

高等学校教材

建筑力学

主编

宋月英

下册

科学技术文献出版社



高等学校教材

建筑力学

(下 册)

编 著 宋月英 王敦子 李 宾
主 编 宋月英



科学技术文献出版社

(京)新登字 130 号

图书在版编目(CIP)数据

建筑力学/张忠国等编著. - 北京: 科学技术文献出版社, 1997

ISBN 7-5023-2971-4

I. 建… II. 张… III. 建筑力学 IV. TU311

中国版本图书馆 CIP 数据核字(97)第 13827 号

科学技术文献出版社出版

(北京复兴路 15 号 邮政编码 100038)

重庆市光大电脑有限公司激光照排

中国人民解放军后勤工程学院印刷厂印刷 新华书店北京发行所发行

1997 年 8 月第 1 版 1997 年 8 月第 1 次印刷

787×1092 毫米 16 开本 31 印张 700 千字

印数: 1-5500

(上、下册)定价: 38.00 元

目 录

第三篇 结 构 力 学

引 言	(1)
一、结构力学的研究对象和任务	(1)
二、结构的计算简图	(2)
三、杆件结构的分类	(6)
四、荷载的分类	(7)
第十四章 平面体系的几何组成分析	(8)
§ 14-1 几何组成分析的目的	(8)
§ 14-2 平面体系的几个基本概念	(9)
§ 14-3 几何不变体系的基本组成规则	(10)
§ 14-4 几何组成分析示例	(13)
§ 14-5 静定结构和超静定结构	(15)
内容小结	(15)
习题	(15)
习题答案	(17)
第十五章 静定结构内力计算	(18)
§ 15-1 静定结构支座反力计算	(18)
§ 15-2 梁和刚架的内力计算	(23)
§ 15-3 三铰拱的内力计算	(32)
§ 15-4 静定平面桁架	(37)
内容小结	(43)
习题	(44)
习题答案	(47)
第十六章 静定结构位移计算	(49)
§ 16-1 概述	(49)
§ 16-2 功、虚功、虚位移	(50)
§ 16-3 刚体虚功原理及其应用	(52)
§ 16-4 变形体系虚功原理及结构位移计算的一般公式	(55)

§ 16-5 静定结构在荷载作用下的位移计算	(57)
§ 16-6 图乘法	(60)
§ 16-7 温度变化、加工及装配误差引起静定结构的位移计算	(65)
§ 16-8 互等定理	(68)
内容小结	(70)
习题	(71)
习题答案	(72)
第十七章 力 法	(74)
§ 17-1 超静定结构概述	(74)
§ 17-2 力法基本原理和一般方程	(76)
§ 17-3 用力法计算荷载作用下的超静定结构	(79)
§ 17-4 对称性的利用	(87)
§ 17-5 温度改变和支座移动时超静定结构的计算	(89)
§ 17-6 超静定结构的位移计算	(92)
§ 17-7 超静定结构与静定结构的比较	(94)
内容小结	(94)
习题(及部分答案)	(95)
第十八章 位 移 法	(99)
§ 18-1 位移法的基本概念	(99)
§ 18-2 等截面直杆转角位移方程	(100)
§ 18-3 基本未知量数目的确定	(105)
§ 18-4 应用平衡条件建立位移法方程	(107)
§ 18-5 附加约束法建立位移法方程	(110)
§ 18-6 对称性利用	(114)
内容小结	(118)
习题(及部分答案)	(118)
第十九章 力矩分配法	(122)
§ 19-1 力矩分配法的基本概念	(122)
§ 19-2 用力矩分配法计算连续梁和无结点线位移刚架	(127)
§ 19-3 力矩分配法与位移法的联合使用	(132)
内容小结	(134)
习题(及部分答案)	(134)
第二十章 影 响 线	(137)
§ 20-1 影响线的概念	(137)
§ 20-2 用静力法作单跨静定梁的影响线	(138)
§ 20-3 用机动法作单跨静定梁的影响线	(142)
§ 20-4 影响线的应用	(144)
§ 20-5 简支梁的内力包络图和绝对最大弯矩	(147)

§ 20-6 活荷载作用下连续梁的计算	(150)
内容小结	(154)
习题(及部分答案)	(155)
课堂练习	(157)
主要参考书目(下册)	(159)

