

“十二五”职业教育国家规划教材
经全国职业教育教材审定委员会审定

建筑力学

主 编 叶 腾



扫描二维码
共享立体资源

北京出版集团公司
北京出版社

10S 建筑力学基础 王元卓

20S 建筑力学 王元卓

30S 建筑力学 王元卓

40S 建筑力学 王元卓

50S 建筑力学 王元卓

建筑力学
CONTENTS

目录

单元一 | 建筑力学概论

单元一 建筑力学概论 1

单元二 刚体静力学基础 6

学习任务1 静力学基础知识 7

学习任务2 平面力系 20

单元三 杆件的强度、刚度和稳定计算 42

学习任务1 内力和内力图 43

学习任务2 应力和变形 63

学习任务3 强度计算和刚度计算 97

学习任务4 轴心压杆的稳定计算 112

单元四 静定结构内力分析与位移计算 130

学习任务1 平面体系的几何组成分析 131

学习任务2 静定结构内力分析 146

学习任务3 静定结构的位移计算 179

学习任务 1 | 平面体系的几何组成分析

一、几何组成分析的几个重要概念

1. 几何组成分析的目的

杆件结构是由若干杆件互相连接所组成的体系，并与基础连接成整体，用来承受荷载的作用。杆件体系并不是都能作为结构使用，如图 4-1-1 所示，铰接四边形受力后发生倾斜，我们把体系尽管受到很小的荷载作用，其形状和位置将发生改变的体系称为几何可变体系。几何可变体系不能作为工程结构使用。再如图 4-1-2 所示，铰接三角形在任意荷载 F 作用下，几何形状和位置都不会改变。为此我们把体系受任意荷载作用后，其几何形状和位置都不改变的体系称为几何不变体系。几何不变体系可以作为工程结构使用。需要注意的是，在几何组成分析中，不考虑由于材料的应变所产生的变形。

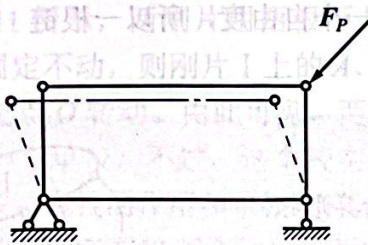


图 4-1-1

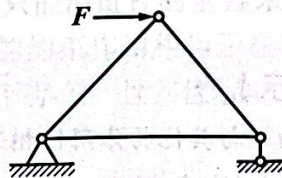


图 4-1-2

分析体系是属于几何不变体系还是几何可变体系的过程，称为体系的几何组成分析。对体系进行几何组成分析的目的在于：判别某一体系是否几何不变，从而确定此体系能否作为结构；研究几何不变体系的组成规则，以保证所设计的结构为几何不变，从而能承受荷载并维持平衡；根据体系的几何组成，确定结构是静定还是超静定，从而选择结构的内力计算方法。

2. 几个重要概念

(1) 刚片

在几何组成分析中，由于不考虑材料的应变而引起的变形，因此可把体系中的每一杆件或几何不变的某一部分看作一个刚体。在平面杆件体系中把刚体称为刚片。如一根杆件、铰接三角形、体系中已被肯定为几何不变的某一部分，也常看成一个刚片。

(2) 自由度

所谓平面体系的自由度是指确定体系的几何位置所需的独立坐标的数目。

如图 4-1-3 所示，在平面内，点 A 的位置需要由两个坐标 x 和 y 来确定，所以，平面内一个点的自由度是 2。至于一个刚片的位置将由它上面的任一点 A 的坐标 x 、 y 和过 A 点的任一直线 AB 的倾角 φ 来确定，如图 4-1-4 所示。所以一个刚片在平面内的自由度是 3。

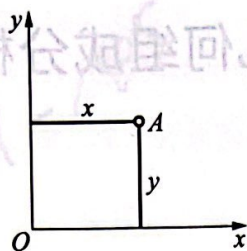


图 4-1-3

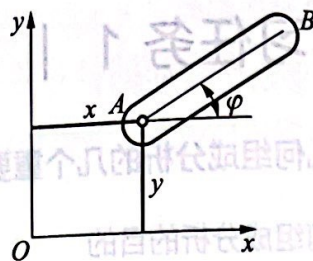


图 4-1-4

(3) 约束

当刚片与刚片之间加上某种连接装置后, 会限制体系的运动, 从而减少体系的自由度。我们把凡是能够减少体系自由度的装置称为必要约束, 通常也称为约束。能减少一个自由度, 就说它相当于一个约束。常见的约束有以下几种。

① 链杆。

如图 4-1-5 所示, 用一刚性杆将一刚片与基础铰接, 此时我们把两端用铰与其他物体相连接的刚性杆称为链杆。显然, 刚片将不能沿链杆方向移动, 可见一根链杆可使体系减少一个自由度, 所以一根链杆相当于一个约束。

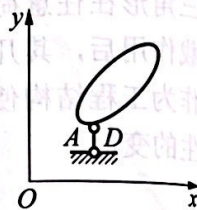
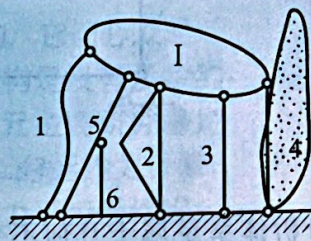


