

普通高等教育“十三五”规划教材

工程力学

张薇 魏丹 主编

刘蓟南 副主编

GONGCHENG LIXUE

配套电子课件



化学工业出版社



普通高等教育“十三五”规划教材

工程力学

张薇 魏丹 主编
刘蓟南 副主编



化学工业出版社

·北京·

本书分两篇,涵盖了理论力学和材料力学的主要内容。本书力求最大限度地坚持理论严谨、逻辑清晰、由浅入深的原则,注重基本概念、基本原理、基本方法的理解和掌握,理论及公式推导从简,内容完整、连续紧凑,书中例题典型,课后思考题以及习题紧扣书中内容,难度适中,而且书后习题附有答案,便于自学。

本书可作为普通高等院校、高等专科学校、职业院校的工科专业教材,并可供相关人员学习使用。

图书在版编目(CIP)数据

工程力学/张薇,魏丹主编. —北京:化学工业出版社,2016.11

普通高等教育“十三五”规划教材

ISBN 978-7-122-28192-0

I. ①工… II. ①张…②魏… III. ①工程力学-高等学校-教材 IV. ①TB12

中国版本图书馆CIP数据核字(2016)第235455号

责任编辑:韩庆利

文字编辑:张绪瑞

责任校对:吴静

装帧设计:关飞

出版发行:化学工业出版社(北京市东城区青年湖南街13号 邮政编码100011)

印装:北京云浩印刷有限责任公司

787mm×1092mm 1/16 印张15 字数383千字 2017年1月北京第1版第1次印刷

购书咨询:010-64518888(传真:010-64519686) 售后服务:010-64518899

网 址: <http://www.cip.com.cn>

凡购买本书,如有缺损质量问题,本社销售中心负责调换。

定 价:34.00元

版权所有 违者必究

前 言

本书依据教育部对高等院校工程力学基础课程教学的基本要求，结合普通高校学生的特点及编者多年的教学经验编写而成，适用于高等教育工科院校四年制机械、交通、动力、航空航天、水利、汽车、能源等专业使用，也可作为高等专科院校、职业技术学院以及自学、函授教材。

工程力学是一门专业基础课，涵盖了理论力学和材料力学的主要内容，它是后续的相关专业课程的基础。本书在编写思想、体系安排、内容取舍上，力求最大限度地坚持理论严谨、逻辑清晰、由浅入深的原则，注重基本概念、基本原理、基本方法的理解和掌握，理论及公式推导从简，内容完整、连续紧凑，书中例题典型，课后思考题以及习题紧扣书中内容，难度适中，而且书后习题附有答案，便于自学。为了便于教师组织教学，能够在规定的课时内达到相应专业对工程力学课程教学的基本要求和目的，本书的内容以多学时课程的基本要求为限，在章节安排上，考虑到多、中、少学时课程的使用。

