

高等院校 土木工程专业教材

GAODENGYUANXIAO

TUMUGONGCHENGZHUANYEJIAOCAI

结构力学

JIEGOU LIXUE

赵更新 主编 赵更新 游渊 文国治 编 张来仪 主审

中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn



知识产权出版社
www.cnipr.com



高等院校
土木工程专业教材

J I E G O U L I X U E

结构力学

赵更新 主编

赵更新 游渊 文国治 编

张来仪 主审

中国水利水电出版社

www.waterpub.com.cn



知识产权出版社

www.cnipr.com



内容提要

本书是根据全国高等学校土木工程专业指导委员会 2001 年 11 月制订的土木工程专业本科培养目标和结构力学课程教学大纲新编的教材。

全书共 13 章,内容包括:绪论、平面体系的几何组成分析、静定梁和静定刚架、三铰拱、静定桁架和组合结构、虚功原理和结构的位移计算、力法、位移法、力矩分配法、影响线、结构的动力计算、结构的稳定计算、结构的极限荷载等。每章均有本章小结、思考题、习题,书后附有习题答案。

本书包含了经典结构力学的基本理论和基本方法,取材适当,既满足“大土木”专业宽口径的培养要求,又为打好基础精选内容。本书对基本概念和基本原理说理透彻、思路清晰,注重理论联系实际,并有较多的例题和习题,重视了对学生结构分析和计算能力的培养。

本书可作为普通高等院校土木工程专业(包括工民建、路桥、地下建筑和水利工程等方向)结构力学课程的教材,也可用作成人教育、自学考试教材,及供有关专业工程技术人员参考。

选题策划: 阳 淼 张宝林 E-mail: yangsanshui@vip.sina.com; z_baolin@263.net

责任编辑: 阳 淼 张宝林

编辑加工: 彭天放

图书在版编目(CIP)数据

结构力学 / 赵更新主编; 游渊, 文国治编. —北京:

中国水利水电出版社: 知识产权出版社, 2004

高等院校土木工程专业教材

ISBN 7-5084-1935-9

I. 结... II. ①赵...②游...③文... III. 结构力

学—高等学校—教材 IV. 0342

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2004) 第 041709 号

高等院校土木工程专业教材

结构力学

赵更新 主编

赵更新 游渊 文国治 编

张来仪 主审

中国水利水电出版社 出版 发行 (北京市西城区三里河路 6 号; 电话: 010-68331835 68357319)
知识产权出版社 (北京市海淀区马甸南村 1 号; 传真、电话: 010-82000893)

全国各地新华书店和相关出版物销售网点经销

北京市兴怀印刷厂印刷

787mm×1092mm 16 开 25.5 印张 605 千字

2004 年 6 月第 1 版 2004 年 6 月第 1 次印刷

印数: 0001—4100

定价: 43.00 元

ISBN 7-5084-1935-9
TU·128

版权所有 侵权必究

如有印装质量问题,可寄中国水利水电出版社营销中心调换

(邮政编码 100044, 电子邮件: sales@waterpub.com.cn)

前 言

本书是根据全国高等学校土木工程专业指导委员会2001年11月制订的土木工程专业本科培养目标和结构力学课程教学大纲新编的教材。适用于普通高等學校土木工程专业（包括工民建、路橋、地下建筑、水利工程等方向）本科生的结构力学教材，也可用作土木工程专业的成人教育或自学考试的教材，及供有关专业工程技术人员参考。本书的前10章也可作为专科生的教材。

结构力学是土木工程专业的一门重要的专业基础课。本书是为了满足宽口径的“大土木”专业培养目标的要求，在原重庆建筑大学多年结构力学教材建设和近几年教学改革实践的基础上，结合编者多年来从事结构力学课程教学的经验而精心编写的教材。在编写过程中，编者力图对基本概念和基本原理说理透彻、思路清晰，符合认识规律，便利教学。在内容的取舍方面，既满足宽口径专业的培养目标要求，又为打好基础精选内容，以减轻学生负担。努力编写好每章的“本章小结”、“思考题”和“习题”。“本章小结”帮助学生理清思路，抓住重点。“思考题”帮助学生进一步理解教材内容和深入讨论，是基本知识点的延伸。“习题”的题型包括是非判断、选择、填空和分析计算，强化对基本概念的理解应用和对结构力学问题的正确思维方法和求解能力的培养训练。

