



国家示范性高职高专规划教材·机械基础系列

工程力学

王 洪 主编
刘太刚 主审

- 国家最新标准，符合设计规范
- 突出机械现代设计的新方法
- 内容简洁、实用，侧重应用
- 配备有电子教案和习题解答



清华大学出版社
<http://www.tup.tsinghua.edu.cn>



北京交通大学出版社
<http://press.bjtu.edu.cn>

国家示范性高职高专规划教材·机械基础系列

工 程 力 学

王 洪 主 编

银金光 邹培海 徐德慧 副主编
杨玉花 孔庆玲 张 娜

刘太刚 主 审

清华大学出版社
北京交通大学出版社

· 北京 ·

内 容 简 介

本书是根据全国示范性高职高专专业课开发指导委员会制定的工程力学课程的基本要求和教材编写大纲而编写的,目的是为了使学生掌握工程力学的基本理论和基本方法,着重培养学生应用工程力学的理论和方法来解决工程实际问题,同时为后续课程打下坚实的基础。

全书分为两篇——理论力学和材料力学,共21章。第1篇理论力学的主要内容包括静力学基础、平面汇交力系与平面力偶系、平面任意力系、空间力系、摩擦、点的运动学、刚体的简单运动、点的合成运动、刚体的平面运动、动力学基础、达朗贝尔原理(动静法)、动能定理,共12章;第2篇材料力学的主要内容包括轴向拉伸与压缩、剪切与挤压、扭转、弯曲内力、梁弯曲时的强度与刚度计算、应力状态和强度理论、组合变形的强度计算、压杆稳定、动载荷,共9章。为了便于学习,在书后还摘录了型钢表和主要符号表,每章还设有小结、思考与练习题。

本书可作为高职高专院校机电类等工科各专业工程力学课程的教材(适用于90~120学时),也可供有关工程技术人员参考。

本书封面贴有清华大学出版社防伪标签,无标签者不得销售。

版权所有,侵权必究。侵权举报电话:010-62782989 13501256678 13801310933

图书在版编目(CIP)数据

工程力学/王洪主编. —北京:清华大学出版社;北京交通大学出版社,2009.5
(国家示范性高职高专规划教材·机械基础系列)

ISBN 978-7-81123-543-2

I. 工… II. 王… III. 工程力学-高等学校:技术学校-教材 IV. TB12

中国版本图书馆CIP数据核字(2009)第054268号

责任编辑:韩素华

出版发行:清华大学出版社 邮编:100084 电话:010-62776969

北京交通大学出版社 邮编:100044 电话:010-51686414

印刷者:北京东光印刷厂

经 销:全国新华书店

开 本:185×260 印张:22.5 字数:556千字

版 次:2009年5月第1版 2009年5月第1次印刷

书 号:ISBN 978-7-81123-543-2/TB·15

印 数:1~4 000册 定价:34.00元

本书如有质量问题,请向北京交通大学出版社质监组反映。对您的意见和批评,我们表示欢迎和感谢。

投诉电话:010-51686043, 51686008; 传真:010-62225406; E-mail:press@bjtu.edu.cn.

国家示范性高职高专规划教材·机械基础系列

编委会

主任 王利明

副主任 蒋建强 邱 坤 陈金英 张宝君 王 洪

编 委(排名不分先后)

吴卫平	周四新	和青芳	赵立燕	孔庆玲	贾俊良
银金光	邹培海	吴 燕	吴永锦	宋金虎	刘宏丽
刘纪新	郭 勇	史利娟	卞化梅	张 娜	龙 娟
孔晓林	文 珈	林 洪	闫永亮	刘春玲	赵洪光
宁文波	许永平	刁希莲	鲍梅莲	金 山	刘新平
石进水	李付军	温 红	白西平	王益军	李 彬
姚传峰	陈红杰	滕文建	魏新村	宋金虎	李 强
钟宝华	张吉林	王玉英	王国林	姜忠军	杨玉花
徐德慧	刘太刚	刘佐群	郝继红	李历坚	刘 兢
孙 哲	王 琪	姚京贤	吴 燕	戈 峰	殷小清
文 珈	胡凤菊	刘永辉	伏 娟	姚 红	王继群
陈 琰	周淑芳	孙维丽	殷 钺	刘永利	邵永录

