



高等学校土木工程专业卓越工程师教育培养计划系列规划教材

Structural Mechanics

结构力学

· 平台课课程群 ·

■ 主编 汪梦甫



WUHAN UNIVERSITY PRESS

武汉大学出版社

高等学校土木工程专业卓越工程师教育培养计划系列规划教材

结 构 力 学

主编 汪梦甫



WUHAN UNIVERSITY PRESS

武汉大学出版社

图书在版编目(CIP)数据

结构力学/汪梦甫主编. —武汉:武汉大学出版社, 2015. 6

高等学校土木工程专业卓越工程师教育培养计划系列规划教材

ISBN 978-7-307-15013-3

I. 结… II. 汪… 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(2015)第 001168 号

责任编辑:郭芳

责任校对:黄孝莉

装帧设计:吴极

出版发行:武汉大学出版社 (430072 武昌 珞珈山)

(电子邮件:whu_publish@163.com 网址:www.stmpress.cn)

印刷:荆州市鸿盛印务有限公司

开本:880×1230 1/16 印张:24.25 字数:768千字

版次:2015年6月第1版 2015年6月第1次印刷

ISBN 978-7-307-15013-3

定价:49.00元

版权所有,不得翻印;凡购买我社的图书,如有质量问题,请与当地图书销售部门联系调换。

高等学校土木工程专业卓越工程师教育培养计划系列规划教材

学术委员会名单

(按姓氏笔画排名)

主任委员:周创兵

副主任委员:方志 叶列平 何若全 沙爱民 范峰 周铁军 魏庆朝

委员:王辉 叶燎原 朱大勇 朱宏平 刘泉声 孙伟民 易思蓉

周云 赵宪忠 赵艳林 姜忻良 彭立敏 程桦 靖洪文

编审委员会名单

(按姓氏笔画排名)

主任委员:李国强

副主任委员:白国良 刘伯权 李正良 余志武 邹超英 徐礼华 高波

委员:丁克伟 丁建国 马昆林 王成 王湛 王媛 王薇

王广俊 王天稳 王曰国 王月明 王文顺 王代玉 王汝恒

王孟钧 王起才 王晓光 王清标 王震宇 牛荻涛 方俊

龙广成 申爱国 付钢 付厚利 白晓红 冯鹏 曲成平

吕平 朱彦鹏 任伟新 华建民 刘小明 刘庆潭 刘素梅

刘新荣 刘殿忠 闫小青 祁皓 许伟 许程洁 许婷华

阮波 杜咏 李波 李斌 李东平 李远富 李炎锋

李耀庄 杨杨 杨志勇 杨淑娟 吴昊 吴明 吴轶

吴涛 何亚伯 何旭辉 余锋 冷伍明 汪梦甫 宋固全

张红 张纯 张飞涟 张向京 张运良 张学富 张晋元

张望喜 陈辉华 邵永松 岳健广 周天华 郑史雄 郑俊杰

胡世阳 侯建国 姜清辉 娄平 袁广林 桂国庆 贾连光

夏元友 夏军武 钱晓倩 高飞 高玮 郭东军 唐柏鉴

黄华 黄声享 曹平周 康明 阎奇武 董军 蒋刚

韩峰 韩庆华 舒兴平 童小东 童华炜 曾珂 雷宏刚

廖莎 廖海黎 缪宇宁 黎冰 戴公连 戴国亮 魏丽敏

出版技术支持

(按姓氏笔画排名)

项目团队:王睿 白立华 曲生伟 蔡巍

特别提示

教学实践表明,有效地利用数字化教学资源,对于学生学习能力以及问题意识的培养乃至怀疑精神的塑造具有重要意义。

通过对数字化教学资源的选取与利用,学生的学习从以教师主讲的单向指导的模式而成为一次建设性、发现性的学习,从被动学习而成为主动学习,由教师传播知识而到学生自己重新创造知识。这无疑是锻炼和提高学生的信息素养的大好机会,也是检验其学习能力、学习收获的最佳方式和途径之一。

本系列教材在相关编写人员的配合下,将逐步配备基本数字教学资源,其主要内容包括:

课程教学指导文件

- (1)课程教学大纲;
- (2)课程理论与实践教学时数;
- (3)课程教学日历:授课内容、授课时间、作业布置;
- (4)课程教学讲义、PowerPoint 电子教案。

课程教学延伸学习资源

- (1)课程教学参考案例集:计算例题、设计例题、工程实例等;
- (2)课程教学参考图片集:原理图、外观图、设计图等;
- (3)课程教学试题库:思考题、练习题、模拟试卷及参考解答;
- (4)课程实践教学(实习、实验、试验)指导文件;
- (5)课程设计(大作业)教学指导文件,以及典型设计范例;
- (6)专业培养方向毕业设计教学指导文件,以及典型设计范例;
- (7)相关参考文献:产业政策、技术标准、专利文献、学术论文、研究报告等。

 本书基本数字教学资源及读者信息反馈表请登录www.stmpress.cn下载,欢迎您对本书提出宝贵意见。

丛书序

土木工程涉及国家的基础设施建设,投入大,带动的行业多。改革开放后,我国国民经济持续稳定增长,其中土建行业的贡献率达到1/3。随着城市化的发展,这一趋势还将继续呈现增长势头。土木工程行业的发展,极大地推动了土木工程专业教育的发展。目前,我国有500余所大学开设土木工程专业,在校生达40余万人。

