



高等学校非机械类系列教材

机械 设计基础

Foundation of Mechanical Design

张晓桂 李 艳◎主编



中国轻工业出版社

高等学校非机械类系列教材

机械设计基础

张晓桂 李 艳 主编

冯志友 主审

 中国轻工业出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

机械设计基础/张晓桂, 李艳主编. —北京: 中国轻工业出版社, 2009. 8

高等学校非机械类系列教材

ISBN 978-7-5019-6994-4

I. 机… II. ①张…②李… 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 (2009) 第 110157 号

内 容 简 介

全书包含了力学基础、常用机构、机械传动及机械零部件等三方面的内容, 共分为 14 章: 第 1 章为绪论; 第 2 章、第 3 章为刚体的静力学基础、变形及强度计算的基本知识; 第 4 章至第 7 章为常用机构; 第 8 章至第 10 章为传动机构及零件; 第 11 章为连接件; 第 12 章至第 14 章为轴系零部件。

本书可作为高等工科院校非机械类专业 (印刷工程、包装工程、工业设计及电气信息类专业) 机械设计基础的教材和高职高专机械类及非机械类专业的教材, 也可作为相关专业学生、教师及工程技术人员的参考资料。

责任编辑: 杜宇芳

策划编辑: 林 媛

责任终审: 孟寿萱

封面设计: 锋尚设计

版式设计: 王超男

责任校对: 燕 杰

责任监印: 张 可

出版发行: 中国轻工业出版社 (北京东长安街 6 号, 邮编: 100740)

印 刷: 三河市世纪兴源印刷有限公司

经 销: 各地新华书店

版 次: 2009 年 8 月第 1 版第 1 次印刷

开 本: 787×1092 1/16 印张: 13

字 数: 316 千字

书 号: ISBN 978-7-5019-6994-4 定价: 26.00 元

邮购电话: 010-65241695 传真: 65128352

发行电话: 010-85119835 85119793 传真: 85113293

网 址: <http://www.chlip.com.cn>

Email: club@chlip.com.cn

如发现图书残缺请直接与我社邮购联系调换

81133J1X101ZBW

前 言

机械设计基础是普通工科高等院校非机械类专业的一门学科基础必修课程,该课程在学生培养过程中具有不可替代的承上启下作用。本教材是基于普通工科高等院校教育教学改革的需要,适应当前课程教学学时极度削减的教学现状而编写的。是在全面总结多年教学经验,以印刷、包装、自动化和工业设计等专业学生培养为基本侧重点,将普通力学、机械原理和机械设计知识进行有机整合,针对非机械类的学生编写的一部通用性的基础教材,尤其适用于尚未开设力学基础等课程的印刷、包装、自动化和工业设计等专业学生学习需要,既可满足学生在学习过程中对基础知识连贯性的需求,又为后续专业课程的学习奠定机械原理和机械设计方面的必备基础知识。

本书主要包括三个领域的知识。其中力学部分重点介绍刚体静力学基础和各种受力状况下的变形形式和强度计算条件等内容;机构部分重点分析常用各种机构的结构、工作原理、应用条件及其特性,包括机构结构分析、平面连杆机构、凸轮机构、间歇机构及轮系与减速器等内容;机械设计部分重点介绍常用零部件的结构、使用条件和适用场合,包括啮合传动、挠性传动、连接、轴、轴承、联轴器和离合器等内容。

本书的特点是:力求简洁、清楚地表述在工程实际中所涉及的基本机构和常用的机械零部件的结构,注重工作原理、应用特点和适用场合的介绍,淡化公式的推导和复杂的设计计算过程,适当降低学生的学习难度。在每章的章前明确了教学的基本要求,并围绕教学重点,在章后设有思考题与习题,有利于复习与自学。在部分章节中,以够用为准,融入了一些印刷与包装机械方面的实例,力图使学生初步掌握对机械原理与机械零件的应用、分析和选择的能力,并获得管理、使用和维护机械的基本知识。本教材推荐的教学时数为48~68学时。

本书由张晓桂、李艳担任主编。全书共分14章。其中:第1章、第4章、第5章、第9章、第11章、第12章由张晓桂撰写;第2章、第3章由李航撰写;第6章、第14章由房瑞明撰写;第7章和第13章由高振清撰写;第8章由李艳撰写;第10章由袁英才撰写;全书由张晓桂负责最后的统稿审定工作,本书由天津工业大学冯志友教授主审。

编写本书的过程中,参考了大量的文献资料,在此对作者表示由衷的感谢!同时,此书的编写出版,得到中国轻工业出版社的大力支持和帮助,在此表示由衷的感谢!

