



机械设计基础

(第2版)

Jixie Sheji Jichu

◎主编 刘红宇 熊杰 南黄河

 北京理工大学出版社
BEIJING INSTITUTE OF TECHNOLOGY PRESS

014058525

TH122
1300-2

机械设计基础

(第2版)

主 编 刘红宇 熊 杰 南黄河
副主编 徐健宇 戴爱瑜 姚国林
白小燕



 北京理工大学出版社

BEIJING INSTITUTE OF TECHNOLOGY PRESS

TH122
1300-2



北航

C1745245

01022222

内 容 简 介

本书从培养技能型专业人才出发,结合学生实际,打破传统课程体系,将理论力学、材料力学、机械原理和机械零件等课程进行了整合。

本书分为14章,第1章讲述了静力学的基本原理和分析方法;第2章讲述了材料力学的基本内容;第3章为机械设计基础概述;第4章简述了机械设备中常用的连接;第5章到第13章讲述了机械设备中常用的机构和结构(包括:平面机构、挠性传动机构、凸轮机构、齿轮机构、蜗杆机构、间歇机构、轮系、轴系等)的应用、设计及机构中各类典型零件的选用和设计;第14章讲述了四类典型零件的毛坯成型方法以及弹簧的设计和选用。每章后附有适量的思考和练习题。

本书可作为高等学校机电类、机械类专业教材,也可以作为机电类、模具类和近机类工程技术人员参考用书。

版权专有 侵权必究

图书在版编目(CIP)数据

机械设计基础/刘红宇,熊杰,南黄河主编. —2版. —北京:北京理工大学出版社,2014.7

ISBN 978-7-5640-9354-9

I. ①机… II. ①刘… ②熊… ③南… 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(2014)第123426号

出版发行/北京理工大学出版社

社 址/北京市海淀区中关村南大街5号

邮 编/100081

电 话/(010)68914775(办公室) 68944990(批销中心) 68911084(读者服务部)

网 址/http://www.bitpress.com.cn

经 销/全国各地新华书店

印 刷/北京泽宇印刷有限公司

开 本/710毫米×1000毫米 1/16

印 张/23.75

字 数/442千字

版 次/2014年7月第2版第1次印刷

责任校对/张沁萍

定 价/56.00元

责任印制/边心超

图书出现印装质量问题,本社负责调换

前 言

《机械设计基础》是高等院校机械类和近机类各专业学生必修的一门重要的职业基础课。以培养高素质、技能型专业人才为出发点，坚持以高等教育培养目标为依据，以培养学生职业技能为重点，将传统工科类专业中的理论力学、材料力学和机械设计基础3门课程进行整合，减少理论公式的推导，重点阐明工程实际应用和基本设计方法与思路，遵循淡化理论、够用为度、培养技能、重在应用的原则。以机械中常见的结构、常用机构、通用零件和标准件为基础，使学生掌握常用机构和通用零件的基本理论和基本知识，具有初步分析、设计能力。在使学生获得基本技能的同时还注重培养学生正确的设计思想和严谨的工作作风，为学习有关职业技术课程以及参与技术改进奠定必要的基础。

本书由工程力学和机械设计基础两大部分组成。工程力学部分包括静力学和材料力学；机械设计基础部分包括平面连杆机构、凸轮机构、常用联接、挠性传动机构、齿轮传动机构、轮系、轴系、其他常用机构以及常用零件等。

