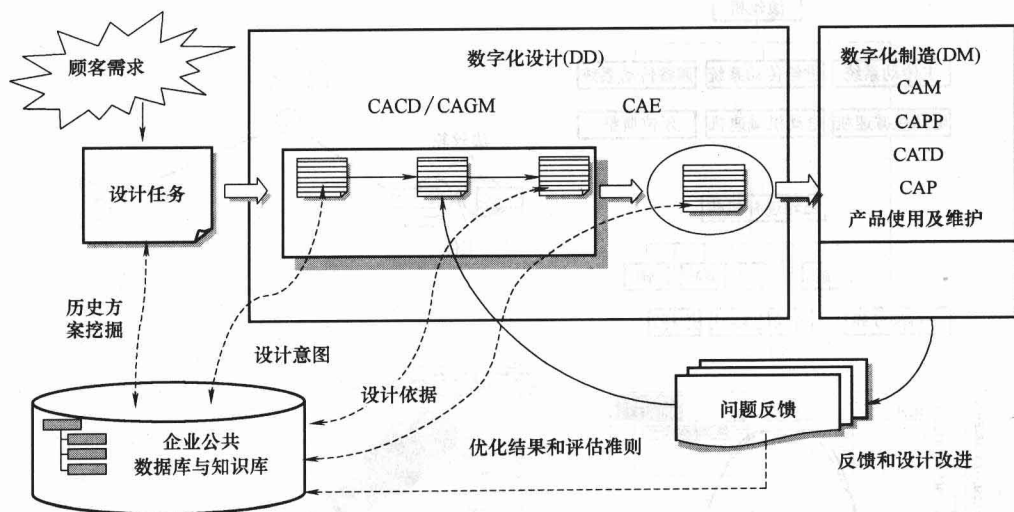


图 1-2 计算机在数字化产品开发过程中的应用

1.2 数字化技术的内涵

数字化 (Digitalization) 是采用数字化技术对传统的技术内容和技术体系进行改造的过程。数字化的核心是离散化,其本质是将连续的物理现象、设计过程中出现的物理量、设计过程中的几何量、设计制造环境中的不确定现象、企业可获得的各种设计资源、设计师的个人知识及经验 (Know how) 加以离散化,从而能够采用数值计算的方法在计算机上方便地处理。数字化的对象可以是工程计算中涉及的各类计算问题,如微分方程、偏微分方程、矩阵特征值等。数字化还在向各个其他的科学分支渗透:如统计、数据挖掘、计算机算法、图形学、图像处理、生物计算等。

数字化设计 (DD) 特指在通过数字化的手段来改造传统的产品设计方法,建立一套基于数值计算方法、计算机软硬件技术、网络传输技术、信息处理技术的专门支持产品开发和生产的全过程的设计方法和相关技术。数字化设计的基础是产品的基于部件内部和部件间级别的特征、过程的相关参数化建模。数字化设计支持基于设计规则、领域知识的设计进化,

可以表现为它支持方便快速地进行创新设计、变型设计、优化设计、重新设计等。此外,数字化设计还支持产品开发的全过程的数据管理、流程控制与优化。设计过程的数字化技术包括 CACD (计算机辅助概念设计)、CAGM (计算机辅助几何建模)、CAE (计算机辅助工程)、PDM 等。

数字化制造 (DM) 是指对制造过程和设备进行数字化定义和描述,通过网络环境下的计算机控制来实现产品加工制造的过程,包括 CAM (计算机辅助制造)、CAPP (计算机辅助工艺规划)、CATD (计算机辅助刀具设计)、CAP (计算机辅助规划) 等。

图 1-3 所示列出了一个凸轮连杆机构应用数字化手段进行设计制造活动中,不同阶段的数字化模型,包括知识库中设计规则、连杆、凸轮的几何建模、连杆有限元分析、机构运动仿真、连杆的工程图、凸轮数控加工模型等。

