

高等学校教材

建筑力学 第一分册

理论力学 第5版

重庆大学
邹昭文 程光均 张祥东 编

高等教育出版社

绪 论

建筑力学包括理论力学、材料力学和结构力学三门学科。理论力学研究物体机械运动的一般规律,即力学中最普遍、最基本的规律,这些规律是学习材料力学、结构力学的重要理论基础。材料力学和结构力学分别着重研究杆状结构及杆系结构的强度、刚度及稳定性,为设计构件和结构提供理论依据和方法。这三门课之间有着密切的内在联系并相互衔接。

物体机械运动是指物体在空间的位置随时间的变化。平衡是机械运动的特殊情况,它也包含在理论力学所研究的内容之中,而且对土木工程各专业来讲,这一部分是很重要的。

理论力学是以伽利略和牛顿所总结的基本规律为基础的,属于古典力学的范畴。所谓“古典”是相对于近代出现和发展起来的相对论和量子力学而言的。相对论力学研究速度可与光速($300\,000\text{ km/s}$)相比较的运动;量子力学研究微观粒子的运动;而古典力学则研究速度远小于光速的宏观物体的运动。因此,古典力学的研究范围有其局限性。但是,在现代科学技术中,古典力学仍有其重要的现实意义。这是因为,不仅在一般工程技术中,即使在一些尖端科学,如火箭技术、宇宙航行等方面,所研究的物体都是宏观物体,而且其运动速度也都是远小于光速,所以也仍然是用古典力学的原理去解决有关的力学问题。

理论力学的内容,一般分为静力学、运动学和动力学三部分。静力学研究物体平衡时作用于其上的诸力之间的关系;运动学研究物体机械运动的几何特征而不涉及力的作用;动力学研究物体的机械运动与受力之间的关系。

机械运动现象十分普遍,在我们的周围处处可见。如车辆的行驶、机器的运转、水的流动、人造卫星和宇宙飞船的运行、建筑物的振动等都是机械运动。学习理论力学,了解机械运动规律,就不仅能使人们理解机械运动的现象,更为重要的是为了应用这些规律去解决工程技术问题。现在,当全国人民为实现我国的工业、农业、国防和科学技术现代化而努力工作的时候,随着国民经济的迅速发展,在生产建设的各个领域里,必然会产生许多新的复杂的工程技术问题,需要人们加以解决。工程技术问题是复杂的,有的可以直接应用理论力学基本理论去解决,有的则需要理论力学知识和其他专门知识共同来解决。所以,对于一个工程技术人员来说,理论力学知识是必不可少的。又由于理论力学是研究机械运动的基本理论,它是一系列后继的技术基础课和专业课的理论基础,所以学好理论力学,也是为学习一系列学科做好了准备。

在形成理论力学的概念和理论系统的过程中,抽象化和数学演绎这两种方法起着重要的作用。抽象化方法,就是在一定的研究范围内,根据问题的性质,抓住主要的、起决定作用的因素,撇开次要的、偶然的因素,深入事物的本质,了解其内部联系的方法。例如,在研究地球绕太阳运行的轨道、周期等问题时,不考虑地球的大小和形状而将它抽象为一个点。又如,在研究物体的机械运动时,往往忽略物体受力时要变形的性质,而将物体简化为刚体等。数学演绎的方法,就

是在经过实践证明为正确的理论基础上,经过严密的数学推演,得到定理和公式构成系统理论的方法。理论力学中许多定理都是以牛顿定律为基础,经过严密推导得到的。但是,抽象必须是“科学的抽象”,如不顾条件随意取舍,则其结果将是荒谬的。同时,数学推演的结果也只是在一定范围内成立,不能绝对化;此外,也不能把力学理论单纯地看成是数学演绎的结果而忽视其实践的作用。将实际工程中提出的问题,抽象化为力学问题,以已有的力学理论为依据,运用数学工具进行演绎求得解决,然后将结果运用到实践中去检验其正确性。如此循环往复使认识不断深化,这是力学理论发展的道路,也是所有科学发展的道路。

The background features a complex geometric pattern of overlapping triangles and lines in various shades of gray. The lines are thin and white, creating a sense of depth and structure. The overall composition is minimalist and modern.

第一篇 静力学

静力学基本公理与物体的受力分析

§ 1-1 静力学基本概念

静力学主要研究力的基本性质和力系的合成规律以及力系的平衡理论。

在静力学中所指的物体都是刚体。所谓刚体是指在运动中和受力作用后,其形状和大小都不发生改变,而且内部各点之间的距离不变的物体。实际上,任何物体在力的作用下都将发生变形。但有许多物体(例如,工程结构物的构件或机器的零件)受力时其变形很小,以致在所研究的问题中忽略此变形后对研究结果的精度并无显著影响,而且还可使问题大为简化,因此对这样的物体就应撇开其变形不管而将它们视为刚体。由此可见,刚体是从实际物体抽象得来的一个理想化的力学模型。对刚体而言,力就只有运动效应。

力,是物体间相互的机械作用,这种作用使物体的运动状态发生改变,同时使物体产生变形。

力使物体改变运动状态的效应称为力的运动效应(或外效应),使物体产生变形的效应称为力的变形效应(或内效应),理论力学只研究力的运动效应。

实践表明,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要素。力的三要素中任何一个如有改变,则力对物体的作用效应也将改变。故力应以矢量表示,本书中用黑体字母 \boldsymbol{F} 表示力矢量,而用普通字母 F 表示力的大小。在国际单位制中,力的单位是 N 或 kN 。

