

855596

3321

3173

T. 1

高等学校函授教材

理论力学

上册

汪厚礼 周巨伯 李廷孝 编

水利电力出版社

高等学校函授教材

理论力学

上册

汪厚礼 周巨伯 李廷孝 编



水利电力出版社

内 容 提 要

本书分上、下两册。上册两篇共十一章：第一篇为静力学，内容包括：静力学的基本概念和公理，平面汇交力系，平面力偶系，平面任意力系，摩擦，空间汇交力系，空间力偶系，空间任意力系；第二篇为运动学，内容包括：点的运动，点的合成运动，刚体的基本运动及刚体的平面运动。

本书是高等学校函授教材，适用于土建、水利、机械等类专业本科函授教学，也可作为同类专业业余教育和自学用书。

高等学校函授教材

理论力学

上 册

汪厚礼 周巨伯 李廷孝 编

*

水利电力出版社出版

(北京三里河路8号)

新华书店北京发行所发行·各地新华书店经售

水利电力出版社印刷厂印刷

*

787×1092毫米 16开本 21.5印张 485千字

1988年5月第2版 1988年5月北京第一次印刷

印数0001—5680册

ISBN7-120-00073-X

TV·57 定价：4.90元

前 言

本书是根据1981年12月原教育部召开的高等工业学校函授教育工作会议审订的教学大纲(草案),按照360学时(自学和面授的学时)的要求编写的。适用于土建、水利、机械等类专业本科函授教学,也可以作为同类专业业余教育和自学用书。

本书初稿完成于1982年,迄今已被武汉水利电力学院函授部师生使用了四届。在广泛征求意见的基础上,又作了两次大的修改,才最后成书。

本书分上、下两册,上册为静力学、运动学,下册为动力学。本书基本内容的广度和深度,完全与全日制高等工业学校本科教学的要求相当。书中有“*”号的章节为选学内容。

为了便于自学,本书章前有学习指导,章末有小结,节末附有较多的思考题,节末和章末都附有较多的习题,习题都有答案。本书在叙述上力求通俗易懂,并且在讲清基本概念和理论的基础上,列举了较多的详尽讲解的例题,以帮助读者弄清概念,掌握理论,提高分析问题和解决问题的能力。

本书由汪厚礼、周巨伯、李廷孝同志编写,刘永桀同志审稿,汪新科同志绘图。在编写过程中得到许多同志和兄弟院校同行的支持和帮助,特别是刘永桀同志和使用本书初稿的同志,对本书提出了许多宝贵的修改意见,编者在此表示衷心感谢。由于编者水平所限,书中一定有不少缺点和错误,恳请读者和同行批评指正。

编 者

1985年7月于武汉水利电力学院

引 言

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。

所谓物体的机械运动就是物体位置的变动。日、月、地球的运行，车辆船舶的行驶，河水的流动，机器的运转，建筑物的振动，等等，都是机械运动。

运动是物质存在的形式，是物质的固有属性。物质运动的形式是多种多样的，它包括宇宙中发生的一切变化和过程，从简单的位置变化直到人的思维活动。机械运动是物质运动的最低级、最简单的一种形式。机械运动不仅广泛地出现在我们的周围，而且在其它高级形式的运动中，都伴随着机械运动。

在20世纪以前很长的历史时期内，人类对于机械运动的研究，只限于以速度远小于光速（ 30km/s ）的宏观物体为对象。为了区别于20世纪才开始的近代力学，即相对论力学和量子力学，把在这个范围内建立起来的力学称为古典力学。古典力学是以伽利略（1564年~1642年）和牛顿（1643年~1727年）所总结的基本定律为基础的。理论力学属于古典力学的范畴。应用古典力学理论和相对论力学的理论计算所得到的结果，只有当物体的速度接近光速时，才会有显著差别。在一般工程技术甚至一些尖端科学技术问题中，研究的也多是速度远小于光速的宏观物体的运动。因此，相对论力学和量子力学的建立，并没有使古典力学失去实际意义，古典力学仍然被广泛应用，而且还在不断发展。

理论力学的内容包括三部分：

静力学：研究力系的简化和物体在力系作用下平衡的规律；

运动学：研究物体运动的几何性质；

动力学：研究物体的运动与物体上所受的力之间的关系。

二、学习理论力学的目的

1. 学习理论力学是为学习后继课程打基础 前面说过，理论力学研究速度远小于光速的宏观物体机械运动的一般规律。宏观物体，根据它们的状态可以分为固体和流体，流体又可以分为液体和气体。不论是固体还是流体，它们的运动都将遵循理论力学所研究的一般规律。只有当一般规律研究清楚之后，才有可能根据具体物体的性质，研究它们运动的特殊规律。这就是说在学习理论力学的基础上，才有可能学习后继课程固体力学和流体力学。固体力学包括材料力学、弹性力学、塑性力学、断裂力学等等；流体力学包括水力学、空气力学等等。

