

# 产品 创新设计与开发

主 编 曾富洪  
副主编 谢永春 李国云

CHANPIN

CHUANGXIN

SHEJI YU KAIFA



西南交通大学出版社  
[Http://press.swjtu.edu.cn](http://press.swjtu.edu.cn)

# 产品创新设计与开发

主 编 曾富洪

副主编 谢永春 李国云

西南交通大学出版社

· 成 都 ·

图书在版编目 (C I P) 数据

产品创新设计与开发 / 曾富洪主编. —成都: 西南交通大学出版社, 2009.3

ISBN 978-7-81104-930-5

I. 产… II. 曾… III. 产品—设计 IV. TB472

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2009) 第 031069 号

产品创新设计与开发

主编 曾富洪

责任编辑	孟苏成
特邀编辑	牛君
封面设计	本格设计
出版发行	西南交通大学出版社 (成都二环路北一段 111 号)
发行部电话	028-87600564 87600533
邮 编	610031
网 址	<a href="http://press.swjtu.edu.cn">http://press.swjtu.edu.cn</a>
印 刷	成都蓉军广告印务有限责任公司
成 品 尺 寸	185 mm × 260 mm
印 张	27.75
字 数	691 千字
版 次	2009 年 3 月第 1 版
印 次	2009 年 3 月第 1 次
书 号	ISBN 978-7-81104-930-5
定 价	48.00 元

图书如有印装质量问题 本社负责退换

版权所有 盗版必究 举报电话: 028-87600562

# 前 言

产品创新设计是指采用新技术原理、新设计构思而开发生产出全新型产品，或应用新技术原理、新设计构思，在结构、功能、材料、工艺等各方面对老产品进行重大改型，并显著提高原有老产品的性能或扩大功能而得到改型新产品的过程。产品创新设计是一个非常复杂、非常广泛的过程，涉及许多不同专业领域，如市场开发、消费者研究、产品概念的生成与评价、工业设计、数字化设计、设计管理等。为了保证新产品开发成功，需要建立一套科学、完整的设计与开发流程，并使不同专业的开发设计人员间能建立起有效的交流。当今的产品更新换代大大加快，新产品研制周期大幅度缩短，产品开发的过程也越来越趋向于并行开发。这就要求在项目开始时就应对产品相关的各方面工作通盘考虑，齐头并进地发展。为了做到这一点，需要一套完整的产品创新设计体系支撑。

本书在系统介绍现代产品设计的设计理论、设计方法、设计原则，产品创新的创造性思维、创造法则、创造技法，创造性解决问题（TRIZ）的理论和方法的基础上，以产品开发流程为主线，通过对产品的市场轮廓分析、市场细分和市场选择对产品进行市场定位；通过对产品的顾客测量、顾客需求识别、顾客偏好分析对产品进行顾客定位，并实现对顾客需求的优化。以质量功能配置（QFD）工具为技术手段，将顾客的需求转化为产品的技术要求，并形成产品的概念模型。利用 CAD 工具实现产品的数值化建模，利用 CAE 工具对产品进行仿真分析，利用 CAM 工具实现产品的数字化制造，利用现代的产品设计评价理论对设计结果进行有效评价，利用产品数据管理（PDM）对产品设计中的各种信息进行有效管理。本书重点论述了新产品创新设计过程中所涉及的基本原理、基本理论、基本方法，内容力求精练实用，对于重要的知识点给出了编者在该知识领域的研究实例，可供机械工程、车辆工程、管理工程等专业的研究生作为教学用书或教学参考书，同时也可作为产品设计相关专业本科生和工程技术人员的参考用书。

本书第一章由曾富洪副教授、周兰花副教授编写，第二章由李国云副教授编写，第三章由姚必强副教授、田鹏飞硕士编写，第四章由曾富洪副教授、贾红红硕士编写，第五、六、七、八、九章由曾富洪副教授编写，第十章由周丹讲师编写，第十一章由曾富洪副教授、谢永春教授编写，第十二章由曾富洪副教授编写，第十三章由曾富洪副教授、周兰花副教授编写。

本书的出版得到了攀枝花市杰出青年技术创新人才培养项目（项目编号：2006DW-1）、四川省教育科研项目应用型本科工业设计专业课程体系改革与实践、攀枝花市先进制造技术重点实验室建设项目的资助。在本书的编写过程中，参考了大量的资料，编者在此表示衷心的感谢。由于编者水平有限，书中难免存在一些疏漏和不妥之处，敬请读者批评指正。

