



普通高等教育“十三五”规划教材·机械系列

THESE THESE ARE THESE THESE ARE THESE
THESE THESE ARE THESE THESE ARE THESE
THESE THESE ARE THESE THESE ARE THESE
THESE THESE ARE THESE THESE ARE THESE
THESE THESE ARE THESE THESE ARE THESE
THESE THESE ARE THESE THESE ARE THESE
THESE THESE ARE THESE THESE ARE THESE
THESE THESE ARE THESE THESE ARE THESE
THESE THESE ARE THESE THESE ARE THESE
THESE THESE ARE THESE THESE ARE THESE

主 编◎曹 岩 杜 江
副主编◎张小粉 王强锋 乔 虎
参 编◎刘 航

现代产品设计 理论及方法



北京师范大学出版集团
BEIJING NORMAL UNIVERSITY PUBLISHING GROUP
北京师范大学出版社



普通高等教育“十三五”规划教材·机械系列

主 编◎曹 岩 杜 江
副主编◎张小粉 王强锋 乔 虎
参 编◎刘 航

现代产品设计 理论及方法



北京师范大学出版集团
BEIJING NORMAL UNIVERSITY PUBLISHING GROUP
北京师范大学出版社

图书在版编目(CIP)数据

现代产品设计理论及方法/ 曹岩, 杜江主编. —北京: 北京师范大学出版社, 2018. 8
(普通高等教育“十三五”规划教材. 机械系列)
ISBN 978-7-303-23673-2

I. ①现… II. ①曹… ②杜… III. ①产品设计—高等学校—教材 IV. ①TB472

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2018)第 090485 号

营销中心电话 010-62978190 62979006
北师大出版社科技与经管分社 www.jswsbook.com
电子信箱 jswsbook@163.com

出版发行: 北京师范大学出版社 www.bnup.com
北京市海淀区新街口外大街 19 号
邮政编码: 100875

印刷: 保定市中华美凯印刷有限公司
经销: 全国新华书店
开本: 787 mm×1092 mm 1/16
印张: 19.75
字数: 422 千字
版次: 2018 年 8 月第 1 版
印次: 2018 年 8 月第 1 次印刷
定 价: 49.80 元

策划编辑: 雷晓玲 责任编辑: 雷晓玲
美术编辑: 刘 超 装帧设计: 刘 超
责任校对: 赵非非 黄 华 责任印制: 赵非非

版权所有 侵权必究

反盗版、侵权举报电话: 010-62978190
北京读者服务部电话: 010-62979006-8021
外埠邮购电话: 010-62978190
本书如有印装质量问题, 请与印制管理部联系调换。
印制管理部电话: 010-62979006-8006

前言

“现代设计方法”作为一门介绍现代产品设计原则、理念和方法的课程目前已成为国内大多数院校机械设计制造及其自动化专业的一门必修骨干专业课程。针对“现代设计方法”这门课程的教学要求和目标，结合作者多年从事该课程教学的经验，本书以现代产品设计理念和技能的培养为目标进行了全书内容的组织。针对当前知识经济时代背景下现代产品研发所呈现的“系统化、集成化、智能化、多元化、网络化、离散化、绿色化”的特征，本书以建立关于现代产品设计的正确认知为目标首先介绍了现代产品设计相关的基本概念、理论和思想。进而依托人类产品设计活动和技术的发展演变历程，详细阐述了以“优化设计、可靠性设计、创新设计、人机工学设计、并行设计、协同设计、绿色设计、虚拟设计、智能设计”等为代表的现代产品设计的主流实现技术、方法。针对现代产品设计研发的实际情况及其对产品设计人员的素质要求，通过对各种产品设计方法的思维模式及其对应所隐含的设计理念及其应用条件的分析、总结，可以更好凸显各设计方法实现设计问题求解的初衷、价值导向和求解机理。这对于产品研发技术人员素质的培养意义明显。

相对于同类已有图书教材，该书在理论和方法层次的内容均更加全面，不仅重点突出，而且贴近实际。全书结合人类生产方式的发展演变，在分章节详细介绍主流产品设计理论和方法的同时，其章节内容的设计和安排次序与人类生产活动推动下产品设计理念以及产品设计技术发展演变的历程相吻合，这不仅可以依托人类工业化的步伐为读者展现产品设计活动的发展演变历程和特点，而且可以从人类设计活动的行为学、方法学层次更好地为读者阐释现代产品设计的核心目标和实现机理。

针对中国制造 2025 战略所提出的“创新驱动、质量为先、绿色发展、结构优化、人才为本”的发展思路，在国家以创新推动工业化进一步升级的战略下，《现代产品设计理论及方法》一书面对“产品设计”这一人类工业生产源头环节所选取、介绍的内容非常符合我国制造企业对机械工程领域创新型工程技术人才特别是设计人才的培养需求。本书可作为高等院校机械设计制造及其自动化专业的教材，也可作为高等职业学校、高等专科学校、成人高校相关专业的教材，还可供从事机电产品设计、制造研究、应用的相关技术人员和工程管理人员学习或参考。