2. 学习理论力学是为解决工程技术问题打基础 理论力学是现代工程技术的重要理论基础之一。无论是工程结构、机械与电气设备、控制与自动化，航空与航天技术等等都需要理论力学知识。因此，工程技术人员必须掌握一定的理论力学知识，才能顺利地解决有关的工程技术问题，才能掌握当今不断出现的新理论、新技术，从而解决现代工程技术问题。

出的新问题。

3. 学习理论力学有助于树立辩证唯物主义世界观和培养分析问题解决问题的能力 因为力学所研究的物体运动的规律, 从一个侧面深刻地揭示了世界的物质性, 揭示了事物普遍联系和发展的规律, 特别是唯物辩证法的核心——对立统一的规律, 以及唯物辩证法的其它基本规律。只要我们在学习时, 自觉地领会包含在理论力学的基本概念、基本理论、基本方法中的这些东西, 便可望达到这一目的。

三、理论力学的研究方法

“实践—理论—实践”的公式, 概括了人们的认识过程。力学的研究方法也不例外地遵循这条辩证唯物主义的认识论的规律。理论力学的研究方法简要地说来就是: 从观察、实践出发, 经过抽象化和归纳, 建立概念和公理或定律, 用数学演绎法推导出定理和结论, 再回到实践中去解决实际问题并验证理论。

四、理论力学的学习方法

在学习理论力学的方法上应该注意的问题是: 第一, 要掌握抽象化的方法, 要逐步培养把具体问题抽象为力学模型的能力。第二, 必须深刻地反复地理解基本概念和公理或定律。因为理论力学的一切理论都是建立在这些概念、公理或定律的基础上的。读者可以利用自己的某些实践经验或对机械运动一些现象的观察, 来加深对它们的理解。第三, 要透彻理解导出的定理和结论, 以及从这些定理和结论引出的基本方法, 它们是理论力学的主要部分。只有牢固掌握这些定理、结论和方法之后, 才能应用它们解决力学问题, 切不可因为这些定理、结论的形式比较简单而掉以轻心。第四, 要把学到的知识用到实践中去。初步的实践就是做习题。通过做习题才能加深对理论的理解和熟悉理论的运用。理论力学习题的特点是“活”, 不能简单地套用公式, 只有反复吃透基本理论和掌握分析问题的方法, 才能解决所谓“理论‘好懂’, 做题难”的问题。

函授学生的学习方式主要是自学, 因此学好本门课程的关键是反复阅读、刻苦钻研教材。我们要求读者:

第一、在学习每章之前, 首先阅读这章的“学习指导”。“学习指导”中简单地介绍了本章研究的内容, 指出了本章的重点、难点, 提出了学习本章的目的、要求以及应该注意的问题。它不仅能使读者对本章的内容有概括的了解, 而且对读者阅读正文有引路的作用。

第二、阅读正文时要逐字逐句地仔细咀嚼, 而后达到深入理解。这是学好本课程的第一步, 也是最重要的一步。实在看不懂的段落, 可以暂时绕过去, 然后再回过头来反复攻读疑难部分。正文中的例题能帮助读者理解基本概念、基本理论, 特别是帮助读者掌握基本理论的实际应用的方法。因而例题是教材的重要组成部分。阅读例题时要注意解题的理论依据、物理意义以及解题的方法、步骤。

第三、要认真思考、回答每节之后所附的思考题, 并认真做习题。这是对自己是否理解和掌握了教材内容、是否学到了手的检验。如果发现有些问题还不清楚, 应该再回过头去钻研教材的有关部分。做习题不仅要求答案正确, 而且要求思路清晰、表达简明、作图规矩、书写整洁。这是对工程技术人员的基本训练的要求。

第四、结合学习每章的“小结”，认真写阅读笔记。“小结”全面地、简明地、系统地归纳了本章的基本概念、基本理论、基本方法，有的还对某些内容加以深化。在阅读“小结”之后，读者也应写以写阅读笔记的形式对本章内容进行更详细的小结。这不仅能帮助读者牢固掌握本章的内容，而且也能帮助读者提高独立工作的能力。

