

高等教育精品课程规划教材

力学与结构(上册)

主 编：李 伟

天津出版传媒集团

 天津科学技术出版社

力学与结构

(上册)

主 编 李 伟

副主编 代 林 许法轩 卢向往

天津出版传媒集团



天津科学技术出版社

图书在版编目(CIP)数据

力学与结构 : 全2册/李伟主编. -天津: 天津科学技术出版社, 2014. 8

ISBN 978-7-5308-9116-2

I. ①力… II. ①李… III. ①建筑科学-力学 ②建筑结构 IV. ①TU3

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2014)第 185991 号

责任编辑: 石 崑

责任印制: 兰 毅

天津出版传媒集团

 天津科学技术出版社

出版人: 蔡 颢

天津市西康路 35 号 邮编 300051

电话(022)23332369(编辑室)

网址: [www. tjkcbs. com. cn](http://www.tjkjcs.com.cn)

新华书店经销

北京俊林印刷有限公司印刷

开本 787×1092 1/16 印张 23 字数 480 000

2014 年 8 月第 1 版 第 1 次印刷

定价: 59. 90 元(上下册)

前 言

力学与结构是土木工程等专业的一门主要专业基础课,在基础课和专业课之间起着承上启下的作用,是土木工程专业一门重要的主干课程。本书是根据职业技术教育的人才培养目标及教育部高等学校非力学专业力学基础课程教学指导分委员会通过的“力学与结构课程教学基本要求”编写的。

本书在编写过程中,注意吸取众多同类教材的长处和以往的教学经验,保持力学与结构基本理论的系统性,满足土木工程专业各方向的教学要求,反映本学科的新发展。本教材适合应用型多学时的力学与结构课程,与同类教材相比有如下特点。

(1)注重贯彻精讲精练、理论联系实际、由浅入深等原则,力求做到说理透彻、脉络清晰,符合学生的认识规律,方便教学又利于自学。

(2)注意与先修课程的平滑过渡。

(3)注重贯穿课程中的分析方法和基本理论及其在各种结构中的应用,主线清晰。

(4)例题力求深化基本概念。

(5)注意启发式编写,为学生独立思考留了适当的空间。

全书除绪论外共分十一章:平面体系的几何组成分析、平面力系的合成与平衡、轴向拉伸和压缩变形时的强度计算、静定结构的位移计算、静定结构内力计算、静定结构的内力分析、钢筋混凝土结构设计的基本原理、钢筋混凝土受弯构件设计、钢筋混凝土楼(屋)盖、砌体结构、钢结构等内容。

本书由李伟担任主编,代林、许法轩、卢向往担任副主编。其中李伟编写了第一章、第二章、第三章、第四章,约计十万字;新疆石河子职业技术学院的代林编写了第五章、第六章、第七章,约计八万字;河南建筑职业技术学院的许法轩、卢向往共同编写了第八章、第九章、第十章、第十一章,约计八万字。

由于水平所限,难免有不足之处,敬请读者批评指正。

编 者

目 录

第一章 平面体系的几何组成分析	(1)
第一节 平面体系的概述	(1)
第二节 平面体系自由度和约束概念	(2)
第三节 几何不变体系的简单组成规则	(3)
第四节 平面体系的自由度计算及几何组成分析举例	(6)
思考题	(8)
第二章 平面力系的合成与平衡	(10)
第一节 力系简化的基础知识	(10)
第二节 力矩与力偶	(14)
第三节 平面力系的合成	(17)
第四节 平面力系平衡方程的应用	(23)
思考题	(28)
第三章 轴向拉伸和压缩变形时的强度计算	(29)
第一节 轴向拉压杆的内力及内力图绘制	(29)
第二节 轴向拉压杆的应力	(32)
第三节 材料在拉伸与压缩时的力学性能	(35)
第四节 拉压杆的强度计算	(37)
第五节 轴向拉压杆的变形计算	(41)
思考题	(43)
第四章 静定结构的位移计算	(44)
第一节 概述	(44)
第二节 静定结构由于支座移动所引起的位移计算	(45)
第三节 静定结构在荷载作用下的位移计算	(49)
第四节 图乘法计算梁和刚架的位移	(54)
第五节 线弹性体系的互等定理	(60)
思考题	(63)
第五章 静定结构内力计算	(64)
第一节 静定梁内力计算	(64)
第二节 静定平面刚架	(72)
第三节 三铰拱	(75)
第四节 静定平面桁架	(81)
第五节 静定结构的特性	(88)
思考题	(90)