编 者

2008年10月

# 目 录

## 第一篇 产品设计概述

第一章 产品设计概述	1
1.1 制造业产品设计的意义	1
1.2 现代产品设计理论概述	2
1.2.1 产品设计理论	2
1.2.2 产品设计过程	3
1.2.3 产品设计求解	4
1.2.4 产品设计过程中的功能	5
1.3 现代产品设计开发程序和原则	7
1.3.1 产品开发模型	7
1.3.2 典型产品开发流程	8
1.3.3 产品的设计开发程序	10
1.3.4 产品设计的原则	13
1.4 产品设计方法	14
1.4.1 产品设计中的造型设计	14
1.4.2 产品设计中的人机工程	22
1.4.3 产品设计中的价值工程	38
1.5 新产品开发中的项目管理	43
1.5.1 项目管理的基本概念	43
1.5.2 项目进度计划的编制	47

## 第二篇 产品创新设计理论

第二章 创新·创造·创造技法	52
2.1 创新·创造·创造力	52
2.1.1 创新	52
2.1.2 创造与创造性	54
2.1.3 创造力	54
2.1.4 创造和创造力的本质	56

2.2 创造性思维 .....	61
2.2.1 创造性思维的一般含义 .....	61
2.2.2 创造性思维的生理学基础和心理学前提 .....	62
2.2.3 创造性思维的形式 .....	70
2.2.4 创造性思维的过程与本质 .....	84
2.2.5 创造性思维的特征 .....	88
2.2.6 创造性思维的作用 .....	89
2.2.7 创造性思维的技巧和策略 .....	90
2.3 创造法则 .....	102
2.4 创造技法 .....	105
2.4.1 智力激励法 .....	106
2.4.2 类比法 .....	113
2.4.3 联想法 .....	116
2.4.4 移植法 .....	119
2.4.5 设问法 .....	120
2.4.6 列举法 .....	124
2.4.7 组合法 .....	126
2.4.8 专利利用法 .....	127
2.4.9 参数分析法 .....	129
2.4.10 灵感法 .....	131
2.4.11 模仿创造法 .....	131
2.4.12 其他常用创造技法 .....	133
<b>第三章 创造性解决问题 (TRIZ) 的理论和方法 .....</b>	<b>138</b>
3.1 TRIZ 概述 .....	138
3.2 产品进化模式与进化定律 .....	141
3.2.1 产品进化的四个阶段 .....	141
3.2.2 产品进化的最终理想解 .....	141
3.2.3 产品进化理论和产品进化模式图 .....	142
3.2.4 产品进化定律 .....	143
3.3 矛盾分析与创新原理 .....	144
3.3.1 TRIZ 矛盾分析及矛盾的分类 .....	144
3.3.2 解决两类矛盾的原理 .....	145
3.3.3 TRIZ 应用实例——非利浦灯泡的改进 .....	149
3.4 物质—场分析与 76 个标准解 .....	151
3.5 功能分析与效应知识库 .....	152
3.5.1 应用科学效应解决问题的一般步骤 .....	152
3.5.2 利用物理效应解决实际问题 .....	152
3.6 发明问题解决算法 (ARIZ) .....	153

## 第三篇 产品概念形成

第四章 产品市场调研和分析 .....	155
4.1 市场调查基础 .....	155
4.1.1 市场调查的主要内容 .....	155
4.1.2 市场调研方法 .....	156
4.1.3 市场调查的程序 .....	157
4.1.4 调查技术 .....	158
4.1.5 市场数据的分析方法 .....	162
4.2 市场轮廓分析 .....	175
4.2.1 市场规模分析 .....	175
4.2.2 市场轮廓预测 .....	176
4.2.3 市场轮廓分析标准 .....	181
4.3 市场细分 .....	182
4.3.1 市场细分变量 .....	183
4.3.2 多维市场细分 .....	186
4.4 市场选择 .....	188
第五章 产品设计过程中顾客测量与产品定位 .....	190
5.1 顾客测量 .....	190
5.1.1 问卷设计 .....	190
5.1.2 态度量表 .....	192
5.2 顾客需求识别 .....	193
5.2.1 顾客需求定义 .....	193
5.2.2 顾客感性认知图 .....	197
5.2.3 因子分析法分析顾客需要 .....	197
5.2.4 确定认知图的尺度数量 .....	204
5.3 顾客偏好分析和产品定位 .....	204
5.3.1 重要度和满意度分析 .....	205
5.3.2 产品定位与消费者偏好分析 .....	206
5.4 顾客的需求优化 .....	208
第六章 质量功能配置 (QFD) .....	210
6.1 QFD 的产生和发展过程 .....	210
6.2 QFD 的定义和基本原理 .....	211
6.2.1 QFD 的定义和作用 .....	211
6.2.2 QFD 的基本原理 .....	213
6.3 质量屋 (HOQ) 的构造 .....	214
6.3.1 质量屋概述 .....	214
6.3.2 质量屋信息的获取 .....	215
6.4 质量规划与质量设计 .....	218
6.4.1 质量规划 .....	218