目 录

前 言

引 言

第一篇 静力学

第一章 静力学的基本概念和公理	3
第一节 力和刚体的概念	3
第二节 静力学公理	5
第三节 约束和约束反力	10
第四节 物体的受力分析 受力图	16
第二章 平面汇交力系	27
第一节 平面汇交力系合成和平衡的几何法	27
第二节 三力平衡定理	33
第三节 力在轴上的投影、力沿直角坐标轴的分解	36
第四节 平面汇交力系合成和平衡的解析法	38
第三章 平面力偶系	49
第一节 力对点的矩	49
第二节 力偶及其性质	53
第三节 平面力偶系的合成与平衡	57
第四章 平面任意力系	64
第一节 力向一点平移	65
第二节 平面任意力系向一点简化	67
第三节 平面任意力系简化的最后结果	69
第四节 平面平行力系的简化	75
第五节 平面任意力系的平衡方程	79
第六节 平面平行力系的平衡方程	88
第七节 静定和静不定问题	91
第八节 物体系统的平衡	92
第九节 平面简单桁架的内力计算	103
第五章 摩擦	117
第一节 摩擦的概念	117
第二节 滑动摩擦	118
第三节 考虑摩擦的平衡问题	122
第四节 滚阻	133
第六章 空间汇交力系和空间力偶系	144
第一节 力在空间坐标轴上的投影	144

第二节	空间汇交力系的合成和平衡	148
第三节	用矢量表示力对点的矩	155
第四节	用矢量表示力偶矩 空间力偶的等效	156
第五节	空间力偶系的合成和平衡	159
第七章	空间任意力系	169
第一节	力对轴的矩	170
第二节	力对点的矩与力对通过此点的轴的矩之间的关系	173
第三节	空间任意力系向一点简化	179
第四节	空间任意力系简化的最后结果 合力矩定理	179
第五节	空间任意力系的平衡	183
第六节	平行力系中心 重心和形心	192

第二篇 运动学

第八章	点的运动	214
第一节	点的运动的矢量表示法	214
第二节	点的运动的直角坐标表示法	216
第三节	点的运动的自然表示法	228
第九章	刚体的基本运动	244
第一节	刚体的平行移动	244
第二节	刚体绕定轴转动	246
第三节	定轴转动刚体内各点的速度和加速度	249
第四节	轮系的传动	254
第五节	角速度和角加速度的矢量表示 以矢积表示点的速度和加速度	258
第十章	点的合成运动	263
第一节	绝对运动、相对运动和牵连运动	264
第二节	点的速度合成定理	268
第三节	牵连运动为平动时的加速度合成定理	277
第四节	牵连运动为转动时的加速度合成定理	282
第十一章	刚体的平面运动	295
第一节	刚体平面运动的运动方程	295
第二节	平面运动分解为平动和转动	297
第三节	平面图形上各点的速度	299
第四节	平面图形上各点的加速度	319

第一篇 静力学

绪 言

静力学研究物体在力系作用下处于平衡的规律。

平衡是物体机械运动的一种特殊形式。所谓平衡，在工程上，一般是指物体相对于地球处于静止或作匀速直线平动的状态。例如，在地面上静止着的水坝、厂房，在直线轨道上匀速行驶的火车等，都是处于平衡状态。物体静止和匀速直线平动的共同特点是加速度等于零，在本书动力学部分将证明，处于静止的物体和作匀速直线平动的物体的平衡规律是相同的。在静力学中，一般是以处于静止状态的物体为研究对象。

物体的运动是绝对的，平衡是相对的，有条件的，例如上述相对于地球处于平衡状态的水坝和厂房，相对于太阳就不再处于平衡状态。在多数工程中，物体相对于地球的平衡规律具有较好的精确度。今后如无特别说明，物体处于平衡状态都是相对于地球而言的。

静力学研究的两个基本问题是：

(1) 力系简化的问题。我们将作用于物体上的一群力称为力系。力系简化的问题，就是研究如何用另一个力系（包括最简单的力系）来替换已知的力系，而不改变这力系对物体的效应。

