

机械原理和机械设计系列教材



“十二五”普通高等教育本科国家级规划教材

机械设计

第九版

西北工业大学机械原理及机械零件教研室 编著

濮良贵 陈国定 吴立言 主编

 高等教育出版社
HIGHER EDUCATION PRESS



“十二五”普通高等教育本科国家级规划教材

机 械 设 计

Jixie Sheji

第九版

西北工业大学机械原理及机械零件教研室 编著
濮良贵 陈国定 吴立言 主编



高等教育出版社·北京
HIGHER EDUCATION PRESS BEIJING

内容提要

本书是“十二五”普通高等教育本科国家级规划教材,是在西北工业大学机械原理及机械零件教研室编著,濮良贵、纪名刚主编《机械设计》(第八版)的基础上,根据教育部2011年制订的“机械设计课程教学基本要求”和编者多年来的教学实践经验,考虑加强学生素质教育和能力培养,结合拓宽专业面后的教学改革以及我国机械工业发展的需要修订而成的。

全书共分五篇(十八章):第一篇总论,第二篇连接,第三篇机械传动,第四篇轴系零、部件,第五篇其他零、部件。书后附录有常用量的名称、单位、符号及换算关系。

本书主要作为高等学校机械类专业的教材,也可供其他有关专业的师生和工程技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

机械设计 / 濮良贵, 陈国定, 吴立言主编; 西北工业大学机械原理及机械零件教研室编著. -- 9版. -- 北京: 高等教育出版社, 2013.5

ISBN 978-7-04-037122-2

I. ①机… II. ①濮… ②陈… ③吴… ④西… III. ①机械设计—高等学校—教材 IV. ①TH122

中国版本图书馆CIP数据核字(2013)第060700号

策划编辑 宋晓
插图绘制 杜晓丹

责任编辑 宋晓
责任校对 杨凤玲

封面设计 于文燕
责任印制 朱学忠

版式设计 童丹

出版发行 高等教育出版社
社址 北京市西城区德外大街4号
邮政编码 100120
印刷 高教社(天津)印务有限公司
开本 787 mm×1092 mm 1/16
印张 27
字数 660千字
购书热线 010-58581118
咨询电话 400-810-0598

网 址 <http://www.hep.edu.cn>
<http://www.hep.com.cn>
网上订购 <http://www.landraco.com>
<http://www.landraco.com.cn>
版 次 1960年8月第1版
2013年5月第9版
印 次 2013年5月第1次印刷
定 价 39.00元

本书如有缺页、倒页、脱页等质量问题,请到所购图书销售部门联系调换
版权所有 侵权必究
物料号 37122-00

第九版序言

本书是“十二五”普通高等教育本科国家级规划教材，是在2006年《机械设计》（第八版）的基础上修订而成的。本次修订主要做了以下几项工作：

1. 内容的适当更新——自本书第八版出版以来，机械工程及相关领域的新理论、新技术和新标准多有发展变化，根据这些发展变化，本版更新了书中的部分内容，以适应科学技术领域的发展和教学工作的需要。

2. 适当更新了部分参考文献——在满足相同参考作用的前提下，适当地更新了部分参考文献，以准确反映科技领域新理论和新技术发展的状况。

3. 更正了第八版文字、插图与计算中的一些疏漏和错误。

本书作为高等学校机械类各专业的教材，其内容以机械类专业通用的机械设计课程基本内容为主。为了适应拓宽专业面的需要，教师在使用本书时，可以根据不同要求增加介绍有关专业的内容。

从1960年第一版开始，在濮良贵先生的指导下，通过教研室同志的集体努力，编写完成了本书的多个版次。半个多世纪以来，濮良贵先生和各位编者为本书耗费了大量的心血，使本书成为目前国内机械设计课程中最受欢迎的教材之一。值此承接这份宝贵财富之时，特向为这本教材做出贡献的各位前辈表示衷心的感谢和崇高的敬意，他们是濮良贵先生和纪名刚先生，以及赵文蔚、王步瀛、陈文蔚、汤嘉吉、任宏达、李东紫、沈允文、周延海、张富洲、陈厦梅、张永才和孙友梅等同志。

作为继任者，我们将努力修订好这本教材，保持并发扬其特色，力争不辜负本书前辈编者的期望。

参加本次修订工作的有吴立言（第一章、第三章和第十三章）、陈国定（第二章、第四章、第十二章和附录）、袁茹（第五章和第七章）、李育锡（第六章、第八章和第十五章）、刘光磊（第九章和第十章）、李建华（第十一章和第十四章）、宁方立（第十六章）、谷文韬（第十七章）和李洲洋（第十八章）。本书由陈国定和吴立言任主编。

受高等教育出版社委托，原普通高等学校机械基础课程教学指导分委员会委员、北京科技大学罗圣国教授详细审阅了本书，并提出了许多宝贵的意见。另外，各兄弟院校老师和同学以及工厂设计部门的同志都曾对本书提出过许多意见和建议，出版社的编辑人员为本书的出版与提高质量投入了大量的劳动。在此一并致以衷心的感谢。

