



普通高等教育“十二五”规划教材

G 工程力学

ONGCHENG LIXUE

◆主编 李继明 马剑 王亮



中国地质大学出版社
ZHONGGUO DIZHI DAXUE CHUBANSHE

工 程 力 学

GONGCHENG LIXUE

主 编	李继明	马 剑	王 亮
副主编	蔡小玲	陈永峰	刘书君
	赵岱峰	徐田娟	赵学凯
	于 森		

 中国地质大学出版社

4E

内容简介

本书主要介绍工程力学的基础理论及其应用。全书由绪论和13章内容组成,即绪论、静力学基础及物体的受力分析、平面汇交力系、力矩与平面力偶系、平面任意力系、轴向拉伸与压缩、剪切和挤压、圆轴的扭转、弯曲内力、弯曲应力、弯曲变形、应力状态及强度理论、组合变形、压杆稳定。每章后有思考题、习题,并在书后附有部分习题答案。

本书可作为高等学校工程管理、建筑学、城市规划、交通工程等专业工程力学课程的教材,也可供高职高专院校与成人高校师生及有关工程技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

工程力学/李继明,马剑,王亮主编. —武汉:中国地质大学出版社,2013.7
ISBN 978-7-5625-3091-6

I. ①工…

II. ①李… ②马… ③王…

III. ①工程力学-高等职业教育-教材

IV. ①TB12

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2013)第 161547 号



工程力学

李继明 马 剑 王 亮 主 编

责任编辑:谌福兴

选题策划:庞 晏

责任校对:李谷雪

出版发行:中国地质大学出版社(武汉市洪山区鲁磨路388号)

邮政编码:430074

电话:(010)82967039 传真:(010)82967037

E-mail:bxbook88@163.com

经销:全国新华书店

<http://www.zgbook88.com>

开本:787 mm × 1 092 mm 1/16

字数:391 千字 印张:15.25

版次:2013 年 7 月第 1 版

印次:2013 年 7 月第 1 次印刷

印刷:北京经大印刷有限公司

印数:1—5 000 册

ISBN 978-7-5625-3091-6

定价:37.00 元

如有印装质量问题请与印刷厂联系调换

TB12
230

前 言

工程力学是高等学校各工科相关专业的重要专业基础课，该课程内容丰富，理论严谨，实用性强，同时也是结构力学、弹性力学、钢筋混凝土、钢结构等后继课程的理论基础，并在许多工程技术领域中有着广泛的应用。

工程力学是一门与工程实际有着密切联系的学科。近年来，随着教育的不断深入发展，课程内容、体系、学时等各种因素也在不断变化。本书主要介绍静力学及材料力学的基础理论及其应用。全书在取材上，突出工程力学的基本内容，以必需、够用为度；在编写上，根据教学实际需要，根据教学实际需要，注重理论联系实际，适当简化推导过程，并插入大量例题，以突出应用性，每章后还附有思考题和习题，帮助学生巩固所学内容。书中文字力求通俗易懂、简单明了，尽可能使学生在有限的时间内掌握更多的内容，为专业课程的学习打好基础。

由于编者水平有限，书中不足之处在所难免，敬请读者批评指正。

编 者

2013 年 7 月



目 录

绪 论	(1)
第一章 静力学基础及物体的受力分析	(4)
第一节 力和力系的基本概念	(4)
第二节 静力学基本公理	(5)
第三节 力的合成与分解	(8)
第四节 约束与约束反力	(8)
第五节 受力分析与受力图	(12)
小 结	(15)
思考题	(16)
习 题	(17)
第二章 平面汇交力系	(19)
第一节 平面汇交力系的基本概念	(19)
第二节 力在坐标轴上的投影	(20)
第三节 平面汇交力系的合成	(21)
第四节 平面汇交力系的平衡条件	(23)
小 结	(27)
思考题	(27)
习 题	(28)
第三章 力矩与平面力偶系	(31)
第一节 力矩的概念及合力矩定理	(31)
第二节 力偶与力偶的性质	(33)
第三节 平面力偶系的合成与平衡	(35)
小 结	(37)
思考题	(38)
习 题	(38)
第四章 平面任意力系	(41)
第一节 平面任意力系的基本概念	(41)