平衡,是指物体相对于惯性参考系(如地面)处于静止的或匀速直线平移的状态。在一般工程技术问题中,平衡常常是指相对于地球而言。在静力学中,平衡主要是指物体相对于地球处于静止状态。应当指出,一切平衡都是相对的、暂时的和有条件的,而运动则是绝对的和永恒的。

1. 物体的受力分析和力系的等效简化。

力系,是指作用于物体上的一群力。工程中,根据力系中各力作用线分布情况的不同有下列几种:若各力的作用线在同一平面内时,称为平面力系;否则称为空间力系。若各力的作用线都相互平行时,称为平行力系;否则称为一般力系。而各力的作用线汇交于同一点时,称为汇交力系。若两个力系分别作用于同一物体上,其效应相同,则这两个力系互为等效力系。用一个简单力系等效地替换一个复杂力系称为力系的简化。特别地,如用一个力就可等效地代替原力系,则称此力为原力系的合力,而原力系中的各力称为此力的分力。若力系中各力对于物体作用的效应相互抵消而使物体处于平衡状态,则该力系称为平衡力系。

2. 力系的平衡条件及其应用。

在工程实际中,作用于物体上的力系往往较为复杂。无论是研究物体的静力学问题或是动

力学问题,都需要对力系进行简化(或合成),以便了解原来力系对物体作用的总效应。例如,在研究飞机的飞行规律等问题时必须知道飞机所受诸力的总效应;在设计水坝时也应先了解坝身所受重力和坝面所受水压力的总效应,否则便不能确定飞机飞行的规律和水坝是否安全。

根据力系合成的结果,找出力系的平衡条件后,在工程实际中才可能使某些工程结构物(如水坝、房屋或机床)所受的力系符合平衡条件以保证它们处于平衡状态。可见,静力学在工程技术中有着重要的地位和作用,同时它也是动力学的基础。

§ 1-2 静力学公理

静力学公理是人们在生活和生产实践中长期积累的经验总结,又经过实践反复检验,被确认为符合客观实际的最普遍的规律。是人们关于力的基本性质的概括和总结,是研究静力学的基础。

一、力的平行四边形法则

作用于物体上同一点的两个力,可以合成为作用于该点的一个合力。合力的大小和方向,由这两个力为邻边构成的平行四边形的对角线确定,如图 1-1 所示。以 F_R 表示合力,以 F_1 和 F_2 分别表示原来的两力(称为分力),则有

$$F_R = F_1 + F_2 \quad (1-1)$$

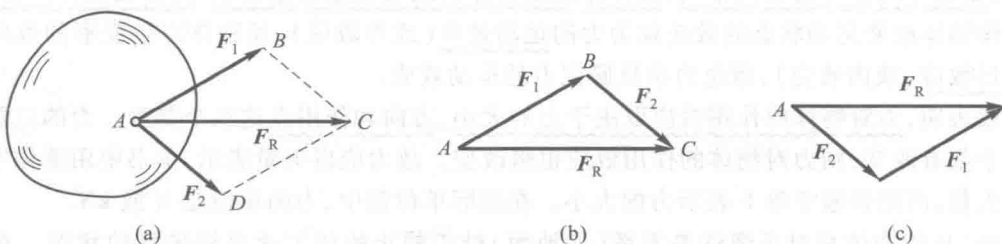


图 1-1

即合力等于两分力的矢量和。

为了简便,在利用作图法求两共点力的合力时,只需画出力平行四边形的一半即可,其方法是:先从两分力的共同作用点 A 画出某一分力,再自此分力的终点画出另一分力矢(力矢指仅代表力的大小和方向这两个要素的矢量),最后由 A 点至第二个分力矢的终点作一矢量,它就是合力 F_R ,这称为力的三角形法则(图 1-1b 或 c)。

这个公理揭示了力的矢量特征。这是人类对力的认识的一个飞跃,由此产生数学上的矢量代数和矢量分析。

这个公理总结了最简单力系的简化规律,它是复杂力系简化的基础。而且,它既是力的合成的基本法则,也是力的分解的基本法则。根据这个法则,可将一个力分解为作用于同一点的两个分力。由于用同一对角线可作出无穷多个不同的平行四边形,因此解答是不确定的。只有在另外附加足够的条件的情况下(如还已知某分力的大小和方向,或已知两分力的方位等),才能得到确定的解答。