本书分两篇：第1篇“理论力学”，包含静力学、运动学和动力学三大部分，第2篇“材料力学”，共计17章内容。教学学时控制在60~120学时为宜。

全书由沈阳理工大学张薇、沈阳工学院魏丹任主编，沈阳工学院刘蓟南任副主编，参加编写工作的教师还有：沈阳理工大学赵艳红、李银玉、张群芳、吕北生，沈阳工学院邢婧。

本书在编写过程中，参考了国内一些优秀的力学教材，在此向这些教材的作者表示由衷的感谢。

本书配套电子课件，可赠送给用本书作为授课教材的院校和老师，如果需要，可登录 www.cipedu.com 下载。

限于时间和水平有限，书中难免存在不少缺点和不妥之处，希望使用该教材的广大师生和读者提出批评和指正，以利于教材质量的进一步提高。

编者

目 录

第 1 篇 理论力学

第 1 章 静力学公理和物体的受力分析	2
1.1 静力学公理	2
1.2 约束和约束力	3
1.2.1 约束和约束力	3
1.2.2 常见约束类型	4
1.2.3 物体的受力分析和受力图	6
思考题	8
习题	9
第 2 章 平面力系	11
2.1 平面汇交力系	11
2.1.1 平面汇交力系合成的解析法	11
2.1.2 平面汇交力系的平衡方程	13
2.2 平面力对点之矩的概念与计算	13
2.2.1 平面力对点之矩	13
2.2.2 合力矩定理	14
2.3 平面力偶	14
2.3.1 力偶及其性质	14
2.3.2 平面力偶系的合成与平衡条件	15
2.4 平面任意力系	16
2.4.1 平面任意力系的简化	16
2.4.2 平面任意力系的平衡方程及其应用	19
2.5 物体系的平衡 静定与超静定问题	22
2.6 考虑摩擦时物体的平衡问题	26
2.6.1 滑动摩擦	26
2.6.2 摩擦角与自锁	27
2.6.3 考虑摩擦时物体的平衡问题	27
2.6.4 滚动摩擦简介	29
思考题	30

习题	31
第 3 章 空间力系	34
3.1 空间汇交力系	34
3.1.1 力在直角坐标轴上的投影	34
3.1.2 空间汇交力系的合成与平衡	35
3.2 力对点之矩和力对轴之矩	36
3.2.1 力对点之矩	36
3.2.2 力对轴之矩	37
3.2.3 力对点之矩与力对轴之矩关系	38
3.3 空间力偶	38
3.3.1 空间力偶 力偶矩矢	38
3.3.2 空间力偶系的合成与平衡	39
3.4 空间任意力系的简化	40
3.4.1 空间任意力系向一点的简化	40
3.4.2 空间任意力系的简化结果讨论	40
3.5 空间任意力系的平衡方程	42
3.5.1 空间任意力系的平衡方程	42
3.5.2 空间力系平衡问题举例	42
3.6 重心	43
3.6.1 重心的概念及其坐标公式	43
3.6.2 确定物体重心的方法	44
思考题	45
习题	46
第 4 章 运动学基础	49
4.1 点的运动	49
4.1.1 矢径法	49
4.1.2 直角坐标法	50
4.1.3 自然法	52
4.2 刚体的基本运动	54
4.2.1 刚体的平行移动	54
4.2.2 刚体绕定轴的转动	55
4.2.3 定轴转动刚体上点的速度与加速度	55
思考题	57
习题	58
第 5 章 点的合成运动	60
5.1 点的合成运动概念	60

5.2 速度与加速度合成定理	61
思考题	66
习题	66
第6章 刚体的平面运动	69
6.1 刚体平面运动的概念	69
6.1.1 平面运动简化成平面图形运动	69
6.1.2 平面运动的分解	69
6.2 平面图形上各点的速度分析	70
6.2.1 基点法	70
6.2.2 速度投影法	71
6.2.3 速度瞬心法	72
6.3 平面图形上各点的加速度分析	74
思考题	75
习题	76
第7章 质点动力学基本方程	79
7.1 质点的动力学基本方程	79
7.2 质点动力学的两类问题	79
7.2.1 已知质点的运动, 求作用于质点的力	79
7.2.2 已知作用于质点的力, 求质点的运动	80
思考题	81
习题	81
第8章 动力学普遍定理	83
8.1 动量定理	83
8.1.1 动量	83
8.1.2 动量定理	83
8.1.3 质心运动定理	84
8.2 动量矩定理	85
8.2.1 动量矩	85
8.2.2 动量矩定理	88
8.2.3 刚体绕定轴转动微分方程	89
8.2.4 刚体平面运动微分方程	90
8.3 动能定理	90
8.3.1 力的功	90
8.3.2 质点和质点系的动能	92
8.3.3 动能定理	94

8.3.4 功率及功率方程	95
思考题	96
习题	97
第9章 达朗贝尔原理	101
9.1 质点的达朗贝尔原理	101
9.2 质点系的达朗贝尔原理	102
9.2.1 质点系的达朗贝尔原理	102
9.2.2 刚体惯性力系的简化	102
思考题	104
习题	105
第2篇 材料力学	
第10章 绪论	109
10.1 材料力学的任务	109
10.2 变形固体的基本假设和基本变形	109
10.3 内力、应力和截面法	110
10.4 位移、变形与应变	112
思考题	113
习题	113
第11章 轴向拉伸、压缩与剪切	114
11.1 轴向拉伸、压缩的内力和应力	114
11.1.1 轴力和轴力图	114
11.1.2 横截面和斜截面上的应力	115
11.2 杆件轴向拉伸或压缩的变形	117
11.3 材料拉伸与压缩时的力学性能	119
11.3.1 材料拉伸时的力学性能	119
11.3.2 材料压缩时的力学性能	121
11.4 失效、安全因数和强度计算	122
11.5 拉伸、压缩的超静定问题	124
11.6 应力集中的概念	125
11.7 剪切与挤压的实用计算	125
11.7.1 剪切与挤压的概念	125
11.7.2 剪切与挤压的实用计算	126
思考题	129
习题	129