本书包含了经典结构力学的基本理论和基本方法，取材适当，注重对结构定性分析的能力培养。本书未包括结构矩阵分析的内容，另有配套教材《土木工程结构分析程序设计》（赵更新编著，中国水利水电出版社，2002年1月）。将结构力学的经典理论和现代电算方法分开设置为两门课程，符合大多数高校土木工程专业的课程设置情况。

本书由赵更新主编，参加编写工作的有：赵更新（第1、3、8、9、11、13章），游渊（第2、5、7章），文国治（第4、6、10、12章）。

本书由张来仪教授主审，并提出了不少宝贵意见，对提高本书的质量起了重要作用。本书的编写还得到了重庆大学土木工程学院及结构力学教研室的大力支持。工程师赵俊刚、王敏精心绘制了本书的全部插图。编者在此一

并致以衷心感谢!

由于编者水平所限，书中难免存在疏漏和不足之处，欢迎读者批评指正。

编 者

2004年4月于重庆大学

目 录

前言

第 1 章 绪论	1
§ 1-1 结构力学的研究对象和任务	1
§ 1-2 杆件结构的计算简图	2
§ 1-3 平面杆件结构的分类	6
第 2 章 平面体系的几何组成分析	8
§ 2-1 几何不变体系和几何可变体系	8
§ 2-2 几何组成分析中的几个概念	9
§ 2-3 平面体系的计算自由度	12
§ 2-4 几何不变体系的简单组成规则	14
§ 2-5 几何组成分析举例	17
§ 2-6 体系的几何组成与静力特性的关系	20
本章小结	21
思考题	23
习题	24
第 3 章 静定梁和静定刚架	26
§ 3-1 单跨静定梁	26
§ 3-2 多跨静定梁	32
§ 3-3 静定平面刚架	34
* § 3-4 静定空间刚架	41
本章小结	42
思考题	43
习题	44
第 4 章 三铰拱	49
§ 4-1 概述	49
§ 4-2 三铰拱的内力计算	50
§ 4-3 三铰拱的压力线和合理拱轴	55
本章小结	58
思考题	58
习题	59
第 5 章 静定桁架和组合结构	61

§ 5-1	概述	61
§ 5-2	静定平面桁架	63
§ 5-3	三种简支桁架的比较	74
* § 5-4	静定空间桁架	75
§ 5-5	静定组合结构	78
§ 5-6	各种类型结构的受力特点	81
§ 5-7	静定结构的一般特性	82
	本章小结	84
	思考题	85
	习题	86
第 6 章	虚功原理和结构的位移计算	91
§ 6-1	概述	91
§ 6-2	变形体系的虚功原理	92
§ 6-3	平面杆件结构位移计算的一般公式	96
§ 6-4	静定结构在荷载作用下的位移计算	98
§ 6-5	图乘法	102
§ 6-6	静定结构在支座位移时的位移计算	108
§ 6-7	静定结构在温度变化时的位移计算	109
* § 6-8	具有弹性支座的静定结构的位移计算	112
§ 6-9	线性弹性结构的互等定理	114
	本章小结	117
	思考题	118
	习题	119
第 7 章	力法	124
§ 7-1	超静定结构概述	124
§ 7-2	力法的基本概念	127
§ 7-3	力法的典型方程	130
§ 7-4	用力法计算超静定结构在荷载作用下的内力	133
§ 7-5	用力法计算超静定结构在支座位移和温度变化时的内力	145
§ 7-6	对称性的利用	150
§ 7-7	用弹性中心法计算对称无铰拱	157
§ 7-8	超静定结构的位移计算	164
§ 7-9	超静定结构内力图的校核	167
§ 7-10	超静定结构的一般特性	170
	本章小结	171
	思考题	172
	习题	173
第 8 章	位移法	179

