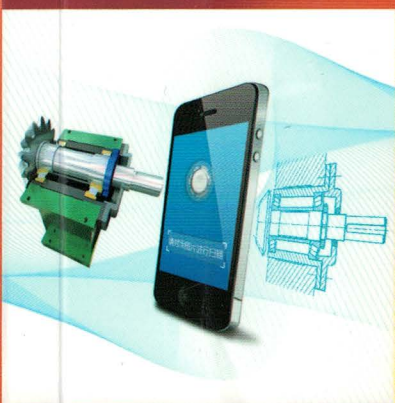




“十三五”国家重点出版物出版规划项目
现代机械工程系列精品教材
普通高等教育3D版机械类规划教材

3D 版



Machine Design

机械设计

张继忠 赵彦峻 徐楠 © 等编著



机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS

“十三五”国家重点出版物出版规划项目
现代机械工程系列精品教材
普通高等教育3D版机械类规划教材

机械设计(3D版)

张继忠 赵彦峻 徐楠 编著
张艳平 邢进 陈清奎
王继荣 主审



机械工业出版社

全书共 15 章，主要内容包括：与机械设计普遍相关的内容（第 1~4 章），螺纹连接和键连接的主要类型、特点及强度计算（第 5、6 章），常用传动零件的类型、特点、失效形式、设计准则、受力分析、设计计算及参数选择等（第 7~10 章），轴系零部件的类型、特点、设计计算及选用方法等（第 11~14 章），弹簧的主要类型及设计方法（第 15 章）。

本书的编写力求贯彻少而精、理论与实践相结合的原则，并紧密结合机械设计相关技术的最新成果。另外，本书配有利用虚拟现实（VR）、增强现实（AR）等技术开发的 3D 虚拟仿真教学资源。

本书适用于普通高等工科院校机械类各专业的本科生，也适用于各类成人教育、自学考试等机械类专业学生，还可供从事机械设计工作的工程技术人员参考。

图书在版编目（CIP）数据

机械设计：3D 版/张继忠等编著. —北京：机械工业出版社，2017.7
(2018.8 重印)

普通高等教育 3D 版机械类规划教材

ISBN 978-7-111-57230-5

I. ①机… II. ①张… 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（2017）第 146846 号

机械工业出版社（北京市百万庄大街 22 号 邮政编码 100037）

策划编辑：蔡开颖 责任编辑：蔡开颖 李 超

责任校对：肖 琳 责任印制：孙 炜

保定市中国画美凯印刷有限公司印刷

2018 年 8 月第 1 版第 2 次印刷

184mm×260mm·19.5 印张·476 千字

标准书号：ISBN 978-7-111-57230-5

定价：47.00 元

凡购本书，如有缺页、倒页、脱页，由本社发行部调换

电话服务

服务咨询热线：010-88379833

读者购书热线：010-88379649

网络服务

机工官网：www.cmpbook.com

机工官博：weibo.com/cmp1952

教育服务网：www.cmpedu.com

金书网：www.golden-book.com

封面无防伪标均为盗版

普通高等教育 3D 版机械类规划教材 编审委员会

顾 问	艾 兴	中国工程院院士、山东大学教授
	林江海	山东省机械工程学会会长
主任委员	张进生	山东大学
	陈清奎	山东建筑大学
	冯春生	机械工业出版社
委 员	王 勇	山东大学
	张明勤	山东建筑大学
	赵玉刚	山东理工大学
	何 燕	青岛科技大学
	许崇海	齐鲁工业大学
	曹树坤	济南大学
	孙成通	临沂大学
	赵继俊	哈尔滨工业大学（威海）
	孙如军	德州学院
	彭观明	泰山学院
	马国清	烟台大学
	徐 伟	枣庄学院
	李宏伟	滨州学院
	李振武	菏泽学院
	刘迎春	潍坊科技学院
	曹光明	潍坊学院
	刘延利	山东英才学院
秘 书	蔡开颖	机械工业出版社

序

虚拟现实（VR）技术是计算机图形学和人机交互技术的发展成果，具有沉浸感（Immersion）、交互性（Interaction）、构想性（Imagination）等特征，能够使用户在虚拟环境中感受并融入真实、人机和谐的场景，便捷地实现人机交互操作，并能从虚拟环境中得到丰富、自然的反馈信息。在特定应用领域中，VR 技术不仅可解决用户应用的需要，若赋予丰富的想象力，还能够使人们获取新的知识，促进感性和理性认识的升华，从而深化概念、萌发新的创意。

