

中等专业学校推荐試用教材

矿冶类专业通用

材料力学

CAILIAO LIXUE



人民教育出版社

中等专业学校推荐试用教材

矿冶类专业通用

材 料 力 学

冶金部四院校合編
辽宁冶金学院

人民教育出版社出版 高等学校教学用书编辑组
北京宣武门内大街25号

(北京市书刊出版业营业许可出字第2号)

京 华 印 书 局 印 装

新华书店科技发行所发行

各 地 新 华 书 店 經 售

统一书号 15010.1006 开本 787×1092¹/₃₂ 印张 6¹/₁₆

字数 149,000 印数 00001—17,000 定价(5) 0.55

1961年6月第1版 1961年7月北京第1次印刷

序

为深入贯彻党的教育方针,提高教育质量,选编教材是一项重要的工作。1961年3月,在党的领导下,根据冶金工业部指示,由冶金部所属四院校和辽宁冶金学院抽调十名教师,集体选编矿冶类中等专业学校用的工程力学教材。选编教材是以1959年的冶金系统中专学校指导性教育计划为依据,以高教部55年颁发的工程力学教学大纲(四年制非机械制造专业,260小时)为参考,结合各校教学经验,根据矿冶类专业培养目标的要求,在目前兄弟院校使用的教材、讲义的基础上,进行选编。为适应矿冶类各专业教学需要,工程力学分理论力学、材料力学和机械原理与机械零件三部分编写。

材料力学是工程力学的第二部分。本书主要介绍了材料的机械性质、四种基本变形规律以及强度刚度条件,并在此基础上介绍了复合应力计算方法的原理和关于压杆稳定的概念。根据矿冶类专业的需要,本着少而精的原则,我们加强了基本概念以及运算方法的阐述,对于强度理论、弯曲变形的计算方法,仅作简要的叙述。在剪切一章中我们增加了铆接和焊接的计算实例,其目的是使材料力学更好地与机械零件密切配合,以减少不必要的重复。

针对教学的特点,结合目前我国中等专业学校学生的实际情况,本书在内容上力求精练扼要,叙述力求简明易懂,并注意了结合工程实际,培养学生独立工作能力;在每章开始叙述正文前提出本章主要任务与需要解决的问题;每章后有配合内容的复习题和应用计算题。

讲完本书预定学时为75小时,其中包括6小时的材料机械试验。但因各专业的性质不同,选用本书时,可以结合专业要求加以

調整或充實,例如書中標有*號的章節如薄壁容器、溫差應力、硬度試驗等可以根據需要,進行講授。

工程力學的三部分——理論力學、材料力學、機械原理與機械零件是採取分頭選編集體討論的方式,因此對三部分內容的相互聯繫,作了較大的努力。每一部分的選編也是採取集體討論,分工執筆的方式。材料力學各部分選編負責人是:緒論及第一、二、三、八等章——張成文,四、五、九等章——謝哲東,六、七等章——高廣琳。

教材的選編工作是在冶金工業部教育司和鞍山冶金專科學校的直接領導和親切關懷下進行的。我們要特別感謝鞍山冶金專科學校的領導和同志們對我們的關心和大力支援,使我們的選編教材能勝利完稿。

由於選編者的政治思想和業務水平不高,缺乏選編經驗,同時由於選編時間較為緊迫,書中謬誤定難避免,我們竭誠希望本書的讀者,尤其是教師們提出寶貴的建議和批評。

石 景 山 冶 金 學 院

鞍 山 鋼 鐵 學 院

遼 寧 冶 金 學 院 工程力學教材選編小組

鞍 山 冶 金 專 科 學 校

吉 林 冶 金 電 氣 化 專 科 學 校

目 录

序	vi
緒論	1
第一章 基本概念	6
§ 1-1 变形固体的性质及其基本假设	6
§ 1-2 外力及其分类	7
§ 1-3 内力·断面法·应力	8
§ 1-4 杆件及其变形的形式	10
复习题	11
第二章 拉伸与压缩	12
§ 2-1 拉伸或压缩时横断面上的内力、应力与变形	12
§ 2-2 虎克定律	17
§ 2-3 拉伸或压缩时的强度计算	19
§ 2-4 圆柱形薄壁容器的计算	22
§ 2-5 拉伸或压缩的静不定问题	24
§ 2-6 温差应力	26
§ 2-7 拉伸或压缩时斜断面上的应力	27
复习题	30
练习题	31
第三章 材料机械性质及其试验	34
§ 3-1 材料机械试验的概述	31
§ 3-2 静拉伸试验·应力应变图	35
§ 3-3 压缩试验·压缩应力应变图	42
§ 3-4 硬度	44
§ 3-5 应力集中概念	44
§ 3-6 塑性材料与脆性材料机械性质的比较	46
§ 3-7 交变应力与疲劳极限	47
§ 3-8 许用应力·安全因数	51
复习题	52
第四章 剪切	53
§ 4-1 剪切时的内力、应力与变形	53
§ 4-2 剪切虎克定律	55