6.4.2	质量设计	220
6.4.3	质量规划与质量设计的数学求解	222
6.5	质量功能配置的实施方法	224
6.5.1	零件配置质量屋	224
6.5.2	工艺设计质量屋	226
6.5.3	生产控制质量屋	228
6.6	需求获取和转换的综合应用	228
6.6.1	顾客需求的获取	228
6.6.2	基于质量屋的顾客需求转化	231
<b>第七章</b>	<b>产品概念形成</b>	<b>237</b>
7.1	概念生成	237
7.2	概念选择	245
7.3	概念测试	249
7.4	产品结构体系	252
7.4.1	产品结构体系概述	252
7.4.2	产品结构体系的使用	253
7.4.3	产品结构体系的建立	254
7.4.4	产品分化	256
7.4.5	平台规划	256

## 第四篇 产品数字化设计

<b>第八章</b>	<b>产品设计中的计算机辅助设计 (CAD) 技术</b>	<b>258</b>
8.1	CAD 技术的发展历史	258
8.2	CAD 三维表达基础	261
8.2.1	三维表达中曲线、曲面构建技术	261
8.2.2	三维表达在计算机存储中的数据结构	264
8.3	线框建模	267
8.4	曲面建模	268
8.4.1	曲面建模的方法	268
8.4.2	曲面光滑	270
8.4.3	几种流行 CAD 系统的曲面建模功能评述	279
8.5	实体建模	281
8.6	特征建模	283
8.6.1	特征	283
8.6.2	特征技术	284
8.6.3	特征建模	285
8.7	产品数字化设计中的主模型建模技术	287



第九章 产品设计中的计算机辅助工程 (CAE) 技术	290
9.1 有限元法	290
9.1.1 有限元法的发展历史	290
9.1.2 有限元法的基本概念	291
9.1.3 有限元法的基本理论	295
9.2 CAE 有限元分析软件的工程分析	301
9.2.1 前处理	302
9.2.2 有限元解算	304
9.2.3 后处理	306
9.3 常用的有限元分析方法	306
9.4 著名 CAE 软件介绍	308
9.5 CAE 技术在产品设计中的应用	312
第十章 产品设计中的数字化制造	317
10.1 数控机床概述	317
10.1.1 CNC 机床的组成及分类	317
10.1.2 数控机床的坐标系统	318
10.1.3 数控机床的刀具补偿	319
10.1.4 数控程序段格式及数控机床程序的组成	319
10.2 数控编程及 CAM 技术	321
10.2.1 数控编程概述	321
10.2.2 CAM 软件结构	323
10.2.3 前置处理	325
10.2.4 后置处理	326
10.2.5 后置处理的二次开发技术	327
10.2.6 加工仿真	330
10.2.7 刀位仿真	334
10.2.8 刀具轨迹编辑	336
10.3 CAM 技术的应用准备	338
10.3.1 CAM 软件使用前的准备	338
10.3.2 CAM 自动编程时参数的设置	339
10.3.3 CAM 软件选择	343
10.4 CAM 技术的现状及发展方向	345
10.5 新产品开发试制对 CAM 技术提出的新需求	346
10.6 新产品试制中的 CAM 应用实例	348
第十一章 基于知识的工程 (KBE) 技术	351
11.1 KBE 概述	351
11.2 KBE 系统的体系框架	352
11.3 KBE 中的基本概念	353

11.4 KBE 系统使能技术 .....	355
11.4.1 知识的获取 .....	355
11.4.2 知识的表示 .....	355
11.4.3 知识推理 .....	358
11.4.4 知识建模 .....	360
11.4.5 知识繁衍 .....	361
11.4.6 知识集成与管理 .....	363
11.5 KBE 系统开发工具 .....	364
11.6 KBE 系统开发应用实例 .....	365

## 第五篇 产品设计评价

第十二章 产品设计评价 .....	371
12.1 产品设计评价概述 .....	371
12.2 设计评价目标指标体系 .....	373
12.3 设计评价方法 .....	378
12.3.1 经验评价法 .....	379
12.3.2 数学分析评价法 .....	379
12.3.3 模糊综合评价方法 .....	384
12.4 评价方法的选择和评价结果的处理 .....	391

## 第六篇 产品设计信息管理

第十三章 产品设计信息管理 .....	393
13.1 产品设计工作模式 .....	393
13.1.1 传统制造企业的产品设计工作模式 .....	393
13.1.2 网络化协同设计的工作模式 .....	394
13.1.3 网络化协同设计平台的层次结构模型 .....	396
13.2 产品数据管理 (PDM) .....	397
13.2.1 PDM 的基本概念 .....	397
13.2.2 PDM 的体系结构 .....	398
13.2.3 PDM 中的 BOM 管理 .....	400
13.2.4 PDM 的其他功能模块 .....	410
13.2.5 PDM 的核心使能技术 .....	414
13.3 产品生命周期管理 (PLM) .....	420
13.3.1 产品生命周期管理的特点 .....	421
13.3.2 产品生命周期的解决方案 .....	423
13.3.3 一个典型的 PLM 解决方案 .....	429
参考文献 .....	431

