

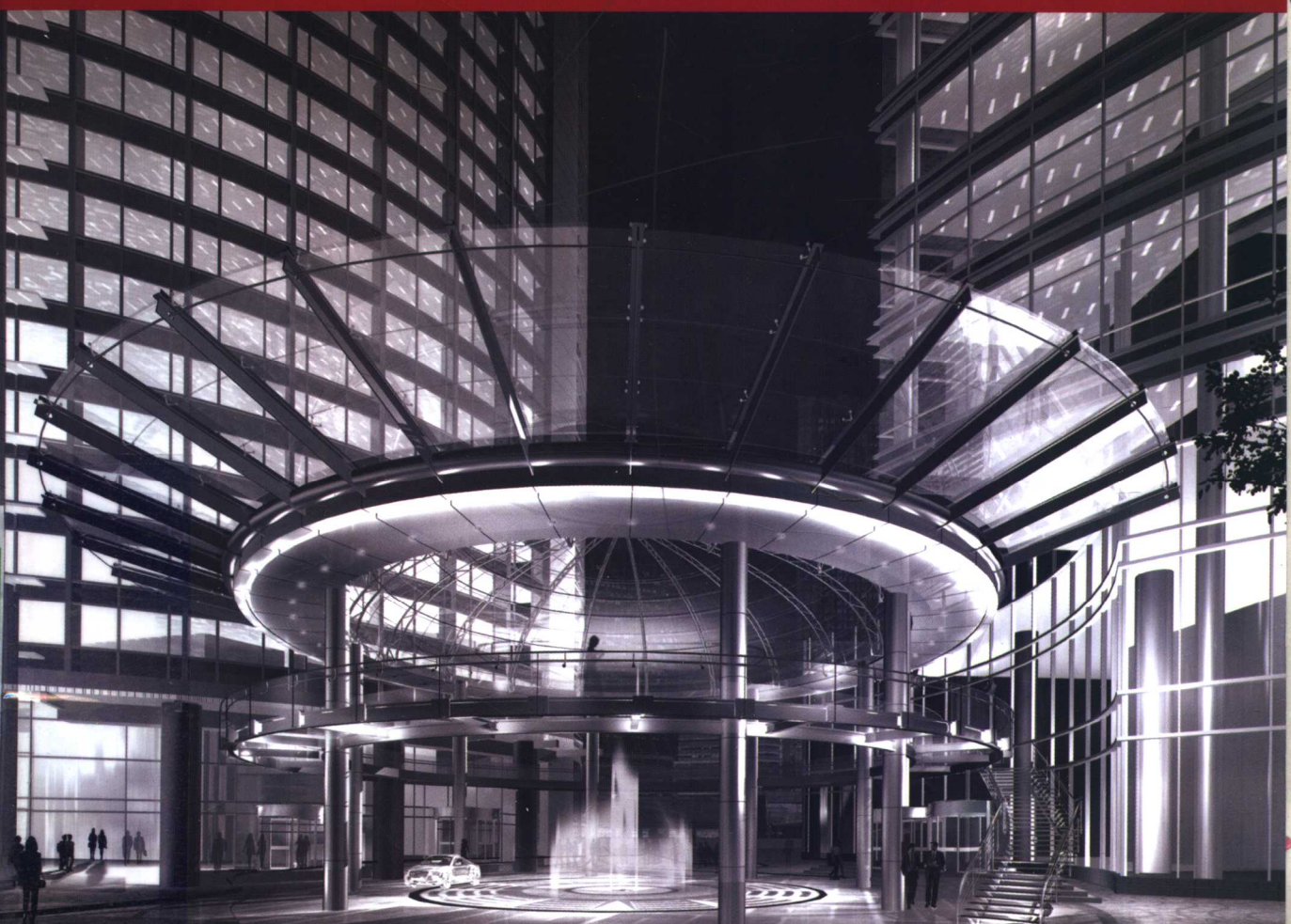


高等学校规划教材

GAODENG XUEXIAO GUIHUA JIAOCAI

理论力学

主编 张淑芬



中国建筑工业出版社

031/139

2007

高等学校规划教材

理论力学

主 编 张淑芬

副主编 梁 斌 王彦生

中国建筑工业出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

理论力学/张淑芬主编. —北京: 中国建筑工业出版社, 2007

高等学校规划教材

ISBN 978-7-112-09270-3

I. 理… II. 张… III. 理论力学-高等学校-教材
IV. 031

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2007) 第 058796 号

本书是为适应新世纪普通高等院校工科专业的教学需求, 结合近年来力学教学改革的成果及学生的特点而编写的, 主要内容包括静力学、运动学、动力学普遍定理, 达朗贝尔原理等, 并配有各章内容小结和一定量的思考题和习题。书末附有答案。

