



普通高等教育“十三五”规划教材
“十二五”江苏省高等学校重点教材



Fundamentals of Mechanical Design

机械设计基础

第③版

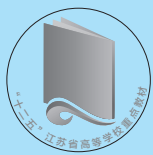
朱龙英 © 主编



 机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS

**Fundamentals of
Mechanical Design**

普通高等教育“十三五”规划教材



“十二五”江苏省高等学校重点教材（编号：2014-1-142）

机械设计基础

第3版

主 编 朱龙英
副主编 杨玉萍 陈 静
参 编 郁 倩 顾 玲 陈伟明
主 审 朱如鹏 周 海



机械工业出版社

“机械设计基础”课程是将“工程材料”“机械原理”和“机械设计”等课程的内容，经统筹安排、有机结合而成的一门专业技术基础课程。为适应近机械类及非机械类专业教学改革的需要，结合编者多年的教学经验和教学改革成果，充分反映学科前沿的发展动态，以培养应用型人才为目的，对原教材进行了修订。

本书的内容包括绪论、平面机构运动简图及其自由度、平面连杆机构、凸轮机构、齿轮机构、轮系、其他常用机构、机械的调速与平衡、带传动、链传动、连接、轴、轴承、其他常用零部件、机械传动系统设计、现代机械设计方法简介、附录。各章均附有思考题及习题。

本书可作为高等学校近机械类和非机械类专业机械设计基础课程的教材，也可供有关工程技术人员参考。

图书在版编目（CIP）数据

机械设计基础/朱龙英主编. —3版. —北京：机械工业出版社，2017.4
普通高等教育“十三五”规划教材 “十二五”江苏省高等学校重点教材（编号：2014-1-142）

ISBN 978-7-111-56264-1

I. ①机… II. ①朱… 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047006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：刘小慧 责任编辑：刘小慧 朱琳琳 任正一

责任校对：肖琳 封面设计：张静

责任印制：孙炜

保定市中国画美凯印刷有限公司印刷

2017年7月第3版第1次印刷

184mm×260mm·17.5印张·426千字

标准书号：ISBN 978-7-111-56264-1

定价：43.00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

封面无防伪标均为盗版

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

前 言

本书是根据高等学校机械设计基础教学基本要求，以培养应用型人才为指导思想，结合几年来各校使用本教材的实践经验和教学改革成果以及同行和读者的建议，按照“十二五”江苏省高等学校重点教材建设的要求而修订的。

编者对《机械设计基础》第2版做了较全面、系统的修改和补充，从满足教学基本要求、贯彻少而精的原则出发，力求使其更加充实、完善，重点突出、通俗易懂。与第2版相比，本次修订主要更新和增补的内容有：

1) 对各章的结构和基本概念进行了仔细推敲和更新，力求严谨、确切，便于教学。

2) 增加了现代机械设计方法一章内容，如优化设计、有限元和计算机辅助设计等设计思想和工程应用实例。还增加了复合材料、同步带传动、开式链机构等新技术概念，以适应时代的发展要求，反映学科发展的前沿动态。

3) 根据最新颁布的国家标准对带传动、链传动、螺纹连接、滚动轴承、弹簧和金属材料等内容予以更新。

4) 对基本理论及有关公式的论证与推导予以简化和删减，着重于其在设计中的应用，如曲柄存在的条件、螺纹的形成、带传动的几何关系等内容，使其更加清晰、明确。

5) 增补了一些例题和习题，以加强对学生的训练。

本书第1版于2001年出版，由盐城工学院朱龙英、郁倩，扬州大学顾玲，江南大学陈伟明和南通大学杨玉萍编写，朱龙英担任主编。参加本次修订工作的有：盐城工学院朱龙英（第1~4、7、8、15、16章）、郁倩（第5、6章），南通大学杨玉萍（第9~11章）和扬州大学陈静（第12~14章）。由朱龙英任主编，杨玉萍和陈静任副主编。

