



高等院校“十二五”精品规划教材

结构力学

康希良 王利霞 编著
朱瑞涛 孙理想



中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn

高等院校“十二五”精品规划教材

结构力学

康希良 王利霞 朱瑞涛 孙理想 编著



中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn

内 容 提 要

本书是根据教育部力学教学指导委员会非力学类专业力学基础课程教学指导分委员会制定的《结构力学课程教学基本要求》编定而成的,本书着眼于为课程打好基础,落实课程的基本要求,同时也兼顾对知识的扩大和提高。本书内容取材适当,叙述精练,由浅入深,联系实际,符合课程的认知和发展规律。本书内容包括绪论、体系的机动分析、静定梁与静定刚架、静定拱、静定平面桁架、结构位移计算、力法、位移法、渐近法、矩阵位移法、影响线及其应用、结构动力学、结构的弹性稳定、结构的极限荷载共十四章。在第十四章后附有平面杆系结构静力分析框图设计、程序说明及电算源程序。各章后均有复习思考题以利于复习和一定数量的习题并附有习题的部分答案。

本书可作为高等工科院校土木工程、水利水电工程、工程力学等专业结构力学教材,也可供其他有关专业及工程技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

结构力学 / 康希良等编著. — 北京 : 中国水利水电出版社, 2015.8

高等院校“十二五”精品规划教材

ISBN 978-7-5170-3428-5

I. ①结… II. ①康… III. ①结构力学—高等学校—教材 IV. ①0342

中国版本图书馆CIP数据核字(2015)第169625号

策划编辑: 宋俊娥 责任编辑: 李 炎 加工编辑: 孙 丹 封面设计: 李 佳

书 名	高等院校“十二五”精品规划教材 结构力学
作 者	康希良 王利霞 朱瑞涛 孙理想 编著
出版发行	中国水利水电出版社 (北京市海淀区玉渊潭南路1号D座 100038) 网址: www.waterpub.com.cn E-mail: mchannel@263.net (万水) sales@waterpub.com.cn
经 售	电话: (010) 68367658 (发行部)、82562819 (万水) 北京科水图书销售中心(零售) 电话: (010) 88383994、63202643、68545874 全国各地新华书店和相关出版物销售网点
排 版	北京万水电子信息有限公司
印 刷	北京正合鼎业印刷技术有限公司
规 格	170mm×227mm 16开本 28.5印张 539千字
版 次	2015年8月第1版 2015年8月第1次印刷
印 数	0001—3000册
定 价	42.00元

凡购买我社图书,如有缺页、倒页、脱页的,本社发行部负责调换
版权所有·侵权必究

前 言

自 2003 年至 2012 年近十年内，教育部高等学校力学教学指导委员会先后修订完善了《高等学校理工科非力学专业力学基础课程教学基本要求》(以下简称“基本要求”)。依据基本要求中结构力学课程教学基本要求(A类)的精神，突出学生分析能力、计算能力、判断能力的培养，并结合编者长期在教学、科研和生产服务中的经验，形成了这本具有典型工科背景和特色的教材。

本书适用于高等工科院校土木工程、水利水电工程、工程力学等专业，在编写过程中结合长期的教学体会，总结了过去我们编写教材的经验，力求做到精选内容、突出基本概念的论述及理论联系实际，以培养学生分析问题和解决问题的能力。由于结构力学计算机化的进程日新月异，在计算机化的形式下，结构定性分析的能力培养，显得更为重要。为加强计算机的应用，结合第十章内容向读者推荐一电算程序，提高学生利用计算机分析结构的能力。电算程序不仅能对平面杆系结构在荷载下进行结构分析，也能对结构在支座移动、温度变化下的内力和位移进行计算。

本书内容取材适宜，注重夯实基础，叙述精练，由浅入深，理论联系实际，符合课程的认知和发展规律。同时突出铁路特色，结合高速铁路的建设，在原有铁路活载中一活载的基础上，结合现行规范引入了铁路客运专线中的 ZK 活载，书中也结合公路最新现行规范，引入了公路桥涵设计使用的汽车荷载。

