

高等学校适用教材

TH122-43
C71

机械设计基础

初嘉鹏 贺凤宝 主编



A0964857

中国计量出版社

图书在版编目(CIP)数据

机械设计基础/初嘉鹏,贺凤宝主编. —北京:中国计量出版社,2002.3

高等学校适用教材

ISBN 7-5026-1593-8

I. 机… II. ①初…②贺… III. 机械设计—高等学校—教材 IV. TH122

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2002)第 014542 号

内 容 提 要

本书以阐述机械设计基础理论与方法为主线,通过对常用机构和通用零件的运动设计、强度设计和结构设计的研究,将课程内容贯穿起来。考虑到非机类专业面广,学时少,在内容上力求以基本知识为基础,精选内容,深入浅出,并加入新知识内容。

本书可作为高等学校工科非机类轻化工各专业“机械设计基础”课程的教材,也可供有关专业师生和工程技术人员参考。

中国计量出版社出版

北京和平里西街甲 2 号

邮政编码 100013

电话(010)64275360

E-mail jlfxb@263.net.cn

北京市迪鑫印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行

版权所有 不得翻印

*

787 mm × 1092 mm 16 开本 印张 17.5 字数 420 千字

2002 年 3 月第 1 版 2002 年 3 月第 1 次印刷

*

印数 1—5 000

定价:26.00 元

前 言

本书是根据国家教育委员会高等教育司印发的高等学校工科本科“机械设计基础课程教学要求”(1995年修订版)及近年来课程改革基本趋向编写的。由大连轻工业学院机械设计教研室组织编写,可作为高等学校工科非机类轻化工各专业“机械设计基础”课程的教材,也可供有关专业师生和工程技术人员参考。

本书以阐述机械设计基本理论与方法为主线,通过对常用机构和通用零件的运动设计、强度设计和结构设计的研究,将课程内容贯穿起来。考虑到非机类专业面广,课程学时数少,在内容题材上,本书力求以基本知识为基础,精选内容,深入浅出,同时也注意适当拓宽知识面,以便学生了解不断发展的有关新技术。为便于教学,每一章精选了一定数量的习题,其中有些习题是为了训练学生查阅手册能力。

本书采用国际单位制,并尽量采用国际通用符号和脚标。

参加本书编写工作的有:初嘉鹏(第一、十一、十二、十三章)、许文才(第二、三、四章)、贺凤宝(第五、六、七章)、刘艳秋(第八、九、十章)、欧建志(第十四章),由初嘉鹏、贺凤宝主编。

本书经刘学光教授仔细审阅,并提出宝贵意见,特此致谢。

由于编者水平所限,疏漏、错误之处在所难免,敬请读者批评、指正。

编 者

2001.9

目 录

第一章 总论	(1)
§ 1-1 “机械设计基础”课程研究的对象和内容	(1)
§ 1-2 机械设计的基本要求和一般步骤	(3)
§ 1-3 机械零件的常用材料及热处理	(4)
§ 1-4 机械零件的工作能力和计算准则	(8)
习题	(12)
第二章 平面机构的自由度和速度分析	(13)
§ 2-1 机构的组成及其运动简图的绘制	(13)
§ 2-2 平面机构自由度的计算	(17)
§ 2-3 计算机构自由度时应注意的事项	(19)
§ 2-4 速度瞬心及其在平面机构速度分析上的应用	(21)
习题	(24)
第三章 平面连杆机构	(26)
§ 3-1 概述	(26)
§ 3-2 平面四杆机构的基本类型及应用	(26)
§ 3-3 平面四杆机构的演化	(29)
§ 3-4 平面四杆机构有曲柄的条件及几个基本概念	(32)
§ 3-5 平面四杆机构的设计	(36)
习题	(41)
第四章 凸轮机构	(43)
§ 4-1 凸轮机构的应用及分类	(43)
§ 4-2 从动件常用运动规律及其选择	(45)
§ 4-3 图解法设计凸轮轮廓	(50)
§ 4-4 解析法设计凸轮轮廓	(53)
§ 4-5 设计凸轮机构应注意的问题	(55)
§ 4-6 间歇运动机构和组合机构	(58)
习题	(64)
第五章 齿轮机构	(66)
§ 5-1 概述	(66)
§ 5-2 齿廓啮合基本定律和齿廓曲线	(66)
§ 5-3 渐开线齿廓	(68)
§ 5-4 渐开线标准直齿圆柱齿轮的基本参数和尺寸	(70)
§ 5-5 渐开线直齿圆柱齿轮的啮合传动	(73)
§ 5-6 渐开线齿轮的切削原理	(75)

§ 5-7 根切、最少齿数和变位齿轮	(77)
§ 5-8 斜齿圆柱齿轮机构	(79)
§ 5-9 圆锥齿轮机构	(83)
§ 5-10 蜗杆蜗轮机构	(86)
习题	(90)
第六章 轮系	(92)
§ 6-1 轮系的分类	(92)
§ 6-2 定轴轮系的传动比	(92)
§ 6-3 周转轮系的传动比	(95)
§ 6-4 复合轮系的传动比	(97)
§ 6-5 轮系的功用	(100)
习题	(102)
第七章 齿轮传动	(103)
§ 7-1 齿轮传动的失效形式及设计准则	(103)
§ 7-2 齿轮材料和许用应力	(105)
§ 7-3 齿轮传动的精度	(108)
§ 7-4 直齿圆柱齿轮的强度计算	(109)
§ 7-5 直齿圆柱齿轮传动的设计计算	(114)
§ 7-6 斜齿圆柱齿轮传动的强度计算	(116)
§ 7-7 直齿圆锥齿轮传动的强度计算	(119)
§ 7-8 蜗杆传动的强度计算	(121)
§ 7-9 齿轮的结构与润滑	(125)
习题	(128)
第八章 带传动	(130)
§ 8-1 概述	(130)
§ 8-2 V 带和 V 带轮	(131)
§ 8-3 带传动的工作情况分析	(135)
§ 8-4 V 带传动的设计计算	(138)
§ 8-5 同步齿形带传动简介	(144)
习题	(146)
第九章 链传动	(147)
§ 9-1 概述	(147)
§ 9-2 传动链和链轮	(149)
§ 9-3 链传动的运动特性和参数选择	(151)
§ 9-4 链传动的设计计算	(153)
§ 9-5 链传动的布置及润滑	(158)
习题	(160)
第十章 联接	(161)

