

★ 职工高等工业专科学校教材

材料力学

★ 金家桢 许宝元 周叔平 编

★ 金家桢 主编



高等教育出版社

内 容 提 要

本书是根据原教育部 1983 年 12 月审订的职工高等工业专科学校机械类《材料力学教学大纲》(草案)编写的。

全书内容包括: 绪论、拉伸和压缩、剪切、扭转、弯曲内力、弯曲应力、弯曲变形、组合截面、压杆稳定和应力状态。

前 言

本书是根据原教育部1983年12月审订的职工高等工业专科学校机械类《材料力学教学大纲》(草案)编写的。

1985年12月在苏州召开了本书初稿的审稿会。参加审稿的有浙江大学刘鸿文(主审)、四川东方锅炉厂职工大学任文瑜、无锡机床厂职工大学钱子川、哈尔滨二轻局轻工学院刘荣周。他们对初稿作了认真的讨论,提出了不少修改意见,对本书的定稿起了很大的作用,谨此致谢。

在本书中,凡带有*号的内容(包括复习思考题和习题)不属于大纲的基本内容,教师可根据各自情况决定取舍。本书还将部分带*号的公式的推导过程,放入各章的附录,以方便读者。另外,为了使用方便,把大纲规定的基本实验的内容作为一章编入本书,并附有实验报告的参考格式。

本书第一、二、三、四、十四章由许宝元编写;第五、六、七、八、九章由金家桢编写;第十、十一、十二、十三章由周叔平编写;金家桢担任主编。

限于编者水平,书中难免存在不少缺点和不妥之处,恳切希望广大教师和读者批评指正。

编 者

一九八六年四月

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及小变形概念	2
§ 1-3 杆件变形的基本形式	4
第二章 拉伸和压缩	8
§ 2-1 轴向拉伸和压缩的概念	8
§ 2-2 内力 截面法 轴力和轴力图	9
§ 2-3 拉(压)杆横截面上的应力	13
§ 2-4 材料在拉伸或压缩时的力学性能	15
§ 2-5 许用应力和安全系数	24
§ 2-6 拉伸和压缩的强度条件及其应用	26
§ 2-7 拉伸或压缩时斜截面上的应力	30
§ 2-8 拉伸或压缩时的变形	32
§ 2-9 拉伸、压缩静不定问题	36
*§ 2-10 装配应力和温度应力	43
§ 2-11 应力集中的概念	50
小结	52
复习思考题	53
习题	56
第三章 剪切	71
§ 3-1 剪切和挤压的概念	71
§ 3-2 剪切和挤压的实用计算	72
小结	77
复习思考题	78
习题	79

第四章 扭转.....83

§ 4-1	扭转的概念.....	83
§ 4-2	外力偶矩 扭矩和扭矩图.....	84
§ 4-3	圆轴扭转时横截面上的应力和强度条件.....	88
§ 4-4	圆轴扭转时的变形和刚度条件.....	96
*§ 4-5	矩形截面杆自由扭转的简介	100
小结		103
复习思考题		105
习题		107

第五章 弯曲内力112

§ 5-1	概述	112
§ 5-2	梁的载荷和支承的简化 静定梁的基本形式	113
§ 5-3	弯曲内力——剪力和弯矩	116
§ 5-4	剪力、弯矩方程 剪力、弯矩图	121
§ 5-5	载荷集度、剪力、弯矩间的导数关系	129
*§ 5-6	利用导数关系作剪力图和弯矩图.....	134
小结		136
复习思考题		137
习题		139

第六章 弯曲应力147

§ 6-1	引言	147
§ 6-2	纯弯曲时梁横截面上的正应力	147
§ 6-3	截面惯性矩的计算	153
§ 6-4	梁的正应力强度条件	158
§ 6-5	梁弯曲时的剪应力 剪应力强度条件	163
§ 6-6	提高梁弯曲强度的一些措施	168
*附录	矩形截面梁弯曲剪应力公式的推导	175
小结		178
复习思考题		180
习题		184

