

高 职 高 专 教 材

工程力学

(第二分册)

沈养中	主编
孙 峰	副主编
孙 峰	万 度 编

312-43
44

高 等 教 育 出 版 社

HIGHER EDUCATION PRESS



775

7B12-43
544
2

高等学校工程专科教材

工 程 力 学

(第二分册)

沈养中 主 编
孙 峰 副主编
孙峰 万度 编

高等教育出版社

·北京·

内容简介

本书是根据教育部 1996 年修订的高等工程专科力学课程教学基本要求编写的。

本书在编写时精选传统内容,力求讲清概念和公式,理论推导从简或略去,重视宏观分析,注重工程应用。本书采用模块式和贯通式相结合的方式编写。

全书分为两分册。第一分册内容涵盖了原有理论力学和材料力学两门课程的主要内容,包括:绪论、刚体静力学分析基础、平面力系、空间力系与重心、弹性变形体静力学分析基础、杆件的内力分析、杆件的应力与强度计算、复杂应力状态下杆件的强度计算、杆件的变形与刚度计算、运动力学基础、构件计算的其他几个问题。第二分册含有结构力学课程的主要内容,包括:绪论、体系的几何组成分析、静定结构计算、超静定结构计算、矩阵位移法、结构计算的其他问题。每章后有习题,并附习题答案。本册为第二分册。

本书可作为高等工程专科和高等职业技术教育的近机、近土,非机、非土各类专业以及电大、职大等成人高校相应专业工程力学课程的教材,也可作为有关工程技术人员参考用书。

图书在版编目(CIP)数据

工程力学(第二分册)/沈养中主编. —北京:高等教育出版社,2000
高等学校工程专科教材
ISBN 7-04-007997-6

I. 工… II. 沈… III. 工程力学-高等学校-教材
IV. TB12

中国版本图书馆 CIP 数据核字(1999)第 56380 号

工程力学(第二分册)

沈养中 主编

出版发行 高等教育出版社

社 址 北京市东城区沙滩后街 55 号

邮政编码 100009

电 话 010-64054588

传 真 010-64014048

网 址 <http://www.hep.edu.cn>

经 销 新华书店北京发行所

印 刷 北京印刷集团有限责任公司印刷二厂

开 本 787×1092 1/16

版 次 2000 年 7 月第 1 版

印 张 8.75

印 次 2000 年 7 月第 1 次印刷

字 数 200 000

定 价 7.70 元

凡购买高等教育出版社图书,如有缺页、倒页、脱页等质量问题,请在所购图书销售部门联系调换。

版权所有 侵权必究

第1章

绪 论

§ 1-1 结构力学的基本问题

一、结构力学的任务

工程上所称的结构范围很广,凡是可用于担负工程中提出的预定任务,支承荷载的建筑物,如桥梁、隧道、挡土墙、闸、坝、水塔等都可包括在内。也可以说,结构是建筑物中由承重构件(梁、柱等)组成的体系。

在《工程力学》(第一分册)中,主要是研究单个杆件的强度、刚度和稳定性,如梁、柱的拉、压、剪、弯、扭及其组合变形情况。结构力学的主要任务是研究由杆件组成的结构(可称为杆系结构)的几何组成规律,以及在各种外力或其他因素作用下的强度、刚度和稳定性的计算。进行强度、刚度和稳定性计算的目的在于保证结构满足安全和经济的要求;研究几何组成规律的目的是保证结构能承受荷载并维持平衡。

结构力学是一门技术基础课程,它既要以数学、理论力学和材料力学等课程的知识为基础,又为后面学习建筑结构、水工、桥梁等专业课程提供必要的基本原理和计算方法。因此,要求读者能理解基本概念,熟练掌握基本的计算方法。

二、结构的分类

工程中结构的类型是多种多样的,可按不同的观点加以分类。

1. 按几何观点可分为以下三类:

(1) **杆系结构** 该类结构由杆件组成,杆件的特征是其长度 l 远大于其横截面尺寸 b 及 δ (图 1-1a)。

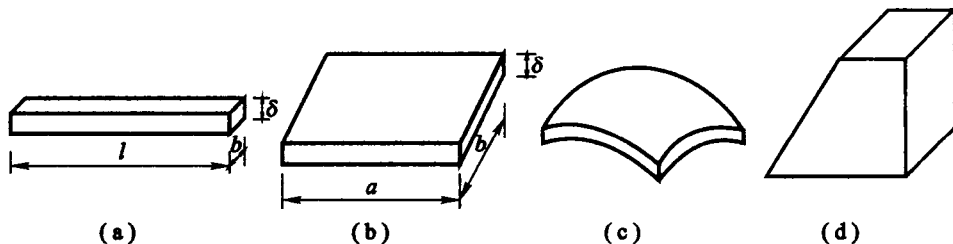


图 1-1

(2) **板、壳结构** 该类结构的特征是长、宽两个方向的尺寸远大于厚度。当结构为平面板状

时称为薄板(图 1-1b)。图中, $a \gg \delta$ 、 $b \gg \delta$ 。当结构具有曲面外形时称为薄壳(图 1-1c)。

(3) **实体结构** 该类结构三个方向的尺度具有相同量级(图 1-1d), 如挡土墙、堤坝等。

2. 按空间观点可分为以下两类:

(1) **平面结构** 组成结构的所有杆件的轴线及外力都在同一平面内。

(2) **空间结构** 组成结构的所有杆件的轴线及外力不在同一平面内。

实际建筑物都是空间的, 在许多情况下可分成若干个平面结构来处理, 但有些情况必须按空间结构来分析。本书主要研究平面结构。

3. 按结构的受力特征可分为以下五类:

(1) **梁** 这是一种受弯构件, 杆轴线一般为直线。梁有单跨梁和多跨梁(图 1-2a)两种形式。

(2) **拱** 拱的轴线为曲线(图 1-2b), 其特征是在竖向荷载作用下会产生水平支座反力。这种水平支座反力可减少拱横截面内的弯矩。

(3) **刚架** 刚架由直杆组成(图 1-2c), 其特点是杆件在联结处部分或全部为刚性结点。

(4) **桁架** 桁架由直杆组成, 所有结点均简化为铰结点(图 1-2d)。当桁架受到结点荷载时, 杆件只产生轴力。

(5) **组合结构** 组合结构是桁架和梁或刚架组合在一起形成的结构(图 1-2e)。其特点是有些杆件只受轴力, 而另一些杆件还同时承受弯矩和剪力。

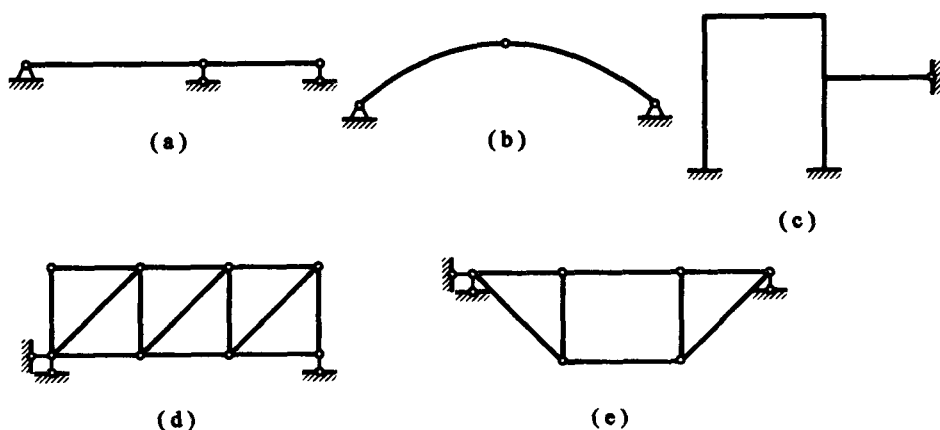


图 1-2

三、荷载的分类

荷载是作用于结构上的主动力。根据荷载作用时间的久暂可作如下分类。

1. 按荷载作用时间分为两类

(1) **恒载** 指长期作用于结构上的荷载, 如结构的自重、永久固定于结构上的设备的重量等, 其大小、位置、方向都不变。

(2) **活载** 指暂时作用于结构上且位置可以变动的荷载, 如人群荷载、风荷载、雪荷载、车辆荷载、吊车荷载等。

2. 按荷载作用的性质分为两类

(1) **静力荷载** 静力荷载是指其大小、位置和方向不随时间变化的荷载,加载过程缓慢,不会使结构产生振动,可以略去惯性力的影响。

(2) **动力荷载** 动力荷载是随时间变化的荷载,会使结构产生显著的冲击或振动,使之发生不容忽视的加速度和相应的惯性力。

§ 1-2 结构的计算简图

在对某一建筑物进行力学分析时,由于建筑物的受力和变形情况比较复杂,完全按照建筑物的实际工作状态进行分析往往是困难的,所以必须对建筑物加以简化,忽略某些次要因素,根据其的主要因素取简化图形来计算。这种简化后的图形称为**结构的计算简图**。本书今后所称的结构都是指其计算简图。

一、选择结构计算简图的原则

(1) 必须使计算简图尽可能正确地反映建筑物的实际情况。

(2) 忽略次要因素,便于分析计算。

要很好地符合这两项原则,选取最合理的计算简图,不仅需要较丰富的实践经验,还需要有较完备的力学知识,才能分析主、次要因素的相互关系,有时还要借助模型试验或现场实测才能确定较合理的计算简图。

二、平面杆系结构的简化

1. 杆件的简化

杆系结构中的杆件,在计算简图中都用杆轴线表示,其长度则用轴线交点间的距离来确定。

2. 结点的简化

杆件间的相互联接处称为**结点**。结点一般可分为两种类型。

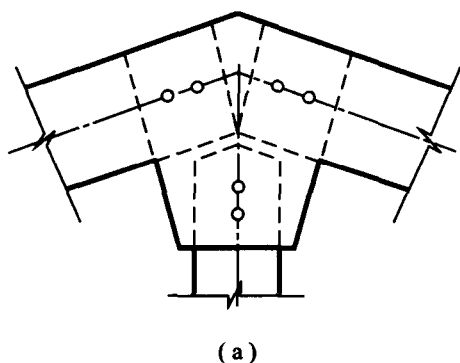


图 1-3

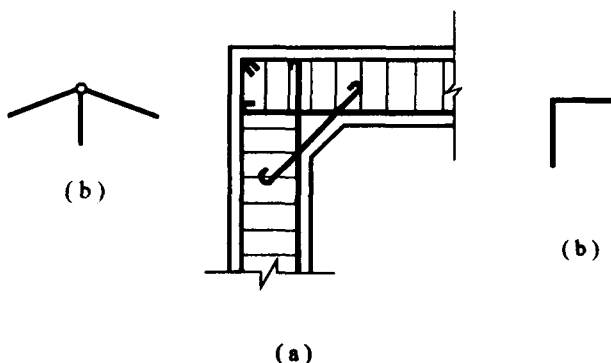


图 1-4

(1) **铰结点** 铰结点的特征是所联各杆可以绕结点中心自由转动。在实际工程中,用铰结

点联接杆件的情况很少,如木结构的结点构造图(图 1-3a),是用钢板和螺栓将各杆端联接起来的,各杆之间不能有相对移动,但可允许有微小的相对转动,故可作为铰结点处理,其简图如图 1-3b 所示。

