

JIXIESHEJIJICHU
LILUNYUFANGFA

机械设计

基础理论与方法

陈修祥 郅吉才 胡瑞华◎著



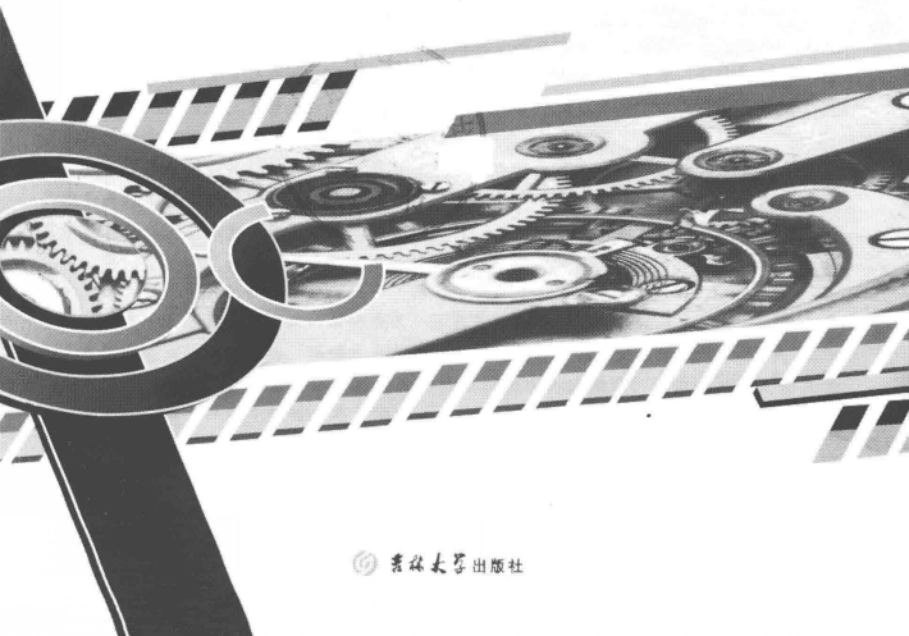
吉林大学出版社

JIXIESHEJIJICHU
LILUNYUFANGFA

机械设计

基础理论与方法

陈修祥 邹吉才 胡瑞华 著



◎ 吉林大学出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

机械设计基础理论与方法 / 陈修祥, 邹吉才, 胡瑞
华著. — 长春: 吉林大学出版社, 2017. 3
ISBN 978-7-5677-9636-2

I. ①机… II. ①陈… ②邹… ③胡… III. ①机械设
计 IV. ①TH122

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2017) 第 085853 号

书 名 机械设计基础理论与方法
JIXIE SHEJI JICHU LILUN YU FANGFA

作 者 陈修祥 邹吉才 胡瑞华 著

策划编辑 黄竹怡

责任编辑 邵宇彤

责任校对 魏丹丹

装帧设计 周香菊

出版发行 吉林大学出版社

社 址 长春市朝阳区明德路 501 号

邮政编码 130021

发行电话 0431-89580028/29/21

网 址 <http://www.jlup.com.cn>

电子邮箱 jlup@mail.jlu.edu.cn

印 刷 北京京之杰印务公司

开 本 787×1092 1/16

印 张 19.25

字 数 450 千字

版 次 2017 年 5 月 第 1 版

印 次 2017 年 5 月 第 1 次

书 号 ISBN 978-7-5677-9636-2

定 价 38.00 元

版权所有 翻印必究

前 言

科学技术起源于人类对原始机械和力学问题的研究。随着人类社会的发展，机械出现在人们日常生活、生产、交通运输、军事和科研等各个领域。人们不断地要求机械最大限度地代替人的劳动，并产生更多、更好的劳动成果，这就要求机械不断地向自动化和智能化方向发展。如今，具有自动化功能的机器越来越多，如各种数控机床、机器人、柔性自动化生产线、自动导航的大型客机、适合不同用途的运载火箭等。

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。

机械设计是影响机械产品性能、质量、成本和企业经济效益的一项重要工作，机械产品能否满足用户要求，很大程度上取决于设计。随着科学技术的进步和生产的发展，市场竞争日益激烈，企业为了获得自身的生存和发展，必须不断地推出具有市场竞争能力的新产品。因此，机械产品更新换代的周期将日益缩短，对机械产品在质量和品种上的要求将不断提高，这就对机械设计人员提出了更高的要求。

