

2007

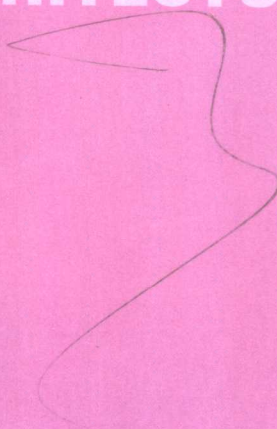
全国一级注册建筑师

执业资格考试辅导教材

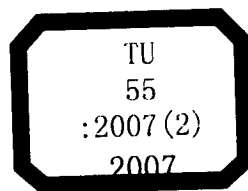
建筑结构

广州大学 主编

NATIONAL
PRACTISING CERTIFICATE TEST FOR
FIRST-CLASS REGISTERED ARCHITECT
ARCHITECTURAL STRUCTURE



赠送学习卡 [¥]40
环球职业教育在线
网上查询历年真题



全国一级注册建筑师执业资格考试 辅导教材

——建筑结构

主编 广州大学

华中科技大学出版社

图书在版编目(CIP)数据

全国一级注册建筑师执业资格考试辅导教材——建筑结构/广州大学 主编. —武汉:华中科技大学出版社,2007年3月

ISBN 978-7-5609-3996-4

I. 全… II. 广… III. 建筑结构-建筑师-资格考核-自学参考资料 IV. TU3

中国版本图书馆CIP数据核字(2007)第032081号

全国一级注册建筑师执业资格考试辅导教材
——建筑结构

广州大学 主编

责任编辑:陈丽君

封面设计:张璐

责任校对:陈骏

责任监印:熊庆玉

出版发行:华中科技大学出版社

武昌喻家山 邮编:430074 电话:(027)87557437

印刷:湖北恒泰印务有限公司

开本:880×1230 1/16

印张:15.75

字数:320 000

版次:2007年3月第1版

印次:2007年3月第1次印刷

定价:32.00元

ISBN 978-7-5609-3996-4/TU·126

(本书若有印装质量问题,请向出版社发行部调换)

内 容 提 要

本书是根据全国注册建筑师与工程师管理委员会颁发的《全国一级注册建筑师资格考试大纲》和新颁布的建筑结构设计规范而编写的。全书共分六章,即第1章结构力学基础知识;第2章建筑结构基础知识;第3章抗震设计基础知识;第4章地基与基础选择基础知识;第5章建筑结构选择及结构概念设计;第6章模拟试题,配有大量练习题与模拟试题及答案。

本书内容丰富,概念清晰,叙述简明扼要,紧扣新修订的“考试大纲”要求。本书既可作为我国建筑技术人员参加全国一级注册建筑师资格考试的考前辅导材料,又可作为提高在职设计人员业务素质 and 技能的继续教育的教材,还可供从事建筑设计及从事施工、科研、管理的技术人员及高等学校有关专业师生参考使用。

前 言

为了帮助准备参加全国一级注册建筑师执业资格考试的建筑工程技术人员进行考前复习,由广州大学组织有关专家、教授和参加过一级注册建筑师考试的经验丰富的工程技术人员,共同编写了全国一级注册建筑师考试辅导用书。该系列书包括《设计前期与场地选择》、《建筑设计》、《建筑结构》、《建筑物理与建筑设备》、《建筑材料与构造》、《建筑经济、施工与设计业务管理》及《建筑方案设计、建筑技术设计、场地设计(作图)》。编写时以最新颁布的《全国一级注册建筑师资格考试大纲》为依据,并结合我国现行的有关建筑结构方面的法律、法规、规范与规程,力求贯彻少而精的原则,做到内容精练、概念清晰、文字叙述简明扼要。

本书为《建筑结构》篇,分结构力学基础知识、建筑结构基础知识、抗震设计基础知识、地基与基础选择基础知识、建筑结构选型及结构概念设计以及真题模拟六章。最后一章的真题模拟练习题来自近年来全国一级注册建筑师考试试题,可供考生检验复习效果,进一步明确有关的原理、概念和方法。真题模拟练习题附有参考答案,可供读者参考。

参加本书编写工作的人员有(按章节的前后顺序排列):第1章的编者为梁广、张季超、孙作玉、朱立宏、秦亮、尚洁娟;第2章的编者为张季超、张春梅、朱立宏、王晖、陈先志、许勇、秦亮、邱志恒;第3章的编者为张季超、邓雪松、许勇、朱立宏、秦亮;第4章的编者为张季超、王可怡、朱立宏、秦亮;第5章的编者为张季超、马咏梅、朱立宏、秦亮;第6章的编者为张季超、王可怡、秦亮、尚洁娟、邱志恒。全书由张季超、朱立宏、梁广主编。

本书在编写过程中得到了广东省建设执业资格注册中心有关领导的指导,广州大学和华南理工大学出版社领导的支持,参考了国内前几年正式出版的有关一级注册建筑师考试辅导教材和有关法律、法规、规范、手册及涉及一级注册建筑师考试的专业书籍(详见主要参考书目),在此一并表示感谢。由于编写时间仓促,难免有不足之处,恳请广大读者指正,并提宝贵意见。