本书采用了我国最新的国家标准和法定计量单位。

本书由刘红宇、熊杰、南黄河任主编，徐健宇、戴爱瑜、姚国林、白小燕任副主编。

本书适用于高等教育的主修教材，也可供机械、模具类工程技术人员参考。

因为编者水平有限，且编写时间较为紧迫，书中难免出现缺陷和不足，恳请各位读者给予批评指正。

编 者

目 录

第一部分 工程力学

| | |
|------------------------|------|
| 第 1 章 静力学基础 | (1) |
| § 1.1 静力学基本概念 | (1) |
| 1.1.1 力的概念 | (1) |
| 1.1.2 刚体的概念 | (1) |
| 1.1.3 力的三要素 | (1) |
| 1.1.4 力的表示方法 | (2) |
| § 1.2 静力学基本公理 | (3) |
| § 1.3 约束和约束反力 | (5) |
| 1.3.1 基本概念 | (5) |
| 1.3.2 常见的约束及约束反力 | (6) |
| § 1.4 受力分析与受力图 | (8) |
| 1.4.1 绘制受力图的步骤 | (9) |
| 1.4.2 单个物体的受力图 | (9) |
| 1.4.3 物体系统的受力图 | (10) |
| § 1.5 力的投影 力矩与力偶 | (11) |
| 1.5.1 力的投影 | (11) |
| 1.5.2 力矩 | (13) |
| 1.5.3 力偶及力偶矩 | (16) |
| § 1.6 力系的简化与合成 | (18) |
| 1.6.1 力的平移定理 | (18) |
| 1.6.2 平面力系的简化 | (19) |
| 1.6.3 空间力系的简化 | (26) |
| § 1.7 力系的平衡问题 | (30) |
| 1.7.1 一般力系的平衡 | (30) |
| 1.7.2 特殊力系的平衡条件 | (32) |
| § 1.8 物系的平衡问题 | (39) |
| 1.8.1 静定与静不定问题 | (39) |
| 1.8.2 物系的平衡问题 | (39) |

| | |
|-----------------------------|-------------|
| 1.8.3 空间力系平衡问题的平面解法 | (40) |
| §1.9 考虑摩擦的平衡问题 | (42) |
| 1.9.1 滑动摩擦 | (42) |
| 1.9.2 考虑滑动摩擦的平衡问题 | (45) |
| 1.9.3 滚动摩擦 | (46) |
| 思考与练习 | (48) |
| 第2章 材料力学基础 | (52) |
| §2.1 概述 | (52) |
| 2.1.1 材料力学研究的内容及方法 | (52) |
| 2.1.2 变形固体假设 | (53) |
| 2.1.3 材料力学研究的对象 | (53) |
| §2.2 内力 截面法 应力 | (54) |
| 2.2.1 外力及其分类 | (54) |
| 2.2.2 内力 | (54) |
| 2.2.3 截面法 | (55) |
| 2.2.4 应力 | (55) |
| §2.3 应变和基本变形 | (56) |
| 2.3.1 应变 | (56) |
| 2.3.2 基本变形 | (57) |
| §2.4 轴向拉伸与压缩 | (60) |
| 2.4.1 轴向拉压杆横截面上的内力 | (60) |
| 2.4.2 轴向拉(压)杆横截面上的应力 | (61) |
| 2.4.3 轴向拉(压)杆的变形 | (63) |
| 2.4.4 材料在轴向拉(压)时的力学性能 | (65) |
| 2.4.5 轴向拉(压)杆的强度计算 | (69) |
| §2.5 剪切与挤压 | (71) |
| 2.5.1 剪切和挤压的内力分析 | (71) |
| 2.5.2 剪切和挤压的实用计算 | (72) |
| §2.6 圆轴扭转 | (74) |
| 2.6.1 圆轴扭转时外力偶矩的计算 | (74) |
| 2.6.2 扭矩和扭矩图 | (74) |
| 2.6.3 圆轴扭转时的应力和强度条件 | (76) |
| 2.6.4 圆轴扭转时的变形和刚度条件 | (80) |
| §2.7 梁的弯曲 | (81) |
| 2.7.1 弯曲变形的内力 | (81) |

| | |
|-----------------------------|------|
| 2.7.2 纯弯曲梁横截面上的正应力 | (85) |
| 2.7.3 弯曲梁的变形和位移 | (89) |
| 2.7.4 提高梁抗弯能力的措施 | (90) |
| §2.8 组合变形 | (92) |
| 2.8.1 组合变形 | (92) |
| 2.8.2 轴向拉伸(压缩)与弯曲组合变形 | (93) |
| 2.8.3 弯曲与扭转组合变形 | (94) |
| 思考与练习 | (97) |