本书由南京航空航天大学朱如鹏教授和盐城工学院周海教授审阅，他们提出了宝贵的意见，在此表示衷心的感谢。

由于编者水平有限，殷切希望专家、同仁和读者在使用过程中对本书提出批评指正。

编 者

目 录

前言

第 1 章 绪论	1		
1.1 本课程研究的对象和内容	1	5.2 渐开线齿轮	54
1.2 机械设计的基本要求和一般过程	3	5.3 渐开线标准直齿圆柱齿轮啮合传动	60
1.3 机械零件的常用材料及选择	5	5.4 轮齿的切削加工与变位齿轮的概念	62
1.4 机械零件的计算准则及一般设计步骤	10	5.5 直齿圆柱齿轮的强度计算	66
1.5 机械零件的结构工艺性及标准化	11	5.6 斜齿圆柱齿轮传动	77
思考题及习题	14	5.7 直齿锥齿轮传动	84
		5.8 蜗杆传动	88
		思考题及习题	92
第 2 章 平面机构运动简图及其自由度	15	第 6 章 轮系	95
2.1 机构的组成	15	6.1 轮系及其分类	95
2.2 平面机构运动简图	17	6.2 定轴轮系的传动比计算	96
2.3 平面机构的自由度	18	6.3 周转轮系的传动比计算	98
思考题及习题	23	6.4 轮系的功用	103
		思考题及习题	105
第 3 章 平面连杆机构	25	第 7 章 其他常用机构	107
3.1 铰链四杆机构的基本类型及运动特性	25	7.1 棘轮机构	107
3.2 铰链四杆机构的演化	30	7.2 槽轮机构	110
3.3 平面四杆机构的运动设计	33	7.3 凸轮式间歇运动机构	111
思考题及习题	37	7.4 不完全齿轮机构	112
		7.5 开式链机构	113
		思考题及习题	116
第 4 章 凸轮机构	39	第 8 章 机械的调速与平衡	117
4.1 凸轮机构的应用和分类	39	8.1 机械的速度波动与调节	117
4.2 从动件常用的运动规律	41	8.2 回转件的平衡	119
4.3 凸轮机构的压力角和基圆半径	45	思考题及习题	125
4.4 图解法设计凸轮轮廓	47	第 9 章 带传动	127
4.5 解析法设计凸轮轮廓	50	9.1 带传动的类型、特点和应用	127
思考题及习题	51	9.2 带传动工作情况分析	131
		9.3 普通 V 带传动的设计计算	135
第 5 章 齿轮传动	53	9.4 同步带传动简介	142
5.1 齿轮传动的特点和类型	53		

9.5 带传动的使用和维护	146	13.2 滑动轴承的类型、结构和材料	202
思考题及习题	147	13.3 非液体摩擦滑动轴承的设计计算	206
第 10 章 链传动	149	13.4 轴承常用的润滑剂和润滑装置	208
10.1 链传动的类型、结构和特点	149	13.5 滚动轴承的类型、结构和代号	211
10.2 链传动的运动特性	153	13.6 滚动轴承选择计算	216
10.3 链传动的设计计算	154	13.7 滚动轴承装置设计	220
思考题及习题	160	思考题及习题	226
第 11 章 连接	161	第 14 章 其他常用零部件	228
11.1 概述	161	14.1 联轴器	228
11.2 螺纹的主要参数	162	14.2 离合器	233
11.3 螺纹副的受力分析、效率和自锁	164	14.3 弹簧	236
11.4 螺纹连接的类型和螺纹连接件	167	思考题及习题	245
11.5 螺纹连接的拧紧与防松	168	第 15 章 机械传动系统设计	247
11.6 螺栓组连接的设计和强度计算	171	15.1 机械传动系统方案设计	247
11.7 螺旋传动	177	15.2 机械传动系统的运动和动力计算	250
11.8 轴毂连接	180	思考题及习题	254
11.9 其他连接简介	186	第 16 章 现代机械设计方法简介	255
思考题及习题	188	16.1 优化设计	255
第 12 章 轴	192	16.2 有限元法	260
12.1 轴的分类和材料	192	16.3 计算机辅助设计	265
12.2 轴的结构设计	194	16.4 绿色设计	268
12.3 轴的设计计算	196	思考题及习题	269
思考题及习题	200	附录	271
第 13 章 轴承	202	参考文献	273
13.1 轴承的分类	202		

第1章

绪论

1.1 本课程研究的对象和内容

1.1.1 本课程研究对象

本课程研究的对象是机械及其零部件。机械是机器和机构的总称，机械零件是组成机器的基本单元。

机器是人类在生产生活中用以代替或减轻人的劳动的重要工具，也是用来完成人类无法从事或难以从事的各种复杂或危险劳动的重要工具。在现代生活和工作中，广泛地使用了各种机器，如电动机、内燃机、汽车、机器人、缝纫机和洗衣机等。机器的设计、制造及应用水平是衡量一个国家技术水平和现代化程度的重要标志。

图 1-1 所示为单缸四冲程内燃机，它是由气缸体 1、曲轴 2、连杆 3、活塞 4、进气阀 5、排气阀 6、顶杆 7、凸轮 8、齿轮 9 和 10 等组成的。燃气推动活塞做往复移动，经连杆转变为曲轴的连续转动，便把燃气的热能转变成机械能。

