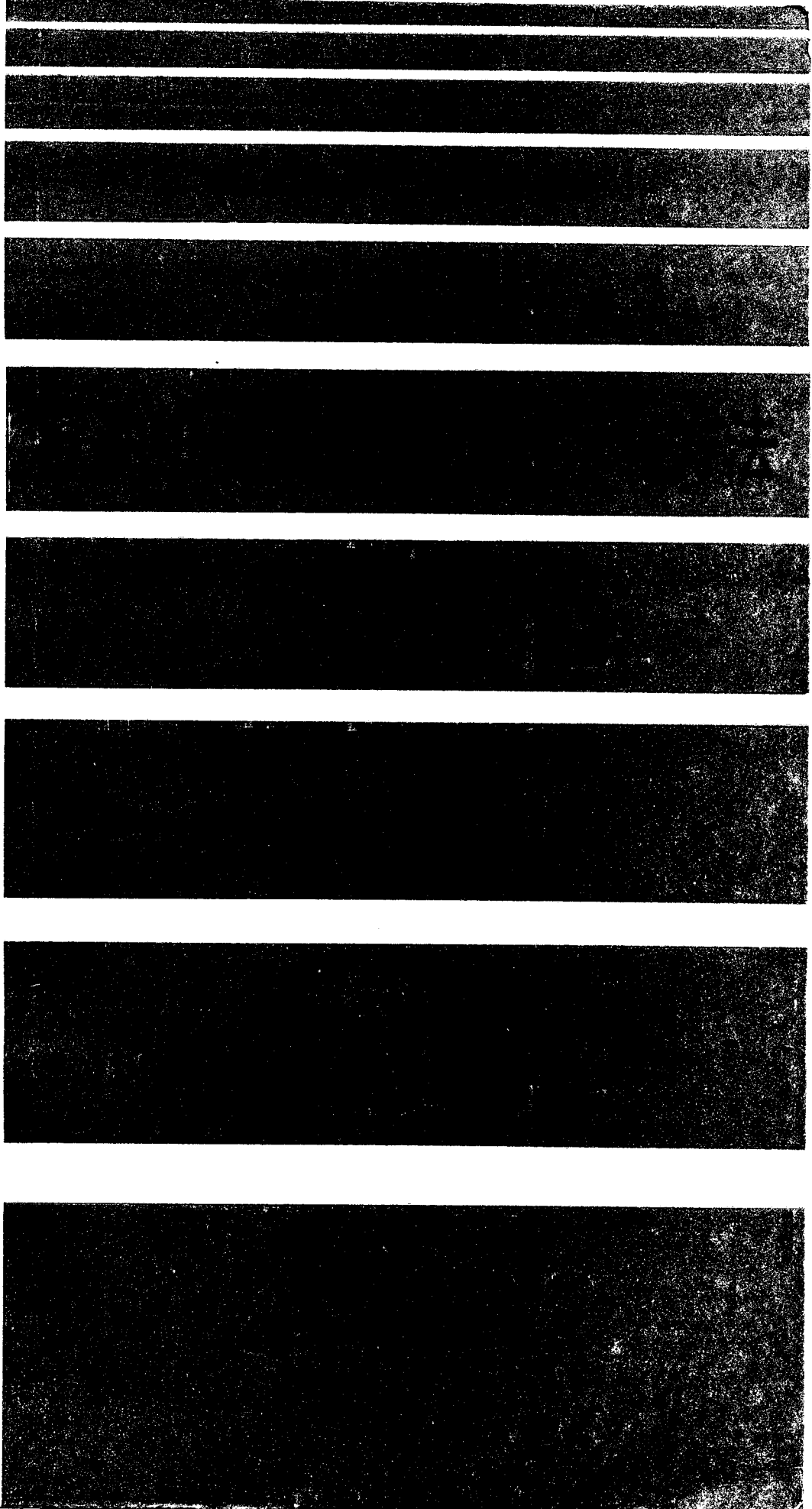




高等学校教学用书

石油机械现代设计技术与方法

符达良 张晓东 周思柱 编著

1.0

石油工业出版社

(京) 新登字 082 号

内 容 提 要

本书是一本介绍石油机械产品设计技术和方法的书籍。在介绍目前几种现代设计方法基本理论的基础上,结合国内外石油机械产品常用的设计方法和步骤,论述了现代设计技术和方法在石油机械设计中的应用。全书共分八章,计有:机械产品现代设计技术和方法概论、总体设计与方案评价、相似与模型设计法的应用、可靠性设计及其在石油机械产品中的应用、有限元素法及其在石油机械产品中的应用、优化设计法及其在石油机械产品中的应用、设计资料的数据处理、计算机辅助设计及其在石油机械产品中的应用。

本书应用实例丰富,具有较好的系统性与完整性,可作为石油机械工程类研究生教材或本科生的选修课教材,也可作为其它机械类各专业的教材或参考书,以及广大工程技术人员更新知识的自学用书或参考文献。

0.1

高等学校教学用书

石油机械现代设计技术与方法

符达良 张晓东 周思柱 编著

*

中国石油天然气总公司教材编译室编辑

(北京 902 信箱)

石油工业出版社出版

(北京安定门外安华里二区一号楼)

石油工业出版社印刷厂排版印刷

新华书店北京发行所发行

*

787×1092 毫米 16 开本 $27\frac{3}{4}$ 印张 698 千字 印 1—3,000

1992 年 7 月北京第 1 版 1992 年 7 月北京第 1 次印刷

ISBN 7-5021-0635-9/TE·604 (课)

定价: 7.05 元

前 言

本书的任务是使学生在已学习传统机械设计方法的基础上进一步了解机械产品现代设计技术和方法的基本原理；掌握科学的思维方法及条理化、系统化的工作内容；培养学生具有进行开发性设计的工作能力。机械产品现代设计法最基本的特点是计算机及近代数学物理的应用。

随着科学技术的发展，新技术的大量涌现，对机械产品在功能、可靠、经济效益这三方面提出了更高的要求，也为设计技术和方法的变革和创新提供了条件。人们探索新的设计与方法，目的是能更快地制造出价廉物美的新产品，以适应商品市场激烈竞争的场面。

