

闻邦椿 © 著

# 产品设计方法学

——兼论产品的顶层设计与系统化设计



机械工业出版社  
CHINA MACHINE PRESS



# 产品设计方法学

## ——兼论产品的顶层设计与系统化设计

闻邦椿 著

机械工业出版社

本书研究产品设计方法学的基本问题,讨论产品设计的基本理论和方法,从方法学的角度研究了产品设计中的关键问题和核心内容。讨论了产品设计除五项要素 QCTES 外,还应考虑正确的指导思想 I 这一要素,以及产品设计的四个主要阶段:调研阶段、规划阶段、实施阶段和检验阶段。产品调研阶段包括 3I 调研,即用户需求调研、产品环境调研和产品风险调研;产品的规划阶段包括七个方面的内容,即产品的设计目标、设计思想、设计环境、设计内容、设计流程、设计方法和设计质量检验;产品设计的实施阶段包括了功能设计、面向产品结构性能、使用性能和制造性能的设计等;产品设计质量的检验阶段包括用理论方法、经验方法、专家系统、试验方法和用户使用信息反馈等方法进行检验。书中给出了产品顶层设计和系统化设计的基本框架。

本书可供主管产品研究与开发及设计的领导及从事产品设计的科技工作者阅读,也可供科研机关的科技人员及大专院校的师生阅读和参考。

## 图书在版编目(CIP)数据

产品设计方法学:兼论产品的顶层设计与系统化设计/闻邦椿著 —北京:机械工业出版社,2011 12

ISBN 978-7-111-36310-1

I ①产… II ①闻… III. ①产品设计 IV ①TB472

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2011)第 223427 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:李建秀

版式设计:霍永明 责任校对:张媛

责任印制:乔宇

三河市国英印务有限公司印刷

2012 年 1 月第 1 版第 1 次印刷

169mm×239mm·20.5 印张·417 千字

0 001—3000 册

标准书号:ISBN 978-7-111-36310-1

定价:58.00 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

策划编辑:(010) 88379778

社服务中心:(010) 88361066 网络服务

销售一部:(010) 68326294 门户网:<http://www.cmpbook.com>

销售二部:(010) 88379649 教材网:<http://www.cmpedu.com>

读者购书热线:(010) 88379203 封面无防伪标均为盗版

## 作者简介

闻邦椿，原籍浙江温岭，1930年9月生于浙江省杭州市。1943~1946年就读于浙江省温岭县授智初级中学（现为新河中学），1946~1949年于浙江省立台州中学高中部学习，1949年10月参加中国人民解放军，1950年12月因病复员，1951年夏考入东北工学院机械系，1955年本科毕业后在前苏联专家格·依·索苏诺夫教授的指导下从事研究生的学习与研究工作，1957年研究生毕业后留校任教至今。



作者现为东北大学教授，博士生导师，东北大学机械设计及理论研究所名誉所长，东北大学“重大机械装备设计与制造关键共性技术创新平台”985工程建设的首席教授。1991年当选为中国科学院院士。现任国际转子动力学技术委员会委员、国际机器理论与机构学联合会中国委员会委员。曾任东北工学院机械二系主任，国务院学位委员会第二、三、四届学科评议组成员，国家自然科学基金、国家发明奖、国家科技进步奖评审委员会委员，国家“长江学者”奖励委员会评审组成员，国家自然科学基金评审组成员，第六、七、八、九届全国政协委员，中国振动工程学会理事长，《振动工程学报》主编，《机械工程学报》、《非线性动力学报》等八种杂志编委，上海交通大学“振动、冲击、噪声”国家重点实验室学术委员会主任，大连理工大学“工程装备结构分析”国家重点实验室学术委员会主任，浙江大学“流体传动与控制”国家重点实验室学术委员会委员，以及20多所大学的兼职教授及北京吉利大学校长等职。

在东北工学院（1993年复名为东北大学）任教期间，曾讲授“选矿机械”、“选煤机械”、“机械振动学”、“工程非线性振动”、“振动机械的理论及应用”、“振动的利用与控制”、“机械和结构的动态设计”、“基于系统工程的产品设计理论与方法”等多门课程。除培养本科生外，先后培养了101名硕士研究生、79名博士生和13名博士后，还曾指导俄罗斯和哈萨克斯坦访问学者各一名。

作者先后完成了数十项国家纵向和横向重大科研项目，包括国家自然科学基金重大项目、重点项目、面上项目和973、863项目等；研究与发展了振动学与机器学相结合的新学科“振动利用工程学”，提出了基于系统工程的产品综合设计理论与方法，曾对“非线性振动理论及应用”、“产品深层次的动态设计理论与方法”、“机械故障的振动诊断”及“转子动力学”等领域的相关问题进行了较深入的研究。和课题组同事一起先后发表学术论文数百篇，署名第一作者的论文180余篇，以第一作者身份撰写的专著和主编的论文集33部，被SCI、EI和ISTP检索的论文