本书可作为高等院校工科各专业知识学习理论力学课程的教材, 也可作为夜大、函授大学、职工大学相应专业的自学和函授教材, 也可供有关工程技术人员参考。

* * *

责任编辑: 王 跃 吉万旺

责任设计: 董建平

责任校对: 兰曼利 王 爽

高等学校规划教材

理 论 力 学

主 编 张淑芬

副主编 梁 斌 王彦生

*

中国建筑工业出版社出版、发行 (北京西郊百万庄)

各地新华书店、建筑书店经销

北京密云红光制版公司制版

北京市安泰印刷厂印刷

*

开本: 787×1092 毫米 1/16 印张: 20½ 字数: 494 千字

2007 年 8 月第一版 2007 年 8 月第一次印刷

印数: 1—4000 册 定价: 28.00 元

ISBN 978-7-112-09270-3

(15934)

版权所有 翻印必究

如有印装质量问题, 可寄本社退换

(邮政编码 100037)

前 言

理论力学是高等院校工科专业的技术基础课,研究物体机械运动的一般规律及其在工程实际中的应用,同时也是后续力学课程和基础专业课程的理论基础。

本教材是为适应新世纪普通高等院校工科专业的教学需求,结合近年来力学教学改革的成果及学生的特点而编写的。在编写过程中,继承了该门课程理论严密,逻辑性强,由浅入深的优点,适当提高起点,在删除与大学物理重复部分的同时,增加部分新内容。内容力求精炼,以适应当前学时有所减少的状况。在加深物理概念阐述的同时也注重工程建模能力的培养。书中附有大量的例题和习题供教师选用和学生练习,设置的思考题可启发思维,培养其创新精神。

本书可作为高等工科院校四年制机械、土建、交通、动力等专业中学时理论力学课程的教材,也可供其他专业选用,或作为自学、函授教材,也可作为工程技术人员学习参考。

全书分为三篇共十四章。由张淑芬担任主编,梁斌和王彦生担任副主编,第一篇静力学由李作良、徐红玉、张彦斌编写,第二篇运动学由王彦生、徐红玉、刘宗发编写,第三篇动力学由刘宗发、梁斌、张淑芬编写。全书由张淑芬统稿。

本书由河南省力学学会秘书长、郑州大学孙利民教授和甘肃省力学学会秘书长、兰州大学武建军教授审阅,他们提出了许多宝贵意见。中国建筑工业出版社有关同志对本书的出版给予了支持和帮助,编者特此致谢。

本教材在编写过程中,得到了河南科技大学和建筑工程学院领导及专家的大力支持和帮助,力学研究所教师也提出了不少宝贵意见,在此表示衷心感谢。本书由河南科技大学教材出版基金资助。编写中参考了国内外一些优秀教材,在此向教材的编著者们一并致谢。

限于编者水平,书中难免有疏漏与不妥之处,敬请使用本书的广大师生和读者批评指正,并希望通过 E-mail 与我们联系(张淑芬: zsf@mail. haust. edu. cn; 梁斌: liangbin@mail. haust. edu. cn; 王彦生: wys@mail. haust. edu. cn)。

编者

2006 年 8 月

主要符号表

a	加速度	L_O	刚体对点 O 的动量矩
a_n	法向加速度	L_C	刚体对质心的动量矩
a_τ	切向加速度	m	质量
a_a	绝对加速度	M_z	力对 z 轴的矩
a_r	相对加速度	M	力偶矩, 主矩
a_e	牵连加速度	$M_O(F)$	力 F 对点 O 的矩
a_C	科氏加速度	M_I	惯性力的主矩
A	面积, 自由振动振幅	M_f	滚动阻力偶
f	动摩擦因数	n	质点数目
f_s	静摩擦因数	O	参考坐标系的原点
F	力	p	动量
F'_R	主矢	P	重量, 功率
F_s	静滑动摩擦力	r	半径
F_N	法向约束力	r	矢径
F_I	惯性力	r_O	点 O 的矢径
F_{Ie}	牵连惯性力	r_C	质心的矢径
F_{IC}	科氏惯性力	R	半径
g	重力加速度	s	弧坐标, 路程, 弧长
h	高度	t	时间
i	x 轴的基矢量	T	动能, 周期
I	冲量	v	速度
j	y 轴的基矢量	v_a	绝对速度
J_z	刚体对 z 轴的转动惯量	v_r	相对速度
J_{xy}	刚体对 x, y 轴的惯性积	v_e	牵连速度
J_C	刚体对质心的转动惯量	v_C	质心速度
k	弹簧刚度系数	V	势能, 体积
k	z 轴的基矢量	W	力的功
l	长度	x, y, z	直角坐标
d	力偶臂, 直径, 距离	α	角加速度
β	角度坐标	ψ	角度坐标
δ	滚阻系数	ω_n	固有角频率
δ	变分符号	ω	角速度
ρ	密度, 曲率半径, 回转半径	ω_a	绝对角速度
φ	角度坐标	ω_r	相对角速度
φ_f	摩擦角	ω_e	牵连角速度
C	速度瞬心, 质心		

