



中等职业教育示范专业规划教材

机械基础

柴鹏飞 靳兆凤 主编



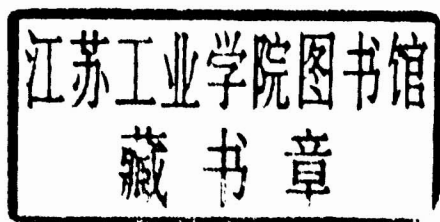
机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS



中等职业教育示范专业规划教材

机 械 基 础

主 编 柴鹏飞 靳兆凤
参 编 张丽芳 李建平 鲍光明
主 审 陈爱玲



机 械 工 业 出 版 社

为贯彻落实《国务院关于大力发展职业教育的决定》的精神,适应大力发展职业教育和加快振兴机械制造业的需要,推动以就业为导向的职业教育课程改革,编写组在认真分析现阶段中等职业教育的生源状况和就业需要的实际情况的基础上编写了本书。

本书共分 12 章,主要内容包括力学、常用机构、机械传动、联接和轴系零部件等必备知识。为便于读者进行基本技能训练,书中附有习题与答案。

本书为中等职业学校机械类及相关专业“机械基础”课程的教材,也可供相关工程技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

机械基础/柴鹏飞 靳兆凤主编. —北京:机械工业出版社, 2009. 3
中等职业教育示范专业规划教材
ISBN 978-7-111-26153-7

I. 机… II. ①柴… ②靳… III. 机械学—专业学校—教材
IV. TH11

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2009)第 011569 号

机械工业出版社(北京市百万庄大街 22 号 邮政编码 100037)

策划编辑:崔占军 责任编辑:王佳玮

版式设计:霍永明 责任校对:刘志文

封面设计:王伟光 责任印制:李 妍

保定市中华美凯印刷有限公司印刷

2009 年 3 月第 1 版第 1 次印刷

184mm×260mm·12.25 印张·298 千字

0001—4000 册

标准书号:ISBN 978-7-111-26153-7

定价:20.00 元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换

销售服务热线电话:(010)68326294

购书热线电话:(010)88379639 88379641 88379643

编辑热线电话:(010)88379201

封面无防伪标均为盗版

前 言

为贯彻落实《国务院关于大力发展职业教育的决定》的精神,适应大力发展职业教育和加快振兴机械制造业的需要,推动以就业为导向的职业教育课程改革,编写组在认真分析现阶段中等职业教育的生源状况和就业实际情况的基础上编写了本教材。

本教材编写的指导思想是符合现阶段中等职业教育的需要,适应目前中等职业教育的生源状况和以就业教育为主的教育模式,以达到使学生学习机械基础知识和培养工程实践能力兼顾,提高学生科学素养和工程技术素质并举的目的。

参加本书编写的有华北机电学校柴鹏飞(第1章、第7章、第8章)、华北机电学校张丽芳(第2章、第3章)、沈阳铁路机械学校靳兆凤(第10章、第11章、第12章)、山西省工业管理学校李建平(第4章、第5章、第6章)、安徽机电职业技术学院鲍光明(第9章),柴鹏飞、靳兆凤任主编。

本书由河北化工医药职业技术学院陈爱玲副教授担任主审。陈爱玲副教授认真细致地审阅了本书,提出了很多宝贵的修改意见和建议,对此编者谨致深切的谢意。

本书编写过程中曾参考了部分已出版教材的内容并引用了部分插图,编者在此对被引用教材的作者及出版社深表感谢。

本书建议使用学时为60学时左右,各校可以根据具体情况安排。

本书主要作为中等职业教育机械类、机电类及相关专业“机械基础”课程的教材。

限于编者水平,书中难免有错误和不足之处,各位读者在使用过程中若发现有错误或不合理之处,欢迎提出批评或建议,编者邮箱 sxczcpf517@163.com, 403475605@qq.com, 殷切希望广大读者批评指正。

编 者

目 录

前言

第1章 绪论	1
1.1 中国机械发展简史	1
1.2 本课程的性质和研究的对象	4
1.3 本课程的内容和任务	6
1.4 本课程的学习方法	6
第2章 构件的静力分析	8
2.1 力的基本性质	8
2.2 平面汇交力系	13
2.3 力矩与力偶	15
2.4 平面一般力系	18
习题	21
第3章 杆件的基本变形	24
3.1 概述	24
3.2 轴向拉伸与压缩	26
3.3 剪切与挤压	30
3.4 圆轴的扭转	32
3.5 直梁的弯曲	38
3.6 弯曲与扭转的组合变形	45
3.7 疲劳强度简介	47
习题	48
第4章 机构的组成及自由度计算	50
4.1 运动副及机构运动简图	50
4.2 平面机构的组成	51
习题	55
第5章 平面连杆机构	57
5.1 四杆机构的基本形式	57
5.2 四杆机构的基本特性	63
5.3 四杆机构的设计	66
习题	68
第6章 其他常用机构	71
6.1 凸轮机构的类型和应用	71
6.2 棘轮机构的工作原理、类型和应用	74
6.3 槽轮机构的工作原理、类型和应用	76
6.4 不完全齿轮机构的工作原理和应用	77