# 第一篇 产品设计概述

## 第一章 产品设计概述

### 1.1 制造业产品设计的意义

21 世纪的制造业正面临着越来越激烈的全球化市场竞争,新经济和网络信息时代的浪潮正冲击着以产品为载体的企业生产经营活动。各种高新技术的迅猛发展与推广应用,虽然增加了新产品开发的投入和风险,但同时高技术含量的产品又给制造企业带来了丰厚的回报。当今的产品更新换代大大加快,新产品研制周期大幅度缩短,各种新的产品设计和开发技术应运而生,以信息技术为核心的高新设计支持技术在产品创新设计中的大量应用,推动了设计、制造自动化技术的迅速发展,并在设计方法学、新产品开发流程再造与项目管理、全球化并行协同设计、敏捷化战略联盟、设计支持新技术、数字化虚拟样机开发技术、仿真试验与性能评估技术、逆向工程与快速原型制造等方面取得了重大进展。

当今人类社会在充分享受各类工业产品带来的高度物质文明的同时,又渴望获得更新更丰富的物质产品来满足人类不断增长的物质需求。为此,制造企业必须不断推出创新的产品(Products),以更短的新产品上市时间(Time to Market)、更优的产品质量(Quality)、更低的产品成本(Cost)、更好的服务(Service)和满足环保要求(Environment)的“PTQCSE”六要素去赢得用户和更大的市场份额。为实现这一目标,各制造企业纷纷将先进的产品开发、生产、组织管理技术引入企业,从而引起全球范围内各制造企业的产品设计方法、支持技术和开发管理发生巨大变革。

产品是一切制造企业生产经营活动的主体,新产品设计与开发是这一活动主体的源头,因而产品现代设计方法及相应支持技术就受到制造企业的高度重视。社会在发展,需求在变化,市场和用户对产品的品种、功能和质量会不断提出新的要求,迫使激烈竞争中的制造企业竞相采用先进的技术手段来开发新产品,而新产品的开发又不断地对开发技术的发展提出新的要求。

所谓新产品,指的是采用新技术原理、新设计构思而开发生产出的全新型产品,或应用新技术原理、新设计构思,在结构、功能、材料、工艺等各方面对老产品进行重大改型,并显著提高原有老产品的性能或扩大功能而得到的改型新产品。

一个全新型的产品问世,不仅给市场和最终用户带来新的物质产品,而且给开发生产这一新产品的企业带来新的经济增长点和丰厚的回报,甚至会影响整个行业,形成新的产业。例如,移动通讯设备和产品(如手提电话)的开发成功和投放市场,以摩托罗拉(MOTOROLA)、爱立信(ERICSSON)、诺基亚(NOKIA)三大巨头为代表的移动通讯业,从 20 世纪 90 年代初

开始就在全球逐步形成了一个庞大的新兴产业，拉动了全球经济的快速增长。

改进型新产品的开发也具有重要意义。一般来说，一个全新产品从构思到投入市场需要相当长的时间，企业需要为此承担很大的风险。因此，尽管新产品是市场的佼佼者，但它毕竟是少数，而更多推向市场的产品都是在已有老产品基础上，不断改进、完善、提高，开发出的新产品。改进型新产品的开发在世界各国都非常普遍，对我国这样的发展中国家尤其重要。目前，我国已告别了计划经济时代，步入了社会主义市场经济时代，那种在计划经济时代形成的产品单一、结构不合理、技术含量不高、市场竞争力不强、几十年一贯制的老产品和产品开发技术，已明显不能适应当今迅速变化的市场需求和日益激烈的竞争要求，各制造企业迫切需要以新产品的创新设计为核心来带动企业组织结构、产品结构和产业结构的调整和再造，以创新求生存、求发展，从根本上改变经济增长方式。因此，国内众多的制造企业已开始从单一的引进、消化、吸收国外新产品的设计和工艺，再国产化，向逐步改型自主开发和全新自主开发方向发展；新产品开发已从劳动密集型向技术密集型转变，从低技术含量向高技术含量的新产品转变，从低附加值向高附加值的新产品转变，产品的快速更新换代和发展新的产品开发技术已成为众多制造企业转轨定向中的迫切需求。

任何一种新产品在千变万化的市场上都是“匆匆过客”，从它进入市场为用户所接受，到退出市场被用户所冷落，一般要经过市场分析—产品策划—产品设计—产品制造—产品上市—迅速增长—缓慢增长—饱和阶段—下降阶段—退出市场几个阶段（见图 1.1），被称之为产品生命周期。