限于编者的水平和编写时间的仓促，书中难免有不当之处，请读者不吝批评指正。来信请惠寄陕西省西安市西北工业大学178信箱（邮编：710072），或发电子邮件至gdchen@nwpu.edu.cn。

编者

2012年8月于西安

目 录

第一篇 总 论

第一章 绪论	1	§ 2-11 机械现代设计方法简介	20
§ 1-1 机械工业在现代化建设中的作用	1	第三章 机械零件的强度	22
§ 1-2 本课程的内容、性质与任务	1	§ 3-1 材料的疲劳强度	22
第二章 机械设计总论	3	§ 3-2 机械零件的疲劳强度	25
§ 2-1 机器的组成	3	§ 3-3 机械零件的抗断裂强度	33
§ 2-2 设计机器的一般程序	4	§ 3-4 机械零件的接触强度	34
§ 2-3 对机器的主要要求	8	§ 3-5 机械零件可靠性设计简介	36
§ 2-4 机械零件的主要失效形式	10	本章附录	38
§ 2-5 设计机械零件时应满足的基本 要求	11	习题	45
§ 2-6 机械零件的设计准则	13	第四章 摩擦、磨损及润滑概述	46
§ 2-7 机械零件的设计方法	15	§ 4-1 摩擦	46
§ 2-8 机械零件设计的一般步骤	16	§ 4-2 磨损	50
§ 2-9 机械零件的材料及其选用	17	§ 4-3 润滑剂、添加剂和润滑方法	52
§ 2-10 机械零件设计中的标准化	19	§ 4-4 流体润滑原理简介	58

第二篇 连 接

第五章 螺纹连接和螺旋传动	62	§ 6-1 键连接	103
§ 5-1 螺纹	62	§ 6-2 花键连接	109
§ 5-2 螺纹连接的类型和标准连接件	64	§ 6-3 无键连接	111
§ 5-3 螺纹连接的预紧	68	§ 6-4 销连接	113
§ 5-4 螺纹连接的防松	70	习题	115
§ 5-5 螺栓组连接的设计	72	第七章 铆接、焊接、胶接和 过盈连接	117
§ 5-6 螺纹连接的强度计算	79	§ 7-1 铆接	117
§ 5-7 螺纹连接件的材料及许用应力	86	§ 7-2 焊接	121
§ 5-8 提高螺纹连接强度的措施	88	§ 7-3 胶接	127
§ 5-9 螺旋传动	93	§ 7-4 过盈连接	129
习题	101	习题	137
第六章 键、花键、无键连接和销连接	103		

第三篇 机 械 传 动

第八章 带传动	143	§ 8-1 概述	143
---------------	-----	----------------	-----

§ 8-2 带传动工作情况的分析	146	计算	198
§ 8-3 普通 V 带传动的设计计算	151	§ 10-6 齿轮传动的精度、设计参数与 许用应力	204
§ 8-4 V 带轮的设计	159	§ 10-7 斜齿圆柱齿轮传动的强度 计算	216
§ 8-5 V 带传动的张紧、安装与防护	161	§ 10-8 直齿锥齿轮传动的强度计算	224
习题	164	§ 10-9 齿轮的结构设计	230
第九章 链传动	165	§ 10-10 齿轮传动的润滑	233
§ 9-1 链传动的特点及应用	165	§ 10-11 圆弧齿圆柱齿轮传动简介	235
§ 9-2 传动链的结构特点	166	习题	236
§ 9-3 滚子链链轮的结构和材料	169	第十一章 蜗杆传动	238
§ 9-4 链传动的工作情况分析	172	§ 11-1 蜗杆传动的类型	238
§ 9-5 滚子链传动的设计计算	175	§ 11-2 普通圆柱蜗杆传动的主要参数及 几何尺寸计算	243
§ 9-6 链传动的布置、张紧、润滑与 防护	181	§ 11-3 普通圆柱蜗杆传动承载能力 计算	248
习题	184	§ 11-4 圆弧圆柱蜗杆传动设计计算	254
第十章 齿轮传动	186	§ 11-5 普通圆柱蜗杆传动的效率、润滑及 热平衡计算	260
§ 10-1 概述	186	§ 11-6 圆柱蜗杆和蜗轮的结构设计	266
§ 10-2 齿轮传动的失效形式及 设计准则	186	习题	269
§ 10-3 齿轮的材料及其选择原则	189		
§ 10-4 齿轮传动的计算载荷	192		
§ 10-5 直齿圆柱齿轮传动的强度			

