

高等学校教材

机械设计基础

西北工业大学 西安石油学院 合编
西安理工大学 西安工业学院

李继庆 陈作模 主编

ND27/28

高等教育出版社

(京)112 号

内容提要

本书是根据目前教学改革的实际需要,参照原国家教育委员会 1995 年颁发的“机械设计基础课程教学基本要求(少学时)”而编写的。

全书分为四部分:第一部分介绍机械零件材料及结构强度基础,包括机械零件的常用材料和结构工艺性,以及机械零件工作能力计算的理论基础;第二部分介绍各种常用传动机构(包括螺旋机构、平面连杆机构、凸轮机构、齿轮传动、轮系、减速器、带传动、链传动、间歇运动机构和组合机构)的设计基础,以及机构运动简图的绘制方法和平面机构自由度的计算;第三部分介绍各种通用机械零件(包括联接零件、联轴器、离合器、制动器、滑动轴承、滚动轴承、导轨、轴和弹簧)的设计基础;第四部分介绍机械传动系统设计基础,包括机械的平衡和调速,机械传动系统方案的拟定。各章均附有一定数量的思考题和练习题。

本书可作为高等院校非机械类专业的教材,也可供其他有关专业的师生及工程技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

机械设计基础/李继庆,陈作模主编;西北工业大学等
校合编. —北京:高等教育出版社,1999
高等学校教材

ISBN 7-04-007472-9

I. 机… II. ①李… ②陈… ③西… III. 机械学—高等
学校—教材 IV. TH11

中国版本图书馆 CIP 数据核字(1999)第 30622 号

机械设计基础

西北工业大学 西安石油学院 西安理工大学 西安工业学院 合编

出版发行 高等教育出版社

社 址 北京市东城区沙滩后街 55 号

邮政编码 100009

电 话 010-64054588

传 真 010-64014048

网 址 <http://www.hep.edu.cn>

经 销 新华书店北京发行所

印 刷 北京印刷三厂

开 本 787×1092 1/16

版 次 1999 年 11 月第 1 版

印 张 19.75

印 次 1999 年 11 月第 1 次印刷

字 数 480 000

定 价 16.00 元

凡购买高等教育出版社图书,如有缺页、倒页、脱页等
质量问题,请在所购图书销售部门联系调换。

版权所有 侵权必究

前 言

为了适应我国现代化建设高速发展的需要,我国教育事业正在经历着一次深刻而广泛的改革。目前许多高等院校为了提高学生的综合素质,扩展知识领域,普遍压缩原有各门课程的学时。鉴于这种情况,根据当前教学改革的实际需要和我们多年来教学的实践经验,参照原国家教育委员会 1995 年颁发的“机械设计基础课程教学基本要求(少学时)”,我们编写了这本新的《机械设计基础》教材。

本书可作为高等院校非机械类专业学生学习机械设计基础课程的教材。考虑到非机械类专业学生在大学学习阶段和毕业后在工作岗位上可能会遇到各种机械设计的实际问题,为了使学对于机械设计有一个大致的了解,本书的内容包括了进行机械设计所必需的有关材料力学、金属工艺学、机械原理及机械零件等方面的一些基础知识。在编写中,我们根据“少而精”的原则,着重讲清有关机械设计的基本概念、基本理论和基本方法。强调整体概念,简化设计计算,适当扩大面上知识,增强与工程实际的联系,力求全书简明易懂和更具启发性。为了帮助学生了解课程的主要内容,我们在每一章的开始都写有内容提要,并在结尾提出一些思考题和练习题,以帮助学生理解课程内容的理解和掌握。

参加本书编写工作的有西北工业大学陈作模(绪论、第一、十七章)、李继庆(第四、十六章)、李育锡(第七章),西安石油学院王鸿飞(第二、三章)、吴伟(第九、十章),西安理工大学熊琦华(第五、六章)、任欣堂(第八、十一章),西安工业学院张君安、高嵩(第十二、十四、十五章)、马保吉(第十三章),并由李继庆、陈作模任主编。

本书承西安石油学院傅则绍教授审阅,提出了宝贵的意见,我们在此表示衷心感谢。

由于我们的水平所限,加上编写这类教材尚缺乏经验,故不当及漏误之处在所难免,敬请各位教师 and 广大读者给予批评指正。

编 者

1998 年 12 月

目 录

绪论	1
§ 0-1 本课程研究的对象和内容	1
§ 0-2 机械设计的基本要求和一般过程	2
§ 0-3 学习本课程的目的及学习中应注意的事项	4
思考题	4

第一部分 机械零件材料及结构强度基础

第一章 机械零件的常用材料和结构	形式	20
工艺性	5	
§ 1-1 机械零件的常用材料及其选用	5	
§ 1-2 机械零件的结构工艺性	12	
§ 1-3 机械设计中的标准化	18	
思考题和练习题	18	
第二章 机械零件工作能力计算的理论		
基础	20	
§ 2-1 机械零件的工作能力及其变形的基本		
形式	20	
§ 2-2 轴的拉伸和压缩	22	
§ 2-3 剪切和挤压	28	
§ 2-4 圆轴的扭转	31	
§ 2-5 弯曲	34	
§ 2-6 强度理论概述	39	
§ 2-7 疲劳强度概述	41	
§ 2-8 接触强度概述	44	
思考题和练习题	45	