第七章 弯曲变形	191
§ 7-1 概述	191
§ 7-2 挠度和转角	191
§ 7-3 挠曲线的近似微分方程及其积分 刚度条件	193
§ 7-4 叠加法计算梁的变形	199
§ 7-5 提高梁弯曲刚度的一些措施	209
§ 7-6 简单静不定梁的解法	212
小结	217
复习思考题	218
习题	219
第八章 能量法	227
§ 8-1 概述	227
§ 8-2 杆件变形能的计算	227
§ 8-3 莫尔定理(单位载荷法)	234
§ 8-4 用能量法解静不定梁和刚架	241
小结	244
复习思考题	246
习题	248
第九章 应力状态分析和强度理论	254
§ 9-1 应力状态的概念	254
§ 9-2 二向应力状态下斜截面上的应力	257
§ 9-3 二向应力状态的主应力	263
§ 9-4 三向应力状态的最大正应力和最大剪应力	269
§ 9-5 广义虎克定律	271
§ 9-6 三向应力状态下的变形比能	275
§ 9-7 强度理论的概念	276
§ 9-8 常用的四个强度理论	278
小结	285
复习思考题	287
习题	290
第十章 组合变形构件的强度计算	297

§ 10-1	概述	297
§ 10-2	拉伸(压缩)与弯曲的组合变形	298
*§ 10-3	斜弯曲	304
§ 10-4	弯曲与扭转的组合变形	309
*§ 10-5	圆柱形密圈螺旋弹簧的应力和变形	318
	小结	322
	复习思考题	323
	习题	326
第十一章	压杆稳定	333
§ 11-1	基本概念	333
§ 11-2	细长压杆的临界压力 欧拉公式	336
§ 11-3	临界应力 欧拉公式的适用范围	342
§ 11-4	中长压杆临界应力的经验公式 临界应力总图	344
§ 11-5	压杆稳定性的校核	347
§ 11-6	提高压杆稳定性的措施	350
	小结	353
	复习思考题	354
	习题	355
第十二章	动载荷	360
§ 12-1	概述	360
§ 12-2	构件作匀加速直线运动或匀速转动时的应力计算	360
§ 12-3	构件受冲击时的应力和变形的计算	364
§ 12-4	提高构件抗冲击能力的措施	369
	小结	371
	复习思考题	372
	习题	373
第十三章	疲劳强度	379
§ 13-1	交变应力和疲劳破坏	379
§ 13-2	交变应力的循环特性	381
§ 13-3	材料的持久极限	383
§ 13-4	影响构件持久极限的主要因素	385

§ 13-5	对称循环下构件的疲劳强度计算	394
§ 13-6	不对称循环下构件的疲劳强度计算	396
§ 13-7	弯扭组合交变应力下构件的疲劳强度计算	399
§ 13-8	提高构件疲劳强度的措施	401
*附录	不对称循环疲劳强度公式的推导	402
	小结	406
	复习思考题	407
	习题	407
第十四章	材料力学实验	411
§ 14-1	概述	411
§ 14-2	低碳钢、铸铁的拉伸和压缩试验	412
§ 14-3	低碳钢弹性模量 E 的测定	424
§ 14-4	纯弯曲正应力的电测试验	432
§ 14-5	疲劳试验(示范)	444
附录	实验报告	447
附录 I	型钢表	454
附录 II	习题答案	474

第一章 绪 论

§ 1-1 材料力学的任务

工程中各种机械和结构都是由许多构件组成的。通过理论力学的学习,我们已掌握了各类构件的外力分析。但理论力学讨论的是在外力作用下构件的平衡和运动的规律,且将构件假设为刚体,并不讨论在外力作用下构件是否会破坏,变形有多大等问题,而这些问题正是材料力学课程要讨论的。

