



普通高等教育“十一五”国家级规划教材

先进设计系统

总编著 戴庆辉

**ADVANCED
DESIGN
SYSTEM**



电子工业出版社
PUBLISHING HOUSE OF ELECTRONICS INDUSTRY

<http://www.phei.com.cn>

普通高等教育 " 十一五 " 国家级规划教材

先进设计系统

总编著 戴庆辉

编 著 花广如 慈铁军 叶 锋 李亚斌

柳亦兵 范孝良 顾煜炯 杨晓红

段 巍 万书亭 李 东 于海龙

郝克明 樊剑彬 陈 俊 桑彩英

主 审 唐贵基

电子工业出版社

Publishing House of Electronics Industry

北京 • BEIJING

内 容 简 介

先进设计系统是一个由“设计对象—设计过程—设计方法”构成的三维正交系统。本书特色是：突出先进性，追求实用性，贯穿系统性。全书分为4篇共15章。第1篇设计系统总论，包括第1~3章，介绍了先进设计系统的内涵、系统原理和设计原理；第2篇结构系统——设计对象，包括第4~8章，阐述了动力系统、运动系统、操纵系统、控制系统和生产线；第3篇过程系统——设计过程，包括第9~12章，讨论了需求设计、概念设计、详细设计和设计评价；第4篇方法系统——设计方法，包括第13~15章，介绍了创新设计、智能设计和虚拟设计等先进设计方法。为了便于教和学，全书提供了400多个案例、600幅图表、200道复习题，在各篇首给出了引言，书末附录给出了变速器设计参数表和TRIZ矩阵。本书可用作机械工程类专业、工业工程专业或工业设计专业高年级学生或研究生学习“机械系统设计”、“机电系统设计”、“产品系统设计”或“现代设计”的教材或教学参考书。本书是一本领略当代设计工程学概貌的必备参考书，可与《先进制造系统》配套使用。

未经许可，不得以任何方式复制或抄袭本书之部分或全部内容。
版权所有，侵权必究。

图书在版编目(CIP)数据

先进设计系统 / 戴庆辉编著. —北京：电子工业出版社，2009.8
ISBN 978-7-121-09266-4

I. 先… II. 戴… III. 设计学 IV. TB21

中国版本图书馆CIP数据核字(2009)第119152号

策划编辑：范子瑜

责任编辑：陈心中

印 刷：涿州市京南印刷厂

装 订：涿州市桃园装订有限公司

出版发行：电子工业出版社

北京市海淀区万寿路173信箱 邮编：100036

开 本：787×1092 1/16 印张：25.75 字数：661千字

印 次：2009年8月第1次印刷

印 数：4000册 定价：42.00元

凡所购买电子工业出版社图书有缺损问题，请向购买书店调换。若书店售缺，请与本社发行部联系，联系及邮购电话：(010) 88254888。

质量投诉请发邮件至 zltz@phei.com.cn，盗版侵权举报请发邮件至 dbqq@phei.com.cn。

服务热线：(010) 88258888。

前言

《先进设计系统》是机械工程类专业、工业工程专业和工业设计专业学生学习“机械系统设计”的主干课程。本书内容的特色是：突出先进性，追求实用性，拓展适应面。本书可用作机械工程类专业、工业工程专业或工业设计专业高年级学生或研究生学习“机械系统设计”、“机电一体化系统设计”、“机电系统设计”、“现代设计方法”、“产品系统设计”或“现代设计”的教材或参考书，也可供工程技术人员、企业管理人员及其他感兴趣的读者自学参考。

我国的《机械系统设计》课程开设于 20 世纪 80 年代后期。设计的本质是创新，创新的关键在设计。因此，面向宽口径专业人才的专业素质教育，从“机械系统设计”发展为“先进设计系统”，反映了教育教学改革适应国家发展战略需求的必然性。先进设计系统由研究对象、设计过程和设计方法构成，包含了培养现代工程师的基本功。科学技术必须通过“设计”这个环节才能转变为有竞争力的产品。由于现代产品设计的环境与要求日趋复杂化，应考虑的问题和涉及的因素越来越多，因此必须采用系统设计方法。《先进设计系统》的研究对象是整机产品设计的规律、方法和技术；而《机械设计》的研究对象是机械零部件，《工业工程学》的研究对象是生产线或整个工厂。显然，分析设计机械零部件是为了从事产品整机设计；而要能够设计生产线，也需要通晓产品整机设计。可见《先进设计系统》课程内容对培养专业人才的知识结构起“中枢”作用。

鉴于本科专业课的主流发展趋势是综合化、灵活化和实践化，《机械系统设计》应当突破仅以设计对象为研究对象的一维模式，以体现设计工程学发展规律的新需求。本书把设计系统分为对象维、时间维和方法维。对象维体现设计对象的类型、形态和复杂性；时间维反映按时间顺序的设计工作阶段；方法维包括设计过程中的各种思维方法和工作方法，既包括逻辑思维方法，也包括非逻辑思维方法（即灵活思维方法）。从这三个方面，可以将设计系统分为三个子系统：一是把设计对象看做是一个系统；二是把设计过程看做是一个系统；三是把设计方法看做是一个系统。三个系统丝丝相连，环环相扣。现代设计对象已渗透和兼容了机械、流体、电工、电子、物理、化学、控制、计算机及生物等众多领域的科学技术。今天设计者所面对的设计对象已超越了纯机械或仅有机机械与电子结合的时代。设计对象还有过程设计、生产线设计及整个生产系统设计等。现代设计过程要求设计者从产品规划、概念设计、工业设计、工艺设计、试验、试制、使用、改进设计、产品报废等方面进行全面考虑。现代设计方法是目前设计者用以达到设计目的的手段的总和，它是多元性方法学的直接综合，使其在各种条件下实现设计方案与全程优化目标。本书旨在从设计过程系统、设计对象系统和设计方法系统三个方面，为从事技术系统设计研究和应用的技术工作者和管理工作者，提供先进设计的基础理论和基本知识，激发创新意识，培养创新精神和创新能力。

