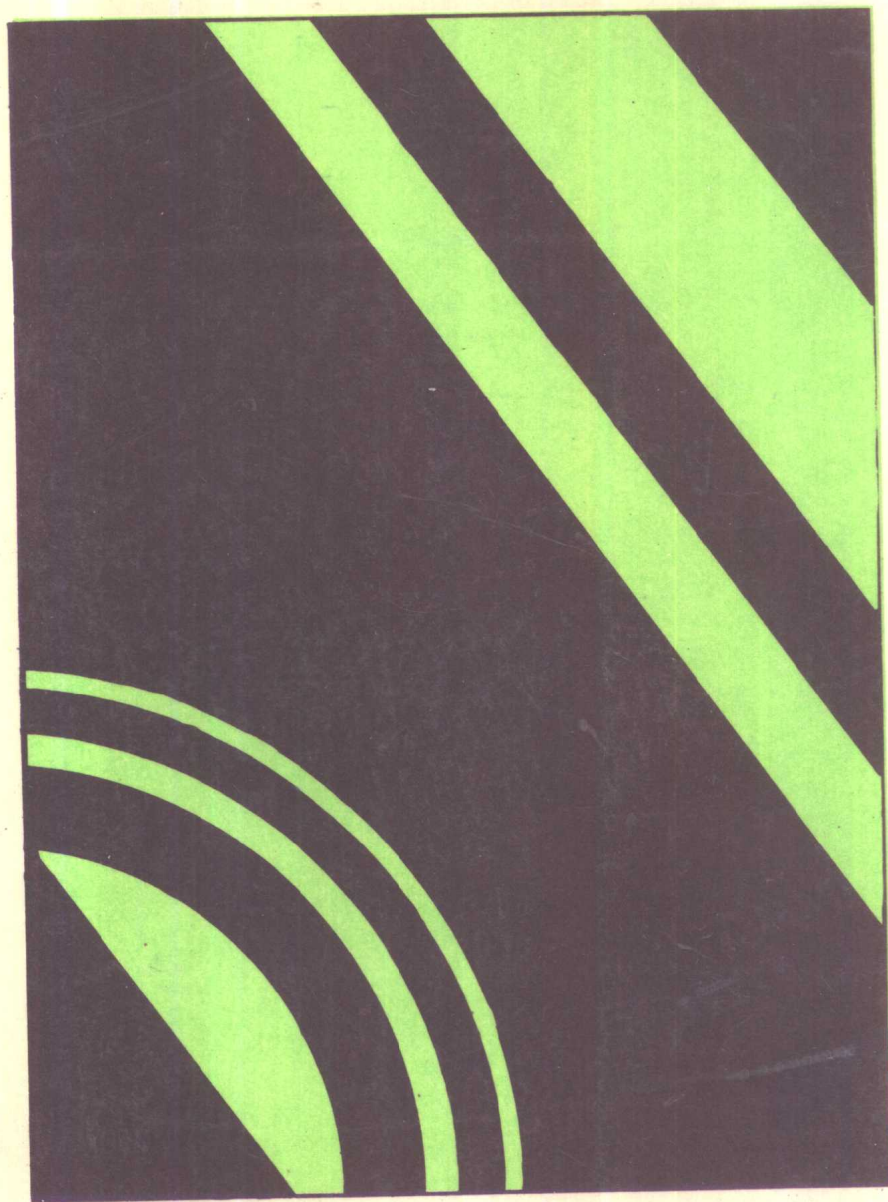


高等工科院校系列教材

材料力学

毕 谦 程培基 主编



重庆大学出版社

材 料 力 学

毕 谦 程培基 主编

重 庆 大 学 出 版 社

内 容 提 要

本书系高等工科院校系列专科教材之一。全书共分十三章,包括绪论,轴向拉伸与压缩,材料的力学性能及实验方法,剪切,扭转,弯曲内力,弯曲应用,弯曲变形及简单超静定梁,能量法简述,应力状态和强度理论,组合变形,压杆稳定,动载荷等内容。

