



21 世纪高职高专机电工程类规划教材

21 SHIJI GAOZHIGAOZHUAN JIDIANGONGCHENGLEI GUIHUA JIAOCAI

工程力学 与机械设计基础

G

ongcheng Lixue
Yu Jixiesheji Jichu

■ 钟丽萍 编著



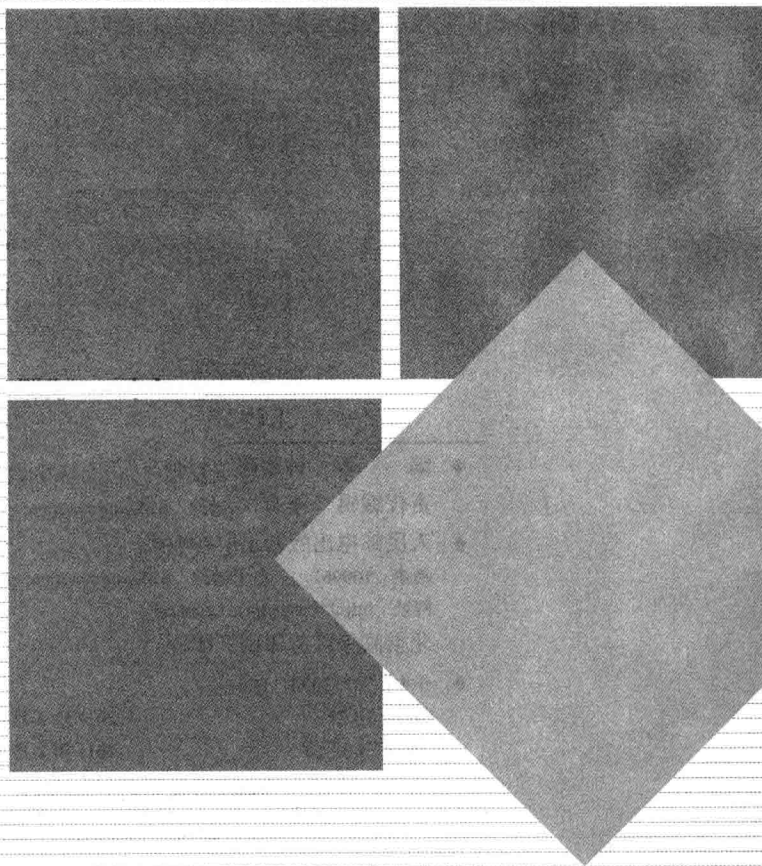
人民邮电出版社
POSTS & TELECOM PRESS



21 世纪高职高专机电工程类规划教材
21 SHIJI GAOZHIGAOZHUAN JIDIANCONGCHENGLEI GUIHUA JIAOCAI

工程力学 与机械设计基础

■ 钟丽萍 编著



人 民 邮 电 出 版 社

北 京

图书在版编目(CIP)数据

工程力学与机械设计基础 / 钟丽萍编著. — 北京 : 人民邮电出版社, 2011.2
21世纪高职高专机电工程类规划教材
ISBN 978-7-115-24479-6

I. ①工… II. ①钟… III. ①工程力学—高等学校: 技术学校—教材②机械设计—高等学校: 技术学校—教材
IV. ①TB12②TH122

中国版本图书馆CIP数据核字(2010)第257230号

内 容 提 要

本书对工程力学、机械原理与机械零件这几门课程按机械设计这条主线进行了整合, 内容突出职业教育特色, 强化了工程应用, 注重实践能力、动手能力和创新思维能力的培养。

本书共8章, 主要内容包括构件的静力分析基础、构件基本变形分析、常用机构、带传动与链传动、齿轮传动、轮系和减速器、连接和轴系零部件等, 并在相关章节引入一些实例, 符合当今高职机械基础课程的教学内容。

本书主要作为高职院校工程技术类各专业教材, 同时也可供有关工程技术人员参考。

21 世纪高职高专机电工程类规划教材

工程力学与机械设计基础

◆ 编 著 钟丽萍

责任编辑 李育民

◆ 人民邮电出版社出版发行 北京市崇文区夕照寺街14号

邮编 100061 电子函件 315@ptpress.com.cn

网址 <http://www.ptpress.com.cn>

北京昌平百善印刷厂印刷

◆ 开本: 787×1092 1/16

印张: 14.75

2011年2月第1版

字数: 369千字

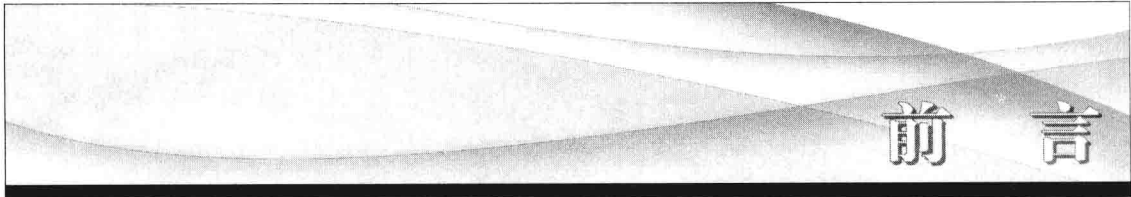
2011年2月北京第1次印刷

ISBN 978-7-115-24479-6

定价: 29.50 元

读者服务热线: (010)67170985 印装质量热线: (010)67129223

反盗版热线: (010)67171154



前言

随着科学技术的迅速发展, 知识量迅速增加, 知识更新速度不断加快。为了适应教学需要, 根据教育部高职高专教育基础课程教学的基本要求, 围绕培养应用型人才的目标, 遵循少而精, 浅而广的原则, 我们编写了本书。