#### IV

近 260 篇，被引用 3000 余次。值得提出的是主编了最新版的《机械设计手册》，从现代设计的角度，对手册内容进行了较大的调整，并补充了许多新内容。

作者曾获国际奖两项，全国优秀科技图书奖两项，国家奖四项（其中国家科技进步二等奖两项，国家科技进步三等奖和国家技术发明三等奖各一项），光华工程科技特别奖一项，省、部级一、二等奖十余项，申请和被批准的国家专利十余项，有多项成果达到国际先进水平或国际领先水平，取得了重大的经济效益和社会效益。

作者曾应邀到三十五个国家访问。应邀去日本、德国、澳大利亚等国讲学和合作科学研究，还曾参加在美国、英国、日本、澳大利亚、新西兰、加拿大、意大利、韩国、保加利亚、匈牙利、新加坡、马来西亚、印度、芬兰、前苏联、西班牙等二十余个国家召开的国际学术会议，宣读论文五十余篇，并应邀作大会报告。四次主持召开国际学术会议，担任该国际学术会议学术委员会主席，并负责主编四种国际学术会议论文集。

1984 ~ 1988 年及 2002 ~ 2010 年，作者曾两度担任中共东北工学院及东北大学党委委员，多次被评为东北大学及东北大学机械工程与自动化学院最受欢迎的教师，还多次荣膺辽宁省劳动模范、沈阳市特等劳动模范和冶金部先进教育工作者称号，是我国第一批国家级有突出贡献的中青年专家，并第一批享受国务院特殊津贴。

作者的个人简历及科研成果已载入世界名人录和国内出版的多种名人辞典中。

# 前 言

每个人天天在做事，有的人做的绝大多数的事情几乎都能取得成功，这些人做事有很高的成功概率，而有的人做的事常常失败，成功概率极低。对于企业来说，产品的研究、开发和设计也常常有同样的情况，有的设计师能研制出很好的产品，而有的设计师设计的产品在市场中并不受欢迎。企业所研制产品的好坏与产品设计师采取的理论与方法息息相关，换句话说，与设计者所采用的产品设计的理论与方法有着不可分割的联系，或者说，要做好产品的研究、开发及设计，设计师应该用理想的产品设计方法来指导，并有效地和系统地在产品设计中运用这种方法，这就是产品设计方法学所研究的基本内容。做事能否取得成功和采取的方法有着密切的联系，作者已在成功做事方法学中对成功做事的规则进行了详细的分析和讨论，这些规则可以应用到产品设计工作中，假如产品设计能很好地利用这些规则，对于提高产品的成功概率自然会有重要的影响。

众所周知，产品的设计方法学的研究已有百余年的历史，迄今为止，已提出了数十种设计方法，这么多设计理论和方法，对于初次从事设计工作的年轻工程师和正在大学里学习和研究的研究生或本科生来说，真是眼花缭乱，无所适从，而对于那些有经验的工程师和设计师来说，要全面掌握和运用好这么多的设计理论和方法也不是一件轻而易举的事。有一些从事产品设计理论方法研究的科学技术工作者，也曾夸耀过他们所研究的局部的理论和方法可以解决产品设计的全部问题，例如，有人说：虚拟设计、概念设计、创新设计和数字化设计等可以解决产品设计的全部问题，这只能说是他们对产品设计的全部内容缺乏全面的了解，或者仅仅是为了提高他们对所研究的某些产品设计方法的重要性而进行的宣传，或是为了推销他们所研究出的设计工具和设计手段而进行的必要的信息传播而已。在这里，我们不会去否认这些针对某些局部目标的设计理论与方法在产品设计中所起的重要作用，以及他们对设计理论与方法所做的贡献。

产品设计是一项十分复杂的工作，应该站在最高的位置上，用宏观的眼光去观察、去分析、去规划所从事的设计工作，也就是说，要对目前科学技术工作者提出的诸多设计理论与方法进行分析，对这些方法进行分类，找出它们的共性和特性，以及它们的适用范围，在此基础上，从设计方法学的观点出发，提出一种更适用于产品的设计理论与方法，这就是本书所要研究的核心内容“产品设计方法学”、“产品的顶层设计”和“产品的系统化设计”的目的、内容与方法。

产品的顶层设计是对产品设计进行宏观指导，根据不同的设计目标，制定出产品设计总体框架，内容应该包括产品设计调研和产品规划设计。根据需要也可以扩

## VI

展到包括完成产品方案设计或功能设计、产品性能设计在内的整个设计流程中的主要设计工作。

产品的系统化设计是在系统工程思想的指导下，既从宏观角度，又要从微观角度，按照制定的明确目标、具体设计内容和有效设计方法，全面地和系统地完成产品设计调研、设计规划、设计工作的具体实施和设计质量的检验和评估等方面的工作，使所设计的产品符合人民的需要和有创新的技术内容、良好的质量、较低的价格、较短的生产周期、充分考虑环境保护和方便的售后服务等。

