

新世纪现代交通类专业系列教材

结构力学

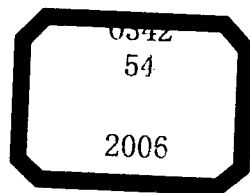
现代交通远程教育教材编委会 编



清华大学出版社
<http://www.tup.tsinghua.edu.cn>



北京交通大学出版社
<http://press.bjtu.edu.cn>



新世纪现代交通类专业系列教材

结 构 力 学

现代交通远程教育教材编委会 编

清华大学出版社

北京交通大学出版社

·北京·

内 容 简 介

本书共分7章,内容包括绪论、平面杆件体系的机动分析、静定结构的内力、影响线及其应用、静定结构的位移计算、力法、超静定拱、位移法和力矩分配法。编写时注重精选内容,联系工程实际,叙述深入浅出,方便学生自学。每节内容单元后附有复习思考题,每章末尾有习题和学习指导。

本书为大专层次公路工程相关专业教材,亦可供土木工程类其他专业教学使用,还可以作为相关技术人员的参考书。

版权所有,翻印必究。举报电话:010-62782989 13501256678 13801310933

本书封面贴有清华大学出版社防伪标签,无标签者不得销售。

本书防伪标签采用特殊防伪技术,用户可通过在图案表面涂抹清水,图案消失,水干后图案复现;或将表面膜揭下,放在白纸上用彩笔涂抹,图案在白纸上再现的方法识别真伪。

图书在版编目(CIP)数据

结构力学/现代交通远程教育教材编委会编. —北京:清华大学出版社;北京交通大学出版社, 2006.10

(新世纪现代交通类专业系列教材)

ISBN 7-81082-847-9

I. 结… II. 现… III. 结构力学-高等学校-教材 IV. O342

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2006) 第 092333 号

责任编辑:韩 乐

出版发行:清华大学出版社 邮编:100084 电话:010-62776969

北京交通大学出版社 邮编:100044 电话:010-51686414

印刷者:北京东光印刷厂

经 销:全国新华书店

开 本:185×260 印张:16.5 字数:422千字

版 次:2006年10月第1版 2006年10月第1次印刷

书 号:ISBN 7-81082-847-9/O·41

印 数:1~6000册 定价:28.00元

本书如有质量问题,请向北京交通大学出版社质监组反映。对您的意见和批评,我们表示欢迎和感谢。

投诉电话:010-51686043, 51686008; 传真:010-62225406; E-mail: press@center.bjtu.edu.cn。

现代交通远程教育教材编委会 成员名单

主 任：付国民

副 主 任：王文标 张恩杰

成 员：(以姓氏笔画为序)

王燕华 司文钰 司银涛

刘三刚 肖云梅 李家俊

陈 庚 张吉国 张青喜

梁文英 苏建林 罗 毅

周新湘 谢瑞琬 廖贵星

魏新华 戴新忠

本书主编：黄志平

本书主审：王文标

出版说明

北京交通大学是教育部直属的全国重点大学,至今已有百余年历史。在漫长的办学历程中,北京交通大学逐步形成了“团结勤奋、求实创新、谦虚谨慎、开拓进取”的精神,正向着“国内一流、国际知名大学”这一宏伟目标迈进。

为了适应社会主义现代化建设对高素质专门人才的培养,北京交通大学积极发展多种形式的高等教育,现代远程教育是其形式之一。现代远程教育采用计算机多媒体技术,通过互联网、卫星视频会议系统进行教学,具有鲜明的时代特征。它具有很多优势:可以使高等教育不受校园的局限,扩大接受高等教育人口的比例;极大地方便了学习者,使学生利用现代远程教育便可学到最新的知识,享受第一流的教育资源;可构建终身学习体系,使知识经济时代人们终身学习的愿望得以实现。由于现代远程教育的诸多优点,在发达国家已经非常广泛地被采用。