第二部分 机械设计基础

| | |
|--|-------|
| 第3章 机械设计基础概述 | (100) |
| §3.1 机械概述 | (100) |
| 3.1.1 机器的组成 | (100) |
| 3.1.2 有关术语和概念 | (101) |
| §3.2 机械设计基础概述 | (102) |
| 3.2.1 课程研究的对象和目的 | (102) |
| 3.2.2 机械零件的一般设计准则 | (103) |
| 3.2.3 机械设计的基本要求及程序 | (105) |
| §3.3 机械零件材料的选用原则 | (106) |
| 3.3.1 机械零件使用性能对材料的要求 | (106) |
| 3.3.2 机械零件制造工艺性对材料的要求 | (107) |
| 3.3.3 机械零件制造经济性对材料的要求 | (107) |
| §3.4 现代设计方法简介 | (107) |
| 3.4.1 有限单元法(Finite Element Method) | (108) |
| 3.4.2 可靠性设计(Reliability Design) | (109) |
| 3.4.3 优化设计(Optimization Design) | (110) |
| 3.4.4 并行设计(Parallel Design) | (111) |
| 3.4.5 计算机辅助设计(Computer Aided Design) | (111) |
| 3.4.6 PRO/E简介(Pro/Engineer) | (113) |
| 思考与练习 | (114) |
| 第4章 常用的连接 | (115) |
| §4.1 螺纹连接 | (115) |
| 4.1.1 螺纹的形成及基本参数 | (115) |
| 4.1.2 螺纹的分类与应用 | (117) |
| 4.1.3 常用的标准螺纹连接件 | (118) |

| | | |
|------------|--------------------------------|--------------|
| 4.1.4 | 螺纹连接的基本类型 | (120) |
| 4.1.5 | 螺纹连接的预紧和防松 | (122) |
| 4.1.6 | 螺纹连接的结构设计 | (125) |
| 4.1.7 | 螺纹连接的强度计算 | (127) |
| §4.2 | 键与花键连接 | (132) |
| 4.2.1 | 键连接的功用和分类 | (132) |
| 4.2.2 | 平键连接的选择和计算 | (135) |
| §4.3 | 花键连接 | (137) |
| §4.4 | 销连接 | (137) |
| §4.5 | 其他常用连接 | (138) |
| | 思考与练习 | (139) |
| 第5章 | 平面机构的结构分析 | (141) |
| §5.1 | 机构的组成 | (141) |
| 5.1.1 | 构件的自由度 | (141) |
| 5.1.2 | 运动副和约束 | (141) |
| §5.2 | 机构运动简图 | (143) |
| 5.2.1 | 机构运动简图的概念 | (143) |
| 5.2.2 | 机构运动简图的绘制 | (144) |
| §5.3 | 机构具有确定运动的条件 | (146) |
| 5.3.1 | 机构的自由度 | (146) |
| 5.3.2 | 机构具有确定相对运动的条件 | (146) |
| 5.3.3 | 平面机构自由度的计算 | (146) |
| §5.4 | 平面机构的运动分析 | (151) |
| 5.4.1 | 平面机构运动分析 | (151) |
| 5.4.2 | 速度瞬心及其位置的确定 | (151) |
| 5.4.3 | 利用速度瞬心法进行机构的速度分析 | (152) |
| | 思考与练习 | (153) |
| 第6章 | 平面连杆机构 | (155) |
| §6.1 | 平面四杆机构的基本形式及其应用 | (155) |
| 6.1.1 | 四杆机构的基本形式 | (155) |
| 6.1.2 | 铰链四杆机构曲柄存在条件 | (158) |
| §6.2 | 平面四杆机构的演化机构 | (160) |
| 6.2.1 | 改变相对杆长、转动副演化为移动副——曲柄滑块机构 | (160) |
| 6.2.2 | 变换单移动副机构的机架 | (161) |