本书由西安工业大学曹岩、杜江担任主编，咸阳职业技术学院张小粉担任副主编。第1~3章由杜江编写；第4~6章由西安工业大学王强锋编写；第7章由曹岩编写；第8、9章由张小粉编写；第10~12章由西安工业大学乔虎编写。刘航参与了第3章的编写工作。全书由杜江负责统稿。

由于编者水平所限，书中不妥之处在所难免，恳请广大读者批评指正。

编 者

2018年6月

目 录

第 1 章 现代产品设计理论方法概述	1
1.1 产品设计的概念	1
1.2 产品设计技术的发展现状	3
1.3 现代产品设计的基本内容和过程	8
1.4 现代产品设计的内涵	10
1.5 现代产品设计的理论、方法体系	13
习题和思考	15
第 2 章 现代产品设计的基础认知和理论	16
2.1 现代产品的概念和内涵	16
2.2 现代产品的构成	18
2.3 现代产品设计的客观要求和目标	19
2.4 现代产品设计的影响因素	21
2.5 现代产品设计的社会、经济价值	38
2.6 现代产品设计的理念和基本原则	41
2.7 现代产品设计的工作内容	46
2.8 现代产品设计的实现过程	56
2.9 现代产品设计的工作模式	58
习题和思考	60
第 3 章 现代产品设计实现方法和机理	61
3.1 现代产品设计的来源和起点	61
3.2 产品设计活动的类型和特点	62
3.3 现代设计方法学	64
3.4 产品设计的思维模式 and 特点	70
3.5 设计问题求解模式和方法	78
3.6 产品设计的评价和决策方法	82
习题和思考	90

第 4 章 计算机辅助设计	91
4.1 CAD 的概念	91
4.2 CAD 系统的构成和主要功能	94
4.3 计算机辅助设计的关键理论、技术	98
4.4 主流 CAD 系统及其优势和特点	102
4.5 CAD 技术的研究、发展现状和趋势	104
习题和思考	108
第 5 章 优化设计	109
5.1 优化设计的概念	109
5.2 优化设计的数学基础和模型	109
5.3 优化设计的类型	117
5.4 优化设计的方法及其特点和应用场合	119
5.5 一维优化方法	122
5.6 多维优化—无约束优化方法	127
5.7 多维优化—约束优化方法	134
5.8 优化设计的发展现状和趋势	143
习题和思考	147
第 6 章 可靠性设计	148
6.1 可靠性设计概念、特点及应用场合	148
6.2 可靠性设计的数学理论和方法	151
6.3 产品可靠性评价的技术指标和度量方法	156
6.4 产品可靠性设计模型	159
6.5 产品可靠性设计	169
习题和思考	176
第 7 章 创新设计	178
7.1 创新设计的概念	178
7.2 设计创新的对象、目标和工作原则	179
7.3 创新设计的理论、原则和思维模式	180
7.4 创新设计方法	189
习题和思考	193
第 8 章 人机工程学设计	194
8.1 人机工程学设计的概念	194

8.2	人机工程学设计的原则和目标	194
8.3	人机工程学设计的研究内容	197
8.4	人机工程学设计的关键问题	199
8.5	人机工程学设计的常用方法	217
	习题和思考	219
第9章	并行设计	220
9.1	并行设计的概念、原则和目标	220
9.2	产品设计的并行工程思想和理论	222
9.3	并行设计的关键技术	228
9.4	并行设计的工作模式和环境要求	230
	习题和思考	231
第10章	虚拟设计	232
10.1	虚拟设计概述	232
10.2	虚拟设计基础技术	234
10.3	虚拟设计系统的体系结构	261
10.4	虚拟设计的优势特点	263
10.5	虚拟产品研发	265
	习题和思考	268
第11章	绿色设计	269
11.1	绿色设计的形成背景	269
11.2	绿色设计的概念、目标和原则	272
11.3	绿色设计的内容、关键问题和技术	276
11.4	绿色设计的实现方法	279
	习题和思考	286
第12章	智能设计	287
12.1	智能设计概念和起源	287
12.2	智能设计的特点和目标	290
12.3	智能设计的研究内容和层次	292
12.4	智能设计的研究方法和关键技术	293
12.5	典型智能设计系统	296
	习题和思考	300
	参考文献	301

