

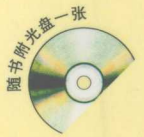
普通高等院校“十一五”规划教材

建筑力学

主 编 陈仁民
副主编 舒庆琰 王伟成 苗纪奎

$$\left\{ \begin{array}{l} q \\ P \\ m \end{array} \cdot \begin{array}{l} R' \\ \\ M_0 \end{array} \right\} \Rightarrow \left\{ \begin{array}{l} N \\ Q \\ M_n \\ M \end{array} \right\} \Rightarrow \left\{ \begin{array}{l} \sigma \\ \tau \\ f \\ \theta \end{array} \right\} \Rightarrow \begin{array}{l} \sigma_{xd} \leq [\sigma] \\ \Delta_{max} \leq [\Delta] \end{array}$$

$$N \leq P_{ij} / n_w = [P_w]$$



国防工业出版社

National Defense Industry Press

普通高等院校“十一五”规划教材

建筑力学

主 编	陈仁民		
副主编	舒庆琏	王伟成	苗纪奎
参 编	吴荣礼	葛文漩	徐贵娥

国防工业出版社

· 北京 ·

内 容 简 介

本书是按“基本概念—外力—内力—应力—强度问题—刚度问题—稳定问题”这样的课程体系来编写的,内容包括了静力学、材料力学、结构力学三部分,但却减少了其间的重复、节省了学时、加强了课程内在的逻辑性。经过实践,已取得教学改革初步成效。

本书为土建类建筑学专业教材,也可供城规、园林等有关专业及高等职业技术学院选用。

图书在版编目(CIP)数据

建筑力学/陈仁民主编. —北京:国防工业出版社,
2009.8

普通高等院校“十一五”规划教材

ISBN 978-7-118-06400-1

I. 建... II. 陈... III. 建筑力学—高等学校—教材
IV. TU311

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2009)第 116992 号

※

国防工业出版社出版发行

(北京市海淀区紫竹院南路 23 号 邮政编码 100048)

天利华印刷装订有限公司印刷

新华书店经售

*

开本 787 × 1092 1/16 印张 17 1/4 字数 390 千字

2009 年 8 月第 1 版第 1 次印刷 印数 1—4000 册 定价 30.00 元(含光盘)

(本书如有印装错误,我社负责调换)

国防书店:(010)68428422

发行邮购:(010)68414474

发行传真:(010)68411535

发行业务:(010)68472764

前 言

本书内容包括传统意义上的静力学、材料力学、结构力学三部分,但却去除了其间的重复部分,有机地组成了《建筑力学》教材,可作为普通高等工业院校有关专业 60 学时 ~ 100 学时的教材。

本书为高等工业院校的教学用书,故编写时注意贯彻“少而精”原则。内容选择力求精要,叙述次序为:“基本概念—外力—内力—应力—强度问题—刚度问题—稳定问题”。这样编排可减少内容的重复,节省学时,同时也环环相扣,极大地加强了课程内在的逻辑性,课程讲完,问题解决,思路也自然明确。实践表明,这样的课程体系改革,已取得了成效。能否为更广大的师生接受,有待进一步的实践检验,欢迎大家批评指正。

根据各专业不同的教学需求,对于少学时的专业,书中带 * 号的内容可不讲授,或只讲结论,不讲推导,留待有兴趣的学生自学。

本书主编为陈仁民;副主编为舒庆琰(济南大学),王伟成(东南大学),苗纪奎(山东建筑大学);参编者还有吴荣礼(上海城市管理职业技术学院),葛文璇、徐贵娥(江苏南通大学)。

在本书编写过程中青岛理工大学丁训荣教授审阅了部分章节,并提出了宝贵意见,谨此感谢;此外,在编写过程中,我们还参考了国内外有关教材并引用了其中某些材料,在此也向原作者深表谢意。

编 者

2009 年 6 月

目 录

第1章 基本概念	1
1.1 建筑力学的任务	1
1.2 力的概念、刚体和变形体以及力的性质	2
1.3 约束和约束反力	5
1.4 物体的受力图	8
1.5 平面体系的几何组成分析	9
第2章 力系的简化和平衡	14
2.1 汇交力系的简化	14
2.2 力矩与力偶	17
2.3 力的平移法则	19
2.4 空间力系的简化和平衡以及静不定问题	20
2.5 例题	25
2.6 物体的重心	31
第3章 截面图形的几何性质	35
3.1 静矩(面积矩)、形心以及杆的几何参数	35
3.2 惯性矩、极惯性矩以及惯性积	37
3.3 惯性矩和惯性积的平行移轴公式	40
3.4 惯性矩和惯性积的转轴公式以及主惯性轴和主惯性矩	41
第4章 杆及静定结构的内力和内力图	45
4.1 作用于杆件横截面上的内力以及杆的基本变形形式	45
4.2 直梁平面弯曲时的内力及其符号规定	46
4.3 内力图以及弯矩 M 、剪力 Q 、荷载集度 q 间的微分关系	48
4.4 叠加法作内力图	52
4.5 刚架的内力图	53
*4.6 三铰拱的内力及其合理轴线	54
4.7 功率 N 、转速 n 和外力偶矩 m 间的关系以及轴的扭矩图	55
*4.8 杆件系统的内力图	57
*4.9 移动荷载下的内力计算	58
4.9.1 影响线概念	58
4.9.2 用静力法作简支梁的影响线	59
4.9.3 影响线的应用	60