6.5 螺旋机构的工作原理、类型和应用	78
第7章 带传动与链传动	82
7.1 概述	82
7.2 带传动的失效分析	85
7.3 带传动的弹性滑动	86
7.4 带传动的张紧、安装与维护	87
7.5 链传动	89
习题	95
第8章 齿轮机构传动	97
8.1 概述	97
8.2 渐开线齿轮齿廓的选择与传动特点	98
8.3 渐开线圆柱齿轮的主要参数以及 标准直齿圆柱齿轮的几何尺寸	99
8.4 标准直齿圆柱齿轮的啮合传动	101
8.5 斜齿圆柱齿轮传动	103
8.6 齿轮常见失效形式与材料选择	106
8.7 锥齿轮传动	110
8.8 蜗杆传动	112
8.9 圆柱齿轮结构介绍	115
8.10 渐开线齿轮的切齿原理	116
习题	119
第9章 齿轮系	121
9.1 定轴轮系	121
9.2 行星轮系	124
9.3 混合轮系	128
9.4 减速器	129
习题	130
第10章 联接	133
10.1 螺纹联接	133
10.2 键联接	140
10.3 花键联接和成形联接	144
10.4 销联接	145
10.5 其他连接简介	146
习题	148
第11章 轴与联轴器	150
11.1 轴的分类及应用	150

11.2 轴的材料及其选择	151	12.2 滑动轴承的结构和类型	166
11.3 轴的结构设计	152	12.3 轴瓦(轴套)的结构和轴承材料	168
11.4 联轴器	155	12.4 滚动轴承的类型、代号及选择	170
11.5 离合器	161	12.5 滚动轴承的组合设计	175
11.6 制动器	163	12.6 轴承的润滑与密封	179
习题	164	习题	183
第 12 章 轴承	166	习题答案	185
12.1 轴承的功用和类型	166	参考文献	188

第 1 章 绪 论

学习目的与要求

主要内容：本章主要介绍中国机械发展简史；本课程的性质和研究对象、本课程的内容、任务及学习方法。

学习目的与要求：了解中国机械发展简史；了解机械、机器、机构、构件、零件、部件的基本概念及其间的联系与区别；了解本课程的特点、课程内容与任务及学习方法。

1.1 中国机械发展简史

中国是世界上机械发展最早的国家之一。中国的机械工程技术不但历史悠久，而且成就十分辉煌，不仅对中国的物质文化和社会经济的发展起到了重要的促进作用，而且对世界技术文明的进步做出了重大贡献。从发展和形成的过程来看，中国机械发展史可分为六个时期：①形成和积累时期，从远古到西周时期。②迅速发展和成熟时期，从春秋时期到东汉末年。③全面发展和鼎盛时期，从三国时期到元代中期。④缓慢发展时期，从元代后期到清代中期。⑤转变时期，从清代中后期到解放前的发展时期。⑥复兴时期，解放后的发展时期。

我国古代不仅有举世闻名的四大发明，在机械发明和制造方面也有着光辉的成就，早在商代就利用杠杆原理制成了取水的工具——桔槔（图 1-1），至今在一些水浅的地区还在使用，或利用这一原理来向上吊起重物。汉朝张衡在天文仪器——候风地动仪（图 1-2）上也利用了杠杆的原理。西汉时期的指南车（图 1-3）和记里鼓车（图 1-4）就采用了连杆机构和轮系机构。元朝的黄道婆把曲柄、滑块、连杆、飞轮等零件应用在织布机（图 1-5）上。苏颂和韩公廉于宋元祐元年（公元 1086 年）开始设计，到元祐七年全部完成了水运仪象台（图 1-6），台高约 12m，宽约 7m。以上资料上网可查“中国科普博览网—科技之光—中国古代科技”。