第二部分 常用传动机构设计基础

第三章 机构运动简图及平面机构自	思考题和练习题	91
由度	49	
§ 3-1 机构的组成	49	
§ 3-2 机构运动简图	51	
§ 3-3 平面机构的自由度	55	
思考题和练习题	59	
第四章 螺旋机构	62	
§ 4-1 螺旋机构的组成和螺纹	62	
§ 4-2 螺旋副中的摩擦、效率及自锁条件	64	
§ 4-3 螺旋机构的类型、应用和特点	67	
思考题和练习题	71	
第五章 平面连杆机构	73	
§ 5-1 概述	73	
§ 5-2 铰链四杆机构的基本型式及其演化	75	
§ 5-3 铰链四杆机构的几个特性	83	
§ 5-4 平面四杆机构的设计简介	86	
第六章 凸轮机构	94	
§ 6-1 凸轮机构的特点、应用和分类	94	
§ 6-2 推杆的常用运动规律	99	
§ 6-3 凸轮轮廓曲线的设计	103	
§ 6-4 凸轮机构的压力角和基圆半径	108	
思考题和练习题	111	
第七章 齿轮传动	112	
§ 7-1 齿轮传动的特点和类型	112	
§ 7-2 渐开线齿廓	114	
§ 7-3 渐开线标准齿轮各部分的名称和几何尺寸	115	
§ 7-4 渐开线直齿圆柱齿轮的啮合传动	118	
§ 7-5 渐开线齿廓的根切问题及变位齿轮的概念	121	
§ 7-6 齿轮的失效形式和齿轮材料	122	
§ 7-7 直齿圆柱齿轮传动的强度计算	125	

§ 7-8 斜齿圆柱齿轮传动	129	第九章 带传动及链传动	166
§ 7-9 圆锥齿轮传动	134	§ 9-1 带传动的类型和特点	166
§ 7-10 蜗杆传动	137	§ 9-2 带传动的工作原理和工作能力分析	168
§ 7-11 齿轮的结构设计	144	§ 9-3 V带的标准及其传动设计	172
§ 7-12 圆弧齿轮传动简介	147	§ 9-4 链传动	181
思考题和练习题	148	思考题和练习题	188
第八章 轮系和减速器	150	第十章 间歇运动机构及组合机构	189
§ 8-1 轮系及其分类	150	§ 10-1 棘轮机构	189
§ 8-2 定轴轮系的传动比	151	§ 10-2 槽轮机构	193
§ 8-3 周转轮系及其传动比	152	§ 10-3 不完全齿轮机构	195
§ 8-4 轮系的功用	155	§ 10-4 组合机构	196
§ 8-5 减速器	158	思考题和练习题	197
思考题和练习题	163		

第三部分 通用机械零件设计基础

第十一章 联接	199	§ 13-5 滚动轴承的选择	244
§ 11-1 概述	199	§ 13-6 滚动轴承组合设计	247
§ 11-2 螺纹联接	200	§ 13-7 轴承的润滑和润滑装置	251
§ 11-3 键联接、销联接及型面联接	213	§ 13-8 滚动轴承与滑动轴承的比较	253
§ 11-4 铆、焊、胶联接简介	219	§ 13-9 导轨	253
思考题和练习题	222	思考题和练习题	257
第十二章 联轴器、离合器和制动器	224	第十四章 轴	261
§ 12-1 概述	224	§ 14-1 轴的分类和材料	261
§ 12-2 联轴器	224	§ 14-2 轴的结构设计	264
§ 12-3 离合器	229	§ 14-3 轴的计算	270
§ 12-4 制动器	231	思考题和练习题	276
思考题和练习题	233	第十五章 弹簧	278
第十三章 支承	234	§ 15-1 弹簧的功用和类型	278
§ 13-1 概述	234	§ 15-2 弹簧的材料和许用应力	281
§ 13-2 滑动轴承的结构和材料	235	§ 15-3 圆柱螺旋压缩(拉伸)弹簧的选择	283
§ 13-3 非液体摩擦滑动轴承的设计计算	238	思考题和练习题	287
§ 13-4 滚动轴承的结构、类型和代号	240		

第四部分 机械传动系统设计基础

第十六章 机械的平衡和调速	288	§ 17-1 概述	296
§ 16-1 刚性转子的静平衡和动平衡	288	§ 17-2 机械传动系统方案的拟定	297
§ 16-2 机械的速度波动及其调节原理	292	思考题	305
思考题和练习题	294		
第十七章 机械传动系统方案的拟定	296	参考书目	307

绪 论

在进入本课程学习以前,首先需要了解一些基本概念及术语,如零件、构件、机构、机器和机械等,然后才能具体地讨论本课程所研究的对象和内容,从而进一步明确学习本课程的目的及学习中应注意的事项。

为使读者对机械设计有一个总体轮廓的概括认识,这里对机械设计的基本要求和一般过程也作了简略的介绍。

§ 0-1 本课程研究的对象和内容

一、几个术语

1. 零件 任何机器都是由许多零件组成的。若将一部机器进行拆卸,拆到不可再拆的最小单元就是零件。如从制造工艺角度来看,零件是加工的最小单元。

2. 构件 一个构件通常是由若干零件组成的,如内燃机中的连杆,其结构如图 0-1 所示,它由连杆体 1、连杆头 2、轴套 3、轴瓦 4、螺栓 5 和螺母 6 等零件组成。这些零件刚性地联接在一起组成一个刚性系统,机器运动时作为一个整体来运动。所以,构件是由若干零件组成的一个刚性系统,是运动的最小单元。当然也有的构件仅由一个零件所组成^①。

