

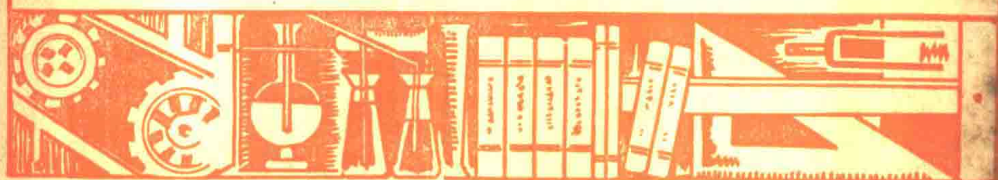
中等专业学校教材

矿冶类专业适用

材 料 力 学

鞍山钢铁学校
长沙有色金属学校 合编
本溪钢铁学校

高等教育出版社



中等专业学校教材



矿冶类专业适用

材 料 力 学

鞍山钢铁学校
长沙有色金属学校 合编
本溪钢铁学校

高等教育出版社

本书是根据 1964 年 8 月修訂的中等专业学校矿冶类专业“工程力学教学大綱(修訂草案)”中材料力学部分的要求进行編写的。

全书包括緒論、拉伸与压縮、材料机械性质及其試驗、剪切、扭轉、弯曲、复合强度及压杆稳定等八章。着重讲述拉伸与压縮、剪切、扭轉、弯曲等四种基本变形的强度概念,对复合强度和压杆稳定問題只作简单的介紹。

本书可作为中等专业学校矿冶类专业材料力学課程(50 学时)的教材,也可供其他有关工程技术人员参考。

中等专业学校教材 材 料 力 学

鞍山钢铁学校等校合編

北京市书刊出版业營業許可証出字第 119 号

高等教育出版社出版(北京景山东街)

人 民 教 育 印 刷 厂 印 装

新华书店北京发行所发行

各 地 新 华 书 店 經 售

統一书号 K15010·1175 开本 850×1168 $\frac{1}{32}$ 印张 3 $\frac{13}{16}$

字数 79,000 印数 0,001—7,000 定价(6) 0.42

1965 年 6 月第 1 版 1965 年 6 月北京第 1 次印刷

序

本书系根据 1964 年 8 月审訂的中等专业学校矿冶类专业“工程力学教学大綱(修訂草案)”的要求,主要参考了原冶金部四院校及辽宁冶金学院合編“材料力学”教材,并結合当前教学改革的精神进行編写的。

編写时力求符合大綱的基本精神,并力求貫徹理論联系实际和少而精的原則,以便使学生把最基本的理論和知識学到手。因此,本书以建立四种基本变形(拉伸与压縮、剪切、扭轉、弯曲)的强度概念为主,对复合强度和压杆稳定問題,亦作了簡要的介紹。平面图形几何性质一章已予删去;內力和应力的概念在拉伸与压縮一章中介紹;弯曲应力公式在实验观察和假設的基础上,对比扭轉剪应力公式,直接給出,不予推导。

預計讲完本书約需 50 学时,其中包括材料机械性质試驗(5 学时)和必要的課堂练习。教师可根据专业需要,对教学內容进行适当的取舍或补充。每章末附有复习題和习题部分,供复习和练习时参考。习题中注有“*”号者,是較难的題。

編写工作是采取分工执笔、集体討論的方式进行的。参加編写工作的有长沙有色金屬学校張孝武、本溪鋼铁学校王立杰和鞍山鋼铁学校謝哲东。最后由謝哲东負責整理定稿。在編写过程中,广泛征求了北京鋼铁学校、吉林电气化学校、沈阳有色金屬学校等校的意見,对本书的最后定稿起了很大作用。

由于編者水平所限,加以对少而精原則体会不够深刻,书中必定会有許多缺点和不妥之处,我們竭誠希望本书的讀者,尤其是教師們提出宝贵意見和批評。来信請寄北京景山东街高等教育出版社編輯部。