第1章 现代产品设计理论方法概述

1.1 产品设计的概念

设计作为人类所特有的一种活动，在以造物改变外部世界而提升自身生产生活质量 and 水平的初衷下，已经伴随人类社会的发展持续了数千年。它在为人类创造物质和精神、文化财富的同时也对人类社会的进步以及时代的发展产生了良好的促进作用，并且其本身也在伴随人类生产能力的不断提升和社会的发展进步处于持续的发展演变之中。纵观人类工业生产的历程，伴随生产活动的不断开展以及生产水平在科学技术发展推动之下的不断提高，人类设计活动的开展方式、方法等都在不断地发展演变之中。与之对应，人类针对自身设计活动在概念上的认知也在不断地发展演进。这就意味着产品设计在概念上具有与其他普通的概念名词所不同的时代性、演化性特征。产品设计的内涵和定义会随着社会的进步、时代的发展、生产能力的提高发生演变。因此对于产品设计概念的认识和理解应打破传统认知思想和观念的束缚，基于发展的眼光动态地加以看待，进行认知。

在我国古代关于科学技术与设计制作的经典文献《考工记》中，最早将造物、创物作为设计的概念加以解释。19世纪前，西方用设计来区分实用美术与绘画。第一次工业革命前，当时的生产力水平决定了手工艺人们只能依靠手工劳动来完成对器物的制作和实现，与之对应，人们将“设计”理解为附属于手工生产的手工制作技术与装饰技巧。

第一次工业革命后，随着手工生产方式被机械化大批量生产方式所替代，设计活动从手工艺阶段进入批量化大生产阶段，在新的生产方式下，设计逐渐演变成一种独立的技术活动，其概念也演变成为实现可满足人的实际需求并可批量化生产的机械设备和工具而对应所开展的以产品功能及其实现结构为导向的图纸设计。

第二次工业革命后，伴随以“法拉第定律”为代表的人类科学技术和理论的发展以及发电机、内燃机等产品的发明和推广应用，人类社会进入电气化时代。人类工业生产的领域和技术都得到了显著的发展、扩充。与之对应，综合利用机、材、电等多学科的技术理论来解决人类生产生活中的实际问题成为开展产品设计活动所共同遵循的基本思想和原则。在此认知下，设计的领域得到了显著的扩展，设计对象不再仅仅局限于传统工业生产领域的设备、设施和工具层面，更多可直接服务于人类自身并提高其生活品质的物品成为设计的主要目标和对象。在此形势之下，通过对其他领域理论和技术方法的综合应用，设计便进一步发展演化成一门交叉性的综合学科，并面向不同应用领域形成了诸如机械设计、建筑设计、包装设计、工艺美术设计等一系列不同的内容。针对这种情况，德国乌尔姆高等造型学校校长马尔多纳多对传统设计的概念进行了提升，提出设计不应是“工业生产的一个方面”，而是一种旨

在确立工业产品的功能、结构及其形式属性和外部特征的独立的创造性活动。此概念的提出标志着人类对产品设计的认知开始从传统的生产者所主导的技术活动转变为生产者和用户所共同参与的一种以研发、创造新产品为特征的创新活动。这一概念也从基本特征层次奠定了现代产品设计的内涵。

从上述有关产品设计的概念和定义可以看出,它们基本都是围绕人类设计活动的目标和特征所形成的。对产品设计从实施开展过程层面得以良好运作的本质属性缺乏准确的定义和认知。这种情况一直持续到20世纪末才得到改变。1998年5月在德国举行了国际上第一次通用设计理论讨论会,与会学者针对产品设计所形成的主流观点认为,设计是从需求出发寻求设计解(产品)的过程。这就从设计活动实施开展过程层面针对产品设计形成了新的定义。此定义在基于传统理念从设计活动的“起因”和“结果”层面明确定义现代产品设计的来源和目标这两个本质属性的同时,进一步将产品设计明确定义为从需求(设计来源)到产品(设计目标)的寻解过程。显然该寻解过程在本质上是设计活动作用下的产品信息与设计数据和知识的相互演化过程。寻解过程这一概念虽然没有明确从产品信息和设计信息的处理演化角度对产品设计的概念加以直接的定义和解释,但它为从信息处理演化角度进行产品设计这一概念的定义形成了良好的开端。

伴随第三次工业革命的开展,在以计算机技术、网络技术、信息技术、新能源技术等为代表的高新技术的支持下,人类的产品设计活动日益呈现出“自动化、数字化、网络化、虚拟化、智能化”的特点。在此背景下,人们开始意识到产品设计的本质是按设计目标和要求进行产品信息的加工处理。

20世纪末至今,伴随第三次工业革命在全球范围的深入开展以及经济全球化程度的提高,人类进入了知识经济时代。产品为用户所能提供的服务成为市场竞争的焦点,竞争在全球范围内开展,且变得日益激烈。用户对产品要求日益个性化、多样化,产品不再仅仅局限于具有一定物质形态的物品范畴。伴随越来越多的以软件为代表的没有明确物质形态的产品的出现,产品所提供的服务成为其在实际中得以存在的核心前提。这就进一步导致产品设计创新的空间扩大,创新的要求越来越高,同时产品的复杂程度越来越大,涉及的技术和科学领域也越来越广泛。与之对应,产品设计需要依赖更多的学科、领域知识和信息资源才能正常开展。在此形势下,基于知识工程理论对产品设计进行再认知成为共识^[1]。与之对应,对产品设计的认知就进一步演变为以设计知识的“获取、挖掘、积累、重用”为核心的创新活动。产品设计的概念核心也转变为在创造性重用已有产品设计知识、技术和信息资源基础上而实现的信息增值、知识提升及其物化。