(2) 刚结点 汇交于该点的各杆端相互固结在一起,各杆之间既不能相对移动又不能相对转动,这种结点称为刚结点。图 1-4a 为钢筋混凝土结构的结点构造图,其简图如图 1-4b 所示。刚结点的特征是当结构发生变形时汇交于该结点的各杆端间相对转角为零。

3. 支座的简化

对于活动铰支座、固定铰支座和固定端支座已在第一分册中作过详细介绍,此处仅补充介绍滑动铰支座(图 1-5a)。

滑动铰支座能限制杆件的转动和垂直于支承面方向的移动,但允许杆件沿平行于支承面的方向移动。其支座反力为垂直于支承面的反力 F_N 和限制转动的反力偶矩 M (图 1-5b)。当支承面与杆轴线垂直时,滑动铰支座的反力为水平反力 F_H (图 1-5c)。

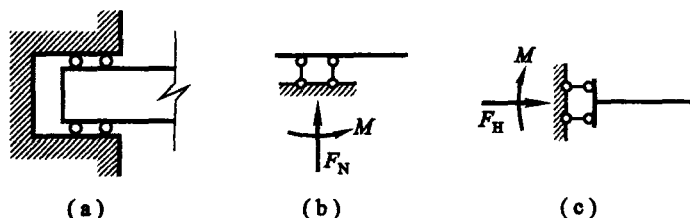


图 1-5

下面以三角形屋架(图 1-6a)为例,说明实际结构的简化过程。

此屋架由木材和钢筋制成。上、下弦杆和斜撑由木材制成,拉杆使用钢筋,对其进行简化时可作如下假定:

- (1) 各杆件用其轴线代替;
- (2) 各结点均简化为铰结点;
- (3) 屋架两端搁置在墙上或柱上,可将其简化为固定铰支座和活动铰支座;
- (4) 进行内力计算时,可将屋面荷载简化为集中力,分别作用在屋架上弦的各铰结点上。

通过以上四点假设可以得出屋架的计算简图(图 1-6b)。

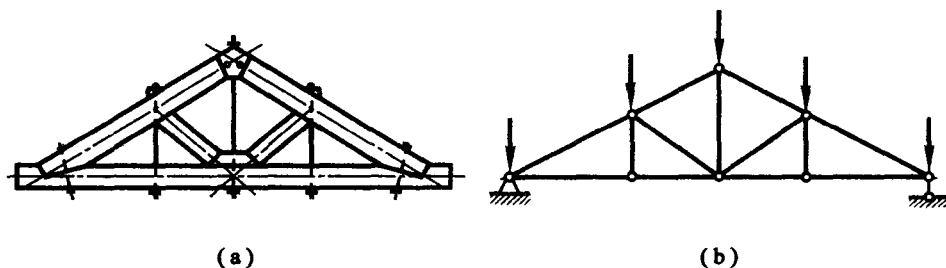


图 1-6

第2章

体系的几何组成分析

§ 2-1 几何组成分析的目的与自由度

一、几何组成分析的目的

结构通常是由杆件用铰或其他联系联接在一起而组成,用来承受荷载作用的体系。但如何联接才能为工程结构所使用,这就是本章要讨论的问题。

在任意荷载作用下,如果不考虑材料的变形,其几何形状和位置均保持不变,这样的体系称为几何不变体系(图 2-1a)。在任意微小荷载作用下,不能保持固定的几何形状而发生相对运动,这样的体系称为几何可变体系(图 2-1b)。

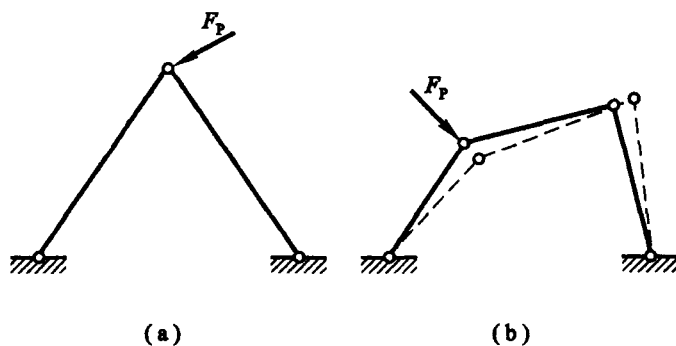


图 2-1

显然,几何可变体系是不能作为工程结构使用的,工程结构中只能使用几何不变体系。分析体系的几何组成,以确定它们属于哪一类体系,称为体系的几何组成分析。其目的就是研究体系是否几何不变,如何组成才能使体系几何不变。

二、自由度

在几何组成分析中,由于不考虑材料的变形,可将一根杆、一根链杆或一个已知的几何不变体系视为刚片。一个体系的自由度,是指该体系在运动时,确定其位置所需的独立坐标的数目。

