

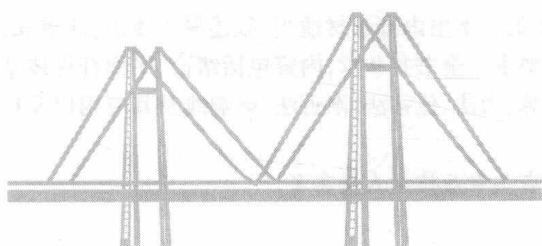
JIEGOU LIXUE

结构力学

主 编 任述光 刘保华
副主编 魏 刚



重庆大学出版社



JIEGOU LIXUE

结构力学

主 编 任述光 刘保华

副主编 魏 刚

参 编 张 岚 吴 懿 杨静林

重庆大学出版社

内容提要

本书是根据教育部审定的高等学校工科“结构力学课程教学基本要求”,在编者多年结构力学教学经验的基础上,对同类教材内容进行适当的取舍编写而成的。本书内容选材适当,叙述深入浅出,注重联系实际,努力适应当前课时紧缩,宽口径、厚基础的教学改革要求。全书共9章,内容包括绪论、平面杆件体系的几何组成分析、静定结构的受力分析、静定结构的位移计算、力法、位移法、渐近法、影响线及其应用以及矩阵位移法。本书是适用于60学时左右教学的教材。

本书可作为高等学校水利、土建类教材,也可供有关专业技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

结构力学/任述光,刘保华主编.--重庆:重庆大学出版社,2018.8

高等教育土建类专业规划教材·应用技术型

ISBN 978-7-5689-1213-6

I.①结… II.①任… ②刘… 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(2018)第148253号

高等教育土建类专业规划教材·应用技术型

结构力学

主 编 任述光 刘保华

副主编 魏 刚

策划编辑:王 婷

责任编辑:李定群 版式设计:王 婷

责任校对:邬小梅 责任印制:张 策

*

重庆大学出版社出版发行

出版人:易树平

社址:重庆市沙坪坝区大学城西路21号

邮编:401331

电话:(023) 88617190 88617185(中小学)

传真:(023) 88617186 88617166

网址:<http://www.cqup.com.cn>

邮箱:fxk@cqup.com.cn(营销中心)

全国新华书店经销

重庆升光电力印务有限公司印刷

*

开本:787mm×1092mm 1/16 印张:19.25 字数:470千

2018年8月第1版 2018年8月第1次印刷

印数:1—3 000

ISBN 978-7-5689-1213-6 定价:45.00元

本书如有印刷、装订等质量问题,本社负责调换

版权所有,请勿擅自翻印和用本书

制作各类出版物及配套用书,违者必究

前 言

结构力学是固体力学的重要分支,是水土类专业的核心基础课。结构力学研究杆系结构在荷载和其他因素作用下的内力、位移、稳定性以及组成规律。课程的主要任务是使学生在已有力学知识的基础上进一步掌握杆系结构的内力、位移等基本计算,了解各类结构的力学性能的异同,培养学生分析问题、解决工程实际问题的计算能力,为学习有关专业课程以及进行结构设计和科学研究打好基础。本书是作者二十多年结构力学教学实践的经验总结,符合教育部关于精简学时、保证教学基本要求的基本思想。其素材的设计符合学生学习知识的连贯性。

本书按照全国高等学校土木工程学科专业指导委员会修订的《高等学校土木工程本科指导性专业规范》以及教育部高等学校非力学专业力学基础课程教学指导委员会制定的“结构力学课程教学基本要求(A类)”编写而成。结构力学内容十分丰富,不同院校和专业对结构力学课程教学内容的要求也不尽相同。在“因材施教,强化实践”的思想指导下,全书突出基本概念的介绍,语言叙述简洁明了;例题的安排由简至难,注重一题多解、举一反三;在章节复习题的编排上,既有强调相关章节基本概念理解的思考题,又有以计算分析为主的习题。

本书由任述光、刘保华任主编,魏刚任副主编,张岚、吴懿、杨静林参编。具体分工为:任述光编写第1章、第2章、第9章,刘保华编写第3章、第4章,张岚编写第5章,魏刚编写第8章,吴懿编写第6章,杨静林编写第7章。全书由任述光负责统稿。

本书的纰漏和不足之处在所难免,欢迎广大读者提出宝贵意见。

编 者

2018年3月

目 录

1 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	2
1.3 平面结构支座和结点的类型	4
1.4 结构的分类	8
思考题	10
2 平面杆件体系的几何组成分析	11
2.1 几何组成分析的基本概念	11
2.2 体系的计算自由度	15
2.3 几何不变体系的基本组成规则	20
2.4 几何组成分析示例	23
思考题	26
习 题	27
3 静定结构的受力分析	30
3.1 单跨和多跨静定梁	31
3.2 静定平面刚架	43
3.3 三铰拱	54
3.4 静定平面桁架	66
3.5 组合结构	81

