

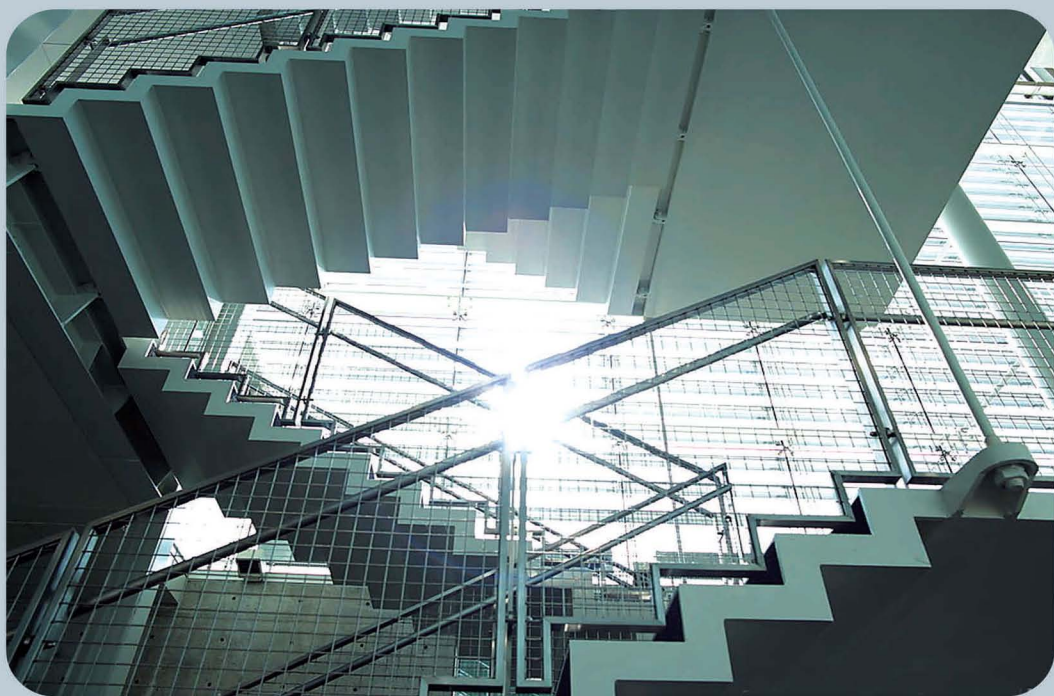


普通高等院校“十二·五”
创新型精品规划系列教材

主编 熊跃华 余 晖

建筑力学

JIANZHU LIXUE



中国地质大学出版社有限责任公司
ZHONGGUO DIZHI DAXUE CHUBANSHE YOUXIAN ZEREN GONGSI

普通高等院校“十二·五”创新型精品规划系列教材

建筑力学

JIAN ZHU LI XUE

主 编 熊跃华 余 晖
副主编 曾宪群 涂 斌 谭宝明
参 编 刘一虹



中国地质大学出版社有限责任公司
ZHONGGUO DIZHI DAXUE CHUBANSHE YOUXIAN ZEREN GONGSI

图书在版编目(CIP)数据

建筑力学/熊跃华,余晖主编. —武汉:中国地质大学出版社有限责任公司,2011.12

ISBN 978-7-5625-2772-5

I. ①建…

II. ①熊…②余…

III. ①建筑力学-高等职业教育-教材

IV. ①TU311

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2011)第 275148 号

建筑力学		熊跃华 余 晖 主 编
责任编辑:胡珞兰	选题策划:刘 芳 芳	责任校对:戴 莹
出版发行:中国地质大学出版社有限责任公司(武汉市洪山区鲁磨路 388 号)		邮政编码:430074
电 话:(027)67883511	传 真:67883580	E-mail: cbb@cug.edu.cn
经 销:全国新华书店	http://www.cugp.cug.edu.cn	
开本:787mm×1 092mm 1/16	字数:413 千字	印张:16.125
版次:2011 年 12 月第 1 版	印次:2011 年 12 月第 1 次印刷	
印刷:武汉市教文印刷厂	印数:1—3 100 册	
ISBN 978-7-5625-2772-5		定价:33.00 元

如有印装质量问题请与印刷厂联系调换

前 言

本书是根据教育部高职高专教育土建类专业建筑力学课程教学基本要求、高职高专人才培养目标及规范的主要精神,并兼顾到学生继续学习和深造的需要而编写的。在编写该书的过程中结合了编者长期的教学经验和工程实践,突出了实用性和适用性,内容简明扼要、通俗易懂,注重基本概念和基本方法。考虑到学习的需要,本书在附录中特别增加了工程中常用的希腊字母发音对照表。

本书的参考课时为 100~120 学时,部分内容各院校可根据实际情况进行取舍。本书可以作为高职高专建筑工程技术、道路与桥梁工程技术、工程监理、建筑工程项目管理、工程造价等专业的教材,也可作为有关教师、工程技术人员参考。

