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科学。

物体在空间的位置随时间的改变，称为机械运动。 机械运动是人们生活和生产实践中最常见的一种运动。平衡是机械运动的特殊情况。

在客观世界中，存在各种各样的物质运动，例如发热、发光和发生电磁场等物理现象，化合和分解等化学变化，以及人的思维活动等。在物质的各种运动形式中，机械运动是最简单的一种。物质的各种运动形式在一定的条件下可以相互转化，而且在高级和复杂的运动中，往往存在着简单的机械运动。

本课程研究的内容是速度远小于光速的宏观物体的机械运动，它以伽利略和牛顿总结的基本定律为基础，属于古典力学的范畴。至于速度接近于光速的物体和基本粒子的运动，则必须用相对论和量子力学的观点才能完善地予以解释。宏观物体远小于光速的运动是日常生活及一般工程中最常遇到的，古典力学有着最广泛的应用。理论力学所研究的则是这种运动中最一般、最普遍的规律，是各门力学分支的基础。

本课程的内容包括以下三个部分：

静力学——主要研究受力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等。

运动学——只从几何的角度来研究物体的运动（如轨迹、速度和加速度等），而不研究引起物体运动的物理原因。

动力学——研究受力物体的运动与作用力之间的关系。

二、理论力学的研究方法

在力学的长期形成和发展过程中，力学的研究方法日臻完善，并趋于成熟。力学的研究方法完全符合“实践——理论——实践”的辨证唯物主义认识规律。概括起来就是：人们从观察、实践和实验出发，经过抽象化和分析、综合方法、建立基本概念和公理或定律，采用逻辑推理和数学演绎、导出定理和结论，并应用它去解决实际问题，进一步验证和发展理论。

1. 观察和实验是力学的发展基础

在力学的萌芽时期，人们在生活生产实践以及对自然现象的观察中，积累了大量的感性认识和经验，建立了力的概念和早期的力学理论。从伽利略开始，人们开始有目的地进行科学实验，根据实验提出了惯性定理的内容，得出了真空中落体运动的正确结论等。科学实验是人类发现真理、检验和发展真理的特殊实践形式，它对自然科学的发生和发展具有愈来愈重要的作用，成为自然科学理论的直接基础。

需要全本请访问 www.ertongbook.com

2. 抽象化方法是力学研究的基本方法

抽象化方法是指透过现象、抽取本质的过程和方法，它是正确反映客观事物的本质，形成概念，范畴和规律的一种认识方法。抽象化方法在力学中被普遍采用。通过抽象，把形形色色、各种各样的物体简化为力学模型。如，在研究物体的机械运动时，不考虑物体几何形状和尺寸，就得到了质点的概念；不考虑物体的变形时，就得到了刚体的概念等。若需要考虑物体的变形，又将物体抽象为弹性体模型，成为材料力学等变形体力学的研究对象。这种分阶段、分层次的抽象化方法，不但抓住了事物的本质，简化了所研究的问题，而且更深刻地反映了实际。因而，科学抽象是从经验到理论的必由之路，是任何科学研究中必不可少的方法。

3. 应用公理化方法建立力学理论

所谓公理是经过人们长期实践而归纳出来的少数规定，无需证明，是对客观事物的理性认识。公理化方法是选定若干个最根本的命题作为公理，引入定义和一些基本概念，并以此为出发点，进行逻辑推理和数学演绎，从而得到有关的定理和公式，以形成完整的理论系统。静力学中的五个公理代表了静力学现象的普遍规律，据此通过数学演绎和推理，从而得到了反映静力学各个侧面的定理和公式，例如各种力学的简化结构，各种力学的平衡方程等。动力学的普遍定理也从动力学的基本定律直接推导而来。在推理过程中，必然要引入一些新概念。概念的形成，标志着人们的认识已由感性认识进行到理性阶段，是对事物本质的新的认识。例如静力学中力、刚体、平衡等概念的引入就是如此。应注意数学演绎不能绝对化，不能把力学的理论看作是数学演绎的结果，而忽略其力学本质以及实践的重要作用。

在理论力学的推理中，广泛地应用数学工具。在实际应用中，数学还是计算的手段。数学对力学的发展起了促进作用，反过来，力学所提出的问题又促进了数学的发展。特别在当今广泛应用计算机的时代，许多复杂的力学问题将会得到解决，力学与计算机的应用已结下了不解之缘。

4. 实践是检验理论惟一标准

从实践中得到的理论，还必须回到实践中去，接受实践的检验。只有当理论正确地反映客观实际时，这理论才是正确可靠的。人们进行科学研究的目的，不只是认识世界，更重要的在于改造世界。力学和其它科学一样，目的是应用理论去解决实际问题，并在新的实践中进一步发展理论。

三、学习理论力学的目的

1. 学习目的

在工科院校的许多专业中，理论力学是一门理论性较强的技术基础课。理论力学所研究的问题是力学中最普遍最基本的规律，是学习一系列后继课程的基础和前提。例如，材料力学，结构力学，机械原理，弹塑性力学，流体力学和振动理论等，都要用到理论力学的基本原理和方法。

理论力学是一门技术基础课，与工程技术的联系比较密切。某些工程实际问题可以直接应用理论力学的理论得到解决，有些比较复杂的工程问题可以应用理论力学和其他专业知识联合求解。学习理论力学为解决工程实际问题提供了必要的基础，也是一般工程技术人员必须掌握的理论和方法。

通过理论力学的学习，不仅可以学到具体的力学知识，还可以学到它的科学研究方法以及

其中所包含的辨证唯物主义思想。提高我们全面分析问题、综合应用理论和灵活求解问题的能力，为我们今后解决实际问题和进行科学研究创造条件。

2. 学习方法

学习理论力学，首先，应注意理论力学的研究方法。即如何把实际的物体抽象化为力学模型，如何应用公理化方法建立力学的理论系统，如何通过数学演绎而得到有关的定理和公式，如何应用理论去求解实际问题，有哪些方法？