机械工程教育与 VR 技术的结合，为机械工程学科的教与学带来显著变革：通过虚拟仿真的知识传达方式实现更有效的知识认知与理解。基于 VR 的教学方法，以三维可视化的方式传达知识，表达方式更富有感染力和表现力。VR 技术使抽象、模糊成为具体、直观，将单调乏味变成丰富多变、极富趣味，令常规不可观察变为近在眼前、触手可及，通过虚拟仿真的实践方式实现知识的呈现与应用。虚拟实验与实践让学习者在创设的虚拟环境中，通过与虚拟对象的主动交互，亲身经历与感受机器拆解、装配、驱动与操控等，获得现实般的实践体验，增加学习者的直接经验，辅助将知识转化为能力。

教育部编制的《教育信息化十年发展规划（2011—2020 年）》（以下简称《规划》），提出了建设数字化技能教室、仿真实训室、虚拟仿真实训教学软件、数字教育教学资源库和 20000 门优质网络课程及其资源，遴选和开发 1500 套虚拟仿真实训实验系统，建立数字教育资源共建共享机制。按照《规划》的指导思想，教育部启动了包括国家级虚拟仿真实验教学中心在内的若干建设工程，力推虚拟仿真教学资源的规划、建设与应用。近年来，很多学校陆续采用虚拟现实技术建设了各种学科专业的数字化虚拟仿真教学资源，并投入应用，取得了很好的教学效果。

“普通高等教育 3D 版机械类规划教材”是由山东高校机械工程教学协作组组织驻鲁高等学校教师编写的，充分体现了“三维可视化及互动学习”的特点，将难于学习的知识点以 3D 教学资源的形式进行介绍，其配套的虚拟仿真教学资源由济南科明数码技术股份有限公司开发完成，并建设了“科明 365”在线教育云平台（www.keming365.com），提供了适合课堂教学的“单机版”、适合集中上机学习的“局域网络版”、适合学生自主学习的“手机版”，构建了“没有围墙的大学”“不限时间、不限地点、自主学习”的学习资源。



古人云，天下之事，闻者不如见者知之为详，见者不如居者知之为尽。

本系列教材的陆续出版，为机械工程教育创造了理论与实践有机结合的条件，很好地解决了普遍存在的实践教学条件难以满足卓越工程师教育需要的问题。这将有利于培养制造强国战略需要的卓越工程师，助推中国制造 2025 战略的实施。

张进生
于济南

前 言

本书是由山东高校机械工程教学协作组组织编写的“普通高等教育 3D 版机械类规划教材”之一。

本书编写按照教育部高等学校机械基础课程教学指导分委员会机械基础系列课程教学基本要求，充分利用虚拟现实（VR）、增强现实（AR）等技术开发的虚拟仿真教学资源，体现“三维可视化及互动学习”的特点，将难于学习的知识点以 3D 教学资源的形式进行介绍，力图达到“教师易教、学生易学”的目的。本书配有安卓版 3D 虚拟仿真教学资源，扫描封底上方的二维码下载 APP，即可使用。书中标有  图标的表示免费使用，标有  图标的表示收费使用。本书提供免费的教学课件，欢迎选用本书的教师登录机工教育服务网（www.cmpedu.com）下载。济南科明数码技术股份有限公司还提供有互联网版、局域网版、单机版的 3D 虚拟仿真教学资源，可供师生在线下载（www.keming365.com）使用。

本书适用于普通工科院校机械类各专业的本科生，也适用于各类成人教育、自学考试等机械类专业学生，还可供从事机械设计工作的工程技术人员参考。

本书第 5、9、12 章由青岛大学张继忠编写，第 1、2、4、6 及 11 章由山东理工大学赵彦峻编写，第 3、10、15 章由山东建筑大学徐楠编写，第 7、14 章由青岛大学张艳平、张继忠编写，第 8 章由滨州学院邢进编写，第 13 章由邢进、赵彦峻编写。本书配套的 3D 虚拟仿真教学资源由济南科明数码技术股份有限公司开发完成，并负责网上在线教学资源的维护、运营等工作，主要开发人员包括陈清奎、刘海、何强、孙宏翔、栾飞、周鹏、李晓东、张旭彬、雷文等。本书承蒙青岛大学王继荣教授审阅并提出了许多宝贵意见和建议；本书的编写得到了很多老师、同学及设计人员的大力支持与帮助，编者在此一并表示衷心感谢。

