



高职高专“十一五”规划教材

机械设计基础

JIXIE SHEJI JICHU

□ 主编 王春娟 贾永臣
主审 张冬梅



中国石化大学出版社

图书在版编目(CIP)数据

机械设计基础/王春娟,贾永臣主编. —东营:中国石油大学出版社,2009.8

ISBN 978-7-5636-2904-6

I. 机… II. ①王…②贾… III. 机械设计 IV. TH122

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2009)第 156521 号

书 名: 机械设计基础
作 者: 王春娟 贾永臣

责任编辑: 宋秀勇 满云凤(电话 0546—8392139)

封面设计: 赵志勇

出 版 者: 中国石油大学出版社(山东 东营,邮编 257061)

网 址: <http://www.uppbook.com.cn>

电子信箱: yibian8392139@163.com

印 刷 者: 山东省东营市新华印刷厂

发 行 者: 中国石油大学出版社(电话 0546—8391809)

开 本: 185×260 印张:22.375 字数:573 千字

版 次: 2009 年 8 月第 1 版第 1 次印刷

定 价: 37.80 元

本书封面覆有中国石油大学出版社标志的激光防伪膜。

本书封面贴有中国石油大学出版社标志的电码防伪标签,无标签者不得销售。

前 言

PREFACE

高等职业技术教育是高等教育的重要组成部分,它的目标是培养生产、服务、技术和管理一线的高级应用型人才,这是一种以横向扩展能力为主、纵向延伸能力为辅的实用人才。随着科学技术的不断发展,新的产业不断产生,新技术、新工艺、新设备、新材料、新系统和新软件等不断涌现,要把最新的技术成果转换成为生产力,这种高级应用型人才是非常关键的。高等职业技术教育是职业教育的高等层次,是教育为经济发展服务的一个重要结合点,是把我国的人力优势转化为智力优势,把智力优势转换为生产力的重要桥梁。

机械设计基础是机械类专业的主要专业基础课。为了适应社会实用型机械设计人才的要求,许多高职高专院校都在进行针对高职人才培养模式相关课程的改革,本教材就是在机械设计基础课程改革的基础上编写的。

本教材将理论力学、材料力学、机械原理、机械零件四门课程进行了整合,对传统的经典内容加以精选,通过贯通和相互渗透,减少了原来四门课在内容上的重叠和深层次理论推导。

本书从高职教育及机械类专业的特点出发,以能力目标为主线,突出理论为应用服务,合理构建课程内容的总框架。

全书分为 24 章:第 1~4 章为静力学;第 5~11 章为材料力学;第 12~15 章为常用平面机构;第 16~20 章为常用机械传动;第 21~24 章为常用机械零部件。静力学部分主要介绍力学的基本概念和受力分析及力系平衡问题;材料力学部分主要介绍基本变形内力分析的方法、变形量的计算和基本变形构件的强度计算问题以及组合变形的强度计算;常用平面机械部分主要介绍平面连杆机构、凸轮机构、间歇运动机构的类型、结构及应用;常用机械传动部分主要介绍齿轮传动、蜗杆传动、带传动、链传动和机械传动系统的特点、应用及其设计计算;常用机械零部件部分主要介绍螺纹联接、轴、轴承、键、联轴器等的类型及其选用。



参加本书编写的有:张冬梅(绪论及第 1、2、3、4 章),王春娟、贾永臣(第 5、6、10、11 章),何翠珍(第 7、8、9 章),高利伟、李星宇(第 12、13、14、15 章),徐华(第 16、17 章),王国庆(第 18、19、20 章),韩建芬(第 21、22、23、24 章)。本书由王春娟、贾永臣担任主编并对全书统稿,张冬梅任主审,对全书进行了审校。

由于作者水平有限,加之时间仓促,误漏之处在所难免,恳请广大同行和读者不吝批评指正。

编 者

2009 年 8 月

目 录

CONTENTS

绪论	(1)
第 1 章 静力学基础	(4)
1-1 静力学中的基本概念	(4)
1-2 约束和约束力	(8)
1-3 研究对象和受力图	(12)
习题一	(15)
第 2 章 平面汇交力系和力偶	(16)
2-1 力的投影和力的分解	(16)
2-2 平面汇交力系	(18)
2-3 力矩与平面力偶	(19)
2-4 平面力偶系的合成与平衡	(22)
习题二	(24)
第 3 章 平面任意力系	(27)
3-1 力的平移定理	(27)
3-2 平面任意力系的平衡	(28)
3-3 平面固定端约束和均布载荷	(30)
3-4 考虑摩擦时候的平衡问题	(31)
习题三	(35)
第 4 章 空间力系的平衡	(37)
4-1 力在空间直角坐标轴上的投影	(37)
4-2 空间力系的平衡	(39)
4-3 物体的重心	(40)
习题四	(41)
第 5 章 材料力学基础	(43)
5-1 材料力学的基本概念	(43)
5-2 变形固体的基本假设	(43)
5-3 内力、应力和截面法	(44)
5-4 杆件的基本变形形式	(46)
习题五	(46)
第 6 章 轴向拉伸与压缩	(48)
6-1 轴向拉伸与压缩的概念	(48)
6-2 轴向拉伸与压缩时的内力	(49)
6-3 轴向拉伸与压缩时的应力	(51)



