

机械工程前沿著作系列 HEP
HEP Series in Mechanical Engineering Frontiers MEF

系统化设计的理论和方法

Theory and Method of
Systematized Design

闻邦椿
刘树英
郑玲

著

高等教育出版社

机械工程前沿著作系列 HEP
HEP Series in Mechanical Engineering Frontiers MEF

系统化设计的理论和方法

Theory and Method of Systematized Design

XITONGHUA SHEJI DE
LILUN HE FANGFA

闻邦椿 刘树英 郑 玲 著



高等教育出版社·北京

内容简介

本书讨论创新设计的主要方法之一：系统化设计。从科学方法论的角度讨论了系统化设计的理论和方法，研究了基于系统工程的有关创新设计的核心内容。

系统化设计方法论包括设计工作的三大核心要素、主观因素、客观因素以及动态因素。三大核心要素是目的和要求、任务和态度、步骤和方法；主观因素是四项潜能，即思想和品德、知识和能力、健康和生命、毅力和战术；客观方面的三个影响因素是机遇和挑战、环境和协调、条件和利用；设计过程中的两个动态因素是学习和致用，检查、总结和
提高。

还讨论了系统化设计的四个主要阶段：调研和选题阶段、规划阶段、科学实施阶段以及检验和评估阶段。调研和选题阶段包括 3I 调研，即用户需求调研、产品环境调研和产品风险调研；规划阶段包括 7P 规划，即设计目标、设计思想、设计环境、设计过程、设计内容、设计方法及设计质量检验的规划；科学实施阶段包括功能优化设计、结构性能优化设计、使用性能优化设计及制造性能优化设计等；设计质量检验包括采用理论方法、经验方法、试验方法、专家系统及用户信息反馈等进行检验。

本书可供主管项目研发和设计的领导以及从事设计工作的科技人员参考和阅读，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

系统化设计的理论和方法 / 闻邦椿，刘树英，郑玲
著. — 北京：高等教育出版社，2017.9
（机械工程前沿著作系列）
ISBN 978-7-04-048177-8

I. ①系… II. ①闻… ②刘… ③郑… III. ①机械系
统—系统设计—研究 IV. ①TH

中国版本图书馆 CIP 数据核字（2017）第 162862 号

策划编辑	刘占伟	责任编辑	刘占伟	封面设计	杨立新	版式设计	杜微言
插图绘制	杜晓丹	责任校对	张薇	责任印制	尤静		

出版发行	高等教育出版社	网 址	http://www.hep.edu.cn
社 址	北京市西城区德外大街4号		http://www.hep.com.cn
邮政编码	100120	网上订购	http://www.hepmall.com.cn
印 刷	北京鑫丰华彩印有限公司		http://www.hepmall.com
开 本	787mm×1092mm 1/16		http://www.hepmall.cn
印 张	22.75	版 次	2017年9月第1版
字 数	440千字	印 次	2017年9月第1次印刷
购书热线	010-58581118	定 价	79.00元
咨询电话	400-810-0598		

本书如有缺页、倒页、脱页等质量问题，请到所购图书销售部门联系调换。
版权所有 侵权必究
物 料 号 48177-00

前言

每个人每天在做事。有的人做事有很高的成功概率;而有的人常常以失败而告终。对于企、事业单位来说,项目的研发和设计也有同样的情况。有的设计师常常能很好地完成设计任务,而有的设计师并不受用户欢迎。做事能否成功,与采取的方法有着不可分割的联系;设计也是如此,设计任务完成的好坏与设计师采取的指导思想 and 理论与方法有直接的关系。因此,要做好项目的研发及设计,设计师应该用科学的设计方法,即创新设计原理和方法来指导,并有效地运用这些方法。

众所周知,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与研究的本科生或研究生来说,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些方法也不是一件轻而易举的事。有一些从事设计理论方法研究的科技工作者,也曾夸耀过他们所研究或提出的理论、方法及软件可以解决设计的全部问题。例如,有人说:虚拟设计、概念设计、智能设计和数字化设计等可以解决设计的全部问题。这只能说他们对设计的全部内容缺乏全面的了解,或者仅仅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一些宣传而已。在这里,我们绝对不会去否认这些设计理论与方法在设计中所起的作用及其重要性。