其次，对于具体的学习内容，我们将学习要点归纳为：理解概念，记住结论，掌握方法，灵活解题。力学中的多数习题中，应做到举一反三，触类旁通，灵活解题，以最少的计算过程而获得正确的解答。

总之，只要学习目的明确，学习方法正确，坚持不懈，自强不息，就一定能学好理论力学。

第一篇

静 力 学

引 言

静力学是研究物体在力系作用下的平衡规律的科学。

刚体是静力学的研究对象，是人们将各种实际物体抽象化为便于计算的理想模型。力是物体间的相互机械作用，用力矢量表示，于是力矢量是进行力学定量分析的工具。工程上所谓的平衡，一般是指物体相对地面为静止状态或作匀速直线运动的状态，研究受力系作用的平衡物体继续保持平衡的条件，即平衡条件，是静力学的目的。所以，静力学主要研究以下三方面的问题：

(1) 物体的受力分析；

(2) 力系的简化；

(3) 力系的平衡条件及其应用。

由于求解静力学问题的理论依据不同，静力学分为矢量静力学与分析静力学。矢量静力学以静力学公理为基础，采用矢量代数的方法，建立刚体的平衡条件。这正是本书静力学部分的内容。分析静力学以功与能的概念为基础，采用数学分析的方法，建立虚位移原理，讨论质点系的平衡问题。

静力学在工程技术中有着广泛的应用，而且在学科本身也有重要的理论价值。学习静力学一方面为学习动力学打基础，同时又是学习各门力学课程的必要前提，对土木类专业尤为重要。

需要全本请访问 www.ertongbook.com

第一章　静力学基本概念和公理

§1－1　静力学的基本概念

静力学是研究物体在力系作用下的平衡规律的科学。

1. 平衡的概念

所谓平衡，一般是指物体相对惯性参考系（如地面）保持静止或作匀速直线运动的状态。它是机械运动的特殊形式。例如，桥梁、水坝，在直线轨道上匀速行驶的火车等等都处于平衡状态。

2. 刚体的概念

刚体是指在任何力的作用下，大小和形状始终保持不变的物体。也就是说，刚体内任意两点之间的距离保持不变。刚体是一个抽象的理想化力学模型。实践表明，任何物体在力作用下，总会产生程度不同的变形。但是，当物体产生的微小变形，对研究物体的平衡问题不起主要作用时，可以略去不计，从而使问题的研究得以简化。必须注意，不应把刚体概念绝对化，例如，在研究飞机颤振问题时，机翼的变形虽然很微小，但不能把飞机看作刚体，而应视为弹性体。

静力学中研究的物体只限于刚体，故又称为刚体静力学。它是研究变形体力学的基础。

3. 力的概念

除了平衡及刚体概念外，静力学中还遇到一个重要概念——力的概念。力的概念是从劳动中产生的，人们在长期的生活和生产中，当推、拉、提、掷物体时，从肌肉的紧张收缩中，逐渐产生了对力的感性认识；又逐渐认识到物体的机械运动状态的改变（包括变形）都是物体与物体之间力的结果。这样，逐步由感性到理性认识，建立起力的概念：力是物体间的相互机械作用。这种作用一方面使物体的运动状态发生改变，另一方面又改变了物体的形状。前者称为力的外效应或运动效应，后者称为力的内效应或变形效应。理论力学只研究力的外效应，至于力的内效应将在材料力学中讨论。

实践表明，力对物体的效应取决于以下三个因素：① 力的大小；指物体间相互作用的强弱。② 力的方向：通常包括方位和指向两层含义。例如，重力的方向“铅垂向下”。“铅垂”是力的方位；“向下”是力的指向。③ 力的作用点。

力既然有大小和方向，因此力是矢量，且为固定矢量，可以用一有向线段来表示，如图 1－1 所示。线段的长度按一定的比例表示力的大小，线段的方位和箭头表示力的方向，线段的起点或终点表示力的作用点。力矢量所在的直线称为力的作用线。本书中矢量用黑体字母表示，如 $\boldsymbol{F}$。矢量的大小用同一字母表示，如 F。

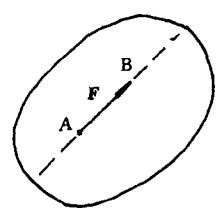


图　1－1

通常一个物体总要受到许多力的作用，我们把作用在物体上的一

群力称为力系。

在一定条件下，作用于刚体上使刚体处于平衡状态的力系称为平衡力系。平衡力系应满足的条件称为平衡条件。静力学中研究刚体的平衡规律就是研究作用于刚体的力系的平衡条件。

如果两个力系对同一个刚体的作用效应完全相同，则此二力系为等效力系。在特殊情况下，若一个力的作用效应与另一个力系作用效应相同，则称此力为这个力系的合力，而力系中的各力则称为此合力的分力。

静力学中还将讨论力系的简化。所谓简化，就是把作用于刚体上的复杂力系用一个简单力系等效代换。通过简化不仅探求力系的平衡条件，而且为动力学研究打下基础。

综上所述，力系的简化和力系的平衡是静力学研究的基本问题。

§1-2 静力学公理

人们在长期的生活和生产实践中，经过反复的观察和实验对力的基本性质进行了概括和总结，得出了静力学公理。它们是静力学全部理论的基础。

公理 1 二力平衡公理

作用于刚体上的两个力，使刚体处于平衡的必要与充分条件是：这两个力大小相等，方向相反，且在同一直线上。

公理 1 表明作用于刚体上最简单力系的平衡条件。对刚体来说，这个条件是必要与充分的。而对变形体来说，这个条件只是必要条件。例如，软绳的两端如果受的是大小相等，方向相反的拉力，可以平衡；如果是压力，则不能平衡。这个公理是今后推证力系平衡的基础。