本书力求遵循科学性、适用性和先进性的原则，用系统的观点统领全书内容，把握设计的共性内容，夯实设计理论基础；内容深浅适中，取材注意应用的“可操作性”，尽量提供具体数据、图表和案例；内容突出反映近年设计学的最新成果，使读者了解先进设计的最新发展，体现先进设计的发展趋势。力图使本书对于掌握先进设计系统的理论与方法产生提纲挈领之效。

本书内容的综合性很强，涉及工程数学、工程力学、工程材料、机械原理、零件设计、机

械制图、机制工艺学、系统工程、技术经济学、人因工程学、自动控制和美学等学科。只有综合运用这些学科的知识，才能完成整机系统设计。工业工程有四项基本职能：规划、设计、评价、创新。为了培养懂技术、懂管理的复合型人才，本书也是工业工程的一门专业特色教材。全书内容丰富、新颖而实用。因学时和篇幅所限，在取材上颇费周章。全书内容均以颁布的新标准为依据。

在“设计对象—设计过程—设计方法”的体系框架中，全书分为4篇共14章。第1篇设计系统总论，包括第1~3章，介绍先进设计系统的内涵、系统原理和设计原理；第2篇结构系统——设计对象，包括第4~8章，阐述了动力系统、运动系统、操纵系统、控制系统、支承系统和生产线；第3篇过程系统——设计过程，包括第9~12章，讨论了需求设计、概念设计、详细设计和设计评价；第4篇方法系统——设计方法，包括第13~15章，介绍了创新设计、智能设计和虚拟设计这三个代表性的先进设计方法。全书介绍的设计思想、方法和技术有：人机环大系统观，技术系统外部设计，处理随机载荷的动态设计，燃料电池新动力，有级变速器运动设计，操纵系统的人因学设计和安全设计，控制系统的方案设计，生产线布局设计，产品的功能设计，产品的原理设计，提高强度、刚度和耐磨性等结构设计，工业设计，技术经济评价法，模糊综合评价法，基于实例的推理，解决发明问题的理论，等等。考虑到目前采用多媒体教学手段的新情况，本书可在有限的学时中提供丰富的信息。为了便于教和学，全书提供了约400个案例、600幅图表和200道复习题，在每篇引言中给出了知识要点提示，书末附录给出了变速器设计参数表和TRIZ矩阵，还配有多媒体课件光盘，供读者选用。

本书把《机械系统设计》的经典内容纳入结构系统，把体现现代设计理论和方法的技术系统设计的规律纳入过程系统和方法系统，使课程落实专业培养目标具体化。本书作者自1986年在华北电力大学为机械设计制造及自动化专业开设《机械系统设计》课程。1991年华北电力大学参编了国内第一部《机械系统设计》的教材。2001年华北电力大学为工业工程专业学生开设了《先进设计系统》课程。在课堂教学中，《先进设计系统》的电子教材已使用多年。使用本书时，建议根据专业培养方案和教学计划，按照专业的系列课程改革加以取舍。

全书由华北电力大学戴庆辉主笔，参加编写的人员还有：花广如、慈铁军、叶锋、李亚斌、柳亦兵、范孝良、顾煜炯、杨晓红、段巍、万书亭、李东、于海龙、郝克明、樊剑彬、陈俊、桑彩英等。

本书于2006年7月通过了全国普通高等教育“十一五”国家级教材规划专家组评审。本书初稿由教育部高等学校机械学科机械设计制造及自动化专业教学指导分委员会委员唐贵基教授担任主审。作者在此向唐贵基教授、河北工业大学的李春书老师和参与教育部教材评审的诸位专家表示诚挚的感谢！在编著过程中，参阅并引用了国内外诸多学者和专家的文献，正是由于他们对设计工程学的潜心研究与实践，才逐渐形成了我国先进设计系统的科学理论与技术方法，同时也构筑了本书丰富的内容基础。作者在此特别感谢文献作者们的学术贡献。

限于时间和水平，本书内容涉及面广，“先进设计系统”的知识体系尚处于教学内容改革与学术探索的过程中，对于其中不妥之处，欢迎读者批评指正。

作者
2009年9月

目 录

第 1 篇 设计系统总论	(1)	第 3 章 技术系统设计原理	(44)
第 1 章 绪 论	(3)	3.1 技术系统的组成	(44)
1.1 系统的概念与类型	(3)	3.1.1 设计对象的系统化	(44)
1.1.1 系统的定义与分类	(3)	3.1.2 技术系统的组成	(47)
1.1.2 系统科学与系统工程	(4)	3.2 技术系统设计的概念与类型	(48)
1.1.3 人工系统的分类	(5)	3.2.1 技术系统设计的定义和特点	(48)
1.2 设计的内涵	(8)	3.2.2 技术系统设计的类型	(49)
1.2.1 设计的定义	(8)	3.3 技术系统设计的原则	(50)
1.2.2 设计的类型	(8)	3.3.1 技术系统设计的工作原则	(51)
1.2.3 设计的特点	(9)	3.3.2 技术系统设计的思维原则	(52)
1.3 先进设计系统的概念	(10)	3.4 设计实现的基本措施	(53)
1.3.1 设计工程学的发展与作用	(10)	3.4.1 坚持适用性	(53)
1.3.2 先进设计系统的定义	(13)	3.4.2 保证安全性	(54)
1.3.3 先进设计系统的构成	(14)	3.4.3 增强可靠性	(55)
1.4 先进设计系统的内涵	(15)	3.4.4 提高经济性	(56)
1.4.1 现代设计对象	(15)	3.4.5 贯彻标准化	(59)
1.4.2 当代设计过程	(17)	复 习 题	(60)
1.4.3 先进设计方法	(19)	第 2 篇 结构系统——设计对象	(61)
1.5 现代工程对设计者的要求	(20)	第 4 章 动力系统	(62)
1.5.1 设计者的素质	(21)	4.1 载荷类型及其确定方法	(63)
1.5.2 设计者的职责	(23)	4.1.1 载荷的类型与处理	(63)
1.5.3 设计者的资格	(25)	4.1.2 载荷的确定方法	(64)
复 习 题	(27)	4.2 惯性载荷与飞轮矩	(65)
第 2 章 系统原理	(28)	4.2.1 飞轮矩与转动惯量的关系	(65)
2.1 系统的特性与定律	(28)	4.2.2 单轴动力系统的惯性载荷	(66)
2.1.1 系统的特性	(28)	4.2.3 多轴动力系统的惯性载荷	(67)
2.1.2 系统的定律	(30)	4.2.4 机械运转的过渡过程分析	(70)
2.2 系统的相关性	(33)	4.3 随机载荷与载荷谱	(71)
2.2.1 系统内部的关系	(33)	4.3.1 随机载荷的简化	(71)
2.2.2 系统外部的关系	(34)	4.3.2 载荷谱的编制	(72)
2.3 系统方法的原理	(37)	4.3.3 雨流计数法	(73)
2.3.1 系统方法的特点	(37)	4.4 动力系统的方案设计	(75)
2.3.2 系统方法的类型	(37)	4.4.1 工作机的负载特性	(75)
2.4 人机环大系统观	(39)	4.4.2 输出刚度的概念	(77)
2.4.1 人机环系统的组成与运行	(39)	4.4.3 动力机的选择依据和原则	(77)
2.4.2 功能分配	(42)	4.4.4 动力系统方案设计的步骤	(78)
复 习 题	(43)		