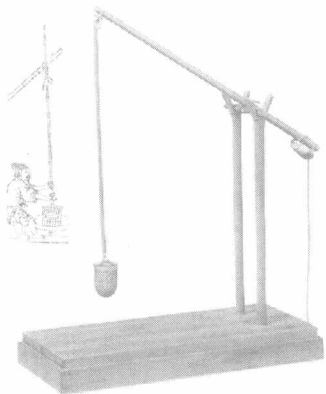


图 1-1 桔槔



图 1-2 候风地动仪

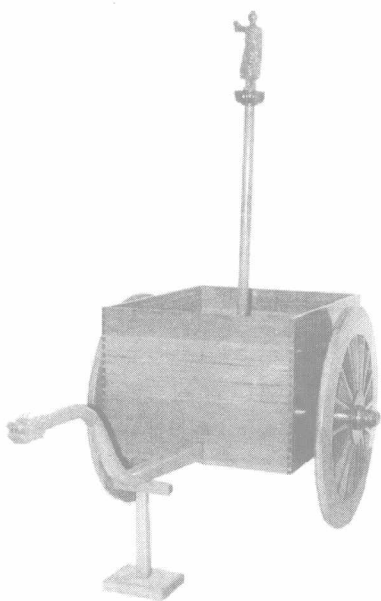


图 1-3 指南车

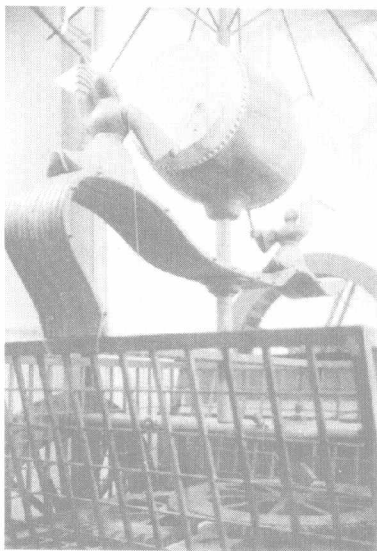


图 1-4 记里鼓车



图 1-5 织布机

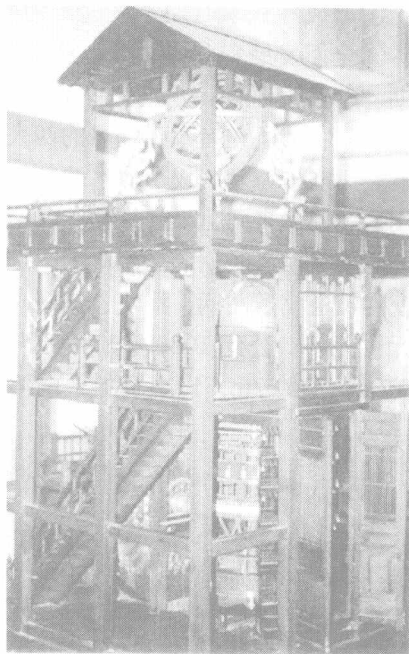


图 1-6 水运仪象台

更为精彩的是在 1980 年冬,我国考古工作者在陕西临潼县东的秦始皇陵发掘出土了两乘大型彩绘铜车马。二号铜车马(图 1-7)通长 317cm,车高 106.2cm。据研究,这两乘大型彩绘铜车马制作于公元前三世纪,车的结构和系驾关系完全模拟实物,与真车无异,铜车马结构复杂,由三千多个部件组合而成,采用了铸造、焊接、铆接、销钉固定、冲凿、鑿

刻、抛光等工艺,以及各种各样的连接机构,铜车马除采用部分金银饰件外,其余全部为青铜铸件,而且能按不同的使用性能选用不同的合金比例,铜车马结构合理,工艺精湛,虽埋在地下两千多年,但各部件连接十分灵活,窗门启闭自如,牵动辕衡,带动轮轴转动,可以载舆以行。铜车马制作精美,比例恰当,装饰华丽,是我国古代科技艺术与造型艺术完美结合的典范,是劳动人民智慧的结晶(上网可查“秦陵二号铜车马”)。

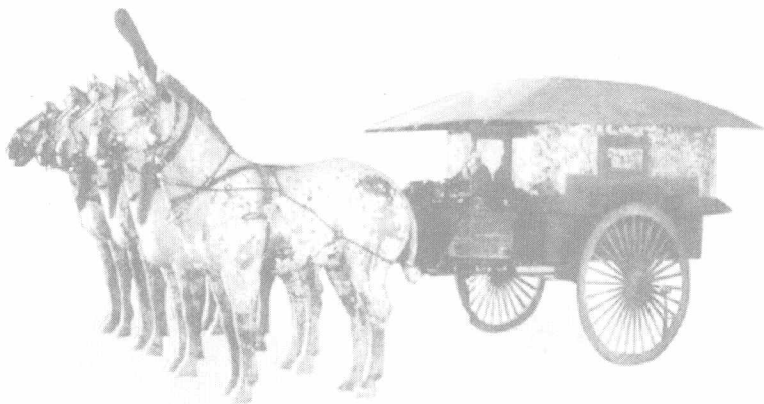


图 1-7 铜车马

1986年7月至9月,四川广汉地区,三星堆两个大型祭祀坑的发现,是20世纪以来最为重要的考古发现之一。大宗精品文物横空出世,成为当时举世轰动的重大新闻,三星堆从此名扬四海。在这批古蜀秘宝中,有许多光怪陆离、奇异诡谲的青铜造型:威仪凛然的青铜大立人(图1-8)、神奇怪异的青铜面具(图1-9)和“通天彻地”的青铜神树(图1-10)等,均堪称独一无二的旷世神品。而以流光溢彩的金杖为代表的金器,以满饰图案的边璋为代表的玉器,亦多属前所未见的稀世珍宝。三星堆以历史久远、文物精美、文化独特、神秘莫测而引起世人的瞩目。从目前的研究成果来看,三星堆距今约有4000~5000年的历史(上网可查“三星堆”)。

