

YING

YONG

应

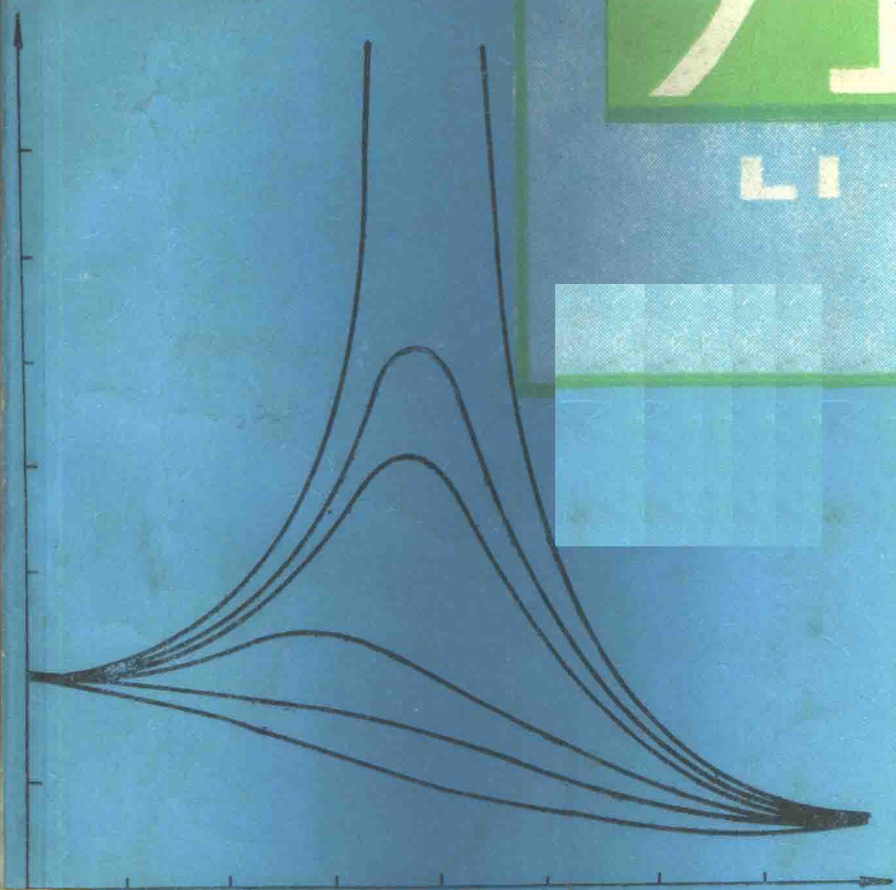
用

力

学

LI

XUE



党锡淇 主编

徐青萍 吴慧中

西安交通大学出版社

应 用 力 学

党锡洪(主编) 徐青萍 吴慧中 合编



西安交通大学出版社

内 容 简 介

本书是参照高等工科院校理论力学(中学时)教学大纲,以及自学考试大纲的要求而编写的应用力学教材。

全书包括静力学和动力学二部分。静力学按力系类型分章。动力学基本上按照质点和刚体的不同运动类型分章,且在每一章中把运动学和动力学组合在一起研究。在内容和方法上,既考虑力学的工程应用,又保证理论体系的完整性。本书适合于大专院校的学生。编写时力求适合于自学的特点和要求,每章都有提要、学习指导、小结、习题,必要时还有解题步骤和指导,难题有提示。附录中有习题参考答案,还附有阶段测试题六套及其答案,供学完每一阶段内容后自我检查学习效果。

本书可供工科大专学生、中低学时专业的本科生,以及要参加自学考试的读者使用,也可以作为电大、工大等的理论力学教材或教学参考书。

应 用 力 学

党锡洪(主编) 徐青萍 吴慧中 合编

责任编辑 刘力行

西安交通大学出版社

(西安市咸宁路28号)

西安交通大学印刷厂印装

陕西省新华书店发行 · 各地新华书店经售

开本 787×1092 1/16 印张 20.25 字数 488 千字

1986年7月第1版 1986年7月第1次印刷

印数 1—10,000 册

统一书号 13340·074 定价 3.40 元

前 言

力学已经是当今不管那一类工程技术人员必备的基础知识之一。本书——**应用力学**的目的是打算环绕力学的工程应用向读者介绍力学的基本概念和理论，以使希望进入工程领域的读者获得最基本的力学方面的知识。在内容和方法上，以适合于大专院校的学生为出发点，同时亦适当考虑中等专业学校毕业的工程师以及富有实际工作经验的工程技术人员需要。编写时参阅了自学考试大纲。

