



制 造 业 信 息 化 丛 书

机械产品设计与 CAD 技术

盛伯浩 陈宗舜 编著

清华大学出版社



制 造 业 信 息 化 丛 书

机械产品设计 与 CAD 技术

戚伯浩 陈宗舜 编著

清华大学出版社
北京

内 容 简 介

本书主要包括:分析机械产品设计技术的发展,研究CAD技术的应用,把现代先进产品设计技术与计算机应用技术结合起来,以发挥计算机及信息技术在产品设计中的最大作用;分析CAD与PDM、CAPP、ERP的关系及在企业信息化集成运行条件下对CAD系统的要求;介绍CAD系统在企业中应用的步骤和方法;以已完成机械工业技术发展基金资助数控机床整机CAD及开发应用成功的电气CAD为例,介绍机械产品CAD的内容。

本书适合从事CAD系统开发人员、应用CAD技术进行机械产品设计的工程技术人员、企业技术部门的领导及高等院校相关专业师生使用。

版权所有,翻印必究。举报电话:010-62782989 13501256678 13801310933

图书在版编目(CIP)数据

机械产品设计与CAD技术/盛伯浩,陈宗舜编著. —北京:清华大学出版社,2005.4
(制造业信息化丛书)

ISBN 7-302-10363-1

I. 机… II. ①盛… ②陈… III. 机械设计:计算机辅助设计 IV. TH122

中国版本图书馆CIP数据核字(2005)第005052号

出 版 者:清华大学出版社 地 址:北京清华大学学研大厦
http://www.tup.com.cn 邮 编:100084
社 总 机:010-62770175 客 户 服 务:010-62776969

组稿编辑:张秋玲

文稿编辑:陈 力

印 刷 者:北京密云胶印厂

装 订 者:三河市新茂装订有限公司

发 行 者:新华书店总店北京发行所

开 本:170×230 印 张:16.75 字 数:290千字

版 次:2005年4月第1版 2005年4月第1次印刷

书 号:ISBN 7-302-10363-1/TH·159

印 数:1~4000

定 价:25.00元

2003 年中国机械工业联合会根据对 166 家机械制造企业调查统计得到如下结果: CAD 应用基本普及, 重点骨干企业的 70% 已应用 CAD 技术, “九五”期间 50 家示范企业的 CAD 应用普及率已达 93%, 主导产品 CAD 的出图率达 98%。但 CAD 应用的深度仍有很大局限, 相当一部分企业停留在出图上, 三维 CAD、CAD/CAM、仿真设计等应用很少, 被调查的 166 家企业中, 进行结构优化计算的只占 16%, 进行仿真设计的只占 6%。众所周知, 产品设计是制造业的龙头, 是制造业信息化的主要信息源。没有优化的信息源, 整个制造业信息系统不可能全面优化, 所以深化 CAD 的应用是企业信息化的关键问题。

深化 CAD 的应用, 首先必须分析传统机械产品设计技术及其存在的问题, 研究现代先进设计技术的发展, 从而进一步研究 CAD 技术的应用, 把现代先进产品设计技术与 CAD 应用技术结合起来, 发挥计算机及信息技术在产品设计中的最大作用。深化 CAD 的应用是一项复杂的系统工程, 因此 CAD 技术在机械企业中的实施必须走系统开发的道路, 按系统工程的步骤与方法开展企业 CAD 系统的系统设计、CAD 系统应用的二次开发, 研究解决 CAD 与 PDM、CAPP、CAM、ERP 的关系, 使 CAD 系统能为企业信息集成运行创造条件, 解决目前我国企业信息化中的“孤岛现象”。只有这样才能深化 CAD 的应用, 使 CAD 系统成为企业信息化中的龙头。

本书收集总结我国企业应用 CAD 技术的经验与教训, 对以下问题作了叙述:

- (1) 产品设计方法的发展, 与 CAD 技术有关的现代先进产品设计技术;
- (2) CAD 技术的发展;
- (3) 机械制造企业中 CAD 系统的系统设计, CAD 技术应用的实施步骤和实施过程的组织;
- (4) CAD 系统应用二次开发的内容、方法和重要性;
- (5) CAD 与 PDM、CAPP、CAM、ERP 的关系, 在企业信息集成运行条件

II 机械产品设计与 CAD 技术

下对 CAD 系统的要求;

(6) 整机 CAD 系统、电气 CAD 系统的设计与开发实例。

本书第 1 章由盛伯浩编写;第 2 章由盛伯浩、陈宗舜编写;第 3 章由盛伯浩、杜敦诗编写;第 4 章由陈宗舜、盛伯浩编写;第 5 章由陈宗舜、吴春燕编写;第 6 章由盛伯浩、吴春燕、葛爱和编写。

书中如有不当之处,请批评指正。

(作者联系:盛伯浩,电话:010-64739744;邮编:100102;地址:北京朝阳区望京路 4 号北京机床研究所;陈宗舜,电话:0531-7972941,7967425;邮编:250022;地址:山东省济南市经十路 464 号济南铸锻机械研究所 207 室)

作者

2004 年 12 月

CONTENTS

目 录

前言	I
1 机械产品设计技术的发展	1
1.1 机械制造业及机械制造技术的发展	1
1.2 产品设计方法的发展	3
1.3 产品设计与创新	4
1.4 产品创新设计方法学	9
2 几种与 CAD 技术密切相关的设计方法	21
2.1 标准化技术	21
2.2 成组技术在产品设计中的应用	33
2.3 模块化设计技术在产品设计中的应用	71
2.4 优化设计	89
2.5 适应大规模定制生产的设计方法	93
3 CAD 技术的发展	98
3.1 CAD 技术的概述	98
3.2 应用 CAD 技术的产品设计过程	101
3.3 CAD/CAE 系统介绍	103
3.4 CAD 网络系统	110
3.5 CAD 软件的发展	118
3.6 图形标准与 CAD 数据交换规范	127
4 CAD 技术在企业中的应用	136
4.1 企业应用 CAD 的目标	136
4.2 目前我国企业 CAD 系统应用情况的分析	140
4.3 CAD 系统的系统设计	142

IV 机械产品设计与 CAD 技术

4.4 CAD 系统的二次开发	158
4.5 开发与应用 CAD 系统对人才的要求	165
5 CAD 技术与企业其他计算机应用系统的关系	169
5.1 CAD 与 PDM	169
5.2 CAD 与 CAPP	183
5.3 CAD 与 CAM	185
5.4 CAD 与 ERP	189
6 CAD 系统开发的实例	194
6.1 CAD 系统的二次开发实例介绍(数控机床整机 CAD)	194
6.2 机械设计中的电气 CAD 系统设计实例介绍	221
附录 缩略词及部分名词解释	257
参考文献	261

机械产品设计技术的发展

本章主要从机械制造业及机械制造技术的发展来分析机械产品设计技术的发展,重点介绍当前市场经济下机械制造业多品种、单件、中小批量、变批量生产的机械制造业产品设计技术。

1.1 机械制造业及机械制造技术的发展

1850 年前后,制造业由个体手工业发展为手工业作坊,迄今已有 150 多年的历史。从 1914 年起,现代机械制造业的出现和发展可以分为六个重要阶段,大致如表 1.1。

表 1.1 机械制造业发展的重要阶段

发展阶段	时 间	生产模式	制造策略	加工装备和技术特点	生产组织和管理特点
1	1914 年起	工业化规范生产	制定合理工序和科学工时定额(泰勒管理方式)	车、铣、镗、磨机床等机械化装备	建立设计、工艺、生产等功能专业部门
2	1940—1950	大批量自动化生产	生产过程动态统计	组合机床,刚性流水自动线	以质量为核心的部门间协调
3	1950—1960	中、小批量生产	柔性自动化生产	数控机床和加工中心	应用成组技术,按零件族组织生产单元,形成零件专业化生产
4	1960—1980	多品种小批量自动化生产	以计算机辅助为特征的制造技术的开发和应用	DNC 和工业机器人, CAD/CAE、CAPP、CAM	按用户订单组织生产(MRP-Ⅱ)