产品的调研应该包括：用户需求调研、产品环境调研、产品风险调研三项主要内容。

产品设计的规划应该包括：设计目标、设计思想、设计环境、设计内容、设计流程、设计方法、设计质量检验七项内容。

产品设计的实施阶段应该包括：产品的功能设计、面向结构性能、使用性能和制造性能及特殊性能的设计，即所谓的  $n$ （各种功能） +  $m$ （各种主要性能） +  $X$ （特殊性能）设计。

产品设计质量的检验应该包括：用理论方法检验、经验方法检验、专家系统方法检验、用试验方法检验和通过用户信息反馈进行检验和评估等。

做好产品的设计工作还要坚决贯彻产品成功设计的十大要素——设计工作的三要素：目的、内容与方法；主观方面可发挥的四项潜能：组织领导、技术能力、团队精神和工作毅力；客观方面可发挥作用的三维时空：机遇、环境和条件。坚持产品成功做事的八字理念，即做好事情的工作态度和方法：勤奋、顽强、求实、创新。

本书将对上述问题分别地进行分析和研究，将产品设计方法学的思想贯穿于各个章节中，也就是从产品设计方法学的角度，去研究和讨论产品顶层设计和系统化设计的内涵。

在编写本书的过程中，我们得到许多同志和兄弟单位的支持和帮助，还得到 973 项目（编号：2011CB 706504）和国家科技支撑计划项目（编号 2009BAG12 A01-F01-3）及东北大学 985 工程项目的资助，在此向他们致以深切的谢意。

书中如有不妥之处，望读者予以批评指正。

作 者

# 目 录

## 作者简介

## 前言

<b>第 1 章 概论</b> .....	1
1.1 研究产品设计方法学的意义 .....	1
1.2 产品设计的内容及流程 .....	3
1.3 产品设计的传统模式与现代模式 .....	6
1.4 产品设计理论和方法的应用与发展 .....	9
1.5 产品设计理论与方法的分类 .....	18
1.6 产品设计的几个主要发展方向 .....	21
<b>第 2 章 成功做事及做好产品设计的若干规则</b> .....	25
2.1 引言 .....	25
2.2 成功学的研究概况及意义 .....	26
2.3 现代成功学的基本内容 .....	27
2.4 成功做事的十大要素 .....	27
2.5 成功做事的八字理念 .....	28
2.6 成功做事的六项要求 .....	29
2.7 成功做事的四个阶段 .....	30
2.8 成功做事的两件要事 .....	31
2.9 如何处理成功做事五个方面内容的关系 .....	32
2.10 做事成功概率及其影响因素的分析 .....	33
<b>第 3 章 产品的顶层设计</b> .....	35
3.1 产品顶层设计的概念及其意义 .....	35
3.2 产品顶层设计的指导思想和目标 .....	36
3.3 产品顶层设计的内容和环境 .....	39
3.4 产品顶层设计的步骤和方法 .....	46
3.5 产品顶层设计对设计质量的检验和评估 .....	49
<b>第 4 章 产品的系统化设计</b> .....	50
4.1 产品系统化设计的概念和特点 .....	50
4.2 产品系统化设计的指导思想和目标 .....	52
4.3 产品系统化设计的步骤和内容 .....	53
4.4 产品系统化设计过程中的和谐设计、创新设计和深层次设计 .....	59
4.5 产品系统化设计的技术和手段 .....	61
4.6 研究产品系统化设计的作用和意义 .....	62



<b>第 5 章 产品设计的调研</b> .....	65
5.1 概述 .....	65
5.2 产品用户需求调研 .....	66
5.3 产品设计环境的调研 .....	75
5.4 产品风险的调研 .....	83
<b>第 6 章 产品设计的规划</b> .....	86
6.1 概述 .....	86
6.2 产品设计总体规划模型 .....	86
6.3 产品设计思想模型 .....	91
6.4 产品设计环境模型 .....	91
6.5 产品设计过程模型 .....	92
6.6 产品设计目标模型 .....	93
6.7 产品设计内容与方法模型 .....	94
6.8 产品设计质量检验与评估模型 .....	97
6.9 完整的和不完整的产品设计系统或技术系统 .....	97
<b>第 7 章 产品设计实施阶段的内容之一：功能设计</b> .....	101
7.1 概述 .....	101
7.2 产品功能的分析 .....	102
7.3 功能技术方案的分解和组合 .....	109
7.4 主功能系统设计方案的要点 .....	110
7.5 物质输送系统设计方案的要点 .....	111
7.6 物件夹持系统设计方案的要点 .....	112
7.7 运动传递系统设计方案的要点 .....	113
7.8 机器操纵系统设计方案的要点 .....	115
7.9 动力传输系统设计方案的要点 .....	116
7.10 信息传输系统设计方案的要点 .....	117
7.11 产品功能方案的选取 .....	121
7.12 产品功能设计举例 .....	128
<b>第 8 章 产品设计实施阶段的内容之二：面向产品结构性能的动态设计</b> .....	134
8.1 概述 .....	134
8.2 面向产品结构性能的动态设计的种类和特点 .....	134
8.3 面向产品结构性能的动态设计的内涵 .....	136
8.4 动态设计的步骤和方法 .....	141
8.5 激振器偏转式自同步振动机的同步理论 .....	146
8.6 应用举例之一：振动离心脱水机的非线性动力学计算 .....	155
8.7 应用举例之二：振动压路机机架的动力有限元分析 .....	160
8.8 应用举例之三：长距离振动输送机机体的传递矩阵分析 .....	166
8.9 应用举例之四：机器零件的随机可靠性计算 .....	175
<b>第 9 章 产品设计实施阶段的内容之三：面向产品使用性能的智能设计</b> .....	177