本书分成二个部份：静力学和动力学。静力学分为七章。按力系的类型分章。在整个静力学中，受力分析放在一个重要的地位。同时由于平面力系是工程上最常遇到的力系，所以自然也就成了重点。动力学分为九章，基本上按照质点和刚体的不同运动类型分章，而在同一章中把运动学和动力学的研究组合在一起。

考虑到解力学习题是掌握应用力学的必要和有效的途径，书中给出了较多的典型例题，同时附有一定数量的习题。经验证明，如果只是学习力学的一般概念和理论，而不去联系实际或解题，那么必然收效甚微。

虽然本书着眼于力学的工程应用，但也尽可能使全书内容成为一个完整的体系。书中每章之前有提要和学习指导，每章后面有小结，使读者对每章要解决的问题、方法、重点和难点做到心中有数，学完后对问题有一个明确的结论。尤其是学习指导，实系教学经验之谈，读者遇到问题时，可反复阅读、思考。

书中编入了少量带*的内容和习题，是为学习时间较充裕的读者准备的，可以理解为对大专学生是非基本要求内容。

书中所附若干套阶段测试题，供读者在学习的一定阶段作自我检测学习效果之用。

党锡洪

于西安交通大学

1986年元月10日

绪 论

§ 1 应用力学的任务

力学作为一门科学，它研究运动，力系以及由于力系作用在物体上而产生的效应。

作为**应用力学**，它主要的任务则是运用力学的原理和理论去解决通常会在工程实际中遇到的力学问题。

力学的研究，可以分为二个主要部份：(1)**静力学**；(2)**动力学**。静力学研究力的基本性质以及刚体在力系作用下的平衡条件。动力学研究质点和刚体的运动以及力作用在质点和刚体上所引起的效应。

§ 2 力学是工程师的必备知识

为了人类生产和生活等方面要求不断提高的需要，工程师们设计和制造了各种建筑物、机器、飞机以及数不清的其他种种物体。这些物体都服务于一定的目的。当需要制造一个新的物体时，工程师首先要想象它的构造和形状。接下来就要对它进行受力和运动分析：分析它受到那些力（包括已知的和未知的）的作用；分析它各个有关联的部份的运动情况。当进行这些工作时，工程师必须具备足够的力学知识并懂得运用力学原理去解决这些问题。工程师根据上述分析，可以选用满足力学强度的适当的材料，确定最后的形状和尺寸，画出设计图，之后把它制造出来。

以上简要的分析表明：力学知识是在工程领域工作的工程师必不可少的基础知识。没有或者缺少力学的基本知识和训练，要想搞好设计工作是很难设想的。

§ 3 解决力学问题的一般步骤

成功和有效地解决任何工程问题，都需要一个着手解决问题的有条理的合适的方法。这必然包含好多步骤。在解决力学问题时，下面五条可以认为是通用的一般步骤。仔细弄清每一个步骤的要求并切实加以执行，将会在解决力学问题时收到良好效果。

1. 仔细分析给定的数据，并且查明哪些是已知量和哪些是要被确定的未知量。
2. 分析所有的作用力，包括已知的和未知的。
3. 选定一个用于确定未知量的合适的办法。
4. 把求解步骤用公式表示出来。
5. 执行这些步骤，最后用一个有效的方法校核所得结果。

§ 4 解题的质量要求

由于工程领域的问题往往包含巨大的责任，所以在这方面的工作要求高标准。这些标准要求：考虑周密的计算方案；清楚的文字说明；整洁和必要的图表。在学习时就要养成这些良好的习惯。马马虎虎，乱涂乱画，将会导致差错，因而是不能容许的。

最后，说一下计算的精度问题。在很多工程问题中，通常要求有三位有效数字的精度是合适的。例如，31400 和 0.0314，都是包含了三位有效数字的数。

目 录

前 言 绪 论

§ 1 应用力学的任务	(6)
§ 2 力学是工程师的必备知识	(6)
§ 3 解决力学问题的一般步骤	(6)
§ 4 解题的质量要求	(7)

静 力 学

第一章 静力学的基本概念和公理	(1)
-----------------	-------

学习指导

§ 1-1 静力学的任务 平衡和刚体的概念	(1)
§ 1-2 力	(2)
§ 1-3 静力学公理	(3)
§ 1-4 约束和约束反力	(6)
§ 1-5 受力图	(8)

