

普通高等教育“九五”国家级重点教材



★★★★★

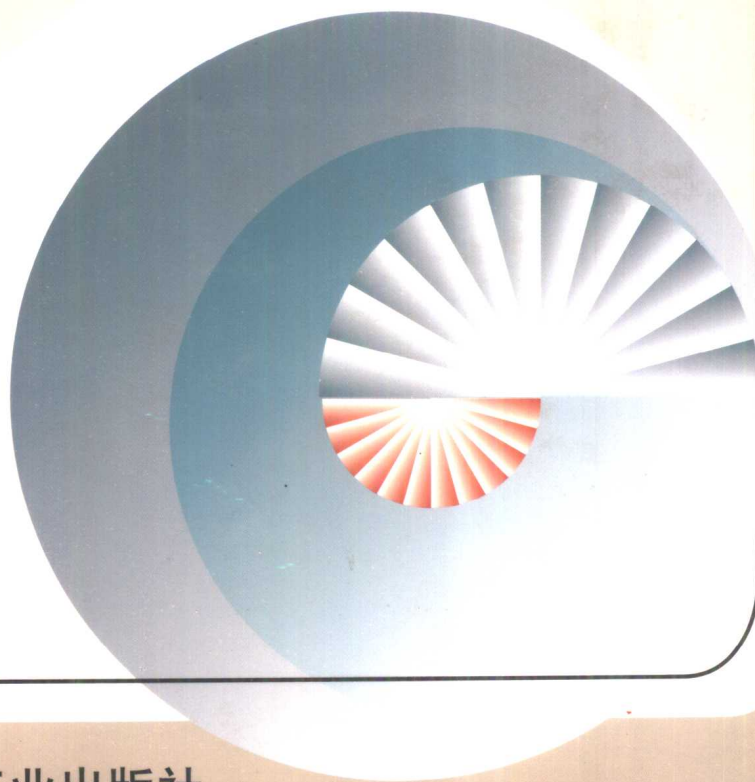
B

普通高等教育机电类规划教材

机械设计学

第2版

清华大学 黄靖远
重庆大学 龚剑霞 主编
哈尔滨工业大学 贾延林



机械工业出版社

普通高等教育机电类规划教材

机 械 设 计 学

第 2 版

主 编	黄靖远	龚剑霞	贾延林
参 编	李平林	徐曾荫	程燕青
	刘丽春	陈祝林	牛锡传
	仲正华	毛培芳	李恩至
	张静如		
主 审	郭可谦	朱 均	



机 械 工 业 出 版 社

本书以“机械设计学”的学科思想为基础,以“功能设计”和“结构设计”为核心内容,将设计的各种主要技术问题在各章作了相应的介绍,最后以设计试验和优势设计结束。全书共十章,辅以各种优秀设计实例,以阐明理论与方法的应用。

本书以培养学生“能提出创新构思并能尽快将其转化为有竞争力的产品”的初步能力为目标,围绕影响产品竞争力的功能原理设计、实用化设计和商品化设计三个关键设计环节组织全书内容,体现“学科”与“应用”相结合的原则。

本书于1998年进行了第2版修订,除各章具体内容有更新增补外,特别增编了第十章“优势设计”,加强了创造性设计和为竞争的优势而设计的内容,以适应日趋激烈的国际市场竞争的要求。

本书可用作高等工科院校机械设计及制造专业的专业教学用书,也可供其它机械专业师生和机械类科技人员参考。

机 械 设 计 学

第2版

清华大学

黄靖远

重庆大学

龚剑霞 主编

哈尔滨工业大学 贾延林

*

责任编辑:张一萍 版式设计:张世琴

封面设计:姚毅 责任校对:李秋荣

责任印制:路琳

*

机械工业出版社出版(北京市百万庄大街22号)

邮政编码:100037

(北京市书刊出版业营业许可证出字第117号)

北京机工印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行·新华书店经售

*

开本 787×1092¹/₁₆·印张 17.5·字数 424千字

1999年5月第2版第1次印刷

印数 24 701—28 700 定价:22.00元

*

ISBN 7-111-06866-1/TH·912(课)

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换

第2版前言

《机械设计学》第1版在1991年10月出版,至今已经第5次印刷,印数近3万册,1996年荣获机械工业部优秀教材二等奖。

在6~7年的使用过程中,一方面满足了新建的“机械设计及制造专业”教学的急需,同时也通过广泛的使用,积累了大量的改进建议,为这次修订提供了宝贵的参考。

1)“功能”是机器的灵魂,但是过去的机械设计教育几乎没有“功能设计”的教学内容,例如机械原理课程讲缝纫机,只讲它的机构组成,而没有一本书讲它的“穿梭功能”,这恰恰把机械设计中最富创造性的内容漏掉了。

美国人首先觉悟,40年代有人提出“人们购买的不是机器本身(机构或结构),而是它所具有的功能”。这个极富哲理的思想,在美国也经过了30多年才被人们理解和接受。

第1版的编写,我们注意到了这一点并在教材中有所体现。1991年在合肥工大举办的教材研讨会上也宣传了这个思想,不少学校在教学中注意到这一点并有所发挥,取得了很好的效果。但也有一些学校,由于没有参加研讨会,并且由于受到当时流行的“设计方法学”思想的影响,把这部分内容用“设计方法学”的概念和思想来讲述,结果不很好,学生反映空洞抽象。而按“功能”思想进行教学的大部分学校,学生反映很好,甚至连机制专业的学生也纷纷选听这门课。

当然,第1版在编写时,在功能思想的表达和组织方面,还有很多不足之处,以至使有些学校仍把这一内容当作“设计方法学”来讲。这是我们这次修订着重改进的重点。

为配合“功能”教学,我们录制了“打字机功能原理的演进”、“复印机的功能原理”、“缝纫机功能原理分析”、“点钞机功能分析”等录像教育片,收到了很好的效果,建议今后能更好地组织这方面的工作。此外,各校还组织了一些配合功能分析的优秀设计实例分析的实验课程,效果也很好,建议今后加强交流,更好地提高实验效果。

