

土 木 工 程 教 材 精 选

# 结构力学

(上册)

潘旦光 张爱卿 编著



清华大学出版社

土 木 工 程 教 材 精 选

# 结构力学

(上册)

潘旦光 张爱卿 编著



清华大学出版社

## 内 容 简 介

本书按照《高等学校土木工程本科指导性专业规范》编写,除绪论外共分 11 章,主要内容包括平面体系的几何构造分析、静定结构受力分析、虚功原理与结构的位移计算、力法、位移法、力矩分配法、矩阵位移法、影响线、结构动力学、结构的稳定计算和结构的极限荷载。

本教材理论系统、例题全面且通俗易懂,可作为本科土木、桥梁、水利等专业的结构力学教材,也可供上述专业的工程技术人员参考。

版权所有,侵权必究。侵权举报电话:010-62782989 13701121933

### 图书在版编目(CIP)数据

结构力学.上册/潘旦光,张爱卿编著.——北京:清华大学出版社,2014

(土木工程教材精选)

ISBN 978-7-302-37615-6

I. ①结… II. ①潘… ②张… 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(2014)第 186407 号

责任编辑:秦 娜

封面设计:常雪影

责任校对:刘玉霞

责任印制:李红英

出版发行:清华大学出版社

网 址: <http://www.tup.com.cn>, <http://www.wqbook.com>

地 址:北京清华大学学研大厦 A 座 邮 编:100084

社 总 机:010-62770175 邮 购:010-62786544

投稿与读者服务:010-62776969, [c-service@tup.tsinghua.edu.cn](mailto:c-service@tup.tsinghua.edu.cn)

质量反馈:010-62772015, [zhiliang@tup.tsinghua.edu.cn](mailto:zhiliang@tup.tsinghua.edu.cn)

印 刷 者:北京富博印刷有限公司

装 订 者:北京市密云县京文制本装订厂

经 销:全国新华书店

开 本:185mm×260mm

印 张:15.75

字 数:380千字

版 次:2014年10月第1版

印 次:2014年10月第1次印刷

印 数:1~2500

定 价:36.00元

# 前 言

本书根据《高等学校土木工程本科指导性专业规范》编写,分上、下两册出版。上册包括绪论、平面体系的几何构造分析、静定结构受力分析、虚功原理与结构的位移计算、力法、位移法和力矩分配法;下册包括矩阵位移法、影响线、结构动力学、结构的稳定计算、结构的极限荷载。书中加“\*”部分为进一步加深和拓宽性质的内容,可供不同专业的需要和不同层次学生的要求选用。

结构力学是土木工程专业一门重要的专业基础课。很多学生常觉得似乎理解了结构力学基本原理,但难以运用原理解决问题,因此,本书以“独立思考,学以致用”为编写目标。为达到这一目标,本书具有以下一些特点:一、注重理论的系统性和时代性。书的内容覆盖了规范要求的全部内容,同时补充了近年来新型工程结构的力学计算原理。二、例题的自明性。对分析方法进行总结,强调关键的解题步骤,便于学生有章可循。同时,例题的编写尽量通俗易懂、图文配合,并详细说明关键步骤的注意点,并以讨论的形式引导学生独立思考。三、例题的全面性。将典型例题进行分类,总结应用基本原理解决不同结构类型的突破口,既使学生从不同角度理解和运用原理进行分析问题和解决问题,又便于学生自学。

本书第1、2、4~8、10~12章由潘旦光编写,第3、9章由张爱卿编写。在教材的编写过程中,参考和引用了国内外优秀的文献和教材。研究生李小翠、廖义鑫、高莉莉、靳国豪、于鑫完成了书中插图和文字的校对工作。在此,编者对他们的工作表示感谢。