小结

习题

第二章 汇交力系	(14)
----------	--------

学习指导

§ 2-1 汇交力系合成的几何法	(14)
§ 2-2 汇交力系平衡的几何条件	(16)
§ 2-3 力的分解	(18)
§ 2-4 力的投影	(19)
§ 2-5 汇交力系合成的分析法	(21)
§ 2-6 汇交力系平衡的分析条件	(22)

小结

习题

第三章 力偶	(30)
--------	--------

学习指导

§ 3-1 力偶和力偶矩	(30)
§ 3-2 力偶的基本性质	(31)
§ 3-3 力偶矩是矢量	(32)
§ 3-4 力偶系的合成和平衡条件	(33)

小结	
习题	
第四章 平面力系	(38)
学习指导	
§ 4-1 力对点之矩	(38)
§ 4-2 力线平移定理	(40)
§ 4-3 平面力系向已知点简化 主矢和主矩	(41)
§ 4-4 平面力系简化结果的讨论	(42)
§ 4-5 平面力系的平衡条件 平面力系的平衡方程	(43)
§ 4-6 静不定问题的概念	(50)
§ 4-7 几个物体组成的系统的平衡	(51)
小结	
习题	
第五章 摩擦	(65)
学习指导	
§ 5-1 滑动摩擦	(65)
§ 5-2 摩擦角 自锁现象	(67)
§ 5-3 考虑滑动摩擦时的平衡问题	(69)
§ 5-4 滚动摩擦的概念	(73)
小结	
习题	
第六章 空间力系	(78)
学习指导	
§ 6-1 力对点之矩的矢量表示法	(78)
§ 6-2 力对轴之矩	(79)
§ 6-3 力对点之矩与对通过此点的轴之矩间的关系	(80)
§ 6-4 空间力系向已知点简化 主矢和主矩	(81)
§ 6-5 空间力系的平衡条件	(84)
§ 6-6 平行力系中心与物体的重心	(87)
小结	
习题	
*第七章 静力学的若干工程问题	(97)
§ 7-1 流体的静载荷	(97)
§ 7-2 挡壁的稳定性	(100)
§ 7-3 柔索和刚性拱架结构在集中铅垂载荷作用下的平衡	(101)
§ 7-4 柔索在沿水平分布的载荷作用下的平衡	(105)
习题	

动 力 学

第八章 动力学的基本定律	(111)
学习指导	
§ 8-1 动力学的任务.....	(111)
§ 8-2 参考坐标系.....	(112)
§ 8-3 运动的分类.....	(112)
§ 8-4 牛顿运动定律.....	(113)
§ 8-5 力学的单位制与量纲.....	(114)
§ 8-6 牛顿定律的适用范围和惯性坐标系.....	(115)
小结	
复习题	
第九章 直线运动	(117)
学习指导	
§ 9-1 直线运动中的位移、速度和加速度.....	(117)
§ 9-2 达朗伯原理.....	(123)
§ 9-3 质点作直线运动时的动态平衡.....	(124)
§ 9-4 刚体作直线平动时的动态平衡.....	(129)
小结	
习题	
第十章 曲线运动	(138)
学习指导	
§ 10-1 曲线运动中的位移、速度和加速度.....	(138)
§ 10-2 用直角坐标法研究曲线运动.....	(140)
§ 10-3 用自然法研究曲线运动.....	(142)
§ 10-4 曲线运动中的动态平衡.....	(147)
* § 10-5 弯道的超高量和车辆的标准速度.....	(150)
§ 10-6 在铅直平面内的曲线运动.....	(153)
§ 10-7 抛射体的运动.....	(155)
小结	
习题	
第十一章 转动	(164)
学习指导	
§ 11-1 转动.....	(164)
§ 11-2 转动刚体内各点的速度和加速度.....	(167)
§ 11-3 角速度矢量的概念.....	(168)
§ 11-4 定轴转动刚体惯性力系的简化.....	(169)
§ 11-5 转动惯量 平行轴定理.....	(171)