第四篇 轴系零、部件

第十二章 滑动轴承	271	§ 13-2 滚动轴承的主要类型及其 代号	304
§ 12-1 概述	271	§ 13-3 滚动轴承类型的选择	309
§ 12-2 滑动轴承的主要结构形式	271	§ 13-4 滚动轴承的工作情况	310
§ 12-3 滑动轴承的失效形式及常用 材料	273	§ 13-5 滚动轴承尺寸的选择	313
§ 12-4 轴瓦结构	277	§ 13-6 轴承装置的设计	321
§ 12-5 滑动轴承润滑剂的选用	280	§ 13-7 其他	332
§ 12-6 不完全流体润滑滑动轴承设计 计算	282	习题	338
§ 12-7 流体动力润滑径向滑动轴承设计 计算	284	第十四章 联轴器和离合器	339
§ 12-8 其他形式滑动轴承简介	295	§ 14-1 联轴器的种类和特性	339
习题	302	§ 14-2 联轴器的选择	346
第十三章 滚动轴承	303	§ 14-3 离合器	348
§ 13-1 概述	303	§ 14-4 安全联轴器及安全离合器	352
		§ 14-5 特殊功用及特殊结构的联轴器及 离合器	353

习题	354	§ 15-2 轴的结构设计	359
第十五章 轴	356	§ 15-3 轴的计算	365
§ 15-1 概述	356	习题	379

第五篇 其他零、部件

第十六章 弹簧	383	§ 17-2 机座和箱体的一般类型与材料 选择	404
§ 16-1 概述	383	§ 17-3 机座和箱体设计概要	406
§ 16-2 圆柱螺旋弹簧的结构、制造、材料 及许用应力	384	§ 17-4 机座和箱体的截面形状及肋板 布置	407
§ 16-3 圆柱螺旋压缩(拉伸)弹簧的设计 计算	388	第十八章 减速器和变速器	410
§ 16-4 圆柱螺旋扭转弹簧的设计计算	399	§ 18-1 减速器	410
习题	402	§ 18-2 变速器	415
第十七章 机座和箱体简介	404	§ 18-3 摩擦轮传动简介	418
§ 17-1 概述	404		

附录 常用量的名称、单位、符号及换算关系	420
-----------------------------------	-----

参考文献	421
-------------------	-----

第一篇 总 论

本篇概括地论述与本课程普遍有关的内容，包括第一至四章，即绪论，机械设计总论，机械零件的强度，摩擦、磨损及润滑概述。

第一章 绪 论

§ 1 - 1 机械工业在现代化建设中的作用

机械工业肩负着为国民经济各个部门提供技术装备的重要任务。机械工业的生产水平是一个国家现代化建设水平的主要标志之一。国家的工业、农业、国防和科学技术的现代化程度都与机械工业的发展程度密切相关。人们之所以要广泛使用机器是由于机器既能承担人力所不能或不便进行的工作，又能较人工生产改进产品的质量，能够大大提高劳动生产率和改善劳动条件。同时，不论是集中进行的大量生产还是多品种、小批量生产，都只有使用机器才便于实现产品的标准化、系列化和通用化，实现产品生产的高度机械化、电气化和自动化。因此，大量设计制造和广泛使用各种先进的机器是促进国民经济发展，加速我国社会主义现代化建设的一个重要内容。

§ 1 - 2 本课程的内容、性质与任务

在一台现代化的机器中，常会包含着机械、电气、液压、气动、润滑、冷却、信号、控制、检测等系统的部分或全部，但是机器的主体，仍然是它的机械系统。无论分解哪一台机器，它的机械系统总是由一些机构组成；每个机构又是由许多零件组成。所以，机器的基本组成要素是机械零件。

本课程的内容是介绍整台机器机械部分设计的基本知识，重点讨论一般尺寸和常用工作参数下的通用零件的设计，包括它们的基本设计理论和方法以及技术资料、标准的应用等。

本书讨论的具体内容是：

- 1) 总论部分——机器及零件设计的基本原则，设计计算理论，材料选择，结构要求，以及摩擦、磨损、润滑等方面的基本知识；
- 2) 连接部分——螺纹连接，键、花键及无键连接，销连接，铆接，焊接，胶接与过盈连接等；
- 3) 传动部分——螺旋传动，带传动，链传动，齿轮传动，蜗杆传动以及摩擦轮传动等；
- 4) 轴系部分——滑动轴承，滚动轴承，联轴器与离合器以及轴等；

5) 其他部分——弹簧, 机座和箱体, 减速器和变速器等。

由上可知, 本课程的性质是以一般尺寸通用零件的设计为核心的设计性课程, 而且是论述它们的基本设计理论与方法的技术基础课程。这里需要特别提醒的是, 书中虽然只讨论了上述一些零、部件, 但决不是仅仅为了学会这些零、部件的设计理论和方法, 而是通过学习这些基本内容去掌握有关的设计规律和技术措施, 从而具有设计其他通用零、部件和某些专用零、部件(包括书中没有提到的以及目前尚未出现的零、部件)的能力。

本课程(包括它的相关教学环节)的主要任务是培养学生:

- 1) 有正确的设计思想并勇于创新探索;
- 2) 掌握通用零件的设计原理、方法和机械设计的一般规律, 进而具有综合运用所学的知识, 研究改进或开发新的零、部件及设计简单的机械装置的能力;
- 3) 具有运用标准、规范、手册、图册和查阅有关技术资料的能力;
- 4) 掌握典型机械零件的试验方法, 获得实验技能的基本训练;
- 5) 了解国家当前的有关技术经济政策, 并对机械设计的新发展有所了解。

在本课程的学习过程中, 要综合运用先修课程中所学的有关知识与技能, 结合各个教学实践环节进行机械技术人员的基本训练, 逐步提高自己的理论水平、构思能力, 特别是提高提出问题、分析问题及解决问题的能力, 为顺利过渡到专业课程的学习及进行专业产品和设备的设计打下宽广而坚实的基础。

第二章 机械设计总论

§ 2-1 机器的组成

机器的发展经历了一个由简单到复杂的过程。人类为了满足生产及生活的需要，设计和制造了类型繁多、功能各异的机器。但是，只是在蒸汽机出现以后，机器才具有了完整的形态。可以用图 2-1 来概括地说明一部完整机器的组成。

在图 2-1 中，双线框表示一部机器的基本组成部分，单线框表示附加组成部分，着眼点在于它们的功能，并不涉及它们的复杂性。

原动机部分是驱动整部机器完成预定功能的动力源。通常一部机器只用一个原动机，复杂的机器也可能有好几个动力源。一般地说，它们都是把其他形式的能量转换为可以利用的机械能。从历史发展来说，最早被用来作为原动机部分的是人力或畜力。此后水力机及风力机相继出现。工业革命以后，主要是利用蒸汽机(包括汽轮机)及内燃机。电动机的出现，使一切可以得到电力供应的地方几乎全部使用了电动机作为原动机。现代机器中使用的原动机大致是以各式各样的电动机和热力机为主。

原动机的动力输出绝大多数呈旋转运动的状态，输出一定的转矩。在少数情况下也有用直线运动电动机或作动筒以直线运动的形式输出一定的推力或拉力。

执行部分是用来完成机器预定功能的组成部分。一部机器可以只有一个执行部分(例如压路机的压辊)，也可以把机器的功能分解成好几个执行部分(例如桥式起重机的卷筒、吊钩部分执行上下吊放重物的功能，小车行走部分执行横向运送重物的功能，大车行走部分执行纵向运送重物的功能)。

由于机器的功能是各式各样的，所以要求的运动形式也是各式各样的。同时，所要克服的阻力也会随着工作情况而异。但是原动机的运动形式、运动及动力参数却是有限的，而且是确定的。这就提出了必须把原动机的运动形式、运动及动力参数转变为执行部分所需的运动形式、运动及动力参数的问题。这个任务就是靠**传动部分**来完成的。也就是说，机器中之所以必须有传动部分，就是为了解决运动形式、运动及动力参数的转变。例如把旋转运动变为直线运动，高转速变为低转速，小转矩变为大转矩等。机器的传动部分多数使用机械传动系统，有时也可使用液压或电力传动系统。

简单的机器只由上述三个基本部分组成。随着机器的功能越来越复杂，对机器的精确度要求也就越来越高，如果机器只有以上三个基本部分，使用起来就会遇到很大的困难。所以机器除了以上三个部分外，还会不同程度地增加其他部分，例如控制系统和辅助系统等。

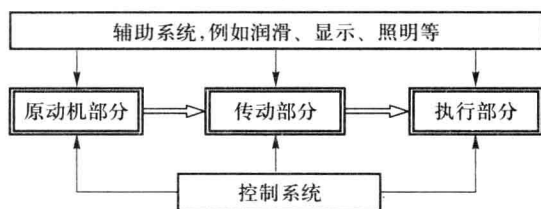


图 2-1 机器的组成

以汽车为例，发动机(汽油机或柴油机)是汽车的原动机；离合器、变速箱、传动轴和差速器组成传动部分；车轮、悬挂系统及底盘(包括车身)是执行部分；转向盘和转向系统、排挡杆、制动器及其踏板、离合器踏板及加速器组成控制系统；油量表、速度表、里程表、润滑油温度表及蓄电池电流表、电压表等组成显示系统；后视镜、门锁、刮水器及安全装置等为其他辅助装置；前后灯及仪表盘灯组成照明系统；转向信号灯及车尾红灯组成信号系统等。

§ 2-2 设计机器的一般程序

一部机器的质量基本上取决于设计质量。制造过程对机器质量所起的作用，本质上就在于实现设计时所规定的质量。因此，机器的设计阶段是决定机器好坏的关键。

本书中所讨论的设计过程仅指狭义的技术性的设计过程。它是一个创造性的工作过程，同时也是一个尽可能多地利用已有成功经验的工作。要很好地把继承与创新结合起来，才能设计出高质量的机器。一部完整的机器是一个复杂的系统，要提高设计质量，必须有一个科学的设计程序。虽然不可能列出一个在任何情况下都有效的唯一程序，但是，根据人们设计机器的长期经验，一部机器的设计程序基本上可以如表 2-1 所示。

