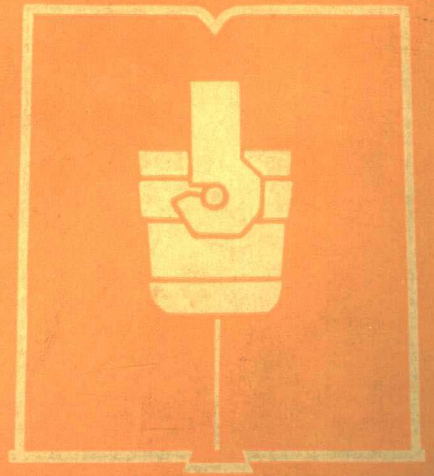


高等学校教学用书

结构力学

GAODENG XUEXIAO JIAOXUE YONGSHU



冶金工业出版社

高等学校教学用书

结构力学

长春建筑专科学校 薛光瑾

武汉冶金建筑专科学校 熊昌康

主编

江苏工业学院图书馆
藏书章

冶金工业出版社

高等学校教学用书

结构力学

长春建筑专科学校 薛光瑾

主编

武汉冶金建筑专科学校 熊昌康

*

冶金工业出版社出版

(北京北河沿大街盖家楼北巷39号)

新华书店北京发行所发行

冶金工业出版社印刷厂印刷

*

787×1092 1/16 印张 28 字数671千字

1987年6月第一版 1987年6月第一次印刷

印数00,001~11,300册

统一书号: 15062·4585 定价4.60元

前 言

本书是根据高等专科学校土建类专业（三年制）结构力学教学要求编写的。

全书共分十一章。内容包括：平面体系的几何组成分析、静定结构的内力计算、结构的位移计算、计算超静定结构的力法、位移法、渐近法与近似法、梁的影响线、矩阵位移法（含以BASIC语言编写的刚架、连续梁电算程序）和结构动力计算。每章后面附有思考题和习题以及部分答案。书中还有少量选学的内容，在该节前面以“*”注明。

本书在编写过程中主要参考了大学本科通用的《结构力学》教材，但为了体现专科特色和适合高等专科学校学生的需要，在选材上加强了应用性和针对性；在内容叙述上力求作到简明扼要、由浅入深、通俗易懂。

本书是由长春建筑专科学校和武汉冶金建筑专科学校合编的。参加编写的有长春建筑专科学校薛光瑾(1、5、6、7章)、郑大为(2、3、4章)，武汉冶金建筑专科学校唐耀煊(8、9章)、熊昌康(10、11章)。全书由薛光瑾、熊昌康担任主编。吴富英、蒋美仙描绘了全部插图。

本书由长春建筑专科学校卢存恕主审。

限于编者水平，书中缺点错误在所难免，恳请使用本书的师生与读者批评指正。

编 者

1986.3月

目 录

第一章 绪论	1
§ 1-1 结构力学的研究对象和任务.....	1
§ 1-2 结构的计算简图及其分类.....	3
§ 1-3 荷载及其分类.....	9
第二章 平面杆件体系的几何组成分析	10
§ 2-1 概述.....	10
§ 2-2 平面体系的几何组成分析.....	14
§ 2-3 瞬变体系的概念.....	17
§ 2-4 平面体系在静力学解答方面的特性.....	18
思考题.....	20
习题.....	21
第三章 静定梁、静定平面刚架和三铰拱的内力计算	23
§ 3-1 单跨静定梁的计算.....	23
§ 3-2 多跨静定梁的计算.....	29
§ 3-3 静定平面刚架的计算.....	32
§ 3-4 三铰拱的计算.....	39
§ 3-5 三铰拱的压力线与合理拱轴的概念.....	45
思考题.....	47
习题.....	48
第四章 静定平面桁架	53
§ 4-1 概述.....	53
§ 4-2 结点法.....	53
§ 4-3 截面法.....	58
§ 4-4 结点法与截面法的联合应用.....	62
§ 4-5 桁架内力的图解法.....	63
§ 4-6 几种桁架受力性能的比较.....	67
§ 4-7 组合结构的计算.....	69
思考题.....	72
习题.....	72
第五章 结构的位移计算	76
§ 5-1 概述.....	76
§ 5-2 虚功原理.....	78
§ 5-3 结构位移计算的一般公式.....	86
§ 5-4 静定结构在荷载作用下的位移计算.....	88
§ 5-5 图乘法.....	95
§ 5-6 静定结构由于支座移动、温度变化所引起的位移.....	103
§ 5-7 互等定理.....	107

