



“十三五”普通高等教育规划教材

结构力学

赵芳芳 史崇新 主 编
马 乐 盖 迪 副主编



中国电力出版社
CHINA ELECTRIC POWER PRESS



“十三五”普通高等教育规划教材

结构力学

主 编 赵芳芳 史崇新
副主编 马 乐 盖 迪
参 编 武 斌 白金婷
主 审 王万德



中国电力出版社
CHINA ELECTRIC POWER PRESS

内 容 提 要

本书为“十三五”普通高等教育规划教材。全书共分为10章,主要内容包括概述、平面体系的几何组成分析、静定梁、静定平面刚架、静定平面桁架、三铰拱、影响线及其应用、静定结构的位移计算、力法、位移法。本书根据高等学校土建类结构力学教材及课程教学基本要求编写,吸取现有教材的优点,阐述原理严密,概念清晰,内容理论联系实际。为了便于教学和读者自学,在每章开头附有本章要求和本章重点,结尾对每章内容进行小结。

本书可作为各类工科院校建筑工程、道路桥梁、水利水电、防灾减灾与防护等专业的教材,也可供土建类其他各专业及有关工程技术人员参考使用。

图书在版编目(CIP)数据

结构力学/赵芳芳,史崇新主编. —北京:中国电力出版社,2018.2

“十三五”普通高等教育规划教材

ISBN 978-7-5198-0607-1

I. ①结… II. ①赵… ②史… III. ①结构力学—高等学校—教材 IV. ①O342

中国版本图书馆CIP数据核字(2017)第073116号

出版发行:中国电力出版社

地 址:北京市东城区北京站西街19号(邮政编码100005)

网 址:<http://www.cepp.sgcc.com.cn>

责任编辑:霍文婵(010-63412545)

责任校对:朱丽芳

装帧设计:赵姗姗

责任印制:吴迪

印 刷:北京雁林吉兆印刷有限公司

版 次:2018年2月第一版

印 次:2018年2月北京第一次印刷

开 本:787毫米×1092毫米 16开本

印 张:9.25

字 数:223千字

定 价:30.00元

版权专有 侵权必究

本书如有印装质量问题,我社发行部负责退换

前 言

本书在编写过程中，注意吸取众多同类教材的长处和多年来较丰富的教学经验，贯彻“打好基础，理论联系实际”等原则，在内容的阐述上尽可能遵循由简单到复杂，由浅入深，循序渐进，以符合学生的认识规律，方便教学又利于自学。编写过程中以必须和够用为度，对于超静定结构的问题主要介绍两种基本方法。本书开篇指明本章要求及重点，章后附有小结，使学生在学习时能够重点把握知识点，并利于总结及复习。

本书共分为 10 章，具体分工如下：赵芳芳编写第 1、2 章，史崇新编写第 3、4 章，盖迪编写第 5 章，白金婷编写第 6、7 章，武斌编写第 8、9 章及部分图形的绘制工作，马乐编写第 10 章。本书由赵芳芳、史崇新担任主编，马乐、盖迪担任副主编，武斌，白金婷参与编写。全书由王万德教授审读，提出了很多宝贵意见，在此表示感谢！

在编写过程中，得到了辽宁省交通高等专科学校、沈阳城市学院、辽宁省交通规划设计院、公路桥梁诊治技术交通运输行业研发中心的大力支持与帮助，在此一并表示衷心感谢！

限于编者水平，书中难免存在不妥之处，恳请专家及广大读者给予指正。

编 者

2017 年 11 月

目 录

前言

| | |
|--------------------------------|----|
| 第 1 章 概述 | 1 |
| 1.1 结构和结构的分类 | 1 |
| 1.2 结构力学的研究对象及任务 | 3 |
| 1.3 结构的计算简图 | 3 |
| 1.4 本章小结 | 8 |
| 第 2 章 平面体系的几何组成分析 | 9 |
| 2.1 几何组成分析的概念 | 9 |
| 2.2 自由度和约束..... | 10 |
| 2.3 体系的计算自由度..... | 11 |
| 2.4 几何不变体系的基本组成规则..... | 12 |
| 2.5 几何组成与静定性的关系..... | 16 |
| 2.6 本章小结..... | 16 |
| 第 3 章 静定梁 | 18 |
| 3.1 单跨静定梁内力计算一般原则..... | 18 |
| 3.2 单跨静定梁内力图的绘制..... | 21 |
| 3.3 多跨静定梁..... | 27 |
| 3.4 本章小结..... | 30 |
| 第 4 章 静定平面刚架 | 31 |
| 4.1 概述..... | 31 |
| 4.2 静定平面刚架的内力及内力图..... | 31 |
| 4.3 本章小结..... | 36 |
| 第 5 章 静定平面桁架 | 38 |
| 5.1 概述..... | 38 |
| 5.2 静定平面桁架内力计算..... | 40 |
| 5.3 各类平面桁架的比较..... | 45 |
| 5.4 组合结构的计算..... | 47 |
| 5.5 本章小结..... | 49 |
| 第 6 章 三铰拱 | 51 |
| 6.1 概述..... | 51 |
| 6.2 三铰拱的反力和内力计算..... | 52 |
| 6.3 三铰拱压力线与合理拱轴..... | 55 |
| 6.4 静定结构的一般特性..... | 57 |