二、二力平衡公理

刚体在两个力作用下保持平衡的必要与充分条件是：此二力大小相等，方向相反，且作用在同一直线上（图 1-2）。

此公理表明了作用于刚体上最简单力系的平衡条件，又称为二力平衡条件。

仅在两点受力作用而处于平衡的构件，称为二力构件。二力构件所受的两力必沿此两力作用点的连线，且等值、反向，如图 1-3 所示。

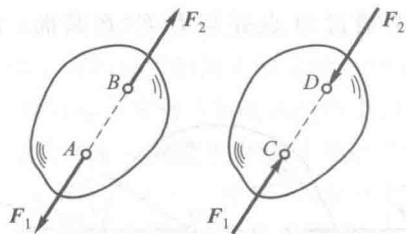


图 1-2

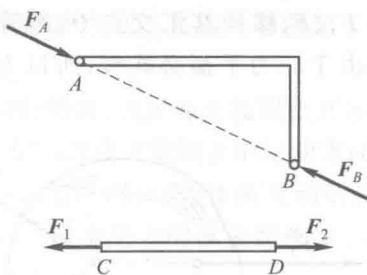


图 1-3

三、加减平衡力系原理

在作用于刚体上的任一力系中加入或减去一个平衡力系，并不改变原力系对刚体的作用。

这个公理只对刚体成立；对于变形体来说，增加或减去一个平衡力系，改变了变形体各处的受力状态，将引起其外效应和内效应的变化。

根据此公理，可在已知力系上加上或减去任一平衡力系，使此力系简化。可见，它是研究力系等效变换的重要依据。

根据上述公理可以导出下列推理：

推理 1 力的可传性

作用于刚体上某点的力，可以沿着它的作用线移到刚体内任意一点，并不改变该力对刚体的作用。

此等效的性质，称为力的可传性。

证明：设力 F 作用于刚体上的 A 点（图 1-4a）。在力 F 的作用线上任取 B 点，并在 B 点加一对沿 AB 线的平衡力 F_1 和 F_2 ，且使 $F_1 = -F_2 = F$ （图 1-4b）。由加减平衡力系公理可知， F_1 、 F_2 、 F 三个力组成的力系与原力 F 等效。再从该力系中去掉 F 与 F_2 组成的平衡力系，则剩下的力 F_1 （图 1-4c）与原力 F 等效。这样，就把原来作用在 A 点的力 F 沿其作用线移到了 B 点。

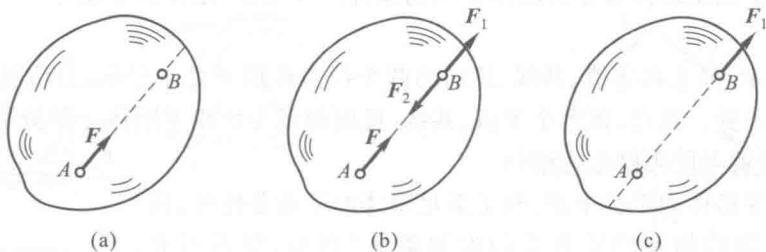


图 1-4

由力的可传性得知,作用于刚体上的力的三要素应改为:力的大小、方向和作用线。因此,作用于刚体上的力是滑动矢量。

显然,力的可传性不适用于变形体。而且只适用于同一刚体,不能将力的作用线由一个刚体移到另一个刚体上去。

推理 2 三力平衡汇交定理

作用于刚体上不平行的三力平衡时的必要条件是:此三力作用线共面且汇交于同一点。

证明:设作用在刚体上的平衡力系由三个不平行的力 F_1 、 F_2 、 F_3 组成(图 1-5),根据力的可传性将力 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,由于二力平衡必共线,所以力 F_3 的作用线必通过 O 点并与力 F_1 、 F_2 共面,于是定理得证。

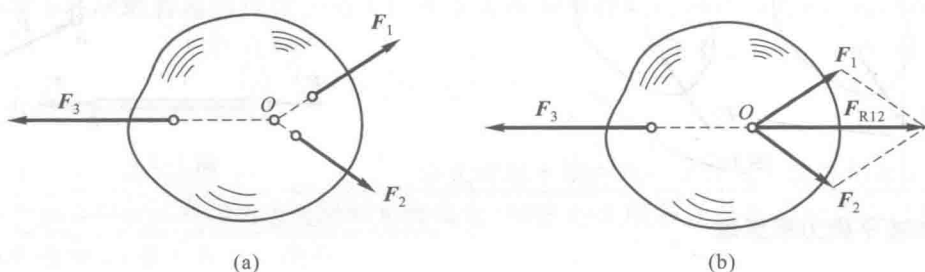


图 1-5

三力平衡汇交定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。它常用来确定刚体在不平行三力作用下平衡时,其中某一未知力的作用线。

四、作用与反作用定律

两物体相互作用的力(作用力和反作用力),总是大小相等、方向相反、沿着同一直线,分别而且同时作用在这两个物体上。

这个公理概括了物体之间相互作用力的关系,同时也表明力有成对出现的性质。由于作用力与反作用力分别作用在两个物体上,因此不能视为平衡力系。

五、刚化原理

变形体在某力系作用下处于平衡,如将此变形体刚化为刚体,则其平衡状态保持不变。

公理五提供了把变形体看作为刚体模型的条件。并指出,刚体的平衡条件,对变形体而言也是必要的。

如图 1-6 所示,绳索在等值、共线、反向的两个拉力作用下处于平衡,若将绳索刚化为刚体,其平衡状态保持不变。反之,在两个等值、共线、反向的压力作用下刚体能保持平衡,而绳索则不能平衡,此时绳索就不能再刚化为刚体。

这说明对于变形体的平衡来说,除了满足刚体的平衡条件外,还必须满足与变形体的物理性质有关的附加条件(例如,绳索不能受压)。

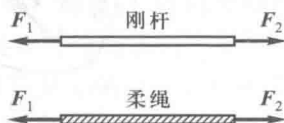


图 1-6

§ 1-3 约束与约束力

凡能在空间自由运动的物体称为自由体。例如,在空中飞行的炮弹、飞机或人造卫星等。如果物体的运动受到一定的限制,使其在某些方向的运动成为不可能,则这种物体称为非自由体。例如,沿轨道运行的机车,支承在柱子上的屋架,连接在人体躯干上的肢体等,都是非自由体。

对非自由体的运动所预加的限制条件称为约束。约束总是通过物体间的相互接触的方式形成的,例如轨道对于机车、柱子对屋架、人体躯干对肢体等都是约束。它们分别限制了各相应物体在约束所能限制的方向上的运动。