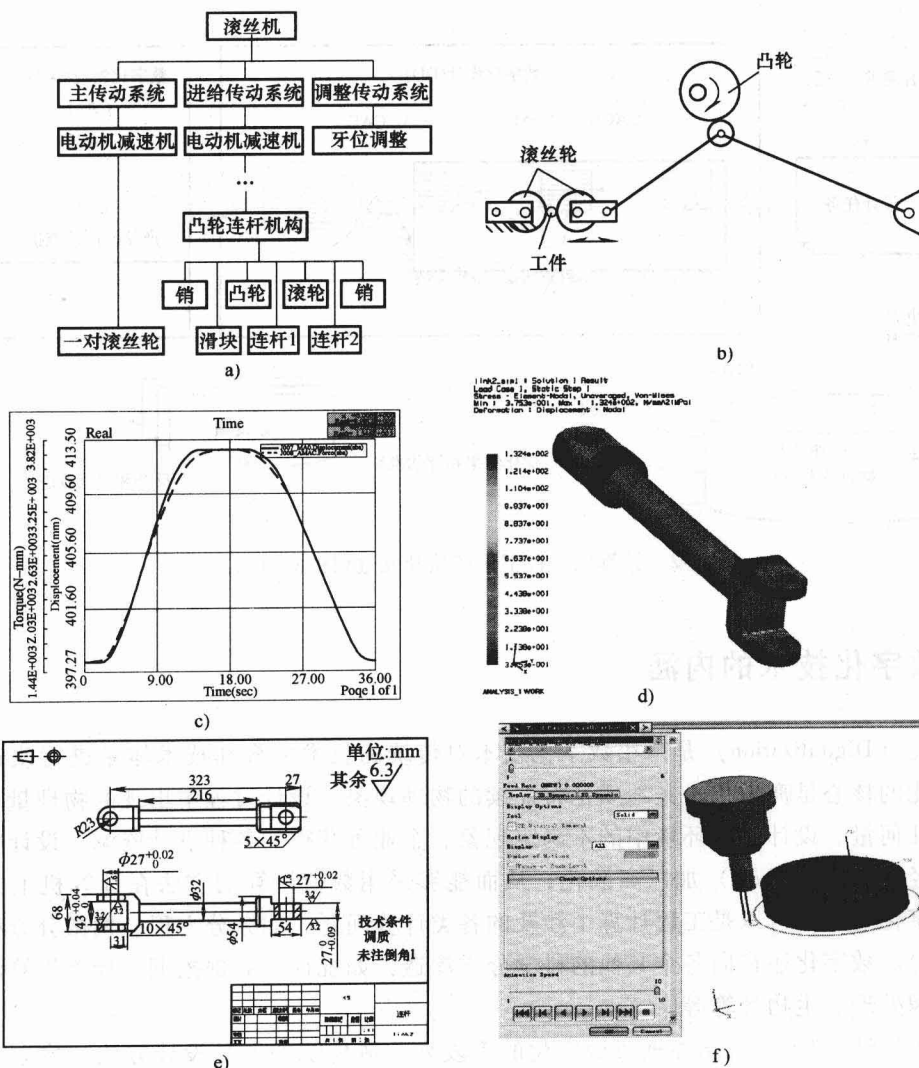


图 1-3 滚丝机中数字化设计制造技术的相关应用

a) 概念设计—功能分解 b) 概念设计—机构分析 c) 运动仿真

d) 有限元计算 e) 工程图 f) 数控加工仿真

1.3 产品开发活动的流程

如今，产品开发活动的一般过程包括如下阶段（见图1-4）：设计需求分析、设计任务定义、概念设计与详细设计、工程分析和设计优化、样机制作、加工工艺开发到生产实施、销售、使用、维修、回收等阶段。这只是一个循环，而产品的改型换代却需历经无数个循环，每一个循环中又由很多的设计迭代组成。