3.6 静定结构特性	85
思考题	87
习 题	88
4 静定结构的位移计算	95
4.1 概 述	95
4.2 变形体系的虚功原理	97
4.3 结构位移计算的一般方式	100
4.4 静定结构在荷载作用下的位移计算	102
4.5 图乘法	106
4.6 静定结构温度变化引起的位移计算	111
4.7 静定结构支座移动时的位移计算	113
4.8 线弹性结构的互等定理	114
思考题	117
习 题	118
5 力 法	120
5.1 超静定结构的概念和超静定次数的确定	120
5.2 力法原理和力法典型方程	123
5.3 用力法计算超静定结构	128
5.4 对称性的利用	142
5.5 温度变化和支座移动时超静定结构的计算	151
5.6 超静定结构的位移计算	156
5.7 超静定结构最后内力图的校核	160
5.8 超静定结构的特性	162
思考题	163
习 题	164
6 位移法	168
6.1 位移法的基本概念	168
6.2 等截面直杆的转角位移方程	171
6.3 转角位移方程的应用	176
6.4 位移法的基本体系与典型方程	183
6.5 对称性的利用	192
6.6 有侧移的斜柱刚架的计算	194
思考题	199
习 题	200

7 渐近法	204
7.1 力矩分配法的基本原理	204
7.2 用力矩分配法计算连续梁和无侧移刚架	210
7.3 无剪力分配法	215
思考题	219
习 题	220
8 影响线及其应用	223
8.1 概 述	223
8.2 用静力法作单跨静定梁的影响线	224
8.3 间接荷载作用下的影响线	229
8.4 用机动法作单跨静定梁的影响线	231
8.5 多跨静定梁的影响线	233
8.6 桁架的影响线	235
8.7 利用影响线求量值	237
8.8 铁路和公路的标准荷载制	239
8.9 最不利荷载位置	241
8.10 换算荷载	248
8.11 简支梁的绝对最大弯矩	251
8.12 简支梁的包络图	253
8.13 超静定结构影响线作法概述	255
8.14 连续梁的均布活载最不利位置及包络图	257
思考题	260
习 题	261
9 矩阵位移法	264
9.1 矩阵位移法的基本概念	264
9.2 单元分析	269
9.3 坐标变换	273
9.4 结构整体分析	277
9.5 直接刚度法计算平面刚架	287
思考题	294
习 题	294
参考文献	297

1

绪 论

1.1 结构力学的研究对象和任务

1.1.1 结构及工程实例

在建筑物和工程设施中,起主要受力、传力及支承作用的骨架部分,称为结构。工程中的房屋、塔架、桥梁、隧道、挡土墙、水坝等用以担负预定任务、支承荷载的主体部分,都可称为结构。如图 1.1(b)所示的刚架便是图 1.1(a)墙体的结构。

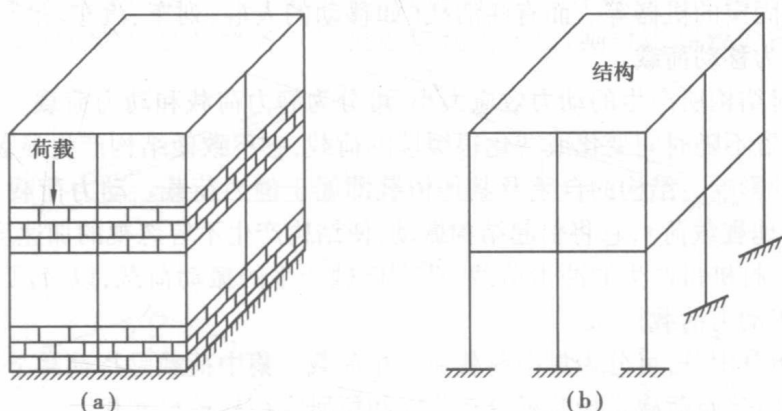


图 1.1

为了使结构既能安全、正常地工作,又能符合经济性的要求,就需要对其进行强度、刚度和稳定性的计算。这一任务是由材料力学、结构力学、弹性力学等课程共同承担的。材料力

学中主要研究单个杆件的计算;结构力学则在此基础上着重研究由杆件所组成的结构;弹性力学则对杆件作更精确的分析,并研究板、壳、块体等非杆状结构。当然,这种分工不是绝对的,各课程之间常存在相互渗透的情况。

1.1.2 研究对象及任务

结构力学的研究对象主要是杆系结构。其具体任务是:

①研究结构的组成规则和合理形式等问题。

②研究结构在静力荷载等因素作用下的内力和位移的计算。在此基础上,即可利用后续相关专业课程知识进行结构设计或结构验算。相关专业知识将在后续相关专业课程中予以介绍。

③研究移动荷载对固定点或固定截面内力或者支反力的影响。

④研究结构的稳定性以及动力荷载作用下结构的动力反应,如结构运动微分方程的建立、结构的自由振动、强迫振动以及频率分析。

本书中主要介绍前面 3 条。

结构力学是一门技术基础课,它一方面要用到数学、理论力学、材料力学等课程的知识,另一方面又为学习建筑结构、桥梁、隧道等专业课程提供必要的基本理论和计算方法。

1.2 结构的计算简图

1.2.1 荷载的分类

荷载是指作用在结构上的主动力。

荷载按作用时间,可分为恒载和活载。恒载是指长期作用在结构上的不变荷载,如结构自重、土压力等;活载是指暂时作用于结构上的可变荷载,如雪载、风载、列车及人群等。

按荷载的作用位置是否变化,可分为固定荷载和移动荷载。

恒载及某些活动荷载在结构上的作用位置可认为是不变动的,称为**固定荷载**。例如,结构的自重、位置固定的机器等。而有些活载(如移动的人群、列车、汽车、吊车等)是可以在结构上移动的,称为**移动荷载**。

根据荷载对结构所产生的动力效应大小,可分为静力荷载和动力荷载。**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,因而可略去惯性力的影响。结构的自重及其他恒载即属于静力荷载。**动力荷载**是指随时间迅速变化的荷载(如地震载荷),它将引起结构振动,使结构产生不容忽视的加速度,因而必须考虑惯性力的影响。打桩机产生的冲击荷载,动力机械产生的振动荷载,以及风和地震产生的随机荷载等都属于动力荷载。

按荷载分布范围分,可分为集中荷载和分布荷载。**集中荷载**是指荷载分布范围远小于所研究结构的尺寸;**分布荷载**是指荷载分布范围和所研究结构的尺寸相近。

1.2.2 杆件及结点的简化

实际结构总是比较复杂的,要完全按照结构的实际情况来进行力学分析,将是很烦琐和

困难的,也是不必要的。因此,在计算前,往往需要对实际结构进行简化,表现其主要特点,略去次要因素,用一个简化图形来代替实际结构,并反映实际结构主要受力和变形特点,这种简化图形称为结构的**计算简图**。这种简化包括以下 4 个方面:

- ①杆件的简化:常以杆件轴线代表杆件。
- ②支座和结点的简化(详见后述)。
- ③荷载的简化:常常简化为集中荷载及线分布荷载。
- ④体系的简化:将空间结构简化为平面结构。

选取的原则:一是要从实际出发,二是要分清主次,既要尽可能正确反映结构的实际工作状态,又要尽可能使计算简化。

计算简图不是唯一的,根据不同的要求和具体情况,同一实际结构也可选取不同的计算简图。例如,初步设计阶段,可选取比较粗略的计算简图;施工图设计阶段,则可选取较为精确的计算简图;又如,用手算时,可选取较为简单的计算简图;用电算时,则可选取较为复杂的计算简图。

例如,一根梁两端搁在墙上,上面放一重物(图 1.2(a))。简化时,梁本身用其轴线来代表。重物近似看作集中荷载,梁的自重则视为均布荷载。至于两端的反力,其分布规律是难以知道的,现假定为均匀分布,并以作用于墙宽中点的合力来代替。考虑到支承面有摩擦,墙不能左右移动,但受热膨胀时仍可伸长,故将其一端视为固定铰支座而另一端视为活动铰支座。这样,便得到如图 1.2(b)所示的计算简图。显然,只要梁的截面尺寸、墙宽及重物与梁的接触长度均比梁的长度小许多,则作上述简化在工程上一般是许可的。

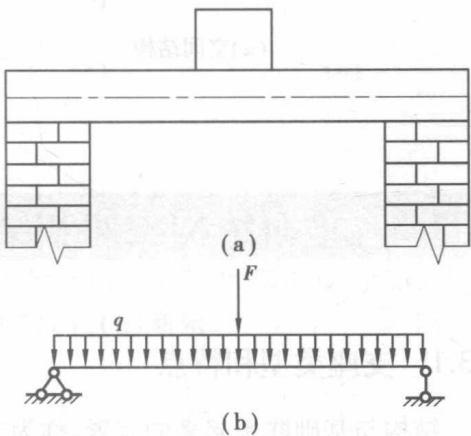


图 1.2

又如,如图 1.3(a)所示为钢筋混凝土屋架。如果只反映桁架主要承受轴力这一特点,则计算时可采用如图 1.3(b)所示的计算简图,各杆之间的连接均假定为铰接。这虽然与实际情况不符,但可使计算大为简化,而计算结果的误差在工程上通常是允许的。如果将各杆连接处均视为刚接,则可得到较为精确的计算简图

