

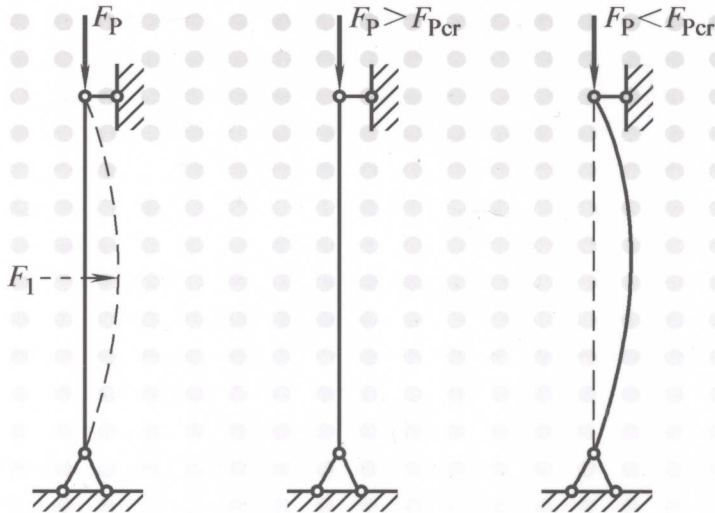


高职高专基础课“十一五”规划教材

工程力学

GONG CHENG LI XUE

李立 张祥兰 主编



 机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS



高职高专基础课“十一五”规划教材

工 程 力 学

主 编 李 立 张祥兰
参 编 孟丽华 杨继宏 王茂辉
张广柱 边朝顺



机械工业出版社

本书以培养学生的技术应用能力为主线设计培养方案,以“应用”为主旨构建课程体系和教学内容,旨在培养技能型应用性人才。

本书共分为3篇12章。内容包括绪论、刚体静力分析基础、力系的平衡方程及其应用、杆件基本变形与内力分析、杆件基本变形时的应力分析、应力状态与强度设计准则、杆件的强度设计、杆件的刚度设计、压杆的稳定性设计、质点的运动、刚体的基本运动、点和刚体的合成运动、动能定理。

本书可作为高职高专工科院校机械类各专业用书,也可供有关工程技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

工程力学/李立,张祥兰主编. —北京:机械工业出版社, 2008.4

ISBN 978-7-111-23554-5

I. 工… II. ①李…②张… III. 工程力学 IV. TB12

中国版本图书馆CIP数据核字(2008)第023686号

机械工业出版社(北京市百万庄大街22号 邮政编码100037)

责任编辑:宋学敏 责任校对:张晓蓉

封面设计:王伟光 责任印制:洪汉军

北京铭成印刷有限公司印刷

2008年4月第1版第1次印刷

184mm×260mm·19印张·471千字

0001—4000册

标准书号:ISBN 978-7-111-23554-5

定价:27.00元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换

销售服务热线电话:(010)68326294

购书热线电话:(010)88379639 88379641 88379643

编辑热线电话:(010)88379541

封面无防伪标均为盗版

前 言

本书是根据国家教育部提出的高职高专院校“以培养生产第一线需要的高等技术应用性人才为根本任务”的要求，并按照高等职业技术教育技能应用型人才的培养目标和基本要求，在总结各院校近年来开展机械各专业工程力学教育经验的基础上编写而成的。

本书以培养学生的技术应用能力为主线设计培养方案，以“应用”为主旨构建课程体系和教学内容，旨在培养高等技术应用型人才。因此，本书力求以应用为导向，在基础理论的学习上坚持“必需、够用”的原则，突出了高等职业教育的特色。另外，为使学生具备一定的可持续发展能力，本书增加了一些选学内容，学生可根据自己的特点及爱好，选学其中的部分内容。与同类书相比，本书具有如下特点：

1. 围绕高等职业教育的培养目标，优化课程体系，精选课程内容。对现有理论部分，选取力学中最基本的概念、原理、方法，突出少而精的原则；引入新概念——失效，新材料——复合材料，新知识——平行轴系的相当系统。

2. 以能力为基点，重组课程体系，借鉴高校面向 21 世纪力学系列课程教改的方法，实现相关课程的贯通、渗透、互相融合。在课程结构上打破原来的课程体系，以构件承载能力为主线，形成新的教学模块（刚体静力分析、构件承载能力分析、构件运动力学分析 3 个模块），将各种基本变形的内力、应力、强度设计整合在一起，对物体的运动分析、动力分析进行有机整合，强调外力分析、运动分析、动力分析的统一性，强化学生分析问题能力的培养，突出职业教育特色。