4.9.4 简支梁的内力包络图和绝对最大弯矩	64
4.9.5 连续梁的包络图	66
第5章 直杆的应力	70
5.1 关系变形固体的一些基本假设和概念	70
5.2 材料力学的研究方法	72
5.3 直杆的拉伸和压缩	74
5.4 梁的弯曲正应力	78
5.5 横力弯曲时梁内的剪应力	82
*5.6 弯曲中心概念	86
5.7 梁的合理截面和等强度梁	88
*5.8 圆轴的扭转	90
*5.9 矩形截面杆扭转理论的主要结果	93
5.10 平面应力状态的分析以及应力圆	94
5.11 应力状态的一般概念以及三向应力状态下的最大应力	98
5.12 广义虎克定律	100
*5.13 弹性变形能	102
第6章 杆的强度计算	106
6.1 材料在拉伸时的力学性能	106
6.2 材料在压缩时的力学性能	109
6.3 许用应力和安全系数	111
6.4 斜弯曲	113
6.5 偏心压缩以及截面核心	115
6.6 连接头的假定计算	118
6.7 强度理论	120
6.8 强度理论的应用	123
6.9 梁强度的全面校核	125
6.10 弯曲(或拉、压)和扭转组合时的强度计算	126
第7章 杆及结构的变形计算	129
7.1 拉伸(压缩)时的变形	129
7.2 扭转时的变形	130
7.3 弯曲时的变形	130
7.4 求杆件变形的叠加法	136
7.5 杆的刚度条件	138
7.6 静定结构的位移计算以及杆件的变形能	139
7.7 单位荷载法	141

7.8 图形互乘法	143
*7.9 静定结构由于支座位移和温度变化所引起的位移计算	146
*7.10 虚功原理以及单位荷载法	150
第8章 超静定结构解法	153
8.1 超静定结构及超静定次数的确定	153
8.2 力法和典型方程	155
8.3 对称性的利用	158
*8.4 超静定结构在温度变化和支座移动时的计算	161
8.5 位移法的基本概念	169
8.6 转角位移方程解法	170
*8.7 矩阵位移法概念	173
8.7.1 非结点荷载的处理	178
8.7.2 考虑杆的轴向位移时的单元刚度矩阵	180
8.7.3 杆的单元刚度矩阵的一般形式——坐标变换	183
8.7.4 用刚度集成法解平面刚架	186
*8.8 力矩分配法	190
第9章 压杆的稳定	199
9.1 平衡的稳定性	199
9.2 细长杆临界力的欧拉公式	200
9.3 欧拉公式的应用范围以及临界应力全图	203
9.4 压杆的稳定校核	205
9.5 提高压杆稳定性的措施以及工程中杆的其他失稳形式	209
习题	211
习题1	211
习题2	214
习题3	221
习题4	223
习题5	230
习题6	240
习题7	243
习题8	249
习题9	253
附录 型钢表	256
参考文献	270

第1章 基本概念

1.1 建筑力学的任务

建筑物在承担荷载或机器在传递运动时都受到力的作用,例如,建筑物受到自重和风雪荷载的作用,而汽车则在内燃机燃气压力推动下运动。建筑物中的梁、柱或机器中各零件等元件,统称为构件,也都受到各种外力的作用。众所周知,物体在外力作用下都可能产生变形,甚至破坏。因此,在工程中为了保证建筑物可靠地承担荷载或机器的正常运转,必然要求其中的各构件在使用过程中不能被破坏;在某些情况下也不允许产生过大的变形,例如厂房中的吊车梁,如果变形过大就将影响吊车的正常运行,如图1-1所示;在有些情况下,细长的受压杆也不能允许过大的荷载作用,如图1-2所示。因为过大的荷载有可能使压杆因失去其原有的直线形式的平衡而变弯,从而导致一些结构物的突然崩塌。

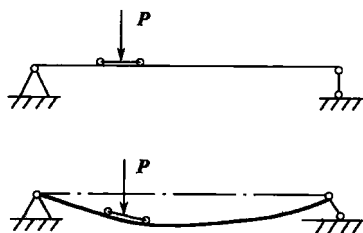


图1-1

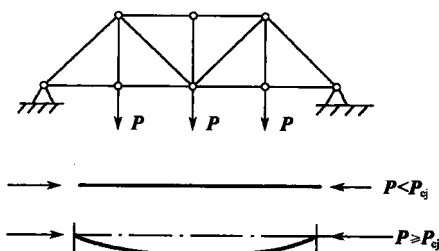


图1-2

综上所述可知,为了保证建筑物可靠地承担荷载和机器的正常运转,要求建筑物或机器的构件必须具备以下几方面的能力:

(1) 足够的强度。所谓强度即指构件抵抗破坏的能力。一般固体材料都有一定的强度,材料越好,截面越大,则构件的强度也越高。

(2) 足够的刚度。所谓刚度即指构件抵抗变形的能力。构件在外力作用下固然要产生变形,但如果截面形状尺寸选择得好、支座等安排得恰当,就可减少构件的变形,从而有利于其正常工作。

(3) 足够的稳定性。所谓稳定性即指构件保持其原有平衡形式的能力。加固支承、缩短杆长、加大截面尺寸等均可提高杆件的稳定性。

一般说来,为了使构件满足上述的强度、刚度和稳定性要求,只要选择较好的材料和较粗大的构件尺寸就可以。但这样做,势必造成材料的浪费和经济上的损失。所以,如何保证所设计的构件既安全可靠又尽可能地节约使用原材料,是工程力学所要解决的问题。

而解决问题的关键,在于必须弄清构件的上述三种能力(统称为构件的**承载能力**)和构件本身的材料性能,截面形状尺寸和支承方式等一系列因素间的关系。这些关系既有理论上的,也有材料性质等实验方面的问题。如果真正掌握了其间的必然规律,则自然就能设计出**既安全可靠又经济合理**的构件。

当然作为房屋建筑必须首先是一个各部件间没有相对运动的**结构**,而不是像机器一样的机构,这个将在后面讨论。

构件按其几何特征可分为:

- (1)其长度远大于横截面的宽度和高度的杆,如房屋结构中的梁和柱、机器中的轴等;
- (2)其厚度远远小于它的另两个方向尺寸的板或壳,如房屋结构中的顶板和屋盖、工程中的一些容器等;
- (3)三个方向尺寸都是同量级的块体,如房屋中的地基基础或桥梁中的桥墩等。

建筑力学研究的主要对象是杆、板、壳和块体的研究要用到弹性力学。

所以,建筑力学的任务就是:使所设计的建筑必须是一个结构,且其结构构件(主要是杆件)要**既安全可靠**(即满足强度、刚度、稳定性的要求),又尽可能地节约使用原材料,以达到**最大经济**。虽然下面的问题有时也能遇到:怎样以最小的外力达到破坏结构的目的?但这样的问题也不过是上述规律的另一种应用。

1.2 力的概念、刚体和变形体以及力的性质

1. 力的概念

力是物体间相互的机械作用,由于它的作用,物体的运动状态将发生变化,同时也使物体变形。前者称为**力的外效应**;后者称为**力的内效应**。前者是就整个物体的运动状态而言的,后者是就物体内部各质点的运动而产生的变形而言的。它们分别是**理论力学**和**材料力学**所研究的内容。总的来说,力学是研究物体机械运动规律的一门科学。

2. 刚体和变形体

在研究力的外效应,即研究物体在外力作用下的运动或平衡问题(平衡状态可看作是运动状态的一个特例)时,常常可将物体视为**刚体**,即受力后不变形的物体。如果物体受力后物体的变形很微小,可忽略不计时,也可近似地视为刚体;若物体受力后变形很大,则可将变形后的物体硬化为刚体。实践证明:采用这样的假设所得出的结果,都在工程精度范围内。这就是在研究力的外效应时常常采用刚体假设的原因。当然,在研究力的内效应或研究力对物体产生的变形时,就必须如实地将物体看作可变形的、可破坏的**变形体**。

3. 力的性质

1) 力的三要素、分布力、集中力

力对物体的效应由力的大小、方向、作用点三者决定,这三者称为力的三要素。因此,力是一个有方向的量,可用一个**矢量**来表示,常用黑体字来表示(如 $\mathbf{F}$),或用带箭头的字符来表示。作图时,矢长表示力的大小,箭头表示力的方向,而箭头或箭尾所在点即表示

力的作用点。力的作用点实际上是物体互相作用位置的一种抽象。物体间相互接触时,力总是分布在一定面积上。如果作用的面积很大,这种力就称为**分布力**,例如作用在水坝上的水压力(图1-3);如果作用面积很小,可近似地看成作用在一个点上,这种力称为**集中力**,这个点称为力的作用点。如图1-4中重物的重力 P 可视为一个作用在吊钩上的集中力,而钢索的拉力 T 也可视为一集中力,作用在梁上。至于重力 P 本身实际上是一个**体积力**,即分布在重物体内各点上, P 是它们的合力。