为落实交通部《“十五”交通教育培训规划》、《“十五”交通行政执法人员提高学历层次教育的实施意见》和《“十五”全国地方交通行政干部教育培训的实施意见》精神,充分发挥交通系统各类交通院校教育资源的优势和特色,为交通现代化建设、交通可持续发展培养高层次专门人才,北京交通大学与交通系统各类院校本着“优势互补、资源共享、互利互惠、共同发展”的原则,合作开展现代远程教育试点工作。目前,已经在北京交通管理干部学院设立了北京交通大学现代远程教育交通分院,并在全国交通系统设立了29个交通教学中心,开办了公路工程与管理(专科)、交通运输管理(专科)、公路工程与管理(专升本)、交通运输管理(专升本)、财务会计(专科)、会计学(专升本)和法学(专升本)等专业。

现代远程教育与传统的面对面教育方式不同,它更强调学生的自主个性化学习,因此需要提供更适合于自学的教材,同时还要提供内容丰富的多媒体教学课件、电子教案、自学指导书等,以支持远程教育活动。

为进一步适应现代远程教育事业的发展,北京交通大学现代远程教育交通分院组织编写了这套现代交通远程教育教材。本套教材是根据教育部审定批准的教学大纲编写的,适合高等教育的教学及学生学习,尤其适合现代交通远程教育的本(专)科学生学习使用。

现代交通远程教育教材编委会

2006年8月

前 言

本书根据北京交通大学制定的现代远程教育交通类专业结构力学教学大纲编写,供专科层次公路工程相关专业或其他土木工程类专业教学使用。

结合远程教育学生的实际情况和几年来的教学实践经验,本书在编写时注重精选内容,联系工程实际,方便学生自学,叙述上深入浅出。书中带“*”号的部分为选学内容,可删去不学。

本书每节内容单元后附有复习思考题,每章末尾有习题和学习指导。学生回答复习思考题时宜合上教材,必要时再查阅。要认真地多做习题。学习结构力学而不认真做习题,难免会“深入宝山而空返”。

限于编者水平,书中的缺点错误,望读者批评指正。

黄志平

2006年9月于北京

目 录

绪论	(1)
0.1 结构力学的研究对象和任务	(1)
0.1.1 结构	(1)
0.1.2 结构的分类	(1)
0.1.3 结构力学的研究对象	(2)
0.1.4 结构力学的任务	(2)
0.2 结构的计算简图	(3)
0.2.1 计算简图	(3)
0.2.2 杆件结构的简化	(4)
0.2.3 选取计算简图示例	(8)
0.3 杆件结构的分类	(10)
0.3.1 按照空间特征分类	(11)
0.3.2 按照力学性能分类	(11)
0.3.3 按照计算方法分类	(13)
0.4 结构上的荷载的分类	(13)
复习思考题 0-1	(14)
第 1 章 平面杆件体系的机动分析	(16)
1.1 机动分析的几个概念	(16)
1.1.1 几何不变体系与几何可变体系	(16)
1.1.2 几何瞬变体系	(17)
1.1.3 机动分析的目的	(17)
1.2 平面杆件体系的计算自由度	(18)
1.2.1 自由度	(18)
1.2.2 约束对自由度的影响	(18)
1.2.3 平面杆件体系的计算自由度	(19)
1.2.4 平面杆件体系几何不变的必要条件	(20)
复习思考题 1-1	(21)
1.3 几何不变体系的基本组成规则	(21)
1.3.1 虚铰	(21)
1.3.2 几何不变体系的基本组成规则	(22)
1.3.3 结构的静定性与几何组成的关系	(26)
复习思考题 1-2	(26)
1.4 体系的机动分析	(27)
1.4.1 机动分析方法	(27)

