



教育部高职高专规划教材

结 构 力 学

吴大炜 主编



化学工业出版社
教材出版中心

教育部高职高专规划教材

结 构 力 学

吴大炜 主编



化学工业出版社
教材出版中心

· 北 京 ·

(京) 新登字 039 号

图书在版编目 (CIP) 数据

结构力学/吴大伟主编. —北京: 化学工业出版社,
2005. 2
教育部高职高专规划教材
ISBN 7-5025-6450-0

I. 结… II. 吴… III. 结构力学-高等学校: 技
术学院-教材 IV. 0342

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2005) 第 007797 号

教育部高职高专规划教材

结构力学

吴大伟 主编

责任编辑: 玉文映

文字编辑: 张燕文

责任校对: 陈静 宋玮

封面设计: 于 昊

化学工业出版社

教材出版中心 出版发行

(北京市朝阳区惠新里 3 号 邮政编码 100029)

发行电话: (010) 64982530

<http://www.cip.com.cn>

*

新华书店北京发行所经销

北京兴顺印刷厂印装

开本 787mm×1092mm 1/16 印张 19 $\frac{3}{4}$ 字数 480 千字

2005 年 3 月第 1 版 2005 年 3 月北京第 1 次印刷

ISBN 7-5025-6450-0/G · 1658

定 价: 32.00 元

版权所有 违者必究

该书如有缺页、倒页、脱页者, 本社发行部负责退换

教育部高职高专土建类专业教材 编审委员会

主任委员

吴大炜

副主任委员

张保善 苏 炜 于宗保

委 员

(按姓氏汉语拼音排序)

蔡丽朋	程绪楷	代学玲	何世玲
胡义红	蒋红焰	荆旭春	李九宏
吕宣照	苏 炜	孙海粟	孙加保
汪 绯	汪 菁	王付金	吴大炜
薛正庭	于宗保	张保善	张兴昌
周建郑			

出版说明

高职高专教材建设工作是整个高职高专教学工作中的重要组成部分。改革开放以来,在各级教育行政部门、有关学校和出版社的共同努力下,各地先后出版了一些高职高专教育教材。但从整体上看,具有高职高专教育特色的教材极其匮乏,不少院校尚在借用本科或中专教材,教材建设落后于高职高专教育的发展需要。为此,1999年教育部组织制定了《高职高专教育专门课课程基本要求》(以下简称《基本要求》)和《高职高专教育专业人才培养目标及规格》(以下简称《培养规格》),通过推荐、招标及遴选,组织了一批学术水平高、教学经验丰富、实践能力强的教师,成立了“教育部高职高专规划教材”编写队伍,并在有关出版社的积极配合下,推出一批“教育部高职高专规划教材”。

“教育部高职高专规划教材”计划出版500种,用5年左右时间完成。这500种教材中,专门课(专业基础课、专业理论与专业能力课)教材将占很高的比例。专门课教材建设在很大程度上影响着高职高专教学质量。专门课教材是按照《培养规格》的要求,在对有关专业的人才培养模式和教学内容体系改革进行充分调查研究和论证的基础上,充分吸取高职、高专和成人高等学校在探索培养技术应用性专门人才方面取得的成功经验和教学成果编写而成的。这套教材充分体现了高等职业教育的应用特色和能力本位,调整了新世纪人才必须具备的文化基础和技术基础,突出了人才的创新素质和创新能力的培养。在有关课程开发委员会组织下,专门课教材建设得到了举办高职高专教育的广大院校的积极支持。我们计划先用2~3年的时间,在继承原有高职高专和成人高等学校教材建设成果的基础上,充分汲取近几年来各类学校在探索培养技术应用性专门人才方面取得的成功经验,解决新形势下高职高专教育教材的有无问题;然后再用2~3年的时间,在《新世纪高职高专教育人才培养模式和教学内容体系改革与建设项目计划》立项研究的基础上,通过研究、改革和建设,推出一大批教育部高职高专规划教材,从而形成优化配套的高职高专教育教材体系。

本套教材适用于各级各类举办高职高专教育的院校使用。希望各用书学校积极选用这批经过系统论证、严格审查、正式出版的规划教材,并组织本校教师以对事业的责任感对教材教学开展研究工作,不断推动规划教材建设工作的发展与提高。