本书基于上述背景，力求以新的观点、方式和体系进行编写，注重系统硬件设计方法和基本概念理论的深入了解，强调基本原理和方法的内在联系。为了达到以上目的，本书在编写过程中采用了理论和实际紧密结合的方法，力求内容翔实，体系新颖，突出基础性、实用性、综合性和先进性。全书围绕工程设计的基本要求“快速性、稳定性、准确性”开展系统分析与校正。

本书的具体内容包括：机械设计的内涵，机械零件（包括齿轮、链、轴、轴承、螺纹、弹簧等）的设计原理与方法，机械系统设计与机械结构的工艺性等设计，机械设计的方法（包括可靠性设计、优化设计、有限元分析、机械动态设计、计算机辅助设计等）

和机械创新设计实践等。同时，本书还针对性的加入了传动精确性设计、齿轮有限元分析、减速器装配设计等实例分析，以便于读者更好的了解机械设计方法的运用。本书在文字叙述上力求深入浅出、循序渐进，以帮助读者从整体上掌握现代机械工程系统的设计和分析方法。

全书由江苏理工学院陈修祥老师、河南理工大学邹吉才老师、郑州工业应用技术学院胡瑞华老师合作完成，共计45万字。其中陈修祥老师负责全书统稿和第二、三、九、十一、十二章的撰写工作，合计18万字；邹吉才老师负责第六、七、八、十章的撰写工作，合计15万字；胡瑞华老师负责第一、四、五章的撰写工作，合计12万字。

由于作者水平有限，书中难免存在遗漏或不足之处，欢迎广大读者和同行批评指正。



第一章 机械与机械设计	1
第一节 机械的分类与功能组成	1
第二节 机械零件常用材料和选用原则	6
第三节 机械设计的原则和一般程序	14
第四节 现代机械设计学科的发展趋势	17
第二章 机械系统设计	21
第一节 机械系统设计的原则与基本要求	21
第二节 人—机—环境工程下的机械系统设计	28
第三节 机械系统设计中的专家系统与仿真技术	33
第四节 机械系统设计的细节——润滑和冷却	38
第三章 机械传动装置设计方法与实践	50
第一节 齿轮传动装置设计	50
第二节 蜗杆传动的结构、强度与效率设计	63
第三节 链传动的布置与润滑设计	68
第四章 机械零件连接设计	72
第一节 螺纹的连接设计	72
第二节 轴零件的周向固定连接设计	90
第三节 销连接设计	95
第五章 轴系零部件和弹簧设计	97
第一节 轴的结构设计和强度计算	97
第二节 滑动轴承结构设计与润滑方法	106
第三节 滚动轴承的失效形式与组合设计	112
第四节 不同特性弹簧的选择和评定	118
第六章 机械结构设计方法	124
第一节 机械结构设计的基本原则与原理	124
第二节 机械结构设计中提高机械精确度的方法	128
第三节 机械零部件的结构工艺性设计	135

第七章 机械优化设计原理与方法	144
第一节 机械优化设计基础知识.....	144
第二节 机械优化设计的数学原理.....	147
第三节 机械优化设计方法探究.....	157
第四节 机械优化设计实例.....	170
第八章 机械设计中的有限元法分析	173
第一节 有限元法的发展背景.....	173
第二节 有限元法的解题步骤.....	174
第三节 机械结构中的有限元分析与优化设计.....	180
第四节 齿轮有限元分析实例.....	191
第九章 机械可靠性设计与分析	194
第一节 机械可靠性设计基础知识.....	194
第二节 机械可靠性设计的基本原理.....	198
第三节 机械零件的可靠性设计.....	204
第四节 机械系统的可靠性分析.....	216
第十章 机械动态设计方法与分析	228
第一节 机械动态设计基础知识.....	228
第二节 机械动态设计的建模方法.....	236
第三节 轴类部件和传动系统的动态设计方法分析.....	248
第十一章 计算机辅助设计	257
第一节 计算机辅助设计基础知识.....	257
第二节 CAD 系统的图形和工程数据处理.....	258
第三节 滚动轴承的 CAD 设计.....	265
第四节 基于 SolidWorks 的减速器装配设计.....	268
第十二章 机械创新设计理论与发展	273
第一节 机械创新设计概述.....	273
第二节 创新技法研究.....	277
第三节 机械功能原理及结构的创新设计.....	282
第四节 机电一体化创新设计的发展.....	289
附录 标准正态分布数值表	295
参考文献	300

第一章 机械与机械设计

在现代社会中,机械已成为人类在生产 and 生活中广泛使用的主要工具,机械的发展水平与社会的发展水平密切相关,是衡量社会生产和科学技术发展程度的重要标志之一。机械包括机器和机构两部分,因而对于现代社会中的众多机器和机构来说都是属于机械的一部分,而机械类别之多,范围之大,应用之广,于人们的生活中无处不在,随处可见。

