

中等专业学校教学用书

材料力学

曹宇平 編

建筑工程出版社

中等專業學校教學用書

材 料 力 學

曹 宇 平 編

葛 文 源 繪圖

建筑工程出版社出版

• 1959 •

內 容 提 要

本书系按照中华人民共和国建筑工程部学校教育局1957年11月頒布的工程力学教学大纲編写而成的，适合作为我国土建类中等专业学校材料力学課程的課本，也可作为工程技术人员自学参考书。

为便于課堂讲授，本书注意了每个問題的提出和論述方法；同时为了加强教学的直观性，便于学生的理解，本书采用了較多的立体图形。

在繪制梁的弯矩图方面，本书提出了一个繪制多次曲綫的方法，以使学生在实际繪制力图时較为簡便。此外，每章之末都附有一张概括全章基本內容的图表，作为学生分章复习时的参考。

材 料 力 学

曹 宇 平 編

*

1959年7月第1版

1959年7月第1次印刷

6,045册

787×1092 $\frac{1}{25}$ × 270千字 · 印張 10 $\frac{3}{4}$ · 插頁9 · 定价 (10) 2.10元

煤炭工业出版社印刷厂印刷 · 新华書店发行 · 書号: 1340

建筑工程出版社出版 (北京市西郊百万庄)

(北京市書刊出版业营业許可証出字第032号)

目 录

序 言	8
緒 論	10
I. 材料力学的任务和目的	10
II. 材料力学的两个主要部分	11
III. 材料力学的发展簡史	12
IV. 祖国人民在力学方面的贡献和成就	14
V. 小 結	17
第一章 基本概念	19
§ 1 材料力学研究的物体	19
§ 2 基本假設	20
§ 3 外力和內力	21
§ 4 材料力学問題的靜力学方面——断面法、应力	23
§ 5 材料力学問題的几何方面——变形的基本形式、位移	27
§ 6 材料力学問題的物理方面	29
§ 7 解决材料力学問題的一般步驟	29
附基本概念总结表	30
第二章 轴向拉伸和压缩	32
§ 8 直杆拉伸和压缩的形成	32
§ 9 垂直于杆軸的断面上的应力計算	33
§ 10 绝对伸长和相对伸长、泊松比	35
例题: 例 1~例 5	37~38
习题: 題 1~題 8	40
§ 11 拉压实验机的构造簡介	41
§ 12 拉伸时的应力、变形图	43
§ 13 弹性变形能、比能	48
例题: 例 6	50
§ 14 压缩时的应力变形图	52
§ 15 容許应力和安全倍数	54
习题: 題 4	57

§ 16	强度问题的三种类型	57
	例题: 例 7~例 9	58~60
§ 17	自重应力和变形的影响	60
	例题: 例 10~例 11	63~64
§ 18	直杆受拉伸或压缩时的超静定问题	65
	例题: 例 12~例 14	66~70
§ 19	温度对超静定结构的影响、温度应力	71
	例题: 例 15~例 16	73
§ 20	装配的不精确对超静定结构的影响、装配应力(初应力)	74
	例题: 例 17	75
	习题: 题 5~题 13	76~78
	附轴向拉伸和压缩总结表	
第三章	剪切和挤压	80
§ 21	剪切的形成	80
§ 22	剪切时的强度计算公式	81
§ 23	剪切变形和剪切虎克定律	82
§ 24	G 、 E 与 μ 之间的关系	83
§ 25	剪切和挤压的实例	85
	例题: 例 18~例 20	90~94
	习题: 题 14~题 20	94~96
	附剪切和挤压总结表	
第四章	复杂受力状态下的应力分析	97
§ 26	单轴向拉伸和压缩时斜断面上的应力	97
§ 27	双轴向拉伸和压缩时斜断面上的应力	103
§ 28	主平面和主应力	106
§ 29	求应力的图解法——莫尔圆	107
	例题: 例 21	111
§ 30	用应力圆求主应力	112
	例题: 例 22~例 23	115~116
	习题: 题 21~题 22	118
	附复杂受力状态下的应力分析	
第五章	平面图形的几何性质	119
§ 31	静矩	119
	例题: 例 24~例 25	120~121

