



土木与建筑类专业创新型一体化教材

建筑力学与结构

主 编 王超伟 余璐

建筑力学与结构

主 编 王超伟 余璐



扫描二维码
共享立体资源

北京出版集团
北京出版社

北京出版集团
北京出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

建筑力学与结构 / 王超伟, 余璐主编. — 北京:
北京出版社, 2017.7 (2023 重印)
ISBN 978-7-200-13035-5

I. ①建… II. ①王… ②余… III. ①建筑科学—力学—高等职业教育—教材②建筑结构—高等职业教育—教材 IV. ① TU3

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2017) 第 109353 号

建筑力学与结构

JIANZHU LIXUE YU JIEGOU

主 编: 王超伟 余 璐

出 版: 北京出版集团

北京出版社

地 址: 北京北三环中路 6 号

邮 编: 100120

网 址: www.bph.com.cn

总发行: 北京出版集团

经 销: 新华书店

印 刷: 定州市新华印刷有限公司

版印次: 2017 年 7 月第 1 版 2023 年 11 月修订 2023 年 12 月第 2 次印刷

开 本: 787 毫米 × 1092 毫米 1/16

印 张: 16.5

字 数: 343 千字

书 号: ISBN 978-7-200-13035-5

定 价: 49.50 元

教材意见建议接收方式: 010-58572341 邮箱: jiaocai@bphg.com.cn

如有印装质量问题, 由本社负责调换

质量监督电话: 010-82685218 010-58572341 010-58572393

单元一 静力学基本知识	1
学习任务 1 力与平衡的概念	2
学习任务 2 静力学基本公理和约束与约束反力	5
学习任务 3 物体的受力分析和受力图画法	12
学习任务 4 刚体、变形固体结构及计算简图	15
单元二 力系的合成与平衡	21
学习任务 1 平面汇交力系	22
学习任务 2 平面力偶系	28
学习任务 3 平面一般力系	34
学习任务 4 平面平行力系	39
单元三 材料力学的基本知识及组合变形	44
学习任务 1 杆件变形基本形式与度量	45
学习任务 2 内力与应力	48
学习任务 3 组合变形的计算	51
单元四 平面图形的几何性质	67
学习任务 1 重心与形心	68
学习任务 2 静矩与形心的关系	70

学习任务 3 惯性矩、惯性积与惯性半径的计算	73
单元五 砌体结构	82
学习任务 1 砌体结构基础知识	83
学习任务 2 砌体结构构件承载力计算	99
单元六 钢结构基本构件	113
学习任务 1 钢结构及钢结构材料	114
学习任务 2 钢构件计算	122
学习任务 3 钢结构连接	137
单元七 钢筋混凝土结构基本构件	160
学习任务 1 钢筋和混凝土的力学性能	161
学习任务 2 受弯构件承载力计算	169
学习任务 3 受压构件承载力计算	178
学习任务 4 受拉构件承载力计算	186
单元八 钢筋混凝土梁板结构	192
学习任务 1 钢筋混凝土梁板结构	193
学习任务 2 单向板肋梁楼盖设计	195
学习任务 3 现浇双向板肋梁楼盖设计	207
学习任务 4 楼梯	215
单元九 预应力混凝土结构构件	228
学习任务 1 预应力混凝土基本知识	229
学习任务 2 预应力混凝土轴心受拉构件承载力和损失值的计算	238
参考答案	250
参考文献	253

单元一 | 静力学基本知识

单元描述

力在人类的生产和生活实践中无处不在，力的概念是人们在长期的生产劳动和生活实践中逐渐形成的。在建筑工程活动中，当人们拉车、弯钢筋、拧螺母时，由于肌肉紧张，便感到用了力。例如，力作用在车子上可以让车子由静止到运动，作用在钢筋上可以使钢筋由直变弯。

静力学公理是人们从实践中总结出来的最基本的力学规律，这些规律是符合客观实际的，并被认为是无须再证明的真理，是人们关于力的基本性质的总结和概括，也是研究力系的简化与平衡问题的基础。

学习任务 1 | 力与平衡的概念

■ 任务目标

1. 通过本任务的学习，掌握力的概念，理解力的三要素，了解力系、平衡和平衡力系的概念，掌握力的分解与合成的概念。
2. 通过本任务的学习，培养学生去探索发现新科技与新技术。

知识链接

一、力

(一) 力的概念

力的概念来源于人们的劳动实践。通过长期的生产劳动和生活实践，人们逐渐认识到力是物体间的相互机械作用，这种作用会使物体的运动状态或形状发生改变。物体间的相互机械作用形式多种多样，可以归纳为两类。一类是两物体相互接触时，它们之间相互产生的拉力或压力；另一类是地球与物体之间相互产生的吸引力，对物体来说，这种吸引力就是重力。

力不能脱离物体而单独存在，有力必定存在两个物体——施力体和受力体。

物体在受到力的作用后，产生的效应可以分为两种：

- (1) 外效应，也称为运动效应——使物体的运动状态发生改变。
- (2) 内效应，也称为变形效应——使物体的形状发生改变。

【特别提示】

由此可得到力的定义：力是物体间的相互机械作用，这种作用的效果会使物体的运动状态发生改变（外效应），或者使物体发生形变（内效应）。由于力是物体与物体之间的相互作用，所以力不可能脱离物体而单独存在，某物体受到力的作用，一定是有另一物体对它施加作用。

(二) 力的三要素

力对物体的作用效应取决于三个要素：力的大小、方向、作用点。

1. 力的大小

力的大小反映物体间相互机械作用的强弱程度，它可以通过力的外效应和内效应的大小来度量。在国际单位制中，度量力的大小以牛顿（N）或千牛顿（kN）为单位。

2. 力的方向

力的方向表示物体间的相互机械作用具有方向性，它包括力所顺沿的直线（称为力的作用线）在空间的方位和力沿其作用线的指向。例如，重力的方向是“铅垂向下”，“铅垂”是力的方位，“向下”是力的指向。