第二节 力线平移定理	(42)
第三节 平面任意力系向平面内一点的简化	(43)
第四节 平面任意力系的平衡	(48)
第五节 物体系统的平衡	(52)
小 结	(56)
思考题	(57)
习 题	(59)
 第五章 轴向拉伸与压缩	(62)
第一节 轴向拉伸与压缩的基本概念	(62)
第二节 轴向拉压杆的内力计算	(63)
第三节 轴向拉压杆的应力与变形计算	(66)
第四节 材料在拉伸和压缩时的力学性能	(74)
第五节 强度条件和许用应力	(79)
第六节 应力集中的概念	(85)
小 结	(86)
思考题	(86)
习 题	(87)
 第六章 剪切和挤压	(90)
第一节 剪切和挤压的基本概念	(90)
第二节 剪切和挤压的实用计算	(92)
小 结	(94)
思考题	(95)
习 题	(95)
 第七章 圆轴的扭转	(96)
第一节 扭转的基本概念	(96)
第二节 圆轴扭转时的内力和应力	(97)
第三节 圆轴扭转强度和刚度条件	(103)
小 结	(108)
思考题	(108)
习 题	(109)
 第八章 弯曲内力	(111)
第一节 平面弯曲的概念	(111)
第二节 梁的内力——剪力和弯矩	(113)
第三节 剪力方程和弯矩方程、剪力图和弯矩图	(116)



第四节 剪力、弯矩与载荷集度之间的关系及其应用	(120)
小 结	(126)
思考题	(126)
习 题	(127)
第九章 弯曲应力	(129)
第一节 梁的弯曲正应力	(129)
第二节 梁弯曲时的正应力强度条件	(134)
第三节 梁的弯曲剪应力	(136)
第四节 梁的弯曲剪应力强度条件	(139)
第五节 提高梁抗弯能力的措施	(142)
小 结	(145)
思考题	(145)
习 题	(145)
第十章 弯曲变形	(149)
第一节 弯曲变形的基本概念	(149)
第二节 积分法求梁的变形	(150)
第三节 叠加法求梁的变形	(153)
第四节 梁的刚度条件与提高梁刚度的措施	(157)
小 结	(158)
思考题	(158)
习 题	(159)
第十一章 应力状态及强度理论	(161)
第一节 应力状态的概念及其分类	(161)
第二节 平面应力状态分析	(163)
第三节 三向应力状态与广义胡克定律	(168)
第四节 强度理论及其应用	(171)
小 结	(175)
思考题	(176)
习 题	(176)
第十二章 组合变形	(179)
第一节 组合变形的概念	(179)
第二节 斜弯曲	(180)
第三节 拉伸(压缩)与弯曲组合变形	(183)
第四节 偏心压缩与截面核心	(185)



第五节 弯曲与扭转组合变形	(194)
小 结	(196)
思考题	(197)
习 题	(198)
第十三章 压杆稳定	(202)
第一节 压杆稳定的概念	(202)
第二节 细长压杆的临界力	(203)
第三节 压杆的临界应力	(206)
第四节 压杆的稳定计算	(209)
第五节 提高压杆稳定的措施	(212)
小 结	(214)
思考题	(214)
习 题	(214)
附录 型钢规格表	(217)
部分习题答案	(231)
参 考 文 献	(236)



绪 论

一、工程力学的研究内容和任务

1. 工程力学的研究内容

工程力学是研究实际工程中的力学问题，并将力学原理应用于工程技术领域的科学。工程力学作为高等学校各工科专业的一门课程，涵盖了静力学和材料力学两部分的主要内容。

工程中各种各样的建筑物、机械等都是若干构件（或零件）按照一定的规律组合而成的，称为结构。结构和构件都是肉眼能分辨的，并且相对于地球静止或以速度小于光速而运动的宏观物体，它们就是工程力学的研究对象。

物体在空间的位置随时间的改变，称为机械运动。工程力学所研究的机械运动主要有两大类。一类是研究物体相对于地球静止或匀速直线运动，即物体的平衡状态。刚体静力学研究物体平衡时作用力所应满足的条件，同时也研究物体受力的分析方法，以及力系简化的方法。另一类是研究物体运动的速度、加速度和轨迹以及物体的受力和运动之间的关系。