综上所述,可知产品设计的概念是伴随着人类社会的发展和科技的进步一直在不断地发展和演变。其内涵伴随人类自身改造外部客观世界活动的不断深入开展也在不断扩充和拓展。产品设计不仅反映着一个时代的经济、技术和文化特征,而且伴随人类科技发展和社会的进步,产品设计的概念还会进一步发展和演变^[2]。因此,对于产品设计概念的学习应该打破传统认知理论和思想的束缚,对其动态地加以认识和理解。产品设计的概念和内涵要基于发展的眼光来加以看待和理解,在掌握其基本特征和含义的同时树立起不断再学习的认知意识。就现阶段来说,针对产品设计的概念可以从如下几个层面树立对现代产品设计基本特征及含义的正确认识和理解。

- (1) 产品设计是按需求解对应产品实现方案的信息处理过程。
 - (2) 产品设计是以提升人类生产、生活的质量和水准为目标而开展的具备革新、创造特征的持续性技术活动，具有“实用性、欣赏性、文化性、创造性、科学性、社会性”的内涵。
 - (3) 产品设计应从人的生产生活需求出发，构建出可使生产生活需求得到满足且符合当前时代特征并可基于现有生产技术得以有效实现的产品实现方案。
 - (4) 产品设计应通过线条、符号、数字、色彩等方式的组合把所设计产品的最终结构、外观和形状及其所具有的优势、特点等属性以规范、标准的形式展现出来，以便于基于设计结果实现与用户和相关技术人员的即时交流和沟通，提高产品设计的效率和质量。
- 产品设计概念的发展演化是对人类设计活动不断发展进步的抽象表现，这也是人类社会进步、发展的一种标志。可以预见，随着人类社会的发展及其认识世界、改造世界能力的不断提高，对于产品设计的概念将会有更加科学的界定。

1.2 产品设计技术的发展现状

1.2.1 产品设计技术发展历程

从产品设计的概念可知，其与人类社会和科学技术的发展进步有着密切的关系，伴随人类科技和社会的发展，产品设计技术的发展总体上经历了如图 1-1 所示的 6 个阶段^[3]。

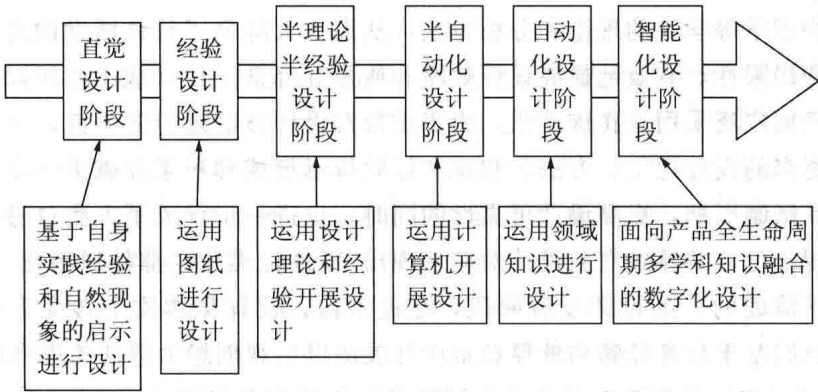


图 1-1 产品设计技术的发展演变历程

在直觉设计阶段，人类的设计活动是一种基于自身对外界的感官体验而形成的直觉设计。例如，古代的工匠观察到的木头能漂浮在水上不下沉的自然现象，根据所得到的经验而设计建造出木船，这就是直觉设计的典型案例。在该阶段，设计者多为具有丰富经验的手工艺者，设计完全是依据人对外界直观感觉所形成的认知和经验加以提出和形成的。设计、制造也是一个一体化的过程，彼此没有区分。设计方案仅存在于手工艺人的头脑之中。由于无法记录表达，所以也不能实现与他人的交流和沟通，只能通过类似对徒弟言传身教的方式实现对设计方法和经验的积累。因此在该阶段所设计的产品都很简单，产品的问世周期也很长。直觉设计阶段在人类历史中经历了一个很长的时期，17 世纪以前基本都属于这一阶段。

