



普通高等教育“十二五”创新型规划教材

Theoretical Mechanics

理论力学

主编 涂 斌



 北京理工大学出版社
BEIJING INSTITUTE OF TECHNOLOGY PRESS

普通高等教育“十二五”创新型规划教材

理论力学

涂 斌 主 编

 **北京理工大学出版社**
BEIJING INSTITUTE OF TECHNOLOGY PRESS

版权专有 侵权必究

图书在版编目 (CIP) 数据

理论力学 / 涂斌主编. —北京: 北京理工大学出版社, 2011. 7

ISBN 978 - 7 - 5640 - 4764 - 1

I. ①理… II. ①涂… III. ①理论力学—高等学校—教材 IV. ①O31

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2011) 第 136082 号

出版发行 / 北京理工大学出版社

社 址 / 北京市海淀区中关村南大街 5 号

邮 编 / 100081

电 话 / (010)68914775(办公室) 68944990(批销中心) 68911084(读者服务部)

网 址 / <http://www.bitpress.com.cn>

经 销 / 全国各地新华书店

印 刷 / 北京市兆成印刷有限责任公司

开 本 / 787 毫米 × 1092 毫米 1/16

印 张 / 12

字 数 / 279 千字

版 次 / 2011 年 7 月第 1 版 2011 年 7 月第 1 次印刷

印 数 / 1 ~ 4000 册

定 价 / 26.00 元



责任校对 / 陈玉梅

责任印制 / 王美丽

图书出现印装质量问题, 本社负责调换

前 言

本书主要适用于高等学校本科应用型人才的培养需要。针对应用型人才培养的要求，本书对传统的理论力学教材体系做了较大改革：静力学采用以动力学为基础的理论体系和新的内容编排；运动学加强解析法，在按课程基本要求讲授合成法之余，在全部运动学中贯穿解析法；动力学加强动力学普遍定理的讲授。考虑应用型本科学生的特点，讲透解题方法，使理论力学比较容易学。全书的叙述更切合扩招以后普通高校的学生的情况。

全书包括3篇16章，静力学篇：力系作用量，受力分析，平衡力系作用下物体的受力；运动学：点的运动学，刚体的基本运动，刚体平面运动，点的复合运动；动力学：质点动力学基本方程，动量定理，动量矩定理，动能定理，动静法，虚位移原理。

本书包括理论力学多学时课程基本要求的内容，可作为高等学校本科机械、土建类专业理论力学课程教材，也可供高职高专、成人高校师生及有关工程技术人员参考。

参加本书编写工作的有华东交通大学理工学院王海波（第一章）、李尉光（第二、五、六章）、程丽敏（第三、四章）、陈丽（第七、八、九章）、党晓芳（第十一章）、岳文霞（第十二、十三、十四章）、涂斌（第十五章、绪论）、余丽（第十六章），江西交通职业技术学院周园（第十章）。全书由涂斌统稿。

在本书的编写过程中，许多同行提出了很好的意见和建议，编者在此向他们表示感谢。

鉴于编者水平有限，书中难免有不妥之处，敬请广大读者批评指正。

编 者

目 录

绪论	1
第1章 静力学基础	5
1.1 基本概念	5
1.1.1 力与力系	5
1.1.2 静力学模型	5
1.2 静力学基本公理	6
1.3 约束与约束力	7
1.3.1 约束与约束力	7
1.3.2 工程中常见的约束类型及其约束力	7
1.4 物体的受力分析	9
习题	11
第2章 平面汇交力系	13
2.1 平面汇交力系合成与平衡的几何法	13
2.2 平面汇交力系合成与平衡的解析法	15
2.2.1 力在正交坐标轴系的投影与力的解析表达式	15
2.2.2 平面汇交力系合成的解析法	16
习题	18
第3章 力对点的矩, 平面力偶理论	19
3.1 力对点的矩	19
3.1.1 力对点之矩 (力矩)	19
3.1.2 合力矩定理	19
3.1.3 力矩与合力矩的解析表达式	20
3.2 力偶与力偶矩	21
3.2.1 力偶与力偶矩	21
3.2.2 同平面内力偶的等效定理	22
3.3 平面力偶系的合成和平衡条件	24
3.3.1 平面力偶系的合成	24
3.3.2 平面力偶系的平衡条件	24
本章小结	26
习题	26
第4章 平面任意力系	28
4.1 平面任意力系向一点的简化	28
4.1.1 力的平移定理	28

