

21世纪高等教育规划教材

结构力学 简明教程

(中、少学时)

◎ 王长连 主编

JIEGOU LIXUE JIANMING JIAOCHENG



机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS

21 世纪高等教育规划教材

结构力学简明教程

(中、少学时)

主 编 王长连
副主编 刘晓敏 沈丽虹
参 编 汪耀武 朱瑞景
主 审 孟庆东



机械工业出版社

本教材是根据国家教育部审订的《结构力学教学基本要求》，总结长期教学实践经验，结合当前教学实际而编写的。

全书共 9 章，内容包括：绪论，平面体系的几何组成分析，静定结构的内力计算，静定结构的位移计算，力法，位移法，渐近法，影响线，梁与刚架的塑性分析等。

本书注重工程实际应用，在各章中精选了一些易于学生理解的工程和生活实例，在各章后均有思考题和习题，以方便学生学习、总结。

与本书配套的、亦由机械工业出版社出版的《结构力学辅导与习题解》（王长连主编），可供使用本教材的学生复习、解题及教师备课时使用。

另外，为方便教与学，还制作了配套使用的电子课件，供选用本教材的教师免费下载（www.cmpedu.com），内容包括电子教案、动画演示、实例分析、问题讨论等。

本书主要作为建筑工程、水利工程、道路桥梁、机械与近机类专业，本科（中、少学时）、高职高专（多学时）学生学习“结构力学”课程的教学用书，亦可作为土建类职工大学、函授大学的教学用书，还可供参加研究生入学考试的考生以及有关工程技术人员参考。

图书在版编目（CIP）数据

结构力学简明教程（中、少学时）/王长连主编. —北京：机械工业出版社，2012.8

21 世纪高等教育规划教材

ISBN 978-7-111-39083-1

I. ①结… II. ①王… 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（2012）第 151629 号

机械工业出版社（北京市百万庄大街 22 号 邮政编码 100037）

策划编辑：张金奎 责任编辑：张金奎

版式设计：霍永明 责任校对：张 媛

封面设计：张 静 责任印制：乔 宇

北京机工印刷厂印刷（三河市南杨庄国丰装订厂装订）

2012 年 8 月第 1 版第 1 次印刷

184mm×260mm·11.5 印张·4 插页·296 千字

标准书号：ISBN 978-7-111-39083-1

定价：27.00 元

凡购本书，如有缺页、倒页、脱页，由本社发行部调换

电话服务

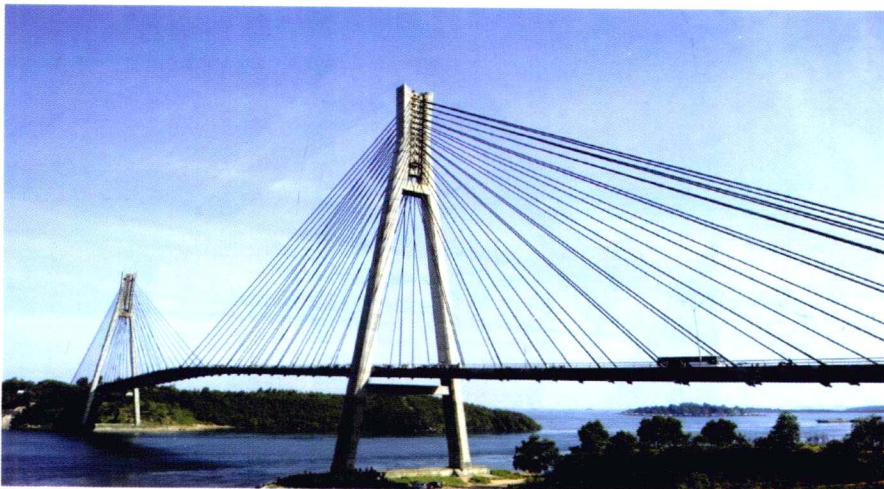
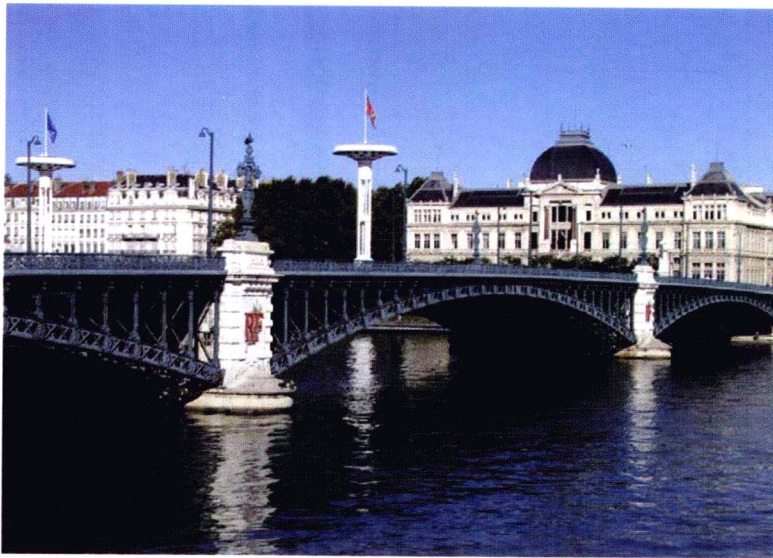
网络服务

