

高等职业教育土建专业系列教材

丛书主编 徐占发
本册主编 周美茹

建筑力学

JIANZHU LIXUE



中国建材工业出版社

高等职业教育土建专业系列教材

建筑力学

主 编 周美茹

副主编 计凌风 陶晓坤

中国建材工业出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

建筑力学/周美茹主编. —北京: 中国建材工业出版社, 2007.1

(高等职业教育土建专业系列教材)

ISBN 978-7-80227-167-8

I. 建… II. 周… III. 建筑力学—高等学校: 技术学校—教材 IV. TU311

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2006) 第 130585 号

内 容 提 要

本教材是在职业技术教育土建类专业力学系列课程教学内容的基础上, 根据教育部制订的《职业技术教育土建类专业力学课程教学基本要求》编写的, 可作为教学大纲规定为 72~108 学时土建类专业的教材, 亦可供市政、道桥、水利等专业选用。

本教材共 13 章, 主要内容有绪论、静力学基础、平面力系和空间力系、截面的几何性质、轴向拉伸和压缩、剪切与扭转、静定结构的内力分析、应力状态及梁的应力、梁的变形及组合变形、压杆稳定、静定结构的位移计算、力法、位移与力矩分配法。各章均有习题并附有答案。

建筑力学

主编 周美茹

出版发行: 中国建材工业出版社

地 址: 北京市西城区车公庄大街 6 号

邮 编: 100044

经 销: 全国各地新华书店

印 刷: 北京鑫正大印刷有限公司

开 本: 787mm × 960mm 1/16

印 张: 25.75

字 数: 486 千字

版 次: 2007 年 1 月第 1 版

印 次: 2007 年 1 月第 1 次

书 号: ISBN 978-7-80227-167-8

定 价: 39.00 元

网上书店: www.ecool100.com

本书如出现印装质量问题, 由我社发行部负责调换。联系电话: (010) 88386906

《高等职业教育土建专业系列教材》编委会

主任: 成运花 北京城市学院教务长、研究员
副主任: 徐占发 北京城市学院教授、土建专业主任
杨文锋 长安大学应用技术学院副教授、副院长
秘书长: 李文利 北京城市学院副教授
委员: (按汉语拼音先后顺序)

包世华 清华大学教授
陈乃佑 北京城市学院副教授
陈学平 北京林业大学教授
成荣妹 长安大学副教授
崔玉玺 清华大学教授
董和平 北京城市学院讲师
董晓丽 北京城市学院讲师
龚伟 长安大学副教授
龚小兰 深圳职业技术学院副教授
姜海燕 北京城市学院讲师
靳玉芳 北京城市学院教授(兼职)
刘宝生 北方交通大学副教授
刘晓勇 河北建材学院副教授
李国华 长安大学副教授
李文利 北京城市学院副教授
栗守余 长安大学副教授
马怀忠 长安大学副教授
田培源 北京城市学院讲师
王茹 北京城市学院副教授
王旭鹏 北京城市学院副教授
杨秀芸 北京城市学院副教授
张保兴 长安大学副教授
张玉萍 河北建材学院副教授

顾问: (按汉语拼音先后顺序)

江见鲸 清华大学教授
罗福午 清华大学教授

序

大力发展高等职业教育,培养一大批具有必备的专业理论知识和较强的实践能力,适应生产、建设、管理、服务岗位等第一线急需的高等职业应用型专门人才,是实施科教兴国战略的重大决策。高等职业院校的专业设置、教学内容体系、课程设置和教学计划安排均应突出社会职业岗位的需要、实践能力的培养和应用型的教学特色。其中,教材建设是基础和关键。

高等职业教育土木建筑专业系列教材是根据最新颁布的国家和行业标准、规范,按照高等职业教育人才培养目标及教材建设的总体要求、课程的教学要求和大纲,由北京城市学院(原海淀走读大学)和中国建材工业出版社组织全国部分有多年高等职业教育教学体会与工程实践经验的教师编写而成。

