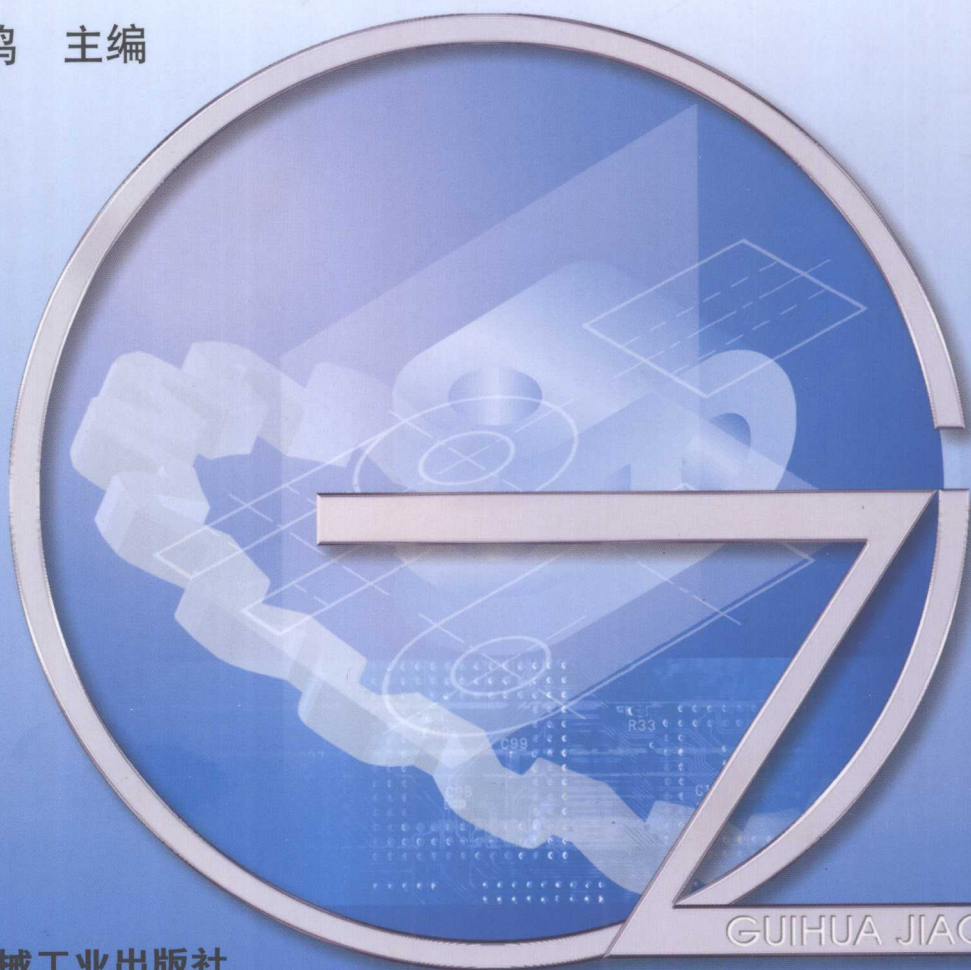




教育部职业教育与成人教育司推荐教材
五年制高等职业教育专业基础课教学用书

机械技术基础

教育部机械职业教育教学指导委员会 组编
中国机械工业教育协会
田 鸣 主编



GUIHUA JIAOCAI



机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS

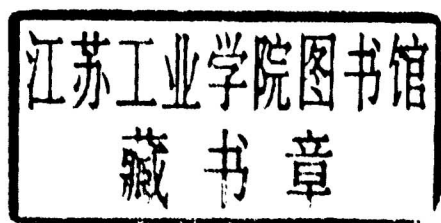
gz



教育部职业教育与成人教育司推荐教材
五年制高等职业教育专业基础课教学用书

机械技术基础

教育部机械职业教育教学指导委员会 组编
中国机械工业教育协会
主 编 田 鸣
副主编 黄淑容 高桂仙
参 编 魏道德 张秀芳 王亚芹 崔树平
主 审 许文华



机械工业出版社

本书是根据高职人才培养目标和对机电类专业基础课的要求编写的。全书将理论力学、材料力学、机械原理和机械零件四门课程的内容,进行了复合、衔接和综合。本书主要介绍构件的受力及其分析,物体的运动和动力学基础,构件的强度计算,常用机构的基本结构、工作原理、性能、用途和机构设计方法,通用机械零部件的结构、用途和选用原则等。全书共二十三章,每章后面均附有适量的习题,供读者学习。

本书为高等职业技术学院机电类专业基础课教材,也可供有关工程技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

机械技术基础/田鸣主编. —北京:机械工业出版社, 2007.6
教育部职业教育与成人教育司推荐教材. 五年制高等职业教育专业基础课教学用书
ISBN 978-7-111-21454-0

I. 机… II. 田… III. 机械设计—高等学校:技术学校—教材
IV. TH122

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2007)第 065202 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:崔占军 版式设计:霍永明
责任校对:李秋荣 封面设计:姚毅 责任印制:杨曦
北京机工印刷厂印刷
2007 年 6 月第 1 版第 1 次印刷
184mm×260mm·21.5 印张·527 千字
标准书号:ISBN 978-7-111-21454-0
定价:30.00 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) 88379083
封面无防伪标均为盗版