§ 11-6 转动刚体的动态平衡	(177)
§ 11-7 刚体绕定轴转动时的轴承的动反力	(183)
* § 11-8 转子的静平衡和动平衡	(184)
小结	
习题	
第十二章 点的复合运动	(192)
学习指导	
§ 12-1 点的复合运动的概念	(193)
§ 12-2 速度合成定理	(194)
§ 12-3 牵连运动为平动时加速度合成定理	(197)
* § 12-4 牵连运动为转动时加速度合成定理	(199)
* § 12-5 哥氏惯性力	(203)
小结	
习题	
第十三章 平面运动	(211)
学习指导	
§ 13-1 平面运动分解为平动与转动	(212)
§ 13-2 平面图形内各点的速度	(213)
§ 13-3 速度瞬心	(217)
§ 13-4 平面图形内各点的加速度	(220)
§ 13-5 机构运动分析	(222)
§ 13-6 平面运动刚体的动态平衡	(226)
小结	
习题	
第十四章 功能原理	(239)
学习指导	
§ 14-1 功	(239)
§ 14-2 质点的功能原理	(244)
§ 14-3 质点系功能原理	(245)
§ 14-4 功率和功率方程	(252)
小结	
习题	
第十五章 动量原理	(261)
学习指导	
§ 15-1 冲量	(261)
§ 15-2 质点动量原理	(262)
§ 15-3 质点系动量原理	(264)
§ 15-4 质心运动原理	(269)
§ 15-5 定轴转动的角动量原理	(270)

* § 15-6 动量原理和角动量原理在碰撞中的应用.....	(273)
小结	
习题	
第十六章 振动的基本理论	(283)
学习指导	
§ 16-1 自由振动.....	(283)
§ 16-2 受迫振动.....	(287)
§ 16-3 消除和抑制振动的基本途径.....	(291)
小结	
习题	
附录	(294)
阶段测试题 I	(294)
阶段测试题 II	(295)
阶段测试题 III	(297)
阶段测试题 IV	(298)
阶段测试题 V	(300)
阶段测试题 VI	(301)
习题参考答案.....	(304)
阶段测试题参考答案.....	(312)

静 力 学

第一章 静力学的基本概念和公理

本章指明静力学的任务；阐述平衡、刚体、力等基本概念和静力学公理；介绍约束的概念和受力分析的方法。本章内容是静力学的基础。

学 习 指 导

通过学习本章，要求读者掌握平衡、刚体、力等基本概念和静力学公理。会分析约束的类型并会画相应的约束反力，正确地画出受力图。

静力学的五条公理是静力学的理论基础，要逐条加以准确地理解，并在以后各章的学习中，注意如何从公理出发建立静力学各章的理论。

分析受力、画受力图是本章的重点，也是静力学乃至整个力学学习中的基本训练之一。

初学者往往不能正确地画出研究对象的受力图，也就是不会进行正确的受力分析。主要易犯以下两条错误：

1. 凭空画出不作用在研究对象上的力 例如凭主观想象有某个约束力“顶住”某个主动力以保持物体平衡，或者把不作用在研究对象上的力画在研究对象上。这里一定要明确研究对象的受力分析是只画出其他物体作用在此研究对象上的力，而每一个力必须有明确的施力物体，不能无中生有。

2. 画错约束（反）力的方向 约束力的方向应该按约束类型确定，有些约束类型能预知方向（例如柔绳，光滑平面），有些则仅能预知作用线通过某已知点（如铰链），其约束力的方向需借助平衡条件确定，受力图上先给以假定。

§ 1-1 静力学的任务 平衡和刚体的概念

静力学的任务 静力学研究力系的简化和在力系作用下刚体的平衡条件。这二个问题如果研究清楚，静力学的一切课题将能迎刃而解。

平衡 在静力学中，可以把物体处于平衡状态理解为所考虑的物体相对于地球保持静止或作匀速直线平动。例如，地面上的各种建筑物、桥梁，在直线公路上匀速行驶的汽车车厢都是处于平衡的例子。关于平衡的更完备的定义还将在动力学中进一步阐述。物体的平衡只是运动的特殊情况。平衡的规律远比运动的规律来得简单，人们在设计各种机器的部件和建