本套教材是按照3年制(总学时1600~1800)、兼顾2年制(总学时1100~1200)的高职高专教学计划和经反复修订的各门课程大纲编写的。基础理论课程以应用为目的,以必需、够用为度,以讲清概念、强化应用为重点;专业课以最新颁布的国家和行业标准、规范为依据,反映国内外先进的工程技术和教学经验,加强实用性、针对性和可操作性,注意形象教学、实验教学和现代教学手段的应用,并加强典型工程实例分析。

本套教材适用范围广泛,努力做到一书多用。在内容的取舍上既可作为高职高专教材,又可作为电大、职大、业大和函大的教学用书,同时,也便于自学。本套教材在内容安排和体系上,各教材之间既是有机联系和相互关联的,每本教材又具有相对的独立性和完整性。因此,各地区、各院校可根据本身的教学特点选用。

北京城市学院是办学较早、发展很快、高职高专办学经验丰富并受到社会好评的一所民办公助高等院校。其中,土建专业是最早设置且有较大社会影响的专业之一,有十多名教学和工程实践经验丰富的双师型教师,出版了一批受欢迎的专业教材。

可以相信,由北京城市学院组编、中国建材工业出版社出版的这套高等职业教育土建专业系列教材一定能成为受欢迎的、有特色的、高质量的系列教材。

本教材编委会

2003年2月

前 言

本书将传统的理论力学、材料力学、结构力学三门课程综合为一门《建筑力学》课程。在教材内容的编写上坚持“以应用为目的，以必需够用为度”。本着为职业技术学院的教学与课程体系改革服务，为培养具有较强的实际操作技能的应用型人才服务的目标，较系统地体现了教材的科学性、实用性的特点。在编写过程中，力求做到内容精简，由浅入深，联系工程实际，克服不必要的重复，防止脱节，节省学时。采用本教材时可根据各专业的不同要求，对内容进行取舍。

本教材主要用于高等职业院校及中等职业学校工业与民用建筑专业、建筑施工专业和相关专业的课程教学与实践性教学，也可供职工岗位技术培训等参考选用，还可以作为建筑材料、环保等专业的力学教材。

本教材编写分工如下：河北建材职业技术学院周美茹编写第1、3、5、8、9章；河北广厦建设工程检测有限公司裴晓虎编写第10章；河北建材职业技术学院计凌风编写第6、12、13章及附录；河北建材职业技术学院陶晓坤编写第7章；河北建材职业技术学院陈铁军编写第4章；沧州市运河区教育局徐道远编写第2章。全书由周美茹副教授统稿

由于编者水平有限，书中不妥之处敬请读者批评指正。

编 者

2006年9月

主要字符表

符 号	意 义	常用单位
$F、P$	集中力	N, kN
T	拉力	N, kN
$F_R、V、H$	合力, 支反力	N, kN
W	重力	N, kN
q	线分布荷载集度	N/m, kN/m
M	外力偶矩	N·m, kN·m
N	功率	kW
N	轴力	N, kN
Q	剪力	N, kN
M	弯矩	N·m, kN·m
T	扭矩	N·m, kN·m
F_{cr}	压杆的临界力	N, kN
σ	正应力	MPa
τ	剪应力	MPa
$[\sigma]$	许用正应力	MPa
$[\tau]$	许用剪应力	MPa
σ_{bs}	挤压应力	MPa
$[\sigma_{bs}]$	许用挤压应力	MPa
σ_{cr}	压杆临界应力	MPa
$[\sigma_{cr}]$	稳定许用应力	MPa
$\sigma_1、\sigma_2、\sigma_3$	主应力	MPa
σ_p	比例极限	MPa
σ_e	弹性极限	MPa
σ_s	屈服极限	MPa
$\sigma_{0.2}$	名义屈服极限	MPa
σ_b	强度极限	MPa
σ_0	极限应力	MPa