本书可作为高等工科院校机械专业的专科教材及非机类的本科教材,亦可供有关工程技术人员参考。

材料力学

毕 谦 程培基 主编

责任编辑 梁涛

*
重 庆 大 学 出 版 社 出 版 发
新 华 书 店 经 销
中国人民解放军重庆通信学院印刷厂印刷

*
开本:787×1092 1/16 印张:16 字数:339 千
1994 年 3 月第 1 版 1994 年 3 月第 1 次印刷
印数:1—8000

ISBN 7-5624-0854-8/TB·9 定价:9.00 元

(川)新登字 020 号

序

近年来我国高等专科教育发展很快,各校招收专科生的人数呈逐年上升趋势,但是专科教材颇为匮乏,专科教材建设工作进展迟缓,在一定程度上制约了专科教育的发展。在重庆大学出版社的倡议下,中国西部地区14所院校(云南工学院、贵州工学院、宁夏工学院、新疆工学院、陕西工学院、广西大学、广西工学院、兰州工业高等专科学校、昆明工学院、攀枝花大学、四川工业学院、四川轻化工学院、渝州大学、重庆大学)联合起来,编号、出版机类和电类专科教材,开创了一条出版系列教材的新路。这是一项有远见的战略决策,得到国家教委的肯定与支持。

质量是这套教材的生命。围绕提高系列教材质量,采取了一系列重要举措:

第一、组织数十名教学专家反复研究机类、电类三年制专科的培养目标和教学计划,根据高等工程专科教育的培养目标——培养技术应用型人才,确定了专科学子应该具备的知识和能力结构,据此制订了教学计划,提出了50门课程的编写书目。

第二、通过主编会议审定了50门课程的编写大纲,不过分强调每门课程自身的系统性和完整性,从系列教材的整体优化原则出发,理顺了各门课程之间的关系,既保证了各门课程的基本内容,又避免了重复和交叉。

第三、规定了编写系列专科教材应该遵循的原则:

1. 教材应与专科学子的知识、能力结构相适应,不要不切实际地拔高;
2. 基础理论课的教学应以“必须、够用”为度,所谓“必须”是指专科人才培养规格之所需,所谓“够用”是指满足后续课程之需要。
3. 根据专科的人才培养规格和人才的主要去向,确定专业课教材的内容,加强针对性和实用性;

4. 减少不必要的教理论证和数学推导;

5. 注意培养学生解决实际问题的能力,强化学生的工程意识;

6. 教材中应配备习题、复习思考题、实验指示书等,以方便组织教学;

7. 教材应做到概念准确,数据正确,方字叙述简明扼要,文、图配合适当。

第四、由出版社聘请学术水平高、教学经验丰富、责任心强的专家担任主审,严格把住每门教材的学术质量关。

出版系列专科教材堪称一项浩大的工程。经过一年多的艰苦努力,系列专

4/52/08

科教材陆续面市了。它汇集了中国西部地区 14 所院校专科教育的办学经验,是西部地区广大教师长期教学经验的结晶。

纵观这套教材,具有如下的特色:它符合我国国情,符合专科教育的教学基本要求 and 教学规律;正确处理了与本科教材、中专教材的分工,具有很强的实用性;与出版单科教材不同,有计划地成套推出,实现了整体优化。

这套教材立足于我国西部地区,面向全国市场,它的出版必将对繁荣我国的专科教育发挥积极的作用。这套教材可以作为大学专科及成人高校的教材,也可作为大学本科非机类或非电类专业的教材,亦可供有关工程技术人员参考。因此我不揣冒昧向广大读者推荐这套系列教材,并希望通过教学实践后逐版修订,使之日臻完善。