结 构 力 学

引 言

一、结构力学的研究对象和任务

建筑物中支承荷载而起骨架作用的部分叫做结构。例如房屋中的屋架、梁、柱以及桥梁、水池、水塔、挡土墙；闸门和水坝；输油管线和贮油罐……等，都属于结构的典型例子。

从几何角度来看，结构可分为：

1) 杆件结构：由若干长度远远大于横截面尺寸的杆件组成的结构，如图 1。

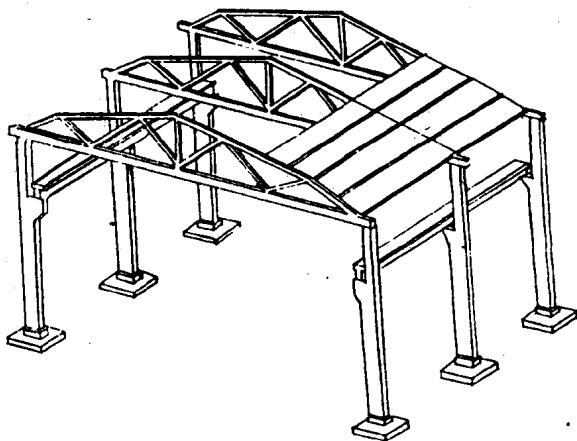


图 1

2) 薄壁结构：又叫板壳结构，这类结构的特征是厚度远远小于长度和宽度，如图 2(a)、(b)、(c)、(d)。

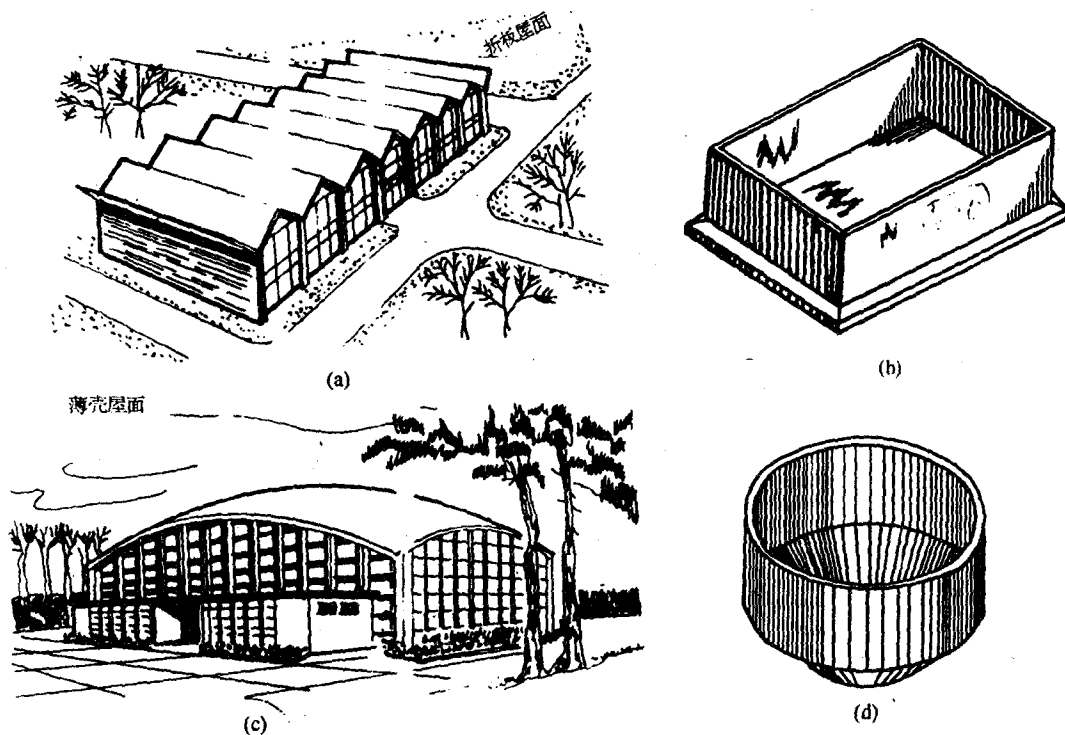


图 2

3) 实体结构: 这类结构的特征三个方向的尺寸约为同量级, 如基础、大坝、挡土墙, 见图 3。

结构力学的研究对象则是杆件结构, 其余两类属弹性力学研究范围。

结构力学与材料力学有密切联系, 但研究对象有所不同。材料力学着重研究单个杆件的强度、刚度和稳定问题; 而结构力学则研究由若干杆件组成的杆件结构体系的组成规律、强度、刚度和稳定性的分析。其具体任务:

1. 研究结构的组成规律及合理形式, 以及结构计算简图的选择;
2. 研究结构内力和变形的计算原理和方法;
3. 分析结构的稳定性。

本书主要讨论前两项任务, 以便为今后的学习以及从事设计和施工提供力学知识基础。

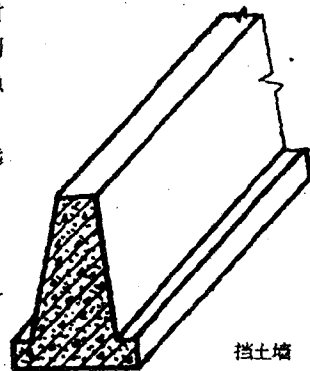


图 3

二、结构的计算简图

实际结构是很复杂的, 要完全按照结构的实际情况进行力学分析是不可能也是不必要的。因此, 在对实际结构进行力学计算以前必须加以简化, 忽略一些次要因素, 抓住主要特征, 用一个简化的图形代替实际结构, 这种图形叫做结构的计算简图。

对实际结构进行简化时,应遵守以下两条原则:

1. 正确地反映结构的实际受力情况。
2. 略去次要因素,便于分析计算。

计算简图是实际结构的简化图形。对实际结构的简化主要包括以下几个方面:

一、结构体系的简化

一般结构实际上都是空间结构,各部分之间相互连成一个空间整体,承受各个方向可能出现的荷载。但在多数情况下,都忽略一些次要的空间约束作用而将实际结构分解为平面结构,以简化计算。当然也有一些结构具有明显的空间特征而不宜简化成平面结构。(如图4)

二、杆件的简化

杆件的截面尺寸(宽度、厚度)通常比杆件长度小得多,截面上的应力可根据截面的内力来确定。因此,在确定计算简图时,只要杆件长度大于截面尺寸(宽与厚)的4倍就可用轴线来表示实际的杆件,而将它们的连结区域用结点表示,荷载则可认为直接作用在轴线上。

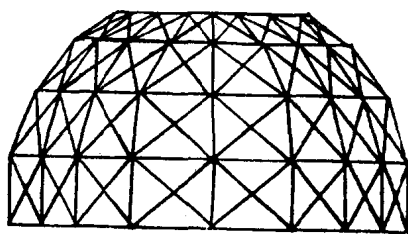


图4

三、结点的简化

杆件间的连结区域叫结点。根据结点的受力特征和结点的构造所允许的各杆绕结点的转动情况,可简化为以下几种型式:

1. 铰结点:这种结点的特点是被连接的杆件在连接处不能相对移动,但可以相对转动。木屋架的结点比较接近这种情况(见图5)。

2. 刚结点:这种结点的特点是被连接的杆件之间既不能相对移动,又不能相对转动。现浇钢筋混凝土结点通常属于这种情况(见图6)。

有时还会遇到铰结点和刚结点在一起形成的组合结点(如图7中的结点D)。

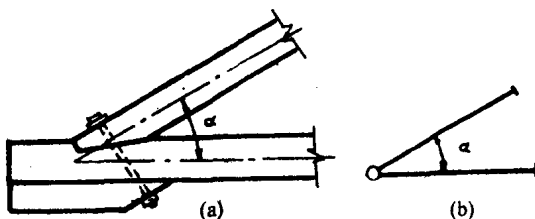


图5

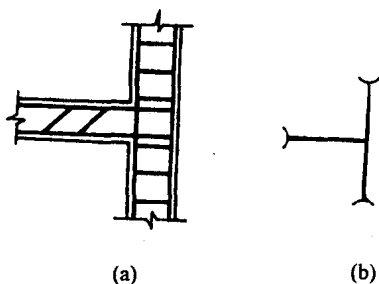


图6

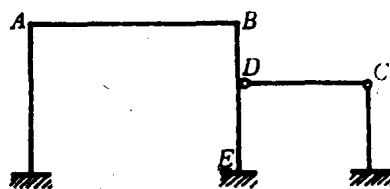


图7

四、支座的简化:

结构与基础或支承物相联结的区域称为支座。平面结构中,支座的实际构造形式很多,但从其对结构的约束作用来看,一般可简化为以下几种类型:

1. 可动铰支座:这种支座只能阻止结构沿垂直支承面方向的移动(见图8)。



图 8

2. 固定铰支座: 这种支座不允许结构上的 A 点发生任何移动, 而结构只能绕铰转动, 具体计算简图见图 9。

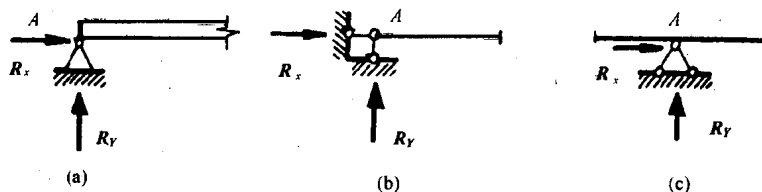


图 9

在实际结构中, 凡不能移动而可作微小转动的支承情况, 均可视为固定铰支座。例如插入杯形基础中的柱子, 当用沥青麻丝填缝时, 则柱的下端可视为固定铰支座。

3. 固定支座: 这种支座限制了结构的任何移动和转动 (见图 10)。

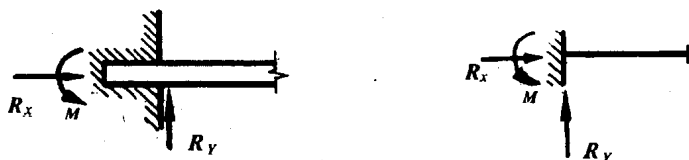


图 10

在实际结构中, 当嵌入墙身的杆件的嵌入部分有足够的长度, 且杆件不可能有任何移动和转动时, 即可视为固定支座。又如插入杯形基础的柱子, 当有一定插入深度且用细石砼填缝时, 也可视为固定支座。

结点和支座的简化是确定计算简图的重点。如何将实际结构的结点和支承简化为理想的简图, 除了考虑构造所提供的约束性质外, 还要考虑结构的实际受力情况。如: 一根杆件只受轴力, 则此杆两端可用铰与结构的其他部分相联结。又如图 11 的悬臂支架, 为了保证稳定性, 支座则必须按固端考虑。

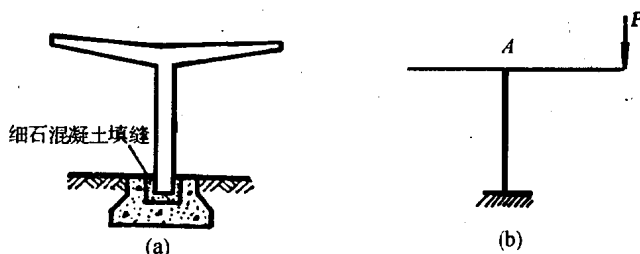


图 11

五、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力(如自重)以及作用在某一面积上的压力(如风压力);但在确定计算简图时需要将它们简化为作用在构件轴线上的线荷载,集中力或者是力偶。

下面举例说明结构计算简图的确定

例 1:图 12 为组合式吊车梁。 AB 为钢筋砼的 T 形截面梁,其余均为角钢的加劲杆,结点为焊接。吊车梁两端通过钢板焊接于柱的牛腿上。

1. 杆件简化:各杆均以其轴线代替。

2. 结点简化:因 AB 是一根整体的钢筋砼梁,故按一连续杆考虑;其余各杆因杆件细长,所以在外力作用下,主要产生轴向变形即主要受轴向力,故两端均按铰结考虑。

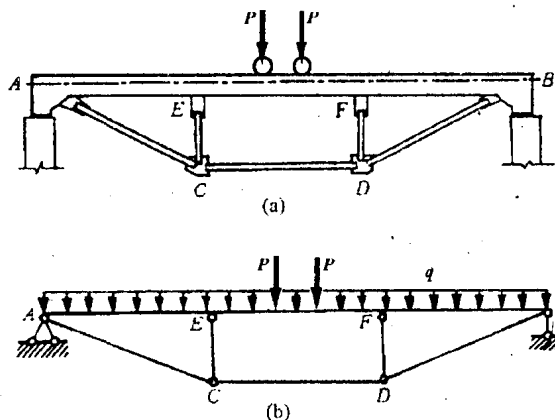


图 12

3. 支座简化:梁的两端搁置在柱子上,整个梁既不能上下移动,也不能水平移动,但梁承受荷载微弯时,梁的两端可以作微小的自由转动。此外,当温度变化时,梁还能自由伸缩。尽管梁两端的支承一样,但为了反映上述支座对梁所起的约束作用并便于计算,可将梁的一端简化为固定铰支座,另一端简化为可动铰支座。

4. 荷载简化:作用在梁上的荷载主要有梁的自重,将它化为作用在轴线上的均布荷载 q ,以及吊车轮压力 P ,由于它们与钢轨的接触面很小,可看成是集中荷载。

整个计算简图见图 12b。

例 2 图 13 为水电站高压水管的构造示

意图。

1. 从纵向来看,水管支承在一系列支托上,固定台很牢固,可看作固定端。而支托可看作支杆,整个水管相当于一连续梁,承受均匀分布的自重和水管内水重,将它们化作沿纵轴分布的均布荷载 q ,计算简图见图 13b。

2. 以上是计算水管纵向应力时所取计算简图。当计算环向应力时,由于水管很长,且每个截面所受的水压力也是一样的,因而可以截取一单位长度的圆环进行计算,要注意此时不仅要考虑管内充满水的情况,还要考虑放空在外压作用下丧失稳定的可能,具体计算简图见图 13c 和 d。