由于编者水平有限，书中难免存在缺点和错误，敬请广大读者批评指正。

编者
于青岛

目 录

序	
前言	
第 1 章 绪论	1
1.1 本课程在现代化建设中的作用	1
1.2 本课程的内容、性质与任务	1
习题	3
第 2 章 机械设计总论	4
2.1 机器的组成	4
2.2 设计机器的一般程序	5
2.3 对机器的主要要求	9
2.4 机械零件的主要失效形式	10
2.5 设计机械零件时应满足的基本要求	10
2.6 机械零件的设计准则	12
2.7 机械零件设计的一般步骤	13
2.8 机械零件的材料及其选用	13
2.9 现代机械设计方法简介	16
习题	18
第 3 章 机械零件的疲劳强度	19
3.1 疲劳断裂特征	19
3.2 应力寿命曲线和极限应力线图	20
3.3 影响机械零件疲劳强度的主要因素	23
3.4 稳定变应力时安全系数的计算	27
3.5 单向规律性非稳定变应力时机械零件的疲劳强度	31
3.6 典型例题	33
习题	35
第 4 章 摩擦、磨损及润滑概述	37
4.1 摩擦的种类及其基本性质	37
4.2 膜厚比与摩擦(润滑)状态	40
4.3 磨损	41
4.4 润滑剂、添加剂和润滑方法	44
4.5 润滑油黏度	47
4.6 工业用润滑油和润滑脂简介	49
4.7 流体润滑简介	51
习题	52
第 5 章 螺纹连接和螺旋传动	53
5.1 螺纹	53
5.2 螺纹连接的类型和标准连接件	55
5.3 螺纹连接的预紧	59
5.4 螺纹连接的防松	60
5.5 单个螺栓连接的强度计算	63
5.6 螺栓组连接的设计	69
5.7 螺纹连接件的材料与许用应力	76
5.8 提高螺纹连接强度的措施	77
5.9 典型例题	80
5.10 螺旋传动简介	83
习题	85
第 6 章 键、花键、无键连接和销连接	88
6.1 键连接	88
6.2 花键连接	93
6.3 无键连接	96
6.4 销连接	97
习题	99
第 7 章 带传动	100
7.1 概述	100
7.2 带传动工作情况的分析	103
7.3 普通 V 带传动的设计计算	107
7.4 V 带轮的设计	114
7.5 V 带传动的张紧、安装与防护	115
7.6 典型例题	116
7.7 其他带传动简介	119
习题	120
第 8 章 链传动	122
8.1 链传动的特点和应用	122
8.2 传动链的结构特点	122