§ 10-1	螺纹联接的基础知识	(161)
§ 10-2	螺旋副的受力分析、效率和自锁	(163)
§ 10-3	螺纹联接和螺纹联接件	(166)
§ 10-4	螺纹联接的强度计算	(167)
§ 10-5	设计螺纹联接时应注意的几个问题	(172)
§ 10-6	螺旋机构	(175)
习题		(178)
第十一章	轴	(179)
§ 11-1	轴的类型和材料	(179)
§ 11-2	轴的结构设计	(180)
§ 11-3	轴的强度计算	(183)
§ 11-4	轴毂联接	(188)
习题		(192)
第十二章	轴承	(194)
§ 12-1	轴承的分类	(194)
§ 12-2	滑动轴承的典型结构	(194)
§ 12-3	非液体摩擦滑动轴承的校核计算	(199)
§ 12-4	液体摩擦滑动轴承及其他滑动轴承简介	(201)
§ 12-5	滑动轴承的润滑	(203)
§ 12-6	滚动轴承的类型、代号及其选择	(207)
§ 12-7	滚动轴承的失效形式及选择计算	(210)
§ 12-8	滚动轴承的组合设计	(216)
§ 12-9	滚动轴承的润滑和密封	(219)
习题		(220)
第十三章	联轴器和离合器	(222)
§ 13-1	联轴器	(222)
§ 13-2	离合器	(225)
§ 13-3	联轴器和离合器的选用	(229)
习题		(230)
第十四章	薄壁压力容器设计基础	(231)
§ 14-1	概述	(231)
§ 14-2	内压薄壁容器的设计计算	(234)
§ 14-3	外压薄壁容器的设计计算	(254)
习题		(265)
附录 I		(267)
附录 II		(268)

第一章 总论

§ 1—1 “机械设计基础”课程研究的对象和内容

机器是人类在长期生产实践中创造的具有某种用途的设备，借以减轻体力劳动，并有效地提高生产率。在社会生产活动和日常生活中常见的汽车、拖拉机、缝纫机、洗衣机、灌装机、包装机、各种机床等都是机器。

轻工业机械种类繁多，就其构造、用途和性能来说是各不相同的，但它们都有一些共同的特征。

图 1-1 所示为一台造纸机的简图。电动机 1 为整台机械的原动机，经联轴器 2，带动传动轴 3，无级变速器锥轮 4、5，减速器 6 等机构分别使运动传给造纸机各部分，完成预定的工艺要求：使配合适量浓度的浆料通过网部脱水形成纸幅，然后进入压榨部分用机械的方法继续脱水；通过烘干部加热烘干和压光机使纸张增加光泽度和紧度，然后进入卷纸机，将纸张连续卷成一定大小的卷筒纸。这台机械的网部、压榨部、烘干部、压光机、卷纸机，是按照造纸工艺的需要而设置的，我们称它为工作机部分；介于电动机和工作机之间的传动装置我们称它为传动部分。

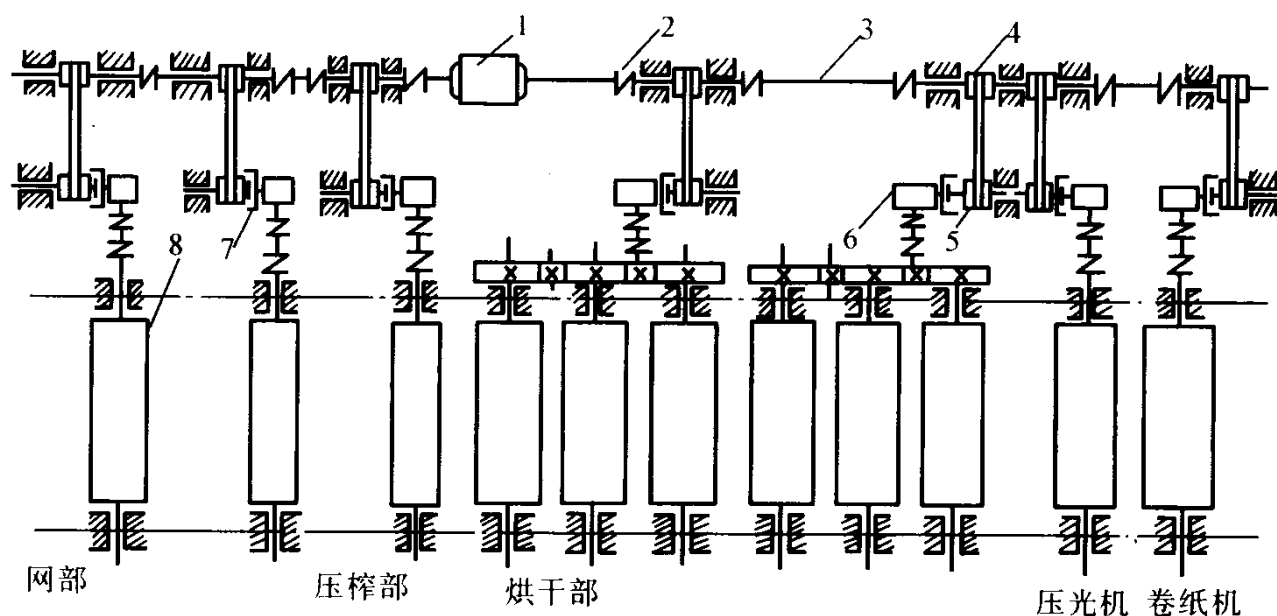


图 1-1 造纸机简图

1—电动机；2—联轴器；3—传动轴；4—无级变速器主动锥轮；
5—从动锥轮；6—减速器；7—摩擦离合器；8—辊子

又如图 1-2 所示的单缸四冲程内燃机，它是由汽缸体 1、活塞 2、进气阀 3、排气阀 4、连杆 5、曲轴 6、凸轮 7、顶杆 8、齿轮 9 和 10 等组成。燃气推动活塞作往复移动，经连杆转变为曲轴的连续转动。凸轮和顶杆是用来启闭进气阀和排气阀的。为了保证曲轴每转两周进、排气阀各启闭一次，曲轴与凸轮轴之间安装了齿数比为 1:2 的齿轮。这样，当燃气推动