当物体沿着约束所能阻止的运动方向上有运动或运动趋势时,约束必有能阻止其运动的力作用于它,这种力称为该物体所受到的约束力,约束力的方向恒与约束所能阻止的运动方向相反。

主动使物体运动或使物体具有运动趋势的力称为主动力。例如,物体所受到的重力、风压力、水压力等都是主动力。显然,约束力由主动力所引起,并随主动力的改变而改变。工程结构物、构件等所承受的主动动力常称为荷载。

为了确定约束力的方向,必须对约束的构成方式和约束性质进行具体分析。下面将工程中常见的约束抽象简化,归纳为几类典型约束,并根据各类约束的特性分别说明其约束力的表示方法。

一、柔索约束

由柔软而不计自重的绳索、胶带及链条等所构成的约束统称为柔索约束。这类约束的特点是只能阻止物体与它们的连接点沿它们的中心线而离去的运动,故柔索对物体的约束力应沿柔索的中心线且为拉力,用符号 F_T 表示,如图 1-7 所示。

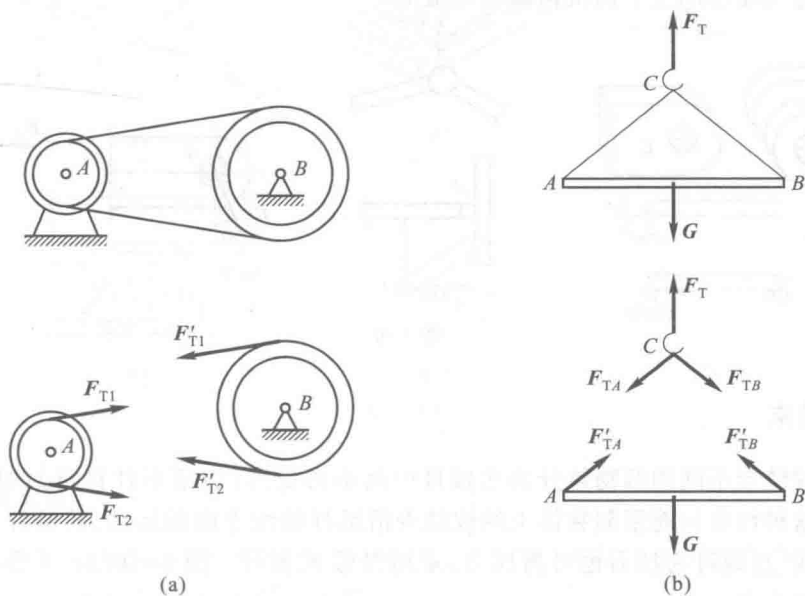


图 1-7

二、光滑接触表面约束

被约束物体与其他物体接触时,若接触表面光滑,则被约束物体可无障碍地沿接触面的公切面运动,但却不能有沿通过接触点的公法线并朝向约束它的物体的运动。因此,光滑接触表面对物体的约束力作用于接触点,并沿接触面的公法线且指向被约束物体,以 F_N 表示,如图 1-8 所示。

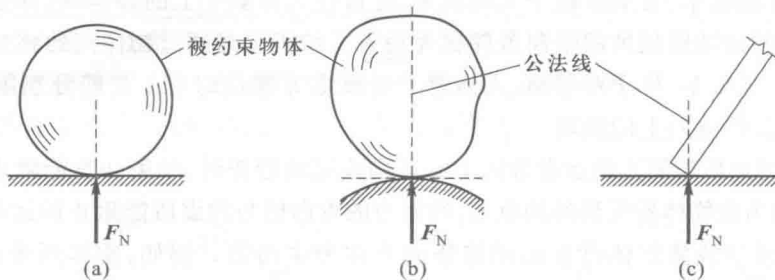


图 1-8

三、光滑圆柱形铰链约束

两个物体分别被钻上直径相同的圆孔并用销钉连接起来,不计销钉与销钉孔壁之间的摩擦,这类约束称为光滑圆柱铰链约束,简称铰链约束(图 1-9a)。它可用图 1-9b 所示力学简图表示。这类约束的特点是只限制物体在垂直于销钉轴线的平面内沿任意方向的相对移动,但不能限制物体绕销钉轴线的相对转动和沿其轴线的相对滑动。因此,铰链的约束力作用在与销钉轴线垂直的平面内,并通过销钉中心,而方向待定(图 1-9c 所示 F_A)。工程中常用通过铰链中心的互相垂直的两个分力 F_{Ax} 、 F_{Ay} 表示(图 1-9d)。

圆柱形铰链只能适用于平面机构或平面结构。

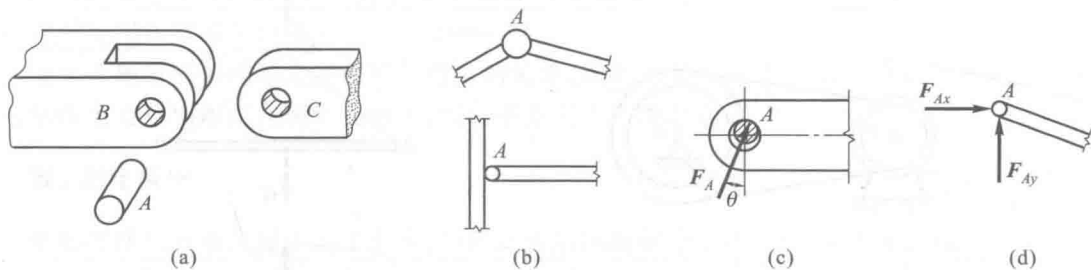


图 1-9

四、链杆约束

两端各以铰链与不同的两物体分别连接且中间不再受力(包括不计自重)的刚杆称为链杆(图 1-10a)。这种约束只能限制物体上的铰结点沿链杆轴线方向的运动,故链杆对物体的约束力沿链杆的轴线,且既可为拉力也可为压力,常用符号 F_s 表示。图 1-10b、c、d 分别为链杆的力学简图及其约束力表示法。