编 者

2007年1月5日

目 录

第1章 结构力学基础知识	(1)
1.1 概述	(1)
1.2 计算简图	(3)
1.3 受力体系分析	(6)
1.4 静定结构	(13)
1.5 超静定结构	(18)
1.6 参考习题及解答	(22)
第2章 建筑结构基础知识	(29)
2.1 极限状态设计原则	(29)
2.2 荷载作用及组合	(32)
2.3 混凝土结构	(35)
2.4 钢结构	(60)
2.5 木结构	(85)
2.6 砌体结构	(90)
2.7 参考习题及解答	(103)
习题(一)	(103)
习题(二)	(107)
习题(三)	(119)
习题(四)	(123)
第3章 抗震设计基础知识	(129)
3.1 概述	(129)
3.2 地震作用与结构抗震验算	(134)
3.3 砌体结构房屋	(136)
3.4 混凝土结构房屋	(139)
3.5 底层框架和多层内框架房屋	(144)
3.6 参考习题及解答	(145)
第4章 地基与基础选择基础知识	(151)
4.1 概述及基本规定	(151)
4.2 天然地基	(153)
4.3 人工地基	(161)
4.4 基础选择的基本原则	(166)
4.5 参考习题及解答	(170)
第5章 建筑结构选择及结构概念设计	(177)
5.1 建筑结构的分类	(177)
5.2 建筑结构形式	(177)

5.3 结构概念设计	(197)
第6章 模拟试题	(198)
模拟题(一)	(198)
模拟题(二)	(222)

第 1 章 结构力学基础知识

1.1 概述

土木建筑物中支承荷载而起骨架作用的部分叫做结构。房屋中的梁柱支撑体系、水工建筑物中的闸门和水坝支撑体系,公路铁路上的桥梁和隧洞等,都是结构的典型例子。

1.1.1 土木工程结构的分类

(1) 杆件结构:这类结构的主要承重体系由杆件所组成。杆件的几何特征是横截面尺寸要比长度小得多。如图 1.1-1 所示的香港中银大厦等高层建筑,系杆件结构。

(2) 板壳结构:这类结构的主要承重体系由板壳成薄壁结构组成,它的厚度比长度和宽度小得多。如图 1.1-2 所示的悉尼歌剧院的屋顶即为这种结构。

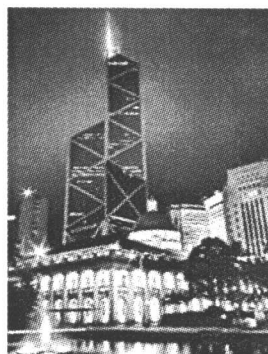


图 1.1-1

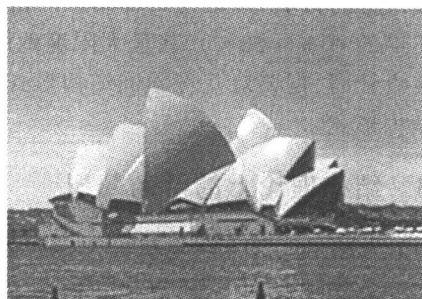
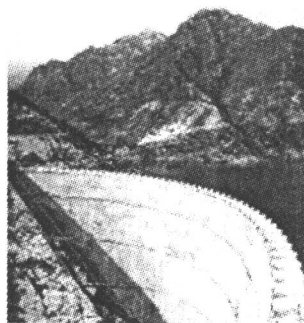


图 1.1-2

(3) 实体结构:这类结构的长、宽、厚三个尺度大小相仿。如图 1.1-3(a)水库采用的重力坝,系实体结构,图 1.1-2(b)为其剖面图,图 1.1-3(c)为其滚水段剖面图。



(a)



(b)

(c)

图 1.1-3

通常来讲,狭义的结构往往指的就是杆件结构,故结构力学一般就是指杆件结构力学。结构力学与理论力学、材料力学、弹性力学有密切的关系。理论力学着重讨论物体机械运动的基本规律,其余三门力学着重讨论结构及其构件的强度、刚度和稳定问题。其中材料力学以单个杆件为主要研究对象;结构力学以杆件结构为研究对象;弹性力学以实体结构和板壳结构为主要研究对象。

1.1.2 建筑工程结构所要解决的问题

土木工程中结构所要解决的问题是,首先表现为使结构骨架形成的空间能更好地服务于人类生活、生产的要求和人类对美观的需要;其次需要结构骨架有抵抗力的功能,即使结构应具有能抵抗各种作用力的承载能力而不致发生破坏,不致倾覆,不致失稳以及不会产生过大变形;第三表现为如何充分发挥所采用建筑材料的作用。结构的承载力问题,实质上是组成结构构件的材料的强度问题;结构的变形问题,实质上是组成结构构件的材料应变问题。同时可以这样认为,土木工程结构的问题从某种意义上说,是该结构所采用材料的性能以及如何合理利用材料的问题。