2)“创造力”是一个民族进步的灵魂,工程教育本质上是一种创造性教育,设计和科研这两者的基本区别在于前者是“创造”,后者是“发现”,设计教育是贯彻创造性教育的最理想的阵地,过去的设计教育,在创造性培养方面几乎没有注意,以至使我国目前很多企业几乎难以适应当前急需的开发有竞争力的产品的任务。

在第1版的编写中,我们已经注意到创造性教育,在相应的章节中也设置了相应的教学内容,不少学校在教学中注意到这一点,并通过作业和课堂训练加强了创造性训练,收到了很好的效果,也有些学校,由于如前所述的原因,强调某些“设计步骤”和“设计进程”的教育,忽略了创造性的训练和培养,使得本来应该是生动活泼的创造性构思训练,变成了死板、僵硬的设计程式的讲述,很难引起学生的学习兴趣。在这方面,我们在教材编写中也有不少不足之处,在这次修订中已经加以改进和提高,务求使创造性教育成为本课程教育的一大特色。

创造性教育不能只通过说教来进行,需要通过生动活泼、多种多样的教学形式来实现,目前我们采用课堂讨论以及课外的设计竞赛等方式来激发学生的创造积极性和培养学生的创造

意识,另外,有的学校还开设了“机械设计创新构思与实践”选修课,还正在编写“机械系统构思设计”教材,选编各种优秀设计实例,供学生进行创造性活动时参考。

3) 21 世纪是一个以世界性的激烈的经济竞争为特色的世纪,有人说“21 世纪将是设计的世纪”,正是指的这样的时代特点。美国人在 90 年代才意识到光有先进的科技还不一定能在商品竞争中取胜,必须通过先进的设计,使自己的产品富有竞争力,才能在经济竞争中取得优势。因此他们在 1991 年提出了“为竞争的优势而设计。(Designing for Competitive Advantage) 的口号,作为改善他们的设计教育的方向。

本教材在编写中也提出了使学生具有“能提出创新构思并能尽快将其转化为有竞争力的产品”的能力作为本课程的教学宗旨。为达到这个目的,教材把对竞争力有重要影响的“功能原理设计”、“实用化设计”和“商品化设计”三个重要环节作主线来组织教学过程。有的学校结合教学,运用设计学思想,设计成功了有竞争力的产品,并打入了国际市场。虽然,目前这还只是个别的例子,我们相信,今后将会有更多的学校在自己的教学实践中,产生更多的成功的实例,这些成功的优秀设计实例,将使“设计学”教学更加生动,更具生命力,“设计学”的内容也将更加充实。目前,有关实用化设计中的“总体设计”、“结构合理化”、“人机工程学”以及商品化设计中有关“工业设计”、“模块化、系列化”、“价值工程”等内容虽然反映了先进的设计思想,但还需要用我们自己的优秀设计实例来加以充实,才能使教学内容更生动,更有说服力,教学效果才能更好。

世界正进入以知识为基础的经济的时代,世界市场的产品竞争将更加激烈,为了使本课程更好地体现面向 21 世纪的特色,在教材中加入“优势设计”的思想和教学内容,这是这次修订增补的内容。

“九五”教材建设是跨世纪工程,在第二届机械设计及制造教学指导小组的具体指导和组织下,顺利地完成了这次修订工作。大部分章节都作了重要的修改和增补,每章都加上了习题。

参加本教材修订的有:西安交通大学徐曾荫(第四章),西北工业大学刘丽春(第八章),哈尔滨工业大学贾延林(第六章),同济大学陈祝林(第九章),重庆大学龚剑霞(第五章及第七章部分),程燕青(第七章部分),清华大学李平林(第二章及第七章部分),黄靖远(第一章、第三章及第十章)。

黄靖远、龚剑霞、贾延林任主编,北京航空航天大学郭可谦教授、西安交通大学朱均教授任主审,他们做了非常细致而认真的审查。

希望使用本教材的读者,进一步提出宝贵的具体修改意见,以供下一次修改参考。

编者

1998 年 9 月

第1版前言

作为机械设计及制造专业教学指导委员会规定的第一门专业主干课,本教材应能反映出专业的特色。本教材在教指委的指导下,总结多年本专业教学实践和机械产品设计的经验,努力提炼“机械设计学”的学科思想并以之为基础,力求在课程内容体系上能做到科学、系统、完整地反映出学科思想。

原有其它机械类专业的专业课程,内容和体系都相当成熟,而本教材为新专业的新编教材,在内容体系和编写水平上自然难以相比。为了在教学中尽量使学生具有初步的“能提出创新构思并能尽快将其转化为有竞争力的产品”的能力,本教材围绕影响产品竞争力的三个关键设计环节,按功能原理设计、实用化设计和商品化设计来组织课程内容,力求使学生的能力更符合当前国家建设的需要。

对比相近的课程,本课程更强调实质性问题的研究,强调基本知识、原则、规律、经验、设计实践以及实验验证的重要性;不倾向于研究设计阶段、设计进程、过程战略等方法。

参加本教材编写的有:西安交通大学牛锡传(第一章),哈尔滨工业大学贾延林(第六章),同济大学仲正华(第四章),毛培芳(第九章及第二章部分),北京航空航天大学李恩至(第六章部分),重庆大学张静如(第七章)、龚剑霞(第五章及第七章部分)、西北工业大学刘丽春(第八章),清华大学李平林(第七章部分及第二章部分),黄靖远(第三章及第二章部分)。