§ 8-1	概述	179
§ 8-2	等截面直杆的转角位移方程	180
§ 8-3	位移法的基本概念	187
§ 8-4	位移法的典型方程	192
§ 8-5	用位移法计算超静定结构在荷载作用下的内力	194
§ 8-6	用位移法计算超静定结构在支座位移和温度变化时的内力	201
§ 8-7	直接利用平衡条件建立位移法方程	204
* § 8-8	考虑剪切变形时刚架的内力计算	206
* § 8-9	混合法	208
	本章小结	209
	思考题	210
	习题	212
第 9 章	力矩分配法	217
§ 9-1	力矩分配法的基本概念	217
§ 9-2	用力矩分配法计算连续梁和无结点线位移的刚架	222
§ 9-3	无剪力分配法	228
	本章小结	231
	思考题	232
	习题	233
第 10 章	影响线	238
§ 10-1	影响线的概念	238
§ 10-2	用静力法作静定梁的影响线	239
§ 10-3	结点荷载作用下梁的影响线	244
§ 10-4	用静力法作静定桁架的影响线	245
§ 10-5	用机动法作静定梁的影响线	248
§ 10-6	利用影响线求量值	251
§ 10-7	移动荷载最不利位置的确定	252
§ 10-8	公路、铁路的标准荷载制及换算荷载	258
§ 10-9	简支梁的内力包络图和绝对最大弯矩	261
§ 10-10	用机动法作连续梁的影响线	264
§ 10-11	连续梁的内力包络图	266
	本章小结	268
	思考题	269
	习题	270
第 11 章	结构的动力计算	275
§ 11-1	概述	275
§ 11-2	单自由度体系的运动方程	279
§ 11-3	单自由度体系的自由振动	282

§ 11-4	单自由度体系在简谐荷载作用下的强迫振动	290
§ 11-5	单自由度体系在任意荷载作用下的强迫振动	298
§ 11-6	两个自由度体系的自由振动	301
§ 11-7	一般多自由度体系的自由振动	309
§ 11-8	多自由度体系在简谐荷载作用下的强迫振动	317
§ 11-9	振型分解法	323
* § 11-10	无限自由度体系的自由振动	328
§ 11-11	用能量法计算自振频率	331
	本章小结	335
	思考题	336
	习题	337
第 12 章	结构的稳定计算	342
§ 12-1	概述	342
§ 12-2	用静力法计算临界荷载	345
§ 12-3	用能量法计算临界荷载	352
§ 12-4	具有弹性支座压杆的稳定计算	361
	本章小结	366
	思考题	367
	习题	367
第 13 章	结构的极限荷载	370
§ 13-1	概述	370
§ 13-2	截面的极限弯矩及塑性铰	371
§ 13-3	静定梁的极限荷载	373
§ 13-4	单跨超静定梁的极限荷载	374
§ 13-5	比例加载时判定极限荷载的一般定理	378
§ 13-6	连续梁的极限荷载	381
§ 13-7	简单刚架的极限荷载	382
	本章小结	385
	思考题	385
	习题	386
附录	习题答案	389
	主要参考文献	398

第1章 绪论

§ 1-1 结构力学的研究对象和任务

在房屋、桥梁、水坝等各类工程建筑物中，支承或传递荷载而起骨架作用的部分称为结构。例如，在房屋中由屋面板、屋架、楼板、梁、柱及基础等组成房屋结构；在桥梁中由桥面板、桥面梁或桁架、桥墩等组成桥梁结构。

一、结构的类型

结构通常是由若干构件连接而成。按照结构构件的几何特征，结构可分为以下三类。

1. 杆件结构

杆件的几何特征是外形细长 [图 1-1 (a)]，其长度 l 比截面宽度 b 和截面厚度 h 大得多。杆件结构是由若干杆件按照一定方式连接组成的结构，也称为杆系结构，是土木工程中普遍应用的一种结构形式。例如钢筋混凝土屋架、桥梁钢桁架和起重机塔架等。

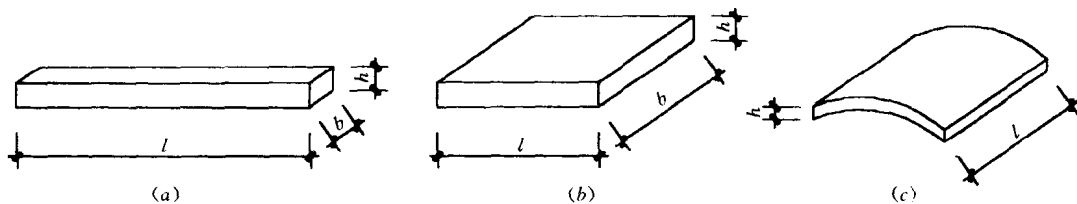


图 1-1

2. 薄壁结构

薄壁结构又称为板壳结构。薄壁构件的厚度要比长度和宽度小得多 [图 1-1 (b)、(c)]，当为平面形状时称为平板，当为曲面时称为壳体。房屋中的楼板和壳体屋盖、水利工程中的拱坝都是薄壁结构。