1.4.2 机动分析示例	(27)
复习思考题 1-3	(30)
习题	(30)
学习指导	(32)
第2章 静定结构的内力	(34)
2.1 静定梁	(34)
2.1.1 单跨静定梁	(34)
2.1.2 多跨静定梁	(40)
复习思考题 2-1	(45)
2.2 静定平面刚架	(46)
2.2.1 刚架的组成和特点	(46)
2.2.2 刚架的杆端内力	(47)
2.2.3 刚架的内力图	(48)
复习思考题 2-2	(53)
2.3 三铰拱	(53)
2.3.1 概述	(53)
2.3.2 三铰拱的计算	(55)
2.3.3 三铰拱的压力线	(60)
2.3.4 三铰拱的合理拱轴线	(63)
复习思考题 2-3	(66)
2.4 静定平面桁架	(67)
2.4.1 概述	(67)
2.4.2 结点法计算桁架内力	(69)
2.4.3 截面法计算桁架内力	(74)
2.4.4 结点法和截面法联合应用	(76)
2.4.5 各式常见桁架的比较	(77)
复习思考题 2-4	(78)
* 2.5 静定平面组合结构	(79)
2.5.1 组合结构概述	(79)
2.5.2 静定平面组合结构的内力	(79)
2.6 静定结构的特性	(81)
2.6.1 静定结构的基本特性	(81)
2.6.2 静定结构的内力计算	(82)
2.6.3 各类静定结构的比较	(82)
复习思考题 2-5	(83)
习题	(83)
学习指导	(88)
第3章 影响线及其应用	(91)
3.1 影响线和公路标准荷载的概念	(91)
3.1.1 移动荷载	(91)

3.1.2 影响线的概念	(91)
3.1.3 我国公路的标准荷载制	(92)
3.2 单跨静定梁的反力内力影响线	(93)
3.2.1 简支梁的影响线	(93)
3.2.2 外伸梁的影响线	(95)
3.2.3 内力影响线与内力图的区别	(97)
复习思考题 3-1	(98)
* 3.3 三铰拱和多跨静定梁的反力内力影响线	(98)
3.3.1 三铰拱的影响线	(98)
3.3.2 多跨静定梁的影响线	(100)
3.4 结点荷载作用下的影响线	(101)
复习思考题 3-2	(103)
3.5 利用影响线求反力和内力	(103)
3.5.1 集中荷载作用的情况	(103)
3.5.2 分布荷载作用的情况	(105)
3.6 利用影响线确定最不利荷载位置	(106)
3.6.1 移动均布荷载作用的情况	(107)
3.6.2 移动集中荷载作用的情况	(108)
3.6.3 等代荷载	(116)
复习思考题 3-3	(117)
3.7 简支梁的绝对最大弯矩和内力包络图	(117)
3.7.1 简支梁的绝对最大弯矩	(117)
3.7.2 简支梁的内力包络图	(120)
复习思考题 3-4	(121)
习题	(121)
学习指导	(123)
第4章 静定结构的位移计算	(125)
4.1 位移计算概述	(125)
4.1.1 结构的位移	(125)
4.1.2 计算结构位移的目的	(125)
4.2 虚功原理	(126)
4.2.1 外力的虚功	(126)
4.2.2 内力的虚功	(127)
4.2.3 虚功原理	(128)
复习思考题 4-1	(129)
4.3 荷载作用下的位移计算	(129)
4.3.1 位移计算公式	(129)
4.3.2 单位荷载法计算荷载位移的一般步骤	(130)
4.3.3 各类结构的简化公式	(131)
复习思考题 4-2	(134)

4.4 图乘法	(134)
4.4.1 图乘法的原理	(135)
4.4.2 图乘法的计算技巧	(137)
复习思考题 4-3	(141)
4.5 温度改变和支座移动引起的位移计算	(142)
4.5.1 温度改变引起的位移	(142)
4.5.2 支座移动引起的位移	(145)
4.6 弹性结构的互等定理	(146)
4.6.1 功的互等定理	(146)
4.6.2 位移互等定理	(147)
复习思考题 4-4	(148)
习题	(148)
学习指导	(151)
第5章 力法	(154)
5.1 超静定结构的概念和超静定次数确定	(154)
5.1.1 超静定结构的基本特性	(154)
5.1.2 超静定结构的类型	(155)
5.1.3 超静定结构计算的基本方法	(155)
5.1.4 超静定次数的确定	(156)
复习思考题 5-1	(159)
5.2 力法的基本原理	(159)
5.2.1 力法的基本未知量和基本结构	(159)
5.2.2 力法的基本方程	(160)
5.2.3 求解方程和绘制内力图	(161)
5.3 力法的典型方程	(164)
复习思考题 5-2	(166)
5.4 力法的计算步骤和示例	(167)
5.4.1 力法的计算步骤	(167)
5.4.2 力法计算示例	(167)
复习思考题 5-3	(171)
5.5 利用对称性简化计算	(172)
5.5.1 简化力法计算的思路	(172)
5.5.2 选择对称的基本结构,选取对称和反对称未知力	(173)
5.5.3 将一般荷载分解为对称荷载和反对称荷载,并分别计算	(176)
复习思考题 5-4	(178)
5.6 温度改变和支座移动时超静定结构的计算	(178)
5.6.1 温度改变时超静定结构的内力计算	(179)
5.6.2 支座移动时超静定结构的内力计算	(180)
5.7 超静定结构的位移计算和最后内力图的校核	(182)
5.7.1 超静定结构最后内力	(182)

