

高等学校教材

机械设计基础

主 编 伍驭美 秦 伟



高等教育出版社
HIGHER EDUCATION PRESS

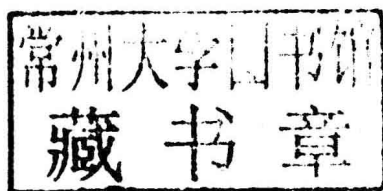
高等学校教材

机械设计基础

Jixie Sheji Jichu

主 编 伍驭美 秦 伟

副主编 陈小强



高等教育出版社·北京
HIGHER EDUCATION PRESS BEIJING

内容提要

本书是根据教育部新制订的《机械设计基础课程教学基本要求(近机类专业适用)》,在吸取国内高等学校近机类各专业近几年教育改革与创新经验的基础上编写而成,用以培养学生认识和了解机械系统的组成与结构、机械系统的功能和工作原理,掌握机械设计的基本内容、基本要求和基本方法,具有设计简单机械与机械结构的能力。

本书包括六篇十九章: 概论; 第一篇机构学基础及常用机构设计(第一~三章); 第二篇机械零件的连接(第四~六章); 第三篇机械传动及设计(第七~十二章); 第四篇轴系零、部件(第十三~十五章); 第五篇其他零、部件应用简介(第十六~十八章); 第六篇机械系统方案设计(第十九章)。

本书可作为高等学校近机类各专业教材,也可供相关专业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 / 伍驭美, 秦伟主编. -- 北京: 高等教育出版社, 2012.9
ISBN 978-7-04-035925-1

I. ①机… II. ①伍…②秦… 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(2012)第 184490 号

策划编辑 宋 晓	责任编辑 宋 晓	封面设计 张 志	版式设计 于 婕
插图绘制 尹 莉	责任校对 杨凤玲	责任印制 田 甜	

出版发行 高等教育出版社
社 址 北京市西城区德外大街4号
邮政编码 100120
印 刷 北京市联华印刷厂
开 本 787mm×1092mm 1/16
印 张 25.25
字 数 550千字
购书热线 010-58581118

咨询电话 400-810-0598
网 址 <http://www.hep.edu.cn>
<http://www.hep.com.cn>
网上订购 <http://www.landracom.com>
<http://www.landracom.com.cn>
版 次 2012 年 9 月第 1 版
印 次 2012 年 9 月第 1 次印刷
定 价 42.70 元(含光盘)

本书如有缺页、倒页、脱页等质量问题,请到所购图书销售部门联系调换
版权所有 侵权必究
物 料 号 35925-00

前 言

本书是根据教育部新制订的《机械设计基础课程教学基本要求(近机类专业适用)》,在吸取国内高等学校近几年教育改革与创新经验的基础上,以培养学生认识 and 了解机械系统的组成与结构、机械系统的功能和工作原理,掌握机械设计的基本内容、基本要求和基本方法,具有设计简单机械与机械结构的能力为目标,以满足材料成形及控制工程、动力工程、土木工程以及光电工程等专业学生对机械设计基础的共同需求编写而成的。

本书具有以下特点:

(1) 根据课程内容的内在联系,按照由浅入深、循序渐进的原则,由概论,机构学基础及常用机构设计,机械零件的连接,机械传动及设计,轴系零、部件,其他零、部件应用简介,机械系统方案设计七部分内容组成。

(2) 从机械设计基础课程的教学要求出发,力求做到逻辑思路严密,重点、难点突出,言简意赅,图表清晰。

(3) 由于近机、非机类专业覆盖面广,各专业对专业人才培养要求也不尽相同,故在教材编写时不仅考虑了材料成形及控制工程、动力工程、土木工程等专业对机械设计基础共性内容的需求,也考虑了光电工程等仪器类专业对个性内容的需求。例如,在教材中特别介绍了光电仪器工程专业常用的连接、支承、导轨以及弹性元件等方面的内容。

(4) 重视培养学生具有适应未来从事工程技术和科学研究工作所必需的宽厚基础,强调工程背景,在机械零件的连接、机械传动类型和轴系零、部件等方面做了较广泛的介绍,有利于学生知识面的扩展、自学能力的提高和创新意识的培养。

