

基于系统工程的产品综合设计理论与方法

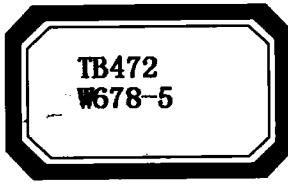
产品的制造性能 及可视优化设计

闻邦椿 孙 伟 李 鹤 编著

2
-5



 机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS



TB472
W678-5

工程的产品综合设计理论与方法

-9

产品的制造性能 及可视优化设计

闻邦椿 孙 伟 李 鹤 编著



TB472

W678-5

机械工业出版社

本书是对“基于系统工程的产品综合设计理论与方法”进行系统叙述的6部系列著作中的第5部。

本书第1章为概论,介绍研究可视优化设计的意义、特点及相关理论基础;第2章叙述产品可视优化设计的目标、内容及方法;第3、4、5章介绍有关可视优化设计的若干理论基础;第6、7、8、9、10章分别介绍了产品运动学状态、动力学状态、机器工作过程、产品零部件加工制造过程和机器装配过程的可视优化设计内容和方法;第11章介绍了机械产品试验与可视优化设计的关系;第12章举出了可视优化设计法在并联机床设计中的应用实例。

本书可供从事现代机械产品研究与开发、设计与制造及管理的科技人员阅读参考,也可作为大专院校的教师、高年级学生、研究生和从事现代机械设计理论与方法研究的科技工作者的参考书。

图书在版编目(CIP)数据

产品的制造性能及可视优化设计:基于系统工程的产品综合设计理论与方法/闻邦椿,孙伟,李鹤编著. —北京:机械工业出版社,2009.10

ISBN 978-7-111-28313-3

I. 产… II. ①闻…②孙…③李… III. 产品—设计—研究 IV. TB472

中国版本图书馆CIP数据核字(2009)第164879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:沈红 责任编辑:沈红

版式设计:霍永明 责任校对:申春香

封面设计:鞠杨 责任印制:洪汉军

三河市宏达印刷有限公司印刷

2010年1月第1版第1次印刷

169mm×239mm·14.25印张·274千字

0001—3000册

标准书号:ISBN 978-7-111-28313-3

定价:29.00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

门户网:<http://www.cmpbook.com>

销售一部:(010) 68326294

销售二部:(010) 88379649

教材网:<http://www.cmpedu.com>

读者服务部:(010) 68993821

封面无防伪标均为盗版

前 言

“机械产品的设计理论与方法”是一门综合性课程，又是一门实践性课程，是机械专业学生必须学习的一门基础性和技术性课程。对于从事机械产品设计的工程师，或对于这一专业的大学本科生或研究生，如果要从事新产品研究和开发工作，都必须认真学习这一课程，并掌握相关知识。否则，就很难胜任高质量机械产品的研究、开发和设计的任务。

众所周知，机械产品在国内外市场中竞争力的强弱，在很大程度上取决于产品的广义质量或设计质量（其中包括使用质量、生产成本、制造周期、环境保护、售后服务等），产品的广义质量是通过精心设计、精密制造和严格管理而获得的。产品的设计工作对其质量有十分重要的影响，这是因为产品的设计可赋予产品“先天性优劣”这种至关重要的本质特性。因此，对于绝大多数产品来说，产品的设计在保证其质量的过程中起着十分重要的作用。

产品的广义质量包括用户、企业及社会对产品设计工作提出的所有质量要求，即包括产品全部功能和性能。为了满足产品设计质量的要求，科技工作者已提出并深入研究了数十种设计方法，这些设计方法能够在不同程度上满足产品某一方面或某些方面设计质量的要求。