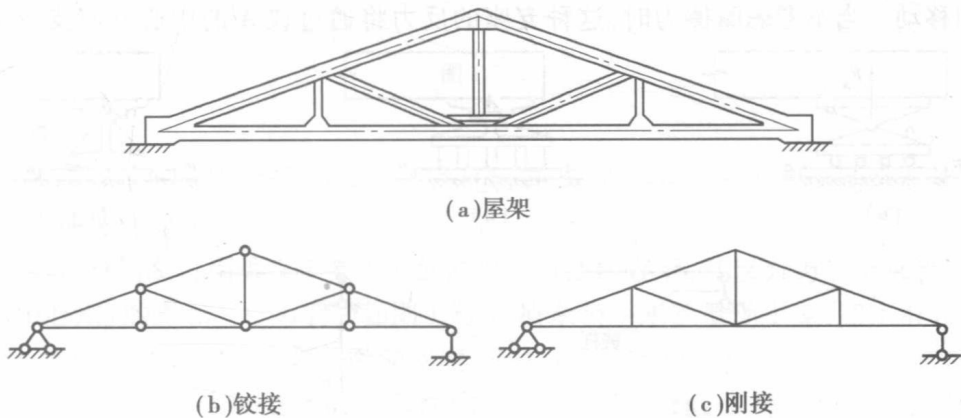


图 1.3

(图 1.3(c)), 但这样计算则复杂得多。有时, 在初步设计中采用计算简单但精度不高的计算简图, 而在最后设计中改用计算较繁但精度较高的计算简图。计算机的应用为采用较精确的计算简图提供了更多的可能性。

再如, 横截面及约束处处相同的空间结构, 如果其所受荷载也平行于横截面(图 1.4(a)), 则可简化为平面结构或平面结构的组合, 如图 1.4(b)所示。

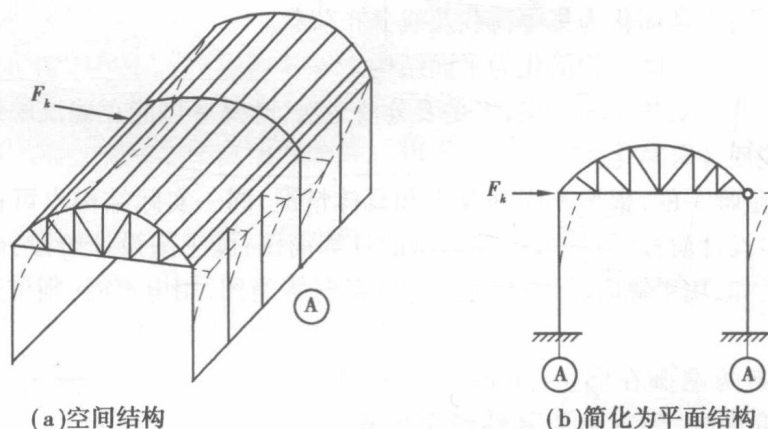


图 1.4

1.3 平面结构支座和结点的类型

1.3.1 支座类型和特点

结构与基础联系起来的装置, 称为支座。支座的构造形式很多, 但在计算简图中, 平面结构的支座通常归纳为下列 4 种:

1) 活动铰支座

如桥梁中用的辊轴支座(图 1.5(a)、(b))、摇轴支座(图 1.5(c))即属于此支座。它允许结构在支承处绕圆柱铰 A 转动和沿平行于支承面 $m-n$ 的方向移动, 但 A 点不能沿垂直于支承面的方向移动。当不考虑摩擦力时, 这种支座的反力将通过铰 A 的中心并与支承面 $m-n$ 垂

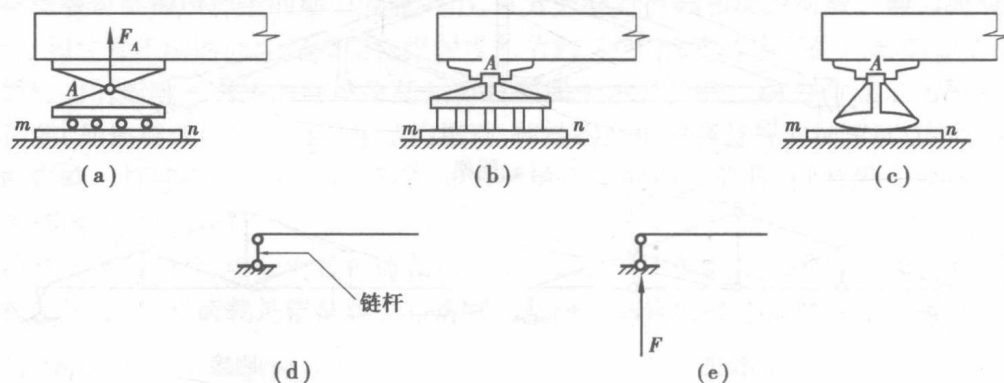


图 1.5

直,即反力的作用点和方向都是确定的,只有它的大小是一个未知量。根据这种支座的位移和受力特点,在计算简图中,可用一根垂直于支承面的链杆 AB 来表示(图 1.5(d))。此时,结构可绕铰 A 转动;链杆又可绕 B 转动,当转动很微小时, A 点的移动方向可看成平行于支承面的,其约束力为垂直于支承面的一个力,如图 1.5(e)所示。