本书由兰州交通大学康希良编写第一、十、十四章及附录，朱瑞涛编写第二～第六章，孙理想编写第七～九章，王丽霞编写第十一～十三章，全书由赵宪锋统稿。同时，王艺洁、宋朝、张希萌、阚文强等在排版、绘图等方面做了大量工作。本书可根据各专业的需要选择授课内容，带星号的章节可作为选学内容。授课学时为 100～120 学时。

编 者

2015 年 5 月

目 录

前言

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	3
§ 1-3 平面杆系结构的分类	5
§ 1-4 荷载的分类	7
§ 1-5 结构力学的学习方法	7
复习思考题	7
第二章 平面体系的机动分析	9
§ 2-1 引言	9
§ 2-2 平面体系的计算自由度	10
§ 2-3 几何不变体系的基本组成规则	12
§ 2-4 瞬变体系	14
§ 2-5 机动分析示例	16
§ 2-6 几何构造与静定性的关系	19
复习思考题	20
习题	20
第三章 静定梁和静定刚架	23
§ 3-1 单跨静定梁	23
§ 3-2 多跨静定梁	30
§ 3-3 静定平面刚架	35
复习思考题	40
习题	40
第四章 静定拱	49
§ 4-1 概述	49
§ 4-2 三铰拱的计算	50
§ 4-3 三铰拱的合理拱轴线	58
复习思考题	60
习题	61

第五章 静定平面桁架	62
§ 5-1 平面桁架计算简图	62
§ 5-2 结点法	64
§ 5-3 截面法	66
§ 5-4 截面法和结点法的联合应用	69
§ 5-5 组合结构的计算	70
复习思考题	72
习题	72
第六章 结构的位移计算	76
§ 6-1 概述	76
§ 6-2 变形体系的虚功原理	78
§ 6-3 位移计算的一般公式单位荷载法	79
§ 6-4 静定结构在荷载作用下的位移计算	80
§ 6-5 图乘法	85
§ 6-6 静定结构温度变化时的位移计算	91
§ 6-7 静定结构支座移动时的位移计算	94
§ 6-8 线弹性结构的互等定理	95
复习思考题	97
习题	98
第七章 力法	103
§ 7-1 超静定和超静定次数	103
§ 7-2 力法的基本概念	105
§ 7-3 力法的典型方程	108
§ 7-4 力法求解超静定结构	110

§ 7-5 对称性的利用	117	§ 10-1 概述	203
§ 7-6 超静定结构的位移计算	128	§ 10-2 局部坐标系中的单元刚度 矩阵	204
§ 7-7 超静定结构最后内力图的 校核	130	§ 10-3 结构坐标系中的单元刚度 矩阵	209
§ 7-8 温度变化时超静定结构的 计算	132	§ 10-4 结构的刚度矩阵	214
§ 7-9 支座位移时超静定结构对的 计算	137	§ 10-5 支承条件的引入	221
§ 7-10 超静定结构的特性	141	§ 10-6 结点荷载列阵	222
复习思考题	141	§ 10-7 矩阵位移法的计算步骤 及示例	226
习题	142	复习思考题	237
第八章 位移法	148	习题	238
§ 8-1 概述	148	第十一章 影响线及其应用	242
§ 8-2 位移法的基本未知量及 基本结构	150	§ 11-1 概述	242
§ 8-3 等截面直杆的转角位移方程	152	§ 11-2 用静力法作单跨静定梁的 影响线	243
§ 8-4 位移法的典型方程及计算 步骤	156	§ 11-3 间接荷载作用下的影响线	250
§ 8-5 直接由平衡条件建立位移法 基本方程	165	§ 11-4 用机动法作单跨静定梁的 影响线	252
§ 8-6 对称性的利用	167	§ 11-5 多跨静定梁的影响线	255
* § 8-7 温度变化时的计算	170	§ 11-6 桁架的影响线	257
复习思考题	174	§ 11-7 利用影响线求量值	260
习题	175	§ 11-8 铁路和公路的标准荷载制	262
第九章 渐进法	179	§ 11-9 最不利荷载位置	265
§ 9-1 概述	179	§ 11-10 换算荷载	274
§ 9-2 力矩分配法的概念	179	§ 11-11 简支梁的绝对最大弯矩	278
§ 9-3 用力矩分配法计算连续梁 和无侧移刚架	185	§ 11-12 简支梁的内力包络图	281
§ 9-4 无剪力分配法	189	§ 11-13 超静定结构影响线作法 概述	284
§ 9-5 剪力分配法	196	复习思考题	288
复习思考题	199	习题	289
习题	200	第十二章 结构动力学	292
第十章 矩阵位移法	203	§ 12-1 动力计算概述	292
		§ 12-2 单自由度结构的自由振动	296