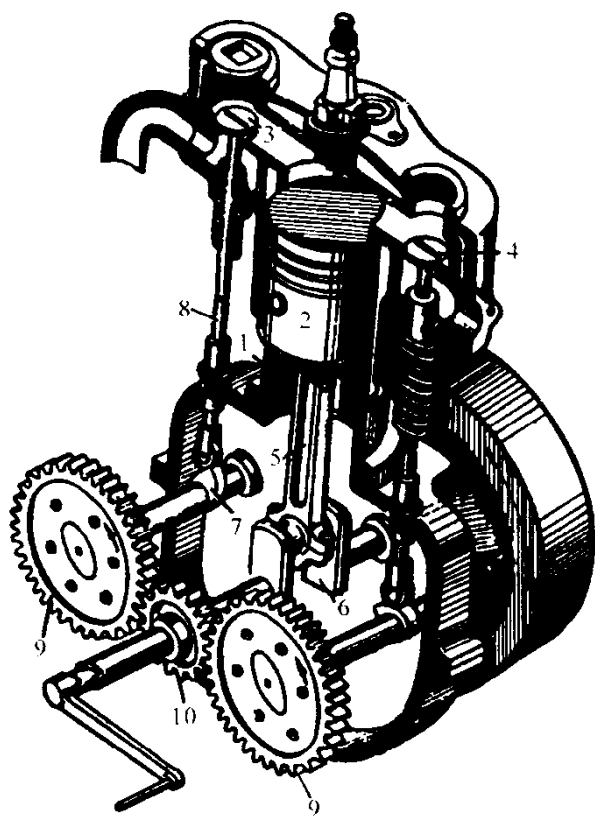


图 1-2 内燃机

活塞运动时，各构件协调地动作，进、排气阀有规律地启闭，加上汽化、点火等装置的配合，就把热能转换为曲轴回转的机械能。

机械的种类繁多，形式各不相同。但就其组成来说，一部完整的机械主要有以下四个部分。如图 1-3。

原动机 是机械的动力来源，除最常用的电动机外，尚有热力机（内燃机、汽轮机、燃气机）。原动机的作用是把其他形式的能转变为机械能以驱动机械运动和做功。

执行部分 或称工作部分，是直接完成机器预定功能的部件，如起重机的吊钩、车床的刀架、仪表的指针等。

传动部分 它是将原动机的运动和动力传递给工作部分的中间环节，在传递运动方面它可以改变运动速度、转换运动形式等，从而满足执行部分的各种要求。如将高转速变为低转速，小转矩变为大转矩，回

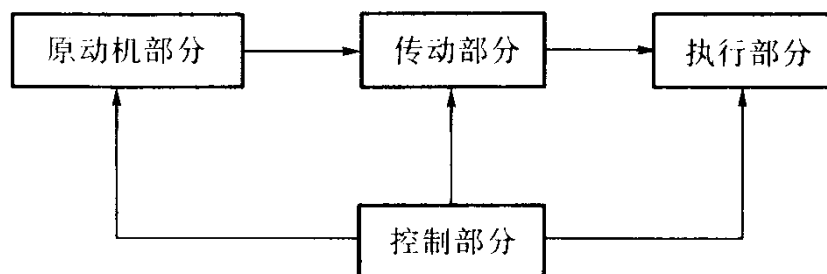


图 1-3 机械的组成

转运动变为直线运动等。

控制部分 或称操纵部分，它是用来控制机器的其他基本部分，使操作者能随时实现或终止各自预定的功能。如机器的开停、运动速度和方向的改变等。一般来说，现代机械的控制部分包括机械控制和电子控制系统。随着科学技术和生产的发展，对机械的功能和高度自动化的要求日益增长，因此对控制系统的要求也越来越高。

上述前三部分可以组成简单的机器，有的甚至只有原动机和执行部分，如水泵、砂轮机。但是对于较复杂的机器，除有上述四个基本组成部分外，还有润滑装置、照明装置等。

从上述两个例子得知，机器具有以下共同特征：

- ① 它们都是一种人为的实体组合；
- ② 各实体之间具有确定的相对运动；
- ③ 在工作时能转换机械能（如内燃机、发电机等）或做有效的机械功（如洗衣机、缝纫机、金属切削机床等）。

仅具有前两个特征的称为机构。若仅从结构和运动的观点来看，机器与机构两者之间并无区别。所以，通常用“机械”一词作为机器和机构的总称。

组成机构的各个相对运动部分称为构件。构件可以是单一的整体，也可以是由几个零件

组成的刚性结构。如图 1-4 所示内燃机的连杆就是由连杆体 1、连杆盖 2、轴套 3、轴瓦 4、螺栓 5、螺母 6 及开口销 7 等零件组成的刚性构件。由此，构件与零件的区别在于：构件是运动的单元，零件是制造的单元。

机械中的零件按其用途可分为两类：凡各种机械中都经常使用的零件，例如齿轮、轴、螺钉、键、弹簧等，称为通用零件；只在某些机械中使用的零件，例如缝纫机中的曲轴、连杆，灌装机中的凸轮，纺织机械中的纺锭、织梭，汽轮机的叶片等，称为专用零件。

另外，还常把一组协同工作的零件所组成的独立制造或独立装配的组合体称为部件，如减速器、离合器等。

本课程主要阐述一般机械中的常用机构和通用零件的工作原理、结构特点、基本的设计理论和计算方法。同时还扼要地介绍与本课程有关的国家标准和规范，以及某些标准零件的选用原则和方法。

为了学好本课程，首先要求学生必须掌握机械制图、工程力学、金属工艺学等先修课程有关的基础知识。通过本课程的教学，可使学生获得认识、使用和维护机械设备的一些基本知识，并能培养学生初步掌握运用有关机械设计方面的手册，设计简单机械传动装置的方法，为学习有关专业机械设备课程及以后参与技术革新奠定必要的基础。