设计是一项十分复杂的工作。必须站在更高的位置上,既要用宏观的眼光去观察、分析、规划所从事的设计工作;又要用细观或微观的目光对目前科技工作者提出的诸多设计理论与方法进行剖析,找出它们的共性、特性及优点和不足,以及它们的适用范围。在此基础上,从设计方法学观点出发,提出了更适用于指导设计的理论与方法。这就是本书所要研究的中心内容——“基于系统工程的设计方法学”,或“基于系统的综合设计理论和方法”,简称为“系统化设计”。在系统化设计过程中,要广泛采用先进的科学技术,特别是将创新的思维、创新的原理和方法运用于设计之中,还要运用科学方法论的体系和规则来指导设计工作,这才是真正、全面、完整和名副其实的创新设计。

设计工作,无论是创新设计,还是系统化设计,都应该在科学方法论的指导下开展工作。科学方法论的十二对规则包括,三对核心要素:目的和要求、任务和态度、

步骤和方法; 主观方面可发挥的四项潜能: 对个人是思想和品德、知识和能力、健康和生命、毅力和战术, 对集体是组织和领导、技术和管理、团结和协作、斗志和战术; 客观方面的三个影响因素: 机遇和挑战、环境和协调、条件和利用; 两个动态因素: 学习和致用, 检查、总结和提高。

系统化设计的程序包括设计的调研和选题、设计的规划、设计的具体科学实施以及设计质量的检验四个阶段。

设计工作的第一阶段是调研和选题, 要做好需求调研、环境调研、风险调研, 在此基础上选好题目。

设计工作的第二阶段是设计规划, 包括设计目标、设计思想、设计环境、设计过程、设计内容、设计方法、设计质量检验七项内容的规划。

设计工作的第三阶段是具体的科学实施, 既要考虑设计的广义目标, 即设计质量、设计成本、设计周期、环保以及事后的服务等; 还要满足设计工作的具体的技术目标, 即主功能、辅助功能以及各种性能, 包括结构性能、使用性能、制造性能及特殊性能等。

设计工作的第四阶段是设计质量的检验和评估。

在设计的全过程中, 应该努力执行科学方法论体系和规则以及系统化的工作程序; 在正确思想的指导下, 运用各种先进的科学技术和方法, 创造性地解决设计中的各种问题, 这就是创新设计。

本书将对上述问题分别进行讨论, 使科学方法论和设计方法学的思想贯穿于各个设计环节中, 从主观因素、客观因素、动态因素及正确的指导思想等几个方面, 去研究、解决和完成系统化设计所要实现的目的和要求、任务和态度、步骤和方法。

本书共分 12 章。第 1 章为概论; 第 2 章为设计中应该遵循的科学方法论的十二对规则; 第 3 章和第 4 章讨论设计工作的智能化、专家系统及设计工作的实例; 第 5 章到第 11 章为设计工作的四个阶段, 在这些阶段要实现设计工作所必须满足的广义目标和技术目标的有关内容; 第 12 章为设计应用举例和结语。