续表

符 号	意 义	常用单位
E	弹性模量	MPa
G	剪切弹性模量	MPa
n	安全系数	无量纲
n_{st}	稳定安全系数	无量纲
μ	泊松比	无量纲
Δl	轴向伸长 (缩短)	mm, m
ε	线应变	无量纲
γ	剪应变	无量纲
θ	单位长度扭转角	rad/m
$[\theta]$	单位长度许用扭转角	rad/m
φ	扭转角	rad
φ	折减系数	无量纲
y, f	挠度	mm, m
$[f]$	许用挠度	mm, m
δ	延伸率	无量纲
ψ	截面收缩率	无量纲
A	面积	mm ² , m ²
A_{be}	挤压面积	mm ² , m ²
S (S_y , S_z)	静矩	mm ³ , m ³
I (I_y , I_z)	惯性矩	mm ⁴ , m ⁴
I_p	极惯性矩	mm ⁴ , m ⁴
W (W_y , W_z)	抗弯截面系数	mm ³ , m ³
W_p	抗扭截面系数	mm ³ , m ³
i (i_y , i_z)	惯性半径	mm, m
λ	压杆的柔度	无量纲
n	转速	r/min

目 录

第 1 章 绪论	1
1.1 建筑力学的任务	1
1.2 杆系结构的分类	2
1.3 变形固体及其基本假设	4
1.4 杆件几何特性及基本变形形式	5
1.5 荷载的分类	7
1.6 约束与约束反力	8
1.7 结构计算简图	12
1.8 平面体系的几何组成分析	16
第 2 章 静力学基础	31
2.1 力的概念	31
2.2 物体的受力分析	34
2.3 力矩和力偶	38
2.4 力的平移	43
第 3 章 平面力系和空间力系	52
3.1 平面汇交力系	53
3.2 平面一般力系	58
3.3 平面平行力系的合成与平衡	66
3.4 空间力系	68
3.5 重心	73
第 4 章 截面的几何性质	86
4.1 静矩和形心	86
4.2 惯性矩、惯性积和惯性半径	88
4.3 平行移轴公式	90
4.4 转轴公式、主惯性轴和主惯性矩	92
第 5 章 轴向拉伸与压缩	97
5.1 轴向拉伸(压缩)横截面上的内力、轴力	97
5.2 轴向拉伸和压缩时截面上的应力	101
5.3 轴向拉伸和压缩时的变形 胡克定律	105

5.4	拉(压)杆的超静定问题	109
5.5	材料在拉伸和压缩时的力学性质	111
5.6	极限应力、许用应力和强度条件	115
5.7	应力集中	118
第6章	剪切与扭转	126
6.1	剪切和挤压的概念	126
6.2	剪切实用计算	126
6.3	挤压实用计算	129
6.4	剪应变—剪切胡克定律	134
6.5	扭转外力偶矩、扭矩和扭矩图	134
6.6	圆轴扭转时的应力	136
6.7	圆轴扭转时的强度计算	139
6.8	圆轴扭转时的变形和刚度计算	140
第7章	静定结构的内力分析	147
7.1	梁弯曲的概念	148
7.2	梁的内力——剪力和弯矩	150
7.3	剪力图和弯矩图	156
7.4	叠加法画弯矩图	169
7.5	多跨静定梁的内力	172
7.6	静定平面刚架的内力	175
7.7	三铰拱	183
7.8	静定平面桁架	191
第8章	应力状态及梁的应力	206
8.1	梁弯曲时的正应力	206
8.2	梁的剪应力	216
8.3	提高梁抗弯强度的途径	223
8.4	应力状态概述	227
8.5	梁的主应力	229
第9章	梁的变形及组合变形	244
9.1	弯曲变形的概念	244
9.2	用积分法求梁的变形	246
9.3	用叠加法求梁的变形	250
9.4	提高梁的刚度措施	253
9.5	斜弯曲	254
9.6	偏心压缩杆件的强度计算、截面核心	258