6-4 材料在拉伸与压缩时的力学性能	(53)
6-5 轴向拉伸与压缩时的强度计算	(57)
6-6 轴向拉伸与压缩时的变形	(59)
6-7 拉压静不定问题	(62)
6-8 应力集中的概念	(65)
习题六	(66)
第7章 剪切与挤压	(73)
7-1 剪切与挤压的概念	(73)
7-2 剪切与挤压的实用计算	(74)
7-3 剪切胡克定律	(77)
小结	(77)
习题七	(78)
第8章 圆轴扭转	(80)
8-1 扭转的概念、扭矩与扭矩图	(80)
8-2 圆轴扭转时的应力与强度计算	(83)
8-3 圆轴扭转时的变形与刚度计算	(86)
小结	(88)
习题八	(88)
第9章 弯曲内力	(91)
9-1 平面弯曲的概念	(91)
9-2 梁的计算简图及分类	(92)
9-3 梁的内力——剪力与弯矩	(93)
9-4 弯矩、剪力和载荷集度之间的关系	(95)
9-5 剪力图和弯矩图	(96)
9-6 梁弯曲时的正应力和强度计算	(99)
9-7 组合截面的惯性矩	(102)
9-8 提高梁抗弯强度的措施	(106)
9-9 弯曲切应力简介	(109)
9-10 梁的变形和刚度计算	(110)
9-11 简单静不定梁	(114)
小结	(115)
习题九	(116)
第10章 组合变形时杆件的强度计算	(120)
10-1 组合变形概述	(120)
10-2 拉伸(压缩)与弯曲组合时杆件的强度计算	(121)
10-3 弯曲与扭转组合变形时杆件的强度计算	(126)
习题十	(128)
第11章 压杆稳定	(130)
11-1 压杆稳定的概念	(130)
11-2 细长压杆的临界力	(132)
11-3 欧拉公式的应用范围	(135)



11-4 压杆的稳定性计算	(138)
11-5 提高压杆稳定性的一些措施	(138)
习题十一	(139)
第 12 章 平面机构及运动	(141)
12-1 平面运动副	(141)
12-2 平面机构运动简图	(143)
12-3 平面机构的自由度	(146)
习题十二	(151)
第 13 章 平面连杆机构	(154)
13-1 铰链四杆机构	(154)
13-2 铰链四杆机构的其他形式	(158)
13-3 平面四杆机构的传动特性	(163)
13-4 平面四杆机构设计	(166)
习题十三	(170)
第 14 章 凸轮机构	(172)
14-1 凸轮机构的工作过程	(172)
14-2 从动件常用的运动规律	(176)
14-3 凸轮轮廓曲线的设计	(179)
14-4 凸轮机构的结构设计	(182)
习题十四	(187)
第 15 章 间歇运动机构	(189)
15-1 棘轮机构	(189)
15-2 槽轮机构	(192)
15-3 不完全齿轮机构和凸轮式间歇运动机构	(194)
习题十五	(195)
第 16 章 齿轮传动	(197)
16-1 齿轮传动的特点、类型及齿廓啮合的基本规律	(197)
16-2 渐开线及渐开线齿廓	(199)
16-3 渐开线标准直齿圆柱齿轮各部分名称和几何尺寸计算	(201)
16-4 渐开线直齿圆柱齿轮传动分析	(204)
习题十六	(205)
第 17 章 蜗杆传动	(207)
17-1 蜗杆传动的类型和特点	(207)
17-2 蜗杆传动的主要参数和几何尺寸计算	(209)
习题十七	(212)
第 18 章 带传动	(214)
18-1 带传动的类型和特点	(214)
18-2 带传动的主要形式	(215)
18-3 带传动的受力分析	(216)
18-4 带传动的应力分析	(217)