4.5 动力机的特性与选用	(80)	5.6.3 无级变速器的选用原则 ...	(139)
4.5.1 常用动力机性能的比较	(80)	复 习 题	(140)
4.5.2 电动机的特性与选用	(82)	第6章 操纵系统	(141)
4.6 动力机与工作机的匹配	(86)	6.1 操纵系统的分类和设计	(142)
4.6.1 匹配的要求、特性与形式 ...	(86)	6.1.1 操纵系统的组成	(142)
4.6.2 动力机和工作机的工作点 ...	(87)	6.1.2 操纵系统的分类	(142)
4.6.3 工作点的稳定性	(88)	6.1.3 操纵系统的设计要求	(146)
4.7 汽车的几种新型动力系统	(88)	6.1.4 操纵系统的设计内容	(147)
4.7.1 太阳能汽车	(88)	6.2 操纵系统的人因	(150)
4.7.2 燃料电池电动汽车	(90)	6.2.1 人因工程学与人机系统 ...	(151)
4.7.3 复合动力汽车	(94)	6.2.2 人的信息感知特性	(152)
复 习 题	(96)	6.2.3 人的生物力学特性	(155)
第5章 运动系统	(96)	6.3 宜人设计	(156)
5.1 执行系统的分类和功能	(99)	6.3.1 宜人性原则	(156)
5.1.1 执行系统的分类	(99)	6.3.2 显示件的选择与设计	(158)
5.1.2 执行构件的运动形式	(99)	6.3.3 操纵件的选择与设计	(160)
5.1.3 执行机构的功能	(100)	6.3.4 操纵件与显示件的组合设计	(164)
5.2 机构选型与组合	(103)	6.4 安全系统	(167)
5.2.1 执行机构的特点与应用 ...	(104)	6.4.1 安全系统的分类	(167)
5.2.2 执行机构选型的原则与方法	(104)	6.4.2 事故原因	(168)
5.2.3 机构组合的基本形式	(105)	6.4.3 技术系统的安全保护	(169)
5.2.4 并联组合机构设计案例 ...	(107)	6.4.4 人的疲劳与失误	(171)
5.3 执行系统设计的要求和步骤	(109)	6.4.5 安全防护装置的类型	(173)
5.3.1 执行系统的设计要求	(109)	复 习 题	(177)
5.3.2 执行系统的设计步骤	(109)	第7章 控制系统	(178)
5.3.3 执行系统设计案例	(111)	7.1 控制系统的作用、分类和组成 ...	(179)
5.4 传动系统的选型设计	(113)	7.1.1 控制系统的作用及变量 ...	(179)
5.4.1 传动系统的类型	(113)	7.1.2 控制系统的分类	(180)
5.4.2 传动类型的选择及效率计算	(116)	7.1.3 闭环控制系统的组成	(181)
5.4.3 传动系统的基本组成	(117)	7.2 控制系统的概念与特性	(182)
5.4.4 传动系统的设计要求和步骤	(123)	7.2.1 几种典型的自动控制系统	(182)
5.5 有级变速器的设计	(124)	7.2.2 控制理论的特点和适用范围	(190)
5.5.1 有级变速器的运动设计 ...	(124)	7.2.3 控制系统的性能要求	(191)
5.5.2 有级变速器的结构设计 ...	(132)	7.3 控制系统的设计	(193)
5.5.3 有级变速器的实用案例 ...	(135)	7.3.1 控制系统的设计步骤	(193)
5.6 无级变速器的选用	(136)	7.3.2 控制系统的方案设计	(195)
5.6.1 无级变速器的类型、特点及应用	(136)	7.3.3 控制系统主要元件的选择	(196)
5.6.2 无级变速器的选用方法 ...	(138)	复 习 题	(197)