图 1-2 所示为一送料机械手，它由电动机通过减速装置（图 1-2 中未画出）减速后，通

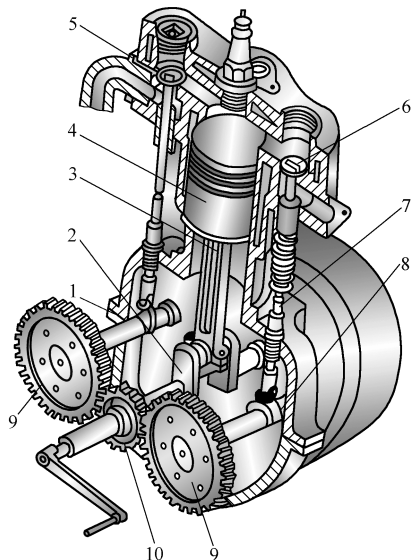


图 1-1 单缸四冲程内燃机

- 1—气缸体 2—曲轴 3—连杆 4—活塞
- 5—进气阀 6—排气阀 7—顶杆 8—凸轮
- 9、10—齿轮

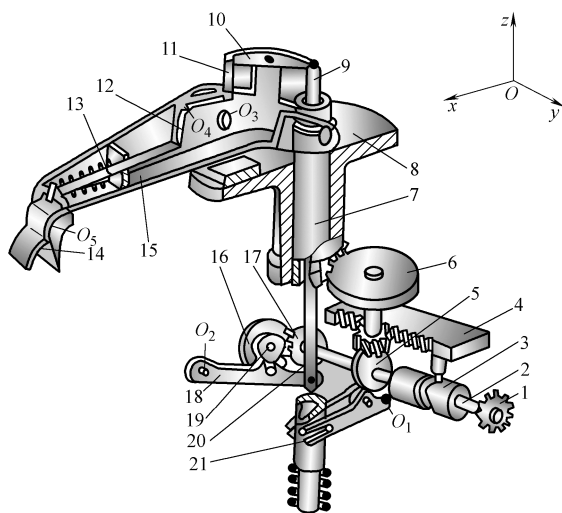


图 1-2 送料机械手

- 1、6、16、17—齿轮 2—分配轴 3、5、19—凸轮 4—齿条
- 7—圆筒 8—转盘座 9、10、11、12、13、20—杆件
- 14—手指 15—大臂 18、21—摆杆

过齿轮 1 带动分配轴 2 转动, 通过齿轮 17、16、凸轮 19、杆 20、9、10、11、12 和连杆 13 使手指 14 张开, 以夹持工件。手指 14 的复位夹紧由弹簧实现。凸轮 5 转动通过摆杆 21 和圆筒 7 使大臂 15 绕 O_3 轴上、下摆动 (O_3 支承在转盘座 8 上)。此外, 圆柱凸轮 3 通过齿轮传动使转盘座 8 往复回转。以上各部分协同动作, 便能使机械手代替人送料而做有用的机械功。

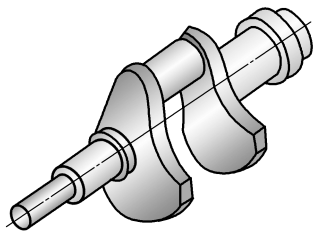


图 1-3 曲轴

从以上两例可以看出, 尽管机器的构造、用途和性能各不相同, 但都具有以下三个共同的特征:

- 1) 都是许多人为实物的组合。
- 2) 各实物之间具有确定的相对运动。
- 3) 能完成有用的机械功 (如机械手代替人工作) 或转换机械能 (如内燃机将热能转换成机械能)。

凡同时具有上述三个特征的实物组合体称为机器。仅有前两个特征的称为机构。从结构和运动的观点看, 两者并无区别。机器是由机构和动力源组成的。一部机器可以由多个机构组成 (如内燃机由连杆机构、齿轮机构、凸轮机构组成), 也可以由一个机构组成 (如电动机由双杆机构组成)。机构在机器中起着改变运动形式、改变速度大小或改变运动方向的作用。

机器中普遍使用的机构称为常用机构, 如连杆机构、凸轮机构、齿轮机构等。

组成机构的各个人为实物称为构件。构件可以是单一的整体, 如图 1-3 所示的曲轴; 也可以是几个零件的刚性组合, 如图 1-4 所示的连杆, 它是由连杆体 1、连杆盖 5、螺栓 2 及螺母 3、开口销 4、轴瓦 6 和轴套 7 等多个零件组成的刚性结构, 是一个构件。因此, 构件是运动的基本单元, 而零件是制造的基本单元。