限于编者水平,书中难免有错误和不足之处,敬请广大专家、读者批评指正。

作 者

2014年5月

<b>第 1 章 绪论</b> .....	1
1.1 结构力学的研究对象和研究内容 .....	1
1.1.1 结构力学的研究对象.....	1
1.1.2 结构力学的研究内容.....	1
1.2 结构的计算简图 .....	2
1.2.1 结构体系的简化.....	2
1.2.2 杆件的简化.....	2
1.2.3 结点的简化.....	3
1.2.4 支座的简化.....	5
1.2.5 荷载的简化.....	7
1.3 杆件结构的分类 .....	8
1.3.1 按计算特性分类.....	8
1.3.2 按结构型式和受力特性分类.....	9
1.4 荷载的分类.....	11
1.5 叠加原理.....	12
1.6 小结.....	13
思考题 .....	13
<b>第 2 章 平面体系的几何构造分析</b> .....	14
2.1 概述.....	14
2.2 几何构造分析的几个概念.....	15
2.3 平面杆件体系的计算自由度.....	18
2.3.1 平面刚片体系的计算自由度 .....	18
2.3.2 平面铰结链杆体系的计算自由度 .....	20
2.4 平面几何不变体系的组成规则.....	21
2.4.1 一个点与一个刚片规则 .....	21
2.4.2 二刚片规则 .....	22
2.4.3 三刚片规则 .....	22
2.5 平面体系几何构造分析举例.....	24
2.5.1 刚片组合法 .....	24
2.5.2 加减二元体法 .....	25

2.5.3	约束等效法 .....	26
2.5.4	恰当选择刚片对象 .....	28
2.6	体系几何构造与静力特性的关系 .....	29
2.6.1	无多余约束几何不变体系的静力特性 .....	29
2.6.2	有多余约束几何不变体系的静力特性 .....	29
2.6.3	可变体系的静力特性 .....	29
2.6.4	瞬变体系的静力特征 .....	30
2.7	小结 .....	32
	习题 .....	32
<b>第3章</b>	<b>静定结构受力分析 .....</b>	<b>36</b>
3.1	静定结构内力计算的一般原则 .....	36
3.1.1	静定结构内力计算的一般概念 .....	36
3.1.2	截面的内力及其正负号的规定 .....	36
3.1.3	截面法求内力及内力图 .....	37
3.1.4	荷载与内力之间的关系 .....	37
3.1.5	分段叠加法作弯矩图 .....	39
3.1.6	绘制内力图的一般步骤 .....	41
3.2	多跨静定梁 .....	43
3.2.1	多跨静定梁的组成特点 .....	43
3.2.2	多跨静定梁的计算步骤 .....	43
3.3	静定平面刚架 .....	45
3.3.1	静定平面刚架的组成形式及特点 .....	45
3.3.2	刚架的支座反力 .....	45
3.3.3	静定平面刚架的内力分析与内力图的绘制 .....	47
3.3.4	利用对称性 .....	50
3.4	静定平面桁架 .....	51
3.4.1	桁架的特点和组成分类 .....	51
3.4.2	静定平面桁架的内力计算 .....	52
3.5	组合结构 .....	60
3.6	三铰拱 .....	62
3.6.1	三铰拱的特点 .....	62
3.6.2	三铰平拱的支座反力和内力 .....	63
3.6.3	三铰拱的合理拱轴线 .....	66
3.7	静定结构一般特性 .....	69
3.8	小结 .....	71
	习题 .....	72

<b>第 4 章 虚功原理与结构的位移计算</b> .....	77
4.1 概述 .....	77
4.1.1 杆件结构的位移 .....	77
4.1.2 计算位移的目的 .....	78
4.2 实功与虚功 .....	78
4.2.1 功的概念 .....	78
4.2.2 实功和变形能 .....	79
4.2.3 虚功和虚变形能 .....	81
4.3 变形体虚功原理 .....	84
4.3.1 变形体虚功原理的概念及其证明 .....	84
4.3.2 结构位移计算的一般公式 .....	86
4.4 荷载作用下结构的位移 .....	89
4.4.1 荷载作用下的位移计算公式 .....	89
4.4.2 图乘法 .....	93
4.4.3 定性绘制结构的变形曲线 .....	100
4.5 非荷载因素下结构的位移计算 .....	102
4.5.1 温度变化时结构的位移计算 .....	102
* 4.5.2 制造误差引起的结构位移计算 .....	104
4.5.3 支座位移引起结构位移的计算 .....	105
* 4.5.4 弹性支座下位移的计算 .....	106
4.6 线弹性体系的互等定理 .....	107
4.6.1 虚功互等定理 .....	107
4.6.2 位移互等定理 .....	108
4.6.3 反力互等定理 .....	108
4.6.4 位移反力互等定理 .....	109
4.7 小结 .....	110
习题 .....	111
<b>第 5 章 方法</b> .....	116
5.1 超静定结构的特性和超静定次数的确定 .....	116
5.1.1 超静定结构的特性 .....	116
5.1.2 超静定次数的确定 .....	117
5.2 方法的基本概念 .....	119
5.2.1 方法的基本原理 .....	119
5.2.2 方法的典型方程 .....	121
5.2.3 方法的计算步骤 .....	124
5.3 荷载作用下各类超静定结构的计算 .....	124
5.3.1 超静定梁 .....	124