目 录

主要符号表

绪论

第一篇 静 力 学

第 1 章 静力学公理和物体的受力分析	4
§ 1.1 静力学公理	4
§ 1.2 约束和约束力	6
§ 1.3 物体的受力分析和受力图	10
小结 (知识结构图)	14
思考题	15
习题	15
第 2 章 平面汇交力系与平面力偶系	18
§ 2.1 平面汇交力系合成与平衡的几何法	18
§ 2.2 平面汇交力系合成与平衡的解析法	20
§ 2.3 平面中力对点之矩	23
§ 2.4 平面力偶系的合成与平衡	25
小结 (知识结构图)	29
思考题	29
习题	30
第 3 章 平面任意力系	34
§ 3.1 平面任意力系向作用面内一点简化	34
§ 3.2 平面任意力系的平衡条件和平衡方程	39
§ 3.3 物体系的平衡·静定和超静定问题的概念	44
§ 3.4 平面静定桁架的内力计算	48
小结 (知识结构图)	51
思考题	52
习题	53
第 4 章 空间力系和重心	59
§ 4.1 空间汇交力系	59
§ 4.2 空间力偶理论	62
§ 4.3 力对轴的矩和力对点的矩	65
§ 4.4 空间任意力系向一点的简化·主矢和主矩	68
§ 4.5 空间任意力系的平衡方程	71

§ 4.6 平行力系的中心与重心	78
小结 (知识结构图)	83
思考题	85
习题	85
第 5 章 摩擦	90
§ 5.1 滑动摩擦	90
§ 5.2 摩擦角和自锁现象	92
§ 5.3 考虑摩擦时物体的平衡问题	95
§ 5.4 滚动摩擦阻的概念	99
小结 (知识结构图)	102
思考题	103
习题	103

第二篇 运 动 学

第 6 章 点的运动学	108
§ 6.1 矢量法	108
§ 6.2 直角坐标法	109
§ 6.3 自然坐标法	113
* § 6.4 柱坐标法和极坐标法	119
小结 (知识结构图)	121
思考题	122
习题	123
第 7 章 刚体的基本运动	126
§ 7.1 刚体的平行移动	126
§ 7.2 刚体绕定轴的转动	127
§ 7.3 转动刚体内各点的速度和加速度	128
§ 7.4 定轴轮系的传动比	130
§ 7.5 以矢量表示角速度和角加速度 · 以矢积表示点的速度和加速度	132
小结 (知识结构图)	134
思考题	135
习题	135
第 8 章 点的合成运动	137
§ 8.1 相对运动 绝对运动 牵连运动	137
§ 8.2 点的速度合成定理	139
§ 8.3 牵连运动为平移时点的加速度合成定理	144
§ 8.4 牵连运动为转动时点的加速度合成定理 · 科氏加速度	148
小结 (知识结构图)	157
思考题	157
习题	159

第9章 刚体的平面运动	162
§ 9.1 刚体平面运动的概念和运动分解	162
§ 9.2 求平面图形内各点速度的基点法	164
§ 9.3 求平面图形内各点速度的瞬心法	167
§ 9.4 用基点法求平面图形内各点的加速度	171
§ 9.5 运动学综合应用举例	173
小结 (知识结构图)	180
思考题	180
习题	183

第三篇 动 力 学

第10章 质点动力学的基本方程	189
§ 10.1 动力学基本定律	189
§ 10.2 质点的运动微分方程	190
§ 10.3 质点动力学的两类基本问题	191
§ 10.4 质点在非惯性坐标系中的运动	195
小结 (知识结构图)	197
思考题	198
习题	198
第11章 动量定理	201
§ 11.1 质点和质点系的动量·力的冲量	201
§ 11.2 动量定理	202
§ 11.3 质心运动定理	207
小结 (知识结构图)	213
思考题	214
习题	215
第12章 动量矩定理	218
§ 12.1 质点和质点系的动量矩	218
§ 12.2 动量矩定理	220
§ 12.3 刚体定轴转动微分方程	225
§ 12.4 刚体对轴的转动惯量	228
§ 12.5 质点系相对于质心的动量矩定理	236
§ 12.6 刚体的平面运动微分方程	238
小结 (知识结构图)	242
思考题	243
习题	244
第13章 动能定理	249
§ 13.1 力的功	249
§ 13.2 质点和质点系的动能	253