4.1.2 平面任意力系向作用面内一点简化: 主矢和主矩	29
4.2 平面任意力系简化结果, 合力矩定理	31
4.2.1 平面任意力系简化为一个力偶的情形	31
4.2.2 平面任意力系简化为一个合力情形·合力矩定理	31
4.2.3 平面任意力系平衡的情形	32
4.3 平面任意力系的平衡条件和平衡方程	34
4.4 平面平行力系的平衡方程	38
4.5 物体系的平衡, 静定与超静定问题	40
本章小结	46
习题	48
第5章 空间力系	50
5.1 空间汇交力系	50
5.1.1 力在直角坐标轴上的投影	50
5.1.2 空间汇交力系的合成与平衡条件	51
5.2 力对点之矩和力对轴之矩	52
5.2.1 力对点之矩	52
5.2.2 力对轴之矩	52
5.2.3 力对点之矩与力对轴之矩的关系	53
5.3 空间力偶系	53
5.3.1 力偶的概念	53
5.3.2 力偶矩矢量	54
5.3.3 力偶矩的性质	54
5.3.4 空间力偶系的合成与平衡条件	55
5.4 空间力系向任意一点简化	56
5.5 空间力系的简化结果	56
5.6 空间任意力系的平衡方程	57
5.7 物体的重心和形心	59
5.7.1 重心的坐标公式	59
5.7.2 确定物体重心的方法	61
习题	63
第6章 摩擦	66
6.1 摩擦现象	66
6.2 滑动摩擦	66
6.2.1 静滑动摩擦力	66
6.2.2 滑动摩擦力	67
6.3 摩擦角与摩擦自锁	67
6.3.1 摩擦角	67
6.3.2 摩擦自锁	68
6.4 考虑滑动摩擦的平衡问题	68

6.5 滚动摩擦	71
习题	74
第7章 点的运动学	76
7.1 用矢量法研究点的运动	76
7.1.1 运动方程	76
7.1.2 速度	76
7.1.3 加速度	77
7.2 用直角坐标法研究点的运动	77
7.2.1 运动方程	77
7.2.2 速度	78
7.2.3 加速度	78
7.2.4 举例	79
7.3 用自然法研究点的运动	80
7.3.1 弧坐标及自然轴系	80
7.3.2 速度	80
7.3.3 加速度	81
7.3.4 计算举例	82
习题	83
第8章 刚体的简单运动	85
8.1 刚体的平动	85
8.2 刚体的定轴转动	86
8.2.1 转角	86
8.2.2 角速度	86
8.2.3 角加速度	86
8.2.4 讨论两类特殊情形	86
8.3 定轴转动刚体上各点的速度	87
8.3.1 运动方程	87
8.3.2 速度	87
8.3.3 加速度	87
8.3.4 计算举例	88
习题	89
第9章 点的合成运动	91
9.1 点的合成运动的概念	91
9.2 点的速度合成定理	92
9.3 牵连运动为平动时的点的加速度	94
习题	95
第10章 刚体的平面运动	98
10.1 刚体平面运动的分解	98
10.1.1 刚体的平面运动方程	98

10.1.2 刚体平面运动的分解	98
10.2 求平面图形内各点速度的基点法	99
10.2.1 基点法	99
10.2.2 速度投影法	101
10.3 求平面图形内各点速度的瞬心法	102
10.3.1 速度瞬心法	102
10.3.2 确定瞬心位置的方法	103
10.3.3 计算举例	104
习题	105
第 11 章 质点运动微分方程	107
11.1 动力学引言	107
11.2 动力学的基本定律	108
11.3 质点运动微分方程	108
11.4 质点动力学的两类基本题	110
习题	112
第 12 章 动量定理	114
12.1 动 量	114
12.1.1 质点的动量	114
12.1.2 质点系的动量	114
12.1.3 质心·质点系及刚体的动量	115
12.2 力的冲量	116
12.3 动量定理	116
12.3.1 质点动量定理	116
12.3.2 质点系的动量定理	117
12.3.3 质点系动量守恒定律	120
12.4 质心运动定理	122
12.4.1 质心运动定理	122
12.4.2 质心守恒定律	123
本章小结	125
习题	125
第 13 章 动量矩定理	131
13.1 质心和质点系的动量矩	131
13.1.1 质点的动量矩	131
13.1.2 质点系的动量矩	132
13.1.3 刚体的动量矩	133
13.2 动量矩定理	134
13.2.1 质点的动量矩定理	134
13.2.2 质点系的动量矩定理	134
13.2.3 动量矩守恒定律	137