机电类高等职业技术教育教材建设 领导小组人员名单

顾问：郝广发

组长：杨黎明

成员：刘亚琴 李超群 惠新才 王世刚

姜立增 李向东 刘大康 鲍风雨

储克森 薛涛

专业基础课教材编审委员会名单

苏群荣 胡家秀 薛涛 刘魁敏 杜伟明

邱敏 夏奇兵 李怀甫 柴鹏飞 田鸣

许文茂 赵建彬 王世刚

前言

本书是根据由教育部机械职业教育教学指导委员会与中国机械工业教育协会联合成立的高职教材建设领导小组制定的机电类高等职业技术教育专业教学计划及教材编写计划编写的。

本书将理论力学、材料力学、机械原理和机械零件四门课程的内容进行了有机的整合。力学部分重点突出静力学部分的物体受力分析和强度计算；机械原理部分重点讲述常用机构的基本结构、工作原理、用途和机构设计方法；机械零件部分重点讲述通用零部件的结构、用途、选用原则等。根据读者的认识规律和难点分散的原则组成各章。基本顺序是：第一章至第五章是理论力学部分、第六章至第十章是材料力学部分、第十一章至第二十三章是机械原理和机械零件部分。原则上每一章只有一个主要专题，从而使每章都具有较强的针对性。

根据人才市场对高等职业技术教育的要求和高等职业院校在校学生的实际情况，本书在编写过程中，力求文字简明，通俗易懂，内容精炼，知识面宽，习题丰富，方便教学。从读者的认识规律出发，深入浅出，循序渐进，讲清基本概念、基本理论和基本方法；注重知识的实用性，简化理论推导和设计计算，强化重要定理的应用，降低学习难度；本书以填空和判断的形式编写了大量的习题，以期使读者通过训练，较好地掌握本书的知识点。

本书贯彻国家最新标准和规范，以便读者更好地掌握和贯彻。

参加本书编写的人员有：大连职业技术学院田鸣（绪论、第十一章第一节、第十六章、第二十章）、重庆工业职业技术学院黄淑容（第一章、第二章、第三章、第四章）、张家界航空工业职业技术学院魏道德（第五章、第十章）、辽宁机电职业技术学院张秀芳（第六章、第七章、第八章、第九章）、河北机电职业技术学院高桂仙（第十一章第二节至第四节、第十二章、第十三章、第十七章、第十八章）、安徽机电职业技术学院王亚芹（第十四章、第十五章、第二十一章）、山西机电职业技术学院崔树平（第十九章、第二十二章、第二十三章）。全书由田鸣担任主编，黄淑容和高桂仙担任副主编。

沈阳职业技术学院许文华担任本书主审，对书稿进行了细致、认真的审阅，并提出了许多宝贵的意见和建议，编者在此表示衷心的感谢。

由于我们水平有限，疏漏在所难免，恳请专家、广大读者指正。

编 者

目 录

前言

绪论	1
思考题与习题	3
第一章 静力学基础	5
第一节 力的概念及其基本性质	5
第二节 力对点之矩	9
第三节 力偶	11
第四节 约束与约束力	12
第五节 受力分析与受力图	17
思考题与习题	19
第二章 平面力系的简化与平衡	24
第一节 平面力系的概念及简化	24
第二节 平面力系的平衡条件与平衡方程	26
第三节 物体系统的平衡	32
思考题与习题	35
第三章 空间力系	39
第一节 力在空间直角坐标轴上的分解与投影	39
第二节 力对轴之矩	41
第三节 空间力系的平衡方程及其应用简介	43
第四节 重心	46
思考题与习题	49
第四章 摩擦与自锁	53
第一节 滑动摩擦	53
第二节 考虑滑动摩擦时的平衡问题	56
思考题与习题	59
第五章 平面机构的运动力学基础	63
第一节 点的运动	63
第二节 刚体的平动	69
第三节 刚体的定轴转动	70
第四节 定轴转动刚体上各点的速度和加速度	73
第五节 刚体绕定轴转动的动力学方程	75
第六节 刚性回转件的平衡	77

第七节 功、功率和机械效率	79
思考题与习题	83
第六章 轴向拉伸及压缩	87
第一节 杆件轴向拉伸及压缩时的内力分析	87
第二节 拉(压)杆的应力	89
第三节 拉(压)杆的变形及胡克定律	91
第四节 材料拉伸与压缩时的力学性能	93
第五节 拉(压)杆的强度计算	97
第六节 压杆稳定简介	99
思考题与习题	100
第七章 剪切与挤压	103
第一节 剪切与挤压的概念	103
第二节 剪切与挤压的实用计算	103
第三节 剪切胡克定律简介	107
思考题与习题	107
第八章 扭转	110
第一节 扭转的概念、转矩与转矩图	110
第二节 圆轴扭转时的应力与强度计算	112
第三节 圆轴扭转时的变形与刚度计算	114
思考题与习题	116
第九章 弯曲	119
第一节 梁弯曲时的计算简图及梁的分类	119
第二节 梁的剪力和弯矩计算	121
第三节 剪力图和弯矩图的绘制	123
第四节 弯曲梁横截面上的正应力	126
第五节 弯曲梁的强度计算	129
第六节 梁的弯曲变形	132
第七节 梁的刚度计算	135
第八节 提高弯曲梁的强度和刚度的措施	136
思考题与习题	139