5.3.2	超静定刚架和排架	130
5.3.3	超静定桁架和组合结构	134
*5.3.4	弹性支座结构	137
5.4	力法的简化计算	139
5.4.1	无弯矩状态的判断	139
5.4.2	对称性的利用	140
*5.4.3	广义未知力	150
5.5	非荷载因素作用下超静定结构的计算	152
5.5.1	支座移动下超静定结构的计算	153
5.5.2	温度变化时超静定结构的计算	156
*5.5.3	制造误差下超静定结构的计算	157
5.6	超静定结构位移的计算	158
5.7	静定结构计算的校核	161
5.7.1	平衡条件校核	161
5.7.2	变形条件校核	161
*5.8	力法解超静定拱	163
5.8.1	两铰拱	163
5.8.2	对称无铰拱	166
5.9	超静定结构的特性	169
5.10	小结	169
	习题	170
<b>第6章</b>	<b>位移法</b>	<b>176</b>
6.1	等截面直杆的转角位移方程	176
6.1.1	位移法中的符号规定	176
6.1.2	等截面直杆的形常数	176
6.1.3	载常数	179
6.1.4	转角位移方程	179
6.2	位移法的基本概念	183
6.2.1	位移法基本思想	183
6.2.2	位移法的基本未知量和基本结构	185
6.2.3	位移法的典型方程	188
6.2.4	位移法的计算步骤	192
6.3	荷载作用下各类超静定结构的计算	192
6.3.1	连续梁和无侧移刚架	192
6.3.2	有侧移刚架	195
6.3.3	剪力分配法	198
6.3.4	剪力静定刚架	202
*6.3.5	弹性支座结构	205



6.4	对称性的利用 .....	207
6.5	直接平衡法建立位移法基本方程 .....	209
6.6	支座位移和温度改变时的位移法分析 .....	212
6.6.1	支座位移时的计算 .....	212
6.6.2	温度改变时的计算 .....	214
6.7	小结 .....	217
	习题 .....	217
<b>第7章</b>	<b>力矩分配法 .....</b>	<b>222</b>
7.1	力矩分配法的基本概念 .....	222
7.1.1	转动刚度 .....	222
7.1.2	传递系数 .....	223
7.1.3	分配系数 .....	223
7.1.4	等效力矩荷载 .....	224
7.2	多结点结构的力矩分配法 .....	226
7.3	无剪力分配法 .....	232
7.4	小结 .....	234
	习题 .....	235
	索引 .....	238
	参考文献 .....	241

**本章要点：**主要内容包括结构力学课程的研究对象和研究内容、杆件结构计算简图的建立、杆件结构分类、荷载分类和叠加原理。重点是对杆系结构的结构体系、杆件、支座、结点和荷载等方面进行简化，建立既反映原结构主要力学特征，又便于计算的结构计算简图。

### 1.1 结构力学的研究对象和研究内容

#### 1.1.1 结构力学的研究对象

结构就是建筑物中能承受和传递荷载(作用)而起骨架作用的部分。土木工程中的工业厂房、房屋、电视塔、桥梁、隧道等都是典型的工程结构，水利工程中的大坝，石油工程中的海洋平台，以及其他工程领域中的飞机骨架、压力容器、船舶等都是一些重要的结构。根据承载构件的几何特征，结构可以分为三类：

(1) 杆件结构。杆件的几何特征是其长度远大于其横截面的高度和宽度。将杆件按照一定的方式有机地连接起来形成的系统称为杆件结构。框架混凝土结构、桁架等都是比较典型的杆件结构。

(2) 板壳结构。板壳的几何特征是厚度比长和宽两个方向的尺寸小很多。房屋建筑中的楼板和剪力墙，压力容器等都可以简化为板壳结构进行分析。

(3) 实体结构。这类结构的长、宽、高三方向的尺度相当。重力式堤坝、大型基础等都属于实体结构。

实际的建筑往往是多种结构形式组合而成的。根据国内学科的划分，本门课程的主要研究对象是杆件结构。通常所说的结构力学是指杆件结构力学。

#### 1.1.2 结构力学的研究内容

任意一个结构总是为满足一定的功能而设计的，因此，工程师设计的结构必须能安全、正常地工作，同时还要满足经济性、美学和周边环境等方面的要求。在初步设计之后，必须进行结构的力学分析，以确保结构具有合适的强度、刚度和稳定性。具体地讲，结构力学的研究内容主要包括：