3. 实体结构

实体结构是由长、宽、厚三个尺度大致相当的块体组成的结构。例如挡土墙、重力式桥墩等。

二、结构力学的研究对象和任务

结构力学的研究对象是杆件结构。结构力学的主要任务包括以下几个方面：

- (1) 研究杆件结构的组成规律和合理的组成方式。
- (2) 研究杆件结构在静力荷载作用下，结构内力和位移的计算原理和方法。
- (3) 研究杆件结构在动力荷载作用下，结构动力反应的计算原理和方法。
- (4) 研究杆件结构在静力荷载作用下，结构稳定性的计算原理和方法。

(5) 研究杆件结构在静力荷载作用下，结构极限承载能力的计算原理和方法。

结构力学与理论力学、材料力学和弹性力学既有联系，又有分工。理论力学主要研究刚体体系的平衡条件和运动的基本规律；材料力学主要研究单根杆件的强度、刚度和稳定性；而结构力学则以理论力学、材料力学为基础，主要研究杆件结构的强度、刚度和稳定性；弹性力学则以薄壁结构和实体结构为主要研究对象。

三、结构分析的三个基本条件

结构力学对杆件结构的强度、刚度和稳定性的任何一个方面进行分析，都要涉及结构的内力和位移。因此，计算杆件结构在荷载等外因作用下的内力和位移，就成为结构力学课程的主要内容。通常把杆件结构的内力和位移计算称为结构分析。

结构分析一般要涉及以下三个基本条件。

1. 力系平衡条件

结构在荷载作用下，如果处于静止的平衡状态，则结构的整体或其中任何一部分都应满足力系的平衡条件。

2. 变形连续条件

结构在荷载作用下会产生变形。结构在变形之前是连续的整体，在变形之后仍是连续整体，不能出现材料重叠或脱开的现象。同时结构的变形应满足支座约束条件。

3. 物理条件

物理条件是指通过力学实验建立的结构应力与变形之间的物理关系，也称为本构方程。

结构分析的各种计算方法就是直接运用上述三个基本条件进行计算。

结构力学课程为混凝土结构、钢结构、房屋结构设计、桥梁工程等专业课程提供力学分析的基本原理和方法，是学好专业课的重要基础。因此，结构力学课程是土木工程专业学生的一门重要专业基础课，在学习过程中要注意培养分析能力、计算能力和校核能力。

§ 1-2 杆件结构的计算简图

一、结构的计算简图

建筑物的实际结构是复杂的，要完全按照结构的实际情况进行力学分析几乎是不可能的，而从工程观点来看也是不必要的。因此在进行结构分析之前，一般都要对实际结构加以简化，抓住其主要受力特征，略去次要因素，用一个简化的力学模型来代替实际结构。这种简化的力学计算模型称为结构的计算简图。

例如一根梁两端搁在墙上，梁上放一重物 [图 1-2 (a)]。如果要完全按照实际情况进行分析，就需确定墙对梁的反力沿墙宽的分布规律，而这是难以确定的。现

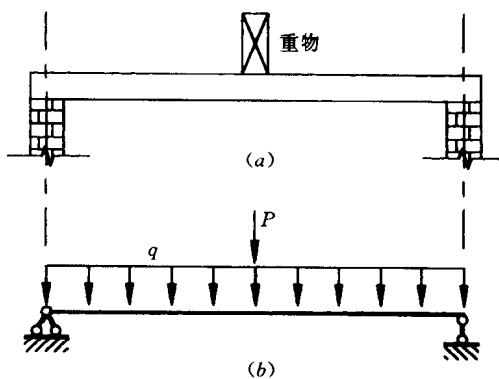


图 1-2

假定反力沿墙宽均匀分布，并以作用于墙宽中点的合力来代替分布的反力。又考虑到支承面有摩擦，梁不能左右移动，但受热膨胀时仍可伸长，这样就可以分别用固定铰支座和活动铰支座代替墙对梁的支承。同时，梁本身用其轴线来代表，梁的自重视为均布荷载，重物近似看作集中荷载，于是得到图 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很多，则作上述简化在工程上是完全许可的。

实际结构的受力分析是在计算简图中进行的。如果计算简图选取不当，则计算结果不能反映实际结构的主要力学性能，严重的还会引起工程事故。因此，对结构计算简图的合理选取，应该十分重视。