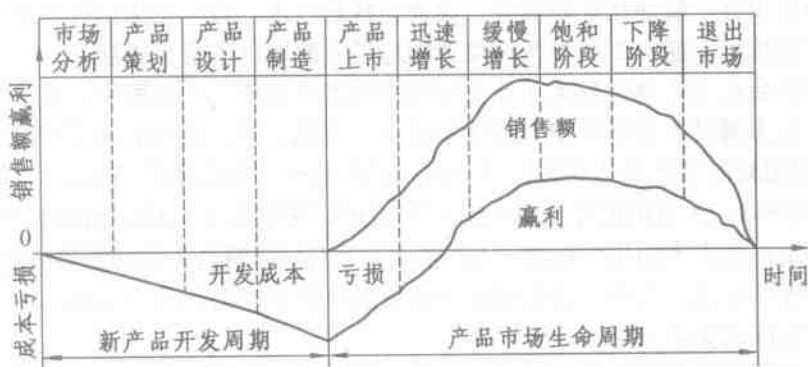


图 1.1 产品生命周期

作为产品整个生命周期中最重要的一个环节——产品设计占据极为重要的地位。在产品全生命周期中，设计阶段决定了约 70% 的总成本，而制造阶段及后续其他相关阶段只决定约 30% 的总成本。并行工程的研究与实践也表明：约 85% 的产品开发费用由产品设计阶段的工作决定，而这一阶段本身所耗费的成本却不到总成本的 7%。因此，对产品设计阶段的研究，尤其是概念设计过程的研究具有重要的意义。当前，现代产品设计理论主要包含以下四大部分：产品设计理论、产品设计过程、产品设计求解和产品设计过程中的功能。

## 1.2 现代产品设计理论概述

### 1.2.1 产品设计理论

设计就是为满足某种需求而进行的、有目的的创造性活动。针对具体的产品来讲，不同

的角色、工作环境,有着不同需求的客观主体。对于设计理论的研究,人工智能专家 Simon 认为设计是问题求解的过程,是人们制定程序把产品由一种状态转换为所需要的另一种状态的过程。Pahl 等认为设计的实质就是用最好的方式来满足一切要求的智力活动。Suh 把设计定义为一种主体需求转换成客观存在的过程。Yoshikawa 认为设计是一种从功能空间到属性空间的映射,是关于知识的抽象理论。按照设计域、过程表达、学科领域,可以将产品设计理论分为以下三大类:公理化设计理论、一般设计理论和通用设计理论。

(1) 公理化设计理论 (Axiomatic Design Theory, ADT): 主要是由美国 MIT 的 Suh 等人提出的产品设计的全局原理或公理,应用于产品设计过程中的决策。该理论主要内容包括顾客域、功能域、物理域、工艺域等四个域和独立性公理、信息公理等两个公理。每一域中都有各自的元素,即顾客需求、功能要求、设计参数和工艺变量。这四个域内的参数之间具有映射关系,在相邻域之间进行映射时,设计解的确定必须遵循保持功能需求独立性的独立性原理,如果同时有几个设计解均满足独立性原理,就需要依据信息公理进行解的优选,如图 1.2 所示。

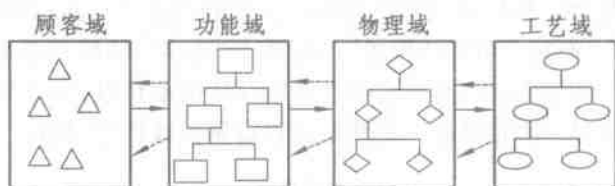


图 1.2 Suh 的公理设计过程

(2) 一般设计理论 (General Design Theory, GDT): 由日本东京大学的 Yoshikawa, Tomiyama 等学者提出,是一种对设计过程的数学表达,并认为设计是通过知识操作来实现的。GDT 假定每个设计元素都能够被抽象为无二义表达,同时认定当设计规范被描述后,设计在功能空间和属性空间的映射立即被成功地终止,在这种条件下通过引入理想化知识的概念来表示已知所有设计对象集合中的元素,并引入元模型空间作为一种过渡,反映出设计是一个逐步细化的过程, Tomiyama 在结合大量设计实验的基础上,提出了精细设计过程模型,作为对一般设计理论的扩展。

(3) 通用设计理论 (Universal Design Theory, UDT): 德国 PRK 研究所 Grabowski 等学者在总结不同学科领域内设计的特点后,提出一种跨学科的通用设计理论 UDT,该理论将设计过程分为需求建模、产品功能建模、物理建模、详细设计四个阶段,通过各个阶段内模型的冲突和相互约束来不断改善和修正模型本身,并通过对有基本元素的重新组合来实现设计过程的创新。

