

第 1 章 绪 论

1.1 建筑力学的研究对象

建筑物是人类生产和生活的必要场合，是为实现某种目的而形成的空间结构，如房屋、桥梁等。在这些建筑物中，所有承受力的部分，如基础、柱、梁、板、墙等，都必须用力学的知识进行科学的设计，才能保证建筑物的安全使用。

土木工程中，将建筑物中承受和传递荷载并起骨架作用的部分称为建筑结构，简称结构。结构的组成部分统称为构件。如图 1.1 所示的单层厂房结构，由基础、柱子、梁、板等构件组成。构件一般分为三类，即杆件、薄壁构件、实体构件。杆件是指一个方向尺寸比其他两个方向的尺寸大得多的构件。薄壁构件是指一个方向的尺寸远小于其他两个方向尺寸的构件。实体构件是指三个方向的尺寸大约为同数量级的构件。对土建类专业而言，建筑力学的主要研究对象是杆件和由杆件组成的杆件结构。

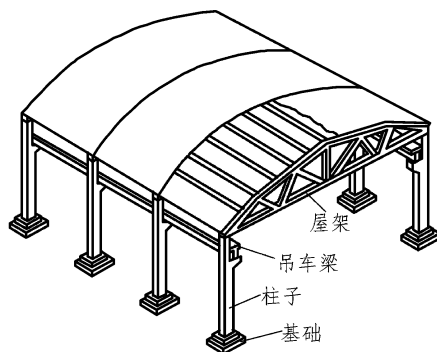


图 1.1 厂房结构

1.2 建筑力学研究的主要内容

结构的主要作用是承受荷载和传递荷载。要使建筑物能够正常使用，要求结构和构件必须满足以下力学方面的要求：

- (1) 构件和结构处于平衡状态，其力系满足平衡条件。
- (2) 构件必须按一定的几何规律组成结构，以确保在荷载作用下其空间几何形状不发生变化。
- (3) 构件必须具有足够的强度，即足够的抵抗破坏的能力。构件如果强度不够，在荷载作用或外界因素发生变化时容易产生破坏。

(4) 构件必须具有足够的刚度，即足够的抵抗变形的能力。如果构件变形过大，会影响结构的正常使用，如吊车梁变形过大，会影响吊车的正常行驶。

(5) 构件必须具有足够的稳定性。所谓的稳定性是指构件保持原有平衡状态的能力。杆件受压力作用时，必须保持原有的平衡状态，否则将失稳而导致结构的破坏。

综上所述，建筑力学研究的主要内容是刚体的平衡规律，结构的几何组成规律，构件的强度、刚度和稳定性计算。而强度、刚度、稳定性的计算又归结为对结构和构件内力和变形的计算。

1.3 建筑力学的计算简图

1.3.1 荷载的分类

建筑力学中将作用在物体上的力分为主动力和约束力。主动力指主动作用在物体上，使物体运动或有运动趋势的力，通常称为荷载，如房屋的重力、冬季屋顶的雪荷载、桥梁承受的车辆荷载等。主动力通常是已知的。

在工程中，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. 按作用时间长短分类

- (1) 恒载：永久作用在结构上的不变荷载，如结构自重、固定在结构上的设备重量等。
- (2) 活载：暂时作用在结构上的可变荷载，如车辆荷载、风荷载等。

2. 按性质分类

(1) 静荷载：无加速度、非常缓慢地施加到结构上的荷载，其大小、位置和方向不随时间变化或变化极为缓慢。缓慢加载，就不会产生冲击；无加速度，则可略去惯性力的影响。

(2) 动荷载：大小、位置和方向都有可能随时间迅速变化的荷载。在动荷载作用下，结构必然产生冲击和显著的加速度，必须考虑冲击力和惯性力的影响。

3. 按分布范围分类

(1) 集中荷载：分布范围很小，可近似认为作用在一点的荷载，包括集中力和集中力偶。当荷载的作用范围远小于结构的尺寸时，可近似看作一个集中力。当构成为力偶的两个力之间的距离远小于结构的尺寸时，可近似看作一个作用在一点上的集中力偶。

(2) 分布荷载：荷载作用在构件的整个或部分范围内，其集度随作用点的位置变化而变化。分布荷载根据作用范围又分为体分布荷载、面分布荷载和线分布荷载。

- ① 体分布荷载：沿物体各点分布的荷载，如物体的自重、惯性力等，其单位为 N/m^3 。
- ② 面分布荷载：沿接触面分布的荷载，如房屋受到的风荷载和雪荷载、水坝的水压力等，