§ 12-3 单自由度结构在简谐荷载作用下的受迫振动·····	304
§ 12-4 单自由度结构在任意荷载作用下的受迫振动·····	311
§ 12-5 多自由度结构的自由振动·····	314
§ 12-6 两个自由度结构在简谐荷载作用下的受迫振动·····	326
§ 12-7 振型分解法·····	333
§ 12-8 计算频率的近似法·····	337
复习思考题·····	341
习题·····	342
第十三章 结构的弹性稳定·····	349
§ 13-1 概述·····	349
§ 13-2 用静力法确定临界荷载·····	354
§ 13-3 具有弹性支座压杆的稳定·····	360
§ 13-4 用能量法确定临界荷载·····	363
§ 13-5 变截面压杆的稳定·····	368
§ 13-6 剪力对临界荷载的影响·····	372
* § 13-7 组合压杆的稳定·····	374
* § 13-8 圆环及拱的稳定·····	379
§ 13-9 窄条梁的稳定·····	385
复习思考题·····	389

习题·····	390
第十四章 结构的极限荷载·····	395
§ 14-1 概述·····	395
§ 14-2 极限弯矩、塑性铰和破坏机构·····	396
§ 14-3 单跨超静定梁的极限荷载·····	399
§ 14-4 比例加载时有关极限荷载的几个定理·····	402
§ 14-5 计算极限荷载的穷举法和试算法·····	404
§ 14-6 连续梁的极限荷载·····	406
§ 14-7 刚架的极限荷载·····	408
复习思考题·····	410
习题·····	410
附录 I 平面杆系结构程序框图设计·····	414
§ I-1 平面杆系结构分析程序设计说明·····	414
§ I-2 平面杆系结构程序框图设计及标识符说明·····	421
附录 II 平面杆系结构源程序及算例·····	432
参考文献·····	446

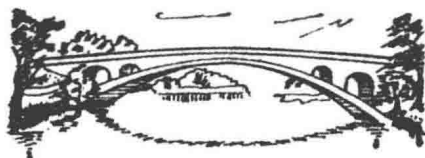
第一章 绪论

§ 1-1 结构力学的研究对象和任务

在交通、水利、民用等各类工程中，能支承一定的荷载并起骨架作用的建筑物，称为结构。如桥梁、隧道、水塔、水池、水坝、房屋等，如图 1-1 所示。



高层建筑



石拱桥

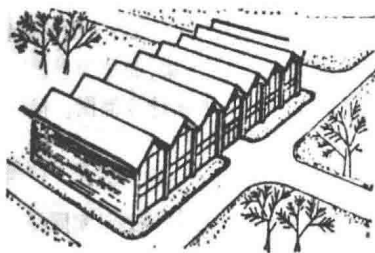
图 1-1

这些结构都是由若干部件组成，按几何尺寸可以分为三大类。

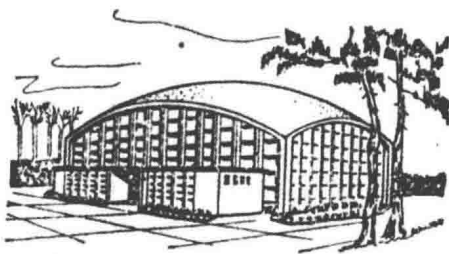
(1) 杆系结构。这种结构是由若干根杆件组成的，每根杆件沿杆轴线方向的长度要比其横截面的尺寸大得多，如理论力学、材料力学中已讲过的简支梁、桁架、刚架等。