第六章 摩 擦	(92)
第一节 滑动摩擦	(92)
第二节 摩擦角和自锁现象	(94)
第三节 考虑摩擦时物体的平衡问题	(96)
思考题	(99)
第七章 钢筋混凝土结构设计的基本原理	(101)
第一节 结构计算的基本要求	(101)
第二节 结构的作用、作用效应和结构抗力	(103)
第三节 概率极限状态的计算表达式	(107)
思考题	(110)
第八章 钢筋混凝土受弯构件设计	(112)
第一节 受弯构件正截面受弯承载力计算	(112)
第二节 矩形截面简支楼面梁的设计	(124)
第三节 雨篷梁的设计	(133)
思考题	(137)
第九章 钢筋混凝土楼(屋)盖	(138)
第一节 现浇肋形楼盖	(139)
第二节 装配式楼盖	(145)
第三节 钢筋混凝土楼梯	(150)
思考题	(157)
第十章 砌体结构	(158)
第一节 砌体材料	(158)
第二节 砌体的种类及力学性能	(161)
第三节 混合结构房屋的结构布置方案	(163)
第四节 砌体结构的构造要求	(166)
第五节 过梁、挑梁	(168)
第六节 多层砖砌体房屋抗震构造措施	(170)
思考题	(175)
第十一章 钢结构	(176)
第一节 钢结构的特点及应用	(178)
第二节 钢结构的结构原理认识	(184)
第三节 钢结构连接的种类及其特点	(190)
第四节 焊缝连接	(191)
第五节 螺栓连接	(203)
第六节 铆钉连接	(211)
思考题	(217)

第一章 平面体系的几何组成分析

【学习目标】

1. 掌握无多余约束几何不变体系的基本组成规则。
2. 灵活应用几何不变体系的基本组成规则分析平面杆件体系的几何组成。

第一节 平面体系的概述

一、几何组成分析的目的

杆件结构受到荷载作用时，截面上产生内力的同时，结构也发生变形。这种变形一般是微小的，在满足刚度要求的前提下，并不影响结构的正常使用。而分析结构的几何组成时，不考虑由于材料应变引起的变形。杆件体系按照其几何组成可分为两类：①体系受到荷载作用后，其几何形状和位置都不改变者，称为“几何不变体系”，如图 1-1(a) 所示；②体系受到荷载作用后，其形状和位置是可以改变者，称为“几何可变体系”，如图 1-1(b) 所示。

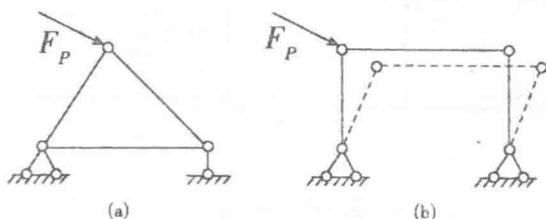


图 1-1 几何不变体系

作为结构必须是几何不变体系。分析体系是属于几何不变体系还是几何可变体系，以确定它们属于哪一类体系的过程，称为“体系的几何组成分析 (geometrical mechanism-law of plane structures)”。在几何组成分析中，由于不考虑杆件的变形，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，平面内的刚体称为“刚片”。本章只讨论平面问题。

对体系进行几何组成分析的目的在于：①判别某一体系是否几何不变，从而决定它



能否作为结构；②研究几何不变体系的组成规则，以保证所设计的结构能承受荷载并维持平衡；③区分静定结构和超静定结构，以指导结构的内力计算。

二、刚片

对体系进行几何组成分析时，由于不考虑材料的变形，所以各个构件均为刚体。由若干个构件组成的几何不变体系也是一个刚体，称为“刚片”。

第二节 平面体系自由度和约束概念

一、自由度

为了便于对体系进行几何组成分析，先讨论平面体系自由度的概念。所谓体系的自由度，是指该体系运动时，用来确定其位置所需独立坐标的数目。图 1-2(a) 所示为平面内一点 A 的运动情况， A 点可以沿着 x 轴方向和 y 轴方向移动，即点在平面内可以做两种相互独立的运动。因为确定平面上一个质点的位置需要 2 个独立的坐标 (x, y) 或 (α, ρ) ，故一个质点在平面内运动有 2 个自由度 ($W = 2$)。图 1-2(b) 所示为平面内一刚片 (即平面刚体) 的运动情况，当刚片内任一点 A 由坐标 (x, y) 确定后，刚片仍有绕 A 转动的可能，如果将反映转动的角位移 φ 进一步确定后，则刚片的位置即完全确定，因此独立坐标数为 3 个，故一个刚片在平面内运动时有 3 个自由度 ($W = 3$)，即刚片在平面内不但可以自由移动，而且还可以自由转动。