2010年6月,中国工程院和教育部牵头,联合有关部门和行业协(学)会,启动实施“卓越工程师教育培养计划”,以促进我国高等工程教育的改革。其中,“高等学校土木工程专业卓越工程师教育培养计划”由住房和城乡建设部与教育部组织实施。

2011年9月,住房和城乡建设部人事司和高等学校土建学科教学指导委员会颁布《高等学校土木工程本科指导性专业规范》,对土木工程专业的学科基础、培养目标、培养规格、教学内容、课程体系及教学基本条件等提出了指导性要求。

在上述背景下,为满足国家建设对土木工程卓越人才的迫切需求,有效推动各高校土木工程专业卓越工程师教育培养计划的实施,促进高等学校土木工程专业教育改革,2013年住房和城乡建设部高等学校土木工程学科专业指导委员会启动了“高等教育教学改革土木工程专业卓越计划专项”,支持并资助有关高校结合当前土木工程专业高等教育的实际,围绕卓越人才培养目标及模式、实践教学环节、校企合作、课程建设、教学资源建设、师资培养等专业建设中的重点、亟待解决的问题开展研究,以对土木工程专业教育起到引导和示范作用。

为配合土木工程专业实施卓越工程师教育培养计划的教学改革及教学资源建设,由武汉大学发起,联合国内部分土木工程教育专家和企业工程专家,启动了“高等学校土木工程专业卓越工程师教育培养计划系列规划教材”建设项目。该系列教材贯彻落实《高等学校土木工程本科指导性专业规范》《卓越工程师教育培养计划通用标准》和《土木工程卓越工程师教育培养计划专业标准》,力图以工程实际为背景,以工程技术为主线,着力提升学生的工程素养,培养学生的工程实践能力和工程创新能力。该系列教材的编写人员,大多主持或参加了住房和城乡建设部高等学校土木工程学科专业指导委员会的“土木工程专业卓越计划专项”教改项目,因此该系列教材也是“土木工程专业卓越计划专项”的教改成果。

土木工程专业卓越工程师教育培养计划的实施,需要校企合作,期望土木工程专业教育专家与工程专家一道,共同为土木工程专业卓越工程师的培养作出贡献!

是为序。



2014年3月于同济大学四平路校区

前 言

本书是根据教育部审定的《结构力学课程教学基本要求(A类)》,并参照中华人民共和国住房和城乡建设部高等学校土建学科教学指导委员会2011年制定的《高等学校土木工程本科指导性专业规范》,在充分考虑卓越工程师教育的特点并吸收了近20年来湖南大学土木工程专业及结构力学课程改革成果的基础上编写的。

结构力学是土木工程专业必修的一门主要的专业基础课,在基础课和专业课之间起着承上启下的作用。在本书编写过程中,编者作了以下考虑:

(1)由于结构力学计算机化的进程日新月异,以及在计算机化的形势下结构概念设计能力的培养日益重要,因此本书除介绍经典的结构力学基本理论与基本方法外,还补充了结构力学概念部分与结构力学计算部分的内容,以期适应新世纪、新形势的新要求。

(2)将能力培养的要求贯穿在本书的各个章节,并且各有侧重。平面体系的几何组成分析、针对具体结构选取计算简图,由刚度分布判断结构的内力图形状以及平面杆件结构变形曲线的绘制等内容,主要以培养学生的分析能力为目的。对各种平面杆件结构进行计算、对计算结果的正确性进行校核及使用结构计算软件等内容,主要培养学生的计算能力。章后配有独立思考和习题,对一些经典问题采用多种解决方案、选择不同计算方法,以培养学生的创新能力。各章前均有课前导读,各章尾均有知识归纳,各章还有一些加深和拓展性的内容,这些内容有利于学生自学,更重要的是可以培养学生的自学能力。

(3)在继承这门课程传统内容的同时,进一步完善了现有结构力学在一些知识点上的不完整性、在一些经典问题计算认识上的不足,在更加广义化“手算”的基础上更新了现有结构力学的相关章节,力图在课程体系、课程内容、讲授论述等方面有新的创意。

本书由湖南大学汪梦甫主编,其他参编老师也都是湖南大学的优秀老师。具体编写分工如下:

汪梦甫——第1章,第4.3节,第7.2~7.6节,第7.8~7.9节,第8.1~8.4节,第9.6节,第10章,第12~13章;

罗建辉——第11章;

刘兴彦——第8.5~8.7节,第9.1~9.4节;

周芬——第6章,第7.1节,第7.7节;

蔡锋——第4.1~4.2节,第4.4节,第9.5节,第9.7节;

黄湘湘——第2~3章,第5章;