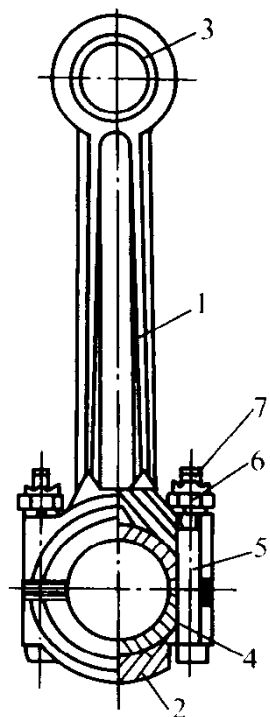


图 1-4 连杆

§ 1—2 机械设计的基本要求和一般步骤

一、机械设计的基本要求

机械的种类虽然很多，但设计时所考虑的基本要求却往往是相同的。这些基本要求有以下几个方面。

1. 运动和动力性能的要求

根据预定的使用要求确定机械的工作原理，并据此选择机构类型和机械传动方式，达到以合理的机构组合来协调运动，实现预定动作。在运动分析的基础上，对机构进行动力分析，从而确定作用在各零件上的功率、扭矩和作用力。

2. 工作可靠性要求

为了使机械在预定的工作期限内可靠地工作，防止因零件失效而影响正常运行，零件应满足下列要求：

(1) 强度 强度是衡量零件抵抗破坏的能力，是保证零件工作能力的最基本要求。零件强度不足时，就会发生不允许的塑性变形，甚至造成断裂破坏，轻则使机械停止工作，重则发生严重事故。为保证零件有足够的强度，零件的工作应力不得超过许用应力，这就是零件的强度计算准则。

(2) 刚度 刚度是衡量零件抵抗弹性变形的能力。零件的刚度不足时，就会产生不允许的弹性变形，形成载荷集中等，影响机械的正常工作。例如造纸机的辊子，机床的主轴，如果没有足够的刚度，就会导致产品质量的严重恶化。刚度计算准则要求零件工作时的弹性变

形量（弯曲挠度或扭转角）不超过机械工作性能所允许的极限值（即许用变形量）。

（3）耐磨性 耐磨性是指零件抵抗磨损的能力。例如齿轮的轮齿表面磨损量超过一定限度后，轮齿齿形有较大的改变，使齿轮转速不均匀、产生噪音和动载荷，严重时因齿根厚度减薄而导致轮齿折断。因此在磨损严重的条件下，以限制与磨损有关的参数（如零件接触表面间的压强和相对滑动速度）作为磨损计算的准则。

（4）耐热性 耐热性包括抗氧化、抗热变形和抗蠕变的能力。零件在高温（一般钢件在 $300\sim 400^{\circ}\text{C}$ 以上，轻合金和塑料件在 $100\sim 150^{\circ}\text{C}$ 以上）下工作时，将会因强度削弱而降低承载能力，同时会出现蠕变，增加塑性变形甚至发生氧化现象，从而大大影响机械的精度进而使零件失效。另外，高温下润滑油膜容易破裂，润滑能力降低甚至完全丧失。

对于不同用途的机械还可能提出一些特殊要求，例如：对机床要求能长期保持其精度；流动使用的机械（如钻探机、塔式起重机等）要便于安装、拆卸和运输；医药、食品、印刷、纺织和造纸等机械要求能保持清洁，不得污染产品。

二、机械设计的一般步骤

机械设计一般可分为以下几个阶段：

1. 提出设计要求

设计任务的提出，主要是根据社会和市场的需要，一定要有明确的目的。无论是设计新的机械产品还是进行技术改造，总是要达到某种技术经济目的，如提高劳动生产率、提高产品质量与使用寿命、节约原材料、降低能耗或减轻劳动强度等。

2. 调查研究、分析对比、确定设计模型与方案

设计者要了解所设计的对象的工作条件、环境、预计的生产能力、技术经济指标以及是否具有特殊的技术要求等，例如耐高温，耐腐蚀，材料、尺寸及重量的限制等，以作为设计的依据。同时要根据国家的标准、规范做到产品系列化、部件通用化、零件标准化。

根据调查、分析与研究，拟定所设计的机器方案。这是设计中的重要阶段，应力求做到所设计的方案技术先进、使用可靠、经济、合理。

3. 结构设计

在方案确定以后，需经过必要的计算与分析来确定数学模型与计算公式，在进行校验之后，即可着手进行结构设计，绘制装配草图、装配图和部装图，最后根据装配图与结构设计绘制零件工作图。

4. 试验分析

图纸设计完成后，需要编制必要的技术文件，进行产品试制，经过试车获得预期的结果，否则需要反复进行修改，直至完善。

5. 使用与考核

产品在成批制造与投放市场后，需广泛征求用户意见，以求不断地提高和完善。

§ 1—3 机械零件的常用材料及热处理

一、机械零件的常用材料

机械零件常用的材料有黑色金属（钢铁）、有色金属、非金属材料 and 复合材料。

(1) 钢 钢是指含碳量小于2%的铁碳合金。也是机械零件应用最广的材料, 具有较好的强度、韧性、塑性等性能, 并可通过热处理来改善力学性能和加工性能。钢制零件的毛坯可由锻造、轧制、冲压、焊接或铸造等方法获得。按化学成分, 钢分为碳素钢和合金钢。按用途, 钢又分为结构钢、工具钢和特殊钢。结构钢用于制造一般的零件, 是机电设备中用得最多的材料之一; 工具钢主要用于制造工具量具和模具刃具; 特殊钢用于制造有不锈钢、耐热、耐酸等特殊要求的零件。碳素钢的力学性能主要取决于含碳量低于0.25%的为低碳钢, 其抗拉强度和屈服强度较低, 但塑性和可焊性好; 在0.25%~0.6%的是中碳钢, 它有较强的强度, 又有一定的塑性和韧性, 综合力学性能较好; 在0.6%以上的为高碳钢, 其强度高韧性低, 弹性好塑性差。

常用的碳素结构钢有 Q215、Q235、Q255 等, 牌号中的数字表示其屈服强度, 因它主要保证力学性能, 故一般不进行热处理, 用以制造受载不大, 且主要处于静应力状态下的一般零件, 如螺栓、螺母、垫圈等。常用的优质碳素结构钢有 15 钢、20 钢、35 钢、45 钢等, 它以万分比的含碳量作牌号, 既保证力学性能, 又保证化学成分, 可进行热处理。用于制造受载较大, 或承受一定的冲击载荷或变载的较重要的零件, 如一般用途的齿轮、蜗杆、轴等。

合金结构钢是在优质碳素结构钢中掺入适当的合金元素冶炼而成。如锰 (Mn) 能提高强度和韧性; 钼 (Mo) 的作用类似锰, 而影响更大; 镍 (Ni) 可提高强度而不降低韧性; 硅 (Si) 可提高弹性和耐磨性, 但降低韧性; 铬 (Cr) 能提高硬度和耐磨性; 钒 (V) 能提高强度和韧性。合金元素含量低于 5% 者称为低合金钢, 高于 5% 者称为高合金钢。合金钢的热处理工艺性好, 但价格高, 对应力集中较敏感。