3. 机构 机构是由若干构件组成的一个人为的构件组合体。机构的功用在于传递运动或改变运动的形式。如图 0-2 所示的连杆机构,就是将曲柄 1 的回转运动转变为摇杆 3 的往复摆动;图 0-3 所示的凸轮机构,能将凸轮 1 的连续回转运动转变为推杆(锤头)2 的往复直线运动;图 0-4 所示的齿轮机构,则是通过一对相互啮合的齿轮,将轴 1 的回转运动传递给轴 2。组成机构的各构件之间的相对运动是有规律的(是一个变量或多个变量的函数)。

4. 机器 机器是由若干机构组成的。机器的类型虽然很多,但组成机器的常用机构的类型并不多,如常见的机床、起重机、缝纫机、内燃机等机器,都是由连杆机构、齿轮机构、凸轮机构、带传动等常用机构组合而成的。机器可用来变换或传递能量、物料和信息。如电动机或发电机用来变换能量,加工机械用来变换物料的状态,起重运输机械用来传递物料,计算机则用来变换信息等。

5. 机械 一般常将机器和机构总称为机械。

二、本课程研究的对象和内容

机械设计基础是一门研究机械传动及其设计中的一些基础知识的课程。其研究的内容主要有以下几个方面:

^① 在机器中除上述的刚性构件外,还有由带、链、绳索等组成的柔性构件,以及在液压和气动传动中的液体构件和气体构件。不过一般所谓的构件多指刚性构件。

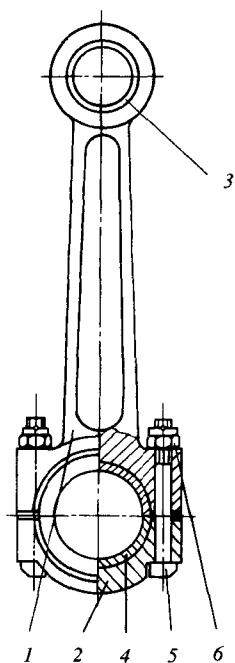


图 0-1 连杆

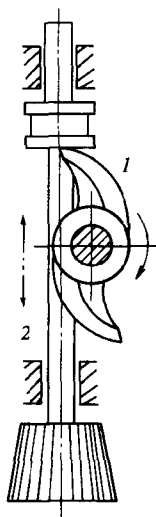


图 0-3 凸轮机构

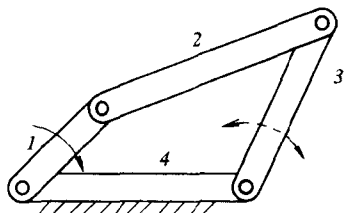


图 0-2 连杆机构

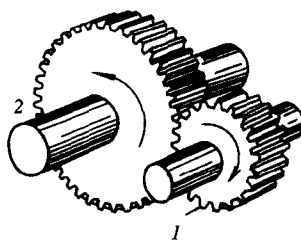


图 0-4 齿轮机构

1. 机械零件常用材料及结构强度 主要介绍机械零件常用材料及其选用原则,零件受力及变形的基本形式及其强度计算。

2. 常用传动机构设计

1) 机构的组成原理 研究构件组成机构的原理以及各构件间具有确定运动的条件。

2) 常用机构的分析和设计 对常用机构的运动和工作特点进行分析,并根据一定的运动要求和工作条件来设计机构。

3. 通用零件设计 根据使用范围的不同,机械零件可分为两类:一类为广泛用于各种机械的通用零件,如螺钉、键、销、轴、轴承、弹簧、齿轮等;另一类则是只用在某些机械中的专用零件,如风扇的叶片、洗衣机的波轮等。本书只研究通用零件的设计和选用问题,包括零件工作能力设计和结构设计,以及标准零、部件的选用等问题。

4. 有关机械总体设计中的一些问题 如机械的平衡和调速,机械设计的基本要求和一般步骤,工作循环图等。

§ 0-2 机械设计的基本要求和一般过程

一、机械设计的基本要求

所设计的机械一般应满足如下要求:

1. 使用要求 所设计的机械应在规定的寿命期限内能正常完成预期的使用功能。这是最主要的要求。

2. 经济要求 所设计的机械设备应在设计、制造和使用的全过程中都有低低成本。为此应采用恰当的设计方法,缩短设计周期;选用适当的原材料,减小设备的尺寸、重量,注意零件的制造和装配工艺性;减少设备在运行中的各种消耗,提高劳动生产率,降低维修管理费用等。

3. 社会要求 操作要方便,使操作者感到安全舒适;要有大方宜人的外形和色彩,具有市场竞争力;要符合国家环境保护等有关法令。

二、机械设计的一般过程

根据设计任务大小的不同,设计过程的繁简程度显然不会一样,但大致要经过如表 0-1 所示的几个阶段。

表 0-1 机械设计的一般过程

阶段	内 容	应完成的工作
计划	1. 根据市场需要,或受用户委托,或由上级下达,提出设计任务。 2. 进行可行性研究,重大的问题应召开有各方面专家参加的评审论证会。 3. 编制设计任务书	1. 提出可行性报告。 2. 提出设计任务书。任务书应尽可能详细具体,它是以后设计、评审、验收的依据。 3. 签订技术经济合同
方案设计	1. 根据设计任务书,通过调查研究和必要的试验分析,提出若干个可行方案。 2. 经过分析对比、评价、决策,确定最佳方案	提出最佳方案的原理图和机构运动简图
技术设计	1. 绘制总装配图和部件装配图。 2. 绘制零件工作图。 3. 绘制电路系统图、润滑系统图等。 4. 编制各种技术文件	1. 提出整个设备的标注齐全的全套图纸。 2. 提出设计计算说明书、使用维护说明书、外购件明细表等
试制试验	通过试制、试验发现问题,加以改进	1. 提出试制、试验报告。 2. 提出改进措施
投产以后	设备投产以后,并非设备设计工作的终结,要根据用户的意见、使用中发现问题,以及市场的变化,作相应改进和更新设计	收集问题,发现问题,改进设计