徐亚飞——第14章。

全书由汪梦甫统稿并定稿。武汉大学曾又林担任本书主审,主审提出了很多建设性意见,在此深表感谢。

在编写本书时,编者借鉴和参考了相关书籍,谨此对相关作者表示诚挚的感谢。由于编写时间仓促及编者水平有限,本书的错误和不足之处在所难免,热忱欢迎广大读者批评指正。

编 者

2015年4月

目 录

1 绪论	(1)	知识归纳	(50)
1.1 结构力学的研究对象和任务	(2)	独立思考	(50)
1.2 结构的计算简图	(5)	习题	(50)
1.2.1 确定计算简图的原则	(5)		
1.2.2 平面杆件结构的简化	(5)		
1.2.3 结构计算简图示例	(8)		
1.3 平面杆件结构分类	(10)	4 实体三铰拱	(55)
1.4 荷载分类	(11)	4.1 概述	(56)
知识归纳	(11)	4.2 实体三铰拱的数解法	(57)
独立思考	(12)	4.2.1 支座反力的计算公式	(57)
		4.2.2 内力的计算公式	(58)
		4.3 实体三铰拱的压力线	(61)
		4.4 实体三铰拱的合理拱轴线	(63)
2 平面体系的几何组成分析	(13)	知识归纳	(66)
2.1 概述	(14)	独立思考	(66)
2.2 平面体系的自由度和约束	(14)	习题	(67)
2.2.1 自由度	(14)		
2.2.2 约束	(15)	5 静定平面桁架	(68)
2.2.3 计算自由度	(15)	5.1 概述	(69)
2.3 平面几何不变体系的组成规则	(17)	5.2 结点法	(71)
2.4 平面体系几何组成分析方法与举例	(20)	5.3 截面法	(74)
2.5 平面体系的几何组成与静力特性的 关系	(22)	5.4 结点法和截面法的联合应用	(76)
知识归纳	(23)	5.5 对称桁架的计算	(78)
独立思考	(23)	5.6 各类平面梁式桁架比较	(79)
习题	(24)	5.7 组合结构的计算	(80)
		5.8 静定结构的静力特性	(82)
3 静定梁和静定平面刚架	(27)	知识归纳	(84)
3.1 单跨静定梁计算	(28)	独立思考	(84)
3.1.1 内力和符号规定	(28)	习题	(84)
3.1.2 用截面法求指定截面的内力	(28)		
3.1.3 内力图	(29)	6 虚功原理和静定结构的位移计算	(88)
3.1.4 单跨斜梁	(34)	6.1 概述	(89)
3.2 多跨静定梁计算	(36)	6.1.1 杆件结构的位移	(89)
3.2.1 多跨静定梁的几何组成特性	(36)	6.1.2 结构产生位移的外界因素	(89)
3.2.2 多跨静定梁的传力关系和计算 步骤	(36)	6.1.3 计算位移的目的	(90)
3.3 简单静定平面刚架计算	(39)	6.1.4 线弹性体系和非线性变形体系	(90)
3.4 三铰刚架计算	(45)	6.2 线性变形体系的实功及变形位能	(91)
3.5 主从静定平面刚架计算	(48)	6.2.1 外力实功	(91)
		6.2.2 变形位能	(92)
		6.2.3 外力实功与变形位能	(94)

6.3 刚体体系的虚功方程及其应用	(95)	7.6.1 平衡条件校核	(143)
6.3.1 虚功的概念	(95)	7.6.2 位移条件校核	(144)
6.3.2 刚体体系的虚功原理	(96)	7.7 对称性的利用	(145)
6.3.3 虚功方程的两种应用	(96)	7.7.1 对称结构在对称荷载作用下的特点	(146)
6.4 平面杆件变形体系的虚功原理	(99)	7.7.2 对称结构在反对称荷载作用下的特点	(148)
6.4.1 变形体系的虚功原理	(99)	7.7.3 荷载分组	(149)
6.4.2 变形体系的虚功原理和虚单位荷载法	(100)	7.7.4 半刚架法	(150)
6.5 结构位移计算的一般公式	(101)	7.8 单跨超静定梁在外因作用下的杆端力计算	(153)
6.6 静定结构在荷载作用下的位移计算	(103)	7.8.1 由杆端位移引起的杆端力	(154)
6.7 图形相乘法	(106)	7.8.2 由荷载引起的杆端力	(155)
6.8 静定结构由温度变化及制造误差引起的位移计算	(110)	7.8.3 等截面单跨超静定梁的转角位移方程	(156)
6.9 静定结构由支座位移引起的位移计算	(112)	7.8.4 单跨超静定梁的形常数和载常数	(156)
6.10 线性变形体系的互等定理	(113)	7.9 超静定结构的特性	(159)
6.10.1 功的互等定理	(113)	知识归纳	(159)
6.10.2 位移互等定理	(114)	独立思考	(160)
6.10.3 反力互等定理	(114)	习题	(161)
6.10.4 反力与位移互等定理	(115)	8 位移法和力矩分配法	(165)
知识归纳	(116)	8.1 位移法的基本概念	(166)
独立思考	(117)	8.1.1 关于位移法的简例	(166)
习题	(118)	8.1.2 位移法计算刚架的基本思路	(167)
7 力法	(120)	8.2 无侧移刚架的计算	(168)
7.1 超静定结构的概念和超静定次数的确定	(121)	8.3 有侧移刚架的计算	(171)
7.2 力法原理与力法典型方程	(123)	8.3.1 基本未知量的选取	(172)
7.3 荷载作用下各类超静定结构的计算	(128)	8.3.2 基本方程的建立	(173)
7.3.1 超静定刚架	(128)	8.4 位移法基本体系与典型方程	(181)
7.3.2 铰接排架	(129)	8.5 力矩分配法的基本概念	(187)
7.3.3 超静定桁架	(131)	8.5.1 转动刚度 S	(187)
7.3.4 超静定组合结构	(132)	8.5.2 分配系数 μ	(188)
7.3.5 超静定拱	(134)	8.5.3 传递系数 C	(189)
7.4 支座位移及温度改变时超静定结构计算	(137)	8.6 用力矩分配法计算连续梁和无结点线位移刚架	(193)
7.4.1 温度改变	(137)	8.7 超静定结构的受力和变形特点	(197)
7.4.2 支座位移	(139)	8.7.1 超静定结构的特性	(197)
7.5 超静定结构的位移计算	(140)	8.7.2 计算超静定结构的基本方法是力法和位移法	(199)
7.5.1 超静定结构在荷载作用下的位移计算	(140)	知识归纳	(200)
7.5.2 超静定结构在温度改变和支座位移作用下的位移计算	(142)	独立思考	(200)
7.6 超静定结构最终内力图的校核	(143)	习题	(200)