由于现代设计技术与方法内容繁博，从不同的角度出发就会呈现出不同的观点，以至众说纷纭，莫衷一是。应该看到，我国对现代设计技术与方法的研究才刚刚起步，那种认为我国目前已经创造了独具一格的、泛含古今中外具有十一论的现代设计法，而且比国外任何学派的理论都系统、全面、完整的说法是脱离实际的，会使从事和将要从事设计的工程技术人员和大学生们产生疑团。为此，本书根据我们自己多年来从事设计和研究工作的体会和实践，用深入浅出的方法，介绍了产品现代设计技术和方法的最低限度内容，并按认识规律论述现代产品设计的方法、格式和步骤，使读者解开疑虑，并容易接受和应用。

现代设计技术和方法的应用已日趋广泛，尤其是计算机技术的发展和 CAD 技术的推广应用，使产品设计呈现出耳目一新的局面，它相对于传统设计法确有许多优越性。但是，我们也应该看到，现代设计法与传统设计法之间存在着继承、相互补充和不断创新的关系，不能看作是一种简单的取代关系。所以，本书在第一章概论中的论述，不仅仅是研究产品设计过程的方法、规律和格式，而且将使读者对现代设计技术和方法有一个全面的、辩证的认识。

同传统设计法相比，本书的内容在继承的基础上进行了大量的更新，并反映了现代设计理论和具体方法的最新进展和应用。但限于篇幅，并考虑到一些新的设计技术和方法只是一些机械产品的某些方面或某一阶段中才能应用，所以象仿真技术、测试与信号分析技术等没有编入本书。当然，这也可能是我们管窥之见，一旦需要，可留作以后增补。

本书第一、二、七、八章由符达良编著，第五、六章由张晓东编著，并参加了七、八两章的部分工作，第三、四章由周思柱编著，由符达良教授主编。此外，许福东同志对第八章作了部分工作。全书由赵国珍教授主审并对部分内容提出了宝贵的修改意见，在此特致谢意。由于编写时间仓促，对某些内容的编写和推敲不够，书中难免有不妥甚至错误之处，恳请读者批评和指正。

作 者 1990 年 3 月

目 录

第一章 机械产品现代设计技术与方法概论	(1)
第一节 机械产品现代设计观	(1)
第二节 现代设计技术和方法的产生与发展	(6)
第三节 机械产品常用的设计方法及内涵	(12)
第四节 产品传统设计法的一般格式与步骤	(15)
第五节 产品开发性设计的一般格式与步骤	(21)
第六节 机械产品设计中的预测技术	(37)
第二章 总体及结构方案设计	(55)
第一节 系统分析设计的基本方法和步骤	(55)
第二节 系统分析	(56)
第三节 系统的总体设计	(57)
第四节 综合举例——石油钻机的总体设计及综合计算	(64)
第三章 类比对应, 相似与模型设计法的应用	(100)
第一节 类比对应设计法	(100)
第二节 相似理论及相似条件	(102)
第三节 相似准则的计算方法	(107)
第四节 模型试验设计法及应用	(110)
第五节 相似理论在石油机械模型设计中的应用	(123)
第四章 有限元法及其在石油机械设计中的应用	(127)
第一节 概述	(127)
第二节 有限元法的基本原理和方法	(133)
第三节 有限元分析模型	(145)
第四节 单元类型及其选用	(148)
第五节 有限元结构分析软件简介	(156)
第六节 有限元法在石油机械中的应用	(159)
第五章 可靠性设计及其在石油机械产品中的应用	(169)
第一节 概述	(169)
第二节 可靠性设计常用概率分布与随机变量的数字特征	(175)
第三节 构件几何尺寸的统计数字特征	(180)
第四节 零件载荷和截面应力的统计数字特征	(185)
第五节 静强度的可靠性设计	(191)
第六节 疲劳强度的可靠性设计	(203)
第七节 可靠性设计在石油机械中的应用	(207)
第六章 机械优化设计及其在石油机械中的应用	(219)
第一节 机械优化设计概论	(219)

第二节	优化设计中几种常用的无约束最优化方法	(225)
第三节	约束最优化方法	(256)
第四节	优化设计在应用中的几个具体问题	(274)
第五节	优化方法在石油机械设计中的应用	(276)
第七章	设计资料和数据的数据处理	(305)
第一节	表格的程序化	(305)
第二节	线图的程序化	(315)
第三节	实测数表和图线的拟合及程序化	(321)
第四节	设计数据的处理	(329)
第五节	数据结构和数据库	(334)
第八章	计算机在石油机械设计中的应用	(344)
第一节	CAD (计算机辅助设计) 概述	(344)
第二节	CAD 的微机系统	(350)
第三节	计算机图形系统及装置	(368)
第四节	计算机绘图方法	(382)
第五节	CAD 技术在石油机械产品设计中的应用	(400)
附录一	求理论应力集中系数用的计算公式	(422)
附录二	A 材料强度极限 S_b 的标准差 σ_{S_b}	(430)
	B 材料屈服极限 S_y 的标准差 σ_{S_y}	(431)
	C 材料延伸率 δ 的平均值和标准差	(432)
附录三	标准正态分布函数值表	(433)
附录四	材料疲劳极限 S_{-1} 的平均值和标准差	(434)
附录五	钢试样的尺寸系数 ε	(435)
附录六	表面加工系数 β	(436)

第一章 机械产品现代设计技术与方法概论

第一节 机械产品现代设计观

所有的机电产品，不管大到一套大功率燃气轮发电机组或一台超深井石油钻机，小到一支带电子计时的圆珠笔或一把微型搬手，都必须经过设计过程，而一切设计构思都是起源于客观需求，通过设计工作者的创造性劳动，又归宿于满足人们预期的需求。可以说，没有客观的需求，就不会有设计任务和设计过程。机电产品设计也和其它设计一样都涉及到三个因素：即人、机器和环境。这三者构成了完整的系统。从系统设计的角度出发，正确的设计思路或者说设计指导思想，只能是以人为中心，逐渐向机器和环境扩展。

机械产品设计的实质是：根据人们客观的需要（设计任务书）、市场预测以及多渠道的信息资料，充分运用各种科学技术、设计方法、社会经济学等方面的知识，通过设计师们创造性思维，经过反复推敲、判断，作出决策并将各种设计模型转化为样机，借此进一步获得性能好、运转可靠、经济效益高、有创造性的机械产品。

