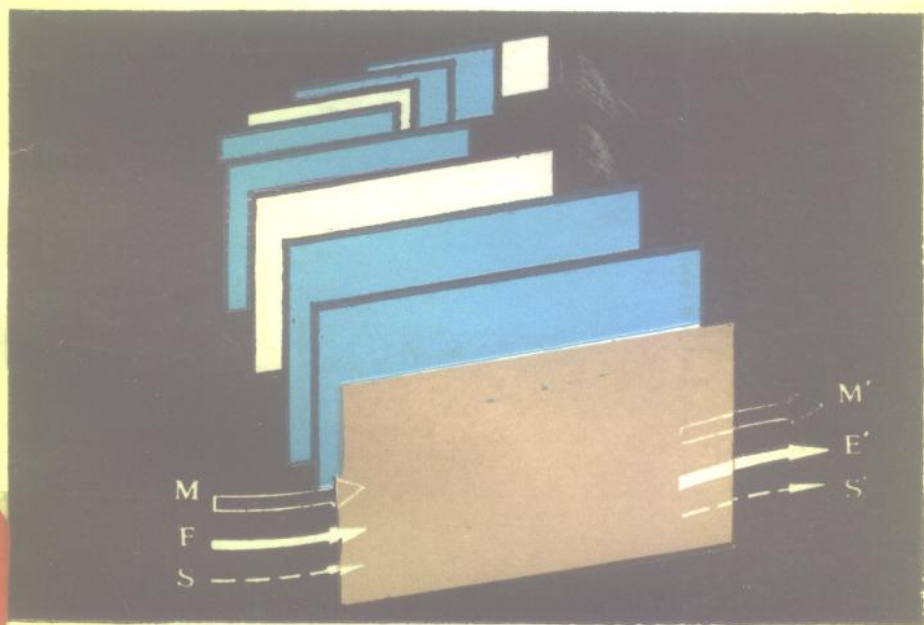


机电产品现代设计统一培训教材

设计方法学

黄纯颖 主编



机械工业出版社

TH122

H83

机电产品现代设计统一培训教材

设计方法学

黄纯颖 主编



机械工业出版社

(京)新登字054号

0108/04
内 容 简 介

设计方法学是研究产品设计的程序、规律和设计过程中思维与工作方法的一门综合性学科。研究设计方法学对总结设计规律、启发创造性、更快更好地培养设计人员和开发更多创新产品都具有现实意义。

本书在分析设计系统的基础上介绍设计方法学中的系统化设计、创造性思维与方法、评价方法、价值设计和变型产品设计等内容。书中引入了很多生产实例，最后一章对5个设计案例作进一步的综合分析，体现了理论方法与设计实践的密切结合。

本书可供从事机电产品设计的工程技术人员以及高校教师、研究生和高年级学生作参考书，也可作为有关培训班的教材。

设计方法学

黄纯颖 主编

责任编辑：孔 燕 版式设计：朱淑珍

封面设计：姚 毅

机械工业出版社出版 (北京东直门外百万庄南街一号)

(北京市书刊出版业营业许可出字第117号)

北京通县向阳印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行·新华书店经售

开本 850×1168¹/₃₂·印张 8.375·字数 230 千字

1992年4月北京第一版·1992年10月北京第二次印刷

印数 6,001—9,600·定价：6.60元

ISBN 7-111-03210-1/TB·155

编辑委员会

主任委员：郭志坚

副主任委员：李宜春 潘兆庆

委 员：周长源 孙靖民 张存库 杨敢新 刘元杰
陈康民 赵松年 赵学仁 万耀青 李光泉
郭青山 范祖尧 束鹏程 毕振南 计有为
卢玉明 雷闻宇 徐宗俊 薛继良 许大中
黄纯颖 欧宗瑛 周 济 洪如娟 韩中光