以下对各阶段分别加以简要说明。

(一) 计划阶段

在根据生产或生活的需要提出所要设计的新机器后，计划阶段只是一个预备阶段。此时，对所要设计的机器仅有一个模糊的概念。

在计划阶段中，应对所设计的机器的需求情况做充分的调查研究和分析。通过分析，进一步明确机器所应具有的功能，并为以后的决策提出由环境、经济、加工以及时限等各方面所确定的约束条件。在此基础上，明确地写出设计任务的全面要求及细节，最后形成设计任务书，作为本阶段的总结。设计任务书大体上应包括：机器的功能，经济性及环保性的估计，制造要求方面的大致估计，基本使用要求，以及完成设计任务的预计期限等。此时，对这些要求及条件一般也只能给出一个合理的范围，而不是准确的数字。例如可以用必须达到的要求、最低要求、希望达到的要求等方式予以确定。

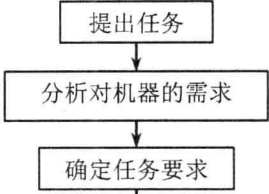
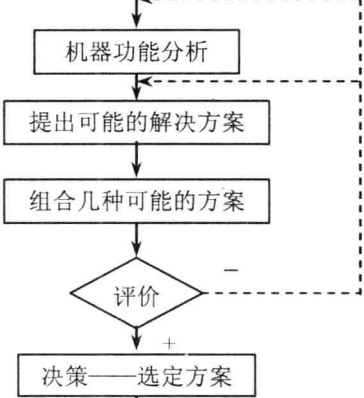
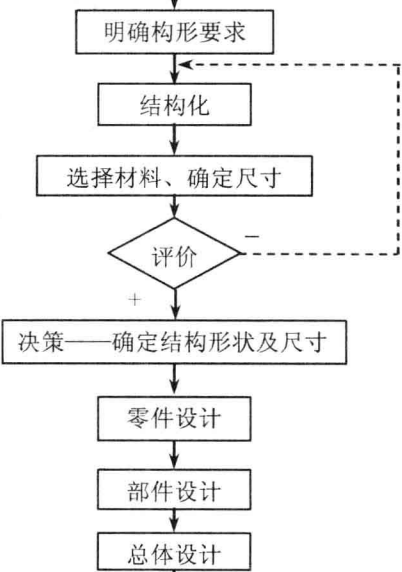
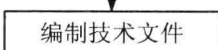
(二) 方案设计阶段

本阶段对设计的成败起关键的作用。这一阶段也充分表现出了设计工作有多个解(方案)的特点。

机器的功能分析，就是要对设计任务书提出的机器功能中必须达到的要求、最低要求及希望达到的要求进行综合分析，即这些功能能否实现，多项功能间有无矛盾，相互间能否替代等。最后确定出功能参数，作为进一步设计的依据。在这一步骤中，要恰当处理需要与可能、理想与现实、发展目标与当前目标等之间可能产生的矛盾问题。

确定出功能参数后，即可提出可能的解决办法，亦即提出可能采用的方案。寻求方案时，可按原动部分、传动部分及执行部分分别进行讨论。较为常用的办法是先从执行部分开始讨论。

表 2-1 设计机器的一般程序

设计的阶段	工作步骤	阶段的目标
计划	 <pre> graph TD A[提出任务] --> B[分析对机器的需求] B --> C[确定任务要求] </pre>	设计任务书
方案设计	 <pre> graph TD D[机器功能分析] --> E[提出可能的解决方案] E --> F[组合几种可能的方案] F --> G{评价} G -- "+" --> H[决策——选定方案] G -. "-" .-> E </pre>	提出原理性的设计方案——原理图或机构运动简图
技术设计	 <pre> graph TD I[明确构形要求] --> J[结构化] J --> K[选择材料、确定尺寸] K --> L{评价} L -- "+" --> M[决策——确定结构形状及尺寸] L -. "-" .-> I M --> N[零件设计] N --> O[部件设计] O --> P[总体设计] </pre>	总体设计草图及部件装配草图，并绘制出零件图、部件图及总装图
技术文件编制	 <pre> graph TD Q[编制技术文件] </pre>	编制设计计算说明书、使用说明书、标准明细表、其他技术文件等

讨论机器的执行部分时，首先是关于工作原理的选择问题。例如，设计制造螺钉的机器时，其工作原理既可采用在圆柱形毛坯上用车刀车削螺纹的办法，也可采用在圆柱形毛坯上用滚丝模滚压螺纹的办法。这就提出了两种不同的工作原理。工作原理不同，所设计出的机器就会不同。特别应当强调的是，必须不断地研究和发展新的工作原理，这是设计技术发展的重要途径。