(5) 在编写过程中尽量采用最新国家标准和新工艺,并在相应章节列出了新标准数据,以满足学生作业需求;根据学生专业的特点,对复杂公式进行了合理简化,以方便使用。

(6) 在例题和习题的选择上力求与工程实际相结合,突出对学习要点的掌握,达到学以致用目的。

全书由伍驭美、秦伟任主编,陈小强任副主编,参加本书编写的作者有伍驭美(第九章 9.6 ~ 9.12 节,第十章,第十九章 19.2 节、19.3 节)、秦伟(概论、第十八章)、宁先雄(第一章、第二章、第九章 9.1 ~ 9.5 节,第十九章 19.1 节)、陈同杰(第三章、第十一章)、任亨斌(第四章、第七章)、李俊(第八章、第十五章 15.1 ~ 15.3 节)、金鑫(第五章、第十三章、第十四章)、刘京诚(第六章、第十五章 15.4 ~ 15.6 节)、陈小强(第十二章、第十六章、第十七章)。

II 前 言

教育部高等学校机械基础课程教学指导分委员会副主任、国家级教学名师奖获得者、华中科技大学吴昌林教授认真审阅了本书,并提出了许多宝贵意见及建议,在此表示衷心的感谢!

由于编者水平有限,书中缺点与不足在所难免,敬请各位教师及广大读者不吝批评指正。

编 者
2012 年 3 月

目 录

概论	1	热处理	9
0.1 机器及其组成	1	0.5 零件的工艺性和标准化	13
0.2 机械设计的一般过程及要求	3	0.6 机械设计基础课程的性质、任务	
0.3 机械零件的工作能力参数	6	和内容	14
0.4 机械零件常用材料及金属材料		思考题及习题	15

第一篇 机构学基础及常用机构设计

第一章 平面机构的自由度	17	2.3 平面连杆机构的传力特性	43
1.1 机构的组成	17	2.4 平面四杆机构的运动设计	45
1.2 机构运动简图	23	思考题及习题	48
1.3 平面机构的自由度	24	第三章 凸轮机构及间歇运动机构	51
思考题及习题	30	3.1 凸轮机构组成及分类	51
第二章 平面连杆机构	32	3.2 从动件运动规律设计	55
2.1 平面四杆机构的类型及应用	33	3.3 凸轮轮廓设计	57
2.2 平面连杆机构的运动特性与		3.4 间歇运动机构	67
运动分析	37	思考题及习题	72

第二篇 机械零件的连接

第四章 螺纹连接	75	思考题及习题	96
4.1 螺纹的主要参数和常用类型	75	第五章 轴毂连接	98
4.2 螺旋副的受力分析、效率和		5.1 键和花键连接设计	98
自锁	79	5.2 销连接	104
4.3 螺纹连接的主要类型和标准		5.3 型面连接	106
螺纹连接件	81	5.4 过盈配合连接	107
4.4 螺栓连接的强度计算	83	思考题及习题	108
4.5 螺栓组的结构设计	91	第六章 不可拆连接	110
4.6 螺纹连接的预紧和防松	93	6.1 焊接	110

6.2 铆接	111	6.5 胶接	114
6.3 压合	112	6.6 光学零件的连接	115
6.4 铸合	113	思考题及习题	119

第三篇 机械传动及设计

第七章 带传动及其设计	121	9.10 直齿锥齿轮传动	200
7.1 带传动概述	121	9.11 齿轮的结构设计	205
7.2 带传动的受力分析及运动特性	127	9.12 齿轮传动的润滑和效率	208
7.3 普通 V 带传动的设计	131	思考题及习题	208
7.4 同步带传动	139	第十章 蜗杆传动及其设计	211
7.5 其他带传动简介	143	10.1 概述	211
思考题及习题	144	10.2 普通圆柱蜗杆传动的主要 参数和几何尺寸计算	212
第八章 链传动及其设计	146	10.3 蜗杆传动的失效形式、设计 准则及材料选择	215
8.1 概述	146	10.4 普通圆柱蜗杆传动的设计 计算	216
8.2 链传动的运动特性	149	10.5 蜗杆和蜗轮的结构	222
8.3 滚子链传动的设计	151	思考题及习题	225
8.4 链传动的布置和张紧	155	第十一章 轮系及减速器	227
思考题及习题	157	11.1 轮系的类型	227
第九章 齿轮传动及其设计	159	11.2 轮系的传动比	228
9.1 概述	159	11.3 轮系的功能	234
9.2 齿轮齿廓曲线设计	161	11.4 减速器	237
9.3 渐开线标准直齿圆柱齿轮的基本 参数和几何尺寸计算	164	思考题及习题	243
9.4 渐开线标准直齿圆柱齿轮的 啮合传动	168	第十二章 螺旋传动	245
9.5 渐开线齿轮的加工方法与齿轮 变位原理	169	12.1 螺旋传动的类型、特点与应用	245
9.6 齿轮的失效形式及齿轮 传动的设计准则	174	12.2 滑动螺旋传动	245
9.7 齿轮常用材料及热处理	176	12.3 滑动螺旋传动误差与提高 精度的措施	252
9.8 标准直齿圆柱齿轮传动的 强度计算	178	12.4 滚珠螺旋传动	259
9.9 斜齿圆柱齿轮传动	191	思考题及习题	264