| | | |
|-------------|----------------------|------------|
| 6.5 | 本章小结 | 57 |
| 第7章 | 影响线及其应用 | 59 |
| 7.1 | 影响线的基本概念 | 59 |
| 7.2 | 用静力法做静定梁的影响线 | 60 |
| 7.3 | 用机动法做静定梁的影响线 | 64 |
| 7.4 | 影响线的应用 | 67 |
| 7.5 | 简支梁的内力包络图和绝对最大弯矩 | 71 |
| 7.6 | 我国的公路和铁路标准荷载制 | 74 |
| 7.7 | 本章小结 | 75 |
| 第8章 | 静定结构的位移计算 | 77 |
| 8.1 | 概述 | 77 |
| 8.2 | 虚功原理 | 78 |
| 8.3 | 荷载作用下结构位移计算公式 | 80 |
| 8.4 | 各类结构位移简化计算公式 | 83 |
| 8.5 | 图乘法 | 86 |
| 8.6 | 线弹性体系的互等定理 | 91 |
| 8.7 | 本章小结 | 94 |
| 第9章 | 力法 | 96 |
| 9.1 | 超静定结构的概念和超静定次数的确定 | 96 |
| 9.2 | 力法的基本原理 | 98 |
| 9.3 | 力法的典型方程 | 101 |
| 9.4 | 力法的计算步骤和示例 | 103 |
| 9.5 | 对称性的利用 | 113 |
| 9.6 | 支座移动和温度变化情况下超静定结构的计算 | 116 |
| 9.7 | 超静定结构的特性 | 119 |
| 9.8 | 本章小结 | 120 |
| 第10章 | 位移法 | 122 |
| 10.1 | 概述 | 122 |
| 10.2 | 等截面直杆的转角位移方程 | 123 |
| 10.3 | 位移法的基本未知量和基本结构 | 129 |
| 10.4 | 位移法的典型方程 | 132 |
| 10.5 | 位移法计算步骤与示例 | 134 |
| 10.6 | 按平衡条件建立位移法典型方程 | 138 |
| 10.7 | 本章小结 | 140 |
| | 参考文献 | 142 |

第 1 章 概 述

本章要求

了解结构的概念及分类,明确结构力学的研究对象和任务;明确结构计算简图简化要点。掌握结点和支座的分类及其约束反力特点;熟悉荷载的分类。

本章重点

结构计算简图的简化要点;各种支座类型的约束反力。

1.1 结构和结构的分类

在工程实际中,由建筑材料按照合理的方式组成,能承受荷载并起骨架作用的构筑物称为工程结构,简称结构。结构中的各个组成部分称为构件。如图 1-1 (a) 为上海金茂大厦,图 1-1 (b) 为武汉长江大桥,图 1-1 (c) 为国家体育场—鸟巢,均为工程结构实例。