13.3 转动惯量·平行移轴公式	139
13.3.1 转动惯量的概念和计算	139
13.3.2 回转半径(惯性半径)	140
13.3.3 转动惯量的平行移轴定理	141
13.4 刚体绕定轴的转动微分方程	144
习题	147
第14章 动能定理	152
14.1 力的功·元功·功率	152
14.1.1 常力的功	152
14.1.2 元功·变力的功	152
14.1.3 合力的功	153
14.1.4 功率	153
14.2 几种常见力的功	153
14.2.1 重力的功	153
14.2.2 弹性力的功	154
14.2.3 作用在定轴转动刚体上的力的功·力偶的功	155
14.2.4 质点系内力的功	155
14.2.5 理想约束的约束反力的功	155
14.3 动能	156
14.3.1 质点和质点系的动能	156
14.3.2 刚体的动能	156
14.3.3 系统的动能	158
14.4 动能定理	159
14.4.1 质点的动能定理	159
14.4.2 质点系的动能定理	160
14.5 基本定理的综合应用	162
习题	164
第15章 达朗贝尔原理	170
15.1 惯性力达朗贝尔原理	170
15.1.1 惯性力质点的达朗贝尔原理	170
15.1.2 质点系的达朗贝尔原理	170
15.2 刚体惯性力系的简化	171
15.2.1 刚体作平动的情况	171
15.2.2 刚体绕定轴转动的情况	172
15.2.3 刚体作平面运动(平行于质量对称面)的情况	172
15.3 动静法	173
习题	175
第16章 虚位移原理	176
16.1 虚位移原理简介	176

16.1.1	约束	176
16.1.2	自由度与广义坐标	176
16.1.3	虚位移与虚功	177
16.1.4	理想约束	177
16.1.5	基本公式	177
16.1.6	解题的一般步骤及应注意的问题	178
16.2	虚位移原理应用举例	179
	习题	181
	参考文献	182

绪 论

一、理论力学的研究对象

1. 物体机械运动一般规律

理论力学是研究物体机械运动一般规律的科学。

(1) 世界按其本质来说是物质的，一切物质又都按它们自己固有的规律不断地运动着。在客观世界中物质运动的形式是各种各样的，不同形式的运动有着不同的内容和研究方法。诸如物理、化学、天文、地理、生物等各门科学就是以各种不同的物质运动形式作为自己的研究对象。

(2) 机械运动是物质运动最简单、最基本的形式。所谓机械运动是指物体在空间的位置随时间所发生的改变。机械运动是人们生活和生产实践中最常见的一种运动，水的流动、天体的运动、各种机器的运动，等等，都是机械运动的例子。

(3) 平衡是机械运动的一种特殊形式，所以理论力学也研究平衡的规律。值得注意的是：在宇宙中没有绝对的平衡，一切平衡只是相对的和暂时的。

2. 古典力学的范畴

本课程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。

(1) 古典力学是区别于相对论而言的。宏观物体远小于光速的运动是日常生活及一般工程中最常遇到的，古典力学有着最广泛的应用。对于解决一般的工程技术问题，古典力学有着足够的精度，而古典力学的应用却比相对论力学简便得多。

(2) 理论力学所研究的则是这种运动中最一般、最普遍的规律，是各门力学分支的基础。由于机械运动的规律比较简单，而且在生产实践中又经常遇到，所以理论力学的产生、形成和发展先于其他自然科学。