序 言

在各级领导部门、高等院校的倡导和宣传下，机电行业的现代设计方法推广和培训工作取得了很大进展，并且已经见了成效。1990年，机电部颁发了机电科〔1990〕213号文件及附件《加强机电产品设计工作的规定》，明确地指出了推广和普及现代设计方法的重要性，并把现代设计方法推广纳入了宏观管理的轨道。从1989年到现在，有关部委和地方的机电制造主管部门在充分酝酿和讨论的基础上，制定了机电产品现代设计试点项目共1401项。到目前为止，1/3的项目已经完成。一些企业在完成这些项目的过程中，创造了明显的经济效益，尝到了甜头。

管理干部培训对现代设计方法推广起了很大的促进作用。从1988年到现在，有关部委和几乎所有的地方主管部门都举办了各种形式的管理干部现代设计方法学习班、研讨班，大部分领导同志都是通过这此培训才对现代设计方法有所了解，并认识到了推广现代设计方法的紧迫性。很多负责同志在接受培训后积极主动地要求承担项目试点任务。

推广现代设计方法的中心环节和中心内容是设计人员尤其是骨干设计人员的培训。因为只有让大多数设计人员掌握了现代设计理论和设计技术，并将之应用于产品开发和设计，从根本上提高机电产品的设计水平和产品水平，才会产生巨大的经济效益，促进整个行业的迅速发展。为此，机电部科技司于1990年9月在上海专门召开了一次由行业主管部门、高等院校的领导、专家、学者参加的现代设计统一培训联席会议，决定对设计人员进行有计划、有步骤的统一培训，并由一直协助科技司进行现代设计方法推广工作的机电产品设计信息中心负责组织有关专家编写一套融科学性与实用性为一体的培训教材，即《机电产品现代设计统一培训教材》。这套教材共分14册，各分册的名称是：计算机辅助设计、优化设计、可靠性设计、工业艺术造型设计、设计方法学、

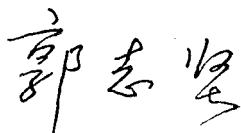
反求工程技术、有限元法、价值工程、机械动态设计、三次设计、疲劳设计、专家系统、智能工程、模块化设计。

现代设计方法，既不是单纯指计算机技术，也不单纯指以设计的一般规律和一般途径为研究对象的设计方法学。它应当包括一切先进的设计理论、设计技术和设计方法，是一切先进而行之有效的设计思想的集成与统一。现代设计培训应当把学以致用作为基本原则。正因为如此，被邀请参加编写教材的作者大都是现代设计方法推广中有丰富实践经验的专家和学者，而这套教材不仅系统地介绍了现代设计方法的基本内容，还列举了大量应用实例。

设计是一项涉及多种学科、多种技术的交叉工程。它既需要方法论的指导，也依赖于各种专业理论和专业技术，更离不开技术人员的经验和实践。现代设计方法是在继承和发展传统的设计方法的基础上融汇新的科学理论和新的科学技术成果而形成的。因此，推广现代设计方法，并不是要完全抛弃传统方法和经验，而是要让广大设计人员在传统方法和实践经验的基础上掌握一把新的思想钥匙。

设计是产品生产和经营的后盾，企业实现自主设计是我国企业自力更生的主要标志。要想以优秀的产品占领国内外市场，就要在设计上下大工夫。这就要求我们尽快更新设计人员的知识结构，更新设计基础数据和设计手段，提高产品开发和改进的速度和效益。希望大家在实践中了解和学习这套教材，更希望现代设计方法在产品开发的实践中结出累累硕果！

机械电子工业部副总工程师



1991年8月

前 言

方法是人类思维的宝贵财富，是探索科学真理的钥匙。认识事物，解决问题都需要正确的方法。在产品开发和提高工程设计水平的工作中，科学的设计方法日益受到重视。在设计方法的研究过程中发展的“设计方法学”（Design Methodology）是研究设计程序、设计规律及设计中思维和工作方法的一门综合性学科。它的基础包括系统工程学、创造工程学、价值工程学、优化理论、相似理论、决策学、预测学等多种现代科学理论。“设计方法学”的研究也促进了计算机辅助设计的开展，使计算机不仅用于计算和绘图，而引入到预测、确定方案、评价、决策、试验等各设计环节，这将提高设计的效率与质量，大大改变设计的面貌。