北京航空航天大学郭可谦教授任主审。黄靖远、龚剑霞任主编。

希望使用本教材的读者提出宝贵的具体修改意见,以供下一次修改参考。

编 者

1991年3月

目 录

第2版前言

第1版前言

第一章 绪论 1

第一节 设计与文明 1

第二节 设计与国际竞争 1

第三节 改善设计工作对中国的未来是 至关重要的 2

第四节 设计与科学研究 4

第五节 近代设计科学的重大发展 5

第六节 机械设计概述 9

习题 12

第二章 机器的组成及典型机器的

功能分析 13

第一节 机器的定义 13

第二节 机器的组成 13

第三节 机器的分类 15

第四节 典型机器功能分析之一 ——家用缝纫机 16

第五节 典型机器功能分析之二 ——计算机针式打印机 20

习题 25

第三章 机械产品的功能原理设计 26

第一节 功能原则设计的工作特点和 工作内容 27

第二节 功能、功能单元和功能结构 29

第三节 功能原理的发展历史及其 基本类型 33

第四节 两种动作功能及其对应的 求解思路 34

第五节 工艺功能及其对应的求解思路 36

第六节 关键技术功能、综合技术功能及 其对应的求解思路 40

第七节 功能原理设计的工作要点 46

第八节 功能原理设计的创造性问题 49

习题 52

第四章 机械功能原理的实现——机械 运动系统的方案设计 53

第一节 机构能实现的动作功能 53

第二节 传动机构和执行机构 56

第三节 按机械动作功能原理要求作机械 运动系统的方案设计 61

第四节 发挥机构固有潜力的方法 ——机构的创新设计 66

第五节 机械运动的协调设计和运动 循环图 70

习题 72

第五章 机械产品的实用化设计 74

第一节 产品设计核心和外围问题 74

第二节 实用化设计的任务和 主要内容 77

第三节 总体设计的基本任务和内容 77

第四节 确定工艺方案 79

第五节 整机总体参数确定 80

第六节 机械总体布置设计 85

第七节 机械驱动系统设计 91

第八节 机械的总体设计实例 94

习题 97

第六章 机械结构设计 99

第一节 结构件的功用及基本类型 99

第二节 结构方案设计的基本原则 和原理 102

第三节 结构设计中的强度和刚度问题 108

第四节 支承件的结构设计 118

第五节 结构设计中的工艺问题 124

第六节 材料的选择 127

习题 141

第七章 机械产品设计中的几个主要 技术问题 143

第一节 机械疲劳设计 143

第二节 摩擦学设计 151

第三节 可靠性设计 159

第四节 机械的热效应设计 169

第五节 机械的抗振性设计与低噪声 设计 178

第六节	机械动态设计	182	第九章	设计试验	235
第七节	人机学设计	190	第一节	功能原理设计阶段的模型试验	235
习题		203	第二节	模型试验中的相似理论	236
第八章	机械产品的商品化设计	205	第三节	实用化设计阶段的样机试验	240
第一节	产品的市场竞争力和商品化设计	205	第四节	机械产品的综合性能检测试验	245
第二节	机械产品的艺术造型——商品化设计措施之一	206	习题		250
第三节	价值优化设计——商品化设计措施之二	218	第十章	优势设计原理	251
第四节	产品的标准化、系列化、模块化设计——商品化设计措施之三	231	第一节	优势设计的基本思想	252
第五节	产品性能适用性变化——商品化设计措施之四	233	第二节	优势分析	254
习题		234	第三节	优势设计的物理学基础	257
			第四节	优势设计的哲学基础	268
			习题		271
			主要参考文献		271

第一章 绪 论

第一节 设计与文明

自从人类第一次学会拿木棍撬石头，第一次学会钻木取火，他们就学会了设计。用杠杆撬石头是实现一种简单的动作功能；钻木取火，则是实现一种工艺功能。

可以说自从人类学会了劳动，学会制造和使用工具，就开始学会了设计。从此以后，人类设计和制造了燧石，设计建造了房屋，设计烧制了陶器，设计制造了贝壳项链，……人类在进化过程中不断提高着自己的劳动技能，也同时提高了自身的创造才能，他们设计并制造了衣食住行种种物质产品，在创造性劳动中进行创造性设计。在创造性劳动和设计中丰富了人类的物质文明，同时促进了人类自身的精神文明的成长。在劳动和创造的实践中，精神和思想逐渐得到发展，变得越来越丰富，越来越高级，形成了人类大大区别于动物的文明。

可以说，自人类进化以来，一切物质文明的产物都体现了人类的创造能力，拿今天的观点看，创造是一种从构思到实现的过程，是为了满足某种需求而进行的一种人类特有的活动，这种活动，今天就叫做“设计”。所以说：人类的一切物质文明都是设计的产物。从古埃及的金字塔到中国的长城，从犁锄到计里鼓车，无一不是设计的结晶。

人类在劳动中进化，在进化中锻炼了自身的劳动能力和思维能力。这两种能力的结合就形成了一种特殊的能力——创造性设计的能力。设计不是一种单纯的思维能力，它必须通过制作使产品得以实现，设计也不是一种单纯的制作技能，它必须通过创造性思维以创造出过去没有的或者比过去更好的物质产品。古代保留至今的辉煌的物质文明充分体现出古代人类的创造性设计能力。可以说，正是人类设计能力的进步和发展，才使人类的精神文明和物质文明得以以一种物质与精神相结合的“产品”的形式保存在世界上，并且越来越发展、提高直到今天、明天……以至无穷。反过来，人类物质文明和精神文明的积累和提高，也大大提高了人类的创造能力和设计能力。

第二节 设计与国际竞争

设计的成果是以物质形式体现在人们眼前的，其中一部分成为一种文物，例如长城、金字塔，但更大的部分是作为一种产品，以商品的形式进入市场。图 1-1 展示了人类自古至今的各种设计创造的产物。在 18 世纪以前，这些产物大都成为一些伟大的文物，而在此之后，设计的产物就逐渐以商品的形式进入市场，开始了市场竞争，图中也显示出现代工业产品的市场竞争的历史还不很长，只有 100 年左右的历史，未来对于所有国家来说都是充满机会的。二次大战以后，国际间的经济竞争日益突出，经济竞争主要体现在国际市场的商品竞争，而商品竞争说到底还是各国的设计与制造水平的竞争。世界各发达国家在二战之后在激烈的经济竞争面前已经逐渐认识到设计和竞争的重要关系。50 年代初，德国有感于“Made in USA”的

新产品, 人类智慧的结晶!