本书涵盖了原机械类专业所涉及的工程力学、机械原理、机械零件等专业基础课课程的主要知识, 并按机械设计这条主线对各课程内容进行了重组。本书在内容安排上, 既注重机械行业高职学生应掌握的基本知识, 又尽量避开了繁琐的公式推导; 既注重机械传动的特点、应用及工作能力的分析, 又突出了零部件的失效形式、结构设计和强度计算, 强化了工程应用, 具有较强的实践能力和动手能力培养的可操作性。

本书不仅可作为高职院校机械类、近机类、数控专业学生教材, 而且还适用于诸多应用技术类专业、管理类专业及有关工程技术人员使用。

在本书的编写过程中得到编者所在学院领导的高度重视和大力支持, 也得到了有关工程技术人员的帮助。辽宁装备制造职业技术学院张武荣, 沈阳职业技术学院唐迎春、王坤协助搜集了大量资料, 在此一并表示感谢。

由于编者水平有限, 书中不妥之处恳请读者批评指正。

编 者
2011 年 1 月

目 录

第 1 章 构件的静力分析基础1

1.1 力及其基本性质1

1.1.1 力1

1.1.2 力系2

1.1.3 力的基本性质3

1.1.4 约束与约束力4

1.1.5 常见的约束类型4

1.1.6 受力图7

1.2 力对点之矩8

1.2.1 力矩的概念8

1.2.2 力矩的性质8

1.2.3 合力矩定理8

1.3 力偶9

1.3.1 力偶与力偶矩9

1.3.2 力偶的性质10

1.3.3 平面力偶系及其合成11

1.4 平面力系的平衡方程及其应用11

1.4.1 力在平面直角坐标轴上的 投影、合力投影定理11

1.4.2 平面力系的平衡方程13

1.5 物体系统的平衡17

1.5.1 静定与静不定问题的概念17

1.5.2 物体系统的平衡问题18

1.6 空间力系与重心简介19

1.6.1 力在空间直角坐标轴上的 投影19

1.6.2 空间力系平衡问题的平面 解法20

1.6.3 重心21

小结24

练习题24

第 2 章 构件的基本变形29

2.1 轴向拉伸与压缩29

2.1.1 拉伸、压缩的概念与实例29

2.1.2 截面法、轴力与轴力图30

2.1.3 拉（压）杆横截面上的正 应力32

2.1.4 轴向拉压杆变形和胡克定律33

2.1.5 材料在轴向拉伸与压缩时的 力学性能35

2.1.6 构件拉伸与压缩时的 强度计算38

2.1.7 压杆稳定的概念41

2.2 剪切与挤压41

2.2.1 剪切与挤压的概念与实例41

2.2.2 剪切实用计算43

2.2.3 挤压的实用计算43

2.3 圆轴扭转46

2.3.1 圆轴扭转的概念与实例46

2.3.2 扭矩与扭矩图47

2.3.3 圆轴扭转的应力与 强度计算49

2.3.4 圆轴扭转时的变形与 刚度计算53

2.4 平面弯曲梁55

2.4.1 平面弯曲的概念与实例55

2.4.2 平面弯曲的内力——剪力与 弯矩57

2.4.3 平面弯曲梁横截面上的应力及 其强度计算62

2.4.4 梁的弯曲刚度简介65

2.5 组合变形简介66

2.5.1 弯曲与拉伸（压缩）组合 变形67

2.5.2 弯曲与扭转组合变形68

小结68

练习题68

第 3 章 常用机构73

3.1 概述73

3.2 平面机构运动简图及自由度75

3.2.1 运动副及其分类75

3.2.2 平面机构运动简图76

3.2.3 平面机构的自由度77

3.3 平面连杆机构	82
3.3.1 概述	82
3.3.2 平面四杆机构的基本形式及其应用	83
3.3.3 平面四杆机构的基本特性	88
3.4 凸轮机构	91
3.4.1 凸轮机构的应用和类型	91
3.4.2 平面凸轮的基本尺寸和运动参数	93
3.5 间歇运动机构	95
3.5.1 棘轮机构	95
3.5.2 槽轮机构	98
3.5.3 不完全齿轮机构	99
3.5.4 凸轮式间歇机构	100
3.6 常用机构综合应用实例	101
小结	103
练习题	103
第4章 带传动与链传动	107
4.1 带传动的工作原理、类型及特点	107
4.1.1 带传动的工作原理	107
4.1.2 带传动的类型	108
4.1.3 带传动的特点	109
4.2 带传动的基本理论	109
4.2.1 带传动的受力分析	109
4.2.2 带的应力	110
4.2.3 弹性滑动与传动比	111
4.3 普通 V 带和 V 带轮	112
4.3.1 V 带的构造和标准	112
4.3.2 普通 V 带轮	113
4.4 普通 V 带传动的设计	115
4.4.1 带传动的失效形式和设计准则	115
4.4.2 单根 V 带的基本额定功率	115
4.4.3 V 带型号的确定	118
4.4.4 带传动主要参数确定	119
4.5 带传动的张紧、安装和维护	122
4.5.1 带传动的张紧	122
4.5.2 带传动的安装和维护	123
4.6 链传动	124
4.6.1 链传动的结构和类型	124
4.6.2 链传动的特点及应用	124
4.6.3 滚子链与链轮	124