第四篇 轴系零、部件

第十三章 轴的设计	265	第十五章 支承	294
13.1 概述	265	15.1 概述	294
13.2 轴的结构设计	268	15.2 滑动摩擦支承	294
13.3 轴的强度校核计算	274	15.3 滚动摩擦支承	301
思考题及习题	283	15.4 弹性摩擦支承	317
第十四章 联轴器与离合器	285	15.5 流体摩擦支承及其他形式的 支承	318
14.1 概述	285	15.6 精密轴系	319
14.2 联轴器	285	思考题及习题	324
14.3 离合器	290		
思考题及习题	293		

第五篇 其他零、部件应用简介

第十六章 直线运动导轨	327	17.3 弹性元件常用材料及其特点	355
16.1 直线运动导轨的作用、原理、 分类与基本要求	327	17.4 圆柱压缩(拉伸)螺旋弹簧的 设计计算	357
16.2 滑动摩擦导轨	330	17.5 片簧	359
16.3 滚动摩擦导轨	338	17.6 其他弹性元件介绍	362
16.4 滚动导轨设计应注意的 几个问题	344	思考题及习题	365
16.5 其他类型导轨简介	346	第十八章 机械的平衡和调速	367
思考题及习题	350	18.1 机械平衡概述	367
第十七章 弹性元件	351	18.2 刚性回转构件的平衡	367
17.1 弹性元件的分类与作用	351	18.3 机械速度波动的调节	372
17.2 弹性元件的基本特性	352	思考题及习题	375

第六篇 机械系统方案设计

第十九章 机械系统方案设计	377	原动机选择	380
19.1 机械执行系统的方案设计	377	19.3 机械系统方案评价与决策	389
19.2 机械传动系统的方案设计和		思考题及习题	392

参考文献	393
------------	-----

概 论

0.1 机器及其组成

机器是人类在长期的生产实践中创造出来的技术装置,是人类适应自然与改造自然强有力的工具,是社会生产力的重要组成部分。在现代生产和日常生活中,机器已成为代替或减轻人的体力劳动和脑力劳动、提高劳动生产率和产品质量的主要手段。使用机器进行生产的水平是衡量一个国家技术水平和现代化程度的重要标志之一。

如图 0-1 所示单缸四冲程内燃机是一种常见机器,由缸体 1、活塞 2、进气阀 3、排气阀 4、连杆 5、曲轴 6、凸轮 7、推杆 8、齿轮 9 和 10 等组成。燃气膨胀推动活塞做往复移动,通过连杆转换为曲轴的连续转动。凸轮和推杆用于启闭进气阀和排气阀。为了保证曲轴每转两周,进、排气阀各启闭一次,在曲轴和凸轮之间安装了齿数比为 1:2 的齿轮。这样,当燃气推动活塞运动时,各部分协调地动作,进、排气阀有规律地启闭,并通过汽化、点火等装置的配合,把燃气热能转换为曲轴旋转的机械能。

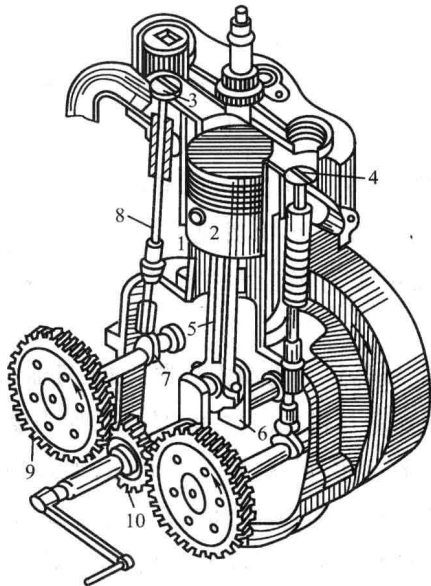


图 0-1 内燃机

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

图 0-2 所示的牛头刨床是用于加工中小尺寸的平面或直槽的金属切削机床,来自电动机的动力经带传动传递给齿轮 1、2,通过滑块 3、导杆 4 和摇块 9 驱使滑枕 5 做往复运动,并使刨刀 6 产生刨削运动。同时,动力还通过其他辅助装置带动丝杠 7 间歇转动,使得工作台横向间歇移动,从而实现工件的进给运动。