9.1	概述 .....	177
9.2	面向产品使用性能的设计目标、内容和方法 .....	179
9.3	产品操纵系统的设计 .....	187
9.4	运动状态的控制系统设计 .....	191
9.5	工作参数控制系统的设计 .....	202
9.6	工作过程控制系统的设计 .....	212
9.7	工作状态监测与故障诊断系统的设计 .....	214
<b>第 10 章</b>	<b>产品设计实施阶段的内容之四：面向产品制造性能的可视化设计 .....</b>	<b>217</b>
10.1	概述 .....	217
10.2	面向产品制造性能的可视化设计的理论框架 .....	218
10.3	加工过程可视化 .....	229
10.4	装配（拆卸）过程可视化 .....	232
10.5	运动学可视化 .....	236
10.6	动力学可视化 .....	242
<b>第 11 章</b>	<b>产品设计质量的检验与评估 .....</b>	<b>250</b>
11.1	产品设计质量检验与评估的必要性 .....	250
11.2	产品设计质量指标的内涵 .....	250
11.3	评价指标的加权系数 .....	254
11.4	产品设计质量评价方法的种类 .....	255
11.5	模糊综合评价法 .....	255
11.6	系统分析法 .....	259
11.7	价值工程法 .....	262
11.8	产品综合质量模糊综合评价应用实例 .....	265
<b>第 12 章</b>	<b>产品系统化设计应用举例 .....</b>	<b>269</b>
12.1	概述 .....	269
12.2	面向振动沉拔桩机的功能设计 .....	269
12.3	面向振动沉拔桩机结构性能的动态设计 .....	277
12.4	面向振动沉拔桩机使用性能的智能设计 .....	289
12.5	面向振动沉拔桩机制造性能的可视化设计 .....	296
12.6	结语 .....	303
<b>参考文献</b>	.....	<b>305</b>

# 第1章 概 论

## 1.1 研究产品设计方法学的意义

人们天天在做事，大家总是希望所做的每件事对国家和人民甚至对全人类都是有益的、所做的事要达到质量标准、花的钱要少一些、做得快一些、对周围环境的有害影响少一些、事后的服务工作量要少一些，这就是人们所说的，做事要有正确的指导思想（I）、要有良好的质量（Q）、较低的成本或价格（C）、较短的时间或生产周期（T）、无环境污染（E）和方便的售后服务（S），这六个要素是对所做工作好坏的评价指标（见图1-1）。



图 1-1 做事的六项目标

从口头上谈做好一件事比较容易，但真正要把这件事做好就不容易了，谈来容易做时难，如果要满足前面六项要求就更不容易了。有了目标，还要有具体的内容和有效的方法，才能把事情做好。为了搞好产品的研发及设计，一百多年来，国内外许多科学工作者对产品设计方法进行了深入的研究，取得了大量的成果<sup>[1-152]</sup>。

为什么有些人做事都能做得很好，而有些人做事常常失败；好的设计师为什么能设计出好的产品？而有些设计师为什么设计不出好的产品呢？这里有许多原因，这就是产品设计方法学要研究的问题，可见产品设计方法学对于企业或设计师至关重要。

人类已进入了知识经济时代，经济的发展首先必须依赖人的智慧，因此，我们要把事情做好，把事情做成功，必须依赖人的正确的思想，必须依赖先进的科学技术。

为了研制与开发出安全可靠的、技术性能较高的和经济、耐用的产品，首先要搞好产品的设计工作。据有关专家统计，一种产品的质量好坏，设计的贡献率可达70%。有的专家认为：产品的设计是产品质量的灵魂。如果有一种新产品，它的设计是落后的，那么，在制造过程中，花了很大气力把它制造出来，这种产品还是落后的。所以产品设计质量的好坏，可以赋予某种产品“先天特优”、“先天良好”、“先天一般”、“先天不足”等不同档次的“先天性”的本质特性，由此可见，产品设计