随着人类生产能力的发展提高，产品逐渐复杂起来，人类对产品的需求量也开始增大。

在此形势下,工匠们仅仅凭借自身的经验或其头脑中的构思已很难满足实际的要求。这就促使原本单独开展设计制造工作的手工艺人们必须联合起来,开展互相协作。为了能够实现协作,就逐渐出现了可以表达设计构思的图纸。这就标志着人类开始进入利用图纸进行产品设计的经验设计阶段。一部分经验丰富的工匠将自己的经验或构思用图纸表达出来,然后根据图纸通过与他人的协作来组织对应的产品生产,这就大大提高了设计制造的效率。图纸的出现,可使具有丰富经验的手工艺人通过图纸将其设计经验或构思记录下示于他人,从而便于用图纸对产品进行分析、改进和提高设计的质量,还可以使得更多的人能够同时参加一个产品的设计制造活动,提高产品的设计、制造效率,满足社会对于产品的需求。因此,通过利用图纸进行设计,使得原本隐含在人头脑中的设计方法、经验和思想等知识能够以被记载和流传共享的方式加以记录和展现,从而使得基于已有设计经验和成果来高效开展后续的产品设计工作成为可能。这也是人类设计活动由自发设计进入到经验设计阶段的一个显著转变和特征。

20 世纪初以来,随着对诸如“材料应力应变、摩擦磨损理论、零件失效与寿命”等设计基础理论和各种专业产品设计机理的研究,在形成了包含大量设计数据的图表(图册)和设计手册等设计资料和资源的同时,由于试验技术与测试手段的迅速发展和应用,人们把对产品采用局部试验、模拟试验等作为设计辅助手段来开展产品设计,特别是关键零件的设计研究。这在大大提高了设计速度和成功率的同时,也导致人类的产品设计活动进入到运用设计理论和实验开展设计的半理论半经验设计阶段。该阶段设计活动的特点是依托设计理论和实验开展产品设计工作,与经验设计阶段相比,由于重视了设计理论和方法的研究,并较多地应用了近代数学、物理学等学科的理论和分析方法,从而大大降低了设计活动的主观性,减少了设计的盲目性和局限性,有效地提高设计效率和质量并降低了设计成本。所以至今,这种设计理念和模式仍被广泛采用。在该阶段,由于重视对设计方法理论的研究,人类通过自身的设计活动使得更多的设计理论、方法、知识和经验得以形成和积累并被进一步深入应用。这在有效缩短产品试制周期,提高设计可靠性的同时,也进一步促成了人类自身设计行为和活动的理性化、规范化,并导致产品设计对应呈现出“零件标准化、部件通用化、产品系列化”的特点。相对于前面的产品设计发展阶段,在此阶段,设计从本质上转变为一种技术性工作,不再是工匠们基于自身经验和外界启示所开展的以主观创想为特征的思维活动了。

20 世纪中叶以来,伴随微电子技术得到了进一步的发展和广泛的应用,对计算机的应用开始深入到社会各个领域。在此形势下,产品设计领域通过运用计算机来辅助人完成设计绘图工作引发了 CAD 技术的出现,形成了 CAD 技术的概念雏形,这就标志着产品设计进入到计算机辅助设计时代。计算机所具有的“大容量记忆、逻辑思维能力以及运算精度高、速度快、自动化”的特点,使原本基于人无法完成的大规模分析计算等复杂设计活动可以通过计算机快速准确自动完成。这在激发人类不断用 CAD 技术来解决产品设计问题的同时,也促使了 CAD 技术在产品设计领域的快速应用普及和迅速发展。与之对应,人类的设计技术也就进入了半自动化设计阶段。在该阶段,通过计算机,产品设计过程中以“计算、绘图和建模”等为代表的众多在方法上具有重复性特征的设计活动都可以基于 CAD 系统按初始的设计要求和目标通过计算机来辅助设计人员自动地完成。

计算机在产品设计中的成功应用在使 CAD 技术得到快速普及推广应用的同时,也使

CAD 技术得到了快速的发展。从 1965 年 CAD 技术诞生起, CAD 技术已经经历了 5 次技术革命。目前, 通过对计算机图形学技术、计算机图像学技术、网络技术等新技术的不断深入研究和应用, 最新一代的 CAD 系统已经从早期的仅支持二维绘图发展为可基于虚拟现实技术实现变量化的三维同步建模。CAD 技术的发展使得计算机的设计能力不断提升。不管是传统上需要由一个设计人员来独立完成的设计工作, 还是需要由多人设计团队协作完成的设计工作均可以基于 CAD 系统以计算机为工具加以高效、准确地完成。在 CAD 技术不断深入发展和 CAD 系统普及应用的形势下, 计算机在产品开发过程中的应用得到不断深入并进一步面向产品开发全过程的各个阶段演化发展出了 CAPP、CAM、CIM、PDM 等一系列基于计算机所开展的其他计算机辅助产品研发和管理技术以及对应的计算机辅助系统。在这些技术和系统的支持下, 产品研发过程中所动态生成的“设计、工艺、制造”等产品信息可以基于计算机实现无缝的信息集成和实时的信息交流及共享。产品研发过程通过计算机连接为一个整体, 产品的设计、制造等活动不再独立开展而是相互影响、相互关联。设计活动所需要考虑的要求和目标延拓并涵盖了产品研发的全过程, 产品设计如果仅仅凭借设计人员基于自身的知识和经验将无法得到高效准确的实施开展。在此形势下, 在产品设计领域就对应研究形成了可利用领域知识开展设计活动的专家系统。与之对应, 产品设计技术就发展进入到自动化设计阶段。在该阶段以专家系统为代表的最新设计技术的支持下, 通过计算机, 不仅可以实现设计、工艺和制造等多学科领域技术人员的协同工作, 并凭借 CAD、CAM 等系统自动化地完成设计、制造等产品研发的相关技术活动, 而且通过专家系统可以综合利用多学科的领域知识来开展产品设计问题的求解, 并面向产品开发全过程的各种需求自动化地形成设计问题的全局最优解决方案。