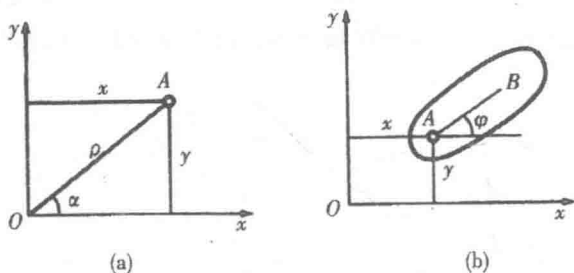


图 1-2 自由度

二、约束

当对刚片施加约束装置时，它的自由度将会减少，将能减少一个自由度的装置称为“一个约束”。常见的约束有链杆和铰。用一根链杆将刚片与基础相连 (图 1-3(a))，则刚片将不能沿链杆方向移动，因而减少了一个自由度，故一根链杆为一个约束。用一个铰把两个刚片连接起来 (图 1-3(b))，这种连接两个刚片的铰称为单铰，刚片 I 的位置由 A 点的坐标 (x, y) 和倾角 φ_1 确定；刚片 II 的位置由刚片上另一直线的倾角 φ_2 确定，只能



绕A点做转动而丧失自由移动的可能,减少了2个自由度。由上述可见,一个单铰相当于两个约束,也相当于两根相交链杆的约束作用。同理可知,连接3个刚片的铰能减少4个自由度,相当于4个链杆,因而可以把它看作两个单铰(图1-3(c))

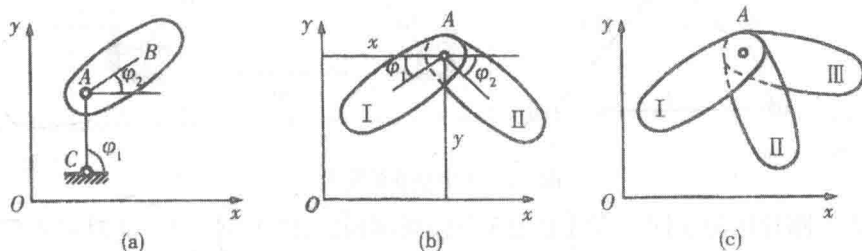


图 1-3 约束

那么,当 n 个刚片用一个铰连接时,从减少自由度的观点来看,可以当作 $n-1$ 个单铰。

三、多余约束

如果在体系上增加一个约束而不减少体系的自由度,则称此约束为“多余约束”。例如图1-4所示体系,AB部分用固定端与地基连接成为几何不变体系,支座A的两根链杆对于保证体系的几何不变性来说是多余的,故该体系具有两个多余约束。

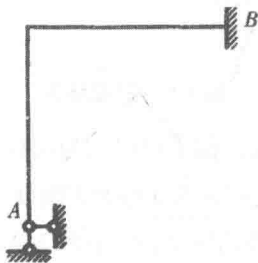


图 1-4 多余约束

第三节 几何不变体系的简单组成规则

几何组成分析的主要课题是无多余约束几何不变体系的组成规律。几何不变体系的基本组成规则有三个。

一、三刚片的组成规则

3个刚片用不在同一直线的3个铰两两相连,组成的体系是几何不变的,且没有多余约束。如图1-5所示,平面中3个独立的刚片I、II、III用不在同一直线上的3个铰A、B、C两两相连,这3个刚片组成一个三角形,如同用3条线段AB、BC、CA做一三角形。由平面几何知识可知,用3条定长的线段只能做出一个形状和大小都固定的三角

形, 所以该体系是几何不变的。

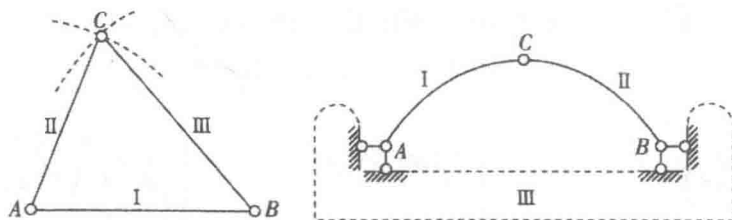


图 1-5 3 个独立的刚片

如果 3 个刚片用位于同一直线上的 3 个铰两两相连(图 1-6(a)), 此时 C 点位于以 AC 和 BC 为半径的两个圆弧的公切线上, C 点可沿此公切线做微小的移动。不过在发生一微小移动后, 3 个铰就不再位于一直线上, 运动也就不再继续, 故此体系是一个瞬变体系。