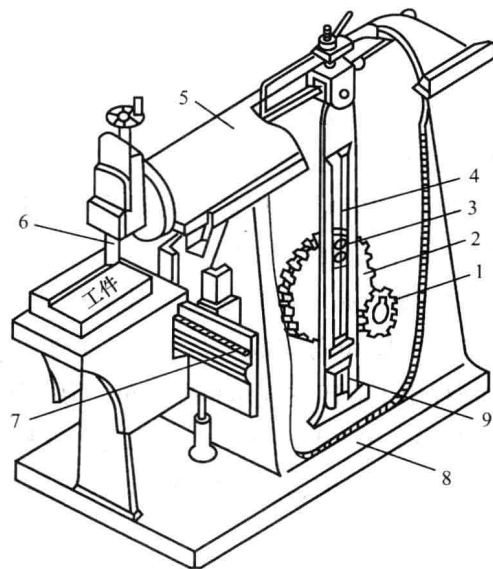


图 0-2 牛头刨床

1、2—齿轮;3—滑块;4—导杆;5—滑枕;
6—刨刀;7—丝杠;8—床身;9—摇块

从以上两个实例以及日常生活中所接触过的其他机器可以看出,机器的构造和用途虽然各不相同,但都具有一些共同的特征。可以对机器给出如下定义:机器是人为实物的组合体,具有确定的机械运动,它可以用来转换能量、完成有用功或处理信息,以代替或减轻人的劳动。

根据所能实现功能的不同,机器可分为动力机器、加工机器、运输机器和信息机器等几大类。动力机器用于实现其他形式的能量与机械能之间的转换,如内燃机、汽轮机、电动机、发电机等;加工机器用于改变被加工对象的尺寸、形状、性质或状态,如各种金属切削机床、轧钢机、轻纺机械、食品机械等;运输机器用于搬运人和物品,如汽车、飞机、起重机、运输机等;信息机器用于实现其他形式的信息与机械运动信息之间的传递与转换,如各种计量装置、检测装置、复印机、打印机、绘图机等。

现代机器种类繁多,但从其功能组成分析,主要由以下子系统组成:

1. 驱动系统

机器工作的动力源,现代机器多采用电动机、内燃机、液压缸、气压缸作为动力源,其中电动机的使用最为广泛。

2. 执行系统

通常处于机器的末端,直接与作业对象接触。由于不同机器要完成的功能各不相同,所以对其执行系统的运动、工作载荷等技术要求也不相同。执行系统工作性能的好坏,直接影响整台机器的性能。

3. 传动系统

把原动机的动力和运动传递给执行系统的中间装置,其功能是实现运动和力的传递与变换,以适应执行系统工作的需要。

4. 控制系统

使驱动系统、传动系统、执行系统彼此协调工作并准确可靠地完成整台机器功能的装置。

机器在工作过程中运动和力的传递与转换,是通过各种机构来实现的。例如,在内燃机中,通过由缸体 1、活塞 2、连杆 5 和曲轴 6(图 0-1)组成的连杆机构,将活塞的往复移动转换为曲轴的转动。在牛头刨床中,通过由床身 8、齿轮 2、滑块 3、导杆 4;滑枕 5 和摇块 9(图 0-2)组成的连杆机构,将齿轮的转动转换为滑枕的往复移动。

因此,可以对机构给出如下定义:机构是人为实物的组合体,具有确定的机械运动,它可以用来实现运动和力的传递与转换。

一台机器根据其功能要求,可能是由一个机构组成,也可能是由若干机构组成,并按一定规律相互协调配合,通过有序的运动和力的传递与转换来实现预期的功能。

机器和机构总称为机械。

机构中作为一个整体运动的结构实体称为构件,构件是机器的运动单元。一个构件还可能由若干彼此没有相对运动的实体连接而成,例如,图 0-1 中的连杆 5 由连杆体、连杆盖、轴瓦、螺栓等多个实体刚性连接而成,这类单一的实体称为零件。零件是机器的制造单元,构件也可以是单一的零件。

各种机器中普遍使用的零件称为通用零件,如螺钉、轴、轴承、齿轮、弹簧等。在某一类型机器中使用的零件称为专用零件,如内燃机的活塞、曲轴,汽轮机的叶片等。

随着科学技术的不断进步和计算机技术的广泛应用,现代机械正朝着高速度、高精度、自动化、智能化的方向发展。现代机械的结构也发生了明显区别于传统机械的变化,传感器和控制系统已成为现代机械的重要组成部分,其成本在总成本中的比重甚至超过了机械部分。一些广泛应用的传统机构逐渐被电子机构所取代,机电一体化已成为现代机械具有的典型特征。