为了保证机械和结构安全正常地工作,组成机构和结构的每一构件在外力作用下必须不发生破坏。例如在图 1-1a 所示的车

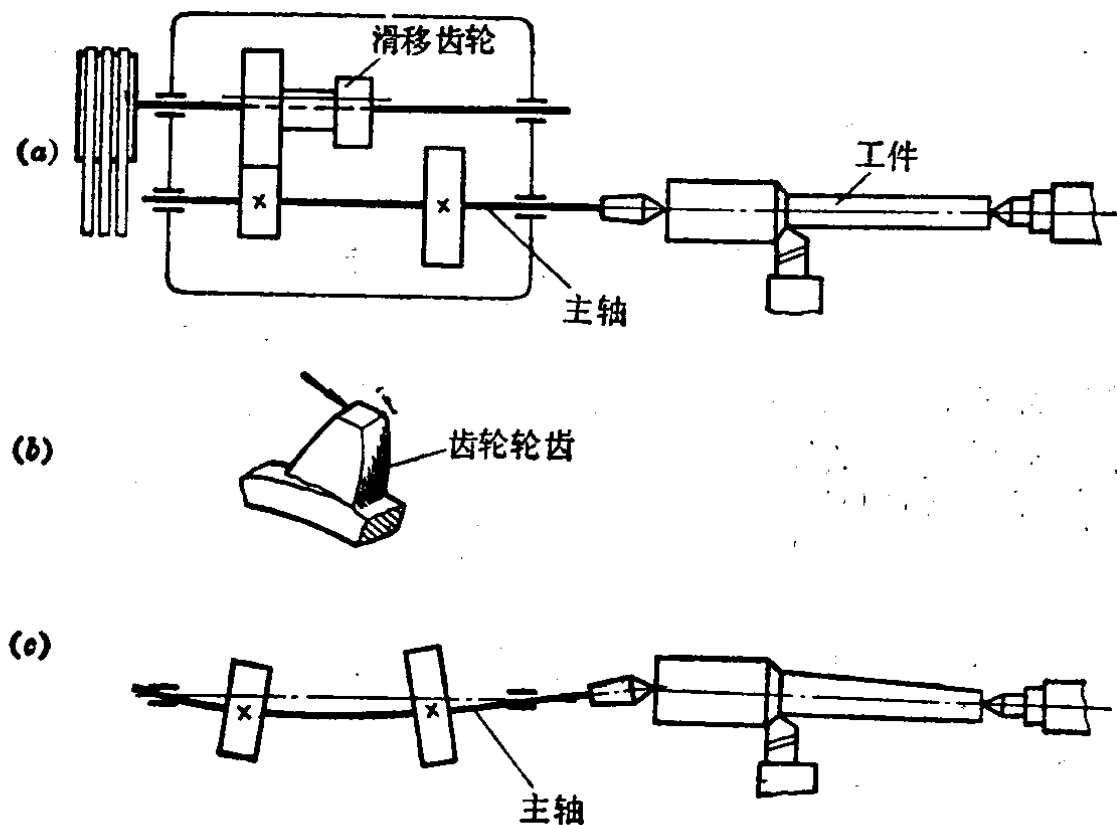


图 1-1

床的主轴箱中, 齿轮的轮齿在外力作用下不应断裂(图1-1b)。因此构件必须具有足够的抵抗破坏的能力, 或者说构件要具有足够的

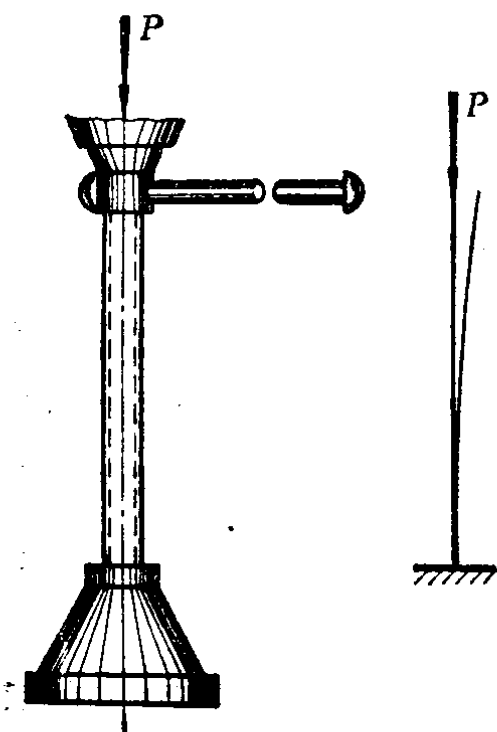


图 1-2

强度。而对于主轴来说, 除了具有足够的强度外, 在外力作用下所产生的变形也不能过大(图 1-1c), 否则工件的加工精度难以保证, 所以构件还必须有足够的抵抗变形的能力, 或者说构件要具有足够的刚度。对于细长构件, 如千斤顶丝杠(图 1-2), 当其承受轴向压力时, 要保证不致因突然变弯而不能正常工作, 这就要求其在受压过程中, 具有足够的保持原有直线平衡状态的能力, 或者说要具有足够的稳定性。