近20年设计方法学在世界各工业发达国家中有较快的发展，在满足人民的需要和适应日趋尖锐的市场竞争中起着重要的作用。近年来，我国对设计方法也进行了不少研究工作。一些工厂的技术人员运用先进理论和方法进行了老产品改造和新产品开发，取得很大成绩，不少产品获得部优、国优奖。许多高等学校开出“设计方法学”等课程，在培养人才中注意到方法训练对提高能力，加强开创性的作用。中国机械工程学会机械设计专业学会现代设计理论与方法学研究会等学术团体开展了一系列活动，有力地促进了对现代设计理论和方法的深入研究和推广应用。在学习外国先进技术的同时，我们要认真总结自己的设计经验，逐渐形成符合我国国情的现代设计理论方法体系，促进设计工作的变革，开发更多创新产品，这是当代新技术革命形势的需要。

机械电子工业部机电科〔1990〕213号文件“加强机电产品设计工作的规定”中第29条提出所有的产品设计人员都必须逐步掌握“设计方法学”，要争取用两年左右时间普及“设计方法学”，并选择若干企业，结合产品更新或新产品试制进行应用试点。

本书在分析设计系统总结设计规律的基础上着重介绍了设计方法学中的系统化设计、创造性思维与方法、评价方法、价值设计和变型产品设计等内容。对开发型设计，提高产品性能、降低产品成本的设计及各种系列的变型产品设计都作了一定的分析。书中列入很多生产实例，最后设“设计实例分析”一章，通过5个设计案例的综合分析，体现了理论方法与设计实践密切结合的良好效果。

参加本书编写的有北京联合大学建材轻工学院李安平副教授（第2章及第7章部分），天津大学陈士俊副教授（第3章），北京农业工程大学董克俭副教授（第7章），清华大学黄纯颖副教授（第1、4、5、6章），全书由黄纯颖统稿主编。

清华大学吴宗泽教授对本书全部稿件进行了详细的审阅，并提出许多中肯的意见和有益的建议，在此表示衷心的感谢。南京汽车电器厂柯崇本、北京农业工程大学李振安、华东石油大学王玉娟及其它一些同志为我们提供了许多宝贵的资料，在此一并致谢。

由于作者水平有限，书中有不妥及错误之处，恳请读者批评指正。

编者

1991.8

目 录

序言

前言

第1章 引论	7
1.1 设计与设计方法	7
1.1.1 工程设计的概念	7
1.1.2 现代设计方法的发展及其特点	2
1.1.3 设计方法学及其研究内容	5
1.2 设计系统	6
1.2.1 设计工作阶段	7
1.2.2 解决问题的逻辑步骤	11
1.2.3 设计方法	12
第2章 系统化设计	16
2.1 明确设计任务	16
2.1.1 需求识别	16
2.1.2 调查研究	16
2.1.3 技术系统	19
2.1.4 设计要求表	20
2.2 功能分析	21
2.2.1 功能	21
2.2.2 功能分解	24
2.2.3 功能结构	25
2.3 分功能求解	30
2.3.1 分功能求解的基本思路	30
2.3.2 工作原理	30
2.3.3 功能载体	35
2.3.4 知识库	39
2.3.5 通过原理求解的要点	45
2.4 求解的组合方法	47
2.4.1 检索与选择	48

2.4.2	变异	49
2.4.3	方法库	52
2.4.4	定量分析	58
2.4.5	变体分析	61
2.5	原理方案综合	64
2.5.1	形态学矩阵	64
2.5.2	系统化设计	66
2.5.3	系统化设计实例——废水泵	68
第3章	创造性思维与方法	73
3.1	工程技术人员的创造力开发	73
3.1.1	常规性设计与创新性设计	73
3.1.2	设计的实质在于创造	74
3.1.3	创造的特征与一般过程	75
3.1.4	工程技术人员的创造力构成	76
3.1.5	工程技术人员的创造力开发	77
3.2	创造性思维	79
3.2.1	创造性思维的含义及实质	79
3.2.2	形象思维与抽象思维	79
3.2.3	发散思维与集中思维	82
3.2.4	逻辑思维与非逻辑思维	84
3.2.5	直达思维与旁通思维	87
3.3	创造技法举例	88
3.3.1	群体集智法	89
3.3.2	系统探求法	93
3.3.3	联想类比法	99
3.3.4	组合创新法	104
第4章	评价方法	108
4.1	评价目标	109
4.1.1	加权系数	109
4.1.2	评价目标树	111
4.2	简单评价法	111
4.2.1	点评价法	111