18-5 带传动的弹性滑动和传动比	(218)
18-6 普通 V 带传动的设计	(219)
18-7 V 带轮的结构	(228)
18-8 带传动的张紧、安装和维护	(230)
习题十八	(231)
第 19 章 链传动	(233)
19-1 概述	(233)
19-2 滚子链及链轮	(234)
19-3 链传动的设计计算	(238)
19-4 链传动的布置、张紧和润滑	(243)
习题十九	(245)
第 20 章 轮系及其传动比	(246)
20-1 定轴轮系的传动比计算	(246)
20-2 行星轮系的传动比计算	(249)
20-3 混合轮系的传动比	(250)
习题二十	(252)
第 21 章 螺纹联接与螺旋传动	(254)
21-1 螺纹联接的基本知识	(254)
21-2 螺纹联接的预紧与防松	(258)
21-3 单个螺栓联接的强度计算	(260)
21-4 螺栓组联接的结构设计和受力分析	(265)
21-5 滑动螺旋传动简介	(274)
21-6 滚动螺旋传动简介	(275)
习题二十一	(276)
第 22 章 轴系零部件	(278)
22-1 轴	(278)
22-2 轴毂联接	(293)
22-3 轴承	(301)
习题二十二	(331)
第 23 章 其他常用零部件	(333)
23-1 联轴器	(333)
23-2 离合器	(337)
23-3 弹簧	(340)
习题二十三	(342)
第 24 章 刚性回转体的平衡	(343)
24-1 概述	(343)
24-2 刚性转子的平衡计算	(343)
24-3 回转件平衡实验法	(347)
习题二十四	(349)
参考文献	(350)



绪 论

随着现代工业的发展,机械产品的种类愈来愈多,常见的有工业上的内燃机、起重机,生活中的洗衣机、缝纫机,体现高科技的数控机床和机器人等。图 0-1 所示为单缸内燃机,它是由缸体、活塞、连杆、曲轴、齿轮和凸轮、弹簧、进/排气阀推杆等组成。当燃气推动活塞时,通过连杆将运动传至曲轴,使曲轴连续转动,从而将燃气的热能转换为曲轴转动的机械能。

图 0-2 所示为机器人,其基本组成要素是:微型计算机(包括大规模集成电路)、传感器、软件和机械本体。主体结构为机器与机构,相当于人的躯体和四肢,能够实现要求的动作功能。图 0-3 所示为数控机床,它是按照事先编制好的数控程序自动地对工件进行加工的高效自动化设备,是严格按照从外部输入的程序自动加工工件的。数控机床集现代制造技术、自动控制技术、检测技术、计算机信息技术于一体,一般是由数控装置、伺服系统、位置测量与反馈系统、辅助控制单元和机床本主体等组成。

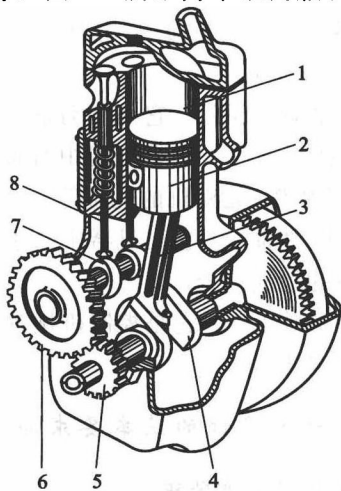


图 0-1 内燃机结构图

1—汽缸; 2—活塞; 3—连杆; 4—曲轴; 5—小齿轮;
6—大齿轮; 7—凸轮; 8—推杆

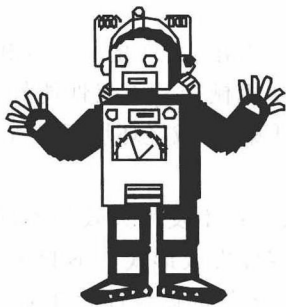


图 0-2 机器人示意图

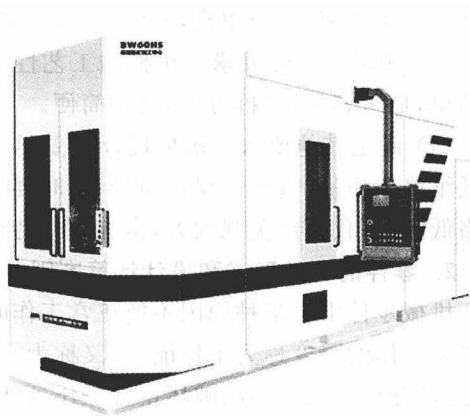


图 0-3 数控机床

一、机械的概念

机械是机器和机构的总称。机器是由各种机构组成的机械系统。机器具备三个主要特征:① 它是人为的实物组合;② 各实物间具有确定的相对运动;③ 能代替或减轻人类的劳动去完成有效的机械功或转换机械能以及实现信息传递和变换的功能。只具有机器的前两个特



征的构件组合称为机构。摩托车是机器,而自行车是机构。在机器或机构中,运动的单元体称为构件。构件通常由一个或几个零件刚性地联接在一起构成运动的单元体,如齿轮和轴用键刚性联接组成一个构件。任何机器都是由许多零件组成的。零件是指机器中不可拆的最基本的制造单元体。机械中的零件通常分为两类:一类是通用零件,它们在各种类型的机械中都可能用到,如螺栓、轴、齿轮、弹簧等;另一类是专用零件,如电动机中的转子、内燃机和蒸汽机中的曲轴和活塞等,只用于某些类型的机械中。