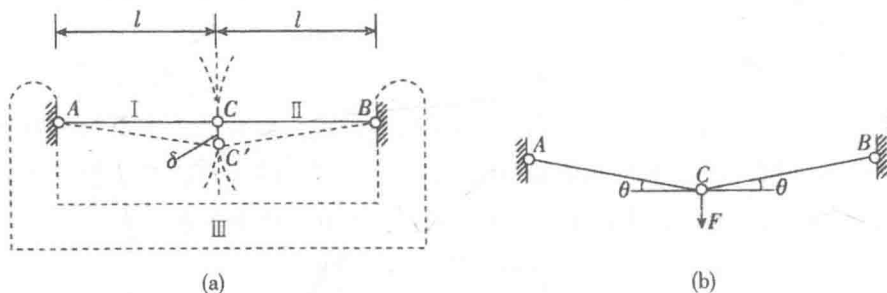


图 1-6 瞬变体系

瞬变体系只发生微小的相对运动, 似乎可以作为结构, 但实际上当此体系受力时可能出现很大的内力而导致破坏, 或者产生过大的变形而影响使用。例如图 1-6(b) 所示瞬变体系在外力 F 作用下, 铰 C 向下发生一微小的位移, 由平衡条件可知, AC 和 BC 杆的轴力为

$$F_n = \frac{F}{2\sin\theta}$$

因为 θ 为一无穷小量, 所以

$$F_n = \lim_{\theta \rightarrow 0} \frac{F}{2\sin\theta}$$

可见, 杆 AC 和 BC 将产生很大的内力和变形, 从而导致体系破坏。由此可知, 在工程中是不能采用瞬变体系的。

二、两刚片的组成规则

两刚片用既不完全平行, 也不相交于一点的 3 根链杆连接, 所组成的体系是几何不变的, 且没有多余约束。

如图 1-7(a) 所示, 刚片 I 和刚片 II 用两根不平行的链杆 AB 和 CD 连接。为了分析两刚片间的相对运动情况, 设刚片 I 固定不动, 刚片 II 将可绕 AB 与 CD 两杆延长线的交点 O 转动;



反之,若设刚片Ⅱ固定不动,则刚片Ⅰ也将绕 O 点转动,则将 O 点称为刚片Ⅰ和Ⅱ的“相对转动瞬心”。上述连接刚片Ⅰ和刚片Ⅱ的两根链杆的作用相当于其交点处的一个单铰,而这个铰的位置随着链杆的转动而改变,称为“虚铰”。如图1-7(b)所示,在体系中增加 EF 杆,限制了刚片Ⅰ和刚片Ⅱ之间的相对转动,故该体系为几何不变体系。

两刚片如图1-7(c)所示,用3根延长线相交于一点的杆件相连时,由于 O 点为3根杆共同组成的虚铰,所以刚片Ⅰ相对刚片Ⅱ将会发生绕 O 点的瞬间转动,但由于该体系瞬间转动后3根杆不再相交于一点而成为几何不变体系,故刚片Ⅰ与刚片Ⅱ组成瞬时可变体系。这种在某一瞬间可以产生微小运动的体系称为“瞬变体系”。

图1-7(d)所示三杆形成一实铰 O ,显然刚片Ⅰ有绕 O 点转动的自由度,因此刚片Ⅰ与刚片Ⅱ构成几何可变体系。

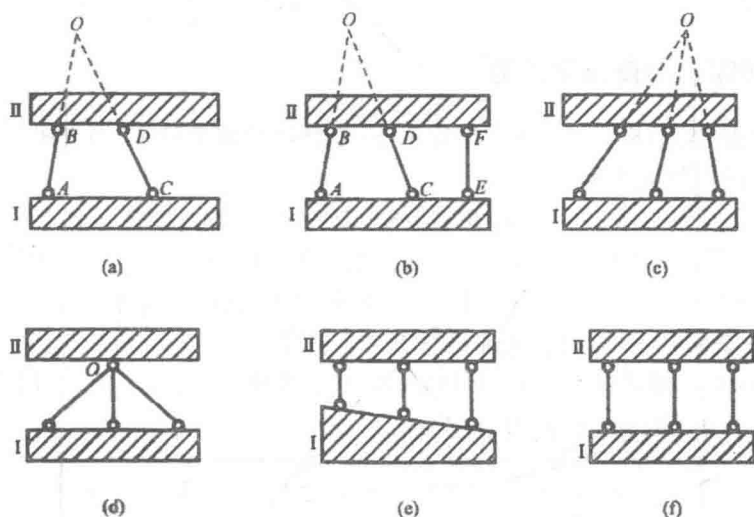


图 1-7 两刚片的组成规则

两刚片用如图1-7(e)所示的3根平行但不等长的链杆连接时,刚片Ⅰ相对刚片Ⅱ将会发生瞬时移动,但由于瞬时移动后3杆即不平行,因此这种连接体系也属于瞬时可变体系。当3杆平行且等长时,如图1-7(f)所示,一般属于几何可变体系。