要设计一种适用性强、质量高、价廉物美统筹的机械产品，不仅要了解和掌握机械设计过程自身的一般规律，设计程序中各阶段的相互衔接，各步骤采用的方法和技术，而且要充分运用外部设计软件的各种知识，这已非一般的设计方法学，而是一跨行业、跨学科的、综合的科学技术领域，要掌握这个领域中的现代设计技术和方法的全部内容是不可能的，因为许多新技术和先进的设计法正在不断发展和完善，从而形成了众多的新兴学科。但是不应该把现代设计法看成是高不可攀、难以捉摸、玄而又玄的突变知爆学科，而应该把它看作是传统设计法的延伸和发展。为了使读者能较容易地领会现代设计技术与方法的全貌和主要内容，结合我们长期从事机械产品设计和理论研究的经验，将其归纳为以下三方面的问题在本章内加以论述：

- (1) 机械产品的一般设计规律。
- (2) 现代机电产品的特点及产品设计所面临的形势。
- (3) 现代设计与传统设计之间的实质关系。

上述问题只是涉及到一般的概念，深入一些的问题以及具体的设计和方法在本书以后各章节解决。

一、现代机械的分类和组成

传统的机械按其使用性能分类，如图 1-1 所示，由工作母机分为工艺机械（专用机械）、施工机械及通用机械等三大类。

随着新技术大量的应用，机械化、自动化程度的提高，现代机械的分类按“生物空间”三坐标来划分，即：智能度、机能度、物理量能度。

智能度：包含感觉、识别、判断、联想，学习、记忆，模拟、仿真。

机能度：包含功能范围、活动能力，通用性、变通性（适用性）。

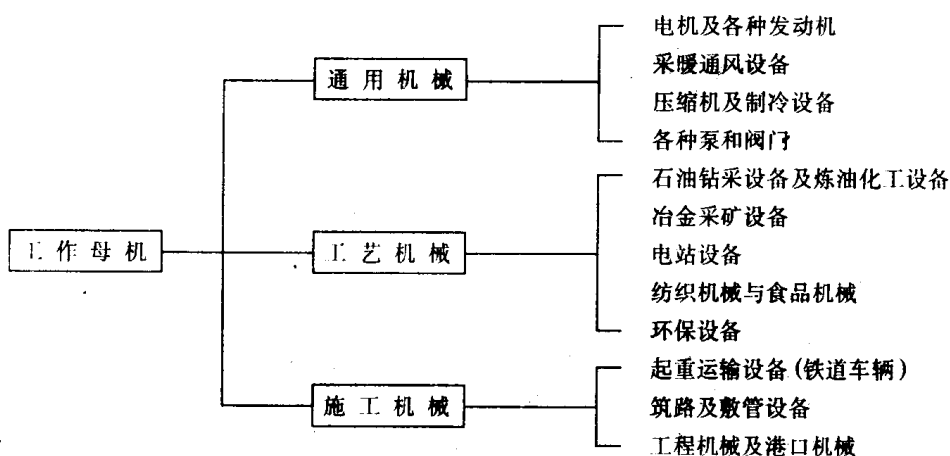


图 1-1 传统的机械分类

物理量能度:包含质量、力、速度、温度、运转可靠性、连续工作能力、均一性、平衡性。

按上述三能度原则划分，现代机械可分为：

- 1) 一元机械 它只考虑物理量能度，普通机械都属于此类。
- 2) 二元机械 它具有物理量能度与智能度，例如数控机床、低智能度机械手、自动作业线等机械装备。二元机械主要由控制系统、反馈检测系统以及执行系统三部分组成。
- 3) 三元机械 它具有上述三个能度，例如机器人、可移动的高智能度机械手等。

二、机械产品的一般设计规律

图 1-2 所示为机械产品一般的设计过程规律。设计过程就是将人们的客观需求转化为样机乃至产品的过程。在这过程中，各阶段之间有着严格的思维规律关系，既不能颠倒，也不能随意超越。

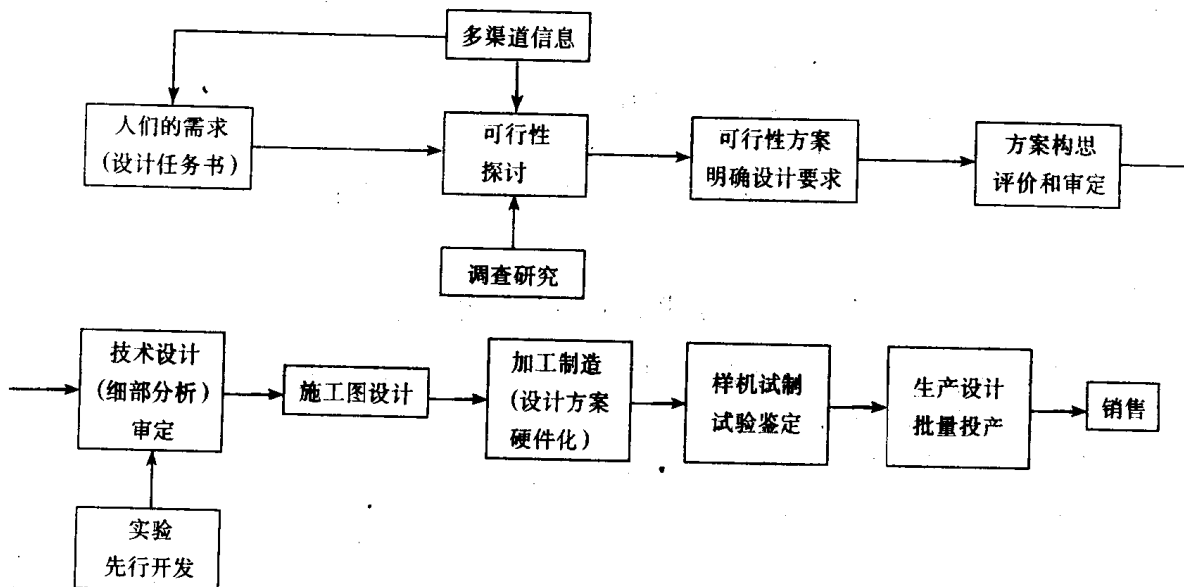


图 1-2 机电产品一般的设计过程

产品批量投产并投放市场后，该产品的设计暂告一段落。随着销售时间的推移，由于相应产品各生产厂的竞争，不同销售地点和用户的需求变化，新技术、新工艺、新材料的冲击等原因，原有产品可能会变得不能满足客观的需求，于是必须根据用户和客观的新需求对产品进行改进设计，进行新的设计循环。机械产品就是经过这种反复循环，而不断改进、升级，甚至更新换代的。