综上所述, 为保证机械或结构安全正常地工作, 每一构件必须具有足够的强度、刚度和稳定性。一般来说, 增大构件的尺寸, 选用优质材料等可以达到上述要求。但是过大的尺寸, 过好的材料势必增加构件的重量和材料的消耗, 提高制造的成本, 这从经济上来说是不合理的。材料力学的任务就是从研究构件受力后的变形和破坏规律着手, 在保证构件的强度、刚度和稳定性的前提下, 为最经济地选择构件的材料和确定构件的合理形状及尺寸, 提供必要的理论基础、分析计算和实验研究的方法。

§ 1-2 变形固体的基本假设及小变形概念

一、基本假设

由于材料力学主要研究构件在外力作用下的变形和破坏规律, 所以不能再象理论力学那样, 将构件的材料假设为绝对刚体,

实际上材料在外力作用下都要产生变形,是变形固体。与其他学科相同,在材料力学中,为了简化研究,也要抓住问题的主要方面,而忽略其次要方面。例如工程中常用的金属材料是晶粒组成的,在微观结构上,晶粒之间存在着间隙,所以实际上材料是不连续的,但这种间隙相对于构件尺寸来说是极其微小的,可以忽略,因此在分析问题时,可把材料看作是连续的。又如金属内部各晶粒的性能及每一晶粒沿不同方向的性能均不一致,但由于在实际构件中包含着无数个排列得杂乱无章的晶粒(例如在一立方厘米的钢材中,就含有数十万个晶粒),从其所表现出的统计平均性能来看,构件各部分并不显示出性质的不均匀性或方向性。因此可把材料看作是均匀的和各向同性的。所以,在材料力学中对变形固体作出如下的基本假设:

(1) 连续性假设 认为变形固体的整个体积内毫无空隙地充满着组成它的物质。根据这一假设,可以用连续函数这一数学工具来处理材料力学中的问题。

(2) 均匀性假设 认为在变形固体的整个体积内,各点处的性能是完全相同的。根据这个假设,可将物体的任意小部分的分析结果用于整个物体,也可将较大尺寸的试件通过实验获得的材料性能用到物体的任一小部分上。

(3) 各向同性假设 认为变形固体在各方向的性能是完全相同的,并称这类材料为各向同性材料。根据这个假设,在后面的讨论中可以不考虑材料的方向性。

实践证明,根据上述假设导出的材料力学的理论是能满足工程实用要求的。但如果分析晶粒那样小范围内的问题,这些假设当然不能得到合理的结果。

二、小变形概念

在外力作用下,构件产生变形,当外力不超过一定范围时,变

形将随外力撤除而消失, 构件恢复原状, 这种变形称为弹性变形; 但当外力超过一定范围时, 构件的变形随外力的撤除不能全部消

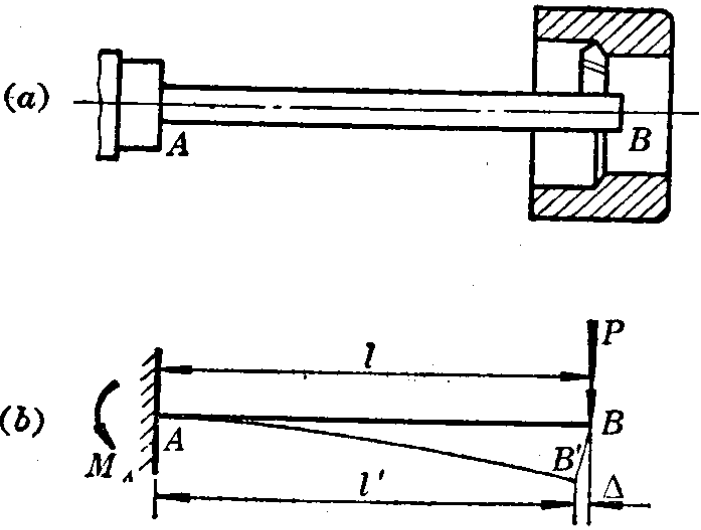


图 1-3

失而残留一部分, 这部分变形称为永久变形或塑性变形。一般情况下, 尤其在机械工程中, 构件的变形大都限制在弹性变形的范围内, 故构件可作为弹性体来处理。另外, 构件的弹性变形和构件的尺寸相比