筑物的构件时，最初碰到的力学问题属于静力的分析和计算，因此平衡的规律最先为人们所掌握，也由此可见静力学在工程技术上的重要性。

刚体 经验表明，任何物体在受到力的作用时，都将发生不同程度的变形。例如列车驶过铁桥，桥墩发生压缩变形，桥梁发生弯曲变形，等等。有时候变形非常微小，以至于只有用精密的仪器来测量才能发现。例如机床在高速切削时，主轴以及其他各传动轴的最大挠度不允许超过轴承间距离的 0.0002，最大扭转角在 20—25 倍直径的长度内不超过 1 度，轴承处的最大倾角不超过 0.06 度。由于在很多情况下物体的变形对于研究平衡问题的影响很小，成为次要因素，在研究这类物体平衡时，变形就可以略去不计。因此，在静力学中引入刚体的概念。所谓刚体是指无论受到怎么样的力的作用，形状都不会改变的物体。或者说，刚体是指在任何情况下，物体内部任意二点间距离都不会改变的物体。显然，刚体是根据物体变形对所研究的问题影响很小这一客观事实而建立的一个力学模型。如果在所研究的问题中，变形确是次要的因素而可略去不计，则将物体看成刚体会大大简化物体平衡条件的研究。以后我们将会看到，对于不能忽略变形的物体——变形体的平衡问题的研究，也都是以刚体静力学的研究为基础的。

§ 1-2 力

力的定义 当人们推动某一物体使它的运动状态发生改变时，由本身筋肉的紧张感觉而产生了最初的力的概念。继而从观察自然界一系列现象，例如行星绕太阳运动，物体向地面坠落等中领悟到力的作用。

牛顿在他著名的第一运动定律中写道：任何物体都保持静止或匀速直线运动状态，直到其他物体所作用的力迫使它改变运动状态为止。可见，力是物体间的一种作用（称机械作用），其结果使这些物体的运动状态发生改变（包括变形）。

作用力和反作用力 牛顿的第三运动定律指出：当甲物体对乙物体有作用力的同时，也受到来自乙物体的反作用力，作用力与反作用力大小相等、沿同一直线而方向相反。从这个定律可以看到，力不能单独存在，它们总是成对的。

接触力和非接触力 一个物体对于另一个物体施加力时，可以通过接触的方式，也可以通过非接触的方式。即力可以分为接触力和非接触力。例如，由肌肉产生的推力或者拉力，作用在蒸汽机活塞上的蒸汽推力等都是接触力。地球作用于物体的重力、磁力等则属于非接触力。

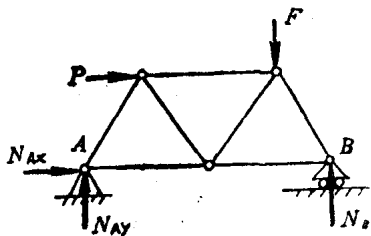


图 1-1

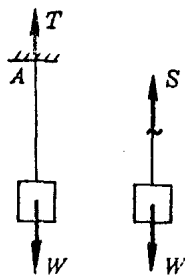


图 1-2

外力和内力 一物体受到其他物体作用的力称为此物体的外力，物体内部各个部份相互作用的力则称为此物体的内力。例如图 1-1 所示的构架在图示各个外力作用下，各杆件内部就产生内力，又例如悬挂重物的绳子（图 1-2）内部也存在内力 S 。这些内力的存在是很显然的，如果割断图 1-1 中的一个杆件或图 1-2 中的绳子，由于

内力消失,平衡将立即破坏。

主动力和约束(反)力 外力又可进一步区分为主动力和约束力。重力、风力和水的压力、以及所有使物体主动地运动的力都是**主动力**。结构支承所作用的力都是约束反作用力,简称**约束反力**或**约束力**。图1-1中的 P 和 F 是主动力, N_A, N_B 和 N_C 是约束反力。图1-2中的 W 是主动力, T 是约束反力。

集中力和分布力 由于实际的力总是通过具有有限强度的材料产生,所以这些力总要分布在材料的某个面积上。但是,倘若力的作用面积比较小,以致把它看成一个点时对所考虑的实际目的仅有微不足道的影响,我们就把这个力当成作用在一个点上的**集中力**。如果力作用的面积大,就应如实地作为**分布力**。堆在仓库里的货物对于地板的压力,建筑物承受到的风压;容器底部和侧壁受到的水压等都是分布力的例子。

力的效应 分外效应和内效应。**外效应**是指力对于物体平衡或运动的影响;**内效应**是指力对物体变形的影响。本书只讨论外效应。内效应将是材料力学讨论的课题。

力的矢量 一个用大小就能说明白的量,称为**标量**。例如长度、时间、质量等都是标量。如果在确定一个量时,不仅要说明其大小,同时要说明其方向并按矢量加法进行运算的,就称为**矢量**。由于力对物体的作用取决于三个要素,即力的大小、方向和力的作用点,所以力是一个有大小和方向的物理量——力是矢量。本书中,代表矢量的字母,例如力 F 用黑体表示。在图中,则用一带箭头的线段表示力。必要时,可用线段的长度按选定的比例表示力的大小,线段的方位和箭头则表示力的方向。而力的作用点,一般则以线段的起点或终点表示(图1-3)。