4.6.4 链传动的运动特性	127
小结	128
练习题	128
第5章 齿轮传动	130
5.1 齿轮传动的类型、特点及其基本要求	130
5.1.1 齿轮传动的类型	130
5.1.2 齿轮传动的特点	131
5.1.3 对齿轮传动的基本要求	131
5.2 渐开线齿廓	132
5.2.1 渐开线的形成及其性质	132
5.2.2 渐开线齿廓满足定传动比要求	132
5.2.3 渐开线齿廓啮合特点	133
5.3 标准渐开线直齿圆柱齿轮各部分的名称和几何尺寸	134
5.3.1 渐开线齿轮的各部位名称及代号	134
5.3.2 标准渐开线直齿圆柱齿轮基本参数	135
5.3.3 标准直齿圆柱齿轮的几何尺寸计算	136
5.3.4 公法线长度和分度圆弦齿厚	137
5.3.5 齿轮的测绘	138
5.4 渐开线标准直齿圆柱齿轮的啮合传动	139
5.4.1 一对渐开线齿轮的正确啮合条件	139
5.4.2 连续传动条件	139
5.4.3 正确安装及标准中心距	140
5.5 渐开线齿轮的加工原理、根切现象及变位齿轮的概念	142
5.5.1 渐开线齿轮的加工方法	142
5.5.2 根切现象及避免根切现象的措施	144
5.5.3 变位齿轮简介	145
5.6 斜齿圆柱齿轮传动	147
5.6.1 斜齿圆柱齿轮齿廓曲面的形成及啮合特点	147
5.6.2 斜齿圆柱齿轮的基本参数及几何尺寸计算	148
5.6.3 斜齿圆柱齿轮的正确啮合条件	149

5.6.4	当量齿轮和当量齿数	149
5.7	圆柱齿轮强度计算	150
5.7.1	齿轮的失效形式和设计 准则	150
5.7.2	齿轮的材料及热处理	152
5.7.3	轮齿受力分析及计算载荷的 确定	152
5.7.4	齿面接触疲劳强度计算	153
5.7.5	齿根弯曲疲劳强度计算	155
5.8	直齿圆锥齿轮传动	158
5.8.1	圆锥齿轮传动的应用	158
5.8.2	直齿圆锥齿轮的基本参数及 几何尺寸计算	159
5.9	齿轮的结构设计	161
5.10	蜗杆传动	163
5.10.1	蜗杆传动概述	163
5.10.2	蜗杆传动的类型和特点	163
5.10.3	圆柱蜗杆传动的主要参数和 几何尺寸	164
5.11	齿轮机构的实用装置实例	167
小结		169
练习题		170
第 6 章	轮系与减速器	172
6.1	概述	172
6.1.1	轮系的类型	172
6.1.2	轮系的功用	174
6.2	定轴轮系传动比的计算	174
6.2.1	转向关系的确定	174
6.2.2	传动比的计算	175
6.3	行星轮系传动比的计算	177
6.3.1	行星轮系的组成	177
6.3.2	行星轮系传动比的计算	177
6.4	混合轮系传动比的计算	180
6.4.1	混合轮系传动比的计算	180
6.4.2	划分基本轮系的方法	180
6.5	减速器简介	181
6.5.1	齿轮减速器的基本构造	182
6.5.2	齿轮减速器箱体	182
6.5.3	齿轮减速器附件	183
6.5.4	减速器的润滑	183
小结		184
练习题		184

第 7 章	连接	187
7.1	键连接与销连接	187
7.1.1	键连接	187
7.1.2	花键连接	192
7.1.3	销连接	194
7.2	螺纹连接	195
7.2.1	螺纹的形成、类型及主要 参数	195
7.2.2	螺纹连接的主要类型	197
7.2.3	螺纹连接的预紧和防松	198
小结		200
练习题		200
第 8 章	轴系零部件	201
8.1	概述	201
8.1.1	轴的分类	201
8.1.2	轴的材料及其设计要求	203
8.2	轴的结构设计	204
8.2.1	轴结构设计的基本要求	204
8.2.2	轴上零件的固定	204
8.2.3	拟定轴上零件的布置和装配 方案确定轴的结构	206
8.2.4	轴的结构应具有良好的 制造和装配工艺性	207
8.2.5	轴的直径和长度	208
8.3	提高轴强度和刚度措施	208
8.3.1	改善轴的受力状况	208
8.3.2	改善轴的结构减小应力 集中	209
8.4	滚动轴承	210
8.4.1	滚动轴承的特点	210
8.4.2	滚动轴承的构造、类型和 代号	210
8.4.3	滚动轴承的组合设计	215
8.4.4	滚动轴承的润滑与密封	218
8.5	滑动轴承	220
8.5.1	滑动轴承的分类和结构	220
8.5.2	轴瓦和轴承衬	222
8.5.3	轴瓦和轴衬的常用材料	223
8.6	联轴器与离合器	223
8.6.1	联轴器	223
8.6.2	离合器	225
小结		228
练习题		228
参考文献		230

第1章

构件的静力分析基础

【知识目标】

1. 掌握力、力系、力矩和力偶的概念及性质。
2. 掌握物体及物系受力图的画法。
3. 掌握平面力系平衡方程的含义及应用。
4. 掌握空间力系平衡问题的平面解法。
5. 掌握重心的概念及重心确定方法。