设平面上一个点 A ,确定其位置只要用 x 、 y 两个坐标变量就可以了(图 2-2a)。因此,平面上一个点就有 2 个自由度。一个刚片在平面内运动时,其位置可由它上面的任一点 A 的坐标 x 、 y 和过点 A 的任一直线 AB 的倾角 φ 来确定(图 2-2b)。因此,一个刚片在平面内就有 3 个自由度。

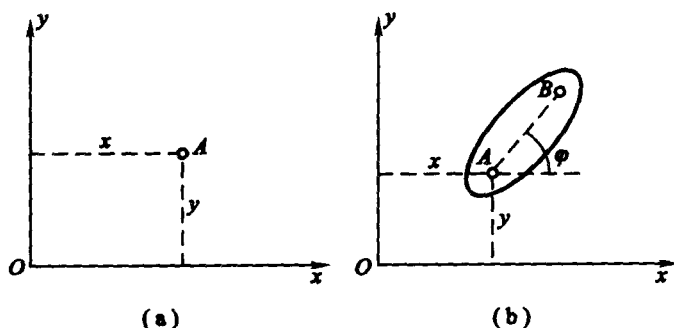


图 2-2

三、约束

约束是刚片与基础或刚片与刚片之间的某种联接装置,是限制体系运动的一种条件。显然,体系由于加入约束而使自由度减少。

如果用一根链杆将刚片 I 与地基相联(图 2-3a),则刚片在链杆方向的运动将被限制。但还存在两种独立的运动形式,即点 A 绕点 C 的转动和刚片 I 绕点 A 的转动。加入链杆前,刚片 I 有 3 个自由度,加入链杆后,自由度减少为 2 个。可见,加入一根链杆可减少一个自由度,故把一根链杆称为一个联系。

如果在点 A 再加上一根水平链杆(图 2-3b),即点 A 成为一个固定铰支座,则刚片 I 只能绕点 A 转动,其自由度只有 1 个。可见,增加一个固定铰支座可减少 2 个自由度,故一个固定铰支座相当于两个联系。

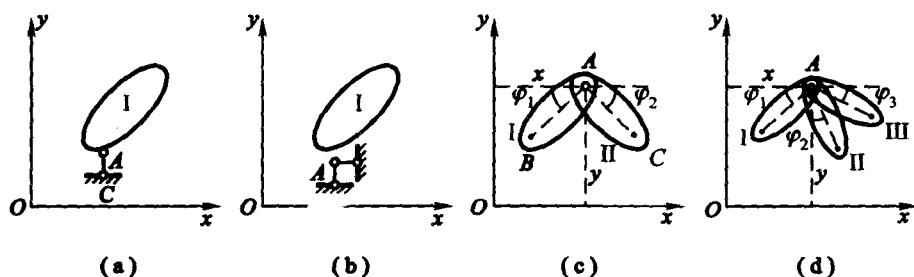


图 2-3

现在将刚片 I 与刚片 II 用铰 A 相联(图 2-3c),设刚片 I 的位置可以由点 A 的坐标 x 、 y 和倾角 φ_1 确定。由于点 A 是两刚片的共同点,则刚片 II 的位置只需要倾角 φ_2 一个独立参数就可以确定。因此,两刚片原有的 6 个自由度减少为 4 个,这种联结两刚片的铰称为单铰。一个单铰相当于两个联系。当两个以上的刚片联结于同一铰点时,这样的铰称为复铰(图 2-3d)。三个刚片联结于点 A 的复铰,使体系的自由度由 9 个减少为 5 个,即点 A 的复铰减少了 4 个自由度,因此这个复铰起了两个单铰的作用。一般来说,联结 n 个刚片的复铰,其作用相当于 $(n-1)$ 个单铰。

四、虚铰

设一刚片用两根不平行的链杆与地基相联(图 2-4a),此时刚片 I 只能绕两链杆的延长线交点 O 作转动,在转动一微小角度后,点 O 到了点 O' 。这种由延长线交点而形成的铰称为虚铰。虚铰是瞬时转动中心,虚铰的位置是随着链杆位置的变动而改变的。同理,刚片 I 与刚片 II 由两根不平行的链杆相联(图 2-4b),链杆的延长线交点在 O ,两刚片可绕 O 发生相对转动。虚铰的作用与单铰一样,仍起着减少 2 个自由度的作用。

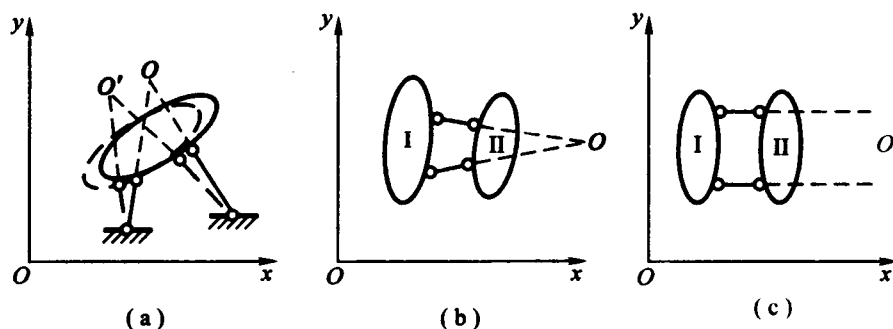


图 2-4

两根不平行的链杆可组成一个单铰,不论该两链杆是实际交于一点(实铰),还是其延长线交于一点(虚铰)。当两链杆平行时(图 2-4c),可以认为该两链杆在无穷远处汇交于一点,从而构成一个虚铰,这种铰称为无穷远铰。