0.2 机械设计的一般过程及要求

0.2.1 机械设计的一般过程

设计一种新的机械产品是一项复杂细致的工作,必须有一套科学的工作程序。机械产品设计的一般过程如下:

1. 制定产品设计任务书

首先应根据用户要求,确定所要设计机械的功能和工作指标,研究分析其实现的可能性,制定产品设计任务书。任务书中必须明确规定机械产品的名称、功能、生产率、主要性能指标、可靠性和使用维护要求、工作条件、生产批量、预定成本、设计和制造完成日期以及其他特殊要求。

2. 方案设计

根据设计任务书规定的要求,进行调查研究,并充分了解用户意见、制造单位的技术设备、工艺能力、材料供应情况,在此基础上确定实现预定功能的机械的工作原理,拟定机械的总体布置、传动方案和机械运动简图等。在方案设计阶段,往往需要进行多种方案的全面分析对比和技术经济评价,从中选定最佳设计方案,按比例画出初步设计总图。

3. 技术设计

在方案设计的基础上,进行运动设计、动力设计、结构和主要零部件的工作能力(强度、刚度、使用寿命)设计,完成装配图、零件工作图及编写出设计计算说明书等技术文件。

4. 样机试制和鉴定

根据技术设计所提供的图样等技术文件进行样机试制,进行样机的性能测试。组织鉴定,进行全面的经济评价,主要包括动力特性审查、标准化审查、工艺审查、成本预测等,同时可对设计进行适当修改,以完善设计方案。

5. 产品定型设计

在样机试制与鉴定通过的基础上,将产品的全套设计图样(总装图、部装图、零件图、电气原理图、安装地基图、备件图等)和全套技术文件(设计任务书、设计计算说明书、试验鉴定报告、零件明细表、产品质量标准、产品检验规范、包装运输技术条件等)提交产品定型鉴定会评审。评审通过后,即可进行产品定型设计,并由有关职能部门下达任务,进行批量生产并投放市场,交付用户使用,并不断总结使用中的经验,为将来改进设计提供依据。

0.2.2 机械设计的基本要求

机械设计的基本要求主要有以下几个方面:

1. 实现预定功能,满足运动和动力性能的要求

所设计的机械首先应实现功能要求。为此,必须正确地选择机械的工作原理、机构的类型和拟定机械传动系统方案,满足运动和动力性能的要求,具有足够的承载能力、工作稳定性和较高的效率。

2. 可靠性与安全性要求

安全可靠是机械的必备条件,为了满足这一要求,必须从机械系统的整体设计、零部件的结构设计,材料及热处理的选择,加工工艺的制定及精度的确定等方面加以保证。

3. 市场需要与经济性要求

只有把产品的设计、销售以及制造作为一个整体考虑,在市场、设计、生产中寻求最佳关系,才能以最快的速度收回投资,获得满意的经济效益。

4. 机械零部件的结构设计要求

设计机械时,往往需要事先选定某种结构形式,再通过各种计算得出结构尺寸,将这些结构尺寸和确定的几何形状画成零件工作图,最后按设计的工作图进行制造、装配,组成部件乃至整台机器,以满足机械的使用要求。

5. 工艺性及标准化、系统化、通用化要求

机械及其零部件应具有良好的工艺性,适当的加工精度及表面粗糙度,且易于装配与拆卸。设计时,零件、部件和机器参数应尽可能标准化、通用化、系列化,以提高设计质量,降低制造成本。

6. 其他特殊要求

有些机械由于工作环境和要求的不同,对设计提出了某些特殊要求。例如,高级轿车的变速齿轮箱有低噪声的要求;机床有较长期保持精度的要求;食品、纺织、造纸机械有不得污染产品的要求。此外,在设计机械时,对机械运转时产生的噪声、废水、废气、粉尘等应按国家有关环保规定采取措施,加以控制和消除。

0.2.3 机械设计的基本内容

机械设计的基本内容主要包括以下几个方面:

1. 功能原理方案设计

这是机械产品设计的第一步,主要工作是通过对机械产品的功能分析,确定其工作原理,进行各机构的型数综合,完成机械运动示意图和机械运动循环图;进行各机构的尺度综合,并根据功能要求对机构运动示意图进行分析评价,绘制机械运动简图。