机械设计学的产生是基于社会和人们日益增加的对机械产品功能的需要,机械设计针对这一需要通过运用基础知识、专业知识、实践经验和系统工程等方法,进行设想和构思、计算和分析,最后以技术文件的形式,提供产品制造依据的全过程工作。设计是为提供社会所需的产品进入市场所必要的一系列创新思维和活动。

而随着社会的快速发展,机械已不仅仅只是人们日常生活工作中使用的机器和机构,在这一发展的过程中,有了为满足社会和人们日益增加的对机械使用的需要而产生发展的机械设计,并逐渐发展成为专业的独立的一门学科,统称为机械设计学。机械设计学是一门独立的工程技术学科,是在现代设计理论、方法和技术及相关学科迅速发展的基础上逐渐形成的。而以机械设计学为核心的几门学科构成了机械设计学科体系。

机械设计学科的产生从侧面表现了现代社会对于机械的重度需求,以及机械设计对产品的创新研发日益成熟,产品功能不断更新升级,其内容也随之丰富更新。

第一节 机械的分类与功能组成

一、机械的概念及分类

(一) 机械的基本概念

机械(machinery)是机器和机构的统称。机械是一种工作装置,是用来帮助人们降低工作难度,省时省力。机械可以分为简单机械和复杂机械。简单机械,顾名思义,就是像筷子、镊子这类制作简单的物品,而复杂机械因制造复杂,一般是两种或两种以上的简单机械构成的。机械是一种人为的实物构件的组合,机械各部分之间具有确定的相对运动。一般来说,机器是一些比较复杂的机械,从结构和运动的角度来说,机构与机器并无多少区别,因而两者泛称为机械。

机器装置的组成为各种金属和非金属部件,消耗能源,运转、做功,并能够进行能

量变换以及产生有用功,若干个零件按照一定的关系装配成一台机器或一个部件。^①

机器的种类繁多且应用范围极广。随着社会行业的发展,从生活中随处可见的各种家用物理装置,如电灯、电话、电视机、冰箱、电梯等;当然广义的机械之中,例如各种机床、自动化装备、化工厂、电厂、飞机、轮船、航空母舰等。无论是生说中的家用电器还是生产工作中的大型机器,遍布了人们的整个生产生活,可以说是构成了人类现代生活的基础。随着各个行业发展的需要,各种新颖形式的机器层出不穷,但都具有机器的共同特征。机器实质上就是一种人工组成的具有确定机械运动的装置,能够代替人类的劳动以完成有用的机械功或转换机械能。现代化机器的组成比较复杂,其控制和信息处理通常是由计算机来完成的。无论现代化机器如何更新换代,其功能都是相同的,其机械装置皆是用来产生确定的机械运动,并通过机械运动来完成有用的工作过程。所以,机器设计的核心是实现机械运动传递和执行。

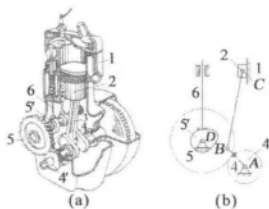


图 1-1 单缸四冲程内燃机及机构简图

(a) 单缸四冲程内燃机; (b) 内燃机机构简图

从图 1-1 可以得知,机器的主体部分是由多个运动构件组合而成的。从运动学的观点来说,机构是机器中的运动单元体。也可以说,机构是可以进行构件之间的运动转换,是一种具有确定运动的构件系统。随着现代机器的不断更新和发展,出现了较为广义的概念,即机器是各种驱动元件与构件相融合的实体。机构概念的提出,对于作为机器核心的传动和执行机构系统的组成尤为重要。

(二) 机械的分类

随着社会的高速发展,机械产品不断更新升级,逐步满足人们的需求,而新的机械产品出现的种类越来越多,令人眼花缭乱,而各种功能的机械产品的出现,也使得机械的分类具有了一定的难度。当然,因机械产品的功能种类不同,其分类的方法也是不同的。

按照传统的产业分类方法,可以分为:农业机械、林业机械、矿山机械、工程机械、纺织机械、冶金机械、食品机械、化工机械、交通运输机械等。

又可按照服务领域分为以下五种机械:

(1) 用于能量转换的机械。包括将热能、化学能、电能、流体压力能和天然机械能转换为适合于应用的机械能的各种动力机械;以及将机械能转换为所需的其他能量(电能、热的、流体压力能、势能等)的能量变换机械。

^① 侯秀珍. 机械系统设计 [M]. 哈尔滨: 哈尔滨工业大学出版社, 2015.