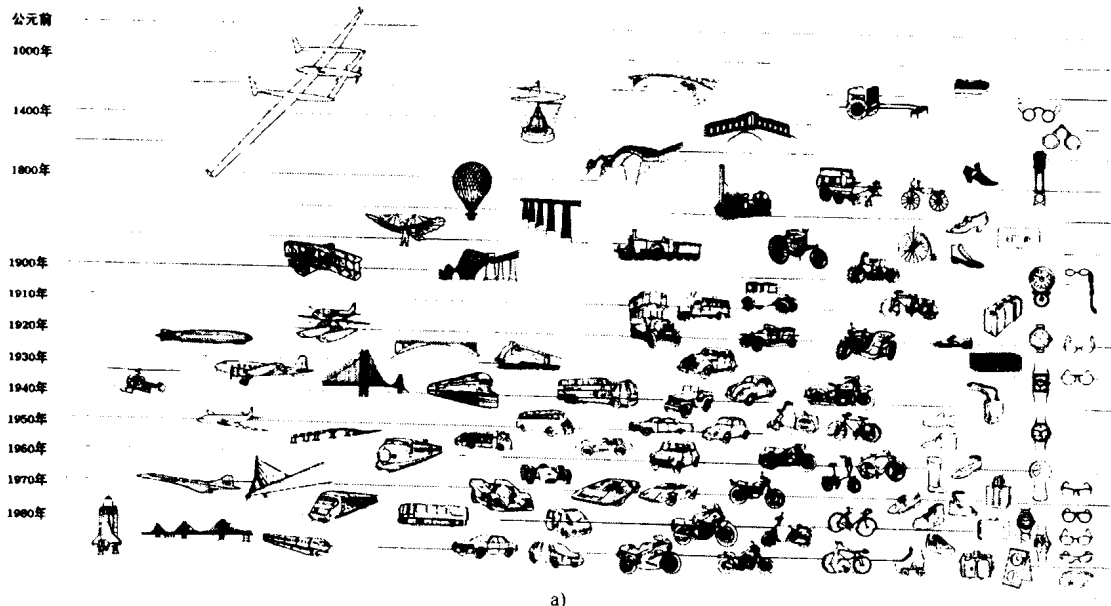


图 1-1 人类设计的产物、智慧的结晶

产品充斥德国市场, 力图重新树立 “Made in Germany” 的产品信誉, 首先提出了 “关键在于设计” (Der Engpass ist die Konstruktion) 的口号, 英国在 80 年代也认识到了这一点, 而美国则认识较晚。美国在二次大战之后, 一直自认为是科技大国。1957 年 10 月 7 日苏联卫星上天, 它受到一次强烈的冲击, 随即在国内开展了轰轰烈烈的创造性活动, 取得了很大成效。但是科技先进和创造性发达并不能直接解决产品的竞争力, 科学技术必须通过 “设计” 这个环节才能变成有竞争力的产品。90 年代末, 美国人才恍然大悟, 才知道加强设计教育、研究和实践的重要性, 并提出了 “为竞争的优势而设计” (Designing for Competitive Advantage) 的口号, 并说 “这对美国的未来是至关重要的”。正因为人们认识到设计直接影响国际经济竞争。因此有人说 “21 世纪将是设计的世纪”。现在可以说没有一个国家可以脱离世界市场, 闭关自守的后果就是自己扼杀自己的经济。既然不能脱离世界市场, 就应该投入国际产品竞争, 面向国际市场的产品竞争就必须依靠产品创新设计技术。

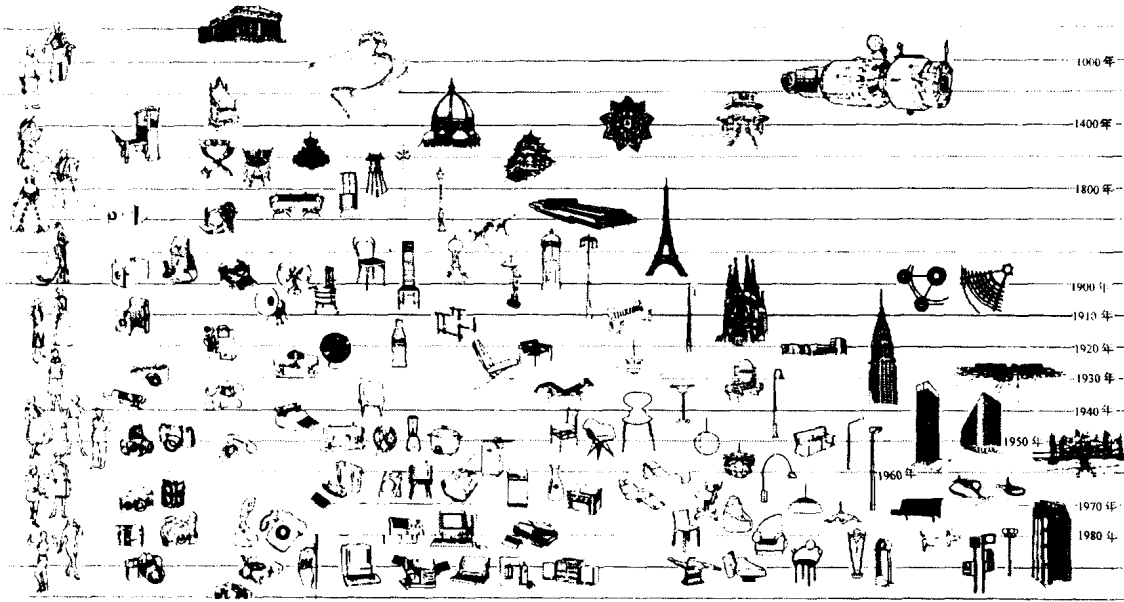
有人形容整个地球是一个 “地球村”, 这是说世界市场已经无处不在, 要想摆脱这个市场, 独立发展自己的国民经济已经证明只会越来越落后。我们只有面对这个现实, 奋起直追参与竞争, “这对中国的未来也是至关重要的”。