一般是很小的, 例如图 1-3a 所示刀杆 AB, 在切削时所产生的变形远小于自身的尺寸(图 1-3b)。工程上称这一类问题为小变形问题, 材料力学中一般只限于讨论小变形问题, 故常利用小变形概念来简化实际问题的分析与计算。例如在静力平衡计算中, 可以略去构件变形的影响, 而按构件变形前的原始尺寸来计算, 如上例的刀杆, 在变形后 P 力作用线离固定端 A 的距离从原来的 l 变为 l' 减小了 Δ , 但 $\Delta \ll l$, 固定端 A 处的支反力偶矩仍可按原几何尺寸计算, 得 $M_A = P \cdot l$ 。

综上所述, 材料力学主要讨论的是连续、均匀、各向同性弹性体的小变形问题。

§ 1-3 杆件变形的基本形式

在各种机械和结构中, 构件的形状是各种各样的, 材料力学主要讨论那些纵向尺寸远大于横向尺寸的杆状构件, 简称为杆件。工程上常见的构件如传动轴, 内燃机连杆, 桥式起重机的横梁等都可简化为杆件。

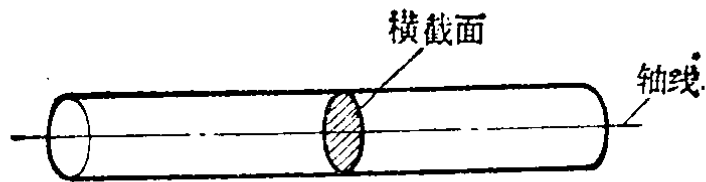


图 1-4

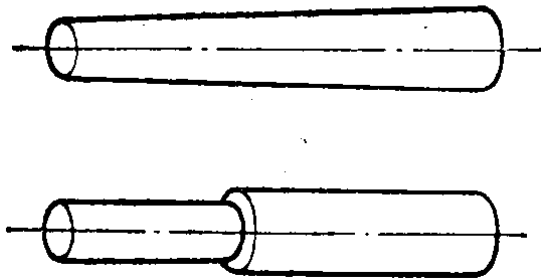


图 1-5

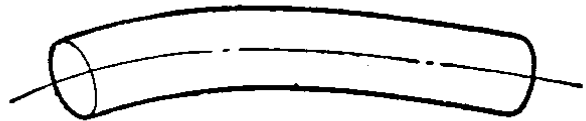


图 1-6

杆件的形状和尺寸可由其横截面和轴线(横截面形心的连线)来表征(图 1-4)。若杆件轴线是直线的称为直杆,其中横截面沿杆轴方向不变的直杆称为等截面直杆,简称等直杆,反之为变截面直杆,如图 1-5 所示;当杆件轴线为曲线时,则称为曲杆(图 1-6),它也有等截面的和变截面的。