本书由江西理工大学熊跃华、江西建设职业学院余晖担任主编;副主编有:江西生物职业学院曾宪群,华东交大理工学院涂斌、华东交通大学谭宝明;江西渝州科技职业技术学院刘一虹也参与了编写;全书由熊跃华统稿。

在本书的编写过程中,自始至终得到编者所在学校和同行的鼓励与支持,在此一并表示感谢!鉴于编者水平有限,本书难免有不足之处,敬请批评指正。

编 者
2011 年 5 月

目 录

第 1 章 静力学基本知识	(1)
1.1 力的基本概念	(1)
1.2 静力学基本公理	(2)
1.3 约束和约束反力	(5)
1.4 物体的受力分析	(9)
1.5 结构的计算简图及荷载分类	(12)
第 2 章 平面汇交力系	(16)
2.1 平面汇交力系合成	(16)
2.2 平面汇交力系平衡的几何条件	(17)
2.3 平面汇交力系合成的解析法	(18)
2.4 平面汇交力系平衡的解析条件	(21)
第 3 章 力矩与平面力偶系	(25)
3.1 力对点之矩与合力矩定理	(25)
3.2 力偶及其基本性质	(26)
3.3 平面力偶系的合成与平衡	(27)
第 4 章 平面一般力系	(30)
4.1 力的平移定理	(30)
4.2 平面一般力系向作用面内任一点简化	(31)
4.3 平面一般力系的平衡条件及其应用	(33)
4.4 物体系统的平衡	(38)
第 5 章 材料力学的基本知识	(45)
5.1 变形固体及其基本假设	(45)
5.2 杆件变形的形式	(46)
5.3 内力、截面法、应力	(47)
5.4 变形和应变	(48)
第 6 章 轴向拉伸和压缩	(49)
6.1 轴向拉伸和压缩时的内力	(49)
6.2 杆件轴向拉伸和压缩时的应力	(51)
6.3 轴向拉(压)杆的变形和虎克定律	(54)
6.4 材料在拉伸和压缩时的力学性能	(57)

6.5	轴向拉(压)杆的强度条件及其应用	(63)
6.6	应力集中的概念	(64)
第7章	剪切与扭转	(68)
7.1	剪切与挤压的概念	(68)
7.2	连接件强度计算	(69)
7.3	剪切虎克定律与剪应力互等定理	(70)
7.4	圆轴扭转时的内力	(71)
7.5	扭转时横截面上应力	(72)
第8章	梁的弯曲	(76)
8.1	平面弯曲	(76)
8.2	梁的弯曲内力——剪力和弯矩	(77)
8.3	用内力方程法绘制剪力图和弯矩图	(80)
8.4	用微分关系法绘制剪力图和弯矩图	(83)
8.5	叠加法画弯矩图	(87)
8.6	梁弯曲时的应力和强度条件	(91)
8.7	用叠加法计算杆件位移	(98)
8.8	应力状态分析	(100)
第9章	组合变形	(109)
9.1	组合变形的概念	(109)
9.2	斜弯曲变形的应力和强度计算	(110)
9.3	拉伸(压缩)和弯曲组合变形的计算	(114)
9.4	偏心拉伸(压缩)杆件的强度计算及截面核心	(116)
第10章	杆件结构的组成规律	(121)
10.1	基本概念	(121)
10.2	静定结构组成规律	(124)
10.3	几何组成分析应用	(126)
10.4	几何组成分析的目的	(128)
第11章	静定结构的内力分析	(130)
11.1	多跨静定梁	(130)
11.2	静定平面刚架	(134)
11.3	静定三铰拱	(137)
11.4	静定平面桁架	(142)
11.5	组合结构	(146)
第12章	静定结构位移计算	(151)
12.1	结构位移计算的目的	(151)
12.2	结构位移计算的一般公式	(151)
12.3	荷载作用下的位移计算	(153)
12.4	图乘法	(156)
12.5	静定结构在支座移动时的位移计算	(161)



第 13 章 力法	(164)
13.1 超静定次数的确定	(164)
13.2 力法的基本原理和典型方程	(165)
13.3 力法计算超静定结构	(168)
13.4 利用对称性简化计算	(173)
第 14 章 位移法与力矩分配法	(182)
14.1 位移法的基本概念和基本未知量	(182)
14.2 等截面直杆的转角位移方程	(186)
14.3 位移法结构计算	(187)
14.4 力矩分配法	(191)
第 15 章 影响线	(196)
15.1 移动荷载及其影响线概念	(196)
15.2 静力法作影响线	(197)
15.3 机动法作影响线	(202)
15.4 影响线的应用	(204)
15.5 简支梁的内力包络图	(210)
第 16 章 压杆稳定	(214)
16.1 压杆稳定的概念	(214)
16.2 压杆的稳定性分析	(215)
16.3 压杆的弹性稳定设计	(220)
附录 A 希腊字母发音对照表	(224)
附录 B 截面图形的几何性质	(225)
附录 C 型钢表	(232)
习题答案	(245)
参考文献	(250)