編者 1965 年 3 月

主要字符表

本书字符	字符意义	常用单位	以往常用字符
E	彈性模数	kg/cm ² , kg/mm ²	E
F	截面面积	cm ² , mm ²	F
f 或 y	撓度	cm, mm	f, y
G	剪切彈性模数	kg/cm ² , kg/mm ²	G
	物重	t, kg	
J_p	极慣性矩	cm ⁴ , mm ⁴	J_p, I_p
J_z	对 z 軸的軸慣性矩	cm ⁴ , mm ⁴	J_z, I_z
M, M_w	弯矩	t-m, kg-m, kg-cm	M
M_{xd}	相当弯矩	t-m, kg-m, kg-cm	
M^0	外力矩	t-m, kg-m, kg-cm	m, M
m	力矩	t-m, kg-m, kg-cm	m
M_n	扭矩	t-m, kg-m, kg-cm	M_n, M_τ
N	軸力	t, kg	N
	功率	kW, HP	
n	安全因数, 軸的轉速		n
P	外力, 載荷	t, kg	P
P_{lj}	压杆的临界力	t, kg	P_{cr}, P_{cr}
Q	剪力, 荷重	t, kg	Q
q	均布載荷密度	t/m, kg/m, kg/cm	q
R	支反力, 合力,	t, kg	R
	半徑	m, cm, mm	
W_n	抗扭截面模量	cm ³ , mm ³	W_p, W_n
W_z	对 z 軸的抗弯截面模量	cm ³ , mm ³	W_z
x, y, z	坐标軸		x, y, z
	坐标		
γ	剪应变		γ
δ	延伸率		δ
ϵ	綫应变		ϵ
ψ	截面收縮率		
θ	杆单位长度扭轉角		θ
$[\theta]$	杆单位长度許可扭轉角		$[\theta]$

本书字符	字符意义	常用单位	以往常用字符
σ	正应力	kg/cm ² , kg/mm ²	σ
σ_p	比例极限	kg/cm ² , kg/mm ²	$\sigma_H, \sigma_{比}, \sigma_p$
σ_e	弹性极限	kg/cm ² , kg/mm ²	$\sigma_y, \sigma_{弹}, \sigma_e$
σ_s	流动极限(屈服极限)	kg/cm ² , kg/mm ²	$\sigma_T, \sigma_{屈}, \sigma_y$
σ_b	强度极限	kg/cm ² , kg/mm ²	$\sigma_B, \sigma_{\sigma}$
σ_{jx}	极限应力或危险应力	kg/cm ² , kg/mm ²	σ^0, σ_u
σ_l	拉伸应力	kg/cm ² , kg/mm ²	σ_p 或 σ_+
σ_y	压缩应力	kg/cm ² , kg/mm ²	σ_c 或 σ_-
σ_{jy}	挤压应力	kg/cm ² , kg/mm ²	σ_{cm}
σ_w	弯曲应力	kg/cm ² , kg/mm ²	σ_H
σ_{xd}	相当应力	kg/cm ² , kg/mm ²	σ_r
σ_{-1}	对称循环持久极限	kg/cm ² , kg/mm ²	
σ_0	脉动循环持久极限	kg/cm ² , kg/mm ²	
$[\sigma]$	许用正应力	kg/cm ² , kg/mm ²	$[\sigma]$
τ	剪应力	kg/cm ² , kg/mm ²	τ
$[\tau]$	许用剪应力	kg/cm ² , kg/mm ²	$[\tau]$
τ_p	剪切比例极限	kg/cm ² , kg/mm ²	τ_H
τ_s	剪切流动极限	kg/cm ² , kg/mm ²	τ_T
τ_b	剪切强度极限	kg/cm ² , kg/mm ²	τ_B

说明: 本书字符下标与以往教材中习用的字符下标有所不同。取用的原则为:

(1) 国家标准或国际上较通用的字符一般均照用并排成小写斜体(有些习惯上用正体字的, 仍用正体, 如 max, min 等)。如国家标准中规定材料四个力学特性点的应力的字符为: 弹性极限用 σ_e , 比例极限用 σ_p , 流动极限用 σ_s , 强度极限用 σ_b , 本书照用; 与此相应的剪应力字符下标, 也同样采用这四个字母。

(2) 说明意义的字符下标, 各国均用本国文字的字首, 本书则采用汉语拼音的字头, 并排成小写正体。如“拉(la)应力”用 σ_l , “压(ya)应力”用 σ_y , “扭(niu)应力”用 τ_n , “弯(wan)应力”用 σ_w (以上取一个字头), “挤压(jiya)应力”用 σ_{jy} , “极限(jixian)应力”用 σ_{jx} (以上取两个字头)等。

本书字符是仿照孙训芳、方孝淑、陆耀洪编“材料力学”中所用的字符。因系第一次试用, 读者如有意见, 请函告北京高等教育出版社。

目 录

序	v
---------	---

主要字符表	vii
-------------	-----

第一章 緒論

§ 1-1. 材料力学的任务	1
§ 1-2. 材料力学发展概述	2
§ 1-3. 变形固体的性质及其基本假设	4
§ 1-4. 外力及其分类	6
§ 1-5. 杆件变形的形式	6
复习题	8

第二章 拉伸与压缩

§ 2-1. 拉伸与压缩时横截面上的内力 截面法	10
§ 2-2. 拉伸与压缩时横截面上的应力	13
§ 2-3. 拉伸与压缩时的变形 虎克定律	15
§ 2-4. 拉伸与压缩时的强度计算	18
复习题	21
习题	22

第三章 材料机械性质及其试验

§ 3-1. 材料机械性质试验的概述	24
§ 3-2. 静拉伸试验 应力应变图	25
§ 3-3. 压缩试验 压缩应力应变图	31
§ 3-4. 硬度	33
§ 3-5. 应力集中概念	34
§ 3-6. 塑性材料与脆性材料机械性质的比较	35
§ 3-7. 交变应力与持久极限	36
§ 3-8. 许用应力 安全因数	38
复习题	39

第四章 剪切

§ 4-1. 剪切时的内力与应力 剪切强度公式	40
§ 4-2. 挤压	42
§ 4-3. 剪切和挤压的计算例题	44
§ 4-4. 剪切时的变形 剪切虎克定律	47

复习题	49
习题	49

第五章 扭轉

§ 5-1. 扭轉时的內力矩——扭矩	51
§ 5-2. 圆軸扭轉时的应力	53
§ 5-3. 圆形与圆环形截面的极慣性矩和抗扭截面模量	58
§ 5-4. 圆軸扭轉的强度計算与刚度概念	59
复习题	63
习题	63

第六章 弯曲

§ 6-1. 梁的支座型式 梁结构的类型	67
§ 6-2. 载荷和支反力	69
§ 6-3. 梁弯曲时横截面上的內力——剪力和弯矩	72
§ 6-4. 弯矩图	75
§ 6-5. 纯弯曲时横截面上的应力	80
§ 6-6. 梁的强度計算	85
§ 6-7. 梁截面的合理形状	88
§ 6-8. 梁的挠度和轉角的概念	90
复习题	91
习题	91

第七章 复合强度

§ 7-1. 弯曲与拉伸(或压缩) 組合变形的强度概念	96
§ 7-2. 弯曲与扭轉的組合变形	98
复习题	102
习题	103

第八章 压杆的稳定

§ 8-1. 压杆稳定的概念	104
§ 8-2. 确定临界力的欧拉公式	105
复习题	108
习题	108
附录	109

第一章 緒論

§ 1-1. 材料力学的任务

在工农业生产中,广泛地运用各种机械及工程結構,它們都是由各种形式的构件組合而成的。这些构件必須滿足若干要求,其中基本的要求为安全、适用及經濟。例如桥式起重机(图 1-1),除