8.3 链传动的运动特性	127	11.5 液体动力润滑径向滑动轴承设计 计算	211
8.4 滚子链传动的设计计算	131	11.6 典型例题	218
8.5 链传动的布置、张紧和润滑	135	11.7 其他形式滑动轴承简介	221
8.6 典型例题	138	习题	223
8.7 其他链传动简介	139	第 12 章 滚动轴承	225
习题	140	12.1 概述	225
第 9 章 齿轮传动	141	12.2 常用滚动轴承的类型、代号及 选择	226
9.1 齿轮传动概述	141	12.3 滚动轴承工作情况分析及失效 形式	231
9.2 齿轮传动的失效形式及常用材料	142	12.4 滚动轴承的寿命计算	233
9.3 圆柱齿轮传动的计算载荷	146	12.5 滚动轴承的静强度计算	238
9.4 直齿轮传动的受力分析和强度计算	149	12.6 滚动轴承的组合设计	239
9.5 圆柱齿轮传动的参数选择和许用 应力	153	12.7 典型例题	248
9.6 斜齿轮传动的受力分析和强度计算	159	习题	251
9.7 直齿锥齿轮传动的受力分析和强度 计算	161	第 13 章 联轴器和离合器	252
9.8 齿轮的结构设计	163	13.1 联轴器	252
9.9 典型例题	166	13.2 离合器	260
9.10 圆弧圆柱齿轮传动简介	173	13.3 典型例题	266
习题	174	习题	266
第 10 章 蜗杆传动	176	第 14 章 轴	267
10.1 蜗杆传动的类型、特点及应用	176	14.1 概述	267
10.2 圆柱蜗杆传动的主要参数及几何 尺寸计算	178	14.2 轴的材料	268
10.3 蜗杆传动的失效形式、计算准则及 常用材料	181	14.3 轴的结构设计	270
10.4 圆柱蜗杆传动的受力分析和计算 载荷	182	14.4 轴的强度计算	275
10.5 圆柱蜗杆传动的承载能力计算	184	14.5 轴的刚度校核计算	278
10.6 蜗杆传动的效率、润滑及热平衡 计算	187	14.6 轴的共振和临界转速的概念	279
10.7 蜗杆传动的结构设计	190	14.7 典型例题	280
10.8 典型例题	191	习题	286
10.9 圆弧圆柱蜗杆传动简介	193	第 15 章 弹簧	288
习题	195	15.1 概述	288
第 11 章 滑动轴承	197	15.2 弹簧的材料和制造	289
11.1 滑动轴承的类型、特点和应用	197	15.3 普通圆柱螺旋压缩和拉伸弹簧的 设计计算	292
11.2 滑动轴承的结构与材料	198	15.4 圆柱螺旋扭转弹簧	299
11.3 不完全液体润滑滑动轴承设计 计算	206	15.5 典型例题	300
11.4 流体动力润滑原理	208	15.6 其他类型弹簧简介	302
		习题	303
		参考文献	304

绪 论

1.1 本课程在现代化建设中的作用

制造业是国民经济的主体，当前正在实施的《中国制造 2025》是我国实施制造强国战略的第一个十年行动纲领，机械工业是整个国民经济的基础工业，是工业的心脏，是科学技术物化的基础，是高新技术产业化的载体，它为工业、农业、交通运输业、国防工业等提供技术装备，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。

机械设计是机械工业中最为关键的环节，是机械生产的第一步，是决定机械性能的最主要的因素和机械制造业发展的关键因素。机械设计就是按照具体的使用要求，分析、设计、计算、构思机构的结构、原理、运动方式，能量和力的传递方式，零件的材料、形状、大小、润滑等不同的方面，并将其转化为具体的描述作为制造依据的工作过程。在机械设计过程中，要确保设计出的机械系统产品可满足其预设的效果，以及使其在保证质量的前提下尽量降低成本。

机械设计技术与各行各业都有着非常密切的联系，涉及较多的学科领域，为此，机械设计应与最先进的科学技术和理念相结合，根据现代机械设计技术的特点，不断创新和完善现代机械设计技术。大量设计制造和广泛使用各种各样先进的机器，特别是高端智能机械设备，才有可能在现代科学技术发展迅速的机械行业内立有一席之地，实现我国由机械制造大国向强国的迈进，促进国民经济发展的力度，加速我国社会主义现代化建设的步伐。机械工程师和教育工作者正在努力地工作，将机械设计的共性技术与理性化的设计方法学汇集成为一门独立的、综合性的机械设计学科，使现代机械设计技术有更好的发展前景。

1.2 本课程的内容、性质与任务

本课程在虚拟现实技术的基础上，运用虚拟仿真教学资源，在简要介绍关于整台机器设计基础知识的基础上，重点讨论一般尺寸和参数的通用零件，包括它们的设计理论和方法、相关技术资料及标准的应用等。

本书讨论的具体内容是：

1) 机械设计总论。机器的组成、设计机器的一般程序、对器的主要要求、机械零件的主要失效形式、设计机械零件时应满足的基本要求、机械零件的设计准则、机械零件设计



的一般步骤、机械零件的材料及其选用、机械设计的新发展。

2) 机械零件的疲劳强度。疲劳断裂特征、应力寿命曲线和极限应力线图、影响机械零件疲劳强度的主要因素、稳定变应力时安全系数的计算、规律性非稳定变应力时机械零件的疲劳强度。