(2) 薄壁结构。当某一部件一个方向的尺度远小于其他两个方向的尺度就称为薄板及薄壳。若干个薄板及薄壳所组成的结构叫薄壁结构，如图 1-2 所示为折板屋面、薄壳屋面。

(3) 实体结构。这种结构在三个方向的尺度大体相近，如图 1-3 所示为水坝。结构力学是以杆系结构为研究对象，薄壁结构与实体结构则为弹性力学的研究对象。



折板屋面



薄壳屋面

图 1-2

结构力学与材料力学有着密切的联系，材料力学是以研究单根杆件为主，结构力学则主要研究杆系结构，其具体任务是：

(1) 计算结构在荷载、温度变化、支座移动等因素影响下结构的内力与位移，然后再利用已学过的材料力学方法，按强度条件、刚度条件对结构的各杆件进行设计或校核。

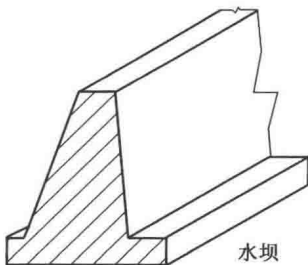
(2) 分析结构的稳定性，以保证结构在荷载作用下受压杆件不致丧失稳定而导致结构的破坏，研究结构在动力荷载作用下的动力反应。

(3) 讨论结构的组成规律及其合理形式，以保证结构在承受任意荷载作用下，各部分不产生相对运动而维持平衡，同时在满足材料强度的前提下，充分发挥材料的各方面性能。

结构力学是一门技术基础课，它不但要用到数学、理论力学、材料力学的知识，而且也后续课（如结构设计原理、桥梁、隧道、房建、水工结构及工程施工）提供了必要的理论基础和计算方法。

随着计算机的普及，本书写入了结构矩阵位移法（即直接刚度法）一章，并附一计算机源程序，以供学生自学。

本书只讨论平面杆系结构。



水坝

图 1-3

§ 1-2 结构的计算简图

实际结构是很复杂的,如果完全按照实际结构去进行力学分析,一方面是不可能,另一方面也是没有必要的,因此在计算前,总要把实际结构进行简化,忽略一些次要因素的影响,保留其基本特点,用一个简化图形(也叫力学模型)代替实际结构,从而简化了计算,又使其误差在工程允许范围之内,这种简化的图形叫结构的计算简图。

简化工作一般包括下列内容:

1. 结构的简化

严格地讲,实际工程结构都是空间结构,可以承受来自各方面的荷载,如图 1-4 (a) 所示单层厂房。在多数情况下常略去一些次要的空间约束,简化为平面结构,如图 1-4 (b) 所示,再经过杆件、结点、支座的简化才能得到图 1-4 (c) 所示计算简图。但需说明的是,并非所有的空间结构均可简化为平面结构。

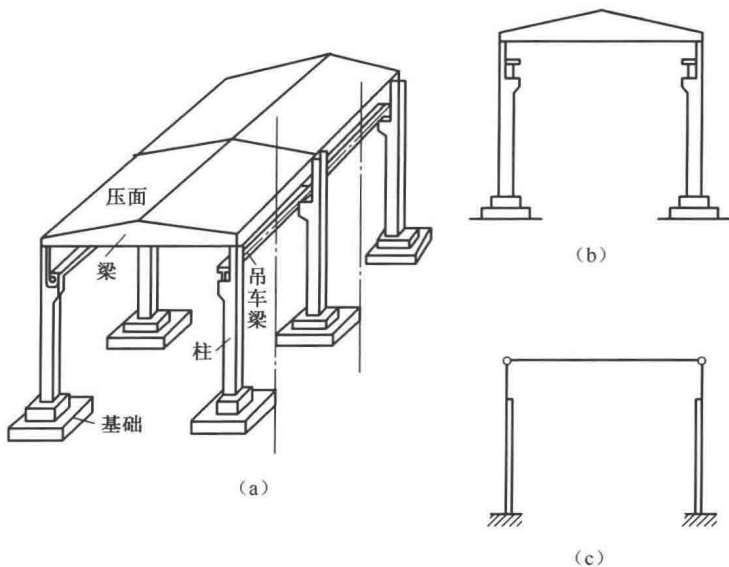


图 1-4

结构的简化包括下述两个方面:

(1) 杆件的简化。在杆系结构中,常用杆件截面形心连线所形成的杆轴线表示实际杆件。

(2) 结点的简化。杆件之间互相联结的地方称为结点。

1) 铰结点。其特征是各杆绕结点可以自由转动。在实际结构中, 这种结点很难遇到, 但略去了次要因素的影响, 如图 1-5 (a)、(b)、(c)、(d) 所示木屋架及钢桁架的结点均可视为铰结点。

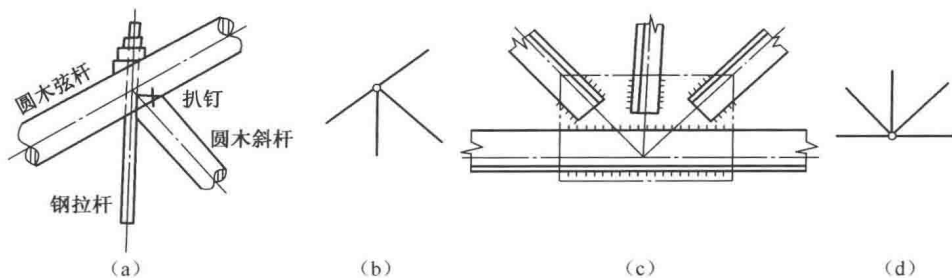


图 1-5

2) 刚结点。其特征是各杆绕结点无相对线位移及角位移。在实际工程中, 如钢筋混凝土的结点, 上、下柱与横梁在该处浇成整体, 钢筋的布置使各杆端能抵抗弯矩, 这种结点就可以简化为刚结点, 如图 1-6 所示。

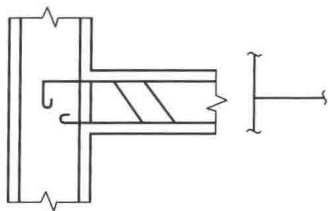


图 1-6

2. 支座的简化

把结构与基础或其他支承物联结的装置叫支座。支座的作用一方面是传递荷载, 另一方面是固定结构的位置。根据实际构造所起的约束作用, 可分为:

(1) 活动铰支座。图 1-7 (a) 是一个大跨度 (大于 20~25 米) 桥梁上的支座示意图, 这种支座称为辊轴支座, 在外因影响下既允许结构绕 A 转动, 又允许结构沿支承平面 $m-n$ 移动, 但不能有沿垂直于支承面方向的移动, 所以它只承受竖直方向的反力。对于小跨度的桥梁常用弧形支座, 如图 1-7 (b) 所示, 它的作用与辊轴支座相似, 活动铰支座的计算简图可用图 1-7 (c) 表示。

(2) 固定铰支座。这种支座的构造如图 1-7 (d) 所示, 它只允许结构绕 A 点转动, 而限制其他方向的位移, 其计算简图用两根相交于一点的链杆表示, 如图 1-7 (e) 所示, 其反力通常用平行和垂直于杆轴线的两个分力 F_{Ax} 、 F_{Ay} 表示。

