

国家级精品课程
国家级精品资源共享课程

材料力学 · 主教材

第5版

材料力学

西南交通大学材料力学教研室 修订
江晓禹 龚辉

CAILIAO
LIXUE



西南交通大学出版社

国家级精品课程 材料力学 · 主教材
国家级精品资源共享课程

材料力学



西南交通大学材料力学教研室 修订
江晓禹 龚辉

CAILIAO
LIXUE

西南交通大学出版社

· 成 都 ·

内 容 提 要

本教材根据高等学校材料力学课程教学基本要求(参考学时范围:48~96学时)编写,适用于高等学校土木工程、机械工程、力学等相关专业多、中、少学时数的材料力学课程教学,也可供相关工程技术人员参考。

本教材内容包括:绪论、轴向拉伸和压缩、扭转、弯曲内力、弯曲应力、梁的位移、简单超静定问题、应力状态分析、强度理论、弯曲问题的进一步研究与组合变形、压杆稳定、能量方法、动荷载、交变应力等十四章和附录。

图书在版编目(CIP)数据

材料力学 / 江晓禹, 龚辉修订. —5版. —成都:
西南交通大学出版社, 2017.1
国家级精品课程 国家级精品资源共享课程 材料力
学主教材
ISBN 978-7-5643-4667-6

I. ①材… II. ①江… ②龚… III. ①材料力学-高
等学校-教材 IV. ①TB301

中国版本图书馆CIP数据核字(2016)第085548号

国家级精品课程
国家级精品资源共享课程 材料力学·主教材

材料力学

(第5版)

江晓禹 龚辉 修订

*

责任编辑 张波

封面设计 墨创文化

西南交通大学出版社出版发行

四川省成都市二环路北一段111号西南交通大学创新大厦21楼

邮政编码:610031 发行部电话:028-87600564

<http://www.xnjdcbs.com>

四川森林印务有限责任公司印刷

*

成品尺寸:185 mm×260 mm 印张:23.75

字数:595千

2017年1月第5版 2017年1月第12次印刷

ISBN 978-7-5643-4667-6

定价:48.00元

图书如有印装质量问题 本社负责退换
版权所有 盗版必究 举报电话:028-87600562

第五版前言

本教材是在西南交通大学出版社 2009 年出版的《材料力学》(第四版)基础上改编而成的。适用于高等学校土木工程、机械工程、材料工程、工程力学等相关专业的教学,也可供相关工程技术人员参考。

本次修订,总结了西南交通大学材料力学国家级精品课程和国家级精品资源共享课程等的教学实践与改革思想,主要进行了如下修订:

- 全书图形的规范和重绘;
- 增补了单位力法的超静定问题求解,使得单位力法可以作为一个完整的内容进行选学;
- 增补了材料力学实验中的问题及分析,作为附录 IV;
- 将构件连接的实用计算专题移到附录 III;

此外,还对一些内容进行了完善。通过修订,形成了材料力学基础部分内容(第一章至第六章、附录)和提高专题(第七章至第十四章)两个部分。根据目前教学安排,我们提出如下一些教学建议,供教师和读者参考。

(1) 48 学时,建议选基础部分(第一章至第六章、附录 I),另选提高专题的简单超静定(第七章)和压杆稳定(第十一章)。可使少学时的读者能对材料力学的强度、刚度、稳定性这类基础问题有较为充分的了解。

(2) 60~80 学时,建议选基础部分(第一章至第六章、附录),另选提高专题的第七章至第十二章。同时建议第十二章的能量方法选学单位力法或卡氏第二定理的其中之一。另外,动荷载和交变应力(第十三、十四章)可进行简单了解。这样,可使中等学时的读者较全面和深入地了解材料力学的主要内容。

(3) 96 学时,建议学习本教材的全部内容。

(4) 本教材带 * 号内容,可根据具体教学要求进行取舍。

本教材配套实验指导书可选:王绍铭等编写的《材料力学实验教程》,西南交通大学出版社,2008 年。

限于编者的水平,本教材中的疏漏和不妥之处,恳请读者指正。

编者

2016 年于成都

第四版前言

本教材是在李庆华教授主编《材料力学》(第三版)的基础上改编而成。本教材反映了高等学校基础力学课程指导委员会对材料力学课程多层次教学的要求,适用于高等学校土木工程、机械工程、力学等相关专业不同学时数的材料力学课程教学,也可供相关工程技术人员参考。