教育部高等教育司

2001年4月3日

前 言

本书是教育部高职高专规划教材，依据教育部《高职高专教育土建类专业力学课程教学基本要求》（多学时）编写而成。本书编写时在充分汲取高职高专在课程教学内容改革中所取得的成功经验和教学成果的基础上，针对高职高专是培养高等技术应用型人才的特点，精选传统内容，力求讲清概念和公式，简化理论推导，注重工程应用，即“运用为主、够用为度”的编写原则。

结构力学是土建类专业重要的专业（技术）基础课和主干课程。本书是《高职高专土建类专业教材》丛书中的《结构力学》，可作为高职高专土木建筑、道路桥梁、市政工程、监理施工等专业结构力学课程的教材，也可作为高等学校自学考试和工程技术人员的参考用书。

本教材为宽口径的土木工程专业教材，考虑道路、桥梁、交通、水利等专业学生的进一步提高或专业要求，书中增加了一些供选学的内容，加了“*”号，以示区别。

参加编写工作的有吴大炜（编写第四章、第六章、第七章），苏炜（编写第五章），荆旭春（编写第一章、第二章、第三章、第九章），薛正庭（编写第八章、第十章）。本书由吴大炜主编并统稿。本书存在的不足之处，敬请读者批评指正。

编 者

2004 年 10 月

内 容 提 要

本书是教育部高职高专规划教材，依据教育部《高职高专教育土建类专业力学课程教学基本要求》（多学时）编写而成。全书共十章，分为绪论、结构的几何组成分析、静定结构的受力分析、静定结构的位移计算、力法、位移法、渐近法和近似法、影响线及其应用、矩阵位移法、结构的动力计算。每章均有本章小节、习题及参考答案。本书选材适当，内容精练，说理透彻，重点突出，联系实际，应用性强。

本书为高职高专、成人、民办高校等土木建筑、道路桥梁、市政工程、施工监理等专业的教材，也可供相关工程技术人员参考。

目

录

第一章 绪论	1
第一节 结构力学的学科内容和教学要求	1
第二节 结构的计算简图与简化要点	3
一、杆件结构的计算简图	3
二、结构简化的简化要点	4
第三节 杆件结构和荷载的分类	7
一、杆件结构	7
二、荷载	8
第四节 结构力学的学习方法	9
第二章 结构的几何组成分析	11
第一节 基本概念	11
一、几何不变体系与几何可变体系	11
二、平面体系的自由度	12
第二节 平面几何不变体系的组成规律	14
一、二元体规则	14
二、两刚片规则	15
三、三刚片规则	15
四、瞬变体系	15
第三节 平面体系几何组成分析举例	16
第四节 结构的几何组成和静定性的关系	17
一、几何可变体系	17
二、无多余约束的几何不变体系	18
三、几何瞬变体系	18
本章小结	18
习题	19
第三章 静定结构的受力分析	21
第一节 单跨静定梁	21
一、支座反力和内力的计算	21
二、内力图绘制	23
三、用区段叠加法作弯矩图	23
四、简支斜梁	26
第二节 多跨静定梁	28

一、特点	28
二、内力分析与内力图绘制	29
第三节 静定平面刚架	31
一、构造与特点	31
二、内力分析与内力图绘制	32
第四节 三铰拱	39
一、结构特点	39
二、内力分析与内力图绘制	40
三、压力线与合理拱轴线	44
第五节 静定平面桁架	46
一、特点和组成	46
二、内力计算	47
三、几种不同外形桁架的力学性能比较	52
第六节 组合结构	53
本章小结	55
习题	57
第四章 静定结构的位移计算	61
第一节 概述	61
第二节 虚功和虚功原理	62
一、虚功	62
二、虚功原理	63
第三节 单位荷载法计算位移	64
第四节 结构在荷载作用下的位移计算	65
一、计算公式	65
二、计算举例	67
第五节 图乘法	69
第六节 温度作用时静定结构的位移计算	75
第七节 支座移动时静定结构的位移计算	77
第八节 线性变形体系的互等定理	78
一、功的互等定理	79
二、位移互等定理	79
三、反力互等定理	80
本章小结	80
习题	81
第五章 力法	84
第一节 超静定结构和超静定次数	84
一、超静定结构	84
二、超静定次数的确定	85
第二节 力法的基本概念和典型方程	86
一、力法的基本结构和基本未知量	86