吴云鹏

1993年
仲夏

前 言

本书是工科院校专科系列教材之一。按72学时编写,主要适用于机械类专科,也可以作为非机械类本科相近学时教材。编写的指导思想是:“广而不深,留有余地,注重应用,便于自学”。本教材对材料力学课程基本要求的全部内容——从拉、压、剪、扭、弯,到应力状态和强度理论、组合变形、动载荷、交变应力、压杆稳定和能量法的基本理论和基本方法都作了完整、简明的阐述,一般只讲到够用为度,内容的深化和新的发展留给读者自己去钻研;为了适应计算机的引入和计算技术的发展,本教材在弯曲部分加入了奇异函数法,对能量法作了较系统的介绍,从而既为工程应用提供广泛的基础,又留给读者继续深入的余地。编写风格和方法上尽量做到理论联系实际、联系工程应用,把基本教学实验编入教材,使实验教学和课堂教学有机地结合起来;为了便于自学,每章都编写了思考题,使读者学后可以自行检查掌握程度。从而使本教材不仅适用于专科、本科学生,也便于电大、函大、夜大和职工大学选用,并可供工程技术人员参考。

参加本书编写的六位同志,都是多次讲授《材料力学》的教师,编写中不仅吸取现行教材各家之所长,而且融进了各自的教学经验和体会。编写的具体分工是:贵州工学院程培基(第一、十二、十三章),攀枝花大学李锡庆(第二、三章及实验),陕西工学院刘甲刚(第四、五、九章及实验),昆明工学院毕谦(前言、第六章),苏瓚(第七章及实验、第八章),云南工学院余润(第十、十一章及实验)。全书由毕谦教授主编,程培基教授为第二主编,由昆明工学院刘北辰教授主审。

本书编写中,得到重庆大学出版社,参编院校领导和有关教研室的大力支持,特致谢意!限于编者水平,难免有欠妥之处,欢迎批评指正。

编 者

1993年7月

工院校机类、电类 专科系列教材书目

高等数学

线性代数

体 育

企业管理

公共关系

文献检索

工业品市场营销

画法几何及机械制图
(非机类)

画法几何及机械制图
习题集(非机类)

画法几何及机械制图
(机类)

画法几何及机械制图
习题集(机类)

电工技术(非电类)

电子技术(非电类)

理论力学

材料力学

机械原理

机械设计

热加工工艺基础

机械加工工艺基础

机械工程材料

机械制造工艺学

机床电气自动控制

液压传动及控制

机床夹具设计

金属切削机床

113-163

工科院校机类、电类 专科系列教材书目

冲压工艺及模具设计
 机械工程测试技术
 工程力学
 机械基础
 电路分析及磁路(上)
 电路分析及磁路(下)
 模拟电子技术
 数字电子技术
 控制工程基础
 电磁测量
 电机及电力拖动基础
 电机学
 自动控制原理
 计算机导论及算法语言
 微机、单片机原理及应
 微机控制技术
 电力电子技术
 电力系统及电力网
 发配电电气设备及运行
 电力系统继电保护
 电力系统自动装置
 高电压技术
 可编程控制及其应用
 自动控制系统
 工厂供电及节能
 工厂电气控制技术

434537

借书日期			
借书处			
借者单位	借者姓名	借出日期	还书日期

目 录

第一章 绪论	(1)
§ 1-1 材料力学的任务	(1)
§ 1-2 变形固体及其基本假设	(3)
§ 1-3 杆件变形的基本形式	(4)
思考题	(5)
第二章 轴向拉伸与压缩	(6)
§ 2-1 概述	(6)
§ 2-2 轴力和轴力图	(7)
§ 2-3 轴向拉压杆横截面上的应力	(9)
§ 2-4 轴向拉、压杆斜截面上的应力	(11)
§ 2-5 轴向拉、压杆的强度条件及其应用	(14)
§ 2-6 轴向拉、压杆的变形	(16)
§ 2-7 简单静不定问题	(20)
思考题	(23)
习题	(25)
第三章 材料在拉伸和压缩时的力学性能	(31)
§ 3-1 概述	(31)
§ 3-2 低碳钢的拉伸实验	(31)
§ 3-3 其它材料拉伸时的力学性能	(33)
§ 3-4 材料在压缩时的力学性能	(35)
§ 3-5 安全系数和许用应力	(36)
§ 3-6 应力集中和应力集中系数	(37)
§ 3-7 断裂韧性简介	(38)
思考题	(39)
习题	(39)
第四章 剪切	(42)
§ 4-1 概述	(42)
§ 4-2 连接件的实用计算	(43)
思考题	(47)
习题	(47)