其单位为 N/m^2 。

③ 线分布荷载：沿直线或曲线分布的荷载，其单位为 N/m 。作用在杆件上的荷载通常简化为沿杆长分布的线分布荷载。

工程中荷载的分布情况往往比较复杂，在很多情况下，都可简化为沿直线和平面均匀分布的荷载进行分析计算。例如，等截面梁的自重可简化为沿梁轴线的均布荷载，变截面梁的自重可简化为沿轴线的梯形分布荷载，如图 1.2 所示。

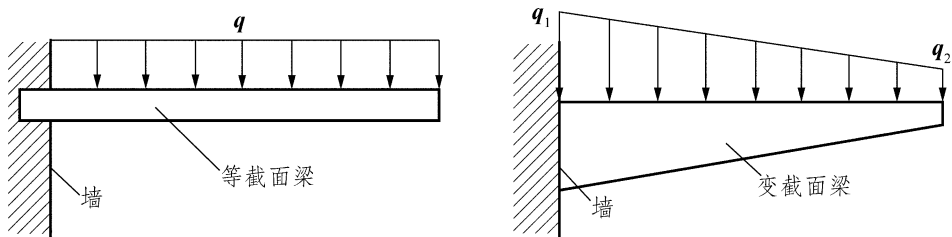


图 1.2 分布荷载

1.3.2 约束与约束力

对物体的运动起限制或阻碍作用的其他物体称为约束体，简称为约束。约束与被约束是相对的，取决于所研究的主要对象。例如，地基是柱子的约束，柱子则是梁的约束。约束作用于被约束物体上的力称为约束反力，简称约束力。约束力是被动力，其产生和存在取决于主动力的存在和作用方式，大小由平衡条件和平衡方程来确定。例如，桥墩对桥梁的支承力是约束力，其大小和方向取决于桥梁上承受的荷载。

工程中常见的约束有以下几种：

1. 柔性绳索约束

绳子、皮带、链条等柔索本身只能承受拉力，所以它们对物体的约束力也只可能是拉力。如图 1.3 (a) 中绳索的约束反力 F_T 和图 1.3 (b) 中的 F_{T1} 、 F_{T2} 均为球和杆受到的绳索拉力作用。

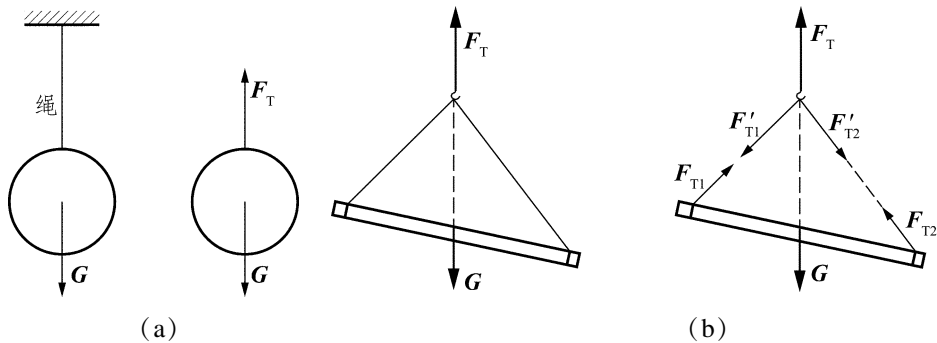


图 1.3 柔绳约束

2. 光滑接触面约束

当两物体接触面上的摩擦力与其他作用力相比很小时，可以忽略摩擦力，这样的接触面称为光滑面。因为光滑面只能限制物体沿着接触面公法线方向的运动，所以光滑面的约束反力通过接触点沿着接触面公法线方向，指向被约束物体，如图 1.4 中钢轨对车轮的约束反力。

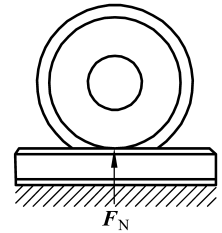


图 1.4 光滑面约束

3. 光滑圆柱铰链约束

光滑圆柱铰链又称为柱铰，或者简称为铰链。铰链连接就是将两物体分别钻上直径相同的圆孔并用销钉或铆钉、螺栓连接起来，这样两个物体只能绕着销钉的轴线自由转动，如图 1.5 (a) 所示。但不能相对移动。由于是光滑圆柱铰，不计接触面摩擦力，约束反力应通过接触点的公法线且指向被约束物体。由于接触点的位置往往不能预先确定，所以约束反力 F_R 的方向也不能预先确定，通常用通过铰链中心垂直于其轴线的两个分力 F_x 和 F_y 来表示，如图 1.5 (b)、(c) 所示。铰链连接简图如图 1.5 (d) 所示。