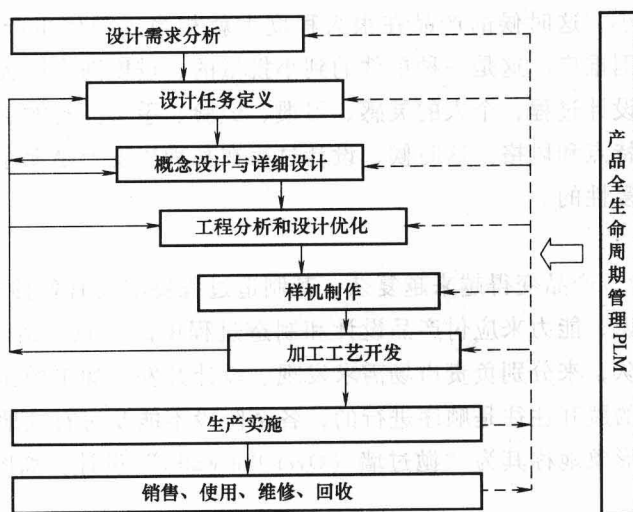


图 1-4 产品开发的一般流程

1.4 数字化改变了产品开发的方式

随着以计算机、计算机图形学、软件工程、知识工程等为代表的数字化技术的迅速发展，人类已经进入了一个崭新的数字化时代，数字化设计软件及工具相继涌现。从历史上看，每一种新的设计工具的出现都可能会使设计产生重大的变化，而数字化设计工具对产品的影响则可能会超过以往任何其他革命性的设计工具，它提供的将不仅是一个方便高效的设计工具，而且将会作为知识捕获、积累、处理、分享的载体。从设计角度，它将一定程度地改变设计师的思维习惯，改变设计师们在产品设计中的交流方式、工作方式，改变产品的使用、维护、回收等过程中的信息反馈方式，改变了产品更新换代的手段和速度。从制造角度，数字化提供了一个先进的制造实施和监控方式。从管理角度，数字化改变了产品全生命周期的管理方式，改变了生产资源的管理方式，进而改变了整个制造企业的运作方式。

1.4.1 产品开发过程的要素

人/团队、信息、工具（技术）、活动可以看做是设计过程的几个要素。数字化技术的

采用, 对设计过程的上述要素都产生了一定影响。

1.4.2 产品开发过程的发展

1. 无分工时代

在知识不发达的年代, 社会分工还不够细化, 没有什么“设计师”的概念, 那时产品设计和制造被看做是一回事, 即边设计边制造。设计、制造经常都是同一个人独立完成的。对设计而言更是这样, 小到一把“小榔头”、“手工艺品”、“编织竹器”, 大到一座“赵州桥”, 个人的力量在产品的设计中作用是举足轻重的。个人对自己的产品具有完全的控制能力。由于生产规模很小, 这时候的产品在很大程度上就相当于现代生产中的一个原型或样机, 只能在很小的范围推广。这是一种单件的到小批量的、进度随意度大、设计需求内容更改较少的相对稳定的设计过程, 个人的灵感、习惯、经验、手头拥有的工具等因素都能够间接地决定一件产品的特点和风格。这时候, 设计过程在某种程度上是无序的, 一个好的设计有时甚至是不具有重复性的。

2. 抛过墙时代

到了20世纪中叶, 产品变得越来越复杂, 其制造过程要求具有各种专业知识才能完成。一个人已经不再有知识、能力来应付产品设计和制造过程中的一系列活动。社会分工细化, 人们组成了不同的团队, 来分别负责市场需求发现、设计开发、加工操作、生产管理、项目管理, 由于各个活动的展开往往是顺序进行的, 各个阶段不能及时有效地沟通, 像有一堵无形的墙在其中, 人们形象地称其为“抛过墙 (Over the wall)”设计, 如图1-5所示。