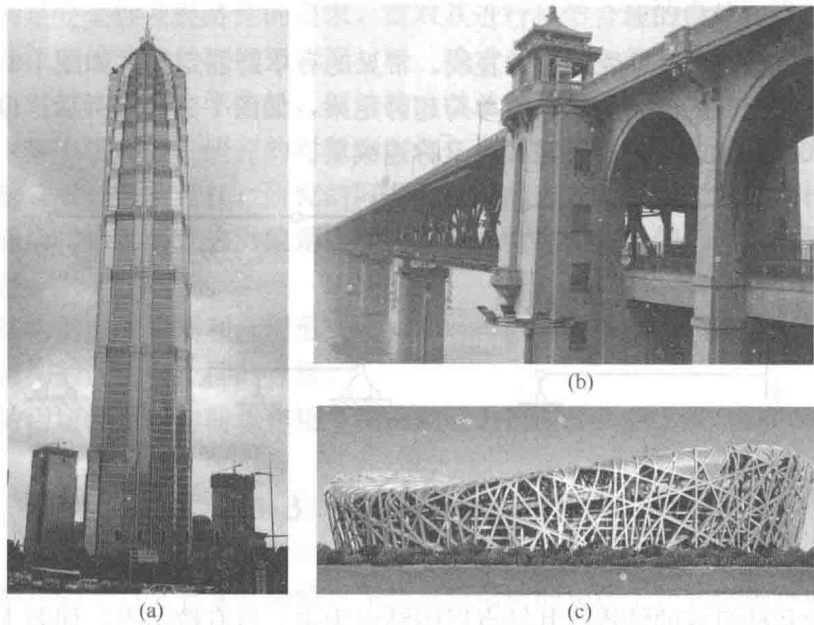


图 1-1

结构的类型很多,可从不同的角度进行分类。按照几何特征,一般可分为杆系结构、薄壁结构和实体结构。

(1) 杆系结构。杆系结构是由杆件或若干根杆件相互连接组成。组成结构的杆件的几何

特征是：三个方向的尺寸中，长度 l 比截面宽度 b 和厚度 h 大得多，如图 1-2 (a) 所示。

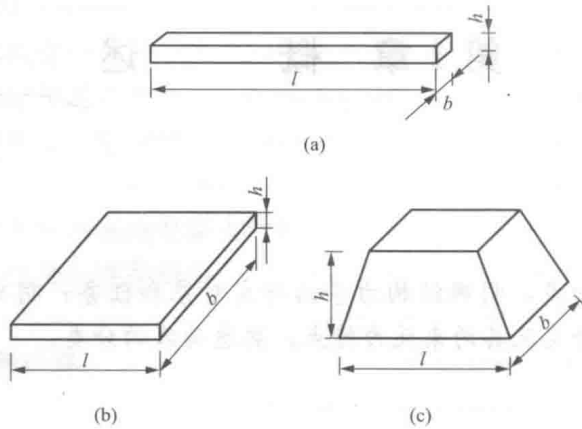


图 1-2

(2) 薄壁结构 (又称板壳结构)。板壳结构的几何特征是：三个方向的尺寸中，厚度 h 比长度 l 和宽度 b 小得多，如图 1-2 (b) 所示。

(3) 实体结构。实体结构的几何特征是：三个方向尺寸中，长度 l 、宽度 b 和厚度 h 大致相当，如图 1-2 (c) 所示。

在各种结构中，杆系结构最多，本书讨论的也主要是杆系结构，因此杆系结构按其受力特性不同又可分为以下六种。

1.1.1 梁

梁是一种受弯杆件，其轴线通常为直线。常见的有单跨静定梁，如图 1-3 (a) 所示；也有多跨静定梁，如图 1-3 (b) 所示；有单跨超静定梁，如图 1-3 (c) 所示；也有多跨超静定梁，如图 1-3 (d) 所示。多跨超静定梁，又称连续梁。

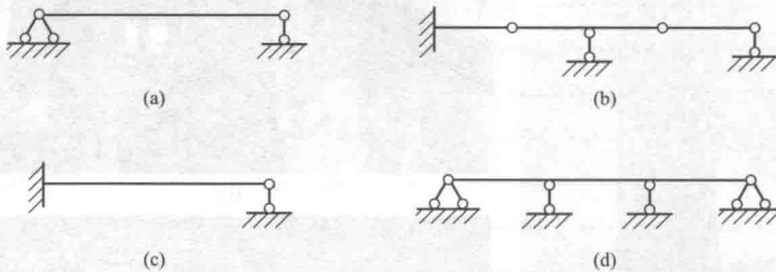


图 1-3

1.1.2 刚架

刚架是由梁和柱组成的结构，其结点以刚结点为主，也有铰结点，如图 1-4 所示。

1.1.3 拱

拱是轴线为曲线且在竖向荷载作用下支座处产生水平反力的结构，如图 1-5 所示。

1.1.4 桁架

桁架由两端为铰的直杆 (链杆) 组成；当荷载作用于结点时，各杆只受轴力，如图 1-6 所示。



图 1-4

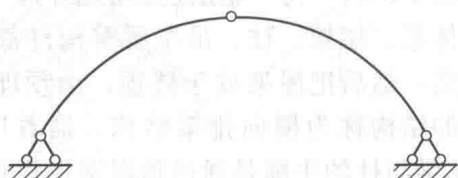


图 1-5

1.1.5 组合结构

组合结构是桁架和梁或桁架和刚架组合在一起的结构，如图 1-7 所示。

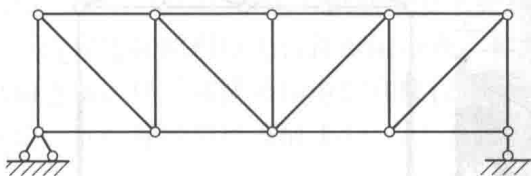


图 1-6

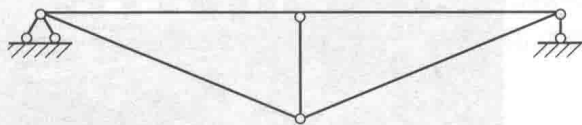


图 1-7

1.2 结构力学的研究对象及任务

为使结构满足安全性及经济性的要求，需对其进行科学合理的设计，设计时需确定结构最不利内力，并以此作为设计依据来选用材料、确定截面尺寸等。也就是说，结构设计中非常重要的内容是对结构进行力学分析，而结构力学就是研究结构受力的一门科学。

理论力学（静力学部分）研究的对象为刚体；研究的问题是平衡。材料力学研究的对象是一根杆，横放是梁，竖放是柱；研究的问题是杆件的内力、应力、变形及杆件的强度、刚度和稳定性。而结构力学研究的对象是由杆件组成的杆系结构，如桁架、框架等；研究的具体内容和任务是：

- (1) 分析结构的组成规则和合理形式。
- (2) 杆系结构的内力和位移的计算。
- (3) 结构的稳定性及动力荷载作用下结构的动力反应。

1.3 结构的计算简图

实际工程结构的受力是非常复杂的，完全按照结构的实际工作状态进行分析几乎是难以实现的，也是没有必要的。因此，必须将实际结构进行必要的抽象和简化。采用简化的图形代替实际结构称为结构的计算简图。计算简图的选择是结构受力分析的基础，选择不当，则计算结果不能反映结构的实际工作状态，严重的将会引起工程事故。

选取结构计算简图一般遵循以下原则：

- (1) 抓住主要因素，尽可能反映结构的实际受力情况。
- (2) 略去次要因素，便于分析和计算。

1.3.1 结构体系的简化

图 1-8 (a) 为一单层厂房的结构, 它是由屋架、柱、吊车梁、基础等构件组成的空间结构体系。屋架、柱、吊车梁等构件都是预制的, 先把柱子下端插入基础的杯口, 用细石填实, 然后把屋架放于柱顶, 由预埋件通过螺栓或焊接而成。这个由屋架、柱、基础组成的结构称为横向排架结构。沿着厂房纵向若干个排架之间再用吊车梁等构件连接 (吊车梁与柱的牛腿是通过预埋钢板焊接固定的), 即组成了单层厂房的空间体系。由于每个排架之间受力具有相同性, 因此可以取出平面的排架结构进行计算, 它的计算简图如 1-8 (b) 所示。