第1章 静力学基本知识

1.1 力的基本概念

1.1.1 力的基本概念

力是物体间的一种相互的机械作用。力的作用将使物体发生运动效应或变形效应。

力的运动效应,又称外效应,力的作用改变物体的运动状态,即产生加速度。力的变形效应,又称内效应,力的作用使物体发生形状和尺寸的改变。

例如飞机在空中飞行,有着复杂的整体运动;同时,机翼、机身等结构自身的尺寸和形状也有微小的变化(变形),有时甚至可以看到机翼随飞机的升降而上下翘曲。这两种效应都是力作用的结果。

力按作用方式不同有超距力和接触力两类。超距力通过场起作用,工程实践中常见的超距力为重力及电磁力;接触力通过物体间的相互接触起作用,比如物体间的压力及摩擦力等。

力按作用空间位置分,有分布力和集中力。分布力又可分为体积力和表面力。体积力作用于物体内部的各个质点,如物体的重力;表面力则作用于物体的表面,如压力。体积力和表面力的大小可以用单位体积和单位面积所受力的大小来度量,称为荷载集度,常用单位分别为 N/m^3 和 N/m^2 。真实物体上所受的力都是分布力,但当分布力作用面积很小时,例如静止的汽车通过轮胎作用在桥面上的力,静止火车车轮作用于钢轨的力等,为了分析计算方便,可以将分布力简化为作用于一点的合力,称为集中力,常用单位为 N 。此外,若表面力作用在一个狭长的面域内,则可以简化为线力,其单位为 N/m ,具体的例子在后面将进行讨论。

按力的性质分,有静力和动力。静力是缓慢地施加于物体上的力,力由零逐步增大至某一确定值后不再改变,或有变化但变化速度很慢、变化幅度很小的力。在静力作用下,物体整体保持平衡或者物体各部分产生的相对加速度可以忽略不计。动力又可分为冲击力和交变力。冲击力在很短时间内可以由零增至最大值;交变力的大小或方向随时间作周期性的改变,并多次作用在物体上。

1.1.2 刚体和平衡

实践表明,任何物体受力后,总会产生一定的变形。但在通常的情况下,绝大部分构件的变形都是微小的。分析证明,在很多情况下这种微小的变形对外效应影响甚小,可以忽略

不计,即认为物体在力的作用下大小和形状保持不变。我们把这种在力的作用下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得到的一种理想模型。但当变形对于物体分析影响很大时,就不能再把物体看成刚体,它就是变形体。

力学中研究的运动是物体机械运动,机械运动是指随时间推移物体空间位置的变动。在本书中,一般以地面为参照系,当物体相对于地面保持静止状态或匀速直线运动状态时,称物体处于平衡状态。

1.1.3 力系

将作用在同一物体或物体系统上的一组力称为力系。根据构成力系的各力的作用线间的关系,可以将力系分为如下几种情形:

当构成力系的各力的作用线不在同一平面内时,称该力系为空间力系或空间一般力系。

当构成力系的各力的作用线位于同一平面内时,称该力系为平面力系或平面一般力系。

当构成力系的各力的作用线汇交于同一点时,称该力系为汇交力系。

当构成力系的各力的作用线相互平行时,称该力系为平行力系。

当力系是由两个及两个以上力偶组成时,称该力系为力偶系。

汇交力系、力偶系及平行力系也有空间和平面之分,我们主要研究平面力系。

根据力系是否平衡,可以将力系分为平衡力系(零力系)及非平衡力系。

如果一个力系作用于某一刚体而使该刚体保持平衡状态,则该力系称为平衡力系,也称零力系。如果作用于物体上的一个力系可以用另一个力系来代替,而不改变原力系对物体作用的运动效应,则这两个力系互为等效力系。如果一个力与一个力系等效,则此力称为该力系的合力,而组成此力系的各力称为该力系的分力。

1.2 静力学基本公理

静力学公理是人们从实践中总结出的最基本的力学规律,这些规律的正确性已被实践反复证明,是符合客观实际的。

1.2.1 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、作用线在同一条直线上。

这一结论是显而易见的。如图 1-1 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_2 、 F_1),均可使杆平衡。应当指出,该条件对于刚体来说是充分而且必要的,而对于变形体,该条件只是必要的而不是充分的。如柔索当受到两个等值、反向、共线的压力作用时就不能平衡。

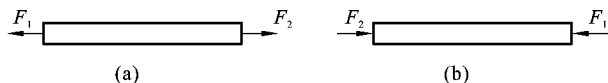


图 1-1

在两个力作用下处于平衡的物体称为二力构件;若为杆件,则称为二力杆。根据二力平衡公理可知,作用在二力构件上的两个力,它们必通过两个力的连线(与构件的形状无关),且等值、反向,如图 1-2 所示。

