

工业专科学校試用教科書



工 程 力 学

GONGCHENG LIXUE

第二部分 材料力学

(非机电非土建类型各专业用)

湖北省三年制工业专科学校
工程力学教材选編組选編

湖 北 人 民 出 版 社

工业专科学校試用教科書



工 程 力 学

第二部分 材料力学

(非机电非土建类型各专业用)

湖北省三年制工业专科学校

工程力学教材选编组选编

湖北人民出版社

內 容 提 要

本書包括理論力學及材料力學兩部分，現分開出版。

第一部分理論力學包括：靜力學、運動學、動力學等三篇共十六章。

第二部分材料力學分為基本內容和專題二篇共十一章。基本內容有緒論、直行的軸向拉伸和壓縮、扭轉、梁的彎曲、复合抗力、應力狀態理論及強度理論壓杆的穩定等七章；專題有動荷問題、構件在重復應力作用下的強度計算、薄壁容器、實驗應力分析概論等四章。

本書的主要讀者是三年制工業專科學校冶金、化工、輕工業等機械非土建類型各專業的学生，也可作為二年制專科低學時的專業的教材。

工業專科學校試用教科書

工 程 力 學

第二部分 材料力學

(非機械非土建類型各專業用)

湖北省三年制工業專科學校

工程力學教材選編組選編

*

湖北人民出版社出版 (武漢解放大道332號)

武漢市書刊出版業營業許可證新出字第1號

湖北省新华書店發行

湖北省新华印刷厂印刷

*

787×1092 毫米 $\frac{1}{32}$ 、6 $\frac{15}{16}$ 印張·159,000 字

1961年7月第1版

1961年7月第1次印刷

印數：1—6,150

統一書號：15106·202

定 价：0.90 元

选編說明

本書的主要兰本是大連工学院材料力学教研室編的“材料力学”(人民教育出版社1960年版);专题部分的第十章薄壁容器与第十一章实验应力分析概論則选自南京工学院力学教研理編的材料力学(人民教育出版社1960年版)。

为了适应三年制工业专科学校非机械、电机与非土建类型各专业的具体情况,在选編时曾注意到保持主要兰本的特点,用不大的篇幅介紹了本門課程的主要內容;全書分为基本內容与专题两篇,对根据专业性質选择专题內容,可能較為方便。

本書由广东江門工业专科学校区梓权、武汉水利电力学院李蕢宜选編,由武汉水利电力学院栗一凡校訂,并由栗一凡負責主持全部选校工作。

湖北省三年制工业专科学校工程力学教材选編組

第一篇 基本內容

第一章 緒論	1
§ 1-1 材料力学的任务	1
§ 1-2 材料力学的发展	2
§ 1-3 材料力学研究的构件、构件变形的形式	4
§ 1-4 材料力学研究的材料及其基本假设	6
§ 1-5 材料力学理论与实验的关系	7
§ 1-6 材料力学与其他课程的关系	8
第二章 直杆的轴向拉伸和压缩	9
一、直杆拉伸和压缩时的应力计算	9
§ 2-1 拉压实例	9
§ 2-2 截面法求内力·内力的度量——一点的应力	10
§ 2-3 轴向拉伸(压缩)时横截面上的应力	12
§ 2-4 轴向拉伸(压缩)时斜截面上的应力	13
§ 2-5 强度条件及其应用	15
§ 2-6 有关应力应变的某些概念	16
二、常温静载荷下材料机械性质的研究	18
§ 2-7 拉伸试验·低碳钢的应力应变图	19
§ 2-8 其他材料的拉伸图	23
§ 2-9 压缩时材料的机械性质	27
§ 2-10 材料的塑性状态与脆性状态	29
§ 2-11 挤压的概念	29
§ 2-12 蠕变及松弛的概念	30
三、安全系数与许用应力	31
§ 2-13 安全系数与许用应力	31
第三章 扭转	35
§ 3-1 扭转的实例	35