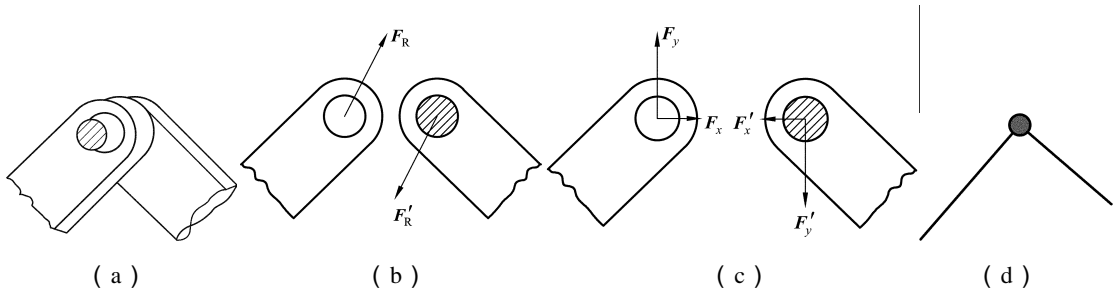


图 1.5 光滑圆柱铰链约束

4. 固定铰支座约束

它是由固定基座、销钉和杆件构成的。销钉只能限制构件在垂直于销钉轴线平面内的移动，但不能限制构件绕销钉轴线的转动。其约束反力特点与光滑圆柱铰链约束一样，也可以用通过铰链中心垂直于铰链轴线的两个分力 F_x 和 F_y 来表示，如图 1.6 所示。固定铰支座常用图 1.6 (f)、(g)、(h) 所示的几种简图表示。



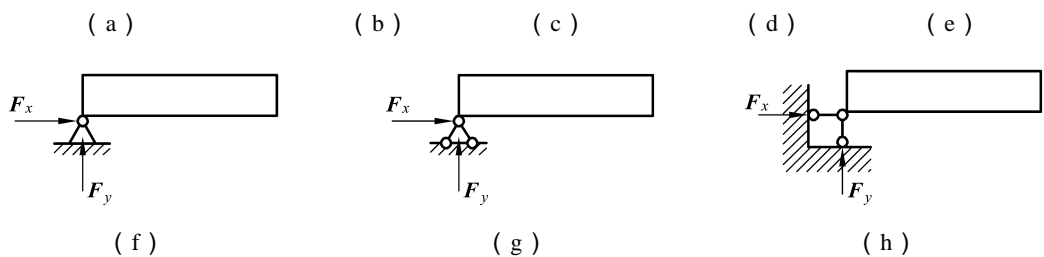


图 1.6 固定铰支座约束

5. 可动铰支座约束

可动铰支座是在支座下面装上辊轴，则支座可以在支承面上移动，如图 1.7 (a) 所示。相对于固定铰链支座的双向约束，可动铰支座只限制垂直于支承面方向的运动，所以其约束力沿滚轴与支承面接触的公法线方向。可动铰支座常用如图 1.7 (b)、(c) 所示的简图表示。

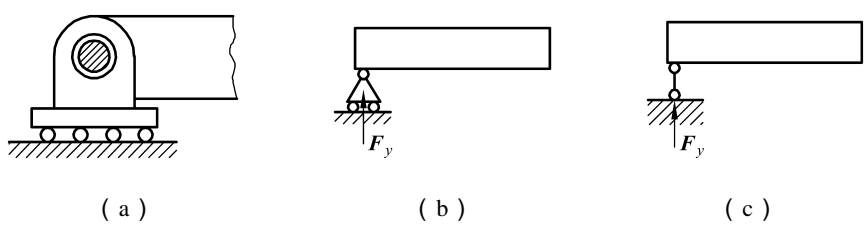


图 1.7 可动铰支座约束

6. 固定支座约束

固定支座约束也称为固定端约束，其特点是不允许约束与被约束物体之间有任何形式的相对运动，被约束物体既不能移动也不能转动。因此，固定端约束除产生水平方向的约束力 F_x 和竖直方向的约束反力 F_y 外，还有约束反力偶 M 。如图 1.8 (a)、(b) 所示，混凝土梁的端部嵌入墙体足够的深度或与混凝土柱体整体浇注而成时，梁和柱之间不能发生任何相对运动，这种约束方式即为固定端约束。固定端约束及其约束力如图 1.8 (c) 所示。