§ 13.3 动能定理·····	255
§ 13.4 功率、功率方程与机械效率·····	262
§ 13.5 机械能守恒定律·····	263
§ 13.6 动力学普遍定理的综合应用·····	267
小结(知识结构图)·····	274
思考题·····	275
习题·····	277
综合应用习题·····	281
第 14 章 达朗贝尔原理 ·····	283
§ 14.1 达朗贝尔原理·····	283
§ 14.2 刚体惯性力系的简化·····	288
§ 14.3 绕定轴转动刚体的轴承动反力·····	298
小结(知识结构图)·····	301
思考题·····	301
习题·····	302
附录 习题参考答案 ·····	306
参考文献 ·····	317

绪 论

一、理论力学的研究对象和内容

理论力学是研究物体机械运动一般规律的学科。

机械运动是指物体在空间的位置随时间的变化。例如车辆、船只的行驶，飞行体的航行，机器的运转，建筑物的振动，大气和河水的流动等等，都是机械运动，平衡则是机械运动的一种特殊运动形式。除机械运动外，物质的发声、发光、发热、化学过程、电磁现象，以至人类的思维活动、生命现象等也都是物质的运动形式。在多种多样的运动形式中，机械运动是人们在日常生活和生产实践中最常见、最普遍、也是最简单的一种运动。

本课程的研究对象是速度远小于光速的宏观物体的机械运动，它属于以伽里略和牛顿总结的基本定律为基础的经典力学的范畴。至于物体的速度接近于光速的运动，则必须用相对论的理论进行研究，而基本粒子的运动，则须用量子力学的观点才能完善地予以解释。这固然说明经典力学的局限性，但是，经过长期的实践证明，不仅在一般工程中，就是在一些尖端科学技术（火箭、宇宙航行等）中，所考察的物体都是宏观物体，运动速度也都远远小于光速，应用经典力学来解决不仅方便，而且能够保证足够的精确性，所以经典力学至今仍有很大的实用意义，并且还在不断地发展。

理论力学的内容包括以下三个部分：

静力学——研究物体在力系作用下的平衡条件，同时还研究物体的受力分析及力系简化的方法等。

运动学——用几何的观点研究物体的运动（如轨迹、速度和加速度等），而不涉及引起物体运动的物理原因（作用力和物体的质量）。

动力学——研究物体的运动状态的变化与作用力之间的关系。

二、理论力学的研究方法

科学研究的过程，就是认识客观世界的过程，任何正确的科学研究方法，一定要符合辩证唯物主义的认识论。理论力学的研究和发展也必须遵循这个正确的认识规律。

1. 通过观察生活和生产实践中的各种现象，进行无数次的科学实验，经过分析、综合和归纳，总结出力学最基本的概念和定律。如“力”和“力矩”的概念，“加速度”的概念；摩擦定律以及动力学三定律等都是在大量实践和实验的基础上经分析、综合和归纳得到的。

2. 在对事物观察和实验的基础上，通过抽象化建立力学模型。客观事物总是复杂多样的，当我们拥有大量来自实践的资料之后，必须根据所研究的问题的性质，抓住主要的、起决定作用的因素，撇开次要的、偶然的因素，深入事物的本质，了解其内部联系，建立抽象化的力学模型。这就是力学中普遍采用的抽象化方法。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。例如，在某些问题中忽略实际物体受力后的微小变形，建立形状大小均不改变的刚体模型；在另一些问

题中则忽略物体的大小和形状，得到质点的模型等等。一个物体究竟应该作为质点还是作为刚体看待，主要决定于所讨论问题的性质，而不决定于物体本身的大小和形状。例如机器上的零件，尽管尺寸不大，当要考虑它的转动时，就须作为刚体模型看待。火车的长度虽然以百米计，当我们将列车作为一个整体来研究它沿铁道线路运行的距离、速度和加速度时，却可以作为一个点来看待。即使同一个物体，随着研究问题性质的不同，有时可作为质点，有时则要作为刚体。例如地球半径为 6370km，但当研究它在绕太阳公转的轨道上的运行规律时，可以当作质点，而当考察它的自转时，却必须当作刚体。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，建立新的力学模型。例如：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，建立弹性体模型。

3. 在建立力学模型的基础上，从基本定律出发，用数学演绎和逻辑推理的方法，得出正确的具有物理意义和实用价值的定理和结论，在更高的水平上指导实践，推动生产的发展。

从实践到理论，再由理论回到实践，通过实践进一步补充和发展理论，然后再回到实践，如此循环往复，每一个循环都在原来的基础上提高一步。和所有的科学一样，理论力学正是沿着这条道路不断向前发展的。

三、学习理论力学的目的

理论力学是一门理论性较强的技术基础课。学习理论力学的目的有以下三个方面：

1. 为解决工程实际问题打好基础。工程中有些简单的机械、设备和结构的静力计算和设计，以及机构的运动分析等可以直接应用理论力学的基本理论和方法去解决，有些比较复杂的问题，例如机器的自动控制和稳定性及振动的研究等，则需要运用理论力学和其他专门知识共同来解决。所以学好理论力学有助于解决工程实际中的有关力学问题。