【能力目标】

1. 能按照要求取分离体，绘制分离体受力图。
2. 能运用平面力系的平衡方程求解未知力。
3. 能运用平面解法解决空间力系的平衡问题。

1.1

力及其基本性质

1.1.1 力

力是物体间相互的机械作用。这种作用有两种效应，一是改变物体的运动状态，二是改变物体的几何形状和尺寸。前者称为力的外效应，后者称为力的内效应。力对物体的作用效果取决于力的大小、方向、作用点这三个要素。

力是矢量。凡是矢量，在图上均可用带箭头的有向线段表示，如图 1-1 所示，线段的长短表示力的大小，箭头指向表示力的方向，箭头的起点或终点为力的作用点。用符号表示力矢量

时,应用黑体的大写字母如 F 、 W 、 G 等表示,矢量的模即为力的大小,用一般大写字母 F 、 W 、 G 等表示。

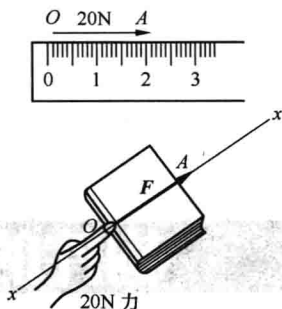


图 1-1 力的表示法

在国际单位制中,力的常用单位是牛(N)或千牛(kN)。

1.1.2 力 系

同时作用在物体上的一组力称为力系。对物体作用效果相同的力系称为等效力系。在作用效果相同的前提下,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。

力系有各种不同的类型。按力系中各力是否作用在同一平面内,可将力系分为平面力系和空间力系。平面力系是基础,本章重点讨论平面力系。平面力系按力作用线位置关系又可分为平面汇交力系、平面平行力系和平面任意力系。在平面力系中,各力的作用线交于一点的称为平面汇交力系,如图 1-2 (a) 所示,各力的作用线相互平行的称为平面平行力系,如图 1-2 (b) 所示,各力的作用线在平面内任意分布的称为平面任意力系,如图 1-2 (c) 所示。

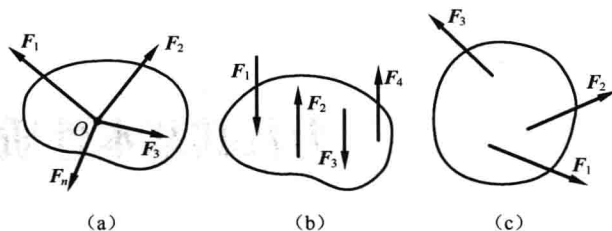


图 1-2 平面力系

工程中常涉及到物体的平衡问题。所谓平衡是指物体相对于地球保持静止或做匀速直线运动。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,都处于平衡状态。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,此条件称为力系的平衡条件,而这个力系就称为平衡力系。

为使问题简化,静力分析中通常将物体视为刚体,即在力的作用下不变形,或可以忽略其变形的物体。

1.1.3 力的基本性质

性质 1 (二力平衡公理) 作用于同一刚体上的两个力, 使刚体保持平衡的充分必要条件是: 这两个力大小相等, 方向相反, 且作用在同一直线上, 如图 1-3 所示。

此性质只适用于刚体。

在工程中, 常把只受两力作用而平衡的构件称为二力构件, 或称二力杆。根据性质 1 二力构件所受的两个力必沿两力作用点的连线, 且等值、反向, 如图 1-4 所示。

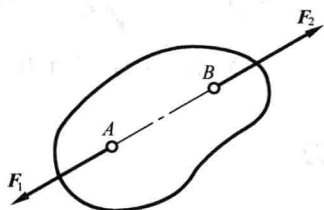


图 1-3 二力平衡公理

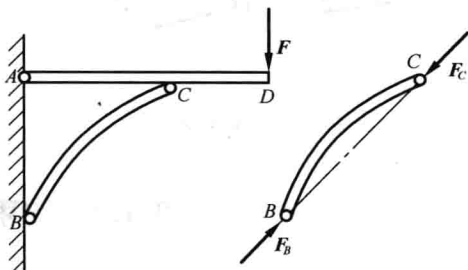


图 1-4 二力杆

性质 2 (加减平衡力系公理) 在刚体上增加或减去一组平衡力系不改变原力系对刚体的作用效应。

根据此性质可导出力的可传性原理, 如图 1-5 所示。即刚体上的力可沿其作用线滑移到任意位置, 不改变该力对刚体的作用效应。由此可见, 力对刚体的作用效应与力的作用点在作用线上的位置无关, 所以对于刚体, 力的三要素为: 力的大小、方向和作用线。

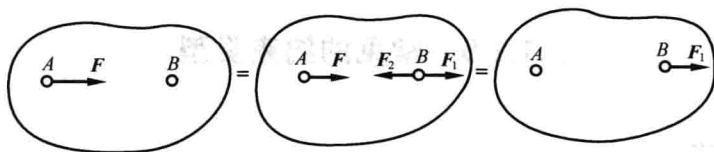


图 1-5 力的可传性原理

性质 2 和力的可传性原理均只适用于刚体。

性质 3 (平行四边形公理) 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确定。如图 1-6 (a) 所示。

在求合力时, 也可不必作出力的平行四边形, 只须画出力三角形即可, 如图 1-6 (b) 所示。力三角形的作法是: 作矢量 AB 代表力 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。