本教材继承了本教研组老一辈专家——孙训方、李庆华、金心全、奚绍中、李志君、许留旺、贺百玲、高庆、郑世瀛等的教学思想,总结了西南交通大学材料力学国家精品课程教研组的的教学实践,结合现代材料力学多层次教学的要求,本着节约学时数、精练教学内容的目的,形成了本教材的材料力学基本教学内容(第一章至第七章)和提高专题(第八章至第十五章)两部分。基本教学内容部分适合于相关专业的学生充分了解材料力学的基本概念和基本方法,其中不再包含斜截面应力、应变能、超静定问题、弯曲中心等较难理解的内容。同时将这些问题编入相应的提高专题部分,并确保提高专题具有专题讲解的功能,如第十二章压杆稳定,可在无需讲解纵弯曲的前提下进行讲解和学习。其他专题如能量方法和简单超静定问题等内容单独成章,既可提高教学效率,也方便教师根据需要加以选用。

针对不同的学时数要求,也根据本教研组的教学经验总结,我们提出一些建议,希望对使用本教材的教师和读者有所帮助。

(1)48学时类少学时的学习,可选择本教材的基本教学内容(第一章至第七章),另选提高专题第八章简单超静定问题和第十二章压杆稳定。可使学习少学时的读者对材料力学的强度、刚度和稳定性这类问题有基本了解。

(2)60~80学时类中学时的学习,可选择本教材的基本教学内容(第一章至第七章),提高专题可选第八章至第十三章的内容,使读者较全面地了解材料力学的主要内容。同时建议在第十三章能量方法中选讲卡氏定理或单位力法。

(3)80~100学时类多学时的学习,可选本教材全部内容。

(4)本教材带*号的内容可根据学时数进行取舍。

本教材的配套实验指导书可选:王绍铭等编写的《材料力学实验教程》,西南交通大学出版社,2008年。

限于编者的水平,本教材有疏漏和不妥之处,恳请读者指正。

编者

2009年于成都

第三版前言

本教材的第一版于1990年2月出版,第二版于1994年6月出版。第一版曾获西南地区大学出版社优秀图书奖。为了适应当前的教学要求,根据多年的教学实践和兄弟院校的意见,对第二版做了适当修订。修订后的第三版满足国家教委制订的“材料力学课程的基本要求”,可作为高等工业院校土建类和机械类各专业多学时的教材。

原书的特色是便于教师讲授和学生自学,本次修订保留了原书的体系和特色。主要做了以下工作:

(1) 第三版中的名词和术语,量和单位名称、符号及书写方式,均按国家标准做了全面修订。

(2) 根据本课程教学的基本要求,适当补充了一些例题和习题,对原书的习题做了适当精减,并给出了习题答案,以弥补原书没有习题答案之不足。

(3) 在压杆稳定一章中,增加了“临界应力经验公式及稳定安全因数”,删去了钢压杆极限荷载一节中的公式推导,保留了压溃理论的基本概念及钢压杆的稳定计算。

(4) 把原书第十三章“动应力”的名称改为“动荷载”,§13-2“构件作匀加速直线运动和匀速转动”改为“动静法的应用”,本章内容做了适当扩充。

(5) 对原书中带*号的选修内容做了如下改动:删去了以下各节的*号,把选修内容改为必修内容,其中有§2-11装配应力和温度应力;§3-10圆杆的极限扭矩;§13-4提高构件抗冲击能力的措施;§14-8提高构件疲劳强度的措施。删去了以下各节,其中有§6-5平面曲杆纯弯曲时的正应力;§9-4双剪应力屈服准则;§14-6非对称循环下构件的强度校核;§14-7弯扭组合交变下构件的强度计算等。

受李庆华教授的委托,第三版的修订工作由许留旺负责,李定海同志协助。限于修订者水平,修订后的教材恐有疏漏和不妥之处,恳请读者批评指正。

编者

2005年1月

第二版前言

本书是根据高等工业学校材料力学课程教学基本要求(参考学时范围:100~110学时)编写的,主要用作高等工业院校土建类及机械类各专业多学时材料力学课程的教材,亦可供工程技术人员参考。