这些发明与艺术品充分显示了中华民族卓越的创造才能,在中国和世界机械史上留下了极其光辉的一页。

详细的有关资料读者可自行上网查询,这里不再列出。

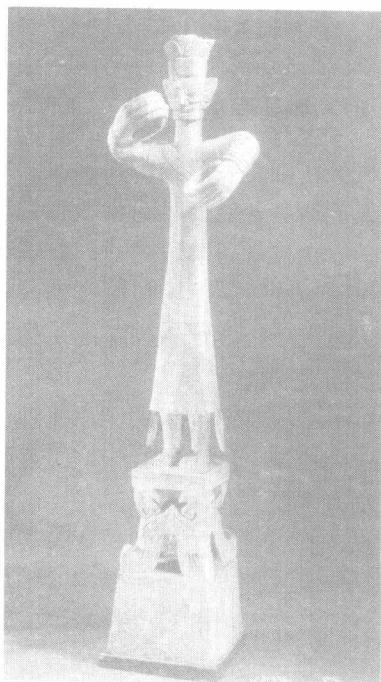


图 1-8 青铜大立人

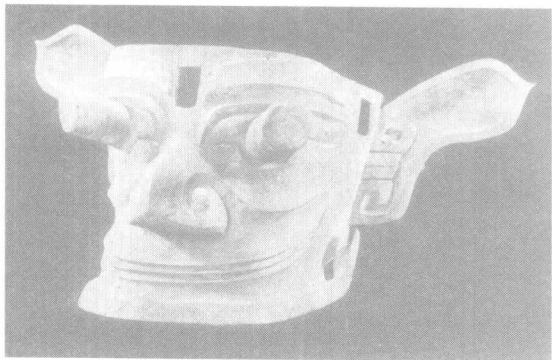


图 1-9 青铜面具

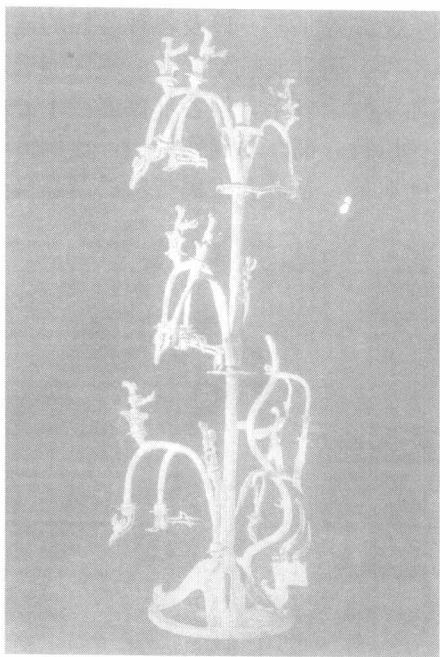


图 1-10 青铜神树

1.2 本课程的性质和研究的对象

1.2.1 本课程的性质

机械基础是一门技术基础课。本课程所涉及的知识与技能不仅为从事与机械工程相关工作的人员所必备，而且对生活和工作中进行创新实践活动有极大的帮助。通过学习本课程，对于学生在校学习阶段树立创新思维观念，激发创新欲望，了解创新方法有很重要的启发和指导作用。此外，学习机械基础课程，还将有助于学生工程思想的建立；有助于科学精神的培养；有助于树立严谨规范的工作作风；有助于形成良好的职业道德；有助于增强解决实际工程类问题的能力。

机械基础是研究机构工作原理、机械构成原理、机械零件功用和机械零件结构及常用机构装置的使用、维护等知识的工程技术基础课程。

机械基础课程的学习阶段一般处在从一般基础知识学习向专业技术知识的过渡期，因此本课程既具有机械工程知识普及教育的功能，同时也是一门具有实用价值的，可以独立设置的专业技术基础课。通过学习基本的机械方面的知识，使学生经历工程实践的探究过程，受到科学态度和科学精神的熏陶。它是以提高全体学生的科学素养、工程技术素质和职业道德修养，促进学生的全面发展为主要目标的工程技术基础课程。