由于我们的水平有限,书中可能存在一定的错误和不妥之处,恳请各位专家和读者批评指正。

编者

2009年1月

目 录

第1章 绪论	1
1.1 机械概述	1
1.2 机械设计的基本要求及机械设计的一般过程	3
1.3 机械零件的失效形式及设计准则	4
1.4 机械设计的常用材料及热处理	4
1.5 本课程的研究对象及任务	6
思考题与习题	7
第2章 刚体静力学基础	8
2.1 静力学基础知识	8
2.2 平面力系	14
思考题与习题	21
第3章 各种变形及强度条件	23
3.1 拉伸与压缩	24
3.2 剪切和挤压	29
3.3 圆轴扭转	31
3.4 弯曲	34
思考题与习题	39
第4章 平面机构组成与自由度	41
4.1 机构的组成	41
4.2 平面机构的运动简图	43
4.3 平面机构自由度	44
思考题与习题	48
第5章 平面连杆机构	50
5.1 铰链四杆机构的基本形式及其应用	50
5.2 铰链四杆机构类型的判定及演化形式	53
5.3 铰链四杆机构的基本特性	55
5.4 速度瞬心的概念及其求法	58
5.5 平面连杆机构的设计简介	60
思考题与习题	61
第6章 凸轮机构	63
6.1 凸轮机构的应用及分类	63
6.2 从动件的运动规律	66

6.3 图解法设计凸轮轮廓	69
6.4 凸轮机构的压力角及基本尺寸确定	71
思考题与习题	73
第7章 间歇机构	75
7.1 棘轮机构	75
7.2 槽轮机构	76
7.3 不完全齿轮机构	78
思考题与习题	78
第8章 啮合传动	80
8.1 齿轮传动的特点、应用和分类	80
8.2 齿廓啮合基本定律	81
8.3 渐开线的形成原理及其基本性质	82
8.4 渐开线齿轮的参数及几何尺寸	84
8.5 渐开线直齿圆柱齿轮的啮合传动	86
8.6 渐开线齿轮的加工方法及轮齿根切的概念	87
8.7 齿轮常见的失效形式与设计准则	88
8.8 齿轮的常用材料及热处理	90
8.9 渐开线直齿圆柱齿轮的受力分析及主要参数选择	91
8.10 斜齿圆柱齿轮传动	92
8.11 圆锥齿轮传动	95
8.12 齿轮的结构设计	96
8.13 蜗杆传动	97
思考题与习题	104
第9章 轮系及减速器	107
9.1 轮系的分类及应用	107
9.2 定轴轮系传动比的计算	109
9.3 周转轮系	111
9.4 减速器简介	113
思考题与习题	117
第10章 挠性传动	118
10.1 带传动概述	118
10.2 带传动的工作原理	119
10.3 V带传动的设计	121
10.4 带传动的张紧和维护	129
10.5 链传动概述	131
10.6 链传动的布置、张紧和维护	134
思考题与习题	135

第 11 章 连接	137
11.1 螺纹连接	137
11.2 螺纹连接的主要类型、应用及常用螺纹连接件	139
11.3 螺纹连接的预紧和防松	141
11.4 螺栓连接的强度计算	143
11.5 提高螺栓连接强度的措施	147
11.6 轴毂连接	149
思考题与习题	154
第 12 章 轴	156
12.1 轴的分类与材料	156
12.2 轴的结构设计	158
12.3 轴的强度设计	162
思考题与习题	163
第 13 章 轴承	165
13.1 滚动轴承概述	165
13.2 滚动轴承的类型、代号和选择	166
13.3 滚动轴承的选择计算	171
13.4 滚动轴承的组合设计	175
13.5 滑动轴承简介	178
思考题与习题	183
第 14 章 联轴器和离合器	185
14.1 联轴器	185
14.2 离合器	189
思考题与习题	192
各章中关键词的中英文对照表	193
参考文献	198

第 1 章 绪 论

[本章教学基本要求] 通过本章的学习, 弄清机器和机构、构件和零件、通用零件和专用零件等概念的区别; 理解机械的基本组成部分; 初步了解机械设计的常用材料和热处理方法; 清楚本课程的性质、研究对象和具体内容。

1.1 机械概述

在日常实际生产和生活中, 人们广泛地使用各种各样的机械和机器, 例如内燃机、轧钢机、印刷机、包装机等。机械和机器是十分重要和不可被替代的, 大量地设计制造和广泛采用各种先进的机器, 可大大加强促进国民经济发展的力度, 加快我国的现代化建设, 机械工业的生产水平是一个国家现代化建设水平的重要标志。虽然机器的种类繁多, 且其构造、性能和用途也各不相同, 但都是由有限的若干种基本机构和零部件所组成, 而机械在工作时, 组成机械的构件会受到力的作用, 力使构件的运动状态发生改变或者使构件变形。受力过大时, 构件将产生较大的变形, 甚至损坏。机械设计要保证机构和构件正常工作, 必须分析作用在机构和构件上的力、构件的变形和破坏规律。本书的任务就是要简单地介绍力学的基础知识 (物体的受力及平衡条件、变形形式及强度条件); 介绍组成各种不同类型机器的基本机构 (连杆机构、凸轮机构、间歇运动机构等常用机构); 常用的机械零部件 (机械传动及零件、连接件和轴系零部件)。