2. 为后继课程的学习奠定基础。理论力学是研究力学中最普遍、最基本的规律。很多工程专业的课程，例如材料力学、机械原理、机械设计、结构力学、弹塑性力学、流体力学、飞行力学、振动理论、断裂力学以及许多专业课程等，都要以理论力学为基础，所以理论力学是学习一系列后续课程的重要基础。随着现代科学技术的发展，理论力学的研究内容渗透到其他学科领域，形成了一些新的边缘学科，例如：理论力学用于研究人体的运动而形成运动力学；理论力学与固体力学、流体力学结合用来研究人体内骨骼的强度、血液流动的规律、人体的力学模型、以及植物中营养的输送问题等，形成了生物力学；此外还有电磁流体力学、爆炸力学、物理力学等等。总之，为了探索新的科学领域必须打下坚实的理论力学基础。

3. 为培养辩证唯物主义世界观和提高分析问题、解决问题的能力创造一定条件。理论力学的理论来源于实践又服务于实践，既抽象而又紧密结合实际，研究的问题涉及面广，而且系统性和逻辑性很强。这些特点，对培养我们辩证唯物主义世界观，培养逻辑思维能力和提高正确的分析问题、解决问题的能力，也起着重要作用，为今后解决生产实际问题、从事科学研究工作打下良好的基础和创造一定的条件。

第一篇 静 力 学

静力学研究刚体在力系作用下处于平衡的条件。静力学中的所谓平衡是指刚体相对于地面（惯性坐标系）保持静止或匀速直线运动的状态。可见，平衡是物体机械运动的一种特殊状态。

静力学中的研究对象是刚体。所谓**刚体**是指在力的作用下大小和形状保持不变的物体，这一特征表现为刚体内任意两点之间的距离始终保持不变。这是一个理想的力学模型，实际中并不存在。但是，如果物体受力作用时，变形很小且不影响所要研究问题的实质，就可以忽略其变形，将其视为刚体，这是一种科学的抽象，可以使运算简化。故静力学又称为刚体静力学。

力，是物体间相互的机械作用，这种作用使物体的机械运动状态发生变化。实践表明，力对物体的作用效果决定于三个要素：（1）力的大小；（2）力的方向；（3）力的作用点。故力应以矢量表示，本书中用黑体字母 $\boldsymbol{F}$ 表示力矢量，而用普通字母 F 表示力的大小。在国际单位制中，力的单位是“N”或“kN”。

静力学研究的主要问题是：

1. 物体的受力分析

分析所研究物体受有哪些力作用，以及每个力的作用位置和方向。

2. 力系的等效替换（或简化）

力系，是指作用于物体上的一群力。将作用在物体上的一个力系用另一个与它等效的力系来代替，这两个力系互为**等效力系**。力系的简化就是用一个简单的力系等效地替换一个复杂的力系。如果某力系与一个力等效，则此力称为该力系的合力，而该力系的各力称为此力的分力。研究力系的简化，可以了解力系对刚体的作用效应。

研究力系等效替换并不限于分析静力学问题，也为学习动力学奠定基础。

3. 力系的平衡条件及其应用

研究作用在物体上的各种力系所需满足的平衡条件。工程中常见的力系，按其作用线所在的位置，可以分为**平面力系**和**空间力系**两大类；又可以按其作用线的相互关系，分为**共线力系**、**平行力系**、**汇交力系**和**任意力系**。满足平衡条件的力系称为**平衡力系**。

力系的平衡条件在工程中有着十分重要的意义，是设计结构、构件和机械零件时静力计算的基础。因此，静力学在工程中有着广泛的应用。

第1章 静力学公理和物体的受力分析

§ 1.1 静力学公理

本章将阐述静力学公理，并介绍工程中常见的约束和约束反力的分析及物体的受力图。

静力学公理是人们在生活和生产实践中长期总结出来的力的基本性质，它们又经过实践的反复检验，被确认是符合客观实际的最普遍规律。这些性质无需证明而为人们所公认，并可作为证明中的论据，是静力学的理论基础。

公理1 二力平衡公理

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：这两个力的大小相等，方向相反，且作用在同一直线上。

这个公理表明了作用于刚体上最简单力系的平衡的平衡条件。对于变形体来说，这个条件是必要的，但不是充分的。例如，软绳受两个等值反向共线的拉力作用可以平衡，但若将拉力改变为压力就不能平衡了。工程上常遇到只受两个力作用而平衡的构件，称为二力构件或二力杆。根据公理1，作用于二力构件上的两力必沿两力作用点的连线，如图1-1所示。