本书共分十四章和附录,其中标有*号的部分为选修内容。有关材料力学实验另在《材料力学实验指导》中介绍。每章后均附有类型较多的习题,某些习题可供分析讨论课使用。书内所有插图的尺寸,凡未注明单位的均以毫米计。

参加编写工作的有:李庆华(主编,第一、六、九章和第十一章)、李志君(第二章和第十二章)、许留旺(第三、四章和第八章)、贺百玲(第五、七、十章和附录I)、金心全(第十三章和第十四章)。

本书第二版删去了原书第十一章中的“临界应力的经验公式”,增加了“钢压杆的极限承载力”,并对有关的例题和习题做了相应修改。

限于编者的水平,不妥之处在所难免,请读者指正。

编者

1994年6月

目 录

第一章 绪 论	1
§ 1-1 材料力学的任务	1
§ 1-2 变形固体的基本假设	2
§ 1-3 杆件变形的基本形式	3
第二章 轴向拉伸和压缩	5
§ 2-1 概 述	5
§ 2-2 拉(压)杆的内力	5
§ 2-3 横截面上的正应力	8
§ 2-4 拉(压)杆的变形和位移	11
§ 2-5 材料在拉伸、压缩时的力学性能	16
§ 2-6 应力集中	23
§ 2-7 强度计算	25
习 题	29
第三章 扭 转	34
§ 3-1 概 述	34
§ 3-2 外力偶矩计算 扭矩及扭矩图	34
§ 3-3 薄壁圆筒的扭转	36
§ 3-4 等直圆杆的扭转	39
§ 3-5 圆杆扭转时的强度条件和刚度条件	46
§ 3-6 矩形截面杆的扭转	52
* § 3-7 圆杆的极限扭矩	54
习 题	56
第四章 弯曲内力	59
§ 4-1 平面弯曲的概念	59
§ 4-2 梁的内力——剪力和弯矩	60
§ 4-3 剪力方程和弯矩方程 剪力图和弯矩图	63
§ 4-4 弯矩、剪力与荷载集度之间的关系及其应用	67
§ 4-5 平面刚架和曲杆的内力	72
习 题	74
第五章 弯曲应力	78
§ 5-1 纯弯曲时梁的正应力	78
§ 5-2 横力弯曲时梁的正应力及其强度条件 梁的合理截面	81
§ 5-3 梁的切应力及其强度条件	86

* § 5-4 梁的极限弯矩	100
习 题	103
第六章 梁的位移	108
§ 6-1 概 述	108
§ 6-2 梁的挠曲线近似微分方程及其积分	109
§ 6-3 用叠加法求梁的位移	114
§ 6-4 梁的刚度条件 提高梁刚度的措施	121
习 题	122
第七章 简单超静定问题	126
§ 7-1 概 述	126
§ 7-2 拉压超静定问题	127
* § 7-3 装配应力和温度应力	130
§ 7-4 扭转超静定问题	137
§ 7-5 简单超静定梁	139
习 题	144
第八章 应力状态分析	152
§ 8-1 一点处的应力状态	152
§ 8-2 平面应力状态分析	154
* § 8-3 三向应力状态的应力圆	165
§ 8-4 应力和应变间的关系	167
§ 8-5 平面应力状态下由测点处的线应变求应力	169
习 题	171
第九章 强度理论	177
§ 9-1 强度理论的概念	177
§ 9-2 四个常用的强度理论	178
* § 9-3 莫尔强度理论	182
§ 9-4 强度理论的应用	184
习 题	188
第十章 弯曲问题的进一步研究与组合变形	190
§ 10-1 概 述	190
§ 10-2 非对称截面梁的平面弯曲 弯曲中心	191
§ 10-3 斜弯曲	195
§ 10-4 拉伸(压缩)与弯曲 截面核心	200
§ 10-5 弯曲与扭转	205
* § 10-6 纵弯曲	210
习 题	211