当然, 设计对于国内市场的竞争来说, 也是同样重要的, 在国内市场上没有竞争力的产品, 就更难到国际市场上求得发展。

第三节 改善设计工作对中国的未来是至关重要的

中国的产品设计工作面对 21 世纪激烈的市场竞争, 是否能够为中国的企业提供充分的有

新产品,美好生活的象征!



从文物到竞争性产品的发展

b)

竞争力的产品呢?

设计的好坏,不能看是否通过鉴定,也不能看领导机关是否通过,市场才是检验设计好坏的唯一标准,因此中国的设计面对的是世界市场的严峻考验。在这个考验面前成绩的好坏将直接影响到中国在国际竞争中的地位。

图 1-1 显示出古代中国的设计创造,有足以炫耀于世的伟大文物立于世人眼前,但在 18 世纪以后,在商品市场上就很难找到中国设计的有竞争力的产品了。近代中国的设计工作如果拿是否为中国的企业提供了足够的有竞争力的产品这样一个标准来衡量,那么可以说是很落后的,是和中国这样一个大国很不相称的。

回顾中国现代设计教育的发展历史,可以说解放前就有很坚实的基础。早在本世纪 20 年代,中国的一些工科大学就开设了机械设计课程,主要由外籍教授讲授。从 30 年代开始刘仙洲教授系统地把英美的机械设计技术介绍到中国,1921 年出版了“机械学”,1935 年出版了“机械原理”,并最早在清华大学亲自授课,造就了一批中国最早的机械设计人才。50 年代以后,全面引进了当时苏联的机械原理和机械零件教材以及全面的教学手段(习题、模型、实验、课程设计……),苏联的教学内容基本上是德国的学术体系,在这个期间培养的机械设计人才都有相当深厚的学术基础和扎实的基本功,他们在我国的各大企业中发挥了骨干的作用,和国外的同时代的机械设计教学相比,可以说毫不逊色。

进入 70 年代以后,世界各先进工业国家逐渐认识到面对世界市场竞争,人们手中的重要武器就是“设计”。它们很早就把“设计学”从“机械学”中分列出来,并逐渐发展了各有特色的面向市场竞争的设计技术和设计教育体系。中国在 70 年代中,就已经开始在国内开展了关于“设计思想”的研究和讨论,80 年代初就有人从国外引进英美和德国的各种“设计学”知

识,组织和开展了设计学学术讨论。但是没有处理好“设计学”和“机械学”的关系,没有认识到“传统设计”、“创新设计”和“竞争性设计”的区别,没有解决好个别设计技术和“按产品实现过程”(Product Realization Process)来进行产品的全寿命设计的关系。因此近30年来,虽然有了很好的现代设计单项技术(优化、可靠性、CAD……),但是我们的产品在市场上的竞争力并没有因此而有所加强。其中主要原因在于我们所做的各种引进、发展、教育、研究都没有和“面向国际市场的竞争”这一目标紧紧地挂起钩来。

面对21世纪,我们必须清醒地认识到,只有改善设计教育、研究和实践,使之和“市场竞争”紧密联系起来,我们的设计工作才能真正发挥对国民经济的重要支持作用。可以说,“这对中国的未来也是至关重要的”。

当然设计和制造是密不可分的,光有先进的制造技术,生产出来的也许是“落后的高质量产品”;反之,如果只有先进的设计技术,向市场提供的可能是“质量很差的先进产品。”设计是核心,制造是基础,两者决不能偏废。

第四节 设计与科学研究

一个好的产品设计不能离开科学技术的强大支持,可以说没有高水平的科学研究就没有高水平的设计。

但是人们的认识往往存在另一种片面性,以为有了高水平的科学研究就自然会有高水平的产品设计。这种认识使得一些科技发达的国家在国际市场竞争中失利了。他们总结教训才明白,设计和科学研究并不是一回事,两者在出发点、目标和结果方面都是不同的,如表1-1所示。

表 1-1 设计与科研的区别

	出发点	目 标	结 果
科学研究	求知欲、好奇心	发现自然规律	更好地认识客观世界
产品设计	需求	发明新产品	创造一个更好的新世界

两者不仅出发点、目标和结果不同,而且所需要的知识基础也不尽相同。科学研究需要在已有知识和技术能力的基础上运用假设、分析和实验等方法来探索自然规律,而设计则需要广泛得多的知识,不仅需要自然科学知识,还需要工程科学知识、工程技术知识以及人机学、美学、社会学、心理学、经济学和生态学等知识。

在实际工作中,设计和科学研究是相互渗透的,设计一个新产品,当要采用一些新技术,要作一些创新尝试时,就必须进行一些实验、研究甚至于作一些应用基础研究或潜在的基础研究工作,以证明设计的合理性或是说寻求最理想的设计方案或参数。

反过来,在科学研究中,也常常需要一些特殊的工具和实验装置,这就需要通过设计来获得,例如在作粒子碰撞研究时,要设计很复杂的加速器,加速器是一种为满足科研需求而设计的装置。加速器的研制更多的属于设计的范畴。