2. 工程力学的研究任务

机械运动具有相对性。因此，在研究一个物体运动时，必须选定一个物体作为参照体。在绝大多数工程问题中，都把地球称为参照体。平衡是机械运动的特殊情况，作用于物体上的诸力必须满足一定条件，物体才能处于平衡状态。根据这种平衡条件，可以由物体上的已知力求出未知力，这一过程称为静力分析。对处于平衡状态的物体进行静力分析是工程力学的一项任务。

当作用于物体上的力不满足平衡条件时，物体将改变其原有的静止或运动状态。研究物体运动时其位置变化的规律——轨迹、速度和加速度等，建立物体的运动状态的变化与作用于其上力之间的关系是工程力学的又一项任务。

工程结构和构件受力作用而丧失正常功能的现象，称为失效。在工程中，要求构件不发生失效而能安全正常工作，其衡量的标准主要有以下三个方面：

- (1) 不发生破坏（屈服或断裂），即具有足够的强度；
- (2) 发生的变形在工程容许范围内，即具有足够的刚度；
- (3) 不丧失原来形状下的平衡状态，即具有足够的稳定性。

工程力学的另一项任务是研究构件的强度、刚度和稳定性问题，提供有关的理论方法和实验技术，合理确定构件的材料和形状尺寸，达到安全和经济美观的要求。

二、工程力学的研究方法

工程力学的研究方法有理论方法、试验方法和计算机分析方法。在力学学科发展的同

时,形成了一种“善于从错综复杂的自然现象、科学实验结果和工程技术实践中抓住事物的本质,提炼成力学模型,采用合理的数学工具,分析掌握自然现象的规律,进而提出解决工程技术问题的方案,最后再和观察或实验结果反复校核直到接近为止的科学研究方法”。培养这种科学思维和研究方法,其重要性绝不亚于获取力学知识本身。

进行现场观察和实验是认识力学规律的重要实践性环节。将实践过程中所得结果,利用抽象化的方法,加以分析、归纳、综合,可得到一些最普遍的公理或定律,再通过严格的数学推演,可得到运用于工程的力学公式。学习工程力学,并不要求去重复经历力学的发展过程,而是要深刻理解工程力学中已被实践证明是正确的基本概念和基本定律,这些是力学知识的基础,由基本概念和基本定律导出的工程力学定理和公式,必须熟练掌握。演算一定数量的习题,把学到的理论知识不断运用到实践中去,是巩固和加深理解所学知识的重要途径。

自然界与各种工程中涉及机械运动的物体有时是很复杂的,工程力学研究其机械运动时必须忽略一些次要因素的影响,对其进行合理的简化,抽象出研究模型。研究不同的问题,采用不同的力学模型,是研究工程力学问题的重要方法。由于计算机的飞速发展和广泛应用,除传统的力学研究方法(理论方法和实验方法)外,又增加了一种新的研究方法,即计算机分析方法。对于一些较为复杂的力学问题,人们可以借助于计算机推导那些难于导出的公式,利用计算机整理数据、绘制实验曲线、显示图形等。由此可以展望,力学加电子计算机将成为工程设计的新的主要手段。

三、工程力学的基本概念

1. 刚体的概念

生活实际和工程实践表明,任何物体受力作用后,总会产生一些变形。但在通常情况下,绝大多数物体(如结构、构件或零件)的变形都是很微小的。研究证明,在某些情况下,这种微小的变形对改变物体的运动位置或者物体的运动状态来说影响是很微小的,在计算中大多可以忽略不计,即不考虑力对物体作用时物体产生的变形而认为物体的几何形状保持不变。这种在受力作用后能保持原有形状而不产生变形的物体称为刚体。刚体是对实际物体经过科学的抽象和简化后而得到的一种理想模型,在自然界几乎不存在。对刚体而言,当其受到力的作用后,只会发生运动位置或者运动状态的改变而不会产生形状的改变。反过来,如果变形在所研究的问题中成为主要问题时(如在后面研究变形杆件在外力作用下产生的变形、应力等问题),刚体的概念就不再适用,当然就不能再把物体看做是刚体了,此时就应该把物体视为变形物体了。