第 12 章 圆轴扭转	133
12.1 圆轴扭转的概念与实例	133
12.2 外力偶矩的计算 扭矩和扭矩图	133
12.2.1 外力偶矩的计算	133
12.2.2 扭矩和扭矩图	133
12.3 圆轴扭转时的应力与强度计算	135
12.3.1 圆轴扭转时横截面上的切应力	135
12.3.2 极惯性矩和抗扭截面系数的计算	136
12.3.3 圆轴扭转时的强度计算	136
12.4 圆轴扭转时的变形与刚度计算	138
12.4.1 圆轴扭转时的变形公式	138
12.4.2 圆轴扭转的刚度条件	139
思考题	141
习题	141
第 13 章 平面弯曲	144
13.1 平面弯曲的概念	144
13.1.1 平面弯曲的概念与实例	144
13.1.2 梁的类型	144
13.2 剪力与弯矩	145
13.2.1 剪力与弯矩的计算	145
13.2.2 剪力方程与弯矩方程 剪力图与弯矩图	146
13.2.3 载荷集度、剪力与弯矩之间的关系	149
13.3 纯弯曲时梁横截面上的正应力	151
13.3.1 纯弯曲的概念	151
13.3.2 梁横截面上的正应力计算	151
13.4 弯曲正应力强度计算	153
13.5 弯曲切应力简介	156
13.5.1 矩形截面梁横截面上的切应力	157
13.5.2 其他常见典型截面梁的最大切应力公式	157
13.5.3 梁的切应力强度条件	158
13.6 梁的弯曲变形概述	159
13.6.1 挠度与转角	160
13.6.2 用叠加法求梁的变形	160
13.6.3 梁的刚度条件	163
13.7 提高梁承载能力的措施	163
思考题	164
习题	165

第 14 章 点的应力状态和强度理论	170
14.1 应力状态概述	170
14.2 平面应力状态分析	171
14.2.1 任意截面上的应力	171
14.2.2 求正应力的极值、主平面上的应力及方位	172
14.2.3 求切应力极值	173
14.3 四种常见强度理论	173
14.3.1 三向应力状态简介	173
14.3.2 广义胡克定律	174
14.3.3 四种常见强度理论	175
思考题	178
习题	178
第 15 章 组合变形	181
15.1 拉伸(或压缩)与弯曲组合变形的强度计算	181
15.2 扭转与弯曲组合变形的强度计算	184
思考题	187
习题	188
第 16 章 动载荷和交变应力	192
16.1 动载荷的概念与实例	192
16.2 交变应力与疲劳失效	194
16.2.1 交变应力的概念	194
16.2.2 交变应力的循环特征、应力幅和平均应力	194
16.2.3 疲劳失效及原因	195
16.3 构件的疲劳极限	195
16.3.1 材料的疲劳极限	195
16.3.2 构件的疲劳极限	196
习题	198
第 17 章 压杆稳定	199
17.1 压杆稳定的概念	199
17.2 细长压杆临界力的计算	200
17.3 欧拉公式的适用范围 经验公式	201
17.3.1 压杆临界应力的欧拉公式	201
17.3.2 欧拉公式的适用范围	201

17.3.3 经验公式.....	202
17.4 压杆的稳定性校核.....	203
17.5 提高压杆稳定性的措施.....	204
思考题.....	205
习题.....	205
附录.....	208
附录 I 平面图形的几何性质.....	208
附录 II 型钢表.....	212
附录 III 习题参考答案.....	220
参考文献.....	228

