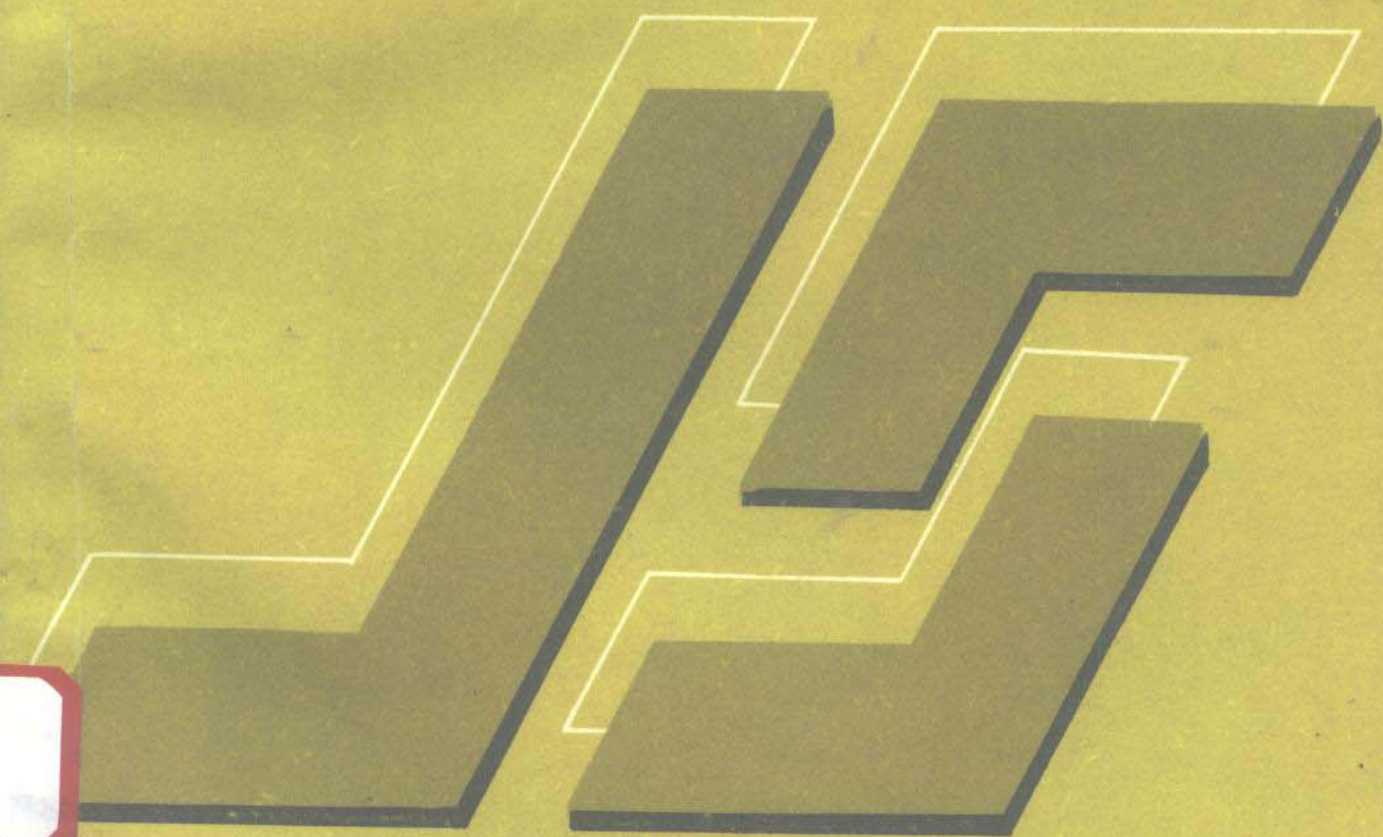


高等学校机械设计系列教材

机械设计基础

(非机类)

李秀珍 曲玉峰 主编



机械工业出版社

TH122
L37

高等学校机械设计系列教材

机械设计基础

(非机类)

主 编	李秀珍	曲玉峰	
参 编	孙桂华	张祖国	李 英
	褚立阁	郑启鸿	马天贵
主 审	董阳照	戴天伟	



机械工业出版社

(京)新登字 054 号

D271/03

本书是根据高等工业学校机械设计基础（原机械原理及机械零件）课程教学基本要求编写的。

全书共分十四章，包括机械设计概论、常用机构、联接零件、传动零件和部件、轴和轴承、弹簧等内容。另外，在附录中给出了机械传动的运动和动力计算、钢的热处理方法等常用知识。各章还有适量的例题和习题，并附有必要的资料。

本书主要作为高等工科院校非机械类各专业“机械设计基础”课程的教材，较适宜的授课学时为 65 左右。也可供有关工程技术人员设计机械传动装置时参考使用。

机 械 设 计 基 础

·(非 机 类)

李秀珍 曲玉峰 主 编

责任编辑：张一萍 版式设计：冉晓华

封面设计：肖 晴

机械工业出版社出版（北京阜成门外百万庄南街一号）

邮政编码：100037

（北京市书刊出版业营业许可证出字第 117 号）

唐山工程技术学院印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行·新华书店经售

开本 787×1092¹/₁₆·印张 15·字数 365 千字

1993 年 5 月北京第 1 版·1993 年 5 月北京第 1 次印刷

印数 0 001—5 000 定价：8.10 元

ISBN 7-111-03722-7/TH·466

机械设计系列教材编委员会成员

主 任：董阳照

副主任：唐蓉城 陆 玉 白春林

秘 书：陆 玉(兼) 李国柱

委 员：(按姓氏笔划)