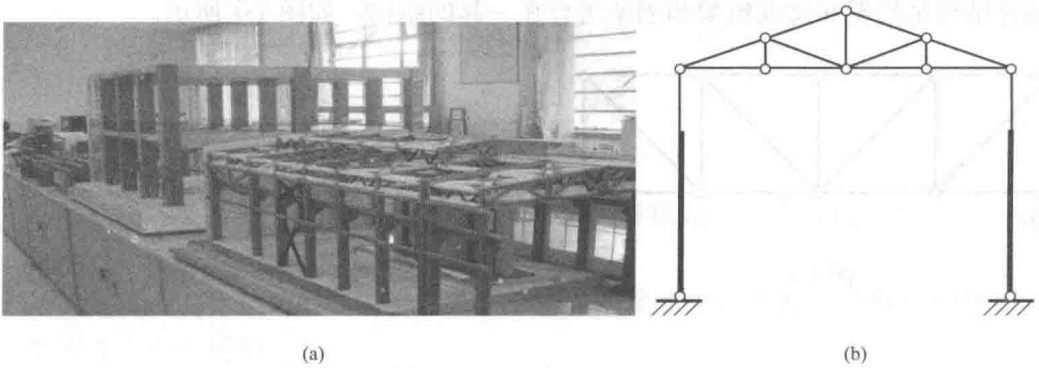


图 1-8

1.3.2 杆件的简化

杆件可以用轴线来表示, 如图 1-9 所示。这是因为细长杆件可以近似采用平面假定, 因此截面上的应力可以由截面上的内力来确定, 而内力只与杆件的长度有关, 与截面的宽度和高度无关。

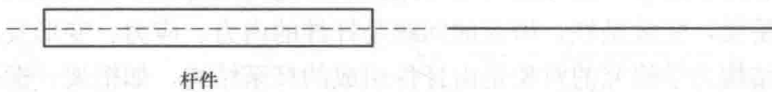


图 1-9

1.3.3 结点的简化

结构中杆件与杆件的相互连接处, 简化为结点。结点可分为两种。

1. 铰结点

铰结点的特征是各杆可以绕结点自由移动。理想铰结点在实际结构中是很难实现的, 只有木屋架的结点比较类似这种结点。图 1-10 (a) 所示的是一个木屋架结点和它的计算简图。当结构的几何构造及外部荷载符合一定条件, 结点刚性对结构受力状态的影响属于次要因素时, 为了简化和反映结构受力特点, 可将结构的结点看作铰结点。如图 1-10 (b) 所示的是钢桁架的一个结点, 虽然各杆件是用铆钉铆在连接板上, 使三者牢固地连在一起, 但为了简化和反映结点荷载下桁架受力特点, 在计算图中视为铰结点。

2. 刚结点

各杆连接起来, 相互之间不可能发生任何相对移动或转动的结点, 称为刚结点。图 1-11 (a) 所示的为一钢筋混凝土结构的刚结点构造图, 其计算简图如图 1-11 (b) 所示。由于两

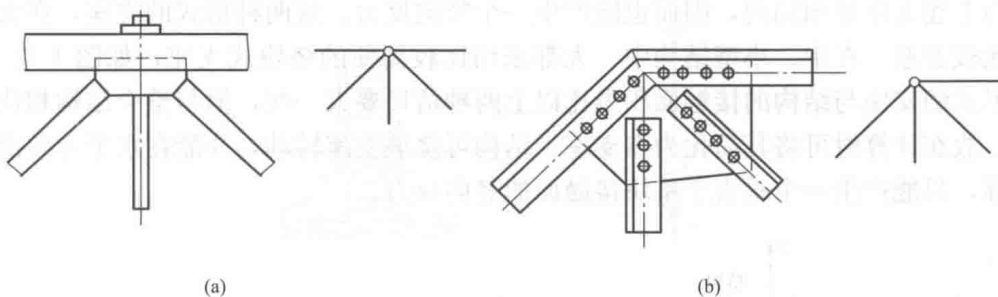


图 1-10

杆牢固地连接成一个整体，夹角 α 是不能改变的，这种仅连接两根杆件的刚结点，称为单刚结点。图 1-11 (c) 所示为钢筋混凝土结构的刚结点构造图，其计算简图如图 1-11 (d) 所示。这种连接两根以上杆件的刚结点，称为复刚结点。图 1-11 (e) 所示的为钢结构的刚结点构造图，柱子和横梁用电焊和螺钉牢固地连接起来，各杆之间不能发生任何相对的移动或转动，其计算简图也可取 1-11 (d) 所示。