建筑结构所要解决的问题还有如连接构造问题及经济问题等。在常见结构中,连接构造往往是确保结构的整体性、刚性以及施工可行性、合理性的一个关键问题。一般来讲,经济问题并不是建筑的重要条件,但是人们愿意看到:用最少的钱(结构工程大体占总造价的30%~40%)、最省的劳动力(结构工程用工约占总用工的30%~40%)、最短的工期(结构工程工期约占总工期的40%~50%),在最大限度地满足建筑功能要求的前提下,将建筑建成。因此在进行建筑设计时,需要对几种不同结构形式的方案进行技术经济比较分析,才能选用较为经济合理的结构形式。

1.1.3 结构理论上的两条公理

(1) 力越是能够直接地被平衡,则结构就能做得越轻。

力能愈快地传到地基,这个结构就愈好,但是一般结构力总是要走相当的“弯路”的,一走弯路,力就不能在同一直线上相遇,因而发生旋转,这就是“力矩”。最坏的“弯路”也是最不好的结构形式,这可用梁来说明(图1.1-4):“弯路”和梁的跨度成比例,就产生了弯矩。

拱比梁好,拱在支座中将形成一推力线,当拱的全跨满布均布荷载时,若拱为抛物线形状,力将沿最直接的途径传到支座上,拱的截面中只产生压应力(图1.1-5)。若拱的形状与抛物线偏离,就有弯路,则将产生弯曲,使结构变重。

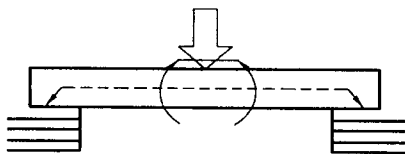


图 1.1-4

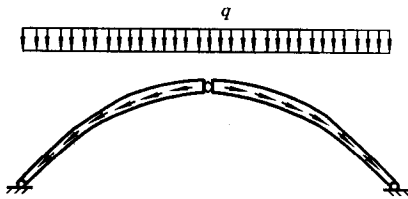


图 1.1-5

力不要走“弯路”的原则也适用于桁架,桁架杆件也应当只承受直接的拉力或压力。

(2) 构件截面材料强度越充分利用越经济。

工形、箱形截面比矩形、圆形实心截面有利于把材料尽可能远离中和轴位置上,是有效的截面形状,越能充分发挥截面材料的强度。有趣的是,在自然界许多动植物的组织中也体现了这个结论。例如许多能承受狂风的植物基部是管状薄壁杆件,截面是空心的;人体的骨骼,其截面上密实的骨质分布在四周,也是空心的。

衡量梁的抗弯能力的惯性矩,在相同截面下,工形比矩形要大。衡量柱的承载力的柔度就是柱高与回转半径 r 的比值,柔度愈大,柱的承载力愈小。高柱要求 r 值大, r 即表示截面材料的分散程度。

【例 1-1】 试比较两个外直径相等均为 D 的圆截面(图 1.1-6) 回转半径 r 。

解 不难得出空心比实心的 r 大,空心圆柱 $r = \frac{1}{4} \sqrt{D^2 + d^2}$,若管壁很薄 $d \rightarrow D$,则空心的 r 比实心圆柱大约要大 $\sqrt{2}$ 倍,该值对空心方柱也差不多。

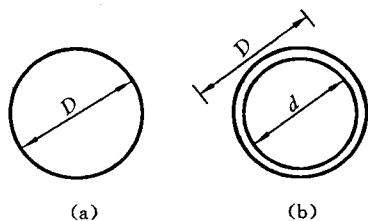


图 1.1-6

(3) 结构力学的任务和内容如下所述。

① 任务:讨论结构的组成规律和合理形式,以及结构计算简图的合理选择;讨论结构内力和变形的计算方法,以便进行结构强度和刚度的验算;讨论结构的稳定性以及在动力荷载作用下的结构反应。

② 内容:将实际结构简化为计算简图;研究各种计算简图的计算方法;将计算结果运用于实际结构的设计和施工。

复习时要注意结构力学与其他课程的联系。在复习结构力学的过程中,经常要运用高等数学、理论力学、材料力学等相关课程的知识。因此,应当根据情况进行必要的复习,并在运用中得到巩固和提高。

1.2 计算简图

实际结构和实际的荷载情况都是很复杂的,完全按照结构的实际情况进行力学分析是不可能的,也是不必要的。因此,对实际结构进行力学计算以前,必须加以简化,略去不重要的细节,显示其基本特点,用一个简化的图形来代替实际结构,这种图形叫做结构的计算简图。

1.2.1 选择计算简图的原则

(1) 从实际出发——计算简图要反映实际结构的主要性能。

(2) 分清主次,略去细节——计算简图要便于计算。以下以例 1-2(图 1.2-1(a))搁置在两个砖墩上的小梁为例简要说明。当在梁上放置一个重物时,梁的各截面上都会有内力,梁会因此而发生变形。但是,梁两端的反力在支座上并不是均匀分布的,它的分布情况非常复杂,反力无法确定,内力也就难以计算了。

