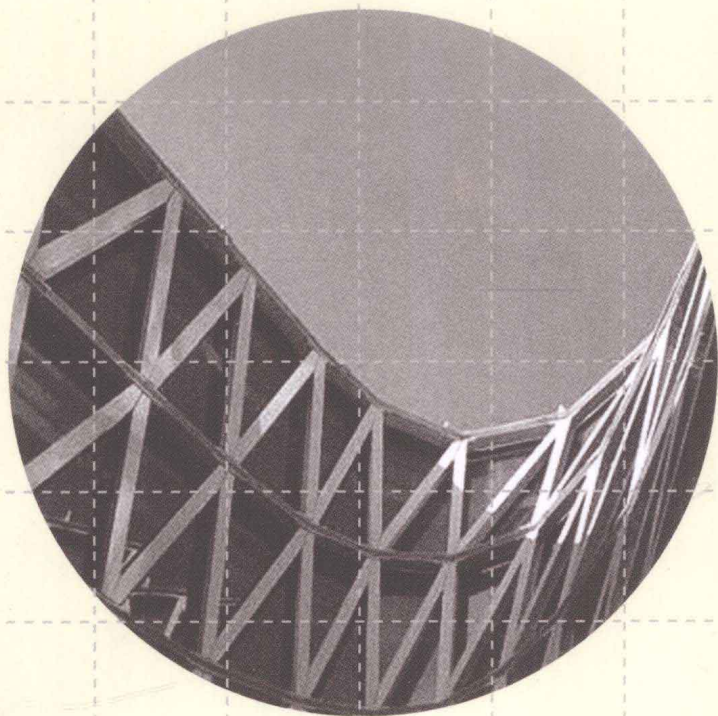




普通高等教育“十一五”国家级规划教材

Mechanics of Materials



材料力学 I

第5版

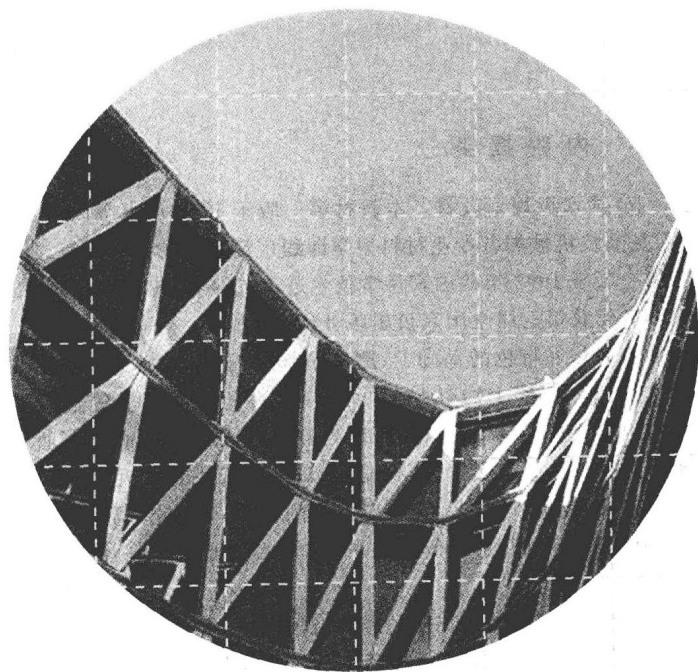
刘鸿文 主编



高等教育出版社
HIGHER EDUCATION PRESS



普通高等教育“十一五”国家级规划教材



材料力学 I

刘鸿文 林建兴 曹曼玲 编著
陈乃立 修订



高等教育出版社·北京
HIGHER EDUCATION PRESS BEIJING

图书在版编目(CIP)数据

材料力学 I / 刘鸿文主编. —5 版. —北京: 高等教育出版社, 2011. 1

ISBN 978-7-04-030895-2

I. ①材… II. ①刘… 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(2010)第 257986 号

策划编辑 黄 毅 责任编辑 单 蕾 封面设计 赵 阳 责任绘图 杜晓丹
版式设计 王艳红 责任校对 王 超 责任印制 韩 刚

出版发行 高等教育出版社
社 址 北京市西城区德外大街 4 号
邮政编码 100120

经 销 蓝色畅想图书发行有限公司
印 刷 高等教育出版社印刷厂

开 本 787×960 1/16
印 张 24
字 数 450 000

购书热线 010-58581118
咨询电话 400-810-0598
网 址 <http://www.hep.edu.cn>
<http://www.hep.com.cn>
网上订购 <http://www.landaco.com>
<http://www.landaco.com.cn>
畅想教育 <http://www.widedu.com>