第十章 组合变形的强度计算	145	第一节 齿轮传动的分类、特点和齿廓啮合基本定律	221
第一节 第三强度理论和第四强度理论	145	第二节 渐开线齿廓	224
第二节 拉伸（压缩）与弯曲组合变形的强度计算	147	第三节 渐开线标准直齿圆柱齿轮的基本参数和几何尺寸	226
第三节 弯曲与扭转组合变形的强度计算	150	第四节 渐开线直齿圆柱齿轮的啮合传动	230
第四节 交变应力及疲劳破坏	154	第五节 渐开线齿廓的加工原理和根切	232
思考题与习题	156	第六节 齿轮常见的失效形式与设计准则	236
第十一章 平面连杆机构	160	第七节 齿轮常用材料及热处理	238
第一节 平面机构的结构分析及运动简图	160	第八节 圆柱齿轮的精度	239
第二节 平面连杆机构的类型和应用	163	第九节 变位齿轮传动	241
第三节 平面连杆机构的基本特性	168	第十节 斜齿圆柱齿轮传动	245
第四节 平面连杆机构的运动设计	171	第十一节 锥齿轮传动简介	248
思考题与习题	174	思考题与习题	249
第十二章 凸轮机构	178	第十七章 蜗杆传动	253
第一节 凸轮机构的类型和应用	178	第一节 蜗杆传动的类型和特点	253
第二节 从动件的基本运动规律及选择	180	第二节 圆柱蜗杆传动的主要参数和几何尺寸	254
第三节 凸轮机构基本尺寸的确定	183	第三节 蜗杆传动的失效形式、材料、结构和精度	258
第四节 凸轮轮廓曲线的设计	185	第四节 蜗杆传动的计算	261
第五节 凸轮机构的结构和材料	187	思考题与习题	263
思考题与习题	188	第十八章 轮系	266
第十三章 其他常用机构	191	第一节 轮系的应用和分类	266
第一节 螺旋机构	191	第二节 定轴轮系传动比的计算	267
第二节 棘轮机构	194	第三节 行星轮系传动比的计算	269
第三节 槽轮机构	197	思考题与习题	273
思考题与习题	200	第十九章 轴承	276
第十四章 带传动	202	第一节 轴承的分类	276
第一节 带传动的类型和应用	202	第二节 滚动轴承的组成、类型及特点	276
第二节 普通 V 带和 V 带轮	203	第三节 滚动轴承的选择	280
第三节 带传动的工作情况分析	207	第四节 滚动轴承的组合结构设计	281
第四节 带传动的安装、张紧和维护	209	第五节 滑动轴承	284
思考题与习题	211	第六节 滚动轴承与滑动轴承的比较及选用原则	289
第十五章 链传动	212	思考题与习题	290
第一节 链传动的分类和应用	212	第二十章 轴及轴系	293
第二节 滚子链及其链轮	213	第一节 轴的分类及轴的材料选择	293
第三节 链传动的运动分析	217		
第四节 链传动的布置、张紧和润滑	218		
思考题与习题	219		
第十六章 齿轮传动	221		

第二节 轴的结构设计	296	第一节 联轴器	316
思考题与习题	301	第二节 离合器	319
第二十一章 联接	303	第三节 制动器	323
第一节 联接的类型和功用	303	思考题与习题	324
第二节 键联接	303	第二十三章 弹性连接	327
第三节 花键联接	307	第一节 弹性连接的功用与类型	327
第四节 销联接	308	第二节 圆柱形螺旋弹簧的结构、 参数和尺寸	329
第五节 螺纹联接	309	思考题与习题	331
思考题与习题	314	参考文献	333
第二十二章 联轴器、离合器和制 动器	316		

绪 论

一、机械概述

人类在长期的生产实践中为了适应自身的生产和生活需要，创造出各种各样的机器，其目的是为了减轻人的劳动强度，提高劳动生产率。随着科学的发展和技术的进步，机器的种类不断增多，性能不断提高，功能不断扩大。机器既能提高生产率和加工质量，又能承担人所不能或不便承担的工作。机器的使用水平已经成为一个国家科技水平和现代化程度的重要标志之一。

那么，什么是机械？它是由什么组成的呢？

人们在日常生活和生产实践中早已形成了对机器的感性认识。例如，洗衣机、电动自行车、内燃机、汽车、推土机、卷扬机、各类金属切削机床等都是机器。为了加深对机器等概念的理解，下面先来分析两个机器实例。

图 0-1 所示的是建筑行业广泛使用的卷扬机。它主要由电动机 1、联轴器 2 和 4、齿轮减速器 3、卷筒 5 等组成。卷扬机的功能是通过卷筒 5 的旋转带动缠绕其上的钢索，从而实现提升重物的目的。卷扬机的动力源是电动机 1，由于电动机 1 的转速较高，而要求卷筒 5 的转速较低，因此在卷筒 5 和电动机 1 之间配置了一台二级减速器 3，通过二级减速器，使卷筒获得了较缓慢的旋转运动。

