



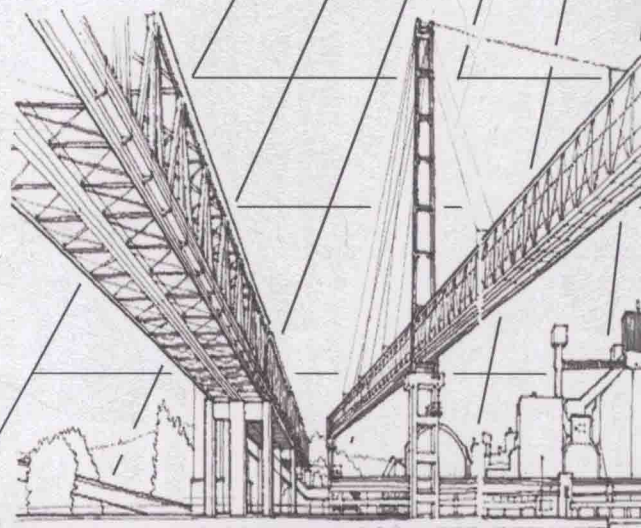
高职高专土建类专业“十二五”规划教材
GAOZHI GAOZHUAN TUJIANLEI ZHUANYE SHIERWU GUIHUA JIAOCAI

结构力学及应用

JIEGOU LIXUE JIYINGYONG

◎编著 朱耀淮

◎主审 戴力斌 何奎元



中南大学出版社
www.csupress.com.cn



高职高专土建类专业“十二五”规划教材
GAOZHI GONGCHENG TUJIANLEI ZHUANYE SHIERWU GUIHUA JIAOCAI

结构力学及应用

JIEGOU LIXUE JIYINGYONG

◎编著 朱耀淮

◎主审 戴力斌 何奎元



中南大学出版社
www.csupress.com.cn

图书在版编目(CIP)数据

结构力学及应用/朱耀淮编著. —长沙:中南大学出版社, 2015. 6

ISBN 978 - 7 - 5487 - 1665 - 5

I. 结... II. 朱... III. 结构力学 - 高等职业教育 - 教材

IV. O342

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2015)第 150924 号

结构力学及应用

朱耀淮 编著

☐责任编辑 谭 平

☐责任印制 易红卫

☐出版发行 中南大学出版社

社址:长沙市麓山南路

邮编:410083

发行科电话:0731-88876770

传真:0731-88710482

☐印 装 长沙利君漾印刷厂

☐开 本 787 × 1092 1/16 ☐印张 10 ☐字数 246 千字

☐版 次 2015 年 7 月第 1 版 ☐印次 2015 年 7 月第 1 次印刷

☐书 号 ISBN 978 - 7 - 5487 - 1665 - 5

☐定 价 31.00 元

图书出现印装问题,请与经销商调换



内容简介

本书是根据教育部高等学校土建学科教学指导委员会审定的《建筑力学教学大纲(下)》编写。全书共11章,主要内容有:平面体系的几何组成、桁架、静定受弯结构、静定结构位移、力法、超静定单跨梁、力矩分配法、影响线、工程结构梁、位移法、高次超静定结构、附录。

本书内容全面,通俗易懂,具有针对性和实用性。并配有习题集、多媒体教学课件。

本书可作为职业院校铁道工程技术、高铁维护工程技术、道路与桥梁工程技术、城市轨道交通工程技术、隧道与地下工程技术、建筑工程技术、建筑设计、建筑工程管理等专业的教材,也可作为土建类工程技术人员的参考用书。

前言 PREFACE

本书是根据高等学校土建学科教学指导委员会审定的《工程力学(下)教学大纲》编写的。可作为高职本科道路与桥梁工程技术、铁道工程技术、建筑工程技术、隧道与地下工程技术、建筑设计、建筑工程管理等专业的教材,也可作为土建类工程技术人员的参考用书。

在编写本书时,注意了以下原则:体现高等职业教育教学改革的特点,突出针对性、适用性和实用性;吸取有关教材长处,结合作者的教学经验;重视由浅入深和理论联系实际;内容简明扼要,通俗易懂,图文配合紧密。并配有习题集。