由两个力合成的力三角形法则可推广到多个力合成的力多边形法则, 如图 1-6 (c) 所示。

性质 4 (作用与反作用公理) 两物体间的作用力与反作用力总是同时存在, 且两力大小相等, 方向相反, 沿同一直线分别作用在这两个物体上, 如图 1-7 所示。

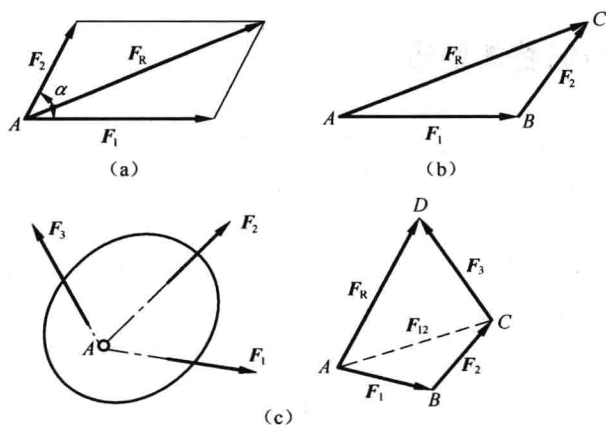


图 1-6 力的合成

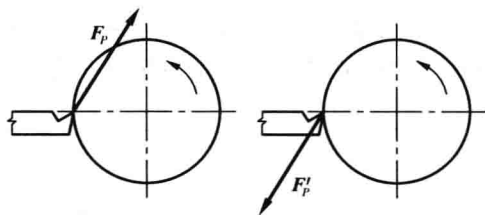


图 1-7 作用力与反作用力

1.1.4 约束与约束力

我们把空间位移不受限制的物体称为自由体，如飞机、炮弹等。而把空间位移受到一定限制的物体称为非自由体，如路面上行驶的汽车，机器中转动的轴等。把对非自由体的某些位移起限制作用的物体称为约束。例如，地面对汽车、轴承对轴都是约束。约束对物体位移的限制是通过力的作用实现的，这种力称为约束力或约束反力。

作用在物体上的力可分为两种，一是主动力，它是使物体产生运动或运动趋势的力，如：物体的重力，刀具作用在工件上的切削力等；二是约束力。一般情况下，物体所受的主动力往往是给定或测定的，而约束力要由平衡条件求得。

1.1.5 常见的约束类型

1. 柔性约束

由绳索、皮带、链条等非刚性物体所构成的约束称为柔性约束。此类约束只能受拉，不能受压，约束力必沿着柔性体的中心线背离物体，如图 1-8 所示。

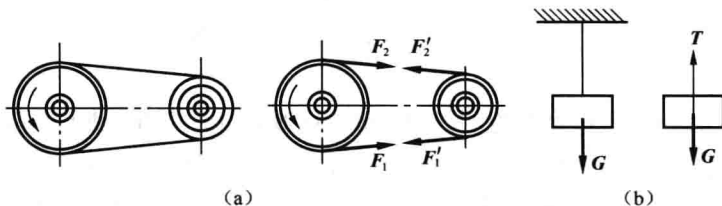


图 1-8 柔性约束

2. 光滑面约束

当物体接触面间的摩擦可忽略不计时，光滑平面或曲面对物体所构成的约束称为光滑面

约束。这类约束只能限制物体沿着接触表面公法线方向压入支承面, 该力必通过接触点沿着接触表面的公法线方向, 指向被约束的物体, 图 1-9 (a) 所示为光滑平面约束, 图 1-9 (b) 所示为光滑曲面约束。

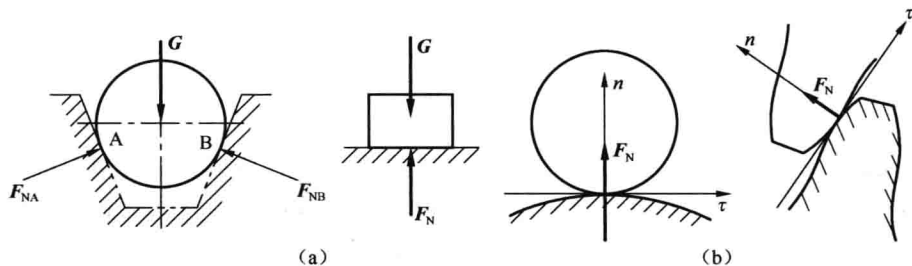


图 1-9 光滑面约束

3. 光滑圆柱铰链约束

两个带有圆孔的物体, 用光滑圆柱销相连接而形成的约束称为圆柱铰链约束, 如图 1-10 (a) 所示。这种约束使物体只能绕销轴做相对转动, 被约束物体间的相对移动受到限制。铰链约束从约束特性上看属于光滑面约束, 但这种光滑面约束接触点的位置往往难于确定, 故约束力的方向也不易确定。因此, 通常用通过铰链中心的两个正交分力 F_x 、 F_y 来表示, 其分力的方向可以假设, 如图 1-10 (b) 所示。

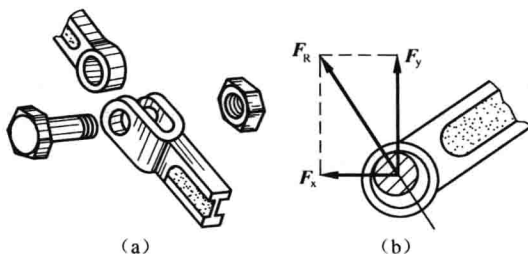


图 1-10 圆柱铰链约束

光滑圆柱铰链约束有以下几种形式。

(1) 固定铰链支座。当铰链连接的构件中有一构件为固定构件 (支座) 时构成的约束称为固定铰链支座, 如图 1-11 (a) 所示, 图 1-11 (b) 所示为固定铰链支座的力学模型。