(2) 生产各种产品的机械。包括农、林、牧、渔业机械和矿山机械等。

(3) 从事各种服务的机械。包括交通运输机械、办公机械、机械手、医疗器械, 通风、采暖和空调设备, 除尘、净化、消声等环保设备。

(4) 应用于家庭和个人生活中的机械。例如智能手机、洗衣机、冰箱、照像机、健身器材、电动车等。

(5) 各种机械武器。如枪支等。

当然机械还可按照其功能来进行分类, 可分为工艺类机械和非工艺类机械两大类。^①

工艺类机械是对物料进行工艺性加工的机械, 这类机械具有专用的工作头; 非工艺类机械则不对任何物料进行工艺性加工, 只是为了实现某种需求。

工艺类的机械可分为: 金属冷加工设备、金属热加工设备、矿石粉磨机械、食品机械、橡胶机械、木工机械等。

非工艺类机械可分为: 交通运输机械、物料搬运机械、动力机械, 各类阀门、泵、压力容器等。

但是随着机械产品越来越复杂, 机械产品的分类就有了一定的难度, 例如医疗机械一般来说应当属于非工艺类, 但其中的设备有的却是属于工艺类的, 如牙钻等。

因此, 随着人们日益增加的需求, 机械产品的复杂性逐渐增加, 对机械的分类也不再仅仅局限于之前的几种分类, 更多的是根据机械的功能来进行分类, 这种按照功能的分类方式, 强调了其功能, 有利于机械设计的构思和创新, 也使得不同产业机械的机构和技术相互转移和流动更加方便。

(三) 机械系统

机械系统是一种由若干零件、部件和装置组成的机械, 并且具有特定的功能的特定系统, 且具有确定的质量、刚度和阻尼, 彼此间相互有机联系。机械系统的基本要素包括各种机械零件, 它们为组成各种不同功能的机械系统而有机地联系着。

机械系统是一个广义的概念, 其内涵应当根据对象加以具体分析。广义的机械系统可以这样认为: 包括各种机械基本要素, 能完成规定的动作过程, 实现机械能的变化, 从而能够代替人类劳动。机械系统作为一种能完成特定功能的系统, 也具备一般系统的特性^②。

1. 目的性

机械系统的目的是能够完成特定的功能。而机械系统的存在便是为了这一目的的存在。人们设计任何产品, 皆是为了实现某一目的。例如, 电灯的发明是为了照明, 节约能源的电灯, 以及护眼的电灯, 等等, 这些都是为了特定的功能而设计出来的。机械系统中各零部件的布局和组合方式都取决于机械系统的目的。因此, 机械系统必须具有明确的目的性。

2. 整体性

一个机械系统是由许多基本单元和子系统组成的。因为一个系统的成功与否主要在于

① 侯秀珍. 机械系统设计 [M]. 哈尔滨: 哈尔滨工业大学出版社, 2015.

② 侯秀珍. 机械系统设计 [M]. 哈尔滨: 哈尔滨工业大学出版社, 2015.

该系统的整体功能的发挥。一方面,组成系统的各个要素都是最佳性能,但系统的功能不一定是最佳的;另一方面,各要素的性能并不是最佳的,但因各要素之间的有机联系得到了协调一致的统一,使得系统能够发挥最佳的性能。这便是系统的整体性,即实现一个系统的整体功能,并不是某一个要素单独作用的结果,而是在于各要素之间的有机联系的协调统一。

3. 环境的适应性

每个系统都处于一定的环境之中,环境的变化会对系统产生重要的影响,进而影响系统功能的变化。因而,机械产品应当具备适应环境的要求,就是指在为保护系统功能的正常运行,系统应当具有对外部环境变化的适应性。

二、机械的功能组成

现代机械种类繁多,结构也越来越复杂。机器是执行机械运动的装置,用来变换或传递能量、物料、信息。但是各种机器的形式、构造各不相同,各有其自身的特点,但一切工作机器的组成通常是有其共同之处的。

就实现系统功能的角度而言,动力、传动、执行、控制等主要系统组成了机器。当然每个系统又是由其它小的子系统组成的,结构比较复杂。

1. 动力系统

动力系统包括动力机及其配套装置,是机械系统工作的动力源。根据能量转换性质的不同,机械可分为一次能源和二次能源的转换,机械中将自然界的能源(一次能源)转变为机械能的,如内燃机、汽轮机、水轮机等动力机;机械中将二次能源(如电能、液能、气能等)转变为机械能的,如电动机、液压马达、气马达等动力机。动力机的输出运动一般为转动,且具有较高的转速。选择动力机时,应重点针对执行系统的运动和工作载荷、机械系统的使用环境和工作状况以及工作载荷的机械特性等必要条件,使系统具备良好的动态性能以及较好的经济性。如汽车的发动机。