1.1.1 机器与机构

机械是机器与机构的总称。机器的基本特征是: 机器是多个实物的组合体; 各组合体之间具有确定的相对运动; 机器能完成机械功或能量的转换。而机构是用来传递力和运动的, 在机器中起着改变运动形式、改变速度大小或方向以及传递力的作用并具有确定相对运动的实体。所以机器与机构的共同点是它们都是由一些实物 (构件) 所构成, 且各实物之间具有确定的相对运动, 因此把两者统称为机械。机器与机构的不同是机构只能传递运动和转换运动形式, 而机器则可转换能量 (如内燃机) 或做有用功 (如各种金属切削机床、卷扬机、切割机等)。

1.1.2 构件与零件

机构是由若干构件所组成, 例如图 1-1 所示的内燃机中的连杆机构就是由连杆、曲轴 (曲柄)、活塞 (滑块) 和气缸体 (机架) 四个构件组成。将组成机构的基本运动单元称为构件。而构件可以是一个零件, 也可以是由几个零件构成的整体, 而成为机器中独立运动的单元。如上述连杆机构中的连杆是一个构件, 如图 1-2 所示, 但又是由连杆体 1、螺栓 2、开口销 3、螺母 4、连杆盖 5、轴瓦 6 和 7 等零件构成。

零件是组成机械的基本制造单元。机械中零件可分为两类: 一类是通用零件——在各

种机器中普遍使用的零件，如螺钉、销、齿轮、滚动轴承、联轴器等；另一类是专用零件——只是在某些特定类型机械中使用的零件，如内燃机曲轴和活塞、发动机叶片等。

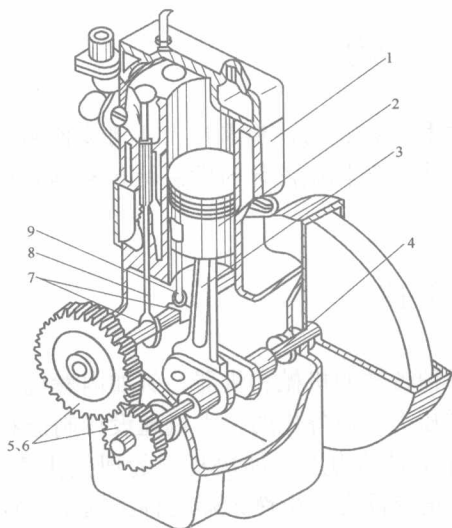


图 1-1 内燃机的连杆机构

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

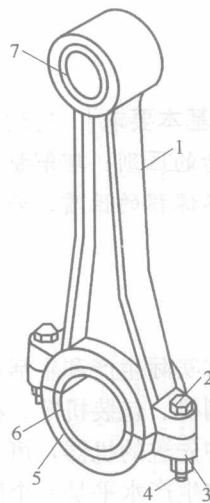


图 1-2 连杆

1—连杆体 2—螺栓 3—开口销 4—螺母
5—连杆盖 6、7—轴瓦

有很多的通用零件已经标准化。例如：滚动轴承、螺纹连接件和联轴器等，可根据要求选用，不需设计；而齿轮、轴等零件是非标准件，需专门设计和制造。

由此可见，构件与零件的主要区别是：构件是运动的单元，它作为一个整体参与运动；而零件则是制造加工的单元。

1.1.3 机器的组成

机器的种类很多，但通常是由五部分组成，如图 1-3 所示。



图 1-3 机器的组成

(1) **原动装置** 又称动力装置或原动机，将其他形式的能量转换成机械能的机械。常见的有各类电动机、内燃机、柴油机、汽缸和液压油缸等，通常处在机械的首端。

(2) **传动装置** 在原动装置与执行机构之间传递运动、转换运动方式的装置。用来实现运动形式、速度大小或方向、位置要求、传递力的大小和力矩的转变等。常用的基本传动机构有各类齿轮传动、蜗杆传动、带传动和链传动等及其组合，通常处在原动装置与执