| | |
|---------------------------|--------------|
| 6.2.3 变化双移动副机构的机架 | (163) |
| § 6.3 平面四杆机构的运动特性 | (164) |
| 6.3.1 急回特性 | (164) |
| 6.3.2 平面机构的传力特性 | (165) |
| § 6.4 平面四杆机构的设计 | (167) |
| 思考与练习 | (170) |
| 第7章 挠性传动机构 | (172) |
| § 7.1 带传动机构 | (172) |
| 7.1.1 带传动的类型、特点及应用 | (172) |
| 7.1.2 V带传动 | (174) |
| 7.1.3 带传动的几何参数 | (178) |
| 7.1.4 带传动的工作情况分析 | (178) |
| 7.1.5 普通V带传动的设计 | (182) |
| § 7.2 链传动机构 | (190) |
| 7.2.1 链传动机构概述 | (190) |
| 7.2.2 链传动零件 | (191) |
| 7.2.3 链传动的运动特性 | (193) |
| 7.2.4 链传动的受力情况分析 | (194) |
| 7.2.5 滚子链传动的设计计算 | (195) |
| 7.2.6 链传动的布置、张紧和润滑 | (200) |
| 思考与练习 | (202) |
| 第8章 凸轮机构 | (204) |
| § 8.1 凸轮机构的应用及分类 | (204) |
| 8.1.1 凸轮机构的应用 | (204) |
| 8.1.2 凸轮机构的分类 | (205) |
| § 8.2 常用从动件的运动规律 | (206) |
| 8.2.1 凸轮与从动件的运动关系 | (206) |
| 8.2.2 凸轮与从动件常用的运动规律 | (208) |
| § 8.3 盘形凸轮轮廓曲线的设计 | (210) |
| 8.3.1 凸轮廓线设计方法的基本原理 | (211) |
| 8.3.2 作图法设计凸轮轮廓曲线 | (211) |
| 8.3.3 凸轮机构设计中的几个问题 | (215) |
| 8.3.4 凸轮副的主要失效形式 | (218) |
| 8.3.5 凸轮的材料及其热处理 | (220) |

| | |
|--|--------------|
| 思考与练习 | (220) |
| 第9章 齿轮传动机构 | (222) |
| § 9.1 齿轮传动机构概述 | (222) |
| § 9.2 齿廓啮合基本定律 | (223) |
| 9.2.1 齿廓啮合基本定律 | (223) |
| 9.2.2 渐开线齿廓 | (225) |
| § 9.3 渐开线标准直齿圆柱齿轮 | (227) |
| 9.3.1 渐开线标准直齿圆柱齿轮各部分名称和符号 | (227) |
| 9.3.2 齿轮基本参数 | (227) |
| 9.3.3 渐开线标准直齿圆柱齿轮几何尺寸计算 | (228) |
| § 9.4 渐开线标准直齿圆柱齿轮传动 | (230) |
| 9.4.1 渐开线齿轮正确啮合的条件 | (230) |
| 9.4.2 渐开线齿轮连续啮合的条件 | (231) |
| 9.4.3 渐开线齿轮啮合的标准中心距和啮合角 (无侧隙啮合条件) | (232) |
| § 9.5 渐开线直齿圆柱齿轮的切齿原理及变位齿轮 | (232) |
| 9.5.1 渐开线齿轮轮齿加工方法 | (232) |
| 9.5.2 渐开线齿轮的根切现象 | (234) |
| 9.5.3 渐开线变位齿轮简介 | (235) |
| § 9.6 渐开线直齿圆柱齿轮传动的设计 | (237) |
| 9.6.1 渐开线直齿圆柱齿轮传动常见的失效形式 | (237) |
| 9.6.2 渐开线直齿圆柱齿轮的设计准则 | (238) |
| 9.6.3 齿轮常用的材料及热处理方法 | (239) |
| 9.6.4 齿轮传动精度简介 | (241) |
| 9.6.5 直齿圆柱齿轮轮齿的受力分析和计算载荷 | (242) |
| 9.6.6 直齿圆柱齿轮传动的强度计算 | (243) |
| § 9.7 斜齿圆柱齿轮机构 | (251) |
| 9.7.1 斜齿圆柱齿轮齿廓的形成及啮合特性 | (251) |
| 9.7.2 斜齿圆柱齿轮的几何参数和尺寸计算 | (252) |
| 9.7.3 斜齿圆柱齿轮正确啮合的条件和重合度 | (254) |
| 9.7.4 斜齿圆柱齿轮的当量齿数 | (255) |
| 9.7.5 斜齿圆柱齿轮传动的强度计算简介 | (255) |
| § 9.8 直齿圆锥齿轮机构 | (257) |
| 9.8.1 直齿圆锥齿轮传动的特点和应用 | (257) |
| 9.8.2 直齿圆锥齿轮齿廓曲面的形成 | (258) |