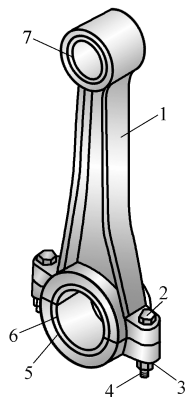


图 1-4 连杆

- 1—连杆体 2—螺栓 3—螺母
4—开口销 5—连杆盖 6—轴瓦
7—轴套

机械中的零件按其用途可分为两类。一类是通用零件。它是以一种国家标准或者国际标准为基准而生产的零件, 在各种机械中都经常使用, 如齿轮、轴、螺钉等。另一类是以自身机器标准而生产的一种零件, 在国家标准或国际标准中均无对应产品的零件, 它出现在某些专用机械中。只出现在某些专用机械中的零件, 称为专用零件, 如曲轴、连杆、活塞等。此外, 工程中还把完成同一使命、由企业独立加工装配的零件组合体称为部件, 如滚动轴承、联轴器、减速器等。

随着近代科学技术的发展, 机器和机构的概念也有了相应的变化。在某些情况下, 机构中除刚体外, 液体或气体也参与实现运动的传递和变换。作为一部完整的机器, 除具有机械系统外, 有些机器还包含了使其内部各机构正常动作的控制系统和信息处理与传递系统等。因此, 一部完整的机器通常由动力系统、传动系统、执行系统以及控制系统等组成, 如图 1-5 所示。现代机器不仅可以代替人的体力劳动, 而且还可以代替人的脑力劳动 (如智能机

器人)。

1.1.2 本课程研究的内容和性质

机械设计基础课程主要研究机械中常用机构和通用零部件的工作原理、结构特点、基本设计理论和计算方法,同时简单介绍与本课程有关的国家标准和规范。

本课程是高等学校工科有关专业的一门重要的技术基础课。它综合运用高等数学、工程力学(或理论力学和材料力学)、机械制图、金属工艺学等基本知识,去解决常用机构、通用零部件设计等问题。通过本课程的学习,可使学生具备使用、维护和改进机械传动装置的能力,培养学生运用手册、设计简单机械传动装置的能力,为以后从事技术革新创造条件,并为学习有关的专业课程奠定必要的基础。

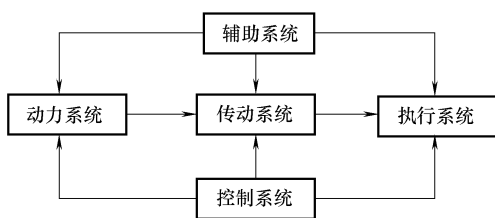


图 1-5 机器的组成

1.1.3 本课程的学习方法

本课程是一门实践性和综合性很强的课程,它涉及多门先修课程的知识。因此,学习中要注意以下几点:

- 1) 随时复习和巩固有关先修课程,注意提高自己综合应用各门课程知识的能力。
- 2) 理论联系实际,重视用所学的理论知识解决工程实际问题。
- 3) 注意设计原理和公式的适用条件,抓住重点、难点及分析问题的思路和方法。
- 4) 及时复习并按时完成作业。

1.2 机械设计的基本要求和一般过程

1.2.1 机械设计的基本要求

机械设计一般应满足如下要求:

1. 功能要求

机械产品必须满足预定的功能。预定的功能是设计之初由设计者或用户提出并确定的,如机器工作部分的运动形式、速度、运动精度、平稳性、需要传递的功率,以及某些使用上的特殊要求(如高温、防潮等)。这主要靠正确选择机器的工作原理,即正确地选择原动机、传动机构和执行机构以及合理地配置辅助系统来保证。

2. 可靠性要求

产品的可靠性是指产品在规定的使用条件下和规定的时间内,完成规定功能的能力。规定条件一般指的是使用条件或环境条件,包括应力、温度、湿度、尘砂、腐蚀等,也包括操作技术、维修方法等条件。在市场竞争日益激烈的今天,可靠性高的产品,不仅可为用户节省开支,巩固产品的信誉和品牌知名度,而且有助于提高市场竞争力。产品是否可靠,已成为企业生存和持续发展的最重要因素。

3. 经济性要求

在产品整个设计周期中,必须把产品设计、销售及制造三方面作为一个系统工程来考虑,用价值工程理论指导产品设计,正确使用材料,采用合理的结构尺寸和工艺,以降低产品的成本。设计机械系统和零部件时,应尽可能标准化、通用化、系列化,以提高设计质量、降低制造成本。

4. 社会要求

为使产品具有市场竞争力,机械产品应有大方宜人的外形和色彩,便于操作和维修。要符合国家环境保护等有关法律法规。

1.2.2 机械设计的一般过程

机械产品设计是一个复杂的过程,一般可分为:产品规划设计阶段、总体方案设计阶段、技术设计阶段和施工设计阶段。

1. 产品规划设计阶段

产品设计是一项为实现预定目标的有目的的活动,因此正确地决定设计目标是设计成功的基础。产品规划是根据市场需求选择设计对象,提出设计任务要求,进行可行性论证。

明确设计任务包括定出产品的总体目标和各项具体的技术要求,是设计、优化、评价、决策的依据。它包括分析所设计机械系统的用途、功能、各种技术经济性能指标和参数范围、预期的成本范围等,并对同类或相近产品的技术经济指标,同类产品的不完善性,用户的意见和要求,目前的技术水平以及发展趋势,认真进行调查研究和收集材料,以进一步明确设计目标及需要达到的功能和性能指标,给出详细的设计任务书。