第1篇 理论力学

理论力学主要是研究物体在力系作用下的平衡规律的科学。

静力学中的物体是指刚体。**刚体**是一个理想化的力学模型，是指物体在力或力系的作用下不变形的物体，就是其内部任意两点之间的距离始终保持不变。

作用于物体上的多个力构成**力系**。如果一个力系对物体的效果与另一个力系对同一物体的作用效果相同，这两个力系则互为**等效力系**。如果用一个简单力系等效地替换另一个复杂力系对物体的作用，这个过程称为**力系的简化**。把作用在物体上并使物体处于平衡状态的力系称为**平衡力系**。如果一个力与一个力系对同一物体的作用效果相同，此力称为该力系的**合力**。

在静力学中，将主要研究以下三个方面的内容：

- ① 物体的受力分析；
- ② 力系的等效简化；
- ③ 建立各种力系的平衡条件。

第1章 静力学公理和物体的受力分析

1.1 静力学公理

公理1 力的平行四边形法则

作用在物体上同一点的两个力，可以合成为一个合力。合力的作用点也在该点，合力的大小和方向（即合力矢），由这两个力为边的平行四边形的对角线确定，如图 1-1(a) 所示。

求两汇交力合力的大小和方向（即合力矢），也可作一力三角形，如图 1-1(b)、(c) 所示。

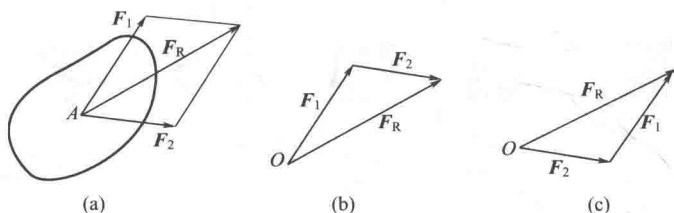


图 1-1

公理2 二力平衡条件

作用在刚体上的两个力，使刚体保持平衡的必要和充分条件是：这两个力大小相等，方向相反，且作用在同一直线上。

如图 1-2(a)、(b) 所示，BC 构件只在 B、C 两点受力，其作用力分别用 F_B 和 F_C 表示，BC 构件是二力构件，其平衡的必要和充分条件是： $F_B = -F_C$ ，作用线经过 B、C 两点的连线，与 BC 构件形状无关。

只在两个力作用下平衡的构件，称为二力构件，杆件简称二力杆。

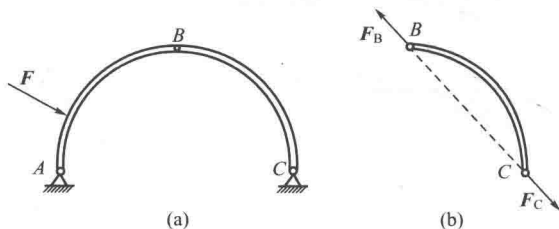


图 1-2

公理3 加减平衡力系原理

在已知力系上加上或减去任何平衡力系，不改变原力系对刚体的作用等效。

根据上述公理可以导出下列推理：

推理1 力的可传性原理

作用于刚体上某点的力，可以沿其作用线移至刚体内的任何位置，而不改变该力对刚体

的作用效应。

证明：已知在刚体上的 A 点作用力 F ，如图 1-3(a) 所示。根据加减平衡力系原理，在力的作用线上任取一点 B，在该点加上由 F_1 和 F_2 两个力所构成的平衡力系，这里 $F = -F_1 = F_2$ ，如图 1-3(b) 所示；然后，再减去由 F 和 F_1 两个力所构成的平衡力系，如图 1-3(c) 所示，这样就只剩下了力 F_2 ，即原来的力 F 沿其作用线从 A 点移到了 B 点。

因此，力对刚体的作用效应取决于力的大小、方向和作用线，称之为力对刚体的作用三要素。

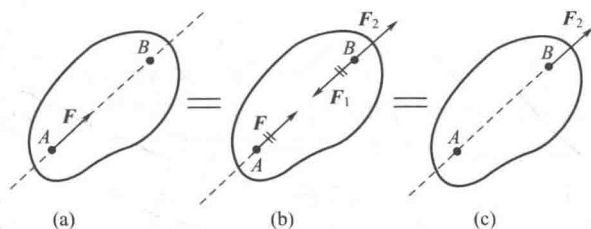


图 1-3

推理 2 三力平衡汇交定理

刚体只受三个力作用而平衡，若其中两个力的作用线相交于一点，则第三个力的作用线必在同一平面内，且通过汇交点。

证明：如图 1-4 所示，刚体在 F_1 、 F_2 和 F_3 三个力作用下平衡。力 F_1 作用点在 A 点，力 F_2 作用点在 B 点，两力的作用线相交于 O 点，依据力的可传性原理和力的平行四边形法则，力 F_1 和 F_2 合成为力 F_{12} ，再根据二力平衡条件，力 $F_3 = -F_{12}$ ，力 F_3 必定与力 F_1 和 F_2 共面，且经过两力交点 O 点。

