



“十二五”普通高等教育本科国家级规划教材

# FUNDAMENTALS OF ENGINEERING MECHANICS

## 工程力学基础 (第2版)

孙保苍 丁建波 主编



国防工业出版社

National Defense Industry Press

“十二五”普通高等教育本科国家级规划教材

# 工程力学基础 (第2版)

孙保苍 丁建波 主编

国防工业出版社

·北京·

## 内 容 简 介

本书是根据作者多年从事工程力学教学的经验,在充分调研各类工程专业教育认证和工程力学教学指导委员会制定的教学基本要求的基础上,本着抽象问题具体化,复杂问题简单化,语言通俗易懂,讲解问题深入浅出的原则而编写的。

全书包含理论力学和材料力学的基本内容,适用于对工程力学要求较低的材料、冶金、环境、电气工程、化工、轻工等专业 70~90 课时的工程力学教材。且由于编写过程中充分照顾了培养应用性人才的需要,因此本书也可作为独立学院、高职高专类院校机械、动力、土木等类专业的工程力学教材。本书语言简练,通俗易懂,内容选取简单实用,对于有关企业的工程技术人员也有较大的参考价值。

### 图书在版编目(CIP)数据

工程力学基础/孙保苍,丁建波主编.—2版.—  
北京:国防工业出版社,2016.6  
“十二五”普通高等教育本科国家级规划教材  
ISBN 978-7-118-10852-1

I. ①工… II. ①孙… ②丁… 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 115002 号

※

国防工业出版社出版发行

(北京市海淀区紫竹院南路 23 号 邮政编码 100048)

三河市腾飞印务有限公司

新华书店经售

\*

开本 787×1092 1/16 印张 24 1/4 字数 502 千字  
2016 年 6 月第 1 版第 1 次印刷 印数 1—4000 册 定价 44.80 元

(本书如有印装错误,我社负责调换)

国防书店:(010)88540777

发行邮购:(010)88540776

发行传真:(010)88540755

发行业务:(010)88540717

工程力学是工程技术科学的重要理论基础。鉴于此,国内外高等院校的机械、土木、动力、材料、航空航天等众多工程技术类专业都把工程力学列为主干课程。工程力学是工科学子接触工程问题的第一门课程,它除教给学生工程力学的基本理论外,还培养学生的工程技术观点和处理工程问题的方法,对培养学生的实践创新能力起着非常重要的引领作用。本书是在充分调研工程教育专业认证和教育部工程力学教学指导委员会制定的教学基本要求的基础上,结合作者参与教学改革的体会,总结作者多年来教学工作的经验,针对机械、动力、材料、环境、化工等工程技术类专业的特点与学生培养的要求而编写的。编写本书的基本思想是既考虑课程的系统性和完整性,又重视知识点的讲授和学生对基本概念的理解。既考虑学生创新能力的培养,更注重培养学生规范化做事的良好习惯。在理论讲解上力争做到语言通俗化、抽象问题具体化、复杂问题简单化。在例题编排上,先通过一个简单例题讲清楚基本理论与方法,然后通过若干个有一定难度的例题加深对基本概念、基本方法的理解与掌握。在例题与习题的编排上充分考虑了基本概念、方法和工程实际应用三种类型的合理搭配。这些特色使得本书的适用对象更加广泛。

本书的第一版被评为国家级本科教育“十二五”规划教材。在保留第一版优点的基础上,第二版主要有以下改进:一是,考虑到一些高等院校专业的需要,增加了运动学和动力学的基本内容,便于选讲;二是,编写语言更精炼,特别是对一些可能引起学生误解或产生歧义的句子进行了改进或删除,使读者更易理解。

本书由江苏大学孙保苍教授和南通航运职业技术学院丁建波副教授(第5~12章)主编。参加编写工作的还有南通理工学院的张捷(第13~15章)和南通职业大学的张书苗(第16~18章)。编写过程中,编者在与江苏省力学学会教育科普委员会及华东地区基础力学和工程应用协会专家教授的讨论中获得了很多有益的启发,在此表示诚挚的谢意。