4.2.2	名次计分法	111
4.3	评分法	113
4.3.1	评分	113
4.3.2	总分计分方法	114
4.4	技术-经济评价法	118
4.4.1	技术评价	118
4.4.2	经济评价	118
4.4.3	技术-经济综合评价	119
4.5	模糊评价法	122
4.5.1	隶属度	123
4.5.2	模糊评价	124
第5章	价值设计	129
5.1	概述	129
5.1.1	价值与价值设计	129
5.1.2	产品寿命周期与价值设计	131
5.2	提高产品性能的设计	132
5.2.1	合理负载原则	133
5.2.2	自助原则	139
5.2.3	提高精度的设计原则	142
5.2.4	考虑合理热膨胀的设计原则	148
5.2.5	降低噪声的设计原则	151
5.3	降低产品成本的设计	156
5.3.1	产品的成本结构	157
5.3.2	通过设计环节降低成本	158
5.3.3	降低生产成本的措施	161
5.3.4	重复利用原则	172
5.3.5	降低产品成本示例	172
5.4	成本估算方法	175
5.4.1	按重量估算法	176
5.4.2	材料成本折算法	180
5.4.3	相似产品的成本估算	182
第6章	变型产品设计	186

6.1 概述	186
6.1.1 市场竞争与变型产品	186
6.1.2 变型产品与“三化”	186
6.1.3 变型产品的系列类型	187
6.1.4 优先数和标准公比	190
6.2 相似系列产品的设计	191
6.2.1 基本相似理论	192
6.2.2 相似系列产品设计要点	198
6.3 模块化产品设计	209
6.3.1 模块化产品的应用	209
6.3.2 模块化产品的设计要点	212
第7章 设计实例分析	228
案例1 秸秆氨化炉	228
案例2 水车式增氧机	235
案例3 育雏保温伞	241
案例4 JK612A 倒车灯开关	244
案例5 螺纹联接的变异设计	247
参考文献	251

第1章 引 论

1.1 设计与设计方法

1.1.1 工程设计的概念

设计是人类征服自然改造世界的基本活动之一。人们根据生产和生活的多种需要,通过设计对工程技术系统进行构思、分析,把设想变为现实。功能是产品的用途或技术系统能完成的任务,设计的目的是保证系统的功能,建立性能好、成本低、价值高、优化的技术系统。

设计是创造性的劳动,设计的本质是创新。测绘仿制一台机器,虽然结构复杂,零件成百上千,但没有任何创新,不能算是设计;而突破过去割草模式的一台小小的割草机,用高速回转的两根尼龙丝有效地抽割青草,零件不过数个,结构也很简单,其开发过程确可称为设计。设计中必须突出创新的原则,通过直觉、推理,组合等途径,探求创新的原理方案和结构,做到有所发明,有所创造,有所前进。

设计是建立技术系统的重要环节,对产品的技术和经济效果起决定性的作用。1965年周恩来总理在听取“机械产品设计革命化会议”汇报时曾指出:设计是“生产技术中的第一道工序”,强调了设计的重要性。中国机械工程学会理事长沈鸿说:“设计质量高低是决定产品一系列技术经济效果的问题,在这道工序上下功夫愈多和愈客观,则效果愈高,我们许多机械的质量问题,大都由于设计不周所引起,给国家造成很大的损失。”根据德国工程师协会文件VDI2225的调查分析,产品成本的75%~80%是由设计阶段确定的。如电风扇送风的摇头机构,零件多,结构复杂,多年来在加工、维护等方面存在不少问题。近年来“鸿运扇”在设计方案上采取了新的措施,取消了原有的摇头机构,代之以风扇前端百叶窗式的转盘,随转盘回转的不同位置将风送至不同