第五章 扭转	(50)
§ 5-1 概述	(50)
§ 5-2 外力偶矩的计算 扭矩和扭矩图	(51)
§ 5-3 薄壁圆筒的扭转	(53)
§ 5-4 圆轴扭转时的应力和强度计算	(55)
§ 5-5 圆轴扭转时的变形和刚度计算	(59)
§ 5-6 矩形截面杆扭转问题简介	(61)
思考题	(62)
习题	(64)
第六章 弯曲时的内力	(67)
§ 6-1 概述	(67)
§ 6-2 梁的计算简图	(68)
§ 6-3 剪力和弯矩	(69)
§ 6-4 剪力图和弯矩图	(72)
§ 6-5 弯矩、剪力和分布载荷集度间的关系	(75)
§ 6-6 奇异函数在求梁内力中的应用	(77)
思考题	(79)
习题	(79)
第七章 弯曲时的应力	(84)
§ 7-1 概述	(84)
§ 7-2 平面弯曲时梁横截面上的正应力	(84)
§ 7-3 惯性矩计算·平行移轴公式	(89)
§ 7-4 梁的剪应力	(93)
§ 7-5 弯曲时的强度条件	(94)
§ 7-6 提高梁强度的措施	(97)
思考题	(102)
习题	(103)
第八章 梁的变形及简单超静定梁	(109)
§ 8-1 概述	(109)
§ 8-2 挠曲线的近似微分方程及其积分	(110)
§ 8-3 用叠加法求梁的变形	(115)
§ 8-4 梁的刚度条件和提高梁刚度的措施	(117)
§ 8-5 简单超静定梁的解法	(119)
思考题	(122)
习题	(123)

第九章 能量法	(127)
§ 9-1 概述	(127)
§ 9-2 杆件的弹性变形能	(127)
§ 9-3 莫尔定理	(132)
思考题.....	(136)
习题.....	(137)
第十章 应力状态和强度理论	(139)
§ 10-1 应力状态概述	(139)
§ 10-2 二向应力状态分析	(140)
§ 10-3 三向应力状态下的最大应力	(148)
§ 10-4 广义虎克定律·三向应力状态下的弹性比能	(150)
§ 10-5 强度理论的概念	(153)
§ 10-6 常用的四个强度理论	(154)
§ 10-7 强度理论的应用	(156)
思考题.....	(161)
习题.....	(161)
第十一章 组合变形	(166)
§ 11-1 概述	(166)
§ 11-2 拉伸(压缩)与弯曲组合变形时的强度计算	(166)
§ 11-3 扭转与弯曲组合变形时的强度计算	(173)
思考题.....	(177)
习题.....	(179)
第十二章 压杆的稳定	(183)
§ 12-1 概述	(183)
§ 12-2 细长压杆的临界力	(184)
§ 12-3 欧拉公式的适用范围 中、小柔度杆的临界应力	(187)
§ 12-4 压杆稳定的实用计算	(189)
思考题.....	(192)
习题.....	(193)
第十三章 动载荷	(195)
§ 13-1 概述	(195)
§ 13-2 构件受冲击时的应力计算	(195)
§ 13-3 提高构件抗冲击能力的措施	(197)
§ 13-4 交变应力与循环特征	(198)