5.7.2 超静定结构最后内力图的校核	(183)
5.8 超静定结构的特性	(185)
复习思考题 5-5	(186)
习题	(187)
学习指导	(190)
第 6 章 超静定拱	(192)
6.1 弹性中心法计算无铰拱	(192)
6.1.1 概述	(192)
6.1.2 弹性中心法要点	(193)
6.1.3 系数和自由项的简化	(196)
6.1.4 内力计算	(196)
6.2 总和法计算无铰拱	(199)
6.2.1 方法要点	(199)
6.2.2 总和法计算无铰拱的公式	(200)
复习思考题 6-1	(204)
* 6.3 无铰拱的影响线	(204)
* 6.4 温度改变和支座移动对无铰拱的影响	(206)
6.4.1 温度改变的影响	(206)
6.4.2 混凝土收缩的影响	(208)
6.4.3 支座移动的影响	(209)
* 6.5 两铰拱的计算	(210)
* 复习思考题 6-2	(212)
习题	(212)
学习指导	(213)
第 7 章 位移法和力矩分配法	(215)
7.1 位移法的基本思路和基本未知量	(215)
7.1.1 位移法的基本思路	(215)
7.1.2 位移法的基本未知量	(215)
7.2 等截面直杆的转角位移方程	(218)
7.3 位移法的计算步骤和示例	(221)
7.3.1 位移法的计算步骤	(221)
7.3.2 位移法示例	(223)
7.4 对称性的利用	(228)
复习思考题 7-1	(232)
7.5 力矩分配法原理	(232)
7.5.1 转动刚度、分配系数和传递系数	(232)
7.5.2 力矩分配法原理	(235)
7.6 力矩分配法计算连续梁	(237)
7.6.1 力矩分配法计算连续梁	(237)
* 7.6.2 连续梁的反力内力影响线	(243)

复习思考题 7-2	(244)
习题.....	(244)
学习指导.....	(246)
参考文献.....	(248)

绪论

0.1 结构力学的研究对象和任务

0.1.1 结构

建筑物的支承荷载的骨架称为**结构**(或**建筑结构**)。房屋建筑中的梁柱体系、屋架,公路、铁路上的桥梁、隧道、涵洞,水工建筑中的水坝、闸门等都是结构的典型例子。结构力学里所说的结构,既可以是建筑物骨架的整体,也可以是其能相对独立的部分。结构一般由多个构件联结而成,但最简单的结构也可以是单个构件。