合金钢也分为合金结构钢、合金工具钢和特殊合金钢等。机械零件常用的是合金结构钢, 它的牌号是在表示碳的万分比含量的两位数字后, 加注所含主要合金元素的符号和一位数字表示的其百分比含量, 当元素含量小于 1.5% 时, 不注含量。如合金结构钢 12CrNi2 表示各平均含量为: 碳为 0.12%, 铬为小于 1.5%, 镍为 1.5%~2.5% 之间 (均为质量分数)。

较大的零件可用铸钢制造, 其牌号前冠以字母 ZG, 强度稍低于同牌号的锻钢或型钢。铸钢的铸造性比灰铸铁差, 故铸钢件的壁厚、连接处的圆角和过渡部分的尺寸均应比灰铸铁的稍大。

(2) 铸铁 铸铁是指含碳量大于 2% 的铁碳合金, 它的铸造工艺性好, 适于形状复杂的零件、且价廉。缺点是抗拉强度、塑性和韧性较差, 不能锻造或轧制。铸铁有灰铸铁 (牌号前冠以字母 HT)、球墨铸铁 (QT)、可锻铸铁 (KT) 等。灰铸铁除铸造性能良好外, 其切削性、减摩性、减振性也较好, 抗压强度约为抗拉强度的四倍, 宜用作受压载荷、尺寸大形状复杂的零件, 如箱体、机座、带轮等。球墨铸铁因所含石墨成球状而得名, 其力学性能接近于低碳钢, 常用来替代钢, 制造曲轴等承受冲击载荷且形状复杂的零件。

(3) 有色金属材料 机械零件常用的有色金属材料主要有铜、铝、锌及其合金和轴承合金等。

① 铜合金: 铜合金不仅具有良好的减摩、耐磨性, 还具有优良的导电、导热、耐腐蚀和延展性。铜合金分黄铜和青铜两种。黄铜是铜锌合金, 其强度和耐腐蚀性较好。青铜又分锡 (又称普通) 青铜和无锡 (特殊) 青铜两种, 前者是铜锡合金; 后者是铜和铝、铁、铅等的合金。锡青铜的减摩、耐磨性较无锡青铜好, 但强度稍差。铜合金可铸造或辗压来制备毛坯, 铸造的强度低, 但可制造形状复杂的零件。铜合金是轴承、蜗轮等的主要材料。

② 轴承合金：轴承合金又称巴氏合金，是锡、铅、锑、铜等的合金，具有优良的减摩、耐磨、导热性，是滑动轴承衬的专用材料。

轴承常用的有色金属材料的牌号和主要性能指标见第十二章。

(4) 粉末冶金材料 粉末冶金材料是用铁、铜等金属粉末（或某些非金属粉末）压制成形，再经高温烧结而成。其特点是呈多孔状、能贮油而成为自润滑材料；耐磨性、透过性好；工艺性能和材料利用率高；成本低。

在机械设计中，粉末冶金可作为减摩材料、摩擦材料和过滤材料。

(5) 非金属材料 工程塑料、橡胶、皮革、陶瓷、木材、石材等都是非金属材料。工程塑料具有重量轻、绝缘、耐热、耐蚀、耐磨，注塑成型方便等优点，近年来得到广泛的应用。橡胶除具有弹性，能缓冲吸振外，还具有耐磨、绝缘等性能，多用于制造胶带、密封垫圈、轮胎和减振零件等。

(6) 复合材料 复合材料是由两种或两种以上的金属或非金属材料复合而成的一种新材料。如用金属、陶瓷、塑料等材料作基材，用纤维强度很高的玻璃、石墨、硼等作为纤维，复合成各种纤维增强复合材料，可用于制造压力容器和车辆外壳等。目前复合材料的成本高，产量低，应用少。但它代表了材料科学与工业发展的方向。

二、钢的热处理

热处理是将钢在固态下加热到一定温度，进行必要的保温，然后采用不同的冷却速度，以改变钢的组织结构，从而得到所需性能的工艺方法。热处理能充分发挥材料的潜力，节省钢材，延长机械的使用寿命，在机械制造中具有重要的作用。目前机械中大多数零件都要进行热处理。

常用的热处理方法有退火、正火、淬火及回火、表面热处理等。

1. 退火

退火是将钢加热到一定温度，保温一段时间，然后随炉冷却的热处理方法。其目的是消除材料内部组织应力和降低硬度，以利于切削加工；提高塑性和韧性；改善组织，为进一步热处理作好准备。

2. 正火

正火的方法与退火相似，但正火时钢是在空气中冷却。由于正火的冷却速度比退火快，钢的硬度和强度较高，但消除内应力不如退火彻底。正火时钢在炉外冷却，不占用设备，生产率较高，故低碳钢大多采用正火代替退火。对一般要求的零件，正火常用于提高其机械性能，以后不再进行其他热处理。

3. 淬火及回火

淬火是将钢加热到一定温度，保温一段时间，然后在水或油中快速冷却的一种热处理方法。

淬火后，钢的硬度急剧增加，但存在很大的内应力，脆性也相应增加。为了减小内应力、脆性和获得良好的机械性能，淬火后一般均需回火。

回火是将淬火钢重新加热到某一低于临界的温度，保温一段时间，然后冷却下来的热处理方法。回火可分为低温回火、中温回火和高温回火三种。低温回火的加热温度为 150 ~ 250℃，淬火钢经低温回火后，可以减小内应力和脆性，仍能保持淬火钢的高硬度和耐磨性，

适用于刀具、量具等工具；中温回火的加热温度为 $350 \sim 500^{\circ}\text{C}$ ，淬火钢经中温回火后，提高了弹性，但硬度有所降低，适用于有弹性要求的零件，如弹簧等；高温回火的加热温度为 $500 \sim 650^{\circ}\text{C}$ ，淬火钢经高温回火后，可以获得强度、硬度、塑性和韧性等都较好的综合机械性能，适用于各种重要的机械零件，如齿轮、轴等。生产上习惯把淬火后高温回火的热处理方法称为调质处理。