2. 传动系统

传动系统属于中间位置,并将动力机的动力和运动传递给执行系统。如汽车的底盘(传动系、变速器)。传动系统的功能主要有以下几种:

(1) 减速或增速 降低或增高动力机的速度,为满足执行系统的工作需要。

(2) 变速 当动力机进行变速时具有缺乏经济性、不可能或不能满足其要求时,可以通过传动系统实行变速(有级或无级),来满足执行系统的多种速度的要求。

(3) 改变运动规律或形式 将动力机输出的均匀、连续、旋转的运动转变为变化的旋转或非旋转、连续或间歇的运动,或改变运动方向,这需要按照某种规律,来完成执行系统的运动要求。

(4) 动力传递 将动力机输出的动力传递给执行系统,为执行系统完成预定任务所需的转矩或力提供助力。

3. 执行系统

执行机构和执行构件构成了机械的执行系统,这一装置借助机械能对作业对象的性质、状态、形状或位置进行一定的改变,或者检测、度量作业的对象,以进行生产,并能

够完成其它的预定要求。功能要求不同，对运动和工作载荷的机械特性的要求也是不同的，因而各种机械的执行系统各不相同。执行系统作为机械系统的主要输出系统，一般位于机械系统的末端，与作业对象有着直接的接触。因此，执行系统工作性能好坏与否将对整个系统的性能产生直接的影响。强度、刚度、寿命等要求是执行系统必须满足的，另外还应对其运动精度和动力学特性等要求进行充分关注。如汽车的行驶系统（车架、车桥、悬架、车轮）。

4. 控制系统

控制系统的功能主要是协调动力系统、传动系统、执行系统彼此之间的运行，并且能够准确可靠地实现整机功能。控制系统是指通过人工操作或测量元件获得的控制信号，经由控制器，使控制对象改变其工作参数或运行状态而实现上述要求的装置，如伺服机构、自动控制装置等。控制系统的良好状态促使机械运行状态达到最佳，为其提高运行稳定性和可靠性以及较好的经济性。如汽车中的转向系、制动系、电气设备。

凡将其它形式能量变为机械能的机器称为原动机，如内燃机、电动机（分别将热能和电能变换为机械能）等都是原动机；凡利用机械能去变换或传递能量、物料、信息的机器称为工作机，如发电机（机械能变换电能）、起重机（传递物料）、金属切削机床（变换物料外形）、计算机（变换和传递信息）等都属工作机；

就机械创新设计本质特征来说，功能首先是针对产品而言，要求具体设计与功能相符合且相关联。同时，机械设计是基于产品的功能进行创造的，要求功能应当具有一定的抽象度，以利于创造性思维的产生。

功能是针对某一机械产品工作能力的抽象化描述，与人们常说的功用、用途、性能、能力既有区别也有联系，例如洗衣机的这些概念如图所示：

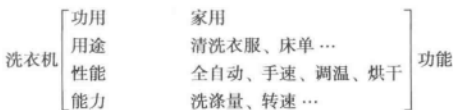


图 1-2 洗衣机功能与功用、用途、性能、能力之间的关系

由图可知洗衣机的功能是洗除衣物中的污垢。由此可以看出，“功能”是指一个机器（或装置）所具有的应用特性。

机器本身只是一个功能载体，只带给人们一种功能，同一个功能能够借助不同的载体来加以实现。从功能的角度来分析机器，有助于帮助人们发挥创造性思维，进而探索、构思、设计，从而出现新的机器。比如手表就是用来显示时间的，较早出现的都是机械表，尽管加工精度不断提高，但是其走时的误差仍旧是较大的，而随着近年来石英电子表的出现，因其工作原理与机械表并不相同，有着简单化的结构、准确的走时以及低廉的成本。因此，制造一个机器，获取其功能，理应结构越简单、成本越低廉越好。

总功能通常是一台机器完成的功能，如切削车床的总功部是移动的刀具对旋转工件进行切削的功能。至少要有两个分功能的相互配合动作才能够实现总功能，一是工件旋转功能，二是刀具进给功能，除此而外还应有工件冷却（加切削液）功能等。因此，机器的多个分功能组成了其总的功能，且都具有相应的功能载体。原动机、传动机构、工作头或