- (1) 合理选择结构的计算简图，探讨结构的组成规律及合理形式；
- (2) 在静力荷载作用下，结构的内力和位移的计算原理和方法；
- (3) 在动力荷载作用下，结构的动力特性和结构动力反应的计算原理和方法；

(4) 在静力荷载作用下,结构稳定性的计算原理和方法。

在学习结构力学前,已经学习了理论力学和材料力学。理论力学主要研究物体机械运动的基本规律和力学的一般原理,材料力学主要研究单个杆件的强度、刚度和稳定性。结构力学则是在理论力学和材料力学等课程基础上,主要研究杆件结构的强度、刚度和稳定性,从而为钢结构、钢筋混凝土结构等专业课程以及结构设计提供一般的计算原理和分析方法。因此,结构力学在基础课与专业课之间起着承上启下作用,是土木工程各专业方向一门重要的专业基础课。

## 1.2 结构的计算简图

实际结构一般是很复杂的,完全按照结构的实际情况进行计算是不可能的,也没有必要。对实际结构进行分析,可以略去一些次要因素,保留主要的受力特征,从而使计算切实可行。这种将实际结构适当简化,用做力学分析的简化图形,称为结构的计算简图或称为结构的计算模型。合理地选取结构的计算简图是结构计算中一项极其重要而又必须首先解决的问题。选取结构的计算简图应符合以下两点原则:

- (1) 略去次要因素,反映实际结构的主要受力特点,确保结果可靠。
- (2) 在满足精度的基础上,结构计算简图应当尽量简单,使计算方便。

计算简图的选取并不是唯一的,同一结构的计算简图与结构的重要性、设计阶段、计算问题的性质、计算工具等有关。譬如在初步设计阶段,计算简图可以比较粗糙,在施工图设计阶段则应选择精细的计算模型;动力问题计算比较复杂,可采用较粗的计算模型,而静力问题则可采用更为精细的模型。选取结构计算简图不但需要比较丰富的专业知识,还要一定的结构设计、计算的工作经验,因此,下文主要针对结构计算简图中的一般性问题进行初步介绍。通常,杆件结构的计算简图可从以下几个方面进行简化:①结构体系的简化;②杆件的简化;③支座的简化;④结点的简化;⑤荷载的简化。

### 1.2.1 结构体系的简化

实际的结构都是空间结构。然而,对于绝大多数空间结构来说,它的主要承重结构和力的传递路线是由若干平面组合形成的。显然,平面力系的计算要比空间力系简单得多,因此,在很多情况下,忽略一些次要的空间效应,而当做平面问题进行分析,以简化计算。如图 1.1 所示为一现浇楼盖的框架结构,它是一个典型空间受力体系。在竖向楼面荷载作用下,一般可将荷载按角平分线传至相应两侧的梁上,如图 1.1(b)所示。为方便计算,常忽略结构纵向和横向之间的空间联系,忽略各构件的抗扭作用,将横向框架和纵向框架分别按平面框架进行分析和计算,如图 1.1(c)、(d)所示。通常框架的间距和荷载都相同,因此取有代表性的一榀中间横向框架作为计算单元。纵向框架上荷载往往各不相同,故常有中列柱和边列柱的区别。中列柱纵向框架的计算单元宽度可各取两侧跨距的一半,边列柱的计算单元宽度可取为一侧跨距的一半,从而将空间结构简化为一系列平面结构进行计算。