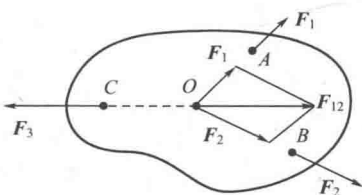


图 1-4

公理 4 作用与反作用定律

作用力与反作用力总是同时存在，两个力大小相等、方向相反，沿同一直线，分别作用在两个不同的物体上。

公理 5 刚化原理

变形体在某一力系的作用下处于平衡状态，可将此变形体刚化为刚体，其平衡状态保持不变，如图 1-5 所示。

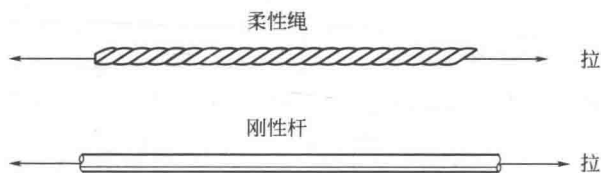


图 1-5

1.2 约束和约束力

1.2.1 约束和约束力

在机械工程结构中，每一构件根据工作要求都以一定方式与周围其他构件相联系，它的

运动因此受到一定的限制。例如：机车受到轨道的限制，只能在轨道上运行；电机转子受到轴承的限制，只能绕其轴线转动；重物由钢索吊住，不能下落等。

把限制物体运动的周围物体，称为该物体的**约束**。上面所说的轨道、轴承、钢索就分别是机车、电机转子、重物的约束。从力学角度看，约束对被约束物体的作用，实际就是力，这种力称为**约束力**。

1.2.2 常见约束类型

(1) 柔性体约束

工程中，钢丝绳、皮带、链条等这些柔性体对物体的约束统称为**柔性体约束**。其约束特点是：限制物体沿柔性体伸长方向的运动，约束力只能是拉力，力的作用点在接触点，力的作用线沿着柔性体，且背离被约束的物体，用符号 F_T 表示。

如图 1-6(a) 所示，起吊一个减速器的箱盖，链条 AB、AC、AD 对于铁环 A 的约束力分别为 F_{TB} 、 F_{TC} 、 F_{TD} ，作用点在接触点 A 点，方向沿着链条背离铁环 A；链条 AB、AC 对于箱盖的约束力分别为 F'_{TB} 、 F'_{TC} ，作用点在接触点 B 点和 C 点，方向沿着链条背离箱盖。如图 1-6(b) 所示，皮带对于皮带轮的约束力分别为 F_{T1} 、 F_{T2} 、 F'_{T1} 、 F'_{T2} ，方向沿着轮缘的切线方向，背离相对应的皮带轮。

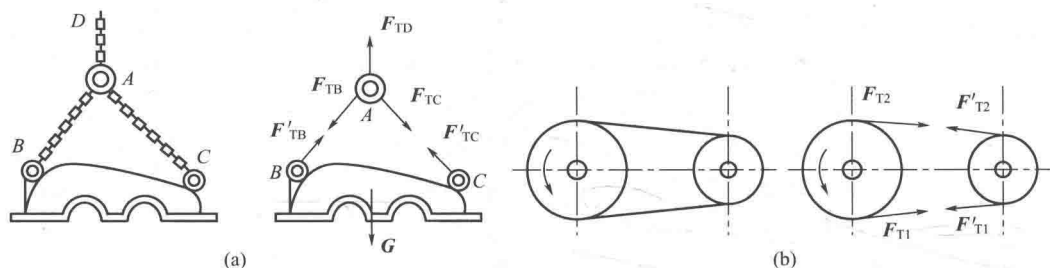


图 1-6

(2) 光滑接触面约束

当两物体接触面的摩擦力很小，可忽略不计时，即构成**光滑接触面约束**。此约束只能限制被约束物体沿着接触面的公法线方向的运动，不能限制沿接触面切线方向的运动。因此，该约束力的作用点在接触点上，方向沿着接触面的公法线方向并指向被约束物体，用符号 F_N 表示，如图 1-7(a)、(b) 所示。