执行机构、控制器等组成了分功能载体。当然有的分功能也可与其他分功能共用一个原动力或传动机构。机器的功能组成如图 1-3 所示。

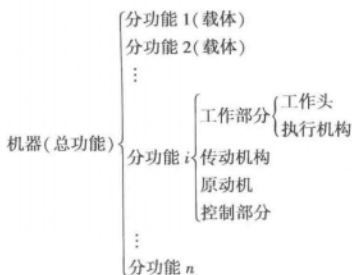


图 1-3 机器的功能组成

第二节 机械零件常用材料和选用原则

材料的选择是机械零件设计中相当重要的一个环节。其材料的选用关系到机械产品的耐用程度以及成本合理与否，因此零件的材料相当重要，且其选择有着相应的原则。

一、机械零件常用材料

机械零件常用材料即是机械工程常用材料。机械工程材料包括用于工程和机械制造方面的各种材料。金属材料和非金属材料是实际生产中常用的材料。

(一) 金属材料

在各类工程材料中，金属材料使用最广。金属材料分为黑色金属和有色金属两类。黑色金属材料是铁及铁合金，如钢、铸铁和铁合金等；其中，黑色金属材料是应用最广的。据统计，钢铁材料占机械制造产品的 90% 以上。钢铁被大量采用，原因不仅在于其具有较好的力学性能（如强度、塑性、韧性等），还在于相对便宜的价格和容易获得，并且能满足多种性能和用途的要求。在各类钢铁材料中，性能优良的合金钢，常常被用来制造重要的零件。下面就金属材料的力学性能指标和常用的钢、铸铁等材料进行简单的介绍。

1. 金属材料的力学性能指标

组成机器的零部件大多都由金属材料制造而成，材料的性能直接影响机器的性能或使用寿命。金属材料的性能包括力学性能、物理性能（密度、导电性、导热性等）、化学性能（耐酸、耐碱、抗氧化性等）和工艺性能（热处理性能、切削性能等）。

(1) 强度

在工程上用来表示金属材料强度指标的有强度极限 σ_b 和屈服极限 σ_s ；对有些金属，工程上规定产生 0.2% 塑性变形时的应力称为条件屈服极限，用 $\sigma_{0.2}$ 表示。

(2) 刚度

在材料的弹性范围内, 应力 σ 和应变 ε 的关系为 $\sigma = E\varepsilon$ 。E 为弹性模量, 表示材料抵抗弹压变形能力。

(3) 硬度

硬度是材料表面抵抗局部变形或破坏的能力。硬度反映的是金属材料的综合性能, 是衡量金属材料软硬程度的性能指标。材料是通过硬度试验来测定其硬度的。金属材料常用的硬度包括维氏硬度、布氏硬度^①和洛氏硬度。维氏硬度以符号 HV 表示, 硬度值一般标于符号前, 如 300HV 表示该材料的硬度值为 300 维氏硬度; 布氏硬度以符号 HBw 表示, 如 220HBw 表示该材料的硬度值为 220 布氏硬度; 洛氏硬度以符号 HRA 或 HRC 表示, 如 55HRC 表示该材料的硬度值为 55 洛氏硬度。

(4) 塑性

塑性是材料在外力作用下产生塑性变形, 并未产生断裂的能力。工程上通常用试件拉断后所留下的残余变形来表示材料的塑性, 表征塑性的通常是两个指标。

①延伸率。延伸率是指试件拉断后单位长度内产生残余伸长的百分数, 用 δ 表示, 即

$$\delta = \frac{l_1 - l}{l} \times 100\% \quad (1-1)$$

式中: l_1 ——拉断后的长度;

l ——拉伸前的长度。

②收缩率。收缩率是指试件拉断后截面面积相对收缩的百分数, 用 ψ 表示, 即

$$\psi = \frac{A - A_1}{A} \times 100\% \quad (1-2)$$

式中: A_1 ——拉断后缩颈处的截面积;

A ——拉伸前的截面积。

一般来说塑性材料的 δ 或 ψ 较大, 而脆性材料的 δ 或 ψ 较小。塑性指标具有重要的意义, 良好的塑性可使材料完成某些成型加工, 如冷冲压、冷拔等。

(5) 冲击韧性

冲击韧性是指金属材料在塑性变形和断裂过程中吸收能量的能力, 它是反映材料强度和塑性的综合指标, 通常用冲击韧度 a_k 表示。 a_k 越高, 表示材料的冲击韧性越好。材料的 a_k 值与很多因素有关, 一般在选择材料时作参考。