白春林 曲玉峰 刘俊龙

陆 玉 杜立杰 何在洲

李秀珍 杨景蕙 陈福生

唐蓉城 董阳照 钱寿铨

前 言

本书是由天津大学和河北省机械设计教学研究会合作编写的机械设计系列教材之一。本系列教材有:机械设计(机械类)、机械设计基础(近机类)、机械设计基础(非机类)、机械设计课程设计、机械设计习题集(与机械设计配套使用)5种。该系列教材是天津大学和河北省十余所高等学校多年来教学经验的总结。

本书是根据高等工业学校“机械设计基础课程教学基本要求”的精神编写的。在满足有关专业对本课程要求的前提下,贯彻少而精的原则,力求重点突出、繁简得当、语言精炼。

书中各章首先指出了重点学习内容,针对重点学习内容,按照由浅入深、边讲边练、循序渐进的原则编写教材,便于组织教学。而且,除对部分传统插图进行改造外,还增加了一些新的插图,以期更能直观和醒目,便于学生学习。

本书尽量采用新的国家标准,齿轮传动等采用了新的计算方法,对复杂的公式进行了合理简化,使用比较方便。此书还附有一定的标准数据,可满足作习题的需要。

参加本书编写的有李秀珍(第一章、第十一章、附录);曲玉峰、孙桂华(第四章、第五章、第八章、第九章、第十四章);张祖国(第三章、第十章);李英(第六章);褚立阁(第七章);郑启鸿(第十二章);马天贵(第二章、第十三章)。

全书由李秀珍、曲玉峰担任主编。由河北工学院董阳照教授、戴天伟副教授担任主审,他们提出了许多宝贵意见,唐山工程技术学院李国柱老师在本书出版、印制过程中作了很多工作,在此全体编者深表感谢。由于编者水平有限,本书难免有错误和不妥之处,殷切希望广大读者给予批评指正。

编 者

1992年8月

目 录

第一章 机械设计概论 1	第四节 螺纹联接的强度计算..... 52
第一节 机器的组成和机械设计基础	第五节 螺纹联接的结构设计..... 58
研究的内容..... 1	第六节 螺旋传动..... 61
第二节 机械设计的基本要求和一般	习 题..... 65
过程..... 3	第七章 带传动和链传动 69
第三节 机械零件的常用材料..... 4	第一节 带传动概述..... 69
第四节 机械零件的工作能力和计算	第二节 带传动的工作原理..... 71
准则..... 6	第三节 普通 V 带传动的结构及尺寸
第五节 机械零件的耐磨性..... 9	参数..... 74
第二章 平面机构的运动简图及其	第四节 普通 V 带传动的设计与计算..... 77
自由度 11	第五节 带传动的张紧装置及安装维
第一节 平面机构的运动简图..... 11	护..... 83
第二节 平面机构的自由度..... 14	第六节 链传动概述..... 84
习 题..... 17	第七节 链传动的结构..... 84
第三章 平面连杆机构 18	第八节 链传动的运动特性与受力分
第一节 铰链四杆机构及其演化..... 18	析..... 87
第二节 平面四杆机构的运动特性..... 24	第九节 滚子链传动的设计计算..... 89
第三节 平面四杆机构的设计..... 27	第十节 链传动的正确使用和维护..... 94
习 题..... 30	习 题..... 96
第四章 凸轮机构 32	第八章 齿轮传动 97
第一节 凸轮机构的应用和分类..... 32	第一节 概述..... 97
第二节 从动件的常用运动规律..... 33	第二节 渐开线的形成及其性质..... 98
第三节 用图解法绘制盘形凸轮工作	第三节 渐开线标准直齿圆柱齿轮各
轮廓..... 35	部分名称及尺寸..... 99
第四节 凸轮机构设计中应注意的问	第四节 渐开线齿轮传动及齿廓啮合
题..... 37	特性..... 101
习 题..... 39	第五节 渐开线齿轮正确啮合和连续
第五章 间歇运动机构 40	传动的条件..... 103
第一节 棘轮机构..... 40	第六节 渐开线齿轮的轮齿切削加工..... 105
第二节 槽轮机构..... 43	第七节 轮齿的失效形式和齿轮材料..... 107
习 题..... 44	第八节 直齿圆柱齿轮传动的强度计
第六章 螺纹联接 45	算..... 109
第一节 螺纹参数..... 45	第九节 斜齿圆柱齿轮传动..... 115
第二节 螺旋副的受力、自锁和效率..... 47	第十节 直齿锥齿轮传动..... 121
第三节 螺纹联接和螺纹联接件..... 51	第十一节 齿轮的结构..... 124