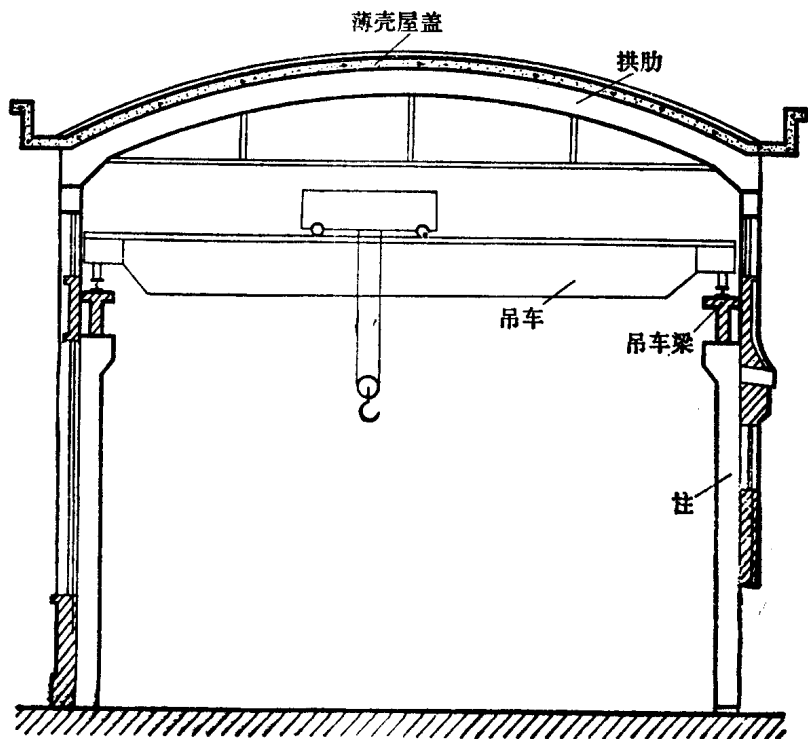


图 0-1

(2) 平衡问题。就是研究物体处于平衡状态时, 作用于物体上的力系应满足怎样的条件, 这种条件就是力系的平衡条件。

力系的简化对静力学和动力学都有重要的意义。从力系简化的结果, 可以了解力系对物体的总效应, 不仅能推导出力系的平衡条件, 也为学习动力学提供了必需的基础。

平衡问题就是物体在各种力系作用下的平衡条件及其应用, 其中主要的是已知物体受力系作用处于平衡时, 应用力系的平衡条件确定力系中的未知力。

静力学理论在生产实践中有着广泛的应用, 是学习后继课程的必要基础。例如, 图0-1所示排灌站厂房的上部结构, 是由圆筒形薄壳屋盖、拱肋、吊车梁和柱子等构件组成, 受到各种力(如风力、屋顶和雪的重量、起吊重量和各构件的自重等)的作用; 进行厂房结构设计时, 必须应用静力学理论, 将各种物体对结构中各构件的作用进行力的抽象、简化和分析, 以作为确定各构件的材料和截面尺寸的依据。其它如闸、坝、桥梁等建筑物的设计, 机械工程中如机床、起重机等的设计, 都要对它们的各个构件或零、部件进行受力分析, 以便得到既安全又经济的设计方案。又因为平衡是物体运动的一种特殊状态, 所以, 静力学的基本概念和基本理论也是学习动力学的必备基础。

第一章 静力学的基本概念和公理

学 习 指 导

本章的基本内容是力和刚体的概念、静力学公理、约束和约束反力，以及画被研究的物体的受力图等，其中画受力图是重点。

本章内容是力学的重要基础。学习时要求：

(1) 深刻领会力和刚体的概念，理解各个公理的内容和意义。各个公理从不同侧面表达了力和刚体这两个概念的外延和内涵，是研究静力学问题的理论依据。

(2) 透彻了解常见约束的构造和性质，并能根据约束的构造和性质确定相应的约束反力的方向。

(3) 能正确地分析物体的受力，熟练地画出单个物体和物体系统的受力图；正确地进行受力和画受力图是解决静力学问题和动力学问题的前提和关键。

※

※

※

※

第一节 力和刚体的概念

一、力的概念

力的最初概念是人们在提、举、推、掷某一物体的过程中，由肌肉感觉到的一种作用。在这些过程中，人们对物体施加了“力”，而物体受到“力”的作用后，发生了运动状态的改变。后来随着生产的发展，人们对实际事物经过反复的观察和经验积累，认识到，无论在自然界或工程中，物体机械运动状态的改变或物体的变形，都是物体间相互机械作用的结果。例如，水冲击水涡轮使它由静止进入运动，在跑车起吊重物时吊车梁产生弯曲，等等。这样，人们通过科学的抽象，得出了力的科学概念：**力是物体间相互的机械作用，这种作用的结果使物体的机械运动状态发生改变，或使物体变形。**