本书的编写,具有以下特点:

一、为了使得叙述更确切,提出新的名称和符号:二杆外点、附基梁、相应结构、本结构、附加刚臂新符号、固平衡力矩、工程结构梁等。

二、为了使得分析计算更简单,提出了新方法:①点和刚片的组成规则;②虚铰的5种形式及分析应用;③寻找零杆判点判零杆;④应用三铰拱内力计算公式计算三铰刚架;⑤用渐近法计算绝对最大弯矩值。

三、为了理解更容易,应用了新方法推导计算公式:①三铰拱内力计算公式的简易推导;②虚功原理的简易推导;③临界荷载判别式的简易推导。

四、为了适应目前教学时数不同、数量减少的情况,对内容进行了合理编排:①几何组成分析后,紧接桁架,有利于复习和应用组成分析内容;②为了便于理解,针对职业教育的对象,减少难点,增加了“单跨超静定梁”这一章;③考虑到学生接受能力的差异,把内容进行分层编排,方法讲解非常简单,如第5章“力法”和第7章“力矩分配法”,而较难的应用内容放在第9章“工程结构梁”和第11章“高次超静定工程结构”里讲解。

前8章属高职专科和本科都要讲授的内容,后3章属高职本科内容。

本书由湖南高速铁路职业技术学院朱耀淮副教授编著。特聘请湖南高速铁路职业技术学院院长戴力斌教授、何奎元副教授主审,且为本书提出了宝贵意见,在此表示感谢。

鉴于作者水平,本书难免有不足之处,敬请读者批评指正。

编者

2015年6月于迴雁峰



高职高专土建类专业“十二五”规划教材编审委员会

主任

郑伟 赵慧 刘霁 刘孟良 陈安生
李柏林 王小冰 彭浪 邓宗国 陈翼翔

副主任

(以姓氏笔画为序)

朱耀淮 刘庆潭 刘志范 刘锡军 汪文萍 周一峰
胡云珍 夏高彦 董建民 蒋春平 廖柳青 潘邦飞

委员

(以姓氏笔画为序)

王小华	王四清	卢滔	叶姝	吕东风	伍扬波
刘小聪	刘可定	刘汉章	刘剑勇	刘靖	许博
阮晓玲	阳小群	孙湘晖	杨平	李龙	李亚贵
李延超	李进军	李丽君	李奇	李侃	李海霞
李清奇	李鸿雁	李鲤	肖飞剑	肖恒升	何立志
何珊	何奎元	宋士法	宋国芳	张小军	陈贤清
陈晖	陈淳慧	陈翔	陈婷梅	林孟洁	欧长贵
易红霞	罗少卿	周伟	周良德	周晖	项林
赵亚敏	胡蓉蓉	徐龙辉	徐运明	徐猛勇	高建平
黄光明	黄郎宁	曹世晖	常爱萍	彭飞	彭子茂
彭仁娥	彭东黎	蒋建清	蒋荣	喻艳梅	曾维湘
曾福林	熊宇璟	魏丽梅	魏秀瑛		

出版说明 INSTRUCTIONS

全国职业院校专业教学标准和教材“十二五”规划教材

在新时期我国建筑业转型升级的大背景下,按照“对接产业、工学结合、提升质量,促进职业教育链深度融入产业链,有效服务区域经济发展”的职业教育发展思路,为全面推进高等职业院校建筑工程类专业教育教学改革,促进高端技术技能型人才的培养,我们通过充分调研和论证,在总结吸收国内优秀高职高专教材建设经验的基础上,组织编写和出版了本套基于专业技能培养的高职高专土建类专业“十二五”规划教材。