本书承蒙陈忠安教授审阅,他在百忙之中提出了许多宝贵意见,在此表示深深的感谢。

本书编写过程中参考了部分同类教材,在此向这些教材的编写者表示真诚的谢意。限于编者水平,书中还有许多不足之处,殷切希望广大师生和读者指正,不胜感激。

编者

2016年1月于江苏大学

绪论	001
----	-----

## 第1篇 静力学

第1章 静力学公理与物体受力分析	003
1.1 力的基本概念	003
1.2 静力学基本公理	004
1.3 约束及分类	006
1.4 物体受力分析	009
思考题	012
习题	013
第2章 平面简单力系	015
2.1 平面汇交力系分析的几何法	015
2.2 平面汇交力系分析的解析法	017
2.3 力对点的矩	021
2.4 力偶与平面力偶系	022
思考题	026
习题	026
第3章 平面一般力系	030
3.1 平面一般力系的简化	030
3.2 平面一般力系的平衡方程	035
3.3 静定与超静定问题 物体系统的平衡	038
3.4 平面平行力系	041
思考题	043
习题	043
第4章 摩擦	048
4.1 滑动摩擦	048
4.2 考虑摩擦时物体的平衡	051
4.3 滚动摩擦	053
思考题	055
习题	056

第5章 空间力系简介 .....	060
5.1 空间汇交力系 .....	060
5.2 力对点的矩与力对轴的矩 .....	062
5.3 空间一般力系的平衡 .....	063
5.4 平行力系的中心和重心 .....	065
思考题 .....	069
习题 .....	069

## 第2篇 材料力学

第6章 材料力学的基本概念 .....	071
6.1 材料力学的任务 .....	071
6.2 材料力学的基本假设 .....	072
6.3 外力、内力及截面法 .....	073
6.4 应力、应变与变形 .....	074
6.5 杆件变形的基本形式 .....	076
思考题 .....	077
第7章 拉伸、压缩与剪切 .....	079
7.1 轴向拉伸与压缩的概念 .....	079
7.2 轴向拉(压)时横截面上的内力 .....	079
7.3 轴向拉(压)时横截面及斜截面上的应力 .....	082
7.4 拉(压)杆的强度条件 .....	085
7.5 轴向拉(压)杆的变形 .....	087
7.6 材料在拉伸和压缩时的力学性质 .....	090
7.7 简单拉(压)超静定问题 .....	095
7.8 应力集中概念 .....	098
7.9 连接件的强度计算 .....	099
习题 .....	103
第8章 平面图形的几何性质 .....	109
8.1 形心与静矩 .....	109
8.2 惯性矩、极惯性矩和惯性积 .....	111
8.3 组合图形的惯性矩及平行移轴公式 .....	113
思考题 .....	114
习题 .....	114
第9章 扭转 .....	116
9.1 扭转的概念 .....	116
9.2 外力偶矩与扭矩 .....	116
9.3 圆轴扭转时的强度计算 .....	119
9.4 圆轴扭转时的变形 .....	124

思考题 .....	125
习题 .....	126
<b>第 10 章 弯曲内力 .....</b>	<b>129</b>
10.1 平面弯曲概念 .....	129
10.2 梁的计算简图 .....	130
10.3 剪力与弯矩 .....	131
10.4 剪力方程和弯矩方程及剪力图和弯矩图 .....	133
10.5 微分关系 .....	137
思考题 .....	139
习题 .....	139
<b>第 11 章 弯曲应力 .....</b>	<b>142</b>
11.1 纯弯曲时横截面上的正应力 .....	142
11.2 弯曲正应力强度条件 .....	146
11.3 弯曲切应力 .....	149
11.4 提高梁抗弯强度的措施 .....	152
思考题 .....	154
习题 .....	155
<b>第 12 章 弯曲变形 .....</b>	<b>160</b>
12.1 挠曲线近似微分方程 .....	160
12.2 计算梁位移的积分法 .....	162
12.3 计算梁位移的叠加法 .....	165
12.4 简单超静定梁 .....	168
12.5 提高梁刚度的主要措施 .....	170
思考题 .....	171
习题 .....	171
<b>第 13 章 应力状态分析 .....</b>	<b>175</b>
13.1 应力状态概念 .....	175
13.2 二向应力状态分析 .....	177
13.3 主应力 .....	178
13.4 三向应力状态中的最大应力 .....	180
13.5 广义胡克定律 .....	180
13.6 复杂应力状态下的弹性变形能 .....	184
13.7 强度理论概述 .....	185
13.8 常用的强度理论 .....	186
思考题 .....	191
习题 .....	191
<b>第 14 章 组合变形 .....</b>	<b>195</b>
14.1 组合变形的概念 .....	195
14.2 拉伸(压缩)与弯曲的组合变形 .....	195