9 影响线和内力包络图	(204)	11.2 用静力法确定等截面压杆的临界荷载	(277)
9.1 影响线的概念	(205)	11.3 用静力法确定变截面压杆的临界荷载	(279)
9.2 用静力法作静定梁影响线	(205)	11.4 等截面直杆稳定	(282)
9.2.1 支座反力影响线	(206)	11.4.1 刚性支承上等截面直杆的稳定	(282)
9.2.2 弯矩影响线	(206)	11.4.2 具有弹性支承的等截面直杆的稳定	(282)
9.2.3 剪力影响线	(207)	11.5 偏心受压直杆稳定	(285)
9.3 用机动法作静定梁影响线	(208)	11.6 刚架稳定	(287)
9.4 利用影响线求影响量	(210)	11.6.1 考虑轴向力效应的转角位移方程	(287)
9.5 最不利荷载位置的确定	(212)	11.6.2 按位移法组成稳定方程	(289)
9.5.1 可动均布活荷载的最不利位置	(212)	知识归纳	(292)
9.5.2 移动行列荷载的最不利位置	(212)	独立思考	(293)
9.6 超静定梁影响线的概念	(216)	习题	(293)
9.6.1 静力法	(216)	12 结构动力学	(295)
9.6.2 机动法	(217)	12.1 概述	(296)
9.7 简支梁和连续梁的内力包络图	(220)	12.1.1 动力学的特点	(296)
9.7.1 简支梁内力包络图	(220)	12.1.2 动力学的任务和内容	(296)
9.7.2 连续梁内力包络图	(221)	12.1.3 动力荷载的分类	(297)
知识归纳	(223)	12.2 结构动力分析中体系的自由度	(298)
独立思考	(224)	12.2.1 动力分析中体系的自由度	(298)
习题	(224)	12.2.2 体系自由度的简化	(298)
10 矩阵位移法	(226)	12.2.3 体系自由度的确定	(299)
10.1 概述	(227)	12.3 单自由度体系的自由振动	(300)
10.2 单元刚度矩阵	(227)	12.3.1 运动微分方程的建立	(300)
10.2.1 单元的划分	(227)	12.3.2 自由振动微分方程的建立	(301)
10.2.2 单元杆端力和杆端位移的表示方法	(228)	12.3.3 结构的自振周期和频率	(301)
10.2.3 单元刚度矩阵	(228)	12.3.4 简谐振动的特性	(303)
10.3 单元刚度矩阵的坐标变换	(232)	12.4 单自由度体系的受迫振动	(304)
10.4 连续梁的结构刚度矩阵	(236)	12.4.1 简谐荷载	(305)
10.5 忽略轴向变形时矩形刚架的结构刚度矩阵	(241)	12.4.2 冲击荷载	(307)
10.6 用先处理法计算一般平面杆件结构	(249)	12.5 考虑阻尼影响的单自由度体系的振动	(310)
10.7 等效结点荷载	(261)	12.5.1 有阻尼的自由振动	(310)
10.8 矩阵位移法的后处理法	(264)	12.5.2 一般动力荷载下结构的动力反应	(313)
知识归纳	(271)	12.5.3 简谐荷载作用下结构的动力反应和动力性能	(313)
独立思考	(271)	12.6 两个自由度体系的自由振动	(315)
习题	(272)	12.6.1 运动方程的建立	(316)
11 结构弹性稳定计算	(274)	12.6.2 频率方程和频率	(317)
11.1 概述	(275)	12.6.3 主振型	(317)
11.1.1 分支点失稳	(275)		
11.1.2 极值点失稳	(276)		