为了较全面地满足用户、企业及社会对产品设计质量提出的要求，本系列著作构建了基于系统工程的产品设计的总体规划的理论模型，即7D总体规划模型，其中包括设计思想、设计环境、设计过程、设计目标、设计内容、设计方法及设计质量检验等七个方面的内容，阐明了它们的内涵，并将产品设计工作划分为规划阶段（包括调研）、实施阶段和检验阶段等三个阶段。在此基础上，提出了将几种对产品质量有决定性影响的设计方法有机地结合在一起对产品进行设计，我们把这种设计方法称为综合设计法。

综合设计法明确地提出了以用户需求为驱动，以产品的设计质量为目标，以多种学科的理论与技术为基础，以功能设计、动态设计、控制系统设计和智能设计及可视化设计为内容，以广义优化、现代仿真技术和数字化技术为手段，不仅研究了以线性理论为基础的一般综合设计法，还讨论了以非线性理论为基础的高层次的综合设计法。因此，本系列著作提出的方法对于各类机械设备的设计均具有较好的适用性。

综合设计法的主要内容是功能优化设计、动态优化设计、智能优化设计和可

视优化设计，因此也可以称它为四优设计法，或面向产品全部功能和性能的综合设计法。本系列著作把这种设计法概括为1+3+X设计法，1即为功能优化设计，3为“动态优化、智能优化和可视优化”融合在一起的三化设计或三优设计，X为对某种产品有特殊要求的设计方法。随着科学技术的快速发展，综合设计法的内涵也将随着科学技术的进步和发展不断得到补充和完善。

综合设计法主要内容之一：产品的7D总体规划模型及1+3+X综合设计的理论框架。

综合设计法主要内容之二：产品的功能优化设计，从产品所要实现的功能和用户所提出的基本要求出发，选定产品的设计方案，即确定产品机构的形式、各种系统和结构的组成、计算与选择产品的主要参数等。

综合设计法主要内容之三：产品的动态优化设计，将在已完成产品方案设计（初步方案）的基础上，进一步分析和计算机械设备及其系统的运动学和动力学参数等，计算零部件的刚度、强度及工作耐久性等，进而确定机械设备及其零部件的尺寸；通过理论分析，并在可能进行的结构或其模型试验的基础上，对初步设计阶段的图形和方案进行修改。本系列著作研究并提出了基于非线性动力学理论的深层次的动态设计理论与方法。

综合设计法主要内容之四：产品的智能优化设计，它有两种不同的含义，一是采用智能化手段，来完成产品设计；二是对所设计的产品的的主要参数和工作过程实现智能控制和优化，使机械设备具有更高的工作性能及智能化程度，本系列著作叙述的智能优化设计是对机器的主要参数和工作过程实行智能控制和优化，其主要目标是提高产品的工作性能。

综合设计法主要内容之五：产品的可视优化设计，也是局部范围内的虚拟设计，在设计过程中采用三维造型和各种先进的可视化技术和手段，将机械设备的结构、制造和装配过程、工作过程的特征形象地表现出来，并通过可视化来检验产品各种工作过程的可行性和合理性，发现产品设计中的不足，进而对产品的设计方案进行修改，以便提高产品的设计质量。

综合设计法主要内容之六：产品设计质量的检验与评估，可以采用三种方法。一是采用理论方法进行评估，二是通过模型试验检验产品设计质量，三是通过用户使用检验产品设计质量。

这六个方面的内容组成了一个完整的设计系统。从系统工程的角度来看，它是一个完整的技术系统。为了系统地讲述提出的理论与方法，特分为六个分册出版，本书是第5分册。

本系列著作是闻邦椿教授及他所领导的科研团队，经过30余年从事产品设计实践的经验和对设计理论与方法进行系统研究所取得的科研成果的总结，所提出的创新点有：

1) 鉴于目前科技界对已提出的数十种设计理论与方法还未进行分类,从宏观角度来看,对设计理论与方法的研究和讲述尚处于零散、无序、缺乏整体性和完整性的散乱状态。对它们进行分类有利于找出它们的共性与特性,并促进其进一步的快速发展,因此,作者首先对数十种机械产品的设计理论与方法的分类进行了有益的尝试。