3. 力的作用点

力的作用点是指力在物体上的作用位置。实际上，两个物体之间相互作用时，其接触的部位总是占有一定的面积，力总是按照各种不同的方式分布于物体接触面的各点上。当接触面面积很小时，则可以将微小面积抽象为一个点，这个点称为力的作用点，该作用力称为集中力；反之，如果接触面面积较大而不能忽略时，则力在整个接触面上分布作用，此时的作用力称为分布力。分布力的大小用单位面积上的力的大小来度量，称为荷载集度，用 q (N/m^2) 来表示。

(三) 力的表示

力的三要素表明力是矢量（其计算符合矢量代数运算法则），记作 $\boldsymbol{F}$ （图 1-1），用一段带有箭头的线段（ AB ）来表示：线段（ AB ）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；线段的起点 A 或终点 B （应在受力物体上）表示力的作用点。线段所沿的直线称为力的作用线。

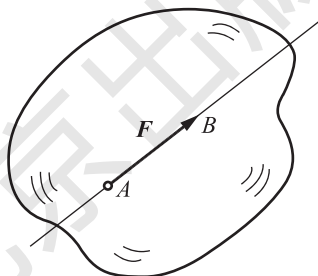


图 1-1 力的三要素

二、力系与平衡

(一) 力系

一般情况下，一个物体总是同时受到若干个力的作用。我们把同时作用于一个物体上的一组力称为力系。

**【特别提示】** ◆ ...

按照力系中各力作用线分布形式的不同，力系可分为：

- (1) 汇交力系。力系中各力作用线汇交于一点。
- (2) 力偶系。力系中各力可以组成若干力偶或力系由若干力偶组成。
- (3) 平行力系。力系中各力作用线相互平行。
- (4) 一般力系。力系中各力作用线既不完全交于一点，也不完全相互平行。

按照各力作用线是否位于同一平面内，力系又可以分为平面力系和空间力系两大类，比如平面汇交力系、空间一般力系等。

(二) 平衡

平衡是指物体相对于地球保持静止或匀速直线运动的状态。例如，房屋、水坝、桥梁相对于地球保持静止；沿直线匀速起吊的构件相对于地球做匀速直线运动等。它们的共同点是运动状态没有发生变化。建筑力学研究的平衡主要是物体处于静止状态。

(三) 平衡力系

使物体处于平衡状态的力系称为平衡力系。物体在力系作用下处于平衡时，力系所应该满足的条件，称为力系的平衡条件，这种条件有时是一个，有时是几个，它们是建筑力学分析的基础。

(四) 力系的分解与合成

在不改变物体作用效应的前提下，用一个简单力系代替一个复杂力系的过程，称为力系的简化或力系的合成；反过来，把合力代换成若干分力的过程，称为力的分解。如果某一力系对物体产生的效应，可以用另外一个力系来代替，则这两个力系称为等效力系。当一个力与一个力系等效时，则称该力为此力系的合力，而该力系中的每一个力称为这个力的分力。

学习任务 2 | 静力学基本公理和约束与约束反力

任务目标

1. 通过本任务的学习，能够掌握常见的约束类型及其约束反力，掌握静力学基本公理。
2. 通过本任务的学习，培养学生对力学的学习兴趣，理解创新驱动发展战略。

知识链接



二力平衡公理

一、二力平衡公理

二力平衡公理：同时作用于同一刚体上的两个力，使其保持平衡充分必要条件是：这两个力大小相等、方向相反、作用线在同一条直线上（简称二力等值、反向、共线）。

二力平衡公理揭示了刚体在两个力的作用下处于平衡状态所必须满足的条件，故称为二力平衡条件。

构件是一种物体，在两个力的作用下处于平衡的构件称为二力构件，如图 1-2 (a)、(b)、(c) 所示，作用在二力构件上的两个力必定等值、反向、共线。若此构件为直杆，通常称为二力杆，如图 1-2 (d) 所示。

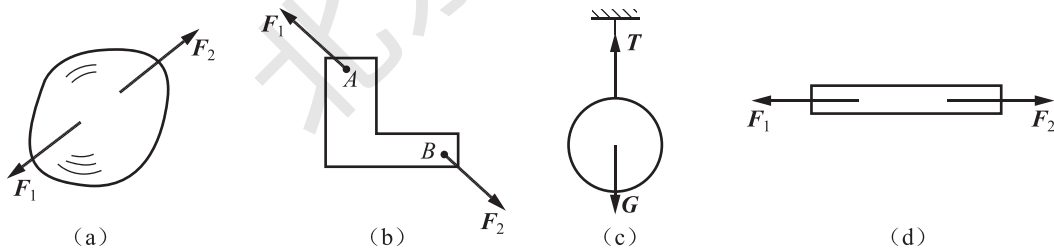


图 1-2 二力构件

二、作用力与反作用力公理

作用力与反作用力公理：两个物体间相互作用的一对力，总是大小相等、方向相反、作用线相同，并分别同时作用于这两个物体上。

作用力与反作用力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个相互作用的物体上。

必须注意的是，不能把二力平衡问题和作用力与反作用力关系混淆起来。二力平衡公理中的两个力作用在同一物体上，而且使物体平衡。但作用力与反作用力公理中的

两个力分别同时作用在两个不同的物体上，说明的是一种相互作用关系，虽然也是大小相等、方向相反、作用在一条直线上，但不能说是平衡的。

三、加减平衡力系公理

加减平衡力系公理：在作用于刚体的任意力系中，加上或去掉任何一个平衡力系，并不能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。

如图 1-3 所示，小车 A 点上作用一力 F ，在其作用线上任取一点 B ，在 B 点沿力 F 的作用线加一对平衡力，使 $F=F_1=-F_2$ ，根据加减平衡力系公理，力系 F_1 、 F_2 、 F 对小车的的作用效应不变。将力 F 和 F_2 组成的平衡力系去掉，只剩下力 F_1 ，与原力等效，由于 $F=F_1$ ，这就相当于将力 F 沿其作用线从 A 点移到 B 点而效应不变。