二、机器的构成

机器的种类繁多,其结构形式和用途各不相同。然而一部完整的机器就其组成来讲,通常有下面四个部分:

- (1) 原动机部分。它是驱动整个机器完成预定功能的动力源,如各种电动机、内燃机等。
- (2) 执行部分。它是机器中直接完成工作任务的组成部分,如起重机的吊钩、车床的刀架、磨床的砂轮、轧钢机的轧辊等。
- (3) 传动部分。它是机器中介于原动力和执行部分之间用来完成运动形式、运动和动力参数转换的组成部分。
- (4) 控制部分。它是控制机械各组成部分运动的装置,使操作者能随时实现或终止机械的各种预定功能。

三、机械设计的基本要求与设计准则

1. 设计的基本要求

- (1) 满足使用要求。机械产品的设计应能实现预定的功能,应在规定的工作条件和工作期限内能可靠地运行,达到功能要求而不发生各种损坏和失效;应操作简便、安全可靠。
- (2) 满足经济性要求。经济性是一项综合性指标,要求在设计和制造上周期短、成本低;在使用上生产率高、效率高,能源和材料消耗少,维护和管理费用低。
- (3) 满足工艺性要求。机械的工艺性是指在不影响机械工作性能的前提下,使机械的结构简单,加工容易,装拆方便,维护简便。
- (4) 满足其他要求。机械设计中要尽量采用标准化、通用化、系列化的参数和零部件,以降低维修工作量,有利于保证质量;同时要注意造型设计,使机械产品不仅性能好、尺寸适当、价格低廉,而且外形美观大方,富有时代特点;要尽可能降低噪声,减轻环境污染等。

2. 零件的失效形式和设计计算准则

机械零件由于某种原因不能正常工作时称为零件失效。在不发生失效的条件下,零件所能安全工作的限度称为工作能力,又称为承载能力。机械零件失效形式归纳起来主要包括断裂、过量变形、表面失效、破坏正常工作条件引起的失效等。零件的设计计算准则,与零件的失效形式密切相关,概括起来有以下准则:

- (1) 强度准则。因强度原因引起的破坏是大多数零件的主要失效形式,强度准则在本课程中占有非常重要的地位。强度条件的应力表达式为

$$\sigma \leq [\sigma] = \frac{\sigma_{\lim}}{S_{\sigma}}$$
$$\tau \leq [\tau] = \frac{\tau_{\lim}}{S_{\tau}}$$



式中, σ, τ 为构件的工作正应力, 工作剪应力; $[\sigma], [\tau]$ 为许用应力; $\sigma_{\text{lim}}, \tau_{\text{lim}}$ 为材料的极限应力 (对塑性材料取它的屈服极限, 对脆性材料取它的强度极限); S_σ, S_τ 为零件的安全系数。

(2) 刚度准则。零件抵抗弹性变形的能力称为刚度, 在零件设计计算时, 刚度准则很重要, 如磨床主轴, 受力很小, 但精度要求高, 主轴的直径必须由刚度准则确定。刚度计算时可控制指定点的线位移 (挠度), 也可计算角位移 θ , 条件公式为

$$\left. \begin{array}{l} y \leq [y] \\ \theta \leq [\theta] \end{array} \right\}$$

(3) 寿命准则。影响零件寿命的主要因素是腐蚀、磨损和疲劳。疲劳寿命, 通常是求出使用寿命时的疲劳极限作为计算依据, 而关于腐蚀和磨损, 目前尚无可靠的计算准则。

(4) 振动稳定性准则。机器中存在着许多周期性变化的载荷, 如齿轮的啮合、弹性轴偏心等, 可应用振动力学, 对零件和系统进行振动稳定性验算。

四、机械工程设计的一般步骤

1. 机械设计的一般步骤

机械设计按常规设计方法可分为理论设计、经验设计和模型实验设计等。机械设计过程通常分为四个阶段进行: 产品规划阶段、原理方案设计阶段、结构和技术方案设计阶段和评估与决策阶段。

2. 机械零件设计的步骤

- (1) 根据机械零件的使用要求选择零件的类型与结构。
- (2) 根据机器的工作要求分析零件的工作情况, 确定作用在零件上的载荷。
- (3) 根据零件的工作条件 (包括对零件的特殊要求, 如耐高压、耐高温、耐腐蚀等) 考虑材料的性能、供应情况、经济因素等, 合理选择零件材料。
- (4) 根据零件可能出现的失效形式, 确定其设计准则, 并通过计算确定零件的主要尺寸。
- (5) 根据零件的主要尺寸及工艺性、标准化等要求进行零件的结构设计。
- (6) 绘制零件工作图, 制订技术要求。