第 10 章 压杆稳定	266
10.1 压杆稳定的概念	266
10.2 临界力和临界应力	267
10.3 提高压杆承载能力的措施	275
第 11 章 静定结构的位移计算	279
11.1 概述	279
11.2 变形体的虚功原理	280
11.3 荷载作用下位移计算的一般公式	282
11.4 静定结构在荷载作用下的位移计算	284
11.5 图乘法	289
11.6 静定结构在支座移动时位移计算	297
11.7 功的互等定理	299
第 12 章 力法	306
12.1 超静定结构概述	306
12.2 力法原理	308
12.3 力法的典型方程	310
12.4 力法应用举例	312
12.5 利用对称性简化计算	320
12.6 支座移动时超静定结构的计算	325
12.7 单跨超静定梁的杆端弯矩和杆端剪力	327
12.8 超静定结构的位移计算	329
12.9 超静定结构内力图的校核	330
12.10 两铰拱的计算	332
第 13 章 位移与力矩分配法	340
13.1 位移法	340
13.2 力矩分配法	362
附录	374
习题答案	389
参考文献	399

第1章 绪 论

1.1 建筑力学的任务

建筑物中支承荷载而起骨架作用的部分叫结构。在建筑工程中，如桥梁、水坝、电视塔、房屋等都是结构的典型例子。而这些结构又往往由若干构件按一定形式组成，如厂房中的屋架、吊车梁、柱、基础等都是构件，这些构件组成了厂房结构。

在荷载作用下，承受荷载和传递荷载的建筑结构和构件，本身因受荷载作用而将产生变形，并且存在着发生破坏的可能性。但结构本身具有一定的抵抗变形和破坏的能力，即具有一定的承载能力。构件承载能力的大小是与构件的材料性质、截面的几何尺寸和形状、受力性质、工作条件和构造情况等有关的。在结构设计中，若其他条件一定时，如果构件的截面设计得过小，当构件所受的荷载大于构件的承载能力时，结构将不安全，它会因变形过大而影响正常工作，或因强度不够而受破坏。当构件的承载能力大于构件所受的荷载时，则要多用材料，造成浪费。由此可见，任何结构或构件的设计，既要分析荷载，也要对构件承载能力进行分析，使设计的构件既安全又经济。建筑力学是研究各种建筑结构或构件在荷载作用下的平衡条件及承载能力的科学。

(1) 建筑力学的任务可归纳为如下几个方面的内容：

1) 力系的简化和力系的平衡问题

研究和分析此问题时，我们往往将所研究的对象视为刚体。所谓刚体是指在力的作用下不变形的物体。作用在刚体上的力，其方向和作用点的位置始终保持不变，在任何情况下，刚体内任意两点间的距离都不会改变。事实上刚体是不存在的，任何物体在受到力的作用时，都将发生不同程度的变形（这种物体称为变形体），如房屋结构中的梁和柱，在受力后将产生弯曲和压缩变形。但由于在很多情况下物体的变形对于研究平衡问题的影响很小，变形可略去不计。这样，将会大大简化对力系平衡条件问题的研究。

2) 构件必须按一定的几何规律组成结构，以保证在荷载作用下其空间几何形状不发生变化。

3) 强度问题

结构的主要作用是承受荷载和传递荷载。对结构中的每一构件，我们规定

其在规定的荷载作用下能安全工作，不会破坏。关于结构及构件的安全（或破坏）问题称为强度问题，强度问题研究材料、构件和结构抵抗破坏的能力。例如吊车起吊重物时，吊车梁可能被弯曲断裂，在设计梁时就要保证它在荷载作用下，正常工作情况时不会发生破坏。

4) 刚度问题

构件在外力的作用下都不能产生过大的弹性变形，如果变形过大，尽管有足够的强度，也会影响正常使用。为保证结构的正常工作，研究构件和结构抵抗变形的能力，通常称为刚度问题。例如吊车梁或楼板梁在荷载等因素作用下，虽然满足强度要求，即不致破坏，但梁的变形过大，超出所规定的范围，也会影响正常工作和使用。