3) 摩擦、磨损及润滑概述。摩擦的种类及其基本性质、磨损、流体摩擦润滑、膜厚比与润滑状态、润滑剂、添加剂、润滑油黏度、工业用润滑油和润滑脂简介。

4) 螺纹连接和螺旋传动。螺纹、螺纹连接的类型和标准连接件、螺纹连接的预紧、螺纹连接的防松、螺栓组连接的设计、螺纹连接的强度计算、螺纹连接件的材料及许用应力、提高螺纹连接强度的措施、螺旋传动简介。

5) 键、花键、无键连接和销连接。

6) 带传动。带传动工作情况的分析、普通V带传动的设计计算、V带轮的设计、V带传动的张紧、安装与防护、其他带传动简介。

7) 链传动。链传动的特点、类型及应用, 滚子链与链轮, 链传动的运动特性, 链传动的失效形式及功率曲线图, 滚子链传动的设计计算, 链传动的布置、张紧与润滑, 其他链传动简介。

8) 齿轮传动。齿轮传动的失效形式、材料和热处理、圆柱齿轮的计算载荷、直齿轮受力分析和强度计算、直齿轮的参数选择和许用应力、斜齿轮受力分析和强度计算、直齿锥齿轮受力分析和强度计算、圆弧齿轮传动简介。

9) 蜗杆传动。蜗杆传动的类型、特点及应用, 圆柱蜗杆传动的主要参数及几何尺寸计算, 蜗杆传动的失效形式、计算准则及常用材料, 圆柱蜗杆传动的受力分析和计算载荷, 圆柱蜗杆传动的承载能力计算, 蜗杆传动的效率、润滑及热平衡计算, 蜗杆传动的结构设计。

10) 滑动轴承。滑动轴承的类型、特点和应用, 滑动轴承的结构与材料、不完全液体润滑滑动轴承的计算, 液体动压润滑原理, 液体动力润滑径向滑动轴承设计计算。

11) 滚动轴承。常用滚动轴承的类型、代号及选择, 滚动轴承内部载荷分布及失效分析, 滚动轴承寿命计算, 滚动轴承的静强度计算, 滚动轴承的组合设计。

12) 联轴器、离合器。

13) 轴。轴的材料、轴的结构设计、轴的强度计算、轴的刚度计算等。

14) 弹簧。弹簧的材料和制造、圆柱螺旋压缩和拉伸弹簧的设计计算、圆柱螺旋扭转弹簧、其他类型弹簧简介。

由上可知, 本课程是以一般尺寸通用零件的设计为核心的设计性课程, 是理论性、实践性很强的一门技术基础课程, 与大学中已经学习过的许多课程有显著的不同, 它具有工程性、系统性、综合性、典型性的特点。在这门课程中, 将综合运用已经学过的高等数学、机械制图、材料成形基础、工程材料及热处理、互换性与技术测量、理论力学、材料力学、机械原理等多方面的知识来解决通用化的机械零部件的设计问题。本课程在教学内容方面应着重基本知识、基本理论、基本方法和创新思维, 在培养实践能力方面应着重创新能力、设计构思和设计技能的基本训练。

本课程的主要任务是培养学生达到以下目标:

1) 知识目标——掌握机械设计基本原则和一般方法; 机械零件的工作原理、受力分析、应力分析、失效分析; 机械零件工作能力的计算; 机械零件的主要类型、性能、结构特



点、应用、材料及标准；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等。

2) 能力目标——掌握典型机械零件的试验方法；具有运用标准、规范、手册、图册和查阅有关技术资料的能力；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机械装置的能力等。

3) 素质目标——有正确的设计思想、创新思维和创新能力；具备团队合作精神；具有良好的质量、安全和环保意识等。

希望同学们在学习过程中，要根据本课程的特点，充分利用本课程提供的虚拟仿真教学资源，理论联系实际，把主要精力集中在钻研零件的结构、选材、制法、标准、规范、适用场合、工作情况、受力及应力分析、失效形式及其机理、设计准则、设计方法及步骤，以及可能出现的问题与相应的措施上。只有认真完成本课程的习题、作业和课程设计，重视实践性环节内容的学习，才能取得好的学习效果。另外，机械零件的种类很多，本书只学习其中的一些典型零、部件，但绝不是仅为了学会这些典型零、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、技术措施及设计方法，从而具有设计一切通用零、部件和某些专用零、部件（包括书中没有提到的乃至目前尚未出现的零、部件）的能力。逐步提高自己的理论水平，培养创新意识和能力，特别是提高分析问题及解决问题的能力，为专业课程学习和从事机械产品设计工作打下坚实的基础。