近几年,我们率先在国内进行了省级高等职业院校学生专业技能抽查工作,试图采用技能抽查的方式规范专业教学,通过技能抽查标准构建学校教育与企业实际需求相衔接的平台,引导高职教育各相关专业的教学改革。随着此项工作的不断推进,作为课程内容载体的教材也必然要顺应教学改革的需要。本套教材以综合素质为基础,以能力为本位,强调基本技术与核心技能的培养,尽量做到理论与实践的零距离;充分体现了《关于职业院校学生专业技能抽查考试标准开发项目申报工作的通知》(湘教通[2010]238号)精神,工学结合,讲究科学性、创新性、应用性,力争将技能抽查“标准”和“题库”的相关内容有机地融入教材中来。本套教材以建筑业企业的职业岗位要求为依据,参照建筑施工企业用人标准,明确职业岗位对核心能力和一般专业能力的要求,重点培养学生的技术运用能力和岗位工作能力。

本套教材的突出特点表现在:一、把建筑工程类专业技能抽查的相关内容融入教材之中;二、把建筑业企业基层专业技术管理人员(八大员)岗位资格考试相关内容融入教材之中;三、将国家职业技能鉴定标准的目标要求融入教材之中。总之,我们期望通过这些行之有效的办法,达到教、学、做合一,使同学们在取得毕业证书的同时也能比较顺利地考取相应的职业资格证书和技能鉴定证书。

高职高专土建类专业“十二五”规划教材

编审委员会

目 录 CONTENTS

目 录

绪 论	(1)
0.1 结构力学的研究对象和任务	(1)
0.2 结构的计算简图	(1)
0.3 结构和荷载的分类	(4)
第1章 平面体系的几何组成	(7)
1.1 几何构造分析的目的	(7)
1.2 自由度和约束的概念	(7)
1.3 几何不变体系的简单组成规则	(9)
1.4 瞬变体系	(13)
1.5 无虚铰法几何组成分析	(14)
1.6 虚铰的五种形式及分析应用	(16)
1.7 静定与超静定结构	(18)
第2章 桁 架	(19)
2.1 概 述	(19)
2.2 结点法求简单平面桁架内力	(20)
2.3 截面法求简单平面桁架内力	(24)
2.4 联合应用结点法和截面法	(25)
2.5 几种桁架受力性能的比较	(26)
第3章 静定受弯结构	(28)
3.1 附基静定梁	(28)
3.2 静定平面刚架	(30)
3.3 三铰拱	(38)
3.4 应用三铰拱公式计算三铰刚架	(44)

第4章 静定结构位移	(46)
4.1 概 述	(46)
4.2 虚功与虚功原理	(47)
4.3 荷载作用下的位移计算	(50)
4.4 图乘法	(54)
4.5 图乘法技巧	(56)
4.6 静定结构在支座移动时的位移	(60)
4.7 互等定理	(61)
第5章 力 法	(63)
5.1 力法原理	(63)
5.2 力法方程	(65)
5.3 力法计算举例	(67)
5.4 相应结构	(72)
第6章 超静定单跨梁	(74)
6.1 概 述	(74)
6.2 支座位移与变形	(76)
6.3 查表求杆端内力	(78)
第7章 力矩分配法	(82)
7.1 力矩分配法的基本原理及基本概念	(82)
7.2 用力矩分配法计算举例	(86)
第8章 影响线	(89)
8.1 移动荷载和影响线的概念	(89)
8.2 用静力法作单跨静定梁影响线	(90)
8.3 利用影响线求量值	(94)
8.4 荷载最不利位置的确定	(98)
8.5 简支梁的内力包络图和绝对最大弯矩	(102)
第9章 工程结构梁	(104)
9.1 多跨静定梁	(104)
9.2 超静定组合结构梁	(108)
9.3 多跨连续梁的弯矩内力	(110)
9.4 用机动法作连续梁影响线简介	(115)
9.5 连续梁的内力包络图	(118)

第 10 章 位移法	(122)
10.1 无侧移结构	(122)
10.2 有侧移结构	(125)
10.3 基本未知量	(128)
第 11 章 高次超静定工程结构	(131)
11.1 一般刚架	(131)
11.2 等标高排架	(138)
11.3 对称结构	(140)
附录 单跨超静定梁杆端弯矩和杆端剪力表	(147)
参考文献	(149)