第 8 章 生 产 线	(198)	9.5.2 建立目标规格的过程	(228)
8.1 生产线的分类与组成	(199)	9.5.3 确定最终规格的过程	(229)
8.1.1 生产线上机械的分类	(199)	9.6 产品需求设计的数字化	(231)
8.1.2 生产线的分类	(199)	9.6.1 需求设计的定义及其模型	(231)
8.1.3 自动线的组成、特点和应用	(201)	9.6.2 产品需求与需求产品	(231)
8.1.4 生产线类型的选用原则	(202)	9.6.3 产品需求设计的建模及实例	(234)
8.2 生产线设计的基本概念与参数	(202)	复 习 题	(236)
8.2.1 生产线设计的术语	(202)	第 10 章 概 念 设 计	(237)
8.2.2 自动机和自动线的生产率	(204)	10.1 概念产品与概念设计	(238)
8.2.3 提高自动线生产率的途径	(205)	10.1.1 概念产品的模型	(238)
8.3 生产线的总体设计	(206)	10.1.2 概念设计的内涵	(239)
8.3.1 总体设计的基本内容	(206)	10.2 概念设计的过程	(239)
8.3.2 工艺流程图的绘制	(206)	10.2.1 概念设计过程的建模	(239)
8.3.3 生产线设备的选型	(206)	10.2.2 概念设计过程的约束网络	(241)
8.3.4 工作循环图的绘制	(209)	10.3 产品的功能、行为和结构	(242)
8.3.5 总体布局形式的确定	(210)	10.3.1 功能、行为和结构的定义	(242)
8.4 生产线的设计方法	(212)	10.3.2 功能、行为和结构的分类	(243)
8.4.1 生产线设计的两种方法	(212)	10.3.3 功能、行为和结构的关系	(243)
8.4.2 生产线的资源需求	(212)	10.4 产品的功能设计	(244)
8.4.3 生产线的布局设计	(213)	10.4.1 设计任务抽象化	(244)
复 习 题	(215)	10.4.2 功能分析	(246)
第 3 篇 过程系统——设计过程	(216)	10.5 产品的原理设计	(249)
第 9 章 需 求 设 计	(217)	10.5.1 原理设计的基本内容	(249)
9.1 产品设计过程模型	(218)	10.5.2 功能求解的方法	(251)
9.1.1 产品设计系统的模型	(218)	10.5.3 原理方案的确定	(260)
9.1.2 设计系统集合的定义	(218)	10.6 产品的总体设计	(262)
9.1.3 产品设计过程的模型	(219)	10.6.1 总体设计的内容和步骤	(262)
9.2 调查研究	(219)	10.6.2 总体主要参数的确定	(264)
9.2.1 产品开发的调查	(219)	10.6.3 总体布局的要求和原则	(265)
9.2.2 可行性研究	(220)	复 习 题	(270)
9.3 产品规划	(221)	第 11 章 详 细 设 计	(271)
9.3.1 产品规划的内容	(222)	11.1 结构设计的内容、原则和要求	(272)
9.3.2 产品规划的过程	(222)	11.1.1 结构设计的基本内容	(272)
9.3.3 产品规划的要点	(223)	11.1.2 结构设计的基本原则	(272)
9.4 需求识别	(224)	11.1.3 结构设计的基本要求	(274)
9.4.1 客户需求的影响因素	(224)	11.2 满足工作能力要求的结构设计	(275)
9.4.2 需求识别的过程	(225)	11.2.1 提高强度的结构设计	(275)
9.4.3 需求识别的要点	(227)		
9.5 建立产品规格	(227)		
9.5.1 产品规格的概念及建立	(227)		

11.2.2 提高刚度的结构设计 ...	(278)	12.4.3 多指标的模糊综合评价	(318)
11.2.3 提高精度的结构设计 ...	(282)	12.4.4 模糊综合评价法应用案例	
11.2.4 减轻磨损、热变形和腐蚀的结构设计	(285)		(320)
11.3 满足制造工艺要求的结构设计	(287)	复 习 题	(321)
11.3.1 提高工艺性的结构设计	(287)	第 4 篇 方法系统——设计方法	(322)
11.3.2 常见零件的结构工艺性原则	(287)	第 13 章 创新设计	(323)
11.4 工业设计	(289)	13.1 创新设计的概念与内容	(323)
11.4.1 工业设计的概念	(289)	13.1.1 创新设计的内涵与分类	(323)
11.4.2 技术美学与美学法则 ...	(290)	13.1.2 技术系统的创新设计 ...	(324)
11.4.3 工业设计的基本过程 ...	(292)	13.2 创新精神与创新思维	(326)
11.4.4 工业设计的质量评价 ...	(293)	13.2.1 创新精神与创新能力 ...	(326)
11.5 面向材料设计	(295)	13.2.2 创新过程与创新思维 ...	(327)
11.5.1 材料的分类	(295)	13.2.3 灵活思维的几种形式 ...	(329)
11.5.2 材料的环境协调性	(296)	13.3 解决发明问题的理论 (TRIZ)	(332)
11.5.3 材料选择的影响因素 ...	(296)	13.3.1 TRIZ 的产生与定义	(332)
11.6 导轨、机架与机器基础	(299)	13.3.2 TRIZ 的基本内容	(332)
11.6.1 导轨	(299)	13.4 设计矛盾的解决原理	(340)
11.6.2 机架	(301)	13.4.1 技术矛盾的解决原理 ...	(340)
11.6.3 机器基础	(303)	13.4.2 物理矛盾的解决原理 ...	(343)
复 习 题	(305)	13.5 知识利用与创新软件	(345)
第 12 章 设计评价	(306)	13.5.1 知识利用与发明级别 ...	(345)
12.1 评价的过程、方法与指标	(307)	13.5.2 创新软件简介	(346)
12.1.1 设计评价的过程与方法	(307)	复 习 题	(348)
12.1.2 评价指标体系的建立 ...	(308)	第 14 章 智能设计	(349)
12.2 评分法	(310)	14.1 智能设计的基本问题	(350)
12.2.1 评分法的工作步骤	(310)	14.1.1 智能设计的概念与发展	(350)
12.2.2 评分标准	(310)	14.1.2 知识的概念、分类和特性	(351)
12.2.3 权重的确定	(310)	14.1.3 智能设计的几个基本问题	(352)
12.2.4 总分计分方法	(311)	14.2 知识表示方法	(354)
12.3 技术经济评价法	(313)	14.2.1 产生式规则	(354)
12.3.1 技术经济评价法的基本思想	(313)	14.2.2 框架	(355)
12.3.2 技术经济评价法的评价过程	(313)	14.2.3 谓词逻辑	(355)
12.3.3 技术经济评价法应用案例	(315)	14.2.4 语义网络	(356)
12.4 模糊综合评价法	(316)	14.2.5 面向对象的知识表示 ...	(356)
12.4.1 模糊概念的数学描述 ...	(316)	14.2.6 基于原型的知识表示 ...	(357)
12.4.2 单指标的模糊评价	(317)	14.2.7 不确定性知识表示	(358)
		14.3 专家系统的原理与结构	(358)
		14.3.1 专家系统的特点与类型	(358)
		14.3.2 专家系统的基本结构 ...	(359)