14.3	偏心拉伸和压缩 .....	198
14.4	弯扭组合变形 .....	200
	习题 .....	203
<b>第 15 章</b>	<b>压杆稳定 .....</b>	<b>207</b>
15.1	压杆稳定的概念 .....	207
15.2	细长压杆临界力计算的欧拉公式 .....	209
15.3	临界应力与压杆的分类 .....	212
15.4	压杆的稳定计算 .....	216
15.5	提高压杆稳定性的措施 .....	218
	思考题 .....	219
	习题 .....	219

### 第 3 篇 运动学

<b>第 16 章</b>	<b>运动学基础 .....</b>	<b>222</b>
16.1	点的运动学 .....	222
16.2	刚体平行移动 .....	230
16.3	刚体定轴转动 .....	232
	思考题 .....	235
	习题 .....	235
<b>第 17 章</b>	<b>点的合成运动 .....</b>	<b>237</b>
17.1	合成运动概念 .....	237
17.2	点的速度合成定理 .....	239
17.3	牵连运动为平移时点的加速度合成定理 .....	243
	思考题 .....	246
	习题 .....	246
<b>第 18 章</b>	<b>刚体平面运动 .....</b>	<b>249</b>
18.1	刚体平面运动方程 .....	249
18.2	平面图形各点速度分析 .....	251
18.3	平面图形各点的加速度分析 .....	256
	思考题 .....	258
	习题 .....	258

### 第 4 篇 动力学

<b>第 19 章</b>	<b>动力学基础 .....</b>	<b>260</b>
19.1	动力学基本定律 .....	260
19.2	质点运动微分方程 .....	262
19.3	刚体定轴转动微分方程 .....	265



19.4 刚体转动惯量 .....	267
思考题 .....	269
习题 .....	269
<b>第20章 动量定理与动量矩定理 .....</b>	<b>272</b>
20.1 动量和冲量 .....	272
20.2 动量定理 .....	274
20.3 质心运动定理 .....	278
20.4 质点动量矩定理 .....	280
20.5 质点系动量矩定理 .....	282
思考题 .....	284
习题 .....	284
<b>第21章 动能定理 .....</b>	<b>287</b>
21.1 功的计算 .....	287
21.2 动能 .....	290
21.3 动能定理 .....	292
21.4 功率、功率方程和机械效率 .....	296
21.5 势力场的概念与机械能守恒定律 .....	298
思考题 .....	300
习题 .....	300
<b>第22章 达朗伯原理(动静法) .....</b>	<b>303</b>
22.1 质点惯性力概念 .....	303
22.2 质点达朗伯原理 .....	304
22.3 质点系达朗伯原理 .....	305
22.4 刚体惯性力简化 .....	305
思考题 .....	309
习题 .....	310
<b>附录 型钢规格表 .....</b>	<b>311</b>
<b>习题参考答案 .....</b>	<b>322</b>
<b>参考文献 .....</b>	<b>330</b>

# 绪 论

数学、力学和天文学是最早产生的自然科学。十六至十七世纪伽利略、牛顿奠定理论基础之后,经过众多科学家的努力,力学得到了快速发展,到十九世纪末,力学已经建立了较为完备的理论体系,并开始了与工程技术领域的结合。

工程力学是一门与机械、动力、土木、材料、交通、航空航天等众多工程技术领域有密切关系的技术基础学科,是近代工程技术的理论基础之一。推动近代工程科学技术领域的重要装备,如蒸汽机、内燃机、铁路、船舶等都是在工程力学知识的引领下发展起来的。在当今工程技术的很多高新领域,如大跨度桥梁(图1)、高层建筑、石油化工设备、大型水利设施(图2)、高速铁路与列车等,工程力学都发挥了不可替代的重要作用。其他如各类航空航天器的发射与运行(图3、图4)、航空母舰舰载飞机的发射装置(图5)、工业机器人的操作系统(图6)等都与工程力学理论的研究和应用具有密切关系。