计算简图是内力分析的依据,要十分谨慎。对于新的结构型式往往还需要通过反复试验和实践才能确定。

计算简图一经确定以后,在进行结构设计和施工时措施一定要跟上,以保证计算结果与实际受力吻合。

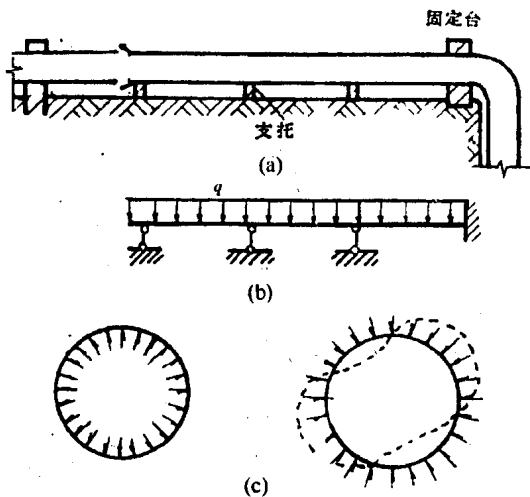


图 13

三、杆件结构的分类

结构的分类实际上是指计算简图的分类。

杆件结构通常可分为以下几类：

(1)梁：梁是一种受弯构件，其轴线通常是直线，可以是单跨的也可能是多跨的(见图 14)。

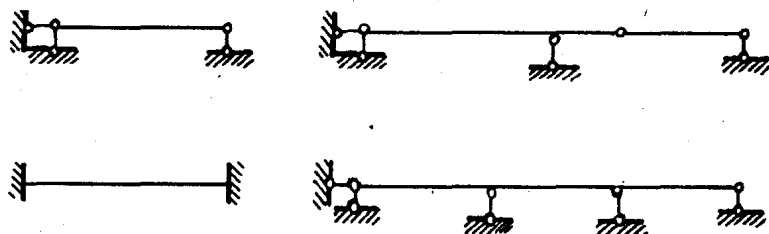


图 14

(2)拱：拱的轴线为曲线，其力学特点是在竖向荷载作用下不仅产生竖向反力而且有水平反力(见图 15)。

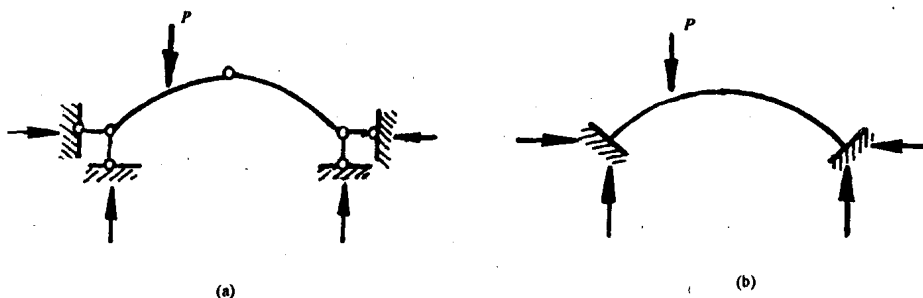


图 15

(3)刚架：刚架是由直杆组成的结构，各杆主要受弯。结点主要是刚结点，也可以有部分是铰结点或组合结点(见图 16)。

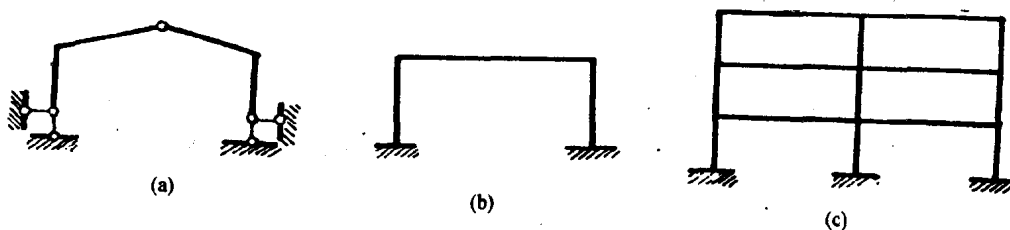


图 16

(4)桁架：桁架是由直杆组成的，所有结点均为铰结点(见图 17)。

(5)组合结构：组合结构是链杆与梁式杆组合而成的结构，其中链杆只受轴力、梁式杆主要受弯曲(见图 18)。

杆件结构可分为平面的和空间的两类。各杆轴线和外力的作用线都在同一平面内的平面结构。不满足上述条件的则称为空间结构。严格地讲，实际的叫结构都是空间结构，不过在进

行计算时,常可根据其受力特点,将它分解为若干平面结构来分析,以达到简化计算的目的。但并非所有结构都能这样处理,有些则必须按空间结构来研究(如图4所示结构)。

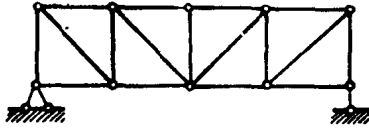


图 17

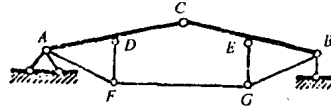


图 18

四、荷载的分类

荷载是主动作用在结构上的外力,例如:结构自重、水压力、土压力、雪压力以及人群重量等。此外,还有其它因素可以使结构产生内力和变形,如温度变化、基础沉降、材料收缩等。从广义上说,这些因素也可称为荷载。