尽管设计和科学研究常常是相互渗透的,但是我们不能不强调,设计区别于科学研究的地方是更需要人们的创造力,并通过各种工艺手段去创造世界上还没有的东西,实现人们的构思,最后做出能实现人们希望实现的功能的产品来。

当人们的科学知识越来越丰富的时候,人们设计产品的技术含量和水平也更高,但是如

果人们有了丰富的科学知识而缺乏创造力，也就是没有相应的设计能力时，他们很可能做不出很好的产品来放到市场去和别人竞争。常常有这样的情况，一个国家作出了科研新成果，而另一国家却先用这个成果作出了新产品，并抢先取得了市场竞争的优势。这不能不说是一种遗憾，但也说明了设计在竞争中的重要意义。

第五节 近代设计科学的重大发展

在世界性的经济竞争中，真正的战场是市场，要占领市场就要有具有竞争力的产品，有竞争力的商品就是武器。在这样的形势下，第二次世界大战以后，设计科学出现了重大的发展，其中最具有深远影响的是三个方面：“功能”思想的提出和被接受，“人机工程”学科的兴起以及“工业设计”学科的成熟。为了说明这三个方面的核心内容，有必要简要回顾设计科学的发展历史。

一、“设计学”从古代到现代的三个发展阶段

设计科学发展的历史应该以古代人类发明工具开始算起。由于生产、生活和战争的需要，推动了各种工具、器具和武器的发明，其中所用到的知识主要涉及初步的材料知识和力学原理（如杠杆原理等）。这一时期可以以16世纪达芬奇的创造活动为顶点，这一时期“设计”活动的特点是有了原始的功能思想——即为了实现某种“功能目标”而创造发明成功某种器械，但是由于作为机械设计的基础知识——力学（运动学→动力学）尚未成熟，因此这一阶段的设计最高水平就是达芬奇所构想的齿轮、螺旋，而中国的记里鼓车和秦代就出现的齿轮传动则比达·芬奇更早地达到了这个水平。

设计学发展的第二阶段可以以1854年德国学者劳莱克斯（Reuleaux, F）作为起点，他写了《机械制造中的设计学》一书，在这之前，机械设计学是融合于数学、力学和物理学之中的，以经典力学为基础的机构学，此时已经得到充分的发展，劳莱克斯首先把力学和机械制造作为机械设计的基础，建立了“机械设计”的基本体系，从此德国的机械设计学术体系成为欧洲、俄国和美国的样板，把设计学分为“机构学（机械原理）”和“机械零件”两门课程来进行教学，显然这两门课程的基础是理论力学和材料力学。

机械学学科中最早达到成熟阶段的是“机构学”，它实际上是理论力学中的运动学的应用，20世纪的学者把“运动学”作为机械学发展的第一里程碑。20世纪50年代前后，动力学得到了充分的发展，并成为机械学发展的第二里程碑。

在运动学和动力学发展成熟的同时，实际上同时发展了以材料力学为基础的其它一些机械学的分支学科，例如，摩擦学、断裂力学……。

这一阶段的“设计学”其实只是“机械学”，人们忽略了“设计学”的核心是“功能”，而一心一意去研究运动学、动力学和强度、断裂、摩擦等问题。以致于人们忘记了“设计学”本身还有更重要的内容应该去研究。尽管如此，“机械学”的发展对于“设计学”来说是一个重要的基础，坚实的基础将不断支持和推动“设计学”的发展。

设计学发展的第三阶段可以以1947年美国工程师麦尔斯（L. D. Miles）提出“功能”的概念算起。从此，设计学的发展又回到“设计学”本身应该重点研究和发展的内容上来了。在这一时期，有三个重要的，对“设计学”有深远影响的学科内容被提出并逐渐取得了发展和成熟，这就是：①“功能”思想的提出和发展。②“人机学”思想的形成和发展。③“工业

设计”学术体系的发展和成熟。这三个方面形成了现代“设计学”的核心内容。

二、近代“设计学”的重大发展

二次大战以后，“设计学”作为第二阶段的继续，在“机械学”的结构设计方面取得了进一步的发展，例如在摩擦学、振动与噪声、断裂力学等方面。同时随着计算机科学的发展，作为设计工具和手段的计算机辅助设计（CAD）以及相关的优化、有限元、可靠性等也以很快的速度进入设计技术领域，使现代设计技术面貌一新。近年来还出现了“并行工程”（Concurrent Engineering）等基于信息网络的异地协同快速设计技术，以及CAD/CAM一体化技术。计算机在机械设计中的应用，对设计科学起了一个“冲击”性的推动作用。

计算机的引入尽管产生了令人眼花缭乱的视觉冲击和达到了令传统的手工设计难以想象的效果和速度。但是，对于“设计学”来说，真正激动人心的是三项“设计学”核心技术的萌芽和发展。

1. “功能”（Function）思想的提出和发展

1947年，美国工程师麦尔斯创立了“价值工程”。他真正重要的贡献不在于“价值工程”本身，而在他提出的关于“功能”的思想。他在工作中由于工作室地板损坏，需要寻找一种代用材料来修理，引发了他的关于“功能”的想法，最后他提出一句重要的富有哲理性的名言：“顾客购买的不是产品本身，而是产品所具有的功能”。明确说明了“功能”是产品的核心和本质。这句话在美国技术界也经过了足足三十多年才被人们理解和接受。

其实，在40年代以前的一些机械科技书中，早就提出过“功能”的概念，但是过去从事设计的人们头脑里想的都是机构、结构、运动学、动力学、强度、刚度、振动……，甚至在设计教科书中也几乎不提功能的概念人们“淡忘”了这个早已出现过的概念。而一个产品的设计，首先应该考虑的是要实现什么功能和怎样更好地实现所需的功能。