作为一个产品设计师，它不仅要了解、掌握设计过程的规律、技术、方法与步骤，而且要了解、掌握外部设计软件的许多知识，例如评价方法、市场预测学、社会经济学、技术政策以及企业管理等知识。此外，还应具备思维迅速、综合分析判断各种信息的能力。

三、现代机电产品的特点及产品设计所面临的形势

(一) 现代机电产品的特点

随着机电产品的不断发展，新技术大量的涌现，现代机电产品的特点主要表现在广泛采用新技术（新理论、新工艺、新材料）。由于生态平衡的要求，人机相互作用以及机器与环境相互作用的影响，对机电产品在功能、可靠、经济效益这三方面提出更为严格的要求。要达到这些要求，主要取决于产品设计。因此，研究和采用新的设计技术和方法是当代机械产品设计的重要课题。由于机电产品日益普遍采用微电脑作自动控制，使产品向机、电（包括液、气）、信息一体化的方向发展，所以，现代机电产品最明显的特点是功能上的大跨越。

(二) 当前机械产品设计所面临的形势

(1) 产品的技术要求日趋复杂，不但要求产品具有多参数、大容量（如火力发电机组）、高效率、低消耗（低能耗、省材料）、成套性强、自动化程度高，而且要求产品在苛刻的环境条件下（湿热带、高寒带、海洋盐雾、深层高温、空间深冷、冲击振动和腐蚀等）有更高的质量耐久性和运转可靠性。

要满足上述多元条件的约束，设计人员在设计工作中必须体现三性统筹、至诚用户的思想。至诚用户反映了为使用者着想、为用户服务的设计思想，反对闭门造车。但是，三性统筹的设计指导思想是第一位的，因为用户具有多重性，只有三性统筹才能避免以往片面强调用户第一带来的缺点。所谓三性统筹，就是将适应性（功能、先进性）、可靠性、经济性加以统一筹划。在三性中，适应性又是第一位的，因为它体现了客观条件或需要，后二性是指设计人员在可靠和讲求经济效益的基础上强调产品的适应性和先进性。现代设计工作中三性统筹、至诚用户的提法既是辩证的又是统一的。

(2) 新技术对机电产品的渗透和应用，使机电产品在功能和结构上产生重大的变化，同时也促使机电工业制造技术和工艺的革新，以及加工的组化、自动化和生产管理的科学化。这样的结果又反过来促使新技术从发明到实际应用的周期大为缩短。例如电子显微镜为35年，燃气轮机花了25年，数控机床用了5年，而激光器仅用了一年多的时间。在先进工业国，从科研成果到第一台商品的制成，平均时间约为4~5年，汽车工业更短。

新技术的发展不仅仅是近代物理学的成就，而且还包括近代生物工程的应用。近代物理学的成就包括激光、电子技术的应用，以及用于机械加工的等离子束、电子束和电磁等新技术，这些新技术给机电产品设计包括工艺装备设计提出新的要求，甲醇发动机及电磁发动机的出现，为开辟新能源创造了途径。生物工程又称仿生学，生物的许多机构值得人们去研究、应用，如人的膝盖就是一个具有复杂曲面的空间机构，如果工程机械、石油钻井设备中的立根移运机构都能模仿人的关节机构，那么这些产品就会发生根本的改观。

(3) 兼顾适当, 机、电一体。兼顾, 即在设计中应综合考虑结构、制造、管理、成本、保养和修理等诸因素之间的关系。这些要求往往是矛盾的, 但又是统一的。兼顾适当, 就是既要考虑上述诸因素, 又不片面追求面面俱到, 这比过去“多方兼顾”的提法更符合现代机电产品的需要。因为目前加强了产品关键部件、元件的试验研究, 充分暴露产品结构中最薄弱环节, 对每一种关键元器件都有一定的寿命小时要求。这样, 在产品设计中并不一定要将上述所有的要求都贯穿到一台产品中去。如现代小汽车中的关键部件液力变矩器, 它的左右壳体是不可拆的焊接结构, 在设计中不用考虑变矩器的保养和维修问题, 因为它的密封结构具有行驶 50 万公里、一万小时的运转可靠性。这样, 产品的总体结构设计就趋于紧凑和简单, 并有利于操作使用方便和制造成本的降低。

机、电一体, 即机、电、液、气四种传动合理匹配, 各扬其长。但在产品设计中不应一概追求四种传动样样俱全。

(4) 新技术的发展, 促使设计技术和方法现代化。由于控制技术、应用数学和电子计算机的发展和应用, 尤其是大型计算机和微机的广泛采用, 扩大了技术数据处理、信息处理和逻辑推理、判别的功能, 为产品设计提供了最优化技术和方案选择, 使设计技术和方法有着跃进的条件和可能。采用计算机辅助设计或自动化设计系统的企业, 能更快地设计制造出价廉物美的新产品, 因而, 能在当今商品市场上处于竞争优势。

(5) 系统工程学的产生和发展, 运筹学和控制论的完善, 为先进的成套设计创造了条件。

系统工程学是系统成套设计的理论基础。如图 1-3 所示, 成套的陆地石油钻井设备系统是由动力、驱传动、钻井液循环与固控、工作机构等分系统组成, 而工作机构分系统又包含着提升子系统、旋转子系统和控制子系统等。设计这一系统的中心任务是使主机、辅机、管路、电路、气路等复杂组合的合理化和最佳化, 使整套设备在运转时能安全可靠地工作(钻进), 并达到降低每一米钻井成本的经济目标。

总之, 随着现代科学技术的发展, 以及新材料技术、新能源技术、信息技术、新工艺技术的运用, 逐步形成和创建了以脑力劳动自动化和人工智能化为特征的新的设计技术和方法, 这些技术和方法加速了新产品的开发和研制, 从而改变了机电产品和机电工业的面貌, 以适应和推动社会生产和生活的需要, 这也是我们设计人员所面临的新形势。

四、迅速掌握新技术是发展新产品的主要途径

机电工业发展的标志就是不断用性能好、质量优的新产品去装备国民经济的各个部门。国内外机电工业发展的实践表明, 掌握新技术是发展新产品的主要途径, 那么如何迅速掌握新技术和开发新产品呢?