工程上，常遇到只受两个力作用并处于平衡的杆（杆重不计）称为二力杆，如图 1-2 所示。根据公理 1 这两个力的方位必沿两力作用点的连线。

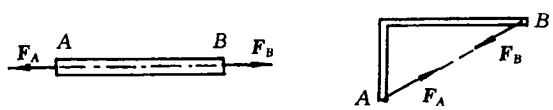


图 1-2

公理 2 加减平衡力系公理

在作用于刚体的任意力系中，加上或减去任意一个平衡力系，并不改变原力系对刚体的效应。

由平衡力系的定义易知公理 2 的正确性。它是研究力系等效变换的重要依据。

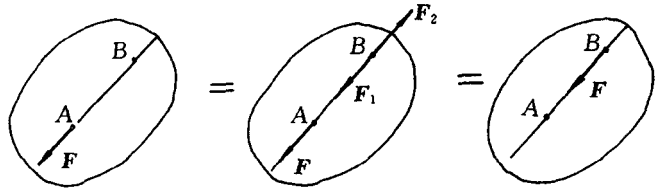
应用公理 1 和公理 2 可推导出作用于刚体上力的一个重要性质：

推论 1 刚体上力的可传性

作用于刚体上的力可沿其作用线移动而不改变此力对刚体的效应。

设力 F 作用在刚体的点 A，如图 1-3(a)所示。在力 F 的作用线上任取一点 B，并加上一对平衡力 F_1 和 F_2，使 $F = F_1 = -F_2$，如图 1-3(b)所示。由公理 2 知，这并不影响力 F 对刚体的作用效应，即力系(F，F_1，F_2) 与原力 F 等效。由公理 1 得知，F 和 F_2 是一平衡力系，减去这一

平衡力系不改变其效应，如图 1-3(c) 所示，即力系(F，F_1，F_2)与力 F_1 等效。这样，力 F_1 与作用于点 A 的力 F 等效，即原力 F 沿其作用线移到了点 B。



(a)　　(b)　　(c)

图　1-3

由此可见，力对刚体的效应与力的作用点在作用线上的位置无关。因此，对于刚体来说，力的三要素表示为：力的大小，力的指向和力的作用线。可见，力是滑动矢量。

公理 3　力的平行四边形定律

作用于物体上同一点的两个力可合成为作用于该点的一个合力。合力的大小和方向由这两个力矢为邻边所构成的平行四边形对角线来确定，如图 1-4(a) 所示。

如以 F_R 表示力 F_1 和 F_2 的合力，则

$$F_R = F_1 + F_2$$

即：合力矢等于两分力矢的矢量和。

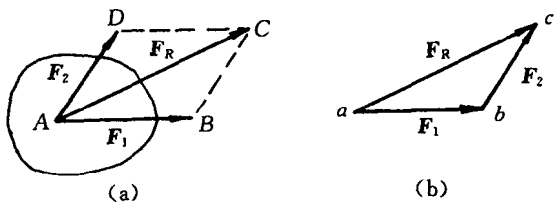


图　1-4

从图 1-4(a) 可以看出，求合力的大小和方向，实际上无需作出整个平行四边形，只要任选点 a，作 $\overrightarrow{ab}$ 表示力矢 F_1，$\overrightarrow{bc}$ 表示力矢 F_2，则 $\overrightarrow{ac}$ 即为合力矢 F_R(见图 1-4(b))。三角形 abc 称为力三角形。这种求合力的方法称为力三角形法则。

合成的逆过程是分解。利用力的平行四边形定律或三角形法则也可以把一个力分解为方位已知的两个分力。

公理 3 是力的合成与分解的基础，是力系简化的基础。

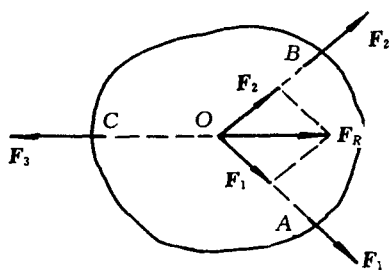


图　1-5

推论 2　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，且第三个力作用线必通过该点。

证明　如图 1-5 所示，设有相互平衡的三个力 F_1，F_2 和 F_3 分别作用于刚体的 A，B 和 C 三点。已知力 F_1 和 F_2 作用线交于点 O，按照刚体上力的可传性，将力 F_1 和 F_2 移至点 O，并利

用公理 3 求得其合力 F_R，则合力 F_R 与 F_3 平衡。由公理 1 知，力 F_3 的作用线必与合力 F_R 作用线重合，故力 F_3 必定与力 F_1 和 F_2 共面，且通过力 F_1 和 F_2 的交点 O。

必须注意：三力平衡汇交定理只是不平行三力平衡的必要条件，而非充分条件。物体受三个力平衡时，只要知道其中两力的作用线交点，第三个力的方位便可由此定理确定。

公理 4　作用与反作用定律

两个物体间的相互作用力总是大小相等，方向相反，沿同一直线分别作用在两个物体上。

公理 4 是牛顿提出的牛顿第三定律，它概括了任何两个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。作用力与反作用力用同一字母表示，但其中之一在字母的右上方加一“′”。

需要指出，尽管作用力与反作用力大小相等，方向相反，沿同一直线，但由于作用力与反作用力分别作用在两个物体上。因此它们不能平衡。

公理 5　刚化公理

变形体在力系作用下处于平衡，若将此变形体视为刚体（刚化），则其平衡不受影响。

变形体在力系作用下，无论变形如何，只要仍能处于平衡，则该力系必须满足刚体的力系平衡条件。刚体的平衡条件对变形体是必要的而不是充分的。这一点在公理 1 以软绳平衡为例已作说明。