力的单位:在国际单位制中,集中力是牛顿(N)或千牛顿(kN),分布力是帕 Pa(N/m²)或兆帕 MPa(N/mm²), $1\text{MPa} = 10^6\text{Pa}$;在工程单位制中,集中力是千克力(kgf),分布力是 kgf/cm²。 $1\text{kgf} = 9.80\text{N}$, $1\text{kgf/cm}^2 = 0.0980\text{MPa} \approx 0.1\text{MPa}$ 。

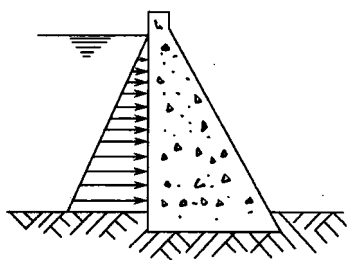


图1-3

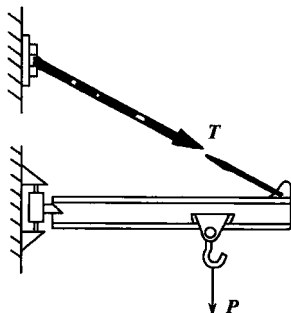


图1-4

一般地说,表示力的矢量必须和力的作用点相联系,这样的矢量称**定位矢量**。但当力作用在**刚体**上时,力的作用点就不重要了,因为只要不改变力的大小和方向,力的作用点可在其作用线上任意移动而不改变力对物体的外效应,这就是所谓的**力的可传性**。如一个人推车或拉车,对车的运动效应是一样的,如图1-5所示。必须指出的是:力的可传性只在研究力对物体的运动效应时适用,在研究力对物体内部的变形效应时就不适用。如一杆两端受一对大小相等、方向相反的共线力 P 的作用时(图1-6),按二力平衡原理,不管是图1-6(a)或图1-6(b),两者都是平衡的,但从变形效应看,前者产生伸长,而由力的可传性得到的后者却产生缩短,两者的变形效应是截然不同的。由于在研究力的外效应时,一般将物体看作刚体,所以从这个意义上来说,力的可传性只适用于刚体。

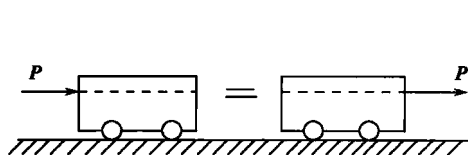


图1-5

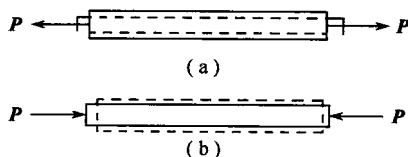


图1-6

2) 作用力和反作用力定律

如前所说,力是物体间的相互作用,因此,力不能脱离物体而单独存在,而总是成对出现,有施力体对被施力体的作用力,必有被施力体对施力体的反作用力,它们大小相等、方向相反,但分别作用在两个不同的物体上。这就是**作用力和反作用力定律**。在图1-7中,如把轴对轴承的压力 N 称为作用力,则轴承对轴的压力 N' 就称为反作用力,它们分别

作用在轴承和轴上。又如在图 1-8(a) 中, 房屋对地基的压力 N 作用在地基上, 而地基对房屋的反作用力 N' 则作用在房屋上。图 1-8(b) 示出房屋自重 P 和地基对房屋的反作用力 N' 组成一对平衡力, 但不能说房屋自重 P 的反作用力是 N' , 因为房屋自重 P 的反作用力应是作用在地球上的一个万有引力 P' , 如图 1-8(c) 所示。

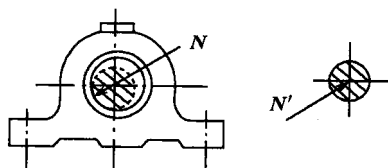


图 1-7

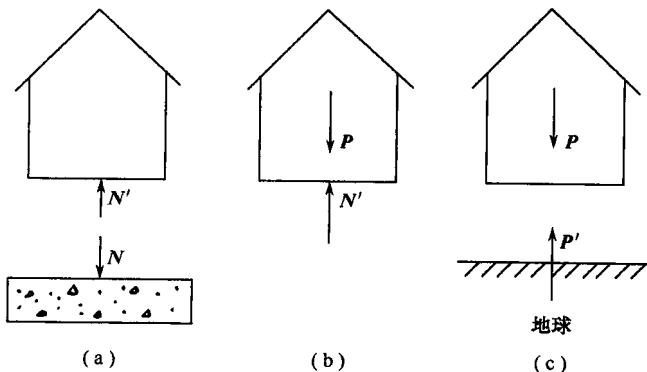


图 1-8

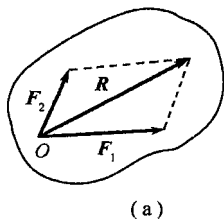
3) 力的平行四边形法则

作用在物体某一点上的两个力的效应可用一个合力来代替, 这个合力也作用在该点上, 其大小和方向可用这两力为边的平行四边形对角线来确定, 如图 1-9(a) 所示, 这就是力的平行四边形法则或力的合成定律。写成矢量等式, 即