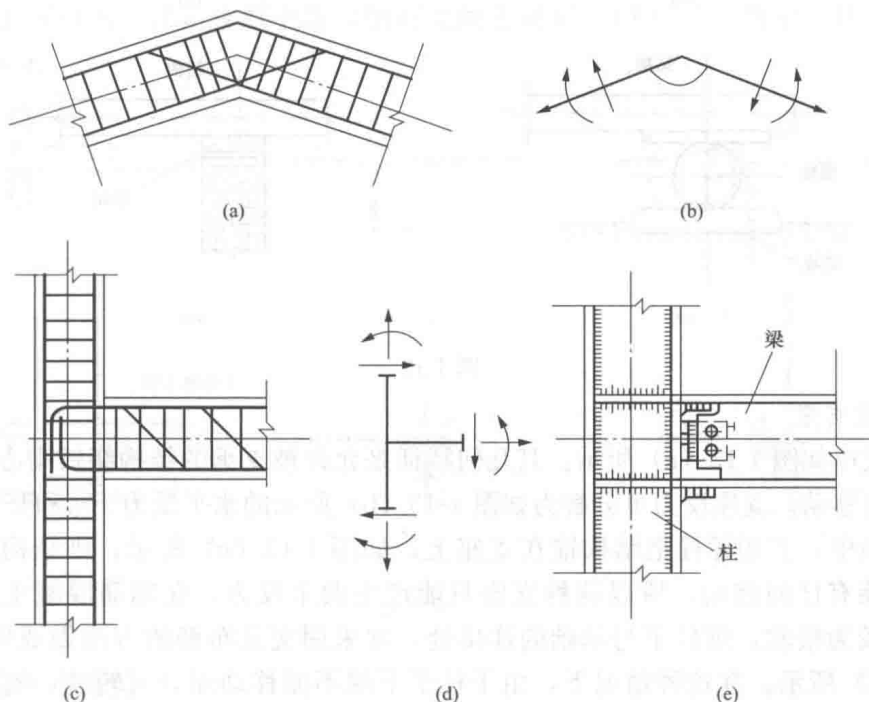


图 1-11

1.3.4 支座的简化

支座是结构与基础的连接装置。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。平面结构的支座一般简化为三种形式。

1. 可动铰支座

可动铰支座又称辊轴支座，如图 1-12 (a) 所示。其几何特征是被支承的结构既可以绕铰中心转动，也可以沿着支承面移动。由于限制了竖向的移动，因此，产生竖向约束反力 F_{Ay} ，如图 1-12 (b) 所示。另一种构造较为简单的辊轴支座，如图 1-12 (c) 所示，它的约

束效应与上述支座是相同的，因而也能产生一个竖向反力。这两种形式的支座，在大型钢桥中应用比较普遍。在中、小型结构中，大都采用比较简便的垫块式支座，如图 1-12 (d) 所示。该形式的支座与结构的接触面积虽比以上两种情形要大一些，但与整个结构相比仍然是很小的，故在计算时可将其简化为点支座。结构可绕该支座转动，并能在水平方向沿垫块接触面滑移，只能产生一个垂直于垫块接触面的竖向反力。

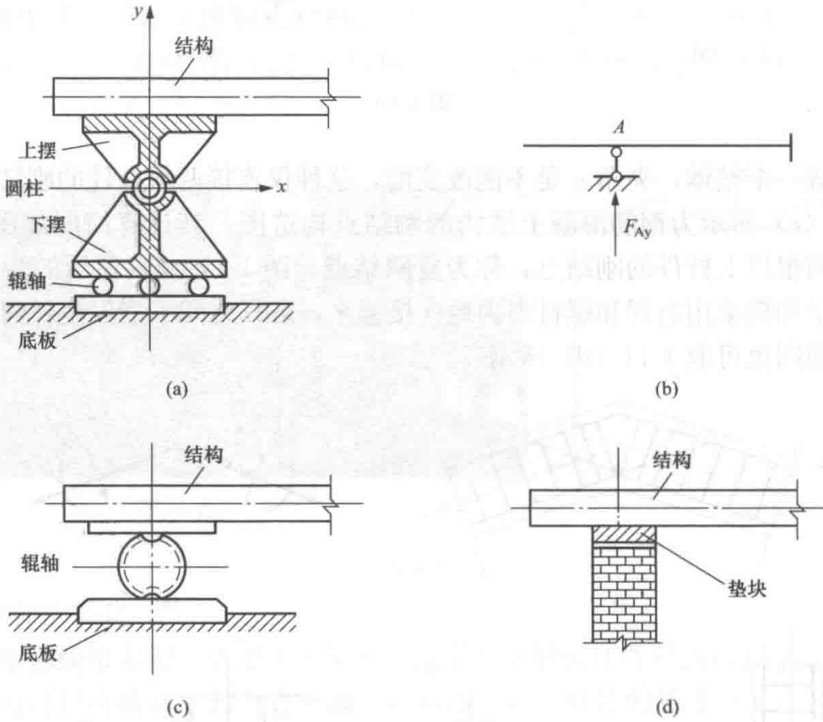


图 1-12

2. 固定铰支座

固定铰支座如图 1-13 (a) 所示。其几何特征是允许被支承的结构绕铰中心转动，但不允许沿支承面移动。支座反力可分解为如图 1-13 (b) 所示的水平反力 F_{Ax} 和竖向反力 F_{Ay} 。在垫块式支座中，若用螺栓把结构锚在支座上，如图 1-13 (c) 所示，则结构只能绕支座转动，而不能有任何移动，所以这种支座只能产生两个反力。在钢筋混凝土结构中，如果地基土壤较为松软，则柱子与基础的连接处，常采用交叉布筋的方法做成固定铰支座，如图 1-13 (d) 所示。在这种情况下，由于柱子下端不能移动而只可转动，故只能产生两个反力。