2. 运动学和动力学设计

在方案设计的基础上对机构进行运动分析与设计,以确保机构满足给定的运动要求。为了设计出动力性能良好的机械,需要分析机械运转时各构件上的作用力,确定机构中各运动副的摩擦力,进行机械效率计算;求出在已知作用力下机械的真实运动规律,确定减少机械速度波动的调节方式以及机械运转过程中惯性力的平衡方式;进行机械振动分析并确定是否需要隔振。

3. 结构与强度设计

结构与强度设计的重点是为了实现运动与力的传递与变换的功能结构设计,包括确定零部件的形状、数量、相互的空间位置、尺寸、材料、加工与装配,进行失效分析和工作能力计算,按比例绘制结构方案总图。若有几种方案时,需进行评价决策,选择最佳方案。在进行结构与强度设计时,应特别注意零部件的可靠性和使用寿命等问题。

4. 驱动与控制设计

根据工作机械的载荷特性、工作环境、结构布置,各执行构件的运动参数和生产阻力、动力机的机械特性以及机械系统的经济成本,选择合适的动力机。对自动化程度较高的机械系统,还应从保证工作质量、改善工作条件、提高生产率、改善机械系统的动态性能和工作可靠性等方面着手,设计合适的控制系统。

0.3 机械零件的工作能力参数

机械零件的工作能力是指在一定的运动、载荷和环境条件下,在预定的使用期限内,不发生失效的安全工作限度。承受载荷的工作能力称为承载能力。机械零件丧失了规定的功能称为失效,其主要失效形式有断裂、表面压溃、塑性变形、表面点蚀、过度弹性变形、过度磨损、共振、过热老化、打滑及松动等。

0.3.1 工作能力设计计算准则

为了避免机械零件的失效,应使其具有足够的抵抗失效的工作能力。在机械零件的设计阶段,设计者必须通过计算使机械零件获得足够的工作能力。衡量机械零件工作能力的指标称为零件的工作能力准则,它是防止零件失效、确定零件基本尺寸的依据,也称为零件的设计准则。对于具体的零件,应根据它们的主要失效形式,采用相应的计算准则。机械零件常用的工作能力计算准则如下。

1. 强度准则

强度是指机械零件在载荷作用下抵抗断裂、过大的塑性变形和表面疲劳破坏的能力。为了保证机械零件具有足够的强度,设计时应使零件的危险截面或工作表面的正应力 σ 或切应力 τ 满足强度条件

$$\sigma \leq [\sigma] \quad \text{或} \quad \tau \leq [\tau] \quad (0-1)$$

式中: $[\sigma]$ ——零件材料的许用正应力,MPa;

$[\tau]$ ——零件材料的许用切应力,MPa。

2. 刚度准则

刚度是指零件在载荷作用下抵抗弹性变形的能力。为了保证零件具有足够的刚度,设计时应使零件在载荷作用下产生的弹性变形量小于或等于机器工作性能所允许的变形量,即

$$y \leq [y] \quad \theta \leq [\theta] \quad \phi \leq [\phi] \quad (0-2)$$

式中, y 、 θ 、 ϕ 分别是零件的挠度、转角和扭角; $[y]$ 、 $[\theta]$ 、 $[\phi]$ 分别是零件的许用挠度、许用转角和许用扭角。

3. 耐磨性准则

耐磨性是指零件抵抗磨损的能力。设计时应使零件的磨损量在预期设计寿命内不超过允许值,通常采用条件性计算来控制,即验算接触面压强 p 不超过许用值,对于滑动速度 v 较大的摩擦面,要验算 pv 值,以限制单位接触面上的摩擦功耗,其表达式为

$$p \leq [p] \quad (0-3)$$

$$pv \leq [pv] \quad (0-4)$$

式中, $[p]$ 、 $[pv]$ 分别为零件材料的许用压强和许用 pv 值。

4. 振动稳定性准则

对于高速运动或刚度较小的机械,在工作时应避免发生共振。振动稳定性准则要求所设计

零件的固有频率 f_p 应与其工作时所受激振源的频率 f 错开,其表达式为

$$f < 0.85f_p \quad \text{和} \quad f > 1.15f_p \quad (0-5)$$

5. 散热性准则

机械零部件在高温工作条件下,由于过度受热,会引起材料强度降低、热变形或润滑油失效,甚至导致金属局部熔融而产生胶合。因此,对可能产生较高温升的零部件,应根据热平衡条件,使其工作温度 t 不超过许用工作温度 $[t]$,即

$$t \leq [t] \quad (0-6)$$

0.3.2 载荷和应力的类型

载荷是指构件或零件工作时所承受的外力,按其性质分为静载荷和变载荷。不随时间变化或变化很小的载荷称为静载荷。随时间变化的载荷称为变载荷。

应力也分为静应力和变应力两类。不随时间变化或变化很小的应力称为静应力(图 0-3a)。随时间变化的应力称为变应力。比较典型的稳定循环变应力有:对称循环变应力(图 0-3b)、脉动循环变应力(图 0-3c)和非对称循环变应力(图 0-3d)。