§ 13-5 材料的疲劳极限	(199)
§ 13-6 影响构件疲劳极限的主要因素	(200)
思考题	(203)
习题	(204)
附录 I 材料的力学性能测试	(207)
I-1 拉伸和压缩实验	(207)
I-2 圆轴扭转实验	(211)
附录 I 应力电测实验	(216)
I-1 电阻应变仪简介	(216)
I-2 梁的弯曲正应力电测实验	(220)
I-3 弯扭组合变形主应力的测定	(222)
附录 II 型钢规格表	(226)
1. 热轧等边角钢	(226)
2. 热轧不等边角钢	(231)
3. 热轧普通工字钢	(235)
4. 热轧普通槽钢	(236)
附录 IV 习题答案	(237)
主要参考资料	(244)

第一章 绪 论

§ 1-1 材料力学的任务

在机械与工程设计中,必须保证机器的零、部件与工程构件正常地工作。这就需要学习和掌握材料力学,它是为工程设计提供基础理论和计算方法的一门学科。随着工农业生产规模的扩展,使得材料力学扩大了应用范围。由于生产向着高、新、尖技术的不断深入,又给材料力学提出更新的课题和要求。从而推动着这门学科向纵深发展。

实际工程中,有各式各样的机械、设备或结构。它们都是由许多零件和元件组成的,如轴、连杆、梁、柱等。这些零件和元件统称为构件。工程设计的任务就是要分析它们承受和传递的外力,确定每个构件的具体形状和尺寸。例如机械齿轮轴,必须具有足够的强度、合理的尺寸、以及按要求传递转矩和承受外力等。为了每个构件能够正常地工作,必须进行分析 and 计算。下面举例说明。

图 1-1 表示一个简易的手动压榨机。在手柄上施加一个 P 力后,此时,设拉杆 CD 处于水平位置,它承受拉力 T 。通过撑杆 AC 与 BC 的作用,在杆内产生很大的压力。再由托板给物体以压缩作用,成为一个工作机械。

凡此结构都需要进行受力和正常工作的分析。

所谓受力分析,就是将构件视为刚体,应用理论力学静力学知识进行分析研究。

为了求出物体所受的压力,可以先取出手柄 DE 作为分离体,画出受力图(如图 1-2)。求得拉力

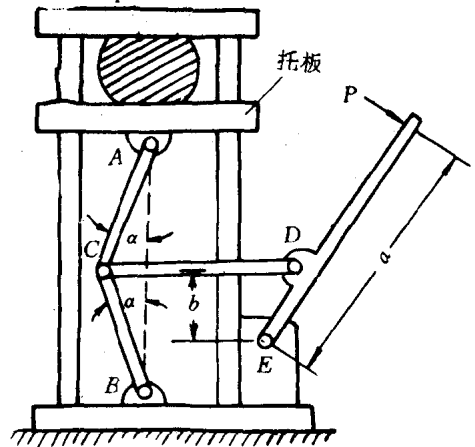


图 1-1

$$T = \frac{Pa}{b}$$

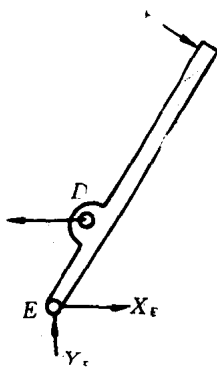


图 1-2

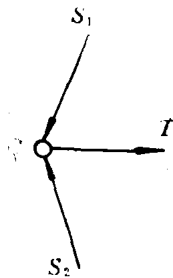


图 1-3

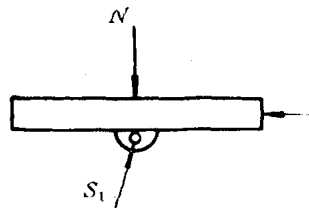


图 1-4

然后取出结点C,将受力图画成图1-3。写出共点力系的平衡方程式。可以求出撑杆内的压力

$$S_1 = S_2 = \frac{T}{2\sin\alpha} = \frac{Pa}{2b\sin\alpha}$$

最后画出托板的受力图,如图1-4所示。只要写出铅垂方向上的平衡方程式,就能求出物体所受到的压力

$$N = S_1\cos\alpha = \frac{Pa}{2b}\cot\alpha$$

所谓正常工作分析,就是将构件视为变形固体,应用材料力学知识进行分析研究。

实际上,一切机械、设备或结构都不是绝对刚体。它们在外力作用下,构件将要发生变形甚至破坏。也就是说,它们是由一些变形固体所组成的。因此,要保证压榨机能够正常的工作,必须在设计时考虑三个重要因素。