第十一章 压杆稳定	220
§ 11-1 压杆稳定性的概念	220
§ 11-2 细长压杆临界力的欧拉公式	221
§ 11-3 欧拉公式的适用范围·经验公式及压杆的稳定条件	229
* § 11-4 钢压杆的极限承载力	235
习 题	241
第十二章 能量方法	245
§ 12-1 概 述	245
§ 12-2 杆内的应变能	245
§ 12-3 卡氏定理	256
§ 12-4 超静定问题	262
§ 12-5 单位力法	268
* § 12-6 功的互等定理	271
* § 12-7 虚功原理	272
习 题	276
第十三章 动 荷 载	282
§ 13-1 概 述	282
§ 13-2 动静法的应用	282
§ 13-3 构件受冲击时的近似计算	287
§ 13-4 提高构件抗冲击能力的措施	292
习 题	293
第十四章 交变应力	297
§ 14-1 交变应力的概念	297
§ 14-2 金属疲劳破坏的概念	299
§ 14-3 材料的疲劳极限及其测定	300
* § 14-4 影响构件疲劳极限的主要因素	301
* § 14-5 对称循环下构件的强度校核	305
§ 14-6 提高构件疲劳强度的措施	307
习 题	309
附录 I 截面的几何性质	311
§ I-1 截面的静面矩和形心位置	311
§ I-2 惯性矩、惯性积和惯性半径	314
§ I-3 平行移轴公式	317
§ I-4 转轴公式 主惯性轴和主惯性矩	319
习 题	323

附录Ⅱ 型钢规格表	327
附录Ⅲ 构件连接的实用计算	342
§Ⅲ-1 概 述	342
§Ⅲ-2 剪切、挤压的实用计算	343
习 题	348
附录Ⅳ 材料力学实验应注意的问题	351
习题答案	358

第七章 刚体运动学	371
§7-1 质点的运动	371
§7-1-1 直线运动	371
§7-1-2 曲线运动	371
§7-2 刚体的运动	371
§7-2-1 刚体的平动	371
§7-2-2 刚体的定轴转动	371
§7-2-3 刚体的平面运动	371
第八章 质点运动学	371
§8-1 质点的运动	371
§8-1-1 直线运动	371
§8-1-2 曲线运动	371
§8-2 刚体的运动	371
§8-2-1 刚体的平动	371
§8-2-2 刚体的定轴转动	371
§8-2-3 刚体的平面运动	371
第九章 质点运动学	371
§9-1 质点的运动	371
§9-1-1 直线运动	371
§9-1-2 曲线运动	371
§9-2 刚体的运动	371
§9-2-1 刚体的平动	371
§9-2-2 刚体的定轴转动	371
§9-2-3 刚体的平面运动	371
第十章 质点运动学	371
§10-1 质点的运动	371
§10-1-1 直线运动	371
§10-1-2 曲线运动	371
§10-2 刚体的运动	371
§10-2-1 刚体的平动	371
§10-2-2 刚体的定轴转动	371
§10-2-3 刚体的平面运动	371
第十一章 质点运动学	371
§11-1 质点的运动	371
§11-1-1 直线运动	371
§11-1-2 曲线运动	371
§11-2 刚体的运动	371
§11-2-1 刚体的平动	371
§11-2-2 刚体的定轴转动	371
§11-2-3 刚体的平面运动	371
第十二章 质点运动学	371
§12-1 质点的运动	371
§12-1-1 直线运动	371
§12-1-2 曲线运动	371
§12-2 刚体的运动	371
§12-2-1 刚体的平动	371
§12-2-2 刚体的定轴转动	371
§12-2-3 刚体的平面运动	371
第十三章 质点运动学	371
§13-1 质点的运动	371
§13-1-1 直线运动	371
§13-1-2 曲线运动	371
§13-2 刚体的运动	371
§13-2-1 刚体的平动	371
§13-2-2 刚体的定轴转动	371
§13-2-3 刚体的平面运动	371
第十四章 质点运动学	371
§14-1 质点的运动	371
§14-1-1 直线运动	371
§14-1-2 曲线运动	371
§14-2 刚体的运动	371
§14-2-1 刚体的平动	371
§14-2-2 刚体的定轴转动	371
§14-2-3 刚体的平面运动	371
第十五章 质点运动学	371
§15-1 质点的运动	371
§15-1-1 直线运动	371
§15-1-2 曲线运动	371
§15-2 刚体的运动	371
§15-2-1 刚体的平动	371
§15-2-2 刚体的定轴转动	371
§15-2-3 刚体的平面运动	371
第十六章 质点运动学	371
§16-1 质点的运动	371
§16-1-1 直线运动	371
§16-1-2 曲线运动	371
§16-2 刚体的运动	371
§16-2-1 刚体的平动	371
§16-2-2 刚体的定轴转动	371
§16-2-3 刚体的平面运动	371
第十七章 质点运动学	371
§17-1 质点的运动	371
§17-1-1 直线运动	371
§17-1-2 曲线运动	371
§17-2 刚体的运动	371
§17-2-1 刚体的平动	371
§17-2-2 刚体的定轴转动	371
§17-2-3 刚体的平面运动	371
第十八章 质点运动学	371
§18-1 质点的运动	371
§18-1-1 直线运动	371
§18-1-2 曲线运动	371
§18-2 刚体的运动	371
§18-2-1 刚体的平动	371
§18-2-2 刚体的定轴转动	371
§18-2-3 刚体的平面运动	371
第十九章 质点运动学	371
§19-1 质点的运动	371
§19-1-1 直线运动	371
§19-1-2 曲线运动	371
§19-2 刚体的运动	371
§19-2-1 刚体的平动	371
§19-2-2 刚体的定轴转动	371
§19-2-3 刚体的平面运动	371
第二十章 质点运动学	371
§20-1 质点的运动	371
§20-1-1 直线运动	371
§20-1-2 曲线运动	371
§20-2 刚体的运动	371
§20-2-1 刚体的平动	371
§20-2-2 刚体的定轴转动	371
§20-2-3 刚体的平面运动	371