| | | |
|---------------|------------------------|--------------|
| 9.8.3 | 直齿圆锥齿轮的参数和几何尺寸 | (258) |
| 9.8.4 | 直齿圆锥齿轮正确啮合的条件 | (259) |
| § 9.9 | 齿轮的结构设计及齿轮传动的润滑 | (260) |
| 9.9.1 | 齿轮的结构设计 | (260) |
| 9.9.2 | 齿轮传动的润滑 | (261) |
| | 思考与练习 | (263) |
| 第 10 章 | 蜗杆传动机构 | (265) |
| § 10.1 | 蜗杆传动的概述 | (265) |
| 10.1.1 | 蜗杆、涡轮的形成 | (265) |
| 10.1.2 | 蜗杆传动的类型 | (266) |
| 10.1.3 | 蜗杆涡轮传动的特点 | (266) |
| § 10.2 | 蜗杆传动的基本参数和几何尺寸计算 | (267) |
| 10.2.1 | 圆柱蜗杆传动的主要参数 | (267) |
| 10.2.2 | 蜗杆传动的几何尺寸计算 | (271) |
| § 10.3 | 普通蜗杆传动失效形式及常用材料 | (271) |
| 10.3.1 | 普通蜗杆传动的失效形式及设计准则 | (271) |
| 10.3.2 | 蜗杆、涡轮的材料和结构 | (272) |
| | 思考与练习 | (274) |
| 第 11 章 | 轮系 | (275) |
| § 11.1 | 轮系的概述 | (275) |
| 11.1.1 | 轮系的分类 | (275) |
| 11.1.2 | 轮系的应用 | (276) |
| § 11.2 | 轮系传动比计算 | (279) |
| 11.2.1 | 传动比 | (279) |
| 11.2.2 | 定轴轮系传动比的计算 | (280) |
| 11.2.3 | 周转轮系传动的计算 | (281) |
| 11.2.4 | 复合轮系传动的计算 | (283) |
| | 思考与练习 | (284) |
| 第 12 章 | 轴系 | (285) |
| § 12.1 | 轴的概述 | (285) |
| 12.1.1 | 轴的类型 | (285) |
| 12.1.2 | 轴的材料和毛坯 | (287) |
| § 12.2 | 轴的结构设计 | (288) |

| | | |
|---------------|-------------------|--------------|
| 12.2.1 | 轴的结构 | (288) |
| 12.2.2 | 轴上零件的轴向定位 | (289) |
| 12.2.3 | 轴上零件的周向定位 | (290) |
| 12.2.4 | 轴的结构工艺性 | (290) |
| 12.2.5 | 轴结构设计的步骤 | (292) |
| § 12.3 | 轴的设计计算 | (293) |
| § 12.4 | 滑动轴承 | (295) |
| 12.4.1 | 滑动轴承的类型及特点 | (296) |
| 12.4.2 | 滑动轴承的结构型式 | (297) |
| 12.4.3 | 轴瓦的结构和材料 | (299) |
| 12.4.4 | 轴承材料 | (300) |
| 12.4.5 | 滑动轴承的润滑 | (301) |
| 12.4.6 | 非液体滑动轴承的设计计算 | (303) |
| § 12.5 | 滚动轴承 | (304) |
| 12.5.1 | 滚动轴承的概述 | (304) |
| 12.5.2 | 滚动轴承的结构、类型和代号 | (304) |
| 12.5.3 | 滚动轴承的失效形式及寿命计算 | (313) |
| 12.5.4 | 滚动轴承的组合设计 | (315) |
| | 思考与练习 | (318) |
| 第 13 章 | 其他常用机构 | (320) |
| § 13.1 | 棘轮机构 | (320) |
| 13.1.1 | 棘轮机构的工作原理及特点 | (320) |
| 13.1.2 | 齿式棘轮机构类型及其应用 | (321) |
| 13.1.3 | 摩擦式棘轮机构 | (323) |
| 13.1.4 | 棘轮机构的主要参数和几何尺寸 | (324) |
| § 13.2 | 槽轮机构 | (325) |
| 13.2.1 | 槽轮工作原理及特点 | (325) |
| 13.2.2 | 槽轮机构的类型及应用 | (326) |
| 13.2.3 | 槽轮机构的运动参数和设计准则 | (327) |
| § 13.3 | 凸轮式间歇机构与不完全齿轮机构简介 | (329) |
| 13.3.1 | 凸轮式间歇机构 | (329) |
| 13.3.2 | 不完全齿轮机构 | (329) |
| § 13.4 | 螺旋传动机构 | (330) |
| 13.4.1 | 螺旋机构 | (330) |
| 13.4.2 | 螺旋传动的类型、特点 | (331) |