在保证产品质量、提高产品在市场中的竞争力，即在新产品开发和老产品改造中起着重要的作用<sup>[151,162]</sup>，而要全面满足 IQCTES 的要求，首先必须要有正确的思想。

日本某部门曾对机械设备发生的故障进行过分析统计，发现因设计造成设备故障的比率占 50%，因元件、材料原因造成故障的比率为 33%，因制造不良造成设备故障的比率为 17%。因此，产品设计不仅能够提高产品的质量，还能缩短产品开发周期，降低设计与制造成本等。

知识经济时代的企业竞争是基于全球化市场、以知识为基础的新产品竞争。我国生产的产品只有比竞争对手更好的质量、更低的成本和更快的速度，在顾客需求、环境约束和应对各种风险的条件不断地研制出性价比高的产品推向市场，才能赢得国际化竞争。现代机械产品设计的核心因素，如图 1-2 所示。

目前科学技术界的学者们对产品设计方法学的研究从宏观和微观两个方面进行。

一是从宏观角度去研究产品设计方法学，用科学发展观和系统工程的思想和方法去研究产品设计的指导思想、要实现的目标、产品设计的的环境、产品设计的具体内容、产品设计的理想步骤和方法，以及产品设计质量的检验等有关内容。产品的顶层设计、系统化设计、产品的综合设计、多学科交叉融合设计、和谐设计等都属于这一方面的研究内容。宏观设计可以防止产品设计工作中可能出现的主观性、盲目性、片面性和随意性等。

二是从微观角度去研究产品设计方法学，用动力学理论、信息技术、数字化方法等去研究产品设计的具体问题，如概念设计、创新设计、绿色设计、系统设计、参数设计、机构设计、优化设计、网络设计、并行设计、协同设计、智能设计、虚拟设计、柔性设计、模块化设计、CAE 等。微观方面的设计一般可以解决设计中的某一方面的具体问题，它为产品的宏观设计奠定了基础。但是只研究微观方面的设计，容易使产品设计失去宏观的指导和控制，虽然解决了某一方面的问题，而忽略了另一方面的问题，容易出现片面性的问题。

过分地强调某一方面的作用都是不正确的。有人说：“产品设计要用科学发展观做指导，这太过分地‘讲政治了’”，我们讲产品的设计要符合国家的需要和人民的利益甚至全人类的利益，这就是政治，这样的政治必须要讲，要天天讲；有人甚至说：“用科学发展观来指导产品设计，是一种‘投机’的思想”。他们没有认识到科学发展观是一种哲学思想和方法，一个人如果不用哲学思想和方法来指导自

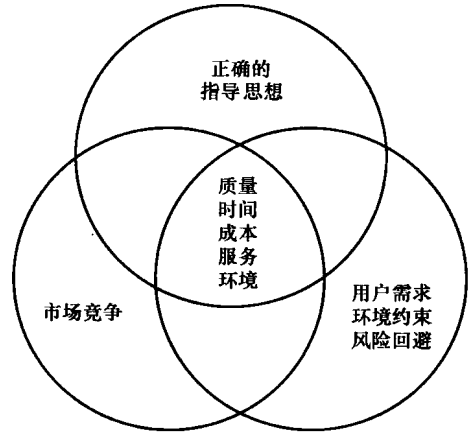


图 1-2 现代机械产品设计的核心因素

己的工作，是不会取得好的工作效果的，也是很难走上成功之路的，他们甚至会偏离正确的方向而走上错误的道路。此外，对于生活在群体社会中的每个人来说，几乎所有工作不能不涉及政治思想的指导问题，所有工作都要从国家的需要和人民的利益甚至全人类的利益出发，这就是政治。

因此，我们必须将产品的宏观设计和产品的微观设计有机结合起来，才能使产品设计方法的研究走向正确的道路。目前的确也有相当一部分人只考虑微观方面研究的重要性，而没有认识到宏观研究的重要性和必要性。

## 1.2 产品设计的内容及流程

(1) 内容 产品设计的内容由产品的构造决定。其中包括五大系统、四类参数、三种机构、两种结构、组合成一种机器，即 5、4、3、2、1。产品研究、开发及设计要使该产品的各个系统、各类参数、各种机构和整台机器都能实现正常和有效地运行。为此，在产品设计中要进行一系列的工作，才能达到上述要求。

(2) 流程 产品研究、开发及设计和制造流程的一般模型如图 1-3 所示。在流程中包括了以下几个模块，即产品调研、规划、实施和检验等 4 个模块。要做好产品研究与开发，首先要做好产品的调研工作，产品开发调研阶段包括用户需求调研、产品环境调研和产品风险调研 3 个子模块；产品开发规划阶段包括设计目标、设计思想、设计环境、设计内容、设计流程、设计方法与质量检验等 7 个子模块；产品研究设计与制造系统包括原理性试验研究、产品概念设计、产品详细设计、工艺制定、生产制造试验 5 个子模块。下面按照产品开发的一般过程，对各阶段及其相互关系进行叙述。