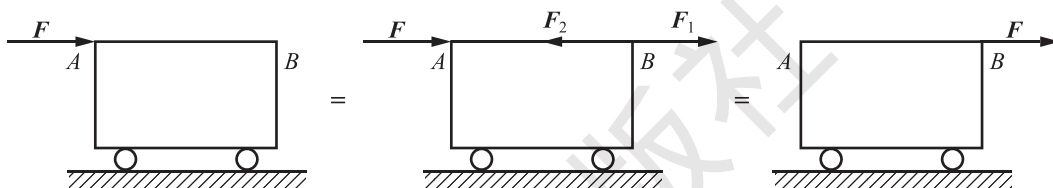


图 1-3 力的可传性

由此可见，对于刚体来说，力的作用点已不是决定力的作用效应的要素，它已被作用线所代替。因此，作用于刚体上的力的三要素是：力的大小、方向和作用线。

必须指出的是，力的可传性原理只适用于刚体，而不适用于变形体。

四、力的平行四边形法则

力的平行四边形法则：作用于物体同一点的两个力，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的平行四边形的对角线表示。

如图 1-4 (a) 所示， F_1 和 F_2 为作用于刚体上 A 点的两个力，以这两个力为邻边作出平行四边形 $ABCD$ ，图中 F 即为 F_1 、 F_2 的合力。

力的平行四边形法则说明力的合成遵循矢量加法法则，其矢量表达式为

$$F=F_1+F_2 \tag{1-1}$$

即合力 F 等于两个分力 F_1 、 F_2 的矢量和。为了计算简便，在利用作图法求两个共点力的合力时，只需画出平行四边形的一半即可。其方法是：先从两个分力的共同作用点画出某一分力，再自此分力的终点画出另一分力，最后由第一个分力的起点至第二个分力的终点作一矢量，即为合力，作出的三角形称为力三角形，这种求合力的方法称为力的三角形法则，如图 1-4 (b) 所示。

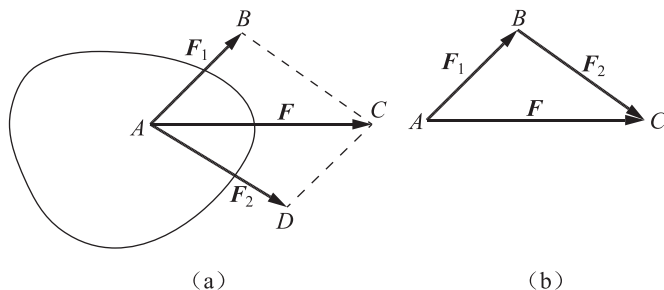


图 1-4 力的合成

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，图 1-5 所示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。力的平行四边形法则是力系简化的基础，同时，它也是力分解时所应遵循的法则。

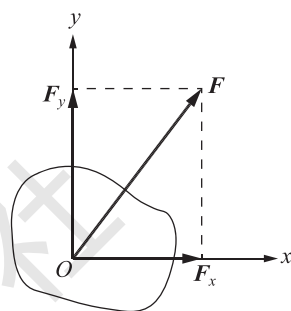


图 1-5 力的分解

五、三力平衡汇交定理

三力平衡汇交定理：一个刚体在共面而不平行的三个力的作用下处于平衡状态，这三个力的作用线必汇交于一点。

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的三力作用下平衡时，其中某一未知力的作用线（力的方向）。

如图 1-6 所示，刚体受到共面而不平行的三个力 F_1 、 F_2 、 F_3 的作用处于平衡状态，根据力的可传性原理，将 F_2 、 F_3 沿其作用线移到二者的交点 O 处，再根据力的平行四边形法则，将 F_2 、 F_3 合成合力 F 。于是刚体只受到两个力 F_1 和 F 的作用处于平衡状态，根据二力平衡公理可知， F_1 、 F 必在同一直线上，即 F_1 必过 F_2 、 F_3 的交点 O 。因此，三个力 F_1 、 F_2 、 F_3 的作用线必交于一点。

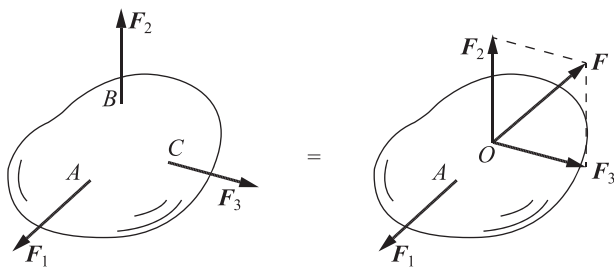


图 1-6 三力平衡汇交

六、约束与约束反力的概念

力学中通常把物体分为两类，即自由体和非自由体。自由体可以自由位移，不受

其他物体的限制，例如：飞行的飞机是自由体，它可以任意地移动和旋转。非自由体不能自由位移，其某些位移因受其他物体的限制而不能发生，结构和结构的各构件是非自由体。

限制物体运动的周围物体称为约束体，简称为约束。例如，梁是板的约束体，墙是梁的约束体，基础是墙的约束体等。

约束体在限制其他物体运动时，所施加的力称为约束反力。约束反力总是与它所限制的物体的运动或运动趋势的方向相反。例如，墙阻碍梁向下落时，就必须对梁施加向上的反作用力等。约束反力的作用点就是约束与被约束物体的接触点。

与约束反力相对应，凡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，如物体的重力、水压力、土压力等。作用在工程结构上的主动力称为荷载。通常情况下，主动力是已知的，而约束反力是未知的。静力分析的任务之一就是确定未知的约束反力。

七、常见的几种约束及其约束反力

由于约束的类型不同，约束反力的作用方式也各不相同。下面介绍在工程中常见的几种约束类型及其约束反力的特性。

(一) 柔索约束

柔索约束由软绳、链条等构成。柔索只能承受拉力，即只能限制物体在柔索受拉方向的位移，这就是柔索的约束功能。因此，柔索的约束反力通过接触点，沿柔索而背离物体。

图 1-7 给出了一个受柔索约束的物体 A，其所受的约束反力 T 如图所示。约束反力 T 的反作用力 T' 作用在柔索上，使柔索受拉。

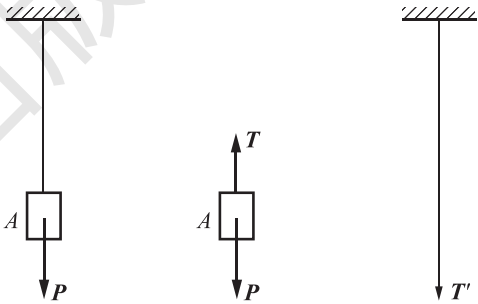


图 1-7 柔索约束示意图

(二) 光滑接触面约束

两物体直接接触，当接触面光滑，即摩擦力很小可以忽略不计时，形成的约束就是光滑接触面约束。这种约束只能限制物体沿着接触面的公法线指向接触面的运动，而不能阻碍物体沿着接触面切线方向的运动或运动趋势。因此，光滑接触面对物体的约束反力通过接触点，沿接触面的公法线，指向被约束的物体。光滑接触面的约束反力是压力，通常用 N 表示，如图 1-8 所示。