2. 常用的金属材料钢和铸铁

(1) 钢

钢是一种含碳量低于 2% 的铁碳合金。钢具有较高的强度以及良好的塑性, 制造零件时通过轧制、锻造、冲压、焊接和铸造, 并用热处理方法获得高的机械性能或改善切削性能, 因此, 钢在机械制造中应用最广, 是一种极为重要的金属材料。

钢的种类很多, 按化学成分可分为碳素钢和合金钢; 按含碳量多少可分为低碳钢

^① 国家标准 GB/T 231.1—2009《金属材料 布氏硬度试验 第 1 部分: 试验方法》中规定布氏硬度只用 HBW 表示, 但是许多材料仍按照旧标准的试验方法采用 HBS 表示布氏硬度。

(含碳量 $<0.25\%$)、中碳钢(含碳量为 $0.25\% \sim 0.6\%$)和高碳钢(含碳量 $>0.6\%$);按质量可分为普通钢和优质钢。如表1-1所示:

表1-1列举出了常用钢的机械性能以及应用举例。

表1-1 常用钢的机械性能及其应用举例

材料		机械性能			应用举例
名称	牌号	抗拉强度 σ_s (MPa)	屈服极限 σ_s (MPa)	硬度 (HBS)	
普通碳钢	Q215	335~410	215		金属结构件、拉杆、铆钉、心轴、垫圈、焊接件、螺栓、螺母等
	Q235	375~460	235		
优质碳钢	08F	294	175	131	轴、辘子、联轴器、垫圈、螺栓等 轴、销、连杆、螺栓、螺母等 齿轮、链轮、轴、键、销等 弹簧、齿轮、凸轮等
	35	529	313	187	
	45	600	355	241	
	55	646	380	255	
合金钢	40Cr	980	785	207	重要的轴、齿轮、连杆、螺栓、螺母等
	35SiMn	882	735	229	
	40MnVB	980	784	207	
铸造碳钢	ZG270-500	500	270	≥ 143	机架、飞轮、联轴器、齿轮、箱座等
	ZG310-570	570	310	≥ 153	

注:①对于普通碳钢,表中 σ_s 为尺寸 $\leq 16\text{mm}$ 时值,当尺寸为 $>16 \sim 40$ 、 $>40 \sim 60$ 、 $>60 \sim 100\text{mm}$ 时, σ_s 应逐渐降低10%。

②优质碳钢硬度为交货状态值;合金钢硬度为退火或高温回火供应状态值,铸钢 σ_B 、 σ_s 及HBS为回火状态值。

(2) 铸铁

铸铁是一种含碳量大于2%的铁碳合金。最常用的是灰铸铁,是一种脆性材料,不能轧制和锻造,不易焊接;其优点是具有较好的易熔性和良好的液态流动性,因此可以铸造出形状复杂的铸件。另外,铸铁的抗拉强度较差,但却具有较好的抗压性、耐磨性和减振性,应力集中不灵敏,其机械性能比钢要低一些,但价格低廉,一般用作机架或壳座。此外还有一种铸铁是球墨铸铁,其组织中的碳为石墨结构,且呈球状,是对铸铁中所含石墨进行特殊处理之后出现的。球墨铸铁强度高于灰铸铁,且具有一定的塑性,可用来代替铸钢和锻钢制造零件。

3. 钢的热处理

钢的热处理方法是通过对固态下的钢铁进行加热、保温、冷却,改变其组织结构,从而获

得其所需的性能。热处理不同于铸、锻、焊及机械加工方法,热处理只是改变材料内部的组织结构和性能,并不改变工件的尺寸和形状。热处理不仅用于钢材的强化,零件使用性能的提高,零件使用寿命的延长,还可以改善钢的加工性能,减少刀具的磨损,提高零件的加工质量。

各种热处理工艺过程基本上都包括加热、保温、冷却三个阶段。

4. 有色金属材料

有色金属材料是除了铁及铁合金以外的金属及其合金。常用的有色金属有铝、钛、镍、铜、锡、铅、镁等。其中,有的密度小,有的导热和导电性能好,有耐腐蚀及减摩要求的场合通常用这些材料。纯金属强度低,一般不单独用;制造零件一般使用合金。常用的是铝合金、铜合金和钛合金。