4. 表面热处理

表面热处理是强化零件表面的重要手段，常用的有表面淬火和化学热处理两种。

表面淬火是将零件表面迅速加热到淬火温度，不等热量传至中心，即快速冷却的热处理方法。加热方法有表面火焰加热和感应电流加热等。常用的材料有中碳结构钢和中碳合金结构钢，如 45、40Cr、40MnB、35SiMn 等。零件进行表面淬火及低温回火后，表面变硬而耐磨，芯部仍保持原有韧性。机床中的齿轮，内燃机中的曲轴轴颈等常采用这种处理方法。

化学热处理是将机械零件放在含有某种化学元素（如碳、氮、铬、铝、硼等）的介质中加热保温，使该元素的活性原子渗入到零件表面的热处理方法。根据渗入元素的不同，有渗碳、氮化和氰化等。

渗碳的材料一般为低碳结构钢和低碳合金结构钢，如 20、20Cr、20CrMnTi 等。工件经渗碳后，表面为高碳组织，为了进一步提高其硬度和耐磨性，需要进行淬火及低温回火，而芯部仍为低碳组织，保持原有的韧性，这种方法常用于处理各种齿轮、凸轮等零件。

氮化的工件需要采用专门的渗氮钢，如 38CrMoAlA 等。机械零件经氮化后，表面形成一层氮化物，不需进行淬火便具有高的硬度、耐磨性、耐蚀性和抗疲劳性能等。此外，氮化温度较低（一般在 $500 \sim 570^{\circ}\text{C}$ ），零件变形小。因此广泛应用于处理精密量具，高精密机床主轴等。

氰化是碳氮共渗，其中高温氰化以渗碳为主，低温氰化以氮化为主。

三、选择机械零件材料的原则

在机械设计中，零件材料的选择是一个很重要的问题。选择时，主要应考虑以下三个方面：

(1) 使用要求

主要包括① 受载及应力情况：如受拉伸载荷、冲击载荷、变载或受载后产生交变应力的零件应选用钢材；受压零件可选用铸铁。② 零件的工作条件：如做相对运动的零件应选用减摩、耐磨材料如锡青铜、轴承合金等；高温环境中的零件应选用耐高温的材料；在腐蚀介质中工作的零件应选用耐蚀材料。③ 零件尺寸和重量限制：如要求体积小宜选高强度材料；要求重量轻时应选用轻合金或塑料。④ 零件的重要程度：如危及人身和设备安全的零件，应选用性能指标高的材料。

(2) 工艺要求

应使零件的材料与制造工艺相适应，如结构复杂的箱、壳、架、盖等零件多用铸坯，宜选用铸造性能好的材料，如铸铁；当尺寸大且生产批量小时可采用焊坯，宜选用可焊性好的材料；形状简单、强度要求较高的零件可采用锻坯，应选用塑性好的材料；需要热处理的零件，应选用热处理性能好的材料，如合金钢；对精度要求高、需切削加工的零件，宜选用切削加工性能好的材料。

(3) 经济性要求

在机械产品的成本中,材料成本一般占 $\frac{1}{3} \sim \frac{1}{4}$ 。应在满足使用要求的前提下,尽量选用价格低廉的材料。如用球墨铸铁代替钢材;用工程塑料代替有色金属;采用热处理或表面强化处理,充分发挥材料的潜在力学性能;设计组合式零件结构以节约贵重金属。精铸、精锻等无或少切削加工工艺虽需一定的设备投资,但能提高材料的利用率,对大批量生产可大幅度降低成本,尤其对贵重金属效果更为明显。经济性还包括生产费用,铸铁虽比钢便宜,但在单件或小批量生产时,铸模加工费用相对较大,故有时宁可用焊接件代替铸件。

§ 1—4 机械零件的工作能力和计算准则

机械零件丧失工作能力或达不到设计要求的性能时称为失效。失效和破坏是两个概念,失效并不一定意味着破坏。在不发生失效的条件下,零件所能安全工作的限度就称为工作能力。零件失效常见的形式有:① 断裂;② 表面失效;③ 过量变形;④ 打滑或滑移;⑤ 振动失稳;⑥ 蠕变;⑦ 腐蚀等,其中②中又包括疲劳点蚀(接触疲劳)、表面压溃、磨损、胶合四种情况。对于具体零件,其失效形式取决于受力情况、结构特点和工作条件。针对不同失效形式建立的判定零件工作能力的条件,称为工作能力计算准则。这主要有强度、刚度、耐磨性、耐热性和振动稳定性准则等。下面主要讨论零件的强度、刚度及耐磨性,其他准则可参看有关专著。

一、强度

强度条件是机械零件中最基本的工作能力计算准则,它又包括不同的形式和内容。

(1) 名义载荷与计算载荷

根据名义功率和转速按力学关系算出作用在零件上的载荷,称为名义载荷,它是零件在理想工况下的理想机器中所受到的载荷。计算载荷是考虑实际工况下的实际机器中,载荷随时间的变化,和在零件上分布的不均匀性等因素影响的载荷。机械零件的设计计算应按计算载荷进行,它等于载荷系数 $K (>1)$ 与名义载荷的积。

(2) 表面强度

表面强度包括接触强度和挤压强度。

① 接触强度:对于高副机构的工作表面,理论上是以点、线接触传递载荷,实际上由于局部弹性变形,而形成了小的接触区,如图1-5(a)所示,在很小的接触区表层产生很大的应力,称为接触应力。接触应力呈椭圆分布,其最大值用 σ_H 表示,称为最大接触应力。由弹性力学分析可知,当两个轴线平行的圆柱体接触并相互挤压时(图1-5(b)),其接触区为一狭长矩形,最大接触应力 σ_H 发生在接触区中线上,其值为

$$\sigma_H = \sqrt{\frac{F_n}{\pi b} \frac{\frac{1}{\rho_1} \pm \frac{1}{\rho_2}}{\frac{1-\mu_1^2}{E_1} + \frac{1-\mu_2^2}{E_2}}} \quad (1-1)$$

该式称为赫兹(H·Hertz)公式,其中 μ_1 、 μ_2 分别为圆柱体1、2材料的泊松比; E_1 、 E_2 分别为圆柱体1、2材料的弹性模量;其他各符号的含义见图1-5(b);式中正号指外接触(左