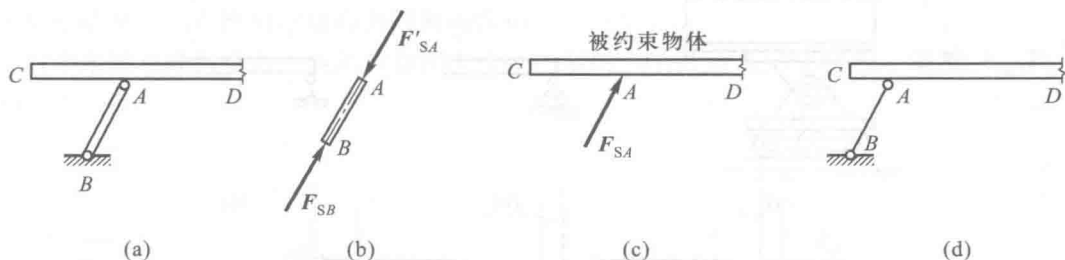


图 1-10

五、固定铰支座

将结构物或构件连接在墙、柱、机器的机身等支承物上的装置称为支座。用光滑圆柱铰把结构或构件与支承底板连接,并将底板固定在支承物上而构成的支座,称为固定铰支座。图 1-11a 和 b 是其构造示意图,图 1-11c 是其力学简图。通常为避免因在构件上穿孔而削弱构件的承载能力,可在构件上固结另一用以穿孔的物体并称为上摇座,而将底板称为下摇座(图 1-11d)。

与圆柱铰链相比较可知,固定铰支座作用于被约束物体上的约束力也应通过圆孔中心而方向不定,故常用通过铰心且互相垂直的两个分力 F_{Ax} 、 F_{Ay} 表示(图 1-11e)。

固定铰支座的力学简图还可以用两根不平行的链杆来代替(图 1-11f)。

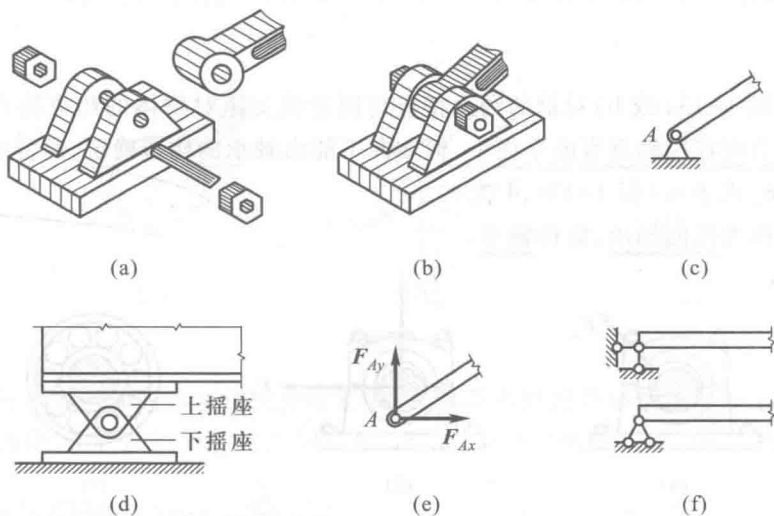


图 1-11

六、可动铰支座

若在固定铰支座的底座与支承物体之间安装几个辊轴,可构成可动铰支座,又称辊轴支座(图 1-12a)。其力学简图如图 1-12b、c、d 所示。

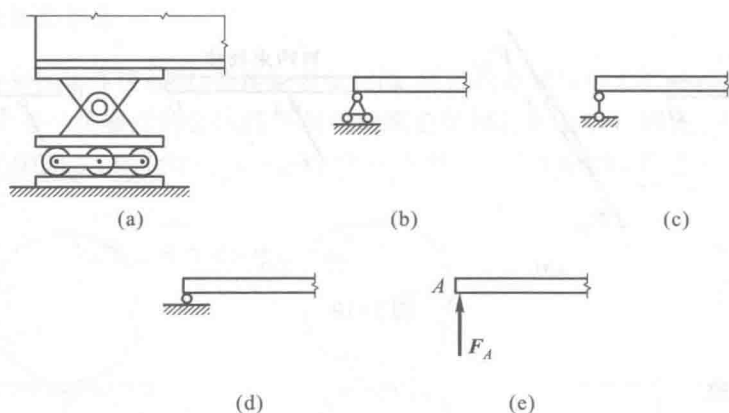


图 1-12

这种支座的约束特点是只能阻止物体上与销钉连接处沿垂直于支承面方向的(指向或背向支承面)移动,而不能阻止它绕销钉轴的转动和沿支承面的移动。故可动铰支座对物体的约束力应垂直于支承面,并通过铰链中心(图 1-12e),常用字母 F_A 或 F_{N_A} 表示。可动铰支座也可表示为一垂直于支承面的链杆。