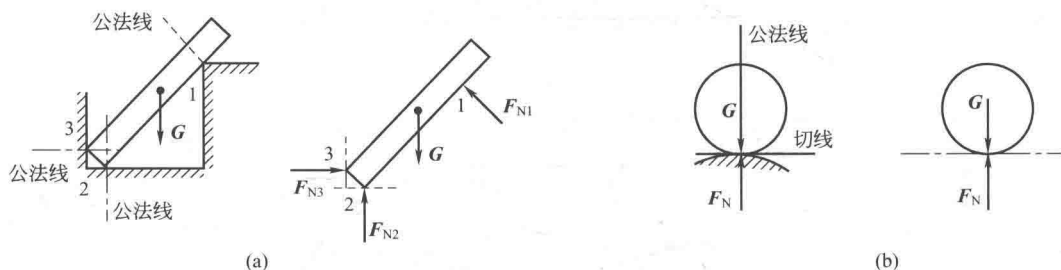


图 1-7

(3) 光滑圆柱铰链约束

工程中，常用圆柱销钉把两个带有圆孔的构件连接起来，如果接触面摩擦不计，这种约

束形式称为光滑圆柱铰链约束。销钉只限制构件沿径向方向的移动，而不限制绕其销钉轴线的相对转动。工程中这类约束有以下几种形式。

① 中间铰链约束 如图 1-8(a) 所示，圆柱销钉将两构件连接在一起，两构件可以绕销钉的轴线转动，即构成中间铰链，常采用图 1-8(b)、(c) 所示的简图表示。每个构件与销钉的约束都属于光滑接触面约束，但由于接触点不确定，所以中间铰链约束力的特点是：在垂直于销钉轴线的平面内，作用线通过铰链中心，方向不定，通常用图 1-8(d) 所示的两个正交分力 F_x 和 F_y 表示。

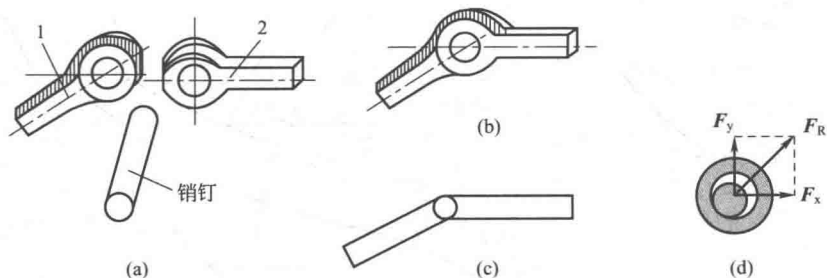


图 1-8

② 固定铰链支座约束 若构成光滑圆柱铰链约束中的一个构件是固定的，即构成固定铰链支座约束，如图 1-9(a) 所示，其简图如图 1-9(b) 所示。其约束力的特点与中间铰链相同，作用线通过铰链中心，方向不定，用相互垂直的两个分力 F_x 、 F_y 表示，如图 1-9(c) 所示。

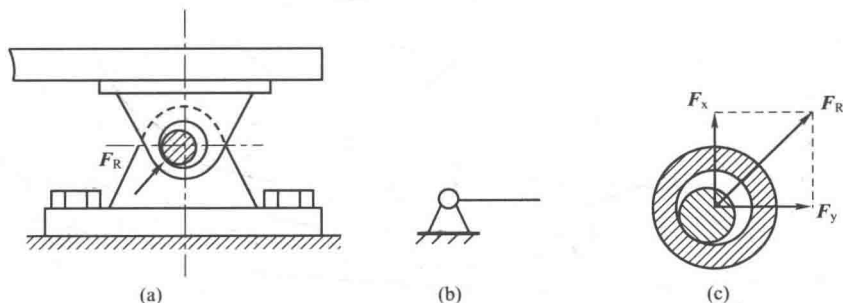


图 1-9

③ 滚动铰链支座约束 在一个圆柱铰链支座底部安装上滚子，并与光滑支承面接触，则构成了滚动铰支约束，如图 1-10(a)、(b) 所示。其简图如图 1-10(c) 所示。滚动铰链支座只能限制构件沿支承面法向的移动，不能阻止物体沿支承面切线方向的运动，因此其约束