2. 方案设计阶段

机械系统总体方案设计是根据机器要求进行功能设计研究。方案设计包括确定机器的工作原理,工作部分的运动和阻力,选择原动机的种类和功率,选择传动系统,确定各级传动比和各轴的转速、转矩和功率。方案设计时要考虑到机械的操作、维修、安装、外廓尺寸等要求,确定机械系统各主要部件之间的相对位置关系及相对运动关系,人-机-环境之间的合理关系。方案设计对机械系统的制造和使用都有很大的影响,为此,常需选出几个方案加以分析、比较,通过优化求解得出最佳方案。

3. 技术设计阶段

技术设计又称为结构设计。其任务是根据方案设计的要求,确定机械系统各零部件的材料、形状、数量、空间相互位置、尺寸、加工和装配,并进行必要的强度、刚度、可靠性设计,若有几种方案时,需进行评价决策,最后选择最优方案。技术设计时还要考虑加工条件、现有材料、各种标准零部件、相近机器的通用件。技术设计是保证质量、提高可靠性、降低成本的重要工作。技术设计还需绘制总体装配图、部件装配图、编制设计说明书等。技术设计是从定性到定量、从抽象到具体、从粗略到详细的设计过程。

4. 施工设计阶段

施工设计阶段就是将设计图样转化为产品的过程。进行加工工艺、装配工艺设计,制定工艺流程及零部件检验标准;进行加工、装配时必要的工具、量具、夹具和模具的设计;制定装配调试、试运行及性能测试的步骤及各阶段的技术指标;制定包装、运输、安装的要求及随机器提供的备件、专用工具明细表等。

样机试制是通过样机制造、样机试验、检查机械系统的功能及整机、零部件的强度、刚度、运转精度、振动稳定性、噪声等方面的性能，根据样机试验、使用、测试、鉴定所暴露的问题，进一步修正设计，以保证完成系统功能，同时验证各工艺的正确性，以提高生产率、降低成本，提高经济效益。

产品设计过程是创造性的活动过程，它体现了设计人员的创新思维活动，设计过程是逐步逼近解答方案并逐步完善的过程。在设计过程中还应注意几点：

- 1) 设计过程要有全局观点，不能只考虑设计对象本身的问题，而要把设计对象看作一个系统，处理人-机-环境之间的关系。
- 2) 善于运用创造性思维和方法，注意考虑多方案解，避免解答的局限性。
- 3) 设计的各阶段应有明确的目标，注意各阶段的评价和优选，以求出既满足功能要求又最有可能实现的方案。
- 4) 要注意反馈及必要的工作循环。解决问题要由抽象到具体，由局部到全面，由不确定到确定。

上述设计过程的各个阶段是相互联系、相互影响的，常需要相互交叉进行，并且往往要多次反复，不断修正，有时甚至推翻重来，才能使设计达到最佳。即使机械投入市场后，也要进行跟踪调查，根据用户反馈的信息，对产品不断改进完善。

随着科学技术的发展，新的设计方法不断涌现，如计算机辅助设计（CAD）、优化设计、可靠性设计等，尤其是CAD技术发展迅速。CAD/CAM/CAE系统使机械产品可以直接在计算机上进行仿真模拟，而不需要样机试制，就可以通过分析计算出各项技术指标，这不仅大大缩短了设计周期，而且取得了巨大的经济效益和社会效益。

1.3 机械零件的常用材料及选择

1.3.1 机械零件的常用材料

机械零件的常用材料可分为金属材料和非金属材料两类。金属材料又分为钢铁金属（如钢、铸铁等）和非铁金属（如铜、铝及其合金）两类，其中以钢铁金属材料用得最多。

1. 钢铁金属

钢铁金属材料是指含铁的金属材料。常用钢铁材料的牌号及力学性能见表1-1。

(1) 钢 钢和铸铁都是铁碳合金。它们的主要区别是碳的质量分数不同。碳的质量分数小于等于2.11%的称为钢，碳的质量分数大于2.11%的称为铸铁。

钢是机械工业中应用最广的材料，其强度、韧性、塑性都比铸铁高，并能用热处理方法来改善其加工性能和力学性能。

钢的类型很多，按用途分，钢可分为结构钢、工具钢和特殊用途钢。结构钢可用于加工一般机械零件和各种工程结构。工具钢可用于制造各种刀具、模具等。特殊用途钢（不锈钢、耐热钢、耐腐蚀钢）主要用于特殊的工况条件下。按化学成分分，钢可分为碳素钢和合金钢。