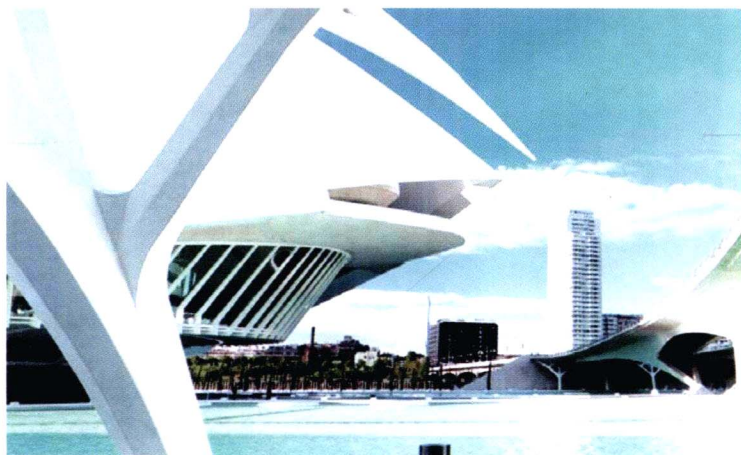
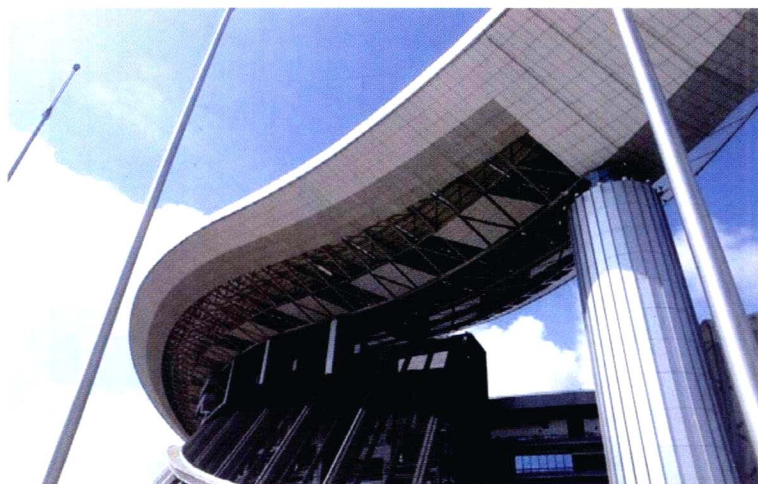
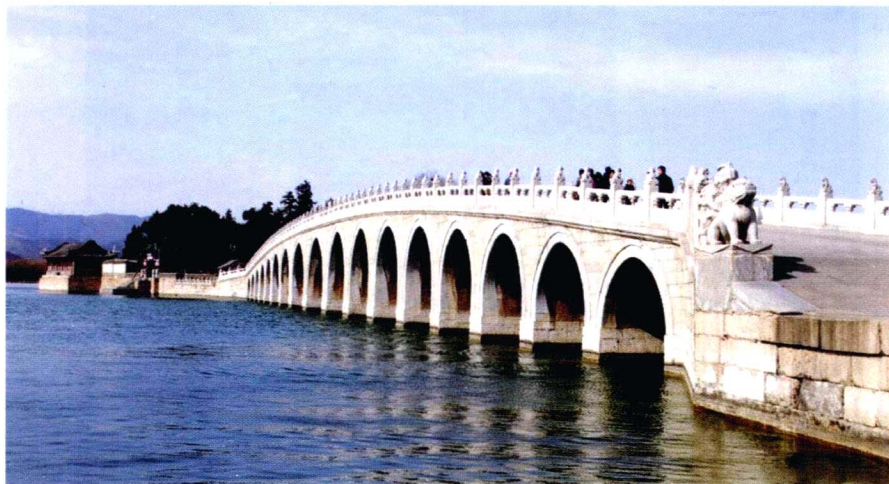
社服务中心：(010)88361066 教材网：<http://www.cmpedu.com>