前 言

根据教育部《高职高专教育专业人才培养目标及规格》的相关要求，全国示范性高职高专专业课开发指导委员会确定了工程力学课程的基本要求。本书正是按照这个要求，从该课程的知识、能力和素质结构等要求出发，根据该课程的教材编写大纲，由全国示范性高职高专专业课开发小组各成员单位组织编写的。

本教材充分吸取了各高等院校、高职高专院校教学改革的经验，力争体现高职高专的培养目标和特色。在编写本书的过程中，主要考虑了以下几个方面。

(1) 重点突出、侧重应用。在本书编写过程中，充分吸取了各院校近几年工程力学课程教学改革的经验，删减了理论性较强的内容，加强了基本理论及有关实际工程应用的环节。全书强调“能分析”、“能计算”、“能联系工程实际”，力求在应用性方面有所突破。本教材在教学课时和教材篇幅有限的情况下，力求少而精、以“必需、够用”而又“不失扎实的理论基础”为原则，突出重点，精选内容，侧重应用。

(2) 内容简洁、实用。在本书编写过程中，尽量做到文字简明，内容精练，删去了部分不必要的繁琐的理论公式推导过程，注重应用成熟的结论和方法，培养学生分析并解决实际问题的能力，力争体现高职高专工程力学课程的特色。

(3) 本书在结构顺序的编排和教学语言的陈述等方面都考虑较合理；力求概念把握准确，叙述深入浅出、详略得当；每章后设有小结、思考与练习题，便于学生尤其是高职高专学生循序渐进地学习和课后复习。

(4) 本教材中添加了许多与工程实践相联系的例题和相关内容。这些内容既为学生学习后续专业课程打下了良好的基础，也为学生将来走向生产设计岗位，分析、解决工程实际问题打下良好的基础。

(5) 本书采用的工程符号、专业术语、单位等均为国家标准或国际标准。

本书由王洪任主编。其中第1~2章由杨玉花、张娜编写，第3~4章由徐德慧编写，第5~6章由孔庆玲编写，第7~9章由王洪编写，第10~12章由王洪和孔庆玲编写，第13~15章由银金光编写，第16~17章由银金光和杨玉花、张娜编写，第18~21章由邹培海编写。全书由刘太刚教授任主审，在审稿过程中，刘教授对本书的整体架构和细节提出了许多宝贵意见和建议，并对本书的出版做出了很大的贡献，编者在此表示衷心的感谢。

由于编者水平有限，书中难免会有不妥和错误，恳请广大读者批评指正。

编 者
2009年5月

目 录

第1篇 理论力学

第1章 静力学基础	2
1.1 静力学公理	3
1.2 约束和约束力	5
1.3 物体的受力分析和受力图	8
小结	10
思考与练习题	11
第2章 平面汇交力系与平面力偶系	14
2.1 平面汇交力系合成与平衡的几何法	15
2.1.1 平面汇交力系合成的几何法——力多边形法则	15
2.1.2 平面汇交力系平衡的几何条件	16
2.2 平面汇交力系合成与平衡的解析法	17
2.2.1 平面汇交力系合成的解析法	17
2.2.2 平面汇交力系平衡的解析条件	18
2.3 平面力对点之矩	19
2.3.1 力矩的概念	19
2.3.2 合力矩定理	20
2.4 平面力偶	20
小结	23
思考与练习题	23
第3章 平面任意力系	27
3.1 平面任意力系向作用面内一点的简化	28
3.2 平面任意力系的平衡方程	30
3.3 静定与超静定问题及物体系统的平衡	33
3.4 平面简单桁架内力的计算	36
3.4.1 节点法	36
3.4.2 截面法	37
小结	38
思考与练习题	38