2. 平衡的概念

所谓平衡,是指物体在各种力的作用下相对于惯性参考系处于静止或做匀速直线运动的状态。在一般工程技术问题中,平衡常指物体相对于地球而言保持静止或作匀速直线运动。例如,静止在地面上的房屋、路桥工程中的桥梁、水利工程中的水坝等建筑物或构筑物,相对于地球而言均保持静止;在直线轨道上匀速行驶的火车,相对于地球而言,则是在作匀速直线运动。这些都是物体在各种力作用下处于平衡的状态。显然,平衡是机械运动的特殊状态,因为静止是暂时的、相对的、有条件的,而运动才是永恒的、绝对的、无条件的。

3. 变形体的概念

与刚体相对应,变形体是指在受力作用后可以产生变形的物体。在各种实际的工程结构中,构件或者杆件受到外力作用后,或多或少都在发生变形,即其形状和尺寸总会有所改变。这些改变,有些可以直接观察到,有些则需要通过仪器才能测出。由于物体具有这种可变形的性质,所以有时又称其为变形体。例如,房屋结构中的柱子,在柱顶压力的作用下会有所缩短;大梁在受横向力作用后会产生微弯;钢板的连接部分,在钢板受力作用后,会产生错动,这些都是变形体的实例。但是,应当指出,上面所说的这些变形,相对于物体本身的尺寸来说,事实上都是非常微小的。在进行受力计算时,经常先不予考虑,只是在需要知道变形时才对其进行计算。

变形体在外力作用下产生的变形,就其变形的性质可以分为弹性变形和塑性变形。所谓弹性,是指变形物体在外力撤除后能恢复其原来形状和尺寸的性质。例如,弹簧在拉力作用下会伸长,如果拉力不太大,则当撤除拉力后,弹簧能恢复原状,这表明弹簧具有弹性。弹性变形是指变形物体上的变形,在外力撤除后可消失的变形。如果撤除外力后,变形不能全部消失而留有残余,此残余部分就称为塑性变形或称残余变形。

撤除外力后能完全恢复原状的物体,称为理想弹性变形体或称理想弹性体。实际上,在自然界并不存在理想弹性体,但通过实验研究表明,常用的工程材料(如金属、木材等),当外力不超过某一限度时(称为弹性阶段),很接近于理想弹性体,这时,可以将它们近似地视为理想弹性体;如果外力超过了这一限度,就会产生明显的塑性变形(称为弹塑性阶段)。

4. 变形杆件

工程构件中最常见的是一个方向的尺寸远大于其他两个方向尺寸的构件,这种构件称为杆件,如悬臂吊中的拉杆和横梁,机器中的齿轮、传动轴,连接件中的铆钉等。

杆件的几何形状可以用一根轴线和垂直于轴线的几何图形(称为横截面)来表示。轴线为直线的杆件称为直杆,横截面不变的直杆称为等直杆。材料力学研究的主要对象是杆件,而且多为等直杆。

杆件受力后,其变形的基本形式有4种:拉伸和压缩;剪切;扭转;弯曲。其他复杂的变形形式是两种或两种以上基本变形的组合,称为组合变形。第五章以后的各章中将分别进行讨论。

四、学习工程力学的方法

工程力学理论性强,同时又密切接触工程实际。因此,要求读者具备较好的数学物理基础,并需要对力学模型的工程背景有较多的认识。学生在学习工程力学时,除了认真听课和精读课本基本内容外,还要注意观察周围工程实际构件,并多做练习题,这对消化、掌握课程的基本概念、基本理论、基本方法至关重要。初学工程力学的人,往往觉得理论好懂,习题难做,这主要是对工程力学研究对象和研究问题的进一步深入认识不足。为了能解决实际问题,就需要多做包括实验操作的练习。

工作和生活中会遇到更多的工程力学知识,可参看相关的资料和书籍。

第一章 静力学基础及物体的受力分析



学习目标

- ◇ 掌握力和力系的基本概念。
- ◇ 熟悉静力学的几个公理。
- ◇ 熟悉几种常见约束的特点及其约束反力的形式。
- ◇ 掌握对物体系统进行受力分析和画受力图的步骤及注意事项。