§ 32	慣矩、極慣矩	122
§ 33	慣 積	126
	例題: 例26	127
§ 34	慣矩和慣積的平行移軸公式	127
	例題: 例27~例28	130~131
§ 35	組合圖形的慣矩和慣積	131
	例題: 例29~例33	132~135
§ 36	慣矩和慣積的轉軸換算公式	137
§ 37	平面圖形的主慣軸和主慣矩	138
	例題: 例34~例35	141~142
	習題: 題23~題26	144~145
	附平面圖形的幾何性質總結表	
第六章	直梁的彎曲	146
§ 38	彎曲變形的概念	146
§ 39	梁的支座	147
§ 40	在集中荷載及分布荷載作用下支座反力的確定	150
	例題: 例 36	152
§ 41	梁斷面的內力·剪力和彎矩	153
§ 42	剪力圖和彎矩圖	155
	例題: 例37~例44	157~166
§ 43	用迭加的方法繪制彎矩圖	167
	例題: 例45~例47	168~169
§ 44	彎矩、剪力和荷載集度間的微分關係	170
§ 45	應用茹拉夫斯基微分公式作圖和校核圖形	172
	例題: 例48~例50	174~181
	習題: 題27~題31	185~187
	附直梁的彎曲總結表	
第七章	直梁彎曲時的應力	189
§ 46	純彎曲時的法向應力	189
§ 47	梁斷面的合理形狀	198
	例題: 例51~例56	202~207
	習題: 題32~題36	208~209
§ 48	直梁彎曲時茹拉夫斯基的剪應力公式	209
§ 49	剪應力對梁強度的影響	215

例題: 例57~例58	216~217
§ 50 按照主應力校核梁的強度	217
例題: 例53	219
§ 51 主應力的方向·主應力軌迹	225
習題: 題37~題38	228
附直梁的彎曲·應力總結表	
第八章 梁的彈性曲線	229
§ 52 梁斷面的撓度和轉角	229
§ 53 彈性曲線微分方程式	231
例題: 例60	232
§ 54 求梁的撓度和轉角的圖解解析法	233
例題: 例61~例66	239~246
§ 55 最簡單的超靜定梁	249
例題: 例67~例68	249~252
習題: 題39~題43	255
附梁的彈性曲線總結表	256
第九章 扭 轉	258
§ 56 圓斷面直杆的扭轉	258
§ 57 扭轉時應力和變形的計算公式	259
§ 58 圓杆扭轉的計算	262
§ 59 扭轉時的主應力	264
例題: 例69~例70	265~266
§ 60 扭矩圖	267
例題: 例71	268
習題: 題44~題47	269
附扭轉總結表	
第十章 直杆的組合強度	271
§ 61 斜彎曲	272
例題: 例72	278
§ 62 拉伸和彎曲或壓縮和彎曲	281
例題: 例73~例74	283~285
§ 63 偏心壓縮	286
§ 64 斷面核心	291
§ 65 偏心壓縮的一般情況	295

例题: 例76~例77	297~300
习题: 題48~題52	301~302
附直杆的組合强度总结表	
第十一章 压杆的稳定校核	303
§ 66 压杆稳定問題的发展簡史	303
§ 67 压杆稳定問題的基本概念	304
§ 68 确定压杆临界荷载的欧勒公式	307
§ 69 超过比例極限时压杆的稳定	311
§ 70 压杆稳定的实用計算	313
例题: 例78~例80	317~319
习题: 題53~題55	320~321
附压杆的稳定校核总结表	
第十二章 按破損荷载的計算原理	323
§ 71 按破損荷载計算的概念	323
例题: 例81~例82	326~328
§ 72 按極限状态計算的簡介	331
习题: 題56~題57	333
附按破損荷载的計算原理总结表	334

序 言

近几年来，編者一直在中等专业学校里担任材料力学的教学工作。据編者所知，由于国内以往尚未刊行过一本符合教学大纲的材料力学教科书，各校在教学过程中，多由教师根据大纲内容从大专教材中摘录个别章节，以应教学之需。这样既缺乏系统性，也很难体现出由浅入深的精神，对于教学质量的提高，不能不产生一定程度的影响。因此，就目前的情况来看，編著一本符合我国具体情况的材料力学教科书，是非常需要的。