12.6.4 运动方程的一般解	(318)	性能的影响	(349)
12.7 两个自由度体系在简谐荷载下的 受迫振动	(320)	13.3 杆件结构的变形形式	(350)
12.8 一般多自由度体系的自由振动 ...	(323)	13.3.1 杆件结构变形的基本规律 ...	(350)
12.8.1 柔度法	(323)	13.3.2 杆件结构弯曲变形曲线的 计算	(352)
12.8.2 刚度法	(326)	13.3.3 一些典型超静定结构变形曲线 示意图	(352)
12.8.3 振型的正交性	(329)	13.4 广义单元和子结构的应用	(353)
12.8.4 运动方程的一般解	(330)	13.4.1 广义单元及其刚度矩阵	(353)
12.9 振型分解法	(330)	13.4.2 子结构的应用	(354)
12.9.1 广义坐标的概念	(330)	知识归纳	(356)
12.9.2 按振型分解法计算多自由度 体系的受迫振动(不考虑阻尼 影响)	(331)	独立思考	(357)
12.9.3 按振型分解法计算有阻尼受迫 振动	(333)	习题	(357)
知识归纳	(338)	14 结构力学问题的计算机求解	(358)
独立思考	(339)	14.1 SAP2000 软件简介	(359)
习题	(339)	14.1.1 SAP2000 简介	(359)
13 结构力学总论	(343)	14.1.2 SAP2000 基本操作过程	(359)
13.1 几种常见结构体系的计算简图 ...	(344)	14.2 静定结构的内力图与变形曲线 ...	(360)
13.1.1 矩形板及其简化	(344)	14.2.1 静定梁的内力图与变形曲线 ...	(360)
13.1.2 钢筋混凝土楼盖体系的荷载 传递方式及其简化	(345)	14.2.2 静定桁架的内力图与变形 曲线	(364)
13.1.3 规则多高层建筑结构的平面 结构计算简图	(346)	14.2.3 三铰拱的内力图与变形曲线 ...	(365)
13.2 刚度分布对结构力学性能的影响 ...	(347)	14.3 超静定结构的内力图与变形 曲线	(366)
13.2.1 转动刚度分布对无侧移结构 力学性能的影响	(347)	14.4 结构振型曲线	(370)
13.2.2 侧向刚度分布对侧移结构力学 性能的影响	(348)	14.5 结构弹性稳定荷载与屈曲模式 ...	(373)
13.2.3 刚度分布对一般结构力学		知识归纳	(375)
		独立思考	(375)
		习题	(375)
		参考文献	(377)

绪 论

课前导读

▽ 内容提要

本章介绍了结构力学的研究对象和任务，平面和空间结构，支座与结点，结构的计算简图，平面杆件结构的分类以及荷载的分类等。

▽ 能力要求

通过本章的学习，学生应对结构力学这门课程的学习目的和内容（研究什么问题——结构力学的研究对象，解决什么问题——结构力学的基本任务）有一个总体的了解；同时，应对结构计算时采用的力学模型，即结构计算简图的重要性、选取的原则和方法有初步的认识。

1.1 结构力学的研究对象和任务 >>>

在自然界中,由某种材料按照一定的方式组成并能承受荷载作用的物体称为结构,如机械结构、航天结构、土木工程结构等。土木工程结构是由土木工程材料按照几何组不变性构成,能承受荷载作用,并将其所承受的荷载传递到地基的构筑物。

按照组成方式的不同,将土木工程结构(以下简称结构)细分为以下五种类型。

(1) 杆件结构

杆件的几何特征是条形的,横截面高、宽两个方向的尺寸要比杆长小很多。杆件可分为直杆与曲杆两种类型,如图 1-1 所示。



图 1-1

(a) 直杆; (b) 曲杆

由杆件按照一定的方式连接组合而成的体系,称为杆件体系或杆件结构,如钢网架、房屋建筑框架、大跨度钢桁架桥、工业厂房以及电视塔等高耸建筑物。如果组成结构的所有各杆件的轴线都位于某一平面内,并且荷载也作用于此同一平面,则这种结构称为平面杆件结构;否则,便称为空间杆件结构。图 1-2(a)为单层厂房的空间杆件结构图,图 1-2(b)为其中一个横向承重排架,即平面杆件结构图。

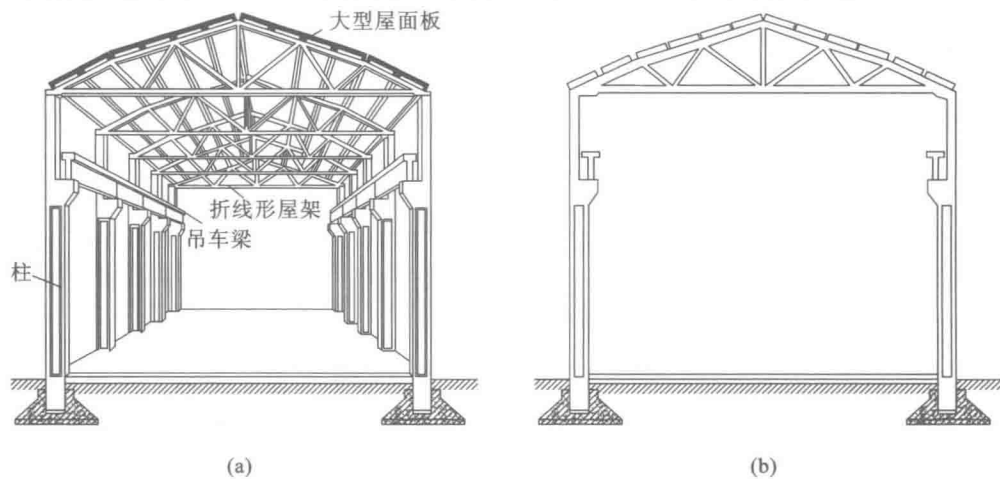


图 1-2

(a) 空间杆件结构; (b) 平面杆件结构

(2) 板壳结构

平板构件的几何特征是平面形的,厚度要比长、宽两个方向的尺寸小得多;壳体构件的几何特征是曲面形的,其厚度也比长、宽两个方向的尺寸要小很多。如图 1-3 所示。

由平板构件组成的结构叫作平板结构。当平板构件的厚度比较小时则称为薄板结构,如一般工业与民用建筑中的钢筋混凝土楼板、屋面[图 1-4(a)],市政工程中的水池[图 1-4(b)]等;当平板构件的厚度比较大时则称为厚板结构,如超高层建筑中的转换楼板等。