习 题

- 1-1 什么是通用零件？什么是专用零件？试各举3个实例。
- 1-2 机械设计课程研究的内容是什么？

机械设计总论

2.1 机器的组成

使用机器进行生产的水平是衡量一个国家的技术水平和现代化程度的重要标志之一。人类为了满足生产和生活的需要、提高劳动生产率和减轻体力劳动，设计和制造了类型繁多、功能各异的机器。

图 2-1 概括地说明了一部完整机器的组成，图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。

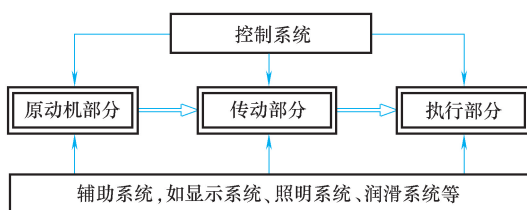


图 2-1 机器的组成

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多个动力源。一般来说，它们都是把其他形式的能量转换为可以利用的机械能。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，也可以把机器的功能分解成好几个执行部分。

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。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。传动部分将原动机的运动形式、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。也就是说，机器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。机械传动是大多数机器不可或缺的重要组成部分。

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，对机器的精度要求也就越来越高，机器还会不同程度地增加其他部分，如控制系统和辅助系统等。



以汽车为例，其组成如图 2-2 所示，发动机是汽车的原动机；离合器、变速器、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、排档杆、制动及其踏板、离合器踏板及油门组成控制系统；油量表、速度表、里程表、润滑油温度表等组成显示系统；后视镜、车门锁、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。

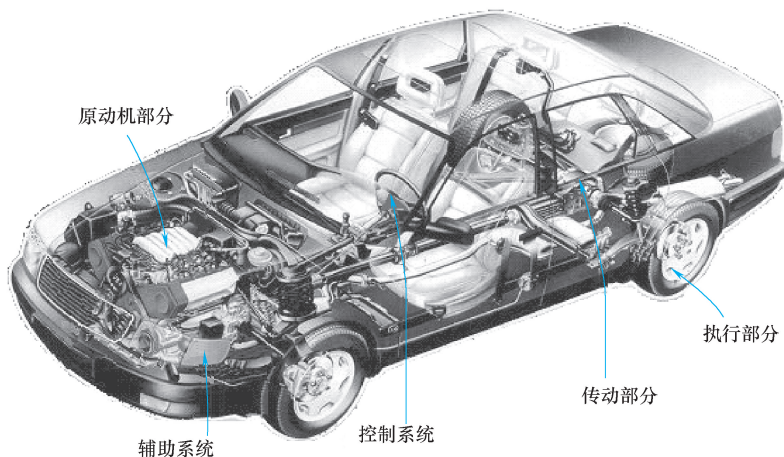


图 2-2 汽车的组成

2.2 设计机器的一般程序

机器设计过程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。要提高设计质量，必须有一个科学的设计程序。作为一部完整的机器，它是一个复杂的系统，设计机器的过程也是一个复杂的过程，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见表 2-1。

以下对各阶段分别加以说明。

1. 调研决策阶段

在根据需要提出所要设计的新机器后，进入设计的预备阶段。此时，对所要设计的机器仅有一个模糊的概念。

在明确设计任务的基础上，对所设计机器的需求情况做充分的调查研究和分析。其内容主要包括：用户对机器的功能、技术性能、价位、可维修性及外观等具体意见和要求，国内外同类机器的技术情报及专利，现有机器的销售情况及对该机器的预测，原材料及配件供应情况，有关机器可持续发展的政策、法规等。

通过调研分析，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，写出设计任务书，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，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。



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
调研决策		设计任务书
方案设计		提出原理性的设计方案——原理图或机构运动简图
技术设计		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
技术文件的编制		编制设计计算说明书、使用说明书、标准件明细表、其他技术文件等

2. 方案设计阶段

方案设计阶段对设计的成败起着至关重要的作用。在这一阶段中，也充分地表现出设计工作有多个解（方案）的特点。

市场需求的满足是以机器功能来体现的。实现机器的功能是机器设计的核心。此阶段，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，即分析这些功能能否实现、多项功能间有无矛盾、相互间能否替代等。在此基础上最终