选取结构计算简图的一般原则如下：

(1) 正确反映实际结构的受力情况和主要性能，使计算结果与结构的实际工作状态足够接近。

(2) 略去次要因素，使计算简图便于计算。

此外，根据不同的要求和具体情况，对于同一实际结构可选取不同的计算简图。例如，在初步设计阶段可选取较为粗略的计算简图，在施工图设计阶段可选取较为精确的计算简图；采用手算时可选取较为简单的计算简图，采用电算时可选取较为复杂的计算简图。

二、实际杆件结构的简化

将实际杆件结构简化为计算简图，通常从以下几方面进行简化。

1. 结构体系的简化

当结构各杆件的轴线及外力作用线均位于同一平面内时，称为平面结构。当结构各杆件的轴线及外力作用线不在同一平面，或各杆件轴线在同一平面内、但外力作用线不在该平面内时，称为空间结构。实际工程结构都是空间结构，但计算空间结构的工作量很大。在多数情况下，常可以忽略一些次要的空间约束而将空间结构分解为平面结构，使计算得到简化，并能满足一定的工程精度要求。本书主要讨论平面杆件结构的计算问题。

2. 杆件的简化

在杆件结构中，当杆件的长度大于其截面宽度和高度的五倍以上时，通常可认为杆件变形时其横截面仍保持平面，截面上某点的应力可根据截面的内力（弯矩、剪力、轴力）来确定。由于内力只沿杆长方向变化，因此，在计算简图中，不论是直杆或曲杆均可用其轴线（截面形心的连线）表示。

3. 结点的简化

杆件与杆件的连接处用杆件轴线的交点表示，称为结点（或节点）。实际工程结构杆件连接处的构造形式多种多样，但在计算简图中通常简化为以下三种理想情况：

(1) 刚结点。刚结点的特点是汇交于结点的各杆端之间不能发生相对转动，各杆间可相互传递力和力矩。图 1-3 (a) 示一现浇钢筋混凝土刚架的结点，梁和柱在该处用混凝土浇成整体，其计算简图如图 1-3 (b) 所示。当结构发生变形时，汇交于刚结点各杆端的切线之间的夹角将保持不变，各杆端转动同一角度 φ [图 1-3 (c)]。

(2) 铰结点。铰结点的特点是汇交于结点的各杆端可以绕结点自由转动，各杆间可相

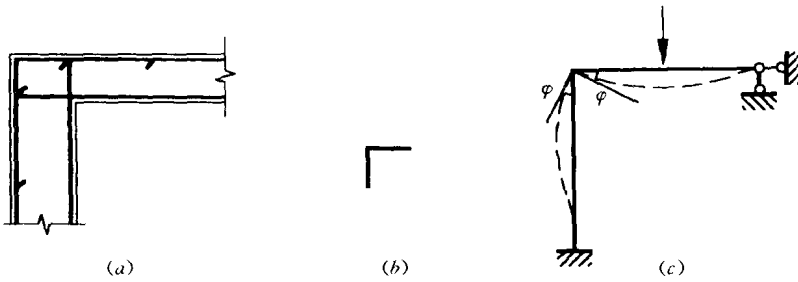


图 1-3

互传递力，但不能传递力矩。木屋架的结点比较接近于铰结点（图 1-4）。铰结点用一个小圆圈表示。通常将螺栓、铆钉或焊接连接简化为铰结点。

(3) 组合结点。在同一结点上，某些杆件相互刚结，而另一些杆件相互铰结，则称为组合结点。图 1-5 所示结点 A，其中杆件 1 与 2 在结点 A 刚结，杆件 3 与杆件 1、2 在结点 A 铰结。

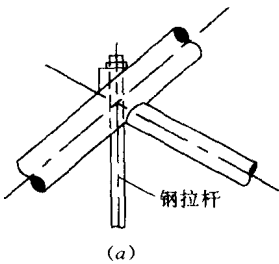


图 1-4

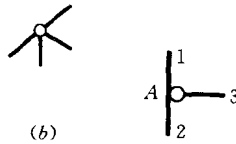


图 1-5

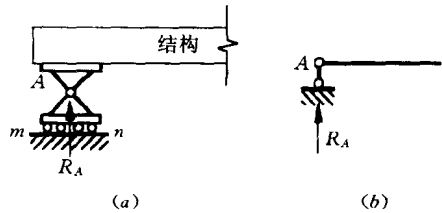


图 1-6

4. 支座的简化

结构与基础的连接装置称为支座。结构所受的荷载通过支座传到基础和地基。支座对结构的反作用力称为支座反力。根据支座的构造和所起作用的不同，平面结构的支座可简化为下列五种：