(1) 足够的强度 比如拉杆CD在T力作用下就不应该断裂。撑杆AC与BC在压力 S_1 与 S_2 的作用下也不允许压坏。手柄应足够结实,以维持正常工作,等等。这种在外力作用下,构件抵抗破坏的能力,称为强度。工程上,“破坏”一词有特定的含义,或者是发生了断裂,或者是发生了显著的塑性变形。

在外力作用下,构件的尺寸和形状发生了改变,称为变形。大多数固体材料,只要外力不超过一定的范围,当消除外力后,构件将完全恢复原状的性质称为固体的弹性性质。当外力消除后,能够完全消失的变形,称为弹性变形。如果外力过大,当消除外力后,其变形只能局部消失,留下一部分永远不能消失的变形的性质,称为材料的塑性性质。而不能消失的变形,则称为塑性变形,或残余变形,或永久变形。

如果构件虽然没有断裂,但它发生了显著的塑性变形,这时,构件受到了严重的损伤,材质变脆,形状也严重地歪曲,在外力作用下,也不能维持正常的工作,因此,仍然称为强度不够。只有构件在工作中不会发生断裂和显著的塑性变形时,才称为强度是足够的。

(2) 足够的刚度 当压榨机工作时,手柄杆要发生弯曲变形,如图1-5所示。拉杆CD要发生伸长,而两根撑杆则要发生缩短等。如果这些变形过大,称构件发生了大变形。它将直接影响工作效果,达不到工作的质量要求,影响到托板不能准确定位。

刚度是指构件在外力作用下抵抗变形的能力。如果手柄杆的弯曲变形及拉杆和撑杆的拉伸和压缩变形都很小,称构件只发生允许范围内的小变形。它将不影响压榨机的正常工作,则称构件具有足够的刚度。

(3) 足够的稳定性 压榨机的撑杆AC与BC受到压力作用(图1-6)。如果压力过大,超过一定的限度时,直杆将会突然变弯,不再保持直线平衡状态,失去承受压力的能力。这种现

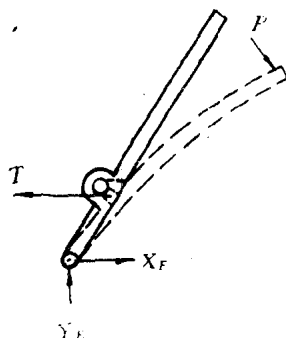


图 1-5

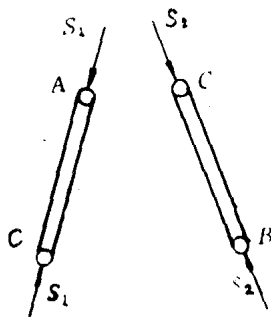


图 1-6

象称为丧失稳定,简称失稳。而稳定性之含义就是构件保持其原有平衡形态的能力。如果直杆在轴向压力作用下,很好地维持了直线平衡状态,而不丧失稳定,则称构件有足够的稳定性。

材料力学的主要任务就是为受力构件(主要是指杆、梁、轴、柱等)提供强度、刚度和稳定性计算的理论基础。这三个问题也就构成了材料力学研究的主要内容。在工程设计与计算中,一般都要考虑满足这三方面的要求。但对于具体工作的构件又要作具体的分析。例如,机械传动轴、皮带轮轴等,以考虑满足强度为主。而对于精密车床轴、镗床主轴等,则以满足刚度为主。