续表

发展阶段	时 间	生产模式	制造策略	加工装备和技术特点	生产组织和管理特点
5	1980—1990	计算机集成制造	在企业的设计、制造和管理信息集成支持下的自动化生产	FA/FMC/FMS、CAD/CAPP/CAM、集成设计与制造结合 DFM	准时生产(JIT), 控制库存, 控制生产、设计、制造信息一体化
6	1990 年以后	快速的智能化制造系统	IMS/CE/LP/AM, 面向保护环境的生产	柔性制造设备和柔性自动线, 计算机辅助产品开发	技术、管理和人员三种资源集成为一个协调的、相互联系的系统

从表 1.1 中可以看出,1990 年以来制造技术发展迅猛,各种新颖的生产模式纷至沓来。其明显特征是,从以技术发展为主的生产模式发展到以企业技术、管理、人员三种资源集成的生产模式。这些制造技术的发展各有其技术的侧重点,如成组技术通过强化产品设计和工艺设计的规范化来优化企业的生产与管理;MRP-II 和 JIT 在生产组织过程中对所需数量、时间进行优化;CIM 技术强调整个企业信息的集成;CE 强调组织生产过程中采用并行作业,并组织产品开发及其相关过程人员组成多功能协同小组开展工作;LP 的核心是简化组织和强调人的能动性,AM 系统地描绘出以动态多变的组织结构与发挥技术、组织和人员的高度柔性集合的生产模式。从 20 世纪 80 年代中期美国首先提出了先进制造技术(AMT)的概念来概括这些不断发展的制造技术,后来统称为先进制造技术,这些技术群可分为三种类型,如图 1.1 所示。

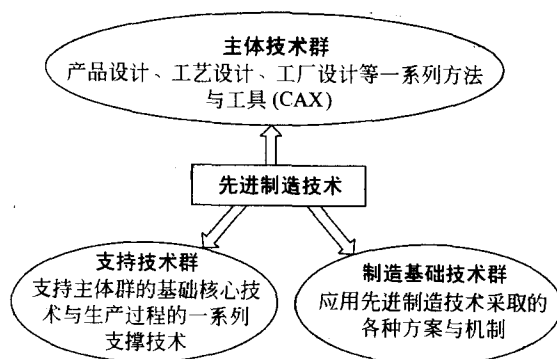


图 1.1 先进制造技术的三种类型技术群

(1) 主体技术群

包括产品设计、工艺设计、工厂设计等一系列方法和技术,以及有关的一系列计算机辅助技术(CAD/CAE/CAPP/CAM/CE/LP/AM等)。

(2) 支持技术群

包括为保证、改善和协调主体技术运行的支持技术,如信息技术、标准化技术、监控技术、生产计划和控制技术(MRP/JIT/MRP-II/ERP/EB)等。

(3) 制造基础技术群

包括为保证先进制造技术能在具体企业应用环境下充分发挥效能的环境基础技术,如各类人员的培训教育机制、质量管理体系、财务保障制度以及评价机制等。

由这些技术群组成的先进制造技术具有以下特征:

① 它以某项技术为核心向整个生产系统(技术和管理)辐射,从而形成一个新的、适用于提高某些制造业效益的技术集结群。

② 它不仅是传统技术的发展,而且又是与现代高新技术结合而产生的一种新的技术。它的实施不仅与本身条件有关,而且也受整个社会和全球市场的竞争环境的影响,因而必须作为一个工程项目,按系统工程方法进行运作。

1.2 产品设计方法的发展

在机械制造技术发展的 150 多年的历史中,产品设计技术的发展始终是机械制造业发展的主要因素。分析产品设计技术的发展,不但能了解产品设计技术发展的过程,而且能掌握产品设计技术发展的方向,在市场经济的条件下按市场经济的发展需求,促进产品设计技术的发展。表 1.2 是产品设计技术的发展过程。