因为机械设计工作是一项创造性劳动,在设计之初许多问题和矛盾尚未暴露,因而上述的设计过程,一般说不会是一帆风顺的,也不会一次就能依次进行到底,而是不断出现反复和交叉,这是在设计中经常会遇到的正常现象。

§ 0-3 学习本课程的目的及学习中应注意的事项

几千年前,人们就学会了使用机械。今天,成千上万种机械正在各个领域中为人们的生产、工作和生活服务,随着办公机械和家用机械的兴起,机械和人类的关系越来越密切了。如今,科技的进步也推动着机械工业的迅猛发展。机械在各个行业中都有其重要的作用,它既是各个行业的装备部,又是许多产品的重要组成部分。为了完成国家的“四化”大业,为了发展生产和改善人民生活,应力求在一切能够使用机械操作的地方尽快地使用机械操作。这就需要创造更多的新机械,革新现有机械,充分利用各种机械设备。所以,作为一名高校学生,无论如何也应具备一定的机械设计基础知识。

为了学好本课程,在学习中应注意以下几个问题。

1. 应注意本课程的性质和特点 本课程是建立在物理、数学、理论力学、机械制图等课程之上的一门技术基础课。它不是专业课,不专门研究某一种机械,而是研究组成一般机械的常用机构、通用零件和在机械设计中一些常遇到的基本共性问题。通过对本课程的学习要综合应用以前所学的各有关知识(理论知识和实践知识)去着手解决工程实际中的具体问题。因此,本课程的实践性很强。要学好本课程,必须注意理论联系实际,平时多留意观察分析所遇到的各种机械,以丰富自己的感性知识,并用所学的理论知识去分析它,以加深理解。

2. 要学会综合考虑问题 因为任何实际问题都是多侧面的综合问题,任一方面考虑不到,都会给设计带来缺陷。因此,本课程涉及面广,头绪多,是其特点之一。从表面看,本课程似乎系统性不强,较难掌握,其实它是紧紧围绕如何设计好一台机械设备这根主线来阐述各方面问题的。故在学习中既要抓住课程重点,又不忽视细节问题。这样随着学习的深入,读者对本课程规律性的认识自会逐步加深。

3. 要有工程观点 所谓工程观点就是要讲究经济、实用、高效。一个实际工程问题,一般都可多种途径,用不同的方法获得解决,至于最终采用哪种途径,用什么方法,这就要求设计人员具有分析、比较、判断、决策的能力。在学习时着重培养自己这方面的能力是十分重要的。

4. 本课程的术语、符号、公式较多,这是本课程的又一特点,必须给以足够的注意。术语是工程界的通用语言,必须正确理解它的含义。对大多数公式(除少数基本公式外)来说都不需要强记,只要能正确理解和使用即可,为此必须了解公式的适用场合,式中各符号的意义,所使用的单位及各参数的合理选用范围。因此,在学习时应把注意力集中在掌握设计观点和设计方法上,应着重理解而不是强记,要勤思考、多实践。

思 考 题

- 0-1 构件和零件有何不同?
- 0-2 机器和机构的异同点各是什么?
- 0-3 机械设计的基本要求有哪些?何者是最主要的?
- 0-4 机械设计的一般过程如何?为什么说机械设计一般不会一帆风顺地一次就能依次完成全部设计?

第一部分 机械零件材料及结构强度基础

第一章 机械零件的常用材料和结构工艺性

本章首先介绍机械零件常用的材料,钢的热处理,以及如何正确选用机械零件的材料;然后介绍零件的结构工艺性,以便于零件的加工、装配和改善零件的工作条件等;最后介绍零件的标准化问题。

§ 1-1 机械零件的常用材料及其选用

一、机械零件的常用材料

制造机械零件的材料目前用得最多的是金属材料,其又分为黑色金属(如钢、铸铁等)和有色金属(如铜、铝及其合金等);其次是非金属材料(如工程塑料、橡胶、玻璃、皮革、纸板、木材及纤维制品等)和复合材料(如纤维增强塑料、金属陶瓷等)。

随着科学技术的飞速发展,材料工业日新月异,新材料不断涌现,材料的品种和规格也不断增多。但目前在机械工业中用来制作机械零件的基础材料仍然是金属材料。下面对其作一简略介绍。

1. 钢

钢是一种含碳量低于 2% 的铁碳合金。它有高的强度、塑性和韧性,可用锻造、轧制、冲压、焊接、铸造等方法来获得零件的毛坯,应用极广。

按照用途的不同,钢可分为结构钢(用于制造各种机械零件和工程结构的构件)、工具钢(用于制造刀具、量具和模具等)和特殊钢(如不锈钢、耐热钢、耐酸钢等,用于一些特殊场合)。以下着重介绍结构钢。根据化学成分的不同,又可将结构钢分为碳素钢(又称非合金钢)、低合金钢和合金钢。

1) 普通碳素结构钢

普通碳素结构钢的牌号及性能如表 1-1 所示。

普通碳素结构钢的牌号用该种材料当其厚度(或直径) $\leq 16\text{ mm}$ 时的屈服点值前面加 Q (“屈”字汉语拼音的首字母)来表示,如 Q235。