2) 提出并阐明了基于系统工程的产品设计的7D(设计思想、设计目标、设计内容、设计过程、设计方法、设计环境、设计质量检验)规划模型。

3) 阐明了产品功能和性能的概念,明确地把产品的设计质量具体化为产品的主辅功能和三大性能,详细地论述了产品的总功能和产品三大性能的内涵。

4) 给出了产品质量和设计质量的定义。

5) 研究并提出了面向产品全部功能与性能的综合设计理论与方法。

6) 给出了1+3+X综合设计法的简洁公式。

7) 研究并提出了深层次的,即考虑机械系统的非线性、非稳态、高维、强耦合、不确定等因素的综合设计理论与方法。

8) 从产品设计质量出发,对产品设计质量的检验与评估方法进行了研究。

9) 用综合设计方法研究了典型机械的设计问题。

本书是“基于系统工程的产品综合设计理论与方法”系列著作中的第5部。实际上,可视优化设计不只是对制造性能优化发挥积极的作用,对主辅功能优化、结构性能优化和使用性能优化也会发挥重要的作用,只因考虑到该系列著作中各部著作名称的协调性,本部著作才采用《产品的制造性能及可视优化设计》书名。另外五部著作分别是《产品全功能与全性能的综合设计》、《产品的主辅功能及功能优化设计》、《产品的结构性能及动态优化设计》、《产品的使用性能及智能优化设计》和《机械产品设计质量的检验与评估》。

本书由闻邦椿、孙伟、李鹤编写。书中吸取了科研组其他同志的一些研究成果,他们是佟杰新、张国忠、任立义、纪盛青、刘树英、柳洪义、刘杰、张天侠、张义民、李奎贤、袁惠群、李以农、何勍、宋伟刚、韩清凯等教授,林文强、赵春雨、李东升、王凤兰、宿苏英等副教授,任朝晖、罗忠、张晓伟、李小彭、陈宏、姚红良、刘杰等博士,并参阅了国内外一些重要技术文献中的一些重要成果。在编写过程中,东北大学机械设计及理论研究所及有关兄弟单位给予了支持和帮助。此外,还得到杨叔子院士、钟掘院士、高金吉院士、赵淳生院士的热情帮助,在此特向他们致以深切的谢意。

特别应该指出的,本书是东北大学985工程建设项目“重大机械装备设计制造关键共性技术”创新平台建设的一部分成果之一,也是本课题组正在执行的

“现代机构创新及机械系统动态优化设计理论与方法的研究”国家自然科学基金重点项目(50535010)和“面向先进装备制造的现代设计方法与示范应用”沈阳市重大科技攻关项目研究的部分成果。

本书如有不妥之处,望读者给予指正。

编 者

2009年8月

目 录

前言

第 1 章 概论	1
1.1 传统设计与现代设计	1
1.2 基于系统工程的综合设计体现现代设计的思想	3
1.3 数字化设计	4
1.3.1 数字化设计提出的背景	4
1.3.2 数字化设计技术的含义及特点	5
1.3.3 当今数字化设计技术研究的热点及现状	6
1.4 虚拟设计	7
1.4.1 虚拟现实技术	7
1.4.2 虚拟设计的内容及方法	9
1.4.3 虚拟设计研究及应用情况	11
1.5 可视优化设计	12
1.5.1 可视优化设计与虚拟设计及数字化设计的逻辑关系	12
1.5.2 可视优化设计的定义和特点	12
1.5.3 研究可视优化设计的意义	14
1.6 可视优化方法的基础理论	14
1.6.1 有关可视优化设计内容方面的理论基础	15
1.6.2 有关可视优化设计手段方面的理论基础	15
1.7 本书各章的主要内容	18
1.8 结语	19
第 2 章 可视优化设计的目标、内容及方法	20
2.1 概述	20
2.2 可视优化设计的目标	21
2.2.1 广义目标	21
2.2.2 具体目标	23
2.2.3 主要目标	28
2.3 可视优化设计的具体内容	29
2.4 可视优化设计法的研究步骤和方法	30
2.4.1 可视优化设计法的技术流程	30
2.4.2 进行可视优化设计的主要研发软件	32
2.4.3 可视优化设计法的应用原则	33