由壳体构件组成的结构称为壳体结构。当壳体的厚度比较小时称为薄壳结构,如一些非居住标志性建筑(图 1-5)、核电站厂房安全外壳等;当壳体的厚度较大时,则称为厚壳结构。

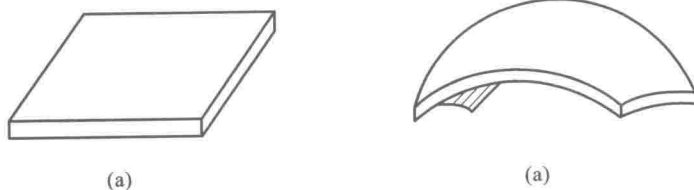


图 1-3

(a) 平板构件; (b) 壳体构件

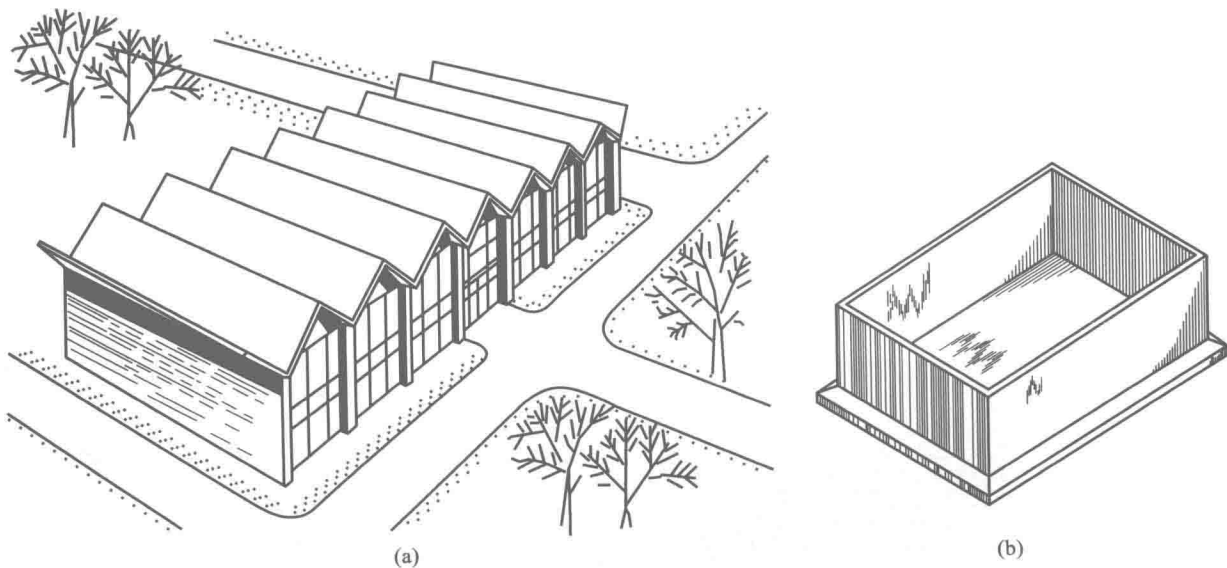


图 1-4



图 1-5

(3) 实体结构

实体构件的几何特征是其长、宽、厚三个尺寸大小相近[图 1-6(a)]。由实体构件组成的结构称为实体结构,如挡土墙[图 1-6(b)]、块式基础[图 1-6(c)]等。

(4) 悬索结构

悬索结构主要承重构件为悬挂于塔、柱上的缆索,缆索只受轴向拉力,可最充分地发挥钢材强度,且自重轻,可跨越很大的跨度,如悬索屋盖、斜拉桥(图 1-7)、悬索桥(图 1-8)等。

(5) 组合结构

由杆件、板壳、实体、缆索等构件混合组成的结构称为组合结构。严格地说,一般的土木工程结构都是组合结构。从悬索桥、斜拉桥等大跨度桥梁结构,到框剪结构、筒体结构等超高层建筑结构,都是组合结构。