第4章 空间力系	42
4.1 空间汇交力系的合成与平衡	43
4.1.1 力在空间直角坐标轴上的投影	43
4.1.2 空间汇交力系的合成与平衡	44
4.2 力对轴之矩	46
4.3 空间任意力系和空间平行力系的平衡方程	47
4.4 重心	50
4.4.1 重心的概念及坐标	50
4.4.2 求重心的几种方法	51
小结	55
思考与练习题	56
第5章 摩擦	59
5.1 滑动摩擦	60
5.2 摩擦角和自锁	62
5.3 考虑滑动摩擦时的平衡问题	63
5.4 滚动摩擦简介	66
小结	67
思考与练习题	67
第6章 点的运动学	70
6.1 矢径法	71
6.2 直角坐标法	72
6.3 自然法	76
小结	81
思考与练习题	82
第7章 刚体的简单运动	85
7.1 刚体的平行移动	86
7.2 刚体绕定轴的转动	87
7.3 定轴传动系统的传动比	90
小结	92
思考与练习题	93
第8章 点的合成运动	95
8.1 点的合成运动的基本概念	96
8.2 点的速度合成定理	98
8.3 点的加速度合成定理	101
8.3.1 牵连运动为平动时的加速度合成定理	101
8.3.2 牵连运动为转动时的加速度合成定理	102
小结	104

思考与练习题	105
第 9 章 刚体的平面运动	109
9.1 刚体的平面运动方程和运动分解	110
9.2 求平面图形内各点速度的基点法和速度投影法	112
9.3 求平面图形内各点速度的瞬心法	115
9.4 用基点法求平面图形内各点的加速度	119
小结	120
思考与练习题	121
第 10 章 动力学基础	124
10.1 质点动力学基本方程	125
10.1.1 动力学基本定律	125
10.1.2 质量与重力的关系以及国际单位制	125
10.1.3 质点动力学基本方程及应用	126
10.2 质心运动定理	129
10.3 动量定理	131
10.3.1 质点动量定理	131
10.3.2 质点系的动量定理	132
10.4 动量矩定理	135
10.4.1 动量矩	135
10.4.2 转动惯量	136
10.4.3 动量矩定理	136
10.5 刚体绕定轴转动的微分方程	139
小结	141
思考与练习题	142
第 11 章 达朗贝尔原理 (动静法)	146
11.1 达朗贝尔原理	147
11.2 刚体惯性力系的简化	149
小结	153
思考与练习题	154
第 12 章 动能定理	156
12.1 功	157
12.2 动能	161
12.3 动能定理	163
12.4 功率与机械效率	167
小结	169
思考与练习题	170

第2篇 材料力学

第13章 轴向拉伸与压缩	176
13.1 轴向拉伸与压缩的概念	177
13.2 拉压杆横截面上的内力	177
13.3 拉压杆横截面和斜截面上的应力	179
13.4 拉压杆的变形及虎克定律	183
13.5 材料拉压时的力学性能	186
13.6 拉压杆的强度计算	190
13.7 拉伸和压缩时的静不定问题	193
13.8 应力集中的概念	196
小结	197
思考与练习题	198
第14章 剪切与挤压	202
14.1 剪切的概念及剪切虎克定律	203
14.2 剪切的实用计算	205
14.3 挤压的实用计算	206
14.4 应用实例	207
小结	209
思考与练习题	210
第15章 扭转	213
15.1 扭转的概念	214
15.2 扭矩与扭矩图	214
15.3 圆轴扭转时的应力与强度计算	216
15.4 圆轴扭转时的变形与刚度计算	220
15.5 提高圆轴的强度和刚度的措施	223
小结	224
思考与练习题	225
第16章 弯曲内力	229
16.1 概述	230
16.2 梁横截面上的内力	231
16.3 剪力图与弯矩图	233
16.4 弯矩、剪力与载荷集度间的关系及微分关系作图法	236
小结	239
思考与练习题	240
第17章 梁弯曲时的强度与刚度计算	244
17.1 弯曲正应力的计算	245