| | | |
|----------------------------|----------------------|--------------|
| 13.4.3 | 螺旋副的受力分析、效率和自锁 | (331) |
| 13.4.4 | 滑动螺旋传动 | (333) |
| 13.4.5 | 滚动螺旋传动 | (334) |
| 13.4.6 | 静压螺旋传动 | (335) |
| § 13.5 | 联轴器、离合器和制动器 | (336) |
| 13.5.1 | 联轴器 | (336) |
| 13.5.2 | 离合器 | (340) |
| 13.5.3 | 制动器 | (341) |
| 思考与练习 | | (342) |
| 第 14 章 常用机械零件 | | (344) |
| § 14.1 | 常用机械零件的毛坯成型 | (344) |
| 14.1.1 | 轴杆类零件 | (344) |
| 14.1.2 | 盘套类零件 | (345) |
| 14.1.3 | 机架、箱座类零件 | (346) |
| § 14.2 | 弹簧 | (351) |
| 14.2.1 | 概述 | (351) |
| 14.2.2 | 圆柱螺旋弹簧 | (352) |
| 14.2.3 | 圆柱螺旋弹簧的特性曲线 | (354) |
| 14.2.4 | 弹簧常用材料 | (355) |
| 14.2.5 | 弹簧的制造 | (358) |
| 思考与练习 | | (358) |
| 参考文献 | | (360) |

第一部分 工程力学

第1章

静力学基础

§ 1.1 静力学基本概念

1.1.1 力的概念

在长期的生产和生活实践中，通过不断的观察和体验，人们发现，在推车、挑水、打铁、踢球等活动中，自身肌肉会紧张而且消耗大量体力，从而建立了力的概念。此后，通过大量的实验和分析，逐步建立了力的科学概念：力是物体间相互的机械作用。这种作用使受力物体的运动状态和形状发生改变。

在理论力学中，只研究力的效应，而不关注力的物理来源。力的效应表现为受力物体形状和运动状态的改变。将使物体机械运动状态发生改变的效应称为力的外效应，体现为物体受力后运动方式、运动速度大小和运动方向的改变；将使物体发生形变的效应称为力的内效应或变形效应，体现为物体几何形状或者大小的改变。力的内效应和外效应总是同时产生的，但在静力学中我们只研究力的外效应。力的内效应将在下一章的材料力学中研究。

1.1.2 刚体的概念

所谓刚体是指在外界任何作用下形状和大小都始终保持不变的物体，其特征是刚体内任意两点的距离始终保持不变。实际上物体在受到力的作用时一定会产生变形，只要这种变形不影响到物体的运动特性，就可以将变形的物体理想为刚体。一个物体是否可以视为刚体，不但取决于变形的大小，还与要研究的问题本身有关。

1.1.3 力的三要素

通过大量实践，人类认识到力对物体的作用效果取决于力的三要素：力的大小、

力的作用方向（包括方位和指向）和力的作用点（或作用位置）。这3个基本要素也是力的3个重要特征，它们中任意一个要素发生改变，力的作用效应必将变化。

力的作用位置通常情况下不会是一个点，而是物体上某一部分面积或者体积。例如：鱼缸中水的压力作用于整个缸壁上，桥梁的自重沿整个桥梁作用，这样的力称为分布力。有些力的分布面积或者体积非常小，例如：行驶在道路上的汽车，通过轮胎施加在路面上的力，作用于轮胎和地面的接触位置上，对路面而言轮胎与其接触的面非常小，可以视为一个点，这样的力称为集中力，这个点称为集中力的作用点。