二、力法的基本方程	87
三、力法典型方程	88
四、 n 次超静定结构的力法典型方程	89
第三节 用力法计算超静定梁、刚架和排架	90
一、超静定梁和刚架	90
二、铰接排架	94
第四节 超静定桁架和组合结构	95
一、超静定桁架	95
二、超静定组合结构	96
第五节 对称结构的计算	98
一、对称性的特点	99
二、对称基本体系的选用	100
* 三、半边结构法的应用	102
* 第六节 力法计算超静定拱	105
一、两铰拱的计算	106
二、对称无铰拱的计算	108
第七节 温度变化和支座移动时超静定结构的内力计算	109
一、温度变化时的内力计算	110
二、支座移动时超静定结构的内力计算	111
第八节 超静定结构的位移计算与最后内力图的校核	113
一、超静定结构的位移计算	113
二、最后内力图的校核	115
第九节 超静定结构的特性	116
本章小结	117
习题	118
第六章 位移法	122
第一节 基本概念	122
第二节 基本结构和基本未知量	123
第三节 单跨超静定梁的形常数和载常数	126
第四节 典型方程	130
第五节 计算示例	132
一、连续梁和无侧移刚架	132
二、有侧移刚架和排架	137
第六节 对称结构的计算	143
* 第七节 直接利用平衡条件建立位移法方程	145
本章小结	147
习题	148
第七章 渐近法和近似法	151
第一节 力矩分配法的基本概念	151
一、正负号规定	151

二、转动刚度 S_{AB}	151
三、传递系数 C_{Aj}	152
四、力矩分配系数 μ_{Aj}	152
五、单结点力矩分配法的基本运算	155
第二节 用力矩分配法计算连续梁和无结点线位移的刚架	156
* 第三节 无剪力分配法	162
* 第四节 多层多跨刚架的近似计算	166
一、分层计算法	166
二、反弯点法	168
本章小结	172
习题	172
第八章 影响线及其应用	175
第一节 移动荷载和影响线概念	175
第二节 静力法作静定单跨梁的影响线	176
一、简支梁影响线	176
二、悬臂梁影响线	178
三、外伸梁影响线	179
* 第三节 结点荷载作用下梁的影响线	181
* 第四节 静力法作桁架的影响线	182
一、上弦杆及下弦杆内力影响线	182
二、斜腹杆内力影响线	183
三、竖杆内力影响线	184
第五节 用机动法作单跨静定梁的影响线	184
一、反力影响线	184
二、内力影响线	185
第六节 利用影响线求影响量值	186
一、已知移动行列集中荷载的位置求对应影响量	186
二、已知移动均布荷载的位置求影响量	187
* 第七节 移动标准荷载	187
第八节 最不利荷载位置的确定及影响量最大值（或最小值）计算	189
一、单个集中荷载情况	190
二、可以任意截断均布荷载情况	190
* 三、行列荷载的一般情况	190
* 第九节 换算均布荷载及其应用	198
第十节 简支梁的绝对最大弯矩与内力包络图	201
一、绝对最大弯矩	201
* 二、内力包络图	205
第十一节 机动法作连续梁影响线概念	206
一、反力影响线	206
二、内力影响线	207

* 三、内力包络图·····	208
本章小结·····	210
习题·····	211
第九章 矩阵位移法 ·····	215
第一节 概述·····	215
一、矩阵位移法的基本思想·····	215
二、单元划分及结点编码、杆端位移与杆端力的正负号规定、位移分量编码·····	217
第二节 单元刚度矩阵·····	220
一、局部坐标系中的单元刚度矩阵·····	220
二、单元刚度矩阵的性质·····	221
第三节 整体刚度矩阵·····	222
一、单元坐标转换矩阵·····	222
二、整体坐标系单元刚度矩阵·····	223
第四节 连续梁的整体刚度矩阵·····	224
一、换码编号·····	225
二、对号入座·····	225
第五节 刚架的整体刚度矩阵·····	227
第六节 等效结点荷载·····	228
一、概念·····	228
二、算例·····	230
第七节 矩阵位移法的解题步骤及算例·····	231
第八节 平面刚架的计算机程序识读原理·····	235
一、程序功能·····	235
二、源程序说明·····	235
三、算例·····	236
本章小结·····	239
习题·····	239
第十章 结构的动力计算 ·····	241
第一节 概述·····	241
一、结构动力计算特点·····	241
二、动力荷载的种类·····	242
三、弹性体系的振动自由度·····	243
第二节 单自由度体系的自由振动·····	244
一、单自由度体系自由振动方程建立·····	244
二、自由振动微分方程的解答·····	245
三、结构的自振周期和自振频率·····	246
四、阻尼对自由振动的影响·····	249
第三节 单自由度体系的强迫振动·····	252
一、单自由度体系强迫振动微分方程的建立（无阻尼情况）·····	252
二、简谐荷载作用下结构的动力反应（无阻尼情况）·····	252