三、二元体规则

在一个刚片上增加或减少一个二元体,仍为几何不变体系,且没有多余约束。

图1-8所示体系是按照三刚片规则组成的。如果把3个刚片中的一个作为刚片,而把另外两个看作链杆,则可以认为体系是这样组成的:在一个刚片上增加两根不在一直线上的链杆,链杆的另一端用铰相连。这种由两根不共线的链杆连接一个新结点的装置,称为“二元体”。试分析图1-9所示体系。

解 如图1-9所示,以铰接三角形123为基础,增加一个二元体得结点4,1234为几何不变体系,如此依次增加二元体,最后的体系为几何不变体系,没有多余联系。或从



结点 10 开始拆除二元体, 依次拆除结点 9, 8, 7……最后剩下铰接三角形 123 是几何不变的, 故原体系为几何不变体系, 没有多余联系。

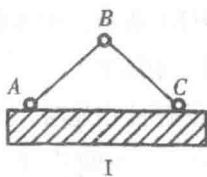


图 1-8 元体

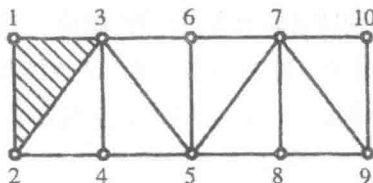


图 1-9 例图

第四节 平面体系的自由度计算及几何组成分析举例

一、平面体系的自由度计算

m 个刚片组成的结构, 若用 h 个单铰相连(复铰转换成单铰), 当支座链杆数为 r 时, 结构自由度 W 的数目应为

$$W = 3m - 2h - r \quad (1-1)$$

【例 1-1】计算图 1-10(a)、(b) 所示两个结构体系的自由度。

解 图 1-10(a) 中: 刚片数 $m = 8$, 单铰数 $h = 10$, 支座链杆数 $r = 3$, 代入式(1-1), 得 $W = 3 \times 8 - 2 \times 10 - 3 = 1$, 此体系有 1 个自由度。

图 1-10(b) 中: 刚片数 $m = 9$, 单铰数 $h = 12$, 支座链杆数 $r = 3$, 应用式(1-1), $W = 3 \times 9 - 2 \times 12 - 3 = 0$, 此体系自由度为 0。

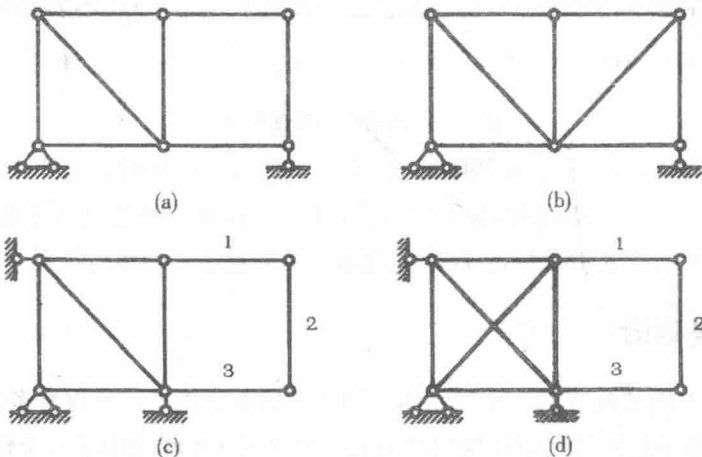


图 1-10 例 1-1 图

因为上述桁架体系各结点均为铰接, 且各杆件均为链杆, 考虑到一个铰结点有两个自由度, 而一根链杆减少一个自由度, 故还可建立如下自由度计算公式

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

式中 j 为铰结点个数, b 为链杆数(不含支座链杆)。



【例 1-2】计算图 1-11 所示体系的自由度。

解 结点数 $j = 6$, 杆件数 $b = 9$, 支座链杆数 $r = 3$, 则

$$W = 2 \times 6 - (9 + 3) = 0$$

另一种解法: (按铰接计算) 6 个铰结点, 12 根单链杆, $W = 2 \times 6 - 12 = 0$ 。

当 $W > 0$ 时, 由于结构有自由度, 结构的整体或局部在适当荷载作用下必将发生刚体运动, 这种结构显然应属于几何可变体系。图 1-10(a) 即为这种体系。

当 $W = 0$ 时, 似乎结构应为几何不变体系, 对图 1-10(b) 而言, 确实属于这种状况。但图 1-10(c) 中 W 也为零, 从图中不难看出结构右端 1、2、3 杆将会发生刚体运动, 因此该体系实为几何可变体系。由于 $W = 0$ 时, 3 种体系(可变、不变、瞬变)都有存在的可能性, 所以 $W = 0$ 不能作为几何不变体系的充分条件。