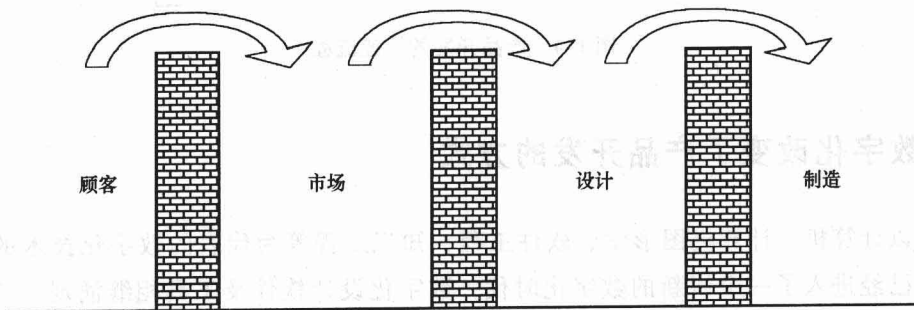


图1-5 抛过墙设计

其中, 设计人员在完成了一项设计之后, 将图样“抛过墙”式的传递给制造人员, 必要时会附几句口头补充和说明。当制造人员发现图样中存在不易加工的设计细节或其他技术困难时, 只能再度将图样“抛回去”, 这样等待设计人员去改进设计, 而由于设计人员可能不像制造专业人员那样了解制造过程, 有些零件画得出却可能加工不出来, 或无法使用现有设备加工, 因此造成大量的设计更改和返工。问题就出现了, 这种“抛过墙”的方式由于缺乏专业之间的及时沟通、反馈, 因而会影响产品的开发进度, 或是增加开发成本。另外, 在这种“顺序式进行”的工作方式中, 设计师不得不反复地修改其最初的设计意图, 以满足其他环节对设计提出的约束。这种环境下, 产品得到一定程度的优化, 但代价是设计师不

得不做出大量的修改和重复的工作,设计的改进是缓慢的,好的设计创意有时不得不由于进度和人员而做出折衷与让步。

3. 并行工程时代

到了20世纪70年代后期至80年代初期,并行工程的概念开始打破带来专业分隔的“墙”。并行工程的理念在于制造过程与设计过程保持同步更新,鼓励设计团队与制造团队的及时沟通、协作,及时发现设计中存在的各种问题(包含可制造性、可装配性等)并予以改进,通过增加设计中“小循环”为代价来减少整个制造过程的“大循环”,从而节约成本、提高质量、缩短进度。在并行设计中,人或团队之间的交流、沟通是密切和充分的,尤其是到了后来的“协同设计”概念的提出,更进一步强调了参与开发的各个部门和人员之间的沟通、并行、协调、集成,强调在恰当的时机与适合的人分享和交流正确的信息。这种模式下,人的因素是很关键的,不同的阶段中,产品研发的团队包括了各种不同专业的人员,他们的视野、理念、经验、技能各不相同,在思想的碰撞中完成了工作,这符合目前产品生命周期管理(PLM)的特点与要求。此外,分工更细、交流更多、协作更快,这一定程度上更加有利于人的创新思维的爆发和及时验证。

并行设计、协同设计中人员交流、信息共享都离不开数字化技术的支持。数字化技术使得关于产品的各种信息(需求、设计、制造、管理等)能够被表示,并通过网络传递、共享。在传统“抛过墙”开发模式下,“图样”依然可以充当信息传递的载体,但在协同设计模式下,必须依靠“数据、模型、软件平台、硬件设备、网络”等数字化手段才可能完成信息的表示、传递、分享,而信息进一步处理、更新也需要专业软件工具、技术的支持。数字化使这一切成为可能。

1.4.3 数字化改变了设计师的工作方式

从产品开发活动的发展里程可以发现,数字化改变设计师在设计过程中的工作方式。在工业革命发生之前,世界上是没有设计师这个名词的,当一些工匠或手艺人在制作自己的“小榔头”时,他们是以个体的形式进行创意,并根据自己的意愿及可获得的条件来决定生产和销售方式,或自给自足的。随着大规模生产技术的出现,设计、生产、管理等技术人员的分工越来越细,这时才出现了设计师这个角色。在这种多角色协作的环境下,设计师往往很难独自决定并实现自己的设计意图,他不得不考虑生产管理人员、加工工艺人员甚至销售人员对产品方案提出新的约束和更改意见,而这种约束和更改意见的出现在时间上往往是滞后的,这一点是由于受到产品开发的技术条件和软硬件环境所限制。

1.4.4 数字化提高了产品信息交换水平

数字化时代到来之后,设计师通过“并行工程”的工作方式,可以凭借数字化工具进行概念设计,并在概念设计阶段依靠数字化工具完成三维建模,利用虚拟原型进行市场调研和推广,甚至可以在真正产品确认之前即可以将虚拟产品进行推广,接受订单。数字化工具可以消除设计交流的屏障、距离和时间的限制,使设计师之间的交流及协同工作更为顺畅。设计师可以充分利用计算机网络及Internet资源,大大方便设计组内设计人员之间、不同设