(1) 活动铰支座。桥梁中用的辊轴支座 [图 1-6 (a)] 即属于活动铰支座。它允许结构绕铰 A 转动和沿支承平面 $m-n$ 方向移动，但 A 点不能沿垂直于支承面的方向移动。因此，当不考虑支承平面上的摩擦力时，这种支座的反力将通过铰 A 的中心并与支承平面相垂直，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。根据上述特征，这种支座可以用一根垂直于支承面的链杆表示 [图 1-6 (b)]。

(2) 固定铰支座。固定铰支座的构造如图 1-7 (a) 所示，常简称为铰支座，它允许结构绕铰 A 转动，但 A 点不能作水平或竖向移动。支座反力 R_A 将通过铰 A 中心，但其大小和方向都是未知的，通常可用水平反力 H_A 和竖向反力 V_A 表示。这种支座的计算简图可用交于 A 点的两根支承链杆来表示，如图 1-7 (b) 或 (c) 所示。

(3) 固定支座。固定支座不允许结构在支承处发生任何方向的移动和转动。图 1-8 (a) 所示为悬臂梁，当梁端插入墙身有相当深度，且四周与墙体紧密接触时，梁端

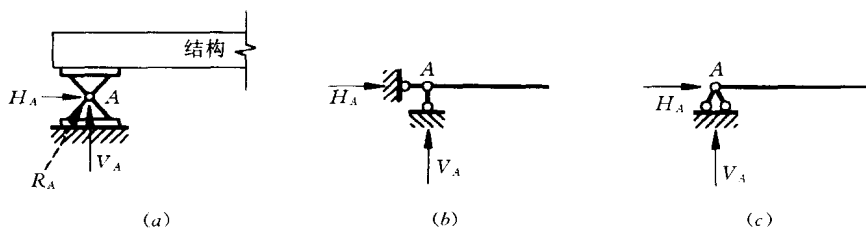


图 1-7

被完全固定，可以视为固定支座，计算简图如图 1-8 (b) 所示。它的反力大小、方向和作用点位置都是未知的，通常用水平反力 H_A 、竖向反力 V_A 和反力偶 M_A 来表示。

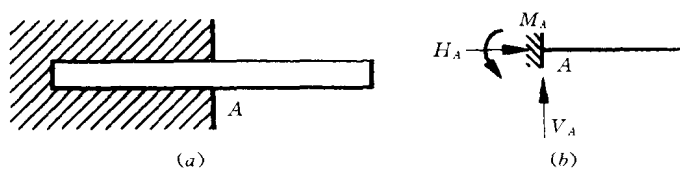


图 1-8

(4) 定向支座。定向支座又称滑动支座，图 1-9 (a) 为这种支座的示意图。结构在支承处不能转动，不能沿垂直于支承面的方向移动，但可沿支承面方向移动，计算简图用垂直于支承面的两根平行链杆表示 [图 1-9 (b)]，其反力为一个垂直于支承面的力和一个力偶。在对称结构取半结构的计算简图中，常采用图 1-9 (c) 所示的另一种定向支座。

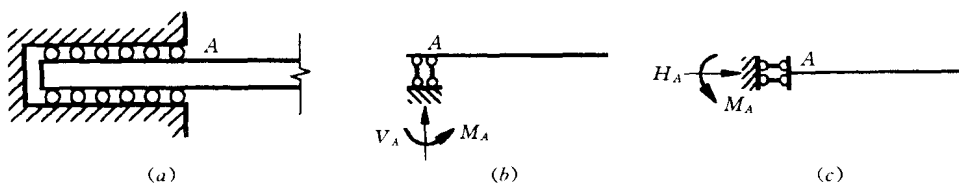


图 1-9

上述四种支座在荷载作用下都假定其本身不发生变形，计算简图中的支杆被认为是刚性链杆，这类支座称为刚性支座。

(5) 弹性支座。在荷载作用下，如果要考虑支座本身的弹性变形，则这类支座称为弹性支座。弹性支座既允许结构在支承处发生某种位移，又对该位移有一定的约束作用。在计算简图中，弹性支座用弹簧来表示，一般有抗移动弹性支座和抗转动弹性支座两种类型，如图 1-10 所示。弹性支座的刚度为常量，反力与支座变形的大小成正比。