14.3.3 设计型专家系统的特点	(362)	15.2 虚拟设计的技术体系	(374)
14.4 知识处理系统的实现	(362)	15.2.1 虚拟设计与相关概念的关系	(374)
14.4.1 知识库的建造	(362)	15.2.2 虚拟设计技术体系	(375)
14.4.2 推理机的设计	(364)	15.3 虚拟设计系统	(376)
14.5 基于实例的知识处理	(365)	15.3.1 VDS 的功能、结构和原理	(376)
14.5.1 基于实例推理的原理	(365)	15.3.3 VDS 的硬件配置	(378)
14.5.2 基于实例推理的方法	(366)	15.4 虚拟设计的应用	(381)
复 习 题	(370)	复 习 题	(382)
第 15 章 虚拟设计	(371)	附 录	(383)
15.1 虚拟现实与虚拟环境	(372)	附录 1 有级变速器的设计参数	(383)
15.1.1 虚拟现实的概念和特征	(372)	附录 2 TRIZ 的技术矛盾解决矩阵	(391)
15.1.2 虚拟环境的组成和条件	(372)	参考文献	(395)
15.1.3 虚拟现实系统的类型与结构	(373)		

第1篇 设计系统总论

本篇导读

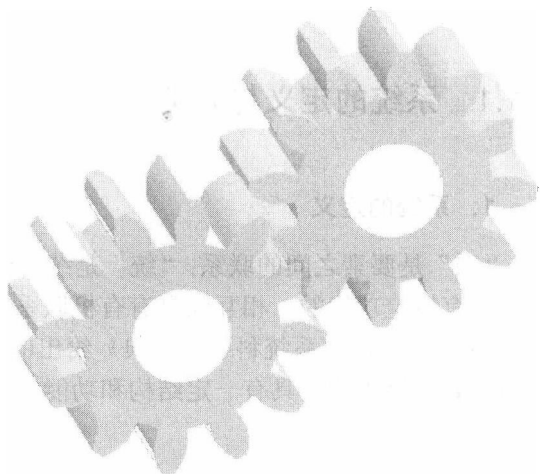
设计学就是为了找出高效率完成高质量设计的方法而对设计的本质进行研究的学问。设计学是一个跨行业的学科。作为工程专业的高级人才，无论具体从事哪项工作，都会以不同的方式不同程度地与设计打交道。从事管理工作的很多人员也会直接地或间接地与设计发生联系。随着市场竞争日趋激烈，没有优秀的设计，难以提高科技成果的转化能力，也难以实现自主创新，更难以在竞争中取胜。不掌握设计学的原理，很难产生优秀的设计。先进设计系统是设计学的主要研究对象。目前以计算机技术为基础的先进设计系统，已有不同层次的计算机应用软件来支撑。

本篇将分三章来阐述基本概念、系统原理和设计原理。

第1章绪论。将介绍系统、技术系统和先进设计系统等基本概念。先进设计系统既有系统工程学的共性，也具有创造工程学的特性。本章着重阐述先进设计系统的内涵。从目标上把设计对象看做是一个技术系统；从战略上把设计过程看做是一个过程系统；从战术上把设计方法看做是一个方法系统。这是一个“物—事—人”的认识过程，也是一个由“空间实体—时间度量—人脑思维”构成的“设计观”。

第2章系统原理。将主要介绍系统原理的基本知识。包括：系统的六个特性和三条定律，系统要素与要素之间的关系、系统要素与整体之间的关系，系统与系统之间的主要关系，系统方法的特点和类型。人机环大系统是系统原理在设计中具有代表意义的应用，也是为学习全书内容提供的思想基础。

第3章技术系统设计原理。讨论了技术系统的组成；技术系统设计的概念、类型与原则；说明了在设计中如何实现适用性、安全性、可靠性、经济性和标准化的基本措施。把事物看作系统，有利于发现设计任务的核心和本质。本章目的在于认识设计的规律性，提高驾驭设计工作的能力。



第1章 绪论

本章导读

- 系统的概念与类型
- 设计的内涵
- 先进设计系统的概念
- 先进设计系统的内涵
- 现代工程对设计者的要求

例 1-1 中国的探月工程全面深入地运用了系统思想。探月工程包括五大系统：卫星系统、运载火箭系统、测控系统、发射场系统和地面应用系统。探月工程的实施分为三个阶段。第一阶段发射“嫦娥1号”卫星。2007年10月24日“嫦娥一号”卫星在西昌卫星发射中心发射升空（图1-1）。第二阶段2013年左右发射月球车（月面巡视探测器），完成月面软着陆探测；第三阶段，在2020年前发射小型采样返回舱，采集月球样品返回地球，进行深入研究。

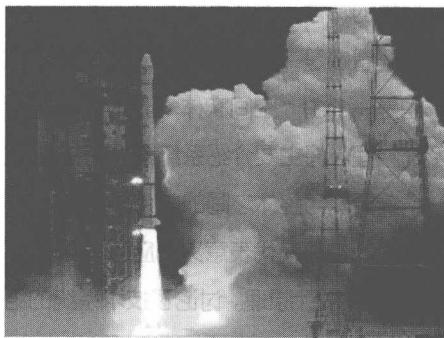


图 1-1 “嫦娥一号”卫星发射升空

1.1 系统的概念与类型

1.1.1 系统的定义与分类

1. 系统的定义

“系”是要素之间的联系；“统”是统一的整体。1986年汪应洛院士给出的系统定义是：系统是具有特定功能的、相互间具有有机联系的许多要素构成的一个整体^[18-21]。