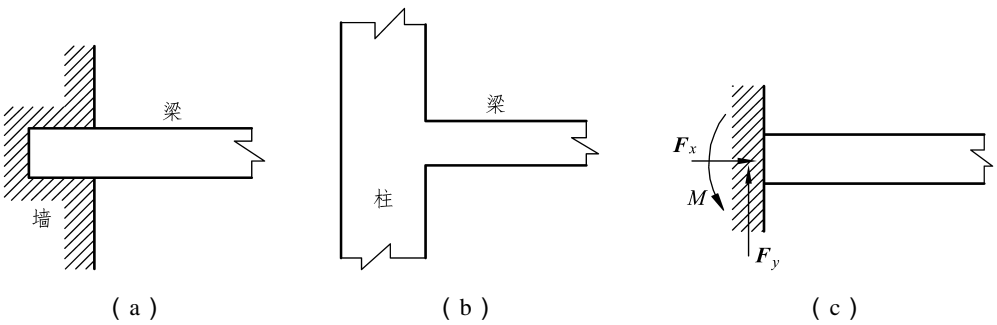


图 1.8 固定支座约束

7. 定向支座约束

在固定支座约束中，若某一个方向的移动不受限制，则这种支座称为定向支座，如图 1.9 所示。这种支座只允许结构沿辊轴滚动方向移动，而不能发生竖向移动和转动。所以定向支座在平面上的约束力只有两个：垂直于滚动方向的反力 F_{Ay} 和反力偶 M_A 。

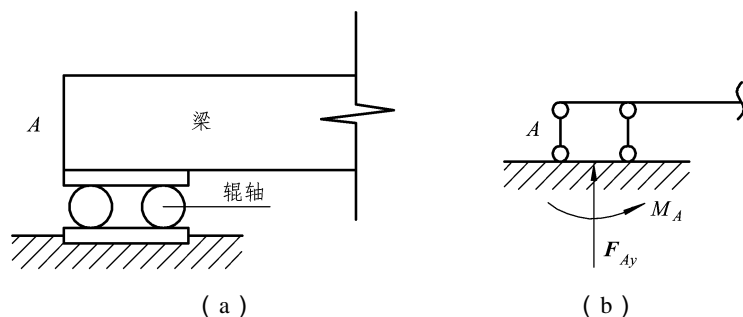


图 1.9 固定支座约束

8. 链杆约束

两端用光滑铰链与其他构件连接且不考虑自重的刚性杆称为链杆，如图 1.10 (a) 中的 AC 杆。链杆只在两端受力，故称为二力杆。两端承受的力可以是拉力，也可以是压力，取决于与它相连接的构件上的荷载。链杆两端的力 F_A 与 F_C 大小相等、方向相反、作用线共线，如图 1.10 (b) 所示，因而链杆对构件产生的约束力必沿铰链中心的连线，如图 1.10 (c) 所示。

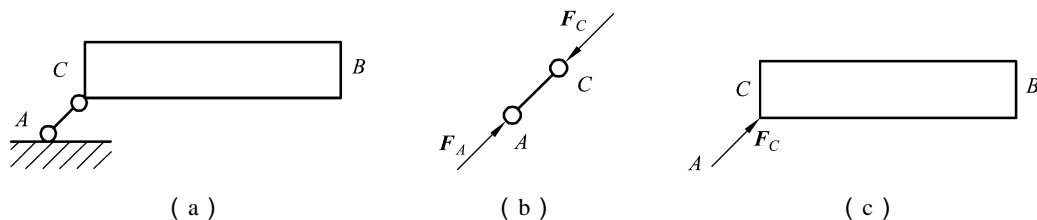


图 1.10 链杆约束

如图 1.6 (g)、(h) 所示，可用两根不平行的链杆表示或代替固定铰支座；可用一根链杆表示或代替可动铰链支座，如图 1.7 (c) 所示。

1.3.3 结构的计算简图

用一简化的理想模型代替实际结构，这一简化的理想模型称为结构的计算简图。简化后的结构应能反映原结构的主要受力和变形特点。实际结构主要从三个方面进行简化：结构的简化、支座（约束）的简化及荷载的简化。