机械基础课程是一门介于基础课和专业课之间的较重要的设计性技术基础课，起着“从理论过渡到实际、从基础过渡到专业”的承先启后的桥梁作用。

1.2.2 本课程的研究对象

本课程的研究对象是机械。机械是机器与机构的总称。

1. 机器的概念

机器是执行机械运动和信息转换的装置,机器的种类繁多,其用途和结构形式也不尽相同。机器的组成有三个共同的特征:①人为的实物组合体;②各运动单元间具有确定的相对运动;③能代替人类做有用的机械功或进行能量转换。现代机器的内涵还应包括能进行信息处理、影像处理等功能。图 1-11 所示为一卷扬机,电动机通过减速器带动卷筒缓慢转动,使绕在卷筒上的钢索完成悬吊装置的升降任务。电动机与减速器之间的装置为制动器,在需要停止运动时起制动作用,使卷扬机停止运动。图 1-12 所示为一颚式破碎机,电动机 1 通过带传动装置(2、3、4)带动偏心轮 5 转动,使得动颚板 6 作往复摆动,与定颚板 7 共同实现压碎物料的工作任务。

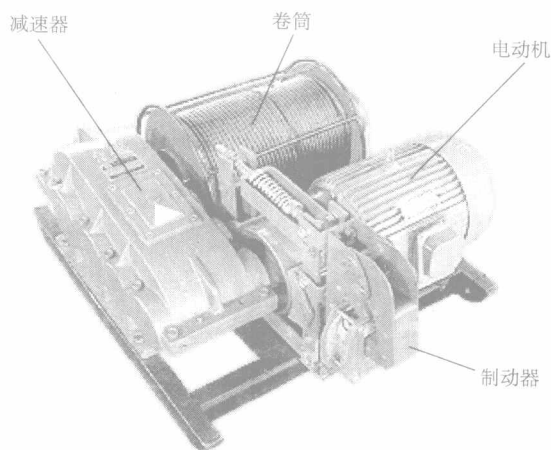


图 1-11 卷扬机

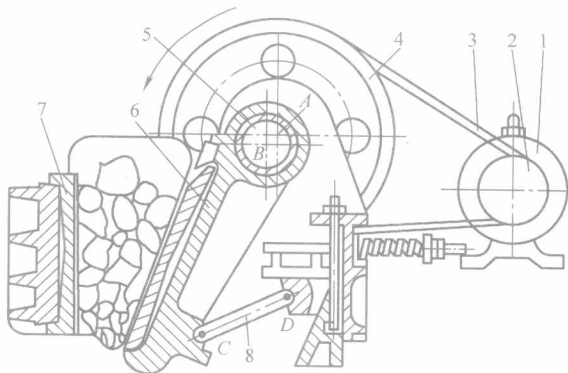


图 1-12 颚式破碎机

1—电动机 2—带传动 3—V带 4—摆动导杆机构 5—偏心轮 6—动颚板 7—定颚板与机架 8—肘板

由上述两实例分析可知,机器一般由原动装置、传动装置、执行装置、辅助装置四大部

分组成。一般机械中最常见的原动装置为电动机,给机器提供动力;传动装置通常由一些机构(连杆机构、凸轮机构等)或传动形式(带传动、齿轮传动等)组成,实现运动形式的变化或速度及动力的转换;执行装置是使机器完成工作任务的重要组成部分;辅助装置是指机器的润滑、控制、检测、照明等部分。

2. 机构的概念

机构是具有确定的相对运动,能实现一定运动形式转换或动力传递的实物组合体。从功能上看,机构和机器的根本区别是机构只能传递运动或动力,不能直接做有用的机械功或进行能量转换。因此,一般说来,机构是机器的组成部分,一般机器由单个或多个机构加辅助设备组成。从构成和运动的角度看,机器和机构无本质的区别,故工程上将机器和机构统称为“机械”。

组成机构的具有相对运动的实物称为构件,构件是机构运动的最小单元。机械制造中不可拆的最小单元称为零件,零件是组成构件的基本单元。一个构件可以只由一个零件组成,也可由多个零件组成。为实现一定的运动转换或完成某一工作要求,把若干构件组装到一起形成的组合体,称为部件。

零件按作用分为两类:一类是通用零件,是各种机器中经常使用的零件,如螺栓、齿轮、轴承等;一类是专用零件,只在一些特定的机器中使用,如曲轴、叶片等。

1.3 本课程的内容和任务

1.3.1 本课程的内容

本课程的基本内容可分为研究机构的类型及工作原理、分析零件强度条件和机械零件设计、选用等内容,是综合应用各先修课程的基础理论知识,结合生产实践知识,分析、研究机械中的常见机构和一般工作条件下的常用参数范围内的通用零、部件的工作原理、特点、应用、结构和选用、维护等共性问题。因此,本课程是机械类各专业重要的技术基础课。

1.3.2 本课程的任务

通过本课程的学习和实践性实训,要求达到:

- 1) 了解常用机械设备的使用、维护和管理方面的基础知识。
- 2) 初步掌握常用机构的性能、应用场合、使用维护等基础知识。
- 3) 初步具备分析机构工作原理、零件失效形式和运用手册选用基本零件的能力。
- 4) 掌握正确选择常用机械零件的类型、代号等基础知识。
- 5) 为学习有关专业机械设备和直接参与工程实践奠定必要的基础。

1.4 本课程的学习方法

1.4.1 本课程的特点

本课程是一门介于基础课和专业课之间的具有设计性的专业技术基础课,是从理论性、

系统性较强的基础课向实践性较强的专业课过渡的转折点,由于本课程的性质使其和先修课程有许多不同的地方:

1. 实践性强

本课程是一门技术基础课,其研究的对象是在生产实际中广泛应用的机械,所要解决的问题大多数是工程中的实际问题,因此要求学生加强基本技能的训练,要培养工程素养,要重视实验、实践课,增强工程实践动手能力。

2. 独立性强

各章内容彼此独立,前后联系不甚密切。优点是前面的章节没学透彻,对后面章节的学习影响较小。不好处是不容易形成完整的知识体系,因此,要经常复习前面已学过的内容,找出某些共同点,建立比较完整的机械设计知识体系。

3. 综合性强

本课程的学习要综合运用已学过的知识,先修课程的知识点对本课程的学习很有用处,要综合运用先修课的知识来学习本课程。除理论知识点外,还要有一定的生产实践知识,要多观察生活和生产实践中的机械设备。

4. 涉及面广

关系多——本课程与诸多先修课关系密切。

要求多——机械设备要满足强度、刚度、寿命、工艺、重量、安全、经济性等的要求。

门类多——各类机构、各种零件,各有特点。

图表多——结构图、原理图、示意图、曲线图、标准表等。

1.4.2 本课程的学习方法

1) 着重搞清楚基本概念,理解基本原理,掌握机构分析与综合运用基本方法。

2) 注意把一般原理和方法与具体运用密切联系起来,并用所学知识观察日常生活与生产实践中遇到的各种机械。

3) 注意培养运用所学基本理论与方法去分析和解决工程实际问题的能力。

4) 注意培养综合分析、全面考虑问题的能力。解决同一实际问题,往往有多种方法和结果,要通过分析、对比、判断和决策,做到优中选优。

5) 注意培养科学严谨、一丝不苟的工作作风。

通过学习本课程有关机械设计的基本知识,提高分析能力,特别要注重实践能力和创新能力的培养,加强技能训练,全面提高自身素质和综合能力。

第2章 构件的静力分析

学习目的与要求

主要内容：本章主要介绍力的基本性质、平面汇交力系、力矩与力偶和平面一般力系。

学习目的与要求：掌握力的基本性质，会进行受力分析；掌握平面汇交力系和平面一般力系的平衡问题；理解力矩与力偶的概念。

学习重点与难点：物体的受力分析；力矩和力偶的概念；平面一般力系的平衡问题。

静力分析是研究物体在力系作用下的平衡规律。力系是作用在同一物体上的一组力。平衡是指物体相对于惯性参考系处于静止或作匀速直线运动。

为使问题简化，静力分析中通常将物体视为刚体。所谓刚体，就是一个理想化的力学模型，即在力的作用下不会变形的物体。事实上，并不存在绝对的刚体，而微小变形对研究平衡问题不起主要作用，将其略去不仅不会影响问题的研究结果，反而可使问题的研究得到简化。

静力分析在工程中有十分重要的意义，是设计杆件尺寸、选择杆件材料的基础。

2.1 力的基本性质

2.1.1 力

1. 力的定义

力的概念是人们在长期的生产实践中建立起来的。力是物体间的相互作用，这种作用使物体的运动状态发生改变或使物体产生变形。

使物体的运动状态发生改变的效应称为力的运动效应或外效应。如人推小车，小车由静止变为运动。力的运动效应是本章研究的内容。

使物体产生变形的效应称为力的变形效应或内效应。如弹簧受拉力作用会伸长；桥式起重机的横梁在起吊重物时要发生弯曲变形等。力的变形效应属第3章研究范围。

力的运动效应和变形效应总是同时产生的，在一般情况下，工程上用的构件大多是用金属材料制成的，它们都具有足够的抵抗变形的能力，即在外力的作用下，它们产生的变形是微小的，对研究力的运动效应影响不大，故在静力分析中，可以将其变形忽略不计。本章就以刚体为研究对象，只讨论力的运动效应。

实践证明，力对物体的作用效应，由力的大小、方向和作用点的位置所决定，这三个因素称为力的三要素。这三个要素中任何一个改变时，力的作用效果就会改变。例如，用扳手拧螺母时（图2-1），作用于扳手的力，因大小不同，方向不同，或作用点位置不同，产生的效果就不一样。