第一章 绪 论

§ 1-1 材料力学的任务

随着社会的发展,各种类型的结构物和机械日益得到广泛应用和不断发展。组成各种结构物的元件和机械的零件,统称为**构件**。按其几何形状来划分,可把构件大致分为杆、板、壳和块体四种,如图 1-1 所示。对于长度远大于横向尺寸的构件称为**杆件**,它就是材料力学主要的研究对象。其中各横截面(与杆件轴线垂直的截面)的尺寸均相同的直杆,简称为**等直杆**,它是一种最基本的构件,也是材料力学研究的重点。

结构物和机械都要受到各种外力的作用,为了保证每个构件都能正常地工作,首先要求各构件在外力作用下不发生**断裂**,也不能产生显著的**塑性变形**(即撤除外力后不能恢复的变形)。例如,历史上曾多次发生钢轨断裂和车轴折断的事故,其后果是不言而喻的。有时构件虽未断裂,但如果产生了明显的塑性变形,这在工程上也认为已达到其使用极限。设想齿轮的齿由于产生了明显的塑性变形而失去了正常的齿

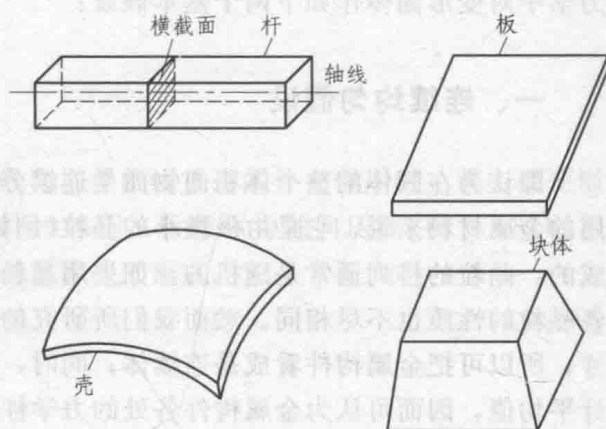


图 1-1

形,势必会影响齿轮间的正常啮合。凡构件发生断裂或产生显著的塑性变形,统称为**强度破坏**。因而要求构件在一定的外力作用下应具有足够的**强度**。其次,构件在外力作用下虽未产生塑性变形,但或多或少总要产生**弹性变形**(即撤除外力后能恢复的变形)。工程上对弹性变形也要限制在允许的范围以内,例如铁路桥梁在承受列车荷载时,如果弹性下垂或弹性侧移过大,就会影响列车的平稳运行。又如机床主轴在工作时若弹性变形过大,则会影响工件的加工精度。因此,要求构件在一定的外力作用下其弹性变形不超过规定的限度,也就是说,构件应具有足够的**刚度**。此外,有些构件在外力作用下,还可能出现不能保持其原有平衡形式的现象。例如,细长直杆受轴向压力作用,当压力增大到一定程度后,就会显著变弯。历史上的桁架桥由于受压弦杆被压弯而丧失承载能力,以致酿成严重后果的事例是不少的。按照直杆受压的力学模型,可把直杆被压弯的现象看做是压杆丧失了直线平衡形式的稳定性,简称为**失稳**。所以要求压杆在一定的压力作用下,能保持其直线的平衡形式,亦即要求压杆应具有足够的**稳定性**。