表 1.2 产品设计技术的发展过程

起始时间	设计技术	核心内容	主要特点
1850	技术设计	零件图绘制	设计、工艺编制和制造在同一车间完成
1930	设计方法学	规范化设计	• 设计成为一门科学 • 设计工作规范化 • 设计、工艺、制造分为独立的部门 • 设计过程仍以绘图为主,采用经验判断、类比设计结合零件校验计算

续表

起始时间	设计技术	核心内容	主要特点
1960	计算机辅助设计	二维几何模型	• 绘图与计算分析结合(CAE),如有限元分析,零件优化计算 • 成组技术,标准化技术,模块化设计
1980		三维几何模型 三维实体模型	• 三维图与二维图自动转换 • CAD与CAM集成 • DFA和DFM技术
1985		三维参数化模型	• 基于几何模型但使用方便性增强 • 知识处理和仿真技术的应用,增强了设计能力
1990	计算机辅助产品开发工程	基于特征的产品模型	• 统一产品设计和工艺设计模型 • 标准化数据格式 • 通用分布式产品数据管理系统(PDM) • CAD/CAE/CAPP/CAM集成,形成并行作业(CE)的计算机辅助开发工程(CADE)
1995	虚拟产品开发	动态仿真建模和虚拟现实技术	• 产品建模由几何模型向建立全面的功能(性能)仿真模型发展 • 发展电子数学模型分析的工具软件,以及结合各类产品的专业分析应用软件 • 开发虚拟现实的软硬件,建立可对虚拟样机进行操作和生产作业的虚拟环境
1997	计算机辅助创新(CAI)	方案(或概念)设计阶段的有效辅助工具。为创新提供计算机环境下的方法、工具和知识支持	• 基于创新思维的问题分析方法 • 技术系统的发展进化规律 • 具有普适性的创新法则 • 各种标准解法和算法

1.3 产品设计与创新

任何产品生产的历史也是人们追求先进(新)产品与服务的创新设计理论、方法与工具发展的历史,从古至今这种探索从未停止过。有史以来,人类经历了漫长的创造发明和设计制造的历程。从旧石器时代到新石器时代,从发明冶炼青铜、铁,到制造青铜器、铁器,直到现代的各种辉煌的发明创造。回

顾这段历史,事实雄辩地证明了“创新是一个民族进步的灵魂,是国家兴旺发达的不竭动力”(江泽民)的论断。

1. 产品创新的作用

无论是工业界、商业界、科学技术界,还是顾客(用户),对新产品上市的热情经久不衰。因为科学技术界总在不断地提供新理论、新方法,并应用新理论、新方法促进产品的更新;工业界把新产品的上市看成是生存与发展之本,是提高其竞争力的关键因素;顾客欢迎新产品是为了满足其不断增加的主、客观需求。

现代企业面临一个多因素作用的复杂的市场环境,如图 1.2 所示。因此,新产品具有以下几方面的作用。

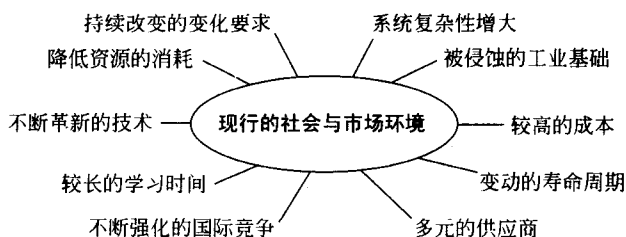


图 1.2 多因素作用的复杂的市场环境

(1) 新产品是国家宏观经济调控的重要决策因素

如控制资金流向,提高社会就业率,引导社会消费。

(2) 新产品是国家经济发展的重要指标

如从 1976 年到 1995 年的 20 年中,美国新产品年产值贡献率从 32% 提高到 52%,税后年利润贡献率从 22% 提高到 46%,我国 1997 年新产品的年产值贡献率为 5.9%。