§ 2-2 几何不变体系的组成规则

凡能使体系的自由度为零的联系数即使体系成为几何不变所必需的最少联系数目,再增加联系就属于多余联系。达到必需的联系数目并不能保证体系几何不变,还需检查刚片与约束的相互联结方式是否合理,因此为了确定体系是否几何不变必须研究几何不变体系的组成规则。下面介绍平面几何不变体系的简单组成规则。

一、规则一:两刚片三链杆(或两刚片一铰一杆)

两刚片用三根不全平行也不汇交于同一点的链杆相联,组成无多余联系的几何不变体系(图 2-5)。

若三根链杆同时汇交于一点,则刚片 I、II 可以绕点 A 转动,体系几何可变(图 2-6a)。若三根链杆的延长线同时汇交于点 O (图 2-6b),则刚片 I 与刚片 II 可以绕点 O 发生瞬时相对转动,并在转动一微小角度后三根链杆不再汇交于同一点,这种发生微小位移后不再运动的体系称为瞬变体系。

现假定将基础作为一刚片,刚片 I 由三根平行等长的链杆与之相联,因为三根链杆的延长线汇交于同一无穷远点,刚片 I 可以绕该无穷远点转动,即相对于基础作平动。不论刚片 I 怎样运

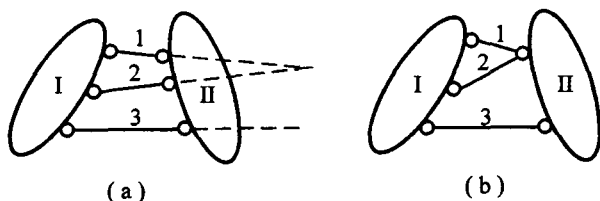


图 2-5

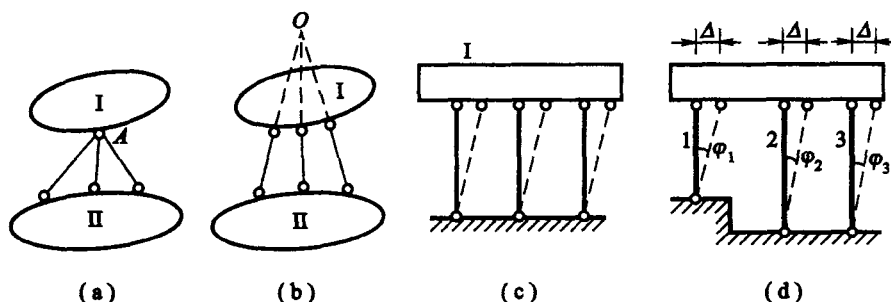


图 2-6

动,三根链杆始终平行,刚片 I 的平动可一直持续下去,所以体系是几何可变的(图 2-6c)。若刚片 I 与基础由三根平行但不等长的链杆相联,三杆仍汇交于同一无穷远点,但在发生一微小位移 Δ 后,由于三根链杆的转角不全相同($\varphi_1 \neq \varphi_2, \varphi_1 = \varphi_3$),三根链杆不再全平行,故此体系为瞬变体系。后面将看到,瞬变体系是不能作为工程结构使用的。

二、规则二:三刚片六链杆(或三刚片三单铰)

三个刚片用 6 根链杆(或三个单铰)两两相联,因为每两根链杆可组成一个单铰,当三个铰不在同一直线上时,组成无多余约束的几何不变体系(图 2-7a、b)。这里的“两两相联”是指每两个刚片之间均用两根链杆或一单铰相联。

在图 2-7b 中,假定刚片 I 不动,则刚片 II 只能绕点 A 转动,点 C 在以 A 为圆心,AC 为半径的圆弧上运动;刚片 III 也只能绕点 B 转动,点 C 又只能在以 B 为圆心,BC 为半径的圆弧上运动。但刚片 II、III 又用铰 C 相联,而点 C 不可能同时在两个不同的圆弧上运动,所以,两圆弧的交点 C 固定不动,各刚片间不能发生任何相对运动,所以该体系为几何不变体系。在几何组成分析中,可以将图 2-7b 的铰结三角形看作一刚片。

当三个铰在同一直线上时(图 2-7c),刚片 I 与刚片 II 分别绕点 A 和点 B 转动,点 C 处于两圆弧的公切线上,铰 C 可以沿公切线作微小移动。但在发生微小移动后,三个铰就不再处于同一直线上,体系也不继续运动。所以,当三个铰共线时体系为瞬变体系。

由于两根链杆可以组成一个单铰,当两根链杆平行时,即组成一个无穷远处的虚铰。在几何组成分析中,常会遇到虚铰在无穷远处的情况,下面讨论可能出现的几种情况。

(1) 一个虚铰在无穷远 在图 2-8a 中,刚片 I、II 和刚片 I、III 均由实铰相联,刚片 II、III 由两平行链杆相联,其交点在无穷远处。现将刚片 I 两端铰的连线看作一根等效链杆,若等效链