### 1.2.2 产品设计过程

对产品设计过程的不同理解,本质上就是对设计的内涵和外延的不同认识和对设计理论和方法的不同理解。设计过程的本质就是对设计问题进行求解的过程,是在不确定的状态下所进行的一种实现自己或客观主体目的的一个决策过程。从信息转换的角度来讲,定义产品设计过程是将一个关于制成品的需求和需要的信息转换为产品知识的过程,其根本目的就是要创新或改进产品。可将设计过程划分为:描述性的设计过程、规范化的设计过程和可计算的设计过程。

(1) 描述性的设计过程：揭示了设计过程的本质。Yoshikawa 以公理集合论为工具，提出了“一般设计理论”，建立了描述性的设计过程模型，把设计过程看成是一种从功能空间到属性空间的映射。Simon 和 Dixon 给出了整个设计过程的形式化描述，强调对设计过程动态抽象，并把这作为改进设计模型通用性的前提。Takeda 基于一般设计理论提出了设计过程的进化模型，定义了有限的属性集，该属性集是可以进化的，并在进化模型里将设计过程描述成一个逐步由功能空间向属性空间进化的过程。

(2) 规范化的设计过程：Pahl 等用系统的观点，将产品作为设计对象，设计对象可以视为一个技术系统，其功能是将物料、能量和信号的输入转换为相应的输出。在输入过程中，随时间变化的能量、物料、信号就形成能量流、物料流和信号流。能量包括机械能、热能、电能、光能、核能、化学能、生物能等；物料可以是材料、毛坯、物件、气体、液体、颗粒、物体；信号体现为测量值、显示值、控制信号、数据情报等。技术系统及其处理对象可用图 1.3 表示。输入和输出之间的差别就是功能，并强调基于功能分解和原理解搜索的设计步骤。Hubkat 以系统理论为基础，利用系统分析方法，以人的需求及其实现为依据，拟订“技术过程”，建立“技术系统”，制定“功能结构图”，利用“形态学”矩阵获取多种可行的技术方案，并提出了设计过程的一般模型，该模型表示了优化设计技术在设计阶段的决定作用。KollerE 将设计过程分为产品规划、功能设计、定性设计和定量设计四个阶段。

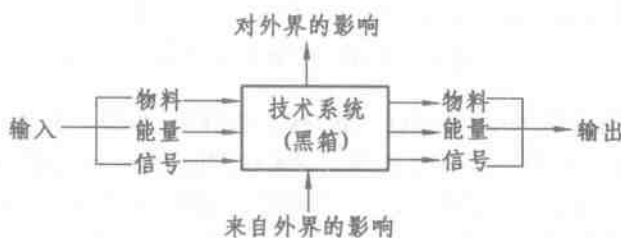


图 1.3 技术系统示意图

(3) 可计算的设计过程：其偏重于计算机可表达、可操作与可计算的产品设计过程理论，其主要的思想就是设计过程算法化、计算机化。Suh 基于计算机技术提出了可计算的过程模型，通过设计矩阵，将功能要求领域映射到设计参数领域，从而将设计过程中定性的概念需求转变为定量的物理参数。JohnsonE 的研究工作主要应用计算机技术、应用数学及跨学科技术，通过不断加强“优化算法库”“知识库”及“专家系统”的建设，来操作设计过程，提高产品质量和市场竞争能力。

### 1.2.3 产品设计求解

设计过程的本质就是对设计问题进行求解的过程，传统的设计过程问题求解方法有四种：试错式搜索、经验规则指导的搜索、科学分析和综合。试错式搜索是在设计空间或状态空间内进行系统或随机搜索直至找到满意解，虽然借助计算机的高速解算性能使得该方法在问题求解中有一些应用，但由于该法没有提供设计解后面的知识，从而使得设计解的重用受到很大的限制。经验规则指导的搜索是一种理性化的搜索方法，任何决策过程和设计解判定都是通过认可给定的初始条件，并将这些条件与有已知解的类似问题进行比较获得，因此该法在很大程度上依赖相关的问题语境和任务知识。科学分析的问题求解方法是基于科学理论如统



计和概率论、逻辑、集合论等进行知识泛化的求解。基于综合的问题求解是一个方法学，它需要许多不同的方法进行比较，经过寻优、判定来对多种结果进行一种知识密集化的合成。当前产品设计问题求解越来越依赖人类在工程实践中积累和掌握的设计经验、技术和方法，以及对知识的学习和利用。随着人工智能技术（AI）、知识集成技术的发展，利用人工智能技术对产品设计过程问题进行表达、推理和学习，以及对设计过程中相应的知识获取、表达和操作形成了下面两种求解方法。