1. 结构的简化

(1) 杆件的简化。杆件用其轴线来表示，因而直杆用直线表示，曲杆用曲线表示。

(2) 杆件间连接的简化。结构中杆件与杆件之间的相互连接处称为结点，结点通常简化为铰结点和刚结点这两种理想情形。

① 铰结点。铰结点的特点是被连接的杆件在结点处不能相对移动，但各杆可以绕结点中心自由转动。在铰结点处可以承受和传递力，但不能承受和传递力矩。如图 1.11 (a) 所示为木屋架的结点构造图，可认为各杆之间有微小的转动，各杆之间的连接可简化为铰结点，如图 1.11 (b) 所示。

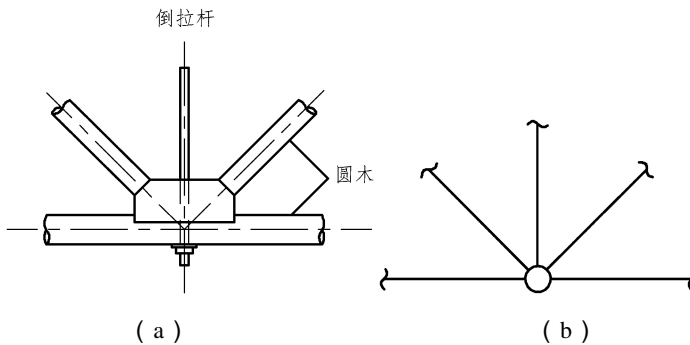


图 1.11 铰结点

② 刚结点。刚结点的特点是被连接的杆件在结点处不能相对移动，也不能相对转动。刚结点不但能承受和传递力，而且还能承受和传递力矩。图 1.12 所示是一钢筋混凝土框架边柱和梁的结点，由于梁和柱之间的钢筋布置以及混凝土将它们浇筑成整体，使梁和柱不能产生相对移动和转动，计算时简化为一刚结点，其计算简图如图 1.12 (b) 所示。

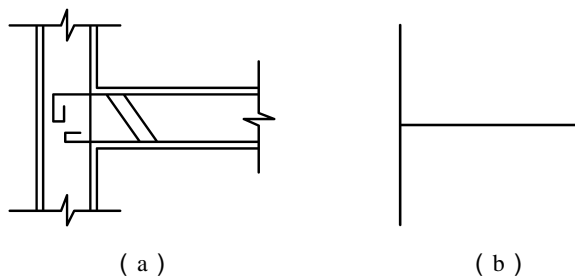


图 1.12 刚结点

2. 支座的简化

结构与基础的连接装置称为支座。支座的作用是把结构固定于基础上，同时，结构所受的荷载通过支座传到基础和地基。支座对结构的反作用力称为支座反力。平面结构的支座一般简化固定铰支座、可动铰支座和固定支座。

3. 荷载的简化

构件上的荷载一般简化为均布荷载、集中荷载和力偶等。

例如，图 1.13 (a) 所示吊车梁在起吊设备时，其计算简图如图 1.13 (b) 所示。梁的自重简化为均布荷载，设备重力简化为集中荷载。两边的支座分别简化为固定铰支座和可动铰支座。

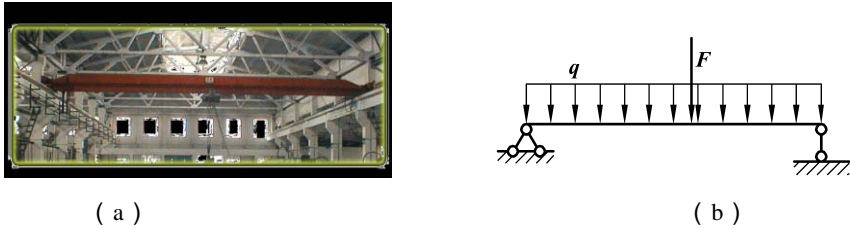


图 1.13 吊车横梁的计算简图

1.4 平面杆件结构的分类

杆件结构是应用最广的一种结构。常见的房屋结构很多就属于杆件结构。按照空间特征，杆件结构又分为平面杆件结构和空间杆件结构两类。平面杆件结构是指所有杆件的轴线都位于同一平面内，且荷载也作用在该平面内的结构。杆件轴线位于不同平面内的结构为空间杆件结构。实际上，很多结构都属于空间结构，但在计算时根据其受力特点可简化为平面结构来进行分析。