习 题	126	和材料	175
第九章 蜗杆传动	128	第三节 滑动轴承的润滑	177
第一节 概述	128	第四节 非液体摩擦滑动轴承的设计 计算	179
第二节 蜗杆传动的主要参数和几何尺 寸计算	129	第五节 液体摩擦滑动轴承简介	181
第三节 蜗杆传动的滑动速度、效率和 润滑	133	第六节 滚动轴承的结构、类型和代号	182
第四节 蜗杆、蜗轮的材料及结构	134	第七节 滚动轴承类型的选择	185
第五节 蜗杆传动的受力分析	135	第八节 滚动轴承的组合设计	186
第六节 蜗杆传动的失效形式和工作 能力计算	136	第九节 滚动轴承的失效形式和选择 计算	189
习 题	140	习 题	195
第十章 轮系、减速器和变速器	142	第十三章 联轴器和离合器	200
第一节 轮系	142	第一节 常用联轴器	200
第二节 减速器	148	第二节 联轴器的标记和选择	205
第三节 变速器	150	第三节 离合器	208
习 题	153	习 题	210
第十一章 轴和轴毂联接	155	第十四章 弹 簧	214
第一节 概述	155	第一节 概述	214
第二节 轴的结构设计	157	第二节 弹簧的材料与制造	216
第三节 轴的强度计算	162	第三节 圆柱螺旋压缩(拉伸)弹簧的 设计计算	218
第四节 轴毂联接	167	习 题	225
习 题	171	附 录	226
第十二章 轴 承	174	附录 A 机械传动的运动和动力计算	226
第一节 概述	174	附录 B 钢的常用热处理方法	231
第二节 非液体摩擦滑动轴承的结构		参考文献	233

第一章 机械设计概论

重点学习内容

1. 学习本课程的目的
2. 机器、机构、机械、构件、零件等名词的涵义
3. 机械设计的基本要求
4. 机械零件的工作能力判定条件
5. 机械零件的磨损过程及磨损的基本类型

第一节 机器的组成和机械设计基础研究的内容

机器是人类经过长期生产实践创造出来的重要工具。利用机器进行生产可以减轻或代替人的体力劳动,能够大大提高劳动生产率和产品质量,便于对生产进行严格分工与科学管理,便于实现机械化和自动化生产。随着科学技术的发展,使用机器进行生产的水平已经成为衡量一个国家技术水平和现代化程度的重要标志之一。

一、机器的组成

机器的种类繁多,其结构型式和用途各不相同。然而,一部完整的机器就其基本组成来讲,一般都有下面三个部分。

1) 原动机部分,它是驱动整个机器完成预定功能的动力源。各种机器普遍应用的动力源有电动机(交流和直流)、内燃机等。一部机器通常只用一个原动机,对于复杂的机器也可能有两个或几个原动机。每一个原动机的运动和动力参数都是有限的,而且也是确定。

2) 执行部分(又称工作部分),它是机器中直接完成工作任务的组成部分,如起重机的吊钩、车床的刀架、磨床的砂轮、轧钢机的压辊等。其运动形式依据机器的用途不同,可能是直线运动,也可能是回转运动或间歇运动等,而且运动和动力参数也是不尽相同的。

3) 传动部分,它是机器中介于原动机和执行部分之间用来完成运动形式、运动和动力参数转换的组成部分。利用它可以减速、增速、调速(如机床变速箱)、改变转矩以及改变运动形式等,从而满足执行部分的各种要求。

综上所述,机器的基本组成和相互关系可用图 1-1 来表示。

图 1-2 所示颚式破碎机中,原动机部分是电动机 1,执行部分是颚头(定颚板 8、动颚板 6),传动部分包括 V 带传动(带轮 2、4, V 带 3)和由偏心轴 5、动颚 6、肘板 7 以及机架 8 组成的连杆机构。

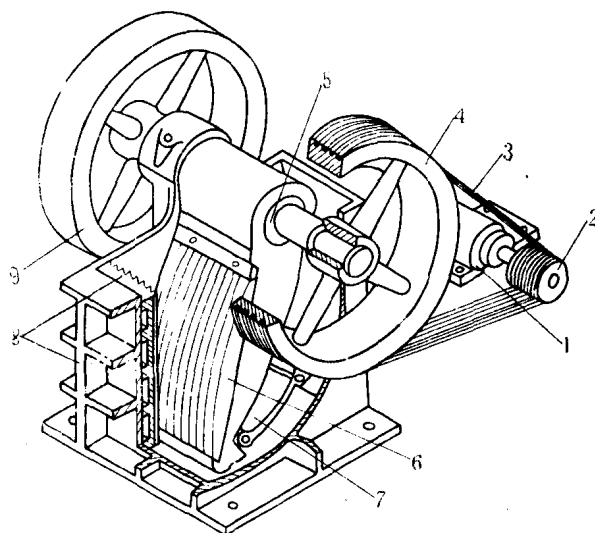
图 1-1 机器的基本组成

简单的机器都可以由上述三部分组成,有的甚至只有原动机和执行部分,如水泵、排风扇等。但是,对于较复杂的机器,则可能需在上述三个基本组成部分之外,另加控制装置

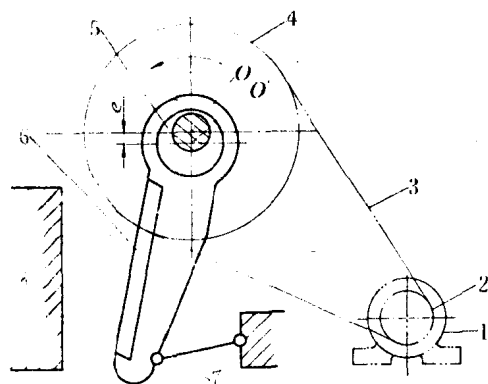
二、机械设计基础研究的内容

由机器的组成可知，传动部分一般都是机器的主体。常用的传动系统有机械的、电动的、气动的、液压的，其中以机械传动应用最广。机械传动通常是由各种机构（如连杆机构、凸轮机构、间歇运动机构、齿轮机构等）以及各种零件（如摩擦轮、带轮、带、链轮、链条、轴、轴承、联轴器等）组成。