图1 江苏润扬长江大桥



图2 中国三峡大坝

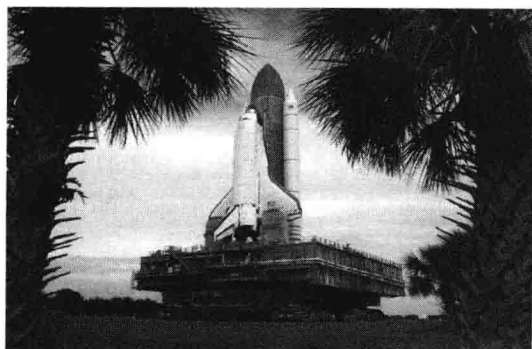


图3 美国航天飞机

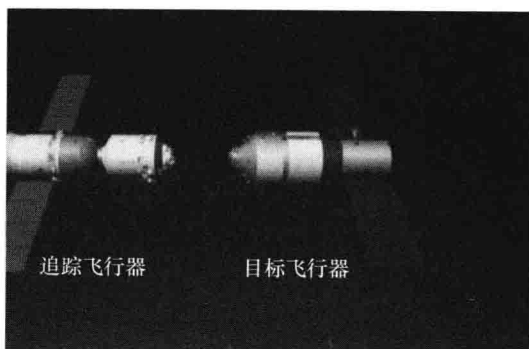


图4 航天器对接过程



图5 航空母舰



图6 工业机械手

工程力学包括理论力学和材料力学两大部分内容。

理论力学是研究物体的平衡及机械运动规律的科学。机械运动是指物体在空间的位置随时间的变化,平衡是物体机械运动的特殊情况。理论力学的内容包含静力学、运动学和动力学三部分。材料力学是研究工程结构承载能力的科学。组成工程结构的零件称为构件。材料力学是研究构件强度、刚度和稳定性的科学。强度是指构件抵抗破坏的能力,刚度是指构件抵抗变形的能力,而稳定性是指构件保持原有平衡状态的能力。工程力学课程所涵盖的内容非常广泛,本教材介绍的仅仅是该课程中最基础的理论和方法,这些都是工程技术人员所必须掌握的基本知识。

任何一门学科的研究都是要根据自己的任务而抓住主要影响因素,忽略次要影响因素。理论力学是研究物体平衡及机械运动规律的学科。工程中的结构为了保证其正常工作,要求物体变形限制在很小的范围内,这样的变形对于物体的平衡及机械运动规律影响极小。因此,理论力学中通常把物体抽象为刚体(运动学和动力学中还根据具体情况抽象出另外一种研究对象一点或质点)。材料力学是研究构件强度、刚度和稳定性的科学,此时,物体的变形成为不可忽略的因素,刚体这一力学模型不再适用,取而代之的是连续、均匀、各向同性的可变形固体。

工程力学采用的是理论分析与实验分析相结合的研究方法。在长期的生产实践中,人们通过观察和试验积累的结果,应用抽象化的方法,通过分析、归纳和综合得到一些普遍的力学公理和定律,再经过严格的逻辑推理和数学推导,得到力学的普遍定理和可用于工程实际的力学公式。这些定理和公式在工程实践中还要经过不断的检验、修正,从而得到进一步的发展。

工程力学是机械等众多工程技术类专业的主干核心课程,在高等工程教育中具有重要的地位和作用。工程力学课程除了要教给学生力学的基本理论之外,还培养学生的工程技术观点和处理工程问题的方法,是培养学生科学创新能力的源泉。该课程的学习一方面可以直接用于解决工程中的一些实际问题,另一方面也是为后续的很多课程提供必要的基础理论知识和分析问题的能力。

# DIYUAN

## 第1篇 静力学

静力学的主要任务是研究物体在力系作用下的平衡问题。

静力学的研究对象是刚体。刚体是一个抽象、理想化的力学模型,是这样一种物体:在力的作用下,物体内任意两点之间的距离始终保持不变。或者简单地说,刚体是在力的作用下不变形的物体。

平衡是指物体相对于惯性坐标系保持静止或匀速直线运动的状态,是物体机械运动的一种特殊形式。在一般的工程问题中,通常把固结于地球的参考系当作惯性参考系。

静力学主要研究以下两个问题:

1. 力系的简化。力系是指作用在物体上的一群力。若两个不同的力系对物体的作用效果相同,则该两力系为等效力系。用一个简单力系代替一个复杂力系称为力系的简化。对力系进行简化的目的是为进一步分析研究物体的平衡与运动提供方便。因为当物体受复杂力系作用时,很难直接对物体的运动规律进行研究。

2. 力系的平衡条件。力系的平衡条件是指物体处于平衡状态时,作用在物体上的力系应满足的条件。平衡是相对的,是物体机械运动的特殊形式。当物体在某力系作用下处于平衡状态时,则该力系称为平衡力系。