图 0-2 所示的是单缸内燃机。它主要由缸体 1、活塞 2、连杆 3、曲柄 4、齿轮 5 和 6、凸轮 7、进气门推杆 8、排气门推杆 9、进气门 10、排气门 11 等组成。当燃气推动活塞在气缸内作直线往复移动时，通过连杆使曲柄作连续转动，从而把燃料燃烧的热能转换为机械能。为了使内燃机能连续工作，曲柄轴的连续转动又通过齿轮 5 与齿轮 6 的啮合传动，带动凸轮轴转动，进而通过控制进气门 10 和排气门 11 定时启闭，而使可燃混合气体定时进入气缸和废气定时排出气缸。

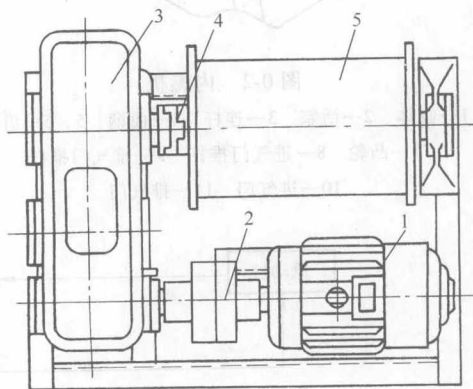


图 0-1 卷扬机

1—电动机 2、4—联轴器 3—减速器 5—卷筒

通过上述两个实例的分析以及日常生活中常见的其他机器可以看出，各种机器的构造和用途差别很大。但是，它们都具有下列共同特征：

- 1) 它们都是人为的多种实体的组合体。
- 2) 各实体间具有确定的相对运动。
- 3) 能够代替人的劳动或减轻人的劳动强度，完成机械功或转换机械能。

凡具备以上三个特征的实体组合，都称为机器。只具备前两个特征的，则称为机构。例如图 0-2 中，由内燃机缸体 1、活塞 2、连杆 3、曲柄 4 构成了曲柄滑块机构，它将活塞的直

线往复运动转换成曲柄的连续转动；由内燃机体、凸轮 7、进气门推杆 8、排气门推杆 9 构成了凸轮机构，它将凸轮轴的连续转动转换成推杆的直线往复运动；由内燃机体、齿轮 5 和齿轮 6 构成了齿轮机构，它可以改变从动轴的转动速度和转动方向。

通常，人们将机器与机构统称为机械。

零件是组成机构的最基本单元。构件是组成机构的运动单元，即构件可以是一个零件或是几个零件的刚性组合，但构件本身没有相对运动。例如图 0-3 所示的连杆，是由连杆体 1、轴套 2、连杆头 3、螺栓 4、螺母 5、轴瓦 6 等装配而成的。它是不可分割的运动单元。

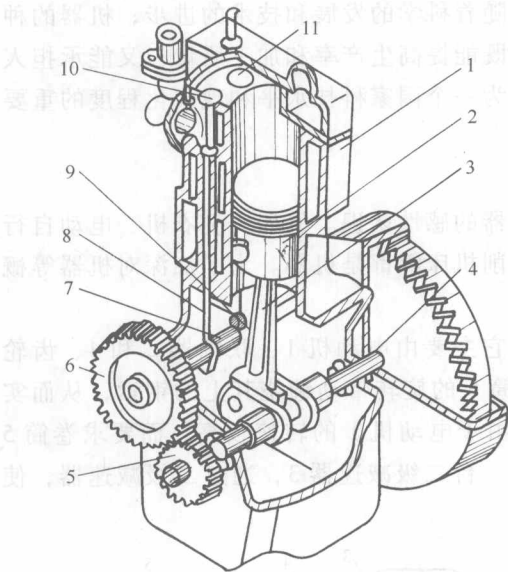


图 0-2 内燃机

- 1—缸体 2—活塞 3—连杆 4—曲柄 5、6—齿轮
7—凸轮 8—进气门推杆 9—排气门推杆
10—进气门 11—排气门

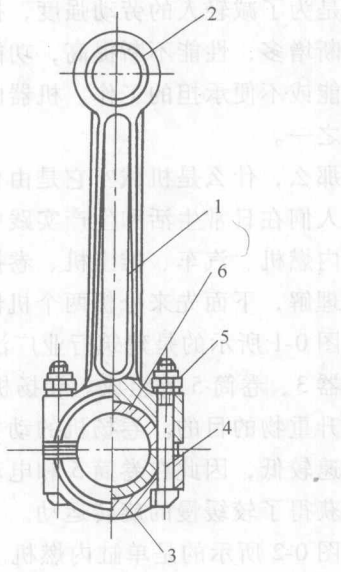


图 0-3 内燃机连杆

- 1—连杆体 2—轴套 3—连杆头
4—螺栓 5—螺母
6—轴瓦



图 0-4 机器的构成

机器的种类很多，用途各异。但是一台完整的机器往往由以下四部分构成（见图 0-4）：

- (1) 动力源 机器的动力来源。常见的有电动机和内燃机。此外还有高压气缸或液压缸等。
- (2) 执行机构 直接完成工作任务的部分。往往处于机器的机械传动路线的末端（如图 0-1 中的卷筒 5）。
- (3) 传动装置 把动力源的运动和动力传递给执行机构的装置，介于动力源和执行机构之间，可以改变运动速度、运动方式和力或转矩的大小。
- (4) 控制系统 人机交流的中介，使人能够根据自己的意图实现对机器进行操纵的机