2.5	可视优化设计法的目标、内容及方法的关联方程式	34
2.6	结语	35
第3章	可视优化设计平台的构建策略及具体技术	36
3.1	产品设计平台的内涵	36
3.2	国内外有关设计平台的研究现状	38
3.3	可视优化设计平台的体系结构及功能模块	39
3.3.1	可视优化设计平台功能需求分析	39
3.3.2	可视优化设计平台体系结构	40
3.3.3	设计平台功能模块及实现方法	41
3.4	可视优化设计平台构建策略	44
3.4.1	创建设计平台的影响因素	44
3.4.2	可视优化设计平台构建策略	45
3.5	可视优化设计平台的创建过程	45
3.6	结语	48
第4章	三维 CAD 建模及二次开发技术	49
4.1	三维建模技术概述	49
4.2	三维建模的相关软件介绍	50
4.3	三维建模的一般方法	52
4.3.1	特征操作	52
4.3.2	参数化建模	54
4.4	基于三维 CAD 系统的二次开发技术	56
4.4.1	二次开发概述	56
4.4.2	基于 Solid-Works 的二次开发	57
4.4.3	基于 CATIA 的二次开发	59
4.4.4	基于 UG 的二次开发	60
4.4.5	基于 Pro/E 的二次开发	61
4.4.6	二次开发举例	62
4.5	结语	64
第5章	可视化编程及工程仿真技术	65
5.1	可视化编程概述	65
5.2	VB 环境下的可视化编程技术	66
5.3	工程仿真技术	71
5.3.1	仿真技术概述	71
5.3.2	仿真技术在机械产品开发中的应用	72
5.4	结语	73
第6章	机械产品运动学状态的可视优化设计	74
6.1	运动学状态可视化的研究目标及内容	74
6.2	运动学状态可视优化的研究方法	75

6.2.1 运动学可视化设计计算及仿真系统的开发	75
6.2.2 运动性能精确仿真	77
6.3 运动学状态可视化研究的相关软件	79
6.4 柱塞泵运动性能的仿真	81
6.5 结语	83
第7章 机械产品动力学状态可视优化设计	85
7.1 动力学可视优化设计的主要目标及内容	86
7.2 动力学可视优化设计的主要方法	87
7.2.1 模拟模型	88
7.2.2 模型的模拟	89
7.2.3 计算过程与结果的可视化	90
7.2.4 动力学性能的优化	90
7.3 进行动力学可视优化设计的相关软件	91
7.4 动力学可视优化设计实例	93
7.4.1 轿车白车身模态分析	93
7.4.2 轿车白车身优化设计	96
7.4.3 转子模型试验台的结构优化设计	100
7.4.4 压缩机轴系振动设计	103
7.4.5 非线性振动系统的混沌分析	126
7.4.6 汽车前悬架的动力学优化	129
7.5 结语	133
第8章 机械产品工作过程的可视优化设计	134
8.1 机械产品工作过程概述	134
8.2 工作过程可视优化设计研究的目标及内容	135
8.3 工作过程可视优化设计的实现方法	136
8.3.1 工作模型的概念	136
8.3.2 工作过程可视化的研究步骤	137
8.4 大型锻造操作机工作过程可视化研究	139
8.4.1 锻造操作机概述	139
8.4.2 锻造操作机工作模型的创建	140
8.4.3 锻造操作机工作过程仿真及分析	142
8.5 结语	144
第9章 产品加工过程的可视优化设计	145
9.1 加工过程可视优化研究的目标及内容	145
9.2 加工过程模型概述	146
9.3 加工过程可视化研究方法	148
9.3.1 加工过程可视化研究的一般方法	148
9.3.2 零件加工过程可视化研究流程	149