§1-3　约束和约束反力

我们把位移不受限制、可以在空间自由运动的物体称为自由体。例如，飞行的飞机、火箭等。如果物体的位移受到限制，使其在某些方向的运动不能发生，这样的物体称为非自由体。例如，悬挂的重物，行驶的火车等。对非自由体的某些位移起限制作用的周围物体称为约束，例如绳索对悬挂的重物是约束，钢轨对火车是约束，等等。

既然约束阻碍物体的运动，也就是约束有改变物体运动状态的作用，那么约束对物体的作用实际就是力。这种力称为约束反力，简称反力。约束反力的方向总是与约束所能阻碍的物体的位移方向相反。约束反力的特征是它的大小不能预先独立确定，是未知力。它的大小与被约束物体的运动状态和作用于其上的其它力有关，应当通过力学规律才能确定。约束反力是一种被动力，与被动力相对应，能主动引起物体运动或使物体有运动趋势的力，称为主动力，例如，重力，机车牵引力，风力等。主动力的特征是大小和方向是预先已知或可以测定的。

约束的类型不同，约束反力的作用方式也各不相同。在静力学中，把常见的约束理想化，归纳为几类基本类型。下面介绍这些约束反力的特性。

1. 柔绳约束

柔绳约束包括绳索、胶带、链条等。它只能承受拉力，不能承受压力和弯曲，只能限制物体沿柔绳伸长方向的位移，不能限制物体沿其它方向的运动。因此，柔绳的约束反力只能是沿柔绳而背离被约束的物体，恒为拉力，如图 1-6 所示。

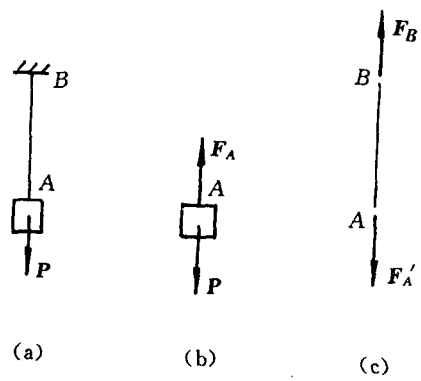
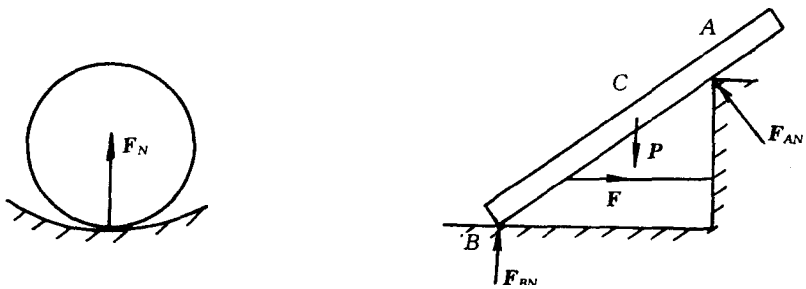


图　1-6

2. 光滑接触面约束

当物体与约束接触面之间摩擦忽略不计时，称为光滑接触面约束。这类约束的特点是不论支承面的形状如何，只能限制物体沿着接触面的公法线而指向支承面的运动，但不能限制物体沿着接触面的切线或离开支承面的运动。因此，光滑接触面的约束反力通过接触点，方向沿接触面的公法线，并指向被约束的物体，为压力，例如，图 1-7(a)中的 F_N，图 1-7(b)中的 F_{AN} 和 F_{BN}



(a)　　(b)

图　1-7

3. 光滑圆柱形铰链和固定铰支座约束

圆柱形铰链简称铰链或中间铰。理想的圆柱形铰链是由钻有相同直径圆孔的物体 A 和 B，以及相同直径的圆柱销钉 C(见图 1-8(a))，将销钉 C 插入 A，B 两物体的圆孔中构成（见图 1-8(b))。铰链的简图如图 1-8(c)所示。

这类约束的特点是只能限制物体的任意径向移动，不能限制物体绕销钉轴线的转动。略去摩擦，物体与销钉间实际上是光滑圆柱面接触，约束反力 F_N 必沿接触点公法线而指向物体（见 1-8(d)）。但仅从约束的构造无法预先确定接触点的位置，因此，约束反力 F_N 的方向也不能预先确定。为了便于计算，通常用通过轴心的两个大小未知的正交分力 F_{Cx} 和 F_{Cy} 表示（见图 1-8(e))。两分力的指向可以任意假定，其正确性可根据计算结果来判定。

如果铰链约束中有一个物体（如 A）与地面或机架固连，则构成固定铰链支座，简称固定铰支座或铰支座。这类约束的性质与铰链相同。固定铰支座的简图及其约束反力的表示法如图 1-9所示。

机械中常见的向心轴承（径向轴承）可理解为铰链约束的两个物体都被固连在地面或机架上，而销钉成为轴是被约束物体的一种约束，它实际上也是铰链约束，其简图及约束反力的表示法如图 1-10 所示。

4. 可动铰支座约束

在铰链支座与支承面之间装上辊轴，就构成辊轴支座（见图 1-11(a)）也称可动铰支座或滚动支座，其简图如图 1-11(b),(c) 所示。这类约束的特点是不能限制物体沿支承面的位移，只能限制垂直支承面方向的运动。所以，可动铰支座的约束反力必垂直支承面，且通过铰链中心，指向待定。如图 1-11(d)所示。