根据荷载作用的时间,可以分为恒载和活载两类。

恒载是长期作用在结构上的不变荷载,如自重、土压力等。活载是在建筑物施工和使用过程中可能存在的可变荷载,如人群、临时设备、吊车荷载、雪载和风载等,活载又可分为分布荷载(如人群荷载、风载、雪载等)和一组可移动的集中荷载(如吊车梁上的吊车荷载、桥梁上的车辆荷载等)两种。

根据荷载作用的性质,可以分为静力荷载和动力荷载两类。静力荷载的大小、方向和位置不随时间变化或变化极为缓慢,不使结构产生显著的加速度,因而惯性力的影响可以忽略,例如结构的自重和其它恒载。动力荷载则随时间迅速变化,使结构产生显著的加速度,因而惯性力的影响不能忽略。例如机械的振动、爆炸冲击、地震等所引起的荷载。

对于车辆荷载、风载在设计中一般简化为静力荷载,但在特殊情况下要按动力荷载考虑。一种荷载是按静载还是按动载考虑,应根据结构本身的动力特性来定,比如同一种风载对低矮建筑按静载考虑,对高柔结构则须按动载考虑。

本书只讨论在静力荷载作用下的计算问题。

第十四章 平面体系的几何组成分析

§ 14-1 几何组成分析的目的

通过引言的学习,我们知道结构是用来承担荷载的,而杆件结构是由若干构件相互联接所组成的体系,并与地基构成一个整体。因此,当不考虑各构件自身的变形时,结构在荷载作用下应能保持其原有的几何形状和相对位置不变,即杆件结构的各构件之间及整个结构与地基之间应不发生相对运动。

那么是不是由若干构件任意联结所组成的体系都能作为结构,用来承担荷载呢?下面先看两个例子,

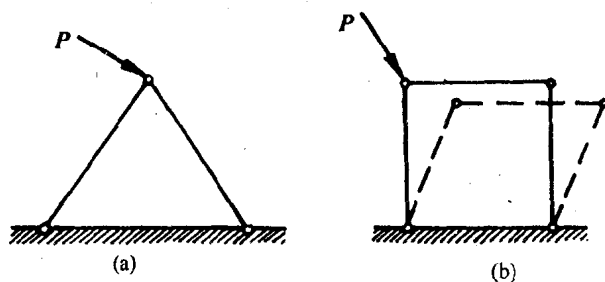


图 14-1

在不考虑构件本身变形的条件下,图 14-1a 所示体系在任意荷载作用下都能保持其原有的几何形状和相对位置不变,这类体系被称为几何不变体系;而图 14-1b 所示体系,即使在很小的荷载作用下,也将引起几何形状的改变,这类体系被称为几何可变体系。显然,只有几何不变体系才能作为结构而被采用。

对体系几何组成进行的这种分析就叫做几何组成分析。几何组成分析的目的在于:判别一个体系是否几何不变,能否作为结构使用。为此,需要研究几何不变体系的组成规则和几何组成分析的方法。另外,通过本章学习可以弄清结构的组成方式,为正确区分静定结构和超静定结构以及进行结构计算打下基础。

在本章中,除非特别说明,所有构件都不考虑自身变形,均视为刚体。

§ 14-2 平面体系的几个基本概念

为了研究几何不变体系的组成规则 and 进行几何组成分析,下面介绍几个将要用到的基本概念。

一、链杆与刚片

所谓链杆,就是一根在其两端通过铰与其它部份联结的直杆。需要指出的是,链杆还有很多变化形式,也就是说还有很多结构形式可以等效于一根链杆。

所谓刚片,就是体系中可以视为几何不变的部份,一根链杆、一根梁、由若干构件组成的几何不变部份及基础等均可视为刚片。

二、自由度

体系的自由度即为确定体系运动位置所需的独立坐标数。图 14-2a 所示质点 A 可以在平面内自由运动,因需 x 和 y 两个独立坐标才能定下它的运动位置,所以该质点的自由度为 2。图 14-2b 所示刚片可在平面内自由运动,要确定刚片的运动位置,可先用 x 、 y 两个独立坐标确定刚片上一点 A 的运动位置,然后再在刚片上任找一点 B ,将 A 、 B 连线,令 AB 与 x 轴夹角为 φ ,那么 φ 角可确定刚片绕 A 转动的情况,