第1章

静力学基础

教学指南

- 理解静力学基本概念。
- 掌握静力学原理。
- 熟练掌握受力图的画法。

静力学是研究物体在力系作用下平衡规律的科学,主要解决两类问题:一是将作用在物体上的力系进行简化,即用一个简单的力系等效地替换一个复杂的力系,这类问题称为“力系的简化”;二是各种力系作用下的平衡条件,这类问题称为“力系的平衡问题”。

静力学是工程力学的基础,在工程实际中有着广泛的应用。因为在研究物体的运动和变形以及工程结构和机器能否正常工作等时,都要知道作用在物体上的各种力的性质及大小。本章主要阐述静力学中的一些基本概念、静力学公理、实际构件的力学模型、工程上常见的典型约束和约束力以及物体的受力分析。

1-1 静力学中的基本概念

一、力的概念

1. 力的定义

力是物体之间相互的机械作用。力的概念是人们在生活和生产实践中,通过长期的观察和分析逐步形成的。物体间相互的机械作用大致可分为两类:一类是物体直接接触的作用;另一类是场的作用。力的作用效果有两个:力使物体的机械运动状态发生变化,称为力的外效应或运动效应;力使物体发生变形称为力的内效应或变形效应。当人们推动小车时,由于手臂肌肉的紧张和收缩而感受到了力的作用。这种作用不仅存在于人与物体之间,而且广泛地存在于物体与物体之间,没有物体,力就不可能存在。

2. 力的三要素

力对物体作用的效应,决定于力的大小、方向和作用点,这三个因素称为力的三要素。在国际单位制中,力的单位为 N 或 kN, $1 \text{ kN} = 10^3 \text{ N}$ 。

力是一个既有大小又有方向的量,我们称之为矢量。矢量可用一条具有方向的线段来表示,线段的长度表示力的大小,线段的起点(或终点)表示力的作用点,线段的方位和箭头指向表示力的方向,沿力的方向画出的直线,称为力的作用线。本书中用黑体字母表示矢量,如 $\mathbf{F}$;用普通字母表示力的大小,如 F 。实践证明,在这三个要素中,如果改变其中任何一个,也就改



变了力对物体的作用效应。

3. 力系和等效力系

作用于一个物体上的若干个力称为力系。如果一个力与一个力系等效,则此力称为该力系的合力,而该力系中的各力称为合力的分力。把各分力等效代换成合力的过程称为力系的合成,把合力等效代换成各分力的过程称为力的分解。若两个力系对物体的作用效应完全相同,则这两个力系称为等效力系。需要强调的是,这种等效力系只是不改变对物体作用的外效应,至于内效应,显然将随力的作用位置的改变而有所不同。

二、力学模型

工程力学最基本的力学模型是质点、刚体和弹性变形体。质点是指具有质量而形状、大小可忽略不计的力学模型。在分析物体的运动规律时,如果物体的形状和大小与运动无关或对运动的影响很小,则可把物体抽象为质点。刚体是指受力时保持形状、大小不变的力学模型。在研究物体的平衡问题时,若物体的微小变形对平衡问题影响很小,则可把物体当做刚体。在分析强度、刚度和稳定性问题时,由于这些问题都与变形密切相关,因此即使是极其微小的变形也必须加以考虑,这时就必须把物体抽象为弹性变形体。

任何物体在力的作用下或多或少总要产生变形。但是,实际工程中构件的变形通常是非常微小的,在许多情况下可以忽略不计。例如一根梁,当其受力发生弯曲变形时,由于变形量微小,求支座约束力时可按跨度不变的情况来考虑。当研究物体的运动规律时,可以忽略形状尺寸的改变对运动状态的影响。显然,这只是一个理想化了的模型,实际上并不存在这样的物体。当研究物体内部各点之间相互的作用力时,即使变形很小,也必须考虑物体的变形情况,即必须把物体视为变形体。工程力学的研究对象往往比较复杂,在对其进行力学分析时,首先必须根据研究问题的性质,抓住其主要矛盾,忽略其次要因素,对其进行合理的简化,科学地抽象出力学模型。

三、平衡的概念和静力学公理

平衡是指物体相对于地球静止或匀速直线运动的状态。如果物体在力系的作用下处于平衡状态,则该力系称为平衡力系。使物体处于平衡状态的力系必须满足的条件,称为力系的平衡条件。静力学研究物体的平衡问题,实际上就是研究作用于物体上的力系的平衡条件,并利用这些条件解决具体问题。

1. 二力平衡公理和二力构件

对于作用于刚体上的两个力,使刚体处于平衡状态的必要与充分条件是:这两个力大小相等、方向相反、作用线重合。这个公理揭示了作用于物体上的最简单的力系在平衡时所必须满足的条件,它是静力学中最基本的平衡条件。对于刚体来说,这个条件既是必要的又是充分的,但对于非刚体,这个条件是不充分的。例如,软绳受两个等值反向共线的拉力作用可以平衡,而受两个等值反向共线的压力作用就不能平衡。