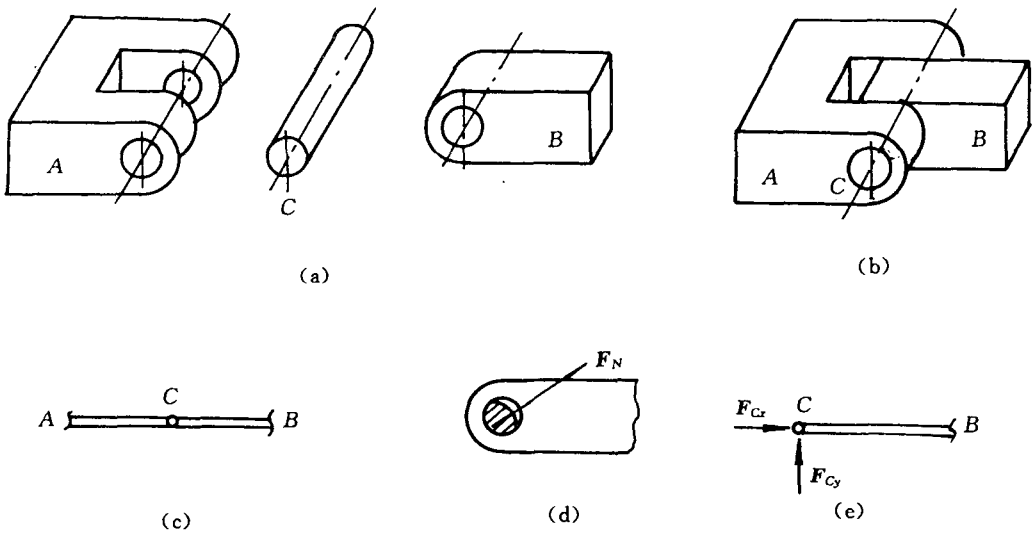


图 1-8

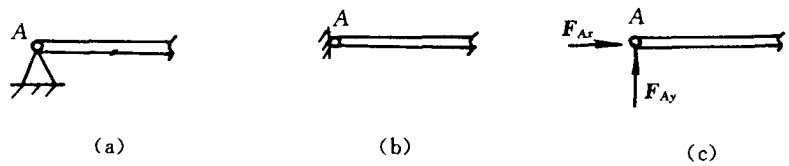


图 1-9

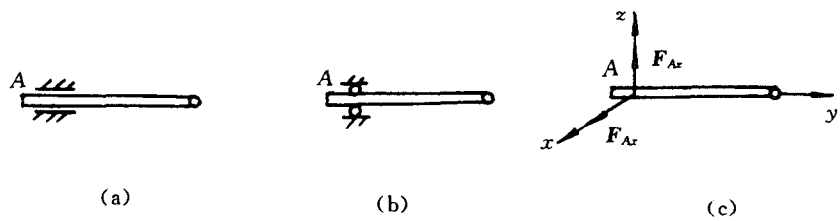


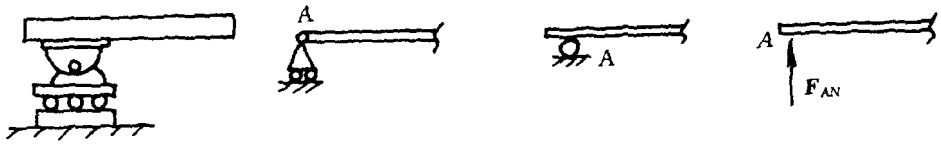
图 1-10

5. 球形铰链支座

球形铰链是由端部带球的物体与球壳连接在一起构成的约束，如图 1-12(a)所示。它限制物体离开球心的任何方向的位移，但不能限制物体绕球心的转动，例如，汽车变速箱的操纵杆连接处，简易起重机中桅杆的支座，电视机的拉杆天线支座等都是球形铰链支座。由于忽略摩擦，两物体间为光滑面接触，于是，球形铰链支座的约束反力通过球心，方向待定。通常用三个正交的分量 F_{Ax}，F_{Ay} 和 F_{Az} 表示，其简图及其约束反力表示如图 1-12(b) 所示。

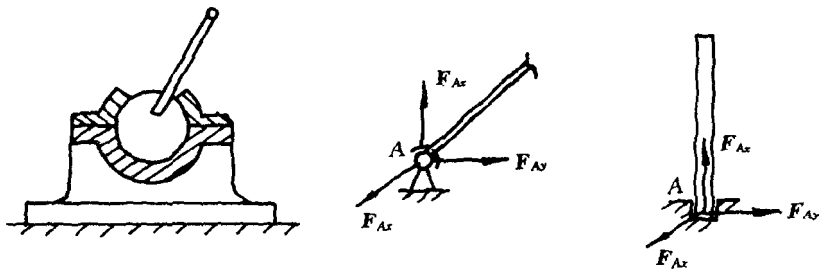
需要全本请访问 www.ertongbook.com

止推轴承与径向轴承不同，它除了限制轴的径向位移之外，还能限制轴沿轴向的位移，因而，与球形铰链支座类似，止推轴承的约束反力用三个正交分量表示。止推轴承的简图及其约束反力表示如图 1－12(c) 所示。



(a)　(b)　(c)　(d)

图　1－11

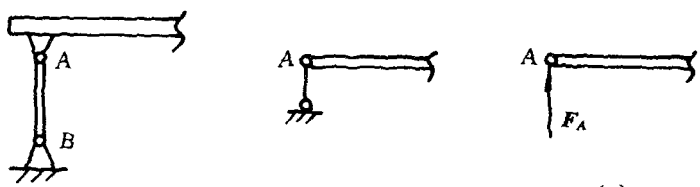


(a)　(b)　(c)

图　1－12

6. 链杆约束

在刚杆的两端分别用光滑铰链与两个物体连接起来，即构成链杆约束，如图 1－13(a) 所示。如不计刚杆重量，则刚杆为二力杆。因此，链杆约束的约束反力沿刚杆的两端铰链的连线，指向待定。图 1－13(b)、(c) 分别表示链杆的简图和约束反力表示法。