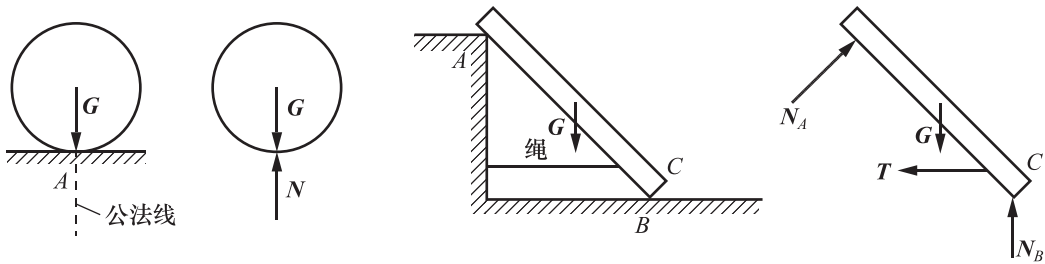


图 1-8 光滑接触面约束

值得注意的是,当两个物体的接触面光滑,但沿着接触面的公法线,物体没有指向接触面的运动趋势时,没有约束反力。

(三) 光滑圆柱铰链约束

两个物体分别被钻上直径相同的圆孔并用销钉连接起来,如果不计销钉与销钉孔壁之间的摩擦,则这种约束称为光滑圆柱铰链约束,简称铰链约束,如图 1-9 (a) 所示。这种约束可以用图 1-9 (b) 所示的力学简图表示,其特点是只限制两物体在垂直于销钉轴线的平面内沿任意方向的相对移动,而不能限制物体绕销钉轴线的相对转动和沿其轴线方向的相对滑动。因此,铰链的约束反力作用在与销钉轴线垂直的平面内,并且通过销钉中心,但方向待定,如图 1-9 (c) 所示的 F_A 。工程中常用通过铰链中心的相互垂直的两个分力 X_A 、 Y_A 表示,如图 1-9 (d) 所示。

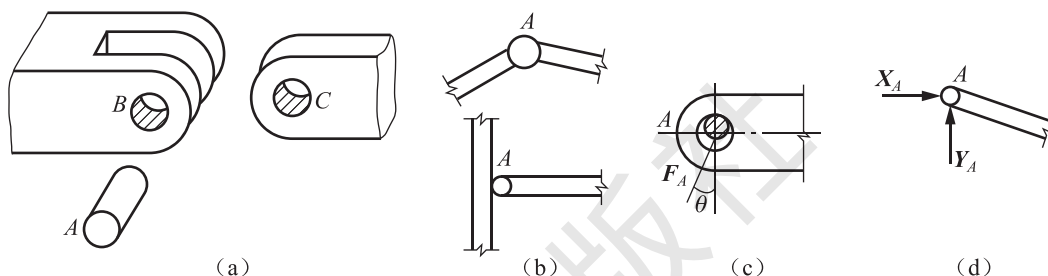


图 1-9 光滑圆柱铰链约束

(四) 链杆约束

两端各以铰链与其他物体相连接且中间不受力(包括物体本身的自重)的直杆称为链杆,如图 1-10 (a) 所示。这种约束只能限制物体沿链杆轴线方向的运动,而不能限制其他方向的运动。因此,链杆的约束反力沿着链杆的轴线方向,指向不定,常用符号 R 表示,如图 1-10 (c)、(d) 所示。图 1-10 (b) 中的杆 AB 即为链杆的力学简图。

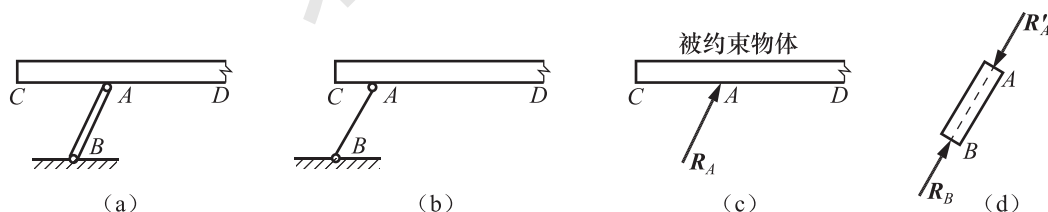


图 1-10 链杆约束

(五) 铰链支座约束

在工程中,将一个构件支承(或连接)在基础或另一个静止的构件上构成的装置称为支座。采用铰链连接的支座就是铰链支座。

铰链支座包括固定铰支座和可动铰支座两种。

1. 固定铰支座约束

圆柱铰链所连接的两个构件中，如果有一个被固定在基础上，便构成了固定铰支座，如图 1-11 (a) 所示。这种支座不能限制构件绕销钉轴线的转动，只能限制构件在垂直于销钉轴线的平面内向任意方向的移动。可见固定铰支座的约束性能与圆柱铰链相同。因此，固定铰支座的支座反力在垂直于销钉轴线的平面内，通过铰心，并且指向未定。固定铰支座的简图如图 1-11 (b) 所示，支座反力的表示如图 1-11 (c) 所示（指向为假设）。