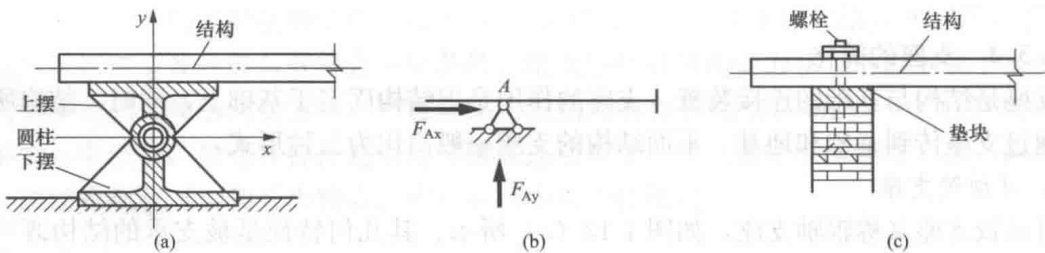


图 1-13 (一)

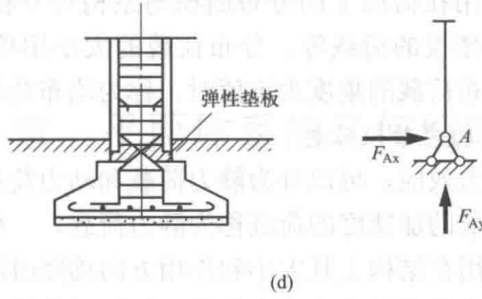


图 1-13 (二)

3. 固定支座

固定支座如图 1-14 (a) 所示,其特征是结构与支座连接处既不允许转动,也不允许发生水平和竖向移动。支座反力可分解为如图 1-14 (a) 所示的水平反力 F_{Ax} 、竖向反力 F_{Ay} 及反力矩 M_A 。在钢筋混凝土结构中,柱子和基础的连接常采用固定支座的形式,习惯做法有两种:一种是现场浇捣一次完成;另一种是柱子和基础先分别预制,然后装配,将预制柱插入基础预留的杯口内,并在缝隙中灌以细石混凝土充实,1-14 (b) 所示。其计算简图如图 1-14 (b) 所示。

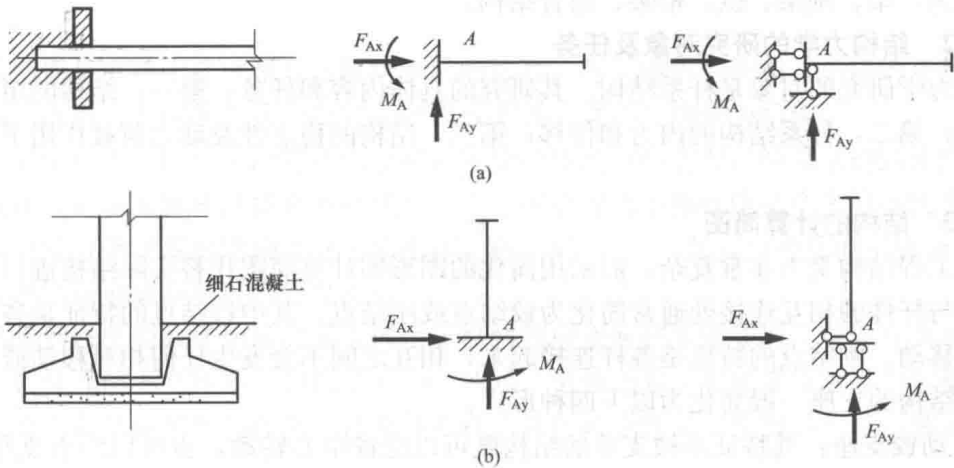


图 1-14

1.3.5 荷载的简化

荷载是直接作用于结构上的外力,是引起结构内力和变形的重要原因。作用于结构上的荷载类型很多,具体分类如下。

1. 按荷载作用在结构上的时间分类

按荷载作用的时间,可以分为恒载和活载。恒载是作用于结构上大小、方向与时间无关的荷载,如结构的自重等。活载是作用于结构上的位置和大小方向均为可变的荷载,如流动的人群、桥面上行驶的汽车、可移动的设备等。

2. 按荷载作用的区域大小分类

按荷载作用的区域大小,可以分为集中荷载和分布荷载。当作用于结构的面积很小时,可以认为荷载集中作用在结构上的一点,称为集中荷载或集中力,如火车和汽车的轮压、次

梁传给主梁的荷载等。当作用在荷载上的分布面积与结构尺寸相差不大时，则视为分布荷载，如土压力、人群作用于楼板的荷载等。分布荷载的大小用单位面积或长度上的作用力——荷载集度来表示。当分布荷载的集度为定值时，称为均布荷载。

3. 按荷载作用是否产生动力效应分类

按荷载对结构产生的动力效应，可以分为静力荷载和动力荷载。作用在结构上变化速率缓慢，不会引起结构产生明显的加速度的荷载称为静力荷载，一般风荷载、雪荷载等大多数活荷载都可视为静力荷载。作用在结构上其大小和作用方向均随时间而变，引起结构产生明显加速度，且不能忽略其惯性力的荷载称为动力荷载，如地震作用、机械振动荷载等。