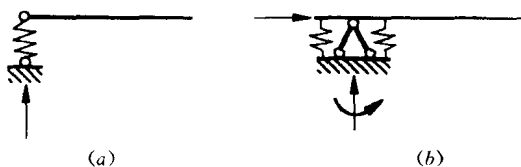


图 1-10

5. 荷载的简化

荷载是指主动作用在结构上的外力。

例如结构的自重，作用在结构上的人群或货物的重量、土压力、水压力、风力、车轮的压力等。在杆件结构的计算简图中，杆件是用其轴线来代表的，所以上述荷载均简化为作用在杆件轴线上的力。荷载按其分布情况可分为集中荷载和分布荷载。当荷载在杆件轴线上的作用长度远小于杆长时，可认为该荷载作用于一点，即简化为集中荷载。例如车轮的压力等。分布荷载是在杆轴一定长度上连续分布的外力，用荷载的分布集度（沿杆轴单位长度上的作用力）表示。当此集度接近常数时，即简化为均布荷载，例如等截面杆的自重。

6. 材料性质的简化

土木工程结构所用的建筑材料通常有钢、混凝土、砖、石、木料等。在结构分析时必须建立材料受力与变形的关系模型，为了简化计算，且结构一般都是在小变形弹性范围内工作，本课程一般都假设结构材料是理想的线性弹性材料。线性是指材料的应力与应变是线性关系，结构的位移与所受的荷载成正比；弹性是指材料在荷载作用下产生变形，当荷载全部除去后能完全恢复原来形状，没有残余变形。

上述几个方面是选取结构计算简图的基本知识。要恰当地选取实际结构的计算简图，应对结构构造、施工等各方面有全面的了解，对结构各部分的受力情况能正确地作出分析，并善于判断各种因素的相对重要性。这种能力是在本课程、后续结构课程以及长期工程实践中逐步形成的。不过，对于土木工程中常见的结构类型，已经有了经过实践检验的成熟的计算简图可供应用。

§ 1-3 平面杆件结构的分类

在结构分析中是以结构计算简图代替实际结构。因此，结构的分类实际上是计算简图的分类。按照不同的构造特征和受力特点，常用的平面杆件结构可分为以下五种类型。

一、梁

梁是一种受弯构件，其轴线通常为直线，它可以是单跨的 [图 1-11 (a)、(c)]，也可以是多跨的 [图 1-11 (b)、(d)]。水平梁在竖向荷载作用下不产生水平反力，截面内力有弯矩和剪力。

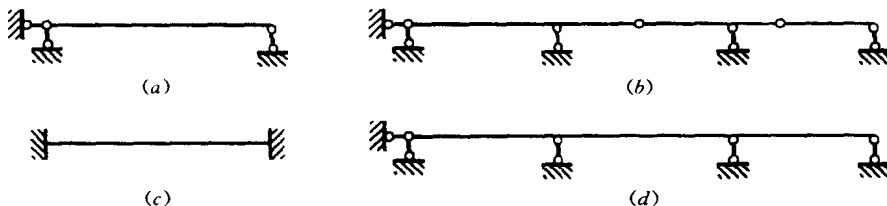


图 1-11

二、拱

拱的轴线一般为曲线，在竖向荷载作用下会产生水平反力，这使得拱内弯矩远小于跨度、荷载及支承情况相同的梁的弯矩。在工程中常用的有三铰拱、二铰拱和无铰拱。(图 1-12)