1994年我国《系统科学大辞典》给出的系统定义是：系统（System）是由相互联系、相互作用的要素组成的，具有一定结构和功能的有机整体^[1]。

如图 1-2 所示，系统包含了以下 6 个基本概念：

- (1) 要素 (Elements) 又称元素。它是系统的组成部分 (Components)，也是研究对象的具体单元。
 - (2) 结构 (Structure) 它是指系统的各个要素相对稳定的相互联系、相互作用的方式。
 - (3) 功能 (Function) 它是指系统整体在其内部与外部的联系中表现出来的作用和能力。
 - (4) 边界 (Boundary) 它是系统内部与外部的分界。
 - (5) 环境 (Environment) 它是指为系统提供输入或接受它的输出的全部外界条件的总和。
 - (6) 输入/输出 (Input/Output) 分别是通过边界进入到系统或进入到环境的事物。
- 结构表明必须有确定的边界。功能表明系统需要与环境发生关系。

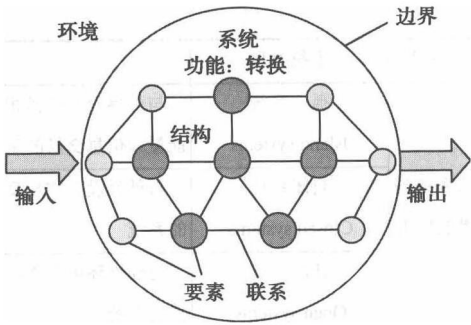


图 1-2 系统的概念

2. 系统的分类

表 1-1 为系统的分类。

大多数系统是自然系统与人工系统的复合系统 (Compound systems)。复合系统是指几种类型的系统互相重合和嵌套所组成的系统，如水利工程系统、社会系统和生产系统等。物质系统和概念系统在多数情况下是结合的，物质系统是概念系统的物质基础，而概念系统往往是指导物质系统行为的中枢神经。如本书所讨论的设计系统既包括设计过程、设计理论、设计原则、设计原理、设计技术和设计方法等概念系统，也包括设计工具系统（如计算机系统）、设计对象系统等物质系统。

表 1-1 系统的分类

划分依据	系统类型	说 明	实 例	备 注
按系统的起源	自然系统 Natural systems	以天然物为要素，由自然力所形成的系统	海洋系统，天体系统，生命系统，原子系统	又称为天然系统
	人工系统 Artificial systems	以人造物为要素，用人工方法建立起来的系统	工程系统，社会系统，管理系统，概念系统	又称为人造系统
按系统要素的性质	物质系统 Physical systems	以物质实体为构成要素所组成的系统	矿藏系统，生命系统，技术系统，机械系统	又称为实体系统，也称为物理系统或硬系统
	概念系统 Conceptual systems	以非物质实体为要素所组成的系统	科学理论系统，法律系统，文学系统，艺术系统，程序系统	又称为虚拟系统，也称为观念系统或软系统
按系统状态与时间的关系	动态系统 Dynamic systems	系统的状态随时间变化的系统	气象系统，生物系统，生产系统，天体系统	本质上，一切系统都是动态系统
	静态系统 Static systems	系统的状态不随时间变化的系统	建筑物，地图	这是相对的，为了简化
按系统要素数量和结构	简单系统 Simple systems	组成系统的要素比较少、结构比较单纯的系统	原子系统，简单工具	又称为小系统
	复杂系统 Complex systems	组成系统的要素比较多、结构比较复杂的系统	生命系统，生产系统，社会系统	包含大系统和巨系统

续表

划分依据	系统类型	说 明	实 例	备 注
按系统与外界的作用	孤立系统 Island systems	与外界没有任何相互作用,无物质、能量和信息交换的系统	宇宙飞船的密封舱,装在刚性密闭且绝热的容器中的气体系统	又称为隔离体系。系统科学中与封闭系统相同
	封闭系统 Closed systems	与外界没有物质交换,有能量交换的系统	外加磁场中的磁介质系统,外加电场中的电介质系统	这是物理学上的概念
	开放系统 Open systems	与外界环境有物质、能量、信息交换的系统	生命系统,经济系统,社会系统,盛于开口容器中的液体	实际上,一切系统都是开放系统
按(认识论)对系统信息的认知程度	黑色系统 Black systems	信息极度不完全、不确定的贫信息系统,灰因灰果系统	银河系外遥远星座,待设计的新产品,待解决的问题	大气污染的来源和范围不明,其危害也不明,这是灰因灰果
	白色系统 Whitening systems	信息完全、确定的富信息系统,白因白果系统	可拆卸的机器,已解决的问题,已排除的故障	银行存款利息不变,存款和得款数是白因白果
	灰色系统 Grey systems	信息不完全,信息不确定,或二者兼有的系统	农业系统,人体系统	我国邓聚龙教授于1982年创立灰色系统理论

1.1.2 系统科学与系统工程

1. 系统科学的体系

系统科学（System science）是以系统为研究和应用对象的一个科学技术的门类。我国著名科学家钱学森于 20 世纪 70 年代末提出了系统科学体系的三个层次结构（图 1-3）。①工程技术层次——系统工程、自动化技术、通信技术，是直接改造客观世界的知识。②技术科学层次——运筹学、控制论和信息论，是指导工程技术的理论。③基础科学层次——系统学。系统学是研究系统的基本属性与一般规律的学科，是一切系统研究的基础理论。系统科学通向哲学的桥梁是系统论。