只受两个力作用而处于平衡状态的物体称为二力构件,它们的受力特点是:两个力的方向必在二力的作用点的连线上。如果二力构件是一根直杆,则称为二力杆。应用二力构件的概念,可以很方便地判定结构中某些构件的受力方向。如图 1-1 所示为二力构件,图 1-2 所示为二力杆。

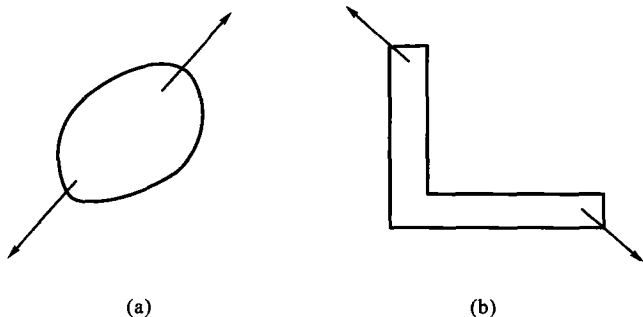


图 1-1 二力构件

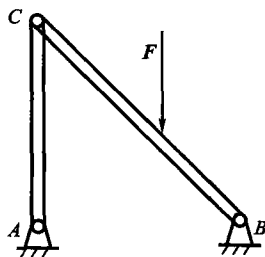


图 1-2 二力杆

2. 加减平衡力系公理和力的可传性原理

在作用于刚体上的已知力系中,加上或减去任一平衡力系,并不改变原力系对刚体的效应。这是因为平衡力系对刚体作用的总效应等于零,它不会改变刚体的平衡或运动的状态。应用这个公理可以导出力的可传性原理:作用于刚体上的力,可沿其作用线任意移动而不改变它对刚体的作用效应。例如,图 1-3 中,在车后 A 点加一水平力 F 推车,与在车前 B 点加一水平力 F 拉车,对于车的运动而言,其效果是一样的。

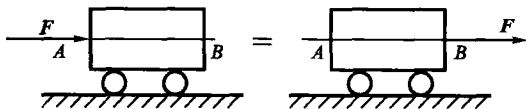


图 1-3 力的可传性

根据力的可传性原理,力在刚体上的作用点已为它的作用线所代替,所以作用于刚体上力的三要素又可以说是:力的大小、方向和作用线。应当指出,加减平衡力系公理以及力的可传性原理只适用于刚体,即只有在研究刚体的平衡或运动时才是正确的。对于需要考虑变形的物体,加减任何平衡力系或将力沿其作用线作任何移动,都将改变物体的变形或物体内部的受力情况。

3. 平行四边形法则和三力构件

(1) 平行四边形法则。作用于物体上同一点的两个力可以合成为一个合力,合力的作用点不变,合力的大小和方向由这两个力为邻边所构成的平行四边形的对角线来确定,如图 1-4 所示。其矢量表达式为

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

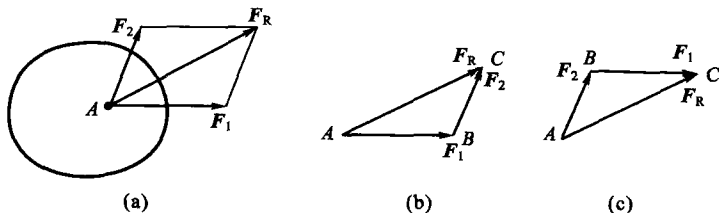


图 1-4 力的合成

从图 1-4 容易看出,在用矢量加法求合力矢量时,只要作出力的平行四边形的一半,即一个三角形就可以了。合成多个力时,常用三角形法则,如图 1-5 所示。作力三角形时,必须注意下列事项:① 各分力矢量首尾相接,但次序可变;② 合力矢量的方向从第一个分力矢量的



箭尾指向最后一个分力矢量的箭头;③ 力三角形只表明力的大小和方向,不表示力的作用点或作用线。

(2) 三力平衡汇交定理。刚体在三个互不平行的力的作用下处于平衡状态时,此三力必共面且汇交于一点。此定理说明了不平行的三力平衡的必要条件,而且当两个力的作用线相交时,可用来确定第三个力的作用线方位。