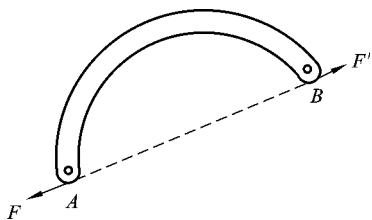


图 1-2

1.2.2 加减平衡力系公理

在作用于刚体上的已知力系上,加上或减去任意一个平衡力系,不会改变原力系对刚体的作用效应。

这是因为平衡力系中,诸力对刚体的作用效应相互抵消,力系对刚体的效应等于零。根据这个原理,可以进行力系的等效变换。

推论 力的可传性原理:作用于刚体上某点的力,可沿其作用线移动到刚体内任意一点,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 1-3 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 加上一定平衡力系 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 即可看成为力 F 沿其作用线由 A 点移至 B 点的结果。同样必须指出,力的可传性原理也只适用于刚体而不适用于变形体。

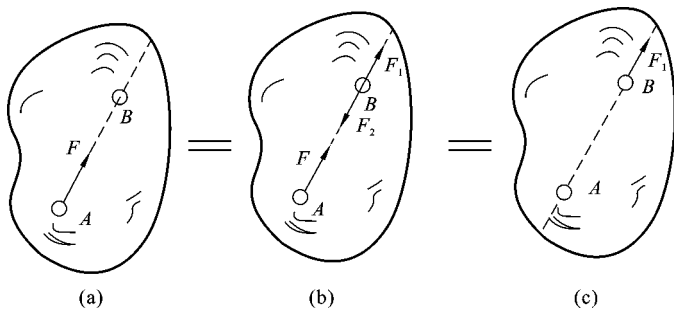


图 1-3

1.2.3 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所构成的平行四边形的对角线来表示。如图 1-4 所示,其矢量表达式为: $F_1 + F_2 = R$ 。

在求两共力点的合力时,为了作图方便,只需画出平行四边形的一半,即三角形便可。其方法是从任意点 O 开始,先画出一矢量 F_1 ,然后由 F_1 的终点画另一矢量 F_2 ,最后由 O 点至力矢量 F_2 的终点作一矢量 R ,它就代表 F_1 、 F_2 的合力矢。这种作图法称为力的三角形法则。显然,若改变 F_1 、 F_2 的顺序,其结果不变,如图 1-5 所示。

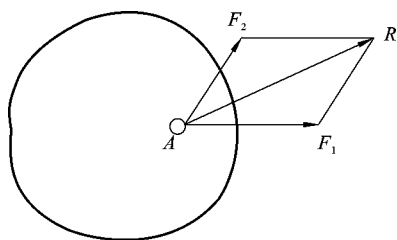


图 1-4

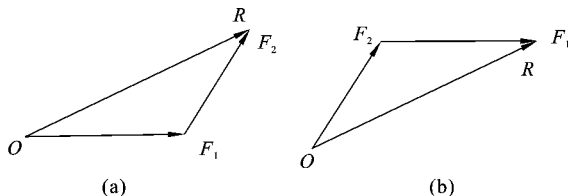


图 1-5

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。实际计算中,常把一个力分解为方向已知的两个分力,如图 1-6 即为把一个任意力分解为方向已知且相互垂直的两个分力。

1.2.4 三力平衡汇交定理

一刚体受不平行的 3 个力作用而平衡时,此三力的作用线必共面且汇交于一点。

如图 1-7 所示,设在刚体上的 A 、 B 、 C 3 点,分别作用不平行的 3 个互相平衡的力 F_1 、 F_2 、 F_3 ,根据力的可传性原理,将力 F_1 、 F_2 移到汇交点 O ,然后根据力的平行四边形法则,得合力 R_{12} ,则力 F_3 应与 R_{12} 平衡。由二力平衡公理知, F_3 与 R_{12} 必共线。因此,力 F_3 的作用线必通过 O 点并与 F_1 、 F_2 共面。

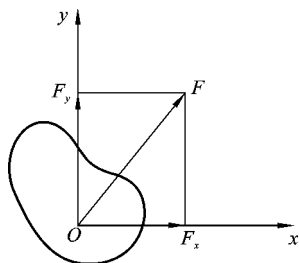


图 1-6

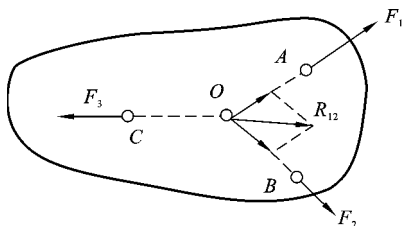


图 1-7

应当指出,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。

1.2.5 作用力与反作用力公理

两个物体间互相作用的两个力,总是大小相等、方向相反、作用线相同,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关系。有作用力,必定有反作用力,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,要注意二力平衡公理和作用力和反作用力公理是不同的,前者是对一个物体而言,后者则是对物体之间而言。