思考题	110
习题	112
第六章 力法	119
§ 6-1 超静定结构的组成与超静定次数的确定	119
§ 6-2 力法的基本原理	121
§ 6-3 力法的典型方程	124
§ 6-4 力法的计算步骤和举例	126
§ 6-5 超静定结构的位移计算	141
§ 6-6 最后内力图的校核	143
§ 6-7 温度改变及支座移动时超静定结构的计算	146
§ 6-8 对称性的利用	151
§ 6-9 二铰拱的计算	163
§ 6-10 超静定结构的特性	168
思考题	168
习题	169
第七章 位移法	177
§ 7-1 位移法的基本概念	177
§ 7-2 位移法的基本未知量与基本结构	179
§ 7-3 等截面直杆的转角位移方程	183
§ 7-4 位移法的典型方程和计算举例	193
* § 7-5 用位移法计算有斜柱的刚架	203
§ 7-6 直接利用平衡条件建立位移法方程	207
* § 7-7 变截面杆件的转角位移方程	211
* § 7-8 用剪力分配法计算等高排架	217
思考题	222
习题	222
第八章 渐近法和近似法	233
§ 8-1 力矩分配法的基本概念	233
§ 8-2 用力矩分配法计算连续梁和无侧移刚架	236
§ 8-3 无剪力分配法	244
* § 8-4 迭代法	248
§ 8-5 多层多跨刚架的近似计算	256
思考题	264
习题	264
第九章 影响线	267
§ 9-1 影响线的概念	267
§ 9-2 用静力法作静定梁的影响线	268
§ 9-3 间接荷载作用下的影响线	272
§ 9-4 用机动法作静定梁的影响线	274
§ 9-5 影响线的应用	276
§ 9-6 简支梁的内力包络图和绝对最大弯矩	282
§ 9-7 连续梁的影响线	285

§ 9-8 连续梁的内力包络图.....	288
思考题	292
习题	292
第十章 矩阵位移法	296
§ 10-1 引言及基本概念.....	296
§ 10-2 单元刚度矩阵.....	298
§ 10-3 单元刚度矩阵的坐标变换.....	304
§ 10-4 结构的原始刚度矩阵.....	308
§ 10-5 支承条件的引入.....	314
§ 10-6 非结点荷载的处理.....	315
§ 10-7 直接刚度法的计算步骤及示例.....	317
§ 10-8 直接刚度法的另一种形式——先处理法.....	327
§ 10-9 平面刚架电算程序 (BASIC语言) 设计	339
§ 10-10 连续梁电算程序 (BASIC语言)	365
思考题	370
习题	370
第十一章 结构的动力计算	375
§ 11-1 概述.....	375
§ 11-2 单自由度体系的自由振动.....	379
§ 11-3 单自由度体系的强迫振动.....	384
§ 11-4 阻尼对单自由度体系振动的影响.....	390
§ 11-5 多自由度体系的自由振动.....	399
§ 11-6 多自由度体系在简谐荷载作用下的强迫振动.....	414
* § 11-7 振型分解法.....	421
§ 11-8 计算频率的近似方法.....	428
思考题	434
习题	434

第一章 绪论

§ 1-1 结构力学的研究对象和任务

在土木工程中，由建筑材料按照合理的方式组成，并能承受和传递一定荷载作用的物体或体系，称为**工程结构**（简称**结构**）。如工业厂房中的屋架、柱、基础等（图1-1a），它们起着承受和传递荷载的骨架作用。又如房屋建筑中的刚架、挡土墙，公路与铁路工程中的桥梁以及水坝等，也是结构的例子（图1-2）。结构一般由多个构件联结而成，单个构件（如梁、柱）则是最简单的结构。

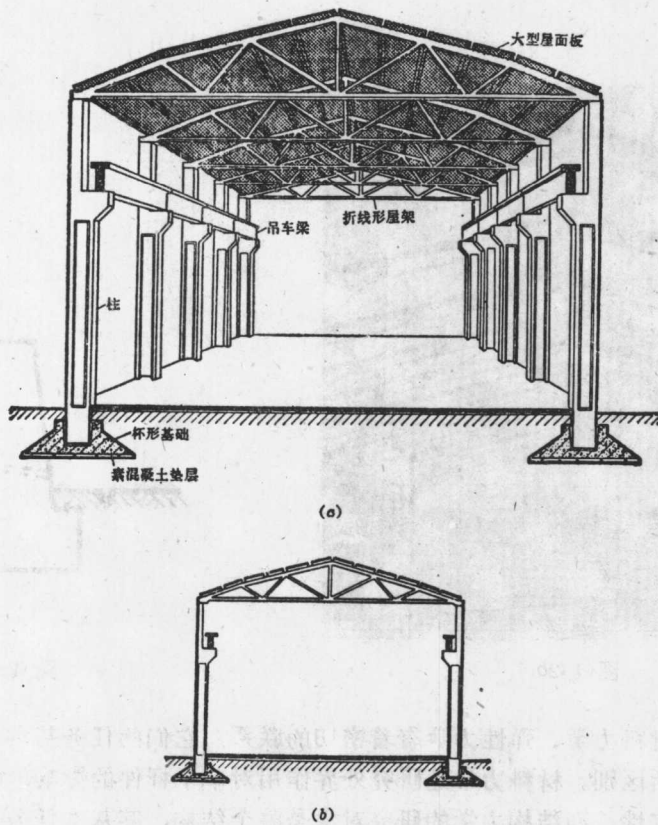


图 1-1

结构按其几何特征可分为**杆系结构**、**板壳结构**和**实体结构**三大类。杆系结构是由若干杆件组成的结构，杆件的长度远大于其截面的宽度和厚度；若杆件长度与宽度远大于其厚度的，则属于板壳结构。形状呈平面状的为板，曲面状的则为壳；若构件的长度、宽度、厚度为同级尺寸的，称为实体结构。