### 1) 基于知识本体的设计过程求解方法

知识表达是人工智能技术应用于产品设计的基础，通常知识工程师与产品设计专家合作进行设计知识的获取，目前对知识的研究更多地偏向于对知识的理解和表达、知识的本体化。Poli 分析设计领域中所有相关特性，形式化给出一个包括一般知识和专门案例知识的设计知识模型，并借助本体论对设计知识模型加以表达，以使设计重用过程中的概念具有无二义性的特点。Kitamura 提出了功能本体的概念，建立了产品模型的功能结构框架，对概念设计过程中的功能知识进行了系统化的描述，使得功能知识能够应用到其他的领域中。Horvath 提出了设计概念本体，用于在概念设计阶段处理功能、结构、形状等一些设计概念。Roche 利用本体知识库下的软件环境 OK Station，来解释和消除并行工程环境下多领域内的人员或企业之间存在的工程和设计语义间的歧义，保证设计、制造工程顺利地进行。中国科学院金芝、陆汝钤等人基于本体的设计过程需求提出了软件需求本体获取方法，建立了以控制流和数据流为中心的两种需求分析方法，该方法是以企业本体和领域本体作为需求获取的元模型，用它指导和规范整个需求获取过程，并通过领域模型的重用完成目标系统的模型构造。

### 2) 基于软计算方法的设计过程求解

软计算方法中的一个重要内容就是基因算法，它是对自然选择的进化过程进行模拟的随机并行搜索算法，将基因算法应用到设计问题中，可以降低人对设计过程主观影响的程度。Louis 对基因算法在设计过程中的应用进行了较为详细的研究，探讨了其在设计中的应用的最适用领域、基因编码问题、算法结果分析方法、算法复杂性等相关问题。Poon 提出的共同进化基因算法是通过组合基因法和分离空间法来实现的，即把设计需求和设计解用一个组合基因型来表达的同时，将其模型化为相互作用且各自进化的基因型组，这样设计搜索过程就被进化为一个共同进化过程。Dorst 等提出了一种精练的共同进化模型，并给出了相应的问题求解子空间。由于设计过程可以看做是一个离散事件的过程，Zha 应用面向对象知识的 Petri 网对设计过程中各个部分进行建模和描述，并将其应用于产品的装配规划中，开发了相应的原型系统 IIDAP。Erden 利用 Petri 网对概念设计阶段产品设计中各个逻辑活动进行了建模，并对设计活动中多个设计行为进行仿真。Al-Hakim 等提出用图论的方法来对概念设计过程中的产品方案结构加以优化。Shait 等提出对一个现有的工程系统或部件进行图论描述，然后借助设计知识对所表达的部件或系统进行相应的设计分析。

## 1.2.4 产品设计过程中的功能

功能原本是工程技术人员耳熟能详的词汇范畴，是在各个工程领域内人们必须考虑的重要因素。实际上，功能并不是一个独立的范畴，总是或多或少地与目标、行为、结构、环境等因素相联系，因此尽管功能作为研究的对象，许多学者都试图给它一个科学的定义，但学术界目前仍然没有一个共识，此外要建立一个大家都能认同的功能的定义是不太现实的，只

能根据问题性质以及系统的特点，对功能进行各自的定义。功能是一个复杂的概念，有许多不同的定义和方法，到目前为止对功能已经开展了很多的相关研究，目前的研究主要集中在以下三个方面。

### 1) 从价值工程的观点来研究

应用价值工程中的文法语言来获取产品设计过程中的功能信息，并用动名词定义功能为对象能够满足某种需求的一种属性。Struge 以价值工程理论为背景，采用功能逻辑分解的办法针对产品功能进行划分，并通过定义功能之间的关系，使得功能图的语义更加完善，其研究的关键在于建立完备的功能定义库以及全面的功能块关系描述集，从而清晰地表达功能逻辑结构，其优点是比较注重功能间的逻辑关系，但无法较好实现功能之间的重组，因此该法的概括性很强，但针对性较差，不能获取与功能相关的其他信息，这种方法通常多被应用于工程管理、宏观价值经济分析等相关概念中，实际应用于工程的较少。

### 2) 从工程设计的观点来研究

将功能用系统的观点来描述，强调以机电产品为主的技术系统的功能表达在设计中的重要性。以 Pahl 为代表的工程设计研究人员提出了以能量、物质、信息等物理量为输入和输出，以物理量的变换为定义的功能模型，强调整体功能和子功能之间关系的分解形式，以及各自对应的功能构造概念，并将基于功能分解的功能构造作为概念设计的一个重要步骤。Roth 将基本功能分为物质、能量、信息的联接功能、改变功能、存储功能和引导功能。当系统将输入转换为输出时，它就体现出特定的功能，包含用途、需求和意图等含义，被看做是物理行为的抽象。相对于已经初步形成的产品而言，则是能够在一定工作条件下执行特定的行为，并产生相同的结果，达到用户或设计者要求的目标，而这些目标和结果就是所谓的产品功能。同时产品功能还受工作环境的影响，即通过系统对环境的外界作用体现出系统的功能，因此工作环境也是功能表达中一个重要的不可忽略的信息。这种定义结构清晰，能够表示功能之间的输入和输出关系，但是覆盖领域较小。这种基于三种物理量的输入、输出关系功能模型太过于抽象，没有经验的设计人员难以用来直观地表达功能，同时难以用计算机实现。