9.3.3	加工系统可视化仿真研究的一般流程	151
9.4	研究实例	151
9.4.1	零件加工过程可视化仿真研究	152
9.4.2	普通机械加工系统可视化仿真研究	155
9.4.3	仿真试验及结果分析	158
9.5	结语	161
第10章	机械产品装配过程的可视优化设计	162
10.1	装配过程可视化研究的内涵	162
10.2	机械产品装配模型	163
10.3	装配过程可视化研究方法	165
10.3.1	装配过程可视化研究流程	165
10.3.2	装配过程可视化主要研发软件	166
10.4	手扶振动压路机振动轮装配过程的可视化研究	168
10.4.1	振动轮的装配树模型	168
10.4.2	创建振动轮装配实体模型	169
10.4.3	装配过程仿真	170
10.5	结语	171
第11章	机械产品试验与可视优化设计	172
11.1	机械产品试验概述	172
11.2	机械产品试验与可视优化设计的关系	173
11.3	可视化技术在机械产品试验中的应用	175
11.3.1	颜色映射方法	175
11.3.2	等值线法	176
11.4	具有可视化功能的试验系统	176
11.5	可视化相关技术在试验中的应用实例	177
11.6	结语	182
第12章	可视优化设计法在并联机床设计中的应用	183
12.1	并联机床概述	183
12.2	并联机床参数化设计	183
12.2.1	参数化设计系统功能模块	184
12.2.2	参数化设计系统实现过程	184
12.3	并联机床运动学状态可视化	191
12.3.1	运动学可视化设计系统功能模块	191
12.3.2	运动学计算理论基础	191
12.3.3	运动学可视化设计系统开发过程	195
12.4	并联机床动力学可视化分析	200
12.4.1	并联机床动力学分析的基本原理	200
12.4.2	并联机床动力学可视化分析过程	201

12.5 并联机床工作过程可视化研究	202
12.5.1 并联机床工作过程可视化研究方法概述	203
12.5.2 基于 ADAMS 的并联机床参数化建模方法	203
12.5.3 并联机床工作过程可视化仿真实现过程	206
12.6 并联机床装配过程可视化	208
12.6.1 并联机床装配层次模型	208
12.6.2 并联机床装配过程可视化	209
12.7 结语	211
参考文献	212

第 1 章 概 论

进入 21 世纪以来，由于产品的市场寿命越来越短，品种却越来越多，所以对新产品开发、生产和销售周期的要求越来越高。为了适应这种情况，机械产品的设计理论和方法也正在发生重大的变化。除了从宏观角度提出一些新的理论与方法之外，利用可视优化设计技术对产品开展相关的设计工作，也得到了迅速的发展^[1-72]。此外，以计算机为主要工具的数字化设计已成为最活跃的一个研究领域，大大提升了产品设计的响应速度和产品的广义质量或设计质量。

虚拟设计和可视化设计都隶属于数字化设计的范畴，也是数字化设计方法在产品中的具体应用。本章简要介绍了数字化设计和虚拟设计的研究情况，并在此基础上讨论了可视优化设计的意义及内涵。

1.1 传统设计与现代设计

设计的思想和方法一方面不断地影响着人类的生活与生产，推动着社会的进步；另一方面又受着社会发展的反馈作用，不断地发生变化和更新。为了反映设计思想和方法随社会的变化情况，人们通常采用“传统设计”和“现代设计”这两个术语予以区分。事实上，“传统设计”和“现代设计”只是一个相对的两个不同的概念而已。