行机构之间。

(3) **执行机构** 又称工作机,完成工作目的的部分。常用的有各类连杆机构、凸轮机构、齿轮机构、间歇机构以及它们的组合机构等,通常处在机械的末端。

(4) **控制系统** 人们按自己的意愿和要求来操纵机械的系统称为控制系统。

(5) **辅助系统** 照明、润滑、冷却等部分均属于辅助系统。

1.2 机械设计的基本要求及机械设计的一般过程

1.2.1 机械设计的基本要求

(1) **使用要求** 满足所需的功能要求,这是机械设计最基本的要求。

(2) **可靠性要求** 在规定的使用条件和规定的时间内完成规定功能的能力,是机械设计中必须遵循的最重要的要求。

(3) **经济性要求** 体现在机械的设计、制造和使用维护等各个环节。要求设计制造成本低、便于维修等。

(4) **其他要求** 因工作环境和要求不同,所提出的一些特殊要求。

1.2.2 机械设计的一般过程

机械产品的设计类型一般分为开发性设计、适应性设计和变型设计。开发性设计是应用新原理、新技术对产品进行全新的设计;适应性设计是根据生产技术和使用部门的要求,对产品的结构和性能进行更新和改造的设计;变型设计是产品的工作原理和功能结构不变,为了适应工艺条件和使用要求,改变产品的具体参数或结构的设计。机械产品本身类型及设计形式的不同,设计过程和设计重点也会有所变化。但通常,机械产品的主要设计过程由以下几个阶段组成:

(1) **计划阶段** 在计划阶段,应进行充分的调研和分析,经过论证对比,编制设计任务书。设计任务书中应包括明确规定的机械产品功能、经济性、环保要求、制造要求、使用要求,以及完成设计任务的预计期限等。

(2) **方案设计阶段** 根据设计任务书,通过研究和分析,提出若干可行的设计方案。通过对方案的对比分析和评价,最终确定最佳设计方案。方案设计要提供机械产品的原理图和机构运动简图,它是下一步设计工作的基础,对整个设计的成败起关键的作用。

(3) **技术设计阶段** 设计方案确定之后,就要进行运动学设计、动力学设计、结构设计和主要零部件的工作能力(强度、刚度、振动稳定性、寿命等)设计等技术设计工作,完成装配图、零件工作图的绘制,编写出设计计算说明书等技术文件。这是进入生产加工阶段所必须的最基本的内容。

(4) **生产设计阶段** 依据技术文件试制样机,并进行有关的试验,根据存在的问题,对原设计方案进行修改完善,并进行工艺流程和工艺设备的设计,完成生产准备。

(5) **投产和售后服务阶段** 生产产品,投放市场,完善售后服务工作,并通过售后服务,发现用户在使用产品过程中出现的问题和市场变化情况,为产品的改进和更新设计提供依据。

特别值得注意的是:在机械设计过程中,各个阶段的工作会不断出现反复与交叉,是

一个反复修正,直到相对完善准确为止的过程,这是机械设计中经常出现的正常情况。

1.3 机械零件的失效形式及设计准则

机械零件由于某种原因不能正常工作时,称为失效。

机械零件的失效形式主要有断裂、过大的残余变形、表面磨损、零件表面的接触疲劳等。

即使是同一零件,在不同的工作条件下,其失效形式可能是不同的。机械零件的失效形式与很多因素有关,具体由零件的工作条件、材质、受载状态及其所产生的应力性质等多种因素决定。例如齿轮在工作时,由于工作条件和受载情况不同,可能会出现断裂、过大塑性变形、磨损等失效形式。

为使零件能在规定时间内和规定工作条件下正常工作,通常设计机械零件时应满足下面的基本要求:

(1) 强度 强度是保证机械零件正常工作的基本要求。为了避免零件在工作中发生断裂,必须使零件工作时满足下面的设计准则:

$$\sigma \leq [\sigma] \text{ 或 } \tau \leq [\tau]$$

式中 σ 、 τ ——零件工作时的正应力和剪应力,MPa

$[\sigma]$ 、 $[\tau]$ ——零件材料的许用正应力和许用剪应力,MPa

(2) 刚度 刚度是指零件在载荷作用下抵抗弹性变形的能力。若零件刚度不够,将产生过大的挠度或转角而影响机器正常工作,例如车床主轴的弹性变形过大,会影响加工精度。为了使零件具有足够的刚度,设计时必须满足下面的设计准则:

$$y \leq [y]$$

$$\theta \leq [\theta]$$

$$\varphi \leq [\varphi]$$

式中 y 、 θ 、 φ ——零件工作时的挠度,mm;偏转角,(°);扭转角,(°)

$[y]$ 、 $[\theta]$ 、 $[\varphi]$ ——零件的许用挠度、许用偏转角和许用扭转角

(3) 寿命 机械零件应有足够的寿命。影响零件寿命的主要因素有腐蚀、磨损和疲劳。但至今还没有实用、有效的寿命计算方法。因此,只能采用条件性计算。疲劳寿命,通常是算出使用寿命时的疲劳极限来作为计算的依据。