## 第1章 静力学公理与物体受力分析

### 1.1 力的基本概念

#### 1. 力的定义

力是人们在长期生产和生活实践中总结出来的一个科学概念,是力学的一个基本概念。人们通过推、举、投掷时肌肉的紧张与疲劳等主观感觉得到了对力的最初认识。后来,在日常生产和生活中经过反复的观察、实验、分析逐步认识到,物体机械运动状态的改变都是物体间相互作用的结果,如物体运动时的减速和加速,工程结构中构件的变形等。经过长期的总结和科学抽象,人们给出了力的定义:力是物体间的相互作用,这种作用的结果是使物体的运动状态发生改变,或使物体变形。

力对物体的作用效应分为外效应和内效应。外效应是指物体在力的作用下机械运动状态的改变,也称为运动效应,如人们推动自行车的运动。内效应指物体在力的作用下物体形

状的改变,也称为变形效应,如桥梁的变形等。理论力学研究外效应,材料力学研究内效应。

## 2. 力的三要素

实践表明,力对物体的作用效应取决于力的大小、方向和作用点,此三者称为力的三要素。

力的三要素可用一条有向线段表示,如图 1.1 所示。线段的长度表示力的大小,它代表了力对物体作用的强弱。力的法定标准计量单位是牛,符号为 N,有时也用千牛,符号为 kN。线段的方位和箭头的指向表示力的方向。线段的起始点(或终点)表示力的作用点。实际上,力总是作用在一定面积上的。当力的作用面积与被作用物体的面积相比很小时,可以忽略作用面积的大小,近似看成作用在一个点上。作用于一点的力称为集中力。当力的作用面积与被作用物体的面积相比较较大时,则称这种力为分布力。通过力的作用点沿力方位的线,称为力的作用线。

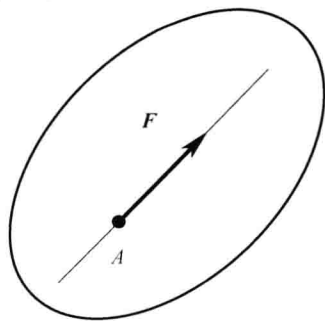


图 1.1

## 1.2 静力学基本公理

在生产和生活实践中,人们对物体的受力进行了长期的观察、实验和分析,对力的基本性质进行了概括和总结,得出了一些静力学公理,静力学就是建立在这些公理基础之上的理论。

**公理一(力的平行四边形法则)** 作用于刚体上一点的两个力可以合成为一个力,合力的大小与方向可以由两个力为邻边构成的平行四边形的对角线来表示,如图 1.2(a)所示。合力用矢量表示为

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

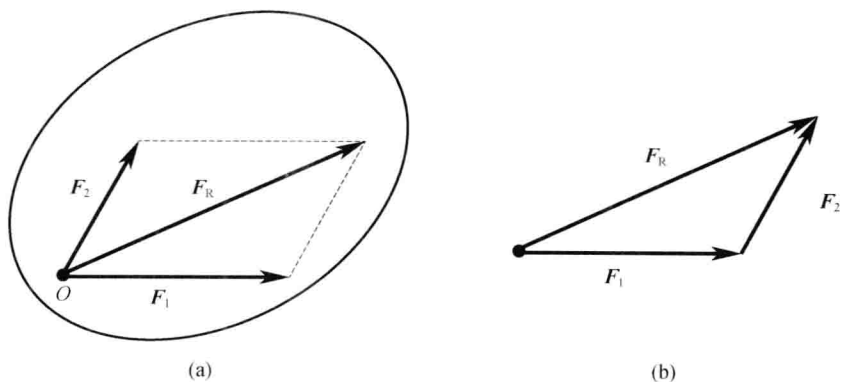


图 1.2

公理一在应用时,可由任一点起,另作一三角形,如图 1.2(b)所示。三角形的两边分别表示两个力,第三边表示合力。这一求两力合力的方法称为力的三角形法则。

**公理二(二力平衡公理)** 作用于同一物体上的两个力使物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条直线上,或者说两力等值、反向且共线。

公理二阐明了静力学中最简单力系(二力构成的力系)的平衡条件,是研究其他力系的

基础。必须指出的是,公理二只适用于刚体。对于变形体,平衡条件是必要的,而不是充分的。例如,不计自重的刚性杆受大小相等、方向相反且作用在同一条直线上两个力的作用,无论两个力是拉力(图 1.3(a))还是压力(图 1.3(b)),刚性杆均可保持平衡。若将刚性杆换成柔索,那么在拉力作用下柔索能保持平衡,而在压力作用下不能保持平衡。