平面杆件结构按照受力特点主要分为以下几种基本类型。

1. 梁

将以弯曲变形为主的杆件称为梁。梁的轴线通常为直线，梁分为单跨梁和多跨梁，如图 1.14 所示。

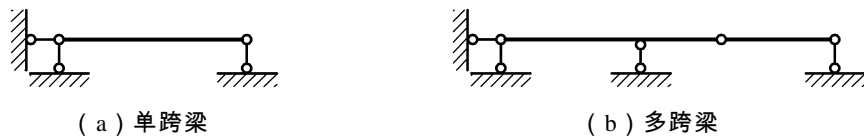


图 1.14 梁

2. 平面刚架

平面刚架是由若干根直杆部分或全部用刚结点连接所构成的平面结构，如图 1.15 所示。

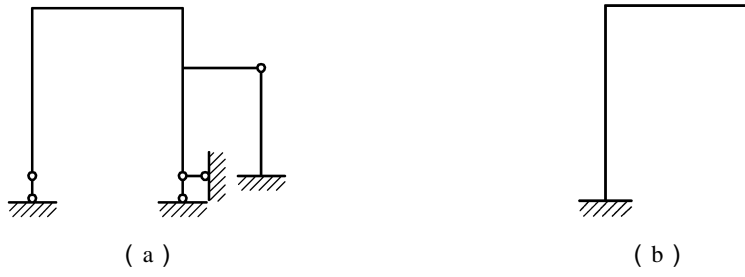


图 1.15 刚架

3. 桁架

桁架指各杆两端都是用铰结点连接的结构，杆中只受轴力作用，如图 1.16 所示。

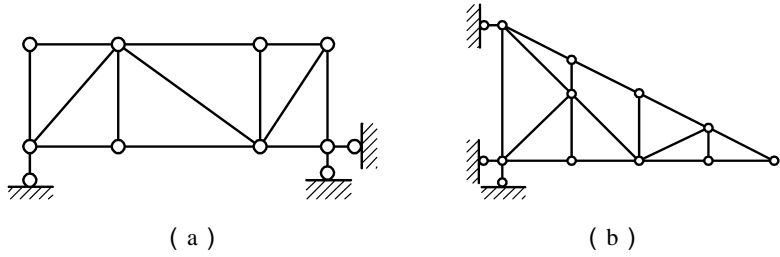


图 1.16 桁架

4. 组合结构

在有些结构中，一部分杆件是桁架杆件，只承受轴力作用；另一部分杆件是受弯杆件，除了轴力外，还有弯矩和剪力。这种在同一结构中由两类杆件组成的结构，称为组合结构，如图 1.17 所示。

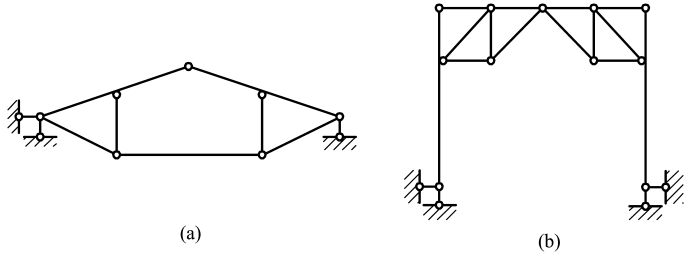


图 1.17 组合结构

5. 拱

拱的轴线为曲线，其特点是在竖向力作用下，能产生水平支座反力，从而减小横截面上的弯矩。图 1.18 所示为无铰拱和三铰拱。

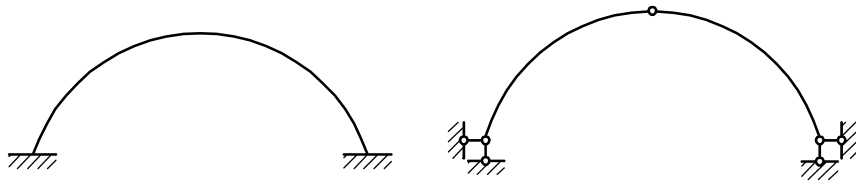


图 1.18 不同类型的拱结构

1.5 刚体、变形固体及基本假设

在研究结构和构件的平衡问题时，将研究对象视为刚体。所谓刚体，就是指在任何力的作用下都不产生变形的物体。刚体是理想化的物体，事实上，任何物体在力的作用下都将产生或大或小的变形，但在很多情况下，物体的变形对研究平衡问题影响很小，可以不予考虑。这样可以大大简化对力系平衡条件问题的研究。