(4) 可靠性 零件在规定的工作条件下和规定的使用时间内完成规定功能的概率称为该零件的可靠度。可靠度是衡量零件工作可靠性的一个特征量,不同零件的可靠度要求是不同的。设计时应根据具体零件的重要程度选择适当的可靠度。

1.4 机械设计的常用材料及热处理

1.4.1 机械设计的常用材料

机械设计中常用的材料有:金属材料(钢铁、有色金属)、非金属材料两大类。其中大量使用的是金属材料。本节主要讨论金属材料。

(1) 钢 碳的质量分数低于2%的铁碳合金称作钢,它具有较高的强度、塑性和韧

性,并可用热处理方法改善其力学性能和加工性能。可用锻造、轧制、冲压、焊接、铸造等方法来制造钢制零件的毛坯,应用十分广泛。根据用途的不同,可分为用于制造各种机械零件和工程构件的结构钢,用于制造刀具、量具和模具等的工具钢和用于一些特殊场合的特殊钢(如不锈钢、耐热钢等)。而加工零件常用的结构钢依据化学成分的不同,又分为碳素钢和合金钢。碳素钢的性质主要取决于含碳量,含碳量越高,则强度越高,但塑性越低。为了改善钢的性能,特意加入了一些合金元素的钢,称为合金钢。此外,用浇注法所得到的碳钢或合金钢铸件毛坯又称为铸钢件。铸钢的液态流动性比铸铁差,收缩率比铸铁大,故铸钢件的圆角和不同壁厚的过渡部分均应比铸铁件大。根据含碳量的不同,碳素钢又分为以下三种:

① 低碳钢。碳的质量分数低于0.25%的为低碳钢。其强度极限和屈服极限较低,塑性很高,具有良好的焊接性,适于冲压、焊接,常用来制作螺钉、螺母、轴和焊接件等。常见牌号有Q215、Q235等。

② 中碳钢。碳的质量分数在0.25%~0.5%的为中碳钢。它的综合力学性能较好,既有较高的强度,又有一定的塑性和韧性,是制作机械零件最常用的材料。它的常见牌号有45等。

③ 高碳钢。碳的质量分数大于0.5%的为高碳钢。其具有高的强度和弹性,多用来制作各种弹簧、钢丝绳等。

(2) 铸铁 碳的质量分数高于2%的铁碳合金称为铸铁,其抗拉强度、塑性和韧性均比钢差,不能锻造加工。铸铁具有适当的易熔性,良好的液态流动性,可铸成形状复杂的零件或作机架和机座。此外它的减振性、耐磨性、切削性均较好,且成本低廉,因此在机械制造中应用非常广泛。常用的铸铁有灰铸铁、球墨铸铁、可锻铸铁等,其中灰铸铁应用最多。灰铸铁内部组织较疏松,相当于内部布满孔洞和裂纹,应力集中较严重,因此抗拉性能远低于钢,但有良好的抗振性,耐磨性和可加工性,常用于制作机器的底座和外壳等,较脆,不适合制作受冲击载荷的零件。与灰铸铁相比,球墨铸铁具有较高的抗拉强度和弯曲疲劳极限,也具有相当良好的塑性和韧性,另外,球墨铸铁的刚性也比灰铸铁好,但球墨铸铁的消振能力比灰铸铁低很多。常用来制造承受较大载荷或力学性能要求较高的零件。

(3) 有色金属 有多种有色金属及其合金,主要应用在一些特殊场合。铜、铝及其合金是机械制造中应用较多的有色金属。铜合金除有良好的减摩、耐磨性外,还具有良好的导电、导热、耐蚀和延展性。常用的铜合金分为黄铜和青铜两类。黄铜具有良好的塑性和流动性;青铜具有较好的耐磨性和减摩性。青铜还分为锡青铜和无锡青铜两种,锡青铜的减摩性较无锡青铜好,但机械强度较差。要求减摩的零件可选用铜合金,并可通过铸造或压力加工的方法制造,可制造形状复杂的零件。质量轻、强度高的零件可选用铝合金,铝合金具有高的强度密度比,用它制造的零件可在同样的强度下获得较小的质量,缺点是:强度较低,价格高,常用来制造要求质量较轻的零部件。轴承合金又称巴氏合金,是锡、铅、锑、铜的合金,具有良好的减摩、耐磨性,是滑动轴承衬的专用材料。