如果只抓住主要矛盾,忽略次要因素的影响,可以对它进行如例 1-2(图 1.2-1(b))所示的简化。

【例 1-2】 作图 1.2-1(a)的计算简图。

解 (1) 因为梁的支承长度与梁的全长相比很小,可以认为支座上的反力均匀分布,反力的合力作用在梁每端支承长度的中点,梁在计算时的跨长为 $L = L_0 + 2 \times \frac{a}{2} = L_0 + a$ 。

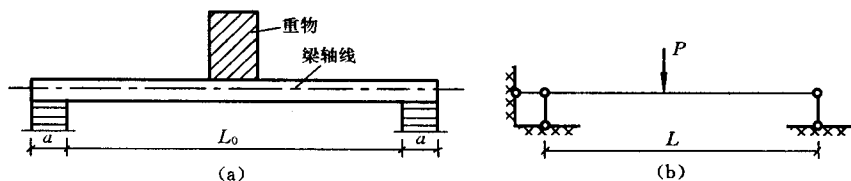


图 1.2-1

(2) 梁的两端不会发生垂直方向的位移,但是可以自由转动。这相当于在梁的两端有垂直方向的约束,在图 1.2-1(b)中用一根垂直的链杆(或者用一个圆圈)表示。

(3) 梁一般不发生沿水平方向的线位移,但是,在温度等因素的影响下,可以沿水平方向自由伸缩。因此,在图 1.2-1(b)中,只是在左端支座处加上了一根水平链杆,相当于对水平位移的约束,右端支座处未加水平链杆,表示梁可以沿水平方向自由伸缩。

(4) 梁是用它的轴线作代表。

(5) 重物在梁上的分布长度与梁的跨度相比很小,故可以将它看成是一个作用在梁上的集中荷载,并且用一根带有箭头的线条表示。

计算简图的选择是力学计算的基础,极为重要。选取计算简图时,需要在多方面进行简化,下面简要地说明杆件结构计算简图的简化要点。

1.2.2 结构体系的简化的方法

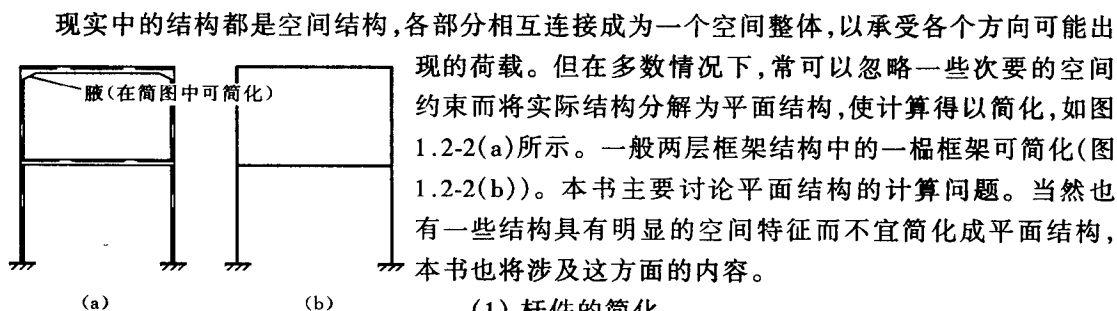


图 1.2-2

现实中的结构都是空间结构,各部分相互连接成为一个空间整体,以承受各个方向可能出现的荷载。但在多数情况下,常可以忽略一些次要的空间约束而将实际结构分解为平面结构,使计算得以简化,如图 1.2-2(a)所示。一般两层框架结构中的一榀框架可简化(图 1.2-2(b))。本书主要讨论平面结构的计算问题。当然也有一些结构具有明显的空间特征而不宜简化成平面结构,本书也将涉及这方面的内容。

(1) 杆件的简化。

杆件的截面尺寸(宽度、厚度)通常比杆件长度小得多,截面上的应力可根据截面的内力(弯矩、轴力、剪力)来确定。因此,在计算简图中,杆件用其轴线表示,杆件之间的连接区用结点表示,杆长用结点间的距离表示,而荷载的作用点也转移到轴线上。

多跨连续梁和多跨框架,当跨度彼此相差在 10% 以内时,可近似按等跨连续梁计算(图 1.2-3)。图 1.2-3(a)中 $L_1 > L_2$,可简化为图 1.2-3(b)等跨梁。