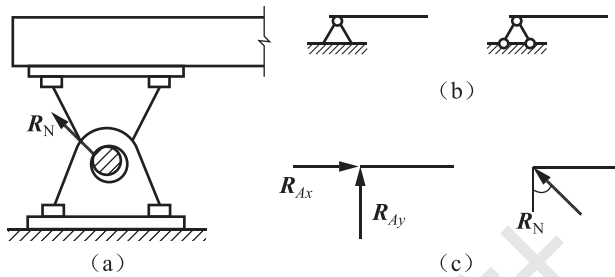


图 1-11 固定铰支座约束

2. 可动铰支座约束（又叫滚轴支座约束）

在固定铰支座下面加几个滚轴支承于平面上，但支座的连接使它不能离开支承面，这样就构成了可动铰支座，如图 1-12 (a) 所示。这种支座只能限制构件在垂直于支承面方向上的移动，而不能限制构件绕销钉轴线的转动和沿支承面方向上的移动。因此，可动铰支座的支座反力通过销钉中心，并垂直于支承面，但指向未定。可动铰支座的简图如图 1-12 (b) 所示，支座反力的表示如图 1-12 (c) 所示（指向为假设）。

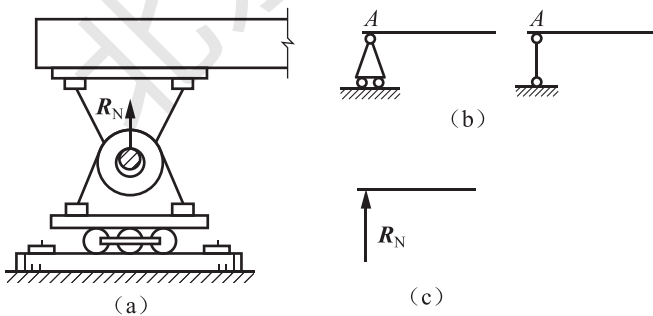


图 1-12 可动铰支座约束

由于可动铰支座允许被约束体在一个方向发生移动，因此，桥梁、屋架等工程结构的一端用固定铰支座，另一端用可动铰支座，以适应温度变化引起的伸缩变形。

(六) 固定端约束（固定端支座）

在图 1-13 (a) 中，杆件 AB 的 A 端被牢固地固定，使杆件 AB 既不能发生移动也不能发生转动，这种约束称为固定端约束或固定端支座。固定端约束的简图如图 1-13 (b) 所

示。固定端的约束反力是两个垂直的分力 X_A 、 Y_A 和一个力偶 m_A ，它们在图 1-13 (b) 中的指向是假定的。约束反力 X_A 、 Y_A 对应于约束限制移动的位移；约束反力偶 m_A 对应于约束限制转动的位移。例如，房屋建筑中的挑梁，钢筋混凝土柱插入基础部分，四周用混凝土与基础浇筑在一起，因此柱的下部被嵌固得很牢，不能移动和转动，可视为固定端支座，如图 1-14 所示。

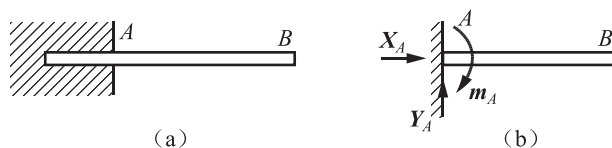


图 1-13 固定端约束

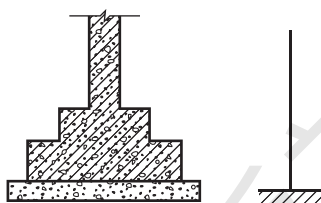


图 1-14 固定端支座

(七) 定向支座约束

定向支座是将构件用两根相邻的等长、平行链杆与地面相连接，如图 1-15 (a) 所示。这种支座允许杆端沿与链杆垂直的方向移动，但限制了沿链杆方向的移动，也限制了转动。定向支座的约束反力是一个沿链杆方向的力 N 和一个力偶 m 。图 1-15 (b) 中反力 N_A 和反力偶 m_A 的指向都是假定的。

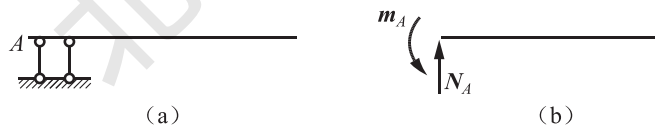


图 1-15 定向支座约束



约束与约束反力

学习任务 3 | 物体的受力和受力图画法

■ 任务目标

1. 通过本任务的学习，能够掌握画受力分析图的步骤和注意事项，能够绘制受力图。
2. 通过本任务的学习，培养学生的实际动手能力、精益求精的工匠精神。

知识链接

一、物体受力分析

(一) 受力分析的概念

在工程中，常常将若干构件通过某种连接方式组成机构或结构，用以传递运动或承受荷载，这些机构或结构统称为物体系统。

在求解静力平衡问题时，一般要先分析物体的受力情况，了解物体受到哪些力的作用，以及哪些力是已知的，哪些力是未知的，这个过程称为对物体进行受力分析。

(二) 脱离体与受力图

在工程实际中，经常会遇到几个物体或几个构件相互联系，构成一个系统的情况。例如，楼板放在梁上，梁支承在墙上，墙又支承在基础上。因此，对物体进行受力分析时，首先要明确对哪一部分物体进行受力分析，即明确研究对象。为了分析研究对象的受力情况，往往需要把研究对象从与它有联系的周围物体中脱离出来，脱离出来的研究对象称为脱离体。

确定脱离体后，再分析脱离体的受力情况，经分析后在脱离体上画出它所受的全部主动力和约束反力，这样的图形称为受力图。

二、物体的受力图画法

正确对物体进行受力分析并画出其受力图，是求解力学问题的关键。因此，我们必须熟练掌握物体受力图的画法。

【特别提示】◆ ...