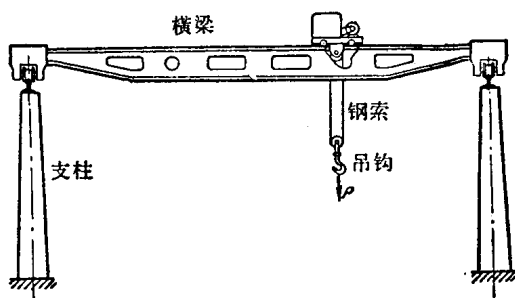


图 1-1

吊車外,还包括鋼索、吊鉤、横梁、支柱等許多构件。当起重机工作时,这些构件都要受到載荷的作用,如果构件材料选择不当或尺寸設計不合理,則在載荷作用下可能发生断裂,从而使整个机械毀坏;也可能产生过大的变形(例如横梁),使机械不能正常工作;有的构件(例如細长的支柱)当載荷达到某一定值时,也会突然失去原来的稳定状态,变成不稳定的平衡,以致使整个結構毀坏。因此,为了使机械或結構能安全而正常地工作,在設計时,构件必須滿足以下几方面的要求:

强度 保证构件在載荷作用下不致破坏;

剛度 保证构件在載荷作用下不致发生过大的变形;

穩定 保证构件在載荷作用下不致突然失去原来的平衡状态。

为了保证构件的安全,可以选择較好的材料和較大的截面尺寸,但这样会造成材料浪費并使結構笨重,不符合社会主义建設的要求。因此,設計构件时,不但要滿足上述强度、剛度和稳定性的要求,同时,还必须尽可能地选用合适的材料和降低材料的消耗量,以節約資金和減輕构件的重量。当然,这两者之間是有矛盾的。材料力学就是要合理地解决这种矛盾,而矛盾的解决不仅促进了生产,而且也使材料力学本身得到进一步的发展。

在生产实践中,有时需要新設計一些結構和构件,有时需要对已經設計好的构件,校核它們的尺寸,和对某些已經制成的构件,計算它們的承載能力。解决这些問題,都要应用材料力学的知識。

綜合上述,材料力学是一門研究构件的强度、剛度和稳定性計算原理的科学。它的任务是要使我們了解材料的机械性质,能为机械和工程結構中的簡單构件选择适当的材料和截面尺寸,充分利用材料的性能,保证构件能够滿足安全、适用和經濟等要求。

本教材主要介紹等截面直杆在靜載荷作用下的机械性质和强度計算問題,对于剛度和稳定性的計算,只作簡單介紹。

§1-2. 材料力学发展概述

历史证明:生产实践是科学知識的源泉,生产力的发展是科学技术不断发展的动力。材料力学与其他科学一样,是在人类长期同自然作斗争的过程中产生的。同时又随着生产的发展而不断的发展和丰富起来,逐步建立了材料力学理論。人們又用这些理論去指导实践,加速生产的发展。

在远古时代,人們在长期劳动和生产实践中,积累了一些材料力学方面的知識。在这一方面,我国劳动人民有着重要的成就。

早在三千多年以前，我們的祖先就已經能建造木結構的房屋，用輻條車輪代替了圓板車輪。随着生产的发展，在周代就已經应用了青銅軸瓦来减少摩擦，到了汉代（公元一世紀）就应用了铁制的軸。这說明我們的祖先在很早的年代里就已經掌握了材料性能及合理使用材料的实际知識。我国劳动人民以其勤劳、勇敢和智慧修建了像长城、运河等許多巨大工程。至今尚完整存在的河北赵州桥是由隋代杰出的匠师李春（第七世紀）建造的。这是一座单跨石拱桥，长达 37 米，拱半徑 25 米，桥上有四个附拱可以在洪水期間泄洪用，同时減輕了重量，节省了材料。这种拱桥到了 1912 年才在欧洲出現。此外，在建筑、造船等方面还有許多偉大发明和創造，这里不再一一列举。通过长期劳动和生产实践，我国劳动人民也在建筑方面积累了丰富的經驗，并总结写出了像《墨經》、《考工記》、《营造法式》和《天工开物》等著作。但是由于封建統治的延續，統治階級对劳动人民的殘酷剝削，近百年来又遭受帝国主义的掠夺，阻碍了生产力的发展，因而我国的科学技术一直未能在理論上得到进一步发展。