大型屋架、桥梁等结构在荷载、温度等影响下发生变形时,将绕其端部略有转动,且两端之间的距离也将略有改变,故通常均一端采用固定铰支座,另一端采用可动铰支来支承。这种支承方式称为简支。

七、轴承

向心轴承:(图 1-13a 或 b)对轴的约束特点与固定铰支座对物体的约束特点相似。故向心轴承对轴的约束力应在与轴垂直的平面上,但方向不能由轴承的构造确定,通常也以其互相垂直的两个分力 F_{Ax} 、 F_{Ay} 来表示(图 1-13c、d 或 e)。

向心轴承又称为径向轴承,简称轴承。

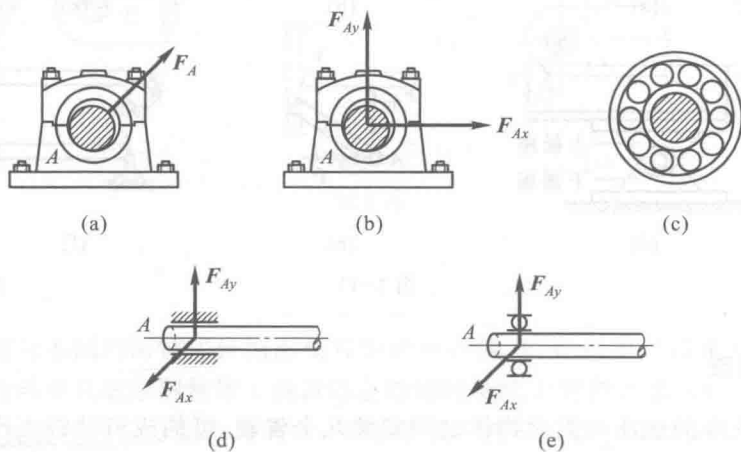


图 1-13

止推轴承可视为由一光滑面将向心轴承圆孔的一端封闭而成(图 1-14a、b)。因此,它同时具有向心轴承与光滑面接触这两类约束的作用。

故止推轴承的约束力可表示为如图 1-14c 所示的三个分力 F_{Ax} 、 F_{Ay} 和 F_{Az} 。显然, F_{Ax} 、 F_{Ay} 和 F_{Az} 两两垂直。

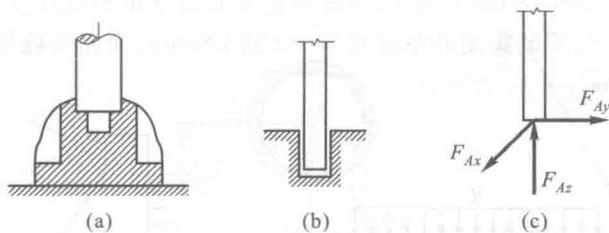


图 1-14

八、球形铰链支座

将固结于物体一端的球体置于球窝形支座内,就形成了球铰支座,简称球铰链(图 1-15a)。这种约束的特点是只能限制物体上的球体沿任意方向的移动,而不能限制物体绕球心的转动。若接触光滑,球铰链对物体的约束力必通过球心,但其方向不能由球铰链的构造确定。

将球铰链与止推轴承对物体运动方向的限制进行比较可知,球铰链对物体的约束力也同样可表示为过球心的三个互相垂直的分力 F_{Ax} 、 F_{Ay} 和 F_{Az} (图 1-15b),其简图如图 1-15c 所示。不过,图 1-14c 中所示的 F_{Az} 只能有图示的指向,而图 1-15b 中所示 F_{Az} ,其指向既可与图示相同也可与图示相反。

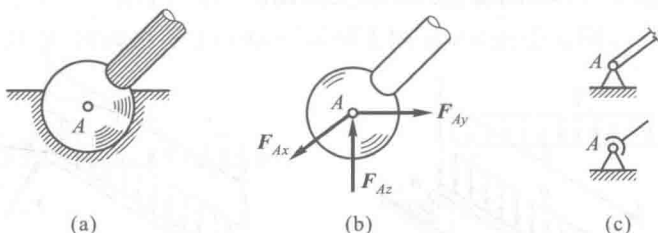


图 1-15

在工程实际中所遇到的约束往往比较复杂,常常需要根据具体情况分析它对物体运动的限制特点而加以简化,使它近似于上述的某类基本约束,以便判断其约束力的方向。

§ 1-4 物体的受力分析和受力图

由于力有使物体运动的效应,所以无论是研究静力学问题还是动力学问题,一般均需首先分析所研究的物体究竟受到些什么力的作用,其中哪些是已知的,哪些是未知的。这称为对物体进行受力分析。

在工程结构物所受的主动动力(荷载)中,除了其作用范围可以不计的集中荷载外,有时还可

有作用于整个物体或其某部分上的分布荷载。当荷载分布于某一体积上时,称为体荷载(如物体的重力);当荷载分布于某一面积上时,称为面荷载(如风、雪、水、汽等对物体的压力);而当荷载分布于长条形状的体积或面积上时,则可简化为沿其长度方向中心线分布的线荷载。

荷载图在某处的高度也就是荷载在该处的集度,用字母 q 表示。荷载集度为常量,荷载图为矩形时,称为均布荷载(如图 1-16a 所示),当荷载集度沿其分布的直线变化时,则称为非均布荷载(如图 1-16b 所示)。线荷载集度的单位是 N/m (或 kN/m),而面荷载集度与体荷载集度的单位则分别为 N/m^2 与 N/m^3 。