画受力图的步骤以及注意事项：

(1) 将研究对象从与其有联系的周围物体中分离出来，即取脱离体。对结构上某一构件进行受力分析时，必须单独画出该构件的分离体图，不能在整体结构图上作该构件的受力图。

(2) 根据已知条件，画出作用在研究对象上的全部主动力。

(3) 根据脱离体原来受到的约束类型，画出相应的约束反力。要注意两个物体之间相互作用的约束力应符合作用力与反作用力公理。作受力图时必须按约束的功能画约束反力，不能根据主观臆测来画约束反力。

(4) 受力图上只画脱离体的简图以及其所受的全部外力，不画已被解除的约束反力。作用力与反作用力只能假定其中一个的指向，另一个反方向画出，不能再随意假定指向。

(5) 当以系统为研究对象时，受力图上只画该系统(研究对象)所受的主动力和约束反力，而不画系统内各物体之间的相互作用力(称为内力)。

(6) 正确判断二力杆，二力杆中的两个力的作用线沿力作用点连线，并且等值、反向。同一约束反力在不同受力图上出现时，其指向必须一致。

【例 1-1】重力为 G 的小球用绳索系于光滑的墙面上，如图 1-16 (a) 所示，试画出小球的受力图。

解：取小球为研究对象，并单独画出小球。小球受到重力 G 的作用。与小球有直接联系的物体有绳索和光滑的墙面，这些与小球有直接联系的物体对小球都有约束反力。绳索对小球的约束反力 T 作用于 A 点，沿绳索的中心线，对小球是拉力。光滑的墙面对小球的约束反力 N 作用于它们的接触点 B ，沿着接触面的公法线(公法线与墙面垂直，并过球心)，指向球心。小球的受力图如图 1-16 (b) 所示。

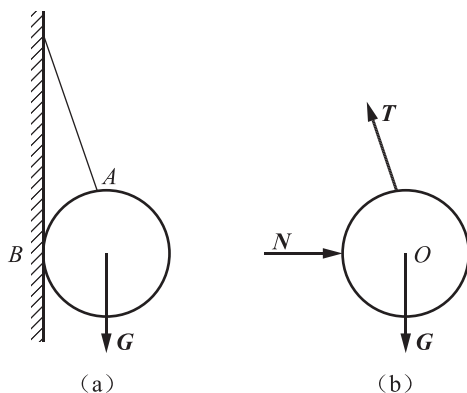


图 1-16 例 1-1 示意图

【例 1-2】如图 1-17 (a) 所示，简支梁 AB ，跨中受到集中力 F 的作用， A 端为固定铰支座约束， B 端为可动铰支座约束。试画出梁的受力图。

解：(1) 取 AB 梁为研究对象，解除 A 、 B 两处的约束，画出其脱离体简图。

(2) 在梁的中点 C 处画主动力 F 。

(3) 在受约束的 A 处和 B 处，根据约束类型画出约束反力。 B 处为可动铰支座约束，其反力通过铰链中心且垂直于支承面，其指向假定如图 1-17 (b) 所示； A 处为固定铰支座约束，其反力可用通过铰链中心并以相互垂直的分力 X_A 、 Y_A 表示。受力图如图 1-17 (b) 所示。

此外，注意到梁只在 A 、 B 、 C 三点受到互不平行的三个力作用而处于平衡，因此，也可以根据三力平衡汇交定理进行受力分析。已知 F 、 R_B 相交于 D 点，则 A 处的约束反力 R_A 也应通过 D 点，从而可确定 R_A 必通过沿 A 、 D 两点的连线，可画出如图 1-17 (c) 所示的受力图。

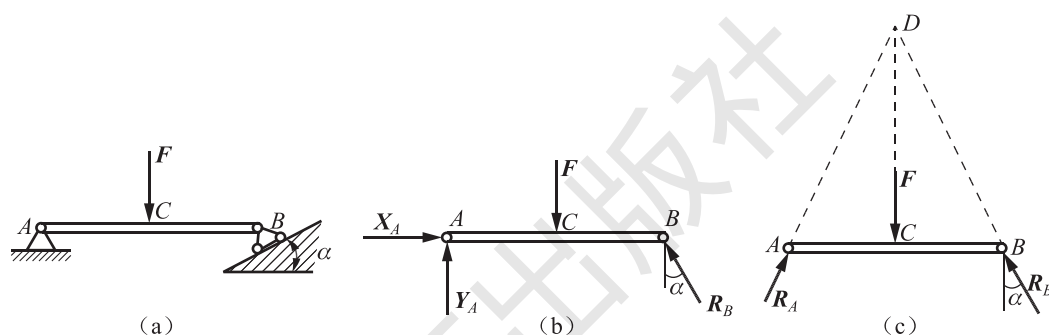


图 1-17 例 1-2 示意图



物体的受力分析及
受力图

学习任务 4 | 刚体、变形固体结构及计算简图

■ 任务目标

1. 通过本任务的学习，能够掌握计算简图选取的基本原则，能够掌握计算简图的简化方法。
2. 通过本任务的学习，培养学生的解决实际绘图问题的能力，共同推进中国式现代化。

知识链接

在工程实际中，大多数结构是小变形的，只有一些特殊的柔性结构才必须考虑其大变形的情况。在建筑力学中是把实际材料看作连续、均匀、各向同性的变形固体。了解刚体和刚体的形变是我们的必备知识。

实际工程结构非常复杂，想完全按照结构的实际情况进行力学分析计算是不可能的，也是没有必要的。因此，在对实际工程结构进行力学分析和计算时，有必要采用简化的图形来代替实际工程结构。

一、刚体与变形固体

刚体是指在力的作用下，其内部任意两点之间的距离始终保持不变的物体。这是一个理想化的力学模型。实际上，刚体在自然界中是不存在的。工程上所用的固体材料，比如钢、铸铁、木材、混凝土等，它们在外力作用下会或多或少地产生变形，有些变形可直接观察到，有些变形可通过仪器测出。在外力作用下会产生变形的固体材料称为变形固体。

变形固体在外力作用下会产生两种不同性质的变形：一种是外力消除时，变形随着消失，这种变形称为弹性变形；另一种是外力消除后，变形不会消失，这种变形称为塑性变形。一般情况下，物体受力后既有弹性变形，又有塑性变形。但工程中常用的材料，当外力不超过一定范围时，塑性变形很小，可忽略不计，认为只有弹性变形。这种只有弹性变形的变形固体称为完全弹性体，只引起弹性变形的外力范围称为弹性范围。

二、变形固体的基本假设

任何学科都是建立在一定的假设基础上的，建筑力学也不例外，它的基本假设有以下三种。

（一）均匀连续假设

变形固体是由很多微粒或晶体组成的，各微粒或晶体之间是有空隙的，而且各微

粒或晶体彼此的性质并不完全相同。但由于这些空隙与构件的尺寸相比是极微小的, 这些空隙的存在和由此引起的性质上的差异, 在研究构件受力和变形时可以忽略不计。由此可以假设变形固体在其整个体积内毫无空隙地充满了物质, 并且物体各部分的材料力学性能完全相同。