研究构件的强度、刚度和稳定性的问题,都要涉及所用材料的力学性能,而材料的力学

性能是要由实验来测定的。此外，实际问题往往比较复杂，在进行理论分析时难免要作某些简化，其准确性如何，有时需要通过实验来验证。甚至某些问题靠现有理论难以解决，必须用实验的方法来测定。因此，实验在材料力学中占有很重要的地位，有关实验的某些理论及方法将另在《材料力学实验指导》中介绍。

综上所述，材料力学是研究构件(主要是杆件)的强度、刚度和稳定性的学科，为将来合理地选择构件的材料、确定其截面尺寸和形状，提供必要的理论基础与计算方法以及实验技术。

§ 1-2 变形固体的基本假设

固体材料在外力作用下或多或少要发生变形，所以把它称为**变形固体**。在研究构件的强度、刚度和稳定性时，需要略去变形固体的次要性质，根据其主要性质作出某些假设，使之成为一种理想的力学模型。这样，可使问题得到简化并由此得出一般性的理论结果。在材料力学中对变形固体作如下两个基本假设：

一、连续均匀假设

即认为在固体的整个体积内物质是连续分布的，各处的力学性能是完全相同的。就拿常用的金属材料来说，它是由极微小的晶粒(例如每立方毫米的钢料中一般含有数百个晶粒)组成的，晶粒的排列通常是随机的。如果用晶粒大小的量级去衡量，晶粒之间可能存在空位，各晶粒的性质也不尽相同。然而我们所研究的构件或构件的某一部分，其尺寸远大于晶粒尺寸，所以可把金属构件看成是连续体；同时，金属材料的力学性能，是它所含晶粒性质的统计平均值，因而可认为金属构件各处的力学性能是均匀的。又如混凝土是由砂子、石块和水泥制成的，这三种材料的性质自然是不相同的，但只要混凝土构件足够大，并且搅拌均匀、捣固密实的话，也可采用这个假设。总之，在宏观研究中，我们把变形固体抽象为连续均匀的力学模型。这样，当研究构件内部的变形与受力等问题时，就可用坐标的连续函数来描述；同时，通过试件所测得的材料力学性能，便可用于构件内部的任何部位。

二、各向同性假设

沿各个方向的力学性能均相同的材料称为**各向同性材料**。对于常用的金属材料，就单个晶粒来说，其力学性能是有方向性的，但只要晶粒的排列是随机的，从统计学的观点看，材料在各个方向的力学性能就接近相同了。所以在宏观研究中，一般可将金属材料看成是各向同性的。再如大块的混凝土，若搅拌与捣固良好，也可以认为是各向同性的。

复合材料在各个方向的力学性能一般说来是不同的，它就属于**各向异性**的材料。纹理直而无节的木材，可以看成是单向同性的材料。

材料力学中所讨论的变形固体，主要是各向同性的材料。这样，只需通过简单的实验来测定材料的力学性能，便可用于构件任何部位的任一方位上。

大多数构件在外力作用下所产生的变形与构件尺寸相比都很小，属于小变形。因此，在研究构件的平衡与运动以及内部的变形和受力等问题时，一般都可按变形前的初始尺寸进行计算。如图 1-2 所示简单桁架，在节点处受外力 F 作用，两杆因受力而发生变形，致使桁架的几何形状及外力的作用点位置都要发生改变。然而在小变形的条件下，节点的位移 Δ_1 和 Δ_2 与桁架的尺寸相比都很小，所以在计算两杆的受力时，仍可采用桁架的初始几何形状与尺寸。这也可称为小变形假设。只有在研究压杆的稳定性等问题时，才需按杆件变形后的形状进行分析。