1.3 约束和约束反力

在工程上我们研究的对象是具体的物体或物体系统,如一幢房屋的整体结构、房屋结构中的一个构件、一颗子弹、一架飞机、一架飞机中的一个零件,等等。

根据研究对象在空间中运动受限制的不同,我们将其分为两类:一类是自由体,其在空间中可作任意运动,其位移在空间中不受限制,如飞行的飞机、炮弹和火箭等;另一类是非自由体,其在空间中的位移要受到一定的限制,如沿轨道行驶的火车、用绳子悬挂而不能下落的重物、支撑于墙上而静止不动的屋架等,它们的运动都受到一定的限制。

力学研究中把预先给定的限制物体运动位移、运动速度或运动趋势的条件称为约束。由于这些限制条件通常是由被约束物体周围的其他物体提供的,我们也称这些周围物体为约束体,如上面提到的轨道、绳子及墙。

约束对被约束体运动的限制是通过其作用于被约束体上的力实现的,称其为约束力或约束反力,也常简称为反力。与约束力相对应,有些力主动地使物体运动或使物体有运动趋势,这种力称为主动力,如重力、水压力、土压力等等都是主动力,工程上也常称主动力为荷载。在静力学中,主动力常常作为已知力给出,需要分析确定未知的多为约束力。

约束力取决于约束体本身的性质、主动力、被约束体的形状及运动状态。约束体限制被约束体是通过相互接触实现的,所以说约束力是接触力,约束力的特征与接触面的物理性质和约束的结构形式有关。约束力的作用位置应在相互接触处,约束力的方向总是与约束所限制的运动或运动趋势的方向相反。约束力的大小一般是未知的,需要根据物体所受主动力及运动状态或运动趋势来确定。当物体沿约束限制方向无运动或运动趋势时,即便有约束体存在,也不会产生约束力。可见,约束力属于被动力,约束力没有能力主动引起物体的运动或是物体有运动趋势。

下面是工程中常见的几种约束的实例、简化记号及对应的约束力的表示法。对于指向不定的约束力,图中的指向是根据约束的性质假设的。

1.3.1 柔索

柔索是柔软的细长物体,它只能限制物体沿柔索轴线伸长的运动趋势,但不限制其他方向(使柔索缩短、弯曲、扭转及沿其横向)的运动或运动趋势。所以,柔索只能提供沿其轴向的拉力。一般情况下柔索的横截面很小,在图中常用其轴线代表柔索,约束力也可以看作是集中力,作用在与被约束体的连接处,方向沿柔索背离被约束体。但若柔索约束的是滑轮,则约束力方向沿滑轮切线。柔索只能在一个方向产生约束力,用 F_T 或 T 表示。如图1-8和图1-9所示。

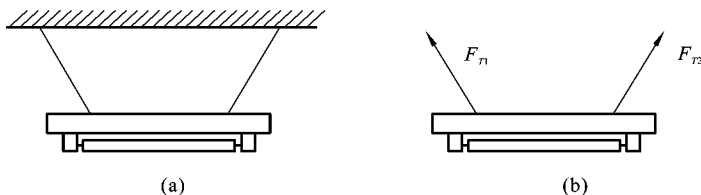


图 1-8

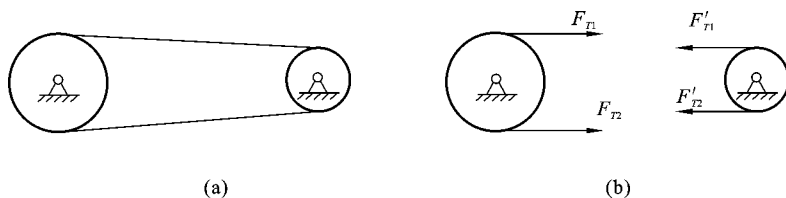


图 1-9

1.3.2 光滑接触面

当两物体接触面上的摩擦力可以忽略时,即可看作光滑接触面。这时,不论接触面形状如何,只能限制被约束体沿接触面公法线且指向接触面的运动或运动趋势,而不能限制沿法向的离开和沿切向的运动或运动趋势。所以,光滑接触面的约束力通过接触点,沿接触面在该点的公法线指向被约束物体的压力。

当两个接触面均为平面时,约束力是平行同向的分布力,可以简化为一个合力,其作用点位置取决于约束力的分布情况。当其中一个面为光滑曲面,或两个面均为光滑曲面时,接触面缩小为一个点或一条线,约束力为集中力或沿接触线的分布力,每一点处的约束力作用线通过接触点并沿接触点处的公法线方向。我们称这类约束力为法向约束力,用 F_N 或 N 表示。如图 1-10 至图 1-12 所示。