通常所说的传统设计可以定义为：以经验为基础，运用长期设计实践和理论计算而积累的经验、公式、图表等作为设计的依据，通过经验公式、修正系数或类比等方法进行设计^[3]。而现代设计是指凭借计算机、网络或其他现代化设备，采用现代化的设计理念或方法，例如采用创新设计、绿色设计、数字化设计、优化设计、动态设计、综合设计、稳健设计、可靠性设计等，并采取并行或协同的模式来进行产品设计。现代设计是随着科学技术的不断发展，以及人们对产品质量要求的不断提高，在不断吸收传统设计经验的基础上，而逐步发展起来的。图 1-1 表明了传统设计与现代设计的对比，现分别说明如下：

(1) 在使用工具上的区别 传统设计主要是依靠手工操作来完成的，例如一些设计计算及绘图基本上要靠手工完成，这样不仅导致设计进度缓慢，而且在很大程度上约束了人脑的设计思维进度。现代设计主要依靠计算机来完成，设计计算、绘图、分析甚至样机检验都可借助于计算机来实现。有了计算机，设计人员可以把精力重点放在产品创新上，而不是一些重复性的劳作，从而显著地提高

了设计效率。

(2) 在计算方法上的区别 传统设计在设计计算中通常依赖于解析求解方法。由于工程实际问题的复杂性,使一些具体问题无法求得解析解。因此,不得不将问题简化而采用近似计算,因此导致设计的精度降低。现代设计在设计计算中通常采用数值计算法,例如有限元方法。在充分考虑各种影响因素的前提下,利用计算机强大的计算能力来获得较精确的数值解。

(3) 在设计形式上的区别 传统机械设计主要采用“方案设计—图样设计—样机制造及检测—设计改进—生产制造”这一串行模式。在传统设计中,往往只有在物理样机制造过程中或在产品使用过程中,才能发现设计上的缺陷,在对物理样机进行试验和使用时,才能获知设计质量的高低。这种设计模式不可能使设计获得较高的效率和使产品具有较高的质量,这与竞争十分激烈的市场环境不相适应。现代设计一般采用串行与并行相结合的设计模式,由于计算机网络等先进通信工具的出现,使得异地协同进行产品设计成为可能。

但是,这里需要说明的是在产品设计中完全采用并行设计模式是不可行的。例如按照综合设计理论方法体系^[1,2],产品设计大致可以分为调研、规划、实施和检验四个阶段,在这四个阶段中一般来说实施阶段比较容易采用并行和协同的设计模式。

(4) 在知识运用上的区别 传统设计通常凭借设计者直接的或间接的经验,通过类比分析或经验公式来确定方案。由于方案的拟定很大程度上取决于设计人员的个人经验,即使同时拟定几个方案,也难于获得最优方案。现代设计从以经验为主过渡到以知识为主,设计者利用知识工程、人工智能等相关技术,可以科学地进行设计过程中的各种决策,从而促使设计效率、产品设计质量获得大幅度的提高。

(5) 局部或全局考虑的区别 传统设计通常只根据产品设计的各种需求,一对一地去解决设计中遇到的问题,缺乏整体的或全局的观念,而现代设计更加科学、全面、系统地解决设计遇到的问题。因此,基于系统工程的综合设计理论与方法具体地贯彻了现代设计的思想。

从前面所述的传统设计与现代设计的五个方面的对比可以看出,传统设计已

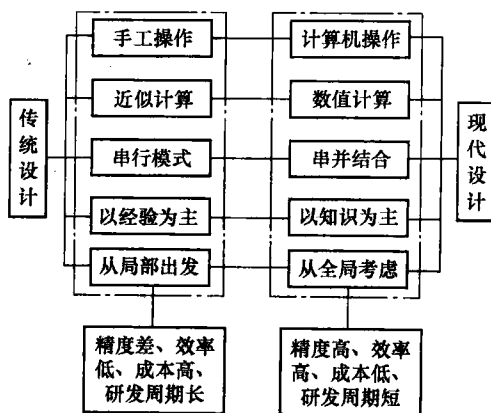


图 1-1 传统设计与现代设计的对比

不适应时代的发展，必将被现代设计所取代。同时现代设计也必须从传统设计中吸取有益的经验而使其获得进一步的发展。为此，科研工作者应进一步研究与发发展现代设计理论及方法，使其能够更好地为实际的产品设计工作服务。