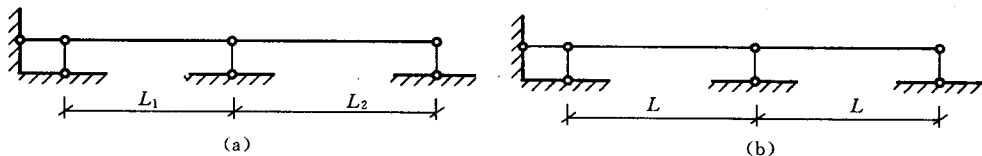


图 1.2-3

当杆件为斜杆,但其倾斜的程度很小(图 1.2-4(a)),可近似按水平杆件计算。

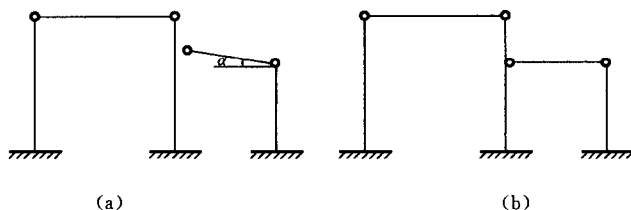


图 1.2-4

当截面尺寸增大时(例如超过长度的 $1/4$),杆件用其轴线表示的简化,将引起较大的误差。

(2) 杆件间连接(结点)的简化。

杆件间的连接区简化为结点。结点通常简化为以下两种理想情形。

① 铰结点。被连接的杆件在连接处不能相对移动,但可相对转动,即可以传递力,但不能传递力矩。这种理想情况,实际上很难遇到。木屋架的结点比较接近于铰结点(图 1.2-5(a)),钢筋混凝土拼装的屋架顶结点也属于这种类型(图 1.2-5(b))。

② 刚结点。被连接的杆件在连接处既不能相对转动,又不能相对移动,既可以传递力,也可以传递力矩。现浇钢筋混凝土结点通常属于这类情形(图 1.2-6)。

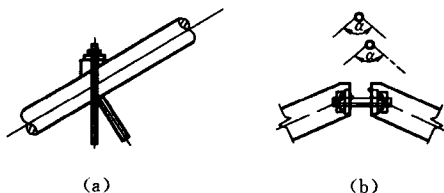


图 1.2-5

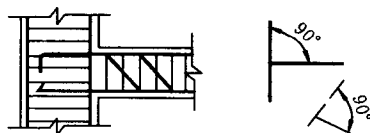


图 1.2-6

(3) 结构与基础间连接的简化。

结构与基础的连接区简化为支座。按其受力特征,一般简化为四种情形。

① 辊轴支座。被支承的部分可以转动,不能竖向移动,所提供的反力只有竖向力 Y 。在计算简图中用一根支杆表示(图 1.2-7)。

② 铰支座。被支承的部分不能转动,不能移动,所提供的反力为两个反力 X 、 Y 。在计算简图中用两根支杆表示(图 1.2-8)。

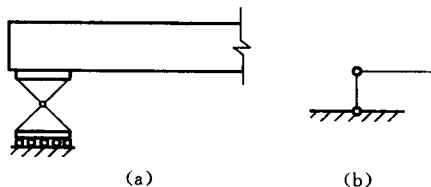


图 1.2-7

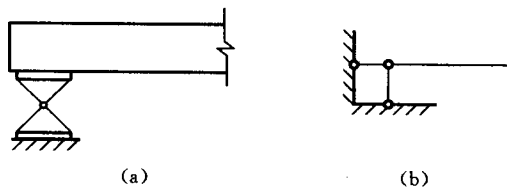


图 1.2-8

③ 定向支座。被支承的部分不能转动,但可沿一个方向平行滑动,能提供反力矩 M 和一个反力 Y 。在计算简图中用两根平行支杆表示(图 1.2-9)。

④ 固定支座(图 1.2-10)。能提供反力矩 M 和两个反力 X 和 Y 。

⑤ 弹性支座(图 1.2-11)。能提供反力 Y 。

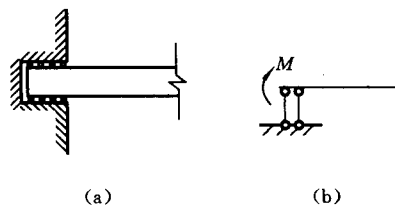


图 1.2-9

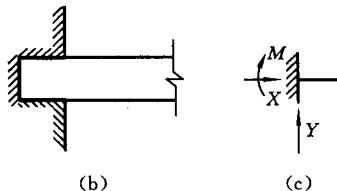
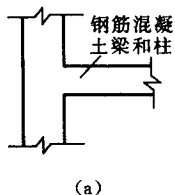


图 1.2-10

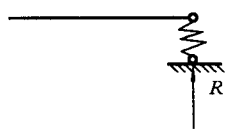


图 1.2-11

(4) 材料性质的简化。

在土木、水利工程中结构所用的建筑材料通常为钢、混凝土、砖、石、木材,对组成各构件的材料一般都假设为连续的、均匀的、各向同性的。

上述假设对于金属材料在一定受力范围内是符合实际情况的。对于混凝土、钢筋混凝土、砖、石等材料则带有一定程度的近似性。至于木材,因其顺纹与横纹方向的物理性质不同,故应用这些假设时需予以注意。

(5) 荷载的简化。

结构承受的荷载可分为体积力和表面力两大类。体积力指的是结构的自重或惯性力等;表面力则是由其他物体通过接触面传给结构的作用力,如土压力、车辆的轮压力等。在杆件结构中把杆件简化为轴线,因此不管是体积力还是表面力都可以简化为作用在杆件轴线上的力。荷载按其分布情况可简化为集中荷载和分布荷载。荷载的简化与确定比较复杂,下面还要专门讨论。

1.3 受力体系分析

本节讨论平面结构的几何组成规律,进行几何构造分析。

一个结构要能承受荷载,首先它的几何构造应当合理,设计房屋结构时,必须保证整个结构不能发生运动,而且要保证结构的几何局部在荷载作用下都静止不动,否则就不能进行正常的生产和生活,即要能够使结构的几何形状保持不变。反之,如果一个体系本身站不住,则它是不能承受任意荷载的,更谈不上进行内力计算。因此,在进行内力分析之前,必须先进行构造分析。