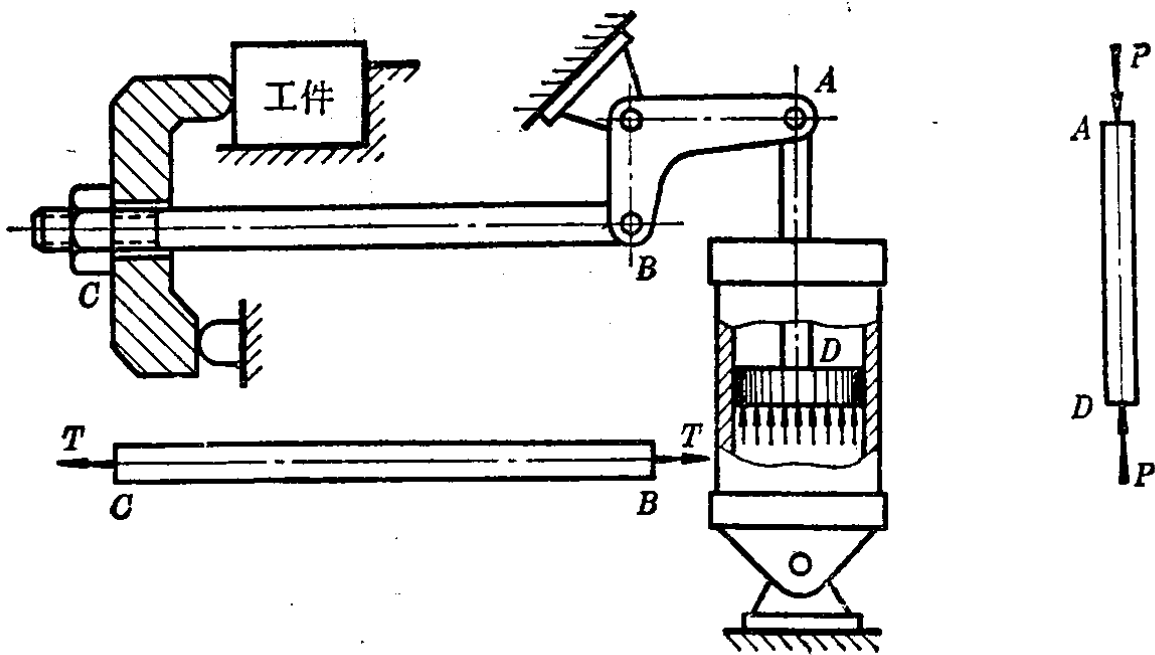


图 1-7

杆件承受不同的外力时,将产生不同形式的变形。但经分析可知,杆件变形的基本形式有以下四种,复杂的变形是这四种基本变形的组合。

(1) 拉伸或压缩变形 例如图 1-7 所示的夹紧机构,杆 BO 受拉力产生拉伸变形,活塞杆 AD 受压力产生压缩变形。

(2) 剪切变形 例如图 1-8 所示的连接销钉的变形。

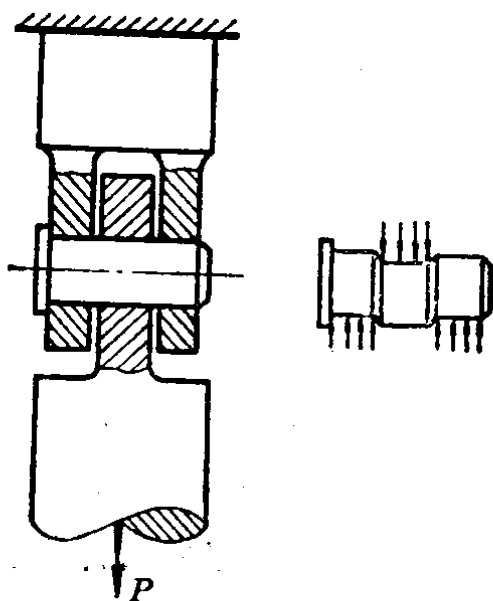


图 1-8

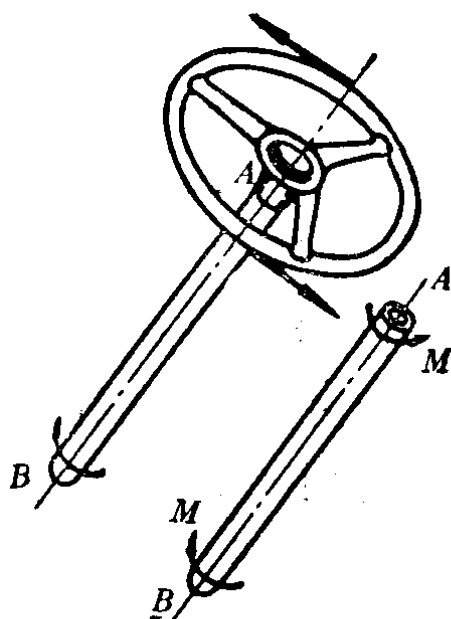


图 1-9

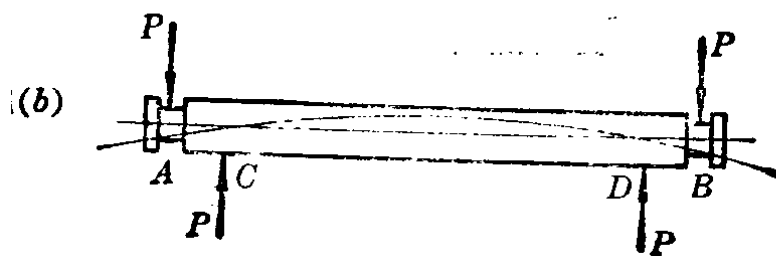
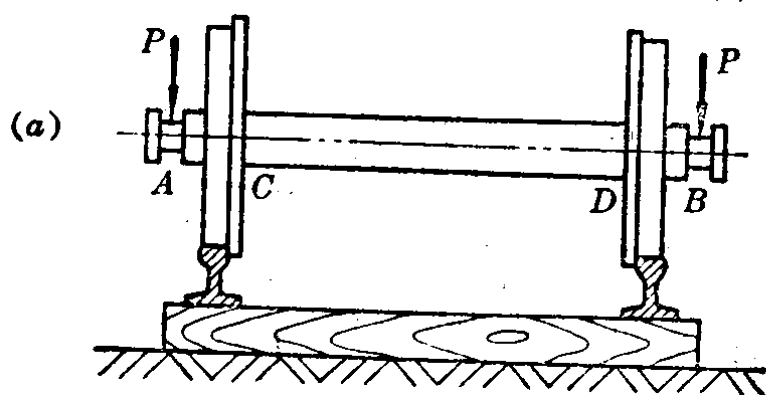


图 1-10