力是一个具有大小和方向的矢量,图示时,常用一条带箭头的线段表示(图2-2),线段长度 AB 按一定比例代表力的大小,线段的方位和箭头表示力的方向,其起点或终点表示力的作用点。书面表达时,用黑体字母 $\boldsymbol{F}$ 代表力矢量,并以同一非黑体字母 F 代表力的大小。书写时则在表示力的字母上加一带箭头的横线,如 $\vec{F}$ 表示力矢量。

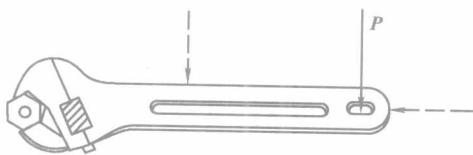


图 2-1 力的三要素

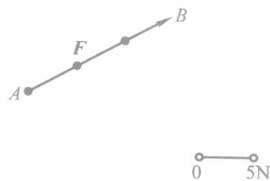


图 2-2 力的表示

力的单位采用我国的法定计量单位:“牛顿”(N)或“千牛顿”(kN)。

2. 力系的分类

通常根据力系中各力作用线的分布情况将力系进行分类:各力的作用线都在同一平面内的力系,称为平面力系;各力作用线不在同一平面内的力系,称为空间力系。在这两类力系中,各力的作用线相交于一点的力系,称为汇交力系;各力的作用线互相平行的力系,称为平行力系;各力的作用线既不全交于一点,也不全平行的力系,称为一般力系或任意力系。本章主要介绍平面力系。

2.1.2 力的基本性质

力的基本性质由静力学公理来说明。静力学公理概括了力的一些基本性质,反映了力所遵循的客观规律,它们是进行杆件受力分析、研究力系的简化和力系平衡的理论依据。

公理一 二力平衡公理

刚体若仅受两力作用而平衡,其必要与充分条件为:这两个力大小相等,方向相反,且作用在同一直线上(图2-3a)。

该公理指出了刚体平衡时最简单的性质,是推证各种力系平衡条件的依据。

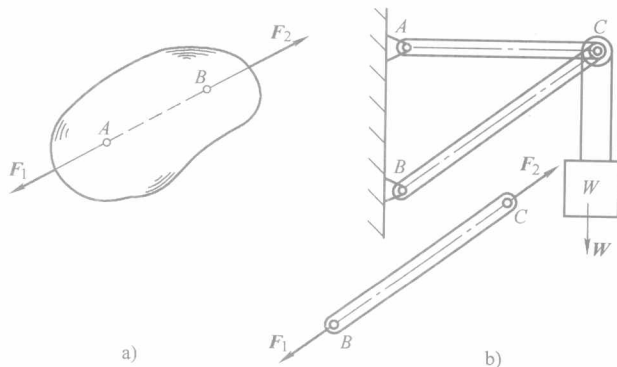


图 2-3 二力平衡及二力构件

a) 二力平衡 b) 二力构件

在机械或结构中凡只受两力作用而处于平衡状态的构件,称为二力构件。二力构件的自重一般不计,形状可以是任意的,因其只有两个受力点,根据二力平衡公理,二力构件所受的两力必在两个受力点的连线上,且等值、反向,如图 2-3b 所示的 BC 杆。在结构中找到二力构件,对物体的受力分析至关重要。

公理二 加减平衡力系公理

在已知力系上加上或减去任意一个平衡力系,不会改变原力系对刚体的作用效应。

这一公理对研究力系的简化问题很重要。由这个公理可以导出力的可传性原理(图 2-4):作用在刚体上的力,可沿其作用线移到刚体上任一点,不会改变对刚体的作用效应。由力的可传性原理可看出,作用于刚体上的力的三要素为:力的大小、方向和力的作用线,不再强调力的作用点。

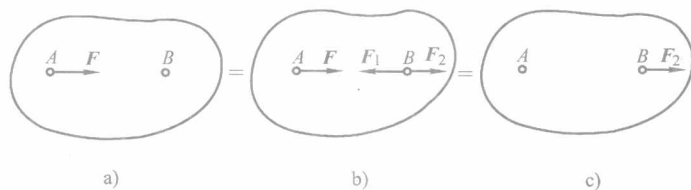


图 2-4 力的可传性

公理三 力的平行四边形公理

作用在物体上同一点的两个力的合力,作用点也在该点上,大小和方向由以这两个力为邻边所作的平行四边形的对角线确定,这称为力的平行四边形公理。如图 2-5 所示:作用在物体 A 点上的两已知力 F_1 、 F_2 的合力为 F_R ,力的合成可写成矢量式