(1) 大力开展工业、企业的科学实验和研究工作, 采用基础科学的研究成果, 掌握机电产品的基础技术理论, 以及应用产品现代设计技术与方法, 是开发新产品的先决条件。

企业应根据市场预测, 摸清用户对新技术、新产品的要求, 制定新技术和新产品的科研目标规划, 并向科研工作投放足够的人力和资金。

(2) 高度重视产品的改型换代工作。工业劳动生产率的提高, 包括产品设计、机器与设备、工人的生产技能与效率、可生产量这四个要素, 而这四个要素中首推产品设计。因为, 合理的设计, 既保证了产品的功能, 又能相对地简化结构、节省材料、减少零件和工装模具的数量, 以及节约工时、降低成本。产品设计的目标, 是要充分保证功能和简化结构, 而在

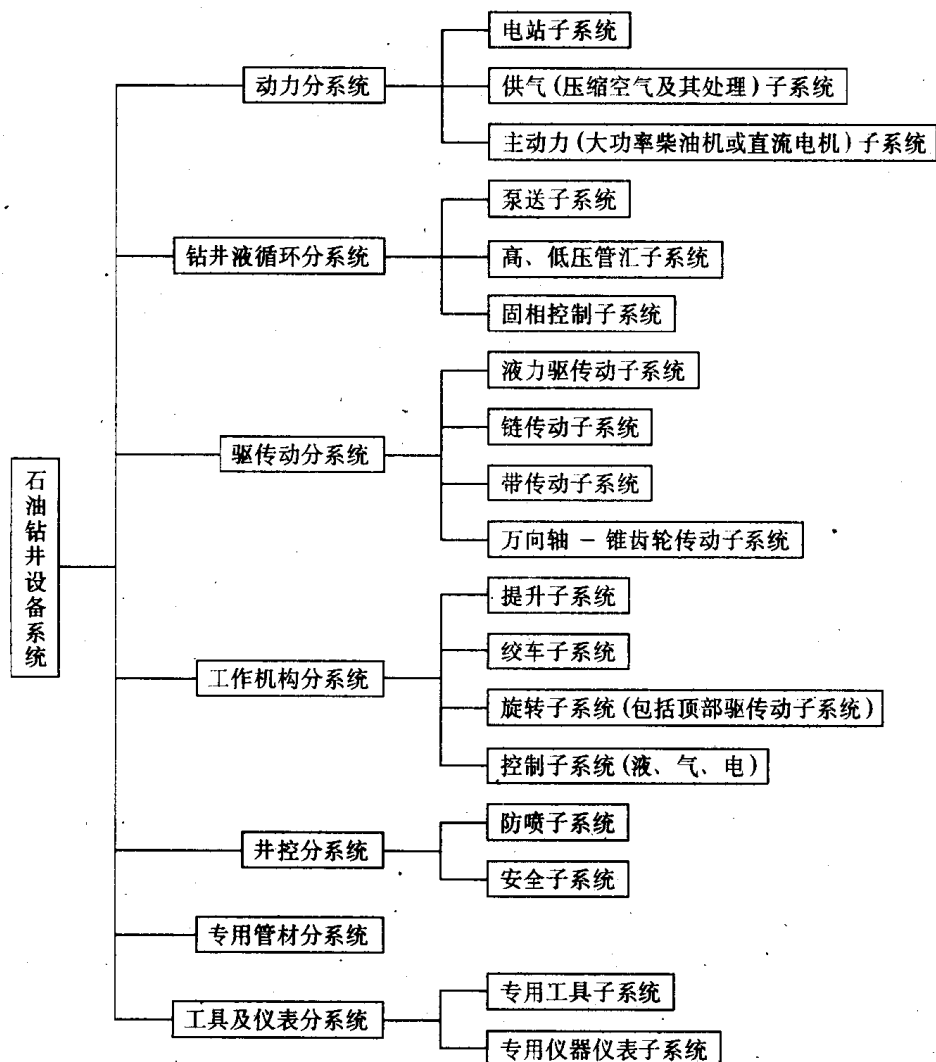


图 1-3 陆地石油钻井系统

这二者的前提下讲究外表的华丽。

(3) 建立和推行新产品研制管理和调度工作的新体制。现代化的机电成套设备和重大的新产品，其零件成百上千（如一台中等功率的 800 马力泥浆泵就有 2742 个零件），有的在万件以上，涉及的协作单位多达几十到几百个，生产技术文件往往有数百种之多，平行交叉作业十分复杂。据统计，一般阻碍新产品发展的种种因素中，50%以上是由于组织管理不当所造成的。因此，建立产品研制管理和调度工作的新体制可以缩短新产品从规划研制到投入商品生产的周期。

目前先进企业采用“系统方法”（System Approach）制定新产品研制规划，用“系统管理”（System Management）建立调度工作体制，并取得了很大的效果。

(4) 发展自动化设计系统（AD）及一体化生产技术准备工作系统。

自 1965 年计算机进入集成电路以来, 计算能力及图形功能大为提高, 微机及高存贮容量超级微机的出现, 使计算机辅助设计 (CAD) 的概念已有了很大的发展, 促使和建立了产品设计的自动化系统。所谓一体化的生产技术准备工作系统就是将计算机辅助设计 (CAD) 和计算机辅助制造 (CAM) 二者结合起来, 形成一个统一的整体技术系统, 又称 CAE 系统。自动化设计系统 (AD) 的输出既包括生产设计图纸, 又包括工艺规程、工艺装备、工时定额资料、器材管理、检验方式以及安排制造等文件。这些文件通常以微型胶卷、磁带、微型数据卡片等形式供应生产车间, 这样可进一步缩短生产准备周期并可减化生产技术文件。

第二节 现代设计技术和方法的产生与发展

一、设计技术和方法发展的各个阶段

设计工作本身与科学技术的发展有着密切的关系, 按照不同的历史时期, 设计技术和方法的发展大致可分为四个阶段:

(一) 直觉设计阶段

这一阶段大致可归结于 18 世纪工业革命前这一漫长的历史时期, 那时人们从自然现象中得到启发, 根据直觉的需要来设计制作工具, 并用来发展生产以满足社会的需求。人们最初只知道这些工具能省力和提高工效, 但不知其所以然, 我们把这一阶段称之为直觉设计阶段。

(二) 经验设计阶段

17 世纪后期, 由于力学和机械学的产生, 为设计方法的改进提供了理论基础, 人们开始用数学和力学来解决机械结构设计中的一些问题, 如零件材料的应力和强度计算, 机器的载荷安全系数计算, 以及机器的功率和一些最基本的特性计算等。人们大致把 1945 年以前这一段时期称之为经验设计阶段, 即在这一时期内, 机电产品设计的特点是以生产技术经验数据为基础, 运用力学和数学而形成的经验公式、图表、手册、规范并借助类比、试凑和模拟等基本设计方法来进行的, 所设计的零部件其安全裕度一般都较大, 直到本世纪初才出现用设计图纸来代替试凑法。