必须指出，不论物体是相互直接接触，还是相互保持一定的距离，力都是可以产生的。如水对坝面的压力，机车对列车的牵引力，物体接触面之间的摩擦力等，都是物体直接接触时产生的力；而天体的引力，带电的或磁化了的粒子之间的电磁力等，都是物体保持一定距离时产生的力。在力学中，不研究力的物理本质，而只研究力对物体的效应。力对物体的效应表现为两个方面：使物体的运动状态发生改变和使物体的形状发生改变。前者叫做力的**运动效应**或**外效应**，后者叫做力的**变形效应**或**内效应**。例如，用起重机起吊钢筋混凝土预制梁时（图1-1），梁在吊索拉力和重力作用下，由静止进入向上运动，并产生变形（图中虚线为变形后的梁）。其实，变形也是物体内各部分运动状态变化的结果，但因这种情况具有特殊性，所以仍然将它与通常所谓的运动状态的变化加以区别。理论力学只研究力的运动效应，力的变形效应将在研究变形体力学问题的学科（如材料力学）中讨论。

经验表明, 力的物理本质不影响力的效应, 不同物理本质的力可以产生同样的效应, 起决定作用的是力的大小、方向和作用点。

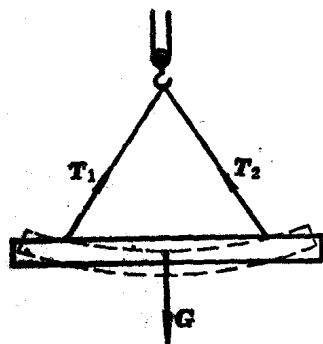


图 1-1

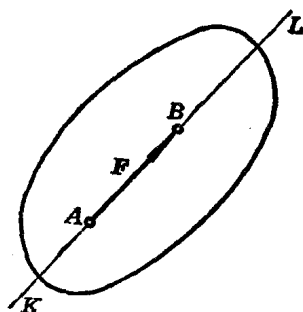


图 1-2

力的大小是指物体间相互机械作用的强弱。根据力的概念和力对物体的效应, 可以有两种量测力的大小的方法:

(1) 动力学方法: 量测物体在惯性参考系[●]中的加速度。

(2) 静力学方法: 量测弹性物体的变形。

为了度量力的大小, 必须确定力的单位。在本书采用法定单位制, 力的单位是牛顿 (N), 简称牛。目前工程上还采用公制, 力的单位是公斤 (kg) 或吨 (t)。牛顿和公斤力的换算关系是

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

力的方向是指一物体对另一物体机械作用的方向。力的方向包含方位和指向两层涵义。比如说重力“铅垂向下”, “铅垂”是指力的方位, “向下”是指力的指向。

力的作用点是指一物体在另一物体上机械作用的位置。在一般情况下, 力的作用位置不是一个点而是一定的面积或体积。但当作用面积或体积很小以至可以忽略其大小时, 就可抽象为一个点, 作用于这个点上的力称为集中力, 这个点称为作用点。

力的大小、方向和作用点称为力的三要素, 三个要素中无论改变哪一个要素, 都会影响力对物体的效应。

在力学中有两类量: 标量和矢量。如果在确定某种量时, 只需考虑其大小, 则称这类量为标量, 如质量、长度、时间等都是标量。如果在确定某种量时, 不仅要考虑其大小, 而且要考虑其方向, 则称这类量为矢量(或向量)。力既然是一个有大小和方向的量, 且又符合矢量运算法则, 所以力是矢量。可用一带箭头的直线段将力的三要素表示出来, 如图 1-2 所示: 线段的长度按一定的比例尺表示力的大小; 线段的方位和箭头的指向表示力的方向; 线段的始端或末端表示力的作用点。通过力的作用点沿力的方向的直线, 称为力的作用线, 如图 1-2 中的 KL。

本书约定用黑体字母表示矢量, 用细斜体的同一字母表示该矢量的大小。例如在图

● 由普通物理学知, 凡是对牛顿运动定律成立的参考系称为惯性参考系。

1-2中, 用 $\vec{F}$ 表示力的矢量, F 表示这个力的大小。始端为 A , 末端为 B 的矢量也可记为 $\overrightarrow{AB}$, 而 AB 则表示这个矢量的大小。

二、刚体的概念

实际工程中的结构构件和机械零件在力作用下产生的变形是很微小的, 在研究力对物体的外效应时, 这种微小的变形影响极小, 可以略去不计, 而把物体看作是不变形的, 即所谓的**刚体**。**刚体就是在任何力的作用下, 其大小和形状始终保持不变的物体**。换句话说, 刚体内任何两点间的距离不因力的作用而改变。刚体是对物体进行抽象化后得到的一个理想模型, 事实上是不存在的。但是, 忽略物体较小的变形, 在分析力的外效应和研究物体的平衡规律时所得结论的精确度是足够的, 同时还可以简化计算, 突出事物的主要矛盾, 因此, 这种科学的抽象是必要的, 也是为实际所许可的。当然, 当变形这一因素在所研究的问题中跃居主要地位时, 就不能再把物体看成是刚体了。但就是在变形体平衡问题的研究中, 仍将以刚体的平衡规律作为基础。