(3) 扭转变形 例如图 1-9 所示汽车转向轴 AB , 在二端力偶作用下所产生的变形。

(4) 弯曲变形 例如图 1-10a 所示火车车箱轮轴 AB , 在横向力作用下产生的变形(图 1-10b)。

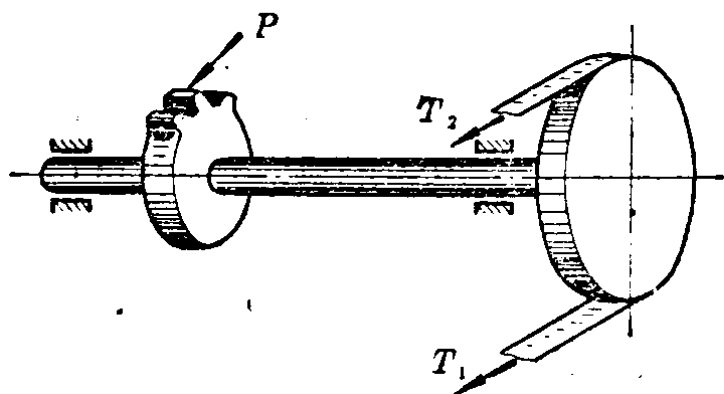


图 1-11

杆件受力后同时产生二种或二种以上的基本变形, 则称为组合变形, 例如图 1-11 所示的传动轴, 在受力后的变形就是扭转和弯曲二种基本变形的组合。

本书将先讨论杆件在各基本变形下强度和刚度的计算, 然后在此基础上, 再分析杆件组合变形时的强度计算。

第二章 拉伸和压缩

§ 2-1 轴向拉伸和压缩的概念

工程上有很多受拉伸或压缩的构件。例如图 2-1 a 、 b 所示的悬臂吊车的拉杆、油缸活塞杆等。这些杆件承载的共同特征是外力合力的作用线沿杆件的轴线，它们的变形是沿杆件轴线方向的伸长或缩短。工程上把这种变形形式称为轴向拉伸或轴向压缩。