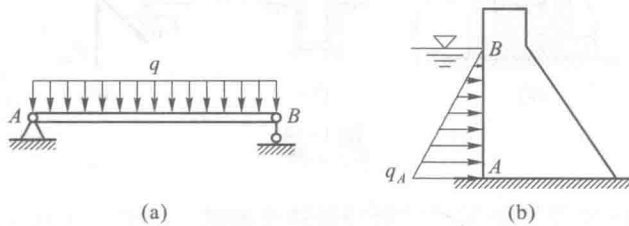


图 1-16

在工程实际中所遇到的物体一般都是非自由体,所以除主动力外,它们还受到约束力的作用。为了对所研究的物体进行受力分析,需将该物体从周围物体中分离出来,并单独画出其图形(这称为取分离体),然后再画出它所受到的全部主动力与约束力,这样的图称为该物体的受力图。在受力图中,约束力代表了周围物体对被研究物体的运动所起的限制作用,故除被研究物体外,不需要再有对它形成约束的物体出现,这称为解除约束。

受力图显示了所取研究对象及其受力情况,它是以后进行力学计算的依据,因此十分重要。

[例 1-1] 画出图 1-17a 所示斜梁 AB 的受力图。

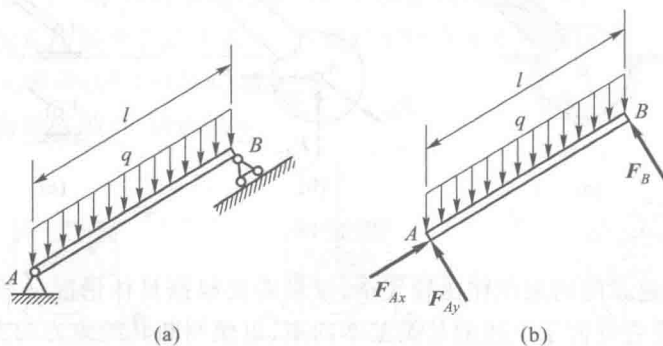


图 1-17

[解] 取斜梁 AB 为分离体。它所受的主动力为沿斜梁均匀分布的铅垂荷载,其集度为 q 。梁在 A 端所受固定铰支座对它的约束力应在图面内,今以其互相垂直的两分力 F_{Ax} 和 F_{Ay} 表示;梁在 B 端所受可动铰支座对它的约束力 F_B 也在图面内,并垂直于支承面且应指向梁。图 1-17b 即为梁 AB 的受力图。

[例 1-2] 重 G 的管子用自重不计的板 AB 和绳子 BC 支承于铅垂墙上(图 1-18a)。板在 A 端受到固定铰支座的约束。如所有接触面都是光滑的,试分别画出管子 O 及板 AB 的受力图。

[解] 先取管子为分离体(图 1-18b 中所示为管子的对称横截面)。它所受的主动为重力 G 。又墙与板分别在 D 、 E 两点作用于管子的约束力为 F_D 和 F_E 。由于接触面光滑,所以 F_D 、 F_E 均沿各自所在处的接触面的公法线,从而它们的作用线均通过管子截面中心 O 并指向管子。图 1-18b 即为管子的受力图。

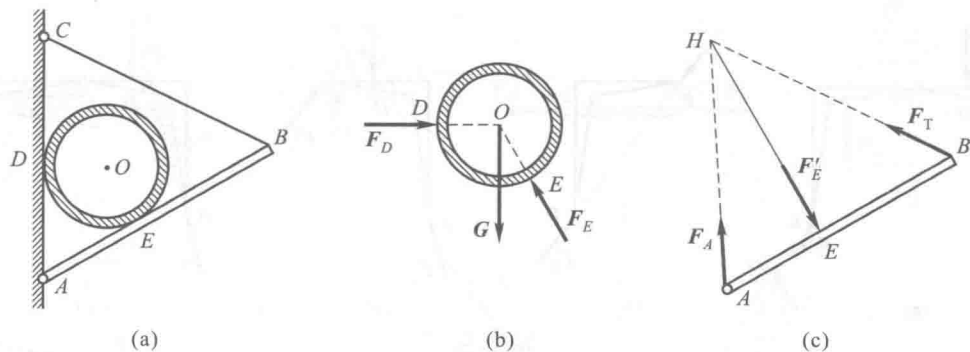


图 1-18

再取板 AB 为分离体。 AB 板所受的主动为管子在 E 点给它的压力 F'_E ,它与上述的 F_E 互为作用力与反作用力,二者应等值、共线、反向。又 AB 板所受的约束力为 B 处绳子对它的拉力 F_T 和 A 处固定铰支座给它的力 F_A 。由于板 AB 在 F'_E 、 F_T 和 F_A 三力共同作用下处于平衡,故由三力平衡必要条件知,此三力的作用线应汇交于一点。因此,在找到 F'_E 与 F_T 两力作用线的交点 H 后,连接 A 、 H 两点的直线即为约束力 F_A 的作用线。

最后,根据板的平衡可知, F_A 的指向应如图 1-18c 中所示,因为只有如此,才有可能满足 F_A 与 F_T 的合力与 F'_E 共线、反向的条件。图 1-18c 即为板 AB 的受力图。