§ 3-2 力偶矩、轉速和功率間的关系	36
§ 3-3 扭矩图	37
§ 3-4 圓軸扭轉时橫截面上的应力	39
§ 3-5 圓軸扭轉时的变形	47
§ 3-6 实心和空心圓軸的强度和刚度条件	47

第四章 梁的弯曲

一、內力計算・內力图	52
§ 4-1 弯曲的概念	52
§ 4-2 剪力及弯矩	53
§ 4-3 剪力图、弯矩图	58
§ 4-4 弯矩、剪力与載荷集度間的微分关系	61
二、梁的应力	64
§ 4-5 梁橫截面上的法应力	64
§ 4-6 弯曲时的强度校核	75
§ 4-7 梁截面的合理形状	76
§ 4-8 矩形截面梁的剪应力	78
§ 4-9 其他截面梁的剪应力	81
§ 4-10 剪切强度校核	83
三、梁的变形	85
§ 4-11 梁的变形在工程中的意义	85
§ 4-12 梁的刚度和截面轉角	85
§ 4-13 挠曲軸的近似微分方程式及其积分	87
四、靜不定梁	93
§ 4-14 靜不定梁的实例及基本概念	93
§ 4-15 变形比較法	94

第五章 复合抗力

§ 5-1 复合抗力实例	99
§ 5-2 偏心压縮(拉伸)时的应力計算及强度校核	100
§ 5-3 弯曲、扭轉同时作用时的应力計算及刚度校核	102
§ 5-4 拉伸(压縮)、弯曲与扭轉同时作用时的应力計算	105
§ 5-5 計算复合抗力的普遍情形	107

第六章 应力状态理論及强度理論109

一、应力状态理論109

§ 6-1 一点的应力状态及其表示方法109

§ 6-2 平面应力状态时任意斜截面上应力的計算110

§ 6-3 求应力的图解法(应力圓)111

§ 6-4 最大应力的确定·主应力及主平面114

§ 6-5 三向应力状态时的最大应力117

§ 6-6 复杂应力状态下应力与变形的关系·广义虎克定律119

§ 6-7 复杂应力状态下的彈性变形比能120

二、强度理論121

§ 6-8 强度理論的概念121

§ 6-9 目前常采用的四个强度理論121

§ 6-10 几个强度理論在工程設計中的应用125

§ 6-11 对于强度理論应有的認識127

第七章 压杆的稳定128

§ 7-1 稳定問題的提出·稳定的概念128

§ 7-2 求临界力的欧拉公式130

§ 7-3 临界应力·欧拉公式应用范围及临界应力总图的概念133

§ 7-4 压杆的实际計算136

§ 7-5 压杆的合理截面及材料的选择139

§ 7-6 其他稳定問題介紹140

第二篇 专 題

第八章 动荷問題142

§ 8-1 实例及基本概念142

一、慣性力的影响143

§ 8-2 等加速度运动杆件的計算143

§ 8-3 等速旋轉杆件的計算144

§ 8-4 变加速度运动的杆件146

二、冲击載荷147

§ 8-5 被冲击物的应力計算	147
三、振动应力概念	153
§ 8-6 振动应力概念	153
第九章 构件在重复应力作用下的强度計算	156
§ 9-1 基本概念・重复应力問題在工程实际中的重要意义	156
§ 9-2 应力循环及循环特性	157
§ 9-3 在重复应力作用下材料破坏現象及其产生原因的假說	159
§ 9-4 材料的持久极限及其測定方法	159
§ 9-5 影响持久极限的因素	161
§ 9-6 提高构件持久极限的措施	163
第十章 薄壁容器	172
§ 10-1 概述	172
§ 10-2 薄壁壳体的薄膜理論	172
§ 10-3 圓筒形容器蓋的計算公式	178
第十一章 实验应力分析概論	183
§ 11-1 概述	183
§ 11-2 用电阻应变仪測应力	183
§ 11-3 測定应变及計算应力	185
§ 11-4 电阻应变仪实验中的几个問題	186
§ 11-5 脆层法	189
§ 11-6 光彈性法	192
§ 11-7 光彈性法的基本原理	192
附录 鋼綫规范	197