### 1.2.2 杆件的简化

杆件的截面尺寸通常远小于杆件的长度,此时,截面变形符合平截面假定,即截面的应

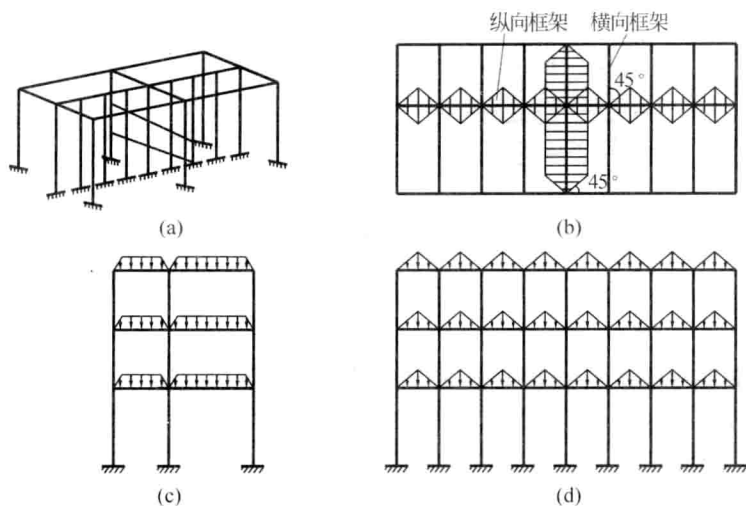


图 1.1

力可根据截面的内力来确定, 截面上的变形可根据轴线上的应变分量来计算。因此, 在结构的计算简图中, 杆件用其轴线表示, 杆件为直杆用直线表示, 杆件为曲杆则用曲线表示。杆件之间的连接用结点表示, 杆长用结点间距表示。

### 1.2.3 结点的简化

结点是指结构中两个或两个以上杆件的共同联结处。根据结点的力学特征和变形特征, 结点可以分为铰结点、刚结点、组合结点、定向结点和半刚性结点。

#### 1. 铰结点

铰结点的变形特征是约束杆端使杆件不能相对移动, 但可相对转动; 其力学特征是可以传递力, 不能传递力矩。图 1.2(a) 为一装配式钢筋混凝土门式三铰刚架的顶铰结点构造图, 这是一种较为典型的铰结点, 计算简图如图 1.2(b) 所示。两杆可绕结点自由转动, 夹角  $\alpha$  可以改变。这种连接两根杆的铰结点称为单铰结点。图 1.3(a) 为一钢桁架的结点构造图, 各杆借助结点板用电焊(或铆钉、螺栓等)连接起来, 这种连接方式刚性较大, 各杆之间不能相互转动。但由于桁架中各杆主要是承受轴向力, 由结点刚性连接引起的杆件弯曲变形所产生的弯矩很小而忽略不计, 所以计算时, 仍可将这种结点简化为铰结点进行计算。这种连接两根以上杆件的铰结点称为复铰结点, 计算简图如图 1.3(b) 所示。

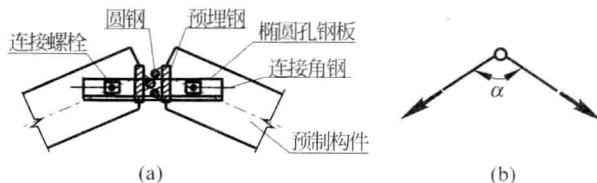


图 1.2

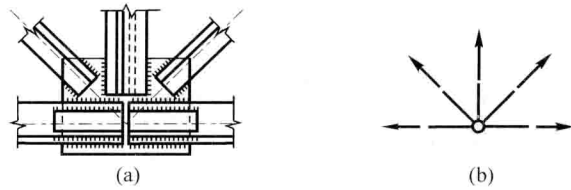


图 1.3

## 2. 刚结点

刚结点的变形特征是所连接的杆件之间既不能相对移动,又不能相对转动;其力学特征是既可以传递力,又可传递力矩。图 1.4(a)所示为一钢筋混凝土楼梯的刚结点构造图,其计算简图如图 1.4(b)所示。由于两杆牢固的连接成一个整体,夹角是不能改变的。这种连接两根杆的刚结点称为单刚结点。图 1.5(a)为钢筋混凝土边柱和梁结点的构造图,其计算简图如图 1.5(b)所示。由于梁和柱之间的钢筋布置以及混凝土将它们浇筑成整体,使梁和柱不能产生相对移动和转动,这种连接两根以上杆件的刚结点称为复刚结点(图 1.5(b))。

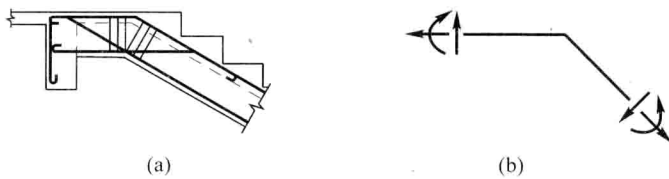


图 1.4

## 3. 组合结点

如果一个结点同时包含刚结点和铰结点,则称这种结点为组合结点。图 1.6(a)为钢结构柱和梁连接的构造图,其中梁通过腹板由单角钢与柱相连,转动刚度很小。因此,将梁和柱之间的连接看作铰结点,柱是连续的或者是刚性连接的,则其计算简图可表示为图 1.6(b)。