在研究构件的强度、刚度、稳定性问题时，不能将其视为刚体，而应视为变形体。所谓变形体，是指在任何力的作用下，物体的形状和大小都会改变的固体。在理论分析时，为了简化问题，对构件材料性质和变形作如下假设。

(1) 连续性假设。连续性是指材料内部无空隙。

(2) 均匀性假设。均匀性是指材料的力学性质各点都相同。

(3) 各向同性假设。认为材料沿不同的方向具有相同的力学性能。

(4) 线弹性假设。构件在外力作用下将发生变形，外力撤除后能够恢复的变形称为弹性变形，不能恢复的变形称为塑性变形或残余变形。线弹性假设认为，构件卸载后立即完全恢复其原有形状和尺寸，无残余变形，且力与变形成正比关系。

(5) 小变形假设。工程中大多数的构件，在荷载作用下产生的变形与构件本身尺寸相比很小，称为“小变形”构件。在小变形条件下，在弹性变形范围内作静力平衡分析时，不考虑变形对构件尺寸的影响，按构件原始尺寸进行计算。

满足前面 4 条假设的物体称为理想弹性体。在进行强度、刚度、稳定性计算时，将构件材料都视为理想弹性体。

1.6 杆件的基本变形形式

在荷载作用下，杆件的变形形式往往很复杂，但复杂的变形都可以分解为几种基本变形。杆件基本变形形式有以下 4 种。

(1) 轴向拉伸与压缩变形。如图 1.19 (a)、(b) 所示，在一对大小相等、方向相反、作用线与杆件轴线相重合的轴向外力作用下，杆件在长度方向发生伸长变形的称为轴向拉伸，

长度方向发生缩短变形的称为轴向压缩。

(2) 剪切变形。在一对大小相等、方向相反、作用线相距很近的横向力作用下，杆件的主要变形是横截面沿外力作用方向发生错动，这种变形称为剪切(图 1.19 (c))。

(3) 扭转变形。在一对大小相等、转向相反、作用平面与杆件轴线垂直的外力偶矩作用下，直杆的相邻横截面将绕着轴线发生相对转动，而杆件轴线仍保持直线，这种变形称为扭转(图 1.19 (d))。

(4) 弯曲变形。在垂直于杆件轴线方向的横向力作用下，或在一对大小相等、转向相反、位于杆的纵向平面内的力偶作用下，杆件的轴线由直线变为曲线，这种变形称为弯曲(图 1.19 (e))。

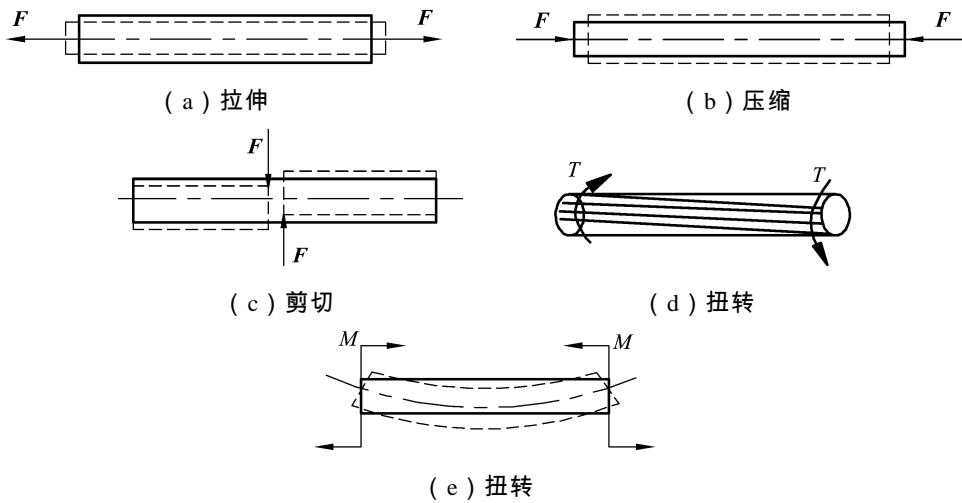


图 1.19 杆件的 4 种基本变形