1) 产品开发调研系统。顾客需求是产品开发的最基本的输入信息，是企业进行产品开发的依据和源头，也是企业正确制定产品开发战略的基础，能否有效地获取和理解顾客需求，并使这一过程智能化、系统化、科学化和规范化，是产品开发成功的必要前提。传统的顾客需求信息获取基本是通过市场调查来完成，要花费大量的人力物力，成本高，耗时长。因此，通过网络调查是一种较理想的方法。

除顾客需求调研外，对产品环境和风险的调研也十分重要，许多产品因缺乏对环境 and 风险调研而出现重大问题，在不得已的情况下停止生产，甚至是出现企业倒闭的严重局面。

2) 产品开发规划阶段。产品开发规划包括设计思想规划、设计目标规划、设计环境规划、设计流程规划、设计内容规划、设计方法规划和质量检验的规划等。通常称为 7D 规划。

3) 产品研究设计与制造阶段。共分以下 5 个子模块：原理试验研究、产品概念设计、产品性能设计、工艺制定和生产制造与试验等。

① 样机原理试验研究。假如是新研究开发的产品，常常先制作出样机，对其

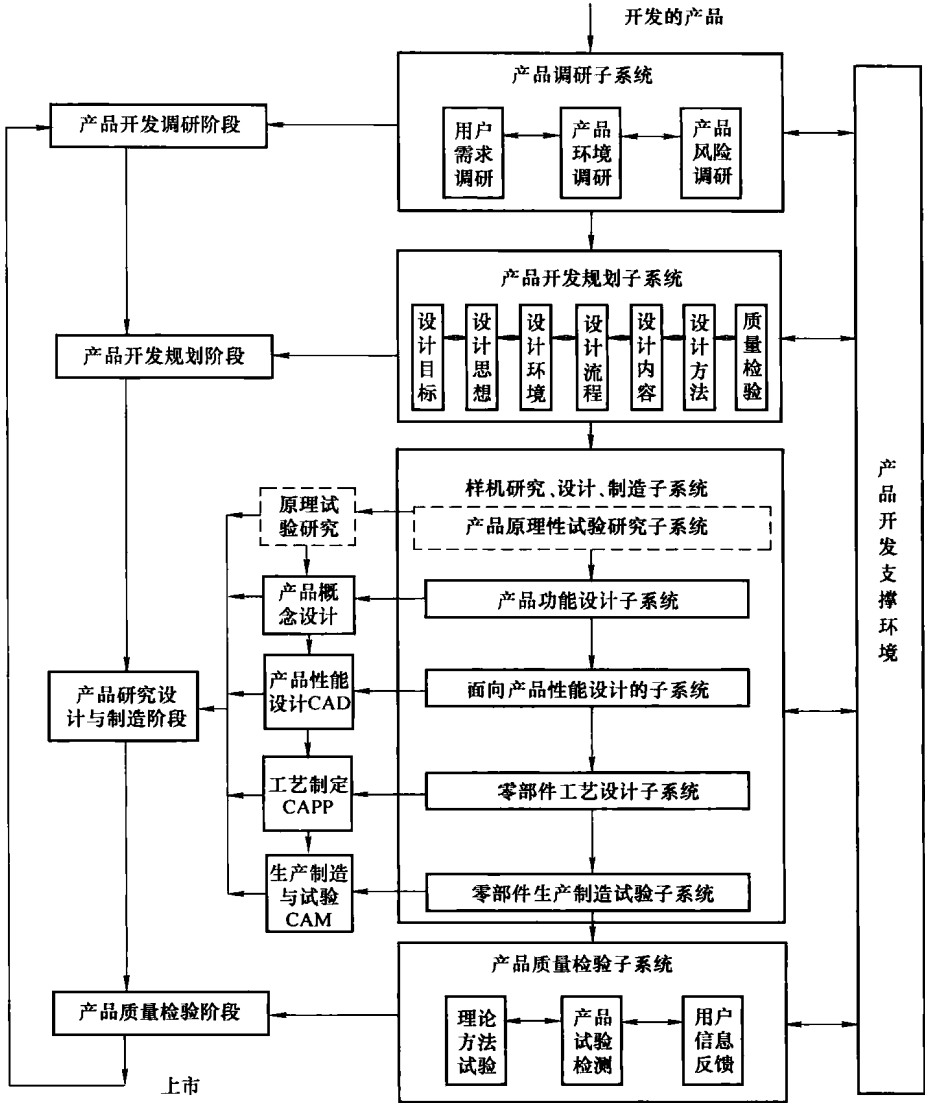


图 1-3 产品开发过程的一般模型

原理进行研究，以保证使用原理上的可行性和可靠性。对于在原理上比较有把握的产品，这一阶段可以省略。

② 产品概念设计。产品概念设计过程是由分析顾客需求到形成产品概念的一系列有序的、可组织的、有目标的设计活动。它表现为由粗到精、由模糊到清楚、由抽象到具体不断进化的过程。产品概念是指产品的总体系统特征、功能、性能、结构、尺寸形状的描述和实现，即制造企业根据顾客需求和市场竞争情况，通过总体功能、性能、结构、尺寸和系统技术特征参数来表达的可实现的产品的可竞争