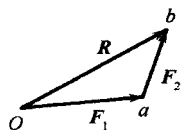
$$\mathbf{F}_1 + \mathbf{F}_2 = \mathbf{R} \quad (1-1)$$

具体作图时, 也可不作平行四边形, 而只需从 O 点起作矢量 $\overrightarrow{Oa} = \mathbf{F}_1$, 再由 a 点作矢量 $\overrightarrow{ab} = \mathbf{F}_2$, 最后连接始点 O 和终点 b 作封闭边 $\overrightarrow{Ob}$, 即得此两力的合力 $\mathbf{R}$ 。这称为力的三角形法则。作图时注意: $\mathbf{F}_1$ 、 $\mathbf{F}_2$ 是首尾相连, 而合力的方向是从始点到终点。

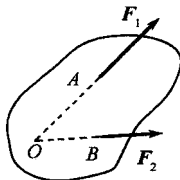
力的平行四边形法则对刚体或变形体都是适用的。但对刚体来说, 并不要求两力的作用点相同, 只要两力的作用线相交, 则根据力的可传性, 可分别把两力作用点移到交点上, 然后再按力的平行四边形法则求合力, 如图 1-10 所示。



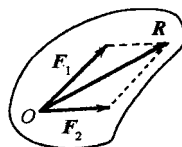
(a)



(b)



(a)



(b)

图 1-9

图 1-10

由力的平行四边形法则可知: 只有当作用在物体上的两力大小相等、方向相反且作

用在一直线上时,其合力才等于零,即此时两个力对物体的运动效应为零,也即物体处于平衡状态。这就是所谓的二力平衡原理。当物体在两个力作用下处于平衡状态时,常把此物体叫作二力体,当物体是杆时就称它为二力杆。二力体中,只要知道此两力的作用点,则其连线的方位就是此两力作用线的方位(图 1-11)。这在以后的受力分析中常用到。

由力的平行四边形法则可进一步推论:若物体在不平行的三个力作用下处于平衡时,则此三力必须在同一平面内且其作用线必汇交于一点。此即所谓三力平衡必共点。今设刚体上作用的三个互不平行的力是 F_1 、 F_2 、 F_3 (图 1-12),如 F_1 和 F_2 作用在一个平面内,则先将它们由力的平行四边形法则求出其合力 R ,其作用点为 O ,如图 1-12 所示。这样,刚体上就只有 R 和 F_3 两个力了。由于已知原来的三力是平衡的,故现在的 R 应和 F_3 平衡,而由二力平衡原理,此二力必共线,亦即 F_3 的作用线也过 O 点。所以,三力平衡必共点得证。

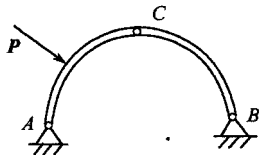


图 1-11

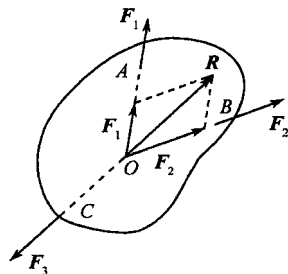
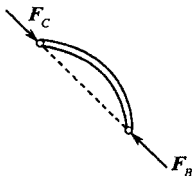


图 1-12

1.3 约束和约束反力

通常构件上除了承受荷载外,构件的运动还受到其他物体(如某些支承等)的限制。这些限制构件运动的物体,力学上称之为约束。为了弄清作用在构件上的外力,除了所作用的荷载外,约束对物体的作用也需考虑,这种作用通常也可用力的形式来表达,这种力常称为约束反力,它是约束对构件的作用力。所以,今后说到作用在构件上的外力既包括作用在构件上的荷载(主动力),也包括由荷载等外界因素所引起的约束对构件的约束反力,这两者对构件来说都是外力。

不同形式的约束有其相应的约束反力。

1. 柔体约束

由于绳索、胶带、链条等物体所组成的约束,只能使物体在其拉力方向的运动受限制,故它们对物体的约束反力只能是拉力,如图 1-13 所示。

2. 光滑面约束

两物体接触时,如不计摩擦力时,即可认为是光滑面约束。由于不计摩擦,两物体间的接触只能限制其在接触点处公法线方向的运动,故其反力只能沿着接触点的公法线方向,且为压力,如图 1-14 所示。