计组之间以及不同设计专家之间的交流,大家无论在什么地方,什么时间,都可以对产品进行协同设计、评价及交流,进行集体设计,从而加快了设计进程,降低了设计费用。数字化工具还可以将设计规划、方案设计直至末期的视觉传达设计有机地结合起来,使它们之间的衔接更为准确,更为平滑,各个阶段的设计成果可以为其后的设计过程直接利用,这样不仅可以缩短整个设计的施工或生产周期,减少模型转换的偏差,而且可以帮助设计师从设计到生产等多个方面对设计方案进行整体的考虑,从而大大减少各个阶段间可能出现的误差与矛盾,最大程度减少设计中的不必要的循环和反复,最大限度地加快各个设计阶段的设计进度,提高设计质量,并且可以大大节约各个阶段的成本。

1.4.5 数字化使得产品创新更容易

此外,数字化的工具还改变了创新模式,使创新想法更易涌现、创新的过程更易实现、创新的结果更易评价、试错的周期更易缩短。数字化工具提供了一个并行、协作的工作环境,使设计师拥有更多的便捷来捕捉市场需求的变化、更多的条件来利用企业的经验财富、更多的自由来表达自己的设计理念、更多的机会来实现自己的灵感创意。TRIZ 创新原理及其数字化支持系统的出现就是一个很好的例证,本书第 2 章将对该方法进行介绍。

1.5 传统产品开发周期和数字化产品开发周期的比较

传统开发中,当一项产品的设计完成之后,零件加工图样就发布给生产车间,生产工程部门拿到图样后首先要评估它的可行性。可行性得到确认之后,工艺规划则紧接着给出,以保证该产品能够以最低的成本加工出来。这个时候,可以在保证产品预期功能不受影响的前提下对它进行一些修改以提高企业生产效率。当生产工艺确定之后就要采取一些必要的加工活动来执行它了。这些活动包括:准备所需加工工具,采购需要的新设备和刀具,采购原材料,向车间操作人员发布关于加工该产品的详细的操作规程等,如图 1-6 所示。而当计算机引入到产品开发周期中后,上述开发过程中许多活动(在图 1-6 中由带点的底纹的方框标出,甚至可以更多)都可以由计算机来辅助完成。设计软件、数值分析、知识工程等技术的发展,使得很多新的计算机辅助活动内容被集成进去,如:需求统计与预测、计算机辅助几何建模、有限元分析、计算机仿真、计算机辅助工艺规划、计算机辅助刀具设计、计算机辅助生产标准、计算机辅助生产规划、计算机辅助 CNC 零件程序生成、计算机辅助质量控制等。随着计算机技术及其相关其他技术的不断发展,还会有更多的环节通过计算机的辅助来完成。

数字化产品定义(Digital Product Definition, DPD)由美国 Boeing 公司 1991 年首次提出,其含义是将产品开发的整个过程,从初始的市场调研、概念设计到最后的生产销售、售后服务等都采用数字化的定义方式,使整个产品的所有数据都以数字化的形式存储,以便于分析、计算等。Boeing 公司提出的数字化产品定义绝不仅仅是一个“定义”,而是一种全新的产品开发哲理,即贯穿在产品全生命周期内的全数字化。Boeing 公司在其 777 机型的开发中