1.4.2 钢的热处理方法

钢的热处理是通过对钢件加热、保温和冷却的方法,来改变其内部组织结构,获得所

需性能的一种加工工艺。在零件的加工制造过程中,热处理是不可缺少的中间工序或最终工序,是提高零件性能和质量、降低成本的一种重要方法和手段。一般来说,冷却速度越快,钢材变得越硬越脆,内部由于急剧冷却造成的内应力也越大。

热处理工艺多种多样。钢的热处理一般分为普通热处理和表面热处理。普通热处理按加热和冷却方式的不同又分为退火、正火、淬火和回火;表面热处理则分为表面淬火和化学热处理。

(1) 正火和退火 正火和退火是应用最广泛的热处理工艺,是不可缺少的前期工序;对于一些性能要求不高的零件,也可作为最终热处理。

退火是将工件加热到适当温度,经过一段时间保温后缓慢冷却,来改善组织、提高加工性能的一种热处理工艺,目的是降低材料的硬度、提高其塑性、细化结晶组织结构,消除内应力,以及为淬火做准备。

正火和退火的工艺过程相似,主要区别在于冷却速度不同。正火是将工件放在空气中冷却的,其冷却速度较快,组织较细,强度和硬度较高。正火工艺的生产效率高、成本低。经正火处理的工件,具有较好的力学性能。故在零件热处理中,尽量采用正火代替退火。

(2) 调质、回火和淬火 把工件加热到临界温度以上,保温一定时间,然后在水或油中迅速冷却的热处理工艺称为淬火。淬火后的材料,内部组织结构发生变化,硬度提高,耐磨性增大,同时增大了材料的脆性,降低了塑性和韧性,材料内部形成较大的淬火应力,会导致零件变形或出现裂纹。为获得所要求的强度、硬度、塑性和韧性的良好配合,并保证在使用过程中形状和尺寸的准确,通常淬火后的零件要进行回火处理。

按温度范围不同,可将回火分为低温回火($150\sim 250^{\circ}\text{C}$)、中温回火($350\sim 500^{\circ}\text{C}$)和高温回火($500\sim 650^{\circ}\text{C}$)。低温回火可降低材料的淬火应力和脆性,并保持较高的硬度和耐磨性,常用于耐磨零件和刀具、模具的处理。中温回火可使材料具有较高的弹性极限和屈服极限,并具有一定的塑性和韧性,多用于各种弹簧的处理。高温回火后的材料综合力学性能较好,既保持了较高的强度,又具有较好的塑性和韧性。调质处理是中碳钢的淬火加高温回火的热处理工艺,广泛用于处理各种重要的结构零件,如在变载荷下工作的连杆、螺栓和齿轮等零件。

(3) 表面淬火和化学热处理 表面淬火是采用快速加热的方法使零件表面奥氏体化,然后快速冷却获得表层淬火组织的一种热处理工艺,常用于表面要求高硬度来提高耐磨性、而心部要求高韧性来提高抗冲击能力的零件。

化学热处理是将零件放在化学介质中加热和保温,使介质原子渗入零件表层中,改变表面的化学成分和组织,以达到改善表层性能的热处理方法。根据渗入元素的不同,分为渗碳、渗氮(氮化)、碳氮共渗等处理工艺。钢的渗碳、渗氮和碳氮共渗是机械制造业中最常用的化学热处理工艺。化学热处理既可提高零件表层的硬度、耐磨性、疲劳强度和耐腐蚀性能,又能够保证零件心部具有良好的韧性。

1.5 本课程的研究对象及任务

本课程是非机械类专业的一门技术基础平台课程。主要研究对象是常见机构和零件的

受力分析、工作原理、结构、使用与维护的知识。具体内容有:

① 力学基础。构件在工作时受到力的作用,会产生变形或破坏。力学基础就是研究受力状况、变形程度对强度的影响,这是现代机械设计的工程技术基础。

② 常用机构。主要介绍常用机构及工作原理、结构特点、运动特性等内容。

③ 机械传动及通用机械零部件。主要介绍各种零件适用场合、特点及失效形式、强度条件、计算方法和结构,标准零部件的选用原则等内容。

本课程的任务是:

① 初步掌握常用机构和通用零件的工作原理、结构、特点及选用原则,并了解其设计方法,具有应用、分析和选择基本机构和零件的能力。

② 了解常用机械的管理、使用和维护等方面的基础知识。

③ 使读者具有最基本的力学分析的知识。

④ 为后续专业课程的学习奠定必要的机械技术基础。

思考题与习题

1-1 机器与机构的特征及区别是什么? 机器有哪几部分组成?

1-2 什么是构件? 什么是零件? 构件与零件的区别是什么? 零件又分为哪几种?

1-3 机械设计中零件的常见失效形式有几种? 强度计算准则是什么?

1-4 机械设计中常用的金属材料有哪些种类? 各有何特点? 适用于哪些零件?