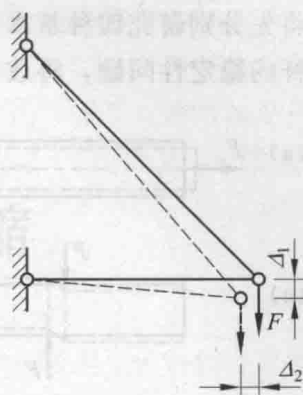


图 1-2

§ 1-3 杆件变形的基本形式

杆件所受的外力是各种各样的，因而杆件的变形一般也就具有较复杂的形式。但归纳起来，杆件的变形可分为下列四种基本形式：

一、轴向拉伸或轴向压缩

当直杆受一对大小相等、方向相反、作用线与杆件轴线重合的外力作用时，其主要变形是长度的伸长或缩短。前者称为轴向拉伸[图 1-3(a)]，后者称为轴向压缩[图 1-3(b)]。例如简单桁架中的各杆，它们的变形就属于这种基本变形形式。

二、剪 切

当直杆受一对大小相等、方向相反、作用线平行且相距很近的外力作用时，其主要变形是相邻截面沿外力作用方向发生相对错动[图 1-3(c)]。这种变形形式称为剪切。

三、扭 转

当直杆受一对大小相等、转向相反、作用面都与杆轴线垂直的力偶作用时，直杆的任意两个横截面将绕轴线发生相对转动[图 1-3(d)]。这种变形形式称为扭转。

四、弯 曲

当直杆受一对大小相等、转向相反、作用面与杆的纵向对称平面重合的力偶作用时，直杆的任意两个横截面将绕垂直于纵向对称面的轴作相对转动，杆的轴线由直线变为曲线[图 1-3(e)]。这种变形形式称为弯曲。

实际受力杆件的变形多数为上述几种基本变形形式的组合，这种情况称为组合变形。如图 1-4 所示的折杆，在外力 F 作用下，AB 段的变形就属于弯曲与轴向拉伸的组合。我们

第二章 轴向拉伸和压缩

§ 2-1 概 述

如 § 1-3 中所述,当直杆的两端受到一对大小相等、方向相反、作用线与轴线重合的外力作用时(图 2-1),杆件的主要变形是轴向(纵向)伸长或缩短。这类受力杆件简称为拉(压)杆,这样的外力称为轴向拉力或轴向压力。它们作用于杆端的形式一般较为复杂,这里是经简化后以集中力的形式给出。图 2-1 反映了这类杆件的几何特征和受力特征,称为拉(压)杆的受力简图或计算简图。

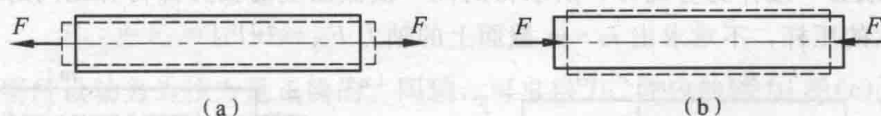


图 2-1

工程结构中的许多受力杆件,可以简化为拉(压)杆。图 2-2(a)所示的钢木组合屋架,如果把各杆连接处简化为理想的铰接,且不计各杆的自重,则屋架的计算简图为平面桁架。如图 2-2(b)所示,BC 杆为拉杆,AC 杆为压杆。

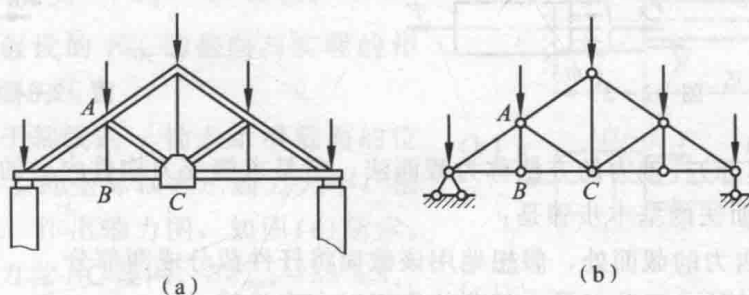


图 2-2

§ 2-2 拉(压)杆的内力

图 2-1(a)所示的拉杆,在外力 F 作用下保持平衡的同时,杆件要发生伸长变形,因而在杆件的任一截面之间存在着相互作用力,通常称为内力。这里所谈的内力是因外力作用而引起的,存在于受力体内部,是固体力学范围内的内力概念。