在经验设计阶段, 只对原型样机进行试验, 进行整机结构系统的分析研究。这样, 只能研究整机的综合性能, 对零部件性能掌握甚少, 一个产品的开发往往需要经过设计—试制—试验—修改多次的反复, 才能定型生产, 投入商品市场, 首次设计资料和图纸的可利用率不到 50%。此外, 所使用的测试设备和仪器、仪表等, 通用者多, 专用者甚少, 试验水平不高, 对产品临界、瞬时和动态下的性能研究也不够充分。因此, 新产品的试制周期长, 寿命和质量的水平较低, 材料的消耗量较大。一般说来, 经验设计只能满足基本功能的要求, 产品完善的周期长, 而且在性能、可靠性和成本诸方面有较大的局限性。应该看到, 我国国内仍有一些企业的产品设计停留在这一阶段。

(三) 半理论半经验设计阶段

这一时期大约自 1945 年至 1965 年, 也有把 1965 年以前的时期统称为传统 (经验) 或常规设计阶段。本世纪 40 年代中期以来, 由于科学技术的飞速进步, 测试手段和方法的提高, 从而加强了对产品的科学试验和技术分析, 尤其自 50 年代起, 电子模拟计算机及数字计算机开始应用于产品设计, 进一步提高了产品的设计速度、水平和质量, 也弥补了原型机

试验欠缺之处。这一阶段设计技术和方法进展的特点是：

(1) 在完善产品整体试验的同时，加强了关键零部件的试验、研究和分析。模拟技术、物理模型开始应用于产品的设计。许多工厂增设了各种专用试验台架，从各个侧面对产品的性能和结构进行测试。如飞机设计采用风洞试验，船舶和石油钻井平台采用模拟风浪试验。很多企业还增设了物理、化学、强度、材料应用、新工艺研究等试验室。这样，在产品的设计前，就可以进行应力应变、弹性疲劳、振动等重要的基础试验工作，较大幅度地提高了产品设计的速度和成功率，一般首次设计资料和图纸的可利用率提高到 75% 左右。

(2) 重视设计基础理论、技术和方法，各专业产品设计原理的研究，以及近代物理数学分析方法的应用。如摩擦磨损理论、零件的可靠性与失效的研究、结构强度的理论分析、机床设计原理、刀具设计原理等等，并为设计提供了许多数据资料、信息、数表、曲线和各种设计手册，提高了产品设计的科学依据。

(3) 重视产品形式、结构、零部件、元器件等的“三化”工作。“三化”，即标准化、通用化、系列化，它不但使结构设计简化，提高产品的工作效率，更重要的是能使制造质量稳定，生产成本降低，缩短制造周期和增加零部件的互换性。一个企业的“三化”水平愈高，向市场提供定型产品的能力就愈大，也标志着该企业具有较高的现代化管理水平。

这一阶段由于重视了设计技术和方法的研究，较多地应用了近代物理数学分析方法，与经验设计相比，减少了设计的盲目性和局限性。所以，这种半理论半经验的设计方法，至今仍被广泛地应用着。

(四) 计算机化设计阶段

这一时期大约自 1965 年至今。由于微电子技术得到了进一步发展和广泛的应用，计算机已深入到社会各个领域，计算机辅助产品设计 (CAD) 也日益广泛，先进的数学分析方法 (如有限差分法、数值积分法特别是有限元素法) 结合计算机的应用，使产品部件结构的静态、动态应力和应变分析计算比以前更为精确。

在科学试验方面，从过去单一的整体样机试验，过渡到以试验产品结构关键部件及元件为主的阶段，从而全面暴露产品结构中最薄弱环节，为最优设计方案的拟订，提供了充分的科学依据。

人们习惯于根据使用工具和新事物冠以时代的名称，如石器时代、铁器时代、蒸汽机时代、电子时代、塑料时代、信息时代……等，当代社会称作计算机时代或人工智能时代一点也不过分。现代设计技术与方法的核心是计算机化，因为计算机的发展已改变它只能作为一种现代化运算工具的形象，它具有记忆、逻辑思维的能力以及运算精确度高，速度快的优越性，可以弥补人脑的不足 (速度慢、存储量不够、易疲劳和出错)，并取代人在产品设计中的部分脑力劳动。目前国外已研制成功 100 万位的大规模集成电路，用它制成的微电脑可接近人脑的智能度。几乎所有的新技术和现代设计方法，如优化设计、可靠性设计、模块化设计、有限元素法等等，都离不开计算机的应用。在这种形势下，近代机电产品设计也必然处于现代设计技术和方法的时代。

由于产品设计采用现代设计技术和方法，使机电产品的技术经济效益不断增长，如表 1-1 所示，首次设计的图纸资料可利用率提高到 90~95% 以上，质量和可靠性指标都得到进一步提高。

表 1-1

项 目 \ 时 代	经验设计阶段	半理论半经验设计阶段	计算机化设计阶段
首次设计的资料和图纸可利用率	< 50%	75%	90~95%
设 计 周 期	长	较短	短
新产品的质量和耐用性水平	较低	较好	好
材料消耗和成本	较大	较低	低

二、现代设计技术和方法的实质与内容

(一) 现代设计技术和方法的产生

机电产品自 19 世纪末至本世纪 40 年代初, 已经积累了几十年的设计、生产技术经验, 设计技术、方法和程序也有新的改进和发展。但是, 近 40 年来, 由于科学技术和生产的飞速发展, 原子能、海洋石油开采、宇航业以及电子工业等高技术的开发, 对机电产品提出了新的功能和技术经济指标要求, 产品竞争也日趋剧烈, 从而对产品设计也提出了更高的要求。产品设计中, 不仅要求三性统筹、至诚用户, 而且要求兼顾适当、机电一体, 以取得产品质量、技术水平和商品售价上的市场竞争优势。此外, 许多高技术、综合性的大工程系统不断呈现, 产品设计不仅要有许多新技术学科的支持, 还需要一系列外部设计学科(或称为软科学)来进行预测、规划、决策、管理和经营。这样, 在新的需求和新技术的推动下, 逐渐产生了新的设计技术、理论和方法, 而人脑与电脑的有机结合, 则更丰富、充实和发展了这些技术和方法, 促进了传统设计技术和方法的改革, 于是便诞生了一门多学科跨行业的交叉学科——现代设计技术与方法。