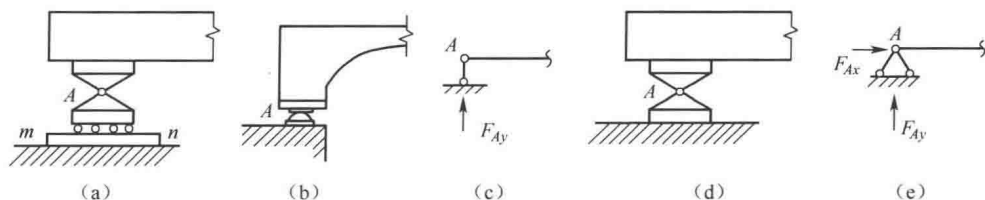


图 1-7

(3) 固定支座。这种支座不允许结构在该处发生任何方向的位移和转动，它的反力用两个分力 F_{Ax} 、 F_{Ay} 及力矩 M_A 表示，见图 1-8 (a)、(b)。

(4) 定向支座（滑动支座）。这种支座只允许结构沿一个方向平行移动，限制另一个方向移动和绕支座转动，计算简图上只有力 F_{Ay} （或 F_{Ax} ）及 M_A ，如图 1-8 (c)、(d) 所示。

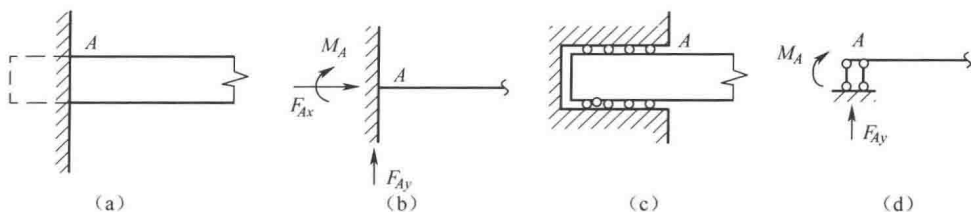


图 1-8

3. 荷载的简化

作用在实际结构上的荷载（如自重、水压力、土压力、风压力、人群、货物等）可简化为作用在杆轴线上连续分布的荷载，当荷载与结构的接触面较小时，如汽车、火车的轮压，往往简化为集中荷载。