本书在编写过程中得到了东北大学的有关领导和许多同事的大力支持和帮助, 在此谨向他们致以深切的谢意。书中有不妥之处, 请读者予以批评指正。

作者

2017 年 5 月

目 录

第 1 章 概论	1
1.1 研究系统化设计的意义	1
1.2 现代设计理论与方法的应用与发展	4
1.2.1 设计方法学的研究简况及其发展	4
1.2.2 现代产品设计理论与方法研究简况	5
1.2.3 国际著名产品设计理论与方法简介	5
1.2.4 我国在设计理论与方法上的研究及有关的设计法	10
1.2.5 产品主要 (广义) 设计方法简介	12
1.3 产品设计理论与方法的分类	14
1.4 系统化设计的概念和特点	18
1.4.1 系统化设计的概念	18
1.4.2 系统化设计的特点	19
1.5 产品系统化设计的指导思想与目标	20
1.5.1 产品系统化设计的指导思想	20
1.5.2 系统化设计的目标	20
1.6 产品系统化设计的步骤和内容	21
1.6.1 系统化设计的步骤	21
1.6.2 产品系统化设计的内容	22
1.6.3 产品的系统化设计与其他设计方法的区别	25
1.7 系统化设计过程中的和谐设计、创新设计和深层次设计	26
1.7.1 产品的绿色设计与和谐设计	26
1.7.2 产品的创新设计	27
1.7.3 产品的深层次系统化设计	27
1.8 产品系统化设计的技术和手段	27
第 2 章 按照科学方法论中的规则做好系统化设计	31
2.1 引言	31
2.2 科学方法论的体系和特点	31
2.3 科学方法论十二对规则	33

2.4	从事系统化设计工作要重视三对核心要素	37
2.4.1	从事系统化设计工作要有明确的目的和具体的要求	37
2.4.2	从事系统化设计工作要有具体的任务和应有的正确态度	40
2.4.3	从事系统化设计工作要有理想的步骤和科学的方法	42
2.5	从事系统化设计工作要充分发挥四项潜能	45
2.5.1	要有良好的思想和品德	45
2.5.2	要具有必需的知识和能力	48
2.5.3	要保持健康和珍爱生命	50
2.5.4	要有坚韧的毅力并采用灵活机动的战略、战术	51
2.6	从事系统化设计工作要重视三个客观因素	52
2.6.1	应紧抓良好机遇和迎接挑战	53
2.6.2	应该努力保护环境和利用环境	54
2.6.3	应该充分利用外部条件	56
2.7	从事系统化设计工作要做好两个动态因素	57
2.7.1	要在工作过程中不断学习, 创造新成果	58
2.7.2	要经常对工作进行检查和定期总结, 提高工效	58
2.8	按照方法论做事可取得良好的效果	59
2.9	结语	59
第 3 章	创新思维、创新原理和创新技法	61
3.1	创新思维的种类及在创新工作中的作用	61
3.2	常见的创新思维形式	62
3.3	创新原理的种类及其在创新过程中的作用	71
3.4	常用的创新原理及应用	72
3.5	创新技法的种类及其在创新过程中的重要作用	82
3.6	常见的创新技法	83
3.7	TRIZ —— 发明问题解决理论	90
3.7.1	TRIZ 理论的诞生	91
3.7.2	TRIZ 理论的主要内容	92
3.7.3	TRIZ 的作用	93
第 4 章	科学方法论应用的智能化及专家系统	97
4.1	科学方法论应用的智能化的重大意义	97
4.2	专家系统的应用研究与发展	98
4.3	专家系统的基本结构	99
4.4	科学方法论应是专家系统知识库中重要的共性核心知识	100
4.5	比较推理是专家系统中最易实施的推理形式	101

4.6	最简单的专家系统举例	102
4.7	基于逻辑的故障诊断专家系统举例	109
4.7.1	知识处理模块	109
4.7.2	知识库模块	110
4.7.3	推理诊断模块	111
第 5 章	系统化设计第一阶段: 调研和选题	115
5.1	概述	115
5.2	用户需求调研	116
5.2.1	用户需求调研的意义	116
5.2.2	用户需求调研的主要内容	116
5.2.3	用户需求调研的主要方法和技术	124
5.3	系统化设计环境的调研	126
5.3.1	研究产品环境因素的意义	126
5.3.2	产品环境的种类及内容	128
5.3.3	协调企业与环境及产品与环境的方法	131
5.4	风险的调研	133
5.4.1	风险调研的意义	133
5.4.2	产品风险调研的主要内容	133
5.4.3	产品风险调研的主要方法	135
第 6 章	系统化设计第二阶段: 设计规划或顶层设计	137
6.1	概述	137
6.2	系统化设计总体规划模型	137
6.2.1	系统化设计规划的七个映射域和 7D 设计总体规划模型	138
6.2.2	系统化 7D 设计总体规划模型的分层结构图	142
6.3	系统化设计目标规划模型	142
6.4	系统化设计思想规划模型	143
6.5	系统化设计环境规划模型	143
6.6	系统化设计过程规划模型	145
6.7	系统化设计内容与方法规划模型	146
6.8	系统化设计质量检验与评估规划模型	147
6.9	完整和不完整的设计系统或技术系统	148
6.9.1	完整的技术系统与不完整的技术系统	148
6.9.2	完整技术系统与不完整技术系统的对比	149