作用于刚体上的分布力可以用能够产生相同作用效应的一个或者几个集中力来代替，也就是说，集中力的作用点是力的作用位置的抽象。

力的作用方向可以理解为静止的质点受力作用后产生的运动方向，包含方位和指向两层意思。例如：物体所受到的重力是竖直向下的，斜面上小车所受到的支持力是垂直于斜面向上的。在力学模型中，通过力的作用点，沿力作用方向所作出的有向线段，称为力的作用线。

力的大小，表示物体相互作用的强弱，可以根据受力物体所产生的运动变化决定。在静力学中是通过力的内效应的比较来确定力的大小。通过实验发现，在静力作用下，弹簧的长度变化正比于作用力的大小。根据这个原理制成了各种测力计，测定力的大小，最常见、最普通的测力计是弹簧秤。国际单位制（SI）中采用牛顿（N）作为力的计量单位。

1.1.4 力的表示方法

在力学中经常遇到两类不同的量：**有向量和无向量**。无向量又称**标量**。绝大多数有向量相加都符合平行四边形法则，这样的量又称为**矢量**。

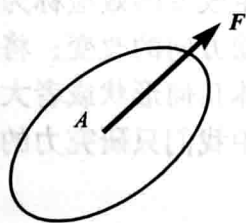


图 1.1 力的图示

力是一种**矢量**。习惯上用有向线段表示力。有向线段的长度按一定比例表示该力的大小，有向线段的起点或者终点，表示该力的作用点，有向线段的方位和箭头指向表示该力的作用方向。如图 1.1 所示。

书中**矢量**以粗斜体字母表示，同文的细斜体字母表示该矢量的模。例如用 \mathbf{F} 表示某个力，则该力的大小（模）等于 F 。有时候也用顶上带箭头的两个并列细斜体字母代表矢量。第一个字母表示矢量的始端，第二个字母表示矢量的末端，不带箭头的并列细斜体字母则表示这个矢量的模，例如 $\mathbf{F} = \overrightarrow{AB}$ 的模是 $F = AB$ 。

在工程实践中通常遇到若干物体相互作用的问题，物体受到一群力的作用。这种作用于同一物体或者物体系上的一群力称为**力系**，记为 $(\mathbf{F}_1, \mathbf{F}_2, \dots, \mathbf{F}_n)$ 。

力对物体的作用效果取决于力的基本特征，不同特征的力或力系的作用效果

不同。人类通过长期生产实践和观察发现，两个不同的力系对同一物体可能产生相同的效应，这两个力系的作用效果是等价的，彼此可以相互替代。力学中规定：若两个力系对物体的作用效应完全相同，则这两个力系为等效力系，记为 $(F_1, F_2, \dots, F_n) \equiv (G_1, G_2, \dots, G_m)$ 。等效的两个力系可以相互代替，称为力系的等效替换。在力学研究中还经常会用一个简单的力系等效替换一个复杂的力系，这就是力系的简化。当一个力的作用效应同一个力系的作用效应相同时，这一个力就称为这一个力系的合力，记为 $(F) \equiv (F_1, F_2, \dots, F_n)$ 。

在静力学中为简明起见，规定物体在受力之前相对地面或者某一惯性参考系处于静止状态，受力后，刚体能否维持平衡，完全取决于作用在刚体上的力系的配置，力学中将能够使刚体维持原有平衡状态的力系称为平衡力系，记为： $(O) \equiv (F_1, F_2, \dots, F_n)$ 。平衡力系对刚体作用的外效应为零。习惯上说平衡力系中某几个力和其余各力相平衡。研究刚体上作用力间的相互平衡条件及应用是静力学的任务之一。

§ 1.2 静力学基本公理

随着对力的基本性质认识的不断深入，经过长期实践与反复验证，人类将物体受力中一些简单且显而易见的性质进行了归纳，总结成为下列静力学公理。

公理 1 (二力平衡公理) 作用在同一刚体上的两个力，使刚体平衡的充分必要条件是此二力等值、反向、共线。

二力平衡公理是刚体平衡最基本的规律，也是力系平衡的最基本数量关系。应用二力平衡公理，可确定某些未知力的方位。如图 1.2 所示，直杆 AD 和折杆 BC 相接触，在力的作用下处于静止，若不计自重，则 BC 构件仅在 B, C 两点处受力而平衡，故此二力等值、反向、共线，必沿 BC 连线方位。仅受二力作用而平衡的构件，称为二力构件。