绪 论

0.1 结构力学的研究对象和任务

工程中的各类构筑物,如房屋、桥梁、水塔、挡土墙、车辆机架等,都要承受一些荷载的作用,如人群、设备、车辆、水压力、土压力、货物荷载,等等。凡在构筑物中,起着承担荷载的骨架作用的部分,都称为结构。如图0-1所示为房屋骨架图,最上层的荷载由屋面板承担,屋面板再依次传递荷载给横梁、柱子、基础,这个骨架也就是此房屋的结构。

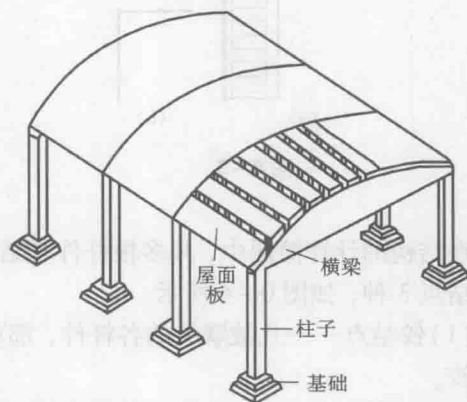


图0-1

结构的类型有多种,通常可以依几何观点分为3种类型,即杆系结构、薄壁结构和实体结构。杆件的特点是,它的长度远大于另两个方向的尺寸,如矩形截面杆的长,远大于截面的宽和高。由杆件组成的结构称为杆系结构;如果杆系及其上的荷载都处于同一个平面内,就称为平面杆系结构。本书的研究对象限于平面杆系结构。薄壁结构是指它的厚度远小于另两个方向尺寸的结构,如水池、水塔等都可选取薄壁结构形式。结构的3个方向的尺寸为同一量级时,称为实体结构,如挡土墙结构。

研究杆系结构的任务包括讲授结构的合理组成,以保证结构内部不致产生相对运动,使结构能维持外因作用下的平衡,研究结构在外因作用下的内力和变形,以便后续课程对结构进行强度和刚度计算,来保证结构既安全又经济地工作。结构稳定问题在高职教材中都被略去,即便它对结构的安全也非常重要。因此,概括结构力学的主要任务,就是包括研究结构在荷载等因素作用下所产生的内力、变形以及稳定性,探讨结构的组成规律和合理形式。

0.2 结构的计算简图

实际构筑物的结构一般都比较复杂,完全按照实际结构进行分析计算,往往是不可能的。因此,必须抓住它的主要特征,略去次要的因素,采用经过简化的图形来代替它。这种能够代表实际结构的简化图形,就称为此实际结构的计算简图。结构力学就是按照结构的计算简图进行分析计算的。

选择结构的计算简图,应该保证此简图既能够正确地反映实际结构的变形情况和受力特点,又能使结构的计算得到简化。

1. 结构的结点

两根实际结构的杆件,有两种连接形式,如图0-2(a)和0-3(a)所示。在图0-2(a)中的不同杆件之间,用钢筋联成整体,再由混凝土浇注定位,可以称为刚结,刚结的计算简图如图0-2(b)所示。而在图0-3(a)中的杆件之间,虽然仍用混凝土浇注固定了钢筋,但所用钢筋汇交抵抗弯矩的能力很弱,所以,可以近似地视为理想铰结,计算简图如图0-3(b)所示。