普通碳素结构钢在冶炼时主要控制其力学性能,而对钢的化学成分的控制则较松。为了表示这种钢的等级(控制其杂质成分的松严程度不同),可再在上述牌号后加注 A、B、C、D 字样,如 Q235-A。A 等级控制最松,D 等级控制最严。

2) 优质碳素结构钢

优质碳素结构钢的牌号和性能如表 1-2 所示。钢的牌号用两位数字表示,用以表明该种钢的平均含碳量为万分之几(如 30 钢表示其平均含碳量约为万分之三十)。含碳量低于 0.25% 的钢为低碳钢,其强度和硬度低,但塑性和焊接性能好,适合于用冲压、焊接等方法成型。含碳量在

0.25%~0.6%之间的钢为中碳钢,有好的综合力学性能,应用最广。含碳量高于0.6%的钢为高碳钢,常用作弹性或易磨损元件。

表 1-1 普通碳素结构钢

牌 号	力学性能(不小于)			用 途
	抗拉强度 σ_b MPa*	屈服点 σ_s MPa**	伸长率 δ %***	
Q195	315~430	195	33	冲压件、焊接件及受载小的机械零件,如垫圈、开口销、铆钉、地脚螺栓等
Q215	335~450	215	31	焊接件、金属结构件及螺栓、螺母、铆钉、销轴、连杆、支座等受载不大的机械零件
Q235	375~500	235	26	
Q255	410~550	255	24	金属结构件及螺栓、螺母、垫圈、楔、键、转轴、心轴、链轮、吊钩、连杆等受力较大的机械零件
Q275	490~630	275	20	

* 物体内部单位截面积上所承受的内力称为应力,单位为 MPa(1MPa=1N/mm²)。材料拉伸试样在拉伸试验时,试样拉断前所承受的最大标称应力,称为材料的抗拉强度(或抗拉强度极限),用 σ_b 表示(详见本书第二章)。

** 拉伸试样在试验过程中,当拉伸力不再增加(保持恒定),而试样仍在继续伸长(变形)时的应力,称为材料的屈服点(或屈服极限),用 σ_s 表示(详见本书第二章)。

*** 拉伸试样在拉伸试验中直至拉断,画在试样上两标线间标距的伸长量与原标距的比的百分数称为材料的伸长率,用 δ 表示。

表 1-2 优质碳素结构钢

牌 号	力学性能(不小于)			用 途
	抗拉强度 σ_b MPa	屈服点 σ_s MPa	伸长率 δ %	
08F*	295	175	35	管子、垫片,要求不高的渗碳或氰化零件,如套筒、短轴等
08	325	195	33	
10	335	205	31	冷冲压件、联接件及渗碳零件,如心轴、套筒、螺栓、螺母、吊钩、摩擦片、离合器盘等
20	410	245	25	
30	490	295	21	调质零件,如齿轮、套筒、连杆、轴类零件及联接件等
40	570	335	19	
45	600	355	16	
50	630	375	14	
60	675	400	12	弹簧、弹性垫圈、凸轮及易磨损零件
70	715	420	9	
85	1 130	980	6	

* 牌号后部的字母“F”表示为沸腾钢,其余钢号为镇静钢。

3) 合金结构钢

在碳素结构钢中添加合金元素后为合金结构钢。添加合金元素的目的在于改善钢的力学性能、工艺性能及物理性能等。常用的合金元素有锰(Mn)、硅(Si)、铬(Cr)、镍(Ni)、钼(Mo)、钨(W)、钒(V)、钛(Ti)、硼(B)等。

合金结构钢的种类很多,在表 1-3 中列出了其中几种作为示例。合金结构钢的牌号用数字和合金元素符号表示。例如 20Mn2,其最左两位数字表示其平均含碳量约为万分之二十,Mn2 表示平均含锰量约为 2%。当合金元素的平均含量低于 1.5%时,仅用元素符号表示,如 20Cr。对于含硫、磷杂质较少的高级优质钢,在钢牌号后加注“A”来表示,如 50CrVA。

表 1-3 合金结构钢

牌 号	力学性能(不小于)			用 途
	抗拉强度 σ_b MPa	屈服点 σ_s MPa	伸长率 δ %	
20Cr	835	540	10	用于要求心部强度较高,承受磨损,尺寸较大的渗碳零件
20Mn2	785	590	10	可代替 20Cr 钢制造齿轮、轴等渗碳零件
20MnVB	1 080	885	10	可代替 20CrNi 钢制造齿轮等渗碳零件
20MnTiB	1 130	930	10	可代替 20CrMnTi 钢制造高强度齿轮等零件
40Cr	980	785	9	用于较重要的调质零件,如连杆、重要齿轮、曲轴等
40CrNi	980	785	10	用于要求强度高、韧性高的零件
40CrNiMoA	980	835	12	用于制造承受冲击载荷的高强度零件
45Mn2	885	735	10	可代替 40Cr 钢制造齿轮、轴类零件
35SiMn	885	735	15	同上
35CrMo	980	835	12	可代替 40CrNi 钢制造大截面齿轮、轴类零件
40CrMnMo	980	785	10	可代替 40CrNiMo 钢制造高强度调质零件
65Mn	980	785	8	截面小于 20 mm 的冷卷弹簧
60Si2Mn	1 275	1 175	5	250 ℃ 以下的耐热弹簧
50CrVA	1 275	1 130	10	大截面高强度弹簧