5) 稳定问题

结构中比较细长的中心受压杆，如屋架中的压杆，当压力超过某一值时（这个值比按强度计算的值小得多），杆就不能保持直线形状，而突然从原来的直线形状变成曲线形状，改变它原来受压的工作性质而发生破坏，这种现象称为失稳。例如房屋承重的柱子，如果过细、过高，就可能由于柱子的失稳而导致整个房屋的突然倒塌。工程结构中是不允许发生失稳的。

(2) 为保证结构或构件的安全、正常的工作，应满足以下要求：

1) 构件应具有足够的强度（即抵抗破坏的能力），以保证在规定的使用条件下不发生破坏；

2) 构件应具有足够的刚度（即抵抗变形的能力），以保证在规定的使用条件下不产生过量的变形；

3) 构件应具有足够的稳定性（即维持其原有平衡形式的能力），以保证在规定的使用条件下不失稳。

一般说来，构件都应具有强度、刚度和稳定性，但对具体构件又往往有所侧重。例如，储气罐以强度要求为主，车床主轴以刚度要求为主，而受压的细长杆则以稳定性为主。另外，对某些特殊构件还可能有相反的要求，例如机器中的安全销在机器超载时应立即破坏，以保证其他部件不被损坏。工程上要求结构或构件有足够的承载能力，就是指上述强度、刚度、稳定性三方面性能的综合。