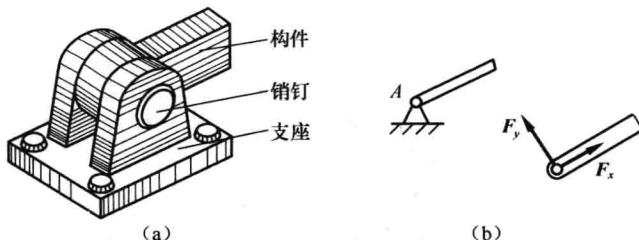


图 1-11 固定铰链支座

(2) 中间铰链。当铰链连接的两构件均为活动构件时构成的约束称为中间铰链, 如图 1-12 (a) 所示, 图 1-12 (b) 所示为中间铰链的力学模型。

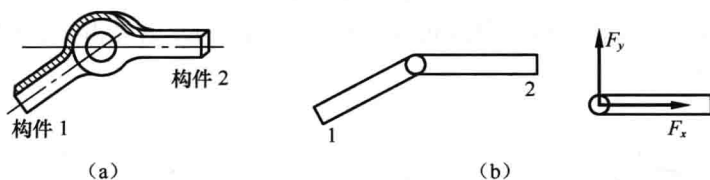


图 1-12 中间铰链

(3) 活动铰链支座。它是在铰链支座的底部安放若干辊子，辊子又与光滑面接触，并可沿光滑面移动，如图 1-13 (a) 所示，图 1-13 (b) 所示为活动铰链支座的力学模型。这种约束只能限制物体沿垂直于支承面方向的运动，故约束力通过铰链中心，垂直于支承面，指向或背离被约束物体如图 1-13 (c) 所示。

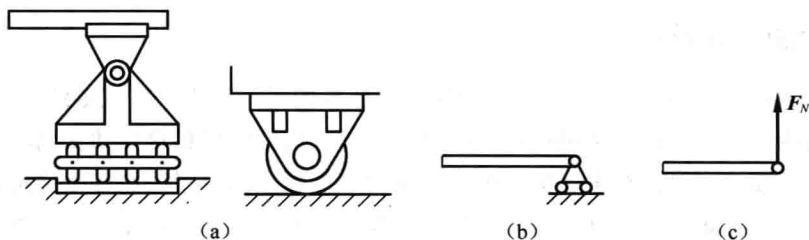


图 1-13 活动铰链支座

必须强调的是当铰链连接的构件为二力构件时，其约束力不能用正交分力表示，只能用一个力来表示，该力的作用线必沿二力构件或二力杆两受力点的连线，方向可以假设。如图 1-4 所示的支架中，若不计 BC 杆的重力，则 BC 杆为二力杆，其固定铰链支座 C 和中间铰链 B 对杆的约束力只能分别用一个力表示，即 F_B 与 F_C 。

4. 固定端约束

物体的一端完全固定，既不能移动也不能转动，这种约束称为固定端约束。如图 1-14 (a) 所示建筑物上的阳台，图 1-14 (b) 所示夹持在刀架上的刀具，均属于这种约束。

在平面问题中，固定端的力学模型及约束力如图 1-14 (c) 所示，限制移动的约束力 F_{Ax} 、 F_{Ay} ，限制转动的约束力偶 M_A 。

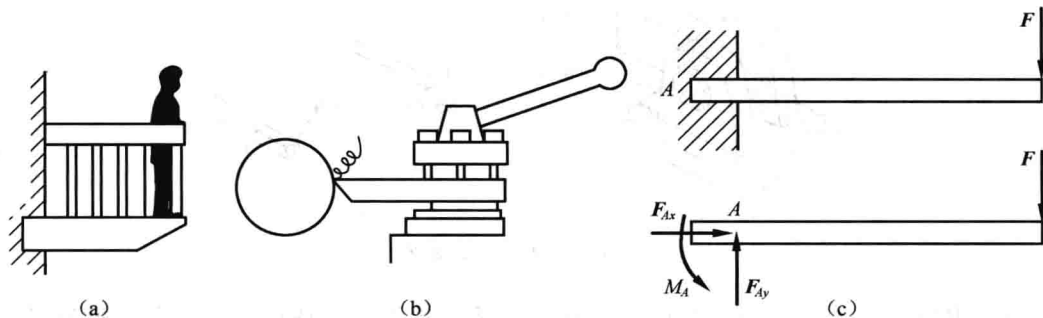


图 1-14 固定端约束

1.1.6 受 力 图

为清晰表达物体的受力情况,常将研究对象的约束解除并从周围物体中分离出来,这种分离出来的研究对象称为分离体。在分离体上画出其所受的全部主动力和约束力,即得到物体的受力图。

画受力图的基本步骤如下。

(1) 确定研究对象,画出分离体。按问题的已知条件和要求,确定研究对象(可以是一个物体,也可以是几个物体的组合或整个系统),解除与研究对象连接的约束,用简单的形状表示出研究对象,即画出分离体。

(2) 画出全部主动力。在分离体上画出如重力、切削力等主动力。

(3) 画约束力。在分离体上去掉约束的地方,根据约束类型和约束性质画出约束力。

例 1-1 如图 1-15 所示,匀质杆 AB 重力为 G , A 端为固定铰链支座, B 端与光滑的垂直墙面接触, D 处作用有与杆垂直的作用力 F , 试画出 AB 杆的受力图。

解 (1) 取杆为研究对象,将杆解除约束,画出分离体;

(2) 画出主动力,杆 AB 所受的主动力有 G 和 F ;