4) 铸钢

可用铸造方法来获得毛坯。适用于尺寸较大、形状复杂、要求较高的零件。一般工程用铸造碳钢如表 1-4 所示。铸钢的牌号由“铸钢”二字的汉语拼音字首和材料的屈服点与抗拉强度所组成。

表 1-4 一般工程用铸造碳钢

牌 号	力学性能(不小于)			用 途
	抗拉强度 σ_b MPa	屈服点 σ_s 或 $\sigma_{0.2}$ * MPa	伸长率 δ %	
ZG200-400	400	200	25	各种形状的机件,如机座、变速器箱壳等
ZG230-450	450	230	22	机座、机盖、箱体等。焊接性良好
ZG270-500	500	270	18	飞轮、机架、蒸汽锤、联轴器、水压机工作缸。焊接性尚好
ZG310-570	570	310	15	联轴器、气缸、齿轮、重载荷机架等
ZG340-640	640	340	10	起重运输机中的齿轮、联轴器等重要机件

* 对于无明显屈服现象的材料,以试样在拉伸过程中,永久变形为原长的 0.2% 时的应力作为材料的屈服点,用 $\sigma_{0.2}$ 表示。

2. 铸铁

含碳量高于 2% 的铁碳合金为铸铁。其性脆,不适于锻压和焊接,但其熔点较低,流动性好,可以铸造形状复杂的大小铸件。常用的铸铁有:灰铸铁、球墨铸铁、可锻铸铁和合金铸铁等。灰铸铁应用最多,其性能如表 1-5 所示。其牌号由“灰铁”二字汉语拼音字首和材料的抗拉强度的

平均值所组成。

表 1-5 灰 铸 铁

牌 号	铸件壁厚/mm	抗拉强度 σ_b /MPa	用 途
HT150	2.5 ~ 10	175	端盖、轴承座、阀壳、管子附件、一般机床床身、滑座、工作台等
	10 ~ 20	145	
	20 ~ 30	130	
	30 ~ 50	120	
HT200	2.5 ~ 10	220	气缸、齿轮、机床、飞轮、齿条、衬筒、一般机床铸有导轨的床身、液压筒、泵的壳体等
	10 ~ 20	195	
	20 ~ 30	170	
	30 ~ 50	160	
HT250	4 ~ 10	270	阀壳、油缸、气缸、联轴器、机体、齿轮、齿轮箱外壳、飞轮、凸轮、轴承座等
	10 ~ 20	240	
	20 ~ 30	220	
	30 ~ 50	200	
HT300	10 ~ 20	290	齿轮、凸轮、车床卡盘、压力机的床身、导板、增压液压筒、泵的壳体等
	20 ~ 30	250	
	30 ~ 50	230	
HT350	10 ~ 20	340	
	20 ~ 30	290	
	30 ~ 50	260	

3. 有色金属

有色金属及其合金种类繁多,由于其各具有某些特殊的性能,所以在一些特殊的场合获得应用,尤以铜、铝及其合金在机械工业中应用广泛。

1) 铜及铜合金

纯铜由于其力学性能很低,故在机械工业中的应用并不多,一般采用的是铜合金。铜合金有一定的强度和硬度,导电性、导热性、减摩耐磨性和耐蚀性良好,是制造电工器件和耐磨蚀零件的重要材料。

常用的铜合金有黄铜和青铜之分,黄铜为含锌量较高($\geq 15\%$)的铜锌合金;青铜又分为锡青铜(铜与锡的合金)和无锡青铜(铜与铅、铝、镍、锰、硅、铍等的合金)。铜合金可以铸造,也可以压力加工(以板、棒、管形式供应)。表 1-6 列出了其中一部分。

2) 铝及铝合金

铝及铝合金是应用最广的轻金属,纯铝有良好的塑性、耐蚀性、导电性、导热性和焊接性,但强度、硬度较低。在铝中加入合金元素硅、铜、镁、锰、锌等,可以获得质量轻、强度高的零件。

铝合金分为铸造铝合金和变形铝合金两类,后者又包含防锈铝、锻铝、硬铝及超硬铝等类。表 1-7 列出了部分铝合金的性能。

4. 工程塑料

工程塑料是在工程中用来作结构或传动件材料的塑料,它有较强的强度,质量轻,具有绝缘性、减摩耐磨性、耐蚀性、耐热性等。一般说来,其成型工艺性好,生产率高,故发展很快,产量逐

年剧增,应用范围日益扩大,越来越受到工程界的重视。但由于目前其力学性能与钢铁材料相比尚有较大的差距,因而应用也尚受到一定的限制。在表 1-8 中示例性地列出了几种工程塑性的性能。

表 1-6 铜 合 金

牌 号*	力学性能		材料状态	用 途
	抗拉强度 σ_b MPa	伸长率 δ %		
ZCuSn5Pb5Zn5 (5-5-5 锡青铜)	200	13	砂 模 金属模	受载较大的零件,如轴套、轴承、螺母等耐磨件
ZCuSn10P1 (10-1 锡青铜)	220 310	3 2	砂 模 金属模	受冲击载荷的耐磨件,如齿轮、蜗轮、轴瓦、衬套、丝杆螺母等
ZCuPb20Sn5 (20-5 锡青铜)	150 150	5 6	砂 模 金属模	受重载的轴承、轴瓦等
ZCuAl10Fe3 (10-3 铝青铜)	490 540	10 12	砂 模 金属模	重要的轴承、轴套、轮缘及大型铸件等
H68 (黄铜)	300 500	50 12	带材 软的 硬的	冷冲压件,如法兰盘、支架、散热器外壳等
H62 (黄铜)	370	49	棒 材	螺母、垫圈、铆钉、弹簧等
HPb59-1 (铅黄铜)	420 520	42 4~6	棒材 软的 硬的	联接件,如螺钉、垫片、底座等