除了上述外力的直接作用外，结构还会受到一些间接作用，如温度变化、支座沉陷、制造误差、材料收缩及松弛、徐变等。从广义上来说，这些因素也可视为广义荷载。

1.4 本章小结

1.4.1 结构和结构的分类

由建筑材料按照合理的方式组成，能承受荷载并起骨架作用的构筑物称为工程结构。

结构按其几何特征，可分为：杆系结构、薄壁结构和实体结构。而杆系结构按其受力特性，又分为：梁、刚架、拱、桁架、组合结构。

1.4.2 结构力学的研究对象及任务

结构力学的研究对象是杆系结构。其研究的具体内容和任务：第一，结构的组成规则和合理形式；第二，杆系结构的内力 and 位移；第三，结构的稳定性及动力荷载作用下结构的动力反应。

1.4.3 结构的计算简图

实际工程结构受力非常复杂，需采用简化的图形即计算简图代替实际结构进行分析。

杆件与杆件的相互连接处通常简化为铰结点或刚结点。其中铰结点的特征是各杆可以绕结点自由移动。刚结点的特征是各杆连接起来，相互之间不会发生任何相对移动或转动。

平面结构的支座一般简化为以下四种形式：

1. 可动铰支座：其特征是被支承的结构既可以绕铰中心转动，也可以沿着支承面移动。支座反力垂直于支承面方向用 F_{Ay} 表示。

2. 固定铰支座：其特征是允许被支承的结构绕铰中心转动，但不允许沿支承面移动。支座反力通过铰的中心用水平反力 F_{Ax} 和竖向反力 F_{Ay} 表示。

3. 固定支座：其特征是结构与支座连接处既不允许转动，也不允许发生水平和竖向移动。支座反力可分解为水平反力 F_{Ax} 、竖向反力 F_{Ay} 及反力矩 M_A 。

荷载按作用在结构上的时间，分为恒载和活载；按作用的区域大小，分为集中荷载和分布荷载；按对结构产生的动力效应，分为静力荷载和动力荷载。

第2章 平面体系的几何组成分析

本章要求

理解几何不变体系、几何可变体系、刚片、自由度、约束、静定结构以及超静定结构的概念；了解和掌握体系的基本组成规则并能正确分析体系的几何组成；掌握体系的计算自由度方法。

本章重点

平面几何不变体系的基本组成规则及应用；静定结构和超静定结构的概念。

2.1 几何组成分析的概念

杆系结构是由若干杆件相互连接而组成的体系。为了能承受荷载，结构的几何形状是不能改变的。如果一个体系的几何形状是可以改变的，就不能用作为结构。

在荷载作用下，结构中的杆件由于材料应变产生的弹性变形，使得结构的几何形状产生微小的变化。但在分析杆件体系的形状时，不考虑这种微小弹性应变产生的形状变化，即将杆件看成是没有弹性变形的刚体（平面刚体，称为刚片）。因此，讨论几何组成分析时，梁、链杆及支承结构的地基都可看作是刚片。

体系受到任意荷载作用后，不考虑由于材料的应变所产生的变形，若保持其形状和位置不变的，则称几何不变体系，如图 2-1 (a) 所示。另外还有一类体系尽管只受到很小的荷载作用，也会引起几何形状的改变，这类体系称为几何可变体系，如图 2-1 (b) 所示。

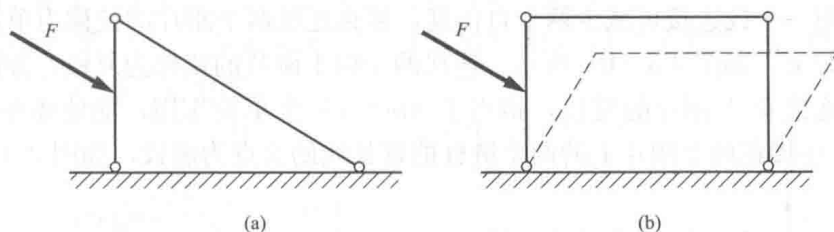


图 2-1

结构必须是几何不变体系，在设计结构和选取计算简图时，首先判断它是否是几何不变体系。因此，对杆件体系几何组成分析的目为：

- (1) 判定体系是否可变，从而决定该体系是否可以用作结构。
- (2) 研究几何不变体系的组成规则。
- (3) 根据结构的组成规则确定其静定性，以指导结构的内力计算。

2.2 自由度和约束

2.2.1 自由度

确定体系的位置所必需的独立坐标数，称为自由度，即该体系运动时，可以独立的运动方式或独立的几何参数。

在平面内一个点的位置由两个坐标 x 和 y 来确定，如图 2-2 (a) 所示，因此，在平面上一个点的自由度有两个。在平面内一个刚片的位置由其任一点 A 的坐标 (x, y) 和过 A 点的任一直线 AB 的倾角 θ 来确定，如图 2-2 (b) 所示，因此一个刚片的自由度有三个。