第 7 章 系统化设计第三阶段科学实施内容之一: 主辅功能设计 . . . 153

7.1 概述	153
7.2 产品功能的分析	154
7.2.1 功能的种类	154
7.2.2 产品功能的内涵: 基本功能和辅助功能	155
7.2.3 对产品功能特性的要求	157
7.2.4 合理功能的确定	159
7.2.5 产品功能的分解	160
7.3 功能技术方案的分解和组合	162
7.4 主功能系统设计方案的要点	162
7.5 物质输送系统设计方案的要点	163
7.6 物件夹持系统设计方案的要点	165
7.6.1 工件的定位	165
7.6.2 工件和刀具的夹持	165
7.7 运动传递系统设计方案的要点	166
7.8 机器操作系统设计方案的要点	168
7.8.1 操作机构和操作系统	168
7.8.2 执行机构	169
7.9 动力传输系统设计方案的要点	169
7.10 信息传输和处理系统设计方案的要点	171
7.10.1 信息流的结构模型图	171
7.10.2 信息系统要完成信息的采集、转换、传输、处理和储存	172
7.10.3 系统工作状态的控制	173
7.11 产品的功能方案的选取	175
7.11.1 结构方案 (工作机构、运行系统及机器结构)	175
7.11.2 技术参数设计	179
7.11.3 绘制总体布局设计图	180
7.11.4 设计方案的选择与评价	181
7.12 产品功能设计举例	183

**第 8 章 系统化设计第三阶段科学实施内容之二: 面向结构
性能的动态设计 191**

8.1 概述	191
8.2 面向产品结构性能的动态设计的种类和特点	192
8.3 面向产品结构性能的动态设计的内涵	193
8.3.1 一般动态设计法	193
8.3.2 深层次动态设计法	197

8.4	动态设计的步骤和方法	198
8.4.1	机械系统的运动学分析和参数的计算	199
8.4.2	机械系统的线性或非线性的动力学建模	200
8.4.3	机械系统的线性或非线性的动态特性分析与动力学参数计算	201
8.4.4	其他线性或非线性的动力学特性分析	202
8.4.5	试验研究和试验分析	202
8.4.6	根据试验结果对线性或非线性的机械系统的未知参数进行辨识	202
8.4.7	审核与修改准则	203
8.4.8	对机械或结构的线性或非线性问题进行修改设计	203
8.5	应用举例——振动离心脱水机的非线性动力学计算	204
第 9 章 系统化设计第三阶段科学实施内容之三: 面向使用性能的智能设计		
		211
9.1	概述	211
9.2	面向产品使用性能的设计目标、内容和方法	213
9.2.1	设计的目标	213
9.2.2	设计的内容	217
9.2.3	设计的方法	221
9.3	产品操作系统的设计	221
9.3.1	操作机构	222
9.3.2	筛机启动时的同步跟踪操作系统	222
9.4	运动状态的控制系统设计	225
9.4.1	交通工具运动状态的控制	225
9.4.2	各种数控机床运动状态的控制	225
9.4.3	机器人运动状态的控制	226
9.4.4	多机传动机械系统的运动控制	226
9.5	工作参数控制系统的设计	236
9.5.1	参考轨迹的智能预测	237
9.5.2	预测因子的确定	239
9.5.3	预测算法的改进	241
9.5.4	阻抗模型中基于位置反馈预测的仿真研究	242
9.5.5	阻抗模型中基于力反馈预测的仿真研究	246
9.6	工作过程控制系统的设计	248
9.7	工作状态监测与故障诊断系统的设计	250
第 10 章 系统化设计第三阶段科学实施内容之四: 面向制造性能的可视化设计		
		253
10.1	概述	253