图), 负号指内接触 (右图)。

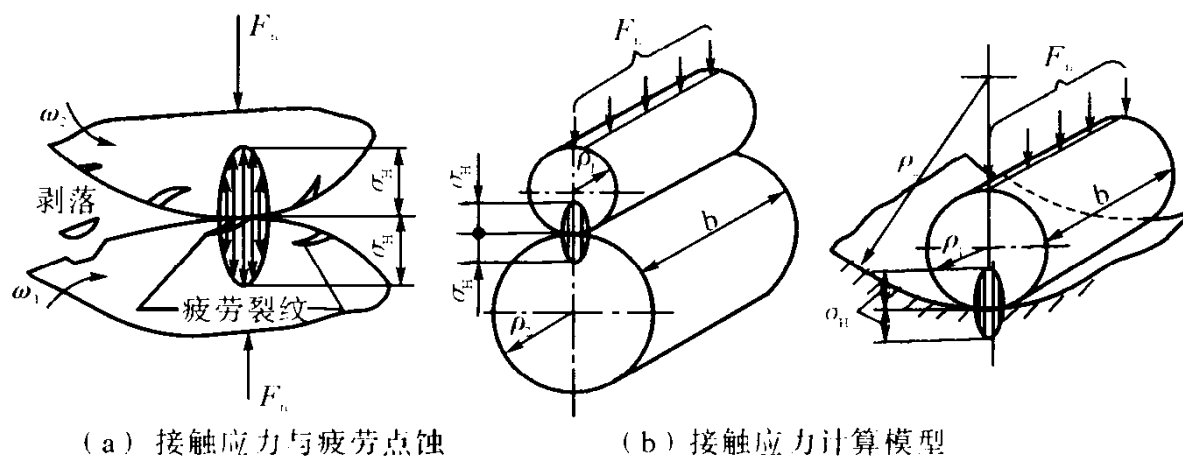


图 1-5 疲劳点蚀和接触应力计算模型

机械零件的接触应力一般为交变应力, 通常接近似于脉动循环处理, 在交变应力的反复作用下, 零件表层先是产生微小的疲劳裂纹。有润滑时, 润滑油进入裂纹, 并产生很高的油压加速裂纹扩展, 直至表层金属呈粒状剥落, 在表面形成小坑, 如图 1-5(a), 这种现象称为疲劳点蚀。点蚀的结果使零件接触面积减小, 失去光滑的表面, 不但降低承载能力, 还会引起振动和噪声。因此, 它是润滑良好的高副零件常见的失效形式。设计时应满足的强度条件为

$$\sigma_H \leq [\sigma_H] \quad (1-2)$$

式中: $[\sigma_H]$ ——材料的许用接触疲劳应力。

② 挤压强度: 两个面接触并相互挤压的零件, 接触面上会产生挤压应力, 若挤压应力过大, 则塑性材料的零件接触面将产生局部塑性变形; 而脆性材料的零件接触面将产生破碎, 二者均造成失效。

通常接触面上挤压应力的分布是不均匀的, 为方便计算, 假定挤压应力是均布的, 则挤压强度条件为挤压应力

$$\sigma_p = \frac{F_N}{A} \leq [\sigma_p] \quad (1-3)$$

式中: F_N ——零件间的作用力;

A ——接触面在垂直于作用力方向的投影面积;

$[\sigma_p]$ ——许用挤压应力, 假设带来的计算误差应在规定 $[\sigma_p]$ 时加以补偿。

(3) 体积强度

体积强度条件是机械零件最多见的计算准则, 它包含了拉压、剪切、扭转、弯曲四种基本的体积强度类型。若零件的四种强度不够, 则工作时会产生断裂或过量的塑性变形, 造成失效。设计时必须满足的强度条件为

$$\sigma \leq [\sigma], \tau \leq [\tau] \quad (1-4)$$

式中: σ 、 τ ——分别为零件危险截面处的最大正应力和切应力, 对交变应力还应考虑应力集中等因素的影响;

$[\sigma]$ 、 $[\tau]$ ——分别为材料的许用正应力和切应力。

(4) 许用应力

许用应力是强度条件的尺度或判据。合理的许用应力可以使零件在具有足够的强度和寿

命的前提下,尺寸小、重量轻。许用应力的确定,主要采用算法,公式为

$$[\sigma] = \frac{\sigma_{\lim}}{S}, [\tau] = \frac{\tau_{\lim}}{S} \quad (1-5)$$

式中: $\sigma_{\lim}$ 、 $\tau_{\lim}$ —— 分别为极限正应力(包括体积强度的正应力和接触应力)和极限切应力;
 S —— 安全系数。

显然,主要是要确定材料的极限应力和安全系数。

① 极限应力: 极限应力的确定取决于应力的循环性质和零件的材料,常见的应力循环类型如图 1-6 所示。在静应力下工作的零件,主要失效形式是断裂或塑性变形。因此,对于塑性材料以其屈服点 σ_s 为极限应力;对于脆性材料,取其强度极限 σ_B 作为极限应力。在变应力下工作的零件主要失效形式是疲劳断裂。因此,在对称循环变应力作用下,取材料的对称循环疲劳极限 σ_{-1} 为极限应力;在脉动循环变应力作用下,取材料的脉动循环疲劳极限 σ_0 为极限应力;在非对称循环变应力作用下,可通过疲劳试验或极限应力图(参见《机械设计》)确定材料的疲劳极限,并取其为极限应力。