性、可生产性、可维修性、经济性等，是企业开拓市场、赢得竞争的有效手段。产品概念是实施产品后续开发过程的技术基础。产品概念设计是通过产品功能子系统 中的功能设计模块来实现。产品功能模块的基本功能是将顾客需求智能获取与合成 子系统形成的顾客需求转化成产品的工程特性，系统考虑企业竞争、技术可行性和 企业资源等情况，利用优化技术确定工程特性的目标值，进而完成产品概念设计。

③ 产品性能设计。概念设计与性能设计是前后相继的两个阶段。针对概念设计 的输出结果，性能设计阶段主要完成两个任务：一是以产品功能为目标，以功能 和性能优化为内容和手段，确定产品的具体的设计方案（包括机构、系统和结构的 优选和确认等）；二是运用先进的设计方法对选定的设计方案进行结构细节设计， 即以产品的功能和性能为目标，通过各种优化手段，确定各零部件的尺寸、公差、 材质、技术要求，明确零部件之间的装配关系，完成全部的生产图样和技术文件。 性能设计是通过产品结构及其零部件的结构性能、使用性能与制造性能优化子系 统中的结构与零部件性能优化设计模块来实现。零部件规划模块的基本目标根据 产品规划模块的输出结果，将工程特性转化为相应的零部件特性，系统考虑企业竞 争及产品开发后续阶段各种因素对设计方案的影响，在企业资源约束下，分别利用 优化技术对各零部件的设计方案和形状、尺寸进行选择 and 计算，并针对所选定的一 组设计方案确定各零部件特性的目标值，最后确定下一阶段的零部件特性。

④ 工艺制定。零部件的工艺规程制定是指根据性能设计所完成的生产图样和 技术文件，运用 CAPP 技术确定制造各零部件和装配该产品所需的工艺流程，其主 要内容包括产品结构性工艺审查、工艺方案设计与评价、工艺路线设计与评价、工 装设计、材料与工时定额等内容。工艺水平的高低决定着机械产品的制造质量、 制造成本和交货期。工艺制定是通过零部件工艺过程优化子系统 中的零部件工 艺过程优化设计模块来实现。这一模块的基本目标是根据零部件工艺过程优化设计 的输出结果，将零部件特性转化为相应的工艺特性，综合考虑企业竞争及产品开 发后续阶段各种因素对工艺方案的影响，在生产设备、生产能力和生产成本等约束 下，利用优化技术对各种工艺方案进行选择，确定工艺路线，并针对所选定的一 组工艺方案确定各工艺特性的目标值，最后确定下一阶段的工艺特性。

⑤ 生产制造与试验。生产制造通常采用计算机辅助制造（CAM）技术，按 照工艺要求，加工出合格的零件。加工过程是一个非常复杂的过程，需要控制大量 的加工参数来完成技术要求，加工出合格的零件，如刀具的破损状况、振动、限 位、刀具温度、润滑油温度、切屑、夹具力、电流、转矩、位置、转速等。生产制 造是通过零部件生产制造过程 子系统 中的零部件生产制造过程优化模块来实现。这 一模块的基本功能是根据零部件工艺过程优化设计的输出结果，将工艺特性转化为 相应的生产特性，在制造成本等资源约束下，利用优化技术确定生产特性的目标 值，即制造或操作参数，并形成质量控制表，指导零部件的生产制造及产品装配。

产品出厂前通常还要对其进行出厂前的试验，如在试验时发现问题，应及时地

进行处理，以达到产品的合格标准为止。开发出的新产品上市后，企业要及时收集用户反馈信息，对出现的问题应及时地进行售后的服务，并根据使用中出现的問題不断的对产品进行改进，使其更加完善。

4) 产品质量检验阶段。产品设计与制造质量可以通过理论方法、经验方法、专家系统、试验方法及用户使用后信息反馈等措施进行检验与评估，发现的问题应该在条件许可情况下进行修改。

我国机械工业的先驱沈鸿同志将产品的研究与开发过程用7个词来描述，即“研究、试验、设计、制造、安装、使用和维修”。这七个方面的内容与步骤是产品研究与开发的主要步骤及关键环节。