版 次 1979 年 1 月第 1 版
2011 年 1 月第 5 版
印 次 2011 年 1 月第 1 次印刷
定 价 32.50 元

本书如有缺页、倒页、脱页等质量问题,请到所购图书销售部门联系调换。

版权所有 侵权必究

物料号 30895-00

第五版前言

第五版在保持第四版原有风格和特色的基础上,仍由《材料力学(Ⅰ)》和《材料力学(Ⅱ)》组成。材料力学课程的基本内容汇集在《材料力学(Ⅰ)》,加宽、加深的内容汇集在《材料力学(Ⅱ)》。对于加宽、加深的内容,各校可根据后续课程或专业需要列为必修或选修。

为了更好地适应教学需要,我们参考了教育部高等学校力学教学指导委员会力学基础课程教学指导分委员会最新制订的“材料力学课程教学基本要求(A类)”,研究了不少院校使用本教材的反馈意见,对教材进行了修订。主要有以下几点变化:(1)将“动载荷”和“交变应力”两章从《材料力学(Ⅰ)》移到《材料力学(Ⅱ)》;(2)删去了“用奇异函数求弯曲变形”和“有限差分法”两节内容;(3)为帮助学生深入理解基本概念和基本方法,在多数章末增加了思考题,并对习题做了部分修改;(4)对少量内容的叙述和全书文字表述进行了斟酌、修改。

第五版由本书主编刘鸿文教授委托浙江大学陈乃立教授修订,曹曼玲副教授和林建兴教授复核了全部改动后的习题答案。第五版书稿得到了大连理工大学郑芳怀教授认真、细致的审阅,提出了许多宝贵意见,谨致谢意。

恳请批评和指正。

编者

2010年6月

第四版前言

第四版把材料力学课程中的基本内容汇集为《材料力学(Ⅰ)》;把供选修用的加深内容汇集为《材料力学(Ⅱ)》。在要求较高学时宽裕的情况下,除基本内容外,还可选读部分加深内容。如对《材料力学(Ⅰ)》作适当节删,它也可适用于学时较紧、要求略低的课程。

这次改版,除对第三版作了局部改动外,基本上保留了第三版的内容和风格。趁改版的机会,还将以前几版沿用的字符改变为当前规定使用的符号。

这本教材虽已使用多年,并经多次修改,但限于编者的水平,疏漏之处恐仍难免,深望广大教师和读者提出批评指正。

编者

2003年3月

第三版前言

本书第二版出版以来已有九年。这期间国家教育委员会工科力学课程教学指导委员会制订了“材料力学课程教学基本要求”，并经国家教育委员会批准试行。它就是本书这次修订的依据。

出于有利于教学的愿望，本书修订时对内容作了一些调整，例如把弯曲中几个较深入的问题集中到第七章，以便根据情况选讲或节删。为使论述较为完整和严谨，对部分内容作了修改和补充，例如应力和应变的概念、能量方法、静不定结构等。考虑到本书第二版使用较广，修订后仍然保持了原来的体系和风格。鉴于学时偏紧，第三版注意了内容的精简。但为给教学留有余地，总的说教材内容仍略多于课程的基本要求。

受材料力学课程教学指导小组的委托，哈尔滨建筑工程学院干光瑜同志审阅了书稿，提出很多中肯的意见。使用过本书第二版的广大教师也陆续提出过修改建议。对此我们都非常珍视，谨此致谢。借此机会，还向参加过本书第一版编写工作的陈瀚、吴士艳、金志刚、胡逾、胡增强、倪德耀、龚育宁、宁俊、梁广基、徐雅宜、吕荣坤等同志，深表谢意。