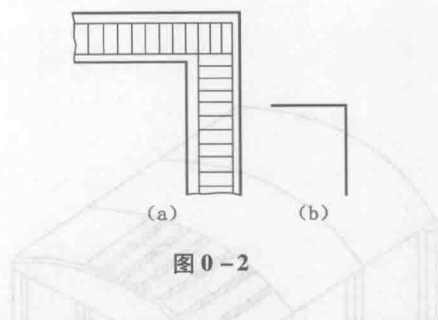


图0-2

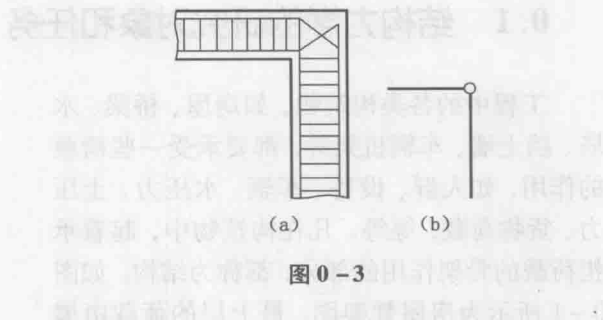


图0-3

在结构的计算简图中,凡多根杆件联结的地方统称为结点。结点可以分为铰结、刚结和组合结点3种,如图0-4所示。

(1)铰结点——凡被联结的各杆件,都可以绕着铰心自由转动,如图0-4(a)所示的为完全铰。

(2)刚结点——如各杆件都不能绕着它的结点作杆件之间不变的相对转动,也就是各杆件之间的夹角保持不变,如图0-4(b)所示称为刚结点。

(3)组合结点——此种结点处,有的杆件之间用刚结,而有的又用铰结,如图0-4(c)所示。此种结点为不完全铰结,也不完全为刚结。

以上任何一种结点,杆件之间在内力和变形方面,都有各自的特点,应注意理解和明确地区分。

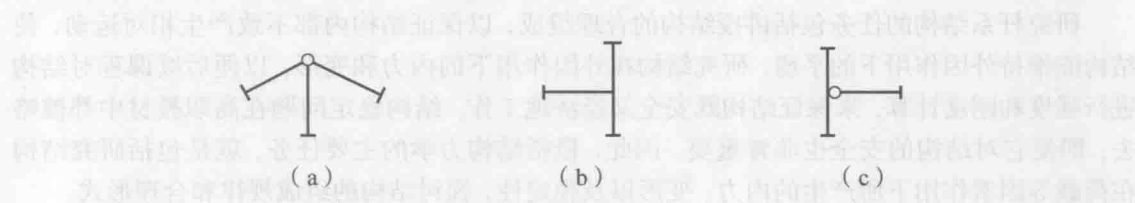


图0-4

2. 结构的支座

结构与地基(或其他结构)相连系的装置称为支座。依据实际结构支座的约束特点,在工程力学中都绘出了简图。这些简图,也就是结构力学的支座计算简图,如图0-5所示。

(1)活动铰支座——这种支座的计算简图用一根链杆表示,它只能阻止结构沿支承链杆方向移动,如图0-5(a)所示,反力的方向沿链杆轴向,大小未知。

(2)固定铰支座——计算简图如图0-5(b)所示,用两根相交的链杆表示。这种支座只允许结构绕铰中心转动,但不可以作任何方向移动,反力可任取两个相互垂直的分反力,两

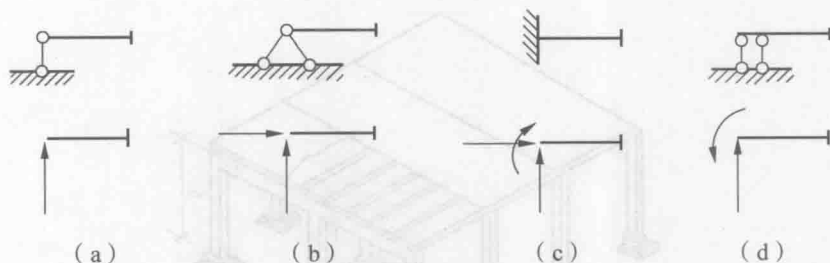


图 0-5

分反力的大小未知。

(3) 固定端支座——计算简图如图 0-5(c) 所示, 它表示结构被此种支座所固定, 即不允许结构对支座作任何移动和转动, 反力有 3 个未知量, 包括任意两个互相垂直的分反力和一个力偶。

(4) 定向支座——计算简图如图 0-5(d) 所示, 此支座只允许结构沿杆轴方向有较小的移动。反力的未知量有两个, 一个是沿垂直于链杆轴向的反力, 另一个是抵抗转动的力偶矩。