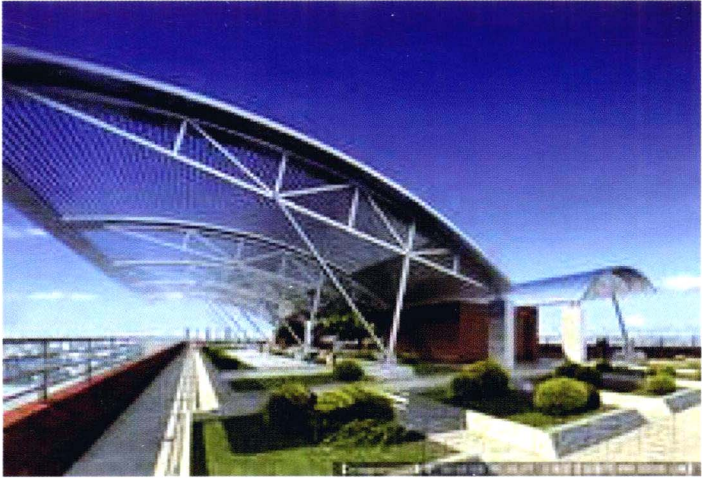
销售一部：(010)68326294 机工官网：<http://www.cmpbook.com>

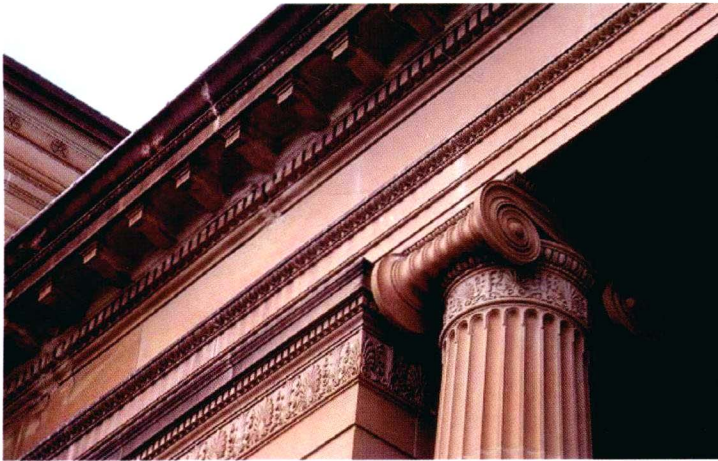
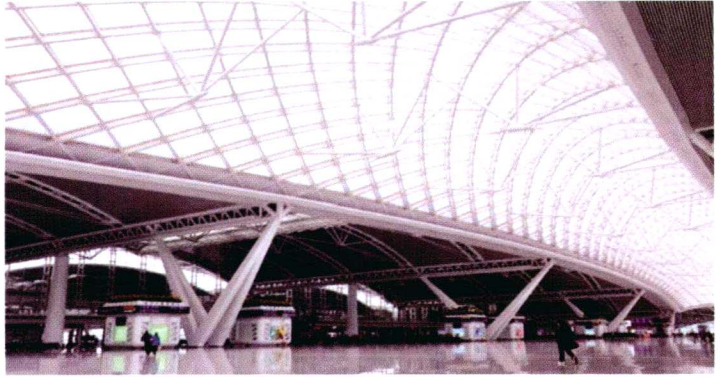
销售二部：(010)88379649 机工官博：<http://weibo.com/cmp1952>