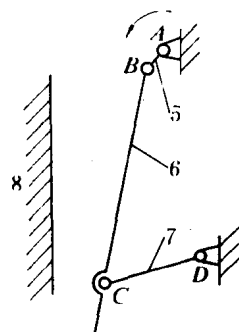
所谓机构都具有两个特征：第一个特征，都是多个实体的组合；第二个特征是各实体之间具有确定的



a)



16)



c)

图 1-2 颚式破碎机

a) 立体图 b) 传动简图 c) 机构简图

1—电动机 2—带轮 3—V带 4—带轮 5—偏心轴
6—动颚(板) 7—肘板 8—定颚板、机架 9—飞轮

相对运动,而机器除具备机构的这两个特征外,还能够完成有效机械功(如颞式破碎机粉碎矿石)或进行能量转换(如内燃机把热能转换成机械能)。因此,从基本组成、运动特性、受力状况等方面进行分析,机构和机器没有区别。为使研究的问题简化,通常将机构和机器统称为机械。

一部机器可以只含有一个机构,如图 1-2 所示颚式破碎机就是只含有一个曲柄摇杆机构(图 1-2c);也可以由数个机构组成,如图 1-3 所示牛头刨床主要传动系统(切削和进给运动),就是由齿轮机构(5、6、17)、(11、12、17)、导杆机构(6、7、8、9、17)、曲柄摇杆机构(12、13、14、17)、间歇运动机构(14、15、17)等组成。

组成机构的各个相对运动的实体称为构件,机械中不可拆的基本单元体称为零件。构件可

以是单一的整体,如图 1-4 所示颚式破碎机的偏心轴;也可以是多个零件的刚性联接,如图 1-5 所示颚式破碎机的动颚,就是动颚体 1 和动颚板 2 用压板 3 和螺钉 4 固定在一起的刚体。这样的结构便于选材、加工和安装。因此,构件和零件的区别就在于:构件是运动的单元,而零件是制造的单元。

机械中的零件分为两类。一类是通用零件,它在各种类型的机械中都可能用到,如螺栓、轴、齿轮、弹簧等;另一类是专用零件,只用于某些类型的机械中,如电机中的转子、叠片、笼条等,内燃机、蒸汽机中的曲轴、活塞等。此外,机械设计中还把为完成同一使命,彼此协同工作的一组零件所组成的独立制造、独立装配的组合物称为部件,如滚动轴承、联轴器、减速器、电机转子等。所以通常称为机械零部件,以包括零件和部件。

机械设计基础主要研究常用机构和通用零件的工作原理、结构特点、基本设计理论和计算方法。同时还将扼要介绍与本课程有关的国家标准、规范以及一些标准零件、部件的选用原则和方法。

机械设计基础是高等学校工科有关专业的一门重要技术基础课。为了学习这门课程,必须首先学好机械制图、理论力学、材料力学、工程材料以及金属工艺学等有关知识。通过本课程的学习,可以使获得正确使用和维护机械设备的基本知识,培养学生初步具备运用手册设计简单机械传动装置的能力,为学习有关专业机械设备课程以及参与技术革新奠定必要的基础。

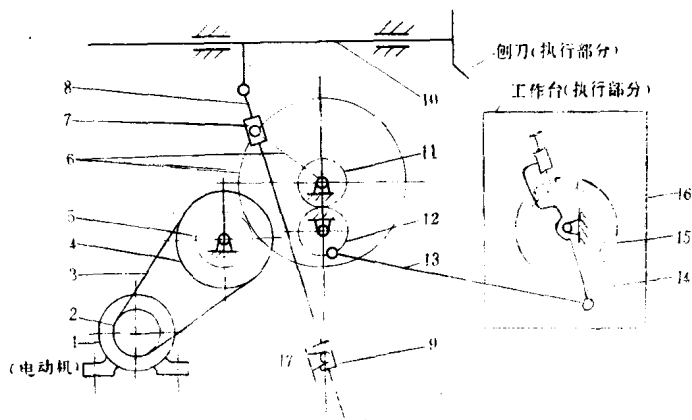


图 1-3 牛头刨床主传动系统简图

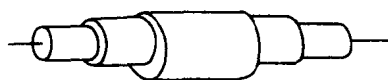


图 1-4 偏心轴

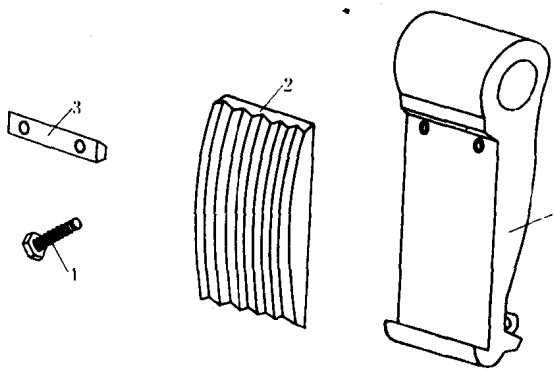


图 1-5 颚式破碎机的动颚

第二节 机械设计的基本要求和一般过程

机械设计可以是应用新原理、新思想、新方法开发创造新的机械,也可以是在原有机械的基础上重新设计或作局部改造,从而改变原有机械的性能。

机械产品的质量基本上取决于设计质量。因为制造过程对机械产品质量所起的作用,本

质上就在于实现设计所规定的质量。所以，机械设计阶段是决定机械产品好坏的重要环节。

机械设计应该满足的基本要求是：在实现预期运动和动力功能的前提下，尽可能做到性能好、效率高、成本低，并具有一定的可靠性；而且还应考虑到操作方便、维护简单、造型美观、便于运输等问题。此外，在机械设计过程中还应尽量采用标准的零、部件，以减少重复设计。