自从“功能”概念被重新理解和接受以后，在设计领域产生了重大的影响，在产品设计中引发了“功能原理”不断翻新的新气象。

过去的设计师，在进行产品设计时，似乎“功能”问题是已经由别人规定了的，或者是过去的发明人已经解决了的，不必由设计师来考虑，一个设计师似乎只是从机构和结构方面来完成该产品的设计，久而久之，很少人从功能的角度去考虑改进产品。

自从“功能”概念被重新提出以后，人们开始认识到，既然人们购买的是产品所具有的功能，那么在保证实现功能的前提下，可以采用各种不同原理、机构和结构来实现所要求实现的功能，而不一定非要采用原有的原理、机构和结构。从哲学的观点来看，这是一对“形式”和“本质”的范畴，也就是功能是本质，而所采用的具体结构是形式，只要本质不变，形式可以是变化的。于是70年代以后在产品设计中，出现了种种革新，流行了近百年的字头式打印机，到80年代出现了点阵式针式打印机，继而出现了喷墨打印机，激光打印机，人们终于看到了“功能”思想的巨大威力。在70年代之前，每一种产品似乎都有几十年不变的历史，它们的原理、结构甚至外形都没有太大的变化，似乎只有这样的结构和外形才能被称为是这种“产品”。但是“功能思想”打破了这种习惯，人们开始寻找不同的原理，结构和外形来实现同一种功能，而且有可能使这种功能实现得更完美、更理想。

“功能”思想从此重新成为“设计学”的最重要的概念。

用功能观点回顾第二阶段的“设计学”，可以说，人们过分热衷于用力学、数学对机构学的研究，以至于看不到机器的“功能”是值得研究的。这一时期的“设计学”更确切地说是

属于“机械学”的天下。也就是要人们用更合理的机构、结构去完善别人已经创造的能实现某种功能的机器，而不希望人们去研究功能本身。

要进入“设计学”发展的第三阶段，人们必须要掌握“机械学”的全部知识作为我们的基础知识，同时必须站在“机械学”的脊背上，去探求第三阶段的新精神——“功能”。

功能，这个在远古人类发明杠杆时就意识到的概念，经过人们长时期的冷落和遗忘，现在又以更鲜明的形象站到“设计学”的前排来了，它将在今天的“设计学”学科中扮演真正的主角。

2. “人机学”(Ergonomics, Human Factor)思想的形成和发展

第二次世界大战中，空战中的射击手发现瞄准了敌机但往往打不到目标的情况，一开始以为纯粹是风速和相对运动的问题，后来才发现，误差还和射击手的反应时间有关，即从脑子想击发到手指扣动扳机有一个延迟时间，这个时间在不同人、不同情绪等情况下都是不同的，另外还和扳机的构造和运动状况有关。

“机器”从古代出现的时候起，就和使用着——人发生了密不可分的关系。例如武器中的刀柄，就是一种典型的人机结构，既要使手能握住，还要握得舒服、稳妥，还要考虑护手。

但是，曾经有一段时间人们忘记了人和机器的密切关系，在设计机器时不把人机接口作为一个重要的问题来处理，以至于使操作者在工作中出现不舒服、效率低，甚至造成职业病的情况。另一种倾向是人们以为今后机器向着自动化的方面发展，因此也不去认真考虑人机接口的合理化问题。

今天人们对“人机学”已经有了一个全新的、更深刻的认识，对人机学的研究已经从生理、心理发展到思想感情，从按钮、手柄发展到环境、情绪。

今天我们几乎可以在任何场合看到“人机学”研究的成果，我们可以在一切机器上找到应该考虑的人机学问题。

人们已经认识到，人和机器的密切关系是客观现实，也是不可能被自动化代替的真实领域，我们必须把“人机学”作为一个永恒的课题来对待。

“人机学”的思想已经从狭隘的“工效学”发展到涉及整个企业的“工业工程”。

“宜人”的宗旨已经成为现代机械设计不能丝毫疏忽的观念。

3. “工业设计”(Industrial Design)学科体系的发展和成熟

1851年，在展示工业革命中出现的刚强有力的机械产品的大英博览会中，有一个母亲带着9岁的孩子参观了博览会。这个孩子在钢铁机械面前发出了“太可怕了”的惊呼，这个孩子就是后来成为“工业设计之父”的莫里斯(W. Morris)，从此他毕生从事美化机器的工作。

他提出了“艺术第一，技术第二”的观点，但是由于他的这个观点，使英国的工业损失了几十年。

第二次大战前在德国出现的“包豪斯”(Bauhaus)，正确地总结了工业产品设计的原则，提出了“技术第一，艺术第二”的正确口号，从此“工业设计”走上了正确发展的道路。

工业设计的宗旨是为大批量生产的工业产品进行造型和色彩设计，使产品的视觉形象更具有“迷人”的效果，一个产品技术上的进步也许需要较长的时间，但是这个产品进入市场的外观形象却可以不断翻新。工业设计不同于手工艺品雕龙画凤，而是通过对产品形体的设计、线条和色彩的安排，达到艺术的效果，这是一种简炼的工业化艺术语言，工业设计的根本目的是为了达到人、产品和环境的适应和协调。更明确地说，“工业设计”的目的是为了人。

工业设计师应该首先是一个工业技术专家，而不首先是一个艺术家。

经过了将近半个世纪的发展，“工业设计”已经成为一门在理论和实践上都相当成熟的学科，已经成为企业进行市场竞争的有力武器。

上述三个方面，是近代“设计学”的三个有深远影响的重大发展，它们成为了“机械设计学”的核心内容。

“机械设计学”的学科组成可以分为三大部分。

第一部分是“功能原理设计”。这一部分正是用“功能”概念来认识、分析和设计机器的功能原理。

图 1-2 是船用抽水机功能原理构思。设计的意图是要将船底的积水排出而不使用动力机，设计者构思了三个原理性方案：①利用船体的摆动带动活塞往复运动，达到抽水目的；②利用船在水中的起伏，通过杠杆使活塞运动；③利用涨潮的水位落差，将水排出。