根据不同的工作原理，可以拟定多种不同的执行机构的具体方案。例如以切削螺纹来说，既可以采用工件只作旋转运动而刀具作直线运动来切削螺纹（如在车床上切削螺纹），也可以使工件不动而刀具作转动和移动来切削螺纹（如用板牙加工螺纹）。这就是说，即使对于同一种工作原理，也可能有几种不同的结构方案。

原动机部分的方案当然也可以有多种选择。由于电力供应的普遍性和电力拖动技术的发展，现在可以说绝大多数的固定机械都优先选择电动机作为原动机。热力原动机主要用于运输机、工程机械或农业机械。即使是用电动机作为原动机，也还有交流和直流的选择、高转速和低转速的选择等。

传动部分的方案更为复杂多样。对于同一传动任务，可以由多种机构及不同机构的组合来完成。因此，如果用 N_1 表示原动机部分的可能方案数， N_2 和 N_3 分别代表传动部分和执行部分的可能方案数，则机器总体的可能方案数 N 为 $N_1 \times N_2 \times N_3$ 个。

以上仅是就组成机器的三个主要部分讨论的。有时，还须考虑配置辅助系统，对此，本书不再讨论。

在如此众多的方案中，技术上可行的可能仅有几个。对这几个可行的方案，要从技术、经济及环保等方面进行综合评价。评价的方法很多，现以经济性评价为例略做说明。根据经济性进行评价时，既要考虑设计及制造时的经济性，也要考虑使用时的经济性。如果机器的结构方案比较复杂，则其设计制造成本就要相对地增加，可是其功能将更为齐全，生产率也较高，故使用经济性也较好。反过来，结构较为简单、功能不够齐全的机器，设计及制造费用虽少，但使用费用却会增加。这一考虑问题的思路导出图 2-2 所示的机器复杂性 - 费用曲线。把设计制造费用和使用费用加起来得到总费用。总费用最低处所对应的机器复杂程度就是最优的复杂程度。相应于这一复杂程度的机器结构方案就应是经济最佳方案。

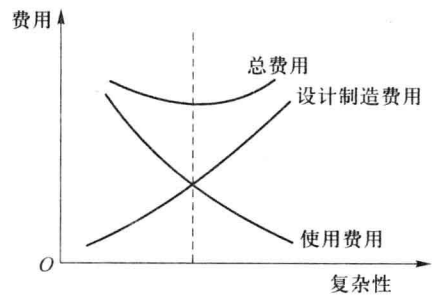


图 2-2 机器复杂性 - 费用曲线

评价结构方案的设计制造经济性时，还可以用单位功效的成本来表示。例如单位输出功率的成本、单件产品的成本等。

进行机器评价时，还必须对机器的可靠性进行分析，把可靠性作为一项评价的指标。从可靠性的观点来看，盲目地追求复杂的结构往往是不明智的。一般地讲，系统越复杂，则系统的可靠性就越低。为了提高复杂系统的可靠性，就必须增加并联备用系统，而这不可避免地会提高机器的成本。

环境保护也是设计中必须认真考虑的重要方面。对环境造成不良影响的技术方案，必须详细地进行分析，并提出技术上成熟的解决办法。

通过方案评价，最后进行决策，确定一个据以进行下一步技术设计的原理图或机构运动简图。

在方案设计阶段，要正确地处理好借鉴与创新的关系。同类机器成功的先例应当借鉴，原先薄弱的环节及不符合现有任务要求的部分应当加以改进或者根本改变。既要积极创新，反对保守和照搬原有设计，也要反对一味求新而把合理的原有经验弃置不用这两种错误倾向。

（三）技术设计阶段

技术设计阶段的目标是产生总装配草图及部件装配草图。通过草图设计确定出各部件及其零件的外形及基本尺寸，包括各部件之间的连接，零、部件的外形及基本尺寸。最后绘制零件的工作图、部件装配图和总装图。

为了确定主要零件的基本尺寸，必须做以下工作：

1) 机器的运动学设计。根据确定的结构方案，确定原动件的参数(功率、转速、线速度等)。然后做运动学计算，从而确定各运动构件的运动参数(转速、速度、加速度等)。

2) 机器的动力学计算。结合各部分的结构及运动参数，计算各主要零件所受载荷的大小及特性。此时求出的载荷，由于零件尚未设计出来，因而只是作用于零件上的公称(或名义)载荷。

3) 零件的工作能力设计。已知主要零件所受的公称载荷的大小和特性，即可做零、部件的初步设计。设计所依据的工作能力准则，须参照零、部件的一般失效情况、工作特性、环境条件等合理地拟定，一般有强度、刚度、振动稳定性、寿命等准则。通过计算或类比，即可决定零、部件的基本尺寸。

4) 部件装配草图及总装配草图的设计。根据已定出的主要零、部件的基本尺寸，设计出部件装配草图及总装配草图。草图上需对所有零件的外形及尺寸进行结构化设计。在此步骤中，需要很好地协调各零件的结构及尺寸，全面地考虑所设计零、部件的结构工艺性，使全部零件有最合理的构形。