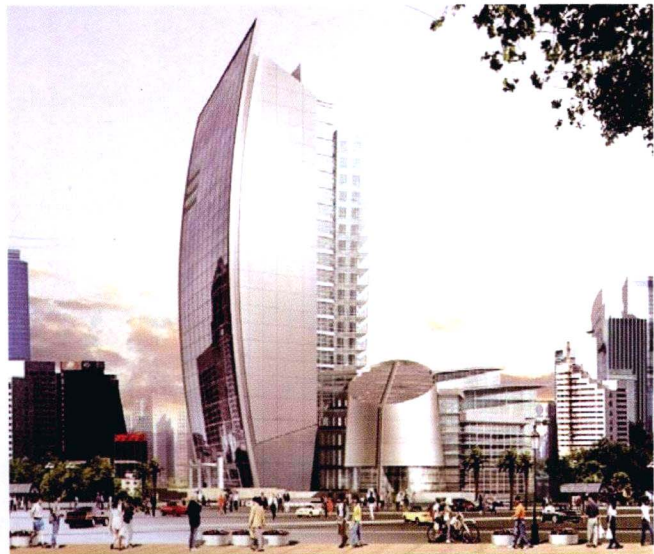
读者购书热线：(010)88379203 封面无防伪标均为盗版













前 言

“结构力学”是高等理工院校部分专业开设的一门技术基础课，是后续基础课程和相关专业课程的学习基础。在中国高等教育飞速改革与发展的今天，学校的层次和类型不断发生变化，不同学校和专业对“结构力学”课程也提出了不同的要求；另外，课程的学时一般都有所减少；同时，随着高等教育的大众化，学生的情况也发生了变化。为了满足这些变化对教材所产生的新的需求，我们特编写了这本作为土建、水利、道路桥梁、机械与近机械等专业学生，本科中、少学时（60至70学时）的《结构力学简明教程》。删去带星号章节后，本书亦可作成人高校、高职高专院校的“结构力学”教材，同时可供有关工程技术人员参考。

教材建设是一项需要长期积累而又不断更新的工作，既要锲而不舍、精益求精，又要善于探索、有所创新。在本书的编写过程中，紧密结合了当前力学教学改革的需要，既注意学习、吸收有关院校力学课程改革的成果，又尽量反映作者长期教学积累的经验与体会，严格把握读者定位，力求概念清晰，论证严谨，叙述简要。在阐明基本概念和基本理论的基础上，为突出工程实际，书中列举了较多实例。

学生在学习“结构力学”中普遍感到困惑的问题在于如何独立地解题。针对这一问题，本书在各章节中选用了较多的有代表性的例题，例题安排由易到难；并适度增加了综合性练习，在习题中体现基本理论和方法的应用。本书各章后均有思考题及习题，便于学生对知识的回顾与总结。

总之，归纳起来本书具有下列特点：

1. 定位明确。本教材的基本使用对象为高校土建、水利、道路桥梁、机械与近机械等专业的本、专科学生。而对于不同专业的需要，以及学有余力的学生和部分学生的考研需要，也编写标有“★”的加深、加宽内容，备选学。
2. 篇幅紧凑，内容精简。教材内容以课程基本要求为主，基本概念、原理的叙述简明准确，便于掌握，在理论体系上不过分追求严谨。例如简化公式推导，贯彻“以应用为目的”的原则等。
3. 在例题和习题选材中，也尽量选自生活中和工程实际中常见到的、易理解的题目，有利于学生解题能力的培养。例题的分析和解题过程叙述详尽，思路清晰，对每类问题一般都有归纳性的解题方法小结。
4. 对于“结构力学”与其他课程重叠的部分，进行了弱化处理，删去或者简要叙述，尽量避免低层次的重复。
5. 除重视基本理论分析外，特别注重理论的应用，例题类型齐全，特别注重题型的归纳、分析与难点的剖析等。
6. 为方便教与学，还编写出版了与本书配套的《结构力学辅导与习题解》（王长连主编），特别方便于自学、函授及远程教育学员学习，也可供教师备课，尤其在扩展教学内容时参考。

7. 另外，为方便教学，本书还配套了电子课件，供选用本教材的教师免费下载（www.cmpedu.com）。内容包括电子教案、动画演示、实例分析和问题讨论等。

8. 针对高校学生对掌握外语的要求日益提高，特在附录中列了“结构力学主要术语中英文对照表”，以便学生在学习结构力学时提高英语的阅读能力。

参加本书编写的有王长连（第一章、第四章至第九章及附录）、刘晓敏（第三章）、沈丽虹（协助主编统稿）、汪耀武（第二章）、朱瑞景（部分插图和表格的设计绘制）。四川建院王长连教授任主编，负责本书的策划、统稿、定稿工作。