(3) 物质的各种运动形式在一定条件下可以相互转化，而且在高级和复杂的运动中，往往存在着简单的机械运动。较高级、较复杂的运动形式，总是伴随有位置的变动，所以理论力学的规律和研究方法也在一定程度上渗透到其他自然科学的领域中去。

二、理论力学的研究内容

本课程研究的内容包括静力学、运动学和动力学三个部分。

1. 静力学

静力学研究力系的简化和物体的平衡问题。

静力学主要研究受力物体平衡时作用力应满足的条件；同时也研究物体受力的分析方法，以及力系简化的方法等。

2. 运动学

运动学研究物体运动的几何性质而不涉及力的作用。

运动学只从几何的角度来研究物体的运动（如轨迹、速度和加速度等），而不研究引起物体运动的物理原因。

3. 动力学

动力学研究受力物体的运动与作用力之间的关系。

动力学遵循动量定理、动量矩定理、动能定理等动力学普遍定理和动力学基本定律（牛顿三定律，即惯性定律、力与加速度关系定律、作用与反作用定律）。

三、理论力学的研究方法

研究科学的过程，就是认识客观世界的过程。任何正确的科学研究方法，一般要符合辩证唯物主义的认识论，理论力学也必须遵循这个正确的认识规律进行研究和发展的。

1. 总结力学最基本的规律

通过观察生活和生产实践中的现象，进行多次的科学实验，进行分析、综合和归纳，总结出力学最基本的规律。

（1）远在古代，人们为了提水，制造了辘轳；为了搬运重物，使用了杠杆、斜面和滑轮；为了利用风力和水力，制造了风车和水车，等等。制造和使用这些生活和生产工具，使人类对于机械运动有了初步认识，并积累了大量的经验，经过分析、综合和归纳，逐渐形成了如“力”和“力矩”等基本概念，以及如“二力平衡”“杠杆原理”“力的平行四边形规则”和“万有引力定律”等力学的基本规律，并总结于科学著作中。我国的墨翟（公元前468—前382年）所著的《墨经》，是一部最早记述有关力学理论的著作。

（2）人们为了认识客观规律，不仅在生活和生产实践中进行观察和分析，还要主动地进行实验，定量地测定机械运动中各种因素之间的关系，找出其内在规律性。例如伽利略（1564—1642）对自由落体和物体在斜面上的运动作了多次实验，从而推翻了统治多年的错误观点，并引出“加速度”的概念。此外，如摩擦定律、动力学三定律等，都是建立在大量实验基础之上的，因此实验是形成理论的重要基础。

2. 建立力学理论体系

在对事物观察和实验的基础上，经过抽象化建立力学模型，形成概念，在基本规律的基础上，经过逻辑推理和数学演绎，建立理论体系。

（1）客观事物都是具体的、复杂的，为找出其共同规律性，必须抓住主要因素，舍弃次要因素，建立抽象化的力学模型。例如，忽略一般物体的微小变形，建立在力的作用下物体形状、大小均不变的刚体模型；抓住不同物体间机械运动的相互限制的主要方面，建立一些典型的理想约束模型；为分析复杂的振动现象，建立了弹簧质点的力学模型等。这种抽象化、理想化的方法，一方面简化了所研究的问题，另一方面也更深刻地反映出事物的本质。当然，任何抽象化的模型都是相对的，当条件改变时，必须再考虑到影响事物的新的因素，建立新的模型。例如：在研究物体受外力作用而平衡时，可以忽略物体形状的改变，采用刚体模型；但要分析物体内部的受力状态或解决一些复杂物体体系的平衡问题时，必须考虑到物体的变形，建立弹性体的模型。

(2) 生产实践中的问题是复杂的,不是一些零散的感性知识所能解决的。理论力学成功地运用逻辑推理和数学演绎的方法,由少量最基本的规律出发,得到了从多方面揭示机械运动规律的定理、定律和公式,建立了严密而完整的理论体系。这对于理解、掌握以及应用理论力学都是极为有利的。数学方法在理论力学的发展中起了重大的作用。近代计算机的发展和普及,不仅能完成力学问题中大量的繁杂的数值计算,而且在逻辑推理、公式推导等方面也是极为有效的工具。