(二) 现代设计技术和方法的实质与内容

现代设计技术和方法实质上是以开发设计产品为目标的一个具有近代工程知识群体的总称, 在产品设计的各个阶段要分别采用某种适宜的、有效的技术和方法, 来解决系统和各个装置、设备设计中的具体问题。如前所述, 它也是一门新兴的多学科跨行业的交叉学科, 图 1-4 说明了现代设计法与相关科学技术的关系。现代设计技术和方法的任務就是研究设计过程的规律、原理、程序、思维乃至设计方法本身。

现代设计技术和方法所包含的内容广泛, 种类繁多。就设计技术本身而言, 它是根据生产、设计经验和自然科学原理而发展成的各种设计方法与技能, 如图形技术、计算技术、模拟技术、近代物理数学分析方法与技术等, 广义地讲: 它包括相应的设计工具和其它物质设备以及设计的作业过程或作业程序、方法等。设计方法或方法学是指解决设计问题的途径与程序。在实际工程技术中, 技术中含有方法, 而方法中又必须贯穿着解决问题的技术, 如有限元法, 人们可以称它为技术, 也可以称它为方法; 模拟技术也可以称之为模拟方法。

有人把二十八种现代设计方法按名称、特征列成设计方法一览表; 有人将现代设计方法归纳为博采众家之长的十一大论, 似乎论数愈多愈全面。事实上, 解决某项产品或系统的设计问题一般只采用某些最适宜、有效的设计技术与方法。这里我们主要是着眼于研究和掌握一些重要的行之有效的现代设计技术和方法, 具体地讲, 它主要涉及两方面内容:

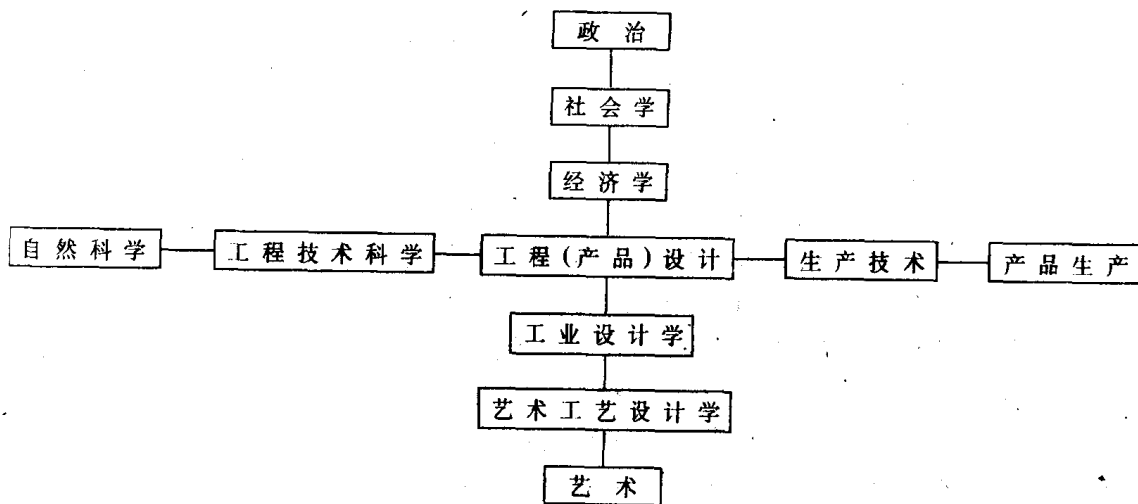


图 1-4 现代设计法与相关科学技术的关系

1) 产品设计原理 其中包括：研究设计阶段和步骤的划分，每一阶段的设计任务和内容及其完成任务的方法；研究有关产品设计所需拟定的技术要求和技术文件；研究符合三性统筹、至诚用户和兼顾适当、机电一体的总体设计思想及方法；研究方案构思设计中的工作方法及设计方案的合理评价。

2) 产品现代设计技术和方法 其中包括：预测技术；相似与模型设计法；系统工程；机器的可靠性与概率设计法；优化设计法；有限元素法；工作载荷谱与动态设计；CAD 技术及其在产品中的应用。

目前对于机电产品现代设计技术和方法究竟应包含多少基本内容尚无一致公认的看法，上述内容只是按照我们自己的理解并结合在石油机械产品设计中的应用所选择的最低限度内容，并具有机械工程设计领域的普遍特征，本书将按设计过程中的先后次序分章撰写。

三、现代设计法与传统设计法的关系

由于现代设计技术和方法内容繁博，从不同的角度出发就会呈现出不同的观点，以至众说纷纭，莫衷一是，但多数学者用动态随机性、模糊性、全局系统性、优化、计算机化等来概括其特征。进入 80 年代以来，现代设计技术与方法在机械产品设计中的应用已日趋广泛。由于它相对于传统设计技术和方法的确有许多优点，因而今后必将得到进一步应用和发展。此外，我们还应该看到现代设计法与传统设计法之间存在着继承、相互补充和不断创新的关系。

（一）继承与发展的关系

产品设计的实践告诉我们，现代设计技术和方法是在传统设计技术和方法的基础上发展起来的，甚至可以说它的主干和精华部分都取之于传统设计法，如设计学原理的基本理论、一般的设计原则和步骤、构思设计、相似理论和分析、价值分析、市场信息、冗余和自助原则、组合式设计法等等。在产品设计的全过程中，从设计方案的拟定、材料的选择、工艺分析到结构设计等问题，往往难以用精确的数学模型来分析和描述，而需要依靠专家们自己所积累的经验 and 知识进行思考、推理和判断。现代设计技术和方法中的 CAD 技术，其中很重

要的一个内容就是建立专家系统，将许多专家的宝贵经验集中起来，所不同的是借助于计算机的程序系统模仿专家们的工作，以加速决策过程。在这一方面，现代设计法与传统设计法的本质是相同的。因此，应当认识到现代设计技术和方法的许多内容是传统设计技术和方法的继承、充实和提高。