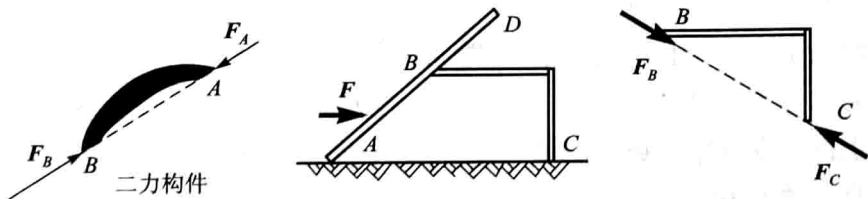


图 1.2 二力平衡及二力构件

公理 2 (加减平衡力系公理) 在已知力系上加上或减去任意平衡力系，并不改变原力系对刚体的作用效应。

加减平衡力系公理是力系替换与简化的等效原理。在物体上加减平衡力系，必然引起力对物体内部效应的改变，在涉及内力和变形的问题中，加减平衡力系公

理不适用。

推论 1 (力对刚体的可传性) 作用在刚体上某点的力, 可以沿着它的作用线移动到刚体内任意点, 并不改变该力对刚体的作用效果。

力对刚体可传如图 1.3 所示。

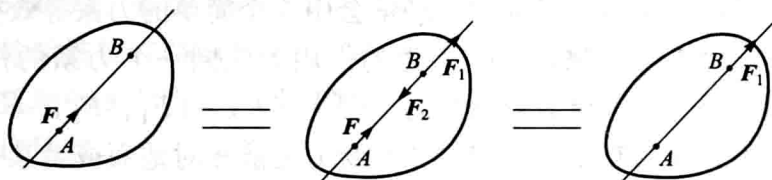


图 1.3 力对刚体可传

与加减平衡力系公理一样, 力的可传递性只限于研究力的外效应。

公理 3 (力的平行四边形公理) 作用于物体同一点的两个力的合力仍作用于该点, 其合力矢等于这两个力矢的矢量和。力的合成与分解, 服从矢量加法的平行四边形法则。

如图 1.4 (a) 所示, $F_R = F_1 + F_2$ 将 F_2 平移后, 得力三角形, 如图 1.4 (b) 所示, 这是求合力矢的力的三角形法则。改变 F_2 方向得到 $-F_2$, 由此可求两力之差: $F_R = F_1 + (-F_2) = F_1 - F_2$, 如图 1.4 (c) 所示。

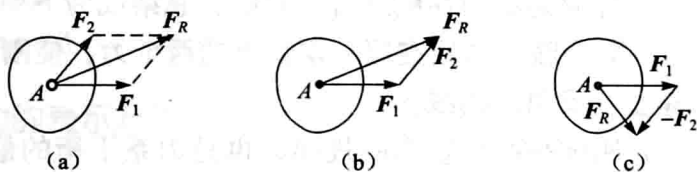


图 1.4 力的矢量相加与相减

求图 1.5 (a) 所示的 n 个共点力之和 $F_R = \sum F_i$ 时, 可通过矢量求和的多边形法则, 得力多边形。如图 1.5 (b) 所示, 将各分力矢首尾相接形成一条折线, 得到一个称为力链的开口的力多边形, 加上闭合边即得到力多边形。其中, 闭合边上的力矢 F_R (由折线的起点指向折线的终点) 称为共点力的合力矢量, O 点为合力作用点。由图 1.5 (c) 可知, 改变分力的作图顺序, 力多边形改变, 但闭合边上的力矢 F_R 不变。需要注意的是: 力多边形法则求合力, 仅适用于汇交力系, 且合力作用点仍在原力系汇交点。

推论 2 (三力平衡汇交定理) 若刚体受三力作用而平衡, 且其中两力作用线相交, 则此三力共面且汇交于同一点。如图 1.6 所示。

该定理说明 3 个不平行力平衡的必要条件是 3 个力汇交于一点, 推广到更一般的情形: 刚体受 n 个力作用而平衡时, 若其中 n 个力交于同一点, 则第 n 个力的作用线必过此点。

公理 4 (作用与反作用定律) 两物体间的作用力与反作用力, 总是等值、反