本书由青岛科技大学孟庆东教授主审。孟教授认真审阅了全书，并提出不少修改意见，在此表示衷心的感谢。

本书在编写过程中借鉴、引用了一些同类教材中的资料、图表或题例，谨此表示衷心感谢。

鉴于作者水平有限，书中难免存在一些疏漏与不妥之处，敬请广大读者批评指正。

编 者

目 录

前言

第一章 绪论	1
第一节 结构力学的研究对象和任务	1
第二节 结构的计算简图	2
第三节 平面杆系结构及其分类	4
第四节 荷载的分类	6
思考题	7
第二章 平面体系的几何组成分析	9
第一节 几何组成分析的概念	9
第二节 平面体系的计算自由度	11
第三节 几何不变体系的简单组成规则	14
第四节 体系的几何组成与静定性的关系	19
思考题	21
习题	21
第三章 静定结构的内力分析	22
第一节 多跨静定梁	22
第二节 静定平面刚架	24
第三节 静定平面桁架	28
第四节 静定平面组合结构	36
第五节 三铰拱	38
第六节 静定结构的主要特性	44
思考题	45
习题	45
第四章 静定结构的位移计算	47
第一节 结构位移概述	47
第二节 变形体的虚功原理	48
第三节 静定结构在荷载作用下的位移计算	51
第四节 图乘法及图乘法则	56
第五节 静定结构支座移动时的位移计算	62
第六节 线弹性结构的互等定理	64
思考题	65
习题	66
第五章 力法	68
第一节 超静定结构概述	68

第二节 力法的基本原理和典型方程	71
第三节 用力法计算超静定梁、刚架和排架结构	73
第四节 用力法计算超静定桁架和组合结构	79
第五节 对称性的利用	81
*第六节 超静定结构位移计算与最后内力图校核	86
第七节 支座移动时超静定结构内力计算	89
第八节 超静定结构特性	90
思考题	91
习题	91
第六章 位移法	94
第一节 位移法的基本概念	94
第二节 位移法的基本未知量及基本结构	95
第三节 转角位移方程、形常数和载常数	96
第四节 位移法基本原理和典型方程	101
第五节 用位移法计算超静定梁、刚架及排架	103
*第六节 直接利用平衡条件建立位移法基本方程	111
思考题	112
习题	112
第七章 渐近法	114
第一节 力矩分配法的基本概念	114
第二节 单结点的力矩分配法	117
第三节 多结点的力矩分配法	122
第四节 无剪力分配法	129
思考题	133
习题	133
第八章 影响线	135
第一节 影响线的概念	135
第二节 用静力法作简支梁的影响线	135
*第三节 结点荷载作用下梁的影响线	139
第四节 用机动法作影响线	140
第五节 影响线的应用	142
第六节 简支梁的内力包络图与绝对最大	

弯矩	148	第三节 矩形门架的极限荷载	168
★第七节 连续梁的内力包络图	150	思考题	173
思考题	152	习题	173
习题	152	附录	175
★第九章 梁和刚架的塑性分析	154	结构力学重要术语中英文对照表	175
第一节 结构塑性分析的基本概念	154	参考文献	180
第二节 梁的极限荷载	160		

第一章 绪 论

本绪论，主要介绍结构力学的研究对象和任务，结构的计算简图，平面杆件结构的分类与荷载分类等。这些概念都是结构力学的核心内容，若能一开始就弄懂这些概念，将对下面学习结构力学产生促进作用。

第一节 结构力学的研究对象和任务

建筑物或构筑物中，能支承荷载、维持平衡，并起骨架作用的整体或部分，称为建筑结构，简称**结构**。房屋建筑中的屋架、梁、板、柱、框架、基础等组成的体系，称为房屋结构；水工建筑物中的闸门、水坝、水池，公路铁路上的桥梁、涵洞、隧道、挡土墙等都是结构的实例。按其组成结构的构件几何性质可分为以下三类：

(1) 杆件结构 若构件的横截面高、宽两个方向的尺寸比构件长度小得多，称为杆件，如房屋中的梁、柱等。由这些杆件按照一定的方式组合而成的杆件体系，称为杆件结构。

(2) 薄壁结构 这类结构由薄壁构件组成。它的厚度要比长度和宽度小得多。例如楼板、薄壳屋面（图 1-1a）、水池、折板屋面（图 1-1b）、拱坝、薄膜结构等。

(3) 实体结构 这类结构本身可看做是一个实体构件或由若干实体构件组成的。它的几何特征是呈块状的，长、宽、高三个方向的尺寸大体相近，且内部大多为实体。例如挡土墙（图 1-2）、重力坝、动力机器的底座或基础等。