三、单自由度体系在一般荷载作用下结构的动力反应·····	255
四、阻尼对受简谐荷载强迫振动影响·····	256
第四节 两个自由度体系的自由振动·····	260
一、两个自由度体系自由振动微分方程的建立·····	260
二、频率方程和自振频率·····	261
三、主振型与主振型正交性·····	265
* 第五节 两个自由度体系在简谐荷载作用下的强迫振动·····	268
一、柔度法·····	268
二、刚度法·····	269
* 第六节 结构自振频率的近似算法·····	273
一、能量法·····	273
二、集中质量法·····	276
* 第七节 结构地震荷载的计算简介·····	277
一、地面运动时结构体系振动方程的建立·····	277
二、振动微分方程的解答·····	278
三、水平地震力基本公式·····	278
本章小结·····	281
习题·····	282
附录 ·····	286
附录 I 平面刚架的计算 BASIC 源程序 ·····	286
附录 II 部分习题参考答案·····	294
主要参考文献 ·····	300

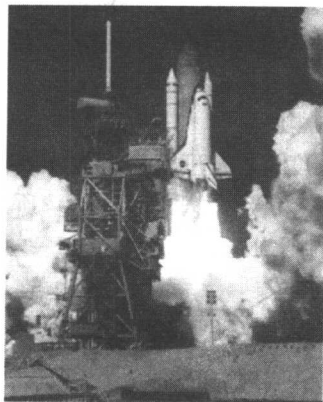
第一章

绪

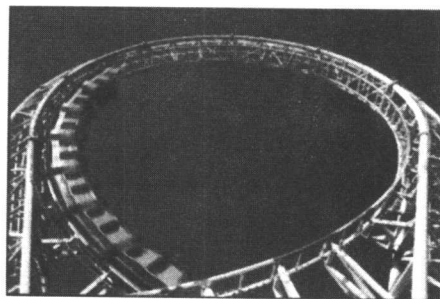
论

第一节 结构力学的学科内容和教学要求

在土建、水利、交通等各类建筑工程中，承受和传递荷载且起骨架作用的部分被称为结构。例如，图 1-1 (a) 中航天飞机的发射架和图 1-1 (b) 中过山车的支撑钢架均为空间桁架结构。又如图 1-2 (a) 所示的一大跨度公路桥和图 1-2 (b) 所示的长江三峡水利枢纽工程及图 1-3 所示的海上钻井石油平台等，这些大型工程均为实际工程结构的典型代表。如图 1-7 所示的单层厂房结构中的屋面板、屋架、梁、柱、基础及其组成的体系，也都是结构。



(a)

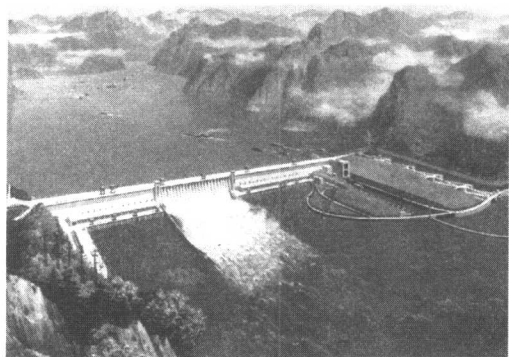


(b)

图 1-1



(a)



(b)