3. 加强定性分析，切实保证基础。加强构件失效形式、提高构件承载能力的措施、运动形式等定性分析的内容，有利于学生分析日常生活、工程实际中简单的力学问题，全面提高学生的素质；对复杂的计算及难度较大的习题可通过网络教育平台来补充。

4. 理论联系实际，增强应用性。本书在理论的讲解上结合日常生活的实例，增加了书的趣味性和可读性；在例题和习题的选取上结合工程实例，突出实训环节，以培养学生解决实际问题的能力。

5. 本书具有较好的弹性和可操作性。打 * 号的内容为提高或选学部分，便于对部分优秀学生因材施教。

本书推荐教学时数为 70 ~ 90 学时，打 * 号的选学内容可根据不同专业的具体要求而确定。

本书由李立、张祥兰主编。参加本书编写的老师还有孟丽华、杨继宏、王茂辉、张广柱、边朝顺。栾学钢教授审阅了全稿。在本书编写过程中吉林工业职业技术学院机械技术教研室的老师们对书稿提出了许多宝贵的意见，在此致以诚挚的谢意。尽管我们在

IV 工程力学

探索工程力学课程特色建设方面做了许多努力，但由于高职教育教学改革是一个继续探索和不断深化的过程，加之编者水平有限，难免存在疏漏和不足之处，恳请各教学单位和读者在使用本书的过程中给予关注，并提出宝贵意见。

编者

目 录

前言

绪论	1	0.2 学习工程力学的目的	2
0.1 工程力学的性质和任务	1	0.3 学习工程力学的方法	2

第 1 篇 刚体静力分析

第 1 章 刚体静力分析基础	6	习题	33
1.1 力的概念及性质	6	第 2 章 力系的平衡方程及其应用	38
1.2 约束与约束力	10	2.1 平面一般力系的简化	38
1.3 物体的受力分析与受力图	13	2.2 平面力系的平衡方程及其应用	41
1.4 力的投影与合力投影定理	17	2.3 考虑摩擦时物体的平衡	52
1.5 力矩 合力矩定理	21	2.4 空间力系的平衡方程及其应用	62
1.6 力偶及其性质	25	2.5 物体的重心与形心	69
1.7 力的平移定理	28	小结	76
小结	29	思考题	77
思考题	31	习题	79

第 2 篇 构件的承载能力分析

第 3 章 杆件基本变形与内力分析	86	小结	125
3.1 基本变形与组合变形的概念	86	思考题	126
3.2 内力与截面法	89	习题	128
3.3 轴向拉压内力	90	第 5 章 应力状态与强度设计准则	132
3.4 剪切内力	92	5.1 应力状态的概念	132
3.5 扭转内力	92	5.2 平面应力状态分析	134
3.6 弯曲内力	94	5.3 轴向载荷作用下材料的力学性能	139
3.7 组合变形内力	101	5.4 材料失效与构件失效	145
小结	102	5.5 强度失效判据与设计准则	147
思考题	103	小结	150
习题	105	思考题	151
第 4 章 杆件基本变形时的应力分析	109	习题	151
4.1 应力与应变	109	第 6 章 杆件的强度设计	153
4.2 轴向拉(压)杆的应力	110	6.1 拉(压)杆的强度计算	153
4.3 剪切变形横截面上的应力	112	6.2 连接件的强度设计	155
4.4 圆轴扭转时横截面上的切应力	114	6.3 受扭圆轴的强度设计	158
4.5 梁的应力	118	6.4 梁的正应力强度设计	160

VI 工程力学

6.5 组合变形杆件的强度设计	163	思考题	192
6.6 疲劳失效	169	习题	193
小结	173	第8章 压杆的稳定性设计	195
思考题	174	8.1 压杆稳定的概念	195
习题	175	8.2 压杆的临界力与临界应力	196
第7章 杆件的刚度设计	180	8.3 压杆的稳定性设计	200
7.1 拉(压)杆的变形	180	小结	203
7.2 受扭圆轴的刚度设计	182	思考题	204
7.3 梁的刚度设计	183	习题	204
小结	191		

第3篇 构件的运动力学分析

第9章 质点的运动	208	合成定理	248
9.1 质点的运动分析	208	11.3 刚体的平面运动	250
9.2 质点的动力分析	216	小结	256
小结	222	思考题	257
思考题	223	习题	258
习题	224	第12章 动能定理	262
第10章 刚体的基本运动	226	12.1 功和功率	262
10.1 刚体的平动	226	12.2 动能	267
10.2 刚体的定轴转动	227	12.3 动能定理	268
10.3 定轴转动刚体轴承的动反力	238	12.4 构件受冲击载荷时的应力计算	273
小结	239	小结	277
思考题	240	思考题	278
习题	241	习题	278
第11章 点和刚体的合成运动	244	附录 型钢表	282
11.1 点合成运动的概念及速度 合成定理	244	部分习题答案	290
11.2 牵连运动为平动时点的加速度		参考文献	298