在几何构造分析中,最基本的规律是三角形规律。规律本身是简单浅显的,但规律的运用是变化无穷的。因此,复习本节时遇到的困难不仅在于学懂,更在于运用。

本节在结构力学中只是一个短小的前奏,只是从几何构造的角度讨论结构力学中的一个侧面,根本不牵涉到内力和应变。但是构造分析与内力分析之间又是密切相关的,本节内容将在后面结构分析中得到应用。

1.3.1 几何构造分析的几个概念

(1) 几何不变体系和几何可变体系。

结构受荷载作用时,截面上产生应力,材料因而产生应变。由于材料的应变,结构就会产生变形。这种变形一般是很小的。在几何构造分析中,一般不考虑这种由于材料的应变所产生的变形。这样,杆件体系可以分为两类。

几何不变体系(图 1.3-1)——在不考虑材料应变的条件下,体系的位置和形状是不能改变的。

几何可变体系(图 1.3-2)——在不考虑材料应变的条件下,体系的位置或形状是可以变的。

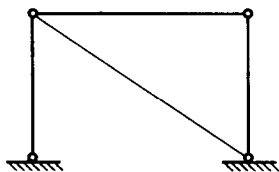


图 1.3-1

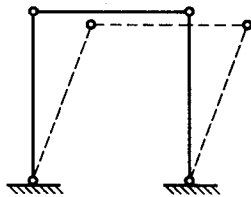


图 1.3-2

一般情况下,结构必须是几何不变体系,而不能采用几何可变体系。几何构造分析的一个主要目的就是要检验并设法保证结构的几何不变性。

(2) 自由度。

图 1.3-3 所示平面内一点 A 的运动情况。一点在平面内可以沿水平方向(x 轴方向)移动,又可以沿竖直方向(y 轴方向)移动。换句话说,平面内一点有两种独立运动方式(两个坐标 x 、 y 可以独立地改变),称一点在平面内有两个自由度。

图 1.3-4 所示为平面内一个刚片(即平面刚体)由原来的位置 AB 改变到后来的位置 $A'B'$ 。这个刚片可以有 x 轴方向的移动(Δx), y 轴方向的移动(Δy),还可以有转动($\Delta \theta$)。因为一个刚片在平面内有三种独立的运动方式(三个坐标 x 、 y 、 θ 可以独立地改变)。这里称一个刚片在平面内有三个自由度。

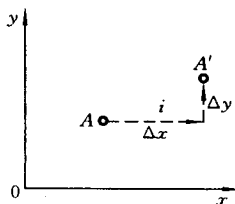


图 1.3-3

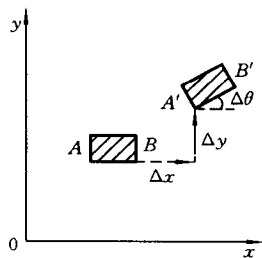


图 1.3-4

一般说来,如果一个体系有 n 个独立的运动方式,这里称这个体系有 n 个自由度。换句话说,一个体系的自由度,等于这个体系运动时可以独立改变的坐标的数目。

普通机械中使用的机构有一个自由度,即只有一种运动方式。一般工程结构都是几何不变体系,其自由度为零。凡是自由度大于零的体系都是几何可变体系。

(3) 约束。

在图 1.3-5(a)中,梁 AB 用支杆 AC 与基础相连。没有支杆时,这个梁在平面内有 3 个自由度。加上支杆 AC 以后,梁 AB 只有两种运动方式: A 点沿以 C 为圆心、以 AC 为半径画的圆弧移动;梁绕 A 点转动。由此可见,支杆 AC 使梁的自由度由 3 减为 2,即支杆使梁的自由度减少一个。因此,一个支杆相当于一个约束。

在图 1.3-5(b)中,两个梁 AB 和 BC 用铰 B 连接在一起。两个孤立的梁在平面内共有 6 个自

由度。用铰连接以后,自由度便减为4;因为用三个坐标便可以确定梁 AB 的位置,然后梁 BC 只能绕 B 点转动,只需再用一个转角就可以确定梁 BC 的位置。由此可见,一个连接两个物体的铰使自由度减少两个,所以一个铰相当于两个约束。

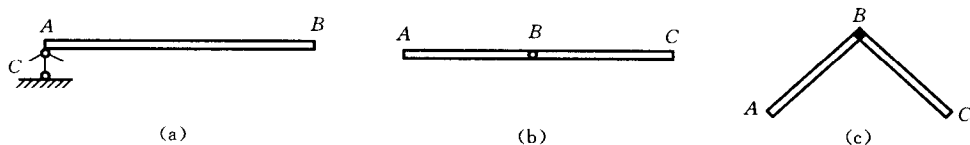


图 1.3-5

图 1.3-5(c)所示为两根杆件 AB 和 BC 在 B 点连接成一个整体,其中的结点 B 为刚结点。原来的两根杆件在平面内共有 6 个自由度,刚性连接成整体后,只有 3 个自由度,所以一个刚性结合;相当于三个约束。