三、几个有关力的定义

如果物体在一力系作用下处于平衡状态, 则该力系称为**平衡力系**, 或称为效应等于零的力系。

平衡力系中的任一个力称为其余所有力的**平衡力**。力系平衡所必须满足的条件称为**平衡条件**。

若一个力系能代替另一个力系, 而又不改变物体的运动状态, 则称此二力系为**等效力系**或**互等力系**。

若一个力能代替一个力系, 而又不改变物体的运动状态, 则称此力为该力系的**合力**, 这种代替称为**合成**。若一个力系能等效地代替一个力, 则该力系的各个力称为此力的**分力**, 这种代替称为**分解**。

同样, 若一个力能代替另一个力, 而又不改变物体的运动状态, 则此二力为**等效力**。必须指出, 等效力不同于等矢量。在力学中, 如果两个矢量平行, 指向同一方向, 且大小相等, 则此二矢量是等矢量。对于两个等效力, 上述条件就不充分了。根据力的三要素, 只有当两个力大小和方向相同, 即几何(矢量)相等, 且作用于物体上同一点时, 这两个力才是等效力。图 1-3 上表示的是两个大小和方向相同即几何相等但不等效的力 $\vec{F}$ 和 $\vec{P}$ 。数学表达式 $\vec{F} = \vec{P}$ 只表示这两个力的大小相等、方向相同。

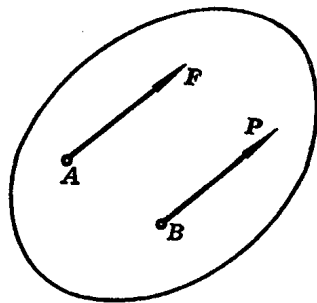


图 1-3

第二节 静力学公理

人们在长期的生产和生活实践中, 对机械运动和力的基本性质的认识不断深化, 经过概括和归纳, 得出了一些公理, 公理是更深刻反映机械运动本质的简单而又普遍的规律, 它的正确性只能由实践来证实。静力学公理是推证全部静力学理论的出发点, 是静力学的

基础。

公理一（二力平衡公理）

作用在同一刚体上的两个力，使刚体处于平衡状态的必要和充分条件是：这两个力大小相等，方向相反，作用在同一直线上（简称等值、反向、共线）。

这个公理说明，一个力不可能成为平衡力系。所以二力平衡公理建立了最简单的力系的平衡条件，是推证力系平衡条件的基础。

这个公理还说明，作用在同一刚体上的两个不共线的力不可能成为平衡力系。

在静力学中，常常需要确定作用于平衡状态下的不计重量的刚性杆件两端的力。如图1-4(a)、(b)、(c)、(d)所示的刚性杆AB，如在其两端A和B分别作用力 F_1 和 F_2 ，而杆件处于平衡时，则根据公理一，此二力必须大小相等，方向相反，沿着两端点A、B的连线。这种受二力作用而处于平衡状态的杆件或构件称为二力杆件或二力构件。对于二力杆件，

如果知道二力的作用点，即可根据二力平衡条件确定二力的作用线。

必须指出，公理一只适用于刚体，而不适用于变形体。例如，作用在图1-4(a)所示的刚杆AB两端的力 F_1 、 F_2 是一对拉力，而作用在图1-4(b)所示的刚杆AB上的力 F_1 、 F_2 是一对压力，在这两种情形下，刚杆AB都将处于平衡状态。如果作用的力不变，而将刚杆换成变形体柔索，那么，在拉力作用下，柔索可以保持平衡，而在压力作用下，则不能保持平衡。