(3) 三力构件。在三个力的作用下处于平衡状态的构件称为三力构件。三力构件上三个力的作用线必然汇交与一点,如图 1-6 所示。

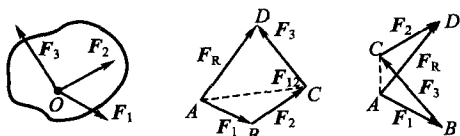


图 1-5 力的三角形合成法

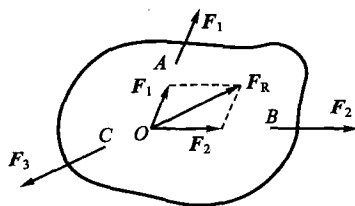


图 1-6 三力平衡汇交示例

例 1-1 如图 1-7(a)所示,在简支梁 AB 上,作用有倾斜力 F 。不计梁重及摩擦力画出 A 和 B 的约束力。

解 取 AB 为研究对象,画它的受力图。梁 AB 受主动力 F 的作用。 B 处为活动铰支座,故约束力 F_B 通过销钉中心 B 垂直于支承面指向构件 AB 。 A 处为固定铰支座,约束力的方向未定。由于梁 AB 在三个力作用下处于平衡,而力 F 与 F_B 交于 D ,所以 F_A 必沿 AD 连线的方向,指向待定。受力图如图 1-7(b)所示。

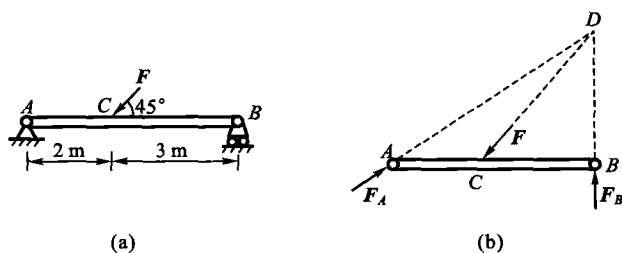


图 1-7

4. 作用与反作用公理

两物体间的作用力与反作用力,总是大小相等、方向相反、作用线重合,且分别作用在两个相互接触的物体上。这个公理概括了自然界中物体间相互机械作用的关系,表明作用力和反作用力总是成对出现的,揭示了力的存在形式和力在物体间的传递方式。需要注意的是,必须把二力平衡公理和作用与反作用公理严格地区分开来。二力平衡公理说明一个刚体在两个力作用下处于平衡状态时满足的条件;作用与反作用公理表明两个物体相互作用的力学性质,同时产生,同时消失,分别作用在相互接触的两个物体上。

如图 1-8 所示, AB 是二力杆,在力 F_A, F_B 的作用下保持平衡状态, F_A, F_B 是一对平衡力。 CD 杆上 B 点受到杆 AB 的拉力 F'_B ,且 F_B 与 F'_B 是一对作用力与反作用力。必须强调指出,一对大小相等、方向相反、沿同一直线的作用力与反作用力,分别作用在相互接触的两个物体上。二力平衡公理中的一对平衡力是作用在同一物体上的两个力,且只有当这一物体处于平衡时,



它们才等值、反向、共线。构件 CD 受到 F_C, F'_B, G 三个力的作用处于平衡状态, 所以 CD 是三力构件, 所受三个力的作用线交汇于一点。

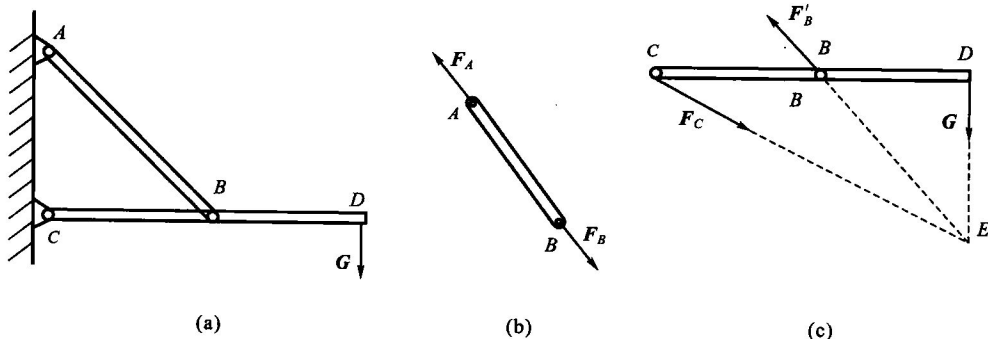


图 1-8

1-2 约束和约束力

一、约束和约束力

在各种机器及工程结构中, 各构件有机的组合在一起完成特定的功能, 各构件之间既相互联系又相互制约。这种限制物体运动的周围物体称为约束。约束既然限制了物体的某些运动, 它也必然承受物体对它的作用力, 与此同时, 约束也给予该物体以反作用力。

物体受到的力可以分为主动力和约束力, 能够促使物体产生运动或运动趋势的力称为主动力。重力和一些载荷属于主动力。主动力通常都是已知的。当物体沿某一个方向的运动受到约束限制时, 约束对物体就有一个反作用力, 这个限制物体运动或运动趋势的反作用力称为约束力。

二、工程中常见约束类型及其约束力

1. 柔体约束

工程上常用的绳索、链、带(见图 1-9)等柔性物体形成的约束可简化为柔体约束模型。这类约束的物理性质决定了它们只能承受拉力而不能抵抗压力, 也不能抵抗弯曲。因此, 柔体约束的约束力方向总是沿着柔体方向背离受力物体。通常用符号 F_T 表示。