构。机器上的各种按钮、开关、手柄都是控制机构。此外，机器上的行程开关、传感器、计算机控制等也可以成为控制系统的组成部分。

二、本课程的主要研究对象和任务

本课程是机械类专业的一门综合性的技术基础课程。其研究的主要对象是机械及其受力分析和设计方法等，是一门介绍机构和零件的受力分析及其选用与培养学生机械设计基本能力的课程。具体内容有：

1. 力学基础

各种构件工作时往往承受载荷。在载荷作用下，构件将会产生变形或发生破坏。力学基础就是研究构件的受力状况、构件的变形程度及其对构件工作能力的影响，使构件工作可靠。

2. 常用机构

主要介绍机械中的常用机构及其工作原理、结构特点和运动特性等。

3. 机械零件

主要介绍各种机械零件及其失效形式、强度计算和设计方法等。同时介绍国家标准规范，标准零部件的选用原则，以及机器设备的使用、保养与维护等。

本课程的任务是：

- 1) 通过对简单零部件的受力分析、运动及动力分析，使读者具有基本的工程力学知识。
- 2) 初步掌握机械中的常用机构和通用零部件的工作原理、结构、特点、选用原则以及设计计算方法。
- 3) 了解常用机械设备使用、维护和管理的基础知识。
- 4) 为后续课程的学习奠定必要的基础。

思考题与习题

一、多选填空题：本题的可选答案中，有2~4个是正确的，请将正确答案号填到空格里。

0-1 机器的主要特征是_____。

- a) 它们都是人为的多种实体的组合体
- b) 各实体间具有确定的相对运动
- c) 能够代替人的劳动或减轻人的劳动强度，完成机械功或转换机械能
- d) 为执行机构提供动力

0-2 机器的组成部分_____。

- a) 动力源
- b) 传动装置
- c) 控制系统
- d) 执行机构

0-3 本课程主要研究_____。

- a) 机械
- b) 控制机构的原理和规律
- c) 机械的设计计算方法
- d) 机械的受力分析

0-4 本课程的主要内容是_____。

- a) 机械受力分析
- b) 力学基础
- c) 常用机构
- d) 机械零件

0-5 本课程的主要任务是_____。

- a) 培养工程力学素养
- b) 常用机构设计方法

c) 设备使用、维护基础 d) 奠定机械工程基础

二、选择填空题：请将最恰当的一个答案号填到空格里。

0-6 本课程研究的对象是_____。

a) 机构 b) 机器 c) 机械 d) 构件

0-7 _____是组成机构的最基本单元。

a) 构件 b) 部件 c) 机构 d) 零件

0-8 _____是组成机构的运动单元。

a) 构件 b) 部件 c) 机构 d) 零件

三、判断题：在你认为正确题目后的括号中填“T”，错误题目后的括号中填“F”。

0-9 通常，机器与机构的统称，是机械。()

0-10 构件可以是一个零件或是几个零件的刚性组合，构件本身具有相对运动。()

0-11 机构是由具有确定相对运动的构件组成的。()

第一章 静力学基础

本章主要介绍力与力偶的概念及基本性质，力在直角坐标轴上的投影与力对点之矩的基本计算法则；讨论工程中常见的约束与约束力及物体的受力分析。

第一节 力的概念及其基本性质

一、力的概念

力是物体间相互的机械作用，它能使物体的运动状态发生改变或使物体的几何形状和尺寸发生改变。前者称为力的外效应或运动效应，后者称为力的内效应或变形效应。实践证明，力对物体的作用效果取决于力的大小、方向和作用点这三个要素。

力是矢量。凡是矢量，在图上均用带箭头的有向线段表示。如图 1-1 所示，矢量的方向（箭头指向）代表力的方向，矢量的始点或终点为力的作用点。当用符号表示力矢量时，应用黑体的大写字母（如 F 、 F_R 、 P 、 W 、 G 等）表示，矢量的模即为力的大小，用一般大写字母（如 F 、 F_R 、 P 、 W 、 G 等）表示。

在国际单位制中，力的常用单位是牛顿（N）或千牛顿（kN）。

同时作用在物体或物体系上的一群力，称为力系。对物体作用效果相同的力系，称为等效力系。若在不改变力系对物体作用效果的前提下，用一简单力系代替前力系的过程，称为力系的简化。若一个力与一个力系等效，则该力称为力系的合力，而力系中的各力称为合力的分力。

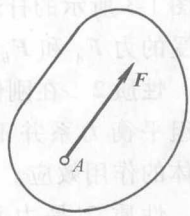


图 1-1 力的图示

工程中常涉及到物体的平衡问题。力学中的平衡是指物体相对于地球保持静止或作匀速直线运动的一种状态。例如，静止在地面上的厂房、机床的床身、桥梁以及在直线轨道上匀速行驶的列车等，都是相对于地球处于平衡状态的。当物体处于平衡状态时，作用于物体上的力系必须满足一定的条件，这个条件称为力系的平衡条件，而这个力系就称为平衡力系。

二、力的基本性质

1. 刚体与变形体的概念

任何物体在受力后或多或少地都将发生一些变形（形状或尺寸的变化），但在对构件进行外力分析与运动分析中，这些变形对所研究的问题没有实质性影响，这时就可将所研究的对象抽象为在力的作用下，其大小和形状都保持不变的物体，这样的物体称为刚体。经过这样的抽象，可使对外力分析与运动分析研究极大简化。本书在讨论外力与运动关系之间的受力分析时所涉及的物体均视为刚体。