图 4-1-5

【特别提示】

仅在两端与其他物体用铰相连, 不论其形状和铰的位置如何, 如图 4-1-6 所示。



1、2、3、4 是链杆, 5、6 不是链杆

图 4-1-6

② 单铰。

如图 4-1-7 所示, 用一个铰将刚片 I、II 在 A 点相连接, 原来刚片 I、II 各有 3 个自由度, 共 6 个自由度。用铰连接后, 设刚片 I 的位置用坐标 x 、 y 和倾角 φ_1 确定; 对于刚片 II, 因为它与刚片 I 通过铰 A 连接, 所以只能绕 A 点转动, 即只需确定一个转角 φ_2 便可确定刚片 II 的位置, 因此独立坐标的数目为 4, 即自由度减少为 4, 因而减少了两个自由度。我们把连接两个刚片的铰称为单铰。可见一个单铰相当于两个约束。

③ 复铰。

如图 4-1-8 所示的铰连接三个刚片, 按上述的分析方法可知, 当刚片 I 确定后, 刚片 II、III 都只能绕 A 点转动, 即三个刚片连接后的自由度由原来的 9 个减少为 5 个, 我们把连接三个或三个以上刚片的铰称为复铰。复铰的作用可以通过单铰来分析, 连接三个刚片的复铰相当于两个单铰的作用。同理, 连接 n 个刚片的复铰相当于 $(n-1)$ 个单铰。

④ 刚性连接。

当两刚片间用刚节点相互连接时, 称之为刚性连接。如图 4-1-9 所示, 刚片 I、

II 在 A 处刚性连接, 原来两个刚片在平面内具有 6 个自由度, 现刚性连接成整体后, 二者成为一个整体, 自由度为 3, 减少了 3 个自由度, 所以, 一个刚性连接相当于三个约束。

刚性连接除刚节点外, 还有固定支座, 如图 4-1-10 所示, 固定端阻止了刚片的移动和转动, 使刚片的自由度减少为 0, 故一个固定支座相当于 3 个约束。刚性连接是工程中常见的节点类型。

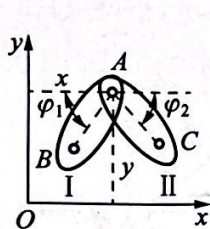


图 4-1-7

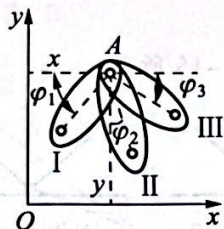


图 4-1-8

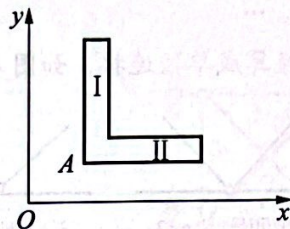


图 4-1-9

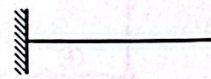


图 4-1-10

⑤虚铰。

如图 4-1-11 所示, 两刚片用两根不共线的链杆连接, 两链杆的延长线相交于 O 点。设刚片 II 固定不动, 则刚片 I 上的 A、B 两点只能沿链杆的垂直方向运动, 即绕两根链杆轴线的交点 O 转动。由此可见, 两根链杆的约束作用相当于在链杆轴线的延长线的交点处加一个单铰, 不过, 这个铰实际上并不存在, 且其位置随链杆的转动而变化, 故称为虚铰。虚铰的作用和单铰一样, 相当于两个约束。

需要注意的是, 当连接两个刚片的两根链杆平行时, 如图 4-1-12 所示, 则认为虚铰位置在沿链杆方向的无穷远处。

(4) 多余约束

前面已经讲过, 凡是能够减少体系自由度的装置称为约束, 如果在一个体系中增加一个约束, 而体系实际的自由度并不因此而减少, 则称此约束为多余约束。

例如平面内一点 A 原来有两个自由度, 如图 4-1-13 所示, 如果用两根不共线的链杆 1 和 2 把 A 点与基础相连, 则 A 点即被固定, 自由度为 0, 因此减少了两个自由度。

如果用三根不共线的链杆 1、2、3 把 A 点与基础相连, 如图 4-1-14 所示, 自由度仍为 0, 实际上仍只是减少了两个自由度, 故在三根链杆中有一根是多余约束 (此时可把三根链杆中的任何一根视为多余约束), 多余约束对体系实际的自由度无影响。

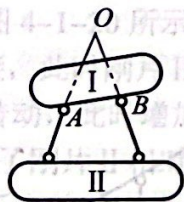


图 4-1-11

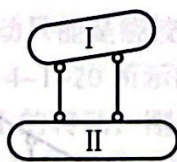


图 4-1-12

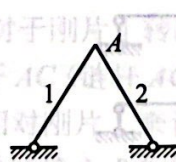


图 4-1-13

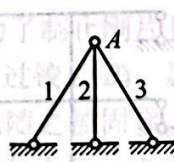


图 4-1-14

二、体系的计算自由度

一个平面体系通常都是由若干部件 (刚片或节点) 加入一些约束组成。按照各部件都是自由的情况, 算出各部件自由度总数, 再算出所加入的约束总数, 将两者的差值

定义为体系的计算自由度 W , 即

$$W = \text{各部件自由度总数} - \text{全部约束总数}$$

(1) 如刚片数为 m , 单铰数为 n , 支承链杆数为 r , 则

$$W = 3m - (2n + r) \quad (4-1-1)$$

【特别提示】

1. 复铰连接要换算成单铰连接, 如图 4-1-15 所示。

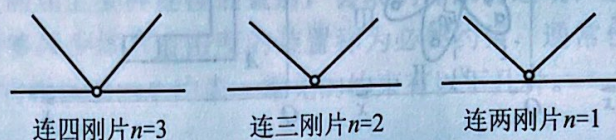


图 4-1-15

2. 刚接在一起的各刚片作为一大刚片。如带有 a 个无铰封闭框, 约束数应加 $3a$ 个。

注: 一个封闭正方形结构就是无铰封闭框, 一个无铰封闭框有三个多余约束。

3. 铰支座、定向支座相当于两个支承链杆, 固定端相当于三个支承链杆。

[例 4-1-1] 试求如图 4-1-16 所示体系的计算自由度。

解: $m=1, a=1, n=0$
 $r=4+3 \times 2=10$

则 $W=3m-(2n+r)-3 \times a$
 $=3 \times 1 - 10 - 3 \times 1$
 $=-10$

[例 4-1-2] 试求如图 4-1-17 所示体系的计算自由度。

解: $m=7, n=9, r=3$
 $W=3 \times m - 2 \times n - r$
 $=3 \times 7 - 2 \times 9 - 3$
 $=0$