10.2 面向产品制造性能的可视化设计的理论框架	254
10.2.1 可视化设计产生的背景	254
10.2.2 可视化设计的定义和特点	254
10.2.3 可视化设计的具体内容	255
10.2.4 可视化设计法的技术流程	257
10.2.5 可视化设计法的关键技术	259
10.2.6 主要研发软件	260
10.2.7 可视化设计法的应用原则	263
10.2.8 可视化设计中的非线性问题	264
10.3 加工过程可视化	266
10.3.1 研究内容及目标	267
10.3.2 应用举例	267
10.3.3 研究实例	269
10.4 装配 (拆卸) 过程可视化	271
10.4.1 研究内容及目标	271
10.4.2 研究方法 & 实施过程	271
10.4.3 研究实例	274
第 11 章 系统化设计第四阶段: 设计质量检验与评估	277
11.1 设计质量检验与评估的必要性	277
11.2 设计质量指标的内涵	278
11.3 评价指标的加权系数	280
11.4 设计质量评价方法的种类	281
11.5 模糊综合评价法	282
11.5.1 模糊综合评价法在产品质量评价中的应用情况	282
11.5.2 多级模糊综合评价模型	283
11.6 系统分析法	286
11.6.1 系统工程评价方法的基本原则	287
11.6.2 建立评价指标体系和确定评价指标值	287
11.6.3 建立评价模型	288
11.7 价值工程法	289
11.7.1 产品的功能	290
11.7.2 产品的寿命周期成本	290
11.7.3 产品的价值	291
11.7.4 机械运动方案的价值评定	291
11.8 产品质量模糊综合评价应用实例	292

第 12 章 系统化设计应用举例	297
12.1 概述	297
12.2 振动沉拔桩机的功能设计	297
12.2.1 沉拔桩机加压机构和行走机构	298
12.2.2 新型沉拔桩机振动机构的选取	300
12.2.3 旋转阀	302
12.2.4 隔振系统设计	307
12.3 面向振动沉拔桩机结构性能的动态设计	307
12.3.1 振动沉桩时土的力学模型	307
12.3.2 振动沉拔桩机系统数学模型及其动力学特性	311
12.3.3 振动沉拔桩机慢变参数系统的动力学特性	315
12.4 面向振动沉拔桩机使用性能的智能设计	319
12.4.1 基于 PLC 的顺序控制技术	319
12.4.2 PLC 控制系统设计	320
12.4.3 PLC 在振动沉拔桩机控制中的应用	321
12.5 面向振动沉拔桩机制造性能的可视化设计	326
12.5.1 可视优化概念	326
12.5.2 振动沉拔桩机系统	327
12.5.3 实现方案	328
12.5.4 振动沉拔桩机系统可视化设计	328
12.6 结语	334
参考文献	337

第 1 章 概 论

1.1 研究系统化设计的意义

人们每天都在做事,总希望所做的每件事对国家、人民甚至全人类都是有益的、要达到质量标准、花的钱要少些、做得快一些、对周围环境的有害影响少一些、事后服务工作量要少一些,这就是人们所说的:系统化设计要有正确的指导思想 (I)、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) 以及方便的事后服务 (S),这六个要素是系统化设计工作好坏的评定指标。系统化设计的六项目标和要求如图 1.1 所示。