在研究构件的承载能力时，构件发生的变形是不能忽略的，这时所研究的对象不能再视为刚体，而是受力后要发生变形的物体，这样的物体称为变形物体，简称变形体。工程中，对于大多数变形体可抽象为其体内毫无间隙地充满了物质，且各处和各个方向都具有相同的

力学性能。在分析构件的承载能力（如强度、刚度、稳定性等问题）时所涉及的物体均为变形体。

2. 力的基本性质

性质 1 作用于同一刚体上的两个力，使刚体保持平衡的必要与充分条件是：这两个力的大小相等，方向相反，且作用在同一直线上。

性质 1 给出了刚体在最简单力系下的平衡条件，称为二力平衡条件。需要指出的是，此性质对变形体而言只是必要条件而非充分条件，如图 1-2a 中的杆（刚体）不论受拉还是受压均能处于平衡状态；若把杆换成软绳（变形体）如图 1-2b 所示，则受拉仍能处于平衡状态，而受压则将卷曲而不平衡。

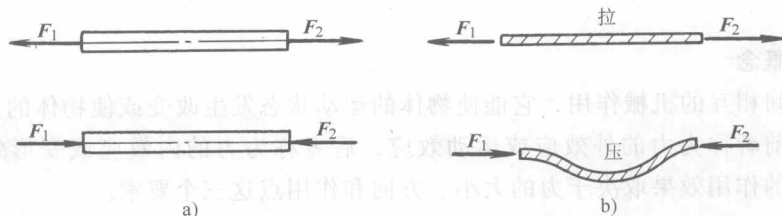


图 1-2 二力平衡条件

在工程中，常把只受两个力作用而平衡的构件称为二力构件，或称二力杆。对于二力构件或二力杆来说，若已知二力的作用点，则根据二力平衡条件，即可确定这两个力的方位，如图 1-3 所示的杆若不计自重，且只有 A、B 两点受力，那么这样的杆就为二力杆，其两点所受的力 F_A 和 F_B 的作用线则必定沿着力的作用点 A 和 B 的连线。

性质 2 在刚体上增加或减去一组平衡力系并不改变原力系对刚体的作用效应。

性质 2 是力系简化的基础，称为加减平衡力系公理。由此性质可导出力的可传性原理（简要推导见图 1-4）：作用在刚体上的力可沿其作用线任意滑移，而不改变该力对刚体的作用效应。

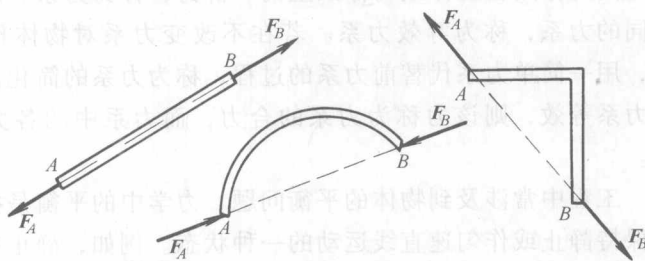


图 1-3 二力杆

由此可见，力对刚体的效应与力的作用点在作用线上的位置无关。因此，对于刚体，力的三要素为力的大小、方向和作用线。应该强调的是，性质 2 和力的可传性原理均不适用于变形体。

性质 3 作用在物体上某一点的两个力，可以合成为作用于该点的一个合力，合力的大

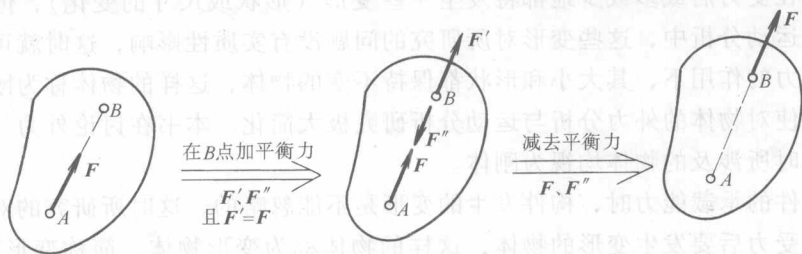


图 1-4 力的可传性原理推导

小和方向由这两个力为边所构成的平行四边形的对角线确定。如图 1-5a 所示, 图中 F_R 表示合力, F_1 、 F_2 表示分力, 合力与分力的矢量表达式为

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

性质 3 即力的平行四边形法则, 它为力系的简化提供了理论基础。由该性质可知, 力的加减是矢量的合成与分解, 必须遵循平行四边形法则。另外, 由图 1-5b 所示, 在求合力 F_R 时, 可不必作出力的平行四边形, 只需画出力三角形即可。力三角形的作法是: 作矢量 AB 代表 F_1 , 再从 F_1 的终点 B 作矢量 BC 代表 F_2 , 最后从 F_1 的起点 A 向 F_2 的终点 C 作矢量 AC , 即为合力 F_R , 这一合成方法称为力三角形法则。