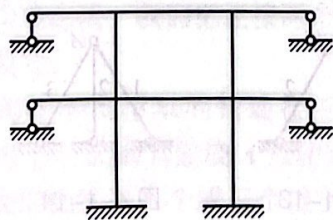


图 4-1-16

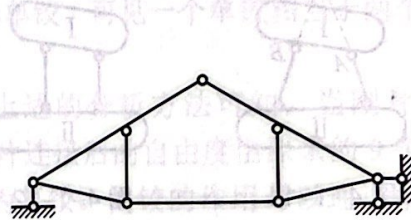


图 4-1-17

(2) 对于铰接链杆体系也可将节点视为部件, 链杆视为约束, 则

$$W = 2j - b - r \quad (4-1-2)$$

式中, j 为节点数; b 为链杆数; r 为支承链杆数。

[例 4-1-3] 试求如图 4-1-18 所示体系的计算自由度。

解: $j=6$, $b=9$, $r=3$

所以 $W=2 \times 6 - 9 - 3 = 0$

[例 4-1-4] 试求如图 4-1-19 所示体系的计算自由度。

解: $j=6$, $b=9$, $r=3$

所以 $W=2 \times 6 - 9 - 3 = 0$

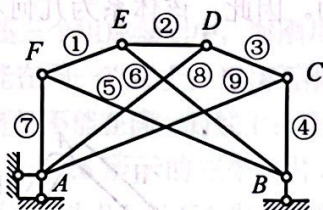


图 4-1-18

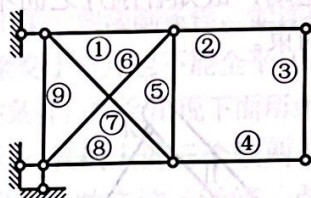


图 4-1-19

【特别提示】

W 并不一定代表体系的实际自由度, 仅说明了体系必需的约束数够不够。即:

① $W > 0$, 体系缺少足够的约束, 一定是几何可变体系。

② $W = 0$, 实际约束数等于体系必需的约束数。

③ $W < 0$, 体系有多余约束。

由此可见: $W \leq 0$ 只是保证体系为几何不变的必要条件, 而不是充分条件。

三、几何不变体系的组成规则及举例

1. 几何不变体系的组成规则

(1) 三个基本组成规则

① 两刚片规则。

两个刚片用一个铰和一根不通过该铰心的链杆相连, 所组成的体系是没有多余约束的几何不变体系。

如图 4-1-20 所示, 我们假定刚片 I 固定, 则铰 B 被固定, 刚片 II 和刚片 I 通过铰 B 相连接, 此时刚片 II 的运动只能是绕铰 B 相对于刚片 I 转动, 为了制止刚片 II 相对刚片 I 的转动, 此时增加如图 4-1-20 所示的链杆 AC (链杆 AC 不通过铰心 B), 显然链杆 AC 阻止了刚片 II 相对刚片 I 的转动, 刚片 II 相对刚片 I 来说, 也随之被固定, 即体系是几何不变的, 刚片 I、II 之间用铰 B 和不通过铰心 B 的链杆 AC 连接, 去掉其中任何一个, 刚片 I、II 都会发生相对运动。因此, 此体系为无多余约束的几何不变体系。

前面已经讲过, 两根链杆连接两刚片的约束作用相当于一个单铰的约束作用。所以若将图 4-1-20 所示体系中的铰 B 用两根链杆来代替, 如图 4-1-21 所示, 两刚片规则可叙述为: 两个刚片用三根不完全平行也不完全交于一点的链杆相连, 则所组成的体系是没有多余约束的几何不变体系。

②三刚片规则。

三个刚片用不在同一直线上的三个铰两两相连, 所组成的体系是没有多余约束的几何不变体系。

如图 4-1-22 所示, 刚片 I、II、III 用不在同一直线上的 A、B、C 三个单铰两两相连。假定刚片 I 固定, 由于铰 B 的作用, 刚片 II 只能绕点 B 转动, 其上点 A 必在半径为 BA 的圆弧上运动; 同理, 刚片 III 只能绕点 C 转动, 其上点 A 又必在半径为 CA 的圆弧上运动。而实际上点 A 用铰将刚片 II、III 连接, 点 A 不可能同时沿两个方向不同的圆弧上运动, 故知各刚片之间不可能发生相对运动。因此, 该体系为几何不变体系, 且无多余约束。

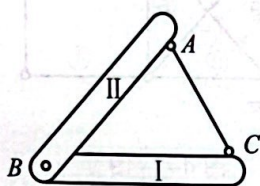


图 4-1-20

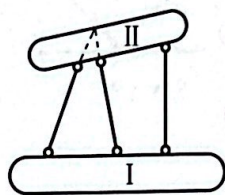


图 4-1-21

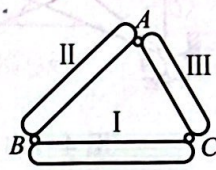
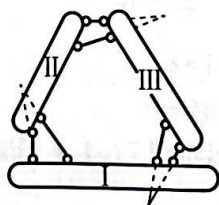