机械设计的主要内容包括：确定机械的工作原理，选择适宜的机构和传动，拟定总体设计方案，进行运动和动力分析，计算作用在各个构件上的载荷，进行零部件工作能力计算，完成总体设计和零部件的结构设计，编写技术文件等。

机械设计的一般过程可以用图 1-6 粗略地表示。

因为影响机械设计质量的因素很多，具体设计很难一次成功。图 1-6 所示的机械设计过程是有机联系、相互交叉进行的过程，而且常常需要多次反复，不断修正。即便是在机械制成以后，仍然需要结合制造、使用中出现的问題反复修改设计，以期得到质量优良的机械。

近年来，随着科学技术的迅速发展，新的设计方法，如优化设计、可靠性设计、计算机辅助设计、系统设计、造型设计等不断出现，而且正在逐步得到广泛的应用。

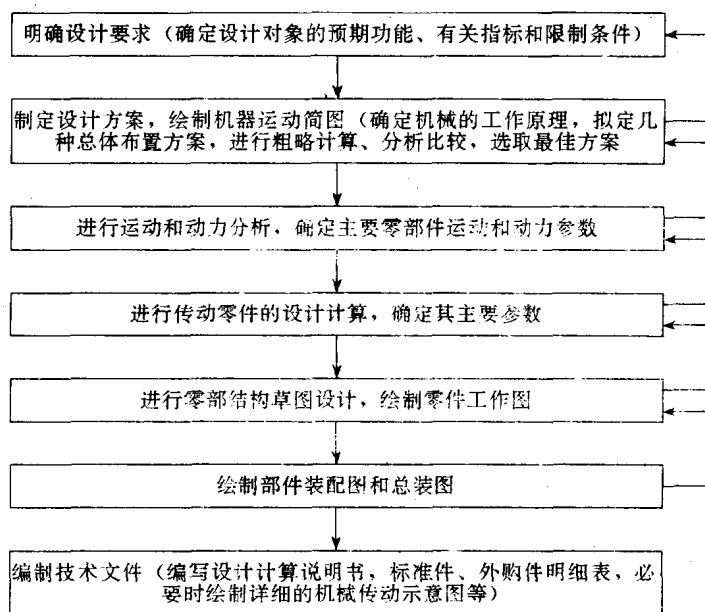


图 1-6 机械设计的一般过程

第三节 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大类。其中，金属材料应用最广，非金属材料以其独特的性能也日益显示出广阔的应用前景。金属材料包括黑色金属材料（钢、铸铁）和有色金属材料，前者应用最广。下面分别介绍机械零件的常用材料及其应用。

一、钢

钢的品种多，性能好，是机械零件最常用的材料。根据化学成分的不同，钢可分为碳素钢和合金钢。碳素钢的生产批量大，价格低，供应充足，对于一般的机械零件应优先选用。碳素钢的性能主要取决于含碳量。含碳量越高，钢的强度越高，塑性越低。通常，含碳量低于 0.25% 的钢称为低碳钢。这类钢强度极限和屈服极限低，而塑性好，适用于冲压、焊接加工。含碳量为 0.25%~0.60% 的钢称为中碳钢。中碳钢既有较高的强度，又有一定的塑性和韧性，综合力学性能较好，常用来制造螺栓、螺母、齿轮、键、轴等零件。含碳量高于 0.60% 的钢

称为高碳钢，它具有很高的强度和弹性，是弹簧、钢丝绳等零件的常用材料。

1. 碳素钢 碳素钢分为碳素结构钢和优质碳素结构钢。前者主要用于受力不大而且基本上是承受静载荷的一般零件，其中以 Q235、Q255 较为常用。这类钢只保证机械强度，不保证化学成分，故不能进行热处理。优质碳素结构钢含磷、硫等杂质较少，其性能优于碳素结构钢，而且能同时保证钢的机械强度和化学成分，可以进行热处理，故常用于受力较大，且受变载荷或冲击载荷作用的零件。优质碳素结构钢的牌号用两位数字表示，代表钢中平均含碳量的万分数。如 45 钢，其平均含碳量为 0.45%。对于含锰量较高的优质碳素结构钢，其牌号还要在含碳量的数字之后加注符号“Mn”，如 40Mn 等。

2. 合金钢 为了改善钢的性能，根据不同要求加入一种或几种合金元素而形成的钢称为合金钢。不同的合金元素，使钢获得不同的性能。如铬能提高硬度、高温强度和耐腐蚀性；镍能提高强度而不降低韧性；锰能提高强度、韧性和耐磨性；硅可提高弹性极限和耐磨性，但降低韧度。应当指出：合金钢的性能不仅与化学成分有关，在很大程度上还取决于适当的热处理。由于合金钢价格较贵，通常只用于制造重要的和具有特殊性能要求的机械零件。

合金钢可分为普通低合金钢、合金结构钢、合金工具钢和特殊合金钢。机械零件常用的是合金结构钢。合金结构钢牌号的表示方法是在表示含碳量的两位数字后加注所含各主要合金元素的符号及其含量数字。并规定：合金元素平均含量小于 1.5% 时，不注含量，当平均含量在 1.5%~2.5%、2.5%~3.5%、3.5%~4.5%、… 时，相应以数字 2、3、4、… 表示。例如 40SiMn2，其平均含碳量为 0.40%，平均含硅量小于 1.5%，平均含锰量在 1.5%~2.5% 之间。