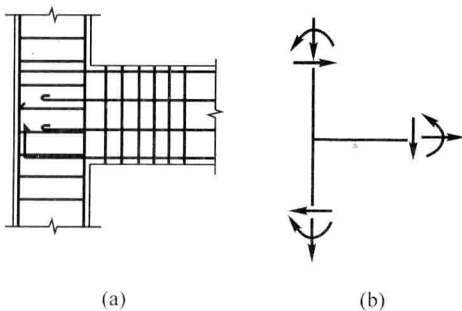


图 1.5

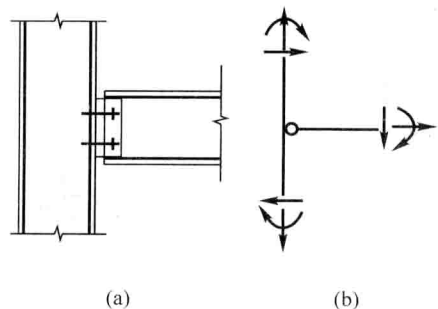


图 1.6

#### 4. 定向结点

定向结点的变形特征是能沿某一方向相对平动,但不能相对转动。其力学特征是可以传递力矩,无法传递相对平动方向的力。图 1.7(a)为允许剪切平移的定向结点,图 1.7(b)为允许轴向平移的定向结点。这类结点工程实例很少,但在结构计算中经常用到。

#### 5. 半刚性结点

前面介绍铰结点是指两杆可完全自由转动,但实际工程中一定存在摩擦力等阻止结构转动的因素,即杆件结点总有一定刚度的存在。刚结点中杆件之间完全没有相对转动,但由于钢筋焊接、锚固及接缝处混凝土不密实等因素的影响,在杆端弯矩作用下,结点上各杆之间的夹角多少会产生一些相对转角。这种在杆端力矩作用下,各杆之间可能产生相对转角弹性变形的结点称为半刚性结点,或称为旋转弹性结点。图 1.8(a)为具有两根杆件的旋转弹性结点,图 1.8(b)常用作带裂纹梁的计算模型。在杆端力矩  $M$  作用下,两杆之间产生相对转角为  $\varphi$ ,则根据刚度的定义,弹簧的转动刚度系数可定义为

$$k_{\varphi} = M/\varphi \quad (1.1)$$

当  $k_{\varphi} = 0$  时,实际上就是铰结点,而  $k_{\varphi} \rightarrow \infty$  实际上就表示刚结点。

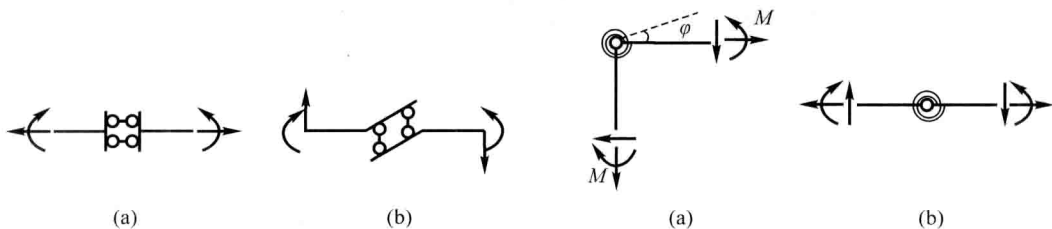


图 1.7

图 1.8

### 1.2.4 支座的简化

支座就是结构与基础相联结的装置。它的作用是限制结构沿某一个或几个方向运动,从而产生支座反力,所以支座是限制结构运动的外部约束。根据约束的作用区分,支座可分为:活动铰支座、固定铰支座、固定支座、定向支座和弹性支座。

#### 1. 活动铰支座

活动铰支座又称滚轴支座,其限制结构沿某一方向移动。图 1.9(a)是桥梁中常用的辊轴支座,这种支座的特点是它允许结构水平移动和转动,但是不能竖向移动。其计算简图可用一根支杆表示,如图 1.9(b)所示,它的约束反力只有竖向反力。

#### 2. 固定铰支座

固定铰支座简称铰支座。在这种约束下杆端不能移动,但可以转动。这种支座的构造如图 1.10(a)所示,它容许结构在支承处绕圆柱铰 A 转动,但不能作水平和竖向移动。铰支