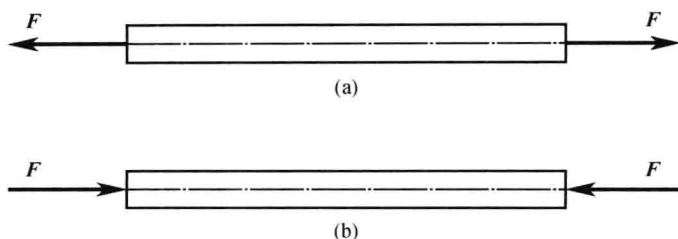


图 1.3

在不考虑自重的条件下,工程中有很多构件只受两个力的作用而处于平衡,这样的构件称为二力构件,如图 1.4 所示。如果二力构件是杆件,称为二力杆。二力构件所受两个力的作用线必然沿两力作用点的连线。二力杆可以是直杆,也可以是曲杆。

**公理三(加减平衡力系公理)** 在作用于物体的力系上加上或减去任意一个平衡力系,不改变原力系对物体的作用效应。

公理三的正确性是显而易见的,这是因为平衡力系对物体的平衡或运动状态没有任何影响。公理三对力系的简化起着重要的作用。由公理三还可得出以下两个推论。

**推论一(力的可传性原理)** 作用于物体上的力可沿力作用线任意移动而不改变力对物体的作用效应。

**证明:**如图 1.5(a)所示,设力  $F$  作用于物体上的  $A$  点。在力作用线上的一点  $B$  加一平衡力系  $F_1, F_2$ ,使得  $F_1 = -F_2 = F$ ,如图 1.5(b)所示。由公理三可知,这样做不改变力  $F$  对刚体的作用效应。可见,  $F, F_2$  也构成一平衡力系,故可减去。于是只剩下力  $F_1$ ,如图 1.5(c)所示。这就等于把力  $F$  沿其作用线从  $A$  点移动到  $B$  点,力  $F$  对物体的作用效应并没有改变。推论一得证。

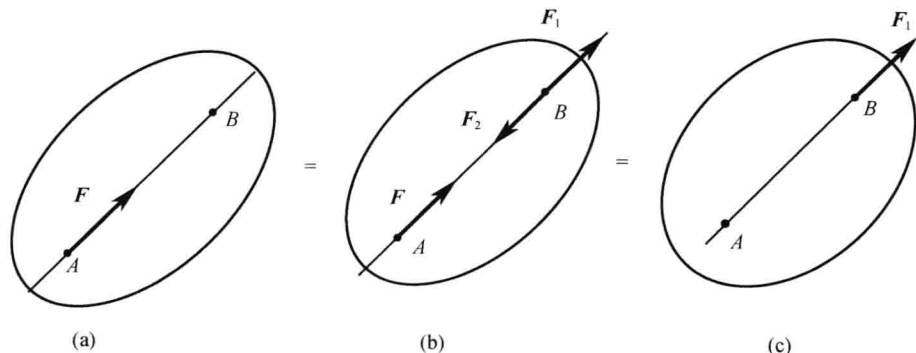


图 1.5

由推论一可知,对于刚体而言,力的三要素可改为大小、方向和作用线。

必须说明的是,推论一只适用于刚体。如果是变形体,力沿其作用线的任何移动都可能改变力对物体的作用效应。

**推论二(三力平衡汇交定理)** 刚体受三个力作用而处于平衡时,若其中两个力的作用线汇交于一点,则第三个力的作用线必在同一平面内,且通过前两力的汇交点。

**证明:**如图 1.6 所示,设在刚体的  $A$ 、 $B$ 、 $C$  三点分别作用三个互不平行的平衡力  $F_1$ 、 $F_2$  和  $F_3$ 。将力  $F_1$ 、 $F_2$  的作用线延长汇交于点  $O$ ,并用力的平行四边形法则求出该两力的合力  $F_{12}$ 。由本推论的条件可知,在力  $F_{12}$  与  $F_3$  的共同作用下,刚体仍然处于平衡状态。由公理二可知, $F_{12}$  与  $F_3$  必须等值、反向且共线,所以力  $F_3$  必通过  $F_1$  和  $F_2$  的汇交点  $O$ 。推论得证。