2) 固定铰支座

这种支座的构造如图 1.6(a)所示,如门上用的合页等。它允许结构在支承处绕圆柱铰 A 转动,但 A 点不能作水平和竖向移动。支座反力将通过铰 A 中心,但大小和方向都是未知的,通常可用沿两个确定方向的分力,如水平和竖向反力来表示。这种支座计算简图可用交于 A 点的两根支承链杆来表示,如图 1.6(b)、(c)、(d)所示。

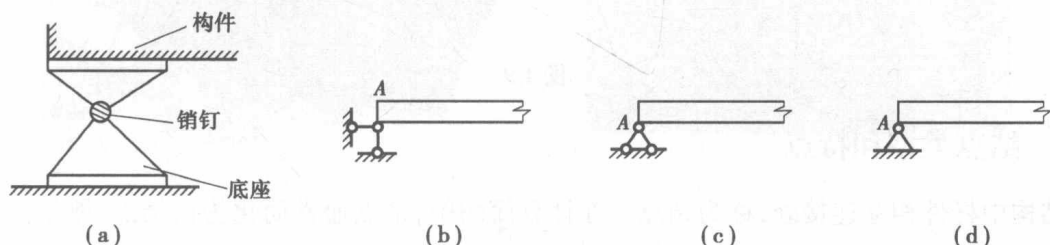


图 1.6

3) 固定支座(固支端)

这种支座不允许结构在支承处发生任何移动和转动(图 1.7(a)),如钢筋锚固在立柱中的梁。它的反力大小、方向和作用点的位置都是未知的,通常用水平反力、竖向反力和反力偶来表示,如图 1.7(b)所示。这种支座的计算简图如图 1.7(c)、(d)所示。

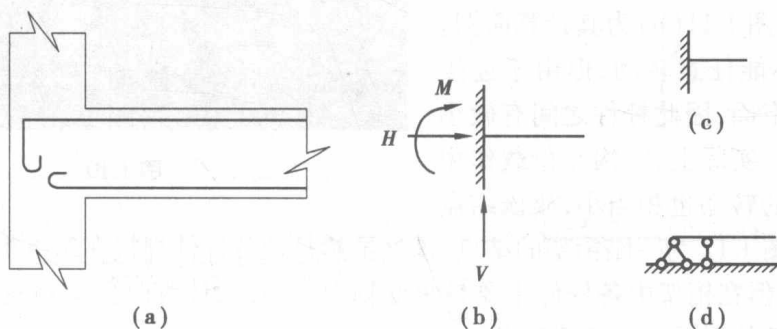


图 1.7

4) 滑动支座

这种支座又称定向支座,结构在支承处不能转动,不能沿垂直于支承面的方向移动,但可沿平行于支承面方向滑动。

这种支座计算简图可用垂直于支承面的两根平行链杆表示,其反力为一个垂直于支承面(通过支承中心点)的力和一个力偶。如图 1.8(a)所示为一水平滑动支座,图 1.8(b)、(c)为其计算简图;如图 1.9(a)所示为竖向滑动支座,图 1.9(b)为其计算简图(这种支座在实际结构中不常见,但在对称结构取一半的计算简图中,以及用机动法研究影响线等情况时会用到)。

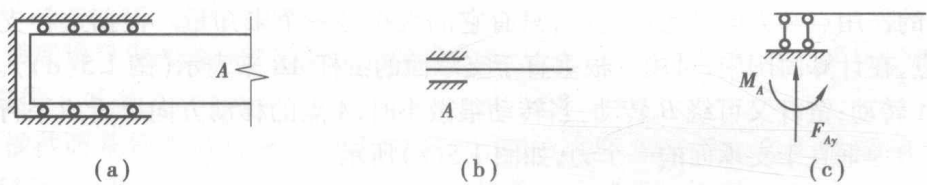


图 1.8

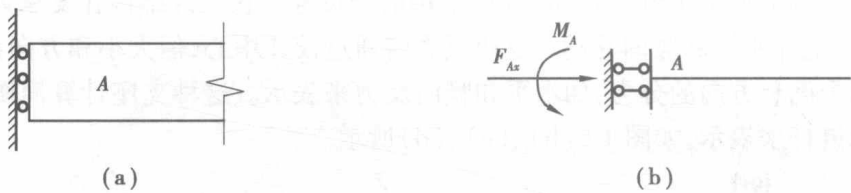


图 1.9

1.3.2 结点类型和特点

结构中杆件相互连接处,称为结点。在计算简图中,结点通常简化为铰结点、刚结点和组合结点。

1) 铰结点

铰结点的特征是各杆端不能相对移动,但可以相对转动,可以传递力但不能传递力矩。例如,用螺母、铆钉将杆件连在一起的结点,如图 1.10 所示。图 1.11(a)为一木屋架的端结点构造,图 1.11(b)为其计算简图。此时,各杆端虽不能任意转动,但由于连接处不可能很严密牢固,因此杆件之间有微小相对转动的可能。实际上,结构在荷载作用下杆件间所产生的转动也相当小,故该结点应视为铰结点。图 1.12 为一刚桁架的结点,该处虽然把各杆件焊接在结点板上使各杆端不能产生相对转动,但在桁架中各杆件主要是承受轴力。因此,计算时仍常将这种结点转化为铰结点。由此引起的误差在多数情况下是允许的。