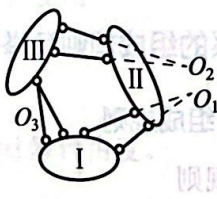
图 4-1-22

当然, 我们也可以由两刚片规则推导出三刚片规则, 在图 4-1-22 中, 把刚片 I、II、III 中的任何一个刚片看成一根链杆时, 由两刚片规则可知, 该体系几何不变, 且无多余约束。

如果两两相连的铰是由两根链杆构成的实铰或虚铰时, 只要这些实铰或虚铰不在同一条直线上, 由此所组成的体系也是无多余约束的几何不变体系, 如图 4-1-23 所示。



(a)



(b)

图 4-1-23

③二元体规则。

在体系中增加一个或拆除一个二元体, 不改变体系的几何不变性或可变性。

所谓二元体是指由两根不在同一直线上的链杆连接一个新节点的装置, 如图 4-1-24 所示的 BAC 部分。这种新增加的二元体不会改变原体系的自由度, 因为在平面内新增加一个点就会增加两个自由度, 而新增加的两根不共线的链杆, 恰能减去新节点 A 的两个自由度, 故对原体系来说, 自由度的数目没有变化。由此可见, 在一个已知体系上依次加入二元体, 不会影响原体系的几何不变性或可变性。同理, 在一个已知体系上依次拆除二元体, 也不会影响体系的几何不变性或可变性。

利用上述规则, 可以得到更为一般的几何不变体系。如图 4-1-25 所示体系, 则是从一个基本的铰接三角形开始, 依次增加二元体所组成的没有多余约束的几何不变体系。

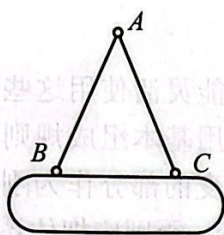


图 4-1-24

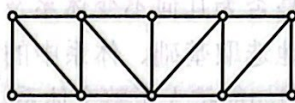


图 4-1-25

(2) 瞬变体系

在上述三个组成规则中，对刚片间的连接方式都提出了一些限制条件，如连接三刚片的三个铰不能在同一直线上；连接两刚片的三根链杆不能全交于一点也不能全平行，组成二元体的两根链杆不能在同一直线上；等等。如果不满足这些条件，将会出现下面所述的情况。

如图 4-1-26 所示的三个刚片，它们之间用位于同一直线上的三个铰两两相连，此时，点 A 位于以 BA 和 CA 为半径的两个圆弧的公切线上，故在这一瞬间，点 C 可沿此公切线做微小运动。但在发生一微小移动后，三个铰就不再位于同一直线上，此时体系又成为几何不变的。

又如如图 4-1-27 所示的两个刚片用全交于一点 O 的三根链杆相连，此时，两个刚片可以绕点 O 做相对转动。但在发生一微小转动后，三根链杆就不再全交于一点，体系成为几何不变的。

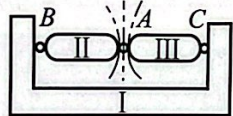


图 4-1-26

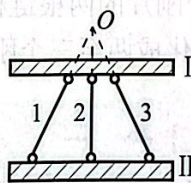


图 4-1-27

再如图 4-1-28 所示的两个刚片用三根互相平行但不等长的链杆相连，此时，两个刚片可以沿与链杆垂直的方向发生相对移动。但在发生一微小移动后，由于三杆不等长，所以三根链杆不再互相平行，体系成为几何不变的。

【课堂讨论】在图 4-1-28 中，如果两刚片用三根互相平行且等长的链杆相连，结果会是怎么样的呢？

由分析可见，上述三个例子中的体系具有足够数量的约束，但是约束布置不合理，在发生微小位移后即成为几何不变体系，我们把这样的体系称为瞬变体系。它是几何可变体系的一种特殊情况。瞬变体系不能作为结构使用，这是由于瞬变体系即使在很小的荷载作用下，也会产生很大的内力而导致结构破坏。如图 4-1-29 所示，体系在荷载 F 作用下，铰发生一微小位移到达 A 位置，当 $\varphi \rightarrow 0$ 时，无论 F 多小，杆件的内力将很大，从而导致体系破坏。

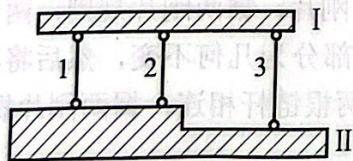


图 4-1-28

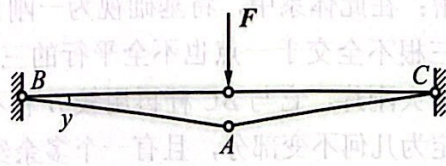


图 4-1-29

2. 几何不变体系的组成分析举例

进行几何组成分析的依据是三个基本组成规则。只要能灵活使用这些规则，就可以判定体系是否为几何不变体系及有无多余约束等。而应用基本组成规则进行分析的关键是恰当地选取基础、体系中的杆件或可判别为几何不变的部分作为刚片，应用规则扩大其范围如能扩大至整个体系，则整个体系为几何不变；否则应把体系简化成两至三个刚片，再应用规则进行分析。体系中如有二元体，则先将其逐一拆除，以使分析简化。若体系与基础是按两刚片规则连接时，则可先撤去这些支座链杆，只分析体系内部杆件的几何组成性质。

分析过程大致归纳如下：

(1) 恰当地选择刚片。在体系中任一杆件或某个几何不变的部分（如一根杆件、基础、一个铰接三角形）都可选作刚片。当一种分析途径不能得到结果时，需重新选择刚片。注意在选择刚片时，要考虑哪些是连接这些刚片的约束。