§ 4-3 剪应力双生定律	56
§ 4-4 剪切强度条件	57
§ 4-5 挤压	58
§ 4-6 剪切和挤压的计算例题	60
§ 4-7 铆接计算	62
§ 4-8 焊接的计算	67
复习题	70
练习题	71
第五章 圆轴的扭转	73
§ 5-1 扭矩的计算·扭矩图	74
§ 5-2 圆轴扭转时应力、变形的计算公式	77
§ 5-3 圆与空心圆断面的极惯性矩和抗扭断面系数	82
§ 5-4 圆轴扭转的强度与刚度计算	84
复习题	87
练习题	88
第六章 平面图形的几何性质	90
§ 6-1 面积矩	90
§ 6-2 惯性矩	91
§ 6-3 简单图形的惯性矩	92
§ 6-4 惯性矩的移轴定理	94
§ 6-5 复杂图形的惯性矩	95
复习题	97
练习题	97
第七章 直梁的弯曲	98
第一部分 梁弯曲的一般概念	98
§ 7-1 梁的概念·工程实例	98
§ 7-2 梁结构的类型·作用在梁上的载荷	99
§ 7-3 梁的支座构造及其反力的计算	101
第二部分 梁横断面上的内力——剪力与弯矩	103
§ 7-4 剪力与弯矩	103
§ 7-5 剪力图与弯矩图	107
第三部分 梁内的应力	122
§ 7-6 梁纯弯曲时横断面上的正应力	123
§ 7-7 几种简单断面形状的抗弯断面系数	128
§ 7-8 梁内的剪应力概念	130
§ 7-9 梁的强度计算·断面的经济形状	132

第四部分 梁的变形·靜不定梁	138
§ 7-10 梁的撓度和轉角	138
§ 7-11 靜不定梁	142
复习題	145
練習題	146
第八章 复合强度	150
§ 8-1 弯曲与拉伸或压缩的組合作用	151
§ 8-2 偏心拉伸或压缩	154
§ 8-3 弯曲与扭轉組合作用	158
复习題	164
練習題	165
第九章 压杆的穩定	167
§ 9-1 压杆穩定的概念	167
§ 9-2 确定临界力的欧拉公式	168
§ 9-3 欧拉公式的适用范围 临界应力的經驗公式	171
§ 9-4 压杆稳定性校核	172
复习題	176
練習題	176
附录	177
参考书目	188

緒 論

(一)材料力学的任务

材料力学是一門技术基础課，是工程力学的第二部分。

在理論力学中，我們研究了受力物体的平衡及运动的規律。而材料力学則是在理論力学的基础上，进一步研究关于构件强度、剛度、穩定性計算原理的科学。它是学习某些技术基础課(如机械零件)和专业課的理論基础。

在冶金工厂和其它任何工厂，都将遇到机械或結構物。它們都是由許多各种形式的构件組成的。这些构件在工作时，都将承受各种不同的載荷作用。例如，桥式起重机在吊起重物时，起重机的各个部分(如吊鉤、繩索、橫梁……)都要受到力的作用。构件在載荷作用下，可能会因为强度不够而发生破坏；也可能因为产生过大的变形而不能正常工作。例如：起重机橫梁在起重时，如果弯曲变形过大会发生很大的振动。另外，构件在載荷作用下也会由于突然失去原来的形状而不能繼續使用。例如：細长的支柱，在較大的压力下会发生突然的弯曲。因此，为了使机械或結構物能够安全而正常的进行工作，在設計构件时，必須滿足以下几个方面的要求：

强度 保証构件在載荷作用下不致破坏；

剛度 保証构件在載荷作用下不致发生过大的变形；

穩定 保証构件在載荷作用下不致突然失去原来的平衡形状。

材料力学的任务，就是要为构件选择适当的材料，合理的断面形状和尺寸以滿足上面三个基本要求。为了保証构件的安全，我們可以选择較好的材料和較大的断面尺寸，但这样会造成材料的