21 世纪以来, 伴随经济全球化的不断深入以及计算机技术、有线和无线网络通信等技术在人类日常生活领域中的广泛普及和不断深入应用, 人类的工业生产在信息技术不断发展应用所引发的信息爆炸的社会时代背景下进入了知识经济时代。产品设计在“创新、绿色环保、人文、用户化”等不断涌现的一系列新设计理念和原则的作用下变得日益复杂。产品设计在自身工程技术问题的背景上进一步演化出一些全新的社会和文化属性。产品设计在原有内涵的基础上还需要额外面向产品的全生命周期从产品的社会属性、经济属性等角度考虑一些其他的设计因素。在此形势下, 产品的创新以及对用户和市场最新需求的动态识别和主动引导成为全球企业的竞争焦点以及决定企业能否在全球化激烈市场竞争中得以生存的根本依据和保障。在此形势下, 出现了智能产品的概念。这就标志着产品设计技术的发展进入了智能化设计阶段。在智能设计的概念下, 产品不仅可以由用户按需进行自身功能和行为的设置, 而且可以自动依据自身所处环境的变化以符合用户预期和意愿的方式进行自身功能和行为的调整。产品智能的含义就在于对外界的主动感知和自身的自动调整。因此, 产品所对应的功能、结构、外观、形态、材质、运动、操控原理和方式、视觉和听觉、人机交互沟通、信息的主动获取、分析和推理、行为控制等问题都需要在设计时加以一并考虑。设计工作的开展显然需要运用多学科的领域知识来解决诸如设计过程的再认识、设计知识表示、多专家系统协同技术、再设计与自学习机制、多种推理机制的综合应用、智能化人机接口等问题。这显然需要通过对知识工程领域相关的人工智能、遗传算法、知识的建模和管理等技术的应用并通过更加集成化和微型化且能够进行自主运算的计算机来加以解决。因此, 在智能设计

阶段,产品设计不仅要考虑技术领域的问题,还要考虑经济、社会效益、生态环境、用户行为和心理等问题,不仅要考虑当前,还需考虑产品未来的发展。例如,对于汽车的设计,不仅要考虑汽车本身的有关技术问题,还需考虑使用者的安全、舒适、操作方便、使用维护成本等人机功效特性和经济问题。此外,还需考虑汽车的节能、环保以及车辆存放、道路发展、报废和回收等社会问题。总之,在智能设计阶段,产品设计需要把自然科学、社会科学、信息科学、人类工程学以及各种艺术手段、设计方法学等不同学科的方法和理论连同设计人员的实际经验和聪明才智融合在一起,通过对知识的深度融合来智能化地解决产品的设计问题。

1.2.2 产品设计技术发展趋势

纵观产品设计技术的发展历程,可以看出伴随人类社会的发展进步,在以“自动化技术、计算机技术、信息技术”等一系列不断涌现的新技术的推动下,产品设计也必然会伴随人类认知水平和生产能力的不断提高和进步继续发展演化出更加先进的设计技术和理念。就目前来看,在通过对多学科知识的融合而开展产品设计的总体认识下,人们对未来的产品将会在信息化、网络化、智能化、个性化、生态化、微型化、集成化、模块化、人文化等方面存在更高和更全面的要求,这势必会进一步引发产品设计技术向着更加智能化、网络化、知识化、数字化、虚拟化、人性化、创新、集成化、分布化、协同化、全球化、可定制化的方向发展和演变。在这样的发展趋势下,产品设计技术进一步研究和发展方向主要体现在如下一些方面^[4]。

(1)基于知识的智能设计技术。在知识经济时代,基于知识的产品设计理论和方法尤其是网络环境下的设计知识识别、获取和重用将是未来产品设计的重要策略。在智能设计的目标下,需要进一步深入研究的内容主要包括以下几个方面。

- ①集成设计过程知识和设计对象知识的产品全生命周期设计知识模型。
- ②支持异地异类异构知识交流、融合、重组和重用的设计知识供应理论方法。
- ③智能化设计工具的建构理论和方法——研究分布环境下针对设计过程、设计方法、设计对象进行知识库构建以及对应的知识管理和知识应用的工具。
- ④网络环境下产品协同设计制造过程中设计知识、启发知识等非规范知识处理的基础理论和关键技术——针对非规范知识的描述方法和推理求解问题综合运用粗糙集、模糊集、随机集以及进化理论加以研究。
- ⑤设计知识的重用理论和方法——研究基于重用性的设计知识分类、设计知识相似性的判定标准和重用机理,产品设计知识的可重用性分析和提高措施。