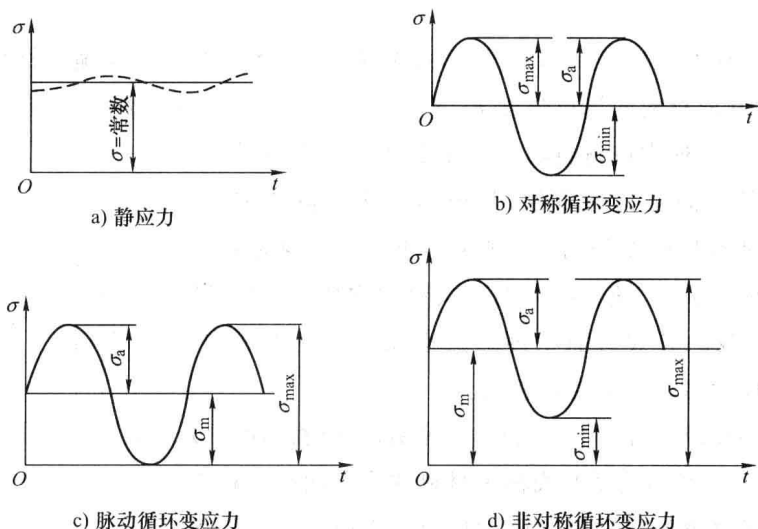


图 0-3 应力的类型

如图 0-3b 所示,对称循环变应力中的最大应力 $\sigma_{\max}$ 、最小应力 $\sigma_{\min}$ 、平均应力 σ_m 和应力幅 σ_a 之间的关系为

$$\sigma_m = \frac{\sigma_{\max} + \sigma_{\min}}{2} \quad (0-7)$$

$$\sigma_a = \frac{\sigma_{\max} - \sigma_{\min}}{2} \quad (0-8)$$

最小应力 $\sigma_{\min}$ 与最大应力 $\sigma_{\max}$ 之比称为变应力的循环特性 r ,即

$$r = \frac{\sigma_{\min}}{\sigma_{\max}} \quad (0-9)$$

循环特性 r 可以用来表示应力变化情况。图 0-3b 所示的对称循环变应力, $r = -1$; 图 0-3c 所示的脉动循环变应力, $r = 0$; 图 0-3d 所示的非对称循环变应力, r 随具体受力情况不同在 $+1 \sim -1$ 之间变化; 静应力可以看作变应力的一个特例, 即 $r = 1$ 。

只要知道上述五个变应力参数中的任意两个参数, 就可以描述变应力的特征。

0.3.3 许用应力和安全系数

许用应力是机械零件设计时计算应力允许达到的最大值。合理确定许用应力可以使零件既有足够的强度和寿命, 又不至于结构尺寸过大。许用应力由下式确定:

$$[\sigma] = \frac{\sigma_{\lim}}{S} \quad \text{或} \quad [\tau] = \frac{\tau_{\lim}}{S} \quad (0-10)$$

式中: $\sigma_{\lim}$ ——零件材料的极限正应力, MPa;

$\tau_{\lim}$ ——零件材料的极限切应力, MPa;

S ——安全系数。

1. 极限应力

在静应力下工作的机械零件, 其损坏形式为断裂或塑性变形。对于脆性材料制造的零件, 应防止发生断裂, 通常取材料的抗拉强度 R_m 作为极限应力; 当采用塑性材料制造零件时, 应防止产生过大的塑性变形, 通常取材料的屈服强度 R_e 作为极限应力。

在变应力下长时间工作的零件, 其损坏形式是疲劳破坏。材料的疲劳破坏具有损伤累积特征, 它的初期损坏现象是在零件表面或表层形成微裂纹, 随着应力循环次数的增加, 裂纹不断扩展, 导致零件承载的有效截面积逐渐减小而突然发生断裂。所以疲劳断裂与应力循环次数密切相关。

在一定的应力循环特性 r 下, 材料达到疲劳破坏时的应力 σ 与应力循环次数 N 之间的关系曲线称为材料的疲劳曲线。材料的疲劳曲线由标准试件经过试验获得, 如图 0-4 所示。由图可