3. 铸钢 铸钢主要用于制造承受重载荷的大型零件或形状复杂、力学性能要求较高的零件。如承受重载荷的大型齿轮、联轴器等。铸钢包括碳素铸钢和合金铸钢。铸钢的力学性能与锻钢基本接近，但其减振性、铸造性均不及铸铁。铸钢牌号的表示方法是在符号“ZG”后加注两组数字，如 ZG310-570，表示屈服限为 310MPa，抗拉强度为 570MPa。

二、铸铁

铸铁是脆性材料，其抗拉强度、塑性、韧度均较差，不能进行辗压和锻造。铸铁的减振性和耐磨性较好，成本较低。由于它具有良好的液态流动性，因此常用于铸造各种形状复杂的零件。常用铸铁有灰铸铁和球墨铸铁。

1. 灰铸铁 灰铸铁是应用最广的一种铸铁，其断口呈灰色，碳以片状石墨存在于铁的基体中，灰铸铁的抗压强度高于抗拉强度，切削性能好，但不宜承受冲击载荷。常用于制造受压状态下工作的零件，如机器底座、机架等。灰铸铁牌号的表示方法是在符号“HT”后加注一组表示抗拉强度的数字。如 HT200，其抗拉强度为 200MPa。

2. 球墨铸铁 球墨铸铁中的碳以球状石墨存在于铁的基体中，故其力学性能显著提高。除延伸率和韧度稍低外，其它力学性能基本与钢接近，同时兼有灰铸铁的优点，但是球墨铸铁的铸造工艺性能要求较高。用球墨铸铁制造的曲轴、齿轮等，其成本低于锻钢件。球墨铸铁牌号的表示方法是在符号“QT”后加注两组数字，如 QT400-15，表示抗拉强度为 400MPa，延伸率为 15%。

三、铜合金

铜合金是机械零件中最常用的有色金属材料，分为黄铜和青铜两类。

1. 黄铜 黄铜 (ZCuZn38 等) 是以锌为主要合金元素的铜合金。它具有一定的强度和较

高的耐腐蚀性能，常用于制造管件、散热器、垫片以及化工、船用等零件。

2. 青铜 青铜又分普通青铜(锡青铜)和特殊青铜(铝青铜、铅青铜等)。普通青铜(ZCuSn5Pb5Zn5等)的减摩性、耐磨性、导热性均良好，常用于制造蜗轮、对开螺母、滑动轴承中的轴瓦等零件。铝青铜(ZCuAl10Fe3等)的耐磨性和耐腐蚀性较好，常用于制造蜗轮、在蒸汽和海水条件下工作的齿轮等零件。铅青铜(ZCuPb30等)具有很高的导热性和抗疲劳强度，可用于制造高速、重载滑动轴承的轴瓦。

铸造铜合金牌号的表示方法是在符号“ZCu”后面加注所含各主要合金元素的符号及其含量数字(%)。

四、非金属材料

橡胶、塑料、皮革、陶瓷、木材、纸板等均属非金属材料。橡胶除具有弹性，能缓冲、吸振外，还具有耐磨、绝缘等性能，广泛用于制造胶带、轮胎、密封垫圈和减振零件等。特别是塑料具有耐磨、耐腐蚀、重量轻、易于成形等优点，因此近年来，得到了广泛的应用。

五、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型材料。例如，用金属、塑料、陶瓷等材料作为基材，用纤维强度很高的玻璃、石墨、硼等非金属材料作为纤维，可把纤维与基材复合成各种纤维增强复合材料，又称纤维增强塑料，可用来制造薄壁压力容器、汽车外壳等。又如在普通碳素钢板表面贴附塑料或不锈钢，可分别获得强度高而又耐腐蚀的塑料复合钢板或金属复合钢板。复合材料目前成本尚高，供应较少，但它是材料工业发展的方向之一。随着科学技术的进步，复合材料必将得到不断完善和创新，从而获得广泛应用。

选择材料是设计机械零件的重要环节之一，也是一个复杂的技术经济问题。一般应考虑零件的使用要求(如强度、刚度、冲击韧性、导热性、抗腐蚀性以及耐磨性、减振性等，通常以强度为主)、工艺要求(从毛坯到成品都便于制造)和经济性要求(材料及其加工成本均比较低，而且货源供应方便)，并对各种要求进行综合分析比较，最后选出适宜的材料。各种材料的力学性能及应用均可从机械设计手册中查取，本书也将在有关章节中分别予以介绍。

第四节 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。在不发生失效的条件下，零件所能安全工作的限度，称为工作能力。零件失效常见的形式有断裂，过大的弹性变形或塑性变形，摩擦表面的过度磨损、打滑、过热，联接松动，运动精度达不到要求等。对于某一具体零件，可能产生的失效形式则由其工作条件和受载情况而定。针对各种不同失效形式，所列判定零件工作能力的条件，称为工作能力计算准则。这些准则主要有强度、刚度、耐磨性、耐热性以及振动稳定性等。下面主要讨论零件的强度、刚度条件及耐磨性，其它工作能力判定条件，必要时可查阅有关机械设计参考书。