* 在牌号前带“Z”字母的材料为铸造用。

表 1-7 铝 合 金

牌 号	力学性能		材料状态 (棒材)	用 途
	抗拉强度 σ_b MPa	伸长率 δ %		
5A02 (LF2,防锈铝)	190 250	23 6	退火 半冷作硬化	中等强度的焊接件、冷冲压件、管道、容器、铆钉等
2A50 (LD5,锻铝)	420	13	淬火,人工时效	形状复杂的冲压件、锻压件
2A11 (LY11,硬铝)	420	15	淬火,自然时效	中等强度零件及焊接件,如螺栓、铆钉、接头、骨架等
7A04 (LC4,超硬铝)	600	12	淬火,人工时效	高强度零件、大梁、框架等
ZL101 (铸铝硅合金)	222	1	淬火,人工时效	中等强度形状复杂的零件,如支架、壳体、发动机附件等

二、钢的热处理简介

钢的热处理是将钢在固态状态下进行不同温度的加热、保温和冷却的工艺方法(图 1-1),促使其内部组织结构发生变化,从而达到提高零件的力学性能和改善其工艺性能的目的。正因为钢的热处理是在不改变所选用金属材料牌号的前提下,使之得以强化,能充分发挥材料的内部潜力,故是节约材料,提高机械产品质量,降低成本的一种重要手段。钢常用的热处理方法有:退火、正火、淬火、回火、调质及化学热处理等。

表 1-8 工 程 塑 料

名 称	力 学 性 能		用 途
	抗拉强度 σ_b MPa	伸长率 δ %	
丙烯腈、丁二烯、 苯乙烯 (ABC)	61.7 (高强度中冲击型)		作一般结构或耐磨受力传动零件和耐磨蚀设备,用 ABS 制成泡沫夹层板可做小轿车车身
聚 砜 (PSU)	70.5 ~ 83.3	20 ~ 100	适于高温下工作的耐磨受力传动零件,如汽车分速器盖、齿轮以及电气绝缘零件等
尼龙 66	46 ~ 81.3	60 ~ 200	适用于中等载荷、温度 $\leq 100 \sim 120^\circ\text{C}$ 、无润滑或少润滑条件下工作的耐磨受力传动零件
聚四氟乙烯 (PTFE, F-4)	13.7 ~ 24.5	250 ~ 350	主要用作耐化学腐蚀、耐高温的密封元件,也用作输送腐蚀介质的高温管道、耐腐蚀衬里、容器以及轴承、导轨、无油润滑活塞环、密封圈等
酚醛塑料 (PF)	24.5		常用的为层压酚醛塑料和粉末状压制塑料,有板材、管材及棒料等。可用作轴承、轴瓦、带轮、齿轮、制动装置和离合装置的零件、摩擦轮及电气绝缘零件等

1. 退火、正火

把钢加热到临界温度(在钢的固态范围内,引起钢内部组织结构发生变化的温度)以上,然后随炉缓冷的过程称为退火。其目的是降低材料的硬度,提高塑性,细化结晶组织结构,改善切削加工性能,消除铸、锻件及焊接件等由于冷热变形所引起的内应力。

正火和退火的工艺过程相似,所不同的是正火是在空气中冷却,冷却速度较快,因而可以获得较细的结晶组织结构,改善材料的综合力学性能,得到较高的强度和硬度。

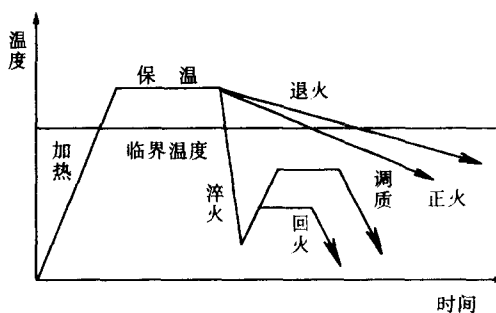


图 1-1 钢的热处理

2. 淬火、回火、调质

把钢加热到临界温度以上,保温一定时间,然后使之在水或油中迅速冷却的过程称淬火。由于材料内部组织结构的变化,使其硬度提高,增大了材料的耐磨性;但材料的脆性也增加,塑性、韧性降低,并在材料内部形成较大的淬火应力,会导致零件的变形或开裂。为了消除淬火应力,提高材料的塑性和韧性,淬火后零件需经回火处理。回火是把淬火后的零件再次加热到一定温度(低于临界温度),保温一定时间,然后在空气中冷却。根据要求的不同,可以采用不同的回火温度,回火温度愈高,材料的硬度和强度下降愈多,而塑性和韧性则显著提高。

低温回火($150 \sim 250^\circ\text{C}$),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。

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

高温回火(500~650℃),淬火加高温回火的工艺过程称为调质。调质处理可以提高和改善材料的综合力学性能。所以一些重要的受力零件,特别是一些在变应力下工作的零件,如连杆、齿轮和轴等,常采用调质处理。

对于一些要求表面有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,如火焰表面淬火、高频表面淬火等。

3. 化学热处理

化学热处理是把零件放入化学介质(如碳、氮等)中加热、保温,使介质元素渗入零件表层中,使其化学成分改变,从而使表层的组织性能变化。常用的化学热处理方法有:

1) 渗碳 常用于低碳钢或低碳合金钢,渗碳使零件表层的含碳量增高,然后通过淬火,使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。