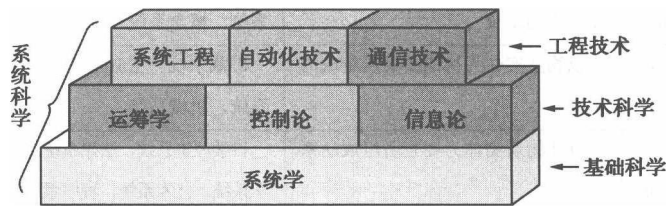


图 1-3 系统科学的体系

2. 系统工程的内涵

系统工程中的系统与工程均有其特定的含义。其中的“系统”是只包括属于人工系统及复合系统这类性质的系统，不包括自然系统。而“工程”是指创造物质财富的学问，即“工程学”的简称。

美国《科学技术辞典》的定义是：“系统工程（System engineering）是研究彼此密切联系的许多要素所构成的复杂系统的设计的科学。在设计这种复杂系统时，应有明确的预定功能及目标，而在组成它的各要素之间及各要素与系统整体之间又必须能够有机地联系、配合协调，致

使系统总体达到最优目标。在设计时还要考虑到参与系统中人的因素和作用(1975)。”^[2]

日本寺野寿郎认为“系统工程学就是使从无到有的创造过程合理化的科学”^[17]。

我国《系统科学大辞典》的定义是：“系统工程是一门统筹全局综合协调研究系统的科学技术，是系统开发、设计、实施和运用的工程技术，是在系统思想指导下，综合应用自然科学和社会科学中有关的先进思想、理论、方法和工具(计算机)，对系统的结构、功能、要素、信息和反馈等，运用多学科成果，进行分析、处理和解决实际问题，以达到最优规划、最优设计、最优管理和最优控制的目的(1994)。”^[1]

系统工程的研究对象主要是复杂的人工系统。系统工程作为一种工程技术，包括系统分析和系统设计两大技术。系统分析是对已有的系统用系统方法进行定量分析以帮助进行有效决策。系统设计是设计出能满足预定目标要求的新的系统。系统分析与系统设计共用的基本技术有：系统建模、系统仿真、系统优化和系统评价等。

例 1-2 系统工程的典型运用是美国阿波罗工程(Apollo project)。航天员 N.A.阿姆斯特朗和 E.E.奥尔德林驾乘 11 号飞船的登月舱，于 1969 年 7 月 21 日首次登上月球又安全返回地面，取得了试验的成功(图 1-4)。工程开始于 1961 年 5 月，至 1972 年 12 月第 6 次成功登月结束，历时 11 年，耗资 255 亿美元。在项目高峰期，参加研制的有 2 万多家企业、200 多所大学和 80 多个科研机构，总人数超过 30 万人，使用大型计算机 600 台，共发射了 17 艘飞船。阿波罗飞船的全部零部件多达 720 多万个。如此庞大而复杂的系统，如果有一个环节发生故障或延时完成，都会使登月飞船无法按期发射。但是由于采用了系统工程的方法，从而顺利地完成了计划。

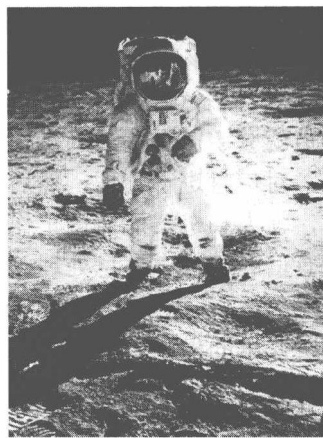


图 1-4 人类首次登上月球

阿波罗 11 号飞船的航天员

目前系统工程已在极为广泛的领域获得应用。根据系统类型的不同，已形成了工程系统的许多分支，如工程系统工程、经济系统工程、社会系统工程、军事系统工程等。

1.1.3 人工系统的分类

人工系统都有特定的目的。它一般包括三种类型：工程系统、思维系统和社会系统。

1. 工程系统

工程系统(Engineering systems)是由人们从加工自然物获得的物质系统，如工具、设备、机器、建筑物等。工程系统的建立是一项具有很强的技术性和社会性的工作。在创建复杂的工程系统时，要把总的目标要求逐步地划分为各个更为具体的设计任务，并通过一系列工程过程，使这一个个的具体设计工作结果，按一定规律综合起来后，构成符合目标要求的实际系统。工程系统是技术创新的主要领域。完成创建工程系统的工作，需要总体的协调、综合的优化和有条不紊的组织管理。因此，必须运用系统工程的原理和方法来合理地规划、指导和管理现代工程系统研制的全过程，从更为广泛的意义上去看待和处理现代的工程问题。

(1) 基本形式 从设计的角度出发，工程系统的基本形式有如下两种：

① 技术系统(Technology systems)。系统中的各组成要素间的连接呈刚性连接，又称为产

品系统,或称为“结合系统”。技术系统就是人的生活和生产所需的人造物品,如机器、仪器、工具、日用品、服装、艺术品、软件、生产线、零件等。

② 过程系统(Process systems)。系统中的各组成要素间的连接呈柔性连接,又称为流程系统。如制造工艺流程、物流系统、生产系统、计算机程序、化工系统、供电系统、通信系统、供水系统等。过程系统是工程所经历的全部阶段或步骤及其人的全部活动的有序集合。

(2) 复合形式 从工程系统的要素特征来看,工程系统的复合形式有如下3种:

① 项目系统(Project systems)。它是在限定时间和限定资源的约束条件下完成的具有明确目标的一次性任务。“一次性”是项目系统区别于技术系统的主要特征。项目系统通常又称为工程项目。按内容它可以分为建设项目、开发项目、科研项目等。建设项目是以建筑物(住房、厂房、剧院等)或构筑物(道路、桥梁、水坝、电站、园林、舞台等)为目标产出物、由一系列相关活动组成的特定过程。建设项目通常构成人的生存空间。项目系统可被看做是由技术系统和过程系统组成的复合系统。建立一条生产线也是一个项目系统。如果开发项目是研制一台大型设备,则该项目系统与技术系统是相同的。技术系统和项目系统也被统称为工程对象系统。