17.2 惯性矩的计算	249
17.2.1 定义法(或积分法)	249
17.2.2 平行移轴定理	250
17.2.3 组合法	250
17.3 弯曲切应力简介	251
17.4 梁弯曲时的强度计算	253
17.5 梁的弯曲变形概述	256
17.6 用积分法求梁的变形	257
17.7 用叠加法求梁的变形	260
17.8 梁的刚度校核	264
17.9 简单静不定梁	265
17.10 提高梁的强度和刚度的措施	267
小结	270
思考与练习题	271
第18章 应力状态和强度理论	276
18.1 应力状态的概念	277
18.2 平面应力状态分析	278
18.2.1 斜截面上的应力计算(解析法)	278
18.2.2 应力圆(图解法)	280
18.2.3 主应力和最大切应力的确定	281
18.3 三向应力状态及最大切应力	283
18.4 广义虎克定律	285
18.5 强度理论简介	286
18.5.1 强度理论的概念	286
18.5.2 常用的强度理论	287
18.5.3 4种强度理论的适用范围	289
小结	290
思考与练习题	291
第19章 组合变形的强度计算	295
19.1 概述	296
19.2 拉伸(压缩)与弯曲组合变形的强度计算	297
19.3 弯曲与扭转组合变形的强度计算	300
小结	303
思考与练习题	304
第20章 压杆稳定	308
20.1 压杆稳定的概念	309
20.2 细长压杆的临界压力	310

20.3 欧拉公式的应用范围及经验公式·····	313
20.3.1 欧拉公式的应用范围·····	313
20.3.2 经验公式·····	314
20.4 压杆的稳定性校核·····	315
20.5 提高压杆稳定性的措施·····	317
小结·····	319
思考与练习题·····	319
第 21 章 动荷载 ·····	322
21.1 构件作匀加速直线运动或匀速转动时的应力计算·····	323
21.2 冲击载荷·····	325
21.3 交变应力及其循环特征·····	327
21.4 疲劳破坏和持久极限·····	330
21.5 影响持久极限的因素及强度计算简介·····	331
小结·····	333
思考与练习题·····	334
附录 A 型钢表 ·····	338
附录 B 主要符号表 ·····	344
参考文献 ·····	346

第1篇 理论力学

理论力学是研究物体机械运动一般规律的科学。

机械运动是指物体在空间内的位置随时间的改变而改变，如日月运行、车船行驶、机器运转、江河流动等，它是人们生活和生产实践中最常见的一种运动，也是物质的各种运动形式中最简单的一种。

平衡是机械运动的一种特殊形式。所谓平衡，一般是指物体相对于地面静止或作匀速直线运动。

理论力学研究的内容是速度远小于光速的宏观物体的机械运动，它以伽利略和牛顿总结的基本定律为基础，属于古典力学的范畴，不适用于微观粒子的运动，也不适用于速度接近于光速的宏观物体的运动。它研究的是机械运动中最一般、最普遍的规律，是各门力学分支的基础。它不仅可以解释周围许多现象，而且它也是现代工程技术的重要理论基础和解决工程技术问题的重要手段之一。

理论力学的内容包括以下3部分。

静力学——研究受力物体平衡时作用力所满足的条件以及研究物体的受力分析方法和力系简化的方法等。

运动学——从几何学的角度来研究物体的运动规律，比如物体的运动轨迹、速度和加速度等。

动力学——研究作用于物体上的力与物体运动变化的关系。

理论力学的研究对象为质点和刚体。**质点**是不计物体的形状和大小而得到的一个理想化的力学模型；**刚体**是指受到力的作用而其内部任意两点之间的距离始终保持不变的物体，它也是一个理想化的力学模型。这些理想化的力学模型是将事物抽象化的结果，其目的是为了研究的问题得到简化。

理论力学的分析和研究方法在科学研究中有一定的典型性。通过对理论力学的学习，有助于培养辩证唯物主义的世界观，有助于提高分析问题和解决实际问题的能力，为今后从事生产实践、科学研究打下良好的基础。

第 1 章

静力学基础

学习情境	静力学基础		总课时：4
学习目标			
<ol style="list-style-type: none">1. 掌握 4 个静力学公理和 2 个推理2. 掌握约束的 4 种类型及其约束力的表达形式3. 掌握物体的受力分析方法并绘制受力图			
学习内容			
<ol style="list-style-type: none">1. 4 个静力学公理和 2 个推理的含义和应用2. 二力构件和三力构件的受力分析3. 4 种约束类型及简化表示形式和约束力的表达形式4. 绘制受力图的步骤和注意事项			
学习方法	工具与材料	要求	考核与评价
<ol style="list-style-type: none">1. 联系实际，注意观察2. 多做练习	<ol style="list-style-type: none">1. 身边的工程结构2. 各种机器	<ul style="list-style-type: none">• 能灵活应用静力学公理和推理• 学会对物体进行受力分析• 正确、快速绘制受力图	教师评价：100% (提问、演示)