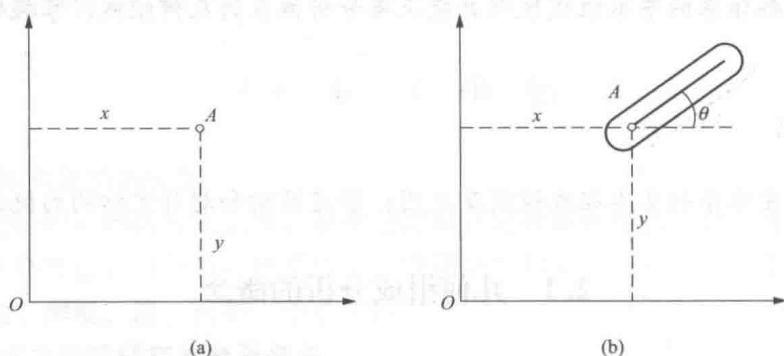


图 2-2

2.2.2 约束

使体系减少自由度的装置或连接，称为约束（也称联系）。能使体系减少一个自由度的装置称为一个约束，如果一个装置能使体系减少 n 个自由度，则称它为 n 个约束。

1. 链杆

用一根链杆将一个刚片与基础相连，刚片将不能沿链杆方向移动，因而减少了一个自由度，故一根链杆相当于一个约束，如图 2-3 (a) 所示。

2. 铰

两个刚片用一个铰连接可减少两个自由度，那么连接两个刚片的铰称为单铰，故一个单铰相当于两个约束，如图 2-3 (b) 所示。连接两个以上刚片的铰称为复铰，如图 2-3 (c) 所示。一般来说连接 m 个刚片的复铰，相当于 $(m-1)$ 个单铰作用，能使体系减少 $2(m-1)$ 个自由度。连接在两个刚片上的两个链杆的延长线的交点为虚铰，如图 2-3 (d) 所示。

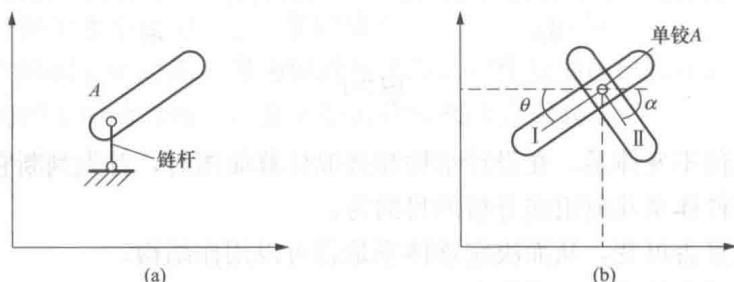


图 2-3 (一)

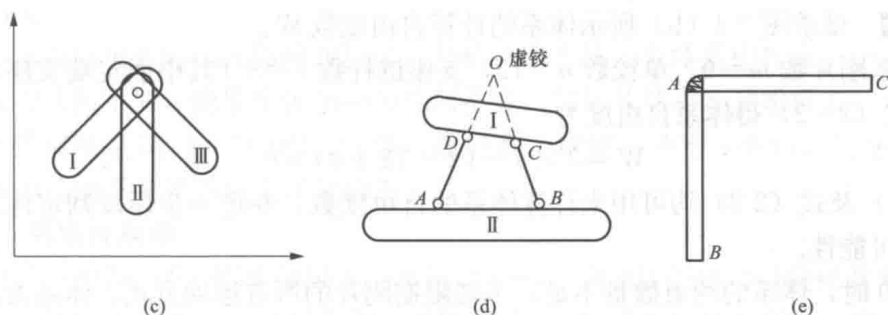


图 2-3 (二)

3. 刚结点

两刚片之间不能发生任何相对运动的结点称为刚结点。AB 和 AC 两个刚片，用刚结点连接后，两刚片间没有相对运动，使互相之间自由度减少三个，故一个刚结点相当于三个约束，即相当于三个链杆的作用，如图 2-3 (e) 所示。

2.3 体系的计算自由度

由前述分析可知，一个体系可以由若干个刚片通过增加约束而组成，该体系的计算自由度 W 可定义为

$$W = \text{各构件自由度数总和} - \text{全部约束数}$$

设 m 表示体系中的刚片数（基础除外）， n 为单铰数，支座链杆数为 r （注意固定铰相当于两根链杆，固定端支座或刚性连接相当于三根链杆），则各部件的自由度数总和为 $3m$ ，全部约束数为 $2n+r$ ，由此得到体系自由度数的计算公式为

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

当体系完全由具有铰结点的链杆组成时，设 J 为结点个数， b 为链杆数， r 为支座链杆约束数，则体系的计算自由度数为

$$W = 2J - (b + r) \quad (2-2)$$

【例 2-1】 试求图 2-4 (a) 所示体系的计算自由度 W 。

解 体系刚片数 $m=7$ ，单铰数 $n=9$ ，支座链杆数 $r=4$ （其中固定端支座相当于 3 个链杆），由式 (2-1) 得体系自由度为

$$W = 3 \times 7 - (2 \times 9 + 4) = -1$$

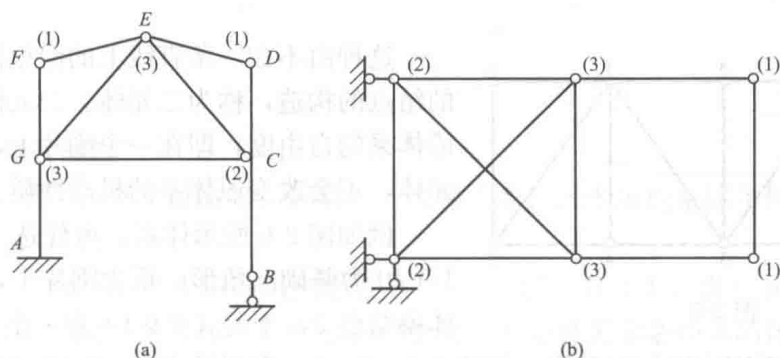


图 2-4