参加第三版修订工作的是刘鸿文、林建兴、曹曼玲等同志。仍由刘鸿文担任主编。浙江大学教务处和材料力学教研室给予了支持。张礼明同志担任描图工作。限于编者的水平，修订后的教材恐仍有疏漏和欠妥之处，深望广大教师和读者批评指正。

编者

1991年5月

第二版前言

这本教材的第一版是浙江大学等九院校合编的《材料力学》。现在依据一九八〇年审订的120学时材料力学教学大纲(草案),作了修订。

修订后的教材,从第一章到第十四章和附录 I,包括了教学大纲中的基本部分。第十五章到第十八章是四个专题。专题和带有*号的内容,主要是大纲中列入的专题和大纲中本来就标注*号的部分。按照大纲要求,这些都不是必需讲授的内容,教师可以根据实际情况,决定取舍。当前有些院校给材料力学课安排的教学时数,有时不足大纲规定的120学时,这就要求教师在巩固基础,有利教学的原则下,对教学内容注意精选,妥善处理。至于教材的前后次序,更可按各自的教学经验作一些更动。例如能量法一章,就可先讲虚功原理,并以此为基础进行讲授。其他章节的次序同样也可作一些变化,不再一一列举。总之,我们恳切希望,这本教材的第二版能给教学带来一点方便,但不要束缚了教与学的灵活性。

应材料力学教材编审小组的邀请,重庆大学袁懋昶、上海交通大学金忠谋两同志审查了书稿。材料力学教材编审委员蔡强康同志进行了复审。材料力学教材编审小组组长张福范同志也对原稿作了审阅。他们都分别提出了不少修改意见,对本书的及时定稿起了很大作用。此外,使用本书第一版的广大教师,陆续提出过很多修改建议。在本书第一版出版后,国内又继续出版了多种材料力学教材,给了我们很好的借鉴。这些对修订工作都起了有益的作用。谨此一并致谢。

参加这次修订工作的是林建兴、曹曼玲、刘鸿文等三同志,仍由刘鸿文担任主编。浙江大学材料力学教研室和材料力学实验室的很多同志给予了支持。张礼明同志担任了描图工作。

限于编者的水平,修订后的教材恐难免还有疏漏和不妥之处。深望广大教师和读者继续提出批评和指正,使本书今后能不断得到改进。

编者

1982年7月

第一版前言

本书是根据一九七七年十一月教育部委托召开的高等学校工科力学教材会议讨论的机械类多学时材料力学教材编写大纲编写的。参加编写工作的同志有：西安交通大学陈瀚，陕西机械学院吴士艳，西北工业大学金志刚，华中工学院胡逾，南京工学院胡增强，镇江农机学院倪德耀，华东工程学院龚育宁，上海工业大学宁俊，浙江大学林建兴、曹曼玲、刘鸿文。由刘鸿文负责主编。此外，华中工学院梁广基、镇江农业机械学院徐雅宜、浙江大学吕荣坤等同志也参加了部分编写工作。

1978年9月在杭州为本书初稿召开了审稿会议。会议由上海交通大学金忠谋、夏有为，重庆大学袁懋昶、刘相臣等同志主持。参加会议的有哈尔滨工业大学、东北重型机械学院、清华大学、北京航空学院、天津大学、山东工学院、国防科学技术大学、中南矿冶学院等院校的同志。与会同志对初稿进行了认真的讨论，提出不少修改意见，对本书的定稿工作起了很大作用，谨此致谢。

按照机械类多学时材料力学教材编写大纲的要求，本书一至十五章和附录I为基本内容。十六至十八章和其他章节中标有*号的部分为选修内容。即使是基本内容，也不一定要全部讲授，教师可根据实际情况作一些必要的取舍。

编写本书时，我们在运用辩证唯物主义阐述材料力学基本规律，贯彻理论联系实际，反映科学技术的最新发展，删繁就简等方面，作过一些努力。但因时间仓促，并限于编者的政治和业务水平，难免还存在不少缺点和不妥之处，希望使用本书的广大教师和读者提出批评和指正，以利于教材质量的进一步提高。