(3) 产品及其制造系统的创新是提高企业竞争能力的关键因素

从 20 世纪初到 20 世纪 60 年代,制造业竞争的关键因素是成本,大批量生产的规模经济是降低成本的关键因素,因此创造、更新制造系统的生产设备,使其实现高度自动化的流水线生产、形成规模经济是企业竞争能力的关键因素。20 世纪 70~80 年代,企业竞争能力的关键因素转变为质量。20 世纪 90 年代以来,由于市场需求的多元化,产品创新与改进的设计开发能力与速度,以及为保证新产品以最快的速度、最好的质量、最低的成本、最优的服务进行生产的制造系统成为企业竞争能力的关键因素。

(4) 新产品是实现“使顾客完全满意(TSC)”之本

在日本的工业调查中,顾客对产品投诉意见与索赔的主要原因是产品设计问题,占投诉与索赔总数的 70%。

2. 新产品开发创新的特征

新产品开发创新包括:产品的研究开发、新产品的的设计、老产品的改进、新产品的引进。实践证明新产品开发创新有以下基本特征。

(1) 具有高风险性

从世界各国新产品开发创新的统计中发现,新产品开发创新具有高风险、高投资和高收益,但最突出的是高风险、高投资的开发,一旦失败将前功尽弃。图 1.3 表明从规划到出售获利,新产品的幸存率与开发各阶段的关系。

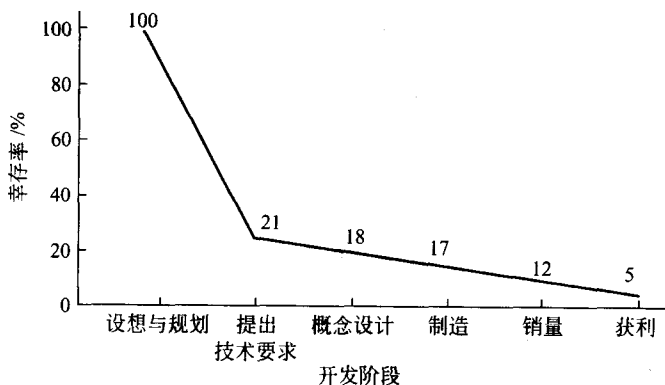


图 1.3 从规划到出售获利,新产品的幸存率与开发各阶段的关系

(2) 是“使顾客完全满意”的最主要因素

这是新产品开发成功的关键和保证,并作为开发的目标贯穿产品开发的整个过程。由表 1.3 可以看出,“使顾客完全满意”是新产品开发成功的四个关键因素中影响最大的因素。

表 1.3 新产品开发成功的关键因素

因 素	使顾客完全满意	尽早规划与定义	公司实力	传统的开发方法
对成功的影响的比较(以传统开发方法为 1)	6.3	4.3	3.4	1
特征	使顾客及潜在顾客完全满意	早期规划,早期技术定义	设计开发,制造技术	设计-试制-修改-定型(试探法)

(3) 影响新产品开发成功的一部分因素呈随机性或不确定性

大多数公司开发新产品的主要问题中,拖期的在总项目中占 51%,超成本的在总项目中占 55%。其中,由于技术或工艺不成熟、技术要求过高、设计质量差、不能满足顾客及市场需求等因素引起的后果最为严重。