(4) 多余约束。

如果在一个体系中增加一个约束,而体系的自由度并不因而减少,则此约束称为多余约束。

【例 1-3】平面内一个自由点 A 原来有两个自由度,试分析不同约束下 A 的自由度。

解 如果用两根不共线的链杆 1 和 2 把 A 点与基础相连(图 1.3-6(a)),则 A 点被固定,因此减少两个自由度,可见链杆 1 或 2 都是非多余约束。

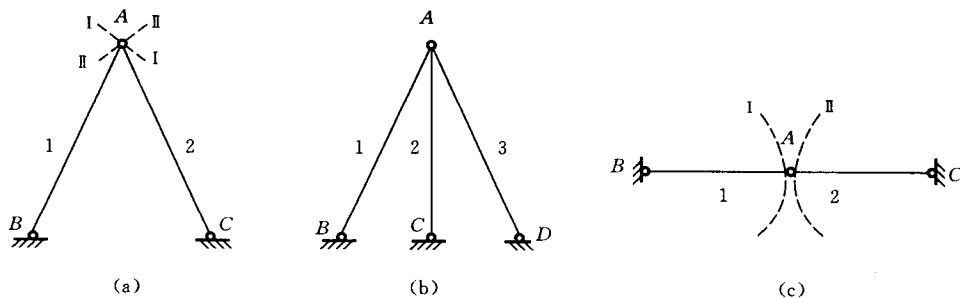


图 1.3-6

如果用三根不共线的链杆把 A 点与基础相连(图 1.3-6(b)),实际上仍只减少 2 个自由度。因此,这三根链杆中只有两根是非多余约束,而有一根是多余约束(可把三根链杆中的任何一根视作多余约束)。

由上述可知,一个体系中如果有多个约束存在,那么,应当分清楚:哪些约束是多余的,哪些约束是非多余的。只有非多余约束才对体系的自由度有影响,而多余约束则对体系的自由度没有影响。

(5) 瞬变体系。

在图 1.3-6(a)中看到,用两根不共线的链杆可以把平面上的 A 点完全固定起来。但是要注意图 1.3-6(c)所示两根链杆彼此共线的情况。这种体系具有如下特点。

第一,从微小运动的角度来看,这是一个可变体系。为了说明这个特点,可将图 1.3-6(a)与(c)中的体系作如下的对比。首先设想在 A 点把链杆 1 与 2 分开,这时,链杆 1 上的 A 点可绕 B 点沿圆弧 I 运动,链杆 2 上的 A 点可绕 C 点沿圆弧 II 运动。然后再将两个链杆在 A 点铰结

在一起。在图(c)中,由于两个圆弧在 A 点相切,故 A 点仍可沿公切线方向做微小的运动。与此相反,在图(a)中,由于两个圆弧在 A 点不是相切而是相交,因此 A 点既不能沿圆弧 I 运动,也不能沿圆弧 II 运动,这样, A 点就被完全固定了。

第二,在图 1.3-6(c)中,当 A 点沿公切线发生微小位移以后,两根链杆就不再彼此共线,因而体系就不再是可变体系。这种本来是几何可变、经微小位移后又成为几何不变的体系可称为瞬变体系。瞬变体系是可变体系的一种特殊情况。为了明确起见,可变体系还可进一步分为瞬变体系和常变体系两种情况。如果一个几何可变体系可以发生大位移,则称为常变体系,图 1.3-2(b)为常变体系的例子。

第三,在图 1.3-6(c)中,自由点 A 在平面内有两个自由度,增加两根共线链杆 1 和 2 把 A 点与基础相连接以后, A 点仍然具有一个自由度。可见在链杆 1 和 2 这两个约束中有一个是多余约束。一般说来,在任一瞬变体系中必然存在有多余约束。

(6) 瞬铰。

如图 1.3-7 所示刚片 I 在平面内本来有三个自由度,如果用两根不共线的链杆 1 和 2 把它与基础相连接,则此体系仍有一个自由度。现在对它的运动特点加以分析。由于链杆的约束作用, A 点的微小位移应与链杆 1 垂直, C 点的微小位移应与链杆 2 垂直。以 O 表示两根链杆轴线的交点。显然,刚片 I 可以发生以 O 为中心的微小转动, O 点称为瞬时转动中心。这时刚片 I 的瞬时运动情况与刚片 II 在 O 点用铰与基础相连接时的运动情况完全相同。因此,从瞬时微小运动来看,两根链杆所起的约束作用相当于在链杆交点处的一个铰所起的约束作用。这个铰可称为瞬铰。显然在体系运动的过程中,与两根链杆相应的瞬铰位置也跟着在改变。