力的单位 在国际单位制中,力的单位是**牛顿(N)**。工程上曾采用工程单位制,力的单位是**公斤力(kgf)**。它们的换算关系是

$$1(\text{kgf}) \approx 9.8(\text{N})$$

力系 通常物体会受到一群力的同时作用,这一群力就称为**力系**。如果作用在某一刚体上的力系可用另一力系来代替(简化),而不改变刚体在原力系作用下的运动状态,则此二力系称为**等效力系**。若一个力与一个力系等效,这个力就称为这个力系的**合力**。一般说来,一个物体在某力系作用下不一定处于平衡状态。在特殊情形下,物体在某一力系作用下能保持平衡状态不变,则这一力系称为**平衡力系**。

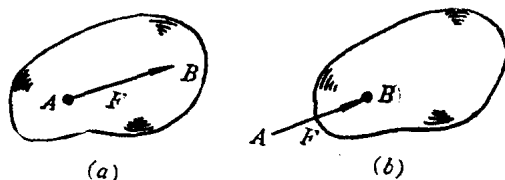


图 1-3

§ 1-3 静力学公理

静力学可以用下述五个公理作为基础。这些公理是人们在实践中,对处于平衡和运动的物体进行了无数次观察和实验,而后得出的关于力的基本性质的概括和总结。

公理1 (两力平衡公理) 如果一个刚体只受到两个力作用,当而且仅当这两个力大小相等、方向相反、沿同一直线(简称这两个力等值、反向、共线)时,刚体处于平衡。

这条公理总结了由两个力组成的最简单力系的平衡条件。它是论证力系平衡条件的基础。必须注意,公理1只适用刚体。

公理2 (加减平衡力系公理) 可以在作用于刚体的力系上添加或取去平衡力系,而不

改变原力系对刚体的作用。

公理 2 是力系简化的理论基础。它表明,彼此相差平衡力系的两个力系是等效的。

公理 2 只适用于刚体。对于形变体,增减平衡力系将会影响物体的变形,甚至引起物体的破坏。

根据上述公理,我们可以导出作用在刚体上之力的一项重要性质——力的可传性。

推论(力的可传性) 作用在刚体上的力,可沿其作用线在刚体内(或在刚体延拓部分)任意移动,而不改变此力对刚体的作用,

证明 设力 F 作用于刚体上的 A 点(图 1-4(a)),今在此力作用线 LL' 上任取一点 B ,在 B 点添加两个沿 LL' 线的、方向相反的力 F_1 和 F_2 ,且令 $F_1 = F_2 = F$ (图 1-4(b))。根据公理 1 知道, F_1 和 F_2 构成平衡力系,因而根据公理 2 添加此两力后的力系(F, F_1, F_2)与原来的力 F 等效。另一方面,由于 F_2 和 F 等值、反向、共线,也构成平衡力系,故又可以从力系(F, F_1, F_2)中除去,这样就只剩下力 F_1 。由此证明了 F 与 F_1 等效,而力 F 的作用点已由 A 沿其作用线移至 B 点(图 1-4(c))。由于力可沿其作用线移动而不改变其对刚

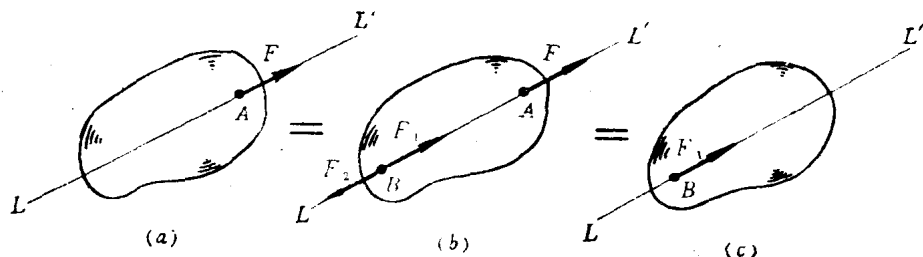


图 1-4

体的作用,力在刚体上被称为是滑动矢量。

公理 3 (力的平行四边形公理) 作用于物体上同一点 A 的两个力 F_1 和 F_2 的合力 R 也作用在 A 点,其大小与方向由以 F_1 和 F_2 为边所作的平行四边形的对角线表示(图 1-5)。