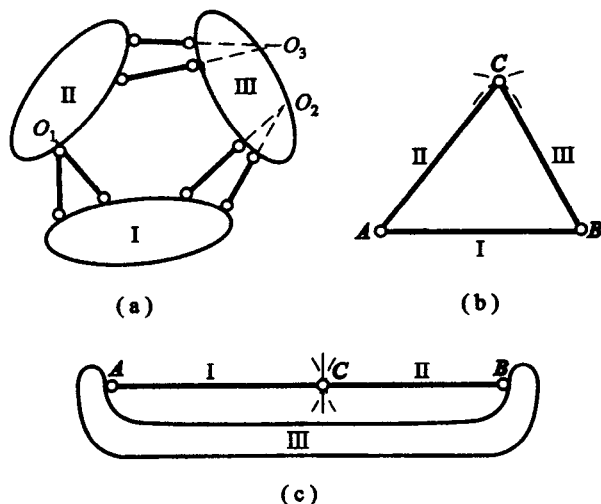


图 2-7

杆的延长线不平行于两平行链杆的延长线,即三根链杆互不平行,由组成规则一可知,体系几何不变。若三根链杆相互平行,此时三个铰在同一直线上,体系为瞬变体系。因此,组成无穷远铰的两平行链杆若不平行于另两铰的连线,则体系几何不变,否则体系为瞬变体系。

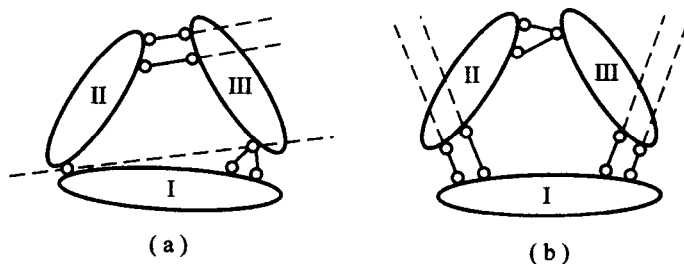


图 2-8

(2) 两个虚铰在无穷远 在图 2-8b 中,当联接刚片 I、II 的平行链杆和联接刚片 I、III 的平行链杆不相互平行时,这两个无穷远虚铰在不同的方向,与联接刚片 II、III 的实铰不在同一直线上,所以体系几何不变。

当联接刚片 I、II 和刚片 I、III 的四根链杆相互平行时,可以认为这四根链杆在无穷远处相交于同一点。所以联接刚片 I、II、III 的三个铰在同一直线上,体系为瞬变体系。

前面所述,在某一瞬时可以产生微小运动的体系称为瞬变体系。瞬变体系之所以不能作为工程结构使用,是因为当它受力时,尽管瞬变体只产生极小的位移,但这只是把杆件作为刚体时的理想情况。实际上,杆件并不是刚体,瞬变体系可能产生很大的内力导致变形过大而不能正常使用。例如在图 2-9 所示的体系中,我们计算其中一根支杆的反力 F_N 。列平衡方程

$$\sum M_O = 0 \quad F_P d - F_N r = 0$$

解得

$$F_N = \frac{d}{r} F_P$$

当 $r \rightarrow 0$ 时(此时三杆汇交于一点), $F_N \rightarrow \infty$; 当 $d \rightarrow 0$ 时, $F_N = \frac{0}{0}$, 体系的内力也是不定值。

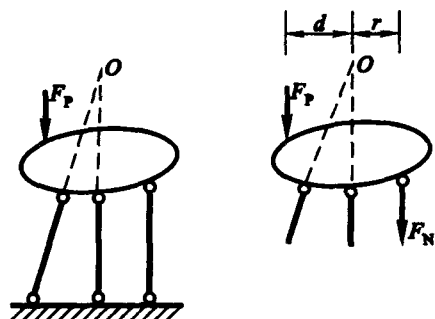


图 2-9

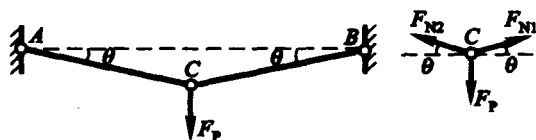


图 2-10

再如图 2-10 所示的体系, 我们计算杆 AC 及杆 BC 的内力。由平衡方程可得

$$F_{N_1} = F_{N_2} = F_N$$

以及

$$2F_N \sin \theta - F_P = 0$$

故

$$F_N = \frac{F_P}{2 \sin \theta}$$

当 $\theta \rightarrow 0$ 时(此时三铰共线), 不论 F_P 有多小, $F_N \rightarrow \infty$, 这就表明瞬变体系在很小荷载作用下, 也会产生很大的内力, 所以工程结构中不能采用瞬变体系。

三、规则三: 加减二元体

用两根不平行的链杆相交组成一个新结点, 这种构造称为二元体。平面体系中增加或减少二元体, 不改变体系的几何可变或不变性。利用这一规则, 往往可以使体系的几何组成分析得到简化。例如简单桁架均可以视为由基本三角形增加二元体所组成(图 2-11)。任选铰结三角形 124 为刚片, 杆 13 和杆 34 组成结点 3 作为增加的一个二元体, 与原三角形 124 构成几何不变体系。依此类推, 最后可以组成整个桁架。因此, 该体系为几何不变体系。当然, 也可用拆除二元体的方式进行分析, 最后剩余三角形 124 作为一个刚片, 故也可得出原体系为几何不变体系的结论。要注意的是, 拆除二元体应从由两不平行杆组成的铰结点开始。

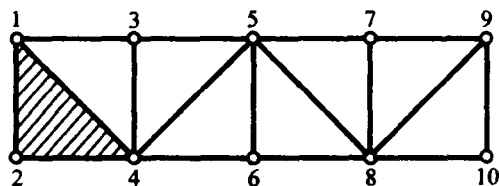


图 2-11

§ 2-3 几何组成分析举例

对体系进行几何组成分析的依据是上述三个组成规则。问题在于如何正确、灵活地运用三个规则去分析各种体系。具体分析时,一般宜先将能直接判断出的几何不变部分看作一刚片,以减少刚片数目。有时也可拆除二元体,使体系简化,再利用组成规则去分析。分析时应注意,每一刚片与周围的约束既不能重复使用,也不能遗漏。下面举例说明。