第一节 力和力系的基本概念

一、力的概念

力是物体间的相互作用,这种作用使物体的运动状态发生变化。力对物体产生的效果一般有两方面:一是使物体的运动状态发生改变,如地球对月球的引力不断地改变月球的运动方向而使之绕地球运转;二是使物体产生变形,如作用在弹簧上的拉力使弹簧伸长。前者称为力的外效应,后者称为力的内效应。

实践证明,力对物体的作用效应取决于力的三个要素:力的大小、方向、作用点。在国际单位制及我国法定计量单位制中力的单位是牛顿(N)。

力是矢量,可以用一个带箭头的线段来表示力的三个要素,如图1-1所示。线段的起点(或终点)表示力的作用点,线段的方位和箭头指向表示力的方向,线段的长度按一定的比例尺表示力的大小。本书中,力的矢量用黑体字母表示,如图1-1中的力 $\mathbf{F}$,而用普通字母 F 表示力 $\mathbf{F}$ 的大小。

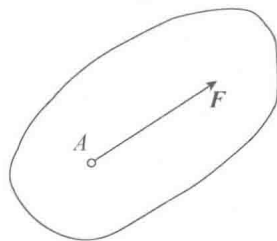


图1-1

需要指出的是,力的作用点是力的作用位置的抽象化。实际上力的作用位置一般来说并不是一个点,而是作用于物体的一定面积上。当作用面积很小时,可将其抽象为一个点,称为力的作用点。将作用于物体某个点上的力称为集中力。通过力的作用点代表力的方位的直线称为力的作用线。如果力的作用面积较大,不能抽象为点时,则将作用于这个面积上的力称为分布力。分布力的作用强

度用单位面积上力的大小 q (N/cm^2) 来度量, 称为载荷集度。

二、力系的概念

作用在物体上的一群力称为力系。如果一个力系对物体的作用是使物体处于平衡状态, 则此力系称为平衡力系。一个力系只有在满足一定条件的情况下才能成为平衡力系, 此条件称为力系的平衡条件。若两个力系分别作用于一个物体上时其作用效应相同, 就说这两个力系是等效力系。如果一个力和一个力系等效, 则称这个力是力系的合力, 而将力系中的各个力称做合力的分力。

有时, 作用于物体上的力系十分复杂。为便于分析讨论, 需将复杂力系用一个等效的简单力系或是一个等效的力来代替。求与复杂力系等效的简单力系 (或力) 的过程称为力系的简化。力系的简化是静力学中理论推导的主要方法。

按力系中各力作用线的分布情况, 可将力系进行分类。诸力作用线共面的力系为平面力系, 否则为空间力系。各力作用线汇交于一点的, 称为汇交力系; 各力作用线相互平行的, 称为平行力系; 各力作用线任意分布的, 称为任意力系, 或一般力系。

第二节 静力学基本公理

公理是人们在日常生活和生产实践中, 经过长期积累的经验总结和实践反复检验, 被确认是符合客观实际的最一般的规律。静力学公理是人们关于力的基本性质的概括和总结, 静力学的全部理论都是以这些公理为基础的。

公理一 力的平行四边形法则

作用于物体同一点的两个力, 可以合成为一个合力, 合力也作用于该点, 其大小和方向由以两个分力为邻边的平行四边形的对角线表示, 即合力矢等于这两个分力矢的矢量和。如图 1-2 所示, 其矢量表达式为

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

在求两共点力的合力时, 为了作图方便, 只需画出平行四边形的一半, 即三角形便可。其方法是自任意点 O 开始, 先画出一矢量 $\mathbf{F}_1$, 然后再由 $\mathbf{F}_1$ 的终点画另一矢量 $\mathbf{F}_2$, 最后由 O 点至力矢 $\mathbf{F}_2$ 的终点作一矢量 $\mathbf{F}_R$, 它就代表 $\mathbf{F}_1$ 、 $\mathbf{F}_2$ 的合力矢。合力的作用点仍为 $\mathbf{F}_1$ 、 $\mathbf{F}_2$ 的汇交点 A 。这种作图法称为力的三角形法则。显然, 若改变 $\mathbf{F}_1$ 、 $\mathbf{F}_2$ 的顺序, 其结果不变, 如图 1-3 所示。