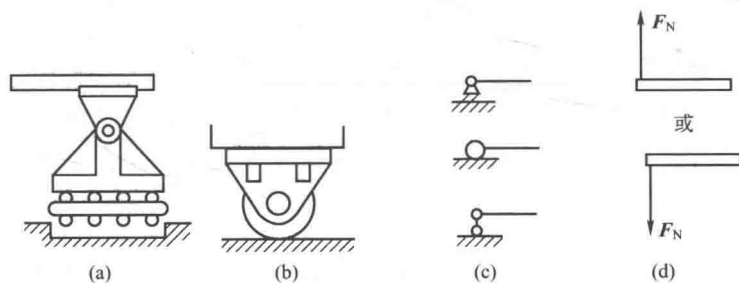


图 1-10

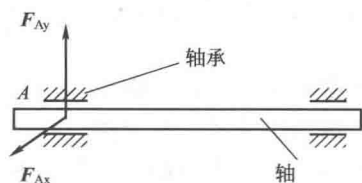


图 1-11

力用通过铰链中心、垂直于支承面的力表示，方向可能向上，也可能向下，如图 1-10(d) 所示。

(4) 向心轴承

向心轴承是机器中常见的约束，它约束圆轴使其绕着轴线转动，阻碍其径向位移。约束力的表示与固定铰链相同，力的作用线通过中心，垂直于轴线，方向不定，通常用两个正交分力 F_{Ax} 和 F_{Ay} 表示，如图 1-11 所示。

(5) 光滑球铰链

两个构件通过圆球和球壳连接在一起，称为球铰链，如图 1-12(a) 所示。构件可以绕球心转动。其约束力是作用线通过接触点与球心，但方向不能确定的一个空间法向约束力，可用三个正交分力 F_{Ax} 、 F_{Ay} 和 F_{Az} 表示，其简图及约束力如图 1-12(b) 所示。

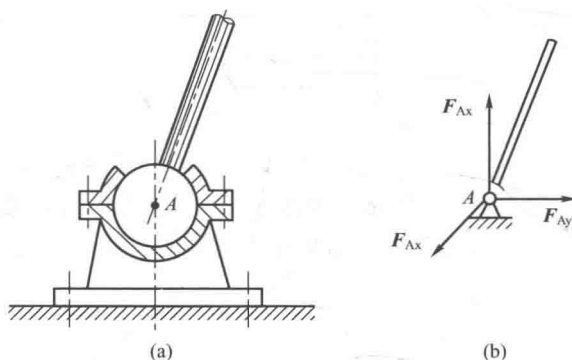


图 1-12

(6) 止推轴承

止推轴承与向心轴承相比较，它除了能限制轴的径向位移，还能限制轴沿轴线方向的位移。约束力通常用两个正交的径向力 F_{Ax} 和轴向力 F_{Ay} 表示，如图 1-13 所示。

1.2.3 物体的受力和受力图

在工程实际中，首先根据实际情况，选择一个或几个物体的组合或整个物体系统为研究对象，分析其受到几个力的作用，每个力的作用位置、力的大小和作用方向，这个过程称为物体的受力分析。

作用在物体上的力可分为两类：一类是使物体产生运动的力，称之为主动力，例如物体的重力、风力、气体的压力等，一般是已知的；另一类是约束物体运动的力，即约束力。

为了比较清晰地表达出研究对象的受力情况，把它从与它有联系的周围物体中分离出来，即解除其约束而以相应的约束力代之，解除约束后的物体称为分离体。在分离体上画出所受的全部主动力和约束力，即为物体的受力图。

画受力图的基本步骤一般如下：

① 确定研究对象，取分离体。它可以是一个物体，也可以是几个物体的组合或整个物体系统。

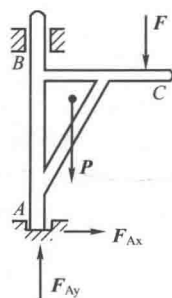


图 1-13