(3) 画出约束力, B 点为光滑接触面,约束力 F_B 垂直墙面作用在 B 点,指向杆; A 处为固定铰链,其约束力用互相垂直两个分力 F_{Ax} 、 F_{Ay} 表示。杆的受力图如图 1-15 所示。

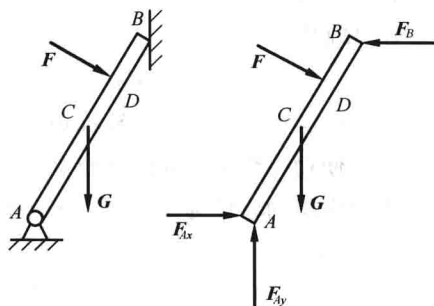


图 1-15 例 1-1 图

例 1-2 试画出如图 1-16 所示组合梁各部分及整体的受力图。

解 分别取梁 AB 、 BC 及组合梁整体为研究对象。梁 AB 是二力构件,所以 R_A 、 R_B 必沿 AB 连线方向,如图 1-16 (b) 所示。直梁 BC 受主动力 F , B 点受 R_B 的反作用力 R_B' , C 点受固定铰链约束力(用正交的两个分力 N_{Cx} 、 N_{Cy} 表示),如图 1-16 (c) 所示。组合梁 ABC 中内力 R_B 、 R_B' 因是系统中构件之间的内力所以无须表示。

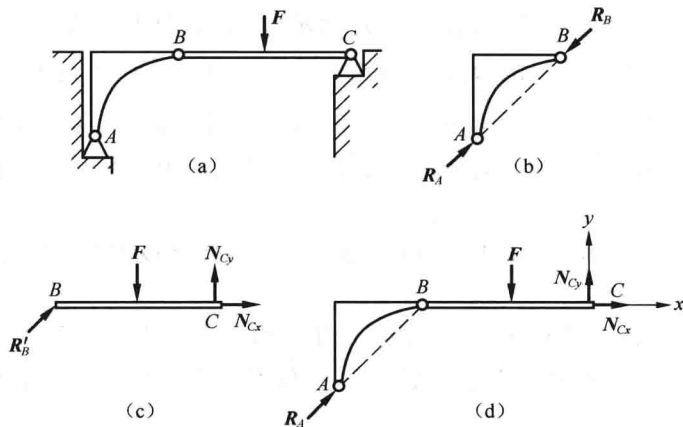


图 1-16 例 1-2 图

1.2

力对点之矩

1.2.1 力矩的概念

如图 1-17 所示,以扳手拧螺母为例,由经验可知,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。我们把 F 与 s 的乘积定义为力对转动中心 O 点的矩,简称力矩,用 $M_O(F)$ 表示。记作

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

式中, O 称为力矩的中心,简称矩心; s 为力臂,其“ $\pm$ ”号规定为:使物体绕矩心逆时针转动时力矩为正,反之为负。

力矩常用的单位为牛·米 ($\text{N} \cdot \text{m}$) 或千牛·米 ($\text{kN} \cdot \text{m}$)。

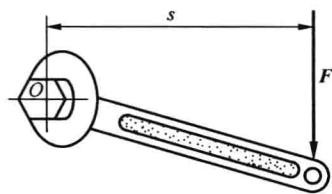


图 1-17 力对点之矩

1.2.2 力矩的性质

(1) 力矩的大小或转向不仅与力 F 的大小有关,还与矩心位置有关,力的大小为零或力的作用线通过矩心时(即力臂 $s = 0$),力对点之矩为零。

(2) 对刚体而言,力对点之矩不因该力的作用点沿其作用线滑移而改变。

1.2.3 合力矩定理

平面汇交力系的合力对平面内某一点之矩,等于各分力对该点之矩的代数和,此即为合力矩定理。若用 F_R 表示力系的合力, $F_1, F_2, \dots, F_n$ 表示力系的各分力,则合力矩定理的表达式为

$$M_O(F_R) = M_O(F_1) + M_O(F_2) + \dots + M_O(F_n) = \sum M_O(F) \quad (1-2)$$

应用合力矩定理求力矩的方法称为工程实用算法。求力矩时,如果力臂不易求出,可将力分解为两个易确定力臂的分力(通常是正交分解),然后应用合力矩定理计算力矩(见例 1-4 解法二)。

例 1-3 如图 1-18 所示,摆锤重力为 G ,重心 A 到悬挂点 O 的距离为 R 。求图示 3 个位置重力 G 对点 O 之矩。

解 图示 3 种情况下,力的大小、作用点、矩心均相同,但力臂不同,因而 3 种情况下力对 O 点之矩不同。根据力矩的定义可求出图示 3 个位置力对 O 点之矩分别为

位置 1: $M_O(G) = -GR$

位置 2: $M_O(G) = -GR \sin \theta$

位置 3: $M_O(\mathbf{G}) = 0$

例 1-4 如图 1-19 所示, 直齿圆柱齿轮齿面受法向压力 $F_n = 1\text{kN}$, 齿轮的分度圆直径 $d = 100\text{mm}$, 分度圆上的压力角 (法向压力与分度圆切线之间的夹角) $\alpha = 20^\circ$, 求法向力 F_n 对齿轮中心 O 之矩。