② 人机系统(Man-machine systems)。它是由人和机器组成的系统。例如,人骑自行车,航天员驾驶宇宙飞船,人操作计算机等,都属于人机系统。在人机系统中,人接受来自机器的信息,对信息进行处理,然后人控制机器运转。机器随即产生新的信息又反馈给人,如此不断重复,使人和机器能协调工作。现代人机系统,尽管有简单与复杂、低级与高级等多种形式,但都有信息传递、信息处理、控制和反馈等机能。

③ 人机环系统(Man-machine-environment systems)。它是指由共处于同一时间和空间的人与其所操纵的机器以及他(它)们所处的周围环境所构成的系统。例如,工厂的工人在恒温环境中使用精密机器工作。系统中的人是指经过选择、训练的合格操作者或使用用户;机是指人所操纵和控制的一切对象的总称,如机器、装置、设备、设施、工具或用具等;环境是指人、机共处的特定条件,如温度、压力、噪声等物理环境,有害气体、化工污染等化学环境,人心向背、舆论呼声等社会环境。在人机环系统中,人是处于主体地位的决策者,三者相互依存、相互制约和相互作用,完成特定的工作过程。

2. 思维系统

思维是指人脑对外界信息的加工过程。通俗地说,思维是动脑筋思考问题。思维的目的是解决问题。因此,思维是解决问题的思想历程的总称。思维系统(Thinking systems)泛指人类精神活动领域的一切系统,它是人类通过对自然和社会规律的认识所建立的概念系统,如科学理论系统、伦理道德系统、文学系统、艺术系统、程序系统、方法系统等。思维系统是知识创新的主要领域。

思维系统包括人类心理活动的各种形式(如情感、情绪、信念和意志等),人类认识活动的各种形式(如感觉、知觉、表象、概念、判断、推理、联想、想象和幻想等)及其成果(如观念、知识、模型、图像和形象等),以至于社会心理(如社会风尚、社会习惯和社会舆论等)和社会意识的各种形式(如政治、法律、道德、艺术、宗教、科学和哲学等)及其相应的组织和制度。思维系统根源于物质系统,是物质系统(特别是社会物质系统)派生的,同时又能能动地作用于物质系统。思维系统也是工程系统中创新设计的主要领域。

根据思维的特性,思维系统可分为逻辑思维(Logical thinking)和灵活思维(Flexible thinking)两类。

（1）逻辑思维 它是以概念、判断和推理等思维形式为要素所构成的系统。它的别称有：抽象思维（Abstract thinking）、理性思维（Rational thinking）、言语思维（Verbal thinking）、刚性思维（Rigid thinking）、收敛思维（Convergent thinking）。它包括形式逻辑、数理逻辑和辩证逻辑。其内容和形式都来源于社会实践，其基础是感性认识。属于认识过程的理性认识阶段（可以言传）。逻辑思维更深刻、更正确、更完全地反映客体。

逻辑思维既刚硬又严密，其主要特性有：自觉性、过程性、必然性、抽象性、概括性、间接性和有序性。概念是逻辑思维的“细胞”。理解力是人的逻辑思维能力的体现。它的操作方法主要有分析和综合、归纳和演绎。分析与综合是一个逻辑性很强的思维过程，也是最基本的创新思维过程。归纳和演绎是推理的两种基本形式，也是人类利用知识解决问题的基本方法。典型方法有：古代亚里士多德的“三段论”（大前提、小前提和结论）演绎法、近代培根的“严禁理智飞翔”的归纳法。

（2）灵活思维 它是以想象、意象、表象、联想和灵感等思维形式为要素所构成的系统。它的别称有：形象思维（Visual thinking）、非逻辑思维、想象思维（Image thinking）、感性思维（Affective thinking）、非言语思维、柔性思维、发散思维（Divergent thinking）。灵活思维过程始终伴随着感性材料和具体形象，但又不是停留于认识的感性阶段，而是发展到了认识的理性阶段，属于理性认识的一种形式（可以意会）。灵活思维在不同程度上反映了客体的全体、本质和内部联系。

灵活思维柔韧而灵活，其主要特性是：自发性、跳跃性、偶然性、形象性、典型性、直接性和无序性。想象是灵活思维的“细胞”，想象力是人的灵活思维能力的象征。灵活思维是将创造原点抽象化，由原始解出发辐射出多根思维射线，其终点常常是一些创新解。一个富有灵活思维能力的设计者，往往能够突破现有知识和经验的框框，灵活地构想新的概念和形象。有代表性的灵活思维方法是现代科学巨匠爱因斯坦提倡的“思维自由创造”，他认为“想象力概括着世界上的一切”。

我们可以把人类建立人工系统的过程称为创新工程。创新思维是指有创见的思维过程。它是创造物质的根基。从这种意义上说，如同科学和艺术的关系一样，技术和管理就像是一根藤上的两个瓜，创新思维就是这根藤。创新思维不是单一的思维形式，而是以逻辑思维和灵活思维为基础的、产生新成果的、高级复杂的思维活动。

3. 社会系统

社会系统（Social systems）是由人类和他们的环境构成的系统。它是由一定的制度、组织、法律、规章和政策等所构成的概念系统，如经济系统、管理系统、组织系统、法律系统等。社会系统是管理创新的主要领域。

图 1-5 总结了人工系统的分类。本书主要讨论技术系统的设计。

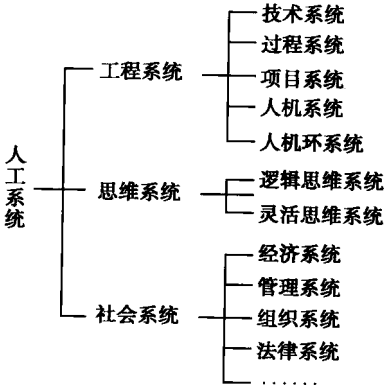


图 1-5 人工系统的分类