3. 在解释和改造世界中得到发展

理论力学理论用于实践,在解释世界、改造世界中不断得到验证和发展。

(1) 实践是检验真理的唯一标准,实践中所遇到的新问题又是促进理论发展的源泉。古典力学理论在现实生活和工程中,被大量实践验证为正确,并在不同领域的实践中得到发展,形成了许多分支,如刚体力学、弹塑性力学、流体力学、生物力学等。

(2) 大到天体运动,小到基本粒子的运动,古典力学理论在实践中又都出现了矛盾,表现出真理的相对性。在新条件下,必须修正原有的理论,建立新的概念,才能正确指导实践,改造世界,并进一步地发展力学理论,形成新的力学分支。

四、学习理论力学的目的

1. 理论力学是一门理论性较强的技术基础课

(1) 有些工程问题可以直接应用理论力学的基本理论去解决,有些比较复杂的问题,则需要用理论力学和其他专业知识共同来解决。所以学习理论力学是为解决工程问题打下一定的基础。

(2) 随着现代科学技术的发展,力学的研究内容已渗透到其他科学领域,例如固体力学和流体力学的理论被用来研究人体内骨骼的强度、血液流动的规律,以及植物中营养的输送问题等,形成了生物力学;流体力学的理论被用来研究等离子体在磁场中的运动,形成电磁流体力学;还有爆炸力学、物理力学等都是力学和其他学科结合而形成的边缘科学。这些新兴学科的建立都必须以坚实的理论力学知识为基础。

2. 理论力学是相关专业的技术基础课

理论力学是机械、建筑、化工、轻工等相关专业的一门重要的技术基础课。

(1) 学习本课程的目的是使学生了解物体机械运动的基本规律及其研究方法,初步学会运用这些规律解决实际问题的方法,并为学习一系列后续课程,如材料力学、机械原理、机械设计、结构力学、弹性力学、机械振动、流体力学以及其他与力学有关的专业课程打下重要基础。

(2) 理论力学的研究方法,与其他学科的研究方法有不少相同之处,因此充分理解理论力学的研究方法,不仅可以深入地掌握理论力学这门学科,而且有助于学习其他科学技术理论。

(3) 由于理论力学本身的特点,理论力学的学习有助于培养学生的辩证唯物主义世界观,提高学生正确的分析问题和解决问题的能力,为今后解决生产实际问题,从事科学研究工作打下基础。

五、学好理论力学的建议

1. 牢固掌握基本概念和结论

抓住理论力学中的基本概念和基本定律的实质,理解从基本概念和基本定律导出的基本定理和结论的物理意义。掌握从这些定理和结论引出的基本方法以及它们的最典型的应用,把理论与实践联系起来,反复应用基本方法求解力学问题。

2. 大量阅读不同类型的例题

教科书中例题数量较多,教师不一定要全部讲解,主要是供教师选择和学生自学之用。学生阅读理解例题的目的应以掌握解题原则为主,应大量阅读理解例题,尽可能多地了解不同问题所应采取的解题方法。

3. 及时解决容易混淆的问题

学习理论力学,并不要求去重复经历力学发展中的同样过程。但是,为了更好地掌握理论力学的知识,首先必须理解和深刻体会理论力学的基本概念和基本定律,因为它们是力学的基础,力学的一切理论都是建立在这个基础上的。

因此,遇到容易混淆的各种重点和难点问题,应通过自己独立思考和教师辅导答疑来解决。

4. 学习力学中的抽象化方法

所谓抽象化就是从具体事物的复杂现象中找出主要因素,略去次要因素,从而可用一个较简单的模型来代替原来的具体的事物。要学好理论力学,还必须掌握抽象化的方法,因为抽象化是解决一切力学问题的一个重要步骤,只有从正确抽象化了的模型中才能得出正确的结论。

5. 经常实践、多做习题、熟悉应用

把所学到的理论知识不断地用到实际中去,也是学好理论力学的一个重要步骤,因为对一个缺少实践经验的理论力学的初学者来说,这些知识在一定程度上还是片面的,只有通过经常的实践,例如多做习题,并进一步应用理论力学的知识去解决工程技术问题,才能熟悉理论的应用,从而使所学的知识得以发展和深化。