(二) 各向同性假设

实际上, 组成固体的各个晶体在不同方向上有着不同的性质。但由于构件所包含的晶体数量极多, 并且排列也完全没有规则, 变形固体的性质是这些晶粒性质的统计平均值。在以构件为对象的研究问题中, 就可以认为是各向同性的。由此可以假设变形固体沿各个方向的力学性能均相同。

(三) 微小变形假设

假设结构以及构件的变形都是微小的, 限于变形与构件原尺寸相比极为微小的范围, 一般称为小变形范围。由于变形很微小, 在考虑变形后结构的平衡时, 可以忽略这些变形值, 按变形前结构以及构件的原始尺寸来进行计算, 并且荷载的作用位置也不改变。这样就使计算大为简化, 又不至于引起显著的误差。

【特别提示】

在工程实际中, 大多数结构是小变形的, 只有一些特殊的柔性结构才必须考虑其大变形的情况。

总的来说, 在建筑力学中是把实际材料看作均匀连续、各向同性的变形固体, 并且限于小变形范围。

三、计算简图的定义

实际工程结构非常复杂, 想完全按照结构的实际情况进行力学分析计算是不可能的, 也是没有必要的。因此, 在对实际工程结构进行力学分析和计算时, 有必要采用简化的图形来代替实际的工程结构, 这种简化了的图形称为结构的计算简图。

结构的计算简图略去了真实结构的许多次要因素, 是真实结构的简化, 便于分析和计算, 而且保留了真实结构的主要特点, 能够给出满足精度要求的分析结果。

四、选取计算简图的基本原则

合理选取结构的计算简图是一项十分重要的工作, 一般情况下, 在选取结构的计算简图时, 应遵循以下原则。

(1) 反映结构的实际情况, 使计算结果精确可靠。结构的计算简图应能正确地反映结构的实际受力情况, 使计算结果尽可能地接近实际情况。

(2) 要忽略对结构的受力情况影响不大的次要因素, 使计算工作尽量简化, 以便分析和计算。

五、计算简图的简化方法

(一) 体系的简化

一般的结构都是空间结构，首先要把这种空间形式的结构，根据其实际的受力情况，简化为平面状态；而对于构件或杆件，由于它们的截面尺寸通常要比其长度小得多，因此，在计算简图中是用其纵向轴线（画成粗实线）来表示的。

(二) 支座的简化

在工程设计中，为便于分析和计算，常将真实支座简化为几种理想支座，如固定铰支座、滚动支座、固定支座等都是理想支座。由于理想支座在工程中几乎是见不到的，因此要分析实际结构支座的约束功能与上述哪种理想支座的约束功能相符合，从而进行简化。

(三) 结点的简化

在一般工程结构中，杆件之间相互连接的部分称为结点。不同的结构连接方法构造形式各不相同，多种多样。因此，在结构的计算简图中，通常把结点只简化成铰结点和刚结点两种极端理想化的基本形式。



【特别提示】

铰结点的特征是其所铰接的各杆均可绕结点自由转动，杆件间夹角的大小可以改变，如图 1-18 (a) 所示为铰结点的实例。

刚结点的特征是其所连接各杆之间不能绕结点有相对的转动，变形前后结点处各杆间夹角都保持不变，如图 1-18 (b) 所示为刚结点的实例。

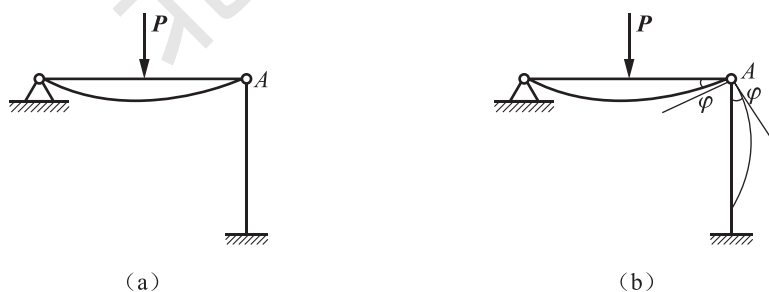


图 1-18 铰结点和刚结点

(四) 荷载的简化

实际结构受到的荷载，一般是作用在构件内各处的体荷载（如自重），以及作用在某一面积上的面荷载（如风压力）。在计算简图中，常把它们简化为作用在构件纵向轴线上的线荷载、集中力和集中力偶。

【例 1-3】如图 1-19 (a) 所示为某工业厂房的连续梁，由梁 AC 和梁 CD 在 C 处铰接而成， A 端为固定铰支座， B 处和 D 处为可动铰支座。在 G 点受集中力 F 、在 BE 段受均布荷载作用，其荷载集度为 q ，梁自重不计。

如何画出该厂房的连接梁 AC 、 CD 和整体 ACD 的受力图？

解：(1) 取梁 CD 为研究对象，解除 C 、 D 两处的约束，画出梁 CD 的简图。画出梁 CD 上的主动力，即 G 点集中力 F 和 CE 段集度为 q 的均布力。画出梁 CD 上的约束力， D 处为可动铰支座，约束力 F_D 过铰 D 并垂直于支承面。 C 点铰链的约束力过铰 C ，可用过铰链中心 C 的两个相互垂直的分力 F_{Cx} 、 F_{Cy} 表示，受力图如图 1-19 (b) 所示。

(2) 取梁 AC 为研究对象，解除 A 、 C 两处的约束，画出梁 AC 的简图。画出梁 AC 上的主动力，即 BC 段上集度为 q 的均布力， C 处铰链受有梁 CD 给它的反作用力 F'_{Cx} 、 F'_{Cy} 。画出梁 AC 上的约束力，即 B 处为可动铰支座，其约束力 F_B 过铰心 B 并垂直于支承面， A 处为固定铰支座，其约束力用过铰链中心 A 的两个相互垂直的分力 F_{Ax} 、 F_{Ay} 表示。梁 AC 受力如图 1-19 (c) 所示。