第一篇 基本內容

第一章 緒 論

§ 1-1 材料力学的任务

無論在哪个工业生产部門都广泛地遇到机械或結構物，它們都是由各式各样的构件装配而成，它們在工作中都要受到力的作用。为了确保生产的正常进行，就必然会对构件受力后的工作情况提出一些要求，例如：机器的傳动軸不能太細，否則一开动机器，軸就因受力过大而扭断了；又如装配一台机器时用起重机的起吊各个构件，假若起重机的大梁不够剛硬，受力后很易变形，那么在它起吊的时候，起重机本身就振动得厉害，給安装工作造成困难。因而就要求起重机的大梁要有足够的剛硬性，不致产生过大的变形。再如化学工业中常見的減压塔，是个較薄的圓筒，內部抽成真空，外部受大气压力，如果筒壁过薄，則大气压力会使圓筒突然发生屈曲，变成波浪形，因而容器就不能正常工作了。这些例子所說明的現象是有一般意义的，为了避免这些現象的发生，我們通常对构件正常工作提出下列三方面要求：

(一)强度——保証构件在外力作用下不致破坏；

(二)剛度——保証构件在外力作用下不致有过大变形；

(三)穩定——保証构件在外力作用下不致突然失去它原有的平衡形式。

这些要求是对各种机器，結構物的构件的基本要求。但要滿足这些要求会遇到一些矛盾，比如說一根梁是采用什么材料好？这

样的材料制成的构件受一定的载荷作用时要用多大的截面尺寸才行？这么大的尺寸的截面又采取什么形状最好？这中间就包含着构件受力与材料使用間的矛盾。材料力学的任务，就是在选定材料的情况下，解决构件的强度、刚度、稳定性三方面的要求与构件截面尺寸及形状之間的矛盾。因此，就必须深入研究构件受力，变形，截面尺寸以及材料的机械性質（即力与变形方面的性質）等方面的內在連系，从而力图用最少量的材料去承担最大的载荷，也就是从力学的观点出发来解决构件的安全与材料經濟之間的矛盾。

当然，一个結構物的設計是否符合安全与經濟的原则，单从力学观点上来考虑是不夠的，还必须考虑到其他方面的条件，如构件加工，材料的来源与运输，构件工作性質等。有时各方面都需要服从于某种特殊要求，例如紧急工程中一切服从于安全和迅速，在航空工程中要求尽可能減輕构件的重量，火箭发动机的制造中必須采用耐高温的材料等，这些方面的具体考虑是由有关的专业課討論解决的，因此只有在学了材料力学以及其他基础課、专业課之后，我們才具备有比較全面的观点来最終地解决专业設計中提出的机器或結構物的安全与經濟的問題。

§ 1-2 材料力学的发展

科学的产生是由于生产斗争的需要，生产力的发展是促使科学发展的决定因素。科学的进步又反过来促进了生产的发展。材料力学的发生与发展过程也是如此。

在材料力学还未誕生以前，人們已經在长期生产斗争中逐渐掌握了材料的特性，积累了如何选择合理的形状和尺寸的经验，制造出效率較高的工具。例如我国在三千多年前就用輻条代替了車輪圓板，二千多年前就用鉄軸代替了木軸，一千八百多年前就創造了各种水力机械，如水磨，水排，水轉翻車，水力紡織机等。

在古羅馬、埃及、印度也有類似的創造。

到十四世紀以後，隨着資本主義的興起和發展，海外貿易的大量增加，提出了增加船舶噸位，興修水閘等較複雜的技術問題。這時憑以往經驗已很難正確決定構件的形狀和尺寸，而必須對材料的受力和破壞進行深入的研究，以找到合適的理論計算方法。因而迫使人們開始對材料強度作理論性的研究。其中最初進行這一工作的是意大利科學家伽利略，他對當時工程上最常遇到的梁的彎曲問題進行了許許多多的實驗，但由於當時實驗設備簡陋，因而沒發現材料受力後會變形的性質，仍按剛體力學的方法來研究，沒有得到正確答案。後來不斷有人繼續這方面的研究，直到英國的虎克發現虎克定律，建立了材料變形的概念以後，彎曲強度問題才得到了正確答案。這就是材料力學的誕生過程。