碳素钢包括普通碳素结构钢和优质碳素结构钢。普通碳素结构钢（如Q235、Q275）一般只保证机械强度而不保证化学成分，不宜进行热处理，通常用于不太重要的零件和机械结

构中。优质碳素结构钢（如 30、45 钢）的性能主要取决于其碳的质量分数。低碳钢是碳的质量分数低于 0.25% 的钢，其强度极限和屈服极限较低，塑性较高，焊接性好，通常用于制造冲压件和焊接件。碳的质量分数在 0.1%~0.2% 的低碳钢零件可通过渗碳淬火使其表面硬而心部韧，一般用于要求表面耐磨而且耐冲击的零件。中碳钢是碳的质量分数在 0.25%~0.6% 之间的钢，它的综合力学性能较好，因此可用于制造受力较大的零件。碳的质量分数高于 0.6% 的是高碳钢，具有较高的强度，通常用于制造强度要求较高的零件。

合金钢（如 40Cr、42SiMn）是在碳钢中加入某些合金元素冶炼而成的。加入不同的合金元素可改变钢的力学性能并具有各种特殊性质。例如，铬能提高钢的硬度，并在高温时防锈耐酸；镍使钢具有良好的淬透性和耐磨性。但合金钢零件一般都需经过热处理才能提高其力学性能。此外，合金钢较碳素钢价格高，对应力集中亦较敏感，因此只在碳素钢难于胜任工作时才考虑采用。

铸钢是在凝固过程中不经历共晶转变的用于生产铸件的铁基合金。铸钢分为铸造碳钢（如 ZG310-570）、铸造低合金钢（如 ZG20Mn）和铸造特种钢（如 ZG40Cr25Ni12Si2）三类。铸钢通常用于制造结构复杂、体积较大的零件。铸钢的力学性能与锻钢基本相近，但铸钢的铸造性能不及铸铁。

表 1-1 常用钢铁材料

材 料		力 学 性 能		
名 称	牌 号	抗拉强度 σ_b /MPa	屈服强度 σ_s /MPa	硬 度 /HBW
普通碳素结构钢	Q215	335~450	215	
	Q235	370~500	235	
	Q275	410~540	275	
优质碳素结构钢	20	410	245	156
	35	530	315	197
	45	600	355	241
合金结构钢	18Cr2Ni4WA	1180	835	260
	35SiMn	885	735	229
	40Cr	980	785	207
	40CrNiMoA	980	835	269
	20CrMnTi	1080	850	217
铸钢	ZG230-450	450	230	≥ 130
	ZG270-500	500	270	≥ 143
	ZG310-570	570	310	≥ 153
灰铸铁	HT150	145	—	150~200
	HT200	195	—	170~220
	HT250	240	—	190~240
球墨铸铁	QT450-10	450	310	160~210
	QT500-7	500	320	170~230
	QT600-3	600	370	190~270
	QT700-2	700	420	225~305

(2) 铸铁 铸铁是由工业生铁、废钢等钢铁及其合金材料经过高温熔融和铸造成型而得到的，其成分除碳外还含有一定数量的硅、锰、硫、磷等化学元素和一些杂质。有时还加

一些其他化学元素。铸铁又名生铁，是冶金厂的重要初级产品，大部分用于炼钢，另一部分供给机器制造厂生产铸铁件，作为二次重熔的主要炉料。铸铁成本低廉，铸造性能和使用性能良好，故铸铁是现代机器制造业的重要和常用的结构材料。其重量一般占机器总重量的60%~70%。

铸铁中的碳以石墨形态析出，析出的石墨呈条片状的铸铁称为灰铸铁（如HT200），析出的石墨呈蠕虫状的铸铁称为蠕墨铸铁（如RuT420），析出的石墨呈团絮状的铸铁称为白口铸铁或码铁（KBT350-04），析出的石墨呈球状的铸铁称为球墨铸铁（QT400-15）。与钢相比，铸铁的抗拉强度、塑性、韧性较差，但抗压强度高，且具有良好的铸造性能，可铸成形状复杂的零件。此外，它的耐磨性、切削加工性较好，且价格低廉。因此，应用甚广，特别是机座和形状复杂的零件。