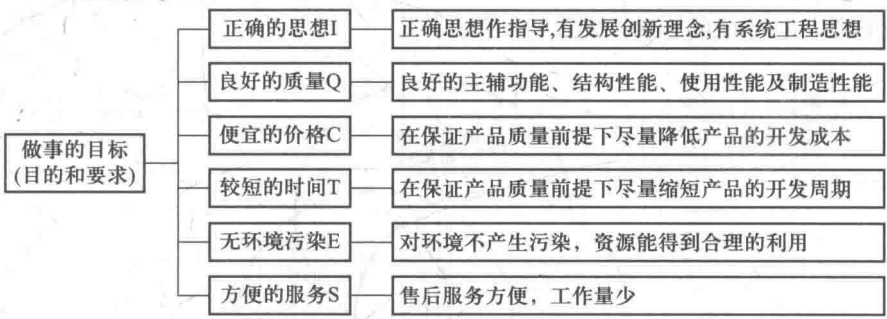


图 1.1 系统化设计的六项目标和要求

口头上说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,若要满足前面所述的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,国内外许多科技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^[1-260]。

为什么有些人在做事时能做得很好,而有些人常常失败?好的设计师为什么能设计出好的产品,而有些设计师却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,由此可见产品设计方法学对于企业或设计师来说至关重要。

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力,必须依赖人的正确思想,或依赖先进的科学技术。

为了研制与开发出安全可靠、技术性能较高及经济、耐用的产品,首先要搞好

产品的设计工作。据有关专家统计,产品质量的好坏,设计的贡献率达 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,其设计是落后的,那么即使花了很大气力把它制造出来,这种产品仍是落后的。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,设计在保证产品质量、提高产品市场竞争力,即在新产品开发和老产品改造方面起着头等重要的作用^[162-167],而要全面满足 IQCTES 的要求,首先必须要有正确的思想 I。

日本某部门曾对机械设备发生的故障进行过分析和统计,发现因设计造成设备故障的比例占 50%,因元件、材料原因造成故障的比例为 33%,因制造不良造成设备故障的比例为 17%。因此,好的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具有更好的质量、更低的成本及更快的速度,在满足顾客需求、环境约束和应对各种风险的条件下不断地把产品推向市场,才能赢得国际化竞争。现代产品设计的核心因素在于产品质量、上市时间、开发成本、售前和售后服务以及对环境的影响,如图 1.2 所示。

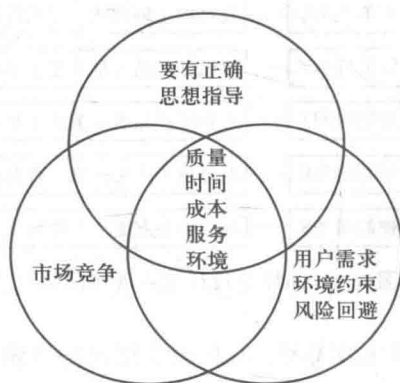


图 1.2 现代产品设计的核心因素

目前,科学技术界的学者们对产品设计方法学的研究是从宏观和细观两个方面进行的:

(1) 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研究产品设计的指导思想、要实现的目标、产品设计的环境、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、综合设计、多学科交叉融合设计、和谐设计等都属于这方面的研究内容。宏观角度可以防止产品设计工作中可能出现的主观性、盲目性、片面性及随意性等。

(2) 从细观角度去研究产品设计方法学, 用动力学理论、信息技术、数字化方法等研究产品设计的具体问题和方法, 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。细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, 为产品的宏观设计奠定基础。但是只研究细观方面的设计, 容易使产品设计失去宏观的指导和控制, 解决了某一方面的问题却忽略了另一方面的问题, 容易出现片面性。