(4) 产品设计决定产品成本的 70%~85%

产品设计决定产品成本的 70%~85%,并对企业几乎所有规划、计划、制造、质量、经营销售、服务及财务活动有重要影响,如图 1.4 所示。

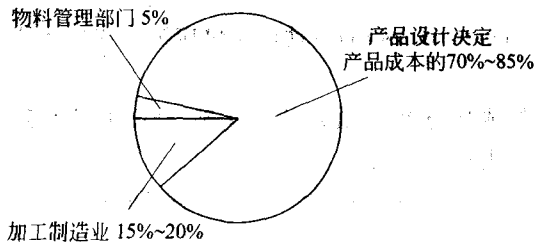


图 1.4 产品设计决定产品成本的 70%~85%

(5) 产品开发周期约占整个产品生产周期的 70%

统计资料表明,产品开发周期约占整个产品生产周期的 70%,如图 1.5 所示。

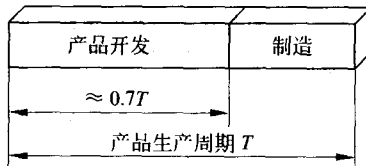


图 1.5 产品开发周期约占整个产品生产周期的 70%

(6) 新产品开发各阶段具有不同的成本效益特征

新产品开发包括如下阶段:产品规划、概念设计、技术设计(初步设计)、零部件设计(详细设计)、工艺方案、工艺设计、生产准备及生产制造。各阶段的成本效益特征是从低成本高效益向高成本低效益发展,用投资回报率表达,见表 1.4。

表 1.4 新产品开发各阶段投资回报率

开发各阶段	开发设计	制造策略	制造方法	生产准备活动	生产制造
投资回报率/%	500	150	200	66	25

(7) 新产品开发各阶段面临众多互相冲突的要求

- ① 顾客要求产品具有令人满意的功能、性能、交货期、质量、价格；
- ② 销售部门、销售商要求产品竞争能力强、花式品种多、销售收益高；
- ③ 设计开发人员希望采用更多新原理、新技术、新过程、新材料、新元器件，从而表达自我；
- ④ 工艺人员希望制造简单、容易装配、便于检测和试验，以便保证质量；
- ⑤ 财务人员希望成本低、投资少、资金周转快。

这些既合理又互相冲突的要求不可能完全达到，只有依靠由各专业人员组成的项目小组 (Team Work) 的活动以及供应链的支持才能协调解决。

(8) 正确、全面了解顾客和市场需求

新产品开发的成功与否，首先取决于正确、全面地了解和反映顾客和市场需求。但设计开发人员经常遇到以下问题。

- ① 顾客 (用户) 的需求表达模糊，无确切、详细的技术要求 (非技术语言描述)，而且主次不分；
- ② 对某些需求缺乏解决问题的方法，超越了设计开发人员的专业范围、知识与阅历。

(9) 新产品市场扩展的特点

- ① 用途明确的产品市场扩展得快，增长率高、成长期短，见表 1.5；

表 1.5 机电与化工产品的市场扩展

新产品类别	成长期/年	增长率/%	特 征
钢锭	11.6	12.7	用途不明确，但用途多
化工产品	6~12	12~20	用途不够明确，有一个产品发现期
轿车	8.5	17.7	用途明确，但价格较高
机电产品	3~5	30~60	用途明确，对市场敏感

- ② 低价新产品市场扩展得快，如家电的市场成长期只有轿车的 $1/3 \sim 1/2$ ；
 - ③ 引进新产品的市场扩展速度比自行开发的速度快，如乙烯产品在美国成长期为 17 年，而日本从美国引进乙烯生产技术后，产品的扩展成长期仅为 7 年。
- 根据以上产品开发的特征分析，可以得出以下新产品开发的指导性意见：
- (1) 风险分析和风险管理是降低新产品开发过程风险的有效手段；
 - (2) 抓好引进产品的消化吸收与改进创新，可以较快地发展新产品市场；
 - (3) 突出需求分析，全过程实施“使顾客完全满意”是保证产品开发符合

市场需求的成功战略;

(4) 注意研究产品的成长期,做好中长期产品开发规划,可以保证有效的产品开发;

(5) 重视产品开发的基础建设和开发人员素质的提高,可以提高产品开发的成功率;

(6) 重视学习、应用和发展产品开发理论、技术和创新设计理论、方法和工具,可以提高开发人员的素质和设计方法。

由此可以看出,新产品的开发成功取决于:

(1) 降低新产品开发风险、提高新产品开发幸存率和加速新产品的市场扩展速度,为此,要注意以经顾客使用和市场反映良好的产品为基础进行改进与创新。

(2) 贯彻“使顾客完全满意”的原则,坚持成本控制。

(3) 重视产品开发设计阶段的成本效益控制,缩短产品开发周期。

综上所述,要使新产品开发既能符合市场需求又能创造最佳效益,必须学习、掌握产品创新设计方法,采用成熟的标准化的、成组化、模块化和 CAD 技术,这是机械制造业发展以来的经验总结。