一、强度

1. 名义载荷与计算载荷 根据额定功率(名义功率)用力学公式计算出作用在零件上的载荷，称为名义载荷，它是机器在理想平稳的工作条件下作用在零件上的载荷。计算载荷是考虑实际载荷随时间作用的不均匀性、载荷在零件上分布的不均匀性以及其它因素的影响而

得的载荷。计算载荷等于载荷系数 $K (>1)$ 与名义载荷的乘积，机械零件的设计计算一般按计算载荷进行。

2. 强度条件 强度条件是机械零件最基本的计算准则。如果零件强度不足，工作时会产生断裂或过大的塑性变形，使零件不能正常工作。因此，设计时必须满足的强度条件为

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

式中 σ, τ ——危险截面处的最大正应力和切应力，是按照计算载荷求得的应力（变应力情况下还应考虑应力集中等因素的影响）；

$[\sigma], [\tau]$ ——材料的许用正应力和切应力。

3. 许用应力 许用应力是零件设计的条件应力，正确地确定许用应力，可以使零件在具有足够强度和寿命的前提下，做到尺寸小、重量轻。许用应力的确定，本书主要采用计算法，其基本公式为

$$[\sigma] = \frac{\sigma_{\lim}}{S}, [\tau] = \frac{\tau_{\lim}}{S} \quad (1-2)$$

式中 $\sigma_{\lim}, \tau_{\lim}$ ——材料的极限正应力和切应力；

S ——安全系数。

由式 (1-2) 可知，许用应力的确定主要是确定材料的极限应力和安全系数。

(1) 极限应力 极限应力的确定与应力的种类有关。常见的应力种类如图 1-7 所示。一般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，取材料的屈服极限 σ_s 作为极限应力；对于脆性材料，取材料的强度极限 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，在对称循环应力作用下，取材料的对称循环疲劳极限 σ_{-1} 作为极限应力；在脉动循环应力作用下，取材料的脉动循环疲劳极限 σ_0 作为极限应力。

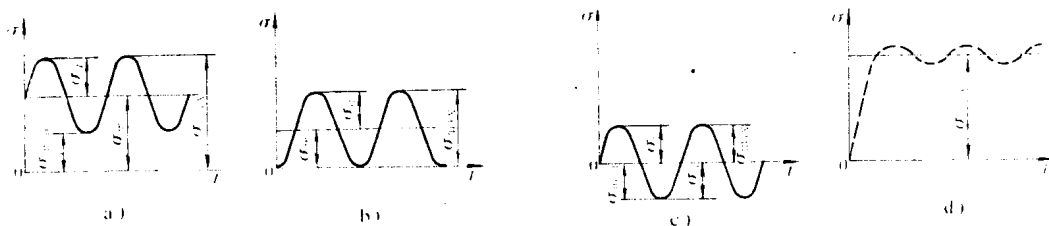


图 1-7 应力的种类

$\sigma_m = \frac{\sigma_{\max} + \sigma_{\min}}{2}$	$\sigma_m = \sigma_a = \frac{\sigma_{\max}}{2}$	$\sigma_m = 0$	$\sigma_m = \sigma_{\max} = \sigma_{\min}$
$\sigma_a = \frac{\sigma_{\max} - \sigma_{\min}}{2}$	$\sigma_{\min} = 0$	$\sigma_a = \sigma_{\max} = -\sigma_{\min}$	$\sigma_a = 0$
$\gamma = \frac{\sigma_{\min}}{\sigma_{\max}}$	$\gamma = 0$	$\gamma = -1$	$\gamma = 1$
a) 非对称循环变应力	b) 脉动循环变应力	c) 对称循环变应力	d) 静应力

(2) 安全系数 安全系数可以用查表法和部分系数法来确定。查表法详见以后各章具体表格数值。这类表格是各个不同的机械制造部门，经过长期生产实践，总结出制订适合本行业的安全系数（或许用应力）表格，具有简单、具体、可靠等优点。但适用范围较窄。

部分系数法，一般用在无可靠资料直接确定安全系数的情况下，总的安全系数等于各个

影响因素系数的连乘积, 即

$$S = S_1 S_2 S_3 \quad (1-3)$$

式中 S_1 ——考虑载荷及应力计算的准确性系数, $S_1=1\sim1.5$;

S_2 ——考虑材料的均匀性系数, 对于锻钢或轧钢零件, $S_2=1.2\sim1.5$; 对于铸铁零件 $S_2=1.5\sim2.5$;

S_3 ——考虑零件重要程度的系数, $S_3=1\sim1.5$ 。

二、接触强度

前面所述机械零件的强度称为整体强度。所谓整体强度是指零件受载时在较大的体积内产生应力, 零件的破坏也发生在较大的体积范围内。此外, 对于理论上点接触或线接触的两个零件, 当有载荷作用时, 由于局部变形使接触处形成小的接触区。在面积很小的接触区表层产生很大的应力, 称为接触应力。接触应力的分布如图 1-8 所示, 其最大值用 σ_H 表示, 在接触应力作用下零件的强度称为接触强度, 它属于表面强度。显然, 零件的工作能力不仅取决于整体强度, 而且也取决于表面强度。

机械零件的接触应力一般都为交变应力, 通常接近似于脉动循环处理, 如摩擦轮传动、齿轮传动、滚动轴承等在交变应力的重复作用下, 零件表层先是产生疲劳裂纹, 如有润滑油被挤进疲劳裂纹, 在裂纹封口压缩的情况下, 裂纹中产生极高的油压迫使裂纹加速扩展, 直至表层金属成小片状剥落下来, 在零件表面形成小坑(图 1-8), 这种现象称为疲劳点蚀, 简称点蚀。点蚀的出现使得零件接触面积减小, 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, 它是润滑和密封均良好零件的常见失效形式。设计时应该满足的强度条件为