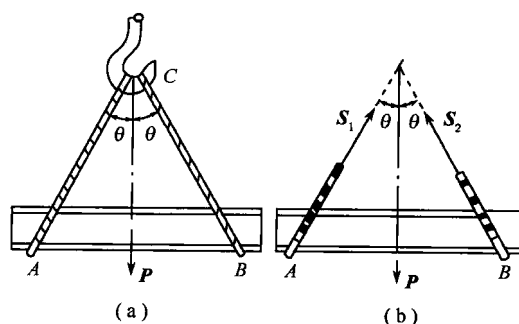


图 1-13

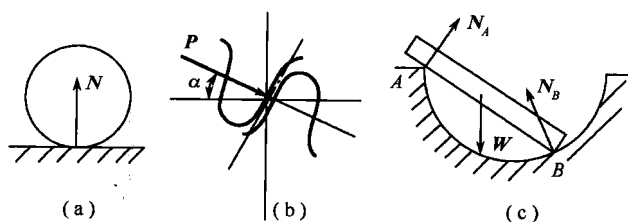


图 1-14

工程中常见的铰链约束、轴承约束等也都可认为是光滑面约束,如图 1-15 所示。但由于销钉和杆、轴和轴承间的接触点在不同受力状态是不同的,故其约束反力不但其大小不知,而且其方向也不知,即有两个未知量。为了以后便于计算,常将反力 R 分解为水平分力 X 和垂直分力 Y ,以后只要确定了这两个分力大小,则其反力 R 也就完全确定了。图 1-15(a) 表示两个构件用圆柱销连接,称**铰连接**,可用图 1-15(b) 的简图表示,其约束反力也可分解为分力 X 和 Y 。

两端各以铰与不同的两物件连接且其自重不计的杆件称为**链杆**(图 1-16)。链杆为二力杆,其约束反力沿两铰的连线方向,可为拉力也可为压力。

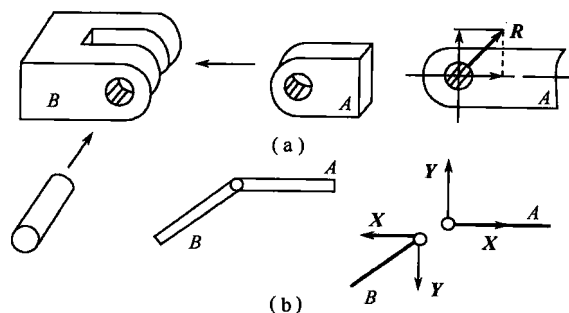


图 1-15

又如前述铰连接中某一个构件是固定的(图 1-17(a)),则该固定件即称**固定铰链支座**,可用图 1-17(b) 简图来表示,其约束反力可分解为分力 X 和 Y 。

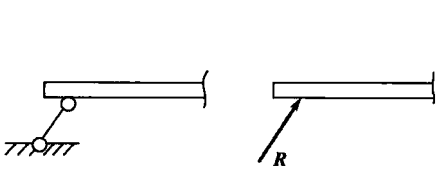


图 1-16

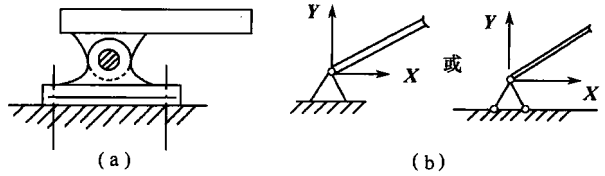


图 1-17

图 1-18(a) 所示的支座称辊轴支座或活动铰链支座, 其简图如图 1-18(b) 所示, 其约束反力必垂直于支承面。

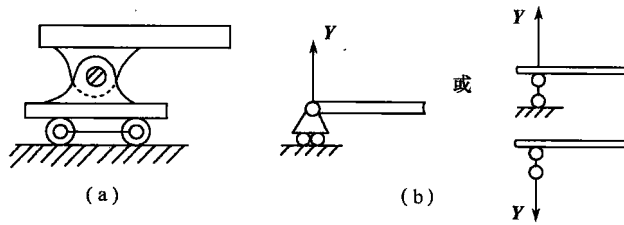


图 1-18

图 1-19(a)、(b) 分别为滑动轴承和滚动轴承约束, 由于其在径向平面内运动受限制, 故其反力必垂直于轴线, 且也可分解为分力 X 和 Y 。图 1-20(a) 为推力滚动轴承, 图 1-20(b) 为其计算简图及其反力。图 1-21 所示为球形铰约束, 其计算简图及其反力如图中所示。