我们用截面法来求拉(压)杆任一横截面上的内力。为了求得图 2-3(a)所示拉杆任一横截面上的内力,可假想地用 $m-m$ 横截面将杆截分为左、右两部分。截开面处一部分对另一部分的作用,分别以内力 F_N 和 F'_N 代替。这是一对大小相等、指向相反的作用力与反作用力[图 2-3(b)、(c)]。由于杆件处于平衡状态,故截开后的每一部分也都应保持平衡。若取左段作为研究对象,则由该分离体的平衡条件可建立沿轴向的平衡方程,即

$$\sum F_x = 0, \quad F_N - F = 0$$

得到 $F_N = F$

若取右段作为分离体,同样可得

$$F'_N = F$$

内力 F_N 和 F'_N 的作用线必然沿着杆的轴线方向即与横截面垂直,通常称为轴力,它们实质上是横截面上分布内力的合力。由于 F_N 和 F'_N 是同一横截面上的内力,只是根据不同的分离体求得而已,今后将不再加以区分,均用 F_N 表示;且对轴力 F_N 的正、负号作如下规定:对应于伸长变形的轴力为正,即 F_N 的指向背离截面时为正,这样的轴力称为拉力;反之,与缩短变形对应的轴力为负,即 F_N 的指向对着截面时为负,此时的轴力称为压力。这样,无论取哪一段作为分离体,所求得的同一横截面上的轴力都将有相同的正、负号。如图 2-4 所示的压杆,不难求出 $m-m$ 截面上的轴力 $F_N = -F$ 。

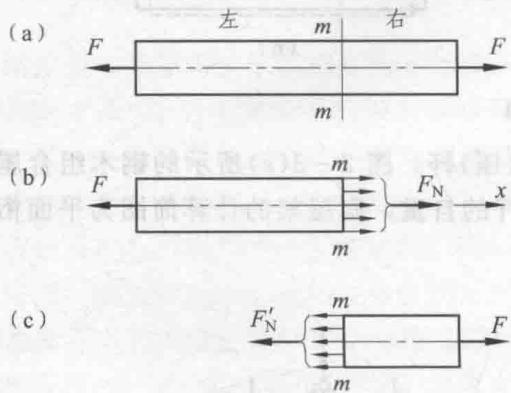


图 2-3

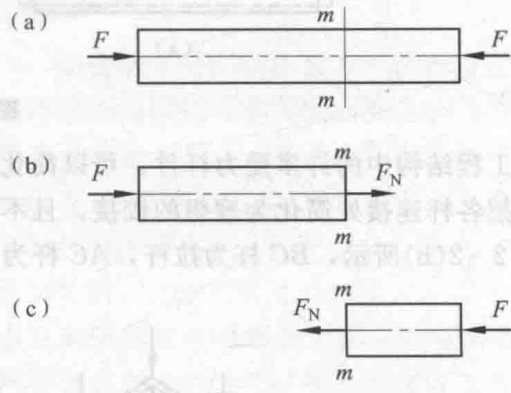


图 2-4

上述求解拉(压)杆轴力的方法称为截面法,它是求解受力构件内力的一般方法,今后还要经常使用。截面法的基本步骤是:

- (1) 在需求内力的截面处,假想地用该截面将杆件截分成两部分。
- (2) 截开面处的一部分对另一部分的作用以内力代替。
- (3) 选取任一部分作为研究对象,建立该分离体的平衡方程,解出内力。

如果杆件承受的轴向外力的数目多于两个时,在杆的不同区段的轴力一般是不同的。为了清楚地看到轴力沿杆长的变化规律,可以用图线的方式表示轴力的大小与横截面位置的关系。这样的图线称为轴力图。轴力图以平行于杆的轴线的坐标表示横截面的位置,以垂直于杆轴线的坐标表示轴力的大小,在给定的比例尺下,根据截面法求得的轴力数值,即可作出轴力图。

例 2-1 一等直杆受四个轴向外力作用,如图(a)所示。试作轴力图。

解 用截面法分别求各段杆的轴力。在 AB 段内用 $I-I$ 截面将杆截开,取左段杆为分离体,如图(b)所示,并设截开面上未知的轴力为正(拉力),建立平衡方程