即可以写成按矢量加法运算的公式

$$R = F_1 + F_2$$

公理 2 和公理 3 是研究力系的简化和力的分解的基础。

推论(三力平衡定理) 若刚体受三个力作用(设其中二力作用线相交于一点)而处于平衡,则这三个力必在同一平面内,且它们的作用线必定汇交于一点。

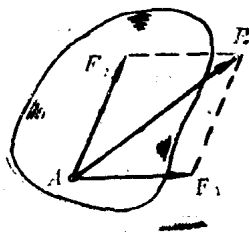


图 1-5

证明 设图 1-6(a)所示刚体在 F_1 、 F_2 和 F_3 三个力作用下处于平衡,且这三个力中, F_1 和 F_2 的作用线交于 B 点。按力的可传性,将 F_1 和 F_2 分别沿各自的作用线移到 B 点,并按平行四边形公理将 F_1 和 F_2 合成为一个作用于 B 点的合力 R (图 1-6(b))。这样,刚体就在 R 和 F_3 两个力作用下处于平衡。由公理 1 知, R 与 F_3 必须共

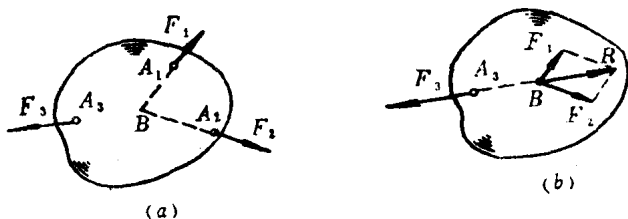


图 1-6

线。由于 R 的作用线通过 B 点且与 F_1 和 F_2 在同一平面内，所以 F_3 的作用线也必定通过 B 点且与 F_1 和 F_2 在同一平面内。定理由此得证。

应当指出，三个力汇交（当其中二力相交时）是三个力作用时平衡的必要条件而非充分条件^[1]，因为任意三个作用在同一平面内且相交于一点的力，显然不一定是平衡的。

公理 4（作用与反作用公理） 当甲物体对乙物体有作用力的同时，甲物体也受到来自乙物体的反作用力；作用力与反作用力大小相等、方向相反、沿同一直线。

由公理 4 可知，力总是成对出现的，有作用力必有反作用力。例如图 1-7(a) 所示物体 A 受到地球的引力 G ，同时物体 A 也必定以引力 G' 作用于地球， G 与 G' 等值、反向、共线。

应该注意，作用力与反作用力是作用在不同物体上的两个力；因此不可错误地引用公理 1，认为作用力与反作用力构成平衡力系。例如图 1-7(b) 中， T 和 G 是作用在同一物体 A 上的两个等值、反向、共线的力，符合二力平衡公理，所以 T 和 G 构成平衡力系。而 G 和 G' 是分别作用在重物 A 和地球上的一对作用力与反作用力， T 和 T' 是分别作用在重物 A 和绳索上的一对作用力与反作用力，它们不构成平衡力系。

公理 4 是由研究一个物体的平衡问题过渡到研究几个物体组成的“物体系统”的平衡问题的桥梁。

公理 5（刚化公理） 当变形体在某力系作用下处于平衡状态时，如假想这变形体为刚体，则此假想刚体在该力系作用下仍将保持平衡。

例如，绳 AB 在 F_1 和 F_2 作用下处于平衡（图 1-8(a)）。现将绳 AB 假想为一不变形的刚杆 AB ，则此刚杆在 F_1 和 F_2 作用下仍平衡（图 1-8(b)）。

既然将平衡的变形体“刚化”成刚体后，此刚体仍保持平衡，可见，变形体平衡时必须满足刚体的平衡条件。但须注意，刚杆在图 1-9 所示之两个等值、反向、共线的力 F_1 和 F_2 作