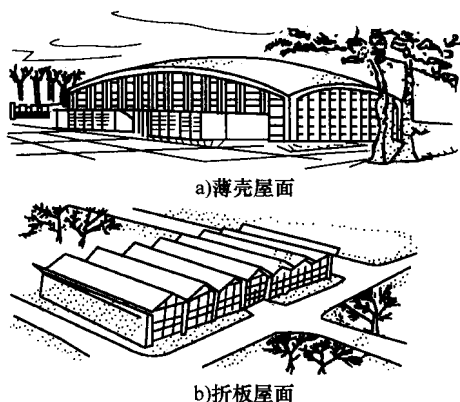


图 1-1

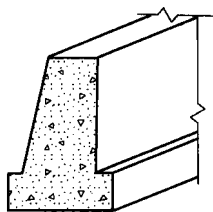


图 1-2

根据目前国内学科的划分法，本门课程主要研究的对象是杆件结构；因而通常所说的结构力学，指的就是**杆件结构力学**。对薄壁结构和实体结构的受力分析，属于弹塑性力学的研究范畴了。

工程技术人员都知道，结构的整体分析，结构的强度、刚度和稳定性分析，构件的截面设计与构造处理等内容，系属于建筑结构课程的研究范围；单一杆件的内力、位移、截面上

的应力分布规律，强度、刚度和稳定性的计算，以及建筑材料的力学性质等，皆属于材料力学课程的研究范围；而结构力学研究的对象为杆件结构，研究的内容为杆系结构的组成规律、合理形式，杆系结构在静力和动力荷载作用下的内力和位移的计算等问题。

结构力学是一些工程专业的技术基础课。通过本课程的学习为建筑结构和其他后续专业课程的学习打下必要的基础。在学习过程中，要注意结构力学的知识是怎样服务于工程实际的；要把精力集中在培养分析问题和解决问题的能力上；既要联系实际研究理论问题，又要灵活应用理论去解决实际问题。学习时要学会抓主要矛盾，分清主次，掌握重点。首先要理解概念、原理和方法，然后完成习题和作业。实践一再证明，不做一定数量的习题，是很难学好结构力学的。

第二节 结构的计算简图

实际结构是很复杂的，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，略去一些次要的细节，显示其基本特征，用一个简化的图形来代替实际结构，这种简化图形称为结构的计算简图，简称计算简图。

选择结构计算简图的原则是：

- 1) 从实际出发——结构计算简图要反映实际结构的受力特征；
- 2) 分清主次，略去细节——结构计算简图要便于计算。

计算简图的选择是力学计算的基础，极为重要。不过对于初学结构力学的、一些结构力学的基本概念还没有建立起来的人来说，选择一个合适的结构计算简图还是比较困难的，它将随着学习结构力学的逐渐深入而慢慢变得容易，目前只了解结构计算简图的画法就行了。在下面一些章节中，还将讨论常见结构从实际到计算简图的简化过程。

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. 结构体系的简化

一般结构实际上都是空间结构，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。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，那就要整体进行受力分析，它已不属于本书所研究的内容了。

2. 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，杆件之间的连接处用结点表示，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。

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

3. 杆件间连接的简化

杆件间的连接处简化为结点。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, 只可以传递力, 但不能传递力矩。这种理想情况, 实际上很难遇到, 而木屋架的结点比较接近于铰结点 (图 1-3a、b)。

(2) 刚结点 被连接的杆件在连接处既不能相对移动, 又不能相对转动, 也就是既可以传递力, 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 1-4a、b)。

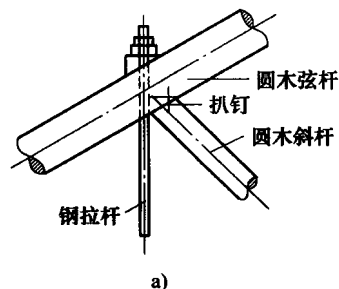


图 1-3

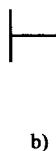
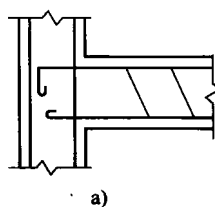