静力学是研究物体在力系作用下平衡规律的一门科学。

力系是指作用在物体上的一组力。当物体处于平衡状态时，作用于该物体上的力系称为平衡力系。

静力学研究的主要内容就是建立力系的平衡条件并对物体进行受力分析。其主要方法是力系的简化，即在对物体的作用效应完全相同的情况下，用简单的力系代替复杂的力系。如果两个力系对物体的作用效应完全相同，则称这两个力系为等效力系；如果一个力与一个力系等效，则称此力为该力系的合力。

本章将阐述静力学公理并介绍工程中常见的约束和约束力的分析及物体的受力图。

1.1 静力学公理

在静力学的范畴，力是物体间的相互作用，这种作用将引起物体的机械运动状态发生变化。

静力学公理是人们将生活和生产实践中长期积累的经验加以抽象、归纳、总结而建立的。它概括了力的一些基本性质，是建立静力学全部理论的基础。

公理1 力的平行四边形法则

作用于物体上某点两个力的合力也作用于该点，其大小和方向可用此两力为邻边所构成的平行四边形的对角线来表示，如图1-1(a)所示。或者说，合力矢等于两个力矢的几何和，即

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

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

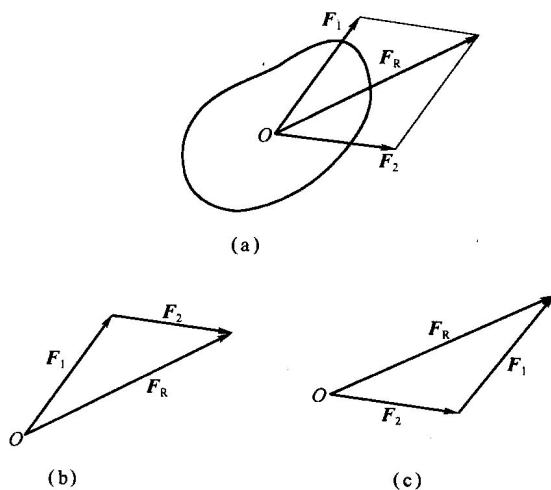


图1-1 力的平行四边形法则和三角形法则

此公理是复杂力系简化的基础。

公理 2 二力平衡公理

作用在同一刚体上的两个力，使刚体处于平衡状态的必要和充分条件是：这两个力的大小相等，方向相反，且作用在同一直线上，如图 1-2 所示。

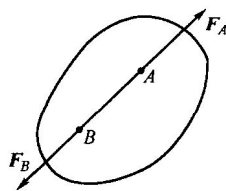


图 1-2 二力平衡

这个公理表明了作用于刚体上最简单的力系平衡时所必须满足的条件。如果一物体仅受二力作用而平衡，则此二力的作用线必定沿此二力作用点的连线，如图 1-3 所示的 AB 杆，这类构件常称为二力构件。

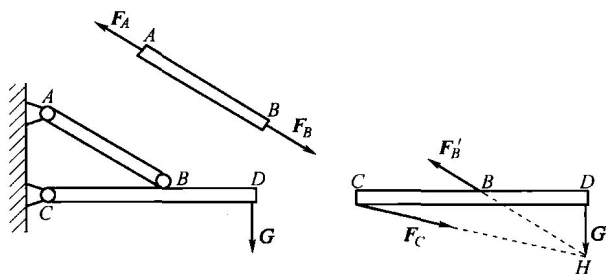


图 1-3 二力杆与三力杆

公理 3 加减平衡力系公理

在已知力系上，加上或减去任一平衡力系，并不改变原力系对刚体的作用。

这个公理是研究力系等效替换的重要依据。

推理 1 力的可传性原理

作用于刚体上的力，可沿其作用线滑移到该刚体的任何位置而不会改变此力对刚体的作用效应。

证明：设刚体上的点 A 有作用力 F ，如图 1-4 (a) 所示。根据加减平衡力系公理，在力的作用线上任取一点 B，并加上两个相互平衡的力 F_1 和 F_2 ，使 $F = F_2 = -F_1$ ，如图 1-4 (b) 所示。由于力 F 和 F_1 也是一对平衡力，故可除去；这样只剩下一个力 F_2 ，如图 1-4 (c) 所示，即原来的力 F 沿其作用线移到了点 B。