编者

1979年2月

第 I 册 目 录

第 1 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 外力及其分类	3
1.4 内力、截面法和应力的概念	3
1.5 变形与应变	6
1.6 杆件变形的基本形式	8
思考题	10
习题	11
第 2 章 拉伸、压缩与剪切	12
2.1 轴向拉伸与压缩的概念和实例	12
2.2 直杆轴向拉伸或压缩时横截面上的内力和应力	13
2.3 直杆轴向拉伸或压缩时斜截面上的应力	17
2.4 材料拉伸时的力学性能	19
2.5 材料压缩时的力学性能	25
2.6 温度和时间对材料力学性能的影响	27
2.7 失效、安全因数和强度计算	28
2.8 杆件轴向拉伸或压缩时的变形	32
2.9 轴向拉伸或压缩的应变能	36
2.10 拉伸、压缩的超静定问题	40
2.11 温度应力和装配应力	42
2.12 应力集中的概念	46
2.13 剪切和挤压的实用计算	47
思考题	52
习题	53
第 3 章 扭转	71
3.1 扭转的概念和实例	71
3.2 外力偶矩的计算 扭矩和扭矩图	72
3.3 纯剪切	75
3.4 圆轴扭转时的应力	78
3.5 圆轴扭转时的变形	83

3.6 圆柱形密圈螺旋弹簧的应力和变形	87
3.7 非圆截面杆扭转的概述	91
* 3.8 薄壁杆件的自由扭转	94
思考题	100
习题	101
第4章 弯曲内力	110
4.1 弯曲的概念和实例	110
4.2 受弯杆件的简化	111
4.3 剪力和弯矩	114
4.4 剪力方程和弯矩方程 剪力图和弯矩图	116
4.5 载荷集度、剪力和弯矩间的关系	122
4.6 平面曲杆的弯曲内力	125
思考题	126
习题	127
第5章 弯曲应力	137
5.1 纯弯曲	137
5.2 纯弯曲时的正应力	139
5.3 横力弯曲时的正应力	141
5.4 弯曲切应力	146
* 5.5 关于弯曲理论的基本假设	154
5.6 提高弯曲强度的措施	158
思考题	164
习题	165
第6章 弯曲变形	174
6.1 工程中的弯曲变形问题	174
6.2 挠曲线的微分方程	175
6.3 用积分法求弯曲变形	177
6.4 用叠加法求弯曲变形	184
6.5 简单超静定梁	189
6.6 减小弯曲变形的一些措施	192
思考题	194
习题	196
第7章 应力和应变分析、强度理论	210
7.1 应力状态概述	210
7.2 二向和三向应力状态的实例	211
7.3 二向应力状态分析——解析法	214
7.4 二向应力状态分析——图解法	220
7.5 三向应力状态	225

7.6	位移与应变分量	228
7.7	平面应变状态分析	230
7.8	广义胡克定律	235
7.9	复杂应力状态下的应变能密度	238
7.10	强度理论概述	240
7.11	四种常用强度理论	241
7.12	莫尔强度理论	247
7.13	构件含裂纹时的断裂准则	249
	思考题	251
	习题	252
第8章	组合变形	261
8.1	组合变形和叠加原理	261
8.2	拉伸或压缩与弯曲的组合	263
8.3	偏心压缩和截面核心	266
8.4	扭转与弯曲的组合	270
8.5	组合变形的普遍情况	278
	思考题	280
	习题	280
第9章	压杆稳定	290
9.1	压杆稳定的概念	290
9.2	两端铰支细长压杆的临界压力	292
9.3	其他支座条件下细长压杆的临界压力	295
9.4	欧拉公式的适用范围 经验公式	300
9.5	压杆的稳定校核	303
9.6	提高压杆稳定性的措施	305
9.7	纵横弯曲的概念	308
	思考题	310
	习题	311
附录 I	平面图形的几何性质	319
I.1	静矩和形心	319
I.2	惯性矩和惯性半径	322
I.3	惯性积	325
I.4	平行移轴公式	326
I.5	转轴公式 主惯性轴	329
	思考题	333
	习题	333
附录 II	型钢表	338