十八世紀產業革命以後，機器愈來愈被廣泛應用於生產，軸的扭轉問題顯得突出。同時鋼的应用促使構件形狀由實體變為薄壁，於是穩定問題被提出來。二十世紀初隨着高速大馬力機器的大量出現，又促使人們對動荷問題進行了研究。航空工業的發展，促進了薄壁、薄殼強度計算的研究及穩定疲勞問題的發展。與此同時，由於結構物及各種機械日益走向大型以及結構上的複雜，理論分析一時趕不上需要，因而出現了許多新的實驗方法，如利用電阻變形儀，偏光彈性儀等進行實驗應力分析的方法。這些實驗一方面解決了實際問題，同時又推動了材料力學理論的發展。在材料性質的研究方面，由於熱力機械的不斷發展，促使人們進一步研究了高溫下的材料性質。這些研究與近代原子核技術，火箭技術有着密切的關係。

目前材料力學的發展方向是繼續深入研究：振動、穩定、疲勞、蠕滑及弛緩性質等問題，以及進行實驗應力分析的新技术研究等，以滿足當代生產機械化自動化的要求。

苏联对材料力学的发展所起作用巨大的，前面提到的薄壁、薄壳强度計算，动荷，稳定，疲劳，蠕滑等問題，都是首先在苏联获得理論的建立或发展。材料微觀性質的研究方向也是由苏联于1954年特別指出的。我国解放以后，在党的关怀与领导下，在坚持向苏联学习的方針下，材料力学的研究已在开始，特别是1958年大跃进、大搞群众运动以来，在材料性質的研究和实验应力分析等方面都取得了很大的成績。例如新的球化剂研究成功改进了鑄鉄的性質；电測、光測等实验应力分析方面的工作，大大地加快了我国机械工业发展的速度。再如武汉长江大桥，人民大会堂，北京火車站等工程都是世界第一流的设计，反映了我国材料力学及有关的力学的水平。这些事实，都有力地說明了社会主义制度的无比优越性。可以断言，今后我国在材料力学的发展方面，一定会作出更加輝煌的成績。

§ 1-3 材料力学研究的构件、杆件变形的形式

前面曾一再提到材料力学要研究构件及其材料的問題，在这一节里，把这些問題作一較具体的叙述。材料力学中研究的构件主要是細长的杆，这种构件的长度比横截面尺寸大得多。杆的中心綫我們称之为軸綫，軸綫为直綫者称直杆，如图 1-1, a, 軸綫