(2) 先从可判别为几何不变的部分开始，应用组成规则，逐步扩大几何不变部分直至整体。

(3) 对于复杂体系，首先可采用以下方法简化体系：当体系上有二元体时，应依次拆除二元体；如果体系只用三根不全交于一点也不全平行的支座链杆与基础相连，则可以拆除支座链杆；利用约束的等效替换，如只有两个铰与其他部分相连的刚片可用直链杆代替，连接两个刚片的两根链杆可用其交点处的虚铰代替。

(4) 把体系简化成两至三个刚片后，再应用规则进行分析。

【特别提示】

在进行几何组成分析时，体系中的每一根杆件和约束都不能遗漏。

当分析进行不下去时，一般是所选择的刚片或约束不恰当，应重新选择刚片或约束。对于某一体系，可能有多种分析途径，但结论是唯一的。

【例 4-1-5】试对如图 4-1-30 所示体系进行几何组成分析。

解：(1) 体系与基础之间只有三个约束（三根不全交于一点也不全平行的支座链杆），拆除 3 根支座链杆，从内部开始分析。

(2) 铰接三角形 ABF 可看成一个刚片，铰接三角形 BDC 为另一个刚片，在铰接三角形 EFG 增加一个二元体 EDG ，故可把 $FEDG$ 看成一大刚片，三刚片之间分别由铰 B 、 D 、 F 两两相连，且三铰不在一直线上，由三刚片规则可知体系内部不变。加上三支座链杆后仍几何不变且无多余约束。

综上所述，该体系是无多余约束的几何不变体系。

【例 4-1-6】试对如图 4-1-31 所示体系进行几何组成分析。

解：在此体系中，将基础视为一刚片， AB 杆视为一刚片，据两刚片规则，两个刚片用三根不全交于一点也不全平行的三根链杆相连，此部分为几何不变，然后将其视为一个大刚片，它与 BC 杆再用铰 B 和不通过该铰心的两根链杆相连，据两刚片规则，可判定为几何不变部分，且有一个多余约束。

故整个体系为有一个多余约束的几何不变体系。

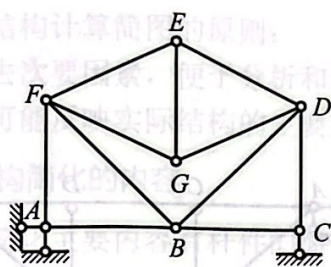


图 4-1-30

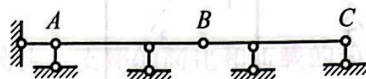


图 4-1-31

[例 4-1-7] 试对如图 4-1-32 所示体系分析其几何组成。

解：体系与基础之间有四个约束，从基础开始分析。

(1) 由二元体规则，固定点 A 和 B 。

(2) 由点 A 、 B 出发，用不在一直线的两链杆 AC 和 BC 固定点 C 。

(3) 从固定点 B 、 C 出发，增加一个二元体，固定点 D ，再增加一个二元体，固定点 E ；从固定点 D 、 E 出发，再增加一个二元体，固定点 F 。

因此，整个体系是无多余约束的几何不变体系。

[例 4-1-8] 试对如图 4-1-33 所示体系进行几何组成分析。

解：在此体系中，把基础看成一大刚片， HID 为二元体先拆除， FGC 也是二元体再拆除，可以看出， $AEFB$ 少一个约束，所以，此体系为少一个约束的几何不变体系。

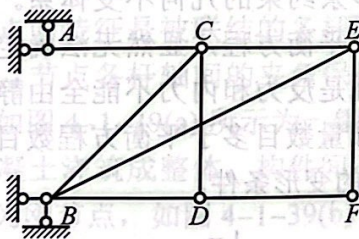


图 4-1-32

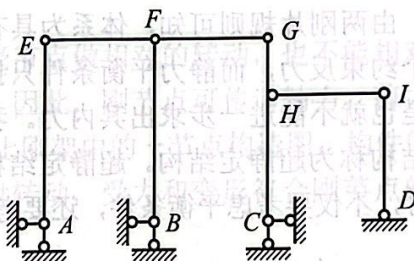


图 4-1-33

[例 4-1-9] 试对如图 4-1-34 所示体系进行几何组成分析。

解：此体系中，刚片 AD 只有两个铰与其他部分相连，其作用相当于一根用虚线表示的链杆 2。同理，刚片 BE 也相当于一根链杆 3。于是，刚片 CDE 与基础之间用三根链杆 1、2、3 连接，由于三根链杆的延长线交于一点 O ，故此体系为瞬变体系。

[例 4-1-10] 试对如图 4-1-35 所示体系进行几何组成分析。

解：因为该体系只用三根不全交于一点也不全平行的支座链杆与基础相连，先撤除支座链杆，取内部体系进行几何组成分析。将 AB 视为刚片，再在其上增加二元体 ACE 和 BDF ，组成几何不变体系，此外，链杆 EF 是添加在几何不变体系上的多余约束，故此体系为具有一个多余约束的几何不变体系。