1.2 基于系统的综合设计体现现代设计的思想

基于系统的综合设计理论与方法是在科学发展观指导下的产品设计理论与方法，它采用了科学的方法对产品全部设计工作进行妥善的处理，对产品的整个设计工作进行全面的规划，对产品设计中的各个子系统进行系统与协调的安排。

该系列著作中所阐述的综合设计法的主要目的，就是为了避免给产品设计工作带来的许多不足。例如，可以克服设计中常常出现的片面性和随意性等，以便获得优越的产品质量、较低的制造成本、较短的生产周期、良好的环境保护，以及较少的售后服务工作量等。

因此，本系列著作提出的基于系统的综合设计理论是属于现代设计的范畴，它从宏观角度对产品设计工作进行全面的和系统的调研、规划和实施，以使产品设计工作得以全面、协调和可持续地进行。同时，还在具体的实施过程中有效地采用科技工作者提出的各种先进设计方法。

按照基于系统的综合设计理论与方法，产品设计应该按以下三个步骤进行：

1) 首先要在调查研究的基础上做好产品设计的规划，即7D规划。针对设计思想、设计环境、设计过程、设计目标、设计内容、设计方法、设计质量检验等方面进行全面的规划。

2) 接着在产品设计的实施阶段，按照1+3+X模式开展产品的设计工作，即以明确的目标、具体的内容和有效的方法开展功能优化设计、动态优化设计、智能优化设计、可视优化设计和特殊性能优化设计。在实施综合设计法的过程中，根据具体情况，要采用各种先进和有效的方法，如创新设计、绿色设计、概念设计、全功能设计、全功能全性能设计、动态设计、智能设计、虚拟设计、稳健设计、可靠性设计和数字化设计等。

3) 最后按照3A的检验原则，即根据经验和理论方法，通过试验及通过用户的信息反馈等，对产品设计质量进行检验与评估。

因此，应该对现代设计从两方面来理解：

一是从宏观角度，以科学发展观作指导，对产品的设计工作进行全面调研与规划，并严格地按系统的思想予以实施，还要严格地进行检验与评估。

二是从微观角度，即在具体实施过程中，采用各种单一的先进设计方法，如创新设计、概念设计、绿色设计、数字化设计、网络设计与并行设计等。

这就是现代设计的基本概念，如果孤立地考虑某一先进的设计方法在设计过程中所起的积极作用，而忽略宏观方面的全面、系统、协调的规划与安排，是不完整的。综合设计法在实施产品设计的过程中采用了功能优化设计、动态优化设计、智能优化设计、可视优化设计与特殊性能的优化设计等，同时在这个过程中，还要采用其他先进的设计方法，如稳健设计、网络设计、协同设计、并行设计、可靠性设计和数字化设计等，使这种设计方法更充分地体现科学发展观的指导思想和现代设计的理念。

1.3 数字化设计

数字化设计是当前最流行的一种现代化设计技术。本书所研究的可视优化设计法也属于数字化设计范畴，因此，在这里有必要对数字化设计做简要的介绍。

1.3.1 数字化设计提出的背景

进入 21 世纪以来，信息技术迅猛发展，全球经济的一体化和产业结构的大调整，从根本上改变了传统工业的发展模式，以标准化规模大生产为主要标志的传统工业正逐渐向小批量多样化现代化生产方式转变。同时信息技术的发展突破了时空的限制，利用全球资源，实现跨行业、跨地域、跨国界合作与集成的实例正在不断增多。可以说，以数字化和网络化为特征的信息产业革命在全球蓬勃兴起，并已成为推动人类文明进步的强大动力和武器，引发人类生产和生活的深刻变化^[4]。