本书所指的结构，即狭义地指杆系结构。

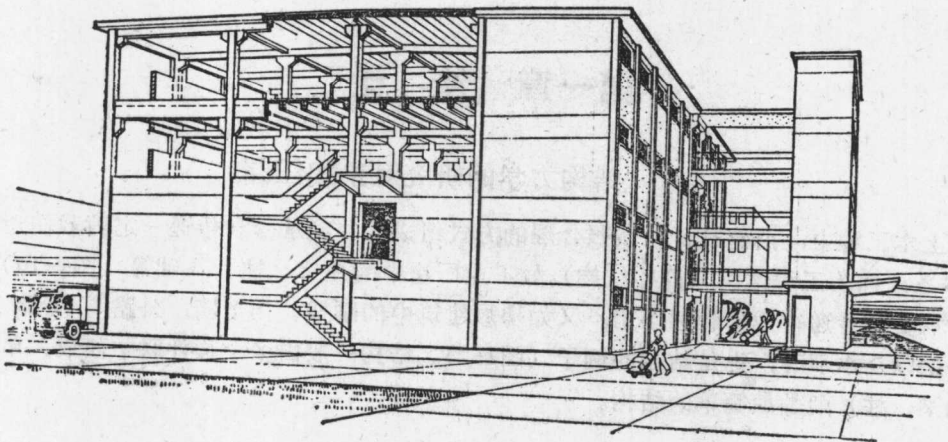


图 1-2a

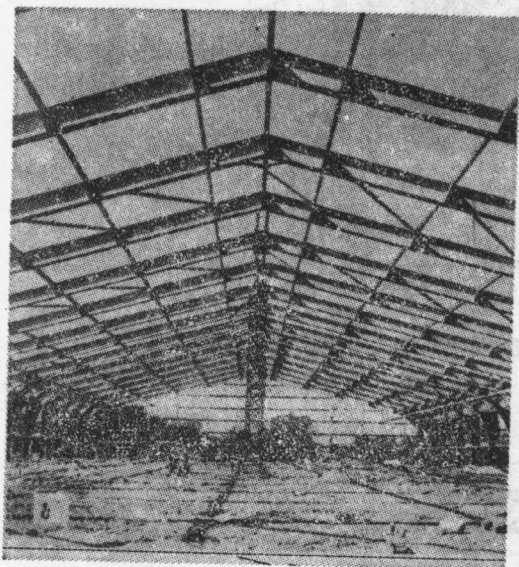


图 1-2b

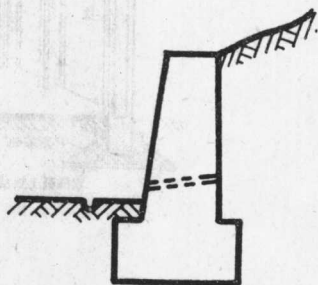


图 1-2c

结构力学与材料力学、弹性力学有着密切的联系，它们的任务基本相同，但在研究对象和侧重面上有所区别。材料力学是研究外界作用对单个杆件的影响，即研究单个杆件的强度、刚度和稳定性。而结构力学的研究对象是整个结构，其基本任务是研究结构的组成规律和合理形式以及结构在外因作用下的强度、刚度和稳定性的计算原理与计算方法。弹性力学则以各种板壳结构和实体结构为研究对象，研究其强度、刚度和稳定性的问题。当然这种学科间的区分并非绝对的，有的已经独立成为一个新的分支。