浪費，成本的提高，不符合社会主义經濟節約的原則。因此，在保證安全的同时，还要符合經濟的原則，而这两者往往是相互矛盾的，前者要求加大尺寸、多用材料；后者要求减小尺寸、少用材料。在解决这一矛盾时，必須根据多快好省地建設社会主义总路綫的精神，既反对單純強調經濟观点而忽視安全可靠，又要反对片面強調安全可靠而忽視发掘材料的最大潜力。材料力学是从力学观点出发来解决这一矛盾的，同时也正是由于这一矛盾，才促使材料力学不断的向前发展。

除了上述基本要求外，由于生产不断发展，科学技术水平的不断提高，現代工程建設又向材料力学提出許多新的特殊要求。例如：如何減輕重量，材料在高温、高压下的强度性能等等，这就要求我們研究新的材料及其性質，改造旧的計算理論和創立新的計算理論。随着这些問題的解决，大大促进了材料力学的发展。

(二)材料力学发展概述

厂史証明：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，这些理論反过来，回到实践中去指导实践，又加速了生产的发展。

在远古时代，人們就已經在长期劳动和生产实践中，积累了丰富的有关材料力学方面的知識。在这一方面，我国劳动人民有着光輝的成就，早在3000多年以前，我們的祖先就已經能建造木结构的房屋，用輻条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轴承来減少摩擦，到了汉代（公元一世紀）就应用了鉄軸。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。还在2000多年以前，我国劳动人民就以其勤劳、勇敢和智慧修建了許多象长城、运河等巨大工程。

至今尚完整存在的河北赵州桥是由隋代杰出的工程师李春(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。上面只是举了几个例子。通过长期劳动和生产实践,我国劳动人民已經积累了丰富的經驗,总结写出了象墨經、考工記、营造法式和天工开物等等光輝的著作。这一些都說明了我国科学技术在十四世紀以前是处于世界的前列。但是在十四世紀以后,由于封建統治的延續;統治階級重儒輕艺,阻碍了生产力的发展,因而一直未能在理論上得到进一步发展。

十七世紀,欧洲正处在封建社会制度沒落,資本主义兴起的时代。随着貿易、海运交通的发展,造船、采矿、冶金等工业急剧的发展起来,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。从此,設計不再是单凭經驗而是在科学理論的指导下进行了。英国科学家在总结实验的基础上,在1678年提出了力与变形之間的綫性关系,即著名的虎克定律。

从十八世紀到二十世紀,由于机器制造,鉄路交通,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:振动載荷,压杆稳定,疲劳强度,薄壳强度等等,这就促使人們加以研究,大大推动了材料力学的发展。

十月革命以后,苏联开始了宏偉的社会主义建設,优越的社会主义制度保证了科学技术的飞跃发展,使得苏联在力学的各个领域内和其他科学一样,大大超过了帝国主义国家而居于世界的前列。特别是人造卫星宇宙火箭更雄辯的說明了这一点。我們知道卫星与火箭是在高温、高压与高速下工作的飞行器,其結構的設計

与材料的选用是当前科学技术中的尖端問題。

我国解放以后，从根本上改变了阻碍社会生产力发展的生产关系，在党和毛主席的领导和无比优越的社会主义制度下，随着我国社会主义建设的高速度发展，科学技术也获得了很大发展，尤其是1958年以来，随着工农业持续大跃进和群众性技术革命运动，在科学技术方面(包括材料力学)取得了巨大成就。我国自己已经能够自己制造许多高大精尖的产品，如：巨型水涡轮、大型高炉、大型轧钢机、喷气式飞机等等。另外，完成了象横渡天堑的武汉长江大桥，许多巨大的水库、宏伟的人民大会堂等工程建设，在这些产品和工程建设中就包含有不少的材料力学问题。由于我国社会主义建设事业高速度的发展，对科学技术提出了更高的要求。我们相信，在党和毛主席的领导下，紧紧依靠群众，发动群众，将使我国科学水平在不久的将来会再居于世界的前列。