1-5 材料的常用热处理方法有哪些? 性能如何?

1-6 正火和退火有什么区别? 什么是调质处理? 什么是表面淬火?

第2章 刚体静力学基础

[本章教学基本要求] 通过本章的学习,了解工程中常见的约束及约束力,掌握受力分析的方法并正确画出受力图。熟练掌握平面汇交力系的合成、平衡条件,平面力偶系的合成、平衡条件和平面一般力系的合成、平衡条件,能熟练运用平衡方程式正确地求解工程中的力学问题。

机械工作时要受到力的作用,因此要保证机构和构件正常工作,必须分析作用在机构和构件上的力的情况及平衡问题。该章的学习为后续内容的学习和掌握奠定基础,并可用于解决工程技术中的许多问题。

2.1 静力学基础知识

静力学的基本概念、公理及物体的受力分析是静力学的基础。本节首先介绍基本概念及静力学公理,阐述工程中常见的约束和约束反力,最后介绍物体的受力分析及受力图。

2.1.1 静力学基本概念及公理

(1) 静力学基本概念

① 力的概念。力是物体间的相互机械作用,这种作用能使物体的运动状态发生变化或使物体变形。使物体运动状态发生变化的效应称为力的外效应,使物体变形的效应称为力的内效应。

实践证明,力对物体的作用效应决定于三个要素:力的大小、力的方向、力的作用点。力的大小表示机械作用的强弱。可以根据力的效应的大小加以测定,在国际单位制中,力的单位为牛顿(N)。力的方向是力作用的方位和指向;力的作用点是力作用的位置。

由于力既有大小、方向,又服从矢量的运算法则,所以力是矢量。可以用有向线段表示力的三要素,有向线段的长度表示力的大小,箭头表示力的方向,线段的起点或终点表示力的作用点,线段所在直线称为力的作用线。代表矢量的字母用加粗的斜体字母表示(例如 $\boldsymbol{F}$)或用带箭头的字母表示(例如 $\vec{F}$),如图 2-1 所示。

② 刚体和平衡的概念。刚体指受力后不变形的物体,是物体的理想化学模型。实际物体在力的作用下都产生或大或小的变形。当研究力的外效应时,可以忽略变形的影响,而将物体看成是刚体;当研究力的内效应时,物体变形不可忽略,必须将物体看成变形体。

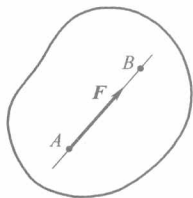


图 2-1 力的表示法

平衡是指物体相对于地球保持静止或匀速直线运动的状态。平衡是机械运动中的一种特殊状态。在静载荷作用下的工程结构(如桥梁、起重机、水坝等),常见的机械构件(如轴、齿轮、螺栓、机

架等)以及手动工具和低速机械等,它们在工作时大多处于平衡状态或可以近似地看作平衡状态。

③ 相关的一些概念

- 力系 作用在物体上的一群力。
- 等效力系 若作用在物体上的力系可以用另一力系来代替而不改变它对物体的作用效果,则这两个力系称为等效力系。
- 平衡力系 若物体在某力系作用下保持平衡,则称此力系为平衡力系。
- 合力与分力 若一个力与某一个力系等效,则该力称为这个力系的合力,这个力系中的各个力称为该合力的分力。
- 力系的合成 用简单的力系等效替代复杂的力系称为力系的合成(或简化)。

(2) 静力学基本公理 公理是人们在长期的生活和生产实践中总结概括出来的,经过实践检验被确认符合客观实际的最普遍、最一般的规律。静力学的全部理论都可以由静力学公理推证而得到。下面分别阐述五个静力学基本公理。

公理 1 (两力平衡公理): 作用于同一个刚体上的两个力,使刚体处于平衡的必要充分条件是:这两个力大小相等、方向相反,作用线在同一直线上。

公理 1 阐明了由两个力组成的最简单力系的平衡条件,是力系作用下刚体平衡条件的基础。

只受两个力作用而平衡的刚体,称为二力杆(或二力体、二力构件)。根据公理 1,二力杆的两个力作用线必定沿着两个力作用点的连线,且大小相等、方向相反。如图 2-2(a)所示,矿井巷道支撑的三铰拱,当不计自重时,构件 BC 就是二力杆。其受力如图 2-2(b)所示。