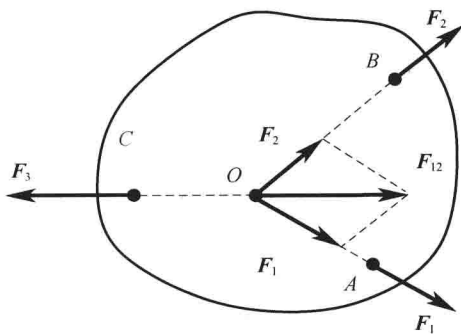


图 1.6

此定理的逆定理不成立。

**公理四(作用与反作用定律)** 两个物体间的相互作用力,即作用力与反作用力总是同时存在,它们大小相等、方向相反且作用线重合,并分别作用在两个不同的物体上。这一定律概括了两物体间相互作用的关系,不论物体是处于静止还是运动状态,该定律普遍适用。

注意:与二力平衡公理不同,作用力和反作用力是作用在两个不同物体上的。因此,尽管二力大小相等、方向相反且沿同一作用线,但不能相互平衡。

**公理五(刚化公理)** 变形体在某一力系作用下处于平衡,假想将其刚化为刚体,则其平衡状态保持不变。

此公理给出了把变形体看作刚体的条件。对变形体来说,刚体的平衡条件只是必要条件,而不是充分条件。以一绳索为例,它在大小相等、方向相反且作用于同一条直线上的两个拉力作用下处于平衡。此时将其刚化,平衡状态不变。如将两拉力改为压力,该绳索将不能平衡,因而不能将其视为刚体。

### 1.3 约束及分类

位移不受任何限制的物体称为自由体,如空中飞行的飞机、人造卫星等。位移受到限制的物体称为非自由体,如工程结构中的桥梁、水坝,机械系统中的齿轮轴等。

对非自由体的某些位移起限制作用的物体称为约束。例如:放在桌面上的计算机受到

桌面的限制,桌面就是计算机受到的约束;机械系统中的轴类零件受到轴承的限制,轴承就是轴受到的约束。约束之所以限制了被约束物体某个方向的位移,是因为在该方向上对物体施加了力。约束作用在被约束物体上的力称为约束反力,简称约束力或支反力。

主动力是指引起物体运动或使物体产生运动趋势的力,如物体的重力、水的压力、风载荷、冲击力等。物体所受的主动力一般是已知的,物体受到主动力作用后才产生约束反力,因此约束反力也称被动力。

下面介绍几种常见的约束,说明这些约束的约束反力(也称约束力)的特征。

### 1. 柔索约束

工程中属于这类约束的有绳索、链条及传动胶带等。由于柔索本身只能承受拉力,因此柔索的约束反力通过柔索与物体的连接点,方向沿着柔索背离物体,如图 1.7 所示。

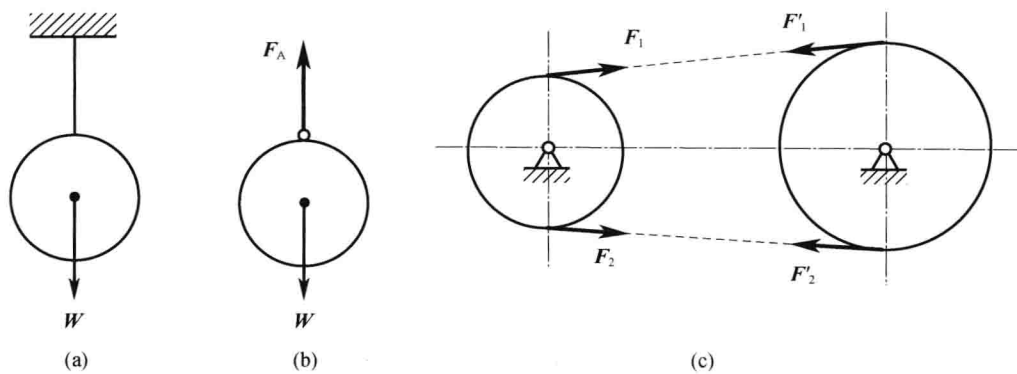


图 1.7

### 2. 光滑面约束

两物体接触,若物体间摩擦力很小,可以忽略不计时,这样的约束称为光滑面约束。当物体受光滑面约束时,物体可沿着接触面移动或离开接触面,但不能沿着接触面的公法线朝向运动。因此,光滑面约束的约束反力通过接触点,沿接触点的公法线指向物体。图 1.8 为两个光滑面约束的实例。