$$\mathbf{F}_R = \mathbf{F}_1 + \mathbf{F}_2$$

力的平行四边形公理是力系合成的依据。

公理四 作用力与反作用力公理

当甲物体给乙物体一作用力时,甲物体也同时受到乙物体的反作用力,且两个力大小相等、方向相反、作用在同一直线上。

这一公理表明,力总是成对出现的,有作用力,必有反作用力,二者总是同时存在,同时消失。一般习惯上将作用力与反作用力用同一字母表示,其中一个加撇以示区别。

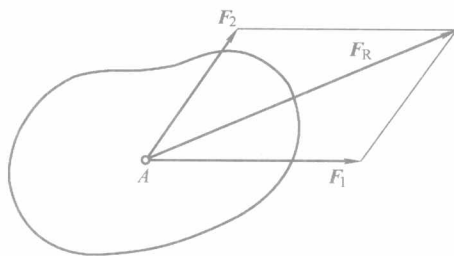


图 2-5 力的合成法则

2.1.3 约束和约束力

1. 约束和约束力

凡是对一个物体的运动或运动趋势起限制作用的其他物体,都称为这个物体的约束。约束限制着物体的运动,阻挡了物体本来可能产生的某种运动,从而改变了物体可能的运动状态,这种约束对物体的作用力称为约束力。约束力的方向总是与该约束所限制的运动趋势方向相反,其作用点在约束与被约束体的接触处。

能使物体运动或有运动趋势的力称为主动力,主动力一般是已知的,而约束力往往是未

知的。一般情况下根据约束的性质只能判断约束力的作用点位置或作用力方向,约束力的大小要根据平衡条件来确定。然而,不同类型的约束,其约束力也不同。下面介绍几种工程中常见的约束类型及其约束力。

2. 常见约束类型

(1) 柔性约束 绳索、链条、传送带等柔性物体形成的约束即为柔性约束。柔性物体只能承受拉力,而不能受压。作为约束,它只能限制被约束物体沿其中心线伸长方向的运动,所以柔性约束产生的约束力,通过接触点沿着柔体的中心线背离被约束物体(使被约束物体受拉)。如图 2-6 所示的带传动,带的约束力沿着轮缘的切向离开轮子向外指。

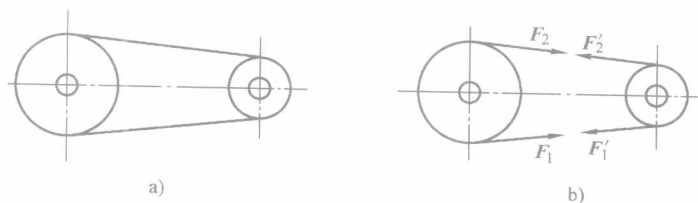


图 2-6 柔性约束

a) 带传动 b) 带的受力

(2) 光滑面约束 当两物体直接接触,并忽略接触处的摩擦时就可视为光滑面约束。这种约束只能限制物体沿着接触点公法线方向的运动,因此,光滑面约束的约束力必过接触点,沿接触面的公法线并指向被约束的物体,称为法向约束力或正压力,如图 2-7 所示。

(3) 铰链约束 铰链约束是工程上连接两个杆件的常见约束方式,是由两个端部带圆孔的杆件,用一个销轴联接而成的。根据被连接物体的形状、位置及作用,光滑铰链约束又可分为以下几种形式:

1) 中间铰链约束,如图 2-8a 所示,1、2 分别是两个带圆孔的杆件,将圆柱形销钉穿入杆件 1 和 2 的圆孔中,便构成中间铰链,通常用如图 2-8b 所示的符号表示。

中间铰链对物体的约束特点:作用线通过

销钉中心,方向不定。通常用通过铰链中心的两个正交分力来表示约束力,如图 2-8c 所示。

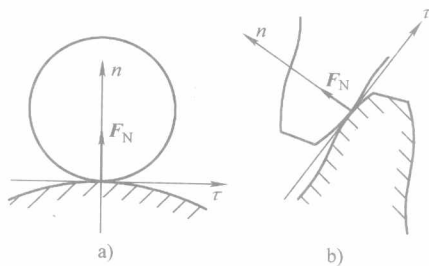


图 2-7 光滑接触面约束

a) 球面接触 b) 齿轮接触

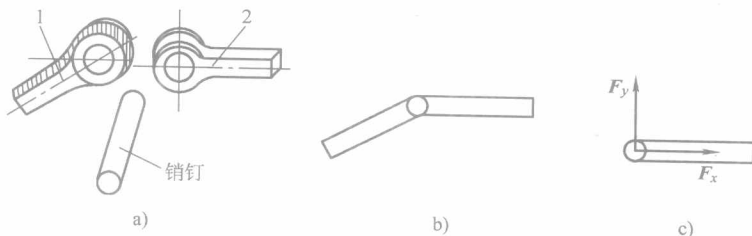


图 2-8 中间铰链约束

a) 结构 b) 符号 c) 约束力

2) 固定铰链支座约束,如图 2-9a 所示,将中间铰链中构件 1 换成支座,且与基础固定