图 1-4

4. 结构与基础间连接的简化

结构与基础的连接处简化为支座。按其受力特征, 一般简化为以下四种情形:

(1) 滚轴支座 被支承的部分可以转动和水平移动, 不能竖向移动 (图 1-5a), 能产生的反力只有竖向反力 F_y 。在计算简图中用一根支杆表示 (图 1-5b)。

(2) 铰支座 被支承的部分可以转动, 不能移动 (图 1-6a), 能产生两个反力 F_x , F_y 。在计算简图中用两根相交的支杆表示 (图 1-6b)。

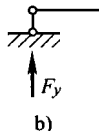
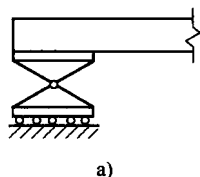


图 1-5

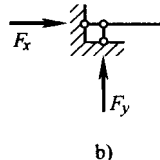
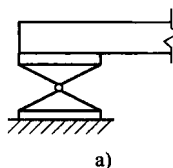


图 1-6

(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 (图 1-7a), 能产生反力矩 M 和一个反力 F_y 。在计算简图中用两根平行支杆表示 (图 1-7b)。

(4) 固定支座 被支承的部分完全被固定 (图 1-8a), 能产生三个反力 F_x 、 F_y 、 M 。在计算简图中可按图 1-8b 表示。

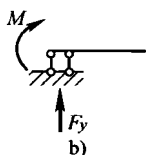
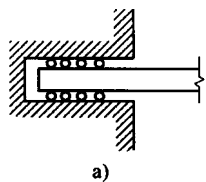


图 1-7

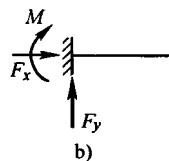
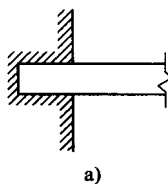


图 1-8

5. 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、木料等。在结构计算中，为了简化，对组成各构件的材料一律都假设为连续的、均匀的、各向同性的、完全弹性或弹塑性的。

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，故应用这些假设时须予注意。这些问题在材料力学中已有讲授，在此只简单提及。

6. 荷载的简化

荷载是主动作用于结构的外力，例如结构的自重，加于结构的水压力和土压力。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而传给结构的作用力，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要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。

除外力以外，还有其他因素可以使结构产生内力或变形，如温度变化、基础沉陷、材料收缩等。从广义上来说，这些因素也可以称为荷载。

第三节 平面杆系结构及其分类

其实，结构的分类实际上是指结构计算简图的分类。平面杆件结构的分类就是对杆件结构计算简图的分类。实际的杆件结构一般皆为空间杆结构，如图 1-9a 所示钢筋混凝土厂房结构，梁和柱都是预制的。柱子下端插入基础的杯口内，然后用细石混凝土填实。梁与柱的连接是通过将梁端和柱顶的预埋钢板进行焊接而实现的。在横向平面内柱与梁组成排架（图 1-9b），各个排架之间，在梁上有屋面板连接，在柱的牛腿上有吊车梁连接。但在实际工程计算中，为了简化计算，皆简化成图 1-9c 所示的计算简图。

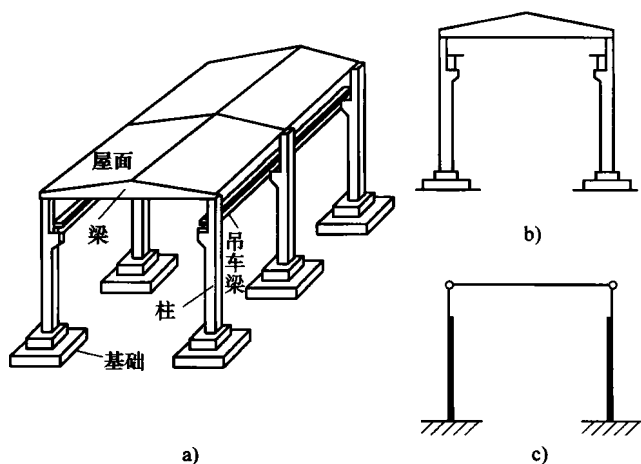


图 1-9

首先，厂房结构虽然是由许多排架用屋面板和吊车梁连接起来的空间结构，但各排架在纵向以一定的间距有规律地排列着。作用于厂房上的荷载，如恒载、雪载和风载等一般是沿