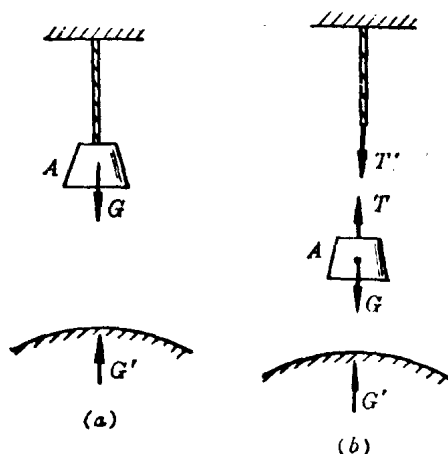


图 1-7

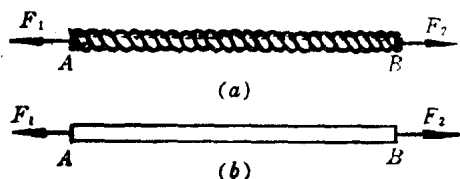


图 1-8

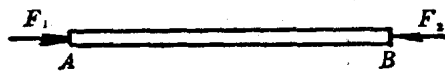


图 1-9

用下虽能平衡，而绳在这样两个力作用下却不能平衡。可见，刚体的平衡条件是变形体平衡

(1) **充分条件**：甲、乙二事件，如甲成立时，乙必定成立，称甲为乙的充分条件，但甲不成立，乙却不一定不成立。**必要条件**：甲不成立时，乙必定不成立，称甲为乙的必要条件。但甲成立时，乙却未必一定成立。根据充分条件和必要条件的涵义，读者可自行论证：若甲为乙的必要条件，则乙必为甲的充分条件。

的必要条件，但不是充分条件。

公理 5 建立了刚体静力学和变形体静力学之间的联系。

§ 1-4 约束和约束反力

有些物体，它们在空间的位移不受任何限制，例如，空中的气球和飞行中的火箭等。而有些物体，由于受到与之联接或接触的其它物体的限制，以致在空间的位移受到一定的限制，例如，放在光滑桌面上的书不可能沿铅直方向向下运动；受铁轨限制的机车只能沿轨道运动等。我们称可以在空间有任意位移的物体为**自由体**；位移受到限制的物体为**非自由体**。那些限制非自由体位移的周围物体称为该非自由体受的**约束**。例如上述例子中，桌面是书的约束，铁轨是机车的约束等。

既然约束阻碍物体某些方向的位移，那么，当着物体沿约束所能阻碍的方向有运动趋势时，物体对约束就有力作用。同时，约束也对物体有反作用力以阻碍物体的运动。我们称约束作用于被约束物体的力为**约束反作用力**或**约束反力**，简称**反力**。

约束反力往往是未知的。在静力学中，约束反力的大小要根据平衡条件决定。至于约束反力的方向，则总是与约束所能阻碍的位移方向相反。当着约束能阻碍物体多个方向的位移时，其约束反力的方向也不能预知，需要根据平衡条件来决定。

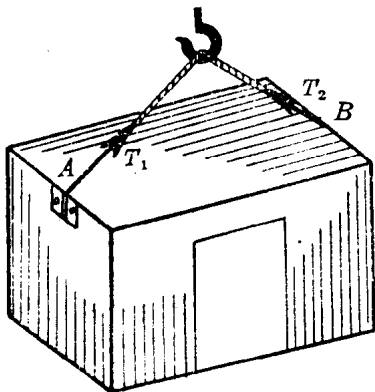


图 1-10

正确地确定约束反力的方向，在解决静力学问题时起着非常重要的作用。下面讨论几种常见约束的约束反力。

(1) **柔软且不可伸长的绳索（包括链条、胶带）约束** 由于绳索只能阻碍物体沿绳索伸长方向的位移，所以绳索约束反力的方位沿绳索本身，指向背离物体，使物体受拉力。

例如图 1-10 所示，用绳索吊起一重物，绳索作用于重物的约束反力为沿绳索而指向背离重物的拉力 T_1 和 T_2 。

(2) **光滑接触面约束** 光滑接触面不能阻碍物体沿接触表面切线方向的位移，它只能阻碍物体沿接触点公法线朝向约束的位移。所以，光滑接触面的约束反力必沿着接触点的公法线而指向物体。例如图 1-11 所示的 N 和图 1-12 所示的 N_A 和 N_B 。

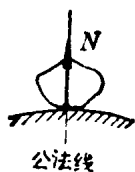


图 1-11

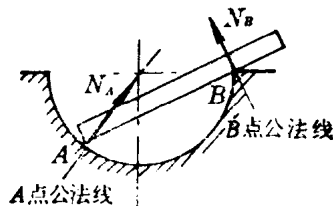


图 1-12