0.1.2 结构的分类

按照几何特征,工程中常见的结构可以分为以下三类。

1. 杆件结构

由杆件组成的结构称为**杆件结构**。杆件的几何特征是其横截面尺寸比长度小得多。图 0-1(a)所示钢筋混凝土梁和图 0-1(b)所示木屋架就是杆件结构。

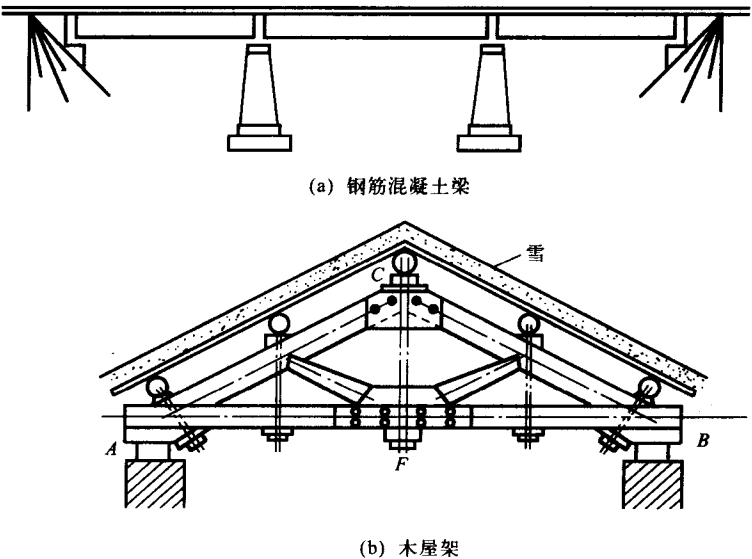


图 0-1 杆件结构

2. 板壳结构

由薄板或薄壳组成的结构称为**板壳结构**。薄板(图 0-2(a))和薄壳(图 0-2(b))的几何特征是它们的厚度比长度和宽度小得多。当构件为平面状时称为薄板;当构件具有曲面状时称为薄壳。图 0-2(c)、图 0-2(d)所示分别为折板屋顶和筒壳屋顶均属于板壳结构。板壳结构也称为薄壁结构。

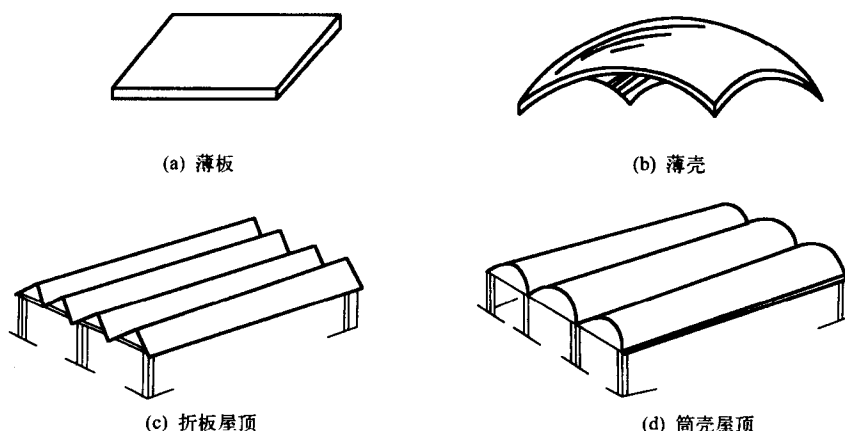


图 0-2 板壳结构

3. 实体结构

实体结构是指三个方向的尺寸大致为同一量级的结构。如桥墩(图 0-3(a))、桥台(图 0-3(b))、挡土墙(图 0-3(c))等。

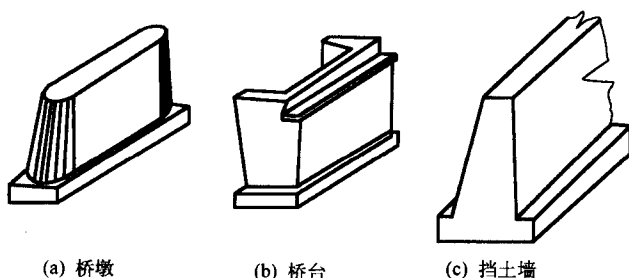


图 0-3 实体结构

0.1.3 结构力学的研究对象

结构力学的研究对象是杆件结构。本书以后提到的“结构”一词,一般都指杆件结构。

结构力学与材料力学、弹性力学既有密切的关系,也有不同的分工。后两门力学也研究结构的强度、刚度和稳定性问题,但材料力学以单个杆件为其主要研究对象,弹性力学以板壳结构和实体结构为其主要研究对象。