5) 主要零件的校核。有一些零件，在上述第3)步中由于具体的结构未定，难于进行详细的工作能力计算，所以只能做初步计算及设计。在绘出部件装配草图及总装配草图以后，所有零件的结构及尺寸均为已知，相互邻接的零件之间的关系也为已知。只有在这时，才可以较为精确地定出作用在零件上的载荷，决定影响零件工作能力的各个细节因素。只有在此条件下，才有可能并且必须对一些重要的或者外形及受力情况复杂的零件进行精确的校核计算。根据校核的结果，反复地修改零件的结构及尺寸，直到满意为止。

在技术设计的各个步骤中，一些现代设计技术和方法，例如优化设计技术、有限元分析技术和可靠性技术等，在使结构参数的选择达到最佳能力、获取复杂情况下较好的近似定量计算结果，以及通过对所设计零、部件结构及其参数做出可靠性评价来提高机器的设计质量等方面，有着十分重要的作用。对于少数非常重要、结构复杂且价格昂贵的零件，必要时还须用模型试验方法来进行设计，即按初步设计的图样制造出模型，通过试验，找出结构上的薄弱部位或多余的截面尺寸，据此进行加强或减小来修改原设计，最后达到完善的程度。上述这些新的设计方法和概念，应当在设计中加以应用与推广，使之得到相应的发展。

草图设计完成以后，即可根据草图已确定的零件基本尺寸，设计零件的工作图。此时，仍

有大量的零件结构细节要加以推敲和确定。设计工作图时，要充分考虑零件的加工和装配工艺性、零件在加工过程中和加工完成后的检验要求和实施方法等。有些细节安排如果对零件的工作能力有值得考虑的影响，则须返回重新校核工作能力。最后绘制出除标准件以外的全部零件的工作图。

按最后定型的零件工作图上的结构及尺寸，重新绘制部件装配图及总装配图。通过这一工作，可以检查出零件工作图中可能隐藏的尺寸和结构上的错误。人们把这一工作通俗地称为纸上装配。

（四）技术文件编制阶段

技术文件的种类较多，常用的有机器的设计计算说明书、使用说明书、标准件明细表等。编制设计计算说明书时，应包括方案选择及技术设计的全部结论性的内容。

编制供用户使用的机器使用说明书时，应向用户介绍机器的性能参数范围、使用操作方法、日常保养及简单的维修方法、备用件的目录等。

其他技术文件，如检验合格单、外购件明细表、验收条件等，视需要与否另行编制。

（五）计算机在机械设计中的应用

随着计算机技术的发展，计算机在机械设计中得到了日益广泛的使用，并出现了许多高效率的设计、分析软件。利用这些软件可以在设计阶段进行多方案的对比，可以对不同的包括大型的和很复杂的方案的结构强度、刚度和动力学特性进行精确的分析。同时，还可以在计算机上构建虚拟样机，利用虚拟样机仿真对设计进行验证，从而实现在设计阶段充分地评估设计的可行性。可以说，计算机技术在机械设计中的推广使用已经并正在改变机械设计的进程，它在提高设计质量和效率方面的优势是难以预估的。

以上简要地介绍了机器的设计程序。广义地讲，在机器的制造过程中，随时都有可能由于工艺原因而修改设计的情况。如需修改，则应遵循一定的审批程序。机器出厂后，应该有计划地进行跟踪调查；另外，用户在使用过程中也会给制造或设计部门反馈出现的问题。设计部门根据这些信息，经过分析，也有可能对原设计进行修改，甚至改型。这些工作，虽然广义上也属设计程序的组成部分，但毕竟属于另一个层次的问题，本书不再讨论其具体的内容。但是作为设计工作者，应当有强烈的社会责任感，要把自己工作的视野延伸到制造、使用乃至报废利用的全过程中去，反复不断地改进设计，才能使机器的质量继续不断地提高，更好地满足生产及生活的需要。

§ 2-3 对机器的主要要求

设计机器的任务是在当前技术发展所能达到的条件下，根据生产及生活的需要提出的。不管机器的类型如何，一般来说，会对机器提出以下的基本要求。

（一）使用功能要求

机器应具有预定的使用功能。这主要靠正确地选择机器的工作原理，正确地设计或选用能

够全面实现功能要求的执行机构、传动机构和原动机，以及合理地配置必要的辅助系统来实现。

（二）经济性要求

机器的经济性体现在设计、制造和使用的全过程中，设计机器时就要全面综合地进行考虑。设计制造的经济性表现为机器的成本低；使用经济性表现为高生产率，高效率，较少地消耗能源、原材料和辅助材料，以及低的管理和维护费用等。