的方位。这种新设计结构简单、合理、安全，外形美观，对风扇提高使用性能、降低成本起了很好的作用。

工程设计是把各种先进的技术成果转化为生产力的活动。很早以前人们通过蒸汽掀动壶盖的物理现象就已发现蒸汽是很好的动力源，但直到瓦特（J. Watt）和其他一些科学家设计师对原始的蒸汽机作了一系列的研究和改进，提高了蒸汽机的热效率和工作的可靠性，设计出巧妙的单向阀和直线回转运动机构时，才使蒸汽机成为工业上可用的发动机。从18世纪60年代到19世纪40年代以蒸汽机为中心的第一次产业革命发展到电气时代，电子时代，目前已进入以微电子技术为主要标志的信息时代。计算机、光通讯等先进技术，系统工程、创造工程、价值工程、优化工程等先进理论都将通过设计反映到有时代气息的产品中去。专家们预测：21世纪将是“生物技术的世纪”，遗传基因重组、细胞融合、生物反应、组织培养等生物技术将通过设计用于药物、食品、农产品及能源生产等领域，引起一系列产品的革命。

工程设计远不仅是计算和绘图。我国设计人员早在60年代就总结出全面考虑试验、研究、设计、制造、安装、使用、维护的“七事一贯制”设计方法。丹麦技术大学安德烈生（M. M. Andreasen）博士提出以市场需求作为产品设计依据的“产品开发一体化”模式，认为在设计全过程中自始至终应把产品的设计与销售（市场需要）及制造三方面作为整体来考虑。只有设计与市场信息密切配合，在市场、设计、生产中寻求最佳关系，才能以最快的速度回收投资获得效益。只有广义理解设计才能掌握主动权，得到既符合功能要求成本又低的创新设计。

总之，工程设计是创造性地建立满足功能要求的最佳工程技术系统的过程，是把各种先进技术成果转化为生产力的活动，是人类改造世界、创造美好世界的重要手段。

1.1.2 现代设计方法的发展及其特点

1.1.2.1 形势对工程设计的要 求

1. 市场竞争需要更多的创新设计 近年来国民经济高 速度

发展和国际国内市场竞争的形势，使我国生产类型由小品种大批量生产向多品种小批量过渡。产品要功能多、价格低、性能可靠、生产周期短才具有竞争能力。国际市场上商品的寿命周期平均只有3年左右，这要求工厂在进行产品生产时必须完成第二代产品的设计和试制，同时应该进行第三代产品的预研和开发。而我国有许多产品，特别是机械产品至今还是40~50年代的旧型号，性能差，成本高，远远不能满足要求。从生产需要和国内外市场竞争考虑，设计生产更多的创新优质产品是当务之急。中国号称自行车王国，每年生产自行车3000万辆，居世界之首，但由于款式陈旧、质量差，出口量仅占世界市场的1.6%。深圳自行车厂在“全面追求卓越”的口号下发奋图强，设计人员根据国外市场的需求，利用计算机辅助设计手段进行产品开发，平均每两天更新一种车型，几年来已生产了2000多个品种的高质量自行车，1990年出口104万辆，成为全世界出口量排名第二位的自行车厂。

2. 开发我国的自产产品，适应产品进口替代的政策 近年来机电产品进口量直线上升，而经过分析，有不少产品是根本不需要进口的。有的进口产品已是国际市场的过时货，有的进口设备仅得到图纸，没有软件及设计说明书。这样既花费大量外汇，又没有得到真正的高技术，却阻碍了自己民族工业的发展，实在是不合算。国家现在对机电产品采取限制进口的政策是非常正确的。对引进的技术和产品，必须立足于消化、吸收、改造，利用反求工程技术进行系统的科学分析，力求掌握其关键技术（Know how），在此基础上加以创新推出国产化的有竞争力的产品。

1.1.1.2.2 现代设计方法的特点

为了更好地满足国民经济和市场竞争的需要，必须使设计工作推向新水平。随着系统工程、创造工程、价值工程、优化工程、可靠性工程、相似工程、人机工程、工业美学等现代设计理论的发展及计算机技术的普遍应用，设计工作也进入新的阶段。现代设计方法的特点为：