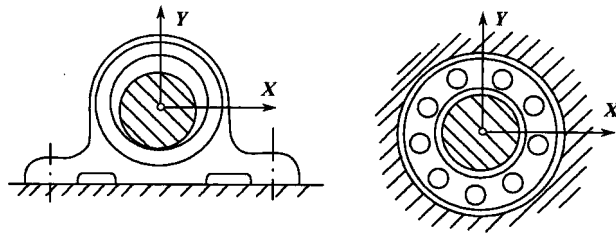


图 1-19

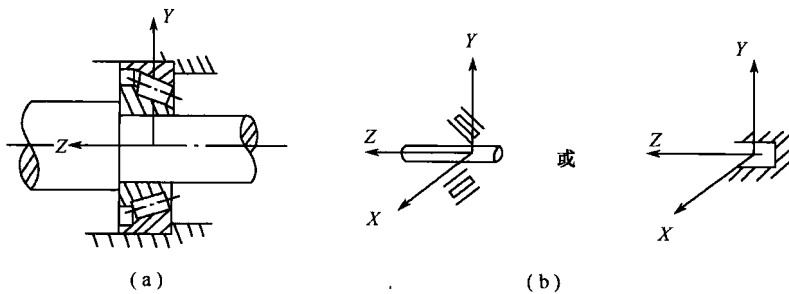


图 1-20

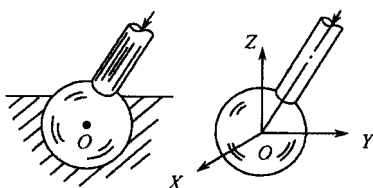


图 1-21

1.4 物体的受力图

知道了物体上的荷载及其约束反力,就可以将物体上所受的力都画出来,这就是物体的受力图。作物体受力图时,首先要明确研究对象,把所要研究的物体从约束中解除出来,即所谓“解除约束,取分离体”;其次应将所有约束对物体的作用,根据约束的性质,用相应的反力表示出来,即“代以反力”。当然,作用在物体上的荷载和物体的自重需要考虑时,也都应该画出来。应该指出的是:当研究物体系统中各个物体的受力时,要注意作用力和反作用力间的关系,作用力的方向一经假定后,则其反作用力的方向必定和作用力的方向相反,不能再随意假定;当取整个物体系统分析时,由于系统中各物体间的相互作用力是一对大小相等、方向相反的内力,并不暴露,因而在作整个系统的受力分析时,不用将它们画出来。

物体受力图是以后物体受力计算的基础,只有受力图作得正确,才有可能得出正确的结果。希望读者能熟练地掌握。

例 1-1 试对图 1-22(a) 所示的角架及其构件进行受力分析并作受力图(不计杆的自重)。

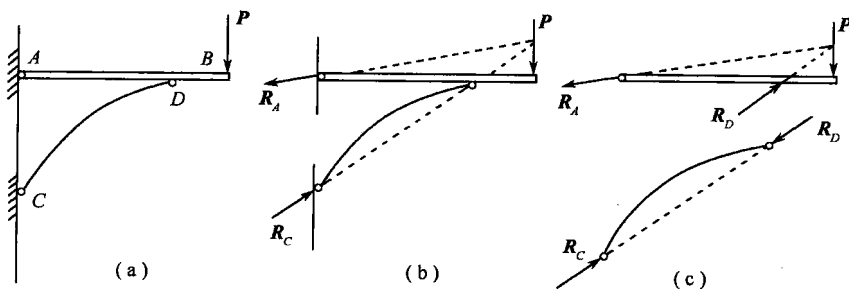


图 1-22

解:取整体为研究对象时,应解除墙体对角架在 A、C 处的约束,根据固定铰约束的性质,可用 4 个反力 X_A 、 Y_A 、 X_C 、 Y_C 来代替,但在不计杆自重的情况下,容易看出 CD 杆是二力杆,故 C 处可用一个反力 R_C 来代替,如图 1-22(b) 所示;至于各构件的受力图如图 1-22(c) 所示,图中 A 处的反力,根据三力平衡必共点,也可用一个力 R_A 来代替。

例 1-2 试对图 1-23(a) 所示的曲柄压力机进行受力分析并作受力图,设大皮带轮的自重为 P ,其他构件的重量不计。

解:先取连杆 BC 为研究对象,显然该杆为二力杆。其受力图如图 1-23(b) 所示。

再取冲头 C 为研究对象,除了连杆对冲头的压力 S'_C 和阻力 Q 外,还有光滑的滑道对冲头的反力 N ,如图 1-23(c) 所示。最后取皮带轮来分析,轮重 P 作用于轮心,方向向下,皮带拉力切于轮边,连杆的反力为 S'_B ,轴承的反力为 X_A 和 Y_A ,如图 1-23(d) 所示。

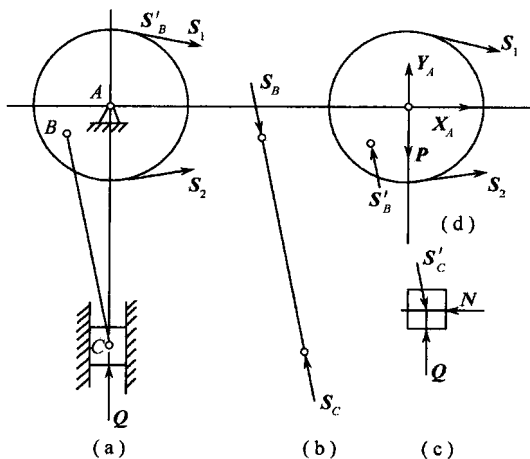


图 1-23

1.5 平面体系的几何组成分析

一个工程结构,它是由若干个构件按一定规律相互连接并与地基相连而组成的一个体系,是用来承担荷载作用的。作为结构,它必须是一个几何形状和位置保持不变的体系,称几何不变体,即体系中各构件(如果把地基也看作一个构件)间应没有相对运动。否则,体系就成了机构,或几何可变体。图 1-24 所示为屋架结构的计算简图,而图 1-25 所示的却是一个曲柄滑块机构的计算简图。因为前者各构件间无相对运动,而后者各构件间可产生规律性的运动。