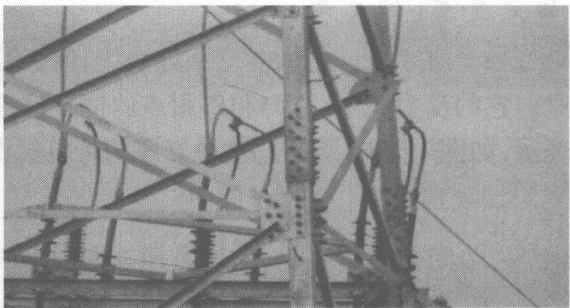


图 1.10

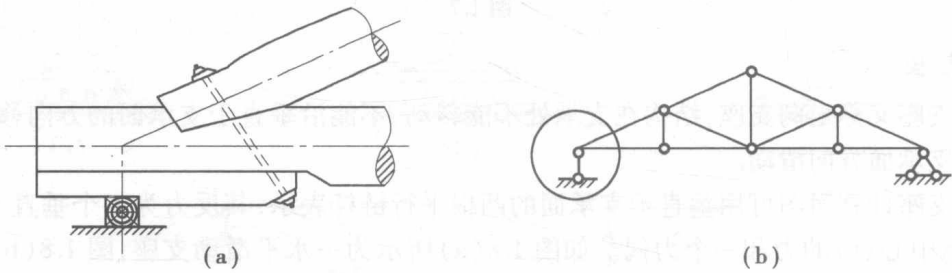


图 1.11

特别地,有时为简化计算,焊结点也简化为铰结点。如图 1.13(a)、(b)所示为网架结构。

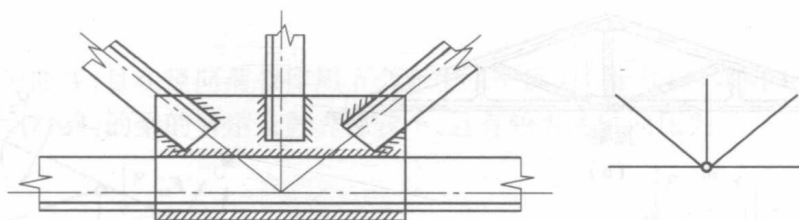
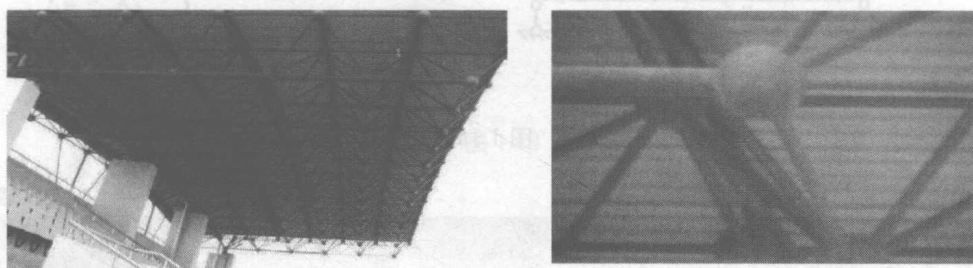


图 1.12



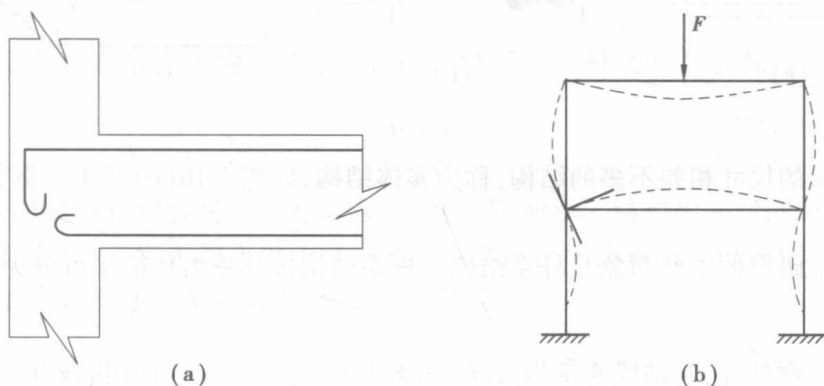
(a)

(b)

图 1.13

2) 刚结点

刚结点的特征是各杆端不能相对移动也不能相对转动,可以传递力也可以传递力矩。例如,梁和立柱浇筑到一起的框架结构(图 1.14(a)),上下柱和横梁连接处用混凝土浇筑成整体,钢筋的布置也使得各杆端能够抵抗弯矩,这种结点可视为刚结点。当结构发生变形时,刚结点处各杆端的切线之间的夹角保持不变(图 1.14(b)),即刚结点连接的各杆端之间不会出现相对转角。