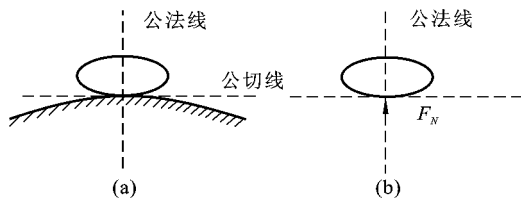


图 1-10

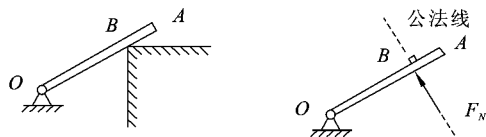


图 1-11

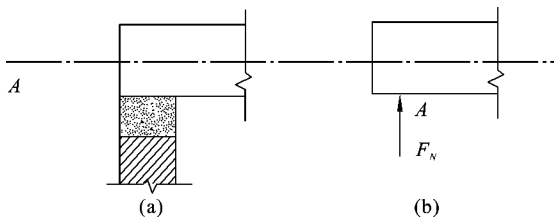


图 1-12

1.3.3 光滑圆柱铰链

光滑圆柱铰链约束简称为柱铰约束,柱铰是通过圆柱销钉将两个留有相同直径销孔的构件连接在一起。被连接构件可以绕销钉轴线相对转动,但沿径向的移动受到限制。销钉和销孔接触面的位置取决于被约束体转过的角度,假定销钉和销孔接触面是光滑的,则销钉给被约束

体销孔的约束反力必定沿径向通过销孔中心,用 F_R 表示,方向待定, F_R 可任意分解为垂直于销钉轴线的平面内的两个沿坐标方向的分力 F_x 和 F_y 。

光滑圆柱铰链用于实际工程中,有固定铰支座和活动铰两种类型。它们是土木工程中常用的二维约束体系。

如图 1-13 所示,常把铰链连接的两个构件之一是与结构基础或结构主体固结的,则把该构件和铰链一起称为固定铰支座。在力学计算简图中,我们常把固定铰支座简化表示为图 1-13(c) 所示,其对被约束体的反力如图 1-13(d) 所示。

同样,在实际工程中,常用铰链连接两个均未固定于基础或主体的构件,称该铰链为中间铰或活动铰,如图 1-14(a) 所示,作用于两构件的反力如图 1-14(b) 所示,在力学计算简图中,我们常把活动铰符号简化为如图 1-14(c) 所示。

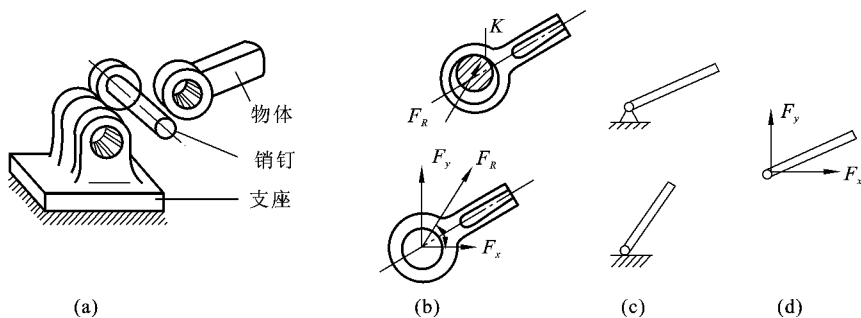


图 1-13

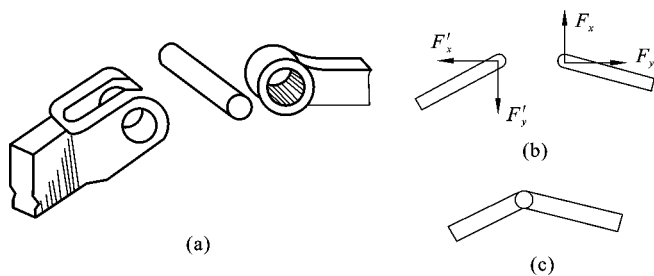


图 1-14

1.3.4 链杆

两端用光滑的圆柱链与其他物体连接且不考虑自重的刚性杆件,称为链杆。链杆常被用来作为拉杆或撑杆形成约束,它是一种组合约束,如图 1-15 所示,杆 AB 为一链杆。这种约束只能限制物体沿两铰链中心的连线方向的运动,而其他方向的运动都不能限制。所以,链杆对物体的约束反力沿着链杆两铰链中心的连线,其指向或背离物体,或朝向物体。图 1-15(b)、(c) 分别为链杆的简图及其链杆约束横杆产生的反力 F'_B 表示法。

若我们单独来看链杆 AB ,显然,杆 AB 仅在两端分别受到一个通过铰链中心的力,若此杆在此二力作用下处于平衡状态,根据二力平衡条件,这两个力必定大小相等、方向相等、作用在

同一条直线。反过来说,我们把只受两个力作用而处于平衡状态的刚体(构件),称之为二力构件或二力杆,根据平衡条件可以推出,作用于二力构件上的二力之间的关系是:该二力必定大小相等、方向相反、作用线相同。二力杆在工程实际中经常遇到,链杆就属于二力杆。了解链杆的这一性质,有助于进行受力分析。