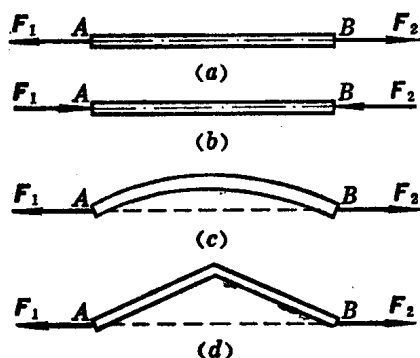


图 1-4

可见，刚体平衡的必要和充分条件，对于变形体来说，只是必要条件而不是充分条件。

公理二（加减平衡力系公理）

在作用于刚体上的任一力系中，加上或取去任意一个平衡力系，并不改变原力系对刚体的效应。

加减平衡力系公理是力系简化的重要理论依据。

由公理二可推得：作用在刚体上的力可沿其作用线移动到这刚体内的任意一点，而不改变该力对这刚体的效应。这一推论称为力的可传性原理。

证明：若刚体上点A有一力 F_A 作用[图1-5(a)]，那么，根据公理二，可在刚体内力 F_A 的作用线上的任一点B加上两个相互平衡的力 F_B 和 F'_B [图1-5(b)]，于是力 F_A 与力系 (F_A, F_B, F'_B) 等效。如果使 $F_B = F_A = -F'_B$ ，则力系 (F_A, F_B, F'_B) 中的力 F_A 和 F'_B 也构成平衡力系，根据公理二，取去这两个力[图1-5(c)]，于是刚体上只剩下一个作用在点B的力 F_B 。由于力 F_B 与力 F_A 大小相等，方向相同，沿同一作用线，这就相当于把原来作用于点A的力 F_A 沿其作用线移动到刚体内任一指定点B，而力 F_A 对刚体的效应不变。例如用手推车，或沿同一作用线，以同样大小的力用绳索拉车，对车的效应是相同的。因此，对于刚体而言，第一，力的三要素又可表示为：力的大小、方向和作用线；第二，力是滑移

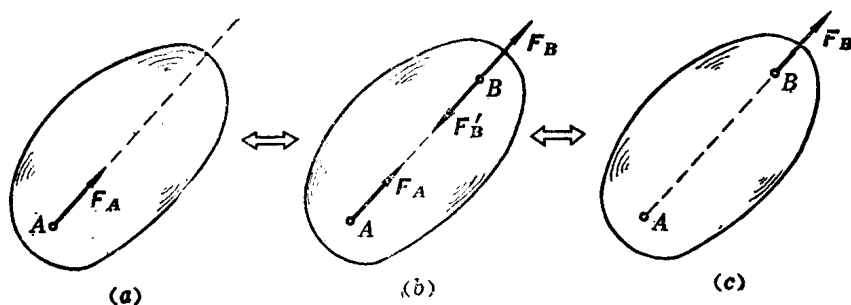


图 1-5

必须注意，加减平衡力系公理和力的可传性原理只适用于刚体，公理和原理中所说的效应，是指力对刚体的运动效应。在研究变形体问题时，加减平衡力系和力沿作用线移动，都会改变力对物体的变形效应。例如图1-6(a)所示的弹簧，在其两端点A、B分别作用大小相等、方向相反、作用线相同的两个力 F_1 、 F_2 ，弹簧将会伸长，即产生拉伸变形。如取去由力 F_1 、 F_2 所组成的这一平衡力系，则拉伸变形将会消失，即弹簧恢复到原有长度[图1-6(b)]。若将力 F_1 沿其作用线移至点B，力 F_2 移至点A，则弹簧将由拉伸变形变为压缩变形[图1-6(c)]。这三种变形效应是截然不同的。

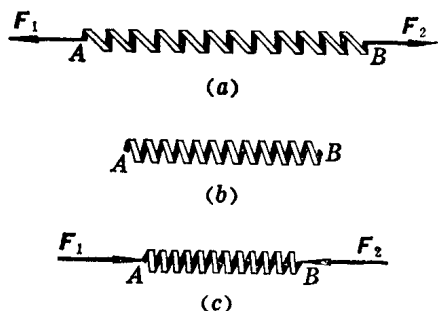


图 1-6

公理三（力的平行四边形法则）

作用于物体上同一点的两个力可以合成为仍作用于该点的一个合力，合力的大小和方向由以这两个力的矢量为邻边所构成的平行四边形的对角线来表示。

力的平行四边形法则是力系简化的重要基础。此法则表明，力是一个矢量，作用于同一点的两个力可按矢量加法合成为一个合力，而且合力的大小、方向和作用点可完全确定。

设在物体上点A作用两个力 F_1 和 F_2 [图 1-7(a)]，以 R 表示这两个力的合力，根据力的平行四边形法则，有

$$R = F_1 + F_2$$

上式为矢量表达式。在这个式子中，以及以后所有的矢量式子中，每个矢量只表示其所代表的具体物理量的大小和方向，式中“+”号表示按平行四边形法则相加的矢量加法，即作用于物体上同一点两个力的合力的大小和方向，等于这两个力的矢量和。