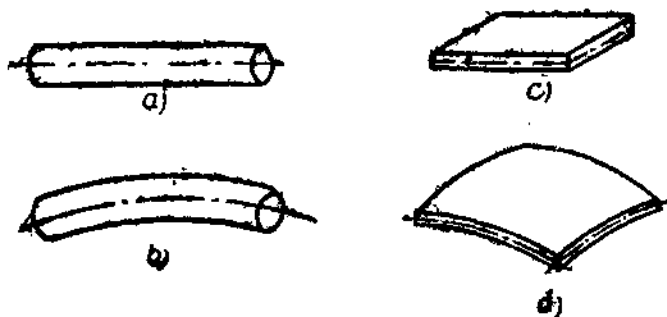


图 1-1

为曲綫者称曲杆，如图 1-1, b_0

我們主要研究直杆，垂直于其軸綫的截面称橫截面。沿杆长方向各处的橫截面都相同者称等直杆，变化者称变截面杆。

机械和結構的构件形状有时相当复杂，但在一定範圍內可以把它們近似的看成是直杆。

此外还研究板与壳，如图 1-1, c 和 d ，它們的特点是厚度比起长度和宽度来小得多，二者的差别在于前者是平面的，后者是曲面的。

在各种外力作用下，直杆的外觀变形的形式也很不一样，但总不外乎是如下的几种基本形式或是它們的組合。

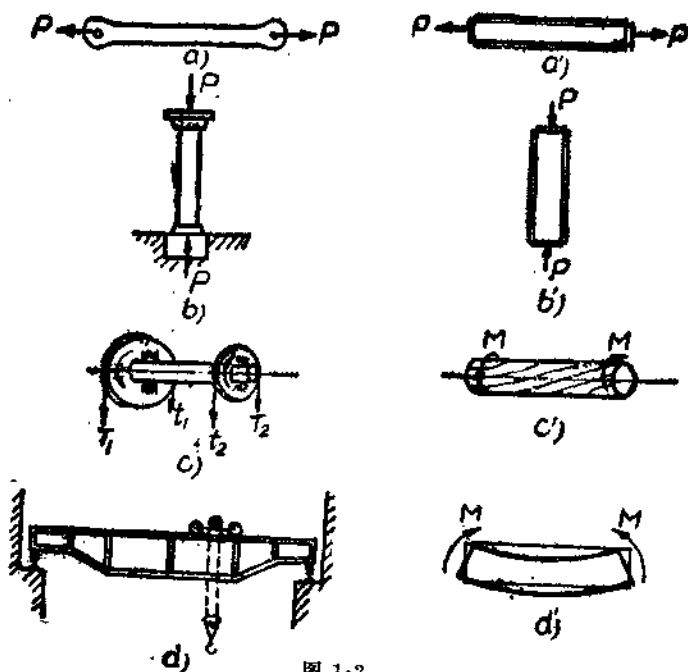


图 1-2

- (一) 拉伸如图 1-2, a, a' ; (二) 压缩如图 1-2, b, b' ;
(三) 扭转如图 1-2, c, c' ; (四) 弯曲如图 1-2, d, d' 。

以下各章中我們將依次討論上述幾種基本變形形式，然後再討論由這些基本形式組合而成的複雜變形形式。

最後還須指出這些構件的變形比起構件本身的最小尺寸還小很多，這種變形要用精密量測儀器才能發覺，肉眼是不易看出的。通常稱之為小變形。

小變形概念在材料力學中極為重要，例如，由於變形很小，因而我們在列出靜力平衡方程時就不考慮外力作用點在物體變形後所生的位置變化，這樣，使計算大大簡化，而引起的誤差卻微不足道。此外在許多其它的地方也可以利用小變形的概念來簡化問題，這在今後的具體應用中，再行詳述。

也有的構件變形較大，幾乎與構件的最小尺寸屬同一量級，這種問題稱為大變形問題，不在材料力學的研究範圍之內。

§1-4 材料力學研究的材料及其基本假設

工程上目前常用的材料主要有鋼、鑄鐵、銅、木材、石材、混凝土、磚、塑料等，而在機械工程中最常用到的為鋼及鑄鐵，這些材料的性質各不相同，但也有共同點。為了研究方便起見，我們對這些材料的性質作出基本上符合客觀現象的兩個基本假設如下：

(一)均勻連續性的假設 認為材料是均勻密實的，即物體的整個幾何容積中處處都充滿了相同的物質而毫無空隙。

實際上真實物體是由許許多多粒子組成，它們的排列既不規律又不密實，但由於我們所研究的構件尺寸比起這些粒子來要大得多，所以從宏觀上來研究，可以認為整個材料是均勻而連續的。

這些假設對鋼、銅等金屬相當適合，對於磚、石、木材、混凝土則較差，但仍然被採用。

這個假設使我們可以從構件中截取無限小的單元體來進行研

究，并且可将大尺寸試件的試驗結果用到无限小的单元体上。

(二)各向同性的假設 認為材料在各个不同的方向都具有相同的机械性質。

单晶体的性質本来是各个方向不同的，但是构件尺寸远远大于晶粒，加之晶粒排列是錯綜复杂的，因而使他們集合起来的共同性質，从統計平均的观点来看，反而在各个方向趋于一致了。所以这个假設与实际情况也是很好地近似的。例如鑄鋼、鑄銅、玻璃、以及拌和得很好的混凝土，都可看作是各向同性的材料。