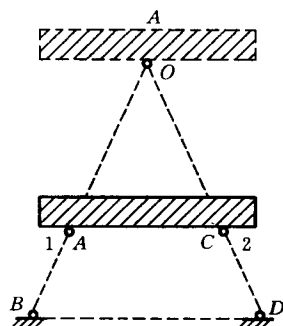


图 1.3-7

1.3.2 几何不变体系的组成规律

本节讨论几何构造分析中的主要课题——无多余约束的几何不变体系的组成规律。这里只讨论平面杆件体系最基本的组成规律。

(1) 一个点与一个刚片之间的联结方式。

一个点与一个刚片(或基础)之间应当怎样联结才能组成既无多余约束又是几何不变的整体呢?图 1.3-6(a)中的联结方式符合上述要求,而图 1.3-6(b)和(c)中的连接方式则不符合(图(b)中有多余约束,图(c)为几何可变)。由此可得下述规律(见图 1.3-8(a))。

规律 1 一个刚片与一个点用两根链杆连接,且三个铰不在一条直线上,则组成几何不变的整体,并且没有多余约束。

(2) 两个刚片之间的联结方式。

在图 1.3-8(a)中,如果把链杆 AB 看作刚片 II,则得到图 1.3-8(b)所示的体系,它表示两个刚片 I 与 II 之间的联结方式。这样,由规律 1 可得到下述规律。

规律 2 两个刚片用三个铰和一根链杆相联结,且三个铰不在一直线上,则组成几何不变的整体,并且没有多余约束。

(3) 三个刚片之间的联结方式。

在图 1.3-8(b)中,如果再把链杆 AC 看作刚片 III,则得到图 1.3-8(c)所示的体系,它表示三

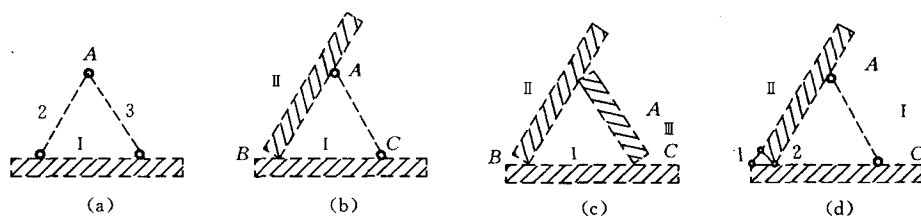


图 1.3-8

个刚片 I、II、III 之间的联结方式。这样,由规律 2 可得到下述规律。

规律 3 三个刚片用三个铰两两相连,且三个铰不在一直线上,则组成不变的整体,并且没有多余约束。

上述三条规律虽然表述方式不同,但实际上可归纳为一个基本规律:如果三个铰不共线,则一个铰接三角形的形状是不变的,并且没有多余约束。这个基本规律可叫做三角形规律。

在上述三条规律中,如果把图 1.3-6(a)、(b)、(c)中的刚片 I 看作基础,则规律 1 说明一个点的固定方式;规律 2 说明一个刚片的固定方式;规律 3 说明两个刚片的固定方式。

前文已指出,两根链杆的约束作用相当于一个瞬铰的约束作用。因此,三角形规律中的每一个铰,都可用相应的两根链杆来替换。这样,三角形规律还可别的方式来表述。举例来说,如果把图 1.3-8(b)中的铰 B 换成两根链杆 1 和 2,即得到图 1.3-8(d)所示的体系(链杆 1 与 2 相交于 B 点)。这样,由规律 2 可得到下述规律。

规律 4 两个刚片用三根链杆相连,且三链杆不交于同一点,则组成几何不变的整体,并且没有多余约束。

注意,规律 4 中提到“三链杆不交于一点”,规律 2 中提到“三铰不在一直线上”,这两种提法实际上表示同一个条件。由图 1.3-8(d)看出,如果三根链杆①、②、③不交于一点,则链杆 3 必不通过 1 与 2 的交点 B,因而三个铰 A、B、C 即不在一条直线上。因此,“三链杆不共点”与“三铰不共线”是完全等效的。

图 1.3-9 所示的体系不符合“三链杆不共点”的条件,它们都是瞬变体系。在图(a)中,三链杆相交于同一点 O,刚片 II 相对于基础 I 可以绕 O 点作瞬时转动。在图(b)中,三链杆彼此平行(即相交于无限远的一点),刚片 II 相对于基础 I 可以在垂直链杆的方向做瞬时移动(即绕无限远的一点做瞬时转动)。

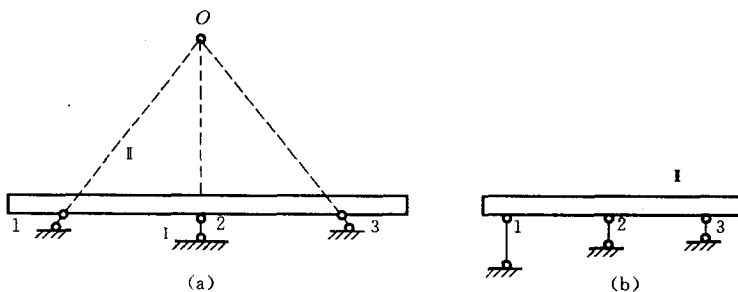


图 1.3-9

以上是平面杆件体系最基本的组成规律。虽然一共列了四条,但主要的是两点:三角形规则和瞬铰概念。