### 3) 从人工智能的观点来研究

人工智能领域对功能的研究主要是从基于模型的推理 (Model Based Reasoning, MBR) 出发，强调由结构到功能的推理，以得到对功能的解释，也即所谓的功能推理，主要根据物理系统的结构分析其各组成部分的行为以及系统整体的功能，来判断预期功能是否实现等问题。功能推理主要从功能建模入手，利用功能信息或知识来组织有关物理系统的其他信息和知识 (结构、行为等)，并完成各种需要功能推理的任务。人工智能领域关于功能的研究主要站在理解物理系统和物理设备的角度来考察功能建模和功能推理的重要意义，强调如何用计算机来表达和运用功能知识，从而有效地减少计算机理解复杂物理设备的计算复杂性的问题。人工智能领域关于功能的研究存在的主要问题有：各种概念或术语，尤其功能和行为的定义关系模糊混淆。比如，在功能与行为是否有区别问题上存在两种相反的意见：一种意见认为功能是行为的抽象或解释，另一种意见认为功能是零部件的行为与系统的行为的关系。功能表达和推理的应用范围狭窄，多以电路为对象，故障诊断为任务。

目前产品设计理论相当丰富，企业在选择产品设计理论进行自身产品的设计时，必须考虑产品的特点并结合适当的产品开发模式才能达到事半功倍的效果。



## 1.3 现代产品设计开发程序和原则

### 1.3.1 产品开发模型

新产品设计开发涉及的因素相当复杂，即使目标相同，开发程序也是多种多样的。下面给出四种具有代表性的产品开发模型。

罗斯韦尔和罗伯特于 1973 年提出了一个企业新产品开发的活动阶段模型（如图 1.4），这是人们研究得最多的模型。它力图确定新产品开发的特定活动，并把新产品开发看做是一个活动序列。

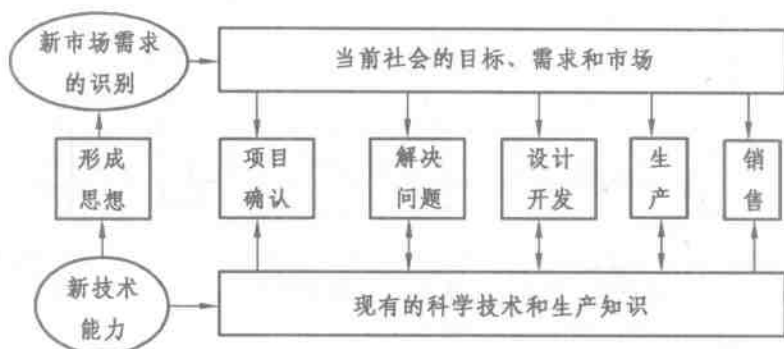


图 1.4 新产品开发活动阶段模型

特威斯（Twiss）于 1980 年提出的综合模型，如图 1.5 所示。该活动阶段模型的优点在于它表明了开发各阶段的任务，潜在新产品在不同阶段下的形式。这个模型对开发过程是更准确、更一般化的概括。这种模型的缺点在于没有指出在新产品开发过程的各点上存在着其他途径的可能性。

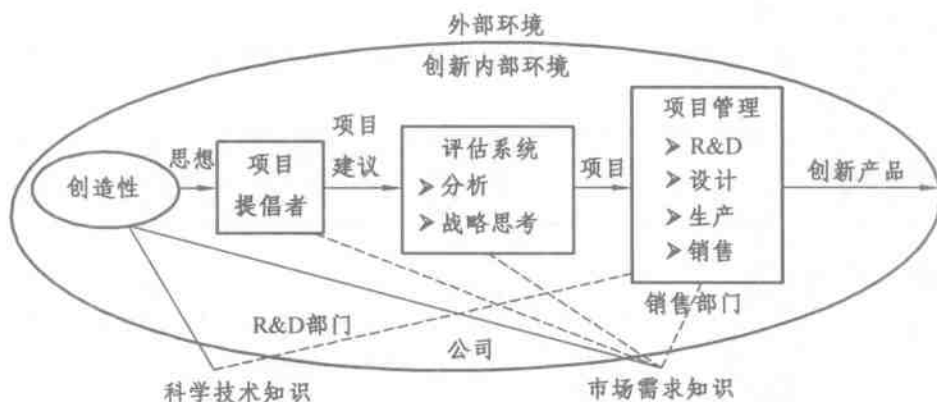


图 1.5 特威斯的综合模型

罗伯逊（Robertson）在 1984 年提出了部门阶段模型，如图 1.6 所示。在此模型中，他力图说明社会经济和技术因素对开发过程的影响，把新产品开发过程看做是一个从各个部门进出的系列。