本书中所示结构图均为结构的计算简图。

§ 1-3 平面杆系结构的分类

1. 梁

梁是一种受弯杆件，其轴线通常为直线，如图 1-9 (a)、(b) 所示。

2. 拱

拱的轴线为曲线，且在竖向荷载作用下有水平反力如，图 1-9 (c)、(d) 所示。

3. 刚架

刚架由直杆组成并具有刚结点，如图 1-10 (a) 所示。

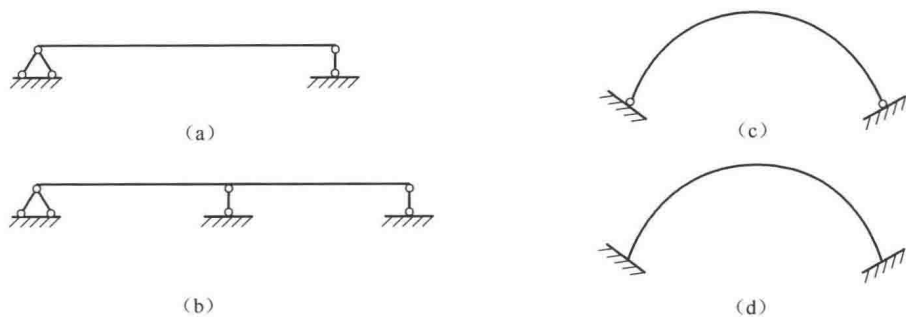


图 1-9

4. 桁架

桁架也是由直杆组成，其结点均为铰结点，其上所承受的荷载均为结点集中荷载，故各杆只有轴力，如图 1-10 (b) 所示。

5. 组合结构

它是由梁、桁、拱或刚架组合在一起的结构，其中有些杆件只承受轴力，另一些杆件还同时承受弯矩和剪力，如图 1-10 (c)、(d)、(e) 所示。

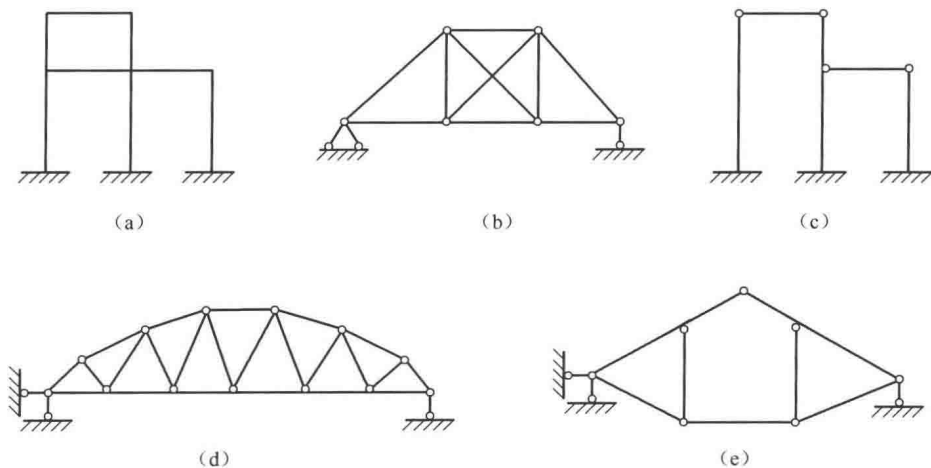


图 1-10

根据计算方法的不同，结构又可分为：

(1) 静定结构。其所有反力及内力均可用三个静力平衡方程求得的结构。

(2) 超静定结构。单用静力平衡方程无法确定其全部反力及内力，还必须考虑变形条件，这样的结构为超静定结构。

§ 1-4 荷载的分类

荷载是作用在结构上的主动力，在交通土建工程中，常见的荷载如下：

(1) 按分布情况，可分为分布荷载与集中荷载。

(2) 按荷载作用时间的长短，可分为恒载与活载。恒载是长期作用在结构上的荷载，如自重、土压力等。活载是短期作用在结构上的荷载。又按荷载位置是否随时间变化，分为可动活荷载（如各种行驶的车辆、人群、吊车等）及固定活荷载（如风载、雪载等）。

(3) 按荷载作用的作用位置是否变化，可分为固定荷载与移动荷载。恒载及某些活载（如风、雪等）在结构上的作用位置可以认为是不变动的，称为固定荷载；而有些活载（如列车、汽车、吊车等）是可以在结构上移动的，称为移动荷载。

(4) 按动力效应，可分为静力荷载及动力荷载。静力荷载缓慢作用在结构上，不使结构产生显著的加速度，因而其惯性力可以忽略。动力荷载的大小、方向或作用点都随时间迅速发生变化，使结构产生显著加速度，由此产生的惯性力是不可忽略的。在工程计算中，车辆、风载等均为动力荷载，但仍按静力荷载进行计算，然后乘以动力系数，这样可以使计算得到简化。

(5) 其他因素。温度变化、支座移动、混凝土收缩、制造误差等，也会使结构产生变形或内力。广义地讲，上述各因素都可视为静力荷载。

§ 1-5 结构力学的学习方法

结构力学是一门很重要的技术基础课，在学习中首先要抓住基本理论和基本概念，同时也要加强基本训练。

对每一种结构，首先要分析其特点，然后决定计算方法。对每一种计算方法要掌握它的基本原理、解题思路、适用范围，然后通过做大量的习题巩固已学过的理论知识，进一步提高分析问题和解决问题的能力。

做练习要求思路清晰、严谨、整洁，能独立进行校核。只有这样才能为今后形成良好的工作作风打下基础。

复习思考题

1. 结构力学的研究对象和具体任务是什么？

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？如何选定结构的计算简图？
4. 结构的计算简图中有哪些常用的支座、结点和荷载？
5. 哪些结构属于杆系结构？它们有哪些受力特点？

第二章 平面体系的机动分析

§ 2-1 引言

实际工程结构中，杆件结构一般是由若干根杆件通过结点间的连接及与支座的连接组成的。结构是用来承受荷载的，首先必须保证结构的几何构造是合理的，即它本身应该是稳固的，可以保持几何形状的稳定。一个几何不稳固的体系是不能承受荷载的。例如图 2.1 (b) 所示体系，由于内部的组成不健全，尽管只受到很小的扰动，体系也会引起很大的形状改变。