十七世紀，欧洲封建社会制度漸趋沒落，資本主义逐步兴起。随着貿易、海运交通的发展，造船、采矿、冶金等工业也急剧的发展起来。因此在生产上提出了許多迫切需要解决的工程技术問題。这就促使材料力学和其他有关科学迅速发展起来。由于海运的发展，要求增大船只吨位和改进船只結構。意大利科学家伽里略为了解决造船中的梁的問題，在总结前人經驗的基础上，对梁的强度作了一系列的實驗与計算。英国科学家虎克根据實驗的結果，在 1678 年提出了著名的虎克定律。他指出：在一定条件下物体的变形与它所受的載荷成正比。从此，材料力学才由过去生产实践积累的經驗的基础上开始走上理論与实践相結合的正确道路。

从十八世紀到二十世紀,由于机器制造,铁路交通,航空等工业的飞跃发展和技术进步,提出了許多新的科学技术問題,如振动载荷,压杆稳定,疲劳强度,薄壳强度等等,这就促使人們对这些問題进行研究,大大推动了材料力学的发展。

我国解放以后,生产关系发生了根本的改变,生产力从而得到迅速发展。在党和毛主席的英明领导下,随着我国社会主义建設事业的飞跃发展,科学技术也获得了很大进步。現在我国已經能够制造許多新型的产品,如一万二千吨的巨型水压机、大型水輪机、大型高炉、大型軋鋼机、噴气式飞机等等。另外,建成了像橫渡天塹的武汉长江大桥,許多巨大的水庫、宏偉的人民大会堂等建筑物。在这些产品和工程建筑物中,包含有不少材料力学の問題,这說明我国的材料力学科学,也已发展到了相当高的水平。随着我国社会主义建設事业的迅速发展,材料力学必将会获得更大的发展。

§ 1-3. 变形固体的性质及其基本假設

理論力学只研究物体受力后的外部效果,因而把物体看作是理想剛体,完全忽略物体因外力作用而引起的变形。材料力学研究的是物体受力作用后的内部效应,即强度、剛度和稳定性問題,在这些問題里,物体的变形是研究的主要因素,所以絕對剛体这一假定在这里已不适用,并把一切固体看成变形固体。

固体在外力作用下发生变形,当外力去掉后,固体能消除变形而恢复原来形状的那种性质称为彈性。不能恢复原来形状的性质称为塑性。能恢复的变形叫做彈性变形,不能恢复的变形叫做塑性变形或残余变形。

在自然界中,並沒有完全彈性体,一般变形固体,既具有彈性,也具有塑性。实验指出,金属、木材等工程材料,当外力不超过某

一限度时，可以看成是完全弹性的。多数构件在正常工作条件下只允许发生弹性变形。在材料力学中的大部分问题都只限于对弹性变形的研究。

固体的性质本来是比较复杂的，但为了便于进行研究，就将某些问题加以简化。为此对固体的性质提出如下的基本假设：物质是毫无空隙地充满了整个固体，而且固体的机械性质在各处都是一样的（即连续均匀性假设）。事实上，组成物体的微粒（或晶体）之间是不连续的，物体的机械性质也不是处处相同的。但在材料力学中，所研究的物体与组成它的微粒比起来要大得很多，因此，就整个固体来讲可以认为是均匀连续的。对于像钢、铜等金属材料，根据这个假设所得的理论实验结果很符合，对于砖、石、木材等材料则较差，但在一般情况下仍采用这个假设。