面向机械产品的数字化设计正是在这样的背景下产生的。数字化设计的出现满足了新形势下产品设计的创新、快速响应、分析手段的集成化等方面需求。

(1) 产品创新需要数字化设计 创新是产品的灵魂。创新包括产品从概念设计到详细设计等设计过程各阶段的创新，随之也要求产品设计手段的更新。一个新系列的产品开发可能会承袭 80% 的老产品的成果，需要应用产品的领域设计知识和设计经验，也需要运用发明创造方法学等进行设计原理的创新，更需要综合运用人们已经积累的各种设计资源。数字化设计无论从内容和方法上都支持产品的创新，例如，网络技术用于产品设计资源的搜索，计算机辅助概念设计用于最佳方案的选择与设计等。

(2) 产品设计对市场的快速响应需要数字化设计 当前，各生产企业之间的竞争越来越激烈，而这个竞争的焦点在于哪个企业能够按照顾客的需求快速生产出高质量的产品，也就是说在当前这个市场环境下，要求企业能够对市场需求作快速响应。数字化设计的相关方法可以很好地支持企业完成快速设计。例如，虚拟样机技术能够在不制造或仅生产少量样机的前提下，使企业获得高质量的产

品；并行或协同设计技术能够使分散在不同地域的产品研发部分同时针对一种产品进行设计与制造，大大降低了研发周期。

(3) 设计分析手段的集成化需要数字化设计 产品设计是十分复杂的过程，需要综合运用设计绘图、分析和仿真、工艺设计和制造等知识和工具，涉及到产品开发过程的各个阶段^[5]。仅靠一种软件或技术已无法满足产品开发全过程需要。应用数字化设计技术平台可以有效地实现 CAD/CAE/CAPP/CAM/PDM/PLM 的集成，也能集成各种专业设计的应用程序、设计知识和经验，因此可以显著提高产品的设计质量。

1.3.2 数字化设计技术的含义及特点

数字化设计是一个具有高度概括性和内容广泛性的一个概念，是多种现代设计技术汇合在一起的总称。数字化设计技术涵盖了现代设计的最新技术，如反求技术、虚拟技术、智能化技术、知识工程技术和网络数据库支撑技术等（图 1-2），从而成为支持产品设计和制造系统创新设计的最有效和最重要的手段，有极广泛的发展前景。

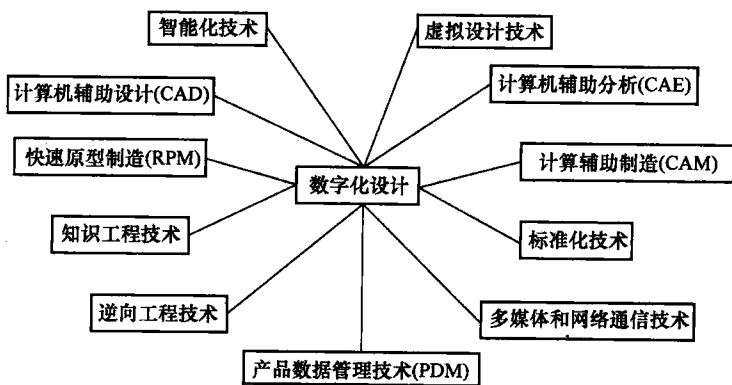


图 1-2 数字化设计包含内容

总的来讲，数字化设计技术是指将现代设计计算技术应用于产品的设计领域。因此，凡是在产品研发过程中，以计算机为主要工具进行产品设计的技术都可以称之为数字化设计。文献 [4] 对数字化设计技术做出如下定义：数字化设计技术是基于产品描述的数字化平台，建立基于计算机的数字化产品模型，并在产品开发全程采用，达到减少或避免使用实物模型的一种产品开发技术。这个定义强调两个内容：一是必须建立数字化模型；二是以数字化模型为中心进行产品研究达到避免使用实物模型。

从以上对数字化设计的描述可以看出，数字化设计技术具有以下三个特点：