绪 论

在学习本门课程之前，首先要解决三个问题。

0.1 工程力学的性质和任务

1. 工程力学的性质

工程力学是机械类专业必修的一门技术基础课，它具有承上启下的桥梁作用。所谓“承上”是指学生在所学的公共基础课如高等数学、工程制图、化工原理等基础课之后学习本门课程；所谓“启下”是指为即将开设的专业课奠定坚实的基础。所以该课程具有桥梁和纽带作用。

2. 工程力学的任务

工程力学的内容极其广泛，本书所述的是工程力学基础的内容，它包含静力分析、构件承载能力分析及运动力学分析三部分。

在工农业生产、建筑、交通运输、宇航等工程中，广泛地运用各种机械设备和工程结构，各种机械设备和工程结构都是由若干个基本的零、部件按照一定的规律组成的，组成机械的基本零、部件称为构件。当机械工作时，组成机械的各构件都要受到来自相邻构件和其他物体的力的作用，这些力在工程上称为载荷。在载荷的作用下，构件可能处于平衡状态，也可能发生状态的改变。每个构件都是由一定的材料制成的，若构件所承受的载荷超过材料的承载能力，构件就会因产生过大的变形或断裂而不能继续正常工作，即失效。例如，简易起重机的横梁，如图 0-1 所示，若载荷过大就会发生强度破坏(断裂)，从而使起重机无法正常工作；再如，千斤顶的螺杆，如图 0-2 所示，当承受的轴向压力超过一定的限度时，就会因发生稳定性破坏(弯曲)而不能正常工作；又如，机床的主轴，如图 0-3 所示，若变形过大发生刚度破坏，则会造成齿轮间不能正常啮合。因此，为保证机械安全正常的工作，要求任何一个构件都要具有足够的承载能力。构件的承载能力是机械工程中经常遇到的力学问题。此外，在机械中也经常需要分析物体运动状态的改变与作用在物体上的力的关系。本书将为分析和解决这些问题提供必要的基础理论和方法。

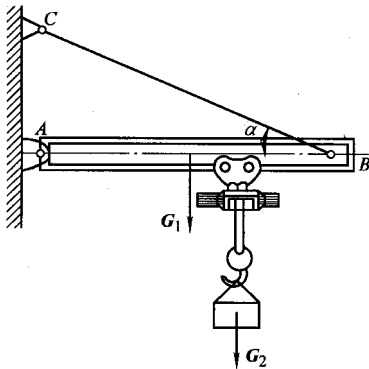


图 0-1

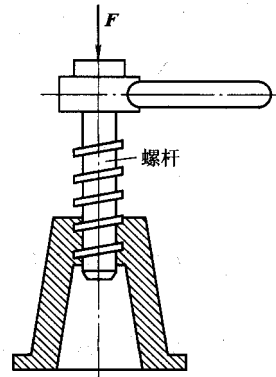


图 0-2

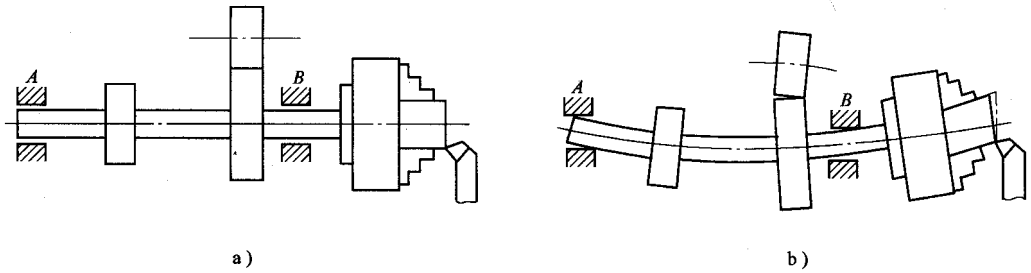


图 0-3

0.2 学习工程力学的目的

1. 学习工程力学是专业的需要

在机械工程中，有许多机械设备需要大量的力学知识。例如，机械设备各零部件和传动装置各零部件的受力分析需要静力学知识；机械设备受外力作用后，由于各零部件产生的内力也不同，所以设计时需要材料力学知识；机械设备正常工作转速与电机转速的关系、各种传动装置的速度与加速度传递规律需要运动学知识；电机功率、转速与外力偶矩的关系需要动力学知识等。掌握工程力学知识，不仅可以解决一些工程实际中的力学问题，而且为学习后续课程(如机械设计等)提供必要的基础。