本书系根据建筑工程部1957年11月审訂的工程力学教学大纲編写而成的。为了使學生能够更深入地領会每一个題材的内容实质，从而启发和培养他們的独立思考能力，在个别部分作了一些与大纲规定稍有出入的处理。例如：在断面几何性质一章中的主軸和主慣矩、压杆稳定校核一章中的欧勒临界压力公式等。实践证明，这些問題的詳細推証，并没有超过中技校学生对知識的理解范围，相反，对于启发他們的独立思考有着深远的影响。

在叙述方面，对于每一个主要題材，編者均予以詳細說明，并且特別注意到每一个問題的提出。例如：有关材料力学的任务和目的一节，即从生产实践中发掘問題，经过整理与綜合，明确材料力学的任务是什么？目的是什么？又如內力与外力的关系問題、弯矩图与剪力图的繪制問題、偏心压缩問題等等，都反复地圍繞着主题予以論証。对于学生复习和自修人員來說，編者認為，这样做是有好处的。

本书于每章之末都附有一张概括全章主要內容的图表，用以揭示各章新旧知識之間的內在联系；通过这些图表，还可以培养学生綜合与分析問題的能力。

为了使抽象的概念能够形象地描繪出来，本书尽量采用了一些比較直观的图形。这些图形都是葛文源同志設計和繪制的，本书开头的緒

論和压杆的稳定校核一章，是由呂子华同志在百忙中抽暇执笔写成的，一并附此敬致謝忱！

本书有不妥的地方，希望讀者多多指正。

曹 宇 平

1958年8月于南京

緒 論

工、材料力学的任务和目的

为了能够从根本上說明材料力学的任务和目的，我們准备从一些简单的实际問題来考察。

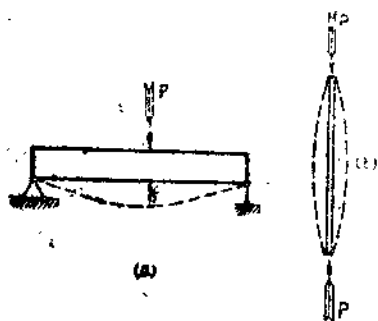


图 1

图 1.a 所示为实际工程中经常遇到的一种簡支梁。当它受到外力 P 的作用时，由于实际需要，必然会产生一系列亟待解決的問題，这些問題是：梁端因 P 力作用所生的反力有多大？梁是否可能因 P 力的作用而毀坏？梁弯曲后的最大变形 f 是多少等等？关于第一个問題，應該說在理論力学中已

經得到彻底的解决；然而上面提到的、除第一个問題以外的其他問題，因非理想剛体所应有，理論力学是不能解决的；这些問題的解决，全部列入了材料力学的研究范围。再看图 1.b 所示的直杆。当它受到一对大小相等、方向相反的軸向压力作用时，在一定的条件下当然能够处于平衡状态。可是，实践告訴我們，如果杆件比較纤细，而軸向压力大到某一程度时，原来的直綫平衡状态就会引起变化，而以一种新的曲綫形式平衡于图中虛綫所示的位置。这种直綫平衡形式何时将会轉变为曲綫平衡形式的問題，也是理論力学所不能解决的，它的解决仍然有待于材料力学。在工程术语上，我們通常把梁会不会毀坏的这类問題称为强度問題；而把梁的变形問題称为刚度問題；至于杆件的直綫平衡形式何时会轉变为曲綫平衡形式的这类問題，則称为稳定問題。材料力学的首要任务，就是要解决工程实践所提出的这些亟待