各向同性的假設，使我們在研究材料机械性質時不必考虑其方向。

上面的两个假設都是將真实物体理想化了的，但是它有一定的物質基础，即符合主要現象，而且根据它建立起来的理論又为实践所証实，对工程实践的目的來說，是完全成立的。

§1-5 材料力学理論与实验的关系

从材料力学的发展中，我們已經可以看到，实验研究可以給理論的建立提供充分可靠的資料。同时，在上节的叙述中也可看出，假設能否成立，必須經過实践来考驗，而假設常常是建立理論所必須的，所以理論与实验有着密切的关系，二者是互相依賴互相促进的。此外也必須借助于实验研究材料受力后的破坏現象，从而提供設計的資料，使材料力学完成它进行构件强度、剛度、稳定性計算的任务。所以实验是材料力学不可分割的一部分。近代的实验应力分析的发展，就使材料力学实验的作用更为扩大了。

因此我們在学材料力学时必须注意理論与实验的結合，同时也要学会一些基本的实验方法。

§ 1-6 材料力学与其他课程的关系

材料力学是機剛体力学之后发展的，所以它和物理学、数学、理論力学都有着密切联系。例如，在材料力学中要用到物理学的基本研究方法——实验、观察——假定——理論——实践验证，要用到虎克定律，要用到微积分、微分方程，要用到理論力学中的靜平衡动平衡的概念等。同时材料力学又为后續课程的学习打下必要的基础，例如在机械零件和某些专业课程中便要用到不少材料力学中的結論和方法。所以材料力学与前后课程都有着密切联系，我們必須本着不断革命的精神，踏踏实实的学好每一門課，才能很好地完成党交給我們的学习任务。

第二章 直杆的轴向拉伸和压缩

一、直杆拉伸和压缩时的应力计算

§ 2-1 拉压实例

工程结构中受拉伸或压缩作用的构件是很常见的，例如马达上用的三角皮带(图 2-1,a)，密闭高压容器上用的螺钉(图 2-1,b)，

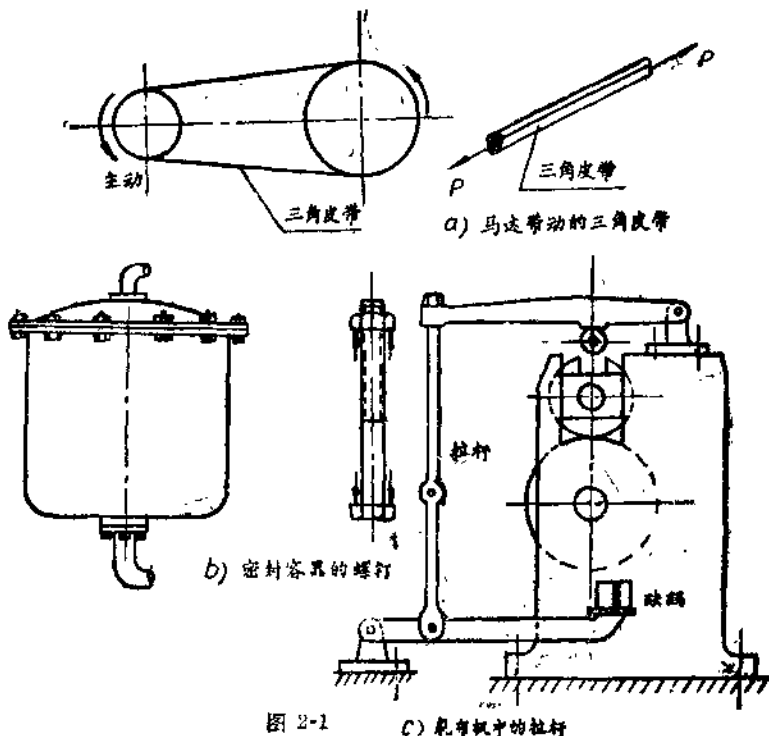


图 2-1

c) 起重机中的拉杆