2. 工程力学是后续课程的需要

机械类各专业与工程力学有关的后续课程有机械设计基础、化工机器、化工设备及相关的课程设计和毕业设计等。不打好工程力学基础，就很难学好以后的课程，甚至会影响课程设计和毕业设计。

3. 工程力学是工程技术人员必备的知识

工程技术人员只有懂得工程力学知识才能解释在生产生活中遇到的一些问题。例如起吊重物时，怎样绑钢丝绳最好呢？如图0-4所示，应使 $\alpha < 120^\circ$ ，而且 α 越小越好；若 $\alpha = 180^\circ$ ，则钢丝绳受力将无穷大，很危险，所以应当避免。此外，解释用丝锥攻螺纹时，为什么不能单手施力？推、拉压地的辘子哪个更省力？油压千斤顶把重物顶起后，为什么重物不会自动落下来等等。通过本课程的学习，不仅可以解释在生产生活中遇到的一些问题，而且还可以提高分析问题和解决问题的能力。因此，工程力学在专业技术教育中有着重要的地位和作用。

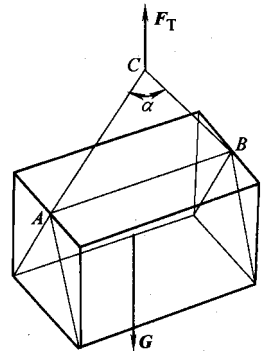


图 0-4

0.3 学习工程力学的方法

1. 工程力学的研究对象及模型

实际构件的形状是多种多样的，工程力学主要研究杆类构件，简称为杆件。杆件的几何

特征是长度方向的尺寸远大于横向尺寸，如梁、轴、柱等均属于杆件。轴线为曲线的杆称为曲杆，轴线为直线的杆称为直杆，各横截面相同的杆称为等截面杆。本课程主要研究等截面的直杆，简称为等直杆。在研究物体的运动规律和承载能力时，必须对实际研究对象进行合理的简化，从而抽象出既符合实际又便于计算的力学模型。工程力学中最基本的力学模型有刚体和变形固体。在研究物体的受力、平衡及运动规律时可以将物体抽象为刚体。所谓刚体，是指在力的作用下，变形忽略不计的物体。在研究构件的强度、刚度、稳定性等问题时，将物体抽象为变形固体。

工程力学从宏观的角度研究物体内部的受力和变形规律时，对变形固体作如下假设：

(1) 均匀连续性假设。假设变形固体在其整个体积内连续不断地充满着物质，而且各处的力学性能都相同。

(2) 各向同性假设。假设变形固体在各个方向上具有相同的力学性能。变形固体在外力作用下将产生两种不同性质的变形：一种是当外力消除后，变形也随着消失，这种变形称为弹性变形；另一种是外力消除后，变形不能全部消失而留有残余，残余的这部分变形称为塑性变形(或残余变形)。

本书在研究构件的承载能力时，只限于讨论材料在弹性范围内的小变形问题。构件在不同的外力作用下，将发生不同形式的变形。构件变形的的基本形式有4种：轴向拉伸(压缩)，如图0-5a所示；剪切，如图0-5b所示；扭转，如图0-5c所示；弯曲，如图0-5d所示。