0.1.4 结构力学的任务

结构力学是一门研究杆件结构强度、刚度、稳定性和合理组成的学科。

结构力学的任务包括以下 4 个方面。

1. 研究结构的强度

研究由荷载等因素在结构各部分所产生的内力。其目的是为了使结构具有足够但又非过分的坚固性。

2. 研究结构的刚度

研究由荷载等因素所引起的结构各部分的变形。其目的是为了使结构不致变形过大,尽管这种变形对结构的安全不一定有影响,但过大的变形在实用上通常是不允许的。

3. 分析结构的稳定性

其目的是为了使结构能维持其原有的工作形态而不致丧失弹性稳定。根据教学大纲,本书对这一问题未作讨论。

4. 探讨结构的合理组成

研究结构的组成规律和合理形式。研究组成规律是为了保证结构的各部分不致发生相对运动,能够在承受荷载时保持几何不变。研究合理形式是为了有效地利用材料,使其性能得到充分的发挥。

总的来说,研究上述问题的目的是为了使结构满足安全、经济和适用的要求。

结构力学是土木工程类专业的一门技术基础课。它为学习专业课程和进行结构的设计、施工和监理提供力学基础。学习结构力学应着重领会各种计算方法的原理和解题思路,并注意从许多具体的方法中学习分析问题的一般方法,以提高分析问题和解决问题的能力。学习结构力学还要注重理论联系实际。要认真地多做习题。做习题不仅是运用理论知识解决实际问题的一种基本训练,而且对掌握结构力学的原理和方法也是必需的。

0.2 结构的计算简图

0.2.1 计算简图

结构的组成、受力和变形等情况通常很复杂,要完全按照它们的实际情形进行计算,既不可能,也无必要。因此,在对结构进行力学计算之前,需要将它简化为既能反映其主要力学性能又便于计算的理想模型。这种在结构计算中用来代替实际结构的理想模型,称为结构的计算简图。

计算简图是结构进行力学计算的依据,它的选取将直接影响计算的工作量和精确度。一般说来,选取计算简图应当遵循下述原则:

- (1) 尽可能反映结构的真实受力情况,使计算结果接近于实际情形;
- (2) 略去次要因素,使分析和计算简便。

同一结构由于具体情况的不同,可有不同的计算简图。工程性质重要,可选用较精确的计

算简图,以提高计算的可靠性。反之,可选用较粗略的计算简图。在初步设计中,常选用较简单的计算简图,在最后设计中再改用较精确的计算简图。手算的计算简图可取得简单些,电算的计算简图可取得复杂些。

0.2.2 杆件结构的简化

1. 构件的简化

当构件的长度大于它的横截面尺寸(宽度或厚度)5倍以上时,就可以当作杆件来处理。在计算简图中,杆件用其纵轴线来代替。梁、柱等构件的纵轴线为直线,就用相应的直线来代替。曲杆、拱等构件的纵轴线为曲线,就用相应的曲线来代替。

2. 结点的简化

杆件与杆件的联结处称为结点。根据构造的不同,各种实际结点可分别简化为铰结点或刚结点两种类型。

1) 铰结点

铰结点的机动特征是汇交于结点的各杆的杆端不能有任何方向的相对移动,但可自由地绕结点作相对转动。图 0-4(a)是一种典型的铰结点(合页式铰),图 0-4(b)是它的计算简图,图 0-4(c)表示被联结的两杆可以有相对转动。

铰结点的力学特性是结点对杆端不存在转动约束作用,即不引起杆端弯矩,只能产生杆端轴力和剪力。

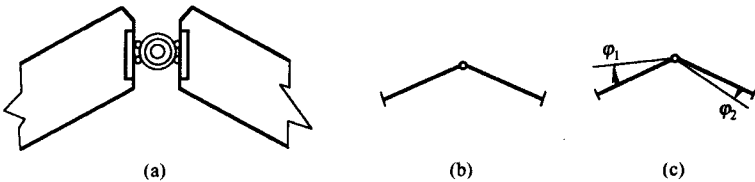


图 0-4 铰结点

实际结构中联结杆件的铰大多是非典型铰。在选取计算简图时,凡近似符合上述机动特征的结点构造,都可以简化为铰结点。例如,图 0-5(a)所示木屋架的端结点,虽然杆件并不能任意自由转动,但由于联结不可能严密牢固,仍能作微小的转动。因为结构在荷载作用下实际所产生的转动也相当小,所以这个结点可当作铰结点。图 0-5(b)是它的计算简图。一般说来,木结构的结点比较接近于铰结点。对于图 0-6(a)所示钢桁架的结点,它虽然把杆件焊接