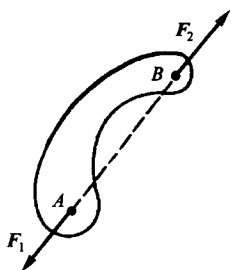


图 1-1

公理2 加减平衡力系公理

在已知力系上加上或减去任意的平衡力系，并不改变原力系对于刚体的作用。

这个公理是研究力系等效替换的理论依据。

推论 力的可传性原理

作用于刚体上某点的力，可以沿其作用线移到刚体内任意一点，并不改变该力对刚体的作用。

证明：在刚体上的点A作用一个力 F ，如图1-2(a)所示。根据加减平衡力系公理，可在力的作用线上任取一点B，并加上两个平衡力 F_1 和 F_2 ，使 $F = F_2 = -F_1$ ，如图1-2(b)所示。

由于力 F_1 和 F 也是一个平衡力系，故可除去；这样只剩下一个力 F_2 ，如图1-2(c)所示，即原来的力 F 沿其作用线移到了点B。

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。

作用于刚体上的力可以沿着作用线移动，这种矢量称为滑动矢量。

公理3 力的平行四边形法则

作用在物体上同一点的两个力，可合成为一个合力，合力的作用点仍在该点，合力的

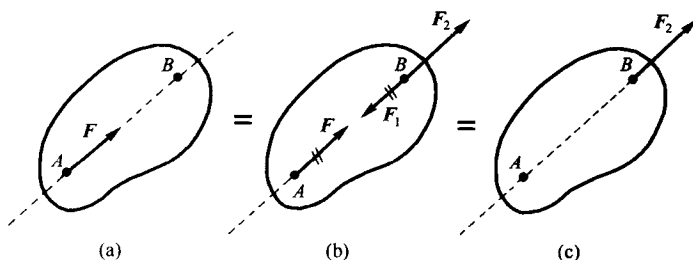


图 1-2

大小和方向，由这两个力为边构成的平行四边形的对角线确定。或者说，合力等于这两个分力的矢量和，即

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

如图 1-3 所示，此公理给出了力系简化的基本方法。

推论 三力平衡汇交定理

作用于刚体上三个相互平衡的力，若其中两个力的作用线汇交于一点，则此三力必在同一平面内，且第三个力的作用线通过汇交点。

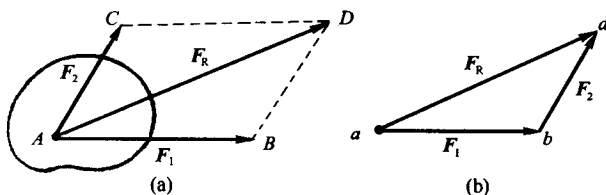


图 1-3

证明：如图 1-4 所示，在刚体的 A、B、C 三点上，分别作用

三个相互平衡的力 $\mathbf{F}_1$ 、 $\mathbf{F}_2$ 和 $\mathbf{F}_3$ 。根据力的可传性，将力 $\mathbf{F}_1$ 和 $\mathbf{F}_2$ 移到汇交点 O，然后根据力的平行四边形法则，得合力 $\mathbf{F}_R$ 。则力 $\mathbf{F}_3$ 应与 $\mathbf{F}_R$ 平衡。由于两个力平衡必须共线，所以力 $\mathbf{F}_3$ 必定与力 $\mathbf{F}_1$ 和 $\mathbf{F}_2$ 共面；且通过力 $\mathbf{F}_1$ 和 $\mathbf{F}_2$ 的交点 O。于是定理得证。

公理 4 作用与反作用定律

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。

此公理概括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，有作用力必有其反作用力，并分别作用在不同的物体上。这是分析物体间相互作用力的一条重要规律，为研究由多个物体组成的物系问题提供了理论基础。

公理 5 刚化公理

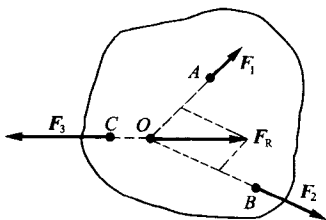


图 1-4



图 1-5

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。

此公理提供了将变形体看作刚体的条件。刚体平衡条件是变形体平衡的必要条件而非充分条件。如图 1-5 所示，绳索在等值、反向、共线的两个拉力作用下处于平衡，如将绳索刚化成刚体，其平衡状态保持不变。反之就不一定成立。如刚体在两个等值反向的压力作用下平衡。若将它换成绳索就不能平衡了。

§ 1.2 约束和约束力

一、约束和约束力

如果一个物体在空间的位移不受任何限制而自由运动，例如空中可以自由飞行的飞机，则称为**自由体**；反之，如一个物体在空间的位移受到一定的限制，例如用绳子悬挂的物体，支承于墙上而静止不动的屋架等，则称为**非自由体**。