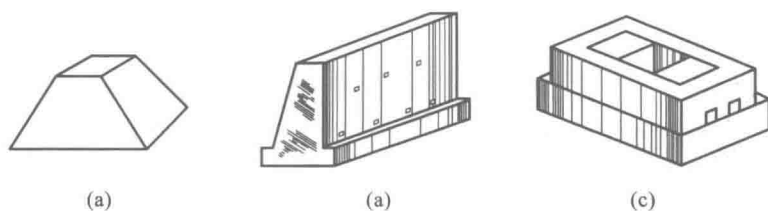


图 1-6

(a) 实体构件; (b) 挡土墙; (c) 块式基础

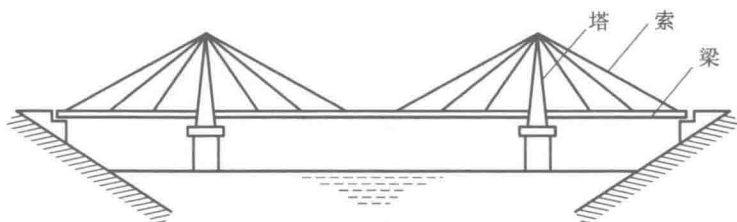


图 1-7

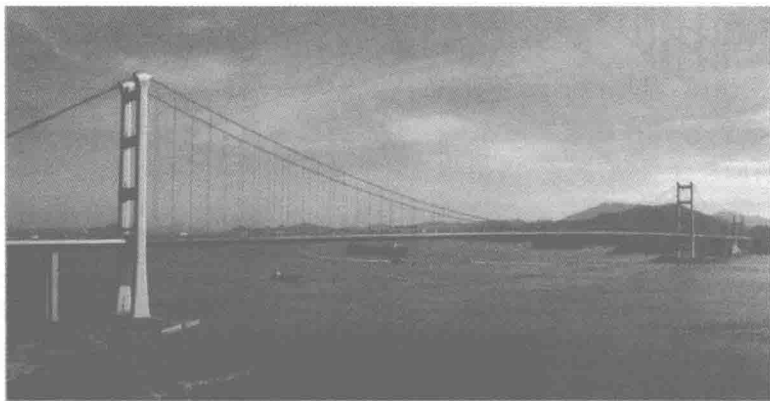


图 1-8

的典型范例。设计人员普遍认为,现代土木工程结构呈现出结构组合化的趋势。不仅如此,这种组合还呈现出建筑材料多样化的趋势,如钢-混凝土组合结构、砌体-混凝土组合结构等。

为了使结构既能安全、正常地工作,又符合经济指标的要求,需对其进行强度、刚度和稳定性的计算。这一任务是由材料力学、结构力学、弹性力学等几门课程共同来承担的。材料力学主要研究单个杆件的计算;结构力学则在此基础上着重研究由杆件所组成的结构计算;弹性力学将对杆件作更精确的分析,并将研究板、壳、块体等非杆状结构。当然,这种分工不是绝对的,各课程间常存在互相渗透的情况。

如上所述,结构力学的研究对象主要是杆件结构,其具体任务是:

- ① 研究结构的组成规律,使结构具有可靠的几何组成和合理的组成方式。
- ② 研究结构在静力荷载等因素作用下,结构内力和位移的计算原理与方法。
- ③ 研究结构在动力荷载作用下,结构的动力性态和动力响应的计算原理与方法。
- ④ 研究结构在静力荷载作用下,结构稳定性的计算原理与方法。
- ⑤ 研究结构在静力荷载作用下,结构极限承载能力的计算原理与方法。

结构力学是一门技术基础课程,它一方面要用到数学、理论力学和材料力学等课程的知识,另一方面又为学习建筑结构、桥梁、隧道等课程提供必要的基本理论和计算方法。

1.2 结构的计算简图 >>>

实际结构是多种多样的,要想周密地考虑每一种结构的全部特点及其各部分之间的相互作用,并以此来建立相应模型,进行结构分析和计算,是不可能的。因此,必须有意识地忽略一些次要因素,采用一种简化了的图形来代替实际结构,才能建立起相应的计算模型。这种用以代替实际结构的简化图形称为结构的计算简图。

1.2.1 确定计算简图的原则

计算简图的确定是力学计算的基础,具有极为重要的作用。确定计算简图要遵循下列原则:

- ① 略去次要因素,尽量使分析与计算过程简单;
- ② 尽可能反映实际结构的主要受力、变形特征。

计算简图的确定受下列因素的影响:

- ① 重要的工程结构。重要的结构应选取比较精确的计算简图。
- ② 设计的不同阶段。在初步设计阶段可采用比较粗糙的计算简图。
- ③ 所计算问题的性质。如进行动力计算和稳定计算时,可使用相对简单的计算简图。
- ④ 计算工具。简单的计算工具不可能完成过于复杂的结构计算。

为了保证实际工程结构的受力情况尽可能在计算简图中反映出来,设计时还应采取适当的构造措施,使所设计的结构体现出计算简图中的要求。

1.2.2 平面杆件结构的简化

实际结构一般都是空间结构,这样才能抵御来自各方面的荷载作用。但在多数情况下常可以忽略一些次要的空间约束作用,或是将这种空间约束作用转化到平面内,从而将实际结构分解为平面结构,使计算得以简化。平面杆件结构要求组成结构的所有杆件的轴线与作用荷载均位于同一平面内。平面杆件结构的简化主要包括杆件、结点、支座和荷载的简化。

(1) 杆件的简化

平面杆件结构中的杆件,由于其截面尺寸通常远比其长度小得多,虽然它们的截面形状、所用材料、承受的荷载以及两端的联结情况都可能不同,但变形的共同特点是横截面基本上仍能保持为平面。根据这一特点,在作出横截面保持为平截面的假定后,截面上的应力就可以根据截面上的内力来确定。因此,在计算简图中,结构的杆件就可抽象地用其轴线来表示,杆件的长度则按轴线结点间的距离计取。

(2) 结点的简化

对于由杆件相互联结而成的结构,杆件之间的联结区,用位于各杆件轴线交点处的结点表示。由不同材料制作的平面杆件结构,在杆件的联结方式上也各有不同,形式多样。根据它们的受力、变形特点,在计算简图中通常将其简化为铰结点、刚结点和组合结点三种。