无论进行强度、刚度或稳定性的任何一方面的研究，都和外界因素影响下结构所产生的内力紧密相关。因此，研究各种结构的内力计算是结构力学的重要内容。

结构力学是一门技术基础课，在专业学习中占有重要的地位。它一方面与前修课程有密切的联系，另一方面又为进一步学习《钢筋混凝土结构》、《钢木结构》等专业课程奠定必

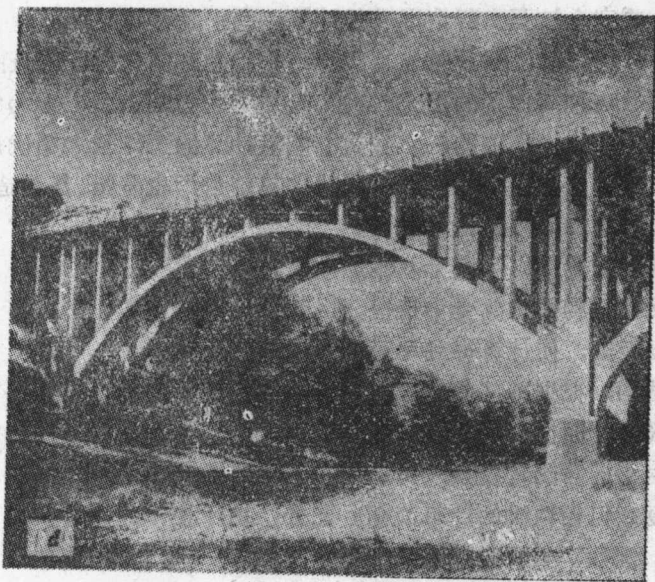


图 1-2d

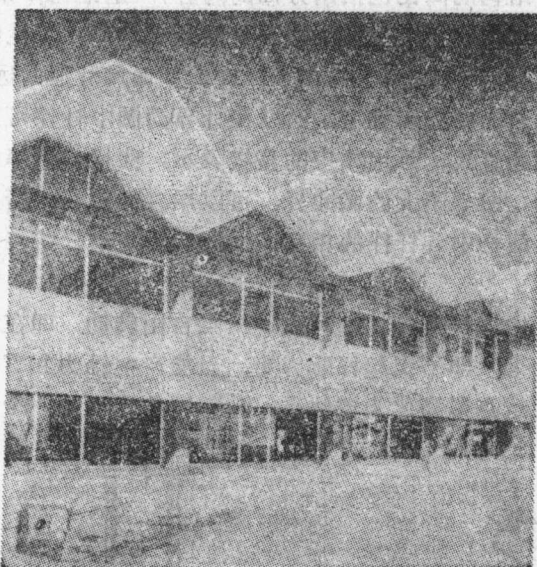


图 1-2e

要的力学基础。

掌握了结构力学的基本原理和基本方法，不仅能解决一般结构设计和施工中的力学问题，而且也为进一步学习和掌握现代结构分析方法奠定了基础。

§ 1-2 结构的计算简图及其分类

一、结构的计算简图

因实际结构的组成、受力和变形情况比较复杂，影响力学分析的因素很多，故在作结

构的力学分析时，要完全按照实际情况进行计算，几乎是不可能的，也是不必要的。因此，在进行结构的力学分析之前，必须首先把实际结构抽象和简化为既能反映实际受力情况而又便于计算的模型。这种简化了的用来代替实际结构的力学模型，称为结构的计算简图。

计算简图的选择是十分重要的，它直接影响着计算的工作量和精确度。如果计算简图不能正确地反映结构的主要受力特征，就会使计算结果产生差错，甚至造成工程质量事故。因此，对计算简图的选择必须持慎重态度。

计算简图的选择应遵循以下两个基本原则：

- 1) 尽可能反映结构的主要受力情况，以保证计算的精度。
- 2) 略去次要因素，使计算得到尽可能多的简化。

对于同一种结构，根据不同的情况可以取不同的计算简图。例如在初步设计中可选取较为简单的计算简图，而在最后的设计阶段中可选取较为复杂但较精确的计算简图；在进行动力计算时，由于计算比较复杂，可选取较为粗略而简单的计算简图。在进行静力计算时，可选取较为复杂但较精确的计算简图。此外，由于使用的计算工具不同，所选取的计算简图也可不同。例如，手算的计算简图可取得简单一些，而电算的计算简图可取得复杂一些。

在选取计算简图时，对实际结构可从下列几个方面进行简化：

1) 结构的简化 结构的简化包括两方面的内容，一是结构体系的简化，二是结构构件的简化。结构体系的简化是指把实际多维空间整体的结构，在可能的条件下简化或分解为若干个平面结构。在结构构件的简化中，由于杆件的截面尺寸通常远比杆件的长度小得多，截面上的应力可根据截面的内力来确定，所以在计算简图中杆件可用其纵轴线来表示。如梁、柱等构件的纵轴线为直线，可用相应的直线表示；曲杆、拱等构件的纵轴线为曲线，则可用相应的曲线表示。曲率不大的微曲杆，可以用直的轴线或折线段表示。

2) 结点的简化 结构中各杆件的相互连接处称为结点。结点通常可简化为铰结点和刚结点两类。

铰结点的特征是它所连接各杆都可以绕结点自由转动，即在结点处各杆件的夹角可以改变，不存在转动约束，即不引起杆端力矩，只能产生轴力和剪力。如桁架中的杆件内力以轴力为主，故桁架结点多简化为铰结点。理想铰结点可用一个小圆圈表示（图1-3a）。