(a)

(b)

图 1.14

其约束力一般用两个方向的力和一个内力偶表示。

3) 组合结点

这是同一结点处既有刚结点又有铰结点的情形。如图 1.15(a)所示的屋架结构,顶点处左右两斜杆刚接,与竖杆铰接,为一组合结点,如图 1.15(b)所示。其他 5 个结点,也可视为组合结点。在分析组合结点处的约束力时,应区分组合结点处的链式杆与梁式杆,分别处理。链式杆只有轴力,梁式杆则可能同时存在轴力、剪力和弯矩,如图 1.15(c)所示。

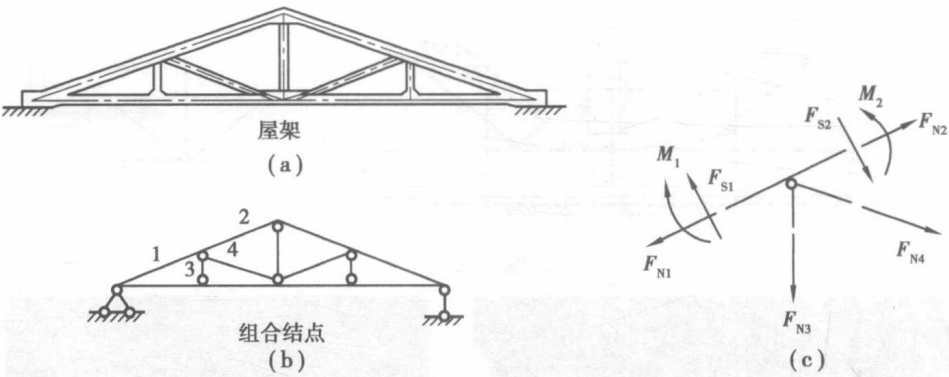


图 1.15

1.4 结构的分类

结构的类型很多,可按不同的角度来进行分类。

按几何特征,结构可分为杆系结构、薄壁结构和实体结构。

杆系结构是由长度远大于其他两个尺寸(即截面的高度和宽度)的杆件组成的结构。

薄壁结构是指其厚度远小于其他两个尺寸(即长度和宽度)的结构,如图 1.16(a)所示的板和如图 1.16(b)所示的壳。

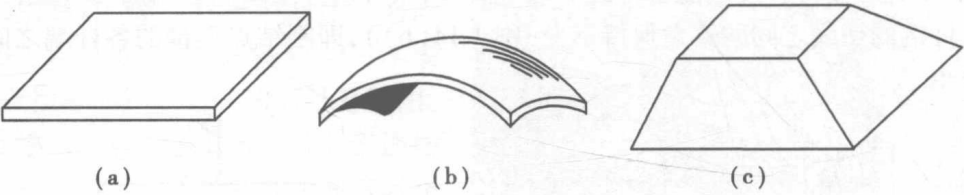


图 1.16

在 3 个方向的尺寸相差不多的结构,称为**实体结构**,如图 1.16(c)所示。例如,水坝、地基和钢球等。

结构力学中研究的主要对象是杆系结构。杆系结构按其受力特征又可分为以下 6 种:

1) 梁

梁是一种受弯杆件,其轴线通常为直线,如图 1.17(a)所示。当荷载垂直于梁轴线时,横截面内力为弯矩与剪力;当荷载与梁轴线斜交时,截面内力除弯矩、剪力外还有轴力,如图 1.17(b)所示。