当 $W < 0$ 时, 结构似乎不仅应为不变体系, 而且应存在多余的约束(或联系), 但图 1-10(d) 表明, 本来 $W = -1$ 的结构, 由于内外部组成的不合理, 致使结构仍为几何可变体系。

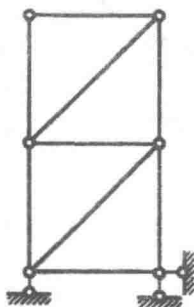


图 1-11 例 1-2 图

上述分析表明, 自由度 $W > 0$ 的结构一定是几何可变体系, 而自由度 $W \leq 0$ 的结构有可能是几何不变体系。正是由于仅用自由度不足以充分判别几何不变体系, 所以下面将要叙述的几何组成规则是重要的。

二、几何组成分析举例

【例 1-3】试对图 1-12(a) 所示体系进行几何组成分析(或称“机动分析”)。

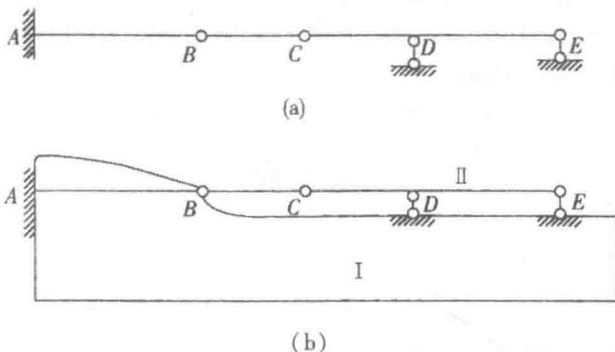


图 1-12 例 1-3 图

解 如图 1-12(b) 所示, 将大地作为刚片, 由于 A 为固定端, 所以大地与 AB 梁将形



成一个扩大的刚片 I，将 CE 梁视为一刚片 II， BC 视为链杆，则 I、II 两刚片间用 3 根不全平行也不全交于一点的链杆相连，根据规则一，此连续梁为一几何不变体系且无多余联系（一般称为“多跨静定梁”）。

【例 1-4】分析图 1-13(a) 所示体系。

解 首先由 BF 、 FC 、 CB 三根杆组成刚片 I，由 AE 、 ED 、 DA 组成刚片 II，刚片 I、II 由既不完全平行，也不交汇于一点的链杆 1、2、3 连接，如图 1-13(b) 所示，根据两刚片规则可知，该体系为几何不变体系。

【例 1-5】试对图 1-14(a) 所示体系进行机动分析。

解 首先分析体系与地基有 4 根链杆相连，因此选择地基作为刚片 III，三角形 ABD 作为刚片 I，三角形 BCE 作为刚片 II（图 1-14(b)）。刚片 I 和 II 用铰 B 相连，刚片 I 和 III 用铰 A 相连。刚片 II 和 III 呢？分析无法进行下去。

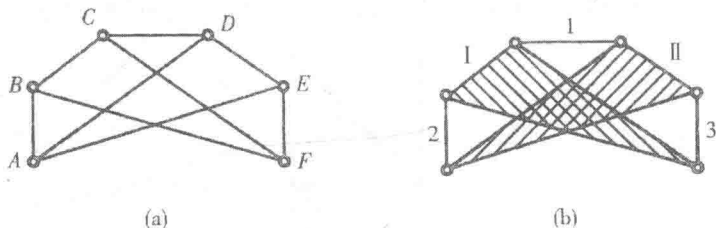


图 1-13 例 1-4 图

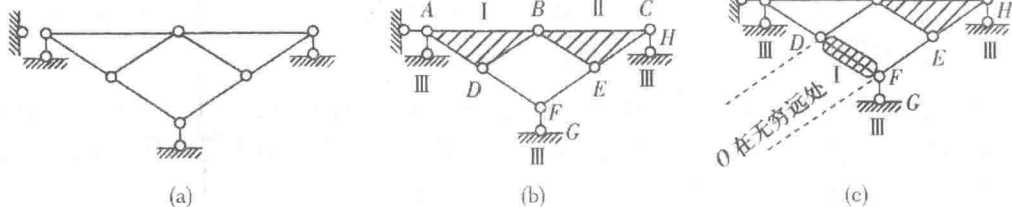


图 1-14 例 1-5 图

另选刚片：地基作为刚片 III，杆件 DF 和三角形 BCE 作为刚片 I、II（图 1-14(c)）。刚片 I 和 II 用链杆相连，虚铰 O 在两杆延长线的无穷远处；刚片 I 和 III 用链杆 AD 、 FG 相连，虚铰在 F 点；刚片 II 和 III 用链杆 AB 、 CH 相连，虚铰在 C 点。三铰在一条直线上，体系为瞬变体系。