、(二) 相互补充和不断创新的关系

毋庸置疑，产品设计工作也和人类其它创建物质文明的活动一样，必定会向高级的、定量的、现代科学方法的方向发展。但应看到从传统设计法发展到现代设计法有着时序性、继承性以及两种方法在一定时期内相互补充和不断创新的关系，而就现代设计技术和方法本身来讲远未达到成熟和完备的阶段，不少方法自身理论的建立及可行性、适用性等还需深入研究；一些较成熟的新方法和内容也有待掌握、运用和推广。所以，目前的时代正处于传统设计法不断改善和变革，新方法不断创新和完善的历史时期，对传统设计技术和方法过分贬低，把它完全说成是单向的、狭隘的、排他性的和超稳定性的，这不符合量变与质变的辩证关系。当然，由于采用现代设计技术和方法，机电产品在功能和结构上将会产生新的突破。

当前，摆在我们设计工作者面前的任务是在总结过去设计经验的基础上，吸收国外先进的科学技术，加强对现代设计技术和方法的研究，系统地总结出一套较为完善的行之有效的设计规律和方法，为加速我国的四化建设作出应有的贡献。

四、现代设计技术和方法的研究与发展

本世纪 60 年代初国外对现代设计技术和方法的研究已经引起了普遍的重视，各国学者所研究的侧重点虽然各不相同，但总的趋向是一致的，即着重工程设计学、产品设计原理和新设计方法的研究，其目的都是为了解决实际的、复杂的和高难度的工程技术问题。本书不想主观地去划分国际上的设计方法派别，而只是向读者介绍国外现代设计技术和方法的研究与发展概况，从中得到有益的启发。

英、美两国对工程设计新方法的研究开展于 60 年代，研究的重点是以满足社会需求为前题的创造性设计技术和方法，以及新产品设计与市场需求的关系，对象着重于系统，设计思路开阔，总的目标是为了创新。许多学者认为工程设计的基本目的是研制新的技术装备或系统以满足人们的需求，对设计步骤与格式不必作过细的研究和规定，重点应放在各种重要的设计技术和方法上的应用研究。在实际的工程设计中，过细的格式（程式）会影响创造性的发挥。美国威斯康星大学 A·塞雷格教授指出：工程设计包含创造、分析、决策三种主要内容。这与国际上广泛流行的构思→物理数学模型分析→评价、优化方案的设计内涵是基本相同的。

西德学者研究机械产品设计方法已有较长的历史，并以其严格的准则和规范化著称，侧重点是以机械产品总设计为基础，研究总体设计的原则、步骤、格式和技巧，这种总体设计所思考的范畴具有系统工程的特点。近十多年以来，西德和西欧一些国家也已转入以市场需求为中心的产品开发设计方法的研究，由于西德各专业技术理论基础雄厚，尤其重实验、重归纳，所以，形成了一套科学的、严密的、整体的设计技术与方法。

日本 50 年代的机电产品水平还较低。到 60 年代，为适应经济发展的需要，在产品以引进、测绘、仿制为主的基础上开始加强设计理论和方法的研究，逐步形成了以经验设计技术和方法为基础的现代工程设计技术和方法。进入 80 年代以来，日本借助微电子技术和计算机的优势，使机电产品设计走向自动化设计时代，高速地创造出许多高质量的产品投放国际

市场,使世界商品市场产生了日本冲击波。即使如此,日本经验设计时期的一些理论和方法至今仍受到工程设计界的广泛重视,如60年代中期,著名的日本设计方法理论家大规昌之在他的《设计经验四十八讲》中很深刻地讲到:

(1) 拜模仿为师,模仿是独创之母,技术是建立在积累的基础上的。充分利用过去的经验或别人的经验,使它变成自己的东西。只有精于模仿才能脱开模仿,通向创造之门。

(2) 路程最短的设计是继承性设计,设计工作的最终目的是使出色的产品早日问世,而继承性设计是达到这个目的的最有效方法。

(3) 简单胜于复杂,用户对产品的要求是动作可靠、性能稳定、不出故障、维护方便。

(4) 技术情报有备无患,甚至可以说情报工作决定胜负。搞设计大约80%都是利用有关技术资料完成的,个人的独创不超过百分之几(尽管这个百分数有着重要的价值)。

(5) 设计是创造性劳动,设计技术就是把理论上可行的,而经验上又是不可行的事情办成功。设计人员要把似乎办不到的事、困难的事看成是进行创造,要投入创造的思维中去,让件件无袖之衣翩翩起舞。

(6) 对不允许出事故的机器设备,采用“故障保险”(Fail Safe)和“绝对可靠”(Fool Proof)的设计措施。当时,双重安全的设计思想已经形成了可靠性工程设计学。

设 P 为双重(或多重)安全装置的故障率,则:

$$P = P_t^n \quad (1-1)$$

式中 P_t ——一个单元体的故障率;

n ——安全装置中单元体的总数。

例如,设某双重安全装置为两个单元体,每一单元体的故障率为30%,则该装置的故障率为: $P = 0.3^2 = 0.09$,即故障率仅为9%,可靠性为91%。飞机上的起落架就有二套不同的操纵系统,一套是液压系统,另一套是手动控制装置。当时的汽车刹车系统也已经使用双重制动装置。石油钻井设备的绞车制动系统亦采用气动与手动两套系统。还有,螺钉的防松方法很多,最保险的是穿钢丝。上述这些措施,从价值工程分析的观点来看似乎是多余的,但对于出故障就会严重影响人身安全或不允许出事故的机器来说,绝对保险的设计是需要的。所以,每一种设计方法或观点在实际使用中应具体分析。

大规昌之的这些经验设计论述,至今仍是现代设计技术和方法内容中的重要组成部分。

我国对机电产品现代设计技术和方法的研究起步较晚,70年代中期前主要沿用苏联那套经验设计时期的三段设计法,即方案构思→技术设计→施工图设计。70年代末,在改革开放政策的指引下,国外先进的装置和新技术、新工艺的不断涌入,震动了我国工程设计界;美国与西欧的产品现代设计技术和方法逐步引入了我国工程设计领域,引起了传统产品设计技术和方法的变革。近几年来,工程设计界吸收了国外大量的先进设计技术和方法,开始重视现代设计技术和方法的应用和研究,并取得了可喜的进步。但是,应该看到,我们的水平与国外相比还存在着不少差距,现代设计技术和方法的研究才刚刚起步,那种认为我国目前已经创造了独具一格的、泛含古今中外具有普遍性十一论的现代设计法,其内容与系统远比国外学派系统、全面、完整的说法是不符合实际情况的。