座的计算简图可用图 1.10(b)表示。铰支座能产生水平和竖向两个反力,或合成为一个合力,力都通过铰的中心。

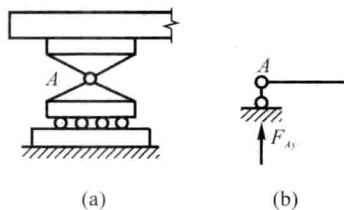


图 1.9

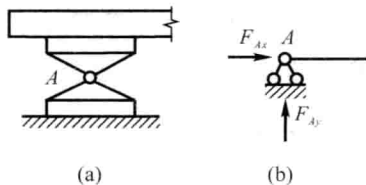


图 1.10

### 3. 固定支座

固定支座约束杆端既不能移动也不能转动,如图 1.11(a)所示。因此,它将产生三个反力,其计算简图可用固定端(图 1.11(b))或不交于一点的三根支杆表示(图 1.11(c))。图 1.11(d)所示为现浇的钢筋混凝土柱下独立基础,如果忽略地基的弹性变形,其计算简图可表示为图 1.11(e)或(f)。

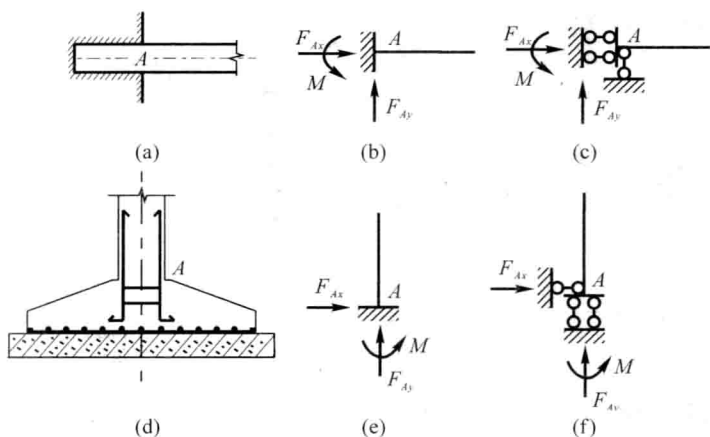


图 1.11

### 4. 定向支座

定向支座又称为滑动支座,其允许杆端沿一定方向自由移动,而沿其他方向不能移动,也不能转动。这种支座在现实中较少,在对称性计算的计算简图中使用较多。其计算简图如图 1.12 所示。图 1.12(a)约束限制杆件竖向运动和转动,图 1.12(b)约束限制杆件水平运动和转动,并可提供相应的两个反力。

### 5. 弹性支座

前面所提的支座实际上都假定地基是刚性的,在荷载作用下不产生任何变形。这种假定对于图 1.13(a)中修建在基岩上的结构 A 是比较符合实际情况的。但是对于修建于软土

中的结构  $B$ , 在荷载或地震作用下, 地基也会产生相应的变形。为考虑地基土变形对结构反应的影响, 可用图 1.13(b) 的计算简图表示, 图中能产生线位移的称为伸缩弹性支座, 弹簧水平位移刚度为  $k_N$ , 产生角位移的称为旋转弹性支座, 转动刚度为  $k_\theta$ 。

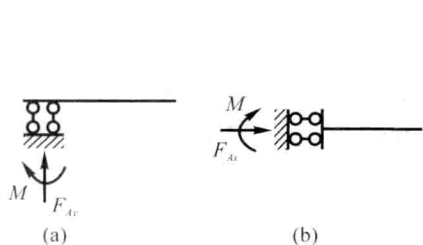


图 1.12

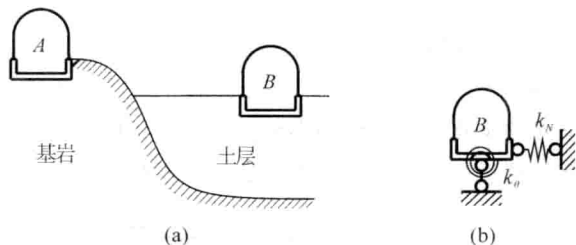


图 1.13

### 1.2.5 荷载的简化

结构最重要的一项功能是承受其使用过程中可能出现的各种荷载(作用)。譬如: 房屋结构要承受构件的自重、人群荷载等, 桥梁结构要承受车辆重力、制动力等, 挡土墙要承受水土压力等。在杆件结构中将杆件简化为轴线, 因此, 不管何种荷载都简化为作用在杆件轴线上的力。在计算简图中, 都需要将它们简化为作用在构件轴线上的分布荷载、集中荷载或力矩。