常用灰铸铁和球墨铸铁。灰铸铁性质较脆，抗胶合及抗点蚀能力强，具有良好的减摩性、加工工艺性，价格较低，但抗冲击及耐磨性能差。常用于制造工作平稳、速度较低、尺寸较大、形状复杂的耐压零件，如机架、机座等。球墨铸铁的强度接近于普通碳素钢，伸长率和耐冲击性都较好，且铸造性、耐磨性好，可代替铸钢和锻钢用来制造曲轴、凸轮轴、液压泵齿轮、阀体等，已广泛应用于机械中。

2. 非铁金属

有色金属合金具有良好的减摩性、跑合性、抗腐蚀性、抗磁性、导电性等特殊的性能，在工业中应用最广的是铝合金、铜合金和轴承合金，但非铁金属合金比钢铁金属价格贵。

铝合金具有高的强度极限与密度比，用它制成的零件，在同样的强度下比其他金属材料质量小。铝锡合金材料也可用作滑动轴承衬，具有良好的减摩和抗粘着性能。

铜合金有青铜与黄铜之分。黄铜是铜与锡的合金，具有很好的塑性和流动性，能辗压和铸造各种机械零件。青铜有锡青铜和无锡青铜两类，减摩性和抗腐蚀性均较好。

轴承合金（即简称巴氏合金）为铜、锡、铅、锑的合金，有良好的减摩性、导热性和抗胶合性，但强度低且较贵，主要用于制作滑动轴承的轴承衬。

3. 非金属材料

常用的非金属材料有橡胶、塑料、皮革、木材等。橡胶富于弹性、耐冲击，且摩擦系数大，常用作联轴器或减振器的弹性元件，以及带传动中的带等。塑料具有密度小、易成型、耐磨、耐蚀、绝热、绝缘等优点。常用塑料包括聚氯乙烯、聚烯烃、聚苯乙烯、酚醛和氨基塑料。工程塑料包括聚甲醛、聚四氟乙烯、聚酰胺、聚碳酸酯、ABS、尼龙、MC尼龙、氯化聚醚等。目前某些齿轮、蜗轮、滚动轴承的保持架和滑动轴承的轴承衬均有使用塑料制造的。一般工程塑料耐热性能较差，而且易老化从而使性能逐渐变差。

4. 复合材料

复合材料是由两种或两种以上不同性质的材料，通过物理或化学的方法，在宏观（微观）上组成具有新性能的材料。它可以发挥各种材料的优点，克服单一材料的缺陷，扩大材料的应用范围。由于复合材料具有重量轻、强度高、加工成型方便、弹性优良、耐化学腐蚀和耐候性好等特点，已逐步取代木材及金属合金，广泛应用于航空航天、汽车、电子电气、建筑、健身器材等领域，在近几年更是得到了飞速发展。

复合材料的基体材料分为金属和非金属两大类。金属基体常用的有铝、镁、铜、钛及其合金。非金属基体主要有合成树脂、橡胶、陶瓷、石墨、碳等。增强材料主要有玻璃纤维、

碳纤维、硼纤维、芳纶纤维、碳化硅纤维、石棉纤维、晶须、金属丝和硬质细粒等。

复合材料按其组成为金属与金属复合材料、非金属与金属复合材料、非金属与非金属复合材料。按其结构特点又分为：①纤维增强复合材料。将各种纤维增强体置于基体材料内复合而成，如纤维增强塑料、纤维增强金属等。②夹层复合材料。由性质不同的表面材料和芯材组合而成。通常面材强度高、薄；芯材重量轻、强度低，但具有一定刚度和厚度。③细粒复合材料。将硬质细粒均匀分布于基体中，如弥散强化合金、金属陶瓷等。④混杂复合材料。由两种或两种以上增强相材料混杂于一种基体相材料中构成。与普通单增强相复合材料比，其冲击强度、疲劳强度和断裂韧性显著提高，并具有特殊的热膨胀性能。

1.3.2 常用热处理方法

金属热处理工艺大体可分为整体热处理、表面热处理、局部热处理和化学热处理等。根据加热介质、加热温度和冷却方法的不同，每一类又可区分为若干不同的热处理工艺。同一种金属采用不同的热处理工艺，可获得不同的组织，从而具有不同的性能。整体热处理是对工件整体加热，然后以适当的速度冷却，以改变其整体力学性能的金属热处理工艺。钢铁整体热处理大致有退火、正火、淬火和回火四种基本工艺。通过热处理可以改变钢材的内部组织结构，从而改善其力学性能。

1. 退火

退火是把钢制零件或钢坯加热到临界温度以上 $30\sim 50^{\circ}\text{C}$ ，保温一定时间，然后使其随炉冷却到室温的过程。退火能使金属晶粒细化，组织均匀，可以消除零件的内应力，降低硬度，提高塑性，改善切削加工性能。