(a)　(b)　(c)

图　1－13

工程中的约束类型还很多，在以后的适当部分再作介绍。

§1－4　受力分析和受力图

在求解力学问题时，往往必须首先根据已知条件和待求各量，选定需要研究的物体，即取研究对象；然后分析它的受力情况，这个过程称为受力分析。为了清晰地表示研究对象的受力

情况，需要把研究对象（受力体）从周围物体（施力体）中分离出来，解除全部约束，单独画它的简图。这种解除约束的物体，就称为分离体。将作用于分离体上的所有主动力和去掉约束处所加的相应的约束反力以力矢表示在简图上，这样的图形称为分离体的受力图。

恰当地选取研究对象，正确画出受力图，是解决力学问题的第一关键问题。如果受力图画错，必将导致分析和计算的错误。因此，画受力图十分重要。画受力图可按下述步骤（三画）进行：

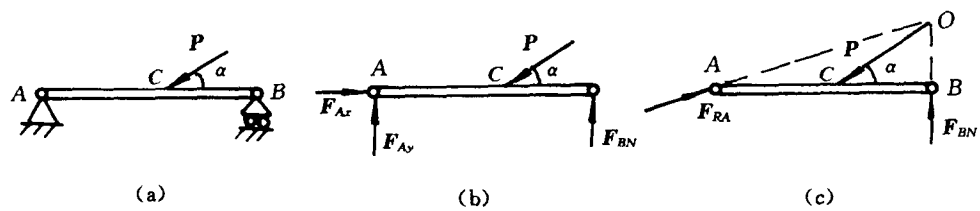
(1) 画分离体：根据题意恰当选取研究对象，单独画出其简图，并标出相应的字母。

(2) 画主动力：画出作用于分离体上的所有主动力。

(3) 画约束反力：凡去掉约束处，根据约束类型逐个画上约束反力。注意二力杆的判断，三力平衡汇交定理的应用和作用力与反作用力的表示。

下面举例说明画受力图。

例 1-1 简支梁 AB(见图 1-14(a)) 在 C 处作用一力 $\boldsymbol{P}$，梁重不计，画梁 AB 的受力图。



(a) (b) (c)

图 1-14

解 (1) 画分离体：单独画出梁 AB 的简图，并标出相应字母；

(2) 画主动力：梁 AB 受到作用于点 C 的主动力 $\boldsymbol{P}$，与 AB 的夹角为 α；

(3) 画约束反力：A 处为固定铰支座，反力以二分力 $\boldsymbol{F}_{Ax}$ 和 $\boldsymbol{F}_{Ay}$ 表示，B 处为可动铰支座，反力以 $\boldsymbol{F}_{BN}$ 表示，受力图如图 1-14(b) 所示。

梁 AB 在三个力作用下处于平衡，根据三力平衡汇交定理，已知力 $\boldsymbol{P}$ 与反力 $\boldsymbol{F}_{BN}$ 相交于点 O，则反力 $\boldsymbol{F}_{RA}$ 必通过点 O，从而确定 A 处约束反力 $\boldsymbol{F}_{RA}$ 的方位。因此，梁 AB 的受力图还可以如图 1-14(c) 所示。

例 1-2 图 1-15(a) 所示结构中，不计各杆重。试画 AB 杆的受力图。

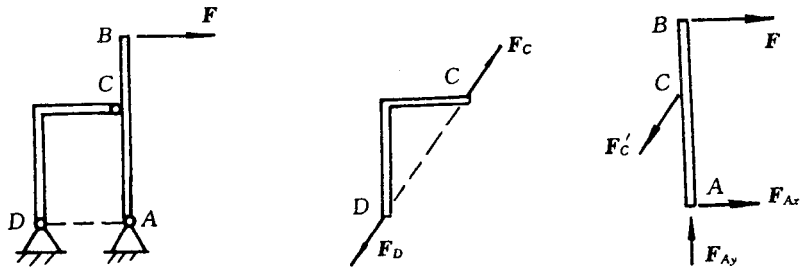
解 (1) 画分离体：画杆 AB 的简图，标出相应字母；

(2) 画主动力：杆 AB 在 B 处受水平主动力 $\boldsymbol{F}$ 作用；

(3) 画约束反力：A 处为铰支座，反力以 $\boldsymbol{F}_{Ax}$ 和 $\boldsymbol{F}_{Ay}$ 表示，C 处虽为铰链，但由于杆 CD 为二力杆，C，D 处的反力 $\boldsymbol{F}_C$，$\boldsymbol{F}_D$ 必沿二铰的连线 CD。根据作用与反作用定律，可知杆 AB 上 C 处的约束反力与 $\boldsymbol{F}_C$ 等值、反向、共线，记为 $\boldsymbol{F}_C'$。杆 AB 受力图如图 1-15(b) 所示。

另外 AB 杆 A 处的约束反力方位也可由三力平衡汇交定理确定，读者可自己完成。

对由几个物体组成的系统进行受力分析时，注意区分内力和外力。内力是系统内部各物体之间的相互作用力，而外力则是外部物体对系统内物体的作用力。内力和外力不是绝对的，在一定的条件下，可以相互转化。例如，例 1-2 中，铰链 C 处的约束反力对于整个系统是内力，而对杆 CD，杆 AB 来说，则是外力。对于系统，内力总是成对出现，组成平衡力系，对系统的作用效应相互抵消。因此，在画系统的受力图时，只画外力，不画内力。