在设计工程构件时,为了保证构件能正常地工作,要求使用较多或较好的材料。但同时必须做到经济节省,降低成本投入,这又要求使用尽可能少的材料或以贱代贵。这是一个矛盾。因此,材料力学将提供选用合适的材料,确定合理的形状和尺寸,以解决经济与安全之间矛盾的理论依据。这也就是材料力学的基本任务。

材料力学的理论分析,需要通过实验和工程实践来验证。为了更好地把握材料的机械性能,就需要进行材料实验。所以材料机械性能实验是材料力学的一个重要内容。有些受多种因素制约而尚无理论结果的问题,也要用实验方法来测定。这种理论与实验的结合才是学习和研究材料力学的有效方法。

§ 1-2 变形固体及其基本假设

制造构件可以采用各种各样的材料,它们性质各异。但在外力作用下,将发生形状和尺寸的改变,这是共同的特性,也是一个不可忽略的根本因素。因此,在材料力学中,将构件的材料都当作可变形固体来处理,并抓住材料的主要属性,忽略一些次要性质,抽象出一个理想化的模型。为此,对变形固体提出了四个假设。

(1) 连续性假设 在变形固体内部假设没有任何空隙,即材料连续分布于整个体积,其结构是密实的。这与固体物质的微观结构是有差异的,固体物质的内部实际上存在着程度不同的缩孔与缩松,尺寸极其微小。但材料力学只从统计平均的宏观方面去考察变形固体,忽略这些微小因素的影响,从而认为变形固体的内部材料是密实的和连续的。因而在研究变形固体内一些力学量和变形等的关系时,就可应用连续函数来表示。

(2) 均匀性假设 在变形固体内部,假设各处的机械性质完全相同。实际上变形固体的分子结构并不均匀。例如,金属是多晶体的组织,由无数个晶体无规则地排列而组成。虽然每个晶体性质都不均匀,但多晶体的统计平均量,呈现出一种宏观的均匀性。因此,在变形固体内任取一部分材料都可视为性质均匀。这便于对一个局部固体材料进行考察研究,其结果能推广到同种材料制成的整体构件上。同时,由小尺寸试件用实验测出的性质,能代表同种材料的整体或任何微小的局部。

(3) 各向同性假设 在变形固体内部假设各个不同方向上的力学性质都相同。对于均匀的非晶体材料而言(如混凝土),一般都是各向同性的。对于由晶体组成的固体材料(如金属),每个单一的晶体在不同方向上有不同的机械性质。但有无数个晶体杂乱无章地排列,这样,在宏观上并不显示出方向上的差异。因此,可用统计平均的观点从宏观上将它们看成各向同性体。

也有各向异性材料,它们在各个方向上具有不同的机械性质。如木材、冷拔的钢丝、胶合板、复合材料层板等。

(4) 小变形条件 构件受力作用而产生的变形,按不同情况可能很小也可能相当大。但材料力学所研究的,只限于构件在弹性范围内发生的小变形问题。如图1-7所示的悬臂梁受 P 力作用后,产生了弯曲变形 δ_1 和轴向位移 δ_2 。它们相对于梁的跨度 l 都是微小量,通称为小变形。在小变形之下,当处理结构或构件上力的平衡关系时,可以忽略这种变形,仍按原有尺寸计算。在其它计算中这些微小变形的二次幂项均可略去不计,这对工程实用并无影响,又可简化计算的复杂性。

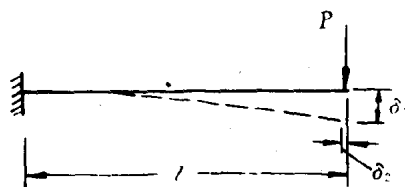


图 1-7

§ 1-3 杆件变形的基本形式

材料力学的研究对象主要是杆件,即在长度方向的尺寸远大于横截面尺寸的一类构件。杆件中各横截面形心的连线称为轴线。轴线为直线的杆称为直杆。各横截面尺寸和形状相同的直杆,称为等直杆。轴线为曲线的杆件称为曲杆。