2. 正火

正火又称为常化，其工艺过程与退火相似，所不同的是正火在空气中冷却，冷却速度较快，可以得到更细的结晶组织，提高工件的硬度和强度。

3. 淬火

淬火是把零件加热到临界温度以上，保温一定时间后，将零件放入水或油中急剧冷却的过程。淬火可以大大提高钢的硬度、强度和耐磨性，但材料的脆性增加，塑性、韧性降低，同时产生较大的内应力，使零件有严重变形和开裂的危险，故淬火后必须进行回火处理。

对于一些表面要求有较高硬度以增加其耐磨性，而心部有高韧性以提高其抗冲击能力的零件，可以采用表面淬火工艺，如火焰淬火、高频感应淬火等。

4. 回火

回火是把淬火后的零件再加热到临界温度以下适当温度，保温一定时间，然后在空气中冷却至室温的过程。回火不但可以消除淬火时产生的内应力，而且可以提高材料的综合力学性能。

回火后材料的力学性能与回火温度有关，根据回火的温度不同，通常分为低温回火、中温回火和高温回火三种。

(1) **低温回火 ($150\sim 250^{\circ}\text{C}$)** 低温回火主要用来降低材料的脆性和淬火应力，并能保持高的硬度，适用于要求高硬度的耐磨零件，如刀具、模具等。

(2) **中温回火 ($350\sim 500^{\circ}\text{C}$)** 中温回火的目的在于保持一定韧性的条件下，提高材料的弹性，主要用于各种弹簧和承受冲击的零件。

(3) 高温回火 (500~650℃) 淬火后进行高温回火的过程通常称为调质。调质处理可使零件获得良好的综合力学性能。一些重要的零件, 特别是一些受变应力作用的零件, 如连杆、齿轮、轴等, 常采用调质处理。

表面热处理是只加热工件表层, 以改变其表层力学性能的金属热处理工艺。为了只加热工件表层而不使过多的热量传入工件内部, 使用的热源须具有高的能量密度, 即在单位面积的工件上给予较大的热能, 使工件表层或局部能短时或瞬时达到高温。表面热处理的主要方法有激光热处理、火焰淬火和感应加热热处理, 常用的热源有氧乙炔或氧丙烷等火焰、感应电流、激光和电子束等。

化学热处理是通过改变工件表层化学成分、组织和性能的金属热处理工艺。化学热处理与表面热处理的不同之处是前者改变了工件表层的化学成分。化学热处理是将工件放在含碳、氮或其他合金元素的介质(气体、液体、固体)中加热, 保温较长时间, 从而使工件表层渗入碳、氮、硼和铬等元素。渗入元素后, 有时还要进行其他热处理工艺, 如淬火及回火。化学热处理的主要方法有渗碳、渗氮、渗金属、复合渗等。渗碳零件常用的材料是低碳钢和低碳合金钢。零件经过渗碳后, 表层碳的质量分数增高, 经过淬火后, 表面的硬度和耐磨性提高, 而心部仍保持良好的塑性和韧性, 使零件既耐磨又抗冲击。

1.3.3 材料的选择原则

合理地选择零件材料是机械设计中的一个重要环节, 要从多种材料中选择合适的材料受到多方面因素的制约。在以后的各章节中将分别介绍根据经验而推荐的适用材料。这里仅提出一般原则, 作为选择材料的依据。

1. 零件的工作情况

对于以强度为计算准则的零件, 首先要考虑载荷的性质、应力的性质和大小。对于承受静应力且应力不大的零件, 可用普通碳素钢; 对于承受较大的应力或冲击载荷的零件, 可选用优质碳素钢或合金钢; 脆性材料原则上只适用于制造在静载荷下工作的零件, 常用于承压零件。

在湿热环境下工作的零件, 其材料应有良好的防锈和耐腐蚀的能力, 如选用不锈钢、铜合金等。零件在工作中有可能发生磨损, 要提高其表面的硬度, 以增强耐磨性, 可选用易于进行表面处理的淬火钢、渗碳钢、氮化钢等。

2. 零件的结构尺寸及材料的加工工艺性

结构复杂或尺寸较大的零件宜选用铸造毛坯, 或用板材冲压出元件后再焊接而成。结构简单、尺寸较小的零件可用锻造毛坯。材料的加工工艺性是指材料的铸造性能、锻造性能、焊接性能、切削加工性能和热处理性能等。上述各种性能在有关资料中都有介绍。

3. 材料的经济性

材料的经济性首先表现为材料本身的相对价格。当用价格低廉的材料能满足使用要求时, 就不应选用价格高的材料。

材料的经济性是一个综合的因素, 在选择材料时, 还应考虑其加工费用、材料的利用率、节约稀有材料等多种因素, 从而使成本最低。

4. 材料的供应状况

选择材料时, 还要考虑材料供应的可能性, 采购、运输、储存的费用等。为了减少供应