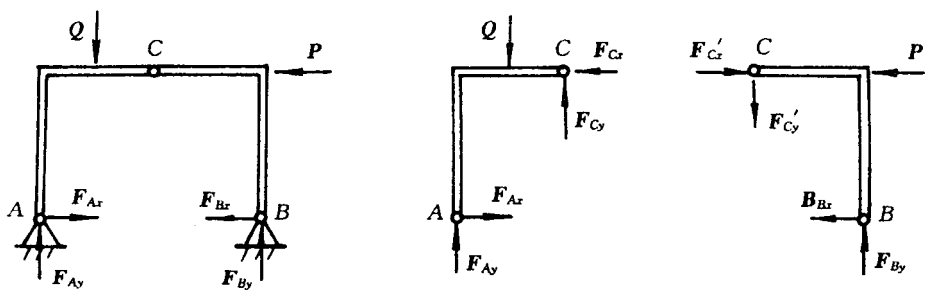


(a) (b)

图 1-15

例 1-3 三铰刚架由 AC，BC 两部分组成（见图 1-16(a)），自重不计。试分别画出杆 AC，BC 和整体的受力图。

解 （1）杆 AC 受力图。画杆 AC 的简图，AC 杆所受的主动力为 Q，A 处为固定铰支座，约束反力由 F_{Ax} 和 F_{Ay} 表示。C 处的铰链，约束反力以 F_{Cx} 和 F_{Cy} 表示。AC 杆受力图如图 1-16(b) 所示。



(a) (b) (c)

图 1-16

（2）BC 受力图。作 BC 简图，BC 所受主动力为 P，B 处是固定铰支座，约束反力为 F_{Bx} 和 F_{By}。C 处受 AC 给它的约束反力 F'_{Cx} 和 F'_{Cy} 作用，应符合作用与反作用定律，即 $F'_{Cx} = F_{Cx}$，$F'_{Cy} = F_{Cy}$，方向相反。BC 受力图如图 1-16(c) 所示。

（3）整体受力图。作整体简图，作用在整体上的主动力为 Q 和 P。铰支座 A 和 B 处的约束反力分别为 F_{Ax}，F_{Ay} 和 F_{Bx}，F_{By}。铰链 C 处的约束反力是系统的内力，在系统受力图上不画。整体受力图可画在原图上，如图 1-16(a) 所示。