解決的問題，也就是要解決結構構件的強度、剛度和穩定問題。

材料力學的任务現在已經非常明確了，我們還需要說明什麼是材料力學的目的。

作為完成上述任务的一種手段，當然也可以採用古代建築家們曾經不得不使用過的、完全依靠實物實驗的原始方法，也就是：要想設計一座橋梁，譬如1957年十月十五日正式通車的亞州第一大橋——我國的武漢長江大橋，就得先造好一座長江大橋來試車，一面試、一面改，以求得到一座能夠保證安全行車的長江大橋。這種解決問題的方法，無疑是比較笨拙的，也是不可能的。因為這樣不僅是無限期地延長施工時間，而且也不合乎最大經濟的原則。通常在設計結構物的構件時，絕對安全和最大經濟的要求原是彼此相互矛盾的。如前所述，實物實驗的原始方法顯然不能正確地解決這一矛盾，它必須由有其獨立理論體系的計算方法所代替，材料力學的目的就是要建立這樣的計算體系。如果說得具體些，就是建立結構構件的強度計算原理，使從事設計工作的人們能為結構構件選擇合理的材料，充分利用材料的性能；設計出既滿足絕對安全條件又合乎最大經濟要求的斷面形狀和尺寸，以保證結構物在整個使用期限內正常地工作。

由此可見，材料力學的任务就是要解決結構構件的強度、剛度和穩定問題，而其目的就是要建立有其獨立理論體系的計算原理，來代替實物試驗的原始方法。

II、材料力學的两个主要部分

如前所述，為了完成工程實踐提出的任务，材料力學有其顯明的目的性，那就是建立自成體系的計算原理。我們知道，材料力學是一門技術科學，它的研究對象是工程實物，亦即工程結構。實踐告訴我們，結構的任何部分受到外力作用以後，或多或少要有一定程度的變形，同時構件內部也產生一定量值的內力；這些變形和內力不僅同所變的外力有關，而且也與構件的幾何尺寸有着密切的聯繫。要說明這種關聯，把這種關聯用數學形式表示出來，就必須借助一般基礎科學，如數學、化學和物理學。因而在外力具有各種不同特性的場合下，利

用上述基础科学的知識，建立构件的幾何尺寸、外力、以及因外力而产生的变形和內力四者之間的数学关系，就成为材料力学的第一个主要部分，亦即理論部分。

不难理解，結構构件的变形，不仅与其幾何尺寸以及外力紧密相关，而且与材料的物理特性也有联系，这种联系，目前还只能依靠实验來建立。这說明：材料力学除了第一个主要部分——理論部分以外，还必须包括第二个主要部分——实验部分。总的說来，材料力学的实验部分也有其显明的目的性，那就是：

- 1) 研究材料受力直到破坏的过程中，在各个受力阶段所发生的，有关材料性能的物理现象和化学现象；
- 2) 为理論部分建立强度計算原理提供必需的材料特性；
- 3) 檢驗理論計算与实际情况符合的程度。

在材料力学中，也象在基础科学中一样，理論部分和实验部分的关系是彼此不可分割相互依賴的。我們知道，任何理論的建立，离开了人的实践和实验是不可能的，也是不可想象的。为了使研究所得的結果能为人們所接受，在实际中应用，能够为人們贏得時間和精力的充分节约，理論是不可能也沒有必要全面而深刻地考虑問題的各个方面，它只能考虑起着决定性作用的一些主要因素，而把那些对結果不起本质影响的次要因素全盘扬弃；因而理論所揭示的問題实质总是有些近似的。这种近似解的正确与否，必須通过实验和实践来証实。由此可见，理論沒有实验根本就 不能建立，理論結果也只有通过实验的校核才能够为人們所接受。这是問題的一个方面。另一方面，理論如果不給实验指示方向，不给实验提出問題，实验就会失去目的性和方向；換句話說，实验只有在理論的指导下进行，才有可能得到預期的結果，这些結果才是有用的。

III、材料力学的发展簡史

根据保存下来的世界历史文物看来，我們有充分的理由相信，在建造一座建筑物时，古代的建筑家們是没有凭借任何理論的；只不过在生活的經驗指导下摹仿一些熟悉的模型，使一些简单的建筑物得以

再版。它們的第一个特点是笨重，其次是需要相当长的施工期限。笨重意味着材料的大量消耗，这显然是不经济的；而施工期长则不能满足人們急切的生活需要。这一矛盾就是材料力学之所以能够按照科学方法发展起来的重要因素。