在力学中，把这种事先对于物体的运动（位置和速度）所施加的限制条件称为**约束**。机械的各个构件如不按照适当的方式相互联系从而受到限制，就不能恰当地传递运动实现所需要的动作；工程结构如不受到某种限制，便不能承受载荷以满足各种需要。限制物体运动的其他物体则称为**约束**。约束是以物体相互接触的方式构成的，构成约束的周围物体称为**约束体**，有时也称为**约束**。例如，沿轨道行驶的车辆，轨道限制了车辆的运动，它就是约束体；摆动的单摆，绳子就是约束体，它事先限制摆锤只能在不大于绳长的范围内运动，而通常是作以绳长为半径的圆弧运动。

约束体阻碍限制物体的自由运动，改变了物体的运动状态，因此约束体必须承受物体的作用力，同时给予物体以等值、反向的反作用力，即约束对于物体的作用力称为**约束反力**或**约束力**，简称为**反力**，属于被动力。除约束反力外，物体上受到的各种力如重力、风力、切削力、顶板压力等，它们是促使物体运动或有运动趋势的力，属于**主动力**，工程上常称为**荷载**。在设计工作中，荷载可根据设计指标决定，分析、研究确定或用实验测定。

约束反力取决于约束本身的性质、主动力以及物体的运动状态。约束反力阻止物体运动的作用是通过约束体与物体间相互接触来实现的，因此它的作用点应在相互接触处，约束反力的方向总是与约束体所能阻止的运动方向相反，这是我们确定约束反力方向的原则。至于它的大小，在静力学中将由平衡条件求出。

我们将工程中常见的约束理想化，并将其归纳为几种基本类型。下面介绍几种常见的约束类型和确定约束力方向的方法。

二、几种常见类型的约束反力

1. 柔性体约束

绳索、链条和胶带等属于柔性约束。例如绳索吊住重物，如图 1-6 (a) 所示。由于绳索本身只能承受拉力，故它给物体的约束力也只可能是拉力（图 1-6b）。所以柔性体对物体的约束反力，作用在连接点或假想截割处，方向沿着柔索而背离物体。通常用 F 或 F_T 表示这类约束反力。

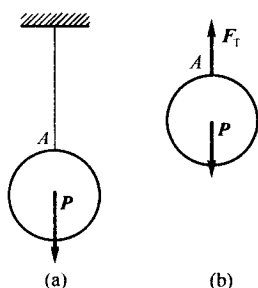


图 1-6

凡只能阻止物体沿某一方向运动而不能阻止物体沿相反方向运动的约束称为单面约束, 否则称为双面约束。柔索为单面约束。单面约束的反力指向是确定的, 而双面约束的反力指向决定于物体的运动趋势。

链条或胶带也都只能承受拉力。当它们绕在轮子上时, 对轮子的约束反力沿轮缘的切线方向 (图 1-7)。

2. 光滑接触面

两物体直接接触, 且忽略接触面间的摩擦而构成的约束, 称为光滑接触面约束。这类约束的特点是只能阻碍物体沿着接触点公法线朝向约束的位移, 而不能阻碍物体沿接触点切线方向的位移。因此, 光滑接触面的约束反力, 作用在接触点处, 方向沿着接触点的公法线而指向被约束物体。它只能承受压力, 而不能承受拉力。因约束反力沿法线方向, 故又称为法向约束反力, 一般用 F_N 表示, 如图 1-8 所示。

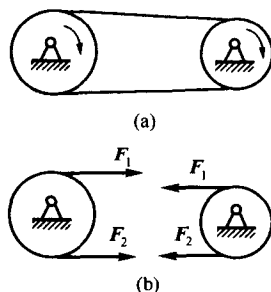


图 1-7

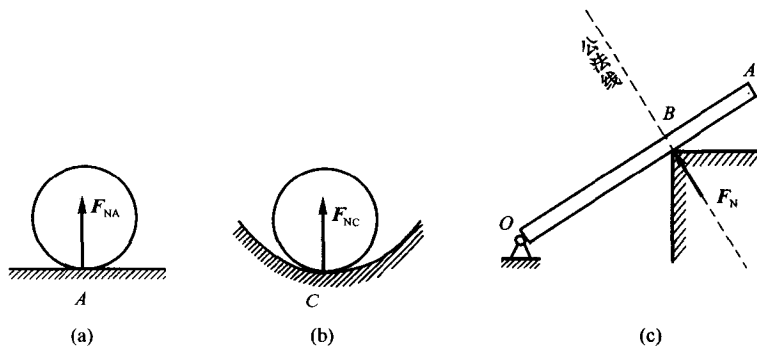


图 1-8

3. 光滑圆柱铰链约束

铰链约束是由两个带有圆孔的构件, 与圆柱销钉连接构成。若不计接触面的摩擦, 这样的铰链称为光滑圆柱铰链, 简称光滑铰链。这类约束有径向轴承、圆柱形铰链和固定铰链支座等。