(三)材料力学的研究方法

材料力学的研究方法，同其他科学一样，包括：实际观察或实验观察，假设，理论分析，实践(或实验验证)等过程。

材料力学所研究的问题，都是工程中的实际问题。因此，必须对实际物体的具体现象进行观察或在实验中进行观察。

但实际现象往往是非常复杂的，为了便于研究，必须采取抽象化的方法抓住所观察到的实际现象的本质，略去次要因素，建立若干假设，做为理论分析的基础。

在假设的基础上，以数学，力学为工具进行理论分析建立材料力学的理论。

理论分析的结果是否正确，须要通过生产实践或实验来加以验证同时实践又使材料力学理论向前发展。

在材料力学中，实验不仅是用来验证理论，而且是建立理论的基础。材料力学的许多假设都是建立在实验观察的基础上的。此

外,要解决强度、刚度、稳定性问题,首先必须通过实验来掌握材料的机械性质。所以实验是材料力学不可分割的一部分。因此在今后的学习中必须把理论和实验紧密的联系在一起。

第一章 基本概念

§ 1-1 变形固体的性质及其基本假设

材料力学所研究的材料都是固体。在自然界中，任何固体在外力作用下都要或多或少的发生变形。也就是固体的几何形状和尺寸发生改变。在理论力学中，我們曾經假设固体是绝对刚体，那是因为理论力学主要是研究固体运动规律的科学。而固体在外力作用下产生的微小变形，对于固体运动规律不起实际影响。因此，可以把变形视为次要因素而略去不计。但材料力学主要是研究材料强度和刚度问题的，所以固体的变形就是主要因素，必须加以研究。在材料力学中，把固体视为变形体。

固体在外力作用下产生变形。当外力去掉后，固体能消除变形而恢复原来的形状，这一性质称为弹性。能完全消除变形的固体，称为完全弹性体。相反的，某些固体在外力去掉后，能保留较大的变形而不恢复原来的形状，这一性质称为塑性。能完全保留变形的固体，称为完全非弹性体。但是事实上，完全弹性体与完全非弹性体是不存在的。自然界中一切固体既具有弹性，也具有塑性。当外力去掉后，能恢复的变形，称为弹性变形；不能恢复的变形，称为塑性变形或残余变形。实验指出，对于象金属，木材等材料，当外力不超过某一限度时，可以看成是完全弹性体，当外力超过这一限度就出现了较大的塑性变形。材料力学主要是在弹性范围内来研究固体的变形，因此，在今后讨论的许多问题中，将把变形固体看成是完全弹性体。

由于变形固体的性质比较复杂，为了使问题简化以便研究。对变形固体的性质，提出如下的假设，作为理论分析的基础。

(1) **均匀连续性假设** 这一假设认为固体的性质在各处都是

一样的,而且物质是毫无空隙的充满了整个固体。

事实上,固体是由许许多多微粒(或晶体)组成的,它们之间并不是连续的,而且性质也不均匀。但是,我们所研究的固体比起这些微粒(或晶体)要大得多。因此,就整个固体来讲可以认为是均匀连续的(也就是由密实的质点组成的)。对于象钢、铜等金属材料,根据这个假设所得的理论和实验结果很符合,对于砖、石、木材等材料可以近似认为是符合的。

(2)各向同性假设 这一假设认为固体的机械性质在各个方向上都是相同的,这种材料称为各向同性材料。根据这个假设,我们在研究固体的性质时,可以不考虑方向。对于铸钢、铸铜及浇注得很好的混凝土等,都可以认为是各向同性材料。但是对于轧制的钢材(扁钢、钢丝)、木材等只在一定方向上才具有相同的机械性质,这种材料称为各向异性材料(或单向同性材料)。

(3)小变形假设 这一假设认为固体在外力作用下所产生的变形与整个固体的尺寸比较起来是很微小的,因为材料力学是在弹性范围内研究变形的,所以一般变形都是微小的。根据这一假设可以使很多问题得到简化,如在应用静力学平衡方程式求梁支座反力时,梁的变形就可以略去不计。

§ 1-2 外力及其分类

一物体受到其他物体的作用力称为外力(载荷)。按照不同特征,外力可以分类如下:

(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)与表面力。例如自重就是体积力的一种。表面力又可分为分布力与集中力。连续作用在物体某一表面上的力称为分布力。分布力还有均匀分布与非均匀分布两种情况。当外力作用的面积远小于物体表面面积时,可以认为外力集中作用于一点,这种力称为集中力。

(2)按载荷作用性质,可分为静载荷与动载荷。静载荷是指大小不变或缓慢加于物体上的载荷。动载荷又可分为冲击载荷与大小及方向随时间而变化的交变载荷。

很明显,物体在静载荷及动载荷作用下,所表现的性质是不相同的。本教材主要是研究静载荷对物体的作用。

§1-3 内力·断面法·应力

物体在外力作用下将产生变形,亦即外力迫使微粒之间的相对位置发生改变,这时,物体内部就产生抵抗变形的力,这种力称为内力。内力是由载荷引起的物体各部分之间的相互作用力。当载荷增加时,内力也随之增大以抵抗外力。但对一定材料来说,内力的增加有一定的限度,超过了这一限度,物体就会破坏。因此内力与强度问题有着密切关系。为了解决材料力学问题,我们必须首先求出内力。