(2)基于资源节约的设计理论与方法。针对全球日益突出的环境保护问题,研究面向产品全生命周期进行资源消耗分析、预测、评判和控制的设计理论和方法也是未来产品设计的重要依据。在绿色环保和可持续发展的目标下,从产品设计角度需要进一步深入研究的问题主要包括以下几个方面。

- ①面向全生命周期的产品资源消耗模型和控制模型。
- ②面向全生命周期的产品资源节约设计策略。
- ③基于计算机的产品资源综合分析和优化设计方法。

(3)计算机辅助的产品创新设计原理与实施技术。在基于知识开展产品设计的时代背景下,创新设计在本质上也转变为以知识处理为核心的一个推理过程。通过对计算机支持的产品创新设计过程和方法的研究,可以有效提高产品创新设计的主动性和科学性。其相关需要进一步研究的内容包括以下几个方面。

- ①创新问题求解的理论和方法。
- ②进化设计理论和方法。
- ③基于认知科学的创新设计理论模型。
- ④人机协同的概念设计方法。
- ⑤支持产品创新的反求设计方法。
- ⑥创新设计对象智能建模和智能求解过程模型及其智能评价和决策模型。

(4)基于分布式智力资源集成的异地协同设计技术与工具。针对信息化环境下产品开发过程中设计活动跨学科领域分工协作,异地开展对设计数据、资源和知识的共享需求,研究可自动支持和实现设计数据和资源异地同步共享和集成的设计技术也是产品设计技术发展的必然趋势。与其相关需要进一步研究的内容主要包括以下几个方面。

- ①分布网络环境下的设计需求的定义与建模。
- ②基于 Web 的产品数据管理、产品设计数据的交换和推送技术。
- ③异地设计、协同设计环境下的产品开发过程模型、信息集成模型。
- ④支持异地协同的设计系统体系结构及支撑工具。
- ⑤基于 Web 异地设计资源环境下的虚拟集成设计技术。

(5)基于虚拟原型的虚拟设计技术。针对知识经济背景下快速变化的市场和用户需求,基于虚拟样机开展产品设计也是产品设计技术的一个必然发展趋势。数字样机作为所研发产品的虚拟原型所具有的“数字化、集成化、智能化、并行化、可视化和良好的交互性”特征可以有效促进企业按需快速完成产品设计,提升产品研发的效率和质量。与其相关需要进一步的研究内容主要包括以下几个方面。

- ①虚拟原型建模、产品开发过程的数字化建模和仿真。
- ②基于虚拟现实技术的产品仿真技术。
- ③CAE 和仿真软件。
- ④分布仿真系统和智能仿真系统。

(6)面向大型复杂装备的综合动态优化设计技术。航空、航天、军工等领域的大型复杂装备产品的设计制造水平是反映一个国家制造实力和综合国力的关键因素,这显然需要更加先进的设计技术来加以保证。与之对应,在该领域需要进一步深入研究的内容主要包括以下几个方面。

- ①设计的多学科协同、多变量耦合、非线性特征等问题。
- ②机械零部件和整机机构参数化、全相关动态优化设计理论。
- ③复杂结构 CAD 和 CAE 建模及综合优化设计技术。
- ④复杂结构非线性系统动态优化设计。
- ⑤复杂结构力、热、声耦合建模与分析方法。
- ⑥大型复杂结构在极端环境下的结构的建模、分析和优化方法。

⑦基于 BP 神经网络的结构动态优化方法。

⑧基于 Web 技术的结构 CAD/CAE 信息集成的动态优化设计技术。

(7)微机电产品的设计技术。相对于大型的设备,微机电产品则具有更加广阔的应用市场,因与其相关的技术在众多领域都是最新的,所以基于对微机电产品的设计可以催生造就新兴的产业。

(8)基于知识网络的产品设计技术。在网络数据资源和知识资源日益丰富的大数据时代背景下,如何统一、规范、有效地管理各种设计资源成为现代产品设计所面临的一个亟待解决的关键问题。知识网络是建立在下一代 Web 技术基础之上的管理产品设计信息、知识和服务资源并提供有效共享的平台,是一种智能互联的设计工作环境,基于它能使产品设计人员有效地获取、发布、共享和管理知识资源,对知识创新、协同工作、问题的求解和决策提供支持。在此领域需要进一步研究的问题主要包括以下几个方面。