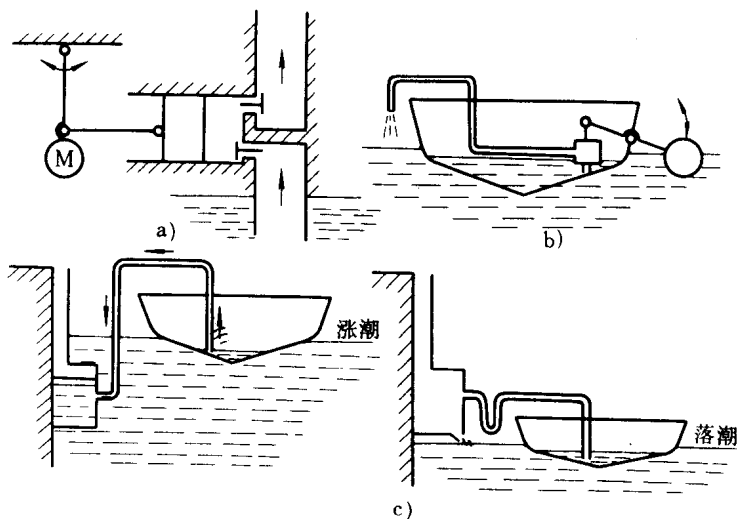


图 1-2 船用抽水机功能原理构思

第二部分是“实用化设计”。这部分首先是以“总体设计”为主线，以“结构设计”为骨架，然后把已经发展成熟了的“机械学”知识（运动学、动力学、摩擦学、强度和寿命、振动和噪声……）应用于其中来使结构设计合理化，最后从人机学的观点，完善人机接口的设计，并用适于制造、适于装配和维修、便于使用维护、避免腐蚀、适于回收等观点加以全面地考察，务求达到技术先进、性能优越、使用方便。在各项实用化指标方面足以和同类产品相媲美。“实用化设计”的核心是要使产品具有优良的“性能”，从实用的角度使产品“好用”。

一个非常优越的功能原理，由于在实用化设计中某一方面没有考虑好，以至造成市场失利，这种情况在现代市场竞争中是不少见的。

第三部分则是产品进入市场前的精心打扮，属于“商品化设计”的内容，这一步工作的前提是要有商品化的基础，也就是要有先进的功能原理和优越的实用化性能。如果没有这个基础，只是把落后的产品加以“商品化”的处理，难免被人视为一种欺骗行为。

现代的商品化设计内容，不能简单地理解为单纯的“包装”，它应该包含着一些科学技术的内容。例如“工业设计”、“价值工程”、“模块化设计”、“标准化、系列化”等等。

在资本主义初级阶段，商品化“Commercial”这个词是个贬义词，它意味着用美丽的装潢掩盖劣质的内容。而现代资本主义市场上的商品化，则已经成为一个重要的竞争手段，它已经不可能再有丝毫欺骗和虚假的成份在内。因为现代市场竞争包含着信誉和责任，一旦失去信誉，则将对企业带来可怕的后果。

可以看到，我们所说的现代设计学的三大重大发展，恰好成为设计学学科三大组成部分中的三个重要的核心内容。反过来看，也正因为有了这三个重大发展，才使得现代“设计学”得以从“机械学”的土壤中成长为一门独立的新学科。

第六节 机械设计概述

如第一节所述，设计包含了人类一切物质文明的创造过程，可见设计包含许多类型，例如：

服装设计	建筑设计	机械设计
室内设计	船舶设计	工程设计（水利工程……）
公路设计	桥梁设计	工艺过程设计
风景设计	热力系统设计	采暖通风设计

本书名为“机械设计学”，意味着我们所要讨论的是设计领域中属于“机械设计”的一部分。

从上面所列的各类设计中，可以明显地分为两大类：一类是有动作的，一类是无动作的。笼统地说，凡是有动作的这类设计，都属于“机械设计”的范围。前列的如服装设计等，显然没有动作，因此不属于“机械设计”的范围，而热力系统设计或水利工程设计它们本身不算机械设计，但也许中间包含着一些有机机械动作的设备或装置，因此不排除他们内部有涉及机械设计的内容。

带有动作的设计可以有产品，有装置，有仪器或一些结构部件。它们都是为了满足人类某一种需求而设计的。

设计是人的创造性活动，它是如何开始的？是否设计师只是坐在设计桌旁在纸上写一些想法就是设计？设计又是如何结束的呢？

从开始到结束，这个有人参与的复杂的创造性活动，常常可以用图 1-3 所示框图来表示。

设计的第一步是“认识需求”，并由此决定要设计一种装置来满足它。“认识需求”有时是一种有很高创造性的活动。因为所谓需求有时仅仅是一种含糊的不满，一种不舒服的感觉，或者仅是一种对某些事感到不对的感觉，总之需求常常是不明确的。对需求的认识常常由相反的情况触发的，是由一种随机产生的事件引发的。

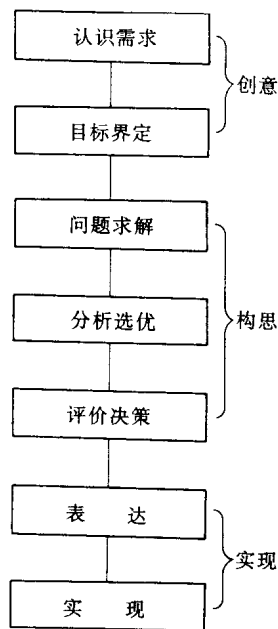


图 1-3 设计创造活动