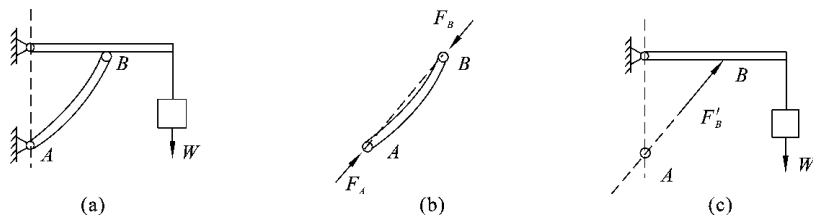


图 1-15

1.3.5 可动铰支座

如图 1-16 所示,在铰链支座与光滑支承面之间装上几个辊轴构成的约束体,称为可动铰支座,或辊轴支座。它是由光滑接触面和铰链两种约束体组合而成的一种约束体,可以阻止物体与支座连接处向着支承面或离开支承面的运动,但不能阻止被约束物体沿着支承面的运动及绕铰链的旋转。所以,可动铰支座的约束力 F_N 必定垂直于支承面且通过销钉中心,指向则与被约束体承受的主动动力有关,可任意假设。图 1-16(b) 是辊轴支座的简化表示法。图 1-16(c) 是可动铰支座约束力的表示法。

1.3.6 固定端约束

固定端约束是工程上常见的一种约束类型,将被约束体的一端牢固地插入约束体(如基础或固定在其他静止的物体)内,就构成固定端约束,有时也称为固定支座。固定支座既能阻止杆的插入端移动,也能阻止杆的插入端转动,因而其约束力必为一个方向待定的力和一个力偶。固定支座的约束力表示如图 1-17(c) 所示,其中力的指向及力偶的转向都是假设的。

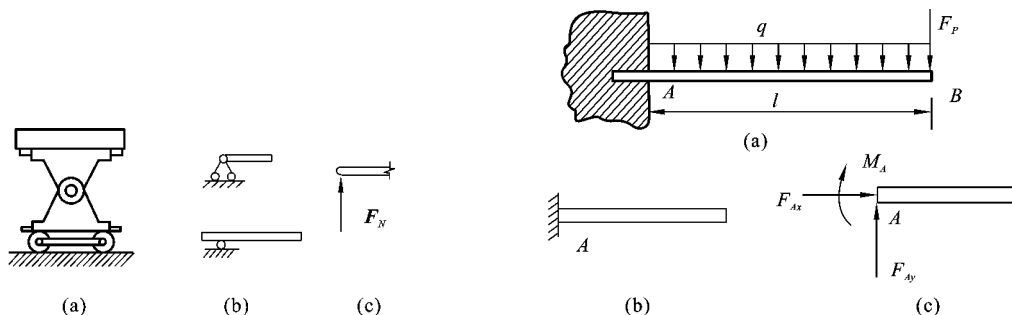


图 1-16

图 1-17

1.4 物体的受力分析

前文讲过,作用在物体及物体系统上的力可以分为两类。其一是主动力,如物体的重力、风力、气体压力等,一般是已知力;其二是约束体对于物体的约束反力,又称被动力,一般是未知力。在工程实际中,要求出处于平衡状态物体或物体系统的未知力。为了求出未知力,首先要分析确定所研究的物体或物体系统受到几个力作用,每个力的作用位置和作用方向。

为了清晰地表示物体的受力情况,将需要研究的物体或物体系统(称为受力体)假想地从与之接触或连接的物体(称为施力体)中分离出来,单独画出它的简图,这个过程叫作取研究对象或取分离体。然后把施力体施加给受力体(分离体)的主动力及约束反力全部画在受力体上。将这种表示物体或物体系统受力的简明图形,称为物体或物体系统的受力图。分析作用在分离体上的全部主动力和约束力,画出分离体的受力简图即受力图,这一过程即为受力分析,这种分析的过程称为物体的受力分析。

上述受力分析中画约束力的理论基础是解除约束原理,即当受约束的物体在某些主动力作用下处于平衡,若将其部分或全部的约束除去,代之以相应的约束反力,则物体的平衡不受影响。为了完成正确的受力分析,一般按下列步骤进行受力分析:

- (1) 选定需要分析的研究对象,确定分离体。
- (2) 画出所有作用在分离体上的主动力。
- (3) 在分离体的所有约束处,根据约束的性质画出约束力。

当选择若干个物体组成的系统作为研究对象时,作用于系统上的力可分为两类:系统外物体作用于系统内物体上的力,称为外力,外力包括主动力及外约束力(约束对系统整体的约束力);系统内物体间的相互作用力称为内约束力。根据牛顿第三定律,系统的内约束力总是成对出现的,并且每一对内约束力总是大小相等、作用方向相反、作用于同一直线。根据加减平衡力系公理,内约束力不改变物体系统的整体运动状态。因此,在取整个系统为分离体时,在受力图中不必画出内约束力,只画外力即可。但当取物体系统中的一部分作为分离体时,则系统其余部分对该部分的作用力就变成分离体所受的外力,必须在受力图中反映出。内力和外力都是一个相对的概念,是相当于研究对象而言。