全部构件由杆件组成的结构为杆系结构。实际工程结构中还有薄壁结构，如薄壳屋盖、储油罐等；实体结构，如挡土墙、承台基础等。

本书只针对杆和杆系结构，在以后各章中分别对上述问题进行讨论。

1.2 杆系结构的分类

本书仅研究和讨论平面杆系结构，其常见的形式有以下几种：

(1) 梁

梁是一种常见的结构，其轴线常为直线，是受弯杆件，有单跨和多跨连续的形式，如图 1-1 所示。

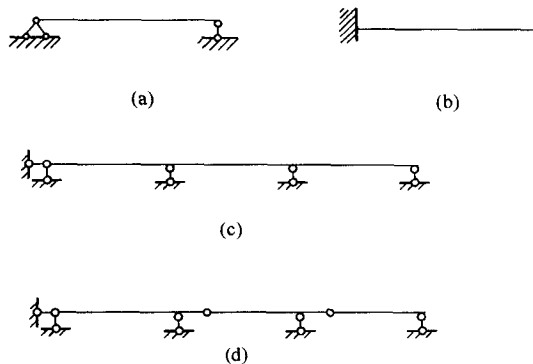


图 1-1

(2) 刚架

刚架是由直杆组成，各杆主要受弯曲变形，节点大多数是刚性节点，也可有部分铰节点，如图 1-2 所示。

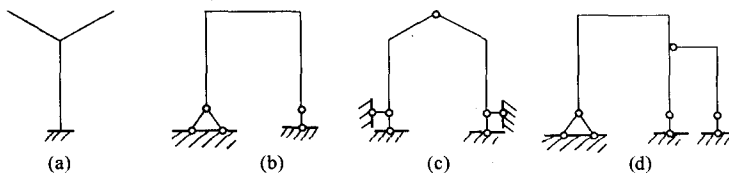


图 1-2

(3) 拱

拱的轴线为曲线，在竖向荷载的作用下，不仅产生竖向反力，而且还产生水平反力。拱的各截面主要产生轴力，如图 1-3 所示。

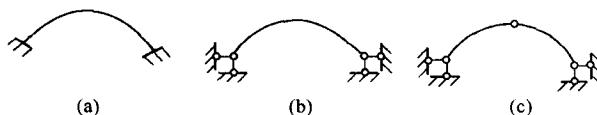


图 1-3

(4) 桁架

桁架是由直杆组成，各节点假设为理想铰节点，荷载作用在节点上，各杆只产生轴力。如图 1-4 所示。

(5) 组合结构

在这种结构中，一部分是桁架杆件只承受轴力，另一部分是梁或刚架杆

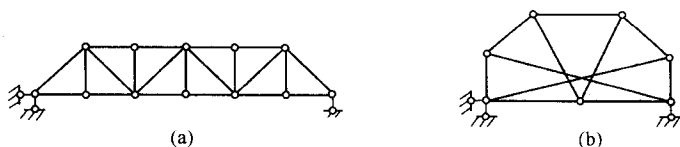


图 1-4

件，即受弯杆件，由两者组合而成的结构称为组合结构，如图 1-5 所示。

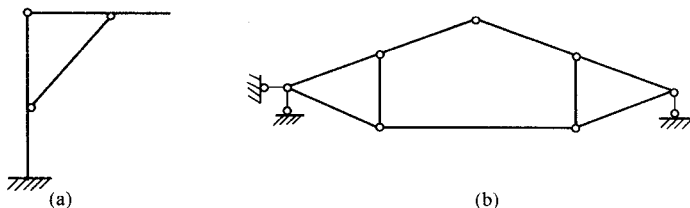


图 1-5

1.3 变形固体及其基本假设

构件都是由固体材料制成的，其材料的物质结构和性质虽然千差万别，但它们在荷载作用下都会产生变形，即物体形状和尺寸发生改变，因此，这些物体统称为变形固体。

变形固体的内部结构是复杂的，它们的性质十分复杂。为了便于进行强度、刚度和稳定性的分析，需要研究构件在外力作用下的内效应——内力、应力、变形、应变能等。这些内效应又与构件的材料的变形有关。因此，研究构件的强度、刚度、稳定性问题时，不能将物体看成刚体，而应将组成构件的固体材料视为可变形固体。在进行理论分析时，为使问题得到简化，对材料的性质作如下的基本假设：

(1) 连续性假设

认为在材料体积内毫无间隙地充满了固体的几何空间。实际的固体物质，就其结构来说，组成固体的粒子并不连续，但它们之间所存在的空隙与构件的尺寸相比极其微小，可以忽略不计。

(2) 均匀性假设

认为在固体的体积内，各处的力学性质完全相同。对金属材料来说，其各个晶粒的力学性质并不完全相同，但因在构件或构件的某一部分中，包含的晶粒为数极多，而且是无规则排列的，其力学性质是所有各晶粒的性质的统计平均值，所以可以认为构件内各部分的性质是均匀的。对于混凝土材料也有类似的情况，如果只考虑个别的石块、砂砾或水泥小块，它们的性质是不相同的，

但在混凝土中，大量的石块、砂砾和水泥混杂固结在一起，可以认为其各部分的性质是均匀的。

(3) 各向同性假设

对于各向同性的材料（如钢材、铸铁、玻璃、混凝土等），认为材料沿各方向的力学性能完全相同，即物体的力学性能不随方向的不同而改变，对这类材料从不同方向作理论分析时，可得到相同的结论。

有的材料沿不同方向表现出不同的力学性能，如木材、复合材料，称这种材料为各向异性材料。我们着重研究的是各向同性的材料。

(4) 小变形假设

构件在荷载作用下将发生变形，当荷载不超过一定限度时，绝大部分的构件在荷载撤去后均能恢复原状。材料的这种性质称为弹性，撤掉荷载后能够消失的变形称为弹性变形；当荷载超过限度时，则在荷载撤去后只能部分地复原而残留一部分不能消失的变形。材料产生不能恢复的变形的性质称为塑性，不能消失而残留下来的那一部分变形称为塑性变形。本书只限于讨论材料在弹性范围内的变形和受力。