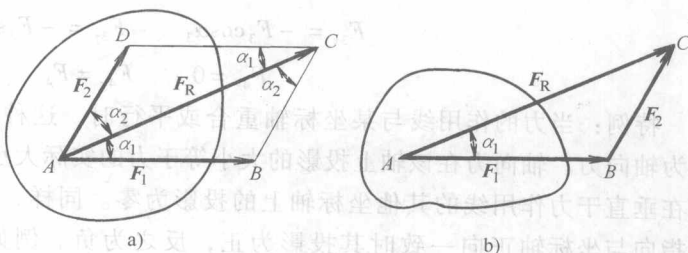


图 1-5 力的合成

性质 4 两物体间相互作用的作用力与反作用力总是大小相等, 方向相反, 沿同一直线分别作用在这两个物体上。

性质 4 即力的作用与反作用定律。该性质表明了物体系统中, 力与运动的传递关系与规律, 为研究由多个物体组成的物体系统的受力与动力分析提供了基础。

应该注意的是, 力总是成对出现, 有作用力就必有反作用力, 它们同时出现, 同时消失。另外, 不能将作用力与反作用力的关系与二力平衡问题混淆起来。如图 1-6a 所示的 A 、 B 重物所组成的物体系统, 其各自的受力如图 1-6b 所示, 其中 W_A 与 F_N 作用在同一物体上构成一对平衡力, 而 F_N' 与 F_N 虽然等值、反向、共线, 但却分别作用与两个物体上, 是作用力与反作用力的关系。

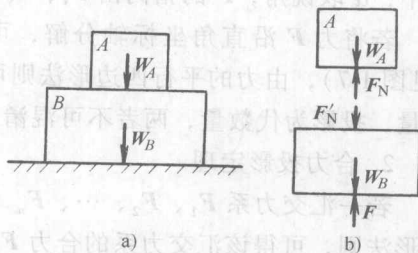


图 1-6 作用与反作用力的分析

三、力在直角坐标轴上的投影与分解、合力投影定理

1. 力在平面直角坐标轴上的投影与分解

设力 F 作用于物体上 A 点 (图 1-7)。在力 F 所在的平面内取直角坐标系 Oxy , 从力的始端 A 和终端 B 分别向 x 、 y 轴作垂线 Aa 、 Bb 和 Aa' 、 Bb' , 两条垂线沿坐标轴方向截得的线段 ab 称为力 F 在 x 轴上的投影, 用 F_x 表示; 线段 $a'b'$ 称为力 F 在 y 轴上的投影, 用 F_y 表示。取 α 、 β 为 F 与 x 、 y 轴所夹角, 显然有

$$\begin{aligned} F_x &= \pm F \cos \alpha \\ F_y &= \pm F \sin \alpha \end{aligned} \quad (1-2)$$

由上式可知, 力的投影为代数量, 其投影的正负规定如下: 若投影从 a 到 b (或从 a' 到 b') 的指向与 x 轴 (或 y 轴) 的正向一致, 则为正, 反之为负。

例 1-1 求如图 1-8 所示的各力在 x 、 y 轴上的投影。

解 由式 (1-2) 有

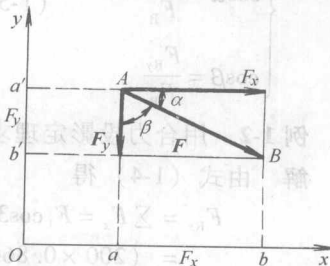


图 1-7 力的投影与力的分解

$$\begin{aligned}
 F_{1x} &= F_1 \cos \alpha_1 & F_{1y} &= F_1 \sin \alpha_1 \\
 F_{2x} &= -F_2 \cos 0^\circ = -F_2 & F_{2y} &= F_2 \sin 0^\circ = 0 \\
 F_{3x} &= -F_3 \cos \alpha_3 & F_{3y} &= -F_3 \sin \alpha_3 \\
 F_{4x} &= 0 & F_{4y} &= F_4
 \end{aligned}$$

特例：当力的作用线与某坐标轴重合或平行时，这种力称为轴向力。轴向力在该轴上投影的大小等于力的实际大小，而在垂直于力作用线的其他坐标轴上的投影为零。同样，该力指向与坐标轴正向一致时其投影为正，反之为负。例如，上例中的 F_2 、 F_4 就是轴向力的实例。

如果已知力 F 在 x 、 y 轴上的投影 F_x 、 F_y ，则可求出 F 及 F 与 x 轴（或 y 轴）的夹角 α （或 β ）

$$\begin{cases} F = \sqrt{F_x^2 + F_y^2} \\ \tan \alpha = \left| \frac{F_y}{F_x} \right| \end{cases} \quad (1-3)$$

式中， α 取锐角， F 的指向由 F_x 、 F_y 的正负号来确定。

图 1-8 力投影的实例分析

若将力 F 沿直角坐标轴分解，可得到两个分力 F_x 、 F_y （见图 1-7），由力的平行四边形法则可知，其分力的大小与对应的投影大小相等，但分力为矢量，投影为代数量，两者不可混淆。

2. 合力投影定理

若一汇交力系 F_1 、 F_2 、 $\dots$ 、 F_n （见图 1-9a）有合力 F_R 存在，则连续使用力的平行四边形法则，可得该汇交力系的合力 F_R （见图 1-9b），根据矢量投影定理（证明从略）有

$$\begin{cases} F_{Rx} = F_{1x} + F_{2x} + \dots + F_{nx} = \sum F_x \\ F_{Ry} = F_{1y} + F_{2y} + \dots + F_{ny} = \sum F_y \end{cases} \quad (1-4)$$