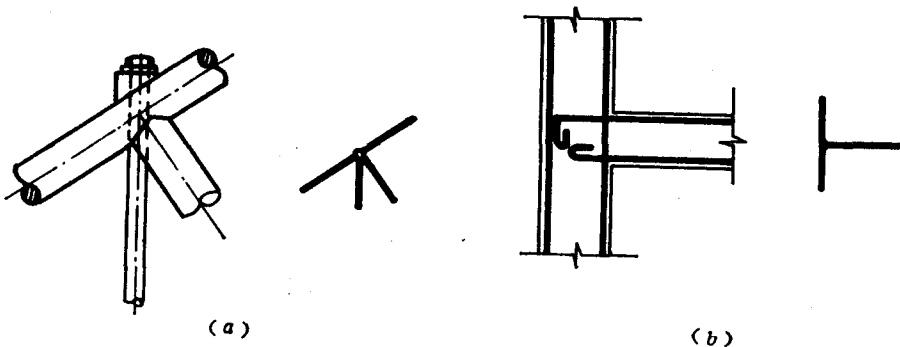


图 1-3

刚结点的特征是它所连接各杆不能绕结点自由转动，即在结点处各杆端之间的夹角

始终保持不变，结点对杆端有转动约束存在，各杆端除产生轴力和剪力以外，尚产生杆端力矩。刚结点如图1-3b所示。

3) 支座的简化 结构与基础或支承部分相联结的装置称为支座。平面结构的支座可分为固定铰支座、可动铰支座、固定端支座和定向支座四种，如图1-4所示。前三种支座在工程力学中已经熟悉。定向支座的特征是杆件可沿其某一指定方向移动，但其杆端不能

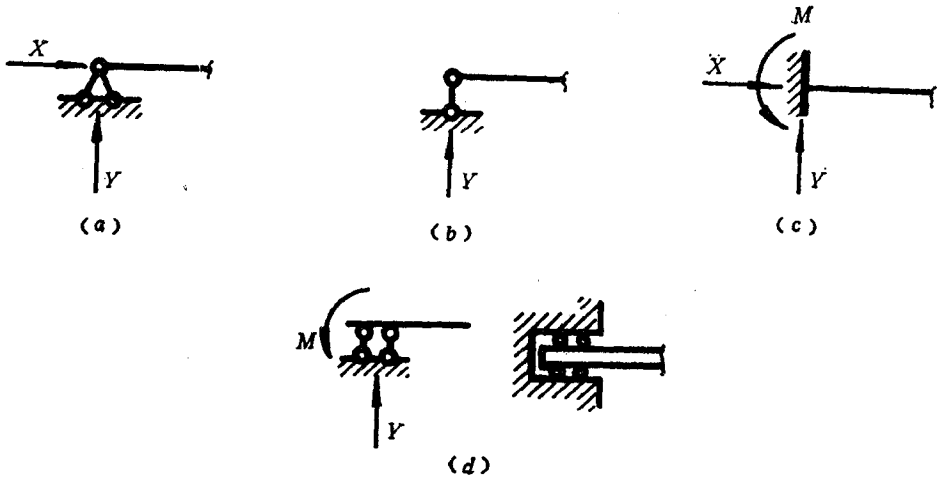


图 1-4

产生转动 (图1-4d所示定向支座为可沿水平方向移动),因而这种支座可以产生一个方向的支座反力 Y 和支座反力矩 M 。

4) 荷载的简化 实际结构构件受到的荷载,一般是作用在构件内的体荷载或称体力(如自重)以及作用在构件某一面积上的面荷载或称面力(如风压力);但在计算简图中,都需要把它们简化为作用在构件纵轴线上的线荷载、集中荷载或力偶。

下面举例说明结构计算简图的取法。

图1-1a所示为一单层工业厂房。现以横向平面单元为例,说明计算简图的绘制方法。

该单层厂房结构是由许多横向的平面单元(图1-1b),通过各种纵向构件(如屋面板和吊车梁等)联系起来的复杂空间结构。由于各个横向平面单元沿厂房的纵向是有规律地排列的,而且作用在结构上的荷载一般又是沿纵向均匀分布的,因此,在计算横向平面单元时,可不考虑整体空间作用,而将它们视为彼此独立的平面结构。作用在结构上的荷载,则通过纵向构件分配到各横向平面结构上。这样,就把一个空间结构分解为若干个平面结构来进行计算。这一简化过程即结构体系的简化;其次考虑各个构件的简化,柱用其轴线表示。屋架因其平面内刚度很大,故用一直杆表示。这一过程即结构构件的简化;屋架与柱顶的联结因多系螺栓联结或焊接,可视为铰接点;支座因柱下端与基础联结牢固,嵌入较深,故可视为固定端支座。此过程即为结点和支座的简化;吊车梁传来的压力,因吊车梁与牛腿接触面积较小,可用集中力表示。柱子所受的水平风力,可按平面单元负荷宽度化为一均布线荷载。综上所述,此横向平面单元的计算简图如图1-5所示。