公理 2 (加减平衡力系公理): 在某一力系上加上或减去任意的平衡力系后与原力系等效。

这个公理一般被用来简化某一已知力系。

推论 1 力的可传性: 作用于刚体上的力,可以沿其作用线移至刚体上任意一点,而不改变它对刚体的作用效应。

由此可知,作用于刚体上力的三要素是:力的大小、方向和作用线。应该注意,力的可传性原理只适用于刚体,而不适用于变形体。

公理 3 (力的平行四边形法则): 作用于刚体上同一点 A(或作用线交于点 A)的两个力 F_1 、 F_2 ,可以合成为一个力 F_R ,这个力 F_R 称为 F_1 、 F_2 的合力。合力的大小、方向和作用线用这两个力为邻边所组成的平行四边形的对角线来决定,即

$$F_R = F_1 + F_2 \quad (2-1)$$

这个公理给出了最简单力系的合成规律,也是复杂力系合成的基础。另外,它也给出了将一个力分解为两个力的依据。平行四边形法则既是力合成的法则,也是力分解的法则。

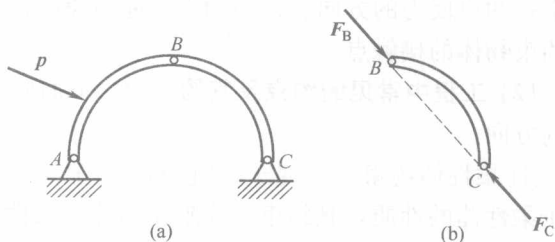


图 2-2 二力杆实例

推论 2 三力平衡汇交定理：如果刚体在三个力的作用下处于平衡，若其中两个力的作用线交于一点，则第三个力的作用线必通过该点且三个力共面。

公理 4 (作用力与反作用力公理)：两物体间相互作用的力，总是大小相等、方向相反、沿同一直线，分别作用在相互作用的两个物体上。

公理 5 (刚化公理)：变形体在某力作用下处于平衡状态，此时将变形体刚化成刚体，则平衡不受影响。刚化公理也称为变形体平衡公理。注意，刚体的平衡条件仅是变形体平衡的必要条件，而非充分条件。即变形体只有在平衡的前提下才能刚化成刚体。

公理 5 建立了刚体静力学与变形体静力学之间的联系，使刚体的平衡条件能应用到变形体的平衡问题中去。

2.1.2 约束与约束反力

(1) 基本概念 在空间的位移不受限制的物体称为自由体。例如空中的气球和飞行中的火箭等。位移受到限制的物体称为非自由体。例如机车受铁轨的限制，只能沿轨道运动；置于桌上的书不可能向下运动；电机转子受轴承的限制，只能绕轴线转动等。对非自由体的某些位移起限制作用的周围物体（或条件）称为约束。例如上述例子中，铁轨对于机车，桌面对于书，轴承对于电机转子等，都是约束。从力学的角度来看，约束对物体位移的限制作用实际上就是力。约束作用于被约束物体的力称为约束力（或约束反力）。

不是约束反力的力（例如重力）都称为主动力。主动力能主动地改变物体的运动状态，它的大小和方向不直接依赖于作用在物体上的其他力。与主动力不同，约束反力由作用在物体上的其他力决定，故约束力又称约束反力或反力。

约束反力既然是力，就有力的三要素。在静力学中，约束反力的大小要根据平衡条件确定；约束反力的方向总是与约束所能阻碍的位移方向相反；约束反力的作用点在约束与被约束物体的接触点。

(2) 工程中常见的约束及其约束力 下面介绍几种工程中常见的约束类型及其约束反力的方向。

① 柔性体约束。由绳子、链条、皮带、钢丝等柔性体构成的约束称为柔性体约束，由于柔性体的性质，其约束只能阻止物体沿柔性体伸长的方向而不能阻止其他任何方向的位移。所以柔性体的约束反力是沿着柔性体的拉力，通常用符号 F 或 F_T 、 T 表示。如图 2-3 (a) 所示，带传动系统，上下两段皮带对两轮的约束反力为 F_1 、 F'_1 和 F_2 、 F'_2 ，它们的方向沿着皮带（与轮相切）而背离皮带轮，如图 2-3 (b) 所示。

② 理想光滑接触面约束。若物体与约束接触面间的摩擦可以略去不计时，这样的约束称为理想光滑接触面约束。由于不计摩擦，这种约束不能阻碍物体沿接触面切线方向的位移，只能阻碍物体沿着接触点公法线且指向约束内部的位移。所以，理想光滑接触面的约束反力必定沿着接触面的公法线而指向被约束物体。通常用符号 F_N 或 N 表示。

如图 2-4 (a) 所示，在车轮与钢轨接触时，若不计钢轨的摩擦，则钢轨可视为光滑接触面约束，其约束反力 F_{NA} 沿公法线且垂直向上。如图 2-4 (b) 所示，若接触面为曲面，约束反力 F_{NC} 沿公法线且垂直向上。

啮合齿轮的齿面约束（如图 2-5 所示），凸轮曲面对顶杆的约束（如图 2-6 所示）等都属于这类约束。