例 1-1 画出图 1-18(a) 所示重量为 W 的 AB 杆的受力图。所有接触处均为光滑接触。

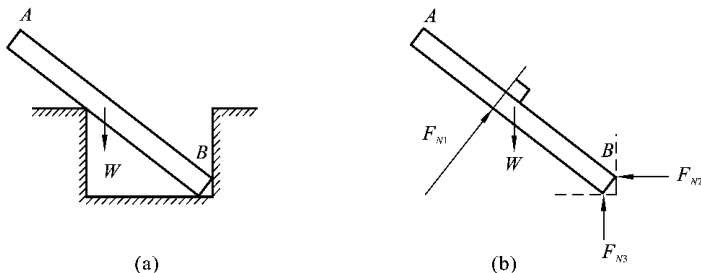


图 1-18

解: (1) 选取研究对象:取 AB 杆,画出其分离体图。

(2) 在分离体上画上主动力 W 。

(3) 由各光滑面接触处约束力沿其公法线方向画出 3 处的约束力。

例 1-2 水平简支平面梁 AB 如图 1-19(a) 所示, A 端是固定铰支座, B 端为链杆, 在 C 处作用一集中载荷 F , 梁自重不计, 画出梁 AB 的受力图。

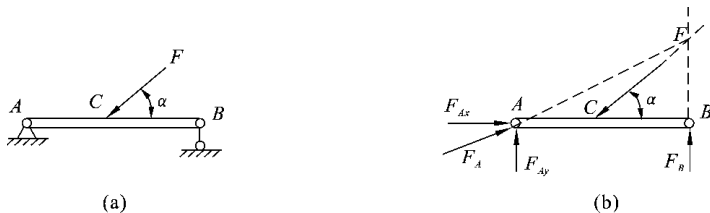


图 1-19

解: (1) 取梁 AB 为研究对象, 解除 A 、 B 两处的约束, 并画出其简图。

(2) 在梁的 C 处画出主动力。

(3) 在解除约束的 A 处和 B 处, 画出约束反力。 B 处是链杆, 其反力通过铰链中心且垂直于支承面, 用 F_B 表示, A 处是固定铰支座, 其反力通过铰链中心, 用互相垂直的分力 F_{Ax} 、 F_{Ay} 表示, 但是根据三力汇交定理可知 F_{Ax} 、 F_{Ay} 合力的方向必通过 F 和 F_B 的交线, 为 F_A 。

例 1-3 如图 1-20(a) 所示, 水平梁 AB 用斜杆 CD 支撑, A 、 C 、 D 3 处均为光滑铰链连接。均质梁重 W_1 , 其上放置一重为 W_2 的电动机。不计杆 CD 的自重, 试分别画出杆 CD 和梁 AB (包括电动机) 的受力图。

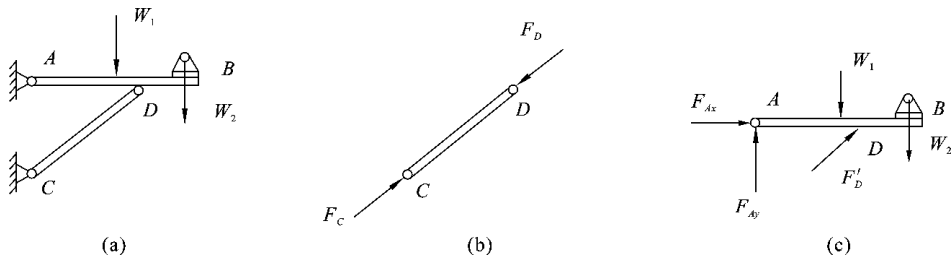


图 1-20

解: (1) 取 CD 杆为研究对象, 由于斜杆 CD 的两端为光滑铰链, 自重不计, 因此, 杆 CD 为二力杆, 受力图如图 1-20(b) 所示。

(2) 取梁 AB (包括电动机) 为研究对象, 它受有两个主动力 W_1 、 W_2 的作用。梁在铰链 D 处受有二力杆 CD 给它的约束反力 F'_D 的作用。根据作用和反作用公理, F'_D 与 F_D 方向相反。梁受固定铰支座给它的约束反力的作用, 由于方向未知, 可用两个大小未定的正交分力 F_{Ax} 、 F_{Ay} 表示。梁 AB 的受力图如图 1-20(c) 所示。

例 1-4 如图 1-21(a) 所示的平面构架, 由杆 AB 、 DE 及 DB 铰接而成。 A 为可动铰链支座, E 为固定铰链支座。钢绳一端拴在 K 处, 另一端绕过定滑轮 I 和动滑轮 II 后拴在销钉 B 上。物重为 W , 各杆及滑轮的自重不计。

(1) 试分别画出各杆、各滑轮、销钉 B 以及整个系统的受力图。

(2) 画出销钉 B 与滑轮 I 一起的受力图。

(3) 画出杆 AB , 滑轮 I、II, 钢绳和重物作为一个系统时的受力图。