图1-6a为横向单元内的屋架,在计算其上的各杆内力时,可把它单独取出。在屋架与

柱顶联结的地方，分别视为固定铰支座和可动铰支座，屋架为杆件组成的平面杆系结构。屋架的各杆可用其轴线来表示，并假定所有这些轴线都位于同一平面内，且在每一结点处

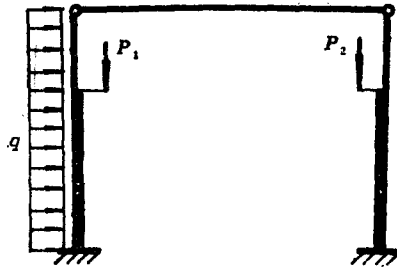


图 1-5

都相交于一点，这些交点就抽象地代替了实际的结点。根据力学分析和实测的验证可知，当荷载只作用于结点时，屋架各杆的内力主要是轴力，弯矩和剪力都很小，因而从力学观点来看，可把屋架的各个结点均假定为理想铰结点。于是，得到图1-6b所示的屋架计算简图。当屋架的跨度不很大时，按这种计算简图所得到的各杆内力（只有轴力）与实际轴力比较接近。

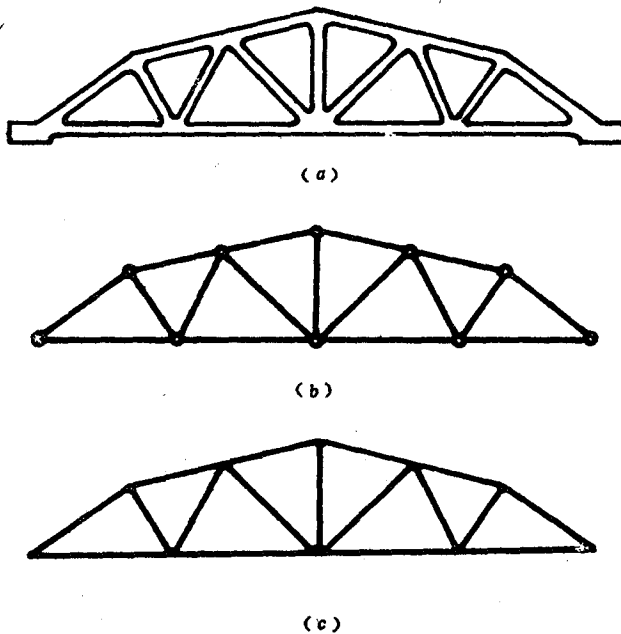


图 1-6

为了获得更精确一些的计算简图，可将各杆端联结区视为绝对刚性的刚结点，如图1-6c所示。这样的假定虽然也不完全符合实际情况，但比较结的假定要接近实际一些，可是计算工作要复杂得多。

如何选取合适的计算简图，是结构设计中十分重要而又比较复杂的问题，不仅要掌握选取计算简图的原则，而且要有较多的实践经验，这就需要在后续专业课中和工作实践中

进一步解决这个问题。对于一些新型结构，往往还要通过反复试验和实践才能获得比较合理的计算简图。不过，对于常用的结构型式，可利用前人已积累的经验，直接采取其常用的计算简图。最后需要指出，计算简图确定之后，在进行结构设计时，还应采取相应的构造措施，以使实际结构的内力分布和变形特点与计算简图的情形相符。

二、平面杆系结构的分类

前面已指出，结构力学研究的主要对象是杆系结构，按其杆件轴线和外力的空间位置，可分为平面杆系结构和空间杆系结构。平面杆系结构按其受力特性不同又可分为以下几种：

1) 梁——梁是一种受弯构件，其轴线通常为直线。梁可以是单跨的(图1-7a、c)，也可以是多跨的(图1-7b、d)。

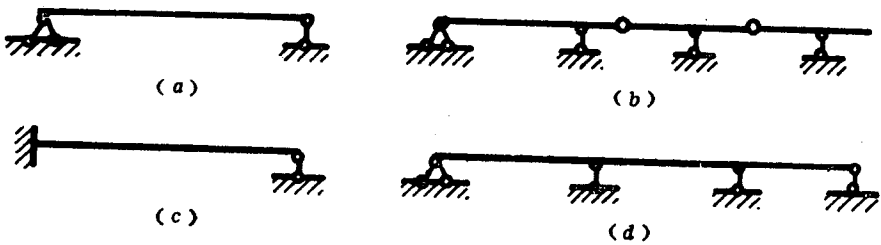


图 1-7

2) 拱——拱的轴线多为曲线，其特点是在竖向荷载作用下，支座处不仅产生竖向反力而且产生水平反力，故拱是有水平推力的结构或简称为推力结构(图1-8a、b、c)。这种水平推力将使拱内弯矩远小于跨度、荷载及支承情况相同的梁的弯矩。拱一般以压缩变形为主，可以是单跨的，也可以是多跨的。