## 1.3 产品设计的传统模式与现代模式

### 1.3.1 产品设计模式的发展

产品设计是一种建立在知识和经验基础上的创造性劳动，设计的目的就是寻求一种满足用户、企业及社会所提出的质量要求的最佳方案，这是一种复杂的思维过程。目前产品设计问题一般表述为以经验为基础的演绎、归纳的设计过程。因此，需要探求以科学原理为基础的产品设计理论和设计方法。产品设计理论是研究工程设计的过程、规律及设计中思维和工作方法的一门综合性学科，涉及产品、设计者、使用者、产品设计环境（包括环境对产品的约束和环境作为资源加以利用等两个方面）、设计过程要素（目标、思想、环境、内容、步骤、方法、设计质量检验等）与领域知识等多个方面及其相互关系，如图1-4所示<sup>[61]</sup>。

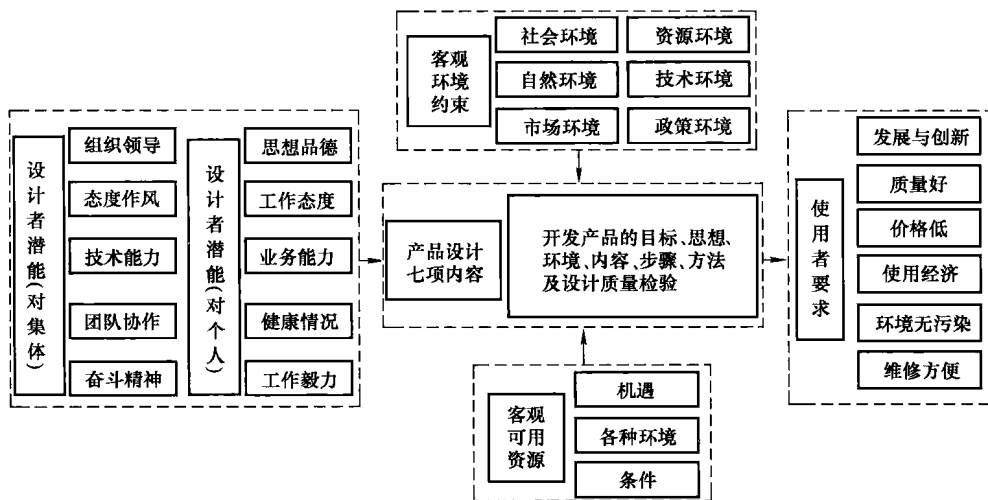


图 1-4 产品与设计者、使用者及环境之间的关系



20 世纪 60 年代初，人们已将设计过程明确划分为方案设计、技术设计、工艺设计阶段，基本上属于经验设计体系。随着科学技术的发展，产品设计不再完全是依赖经验和灵感的创造艺术，而逐步演变为一门科学，以知识为依托，以科学方法为手段的工程创新活动。

### 1.3.2 现代设计与传统设计的比较

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，不断推动社会的进步，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”只是一个相对两种不同的概念而已。

通常所说的传统设计可以定义为是以经验为基础，运用长期设计实践和理论计算而积累的经验、公式、图表、手册等，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<sup>[162]</sup>；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论或方法，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、智能设计、虚拟设计、稳健设计、可靠性设计等，并采取并行或协同的模式开展产品设计工作。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的要求不断的提高，并且在不断吸收传统设计的经验的基础上而逐步发展起来的。

图 1-5 表明了传统设计与现代设计的几个重要特征。现分别说明如下：

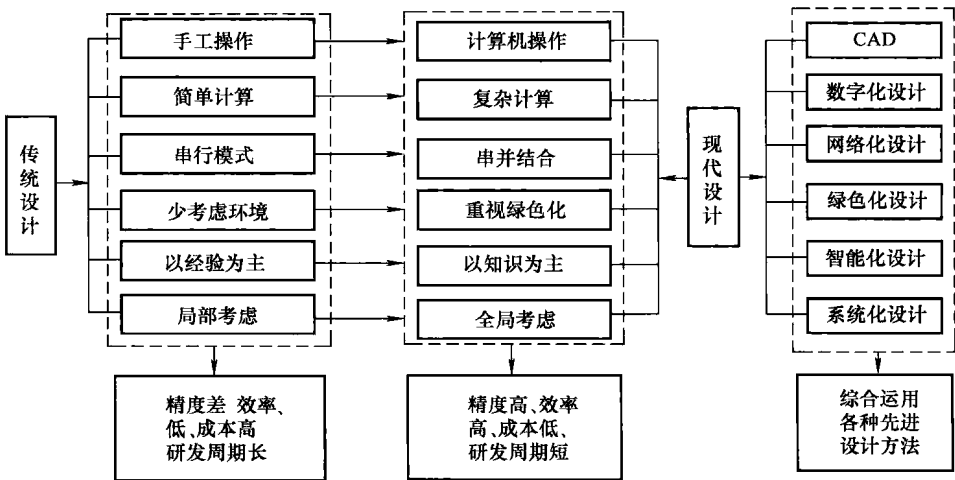


图 1-5 传统设计与现代设计的几个重要特征

(1) 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