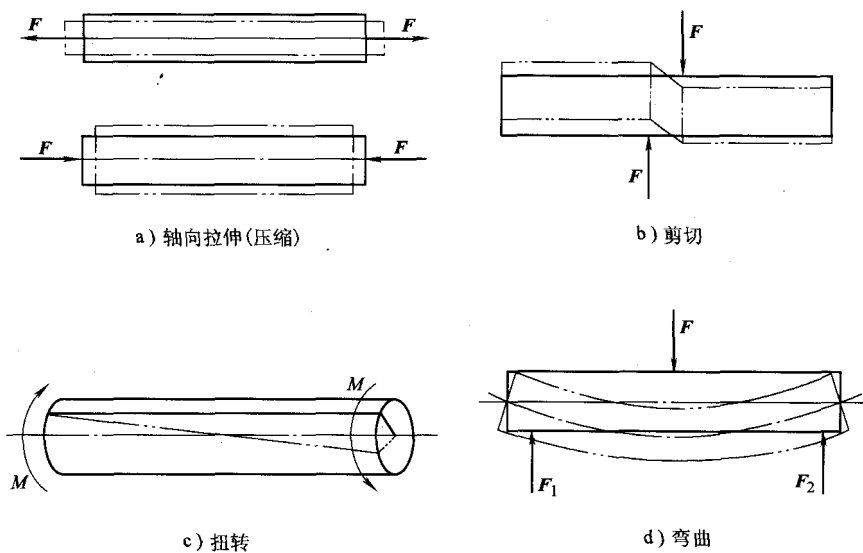


图 0-5

2. 工程力学的研究方法

工程力学的研究方法遵循认识论的规律，通过对各种实际现象的观察，将实际问题抽象为力学模型，再根据力学理论建立各力学量之间的关系，从而得到数学模型，经过逻辑推理和数学演绎进行分析和计算，分析、计算结果的正确性，并通过工程实践或实验来加以检验。工程力学的全部发展史就是通过无数次“实践—理论—实践”的循环反复过程。观察和

4 工程力学

实验是研究工程力学重要的实践环节，在学习工程力学时，要善于观察工程实际和生活中的力学现象，学会运用力学的基本理论解释这些现象，并通过实验验证理论的正确性。要正确理解基本概念，注意各力学量的物理意义和有关公式的适用条件。学习工程力学，还必须独立完成一定数量的思考题和习题，以巩固和加深对理论的理解，提高分析和解决工程实际问题的能力。

第1篇 刚体静力分析

刚体静力分析主要研究物体在力系作用下的平衡规律。所谓平衡是指物体相对于地面(惯性参考系)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。

刚体静力分析研究的对象主要是刚体,所谓刚体是指受力作用时大小和形状保持不变的物体,这是一个理想的力学模型,实际中是不存在的。但是,如果物体受力作用时,变形很小或变形对所研究的问题没有实质影响,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。

作用在同一物体上的一组力称为力系。若刚体在某种力系作用下处于平衡状态,则作用于该刚体上的力系称为平衡力系。平衡力系所要满足的条件称为力系的平衡条件。为了研究力系的平衡条件,除首先必须对物体进行受力分析以外,还必须将较为复杂的力系换成另一个与其作用效果相同的简单力系,这个过程称为力系的简化。因此,刚体静力分析要研究的主要内容包括:物体的受力分析;力系的简化;力系的平衡条件及应用。

第 1 章 刚体静力分析基础

1.1 力的概念及性质

1.1.1 力的概念

力的概念产生于人类从事的生产劳动中，当人用手推车时，手指和车之间有了作用，这种作用使车产生了运动；用气锤锻打工件时，气锤和工件间有了相互作用，工件的形状和尺寸发生了改变。可见，力作用于物体将产生两种效果：一种是使物体机械运动状态发生改变，称为力的外效应；另一种是使物体产生变形，称为力的内效应。理论力学只研究力的外效应，而材料力学则研究力的内效应。

综上所述，在静力学的范畴内，力可定义为：力是物体间的相互机械作用，这种作用将引起物体机械运动状态发生改变。

实践证明，力对物体的作用效应，取决于力的大小、方向和作用点，这三个因素称为力的三要素。

力是一个既有大小又有方向的量，称为力矢量。常用一个有向线段表示，如图 1-1 所示，线段 AB 的长度按一定比例画出，表示力的大小；线段的方位和指向表示力的方向；其起点 A 或终点 B 表示力的作用点。线段的延伸称为力的作用线。本书中用黑体字母表示矢量，如 \mathbf{F} 表示力的矢量，而用相应的明体字母表示该矢量的大小，如 F 表示这个力的大小。

本书采用国际计量单位，力的单位是牛顿 (N) 或千牛顿 (kN)，其换算关系为 $1\text{kN} = 1000\text{N}$ 。

1.1.2 力的性质

性质 1 二力平衡公理 作用于同一刚体上的两个力，使刚体处于平衡状态的充分必要条件是：这两个力的大小相等，方向相反，并且作用在同一条直线上，如图 1-2 所示。

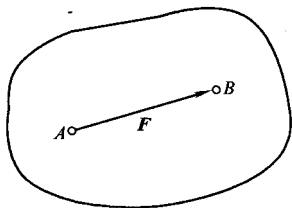


图 1-1

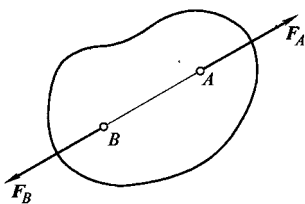


图 1-2

需要强调的是，这个公理对于刚体而言，是必要和充分的，但对于变形体它只是必要条件，而非充分条件。例如软绳受两个等值、反向的拉力可以平衡，但受两个等值反向的压力就不能平衡。