确定出功能参数，并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。同一功能的原理方案可以是多种多样的，亦即提出可能采用的多种方案。通过对功能分析、优化筛选，取得较理想的功能原理方案。机器功能原理方案的好坏，决定了机器的性能和成本，关系到机器的技术、经济水平和竞争力，它是方案设计阶段的关键。寻求方案时，可按原动机部分、传动部分及执行部分分别进行讨论。较为常用的办法是从执行部分开始讨论。特别需要提出的是，必须不断地研究和发展的工作原理，这是设计技术发展的重要途径。

根据不同的工作原理，可以拟订多种不同的执行机构的具体方案。即使同一种工作原理，也可能有几种不同的结构方案，经过对多种结构方案的优选，确定执行机构。原动机部分的方案也有多种选择，根据实际情况进行选择，目前绝大多数的固定机械都优先选择电动机作为原动机。传动部分的方案就更为复杂多样了。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。

确定了机器的三大主要部分之后，还须考虑配置辅助系统。

对于确定可行的多个技术方案，从技术和经济及环保等方面进行综合评价。评价的方法很多，如经济性评价。在根据经济性进行评价时，既要考虑到设计及制造时的经济性，也要考虑到使用时的经济性。如图 2-3 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。

可靠性是评价的一个重要指标。进行机器评价时，需要对机器的可靠性进行分析。一般来讲，系统越复杂，则系统的可靠性会越低，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。因此，在设计结构时，不能盲目地追求结构的复杂性。

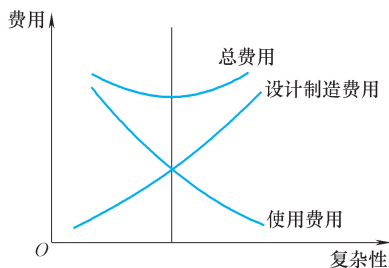


图 2-3 机器复杂性-费用曲线

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，以便提出技术上成熟的解决办法。

通过方案评价，确定较优方案。在方案设计阶段，要借鉴原有机器成功的先例并加以利用，在此基础上要积极地进行创新设计。反对保守直接照搬原有设计，但要注意，也不要一味求新而把合理的原有经验弃置不用。

3. 技术设计阶段

技术设计阶段是工作量最大的一个阶段，其目标是产生总装配草图及各部件装配草图。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，需要完成机器的运动学设计、机器的动力学计算、零件的工作能力设计、部件装配草图及总装配草图的设计、主要零件的校核等工作。

随着技术的进步，一些新的设计方法和概念不断诞生，在设计过程中，应不断地学习新



的技术和设计方法,并加以利用,以提高设计效率,提高设计的可靠性。比如:优化设计技术的出现,使得结构参数的选择达到最佳的能力;有限元方法,使以前难以定量计算的问题获得极好的近似定量计算的结果,使得复杂结构的计算变得简单可靠。机械可靠性理论用于技术设计阶段,提出改进设计的建议,从而进一步提高机器的设计质量。

草图设计完成以后,即可根据草图已确定的零件形状和基本尺寸,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。设计零件工作图时,要充分考虑到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。有些零件结构细节安排如果对零件的强度、刚度等工作能力有值得考虑的影响时,还须返回去重新校核该零件的工作能力。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。必要时可利用三维软件建立零件的三维模型和机器的三维装配体模型,一方面可以方便地检查出零件的结构和尺寸上的错误、零件之间是否干涉等,另一方面也可以通过运动仿真检验机器是否满足预期功能。

4. 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。

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和分析软件。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地分析。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。

在机器的制造过程中,随时都有可能出现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。任何机器在使用过程中,都可能由于使用不当、工作环境恶劣、未按时维修等原因发生故障。应该有计划地开展售后服务工作,进行质量跟踪调查,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。

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;要有法律和道德观念,遵守国家标准、设计规范、专利法等法律和法规条文及合同、协议等文件,对机器功能要实事求是,不夸大其性能指标;要有不断创新和改革的意愿和气质,要有善于学习和不断进取的精神,虚心征求用户、制造人员、管理人员、销售人员和同行技术专家的各种意见,从而制订适合实际情况的设计方案;要不断地学习新的知识,为改进和提高设计水平而努力。