求两个共点力的合力时，不必作出整个平行四边形。由图1-7(b)可以看出，先作力 F_1 的矢量 $\overline{AB}$ ，从其末端B再作力 F_2 的矢量 $\overline{BC}$ ，连接A、C两点，即得合力 R 的矢量 $\overline{AC}$ 。三角形ABC称为力矢三角形，这一求共点两个力的合力的方法称为力三角形法则。如果先作力 F_2 的矢量 $\overline{AD}$ ，再从点D作力 F_1 的矢量 $\overline{DC}$ [图1-7(c)]，也能得到相同的合力 R 的矢量 $\overline{AC}$ 。可见作力矢三角形的先后次序不同，并不影响合力 R 的大小和方向。由力三角形法

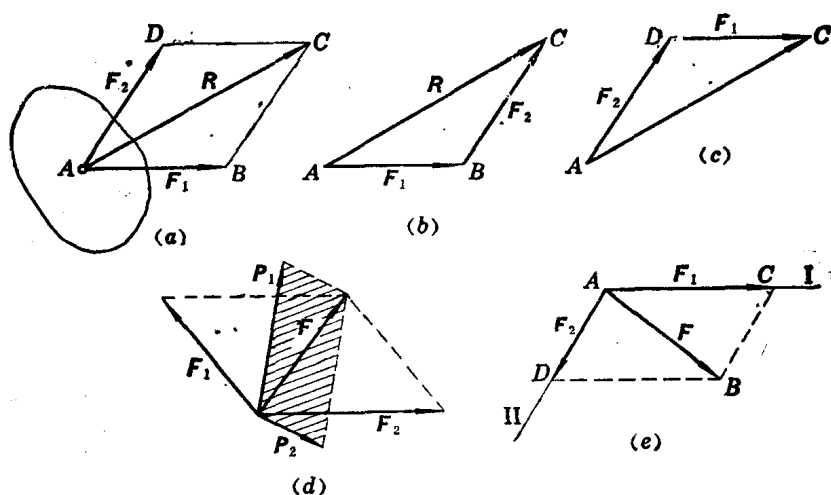


图 1-7

则只能决定合力的大小和方向，合力作用线应通过二分力的交点。

公理三对于刚体和变形体都适用。若为刚体，只要两力作用线相交，便可根据力的可传性原理，将两力分别沿其作用线移至交点，再根据力的平行四边形法则求两力的合力。

反过来，也可以根据力的平行四边形法则或力三角形法则，将一个力分解成在同一平面上的两个分力。但是，如果没有足够的限制条件，这个问题的解答将是无穷多的，即解答是不定的。因为以一个已知力为对角线，可以作出无穷多个平行四边形。如图1-7(d)所示，力 F 可以分解为 P_1 和 P_2 两个分力，也可以分解为 F_1 和 F_2 两个分力，等等。因此要有确定的解答，还须附加足够的条件。最常见的条件是已知两个分力的方位，确定其大小：设已知力 F 作用于点 A [图1-7(e)]，直线I和II各表示分力 F_1 和 F_2 的方位。应用平行四边形法则，由力 F 的B端作 BC 和 BD 分别平行于I和II，得平行四边形 $ABCD$ ，则 AC 和 AD 代表力 F 的分力 F_1 和 F_2 。

公理四（作用与反作用定律）

两个物体相互作用的力，即作用力与反作用力，总是大小相等，方向相反，作用线重合，分别作用于这两个物体上。

这一定律概括了任何两物体间相互作用的关系，不论物体是处于平衡状态还是处于不平衡状态，也不论物体是刚体还是变形体，定律都普遍适用。同时，这一定律给出了分析物体之间相互作用的力的一个重要规律，即力总是成对出现的，有作用力，必定有反作用力。当如图1-8(a)所示的物体 M 沿固定平面向右运动时，将受到固定平面施加的与运动

方向相反（即向左）的摩擦力 F 的作用，而物体 M 也将以同样大小的力 F' 作用于固定平面，但其方向与摩擦力 F 的方向相反，即 $F' = -F$ ，如图1-8(b)所示。

由于作用力和反作用力分别作用在两个不同的物体上，这两个力并不构成平衡

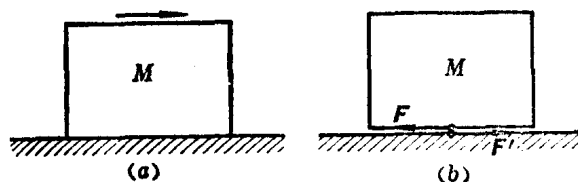


图 1-8