1. 程式性 现代设计方法研究设计的全过程，要求设计者

从产品规划、方案设计、技术设计、施工设计到试验、试制进行全面考虑，按步骤有计划地进行设计。

强调设计、生产与销售一体化。设计不是单纯的科学技术问题，要把市场需求、社会效益、经济成本、加工工艺、生产管理等问题统一考虑，最终反映到质高价廉的产品上。

2. 创造性 现代设计突出人的创造性，发挥集体智慧，运用各种创造技法，通过直觉想象和推理思维，力求探寻更多突破性方案，开发创新产品。

3. 系统性 现代设计强调用系统工程方法处理技术系统问题，设计时分析各部分的有机联系，力求系统整体优化，同时考虑技术系统与外界的联系，即人-机-环境三者之间的相互协调关系。在设计过程中对于功能，评价目标等较复杂的具体问题，都可视作系统按先分解后组合的方法使问题化繁为简，解法由少变多，进而从中选取较合理的解。

4. 优化性 设计的目的是得到功能全、性能好、成本低、价值优的产品，现代设计通过优化理论与方法运用计算机工具进行方案优选、参数优化、结构优化等，争取产品技术系统的整体最优。

5. 综合性 现代设计突破传统、经验、类比的设计，采用逻辑、理论、系统的设计方法，在静态分析的基础上考虑载荷谱等随机参量进行更合理全面的动态分析。在强度设计时不是一味加大安全系数，而是从概率论和统计学出发考虑载荷和应力的离散性进行可靠性设计。

现代设计在系统工程、创造工程基础上运用信息论、相似论、模糊论、可靠性、有限元、人机学等自然科学理论及价值工程、决策论、预测论等社会科学理论，同时采用集合、矩阵、图论等数学工具和电子计算机技术更科学地解决设计问题。

6. 计算机辅助设计 (CAD) 计算机更全面的引入设计，通过设计者和计算机的密切配合，采用先进设计方法，提高设计质量和速度。对于许多设计对象可先建立设计模型，将参数输入

计算机进行计算或绘图，使设计准确、高效且便于修改。计算机辅助设计不仅用于计算和绘图，在信息储存、预测、评价决策、动态模拟，特别是人工智能方面，将发挥更大作用。

1.1.3 设计方法学及其研究内容

方法是人类思维的宝贵财富，是探索科学真理的钥匙。认识事物、解决问题都需要正确的方法。培根（F. Bacon）说过：“没有一个正确的方法，犹如在黑暗中摸索行走”。巴甫洛夫也曾指出：“好的方法将为人们开展更广阔的图景，使人们认识更深层次的规律，从而更有效地改造世界。”

在产品开发和提高工程设计水平的工作中，科学的设计方法起着重要的作用。近20年来，在工业发达国家中设计方法的研究迅速发展起来。德国的学者和工程技术人员比较着重研究设计的进程、步骤和规律，进行系统化的逻辑分析，并将成熟的设计模式，解法等编成规范和资料供设计人员参考。英美学派偏重分析创造性开发和计算机在设计中的应用。日本则充分利用国内电子技术和计算机的优势，在创造工程学、自动设计、价值工程方面做了不少工作。苏联和东欧等国家也在宏观设计的基础上提出了“新设计方法”。各国研究的设计方法在内容上虽各有侧重，但共同的特点都是总结设计规律，启发创造性，采用现代化的先进技术和理论方法，使设计过程自动化、合理化，其目的是设计出更多质高价廉的工程技术产品，以满足人民的需求和适应日趋尖锐的市场竞争形势的需要。

在设计方法的研究过程中发展了“设计方法学”（Design Methodology）。“设计方法学”是研究产品设计的程序、规律及设计中思维和工作方法的一门新型综合性学科。设计方法学的研究内容包括：

（1）研究设计过程，各阶段的任务与特点，寻求符合设计规律的设计程序。

（2）研究设计中解决问题的合理逻辑步骤和应遵循的工作原则。