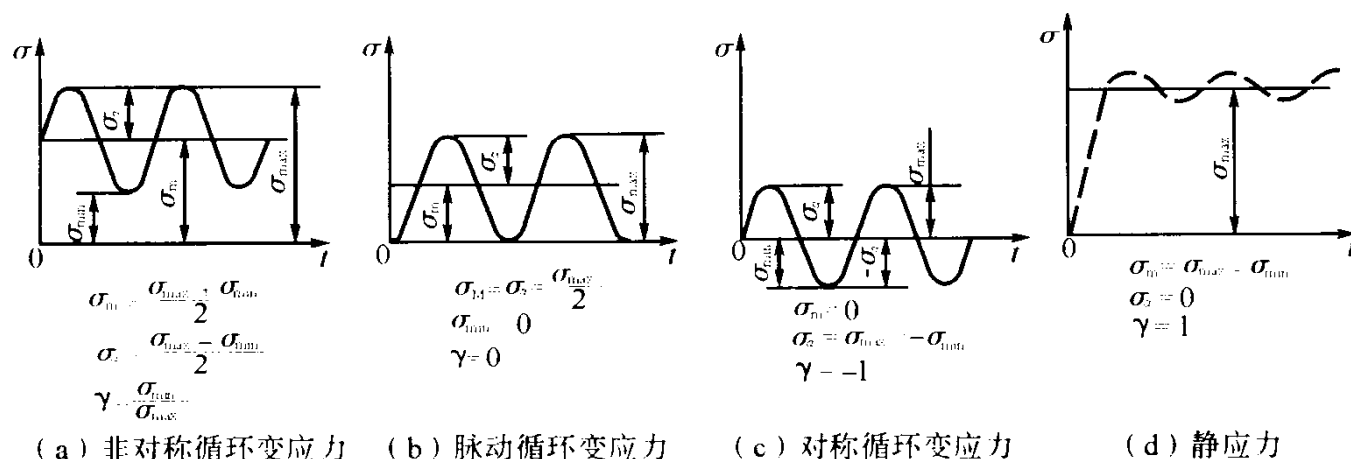


图 1-6 应力的循环种类

② 安全系数: 安全系数可以用查表法和部分系数法确定。前者的表格是由各行业部门经长期实践、总结制订的安全系数(或许用应力),详见以后的章节。这种方法具体、可靠、简单,但适用范围窄。后者一般用于无可靠的资料直接确定安全系数的情况下,取安全系数等于各个影响因素系数的连乘积,即

$$S = S_1 \cdot S_2 \cdot S_3 \quad (1-6)$$

式中: S_1 —— 考虑载荷及应力计算的准确性系数, $S_1 = 1 \sim 1.5$;

S_2 —— 考虑材料的均匀性系数,对锻或轧钢零件: $S_2 = 1.2 \sim 1.5$, 对铸铁零件:
 $S_2 = 1.5 \sim 2.5$;

S_3 —— 考虑零件重要程度的系数, $S_3 = 1 \sim 1.5$ 。

二、刚度

刚度是指零件在载荷作用下,抵抗弹性变形的能力。重要的机械零件刚度不足,就会产生过量的弹性变形,影响机器的正常工作。设计时应满足的刚度条件为

$$y \leq [y], \theta \leq [\theta], \varphi \leq [\varphi] \quad (1-7)$$

式中: y 、 θ 、 φ —— 分别为零件工作时的挠度、转角和扭角;

$[y]$ 、 $[\theta]$ 、 $[\varphi]$ —— 相应的许用挠度、转角和扭角,具体由零件的使用要求确定。

三、耐磨性

机器中,凡具有相对运动或相对运动趋势的接触表面间都存在摩擦。摩擦表面物质在相对运动中不断损耗的现象称为磨损。零件抗磨损的能力称为耐磨性。据统计,世界上所有报废的机械零件中,约80%是因磨损引起的。因此提高零件的耐磨性有着十分重要的意义。

(1) 磨损过程

正常情况下,零件的磨损过程大致可以分为三个阶段,如图1-7所示。① 磨合磨损阶段是新机器在运转初期,通过逐渐增大载荷,迅速磨去零件制造时表面遗留下来的波峰尖部,随波峰的降低,接触面的实际面积增大,磨损速度逐渐减缓,零件进入稳定磨损阶段。② 稳定磨损阶段的磨损率 $\epsilon = \frac{\Delta q}{\Delta t} = \text{常数}$,此时,零件的磨损是稳定而缓慢的,其相应的时间就是零件的使用寿命。③ 剧烈磨损阶段,当磨损率超过机械正常运转的许可磨损率时,零件进入剧烈磨损阶段,这时摩擦副间隙增大,温升剧增,机械效率大幅下降,产生异常的振动和噪声,这时应立即检修,更换零件。

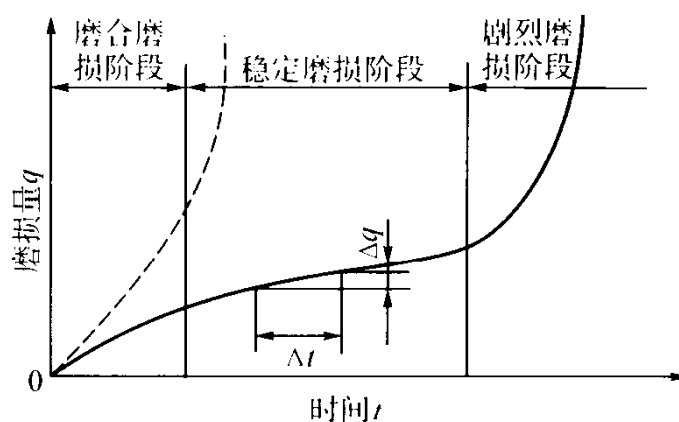


图 1-7 磨损过程

上述是正常的磨损过程。但若接触表面压强过大,相对速度过高、润滑不良时,则磨合期很短,并立即转入剧烈磨损阶段(图1-7中虚线所示),使零件过早报废。

(2) 磨损的基本类型

按损坏机理分为磨粒磨损、粘着磨损、表面疲劳磨损和腐蚀磨损四种基本类型。① 磨粒磨损是硬质颗粒进入摩擦表面,或硬表面上的凸峰在摩擦中引起表层材料脱落的现象。② 粘着磨损(胶合)是指高速重载时温升使接触的微凸体处润滑油膜破裂,或低速重载不易形成润滑油膜,从而导致接触处发生粘着,两表面的相对滑动使粘着撕脱,材料从一个表面转移至另一表面的现象。严重的粘着磨损会使摩擦副咬死。③ 表面疲劳磨损(又称疲劳点蚀)。④ 腐蚀磨损是指零件在摩擦过程中与周围介质发生化学或电化学反应的磨损。

(3) 耐磨性计算

磨损是一个相当复杂的过程,影响因素也很多。除疲劳磨损外,目前尚无可靠的计算方法。实际应用中,用限制摩擦副的压强 p 来控制磨损;当摩擦表面相对速度较高时,为控制摩擦表面的发热(即摩擦功耗)量,还要限制它的 pv 值。即

$$p \leq [p], pv \leq [pv] \quad (1-8)$$

式中: $[p]$ ——许用压强;

v ——摩擦副的相对运动速度;

$[pv]$ ——许用的 pv 值。 $[p]$ 、 $[pv]$ 的值主要由摩擦副的材料确定。