要想由结构的实际支座作出合理的计算简图, 仅仅依赖如上所述的工程力学的介绍还不够, 此后还必须坚持理论联系实际的原则, 特别是钢筋混凝土支座以前几乎没有讨论过, 如何合理地给定各种支座的计算简图, 还应该不断地摸索。

3. 杆系结构的简化

在杆系结构的计算简图中, 同工程力学一样, 杆件也都要采用它的轴线来表示。对于荷载, 也应考虑实际的施加情况, 近似地用集中荷载或分布荷载来表示。

关于选取结构的计算简图。一般杆系结构都可以化为平面杆系结构, 故可先将结构体系简化为平面体系, 并将该平面结构所应承担的荷载求出, 施加到此平面结构的受力处。当然也有不少结构不能简化为平面结构, 这种结构称为空间结构, 本教材不讨论。再就是判明结构杆件之间的连接, 并选择决定相适应的结点简图, 将结构中的杆件(轴线)连接起来。最后审定支座, 选取适当的支座得到简图。这样就得到了结构的计算简图。

如图 0-6(a) 所示为由梁、柱和基础等组成的结构图。其中每一排间距为 l 的横向梁、柱和基础, 处在一个平面内, 构成平面结构。屋面板将屋面荷载向下传, 传递到这些横向的平面结构上。

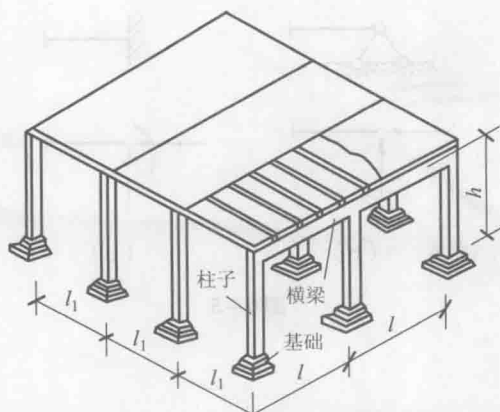
图 0-6(a) 所示的计算简图, 可以分解为两个部分讨论。一个屋面板, 它简支在横向平面结构之上, 屋面板的计算简图如图 0-6(b) 所示为简支梁, 设屋面板的荷载为 p , 单位为 kN/m^2 。通常对板可取 1 m 宽计算, 于是屋面板的荷载 q_1 应为

$$q_1 = 1 \times p_1 = p_1 \quad \text{kN/m}$$

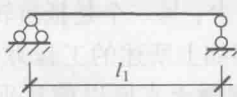
另外一部分就是横向平面结构, 也就是屋面板的支座, 对中间二排架, 此支座反力为 $2Y$ (不计横梁自重), 横向结构的荷载 q_2 与 $2Y$ 两者互为反作用, 有

$$q_2 = 2Y = 2 \left(\frac{q_1 l_1}{2} \right) = q_1 l_1 = p_1 l_1 \quad \text{kN/m}$$

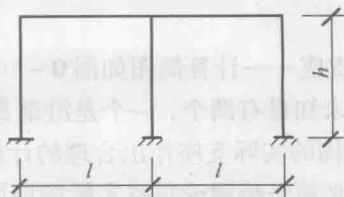
横向结构的杆件连接, 设取图 0-2 刚结的形式, 钢筋混凝土结构一般多用此种刚结。对于支座, 要看柱子、基础和地基的实际情况而定, 如果柱子与基础连接为一体可抵抗弯矩,



(a)



(b)



(c)

图 0-6

而且地基又良好, 变形很小, 此时支座可视为固定端支座, 如图 0-6(c) 所示。图 0-6(b) 加上荷载 q_1 后和图 0-6(c) 加上荷载 q_2 后就是图 0-6(a) 所示结构的计算简图。

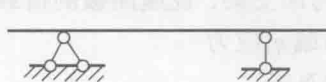
此后, 结构力学将只对结构的计算简图进行分析和讨论。

0.3 结构和荷载的分类

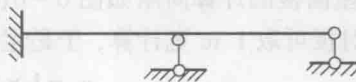
1. 平面杆系结构分类

平面杆系结构是本书分析的对象, 按照它的构造和力学特征, 可分为 5 类:

(1) 梁——以受弯为主的直杆为直梁。本书主要讨论直梁, 不涉及曲梁, 更不考虑曲率对曲杆的影响。梁有静定梁和超静定梁两大类, 如图 0-7(a)、(b) 所示。



(a)



(b)

图 0-7

(2) 拱——多为曲线外形, 它的力学特征在以后讨论拱时再说明。常用的拱有静定三铰拱和超静定的无铰拱、两铰拱 3 种, 分别如图 0-8(a)、(b)、(c) 所示。二铰拱和无铰拱的计算以三铰拱为基础, 本书只讲三铰拱。

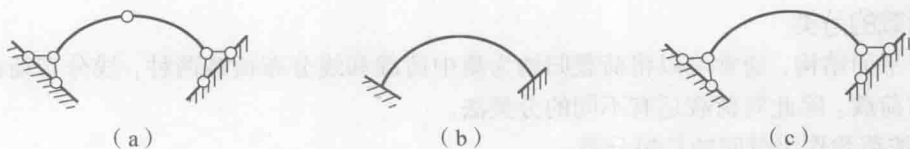


图 0-8

(3) 刚架——刚架由梁和柱等杆件构成，杆件之间的连接多为刚结。有静定刚架和超静定刚架两类，如图 0-9(a)、(b) 所示。

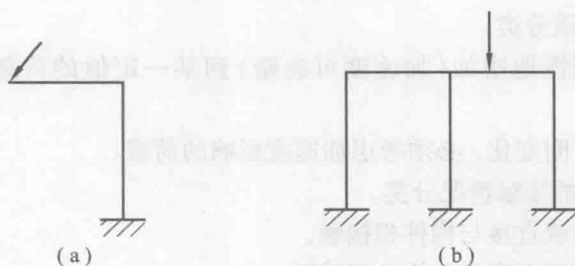


图 0-9

(4) 桁架——桁架由端部都是铰结的直杆构成，理想桁架的荷载必须施加在结点上，如图 0-10(a)、(b) 所示，有静定桁架和超静定桁架两种。

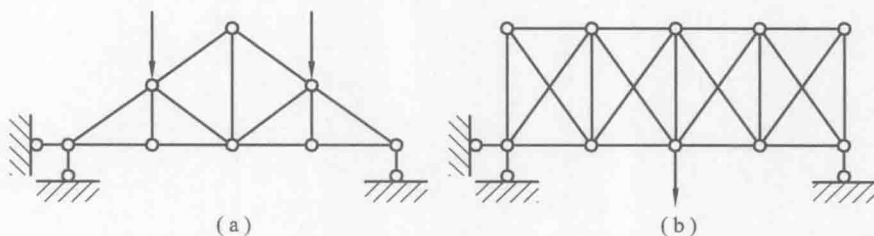


图 0-10

(5) 组合结构——它是桁架直杆和梁式杆件两类杆件组合而构成的结构，如图 0-11 所示。图中 AB 杆具有一个或多个组合结点，属梁式杆件，杆件 AD 、 CD 又为端部都为铰结的桁架式直杆，故图 0-11(a) 和 (b) 所示均为组合结构。组合结构也有静定和超静定之分。