在荷载作用下，结构和构件都会发生变形。在建筑力学所讨论的问题中，假设结构及构件的变形都是微小的，变形后各点所产生的位移与结构及构件本身的尺寸相比都是非常微小的。在工程实际中，常用的钢材、铸铁、混凝土等材料制成的构件在外力作用下的弹性变形与构件整个尺寸相比是微小的，所以称之为小变形。在弹性变形范围内作静力分析时，可略去结构及构件的几何尺寸由于变形而产生的微小变化，结构及构件的长度可按原始尺寸进行计算，并且荷载的作用位置也不变。

综上所述，当对构件进行强度、刚度、稳定性等力学方面的研究时，是把构件材料看作连续、均匀、各向同性、在弹性范围内工作的微小变形固体。

1.4 杆件几何特性及基本变形形式

工程中的构件多种多样，工程上遇到的杆件是指长度尺寸比横向尺寸大得多的构件。建筑力学在研究杆件及杆系各部分的强度、刚度和稳定性问题时，首先要了解杆件的几何特性及其基本变形形式。

(1) 杆件的几何特性

构件的长度方向称为纵向，垂直长度的方向为横向。垂直于杆件长度方向的截面称为杆的横截面，各横截面形心的连线称为杆的轴线。如图 1-6 所示。

横截面和轴线是杆件常用的两个主要几何元素。各横截面大小相等的杆件称为等截面杆，各横截面大小不等的杆件称为变截面杆；轴线为直线的杆件称为直杆，轴线为曲线的杆件为曲杆。等直杆就是轴线为直线，横截面大小相等

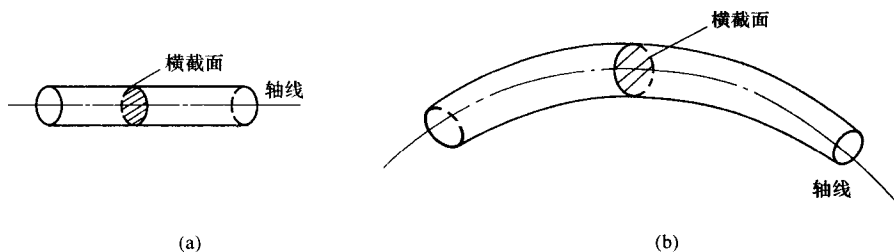


图 1-6

的杆件。

(2) 杆件的基本变形形式

在外力的作用下，杆件将产生各种各样的变形，但最基本的变形形式有以下四种：

1) 轴向拉伸与压缩

在一对方向相反，作用线与轴线重合的拉力或压力作用下，杆件沿轴线伸长或缩短，这种变形形式称为轴向拉伸或压缩，如图 1-7 (a)、(b) 所示。

2) 剪切

在一对大小相等、方向相反且距离很近，作用线与轴线垂直的外力（横向力）的作用下，杆件的横截面沿外力作用方向产生错动，这种变形形式称为剪切，如图 1-7 (c) 所示。

3) 扭转

在一对大小相等、转向相反，位于垂直于杆轴线的两平面内的两个力偶作用下，杆件的任意两横截面发生相对转动，这种变形形式称为扭转，如图 1-7 (d) 所示。

4) 弯曲

在一对大小相等、方向相反，位于杆件的纵向平面内的力偶作用下，杆件

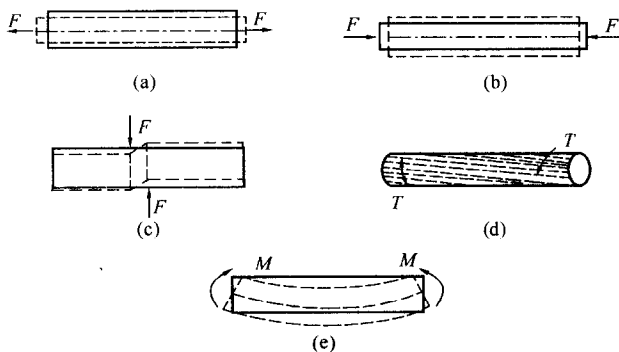


图 1-7