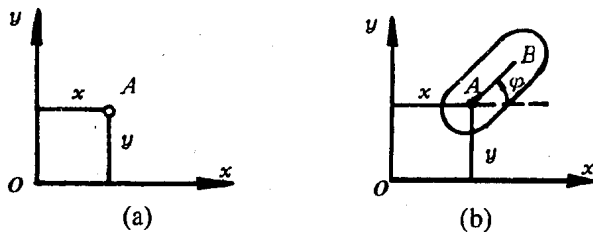


图 14-2

这样通过 x 、 y 和 φ 三个独立坐标即可确定刚片的运动位置,因此刚片的自由度为 3。

三、联系(约束)

所谓联系,就是能减少自由度的装置。减少一个自由度的装置即为一个联系,并以此类推。联系主要有链杆,单铰(即联结两个刚片的铰)和刚结三种形式。假设有两个刚片,其中一个不动设为基础,此时体系的自由度为 3。若用一链杆将它们联接起来,如图 14-3a 所示,则除了确定链杆连接处 A 需一转角坐标 φ_1 外,确定刚片绕 A 转动还需一转角坐标 φ_2 ,此时只需

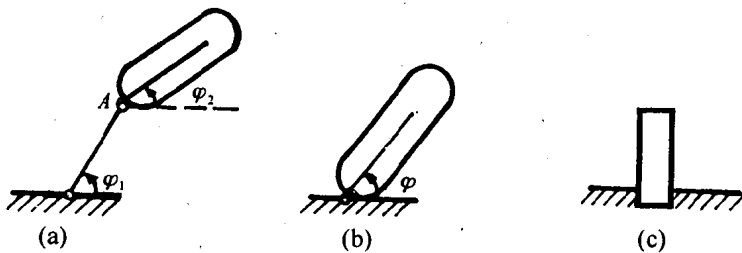


图 14-3

两个独立坐标就能确定该体系的运动位置。体系的自由度为 2,它比没有链杆时减少了一个

自由度,所以一根链杆为一个联系。若用一个单铰把刚片同基础连接起来,如图 14-3b 所示,则只需转角坐标 φ 就能确定体系的运动位置,这时体系比原体系减少了两个自由度,所以一个单铰为两个联系。若将刚片同基础刚性联结起来,则它们成为一个整体,都不能动,体系的自由度为 0,因此刚结为三个联系。

一个平面体系,通常都是由若干个构件加入一定联系组成的。加入联系的目的是为了减少体系的自由度。如果在体系中增加一个联系,而体系的自由度并不因此而减少,则该联系被称为多余联系。

如图 14-4 所示,平面内有一自由点 A ,在 a 图中 A 点通过两根链杆与基础相联,这时两根链杆分别减少一个自由度而使 A 点固定不动,因而两根链杆都非多余联系。在 b 图中 A 点通过三根链杆与基础相连,这时 A 虽然固定不动,但减少的自由度仍然为 2,显然三根链杆中有一根没有起到减少自由度的作用,因而是多余联系(可把其中任意一根作为多余联系)。



图 14-4

§ 14-3 几何不变体系的基本组成规则

在进行几何组成分析之前,下面先研究几何不变体系的基本组成规则,以便作为分析的依据。

一、三刚片规则

三个刚片用三个不在一条直线上的铰两两相连,组成的体系为几何不变体系,且无多余联系。

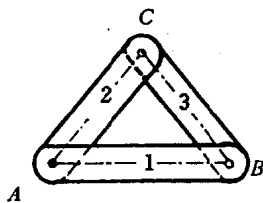


图 14-5

如图 14-5 所示,刚片 I、II、III 用不在一条直线上的 A 、 B 、 C 三个铰两两相联。不失一般性,若将刚片 I 固定不动。则刚片 II 只能绕 A 点转动,其上的 C 点必须在半径为 AC 的圆弧上运动;而刚片 III 则只能绕 B 点转动,其上的 C 点则必须在半径为 BC 的圆弧上运动。因 C 点不可能同时在两个不同的圆弧上运动,故知各刚片间不可能发生相对运动,所以该体系是几何不变的。这个新刚片的自由度为 3,而体系中三个刚片的自由度减去三个单铰的联系数所得自由度也为 3,因此体系没有多余联系。