(1) 径向轴承 (向心轴承)

如图 1-9 (a)、(b) 所示的轴承装置, 传动轴可以在轴承内绕轴线任意转动, 也可沿孔的中心线移动; 但是, 轴不能沿径向方向移动, 可简化成如图 1-9 (c) 所示的简图。当轴和轴承在某点 A 光滑接触时, 轴承对轴的约束反力 F_A 作用在接触点 A 处, 并且沿公法

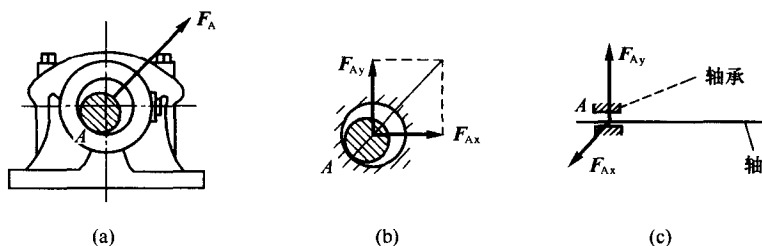


图 1-9

线指向轴心 (图 1-9a)。但是, 随着轴所受的主动动力不同, 轴和孔的接触点的位置也随之不同。所以, 当主动力尚未确定时, 约束反力的方向预先不能确定。然而, 无论约束反力朝向何方, 它的作用线必在垂直于轴线的平面内并通过轴心。这样一个方向不能预先确定的约束力, 通常可用通过轴心的两个大小未知的正交分力 F_{Ax} 、 F_{Ay} 来表示, 如图 1-9 (b) 或 (c) 所示, F_{Ax} 、 F_{Ay} 的指向可任意假定。

(2) 圆柱铰链和固定铰链支座

圆柱铰链简称铰链, 它是由圆柱形销钉将两个钻有同样大小圆孔的构件连接而构成。如图 1-10 所示。如果铰链连接中有一个物体固定在地面或机架上作为支座, 则这种约束称为固定铰链支座, 简称固定支座, 如图 1-11 所示。这类约束的特点是只能限制物体的径向移动, 即只能阻止物体在垂直于销钉轴线的平面内的移动, 不能限制物体绕圆柱销钉轴线的转动和沿圆柱销钉轴线的移动, 约束反力的特点同径向轴承, 即约束反力的作用线不能预先定出, 但约束反力在垂直于销钉轴线的平面内并通过铰链中心。故也可用两个大小未知的正交分力表示, 如图 1-10 (b)。若无须单独研究销钉的受力情况时, 可将销钉与其中任一个构件视为一体, 如 AC 构件在 C 处所承受的反力可由两个待确定的正交分力 F_{Cx} 、 F_{Cy} 表示, 则 CB 构件在 C 处承受 AC 构件的反作用力为 F'_{Cx} 、 F'_{Cy} , 如图 1-10 (b) 所示。

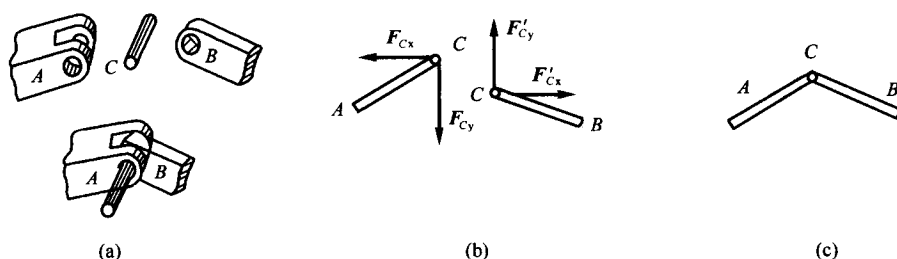


图 1-10

上述三种约束 (径向轴承、铰链和固定铰链支座), 它们的具体结构虽然不同, 但构成约束的性质是相同的, 都可表示为光滑铰链。

4. 其他约束

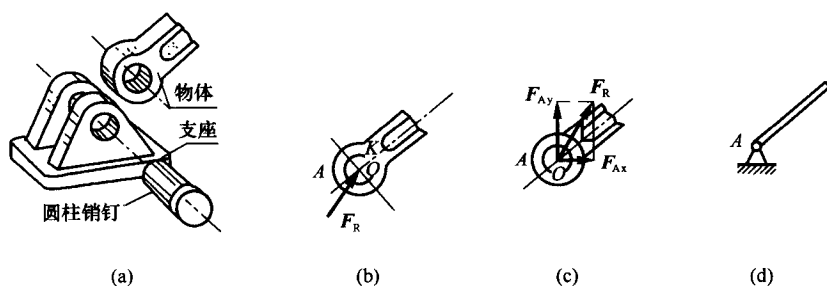


图 1-11