思考题

1. 几何组成分析的假定和目的是什么？
2. 为什么自由度 $W \leq 0$ 的体系不一定就是几何不变的？试举例说明。
3. 做平面体系组成分析的基本思路、步骤为何？
4. 什么是瞬变体系？为什么土木工程中要避免采用瞬变体系？
5. 不变体系有多余联系时，使其变成无多余联系的几何不变体系是否唯一？

6. 试对图 1-15 所示体系进行几何组成分析。

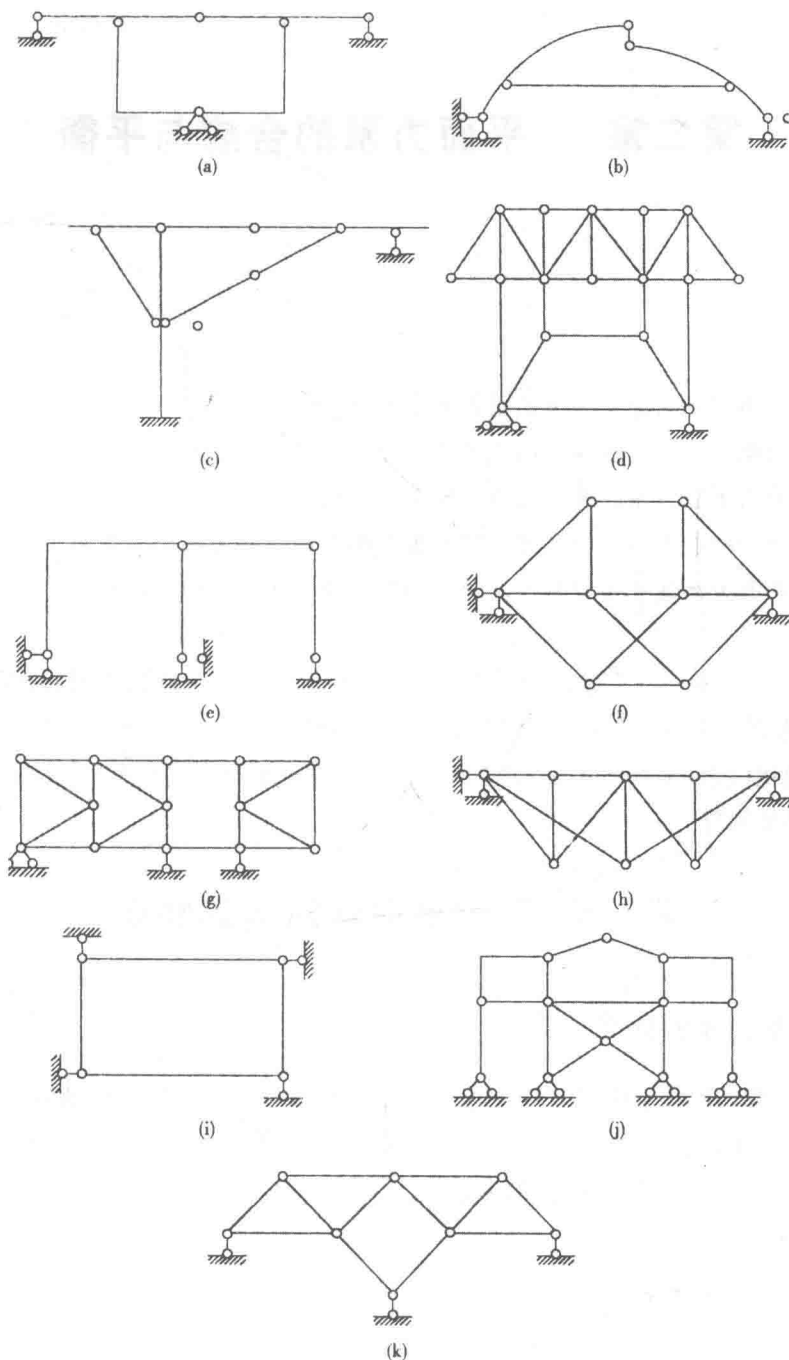


图 1-15 第 6 题图

第二章 平面力系的合成与平衡

【学习目标】

1. 了解平面力系的分类和力的投影基本知识。
2. 理解力矩、力偶、力偶矩的基本概念。
3. 掌握平面汇交力系、平面力偶系的简化方法。
4. 熟悉平面一般力系的简化方法，掌握求解平面一般力系的主矢和主矩的方法。
5. 应用平面力系的平衡方程计算单个物体和简单物体系的平衡问题。