1.4 产品创新设计方法学

1.4.1 产品创新设计方法学的发展历史

大约在公元前 300 年,希腊数学家 Pappos 首先创造了术语试探法/直观推断法(Heuristics),用来专门描述“进行发现和发明的科学”。此后,从数学家到自然科学家和工程界逐渐广泛地采用“发现”和“发明”的概念,从而试探(Trails and Error)法成为一种指导人们创新和设计的方法。到 19 世纪中期,在试探法的指导下产生了许多重要的发明。从 19 世纪中期到第二次世界大战结束,人们主要从人的心理方面研究发明与创造新规律,或从哲学认识论的角度研究人的认识规律,建立了发明创造的主观基础、程序和方法论。在人的思维心理、生理规律和哲学研究的基础上,开发了变化分析的分类与汇编的方法。20 世纪 40 年代提出了获取发明创新概念的脑风暴(Brainstorming)法,该法一直被沿用至今,成为现代设计方法的重要内容。从 20 世纪 60 年代以来,脑风暴法这类创新层出不穷,又创造了形态分析法、控制问题法、群辩(Synectics)法等。20 世纪 80 年代以来,脑风暴法成为发挥群体作用的协同

(Team Work)组织理论的依据和小组工作方法的核心。脑风暴法的社会本质是充分调动和发挥发明创新者主体的能动性、知识与创新能力。从知识工程角度看,它的本质是对人的知识拥有量的主流认识及潜在(间接)知识的暴露和释放,即在小组工作环境中,清除了心理障碍后,通过主动参与的个体成员间的沟通、研讨和争论,尽可能快和尽可能多地把每个成员有关解决所面对问题的潜在(间接)知识暴露出来,进行组织,使之明晰化、系统化和完善化,成为创新地解决问题的明确(直接)知识结构。脑风暴法在今天与未来仍将发挥重要作用。它不但赋予中国民间俗语“三个臭皮匠顶个诸葛亮”以新义,而且已经成为发挥员工作用和支持决策的最先进的组织管理方法之一。它的科学依据是心理学、人脑科学与知识工程科学。但它对复杂问题的求解是受限制的。正如原苏联科学家 G. S. Altshuller 指出的,上述方法将注意力集中于发明创新者的心理、生理等方面,而不去了解和揭示发明创新求解问题本身的科学理论与方法。因此 G. S. Altshuller 认为“创造性思维的心理学还停留在炼丹术的水平上”。它试图利用简单的试验去归纳任何一种创造的技术和技术的细节。虽然脑风暴法已被实际所采用,并在知识经济时代赋予新的内涵而成为一种有效的知识工程的方法,但实践也同样证明它对复杂问题的求解和超越参与者全部知识集合的问题的求解是无能为力的。因此,以 G. S. Altshuller 为首的一大批科学家、教授、教师和学生经过了近半个世纪的研究、探索和完善,从构造一般创造性理论(涵盖科学创造、文学创作等)出发创立了发明问题求解理论(TSIP 或 TISP,俄文缩写为 TRIZ)。在美国国家科学基金(NSF)支持下,N. P. Suh 教授及其研究组于 20 世纪 90 年代公开了基于设计公理的设计原理。这与日本质量工程专家田口玄一(G. Taguchi)在 20 世纪 70 年代后期提出的质量工程理论等合起来形成当代设计的重要理论与方法。

1.4.2 产品设计方法学

从 20 世纪 40 年代以来,人们从以下几个方面探索产品和系统创新或产品设计开发方法。

1. 从理论高度发展设计科学

(1) 基于力学与数学的机械设计学

近代和现代工业的发展源于 15 世纪初,生产、生活和战争的需要推动了设计学的发展。16 世纪,达·芬奇成为当代机械设计创造的代表人物,其主要特点是以功能为目标,借助于力学和数学规律与知识进行机械学的设计。