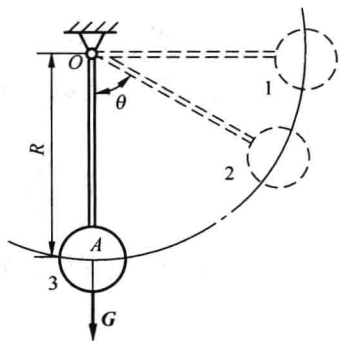


图 1-18 例 1-3 图

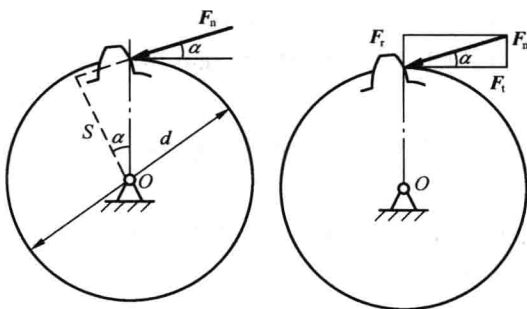


图 1-19 例 1-4 图

解 解法一: 由力矩的定义直接计算力矩

因为力臂 $s = \frac{1}{2}d \cos \alpha$

所以, F_n 对齿轮中心 O 之矩为

$$M_O(\mathbf{F}_n) = F_n s = \frac{1}{2} F_n d \cos \alpha = \frac{1}{2} \times 1\,000 \times 0.1 \times \cos 20^\circ \approx 47 \text{ N} \cdot \text{m}$$

解法二: 用合力矩定理计算力矩

将法向压力 F_n 分解为圆周力 F_t 和径向力 F_r , 即

$$F_t = F_n \cos \alpha, \quad F_r = F_n \sin \alpha$$

应用合力矩定理, 有

$$M_O(\mathbf{F}_n) = M_O(\mathbf{F}_t) + M_O(\mathbf{F}_r) = \frac{1}{2} F_n d \cos \alpha + 0 = \frac{1}{2} \times 1\,000 \times 0.1 \times \cos 20^\circ \approx 47 \text{ N} \cdot \text{m}$$

1.3

力偶

1.3.1 力偶与力偶矩

在实际生产和生活中, 我们常见到汽车司机用双手转动方向盘, 钳工用丝锥攻螺纹, 人们用两个手指旋转钥匙开门等。这时在方向盘、丝锥、钥匙上都有一对等值、反向、不共线的力的作用, 它们能使物体转动。力学上把作用在同一物体上的一对大小相等、方向相反、作用线相互平行且不共线的两个力称为力偶, 用符号 $(\mathbf{F}, \mathbf{F}')$ 或 M 来表示。在力偶

中, 两力作用线所决定的平面称为力偶的作用面, 作用线之间的垂直距离 d 称为力偶臂, 如图 1-20 所示。

由经验可知, 在力偶的作用面内, 力偶使物体产生的转动效应, 取决于力 F 的大小, 力偶臂 d 的长短及力偶的转向, 力学中用力偶中的一个力与力偶臂的乘积 Fd 冠以正负号, 作为力偶在其作用面对物体产生转动效应的度量, 称为力偶矩。即

$$M = \pm Fd \quad (1-3)$$

其正、负号规定为: 使物体逆时针转动的力偶矩为正, 反之为负。力偶矩的单位与力矩的单位相同。

综上所述, 力偶对物体的转动效应, 取决于力偶矩的大小、力偶的转向与力偶作用面的方位这三个要素。

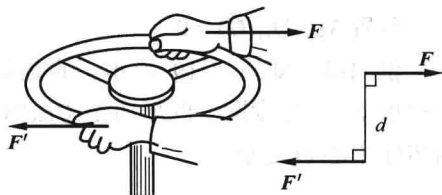


图 1-20 力偶与力偶矩

1.3.2 力偶的性质

性质 1 力偶无合力。

力偶在任意坐标轴上的投影的代数和恒为零, 如图 1-21 所示, 因此力偶中的两个力不可能有合力, 即力偶不能与一个力等效, 也不可能与一个力平衡。力偶只能与力偶等效, 也只能与力偶平衡。

性质 2 力偶对其作用面内任一点之矩恒等于力偶矩, 而与矩心位置无关。

如图 1-22 所示, 已知力偶 (F, F') 的力偶矩为 $M = Fd$, 在力偶作用面内任取一点 O 作为矩心, 设 O 到 F' 的垂直距离为 a , 则力偶 (F, F') 对 O 点之矩为

$$M_O(F) + M_O(F') = F(a+d) - F'a = Fd$$

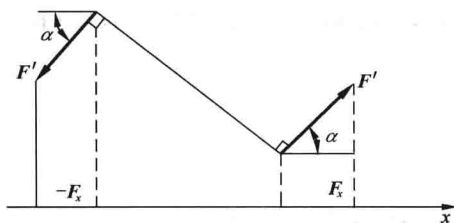


图 1-21 力偶在任意坐标轴上的投影

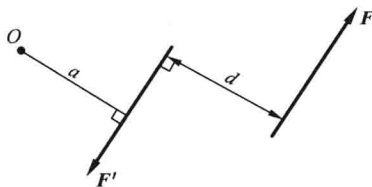


图 1-22 力偶中的力对任一点之矩

与矩心位置无关。

性质 3 作用于同一平面内的两个力偶, 若其力偶矩相等, 则两力偶彼此等效 (此即力偶的等效性)。

由性质 3 可知: 只要保持力偶的 3 个要素不变, 可以任意改变力偶中力的大小和力偶臂的长短或将力偶在其作用面内任意转移, 均不改变它对刚体的作用效应, 因此, 可以将力偶用一带箭头的弧线表示, 弧线箭头所在的平面为力偶作用面, 弧线箭头的指向表示力偶的转向, M 表示力偶矩的大小, 如图 1-23 所示。