除了上述的基本假设外，还假定材料在各个不同的方向都具有相同的机械性质（各向同性的假设）。像铸钢、铸铜、玻璃和做得很好的混凝土等，都可当作各向同性材料。只在一定的方向上才有相同的机械性质的材料，称为单向同性材料。像钢丝、各种轧制的钢材和木纹整齐而无节疤的木材，都是单向同性材料。在材料力学中，研究各向同性材料所得的结果，可以近似地用来计算一些单向同性材料。

因为材料力学是在弹性范围内研究构件的变形的，所以其变形与构件的原始尺寸相比一般甚小，可以忽略。因此在应用静力平衡方程或作其他分析时，可以不考虑外力作用点在物体变形时所产生的位移，这样可使实际计算大为简化。

总之，在材料力学中是把实际材料看作均匀、连续、各向同性的可变形固体，并且在绝大多数场合下只限于研究弹性变形的情况。

§ 1-4. 外力及其分类

某一物体受到其他物体所作用的力,称为外力,包括載荷及約束反力。按照不同的特征,外力的分类如下:

(1)按外力在物体上的分布情况可分为体积力(力分布在整个体积内)和表面力。例如自重就是体积力的一种。表面力又可分为分布力和集中力。連續分布在物体某一表面上的力称为分布力。例如砌在梁上的墙对梁的作用力便是分布力。当外力作用的面积远小于物体表面面积时,就可以将这种力看作是作用在一点处的集中力。像火車車輪作用于鋼軌上的压力、天平刀口支承的反作用力等,在一般計算中都可看作是集中力。集中力的单位是吨或公斤,分別用 t 或 kg 表示。

(2)按載荷随時間改变的情况,可分为靜載荷和动載荷。靜載荷指的是慢慢地由零增加到某一定数值,以后即保持不变或变动得不显著的載荷,例如蓄水池所受的水压,屋頂所受的雪重等都是靜載荷。动載荷指的是随時間改变的載荷,它又可分为冲击載荷和交变載荷。后者的大小或方向是随時間而变化的。例如鍛件被汽錘錘头鍛击时所受的載荷便是冲击載荷,蒸汽机活塞杆所受的載荷則是交变載荷。

§ 1-5. 杆件变形的基本形式

当外力以不同的方式作用在杆件上时,杆件将产生不同的变形。例如手搖鉸車(图 1-2)及鉸車架的各个杆件,如鋼绳、支柱、軸、鉚釘等因受力形式不同,便产生不同的变形。杆件变形的基本形式有下列四种:

(1)軸向拉伸与压缩 这种变形是一根直杆的两端受到大小相等、方向相反、作用綫与軸綫重合的两个外力作用,使杆件的长

度发生了改变(图 1-2, b);

(2)剪切 这种变形是一根杆件受到大小相等、方向相反、相距很近的两平行外力的作用,使两力中间这部分的各个横截面沿外力方向发生了错动(图 1-2, c);