例 2-1 试对图 2-12 所示体系进行几何组成分析。



图 2-12

解 取杆 AB 为刚片,地基为另一刚片,该两刚片由不交于一点的三根链杆 1、2、3 相联,故刚片 AB 被固定于基础。再取 CD 为一刚片,该刚片与基础由杆 BC 和支座链杆 4、5 相联,三根链杆也不交于一点,所以 CD 也被固定于基础上。最后,杆 DE 和链杆 6 作为二元体加于体系上,因此整个体系为几何不变体系,且无多余联系。

例 2-2 试对图 2-13 所示体系进行几何组成分析。

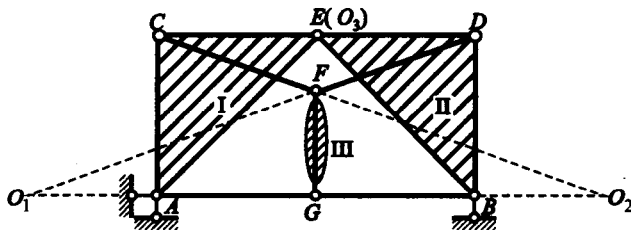


图 2-13

解 在对体系进行几何组成分析时,如果体系与基础的联系满足两刚片三链杆规则,则只需分析体系内部的几何组成性质。本例即属此情况,所以可不考虑 A、B 两点处与基础的联系,仅对体系本身进行分析即可。

取基本三角形 ACE 和 BDE 分别为刚片 I 与刚片 II,因为剩余杆件太多,所以考虑用三刚片规则。故再选杆 FG 为刚片 III。在这三个刚片中,刚片 I 与刚片 II 由铰 E 相联(设为实铰 O_3),刚片 I 与刚片 III 由杆 CF 及杆 AG 相联,其延长线汇交于虚铰 O_1 ,刚片 II 与刚片 III 由杆 DF 和杆 BG 相联,其延长线交于虚铰 O_2 。此三铰不在同一直线上,所以体系为几何不变且无多余联系。

例 2-3 试对图 2-14 所示体系进行几何组成分析。

解 该体系与基础有四根链杆相联,而体系内部本身尚不能构成一个刚片,因此要将体系与

基础共同分析。

设杆 AB 为刚片, 基础为另一刚片, 此两刚片由铰 A 及支座 B 的链杆相联, 符合两刚片三链杆规则, 可组成一较大的刚片。同理, 杆 AD 由铰 A 及支座 D 的链杆与上述刚片又组成一刚片。杆 CD 与杆 BC 再作为二个刚片考虑, 由铰 B 、 C 、 D 按三刚片三单铰规则组成一大刚片。再分析内部, 三角形 EFG 作为刚片, 由杆 AE 、 CG 、 BF 与以上大刚片相联, 该三杆延长线汇交于同一点, 故体系为瞬变体系。

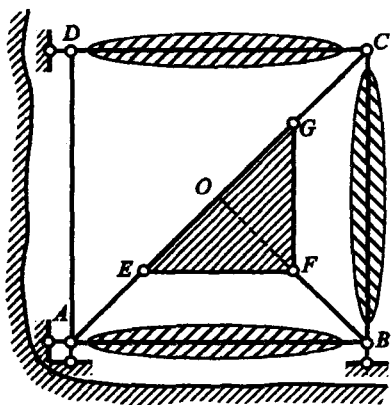


图 2-14

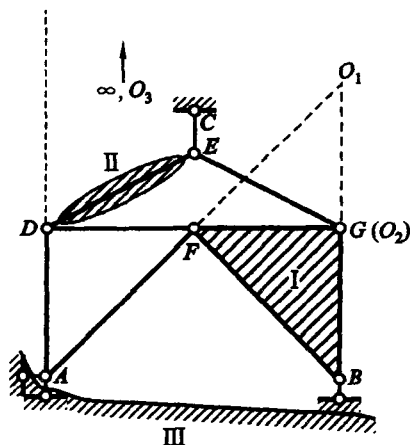


图 2-15

例 2-4 试对图 2-15 所示体系进行几何组成分析。

解 因为该体系与基础有四根链杆相联, 体系内部本身尚不构成一个刚片, 所以应将体系与基础共同考虑。设基础为刚片 III, 点 A 的两根支座链杆可视为加于基础上的二元体, 因此刚片 III 包括了支座 A 的两根链杆在内。再分别取三角形 BFG 和杆 DE 为刚片 I 和刚片 II。刚片 I 与刚片 III 由杆 AF 及支座 B 的链杆相联, 该两杆延长线汇交于 O_1 , 刚片 I 与刚片 II 由杆 DF 及杆 EG 相联, 该两杆延长线汇交于点 G , 组成虚铰 O_2 。刚片 II 和刚片 III 由杆 AD 、 CE 相联, 该两杆平行, 组成无穷远铰 O_3 。又因为虚铰 O_1 与 O_2 的连线平行于组成无穷远虚铰 O_3 的两平行链杆, 故此三铰在同一直线上。由三刚片三单铰规则可知, 该体系为瞬变体系。