参考文献	355
习题答案	356
作者简介	370

第1章 绪 论

1.1 材料力学的任务

工程结构或机械的各组成部分,如建筑物的梁和柱、机床的轴等,统称为构件。当工程结构或机械工作时,构件将受到载荷的作用。例如,车床主轴受齿轮啮合力和切削力的作用,建筑物的梁受自身重力和其他物体重力的作用。构件一般由固体制成。在外力作用下,固体有抵抗破坏的能力,但这种能力又是有限度的。而且,在外力作用下,固体的尺寸和形状还将发生变化,这种变化称为变形。

为保证工程结构或机械的正常工作,构件应有足够的承受规定载荷的能力。因此,它应当满足以下要求:

1. 强度要求 在规定载荷作用下的构件当然不应破坏。例如,冲床曲轴不可折断,储气罐不应爆裂。强度要求就是指构件应有足够的抵抗破坏的能力。

2. 刚度要求 在载荷作用下,构件即使有足够的强度,但若变形过大,仍不能正常工作。例如,若齿轮轴变形过大,将造成齿轮和轴承的不均匀磨损,引起噪声;机床主轴变形过大,将影响加工精度。刚度要求就是指构件应有足够的抵抗变形的能力。

3. 稳定性要求 一些受压力作用的细长杆,如千斤顶的螺杆、内燃机的挺杆等,应始终维持原有的直线平衡形态,保证不被压弯。稳定性要求就是指构件应有足够的保持原有平衡形态的能力。

若构件横截面尺寸不足或形状不合理,或材料选用不当,将不能满足上述要求,从而不能保证工程结构或机械的安全工作。相反,也不应不恰当地加大横截面尺寸或选用优质材料,这虽满足了上述要求,却多用了材料,增加了成本,造成浪费。材料力学的任务就是在满足强度、刚度和稳定性要求的前提下,为设计既经济又安全的构件,提供必要的理论基础和计算方法。

在工程问题中,一般说,构件都应有足够的强度、刚度和稳定性,但对具体构件又往往有所侧重。例如,储气罐主要是要保证强度,车床主轴主要是要具备足够的刚度,而受压的细长杆则应保持稳定性。此外,对某些特殊构件还可能有关

反的要求。例如,为防止超载,当载荷超出某一极限时,安全销应立即破坏;为发挥缓冲作用,车辆的缓冲弹簧应有较大的变形等。

研究构件的强度、刚度和稳定性时,应了解材料在外力作用下表现出来的变形和破坏等方面的性能,即材料的力学性能,而力学性能要由试验来测定。此外,经过简化得出的理论是否可信,也要由实验来验证。还有一些尚无理论结果的问题,须借助实验方法来解决。所以,实验分析和理论研究同是材料力学解决问题的方法。

1.2 变形固体的基本假设

固体因外力作用而变形,故称为变形固体或可变形固体。固体有多方面的属性,研究的角度不同,侧重面也各异。研究构件的强度、刚度和稳定性时,为抽象出力学模型,仅考虑与问题有关的主要属性,略去一些次要属性,对变形固体作下列假设:

1. 连续性假设 认为组成固体的物质不留空隙地充满了固体的体积。实际上,组成固体的粒子之间有空隙、并不连续,但这种空隙的大小与构件的尺寸相比极其微小,可以不计。于是就认为固体在其整个体积内是连续的。这样,当把某些力学量看作是固体的点的坐标的函数时,对这些量就可以进行坐标增量为无限小的极限分析。

2. 均匀性假设 认为在固体内到处有相同的力学性能。就使用最多的金属来说,组成金属的各晶粒的力学性能并不完全相同。但因构件或构件的任一部分中都包含为数极多的晶粒,而且各晶粒无规则地排列,固体的力学性能是各晶粒的力学性能的统计平均值,所以可以认为各部分的力学性能是均匀的。这样,如从固体中取出一部分,不论大小、也不论从何处取出,力学性能总是相同的。

材料力学研究构件受力后的强度、刚度和稳定性,把它抽象为均匀连续的模型,可以得出满足工程要求的理论。对发生于晶粒那样大小的范围内的现象,就不宜再用均匀、连续的假设。

3. 各向同性假设 认为沿任何方向,固体的力学性能都是相同的。就金属的单一晶粒而言,沿不同的方向,力学性能并不一样。但金属构件包含数量极多的晶粒,且各晶粒又无规则地排列,这样,沿各个方向的力学性能就接近相同了。具有这种属性的材料称为各向同性材料,如钢、铜、玻璃等。