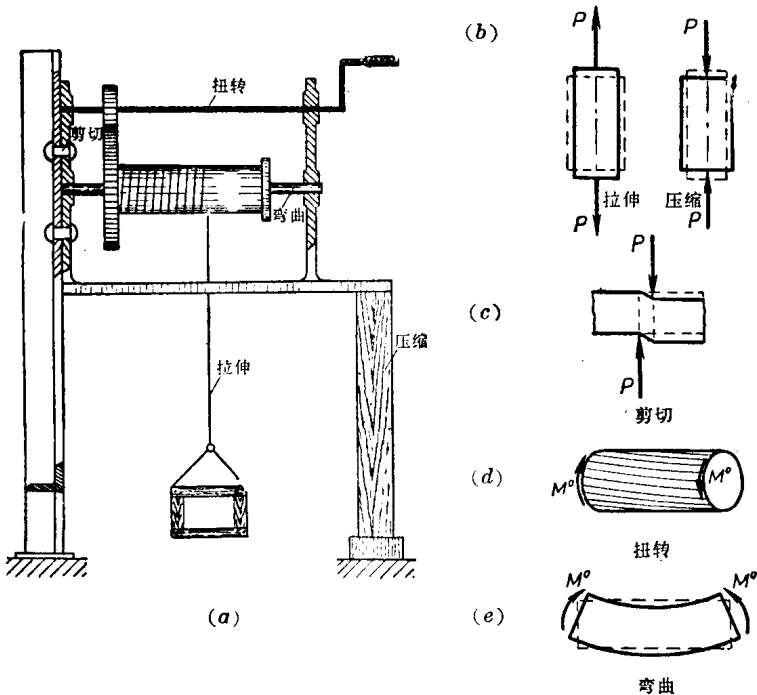


图 1-2

(3)扭转 这种变形是一根直杆在垂直于轴线的两平面内受到大小相等转向相反的两力偶的作用而产生的变形(图 1-2, d);

(4)弯曲 这种变形是一根直杆在其纵向对称面内受到大小相等转向相反的两个力偶的作用而产生的变形(图 1-2, e)。

有时,杆件的变形较为复杂,不过可以看成是由上述几种基本变形组合而成。

复 习 題

1. 工程上的机械或结构的构件应该满足哪些基本要求？如果这些构件不满足强度、刚度和稳定性的要求将产生怎样的后果？试举例说明。
2. 学习材料力学的目的是什么？
3. 为什么同一物体，在理论力学中把它看成是理想刚体，而在材料力学中却要考虑它的变形？
4. 何谓弹性和塑性？何谓弹性变形和塑性变形？
5. 何谓连续均匀性假设？在材料力学中，为什么对于变形固体作这样的基本假设？
6. 杆件变形的基本形式有哪些？举一些实例说明。

第二章 拉伸与压缩

拉伸或压缩是四种基本变形中最简单的一种。若在杆的两端，沿轴线作用着大小相等、方向相反的两个力 P ，则杆便沿轴线方向伸长(图 2-1, a)或缩短(图 2-1, b)。这种变形，叫做拉伸或压缩。

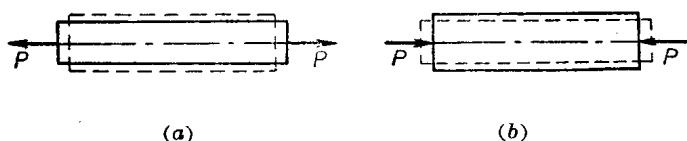


图 2-1

在工程中，承受拉伸或压缩作用的杆是最常见的。例如如图 2-2, a 所示的压力机，当手柄受力 P 作用后，杆 BC 和立柱被拉伸，而杆 EC 和 DC 则被压缩。其他如蒸汽机的活塞杆、密闭高压容器

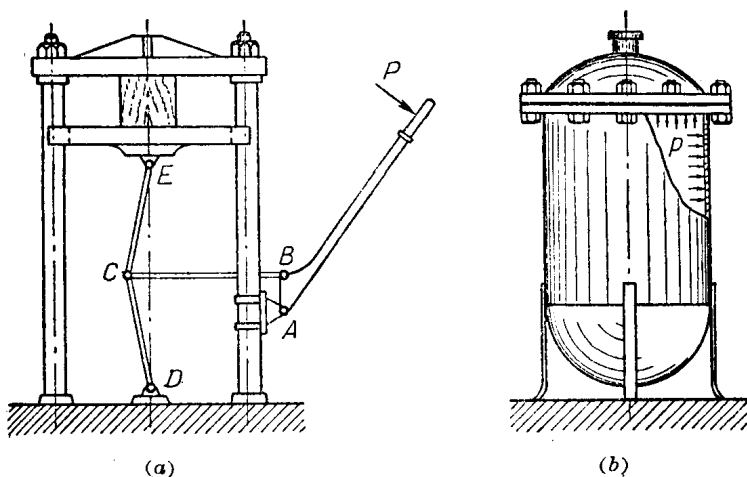


图 2-2