① 铰结点。

铰结点的特征是各杆端不能相对移动但可相对转动,可以传递力但不能传递力矩。图 1-9(a)所示为一木屋架的端结点构造。此时,各杆端虽不能任意转动,但由于联结不可能很严密牢固,因而杆件之间有微小相对转动的可能。实际上结构在荷载作用下,其杆件间所发生的转动也相当小,所以该结点应视为铰结点[图 1-9(b)]。图 1-10(a)所示为一钢桁架的结点,该处虽然把各杆件焊接在结点板上使各杆件端不能相对转动,但在桁架中各杆主要是承受轴力作用,因此计算时仍常将这种结点简化为铰结点[图 1-10(b)]。由此所引起的误差在多数情况下允许的。

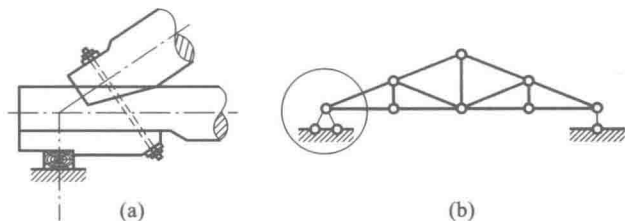


图 1-9

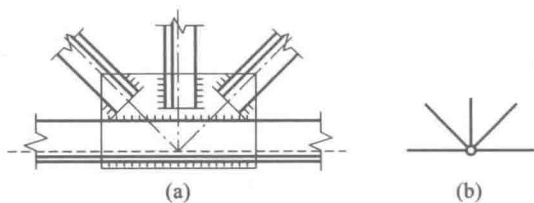


图 1-10

② 刚结点。

刚结点的特征是各杆端不能相对移动也不能相对转动,可以传递力也能传递力矩。图 1-11(a)所示为一钢筋混凝土刚架的结点,上、下柱和横梁在该处用混凝土浇筑成整体,钢筋的布置也使得各杆端能够抵抗弯矩作用,这种结点应视为刚结点。当结构发生变形时,刚结点处各杆端切线之间的夹角将保持不变[图 1-11(b)]。

③ 组合结点。

若干杆件汇交于同一结点,当其中某些杆件联结点视为刚结点,而另一些杆件联结点视为铰结点时,便形成组合结点。图 1-12(a)所示为工业建筑中采用的一种桁架式组合吊车梁,因 AB 是一根整体式钢筋混凝土梁,截面抗弯刚度较大,所以在计算简图 1-12(b)中, AB 取为连续杆,而竖杆 CD 和钢拉杆 AD 、 BD 与横梁 AB 相比,其截面抗弯刚度小很多,它们主要承受轴力,所以杆件 CD 、 AD 、 BD 的两端都可看作是铰结点,其中铰 C 连在横梁 AB 的下方。图 1-12 中 A 、 B 、 D 为铰结点, C 为组合结点。

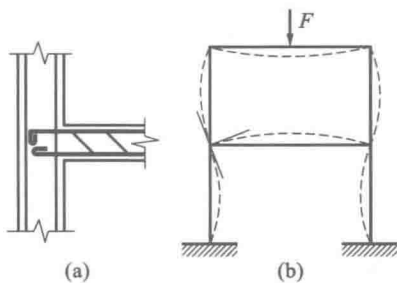


图 1-11

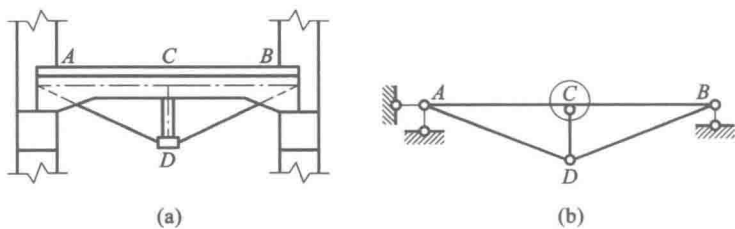


图 1-12

(3) 支座的简化

把结构与基础联系起来的装置称为支座。支座的构造形式很多,但在计算简图中,通常简化为活动铰支座、固定铰支座、固定支座、滑动支座和弹性支座五种。

① 活动铰支座。

桥梁中用的辊轴支座[图 1-13(a)、(b)]及摇轴支座[图 1-13(c)]即属于活动铰支座。它允许结构在支承处绕圆柱铰 A 转动和沿平行于支承平面 $m-n$ 的方向移动,但 A 点不能沿垂直于支承面的方向移动。当不考虑摩擦力时,这种支座的反力 F_A 将通过铰 A 中心并与支承平面 $m-n$ 垂直,即反力的作用点和方向都是确定的,只有大小是一个未知量。根据这种支座的位移和受力的特点,其在计算简图中可以用一根垂直于支承面的链杆 AB 来表示[图 1-13(d)]。此时,结构可绕铰 A 转动;链杆又可绕铰 B 转动,当转动量很微小时, A 点的移动方向可看成平行于支承面。

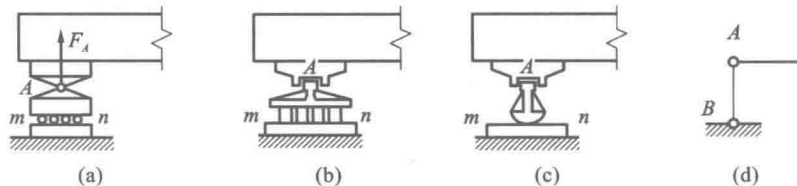


图 1-13