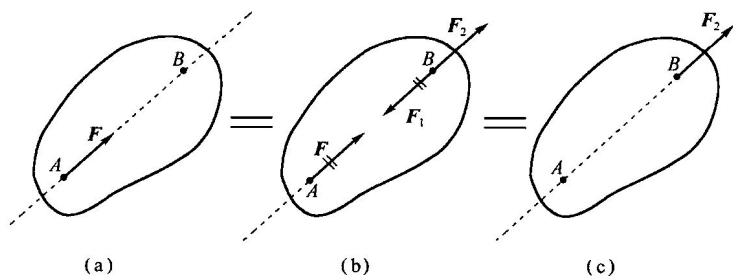


图 1-4 力的可传性原理

由此可见，对于刚体来说，力的作用点已不是决定力的作用效应的要素，它已被作用线所代替。因此，作用于刚体上的力的三要素是：力的大小、方向和作用线。

由于作用于刚体上的力可以沿着作用线移动，因此称力为滑移矢量。

推理 2 三力平衡汇交定理

若刚体在三个共面而又互不平行的力作用下处于平衡状态，则此三力必汇交于一点。

证明：如图 1-5 所示，在刚体的 A、B、C 三点上，分别作用 3 个力 F_1 、 F_2 、 F_3 ，且刚体处于平衡状态。根据力的可传性原理，将力 F_1 和 F_2 移到作用线的交点 O，可按平行四边形法则，求得合力 F_{12} ，则力 F_3 应与 F_{12} 平衡；又因为二力平衡必须共线，所以力 F_3 必定与 F_1 和 F_2 共面且通过力 F_1 和 F_2 的交点 O，于是定理得到了证明。

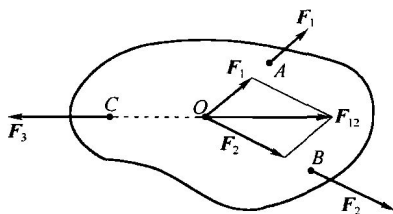


图 1-5 三力平衡汇交定理

只受同一平面 3 个力作用而平衡的构件，称为三力构件。若 3 个力中已知两个力的作用线和第三个力的作用点，即可判断出第三个力作用线的方位，如图 1-3 所示的 CD 构件。

公理 4 作用和反作用公理

两物体间的相互作用力互为作用力与反作用力，且两物体间的作用力与反作用力必定等值、反向、共线，分别同时作用于两个相互作用的物体上。

应该注意：二力平衡公理与作用力和反作用力公理之间的区别。前者叙述了作用在同一物体上两个力的平衡条件，后者却是描述两物体间相互作用的关系。

1.2 约束和约束力

在理论力学中，把取来进行受力分析或计算的物体称为研究对象或研究物体，在所取的研究对象中，有些物体，例如，飞行的飞机、炮弹和火箭等，它们在空间的运动不受任何限制，称为自由体。相反，有些物体在空间的运动则受到周围物体的限制，称为非自由体，例如，机车受铁轨的限制，只能沿轨道运动；电机转子受轴承的限制，只能绕轴线转动；重物由钢索吊住，不能下落等。对取为研究对象的物体的某些运动起限制作用的周围物体称为该研究对象的约束。显然，铁轨是机车的约束，轴承是电机转子的约束，钢索是重物的约束等。

工程中常把研究对象所受的力分为两类：一类是使研究对象可能产生运动的力，称为主动力；另一类是约束限制研究对象某种可能运动的力，称为约束力。研究对象在主动力作用下，会对约束产生某种作用。约束力则是该作用力的反作用力，故又称为约束反力，简称约束力。约束力总是作用在被约束物体上，且作用在与约束物体的接触处，其方向也总是与约束所能限制的运动或运动趋势的方向相反。据此，即可确定约束反力的位置及方向。