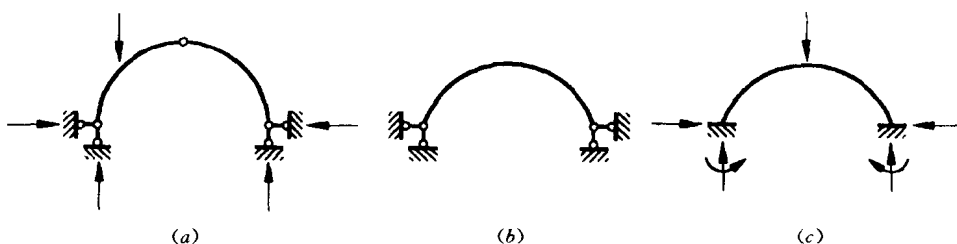


图 1-12

三、刚架

刚架是由梁和柱组成的结构（图 1-13），结点多为刚结点。刚架杆件内力一般有弯矩、剪力和轴力，其中弯矩为主要内力。

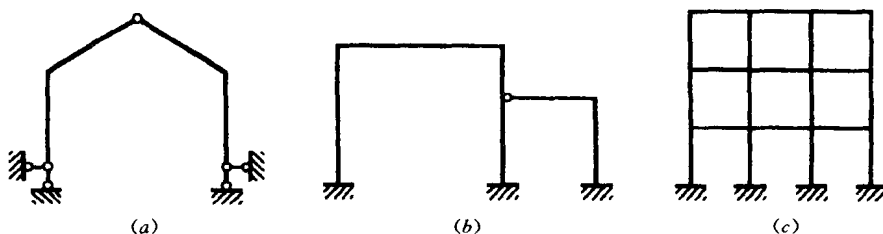


图 1-13

四、桁架

桁架由直杆组成，所有结点均为铰结点（图 1-14），当只受到作用于结点的集中荷载时，各杆只产生轴力。

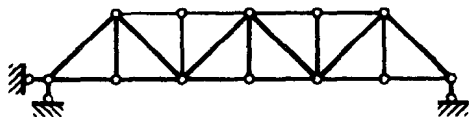


图 1-14

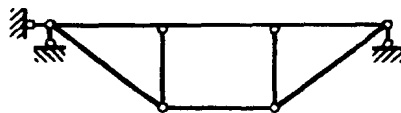


图 1-15

五、组合结构

组合结构是由承受弯矩、剪力及轴力的梁式杆和只承受轴力的链杆组成的结构（图 1-15），其结点有组合结点。

后面各章将详细讨论上述各类结构的计算原理和计算方法。

第2章 平面体系的几何组成分析

§ 2-1 几何不变体系和几何可变体系

工程结构是能够承受荷载维持平衡的骨架体系，但并不是若干杆件以任意方式连接在一起组成的体系均能承受荷载作为工程结构使用。如图 2-1 所示体系，当其受到荷载作用时，杆件会产生一定的变形，但是这种由于材料应变引起的结构形状的改变量一般是很微小的，不影响结构的正常使用。如果我们忽略材料的应变，将杆件视为刚性杆件，则图 2-1 体系的几何形状与位置均不会改变。显然，该体系具有几何稳定性，在任意荷载作用下能够维持平衡。而图 2-2 所示两体系，在任意荷载作用下，即使不考虑材料的应变，由于约束数量不够 [图 2-2 (a)] 或约束布置不合理 [图 2-2 (b)]，体系仍会发生虚线所示的刚体位移。可见图 2-2 所示两体系不具有几何稳定性，它们在任意荷载作用下不能维持平衡。

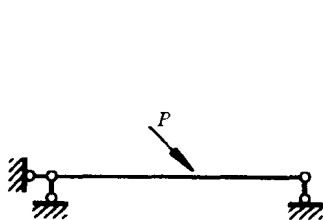


图 2-1

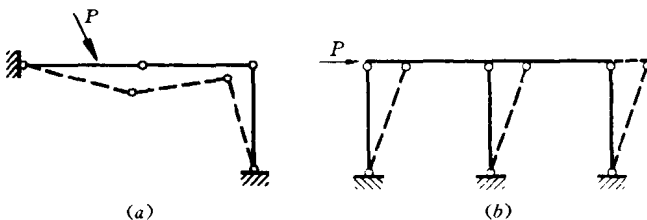


图 2-2

这样，根据杆件体系的几何稳定性，可将其分为以下两种体系：

(1) 几何不变体系——受到任意荷载作用后，若不考虑材料的应变，其几何形状和位置均能保持不变的体系。

(2) 几何可变体系——受到任意荷载作用后，若不考虑材料的应变，其几何形状和位置可以发生改变的体系。

实际的工程结构必定会受到荷载的作用，而只有几何不变体系才能承受荷载维持平衡，因此工程结构必须采用几何不变体系，工程设计人员必须保证所设计的结构是几何不变体系。

为确保体系为几何不变体系，我们应该研究几何不变体系的组成规律并探讨运用这些规律判定一个体系是否为几何不变体系的方法。这就是本章将为读者介绍的主要内容。此外，由于结构的组成方式与其受力性能具有的内在联系，掌握好本章的知识将有助于恰当地选择结构的分析方法和计算路径，即有助于以后各章的学习。