铜合金分为黄铜、青铜和白铜三类。黄铜是铜和锌的合金,不生锈,不腐蚀,具有良好的塑性及流动性,能轧制和铸造成各种零件。青铜又可分为有锡青铜和无锡青铜。锡青铜是铜和锡的合金。其耐磨性和减摩性都高于黄铜,而且具有良好的铸造性能和切削加工性能,常用来制造耐磨的零件。无锡青铜为铜和铝、铁、锰等元素的合金,具有较高的强度,以及良好的耐热性等,一定条件下可代替价格较高的锡青铜。轴承合金是铜、锡、铅、锑的合金,具有良好的减摩性、导热性和抗胶合性,但强度较低且比较贵,一般是将其浇注在强度较高的基体金属的表面,用来形成减摩表层。

轻合金比重一般小于2.9,铝合金是生产中最常用的,其具有较强的强度、塑性和良好的耐蚀能力,且大多铝合金可以通过热处理的方法使自身强化,主要用于航空、汽车制造中要求重量轻而强度高的零件。

(二) 非金属材料

非金属材料包括高分子材料(如工程塑料、橡胶、合成纤维等)、陶瓷材料和复合材料等。非金属材料具有独特的性能,因而在某些方面的应用具有金属材料不可替代的作用。目前,非金属材料已成为一种重要的应用广泛的新型工程材料。

(1) 工程塑料 工程塑料是有机高分子材料,其主要成分为合成树脂。其主要特点是质轻、绝缘、减摩、耐磨、自润滑、耐腐蚀等,且具有简单的成型工艺,较高的生产效率。按其受热后性能不同可分为两大类:一类为热塑性塑料(如尼龙等),特点是受热以后软化(或熔融),冷却后又恢复原来性质并可反复进行。这类材料有聚氯乙烯、聚乙烯、ABS、聚四氟乙烯、有机玻璃等。用于制造密封件、衬套、活塞环、轴承等。另一类为热固性塑料,其特点是在一定温度下,经过一定时间加热或加入固化剂固化,这一过程不能反复进行。这类材料有酚醛塑料、环氧塑料等。热固性塑料常加入各种填充剂,以获得较高的机械强度。该种材料适用于各种承载零件,并可耐较高的温度,可制造泵、阀、轴承等耐腐蚀件。

(2) 陶瓷材料 传统意义上的陶瓷主要指陶器和瓷器,也包括玻璃、搪瓷、耐火材料、砖瓦等。用粘土、石灰石、长石、石英等天然硅酸盐类矿物制成的,称为普通陶瓷。现代陶瓷材料已有巨大变化,不仅在性能上有重大突破,在应用上也已渗透到各个领域,称为特殊陶瓷,可分为碳化物陶瓷、氧化物陶瓷、氮化物陶瓷等,可用于耐高温、耐磨、耐腐蚀、绝缘等场合。陶瓷材料抗压强度高,抗拉强度低,弹性模量高,韧性差。

(3) 复合材料 复合材料包含两种或两种以上不同性质的材料,是通过某种工艺手段复合而成的。两者复合,各自保留自身的特点,得到的是较强的综合性能。

复合材料一般分为纤维复合、层叠复合、微粒复合和骨架复合材料。纤维复合材料应用较广,纤维材料对复合材料的综合性能起到了重要作用,是一种良好的增强材料。目前采用的纤维有玻璃纤维、碳纤维、芳纶纤维、碳化硅纤维和陶瓷纤维等。

复合材料具有以下优点:

- ①比强度、比模量大。比强度和比模量是指材料的强度、弹性模量分别与密度之比。比强度越大,零件自重越小;比模量越大,零件的刚性越大。
- ②化学稳定性好。耐腐蚀性好。
- ③减摩、耐磨、自润滑性好。

机械零件的材料种类繁多,其特性有共同之处,所能应用的范围也比较广,下面就一些机械零件中常用的材料进行描述,以便于更好地了解这些材料的特点以及应用。如表 1-2 所示。

表 1-2 机械工程常用材料的分类和应用举例

	材料分类		应用
铸 铁	灰铸铁 (HT)	低牌号 (HT100, HT150) 高牌号 (HT200~400)	对力学性能无一定要求的零件,如盖、底座、手轮、机床床身等 承受中等静载的零件,如机身、底座、泵壳、法兰、齿轮、联轴器、飞轮、带轮等
	可锻铸铁	铁素体型 (KTH) 珠光体型 (KTZ)	承受低、中、高动载荷和静载荷的零件,如差速器壳、扳手、支座、弯头等 要求强度和耐磨性较筒的零件,如曲轴、凸轮机轴、活套环、轴套
	球墨铸铁 (QT)		和可锻铸铁基本相同
	特殊性能 铸铁		分别用于耐热、耐独、耐磨等场合