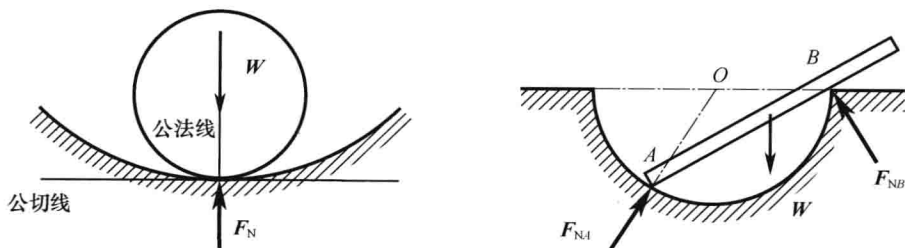


图 1.8

### 3. 光滑圆柱铰链约束

光滑圆柱铰链约束,即铰链约束,是指将销钉插入两构件的圆孔,把两构件连接起来的一种连接结构,其中销钉和圆孔都是光滑的(或摩擦力非常小,可以忽略不计)。光滑铰链约束限制了两构件在垂直于销钉轴线平面内的相对移动,但不能限制两构件绕销钉的相对转动。图 1.9 为光滑圆柱铰链约束实例。



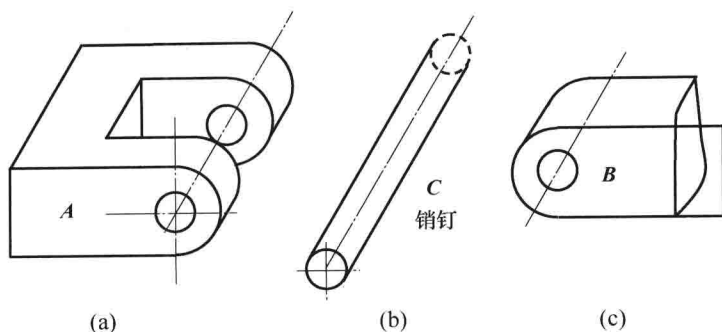


图 1.9

铰链约束中销钉和圆孔本质上属于光滑面约束,因此它们之间的约束反力是沿着接触面公法线的,如图 1.10(a)所示。但由于接触点的位置随载荷方向的改变而改变,一般无法预先确定,通常由通过圆孔中心的两个正交分力来表示铰链约束的约束力,如图 1.10(b)、(c)所示。

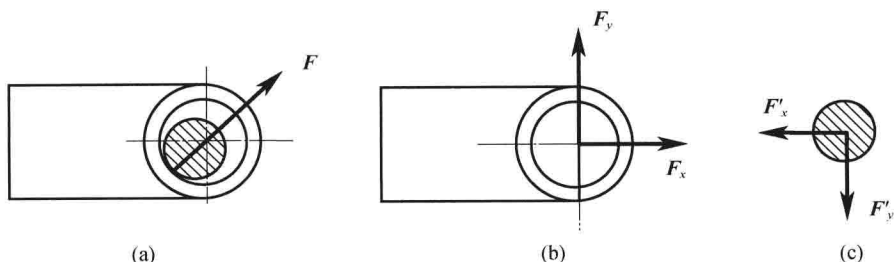


图 1.10

根据铰链的特点,平面铰链约束可分为下列三种:

(1) 中间铰链约束:这种约束连接工程结构中两个具体的构件。图 1.11 为其简图及约束反力的表示法。

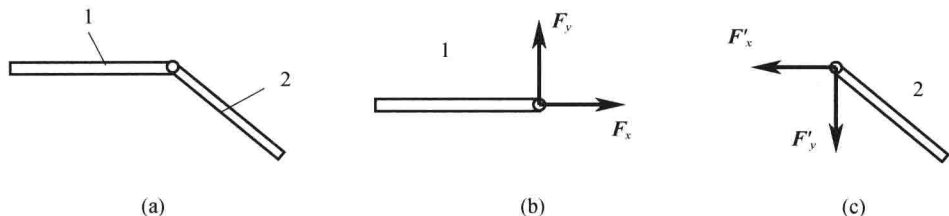


图 1.11

(2) 固定铰链约束:铰链约束中,若其中的一个构件是固定支座,则称为固定铰链约束,简称固定铰支座。图 1.12 为其简图及约束反力的表示法。

(3) 可动铰链约束:在固定支座和支撑面之间安装若干辊轴而构成的结构,如图 1.13(a)所示。这种约束不阻碍结构沿支撑面的位移,但阻止结构沿支撑面法线方向的移动。因此,可动铰链约束的约束反力垂直于支撑面,并通过圆孔中心,方向可任意设定。其简图如图 1.13(b)所示,约束反力的表示法如图 1.13(c)所示。