上式表明，合力在某一轴上的投影等于其各分力在同一轴上投影的代数和，此即为合力投影定理。

若合力的投影已知，可由下式求得合力的大小与方向余弦

$$\begin{cases} F_R = \sqrt{F_{Rx}^2 + F_{Ry}^2} \\ \cos \alpha = \frac{F_{Rx}}{F_R} \\ \cos \beta = \frac{F_{Ry}}{F_R} \end{cases} \quad (1-5)$$

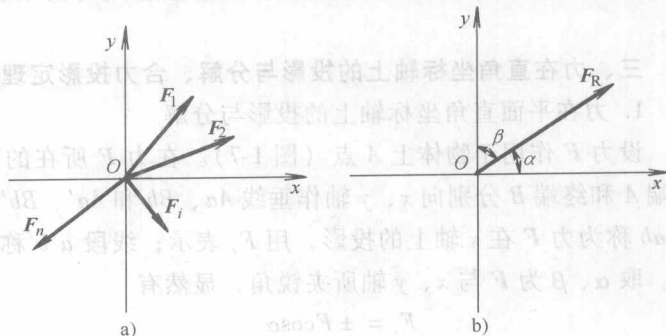


图 1-9 合力投影定理

例 1-2 用合力投影定理求图 1-10 所示平面汇交力系的合力。

解 由式 (1-4) 得

$$\begin{aligned}
 F_{Rx} &= \sum F_x = F_1 \cos 30^\circ - F_2 \cos 60^\circ - F_3 \cos 45^\circ + F_4 \cos 45^\circ \\
 &= (200 \times 0.866 - 300 \times 0.5 - 100 \times 0.707 + 250 \times 0.707) \text{ N} = 129.3 \text{ N}
 \end{aligned}$$

$$F_{Ry} = \sum F_y = F_1 \cos 60^\circ + F_2 \cos 30^\circ - F_3 \cos 45^\circ - F_4 \cos 45^\circ$$

$$= (200 \times 0.5 + 300 \times 0.866 - 100 \times 0.707 - 250 \times 0.707) \text{ N} = 112.3 \text{ N}$$

再由式 (1-5) 得

$$F_R = \sqrt{F_{Rx}^2 + F_{Ry}^2} = (\sqrt{129.3^2 + 112.3^2}) \text{ N} = 171.3 \text{ N}$$

$$\cos \alpha = \frac{F_{Rx}}{F_R} = \frac{129.3}{171.3} = 0.755, \alpha = 40.99^\circ$$

$$\cos \beta = \frac{F_{Ry}}{F_R} = \frac{112.3}{171.3} = 0.656, \beta = 49.01^\circ$$

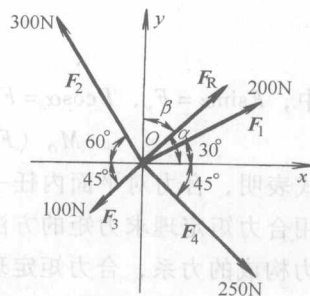


图 1-10 计算合力

求得的合力 F_R 的作用点为各分力的汇交点 O ，且与 x 、 y 轴的夹角分别为 α 与 β (见图 1-10)。

第二节 力对点之矩

力对物体作用的运动效应有移动和转动。其移动效应由力矢量确定，而转动效应则由力对点（或力对轴）之矩来度量。

一、平面力对点之矩

若用扳手转动螺母（见图 1-11），使螺母转动的效应不仅与力 F 的大小有关，而且与转动中心 O 点至力 F 的作用线的垂直距离 s 有关。由物理学可知，力使物体绕点 O 转动的效应，可用力对点之矩（简称力矩）来度量。在平面问题中，力对点之矩为代数量，其大小等于力 F 的大小与该力到转动中心（矩心）的距离 s （力臂）的乘积，其正负号规定为：力 F 使物体绕矩心逆时针转动时力矩为正，反之为负。记作

$$M_O(F) = \pm Fs \quad (1-6)$$

在国际单位制中，力矩常用的单位为牛顿·米 ($\text{N} \cdot \text{m}$) 或牛顿·毫米 ($\text{N} \cdot \text{mm}$)。

由力矩的定义可知：

1) 力矩的大小或转向将随着矩心位置的变化而发生变化。当力的作用线通过矩心时（力臂 $s=0$ ），则力对点之矩为零。

2) 对于刚体而言，当力沿其作用线滑移时，力对点之矩不变。

二、合力矩定理

一铰接杆受力如图 1-12 所示，设力 F 的正交分力为 F_x 、 F_y ，若按力对点之矩的定义计算，则该力对点 O 之矩可通过下式计算

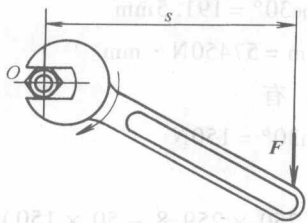


图 1-11 力对点之矩

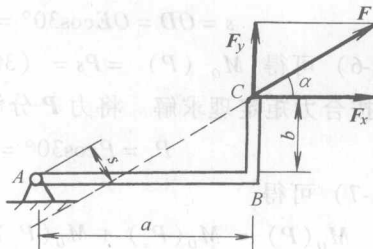


图 1-12 合力矩定理