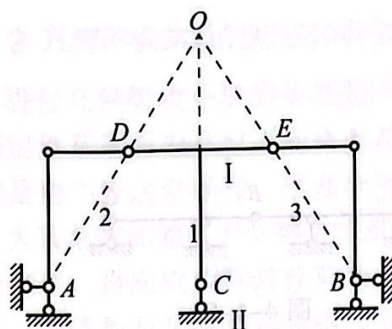


图 4-1-34

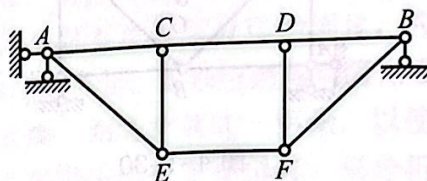


图 4-1-35

四、静定结构与超静定结构

对于几何不变体系来说，按照约束的数目可分为无多余约束的几何不变体系和有多余约束的几何不变体系。

如图 4-1-36 所示，显然，简支梁为无多余约束的几何不变体系。在荷载作用下，由静力学可知，所有约束反力和内力均可由静力平衡条件求得且为确定值，我们把凡可以用静力平衡条件就可以确定全部反力和内力的结构称为静定结构。静定结构的未知量数目与平衡方程数目相等。

但是有些结构体系仅凭静力平衡条件不能求出全部的约束反力和内力。如图 4-1-37 所示的梁，由两刚片规则可知，体系为具有一个多余约束的几何不变体系。在荷载作用下有四个约束反力，而静力平衡条件只提供三个平衡方程，显然无法确定全部约束反力，于是也就不能进一步求出其内力。我们把凡是反力和内力不能全由静力平衡条件确定的结构称为超静定结构。超静定结构的未知量数目多于平衡方程数目。计算超静定结构时，不仅要考虑平衡条件，还要考虑结构的变形条件。

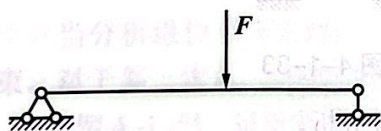


图 4-1-36

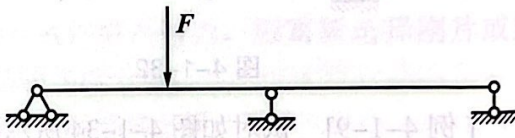


图 4-1-37

五、平面杆件结构的计算简图

建筑结构通常是由若干杆件相互连接组成的空间结构，用于承受可能出现的各种荷载。在多数情况下，可以忽略一些次要的约束，将实际结构简化为平面结构，由杆件组成的平面结构称为平面杆件结构或平面杆系结构。

1. 计算简图及其简化原则

由于实际结构的复杂性，不可能也不必要完全按照结构的实际工作状态进行力学分析，因此，为了便于计算，把结构作适当简化，略去一些次要因素，保留结构受力的基本特性和变形性能，用一个简化图形来替代实际结构，这种作为力学分析的图形，称为结构计算简图。结构计算简图是结构受力分析的基础，计算简图选择不当，就不能反映结构实际受力情况，甚至造成工程事故，所以必须十分重视。

选择结构计算简图的原则:

- ①略去次要因素, 便于分析和计算。
- ②尽可能反映实际结构的主要受力特征。

2. 结构简化的内容

结构简化主要内容有杆件的简化、节点的简化、支座的简化和荷载的简化。

(1) 杆件的简化

杆件有直杆和曲杆。由于杆件截面尺寸通常比其长度小得多, 在计算简图中, 杆件可以用其轴线表示。杆件长度用杆件两端各杆件轴线交点之间的距离表示。

(2) 节点的简化

杆件结构中杆件之间的联结处称为节点。根据结构的受力特点和结构的构造情况, 节点可简化为铰接点和刚节点。

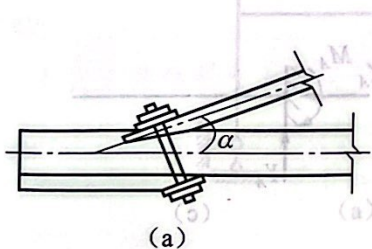
①铰接点。

铰接点的特征是被联结的各杆件可以绕节点自由转动, 但不能相对移动。因此, 铰接点只传递力, 不传递弯矩。

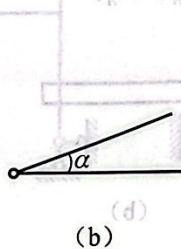
工程中从实际构造和受力特点来分析, 许多节点可以近似地简化为铰接点。如图 4-1-38(a) 所示为一木桁架的节点, 各杆是用螺栓连接在一起, 计算时可以简化为一铰接点, 如图 4-1-38(b) 所示。

②刚节点。

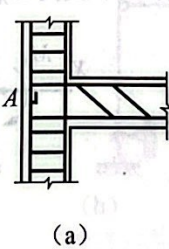
刚节点的特征是被联结的各杆既不能绕节点做相对的转动, 也不能相对移动, 结构变形时, 节点各杆轴间的夹角保持不变。因此, 刚节点可传递轴力、剪力, 也可传递弯矩。如图 4-1-39(a) 所示为一钢筋混凝土刚架中的一节点构造图, 构件间用钢筋联结并用混凝土浇筑成整体, 构件间不能相对转动, 受力和变形符合刚节点的特点, 计算时简化为刚节点, 如图 4-1-39(b) 所示。



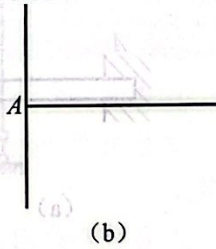
(a)



(b)



(a)



(b)

图 4-1-38

图 4-1-39

(3) 支座的简化

将结构与基础或其他支承物连接的装置称为支座。平面结构的支座有固定铰支座、可动铰支座和固定支座。

①固定铰支座。

固定铰支座的几何特征是结构可以绕铰链中心自由转动, 但不能做水平和竖向移动, 如图 4-1-40(a) 所示。它的支座反力有水平反力 X_A 和竖向反力 Y_A 。支座的计算简图可用交于 A 点的两根链杆来表示, 如图 4-1-40(b) 所示。