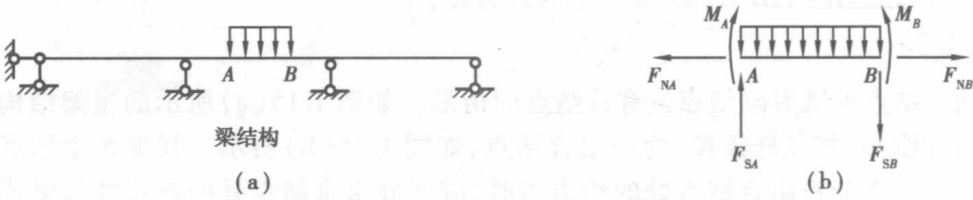


图 1.17

2) 拱

拱的轴线为曲线,且在竖向荷载作用下会产生水平反力(推力)。如图 1.18 所示,三铰拱使拱比跨度、荷载相同的梁的弯矩及剪力都较小,且有较大的轴向压力。

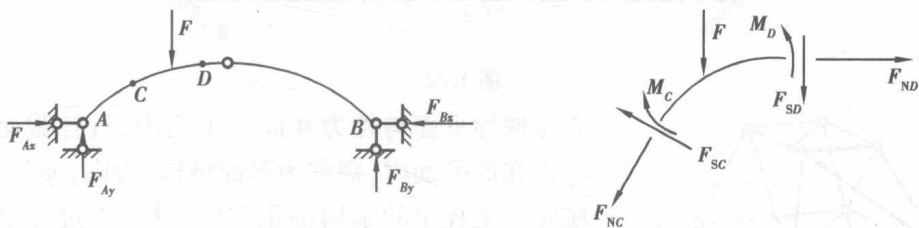


图 1.18

3) 刚架

由直杆组成并具有刚结点,轴线为折线,如图 1.19(a)所示。各杆均为受弯杆件,其内力通常同时有弯矩、剪力以及轴力,如图 1.19(b)、(c)所示。

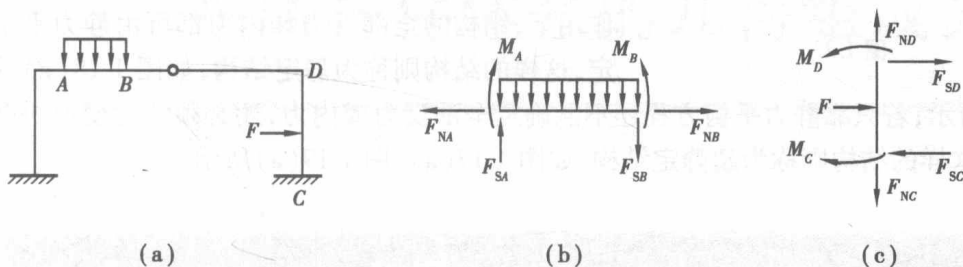


图 1.19

4) 桁架

由直杆组成,所有结点均为铰结点,如图 1.20 所示。外力作用在结点上时各杆均只有轴力。

5) 组合结构

由梁式杆和链式杆组合在一起的结构,如图 1.21 所示。结构中一般同时存在铰结点、刚结点和组合结点 3 种类型中的至少两种类型。在结点荷载作用下,有些杆只承受轴力,称为链式杆;有些杆可能存在弯矩和剪力,称为梁式杆。

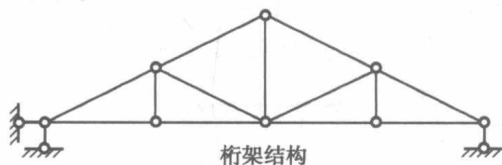


图 1.20



图 1.21

6) 悬索结构

主要承重构件为悬挂于塔、柱上的缆索,索只能承受拉力,可最充分地发挥钢材强度,且自重轻,可跨越很大的跨度,如悬索屋盖、悬索桥和斜拉桥(图 1.22)等。

按照轴线和外力的空间位置,结构分为平面结构和空间结构。如果结构各杆件均有一形

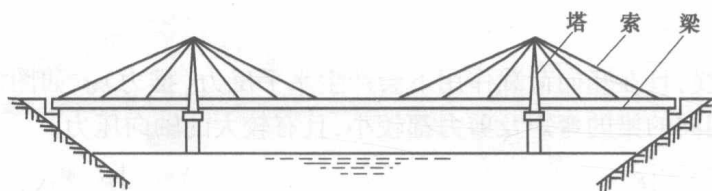


图 1.22

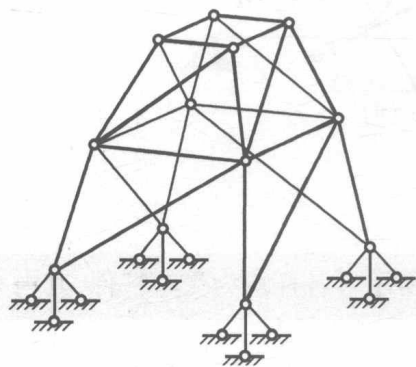


图 1.23

心主惯性平面与外力在同一平面内,且各截面的弯曲中心也在此平面内,则称为平面结构;否则,便是空间结构。实际上工程中的结构都是空间结构,不过在很多情况下可简化为平面结构或近似分解为几个平面结构来计算。当然,不是所有情况都能这样处理,有些必须作为空间结构来计算,如图 1.23 所示的塔架。

按照内外力是否静定,结构可分为静定结构和超静定结构。这一分类在理论上有重大意义。若在任何荷载作用下,结构的全部反力和内力都可由静力平衡方程确定,这样的结构则称为静定结构,如图 1.18(a)、图 1.20、

图 1.21 所示;若只靠静力平衡方程还不能确定全部反力或内力,还必须考虑变形协调条件才能确定,这样的结构则称为超静定结构,如图 1.17(a)、图 1.19(a) 所示。

思考题

1. 结构力学的研究对象和任务是什么?
2. 什么是荷载? 结构主要承受哪些荷载? 如何区分静力荷载和动力荷载?
3. 什么是结构的计算简图? 如何确定结构的计算简图?
4. 结构的计算简图中有哪几种常用的支座和结点? 它们的约束力及限制的位移各有怎样的特点?
5. 按几何特征,结构可分为哪几种类型? 哪些结构属于杆系结构? 它们有哪些受力特征?