提高设计和制造经济性指标的主要途径有：

1) 采用先进的现代设计方法，使设计参数最优化，达到尽可能精确的设计计算结果，保证机器足够的可靠性。尽可能多地应用 CAD 技术，加快设计进度，降低设计成本。

2) 最大限度地采用标准化、系列化及通用化的零、部件。零件结构尽可能采用标准化结构及尺寸。

3) 尽可能采用新技术、新工艺、新结构和新材料。

4) 合理地组织设计和制造过程。

5) 力求改善零件的结构工艺性，使其用料少、易加工、易装配。

提高使用经济性指标的主要途径有：

1) 合理地提高机器的机械化和自动化水平，以期提高机器的生产率和产品的质量。

2) 选用高效率的传动系统，尽可能减少传动的中间环节，以期降低能源消耗和生产成本。

3) 适当地采用防护(如闭式传动、表面防护等)及润滑措施，以延长机器的使用寿命。

4) 采用可靠的密封，减少或消除渗漏现象。

（三）劳动保护和环境保护要求

1) 要使所设计的机器符合劳动保护法规的要求。设计时要按照人机工程学的观点尽可能减少操作手柄的数量，操作手柄及按钮等应放置在便于操作的位置，合理地规定操作时的驱动力，操作方式要符合人们的心理和习惯(例如汽车转向盘向左打则汽车向左拐弯等)。同时，设置完善的安全防护及保安装置、报警装置、显示装置等，并根据工程美学的原则美化机器的外形及外部色彩。使操作者有一个安全、舒适的环境，不易产生疲劳。这也有助于提高劳动生产率和产品质量。

2) 要把环境保护提高到一个重要的位置。改善机器及操作者周围的环境条件，如降低机器运转时的噪声水平，防止有毒、有害介质的渗漏及对废水、废气和废液进行有效的治理等，以满足环境保护法规对生产环境提出的要求。

（四）寿命与可靠性的要求

任何机器都要求能在一定的寿命下可靠地工作。随着机器的功能愈来愈先进，结构愈来愈复杂，发生故障的可能环节也愈来愈多。机器工作的可靠性受到了愈来愈大的挑战。在这种情况下，人们除了习惯上对机器有工作寿命的要求外，明确地对可靠性也提出要求是很自然的。机器可靠性的高低是用可靠度来衡量的。机器的可靠度 R 是指在规定的使用时间(寿命)内和

给定的环境条件下机器能够正常工作的概率。机器不能正常工作，即机器由于某种故障而不能完成其预定的功能称为失效。已有愈来愈多的机器设计和生产部门，特别是那些因机器失效将造成巨大损失的部门，例如航空、航天和核工业等部门，都相继规定了在设计时必须对其产品，包括零、部件，进行可靠性分析与评估的要求，例如要求给出产品在工作寿命内可以安全工作的定量说明。在设计时对组成机器的每个零件的可靠性提出要求，采用备用系统和在使用中对机器加强维护和检测都可以提高机器的可靠性。

（五）其他专用要求

对不同的机器，还有一些为该机器所特有的要求。例如：对机床有长期保持精度的要求，对飞机有质量小、飞行阻力小而运载能力大的要求，对流动使用的机器（如钻探机械）有便于安装和拆卸的要求，对大型机器有便于运输的要求等。设计机器时，在满足前述共同的基本要求的前提下，还应着重地满足这些特殊要求，以提高机器的使用性能。

不言而喻，机器的各项要求的满足，是以组成机器的机械零件的正确设计和制造为前提的。亦即零件设计的好坏，将对机器使用性能的优劣起着决定性的作用。

§ 2-4 机械零件的主要失效形式

机械零件的失效形式主要有以下几种：

（一）整体断裂

零件在受拉、压、弯、剪和扭等外载荷作用时，由于某一危险截面上的应力超过零件的强度极限而发生的断裂，或者零件在受变应力作用时，危险截面上发生的疲劳断裂均属此类。例如螺栓的断裂、齿轮轮齿根部的折断等。

（二）过大的残余变形

如果作用于零件上的应力超过了材料的屈服极限，则零件将产生残余变形。机床上夹持定位零件的过大的残余变形，会降低加工精度；高速转子轴的残余挠曲变形，将增大不平衡度，并进一步引起零件的变形。

（三）零件的表面破坏

零件的表面破坏主要是腐蚀、磨损和接触疲劳。腐蚀是发生在金属表面的一种电化学或化学侵蚀现象。腐蚀的结果是使金属表面产生锈蚀，从而使零件表面遭到破坏。与此同时，对于承受变应力的零件，还会引起腐蚀疲劳的现象。

磨损是两个接触表面在作相对运动的过程中表面物质丧失或转移的现象。

腐蚀、磨损和接触疲劳都是随工作时间的延续而逐渐发生的失效形式。处于潮湿空气中或与水、汽及其他腐蚀性介质相接触的金属零件，均有可能发生腐蚀现象；所有作相对运动的零件接触表面都有可能发生磨损；而在接触变应力条件下工作的零件表面也有可能发生接触疲劳。