过分地强调某一方面的作用是不正确的。有人说: “提出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

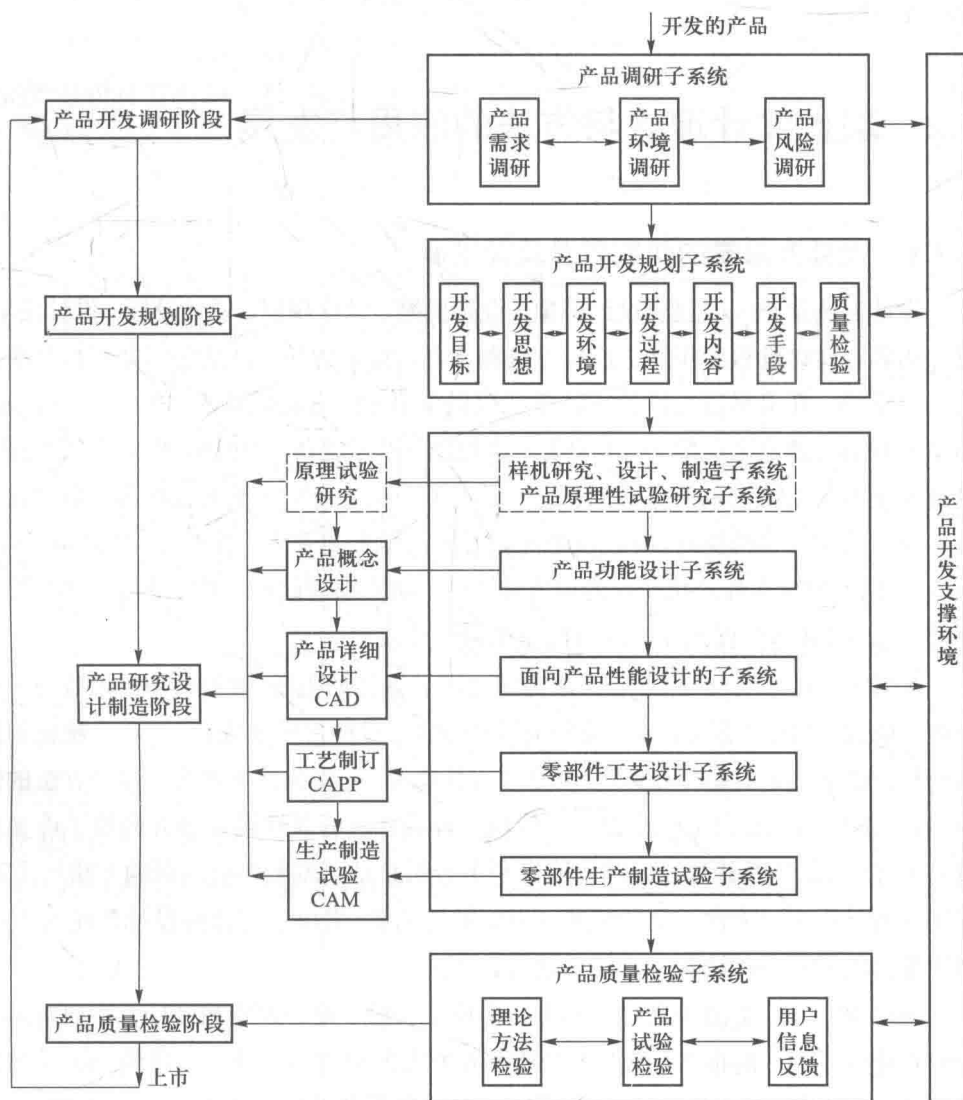


图 1.3 产品开发过程的一般模型

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, 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, 几乎所有的工作都涉及政治思想的指导, 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细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, 的确有相当一部分人只考虑细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。产品开发过程的一般模型如图 1.3 所示。

1.2 现代设计理论与方法的应用与发展

1.2.1 设计方法学的研究简况及其发展

设计方法学是一门研究设计对象、设计思维、设计规划、设计目标、设计环境、设计内容、设计进程和步骤、设计方法和工具、设计评价, 以及它们之间相互联系的一门学科。在最早进行设计方法学研究的学者中, 应该提到德国的 F. Reuleaux, 1875 年他在《理论运动学》一书中第一次提出“进程规划”的模型, 即对许多机械技术现象中本质上统一的东西进行抽象, 形成了一套综合、完整的程序和步骤。这是最早对程式化设计的探讨, 并公认他是设计方法学的奠基人。直到 20 世纪 40 年代, Katzhach 等相继在程式化设计的内容和方法、功能原理设计、设计评价原则等方面开展一系列的研究, 促进了设计方法学的进一步发展。