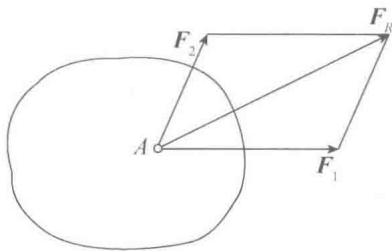


图 1-2

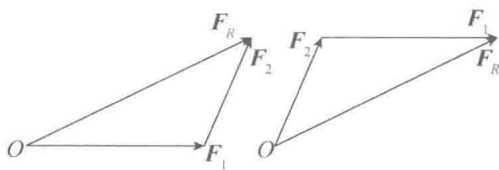


图 1-3

利用力的平行四边形法则,也可以把作用在物体上的一个力,分解为相交的两个分力,分力与合力作用于同一点。但是,由于具有相同对角线的平行四边形可以画任意个,因此,要唯一确定这两个分力,必须有相应的附加条件。

实际计算中,常把一个力分解为方向已知的两个(平面)或三个(空间)分力。图1-4即为把一个任意力分解为方向已知且相互垂直的两个(平面)或三个(空间)分力。这种分解称为正交分解,所得的分力称为正交分力。

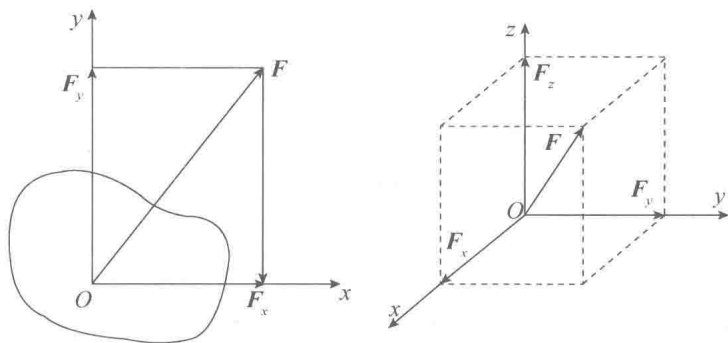


图 1-4

公理二 二力平衡公理

作用于刚体上的两个力平衡的充分与必要条件是这两个力大小相等、方向相反、作用在同一直线上。

这一结论是显而易见的。如图1-5所示直杆,在杆的两端施加一对大小相等的拉力(F_1 、 F_2)或压力(F_3 、 F_4),均可使杆平衡。

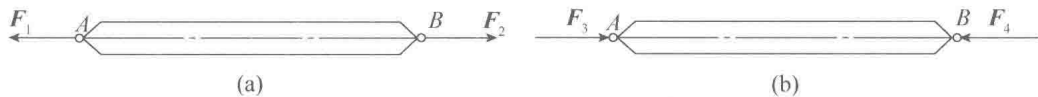


图 1-5

但是,应当指出,上面条件对于刚体来说是充分而且必要的,而对于变形体来说,该条件只是必要的而不充分。如柔索,在受到两个等值、反向、共线的压力作用时,会产生变形,因此就不能平衡。

在两个力作用下处于平衡的物体称为二力体;若为杆件,则称为二力杆。根据二力平衡公理可知,作用在二力体上的两个力,它们必通过两个力作用点的连线(与杆件的形状无关),且等值、反向,如图1-6所示。

公理三 加减平衡力系公理

在作用于刚体上的已知力系上,加上或减去任意平衡力系,不会改变原力系对刚体的作用效应。

这是因为在平衡力系中,诸力对刚体的作用效应都相互抵消,力系对刚体的效应等于零。所以,对刚体来说,在其上施加或者撤除平衡力系都不会对刚体产生任何影响。根据这个原理,可以进行力系的等效变换,即在刚体上任意施加或者撤除平衡力系。