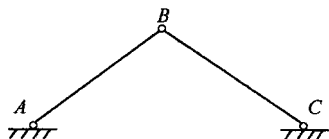


图 1-24

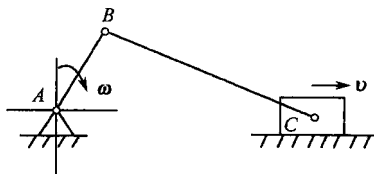


图 1-25

虽然结构受载后,由于构件变形,其几何形状和位置也有所变化,但这种变化一般是微小的,而且是弹性、可恢复的,并不影响结构的正常工作,所以在本章的分析中,将不计构件由于受力而引起的变形,而把构件视为刚体。正由于在本章中不考虑力的作用,而只是从几何学或运动学的观点来研究结构体系的组成问题,故称为体系的几何组成分析。

研究体系几何组成分析的目的是:

(1) 判断一个体系是几何不变体还是几何可变体,因为只有几何不变体才能用作结构;

(2) 研究组成几何不变体的规律,用以构造结构;

(3) 本章内容对判断结构是静定的还是静不定的属性及对结构的内力计算等都有用处。

最后还应指出,本书仅限于研究各杆轴线都在一个平面内的平面体系的几何组成问题。

1. 组成无多余约束的几何不变体的基本规则

两物体间或两刚片间所以有相对运动,是由于两者间缺少足够的约束。如果增加两者间的约束,就可以使两者连为一个整体或组成一个大刚片。

最简单的一种约束称为链杆,它是两端是铰的一种杆件(如图 1-26(a) 中的 AB 杆),它限制了两刚片 I 和 II 沿该杆两铰连线方向的位移,但显然此两刚片间仍可有相对运动。如在此两刚片间再增加一个不共线的链杆 BC ,如图 1-26(b) 所示,则此两刚片间就只能有一个绕 B 点的转动了。若再增加一个不共点的第三个链杆 DE ,如图 1-26(c) 所示,则两刚片就成了一个整体,即组成了一个相互间没有相对运动的大刚片,也就是说组成了一个几何不变体。如在此基础上,再增加一链杆 DF (图 1-26(d)),则所得的体系虽然还是几何不变体,但其中的约束显然是有多余的,这种约束常称为**多余约束**,即去掉该约束,体系仍是几何不变体。在图 1-26(d) 中,任一链杆都可认为是多余约束。

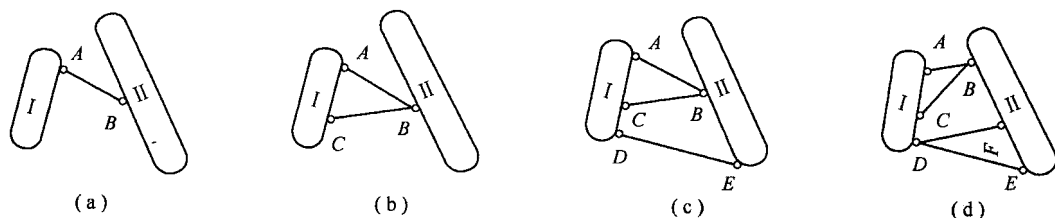


图 1-26

由上所述可知:两刚片用三根不共点的链杆相连可组成一个无多余约束的几何不变体。这就是所谓的二刚片法则。

需要指出的是:在图 1-26(b) 中, AB 、 BC 两链杆交于 II 刚片的边界上,形成一个实际上的铰链,可以明显地看出两刚片可绕 B 点发生相对转动。如果刚片间的两链杆不交于刚片的边界上,而是交于刚片内部、甚至刚片之外,如图 1-27 所示。由于瞬时两链杆交点的位置是固定的,故两刚片的相对转动仍可认为是绕该点发生的。鉴于此交点不是实际上的铰,故常称此铰为**虚铰**。由上讨论可知,两不共线的链杆的约束作用相当于一个单铰。这样,上述二刚片法则也可这样表述:若两刚片用一铰和一不通过铰心的链杆相连,也可组成一个无多余约束的几何不变体,如图 1-28 所示。

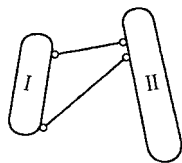


图 1-27

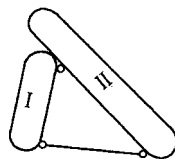


图 1-28