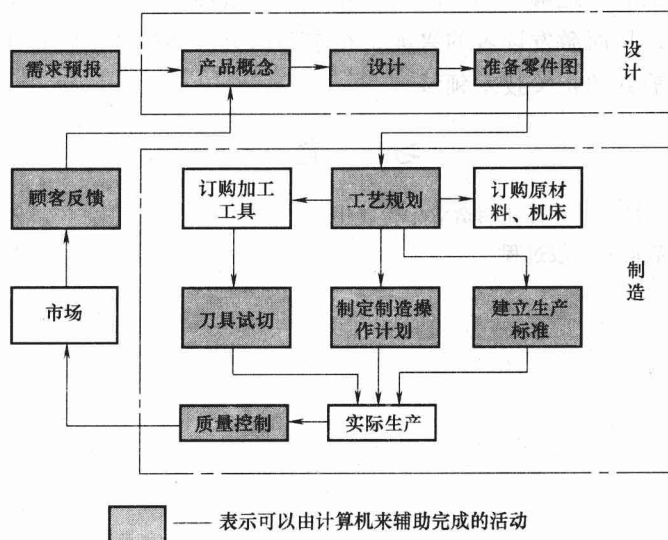


图 1-6 传统制造环境下的产品开发周期

实践了产品开发的全数字化，节省了研制时间、降低了开发成本、提高了设计精度，显示出巨大的经济效益和发展潜力。采用了计算机工具和计算机技术给传统产品开发过程带来的最重要的好处是建立了一个关于该产品的公共数据库（见图 1-2 所示中的企业公共数据库和知识库），它与这个产品制造过程中几乎全部的阶段都是相关的。通过该公共数据库，计算机辅助的产品制造中所有模块都可以分享其中任意模块所建立的数据库。而任意模块都可以参照该数据库中的相关数据，并在应用过程中按照应用的具体要求来做必要的修改。这种方式有助于减少产品数据维护中的不必要工作，同时保证最新的数据更改内容能够及时被反映到与其相关的那些制造环节中。与公共数据库方法不同的是，有时可能制造过程的一些模块的建立平台是属于互不相同的公司开发的，这种情况下，保证数据在这些不同平台间顺畅地流通是非常重要的。此外，相关的数据更新在这些不同系统间能够适时地完成也是十分重要的。

1.6 小结

本章对产品开发的一般流程、产品数字化开发技术的内涵、计算机在制造业中的作用、数字化技术对产品开发过程和方式的影响做了讨论。

在随后的 5 章中，我们通过对一台“滚丝机”进行功能结构分析，以其部分零部件，如“凸轮”、“连杆”及“凸轮连杆机构”的变型设计、几何建模、运动学分析、有限元分析、数控加工为实例，对数字化产品设计与制造的核心活动和相关技术基础进行阐述和学习，使读者熟悉和掌握数字化产品开发中基于知识的变型设计、设计意图表达与参数化建模、运动学分析、力学仿真、数控编程与 CAM 加工等基础技术。本书将这些技术环节的实例集中在一个产品上，由其做一条主线贯穿全书始终，是为了便于读者在学习各个相对独立

的基础技术的同时,也能够理解它们之间的一般的技术依赖和先后次序,并进而了解产品数字化开发的一般过程,从而激发读者的兴趣,在掌握部分已知模块的前提下,有兴趣去探索和学习其他本书未涵盖到的相关技术领域。

习 题

- 1-1 结合身边事例,简述计算机在制造业中的作用。
- 1-2 简述产品开发活动的一般过程。

第2章

产品数字化概念设计技术

2.1 设计的重要性

任何产品的问世均是设计的结果，大到航天设备，小到一粒纽扣，无不是与设计密切关联的。从起点到某一终点应该如何走最快、最方便，这也是一种设计。因此，广义的设计是人类社会中一项非常重要的内容。同样，产品设计也是工程领域的一项非常重要的内容。

现代产品日趋复杂、精细、功能多样，同时消费向个性化发展。而全球化市场更加速了人们对新产品和个性化产品的不断需求。为了更好地应对市场竞争，快速地响应顾客需求的变化，开发出高质量、低成本、快交付的产品，这些都要求一个企业具备更强、更加高效的产品设计能力。不管企业所设计的产品是一个整体系统（如：汽车）亦或是一个用于配置的部件（如：轮毂、座椅），消费者都期待它能够以更便宜的价格、更好的质量、更多的选择、更好的服务、更快地面市。另一方面，有资料表明，产品设计活动带来的成本，仅占一件产品总成本的5%~10%。但是，在产品总成本超预算或交付进度失控的所有情形中，

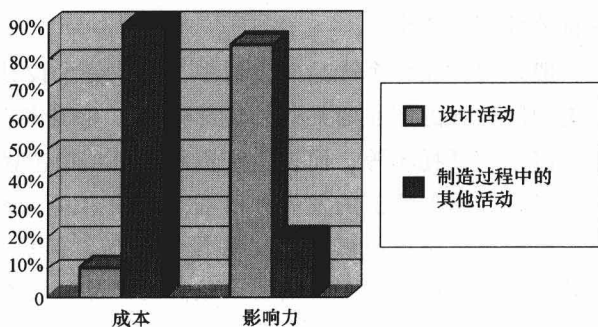


图 2-1 产品设计活动与产品制造过程中其他的成本及影响力对比