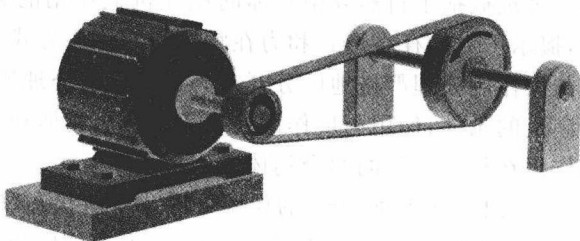


图 1-9 带传动

图 1-10(a)所示, 起重机吊起重物时, 重物通过钢绳悬吊在挂钩上, 绳 AC, BC 对重物的约



束力沿钢绳中线的方向背离物体(见图 1-10(b))。图 1-10(c)所示为带传动或链传动,约束力作用于切点,方向沿柔体中线方向背离轮子(见图 1-10(d))。

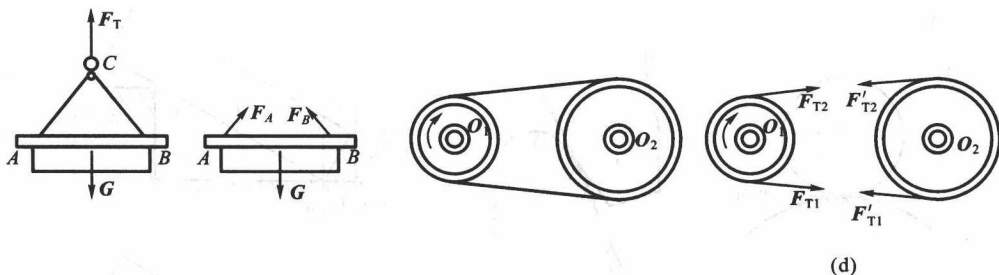


图 1-10 柔体约束图例

2. 光滑面约束

物体相互作用的接触面,并不是完全光滑的。当两物体接触面上的摩擦力很小时,可以忽略接触面间的摩擦,不计接触面间的变形,把物体的接触面看成是完全光滑的刚性接触面,称为光滑面约束(见图 1-11)。

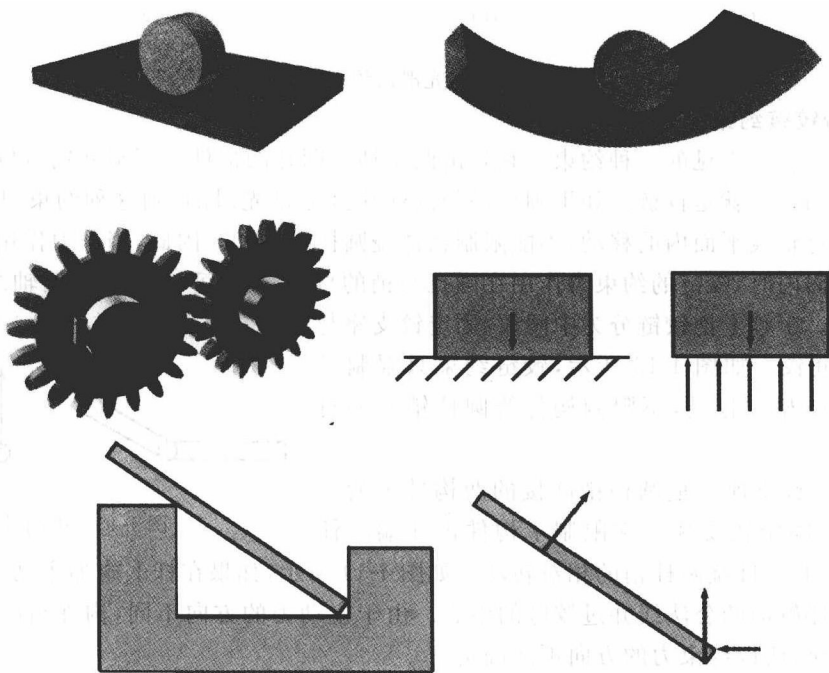


图 1-11 光滑面约束实例

当物体被光滑面约束时,不论接触面形状如何,都不能限制物体沿接触面切线方向运动,而只能限制物体沿接触面的公法线方向且指向接触面的运动。因此,光滑面的约束力沿接触面的公法线方向指向受力物体。如图 1-12(a)所示,以球体为研究对象,则下面的圆弧面为约束,则球体受到的约束力为 F_N ,方向沿接触面的公法线方向指向球体。如图 1-12(b)所示,齿轮啮合时,两轮齿之间的法向作用力垂直于接触面的公切线方向,以轮齿 A 为研究对象,其在两轮齿作用点上受的力为 F_N ,方向沿接触面的公法线方向指向轮齿 A。如图 1-12(c)所示,杆