静力学是研究物体在力系作用下平衡规律的科学，主要解决两类问题：① 将作用在物体上的力系进行简化，即用一个简单的力系等效地替换一个复杂的力系，这类问题称为“力系的简化(或合成)问题”；② 建立物体在各种力系作用下的平衡条件，这类问题称为“力系的平衡问题”。

第一节 力系简化的基础知识

一、平面力系的分类

在静力学中，为便于研究问题，通常按力系中各力作用线分布情况的不同分为平面力系和空间力系两大类。各力的作用线均在同一平面上的力系称为“平面力系”；作用线不全在同一平面上的力系称为“空间力系”。其中，平面力系包括平面汇交力系、平面平行力系和平面一般力系。

1. 平面汇交力系

在平面力系中，各力的作用线均交汇于一点的力系，称为“平面汇交力系”。如图 2-1(a) 所示，力 F 拉动球体前进，球体受到拉力 F 、重力 P 、地面反力 N_B 以及石块的反力 N_A 的作用，以上各力的作用线都在铅垂平面内且交汇于球体重心 C 点。

2. 平面平行力系

各力的作用线在同一平面内并且互相平行的力系称为“平面平行力系”。如图 2-1(b)

所示, 起重机上所受的力系可以简化为平面平行力系。

3. 平面一般力系

各力的作用线不全交汇于一点, 也不全互相平行的平面力系称为“平面一般力系”。如图 2-1(c) 所示的三角形屋架, 其厚度比其他 2 个方向的尺寸小得多, 这种结构可简化为平面结构。三角形屋架承受屋面传来的竖向荷载 F_P 、风荷载 F_Q 以及两端支座的约束反力 F_{Ax} 、 F_{Ay} 、 F_B , 这些力组成平面一般力系。

平面一般力系是工程上最常见的力系, 很多实际问题都可简化成平面一般力系。平面汇交力系及平面平行力系可视为平面一般力系的特例。

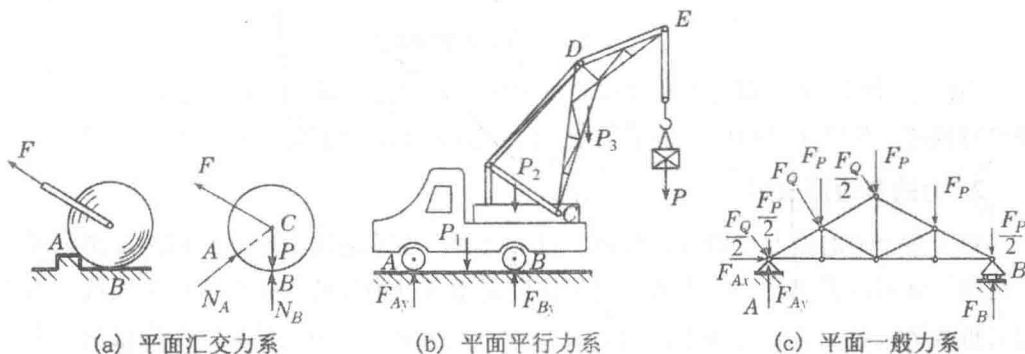


图 2-1 平面力系

在求解平面力系问题时, 一般采用解析法。解析法是以力在坐标轴上的投影为基础的, 为此, 先介绍力在坐标轴上的投影。

二、力的合成

1. 力的平行四边形法则

作用于物体上同一点的两个力, 可以合成为一个合力, 合力也作用在该点上, 合力的大小和方向则由以这两个分力为邻边所构成的平行四边形的对角线来表示, 这种合成力的方法称为“力的平行四边形法则”, 合力矢量就是分力的矢量和。

如图 2-2 所示, 按同一比例做出了以作用于 A 点的两个力为邻边构成的平行四边形, 其对角线代表合力的大小和方向, 三个力的几何关系可用矢量式表示为

$$\vec{F}_R = \vec{F}_1 + \vec{F}_2 \quad (2-1)$$

应用平行四边形法则求得的作用在物体上同一点的两个力的合力, 在运动效应和变形效应上, 都与原来的两个力等效。

从图 2-2(a) 容易看出, 在用矢量加法求合力矢量时, 只要做出力的平行四边形的一半, 即一个三角形, 称为“力三角形”, 这种求合力矢量的方法称为“力的三角形法则”。做力三角形时, 必须遵循: ① 分力矢量首尾相接, 但次序可变; ② 合力矢量的箭头与最后分力矢量的箭头相连。还应注意, 力三角形只表明力的大小和方向, 不表示力的作用