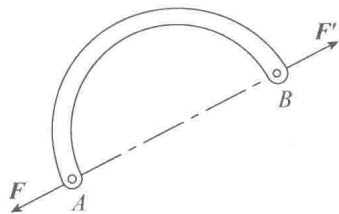


图 1-6

推论 I 力的可传递性原理

作用于刚体上某点的力，可沿其作用线任意移动作用点而不改变该力对刚体的作用效应。

利用加减平衡力系公理，很容易证明力的可传性原理。如图 1-7 所示，设力 F 作用于刚体上的 A 点。现在其作用线上的任意一点 B 加上一对平衡力系 F_1 、 F_2 ，并且使 $F_1 = -F_2 = F$ ，根据加减平衡力系公理可知，这样做不会改变原力 F 对刚体的作用效应；再根据二力平衡条件可知， F_2 和 F 亦为平衡力系，可以撤去。所以，剩下的力 F_1 与原力 F 等效。力 F_1 即可看成为由力 F 沿其作用线由 A 点移至 B 点的结果。

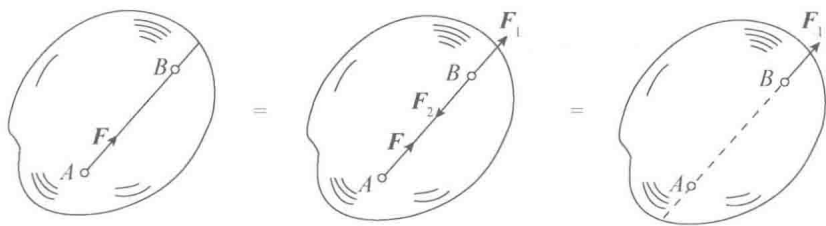


图 1-7

同时必须指出，力的可传性原理只适用于刚体而不适用于变形体。

推论 II 三力平衡汇交原理

作用于刚体上平衡的三个力，如果其中两个力的作用线交于一点，则第三个力必与前面两个力共面，且作用线通过此交点，构成平面汇交力系。

这是物体上作用的 3 个不平行力相互平衡的必要条件，应用这个定理，可以比较方便地解决许多问题。

如图 1-8 所示，设在刚体上的 A 、 B 、 C 三点，分别作用 3 个不平行的力 F_1 、 F_2 、 F_3 ，刚体处于平衡状态。根据力的可传性原理，将力 F_1 、 F_2 移到其汇交点 O ，然后根据力的平行四边形法则，得合力 F_{R12} 。则力 F_3 应与 F_{R12} 平衡。由二力平衡公理知， F_3 与 F_{R12} 必共线。因此，力 F_3 的作用线必通过 O 点并与力 F_1 、 F_2 共面。

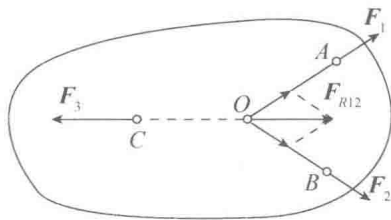


图 1-8

应当指出，三力平衡汇交原理只说明了不平行的三力平衡的必要条件，而不是充分条件，因为三力汇交，不一定平衡。三力平衡汇交原理常用来确定刚体在共面不平行三力作用下平衡时，其中某一未知力的作用线。

公理四 作用力与反作用力定律

两个物体间相互作用的一对力，总是大小相等、方向相反、作用在同一直线上，并分别而且同时作用于这两个物体上。

这个公理概括了任何两个物体间相互作用的力的关系。有作用力，必定有反作用力；反过来，没有反作用力，也就没有作用力。两者总是同时存在，又同时消失。因此，力总是成对地出现在两相互作用的物体上的。

这里，要区别二力平衡公理和作用力与反作用力公理之间的关系，前者是针对一个物体而言，而后者则是针对物体之间而言。

第三节 力的合成与分解

力的合成与分解体现了用等效的方法研究物理问题。合成与分解是为了研究问题的方便而引入的一种方法，用合力来代替几个力时必须把合力与各分力脱钩，即考虑合力则不能考虑分力，同理在力的分解时只考虑分力而不能同时考虑合力。

一、力的合成

力的合成的本质就在于保证作用效果相同的前提下，用一个力的作用代替几个力的作用，这个力就是那几个力的“等效力”（合力）。力的平行四边形法则是运用“等效”观点，通过实验总结出来的共点力的合成法则，它给出了寻求这种“等效代换”所遵循的规律。