6. 应用 SR3R 方法

学习发达国家高等学校流行的 SR3R (或 SQRRR) 方法,即对每一部分章节内容通过 Survey (浏览), Question (质疑), Read (阅读), Recite (重述) 和 Review (复习) 来掌握理论力学课程中的重点和难点。

第1章 静力学基础

静力学主要研究三个方面的问题：物体的受力分析；力系的等效与简化；力系的平衡条件及其应用。

静力学是工程构件静力设计的基础，在工程技术中有着广泛的应用。

1.1 基本概念

1.1.1 力与力系

力是物体之间相互作用，这种作用会使得物体的运动状态和物体的形状发生改变，物体运动状态的改变称为力的运动效应或外效应，物体形状的改变称为变形效应或内效应。在静力学中只研究力对物体的运动效应。力对物体的作用效应与下面三个要素有关：①力的大小；②力的方向；③力的作用点。这三点称为力的三要素。因此对一个确定的物体而言，力是一个定位矢量，如图1-1所示，用有向线段 AB 表示一个力，线段的长度表示力的大小，线段的箭头指向代表力的方向，线段的起点表示力的作用点，线段所在的直线称为力的作用线。静力学中用 F 表示力，单位是牛顿（N）。

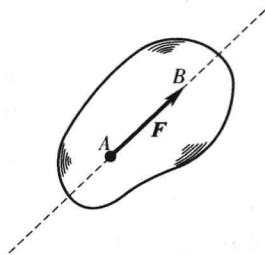


图1-1

作用在物体上的力的集合称为力系。力的作用线分布在同一平面内的力系称为平面力系，力的作用线分布不在同一平面内的力系称为空间力系。

1.1.2 静力学模型

在对物体进行受力分析时，需要对所分析的物体建立静力学模型。所谓模型是对实际物体合理的抽象和简化。这种抽象和简化包括三个方面：

- (1) 物体的合理抽象和简化。
- (2) 受力的合理抽象和简化。
- (3) 接触和连接方式的合理抽象和简化。

1. 刚体（物体抽象与简化）

刚体：是指在力的作用下不变形的物体。物体在受到外力时，其形状和尺寸都要发生改变，这种改变称为变形。当物体的变形很小时，变形对物体的运动和平衡影响甚微，因此在研究力对物体的运动效应时，这种影响可以忽略不计，这时的物体便可抽象为刚体。

2. 集中力和分布力（受力的合理抽象和简化）

物体所受的作用力一般是通过物体之间的直接或间接接触产生的。一般情况下，两个物体接触面总占有一定的面积，如果接触面积很小，则可以将这个接触面抽象成一个点，这时

的作用力称为**集中力**；如果接触面积比较大，力分布的作用在这个接触面上，这时的作用力称为**分布力**。

3. 约束（接触和连接方式的合理抽象和简化）

物体的运动，如果没有受到其他物体的直接制约，例如飞行中的鸟、飞机、人造卫星、火箭等，这类物体称为**自由体**。物体的运动，如果受到其他物体的直接制约，例如旋转的电风扇受到轴承的制约、动的车轮受到地面的制约等，这类物体称为**非自由体**或**受约束体**。非自由体在某些方向上的位移受到一定的限制，对非自由体的起限制作用的物体称为**约束**。

1.2 静力学基本公理

静力学公理概括了力的基本性质，是建立静力学理论的基础。

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，可合成一个合力，合力的作用点仍在该点，其大小和方向由以此两力为边构成的平行四边形的对角线确定，如图 1-2 (a) 所示，矢量表达式为

$$\mathbf{F}_R = \mathbf{F}_1 + \mathbf{F}_2 \quad (1-1)$$

即合力等于分力的矢量和。合力 $\mathbf{F}_R$ 的大小和方向也可通过图 1-2 (b) 和 (c) 所示的力的三角形得到，即自任一点 O 以 $\mathbf{F}_1$ 和 $\mathbf{F}_2$ 为两边作力三角形，第三边 $\mathbf{F}_R$ 即所求。