确定物体任意断面上的内力的方法是断面法。如图1-1所示,物体在力 $P_1, P_2, P_3, \dots, P_n$ 作用下处于平衡。为了求任一断面 $abcd$ 上的内力,我们可以设想沿 $abcd$ 断面把物体切开,移去一部分,留

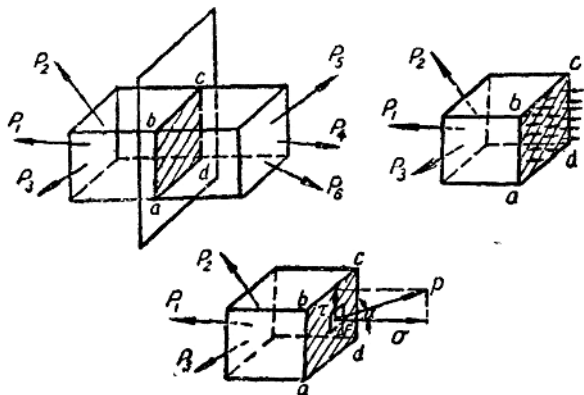


图 1-1

下一部分。例如移去右边部分留下左边部分。在左边部分上除了外力 $P_1, P_2, \dots$ 作用外，还有右边部分对左边部分的作用力，亦即作用在 $abcd$ 断面上的内力。由于整个物体是平衡的，所以切开以后的各部分也应处于平衡状态，对左边部分列平衡方程式就可以求出内力的总和。根据作用与反作用定律，左边部分对右边部分也必有大小相等、方向相反的内力作用，因此，求内力时可以取断面两侧的任一部分均可。

上述求内力的方法，称为断面法。断面法是解决材料力学问题的一个最基本方法。

但是，断面法只求出了内力的总和，至于内力在断面上是怎样分布的还不知道。为了解决强度问题，还必须求出断面上各点内力分布的密度。

在断面上某点处取一微小面积 ΔF ，设作用在 ΔF 上的内力为 ΔP ，则 ΔP 与 ΔF 之比，称为面积 ΔF 上的平均应力，用公式表示：

$$p_{\text{平均}} = \frac{\Delta P}{\Delta F}$$

当面积缩小并趋近于零时，则 $\frac{\Delta P}{\Delta F}$ 的极限值称为断面上某点的应力。用公式表示如下：

$$p = \lim_{\Delta F \rightarrow 0} \frac{\Delta P}{\Delta F} = \frac{dP}{dF}$$

式中 p 称为全应力。全应力是一向量，可以将其分解为两个分量：一个沿法线方向，称为正应力（或法线应力），用 σ 表示；一个在断面平面内，称为剪应力（或切应力），用 τ 表示。由图 1-1 可以看出它们有下列关系

$$p^2 = \sigma^2 + \tau^2,$$

$$\sigma = p \cos \alpha, \quad \tau = p \sin \alpha.$$

α 为全应力 p 与法线之间的夹角。

§ 1-4 杆件及其变形的的基本形式

材料力学的研究对象主要是杆件，所谓杆件就是固体的长度远大于其横断面尺寸。如图 1-2 所示杆件有直杆(a)、曲杆(b)，等



图 1-2



图 1-3

断面杆及变断面杆。其次材料力学还研究板(图 1-3, a), 壳(图 1-3, b)。本教材的研究对象主要是直杆。

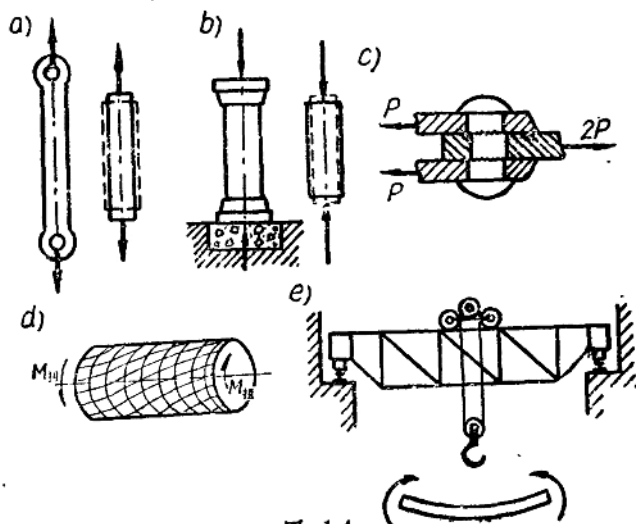


图 1-4