只受两个力作用而处于平衡的构件称为二力构件(或二力杆)。二力构件平衡时, 两力的作用线必定沿此两力作用点的连线, 且两作用力的大小相等, 方向相反。如图 1-3 所示的杆 BC , 若杆自重不计, 即是一个二力杆; 再如图 1-4 所示的构件 BC , 在不计自重时, 也可以看做二力杆。

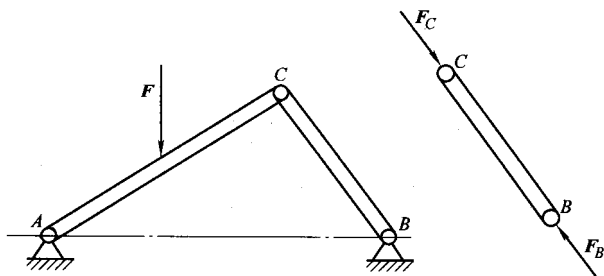


图 1-3

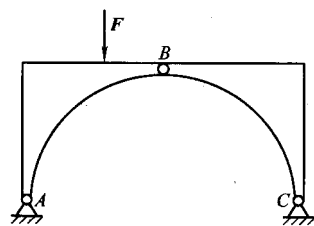


图 1-4

性质 2 加减平衡力系公理 在作用于刚体的已知力系上, 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。

这个公理是力系简化的重要依据之一。根据此公理可以导出下列推论。

推论 1 力的可传性原理 作用于刚体上的力, 可沿其作用线移动到刚体内任意一点, 而不会改变此力对刚体的作用效应。

证 设力 F 作用于刚体上的点 A , 如图 1-5a 所示。在力 F 的作用线上任选一点 B , 并在点 B 加上一组沿 AB 线的平衡力 F_1 和 F_2 , 且使 $F_2 = F = -F_1$, 如图 1-5b 所示。根据加减平衡力系公理, 新力系 (F, F_1, F_2) 与原来的力 F 等效。而 F 和 F_1 亦可构成一个平衡力系, 减去这对平衡力不会改变力系对刚体的作用效应, 最后刚体上只剩力 F_2 , 可见作用在刚体点 B 的力 F_2 与原来作用于点 A 的力 F 等效, 即力 F 可以从点 A 沿其作用线任意移动到同一刚体内的点 B , 如图 1-5c 所示。

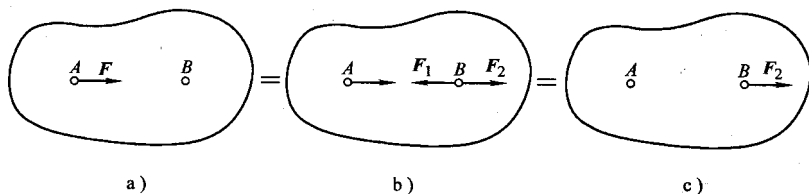


图 1-5

根据力的可传性原理, 在刚体上力的作用点已为它的作用线所代替, 所以作用于刚体上力的三要素又可表述为: 力的大小、方向和作用线。因此, 作用于刚体上的力矢量是滑移矢量。

必须指出, 力的可传性原理只适用于刚体, 研究力的外效应。它不适用于研究物体的内效应。例如, 一根直杆受一对平衡力 F, F' 作用时, 杆件受压, 产生压缩变形, 如图 1-6a 所示; 若将两力互沿作用线移动而易位, 则杆变为受拉, 产生拉伸变形, 如图 1-6b 所示。这两种变形效应是不同的。因此, 研究物

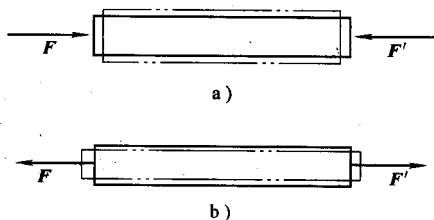


图 1-6

8 工程力学

体的内效应时，力应视为定位矢量，其作用点不能移动。

性质3 力的平行四边形法则 作用于物体上某点的两个力，可以合成为一个合力，合力也作用于该点。合力的大小和方向可由此二力为邻边所构成的平行四边形的对角线确定。

如图 1-7 所示， F_R 即为 F_1 、 F_2 的合力。力的平行四边形法则符合矢量加法法则。其矢量式为

$$F_R = F_1 + F_2$$

反之，一个力也可以分解为两个分力，分解也可按力的平行四边形法则来进行，如图 1-8 所示。显然，由已知力为对角线可作无穷多个平行四边形，故必须附加一定的条件，才可能得到确切的结果。附加条件可以为：规定两个力的方向；规定其中一个分力的大小和方向等。在工程问题中，为计算方便，通常将力做正交分解，即分解成两个互相垂直的分力。