(3) 取整体 ACD 为研究对象，解除 A 、 B 、 D 处约束，画出结构简图。画出主动力，即集中力 F ，集度为 q 的均布荷载。画出约束力 F_{Ax} 、 F_{Ay} 、 F_B 、 F_D 。此时铰链 C 处的相互作用力为内力，无须画出，梁整体受力如图 1-19 (d) 所示。

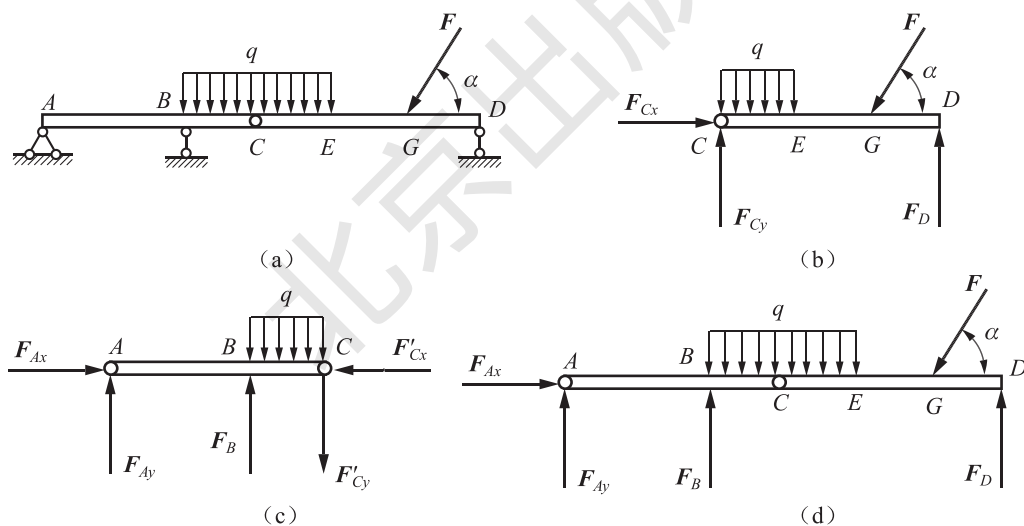


图 1-19 例 1-3 示意图

拓展阅读

荷载

(一) 荷载的概念

荷载通常是指作用在结构上的外力，如结构自重、水压力、土压力、风压力以及人群和货物的重力、起重机轮压等。此外，还有其他因素可以使结构产生内力和变形，如温度变化、地基沉陷、构件制造误差、材料收缩等。从广义上说，这些因素也可看作荷载。

在进行结构设计时，不仅要考虑直接作用在结构上的各种荷载作用，还应考虑引起结构内力、变形等效应的间接作用。

对于特殊的结构，必要时还要进行专门的实验和理论研究，以确定荷载。

(二) 荷载的分类

在工程实际中，作用在结构上的荷载是多种多样的。为了便于力学分析，需要从不同的角度对它们进行分类。

1. 根据荷载的分布范围分

根据荷载的分布范围，可分为集中荷载和分布荷载。

(1) 集中荷载是指分布面积远小于结构尺寸的荷载，如起重机的轮压。由于这种荷载的分布面积较集中，因此，在计算简图上可把这种荷载作用于结构上的某一点处。

(2) 分布荷载是指连续分布在结构上的荷载。当连续分布在结构内部各点上时叫体分布荷载，当连续分布在结构表面上时叫面分布荷载，当沿着某条线连续分布时叫线分布荷载，当为均匀分布时叫均布荷载。

2. 根据荷载的作用性质分

根据荷载的作用性质，可分为静力荷载和动力荷载。

(1) 当荷载从零开始，逐渐缓慢地、连续均匀地增加到最后的确定数值后，其大小、作用位置以及方向都不再随时间而变化，这种荷载称为静力荷载。例如，结构自重，一般的活荷载等。静力荷载的特点是，该荷载作用在结构上时，不会引起结构振动。

(2) 如果荷载的大小、作用位置、方向随时间而急剧变化，则这种荷载称为动力荷载。例如，动力机械产生的荷载、地震力等。这种荷载的特点是，该荷载作用在结构上时，会产生惯性力，从而引起结构显著振动或冲击。

3. 根据荷载作用时间的长短分

根据荷载作用时间的长短，可分为恒荷载和活荷载。

(1) 恒荷载是指作用在结构上的不变荷载,即在结构建成以后,其大小和作用位置都不再发生变化的荷载。例如,构件自重、土压力等。构件自重可根据结构尺寸和材料的重力密度(即每 1 m^3 体积的重量,单位为 N/m^3) 进行计算。

(2) 活荷载是指在施工或建成后使用期间可能作用在结构上的可变荷载,这种荷载有时存在,有时不存在,它们的作用位置和作用范围可能是固定的(如风荷载、雪荷载、会议室的人群荷载等),也可能是移动的(如起重机荷载、桥梁上行驶的汽车荷载等)。不同类型的房屋建筑因其使用的情况不同,活荷载的大小也就不同。在现行《建筑结构荷载规范》(GB 50009—2012)中,各种常用的活荷载都有详细的规定。

确定结构所承受的荷载是结构设计中的重要内容之一,必须认真对待。在荷载规范未包含的某些特殊情况下,设计者需要深入现场,结合实际情况进行调查研究,从而合理确定荷载。

职业技能知识点考核

1. 计算简图的简化方法有()、()、()和()。
2. 力的三要素是()、()和()。
3. 平衡是指物体相对于地球保持()或()的状态。
4. 作用于刚体上的两个力平衡的充分必要条件是这两个力()、()、()。
5. 作用力与反作用力公理:两个物体间相互作用的一对力,总是()、()、(),并分别同时作用于()。
6. 在作用于刚体的任意力系中,加上或去掉(),并不能改变原力系对刚体的作用效应。作用于刚体上某点的力,可沿其()移动到刚体内任意一点,而不改变该力对刚体的作用效应。
7. 一个刚体在共面而不平行的三个力作用下处于平衡状态,则这三个力的作用线必汇交于()。
8. 刚体是指在力的作用下,其内部任意两点之间的距离始终保持不变的物体。这是一个理想化的力学模型。实际上,刚体在自然界中是()。
9. 变形固体在外力作用下会产生两种不同性质的变形,一种是();另一种是()。
10. 变形固体的基本假设有()、()和()。