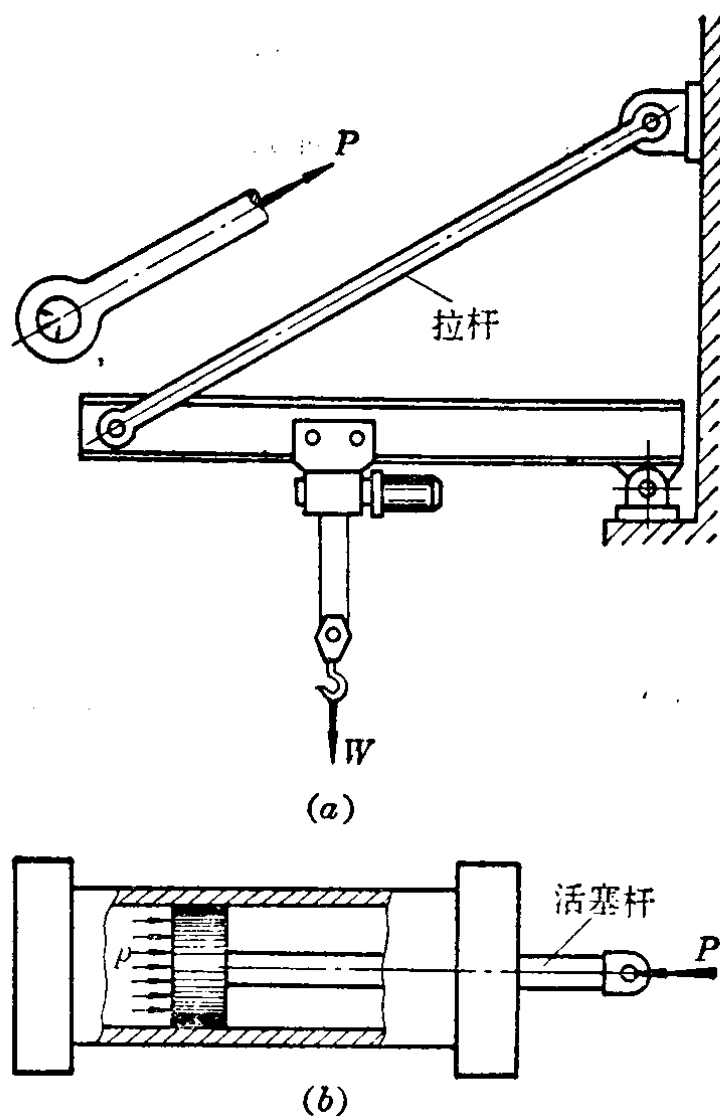


图 2-1

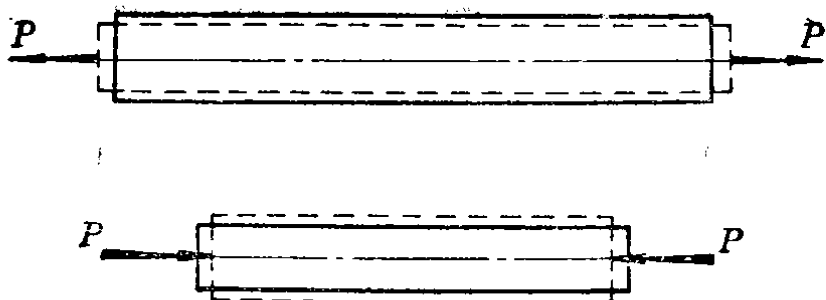


图 2-2

实验证明,杆端的结构形式和加载方式的不同,对杆件的受力和变形的影响仅限于加载处的局部范围,计算中一般可以不考虑。因此在讨论杆件轴向拉伸或压缩的强度和变形问题时,可将杆件简化为图 2-2 所示的计算简图。

§ 2-2 内力 截面法 轴力和轴力图

一、内力的概念

构件在外力作用下发生变形时,材料内部各质点间的相对位置也将发生变化,产生了相互的作用力。这种在外力作用下,构件内部相连二部分间的相互作用力称为内力,它抵抗变形,力图使构件恢复原状。外力增加,构件的变形增大,内力也随之增大,但当内力达到一定极限值时,构件将发生破坏。所以构件的变形大小及其破坏都与内力有密切的关系。分析构件的强度、刚度问题,首先需要分析构件的内力。

二、截面法 轴力

由于内力是构件内部的相互作用力,所以需要假想地将构件截开,才能使其显示出来。如图 2-3a 所示拉杆,在一对 P 力作用下处于平衡状态。现欲求 $m-n$ 截面上的内力,可假想沿 $m-n$ 截面将杆件截开,分为 I、II 两部分(图 2-3b),在 $m-n$ 截面上作用着二部分的相互作用力即为内力,二者大小相等,方向相反。根