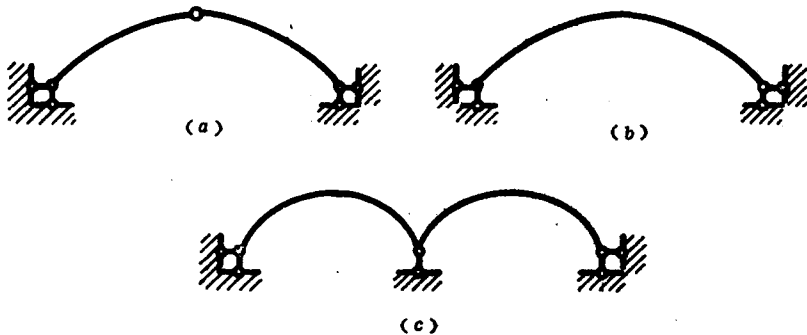


图 1-8

3) 刚架——刚架是由梁和柱组成的结构(图1-9)。其特点是具有刚结点。刚架各杆主要承受弯矩，也承受剪力和轴力。刚架可以是单跨单层的，也可以是多跨多层的。

4) 桁架——桁架是由若干根杆件在其两端用理想铰链联接而成的结构(图1-10)。其上各杆的轴线一般都是直线,当只受到作用于结点上的荷载时,各杆将只产生轴力。

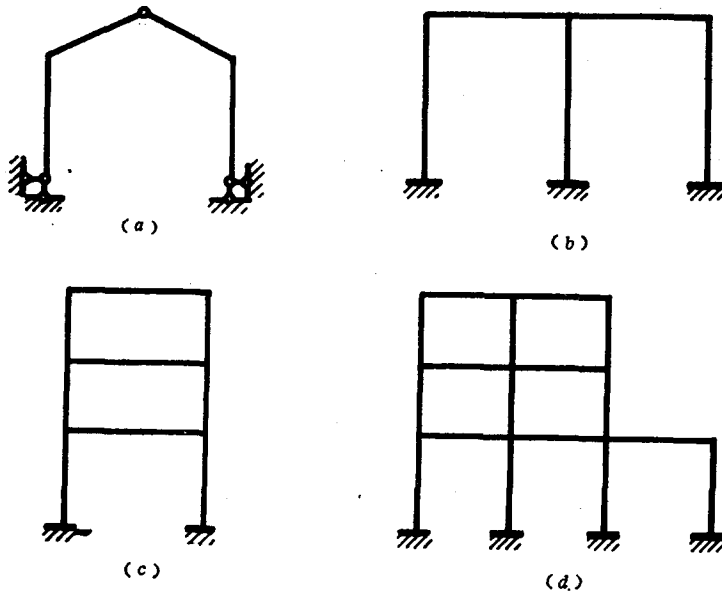


图 1-9

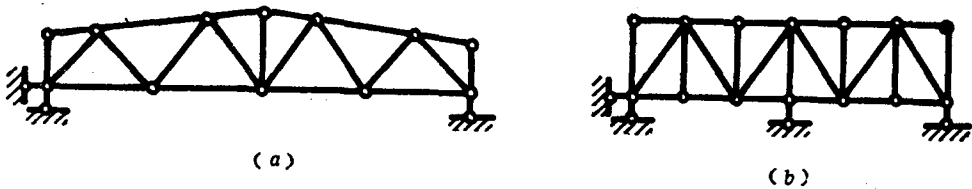


图 1-10

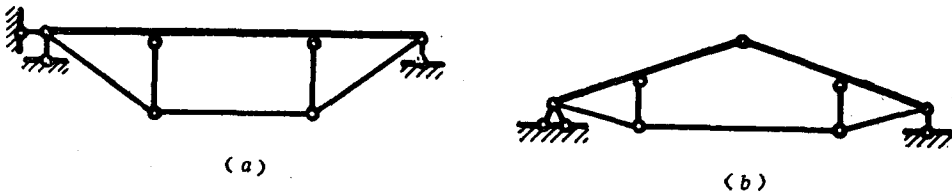


图 1-11

5) 组合结构——组合结构是由受力形式不同的两部分杆件组合而成的结构(图1-11a、b)。在这种结构中,有些杆件只承受轴力,而另一些杆件还同时承受弯矩和剪力。

杆系结构按计算方法,又可分为静定结构和超静定结构。若一结构在承受任何荷载时,所有反力和任何一截面上的内力都可由静力平衡条件求得,且其值是确定的,则此结构称为静定结构,如图1-7a、b,图1-8a,图1-9a,图1-10a等所示的结构都属于静定结构。图1-7c、d,图1-8b,图1-9b、c、d,图1-10b,图1-11a等所示的结构都属于超静定结构。