下面给出几个选取计算简图的例子。

**例 1.1** 一幢单层单跨的砌体房屋如图 1.14(a) 所示, 纵墙承重, 钢筋混凝土平屋顶由预制板和大梁组成搁置在纵墙上, 两端没有横墙, 纵墙受风荷载作用。现在就结构的计算简图建立过程说明如下。

由于纵墙上的窗口是均匀排列的, 风荷载沿纵向也是均匀分布的, 在水平荷载作用下整个房屋墙顶的水平位移相同, 如图 1.14(b) 所示。因此可通过两个窗口的中线截出一个单元代表整个房屋的受力状态, 从而将结构简化为图 1.14(c) 所示的平面问题来处理。屋面板是直接搁置在纵墙上, 墙和屋面板之间不会传递弯矩, 两者之间简化为铰连接。在水平荷载作用下, 屋面板的轴向变形与墙的水平位移相比是一个小量, 可以忽略不计, 横梁可进一步简化为刚性杆。则两端无横墙的房屋在水平风载作用下的静力分析可以按平面铰接排架体系来计算(图 1.14(c))。

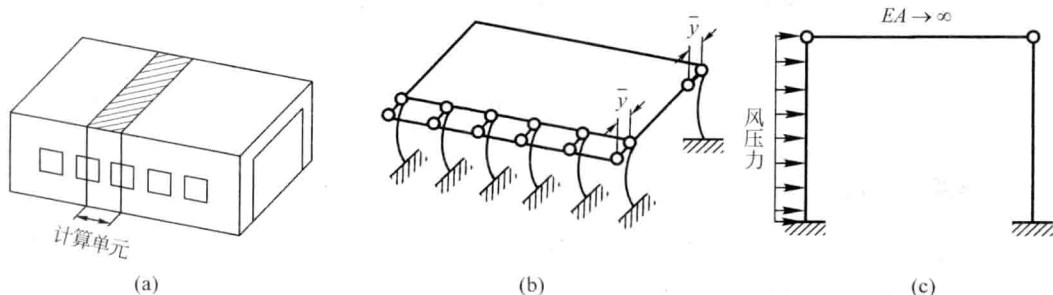


图 1.14



**例 1.2** 图 1.15(a)为一座钢筋混凝土高架桥,上部结构单位长度的质量为  $m$ ,支承在等间距的排架上,排架的间距为  $L$ 。基础由桩和承台两部分组成,桩穿过软土地带支承在坚硬的土层上,现在就地震作用下桥梁横向动力反应的计算简图说明如下。

取排架两侧跨距的一半作为计算单元宽度,采用集中质量的方法集聚在排架的顶端。桩基础支承在坚硬的土层上,结构的竖向位移反应很小可以忽略不计,但是软土地带中水平位移的土-结构相互作用影响较大。结构的计算简图可表示为如图 1.15(b)所示的两自由度问题进行近似计算,其中土的水平位移影响用水平弹簧近似计算。

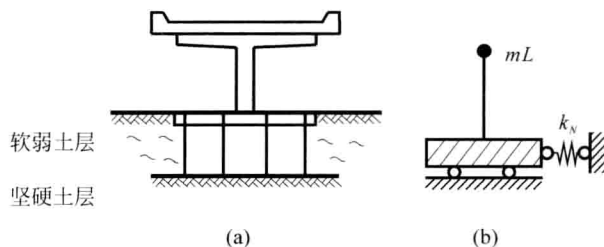


图 1.15

## 1.3 杆件结构的分类

在结构力学中,通常以结构计算简图代替实际结构,因此下面所讲的结构分类实际上是结构计算简图的分类。杆件结构应用广泛,类型很多,根据不同的观点有不同的分类方法。

### 1.3.1 按计算特性分类

#### 1. 静定结构

在任意荷载作用下,结构的内力和反力由静力平衡条件就可以完全确定的,称为静定结构。例如图 1.16(a)所示的简支梁,其反力和任一截面的内力均可由平衡条件求得,因此它是静定结构。

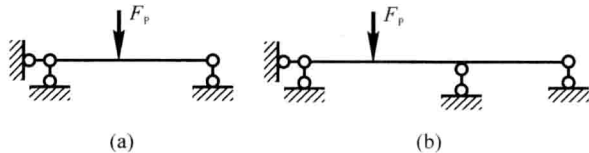


图 1.16

#### 2. 超静定结构

在任意荷载条件下,仅利用静力平衡条件无法完全确定所有的内力和反力,需要利用变形协调条件建立补充方程才能得到结构解的,称为超静定结构。例如图 1.16(b)所示的两跨连续梁,它有 4 个未知反力,但根据梁的平衡条件,却只能建立 3 个独立的平衡方程。若