二、两刚片规则

两个刚片用不全交于一点也不全平行的三根链杆相连,组成的体系是几何不变体系,且无多余联系。

要证明两刚片规则,下面先证明联结两个刚片的两根链杆相当于一个单铰。用两根链杆

连接两个刚片可分为图 14-6 所示的三种情况：

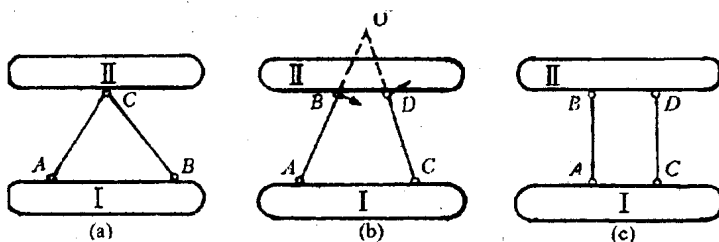


图 14-6

对于图 a, 由于刚片 II 可以绕 c 点自由转动, 所以 AC、BC 链杆构成一个铰。对于图 b, 两链杆的延长线交于一点 O , 设刚片 I 固定不动, 则 A、C 两铰将固定, 当刚片 II 运动时, 其上 B 点将沿与 AB 杆垂直的方向运动, 而其上 D 点则将沿与 CD 杆垂直的方向运动, 这时 B 点和 D 点也可以看成是在绕 AB 与 CD 两杆延长线的交点 O 转动。根据理论力学的知识, 刚片 II 在该时刻的运动可看成是绕 O 点的转动。同理可知, 若刚片 II 固定不动, 则刚片 I 此刻的运动也可看成是绕 O 点的转动。因此, 称 O 点为刚片 I 和 II 的相对转动瞬心。此情形就象把刚片 I 和 II 用圆柱铰在 O 点相联一样, 不过现在这个铰位于两链杆的延长线交点上, 且其位置随着链杆的运动而改变。由于这种铰的特殊性, 为了区别于普通铰, 把它称为虚铰。至于图 c, 两根链杆彼此平行, 它只是图 b 的特殊情况, 这时可视虚铰在无穷远处。

下面再来证明两刚片规则。

如图 14-7a 所示, 两个刚片用三根不全交于一点也不全平行的链杆相连。由于 AB、CD 两链杆相当于一个铰, 铰的位置在两链杆延长线的交点 O , 再把链杆 EF 看作刚片, 则根据三刚片规则, 体系为几何不变体系, 且无多余联系, 规则由此得证。两刚片规则还有一个推论, 即两个刚片由一个铰和轴线不通过该铰的一根链杆相连, 组成的体系为几何不变体系, 且无多余联系。如图 14-7b 所示, 该推论只要把 CB 链杆看成刚片, 利用三刚片规则即可得证。

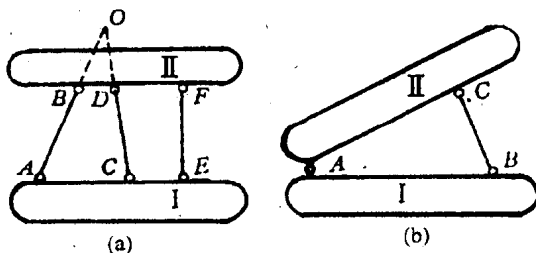


图 14-7

三、二元体规则

增加或去掉二元体不改变体系几何组成分析的结论。

所谓二元体是指两根不在一条直线上的链杆一端相互铰结, 另一端分别与体系的其它部分铰结的装置。

如图 14-8 所示, 一个二元体实际上是由两根杆和三个铰组成的, 它增加了六个自由度同时又减少了六个自由度, 因此对原体系和增、减二元体后所得新体系进行几何组成分析会得到相同的结论。

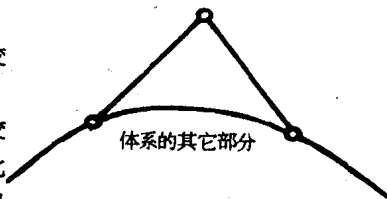


图 14-8

显然, 几何不变体系的三个组成规则并不完全独立, 提出多种形式的主要目的是为了应用方便。如图 14-9 所示, 刚片 ADE、EB 与基础用 A、E、B 三铰两两相连, 根据三刚片规则组成新刚片, 然后它与刚片 EFC 通过铰 E 和链杆 C 相连, 根据两刚片规则推论组成更大的刚片, 它再与刚片 DG、FG 相连, 根据三刚片规则组成一个较复杂的几何不变体系, 且无多余联系。又如图 14-10 所示, 从铰结三角形 123 组成的刚片开始, 依次增加二元体可构成整个体系, 因此体系为几何不变体系, 且无多余联系; 另一方面如果从结点 1 开始依次去掉二元体, 最后只剩下一根链杆 9, 10 为刚片, 这样也可得体系为几何不变体系且无多余联系。值得一提的是: 在