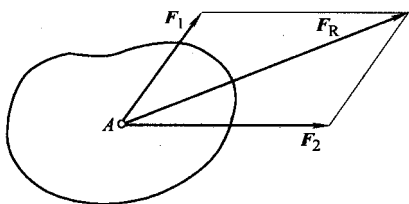


图 1-7

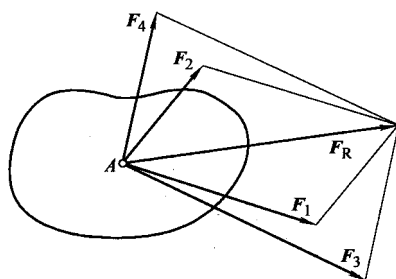
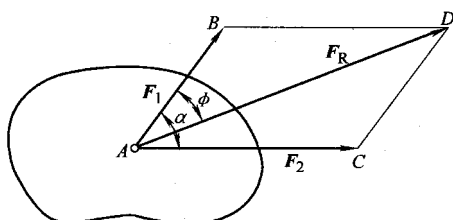
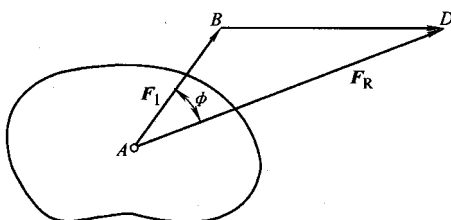


图 1-8

将二力合成时，为了简便起见，可以不必画出平行四边形。作图时可以省略 AC 与 DC ，直接将 F_2 连在 F_1 的末端，通过 $\triangle ABD$ 即可求出合力 F_R ，如图 1-9 所示。这种求合力矢量的方法称为力的三角形法则。



a)



b)

图 1-9

推论2 三力平衡汇交定理 若刚体在三个互不平行的力作用下处于平衡状态，则此三力必共面且汇交于一点。

证 如图 1-10 所示，刚体上 A 、 B 、 C 三点分别受力 F_1 、 F_2 和 F_3 作用而处于平衡，其中 F_1 、 F_2 的作用线相交于点 O 。根据力的可传性原理，可将力 F_1 、 F_2 移至点 O ，并将它们合成得合力 F_{12} ，此时刚体受力 F_{12} 和 F_3 作用而平衡。由公理 1， F_3 与 F_{12} 必共线。所以力 F_3 的作用线亦在 F_1 和 F_2 所构成的平面上，且通过 F_1 、 F_2 作用线的交点 O ，于是定理得证。

刚体只受同一平面三个力的作用而平衡，称为三力构件。若三个力中已知两个力的交点

及第三个力的作用点，则可判断第三个力的作用方位。如图 1-3 所示的杆件 AC，在 A、C、D 三点分别受力作用处于平衡，则点 A 的力 F_A 必过 C、D 两作用点力的交点 H。

性质 4 作用与反作用定律 两物体间的作用力和反作用力总是同时存在，且两力的大小相等、方向相反、作用线相同，分别作用在两个相互作用的物体上。

这个定律概括了任何两个物体间相互作用的关系，表明一切力总是成对出现的，即有作用力必有其反作用力，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。

作用力与反作用力，一般用同一字母表示。为了便于区别，在其中一个字母的右上角加一小撇“'”，如 F 表示作用力，则 F' 便表示反作用力。如图 1-3 中，BC 杆 C 端所受力 F_C 与 AC 杆 C 端所受到的力 F'_C 就是一对作用力与反作用力。

必须要注意两力平衡公理与作用反作用定律之间的区别，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。

1.1.3 力系及其分类

物体受力一般是通过物体直接或间接接触进行的。接触处多数情况下不是一个点，而是具有一定尺寸的面积。因此无论是施力物体还是受力物体，其接触处所受的力都是作用在接触面积上的分布力。在很多情况下，这种分布力都比较复杂。工程上分布力也称为分布载荷。以单位体积、单位面积或单位长度上所受力的大小来表示，称为载荷集度。

当分布力作用的体积或面积很小时，为了分析计算方便起见，可以将分布力简化为作用于一点的合力，称为集中力（或集中载荷）。如工厂车间里的桥式吊车，起重载荷（包括葫芦和钢丝）可视为作用在横梁上的集中力，而横梁本身的自重相当于分布载荷，如图 1-11 所示。