杆件是结构系统中最基本的构件,它在工程实际中大量存在。很多其他形式的构件,也可以简化为一根杆件或杆件的组合物来处理。例如桥梁、机器连杆、传动轴等,都可以简化为杆件来进行受力分析。

各种载荷施加于杆件后也将产生各式各样的变形,但可以把杆件的变形归纳为下列四种基本变形形式中的一种,或者某几种基本变形的组合。

(1) 拉伸或压缩变形 如图1-1的压榨机,它的拉杆 CD 就受到轴向拉伸作用,而撑杆 AC 与 BC 则受到轴向压缩。又如图1-8的结构,在 B 点受到外力作用后,应用理论力学静力学知识容易得知 AB 杆受到轴向拉伸,而 BC 杆则受到轴向压缩。总之,当杆在两端受到大小相等、方向相反、合力作用线与轴线重合的一对力作用时,杆就产生轴向拉伸或压缩。其变形主要是杆长的改变。

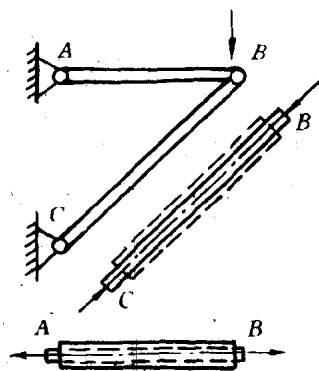


图 1-8

(2) 剪切变形 如图1-9中之连接铆钉就产生剪切变形。此外如平键和销钉等也承受剪切变形。其受力特点是作用在构件两侧面上的横向外力的合力大小相等、方向相反、作用线

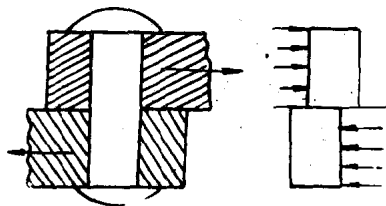


图 1-9

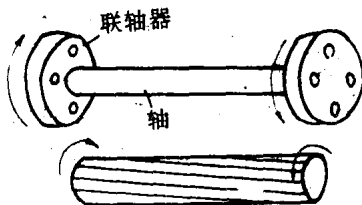


图 1-10

相距很近。在这种外力作用下,其变形特点是两力间的横截面发生相对错动,这就是剪切变形。

(3) 扭转变形 如图 1-10 之联轴器,其轴就受到扭转变形。这种变形是由大小相等、转向相反、作用面垂直于杆轴的两个力偶产生的。它使杆轴上任意两个横截面绕轴线作相对转动,产生角位移。

在工程上,除联轴器外,承受扭转变形的构件还很多,如汽车的转向轴、机械传动轴等。

(4) 弯曲变形 如图 1-11 的梁,当受到垂直于杆轴的横向力作用后,就使它产生弯曲变形。这种变形在工程实际中较常见,如火车车轴和桥式吊车梁等,主要就是产生弯曲变形。

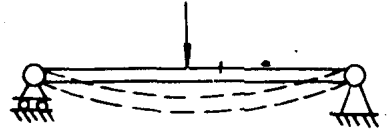


图 1-11

杆件的变形若很复杂,则它必然是上述基本变形的组合形式。例如机械齿轮轴,常常受到扭转与弯曲的联合作用,两种变形同时发生。又如,立式钻床的主轴常常主要地受到拉伸与弯曲的组合作用,因此产生着拉伸与弯曲的组合变形等。这些内容将在本书后面章节中详细论述。

思考题

- 1-1 材料力学课程研究什么问题?它的基本任务是什么?
- 1-2 结合自己在日常生活之中所见,说明强度、刚度和稳定性的意义。
- 1-3 材料力学对变形固体作了哪些基本假设?为什么要作这些假设?它们的根据是什么?
- 1-4 在外力作用下,杆件的基本变形形式有几种?