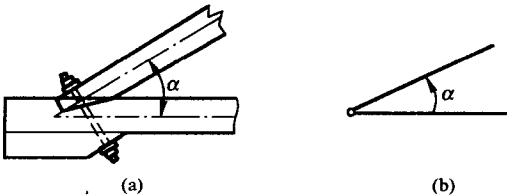


图 0-5 木屋架的结点

在结点板上,但由于结点板刚度较小,杆件的抗弯刚度通常也不大,杆件主要承受轴向力,因此也可以将它简化为铰结点,由此引起的误差在多数情况下是可以允许的。图 0-6(b)是这个结点的计算简图。

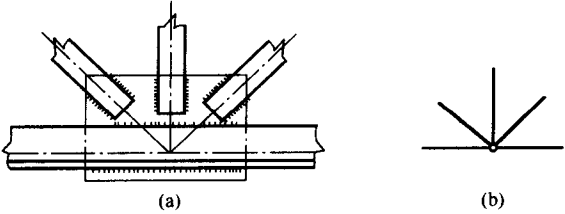


图 0-6 钢桁架的结点

2) 刚结点

刚结点的机动特征是汇交于结点的各杆的杆端相互固定在一起,既不能相对移动,也不能相对转动。例如,图 0-7(a)所示钢筋混凝土结构的一个结点,三根杆件用钢筋连在一起并用混凝土浇注成整体,它的机动情况基本符合上述特点,故可视为刚结点。图 0-7(b)是它的计算简图。图 0-7(c)表示当刚结点转动时,各杆件的杆端截面将随结点一起向同一方向转动相同的角度,各杆之间的夹角保持不变。

刚结点的力学特性是结点对杆端有阻止相对转动的约束力矩存在,即除产生杆端轴力和剪力以外,尚产生杆端弯矩。

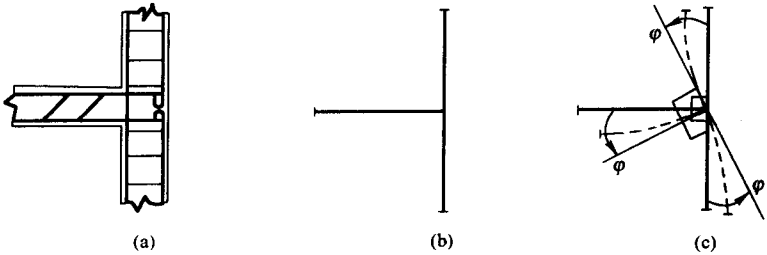


图 0-7 刚结点

除了刚结点和铰结点,有时还会遇到有些杆件为铰结,同时也有些杆件为刚性结合的结点,这种结点称为组合结点。在图 0-8(a)中,结点 E 是 EB 、 EI 、 EF 三杆的联结处,其中 EB 、 EI 两杆为刚性联结, EF 杆为铰联结,故此结点为组合结点。结点 D 的情形与此相同,也是组合结点。图 0-8(b)是结点 E 的一种构造示意图。

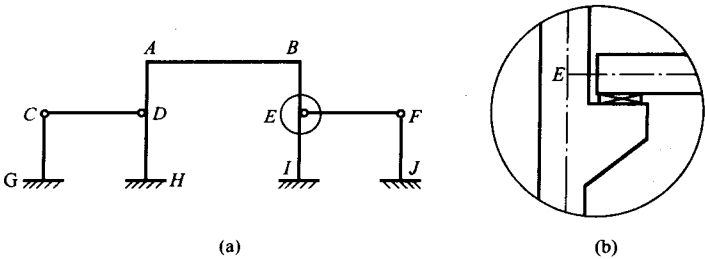


图 0-8 组合结点