沿不同方向力学性能不同的材料,称为各向异性材料,如木材、胶合板和某些人工合成材料等。

1.3 外力及其分类

当研究某一构件时,可以设想把这一构件从周围物体中单独取出,并用力来代替周围各物体对构件的作用。这些来自构件外部的力就是外力。按外力的作用方式可分为表面力和体积力。表面力是作用于物体表面的力,又可分为分布力和集中力。分布力是连续作用于物体表面的力,如作用于油缸内壁上的油压力、作用于船体上的水压力等。有些分布力是沿杆件的轴线作用的,如楼板对屋梁的作用力。若外力分布面积远小于物体的表面尺寸,或沿杆件轴线的分布范围远小于轴线长度,就可看作是作用于一点的集中力,如火车车轮对钢轨的压力、滚珠轴承对轴的反作用力等。体积力是连续分布于物体内部各点的力,如物体的自重和惯性力等。

按载荷随时间变化的特点,又可分成静载荷和动载荷。若载荷缓慢地由零增加到某一定值,以后即保持不变,或变动很不显著,即为静载荷。例如,把机器缓慢地放置在基础上时,机器的重量对基础的作用便是静载荷。若载荷随时间显著地变化,则为动载荷。随时间作周期性变化的动载荷称为交变载荷,例如,齿轮转动时,作用于每一个齿上的力都是随时间作周期性变化的。冲击载荷则是物体的运动在瞬时内发生突然变化所引起的动载荷,例如,急刹车时飞轮的轮轴、锻造时汽锤的锤杆等都受到冲击载荷的作用。

材料在静载荷和动载荷作用下的性能颇不相同,分析方法也颇有差异。因为静载荷问题比较简单,所建立的理论和分析方法又可作为解决动载荷问题的基础,所以首先研究静载荷问题。

1.4 内力、截面法和应力的概念

物体因受外力作用而变形,其内部各部分之间因相对位置改变而引起的相互作用就是内力。我们知道,即使不受外力作用,物体的各质点之间也存在着相互作用的力。材料力学中的内力,是指在外力作用下,上述相互作用力的变化量,所以是物体内部各部分之间因外力而引起的附加相互作用力,即“附加内力”。这样的内力随外力的增大而加大,到达某一限度时就会使构件破坏,因而它与构件的强度是密切相关的。

为了显示构件在外力作用下 $m-m$ 截面(在材料力学中一般用横截面,文中常简称为截面)上的内力,用该截面假想地把构件分成 I、II 两部分(图 1.1a)。任取其中一部分,例如 II,作为研究对象。在部分 II 上作用的外力有 F_3 和 F_4 ,欲使 II 保持平衡, I 必然有力作用于 II 的 $m-m$ 截面上,以与 II 所受的外力平衡,如

图 1.1b 所示。根据作用与反作用定律可知, II 必然也以大小相等、方向相反且沿同一作用线的力作用于 I 上。上述 I 与 II 间相互作用的力就是构件在 $m-m$ 截面上的内力。按照连续性假设,在 $m-m$ 截面上各处都有内力作用,所以内力是分布于截面上的一个分布力系。把这个分布内力系向截面上某一点(例如形心)简化后得到的合力和合力偶,称为截面上的内力。

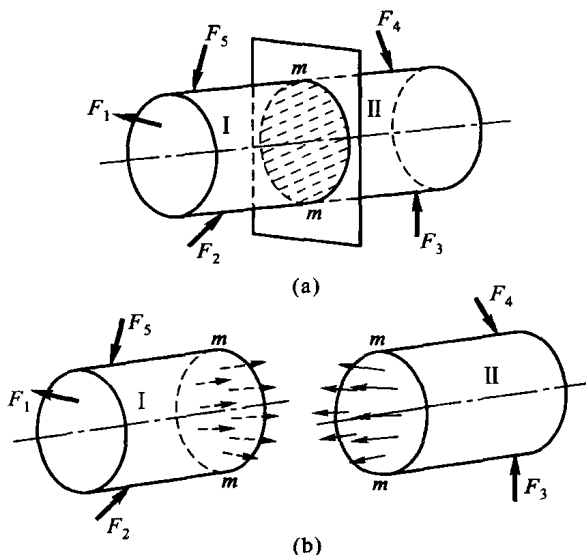


图 1.1

对部分 II 来说,外力 F_3, F_4 和 $m-m$ 截面上的内力相平衡,根据平衡方程就可以确定 $m-m$ 截面上的内力。

上述用截面假想地把构件分成两部分,以显示并确定内力的方法称为截面法。可将该法归纳为以下三个步骤:

- (1) 欲求某一截面上的内力时,就沿该截面假想地把构件分成两部分,取任一部分为研究对象,并弃去另一部分。
- (2) 以作用于截面上的内力代替弃去部分对取出部分的作用。
- (3) 建立取出部分的平衡方程,确定未知的内力。

例 1.1 在载荷 F 作用下的钻床如图 1.2a 所示,试确定 $m-m$ 截面上的内力。

解: (1) 沿 $m-m$ 截面假想地将钻床分成两部分。研究 $m-m$ 截面以上部分(图 1.2b),并以截面的形心 O 为原点,选取坐标系如图所示。

(2) 外力 F 将使 $m-m$ 截面以上部分沿 y 轴方向位移,并绕 O 点转动, $m-m$

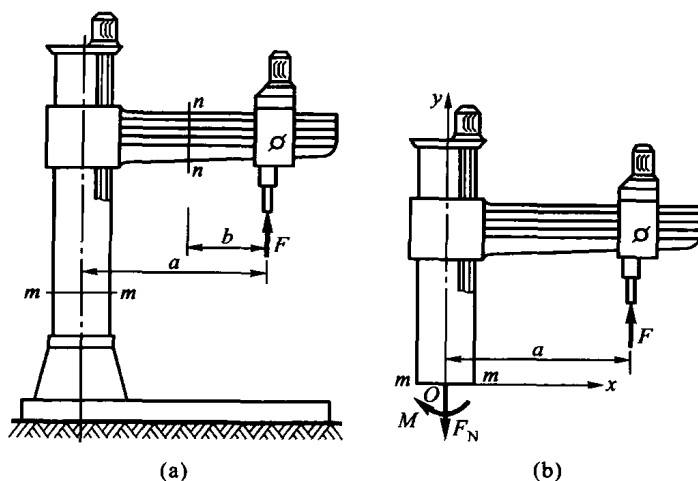


图 1.2

截面以下部分必然以内力 F_N 及 M 作用于截面上, 以保持上部的平衡。这里 F_N 为通过 O 点的力, M 为力偶。

(3) 由平衡方程

$$\begin{aligned}\sum F_y &= 0, & F - F_N &= 0 \\ \sum M_O &= 0, & Fa - M &= 0\end{aligned}$$

求得内力 F_N 和 M 分别为

$$F_N = F, \quad M = Fa$$

在例 1.1 中, 内力 F_N 和 M 是 $m-m$ 截面上分布内力系向 O 点简化后的结果。用它们可以说明 $m-m$ 截面上的内力与截面以上部分外力的平衡关系, 但不能说明分布内力系在截面内某一点处的强弱程度。为此, 我们引入内力集度的概念。设在图 1.1 所示受力构件的 $m-m$ 截面上, 围绕 C 点取微小面积 ΔA (图 1.3a), ΔA 上分布内力的合力为 ΔF 。 ΔF 的大小和方向与 C 点的位置和 ΔA 的大小有关。 ΔF 与 ΔA 的比值为

$$p_m = \frac{\Delta F}{\Delta A} \quad (a)$$

p_m 是一个矢量, 其方向与 ΔF 相同, 代表在 ΔA 范围内, 单位面积上内力的平均集度, 称为平均应力。随着 ΔA 的逐渐缩小, p_m 的大小和方向都将逐渐变化。当 ΔA 趋于零时, p_m 的大小和方向都将趋于某极限值。这样得到

$$p = \lim_{\Delta A \rightarrow 0} p_m = \lim_{\Delta A \rightarrow 0} \frac{\Delta F}{\Delta A} \quad (1.1)$$