2) 渗氮(氮化) 渗氮是在零件表面形成一层高硬度的氮化层,以提高零件表面的耐磨性和抗疲劳强度。渗氮温度较低,零件变形小;但渗氮层较薄,不能承受大的压力和冲击。渗氮零件的材料常选用38CrMoAlA渗氮钢。

3) 氰化(碳氮共渗) 氰化工艺是在碳氮共渗后淬火加低温回火,其渗层的硬度和耐磨性比渗碳层高。由于氰化温度比渗碳温度低,故零件变形小。氰化常用于低碳钢或中碳钢。

三、选用材料的基本原则

在机械设计中,零件材料选用的是否合理,将直接影响到机械的使用性能、工作可靠性和经济性。因此,合理的选用材料是一项十分重要的工作,在选用材料时,应注意以下几方面的要求。

1. 使用方面的要求

所选用材料首先应满足零件工作上的需要,故在选用材料时应考虑到:

1) 零件所受载荷的大小和性质,以及应力状态(大小、性质、分布情况)。例如以承受拉伸为主的零件,通常选用钢材,而不宜用抗拉强度很差的铸铁;以受压为主的零件可考虑选用铸铁,以发挥铸铁抗压强度比抗拉强度高得多的优点;当零件承受冲击载荷时,应选韧性较好的材料。

2) 零件的工作条件。例如零件的工作环境温度高时,应选高温力学性能较好的材料;零件与有腐蚀性的介质接触时,应选抗蚀耐蚀材料;零件间有较大的相对滑动速度时,应选用减摩耐磨材料,等等。

3) 对零件尺寸及重量有限制。如在飞机制造中,为了减轻零件的重量,常采用轻合金和具有高强度的合金钢或复合材料。

4) 零件的重要程度。对于重要的零件,为保证设备和人身安全,常选综合力学性能较好的材料。

5) 其他特殊要求,如导电性、抗磁性等。

上述各点不应孤立单独地考虑,而应综合考虑。例如并不是所有受力较大的零件都要采用高强度的材料,若对零件的尺寸和重量没有严格的限制时,就可以采用强度较低而资源丰富、价格低廉的材料。应该指出,为了满足一些较高的使用要求,并不一定非采用价格昂贵的高性能金属不可,而应尽可能适当地采用各种热处理、表面涂镀、局部镶嵌、表面强化(喷丸、滚压)等办法,来满足各种特殊使用要求。

2. 工艺方面的要求

所选材料要保证零件能很方便地制造出来,即应与零件结构和复杂程度、尺寸大小和毛坯的

制造方法相适应。例如外形复杂、尺寸较大的零件,若考虑用铸造毛坯,则应选用适合铸造的材料;若考虑用焊接毛坯,则应选用焊接性能较好的材料,含碳量大于 0.5% 的钢就难以焊接;尺寸小、外形简单、批量大的零件适于冲压或模锻,所选材料的塑性就应较好。

零件材料的选用和零件的结构设计是互相影响的,在选用材料时要考虑到零件的结构形状,而在作零件的结构设计时,又应考虑到零件所选用的材料及毛坯的制造方法。

3. 经济方面的要求

所选材料应保证零件能最经济地制造出来,这不仅要考虑到原材料价格的高低,而且还应考虑到整个零件制造成本的高低。例如铸铁虽然比钢材的价格低,但对一些单件生产的尺寸较大的机座,采用型材焊接往往比用铸铁铸造快而成本低,因为铸造需要制作价格贵而费时的木模。由于焊接技术的发展,使有可能用较小而简单的锻件和型材焊成大而复杂的毛坯,这样既可降低产品成本,缩短制造周期,还可提高产品质量。

在设计中应注意不用或少用我国较为稀缺的原材料(如铜、镍等),积极采用代用材料,推广采用我国富有的新钢种(如低合金钢)。注意市场和本单位的材料供应情况,尽可能就地取材;同时还应减少同一设备中材料的品种规格数量,以免给供应和生产造成困难。

总之,在选用材料时,应结合零件的使用情况、各种材料的性能和毛坯的制造方法等因素予以综合考虑,分清主次,以满足主要要求,协调次要要求。在选用材料时,还应注意本单位对材料使用的有关规定及经验,参照已成功使用着的同类机器中各零件材料的应用情况,这些都将有助于对零件材料的选取。

§ 1-2 机械零件的结构工艺性

零件的结构设计是整个机械设计工作中重要的一环。零件的结构设计就是要确定零件各部分的形状、尺寸、配合要求和制造精度等。零件结构设计的好坏,影响到零件的制造和装配是否容易,使用维护和检修是否方便,以及成本的高低。好的结构设计是保证零件有良好工艺性的前提。良好的工艺性是指:能以最低的成本和最少的劳动量将零件制造出来,并便于装配、维修和更换。在作零件的结构设计时,应注意如下事项。

一、要便于零件毛坯的制造

零件的结构形状和零件毛坯的制造是互相影响的。零件结构的复杂程度和尺寸大小,往往决定了毛坯的制造方法;而毛坯的制造方法又反过来影响着零件的结构设计。

零件毛坯有铸件、锻件、轧制件、冲压件和焊接件等。对毛坯结构设计应注意的事项,举例说明如表 1-9 所示。

二、要便于零件的机械加工

机械加工是获得零件精确形状、尺寸和表面质量的主要方法。常用的机械加工方法有车、铣、刨、磨、镗、钻、铰等。加工方法不同,对零件结构工艺性要求也不同。现将其中的一些注意事项举例列于表 1-10 中。