习　　题

以下各题中所有接触处都认为是光滑的，物体的重力除已标出者外均略去不计。

1-1　如图 1-17 所示，作圆柱体或 AB 杆的受力图。

1-2　如图 1-18 所示，作杆 AB，BEC 的受力图。

1-3　如图 1-19 所示，作梁 AC，CD 的受力图。

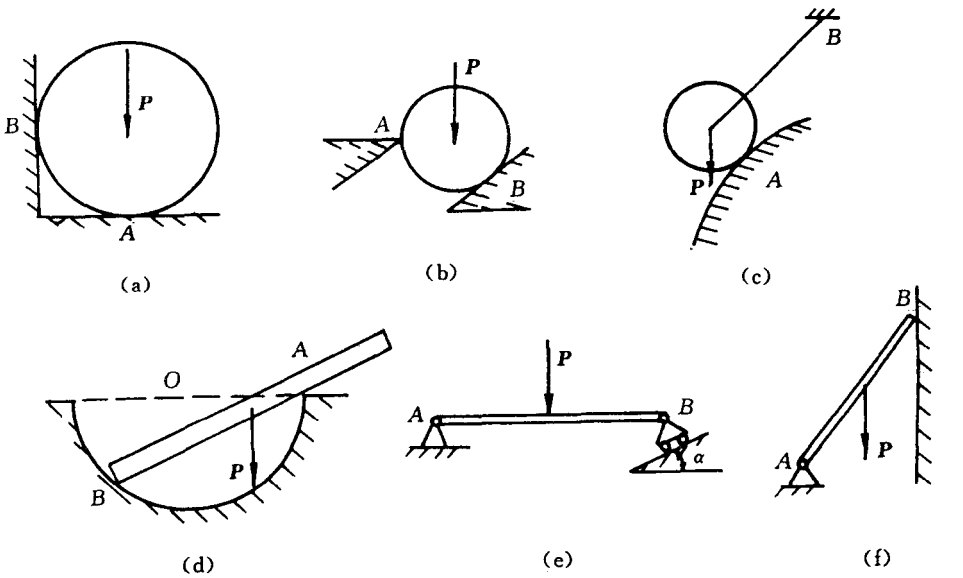


图 1-17

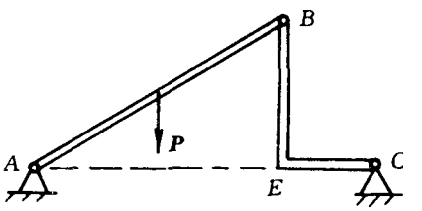


图 1-18

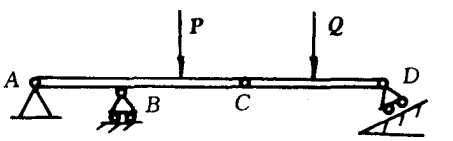


图 1-19

1-4 如图 1-20 所示，作杆 AB，CD 的受力图。

1-5 如图 1-21 所示，作构架整体，AB，BC，DE 及销钉 B（力 P 作用在销钉 B 上）的受力图。

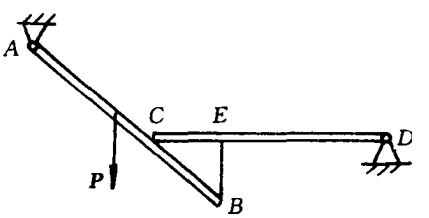


图 1-20

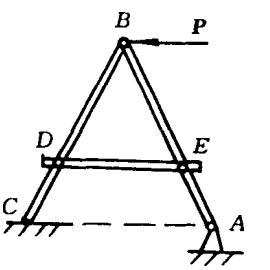


图 1-21

1-6 如图 1-22 所示，作刚架整体，AD，DBE，EC 的受力图。

1-7 如图 1-23 所示，作整体，AB，CD，EF 的受力图。

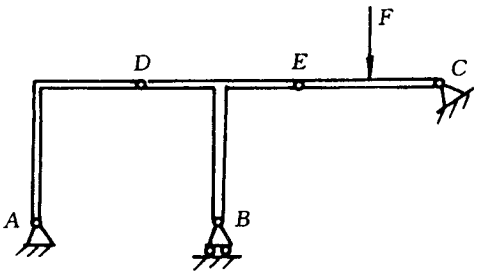


图 1-22

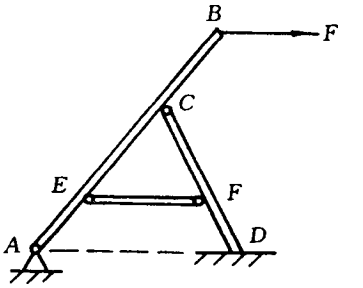


图 1-23

1-8 如图 1-24 所示，作整体，CE，BD，AB 的受力图。

1-9 如图 1-25 所示，作整体，AB，CD，AC 的受力图。

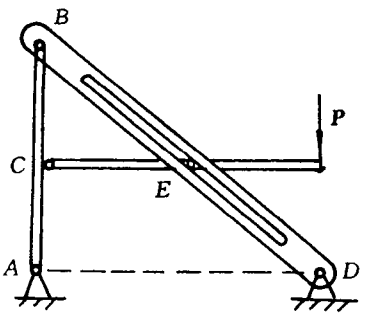


图 1-24

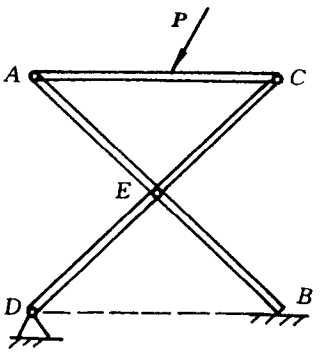


图 1-25

1-10 如图 1-26 所示，作整体，AB，AC，BC（均不包括销钉 A，C），销钉 A，销钉 C 及 AC（带销钉 A，C）的受力图。

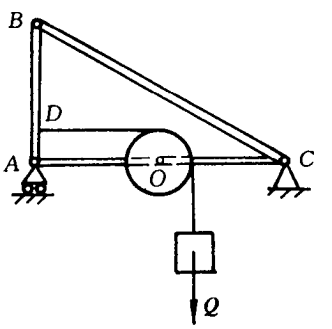


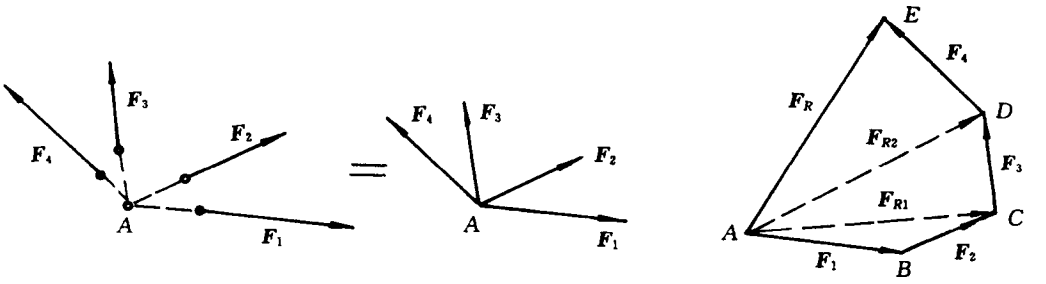
图 1-26

第二章　　汇交力系

汇交力系分为平面汇交力系和空间汇交力系。所谓平面汇交力系就是各力作用线汇交于一点，且位于同一平面内的力系。空间汇交力系指各力作用线汇交于一点，且不在同一平面内的力系。汇交力系是一种最简单的基本力系。本章将采用几何法和解析法研究汇交力系的合成和平衡问题。

§2-1　汇交力系合成的几何法

设有平面汇交力系 F_1，F_2，F_3，F_4 作用于刚体，各力作用线汇交于点 A(见图 2-1(a))。根据刚体上力的可传性，将各力分别沿其作用线移到汇交点 A，得到共点力系如图 2-1(b)所示。为求此共点力系的合成结果，连续应用力的三角形法则将各力顺次合成。即先将力 F_1，F_2 合成得力 F_{R1}(见图 2-1(c))，再把力 F_{R1} 与 F_3 合成得力 F_{R2} 最后将力 F_{R2} 与 F_4 合成得力 F_R。力 F_R 就是共点力系的合力，合力矢等于各力矢的矢量和，合力的作用线通过汇交点 A。



(a)　　(b)　　(c)

图　2-1

实际上，作图时力 F_{R1} 和力 F_{R2} 只是过渡，不必画出，只要把各力矢首尾连接，则连接第一分力矢末端与最后一分力矢末端的矢量就是合力 F_R。多边形 $ABCDE$ 称为力多边形。合力矢是多边形的封闭边。这种求合力的方法称为力多边形法则。

对于空间汇交力系，几何法所作的力多边形是一个空间的折线多边形，实际求解时很不方便，一般不采用几何法。

同样，不难得到 n 个力组成的任一汇交力系，一般地可合成为一合力，合力的作用线通过汇交点，合力矢等于各力矢的矢量和，即

$$F_R = F_1 + F_2 + \cdots + F_n = \sum F \tag{2-1}$$

由式(2-1)知，在作力多边形时，可以任意交换各力矢的作图次序，虽然得到形状不同的

需要全本请访问 www.ertongbook.com