例 2-5 试对图 2-16 所示体系进行几何组成分析。

解 该体系与基础之间的联结符合两刚片三链杆规则, 故仅分析体系内部的几何组成性质。取基本三角形 123 为刚片, 杆 14 和杆 34 作为二元体加于刚片上, 组成一较大的刚片。同理, 杆 35 和杆 45、杆 36 和杆 46 也作为二元体加于以上刚片上, 整个体系组成一大刚片, 杆 56 为多余联系。故体系几何不变, 有一个多余联系。

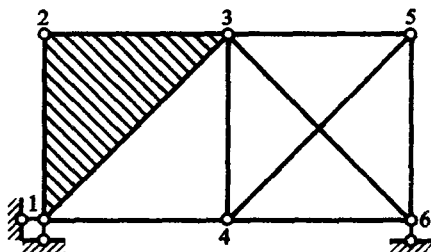


图 2-16

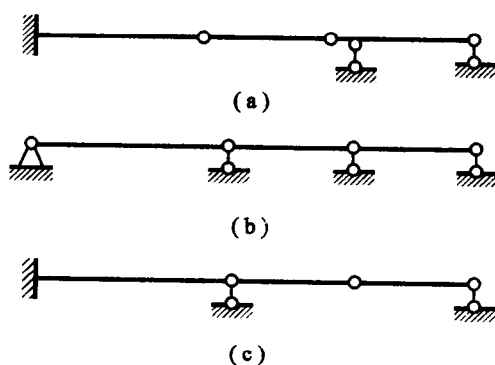
由上面的例题可知,几何不变体系有两种情形:无多余联系的和有多余联系的。

对于无多余联系的结构,其所有的反力和内力都能由平衡条件求出,这种结构称为**静定结构**。

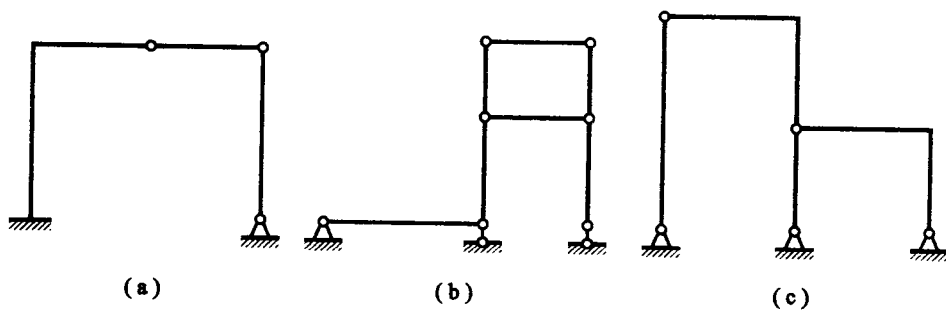
对于有多余联系的结构,由于存在多余约束力,则不能由平衡条件求出全部的反力和内力。这种结构称为**超静定结构**。

习 题

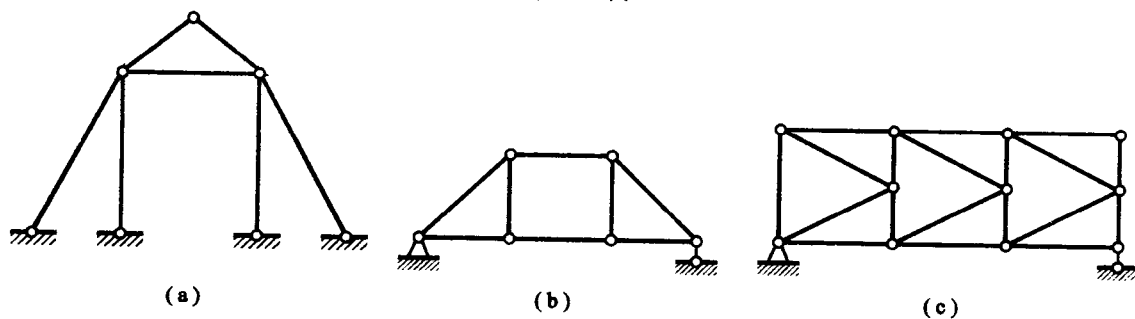
2-1-2-5 试对图示体系进行几何组成分析。



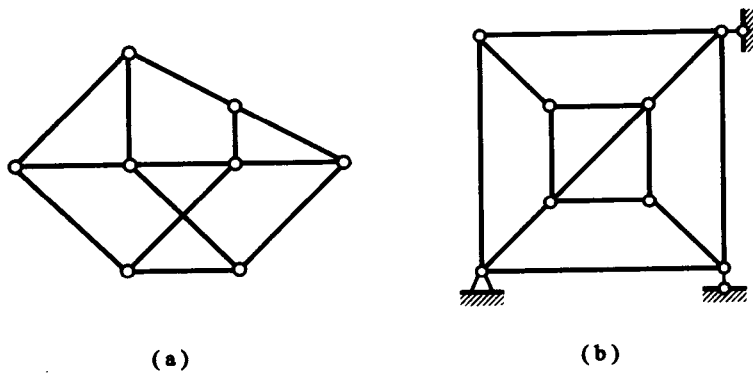
题 2-1 图



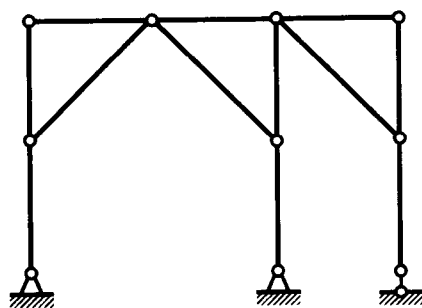
题 2-2 图



题 2-3 图



题 2-4 图



题 2-5 图