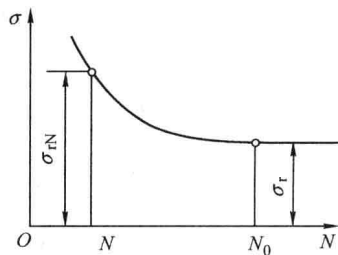


图 0-4 疲劳曲线

见, 应力越小, 试件能经受的应力循环次数就越多。对于一般钢材, 当应力循环次数 N 超过某一数值 N_0 以后, 曲线趋向水平, 即可以认为试件经受“无限次”循环也不会断裂。 N_0 称为循环基数, 对应于 N_0 的应力称为材料的疲劳极限 σ_r , 也称为材料的持久疲劳极限。

在对称循环变应力下, $r = -1$, 取其疲劳极限 σ_{-1} 作为极限应力; 在脉动循环变应力下, $r = 0$, 取其疲劳极限 σ_0 作为极限应力。

2. 安全系数

合理选择安全系数是机械设计中的一项重要工作。安全系数选得过大, 则许用应力过小, 将使结构笨重, 浪费材料; 安全系数选得过小, 则许用应力过大, 零件将不够安全。

对于各种不同的机械零件,经过长期生产实践经验的积累,各不同的机械设计部门都制定有适合本部门的安全系数和许用应力规范,可供设计时参考。但应注意其适用范围,不要随意选用。

0.4 机械零件常用材料及金属材料热处理

0.4.1 机械零件的常用材料

机械零件最常用的材料是钢和铸铁,其次是有色金属合金。非金属材料,如工程塑料、橡胶、尼龙、木材、石墨、陶瓷等也会在某些场合应用。

1. 钢

钢是碳的质量分数小于2%的铁碳合金。钢具有高的强度和良好的韧性和塑性,可以用于轧制、锻造、冲压、铸造和机械加工。通过热处理,还可以改变和提高钢的机械性能和加工性能。因此,钢的应用十分广泛。

钢的种类繁多,按用途可分为结构钢、工具钢和特殊钢;按化学成分可分为碳钢和合金钢;按碳的质量分数多少可分为低碳钢(碳的质量分数低于0.25%)、中碳钢(碳的质量分数为0.25%~0.5%)和高碳钢(碳的质量分数大于0.5%);按品质可分为普通碳钢和优质碳钢;按炼钢时的脱氧方法可分为镇静钢、半镇静钢和沸腾钢;按成形方法可分为锻钢、铸钢、热轧钢、冷拉钢。

普通碳素结构钢可用于制造金属焊接件、拉杆、铆钉、垫圈、螺钉等。优质碳钢中,低碳钢强度低而塑性好,可用来制造螺钉、螺母、冲压件和焊接件等,还可用于制造耐磨性要求较高的表面渗碳零件(轴、齿轮等);中碳钢强度较高、韧性和加工性较好,应用广泛,多用于制造齿轮、丝杠、连杆和各种轴类零件等;高碳钢具有较高的强度和良好的弹性,主要用于制造高强度的齿轮、曲轴和弹簧等;合金钢常用于制造重要或具有特殊要求的机械零件。

2. 铸铁

铸铁是碳的质量分数大于2%的铁碳合金。铸铁具有良好的铸造性、切削加工性、抗压性、耐磨性和减振性,而且价格便宜。铸铁按石墨的形态可分为普通灰铸铁(片状石墨)、蠕墨铸铁、球墨铸铁(球状石墨)、可锻铸铁和特殊性能铸铁等。

灰铸铁的抗拉强度较低、塑性和韧性差,但抗压强度较高,耐磨性和减振性较好,并且具有良好的铸造性能和切削性能,容易铸造成形状复杂的零件,而且价格便宜,因此,应用最广泛。球墨铸铁具有较高的抗拉强度、良好的塑性和韧性,还可以通过热处理显著提高其力学性能,因此,广泛用于制造承受冲击载荷的高强度铸件,如齿轮、曲轴、凸轮轴等。

3. 有色金属合金

机械零件中常用的有色金属有铜合金、轴承合金和轻合金等。

铜合金主要有青铜和黄铜,青铜具有较高的力学性能,耐蚀性、减摩性和铸造性能均较好,主要用于制造摩擦件,如轴瓦、蜗轮等;黄铜具有良好的耐蚀性和导电性、足够的强度和良好的工艺性,价格比青铜低,广泛用于制造耐蚀和耐磨的零件,如阀门、管件等。轴承合金有锡基轴承合金、铅基轴承合金、铜基轴承合金和铝基轴承合金,它们都是高质量、低硬度的减摩材料,专门用