显然此体系是**不能**作为工程结构使用的，否则将不能承受任意荷载而维持平衡。

体系受到任意荷载作用后，在不考虑材料应变的情况下，若能保持原有的几何形状和位置，这样的体系称为**几何不变体系**。如图 2-1 (a) 所示的三角形体系，在任意荷载 F 的作用下，都能维持几何形状及位置不变。

还有另外一类体系，如图 2-1 (b) 所示，即使受到很小的外力 F ，也能引起其形状的改变，这类体系称为**几何可变体系**。

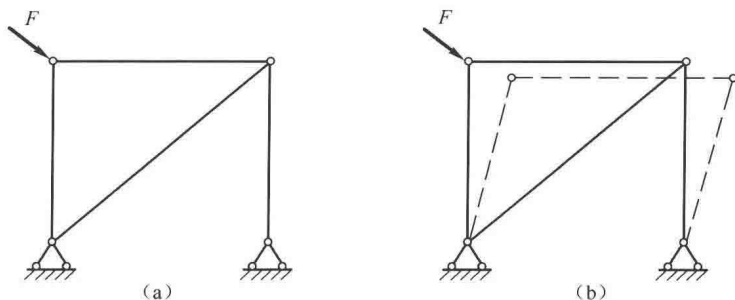


图 2-1

对体系几何组成进行的分析称为**机动分析**。机动分析的目的有以下三点：

- (1) 判别某一体系是否为几何不变，从而决定它能否作为**结构**。
- (2) 区别静定结构和超静定结构，从而选定相应的计算方法。
- (3) 弄清结构各部分间的相互关系，以决定合理的计算顺序。

本章仅讨论平面体系的机动分析。

§ 2-2 平面体系的计算自由度

1. 平面体系的自由度

为了便于对体系进行机动分析,首先要了解几何可变体系的运动方式,即要讨论平面体系自由度的概念。所谓平面体系的自由度,是指体系运动时用来确定其位置所需的独立几何参数的数目。

(1) 一个自由点。平面内一个自由点有两个自由度,如图 2-2 (a) 所示,平面内一个自由点 A 的位置需要 x, y 两个坐标来确定。

(2) 一个自由刚片。平面内一个自由刚片有三个自由度,如图 2-2 (b) 所示,一个自由刚片在平面内运动时,其位置可由刚片上任一点 A 的坐标 (x, y) 以及经过该点的任一直线的倾角 φ 来确定。

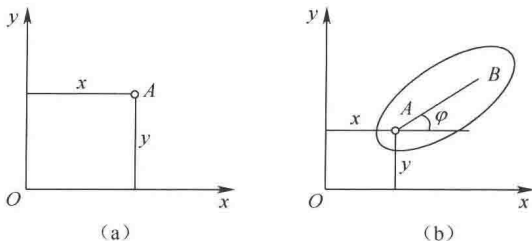


图 2-2

2. 联系

限制体系运动的装置称为联系 (也叫约束)。联系能减少体系运动的自由度,凡能减少一个自由度的装置称为一个联系。常见的联系有:

(1) 链杆。一根链杆相当于一个联系 (图 2-3 (a))。当用一个链杆将刚片和地基相连时,刚片不能沿链杆 AC 的方向移动,此时只需两个参数 φ_1 和 φ_2 即可确定刚片的位置,也就是说,链杆使体系减少了一个自由度,故一根链杆相当于一个联系。

(2) 单铰。联结两个刚片的铰称为单铰 (图 2-3 (b))。一个单铰相当于两个联系,因而也相当于两根链杆的作用。换句话讲,两根链杆也相当于一个单铰的作用。

(3) 复铰。联结两个以上刚片的铰称为复铰 (图 2-3 (c))。联结三个刚片的复铰具有四个联系作用,它相当于两个单铰的联系。推广可知,联结 n 个刚片的复铰相当于 $(n-1)$ 个单铰的作用,可减少 $2(n-1)$ 个自由度。