①资源的规范组织模型研究,资源空间模型包括资源抽象、资源划分和规范、资源操作、资源视图。

②资源的智能聚合问题,解决如何使资源能够互相理解,根据用户的需求有效、动态、智能地聚合各种资源。

③支持分布式团队成员之间知识级协作的知识网络模型和方法。

从上述产品设计技术进一步研究的内容和发展的方向可以明显看出,以设计智能化的产品为目标,以不断设计创新并引领用户和市场需求为导向,以多学科知识的融合和准确重用为理念,以跨学科领域的协同工作为模式,以面向产品生命周期全过程的信息集成为特征的设计技术必然是现代产品设计技术进一步发展的总体趋势和方向。

1.3 现代产品设计的基本内容和过程

伴随以信息技术为代表的人类科技的发展以及在科学技术发展推动下生产生活水平的不断提高,产品的概念和内涵都发生了巨大的改变,依据产品概念以及产品设计技术的发展演化,在绿色化、个性化、集成化和智能化等先进设计理念的作用下,产品设计的内容必然会涵盖产品的全生命周期,其相关的具体设计工作内容和基本设计过程如图 1-2 所示。

产品设计过程在逻辑上体现为概念设计、功能设计、方案设计、详细设计 4 个按顺序开展的阶段。在概念设计阶段,通过对用户和市场需求的调研、分析和识别来完成产品概念的创建和定义。该阶段是整个产品设计过程中最富创造力的阶段。需要设计人员针对用户、市场的最新需求,通过分析、对比、联想等一系列创造性的思维活动,不仅要满足用户和市场需求角度提出建立可被准确表达和理解的产品概念,而且还要进一步针对所提出的产品概念从其对应产品所具有的外观形态、功能、行为等角度面向用户给出产品的功能属性、操控特点等所设计产品在整体上的基本性能特征和属性信息,以便用户可以依据自身需求实现对所提出产品概念的准确评价,使设计人员可以基于用户的反馈实现对所设计产品概念的进一步完善和修正,为产品设计明确最终的目标。由此可见,用户和市场需求的识别以及对应产品概念的创建是该阶段设计工作的主要内容。显然,这一内容对产品设计的影响至关重要。

一方面，它从本质上决定着产品设计的成败。因为在当今时代，产品所服务的用户是其得以存在的客观前提，没有用户的产品即使其理念和技术再先进也必然遭到淘汰。而另一方面，它还从最高层次上影响并决定着产品设计的创新性。因为通过对用户需求的分析和识别，不仅可以从对用户需求满足的不全面性、不准确性的角度，通过对已有产品升级换代空间的发现，为产品设计的创新提供良好支持，而且可以进一步发现隐含的或全新的用户需求，并以其为导向提出对应的产品概念，从而形成最高层次的产品设计创新。

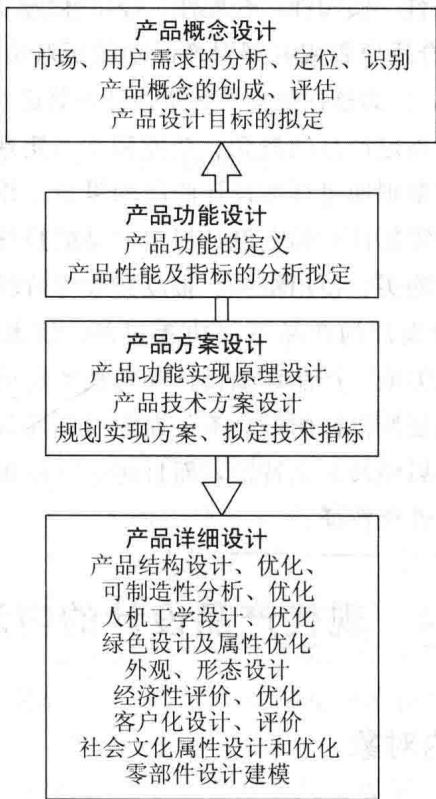


图 1-2 产品设计基本过程和内容

相对于概念设计阶段，功能设计阶段的主要工作是针对概念设计阶段所确立的产品整体功能、行为属性和特征，实现对产品功能的准确分析和拆解，把概念设计阶段所提出的产品概念中在整体上所定义的产品功能，落实转化为基于当前技术条件得以良好实现的一系列相互关联的确定子功能及其各自所对应的性能指标，为后续进一步设计、拟定产品功能实现的技术方案提供设计依据和目标。很明显，该阶段的设计工作内容就是从产品功能的构成形式和关联关系上为所设计的产品确定其功能的具体实现途径和方案。基于该阶段的设计工作可以从功能构成的角度形成关于所设计产品的实现方案。显然，该设计内容对产品设计的质量和创新性也有很大影响。因为在相同的总体功能下，通过不同的子功能整合可形成不同的产品功能实现途径和方案，其彼此之间在功能实现的便捷性、技术的可靠性、用户的使用方式等方面必然存在着优劣的差别，而由此所引发的产品在功能、技术等方面的创新也必然有高低之分。实际中应注重面向产品所针对的用户及其需求，按贴切、完备的原则来开展对应的设计工作。