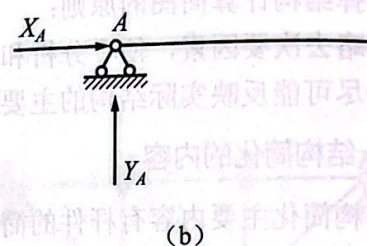
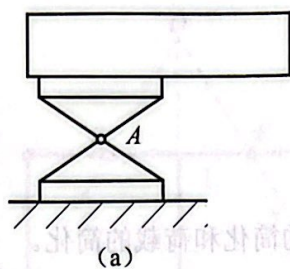


图 4-1-40

②可动铰支座。

可动铰支座的特征是：结构可以绕铰 A 转动，并容许结构沿支承面方向移动，但限制 A 点的竖向移动。如图 4-1-41(a) 所示为桥梁中所用的滚轴支座的简化图，属可动铰支座。在不计摩擦力的前提下，反力 Y_A 将通过铰 A 的中心，并垂直于支承面，在计算简图中常用垂直于支承面的链杆表示，如图 4-1-41(b)、(c) 所示。

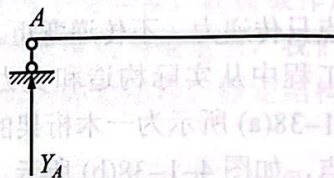
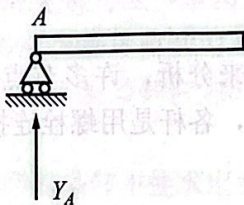
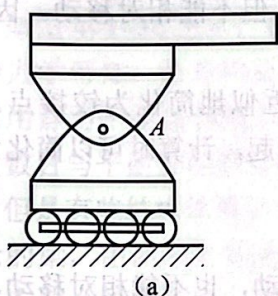


图 4-1-41

③固定支座。

固定支座的特征是：结构与支座连接处不能发生转动，也不能发生移动。如图 4-1-42 所示表示一固定支座，有三个反力 X_A 、 Y_A 、 M_A 。

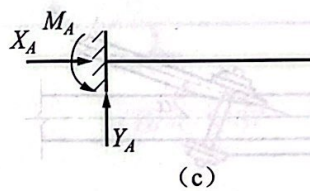
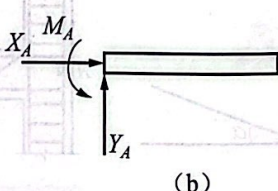
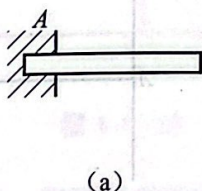