20 世纪 60 年代, 一些工业国家为满足产品设计的需要, 对设计方法学进行了进一步的研究。例如, 德国学者着重研究设计原理、设计过程及规律, 进行系统化的逻辑分析, 编写了设计模式和规范, 供设计人员参考; 英美学者则侧重于设计方法的创新, 在计算机辅助设计、优化设计、价值工程设计、可靠性设计等方面做了许多有益的工作; 苏联学者从数百万件发明专利中分析总结了发明解决问题的方法与措施; 日本学者从引进、消化、吸收到进一步发展与创新, 提出了自己的设计理论与方法, 如质量功能配置设计法和三次设计法等。

1985 年 9 月, 美国国家科学基金会提出了一份“设计理论和设计方法研究的目标和优化的项目”的报告, 该报告概括了五方面的内容: ① 设计的系统化方法与定量方法; ② 方案设计 (概念设计) 和创新; ③ 智能系统及以知识为基础的系统; ④ 信

息的综合和管理; ⑤ 设计学与人类学的接口相关问题。

20 世纪 70 年代以来, 在国际上成立了国际工程设计研究组织 WDK (Workshop Design-Konstruktion), 此后, WDK 又发起组织了一系列工程设计会议 ICED (International Conference on Engineering Design), 还组织出版了有关设计方法学的丛书。

1980 年以后, 德国、美国、日本等国学者不断来华讲学, 为我国学者向西方学者学习创造了良好的条件。1983 年 3 月, 中国机械工程学会机械设计分会首次派代表参加了 ICED 罗马会议, 于 1983 年 5 月在杭州召开了全国设计方法学讨论会, 并相继成立了全国性和地区性的设计学会。

1.2.2 现代产品设计理论与方法研究简况

20 世纪 70 年代, 德国学者 Pahl 和 Beitz^[24] 提出了最具代表性、权威性和系统性的产品设计方法学, 将工程设计过程分为四个阶段: 明确任务阶段、概念设计阶段、具体化设计阶段及详细设计阶段。近 20 年来, 产品设计又引入了系统科学、信息科学理论和方法, 更广泛地借助于现代数学方法和计算技术, 使产品设计进入了系统工程、系统优化及计算机辅助设计的阶段。工程设计是一种有目标的创造性社会活动, 自然科学和工程科学是其必要的知识基础; 相关的专业知识和经验, 尤其是结构工艺、材料性能、生产过程及管理方面的知识基础也是十分必要的; 设计产品往往是为了满足社会的需要, 力争使其具有市场竞争力。因此, 设计人员还必须了解与产品相关的政治、经济、人文、法律、社会、技术及生态环境等方面的情况。

多年来, 各国学者对产品设计活动进行了研究, 提出了许多设计理论与方法, 比较著名的有发明问题解决理论 (theory of inventive problem solving, 拉丁文为 teoriya resheniya izobreatatelskikh zadatch, 即 TRIZ)、公理化设计理论 (axiomatic design, AD)、三次设计法、面向对象的设计 (design for x, DFX)、并行设计、优化设计、绿色设计、虚拟设计、数字化设计等。这些理论与方法多是在不同的条件下相互独立提出的, 各有优缺点。到目前为止还没有一种公认的最好或最适于工业界应用的设计理论和方法。正如麻省理工学院公理性设计组的 Tate 博士通过对世界著名流派的设计理论进行分析时所指出的: “尽管设计理论的研究已有 100 多年的历史, 很多研究成果已在工业界得到应用, 但设计理论并未成熟, 目前仍处于准理论阶段”。完善已有的设计理论, 提出更具应用前景的设计理论, 在工业界推广已有的设计理论等, 一直是设计理论界的重要课题。

1.2.3 国际著名产品设计理论与方法简介

下面对一些国际著名设计理论的基本原理及研究现状进行介绍。