该公理给出了力系简化的基本方法。平行四边形法则既是力的合成法则，也是力的分解法则。例如在图 1-3 中，拉力 $\mathbf{F}$ 与水平方向的夹角为 α ，按此法则可将其沿水平及铅垂方向分解为两个分力 $\mathbf{F}_1$ 和 $\mathbf{F}_2$ 。

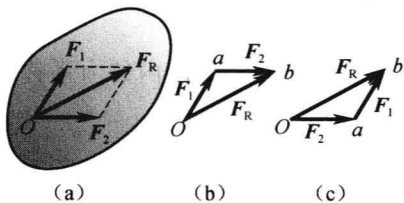


图 1-2

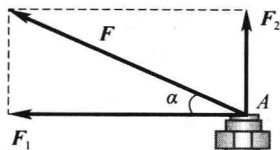


图 1-3

公理 2 二力平衡公理

作用在刚体上的两个力，使刚体平衡的必要和充分条件是：两个力的大小相等，方向相反，作用线沿同一直线。如图 1-4 所示，即

$$\mathbf{F}_1 = -\mathbf{F}_2 \quad (1-2)$$

该公理揭示了最简单的力系平衡条件。只在两个力作用下平衡的刚体称为**二力体**或**二力构件**，当构件为直杆时称为**二力杆**。

公理 3 加减平衡力系公理

在已知力系上加上或减去任意平衡力系，并不改变原力系对刚体的作用。

推论 1 力的可传性原理 作用在刚体上某点的力，可沿其作用线移动，而不改变它对刚体的作用，如图 1-5 所示。由此可知，力对刚体的作用决定于：力的大小、方向和作用线。在此，力是有固定作用线的**滑动矢量**。

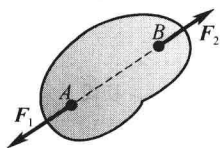


图 1-4

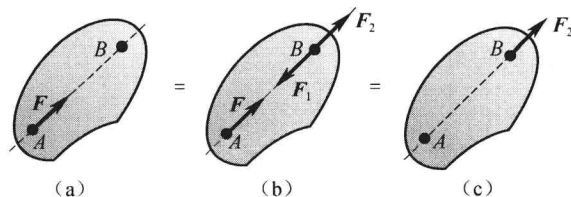


图 1-5

推论 2 三力平衡汇交定理 当刚体受到同平面内不平行的三力作用而平衡时，三力的作用线必汇交于一点，如图 1-6 所示。

公理 4 作用力与反作用力定律

两物体间的相互作用力，大小相等，方向相反，作用线沿同一直线，分别作用在两个物体上。如用 F 表示作用力， F' 表示反作用力，则有

$$F = F' \quad (1-3)$$

该公理表明了物体间相互作用的关系，表明作用力与反作用力总是成对出现，并分别作用在不同的物体上。

公理 5 刚化公理

变形体在某一力系作用下处于平衡时，如将其刚化为刚体，其平衡状态保持不变。该公理提供了将变形体看作刚体的条件。如图 1-7 中，将平衡的绳索刚化为刚性杆，其平衡状态不变。

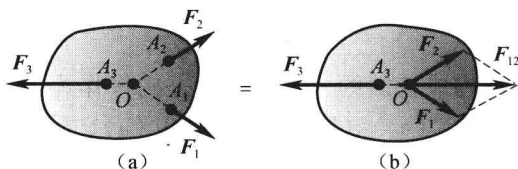


图 1-6

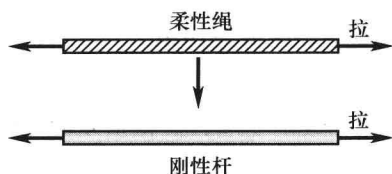


图 1-7

1.3 约束与约束力

1.3.1 约束与约束力

对非自由体的某些位移起限制作用的周围物体称为**约束**。

约束作用于被约束物体上的力称为**约束力**或**约束反力**。约束力的方向总是和所限制的位移方向相反，由此可确定约束力的方向和作用线位置。约束力的大小是未知的，在静力学中，可用平衡条件由主动力求出。

1.3.2 工程中常见的约束类型及其约束力

1. 光滑接触面约束

例如支持物体的固定面（图 1-8），啮合齿轮的齿面（图 1-9）都属这类约束。此类