图 1-2

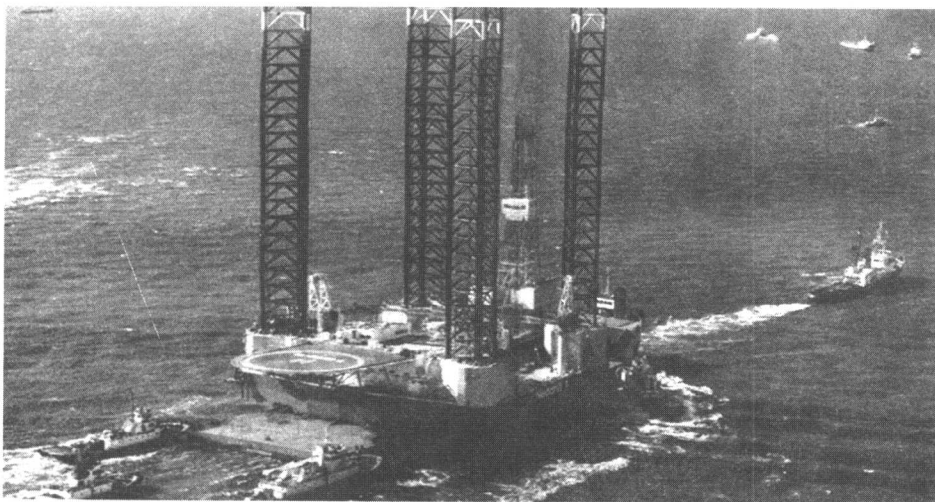


图 1-3

结构一般由多个构件连接而成，并且按其几何特征可分为杆系结构、板壳结构和实体结构三大类。

1. 杆系结构

杆系结构是由若干杆件组成的，杆件的长度 l 远大于其截面的宽度 b 和厚度 h ，如图 1-4 所示。在各种结构类型中，杆件结构最多，本书的大部分内容也是主要来讨论杆系结构。

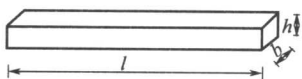
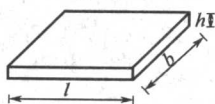


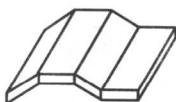
图 1-4

2. 板壳结构

若杆件长度 l 与宽度 b 均远大于其厚度 h 的结构为板壳结构。如图 1-5 (a) 所示，其形状呈平面状的为板，如图 1-5 (b) 所示，由几块薄板可拼合为折板结构，如图 1-5 (c) 所示，曲面状的则为壳。



(a)



(b)



(c)

图 1-5

3. 实体结构

若构件的长度 l 、宽度 b 、厚度 h 是同级尺寸的称为实体结构，如图 1-6 所示。

在本书中所提及的结构均为狭义上所指的杆系结构。

结构力学与材料力学、弹性力学有密切的关系。这三门力学主要讨论了结构及其构件的强度、刚度、稳定性及动力计算问题，但分工上又有不同，材料力学以单个杆件为主要研究对象，弹性力学以实体

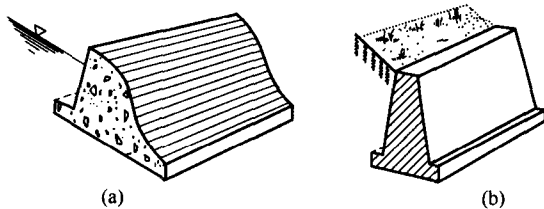


图 1-6

结构和板壳结构为主要研究对象，而结构力学则是以杆系结构为主要研究对象。

结构力学的任务主要包括以下几个方面。

- ① 研究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。
- ② 计算由荷载、温度变化、支座移动等因素作用下结构各部分产生的内力，为结构的强度计算提供依据，以保证结构满足安全和经济的要求。
- ③ 计算由上述各因素所引起的变形和位移，为结构的刚度计算提供依据，以保证结构的变形在允许范围内。
- ④ 研究结构在动力荷载作用下的特性及动力反应。

结构力学除了为后续的专业课程提供必要的力学计算基础外，其计算理论及方法又可直接用于工程结构的结构计算及设计。从解决工程实际问题的角度来看，结构力学的内容可分为以下三部分。

- ① 将实际结构进行力学分析并简化为结构的计算简图。
- ② 研究杆件结构在各种外因作用下的内力和位移的计算原理和方法。
- ③ 将结构力学的基本理论及基本方法运用于实际结构的设计与施工。

其中，第二部分为本书研究讨论的主要内容，但从理论联系实际的角度来看，第一和第三两部分则是其重要环节，应予以足够的重视。本书对静定和超静定结构的计算原理和方法作了比较深入的阐述，便于读者能深刻地理解结构力学的基本概念，掌握其基本的计算方法。

第二节 结构的计算简图与简化要点

一、杆件结构的计算简图

在结构的分析设计中，如果完全按照结构的实际工作状态进行精确的力学分析是非常复杂且是难以做到的，并且从工程实际出发，这样做也是没有必要的。在结构力学中所研究的结构是将实际结构加以抽象和简化，略去一些次要因素，突出主要特点，进行科学抽象的一个简化了的理想模型。这种在结构计算中用以代替实际结构并能反映结构主要受力和变形特点的理想模型，称为结构的计算简图。