力系是指作用在同一物体上的一组力。对同一物体作用效应相同的两个力系，彼此称为等效力系。将一个复杂力系用作用效果相同的简单力系或一个力来代替，这一过程称为力系的简化。若一个力与一个力系等效，则此力称为该力系的合力。

力系按其作用线的分布情况可以分为以下几种：

1. 平面力系

力系中各力的作用线都在同一平面内，该力系称为平面力系。平面力系又可分为：

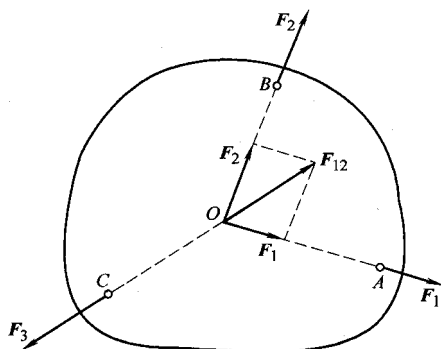


图 1-10

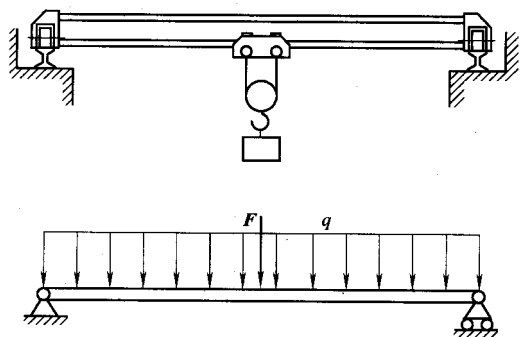


图 1-11

- (1) 平面汇交力系，即各力的作用线汇交于一点的平面力系。
- (2) 平面平行力系，即各力的作用线都相互平行的平面力系。
- (3) 平面任意力系，即各力的作用线既不汇交于同一点，又不相互平行的平面力系。

2. 空间力系

若力系中各力的作用线不在同一平面内，则该力系称为空间力系。空间力系又可分为：

- (1) 空间汇交力系，即各力的作用线汇交于一点的空间力系。
- (2) 空间平行力系，即各力的作用线都相互平行的空间力系。
- (3) 空间任意力系，即各力的作用线既不汇交于同一点，又不相互平行的空间力系。

由于平面力系可以看做空间力系的特殊情况，平面汇交力系和平行力系又可看做任意力系的特殊情况，所以空间任意力系是力系的最复杂、最普遍、最一般的形式，其他各种力系都可以看成是它的特殊情况。

1.2 约束与约束力

1.2.1 约束与约束力的概念

如果物体在空间任何方向的运动都不受到其他物体的直接限制，这种物体称为自由体，例如飞行的飞机、炮弹、火箭等。如果物体的运动或运动趋势受到周围物体的限制而不能任意运动，则称这种物体为非自由体或受约束体。例如列车受到轨道限制，只能沿轨道行驶；转轴受到轴承限制，只能绕轴心转动；活塞受气缸壁的限制，只能在气缸中做往复运动等。

限制物体运动的周围物体，称为约束。例如上面提到的铁轨、轴承、气缸分别是列车、转轴、活塞的约束。约束限制了物体本来可能产生的某种运动，因此约束必然有力作用于该物体，这种力称为约束力。约束力的方向总是与约束所能限制的运动或运动趋势的方向相反，约束力的作用点在约束与被约束物体的接触处。据此，可以确定约束力的位置及方向，约束力的大小可以通过平衡条件来求解。

1.2.2 工程上常见的平面约束

1. 柔性约束

由柔索、胶带、链条等所形成的约束称为柔性约束。这类约束只能限制物体沿柔索伸长方向的运动，而不能限制其他方向的运动。因此，柔索的约束力只能是拉力，其方向一定是沿着柔索中心线而背离物体，作用在柔索与物体的连接点上。柔索的约束力常用符号 F_T 表示。

如图 1-12 所示，用钢丝绳起吊重物，钢丝绳对重物的约束力 F_{TA} 、 F_{TB} 分别作用于 A、B 两点，且沿钢丝绳中心线背离物体，如图 1-12a 所示。

当柔索绕过轮子时，常假想在柔索的直线部分截开柔索，将与轮接触的柔索和轮子一起作为研究对象。这样处理，就可以不考虑柔索与轮子间的内力，此时柔索给轮子的约束力沿着柔索中心线背离轮子。图 1-12b 所示为传动带的约束力的画法。