平行四边形法则可简化成三角形法则。由三角形法则还可以得到一个有用的推论：如果 n 个力首尾相接组成一个封闭多边形，则这 n 个力的合力为零。

共点的两个力合力的大小范围是：

$$|F_1 - F_2| \leq F_{\text{合}} \leq F_1 + F_2$$

共点的 3 个力合力的最大值为 3 个力的大小之和，最小值可能为零。

二、力的分解

在工程实际中，经常会遇到要把一个力沿两个已知方向分解，求这两个分力大小的问题。力的分解遵循平行四边形法则，力的分解相当于已知对角线求邻边。

两个共点力，可以合成为一个合力，解答是唯一的；可是反过来，要把一个已知力分解为两个力，若无足够的条件限制，其解答将是不定的。因为在力的平行四边形法则 $F_R = F_1 + F_2$ 中，每一个矢量都包含有大小和方向两个要素，故此式共有 6 个要素，必须已知其中 4 个才能确定其余 2 个。在已知合力大小和方向的条件下，还必须规定另外两个条件：如规定两个分力的方向；或两个分力的大小；或一个分力的大小和方向；或一个分力的大小和另一个分力的方向等。所以，要使问题有确定的解答，必须附加足够的条件。

第四节 约束与约束反力

凡是可以在空间做任意运动的物体，称为自由体，如在空间飞行的飞机、炮弹和火

箭。凡是因为受到周围其他物体的限制而不能做任意运动的物体，称为非自由体。如卧式车床的刀架受床身导轨的限制，只能沿床身导轨移动；传动轴受轴承的限制，只能绕轴线转动；沿钢轨行驶的火车，可以沿钢轨运动，却不能沿垂直于钢轨的任何方向运动等。

凡是限制某物体运动的其他物体，都称为该物体的约束。在上面的几个例子中，床身导轨是刀架的约束，轴承是轴的约束，钢轨是火车的约束。约束限制物体的任意运动，使其沿某些方向的运动受阻，从而改变了物体的运动状态。约束对物体的作用实质上就是力的作用，约束作用在物体上的力称为约束反力，简称反力。反力的作用点是约束与物体的接触点，反力的方向总是与该约束所能限制的物体运动或运动趋势的方向相反。这是判断反力方向的准则。

除了约束反力外，物体还受到如重力、推力以及各种机械的动力和载荷等主动改变物体运动状态的力的作用，这类力称为主动力。主动力的大小和方向一般是预先给定的，彼此是独立的。通常，主动力决定约束反力的大小和方向。在静力学中，可根据力的平衡条件由主动力求得约束反力的大小。

对物体进行受力分析的重要内容之一是要正确地表示出约束反力的作用线或指向，它们都与约束的性质有关。工程中实际约束的种类很多，可根据其特性将它们归纳为几类典型的约束。下面介绍几种常见的典型约束及其反力的确定方法。

一、柔体约束

由柔软的绳索、链条、皮带等构成的约束统称为柔体约束。这类约束的特点是：柔软易变形，只能受拉，不能受压，不能抵抗弯曲。柔体约束只能限制物体沿约束伸长方向的运动而不能限制其他方向的运动。因此，柔体约束的约束反力只能是拉力，作用在与物体的连接点上，作用线沿着柔体，指向背离物体。通常用 F 或 F_T 表示柔体约束的反力。如图 1-9 中 F_T 即为绳索给球的约束反力。

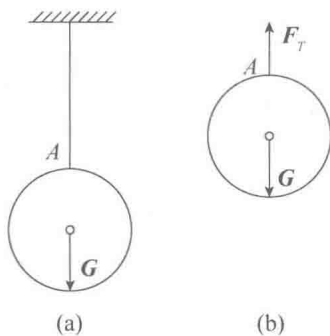


图 1-9

二、光滑接触面约束

物体间光滑接触时，不论接触面的形状如何，这种约束只能限制物体沿着接触面在接触点的公法线方向且指向约束物体的运动，而不能限制物体的其他运动。因此，光滑接触面约束的反力恒为压力，通过接触点、方向沿着接触面的公法线指向被约束的物体，通常用 F_N 表示，如图 1-10 所示。