计算简图的选取十分重要，它直接影响着计算结果的精确度和计算工作量的大小。

计算简图的选取必须遵循以下两个原则。

- ① 尽可能地反映出实际结构的受力和变形特点。
- ② 与所采取的计算工具相适应，尽可能地使计算简便。

结构计算简图的选取, 通常包括结构体系的简化、结点的简化、支座的简化及荷载的简化等四方面的内容。

二、结构简化的简化要点

1. 结构体系的简化

一般的工程结构都是空间结构, 如图 1-7 所示的单层厂房结构是由许多纵向梁柱和横向梁柱组成的。工程中, 常将其简化成为若干个纵向梁柱组成的纵向平面结构和若干个由横向

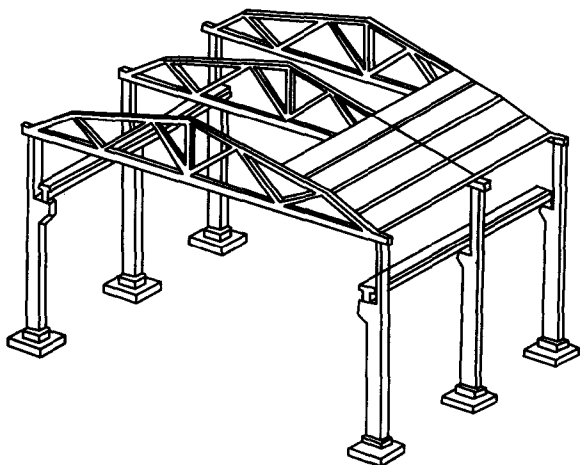


图 1-7

梁柱组成的横向平面结构。而且, 简化后的荷载与梁、柱各轴线位于同一平面内, 即略去了横、纵向的联系作用, 把原来的空间结构简化为若干个平面结构来分析, 如图 1-16 (a) 所示的屋架结构就是按平面结构来分析的。在平面简化过程中, 用梁、柱的轴线来代替实体杆件, 以各杆轴线所形成的几何轮廓代替原结构。这种从空间到平面, 从实体到杆轴线几何轮廓的简化称为结构体系的简化。

2. 结点的简化

在杆件结构中, 杆件的相互连接处称为结点。根据连接处的构造情况和结构的受力特点, 可将其简化为铰结点和刚结点两种基本类型。两者共存的为组合结点。

(1) 刚结点 其特征是汇交于结点各杆件在变形前后结点处各杆杆端切线夹角保持不变, 即结点对杆端有约束转动和移动的作用, 故产生杆端轴力、剪力和杆端弯矩。如图 1-8 (a) 所示为钢筋混凝土结构中的某一结点, 其特点是上柱、下柱和梁之间用钢筋连成整体并用混凝土浇筑在一起, 这种结点即可视为刚结点, 其计算简图如图 1-8 (b) 所示。

(2) 铰结点 其特征是汇交于结点的各杆件都可绕结点自由转动, 即结点对各杆端仅限制相对移动而没有约束转动的作用, 故不引起杆端弯矩, 而只能产生杆端剪力和杆端轴力。应当指出, 在实际结构中完全理想的铰是不存在的, 这种简化有一定的近似性。如图 1-9 (a) 所示木屋架的连接点, 其构造特点大致符合上述约束要求, 因此, 可取图 1-9 (b) 的计算简图, 其中杆件与杆件之间的夹角是可变的。

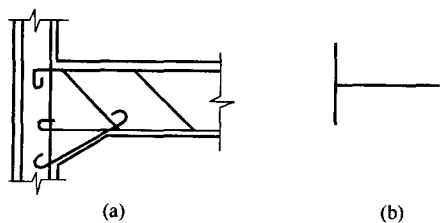


图 1-8

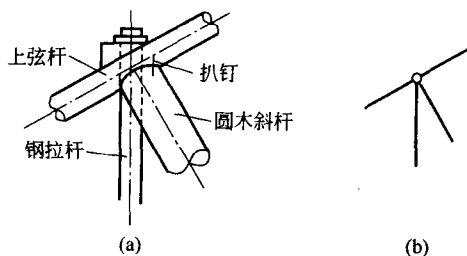


图 1-9

在实际结构中, 可根据其受力特点, 判定杆件与杆件之间的连接关系。如果杆件仅受轴力作用, 则此杆两端可用铰与其他部分相连。