下面介绍几种在工程中常见的约束类型和确定约束力方向的方法。

1. 柔性约束

由柔软的绳索、链条、胶带等构成的约束称为柔性约束。例如，图 1-6 (a) 的细绳吊住重物，由于柔软的绳索本身只能承受拉力，所以它对物体的约束力也只能是拉力，如图 1-6 (b) 所示。因此，绳索对物体的约束力，作用在接触点，方向沿着绳索背离物体。通常用 F_T 表示这类约束力。

链条或胶带也都只能承受拉力。当它们绕在轮子上，对轮子的约束力沿轮缘的切线方向，如图 1-6 (c)、图 1-6 (d) 所示。

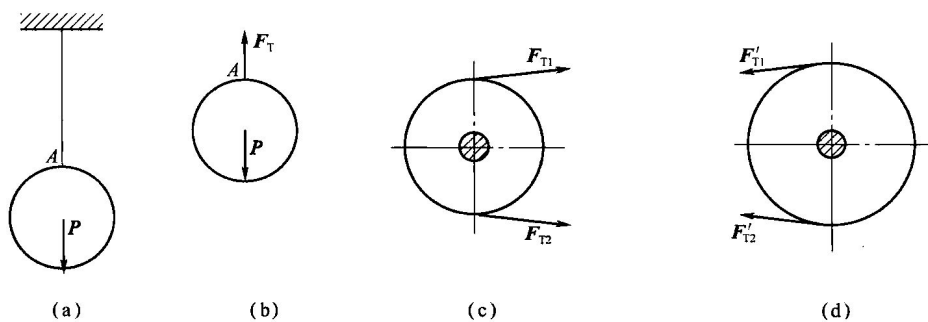


图 1-6 柔性约束

2. 光滑面约束

当两物体直接接触，而接触处的摩擦可以忽略时称为光滑面约束。光滑面约束不能限制研究物体沿接触面切线方向的运动，只能限制研究物体在接触处沿接触面的公法线且指向约束物体方向的运动。故光滑面约束的约束力必过接触点，沿接触面法向，并指向被约束物体。这类约束力称为法向约束力，通常用 F_N 表示，如图 1-7 所示。

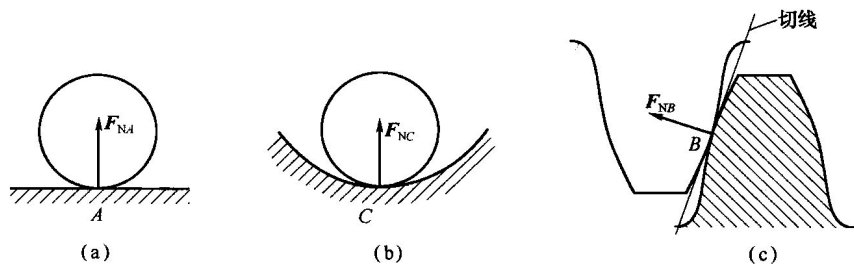


图 1-7 光滑面约束

3. 光滑铰链约束

由铰链构成的约束，称为铰链约束，如图 1-8 所示。这种约束是采用圆柱销 C (或 B) 插入构件 I 和 II (或 II 和支架) 的圆孔内而构成。这种约束使构件 I 和 II (或 II 和支架) 相互限制了彼此的相对移动，而只能绕圆柱销 C (或 B) 的轴线相对转动。如果取其中一构件为研究物体，另一构件则为约束。如果不考虑接触处的摩擦，这类约束的本质为光滑面约束。因其接触点的位置未定 (随主动力变化)，故只能确定铰链的约束力为一通过圆销中心的大小、方向均未定的力，通常可用通过销子中心的一对大小未知的正交分力 F_x 和 F_y 表示。

工程上常用铰链将桥梁、起重机的起重臂等结构与支承面或机架联接起来，这就构成了铰链支座。下面介绍两种常见的铰链支座约束。

(1) 固定铰链支座。若铰链相连的两个构件中有一个被固定作为支座，则这种约束被称为固定铰链支座，简称固定铰支。如图 1-9 (a) 中所示的支座 A 和 B 的铰链约束，图中所示为其简化画法。固定铰支的约束力为通过铰链中心的一对大小未知的正交分力 F_x 和 F_y ，