图 4-1-42

六、平面杆件结构和荷载的分类

1. 平面杆件结构的分类

平面杆件结构就是各杆件的轴线和荷载都在同一平面内的结构。按照不同的构造特征和受力特点，平面杆件结构可分为以下几类。

(1) 梁

梁是一种受弯构件，有单跨梁和多跨梁。如图 4-1-43 所示。其轴线通常为直线，以弯曲变形为主，在竖向荷载作用下，内力有弯矩和剪力。



平面杆件结构的分类

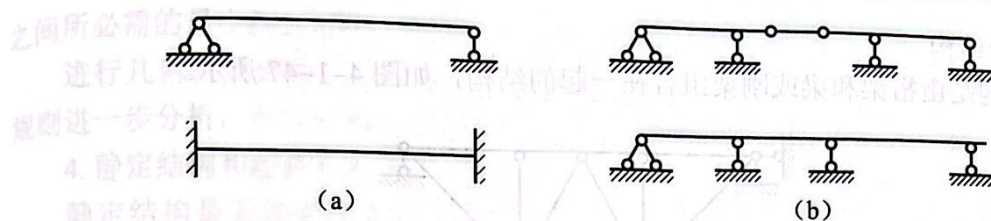


图 4-1-43

(2) 拱

拱的轴线为曲线, 如图 4-1-44 所示, 在竖向荷载作用下支座能产生水平反力, 水平反力将使拱的弯矩减小。

(3) 刚架

刚架是由梁和柱组成的结构, 如图 4-1-45 所示, 杆件间的节点全部或部分为刚节点, 杆件的内力一般有弯矩、剪力和轴力, 以弯矩为主。

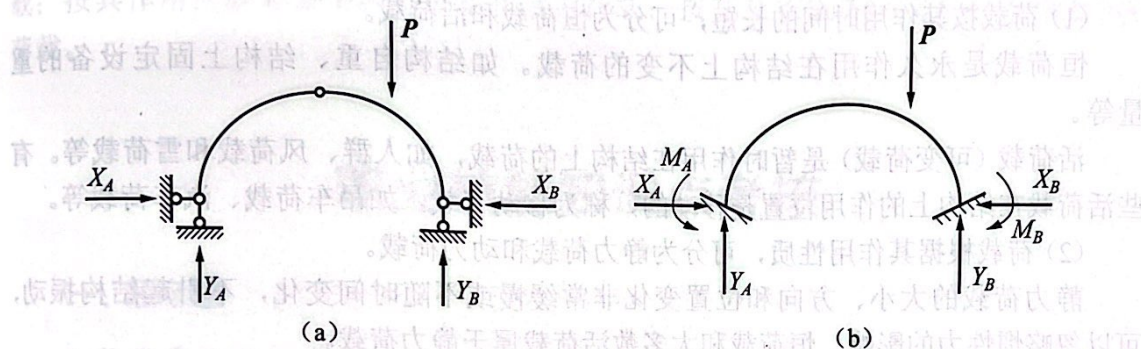


图 4-1-44

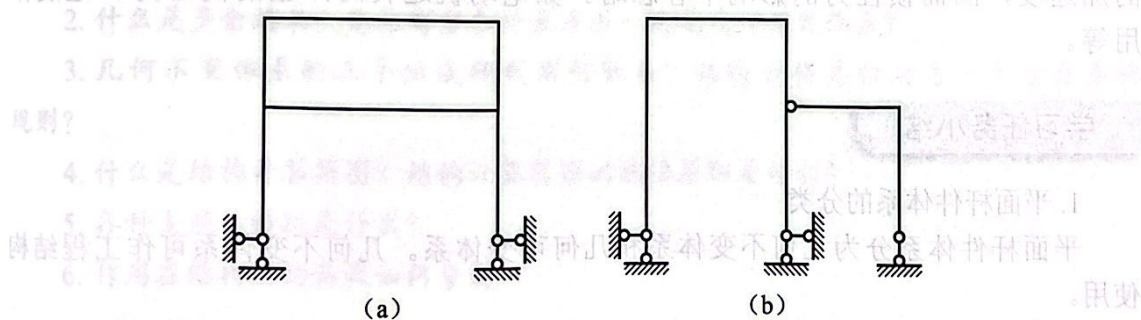


图 4-1-45

(4) 桁架

桁架是由若干直杆在杆端用理想铰联结而成的结构, 杆轴线一般为直线。若在节点荷载作用下, 各杆只产生轴向变形, 则内力为轴力, 如图 4-1-46 所示。

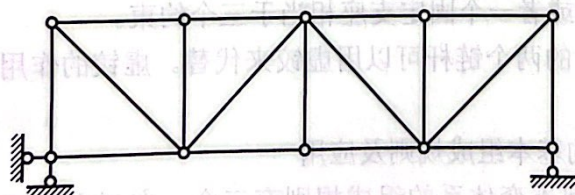


图 4-1-46

(5) 组合结构

组合结构是由桁架和梁或刚架组合在一起的结构,如图 4-1-47 所示。

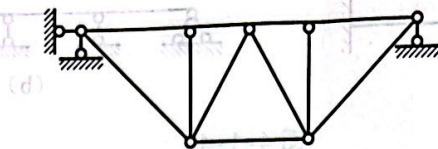


图 4-1-47

2. 荷载的分类

荷载是指主动作用在结构上的外力。例如:结构自重、土压力、风压力及人群重量和附属物的重量等。此外,如温度变化、基础沉降、材料收缩等因素使结构产生的内力和变形,这些因素广义上也可视为荷载。

(1) 荷载按其作用时间的长短,可分为恒荷载和活荷载。

恒荷载是永久作用在结构上不变的荷载。如结构自重、结构上固定设备的重量等。

活荷载(可变荷载)是暂时作用在结构上的荷载,如人群、风荷载和雪荷载等。有些活荷载在结构上的作用位置是移动的,称为移动荷载,如吊车荷载、汽车荷载等。

(2) 荷载根据其作用性质,可分为静力荷载和动力荷载。

静力荷载的大小、方向和位置变化非常缓慢或不随时间变化,不引起结构振动,可以忽略惯性力的影响。恒荷载和大多数活荷载属于静力荷载。

动力荷载是随时间变化而变化的荷载,并使结构产生振动,结构将产生显著的加速度,因而惯性力的影响不容忽略。如电动机运转时产生的离心力、地震作用等。

学习任务小结

1. 平面杆件体系的分类

平面杆件体系分为几何不变体系和几何可变体系。几何不变体系可作工程结构使用。

2. 各种约束对自由度的影响

约束是刚片间的某种联结装置,会限制体系的运动。能减少一个自由度,就说它相当于一个约束。

(1) 一根链杆或者一个可动铰支座相当于一个约束。

(2) 一个单铰或者一个固定铰支座相当于两个约束。

(3) 一个刚性连接或者一个固定支座相当于三个约束。

(4) 连接两个刚片的两个链杆可以用虚铰来代替。虚铰的作用与单铰相同,相当于两个约束。

3. 几何不变体系的基本组成规则及应用

无多余约束的几何不变体系的组成规则有三个,在三个组成规则中,规定了刚片

之间所必需的最少约束数目, 以及刚片之间应遵循的连接方式。

进行几何组成分析的关键在于恰当地选取刚片, 找出刚片之间的联系, 运用组成规则进一步分析, 可以归结为“找刚片→找联系”。

4. 静定结构和超静定结构

静定结构是无多余约束的几何不变体系, 超静定结构是有多余约束的几何不变体系。

5. 结构计算简图是结构受力分析的基础, 是从实际工程结构抽象得来的力学模型。结构计算简图的选择原则是略去次要因素, 便于分析和计算; 尽可能反映实际结构的主要受力特征。

6. 结构简化内容有杆件的简化、节点的简化、支座的简化和荷载的简化。

7. 平面杆件结构有梁、拱、刚架、桁架、组合结构。

8. 荷载是指主动作用在结构上的外力。按其作用时间长短可分为恒荷载和活荷载; 按其作用性质可分为静力荷载和动力荷载; 按其分布情况分为集中荷载和分布荷载。

职业技能知识点考核

一、思考题

1. 什么是几何不变体系、几何可变体系和瞬变体系, 工程结构不能使用哪些体系?
2. 什么是多余约束? 体系有多余约束是否一定是几何不变体系?
3. 几何不变体系的三个组成规则有何联系? 你能否将其归结为一个最基本的规则?
4. 什么是结构计算简图? 结构计算简图的选择原则是什么?
5. 各种支座的特征是什么?
6. 作用在结构上的荷载如何分类?

二、分析题

试对图示 (a) ~ (f) 体系进行几何组成分析 (若为几何不变体系, 需指出有无多余约束)。