超静定结构的所有反力和内力是不能只用静力平衡条件来确定的，还必须同时考虑变形条件才能求得。

§ 1-3 荷载及其分类

荷载是主动作用于结构上的外力，如结构的自重、人群及货物的重量、吊车的轮压、土压力、风、雪荷载等。在对结构进行计算之前，必须确定结构所要承受的荷载。合理地确定荷载是正确地进行结构设计的重要前提之一。

1. 荷载按其作用时间的久暂可分为：

(1) 恒载 恒载是指永久作用在结构上的荷载，如自重以及固定在结构上的附属物传来的重量。

(2) 活载 活载是指暂时作用于结构上的荷载，它时而出现，时而消失。如车辆、吊车、人群、风、雪等。活载还可划分为可动荷载和移动荷载两类。可动荷载是指在结构上能占有任意位置的活载（如风载、雪载），而移动荷载则为一系列互相平行、间距保持不变且能在结构上移动的活载（如车辆、吊车）。

2. 荷载按其作用的性质可分为：

(1) 静力荷载 静力荷载是指其大小、方向和位置不随时间变化或变化很缓慢的荷载。它不致使结构产生显著的加速度，因而可以略去惯性力的影响。结构的自重及其它的恒载都属于静力荷载。静力荷载简称静荷载。

(2) 动力荷载 动力荷载是指随时间迅速变化的荷载，它会使结构产生显著的冲击或振动，结构将产生不容忽视的加速度，因而必须考虑惯性力的影响。例如动力机械运转时产生的荷载，冲击波的压力，地震时地面运动对建筑物引起的动力作用都是动力荷载。动力荷载简称为动荷载。

3. 荷载按其分布范围可分为：

(1) 分布荷载 分布荷载是指连续分布在结构上的荷载。连续分布在结构内部各点上的荷载称为体分布荷载，如结构的自重及惯性力；连续分布在结构表面上的荷载称为面分布荷载；当分布荷载在结构上均匀分布时，则称为均布荷载。

(2) 集中荷载 集中荷载是指分布面积远小于结构尺寸的荷载，因而可近似地认为是作用在结构上的某一个点处的荷载。如吊车梁上的吊车轮压，可看作吊车梁上的集中荷载。

应该指出：结构除了承受荷载外，尚可受到其它外在因素的作用，如温度的改变、支座的移动、材料的收缩等。

第二章 平面杆件体系的几何组成分析

§ 2-1 概 述

一、几何组成分析的目的

如果不考虑材料应变所产生的变形，体系在受到任意荷载作用后能够保持其固有的几何形状和位置不变者，称为几何不变体系，如图2-1a所示。但图2-1b所示体系，即使在很小的力 P 作用下，它的几何形状和位置也将发生改变，这样的体系被称为几何可变体系。结构既然是用来承受荷载的，所以必须是几何不变体系。显然，几何可变体系是不能用来作为结构的。

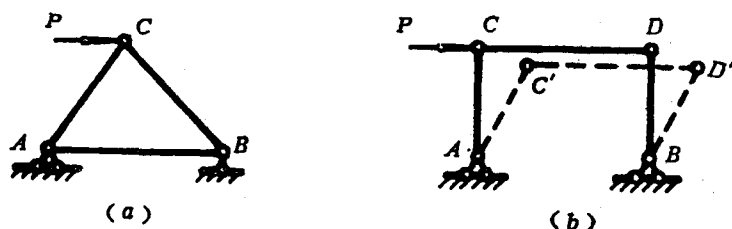


图 2-1

对体系中各杆件之间的联接方式进行分析称为体系的几何组成分析。这种分析的目的在于：判别某一体系是否几何不变，从而决定它能否作为结构使用；研究几何不变体系的组成规则，以保证所设计的结构能够承受荷载并维持平衡；此外，还可根据体系的几何组成分析的结果，确定结构是静定的还是超静定的，以便选择适当的结构计算方法。

在体系的几何组成分析中，由于不考虑材料的应变，因此可以把一根梁、一根链杆或者体系中已经肯定为几何不变的部分看作是一个刚体，这种刚体在体系的几何组成分析中被称为刚片。显然，支承体系的基础也可看作是一个刚片。

二、平面体系的自由度计算

1. 自由度的概念

为判别一个体系是否几何不变，涉及到体系的自由度计算问题。一个体系的自由度，是指该体系运动时可以独立改变的几何参变数的数目，也可以说是用来确定该体系位置所需的独立坐标的数目。

在平面内，一个点的位置可由两个独立的坐标 x 和 y 来确定，亦即一点在平面内有两个自由度（图2-2a）。对于图2-2b所示的刚片，若先用 x 和 y 两个坐标确定刚片内任一点 A 的位置，然后再用坐标 φ 确定刚片内任一直线 AB 的倾角，这样就完全确定了刚片在平面内的位置。故一个刚片在平面内的自由度等于3。

2. 约束的作用

对体系加入某些限制运动的装置，可使体系减少若干个自由度。使体系减少一个自由