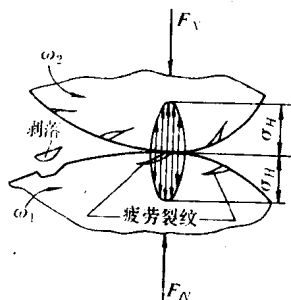


图 1-8 接触应力与疲劳点蚀

$$\sigma_H \leq [\sigma]_H, [\sigma]_H = \frac{\sigma_{\lim}}{S_H} \quad (1-4)$$

式中 $[\sigma]_H$ ——材料的许用接触应力;

$[\sigma]_{\lim}$ ——实验材料的接触疲劳强度极限;

S_H ——接触疲劳强度安全系数。考虑接触应力的局部性及离开接触中心应力迅速减小等因素, 可取 S_H 等于 1 或稍大于 1。

三、刚度

刚度是指零件在载荷作用下, 抵抗弹性变形的能力。某些零件如机床主轴、高速蜗杆轴等, 刚度不足, 将会产生过大的弹性变形, 影响机器的正常工作。设计时应满足的刚度条件为

$$y \leq [y], \theta \leq [\theta], \varphi \leq [\varphi] \quad (1-5)$$

式中 y, θ, φ ——零件工作时的挠度、转角和扭角;

$[y], [\theta], [\varphi]$ ——相应的许可挠度、转角和扭角。

提高零件刚度的措施有: 适当增大截面尺寸, 改进零件的结构, 减小支点间距离等。

第五节 机械零件的耐磨性

在各种机械中,凡是具有相对运动的接触部分都存在摩擦。摩擦表面物质在相对运动中不断损失的现象称为磨损。零件抗磨损的能力称为耐磨性。据统计,世界上约有1/3的能源消耗在摩擦上;在各种报废的机械零件中,约有80%是由于磨损而引起的。因此,研究摩擦、磨损,提高零件的耐磨性,对延长机器的使用寿命有着十分重要的意义。

一、磨损过程

相对运动的接触表面之间的磨损是不可避免的。在正常情况下,一个零件的磨损过程大致可以分为图1-9所示的三个阶段。

跑合磨损阶段是新机器在运转初期,通过逐渐增加载荷,迅速磨去零件制造时遗留下来的波峰尖部。随着波峰高度的逐渐降低,摩擦副的实际接触面积加大,磨损速度逐渐减缓,零件进入稳定磨损阶段。

稳定磨损阶段,零件以平稳而缓慢的速度在磨损,其相应的时间就是零件的使用寿命。

剧烈磨损阶段,当磨损量超过机械正常运转的许可磨损量时,零件则进入剧烈磨损阶段。这时,摩擦副间隙大、磨损速度和温升剧增,机械效率迅速下降,产生异常的噪声和振动。此时应该停机检修,更换零件。

上述的三个阶段是正常情况下零件的磨损过程。但若压强过大、速度过高、润滑不良时,则跑合期很短,并立即转入剧烈磨损阶段,使零件很快报废。

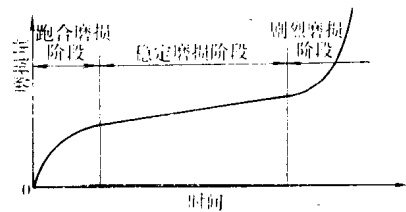


图 1-9 磨损过程

二、磨损的基本类型

按损坏机理分,磨损主要有磨粒磨损、粘着磨损、表面疲劳磨损和腐蚀磨损等四种基本类型。

磨粒磨损 硬质颗粒进入摩擦表面,或硬表面上的凸峰在摩擦过程中引起表层材料脱落的现象称为磨粒磨损。

粘着磨损(胶合) 摩擦表面的接触实际上是高低不平的微凸体接触,当载荷大、润滑油膜破裂时,接触处发生粘着。在这种情况下,两表面相对滑动,粘着撕脱,材料从一个表面转移到另一个表面,这种现象称为粘着磨损,也称为胶合。严重的粘着磨损会导致摩擦副咬死。

疲劳磨损(疲劳点蚀) 在作滚动或兼有滚动和滑动的高副中,由于交变接触应力的重复作用,使接触表面产生疲劳点蚀(见第四节中接触强度)。疲劳点蚀产生在零件表层,也属于表面磨损范畴,故称疲劳磨损。

腐蚀磨损 在摩擦过程中,与周围介质发生化学反应或电化学反应的磨损称为腐蚀磨损。

三、耐磨性计算

磨损是一个相当复杂的现象,影响的因素也很多,除疲劳点蚀外,目前尚无可靠的计算方法。实用的耐磨性计算是限制摩擦副的压强 P 。当摩擦表面相对速度较高时,为了控制摩擦

表面的发热量（控制摩擦功耗），还要限制摩擦副的 pv 值。即

$$\left. \begin{array}{l} p \leq [p] \\ pv \leq [pv] \end{array} \right\} \quad (1-6)$$

式中 $[p]$ ——许用压强；

v ——摩擦副的相对速度；

$[pv]$ ——许用的 pv 值。

提高零件耐磨性的措施有：选取减摩性和耐磨性较好的摩擦副材料，降低零件表面粗糙度值，充分润滑，完善密封等。