[例 1-3] 不计自重,试画出图 1-19a 所示简支刚架 AB 的受力图。

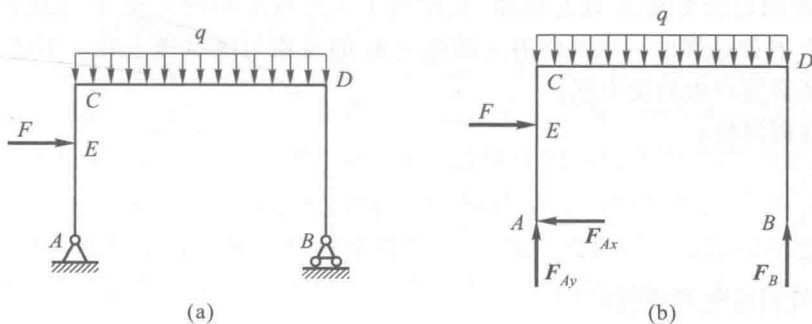


图 1-19

[解] 以 AB 刚架为研究对象,解除 A 、 B 处的约束,单独画出其简图。画出作用在 AB 刚架上的主动力, E 点受有水平集中力 F , CD 段受有集度为 q 的均布荷载。 B 处是可动铰支座,其约束力 F_B 通过铰链中心 B 并垂直于支承面,指向假定如图所示。 A 处为固定铰支座,其约束力用通过铰链中心 A 的两个分力 F_{Ax} 和 F_{Ay} 表示,受力图如图 1-19b 所示。

[例 1-4] 不计自重,三铰刚架及其受力情况如图 1-20a 所示,试分别画出构件 AC 、 BC 和

整体 ABC 的受力图。

[解] (1) 首先,取 BC 为研究对象,解除 B 、 C 两处的约束,单独画出 BC 的简图。由于不计自重, BC 构件仅在 B 、 C 两点受力而平衡,故为二力构件。 B 、 C 两处的约束力 F_B 、 F_C 的作用线沿 B 、 C 两点连线,且 $F_B = -F_C$ 。受力如图 1-20b 所示。

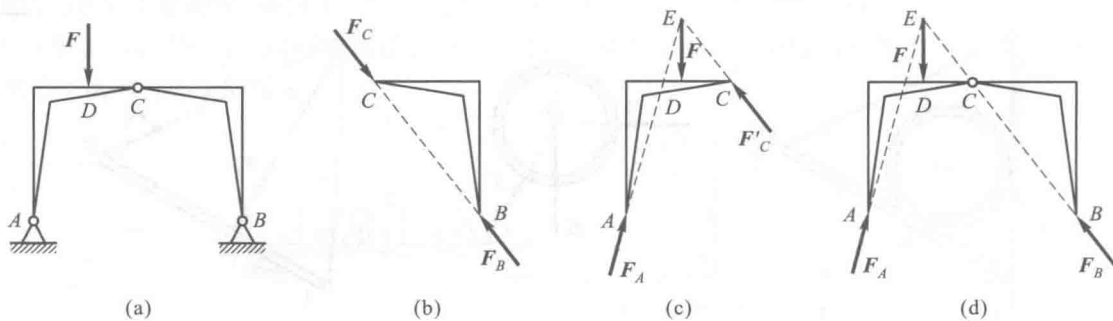


图 1-20

(2) 其次,以构件 AC 为研究对象,解除 A 、 C 两处的约束,单独画出其简图。构件 AC 受到主动力 F 、构件 BC 对它的约束力 F_C' 以及固定铰支座 A 的约束力 F_A 作用而平衡。由作用与反作用定律,有 $F_C = -F_C'$ 。且力 F 与 F_C' 的作用线交于 E 点,由三力平衡汇交定理,可确定 F_A 的作用线沿 A 、 E 两点连线,其受力如图 1-20c 所示。

(3) 最后取整体三铰刚架为研究对象,解除 A 、 B 处的约束(C 处的约束未解除),单独画出其简图。画上主动力 F ,约束力 F_A 和 F_B 。至于 AC 和 BC 两构件在 C 处的相互作用力,由于对 ABC 整体是内力,内力总是成对出现,且等值、共线、反向,作用于同一研究对象上,它们不会影响整体的平衡,故不必画出内力。故三铰刚架 ABC 的受力如图 1-20d 所示。

[例 1-5] 图 1-21a 所示为一简易起重架计算简图。它由三根杆子 AC 、 BC 和 DE 以铰链连接而成, A 处是固定铰支座, B 处是滚轮,它相当于一个可滚动铰支座, C 为滑轮,而滑轮轴相当于销钉。用力 F_T 拉住绳的一端并使另一端重为 G 的重物匀速缓慢上升。不计各杆和滑轮的重力。试画出各研究对象的受力图:

- (1) 重物连同滑轮;
- (2) DE 杆;
- (3) BC 杆;
- (4) AC 杆;
- (5) AC 杆连同滑轮和重物;
- (6) 整体。

[解] (1) 取重物连同滑轮为分离体。主动力有作用于重物上的重力 G 和绳子的拉力 F_T ,因重物匀速缓慢上升,它处于平衡状态,故 F_T 与 G 应等值。又约束力 F_C 为滑轮轴对滑轮的支承力,它作用于滑轮中心且其作用线与 G 、 F_T 的作用线交于 O_1 点。图 1-21b 为滑轮连同重物的受力图。

(2) 取杆 DE 为分离体。杆 DE 自重不计,它仅在两端受到铰链 D 及 E 的约束力并处于平衡,故杆 DE 可视为链杆或二力杆,其受力如图 1-21c 所示,且有 $F_D = -F_E$ 。