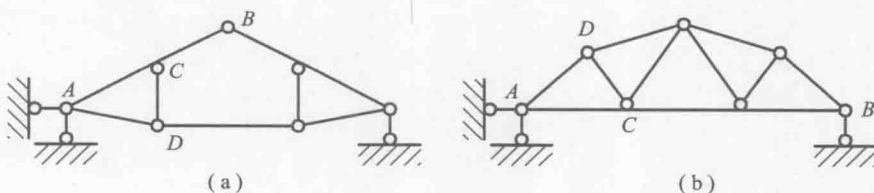


图 0-11

2. 荷载的分类

对于平面结构,通常可以将荷载归纳为集中荷载和线分布荷载两种,线分布荷载此后简称为分布荷载。除此对荷载还有不同的分类法。

(1)按荷载作用时间的长短分类。

①恒载——在结构的使用期内,长期不变或变化值可以忽略的荷载称为恒载。如结构的自重、结构上不动的附属装置、设备等的自重,这些都是恒载。

②活载——施加在结构上可以变化的荷载称为活载。常见的活载有:只改变大小的,如移动的人或物的荷载;也有只改变荷载位置的,如吊车或列车荷载,这种荷载也称为移动荷载。

(2)按荷载作用性质分类。

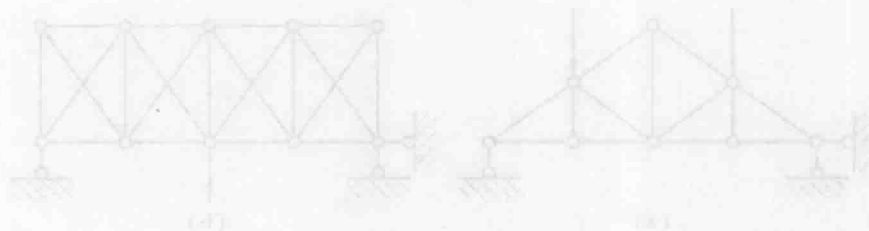
①静载——由零缓慢地增加(加速度可忽略)到某一定值的荷载。最后的定值即为静载值。

②动载——随着时间变化,必须考虑加速度影响的荷载。

(3)按荷载与构件的接触情况分类。

①直接荷载——荷载直接与构件相接触。

②间接荷载——荷载不直接与构件相接触。



11-0图



11-0图

第1章 平面体系的几何组成

1.1 几何构造分析的目的

结构是用来承受荷载的,通常情况下是由若干杆件互相连结而组成,但不能将杆件随意拼成结构。应该要求结构在承受荷载后,能牢固地维持它本身原有的几何形状和位置。这样的结构,才能在工程上使用。为此,要求结构必须满足一定的组成规律。一般将由若干杆件所构成的一个整体,称为体系。

由实践可知,如图1-1(a)所示的体系,在外荷载作用下,若不考虑材料的微小变形时,能保持其几何形状和位置不变,这样的体系,称为几何不变体系。又如图1-1(b)所示的体系,即使在很小的外荷载的作用下,各杆件也会发生相对的机械运动,不能保持其原有的形状和位置,这样的体系称为几何可变体系。显然,几何可变体系不能作为工程结构使用。就体系的几何形状和位置是否可变,进行体系的几何构造分析,称为体系的几何组成分析或机动分析。

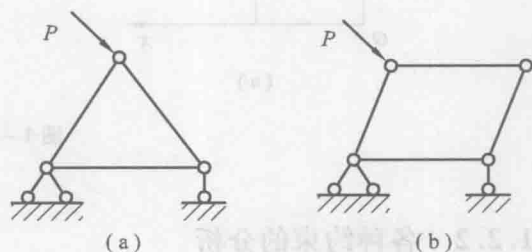


图1-1

平面体系几何组成分析的目的:

- (1) 在结构设计选定计算简图时,必须分析它是否几何可变,从而决定它能否在工程结构上使用。
- (2) 为了确定结构是静定还是超静定,以便采取相应的计算方法。
- (3) 利用平面体系几何组成分析,掌握结构的构造特征,为后续的结构计算打下基础。

在进行几何组成分析时,由于略去了材料的弹性变形,因而将一根梁,一根链杆,或在体系中已被判明为几何不变的部分,都可视为一个刚体,它在平面体系中称为刚片。

1.2 自由度和约束的概念

1.2.1 平面体系的自由度

判断体系是否是几何可变,可从体系中的刚片是否会发生机械运动的分析着手。换句话说,就是从体系是否有自由度的分析着手。所谓体系的自由度,是指一个体系运动时,可以独立变化的几何参数的数目。这个数目,就是用来确定该体系的位置所必需的独立坐标