材料力学的发展过程，是与社会生产力的发展有密切关系的。人类为了征服自然，在生产实践过程中，获得了选用材料来制作工具的经验，将这些经验累积起来，经过整理与加工，便逐渐形成研究材料强度方面的一門科学。这种由实践获得的科学理论，自然反过来就推动了生产技术的进一步发展；当这种发展超出了现有理论范围，不能用现有理论来解析时，人們将又不得不总结现有的经验，根据新的实验结果，来研究适应于新的问题 and 要求的科学理论。

材料力学作为一門科学来说，开始发展于1638年，它与意大利的科学家伽利略(1564—1642)的名字是分不开的。伽利略生长在封建社会解体、商业资本主义抬头、国际间的海外往来渐盛，而且采矿冶金工业萌芽的时代。这时代新的经济情况提出了一系列新的技术问题，于是材料力学便应运而生了。伽利略做了一系列的实验，发现拉杆和梁的尺寸与其承载力之间具有一定的关系；并发表了“两种新科学”的论文，对新型船只的设计有很大的贡献。由此开始，设计虽不能完全脱离经验，但也初步地在科学理论的指导下进行了。

奠定这门科学基础的学者还有：英国的科学家虎克(1635—1700)，他根据弹簧实验的结果，提出了著名的杆件应力与应变成正比的物理定律；荷兰科学家伯努利(1654—1708)发表了断面变形的平面假设；法国科学家库伦(1736—1806)对于弯曲理论也作了比较重要的贡献。

材料力学的进一步发展，是与建筑工业及机械制造业的发展紧密地联系着。在这門科学继续发展的过程中，俄罗斯和苏联的学者曾经作出了许多卓越的贡献。

俄国彼得堡科学院院士Л.欧勒(1707—1783)在1744年首先解决了有关压杆的稳定问题；傑出的桥梁工程师Л.И.儒拉夫斯基(1821—1891)在1885年提出矩形断面梁的剪应力计算方法；其它如：船的强度计算理论的創始人 И.П.布勃諾夫教授，桥梁受压弦杆计算方法与压杆近代计算的奠基者Ф.С.雅兴斯基教授，完成举世闻名的动荷

作用計算的A. M. 克瑞勞夫院士，解決工字梁彎曲時穩定問題並提出許多有關強度計算方法的C. Л. 欽木辛柯教授等等，他們的功績，無一不推動了這門科學日新月異地前進，給世界科學的園地，放出了異样的光彩。

在偉大的十月革命以後，蘇聯進行了空前未有的社會主義建設，這就使得蘇聯在材料力學和與之有關的科學部門——結構力學、彈力學、塑性力學等——中，隨着社會主義建設而迅速地發展起來，居於世界的領導地位。關於蘇聯科學家在力學方面的貢獻和成就，實難一一列舉，我們僅提出與近代工業得以飛速發展有關的幾個方面：

H. H. 達維諾考夫教授的聯合強度理論，以辯證唯物主義的觀點解決了幾個世紀以來一直沒有得到解決的關於材料破壞原因的問題，確定出在動荷作用以及靜荷作用下材料強度的一般判斷準則。

H. A. 奧金格闡明了關於重複載荷的最新理論。

兩次榮獲斯大林獎金的B. 3. 符拉索夫教授創立了新的關於薄壁杆件和薄殼的計算理論，為近世材料力學開辟了一個新的領域。

IV、祖國人民在力學方面的貢獻和成就

在談到一個國家的人民對人類的文化和科學事業所作的貢獻時，過去很多學者總首先注意“文獻記錄”。這顯然是一種歷史的偏見。我們認為：作為一種歷史記實的工具，文獻記錄固然能夠以最簡潔、最方便、最系統的形式說明問題，但它並不是唯一的有效工具。事實上，**比起文獻記錄來，“實物記錄”不但能夠說明問題，而且更具体、更顯明、更生動、更雄辯有力。**因為，正如人們不能抹煞歷史的真實一樣，沒有任何一種力量能夠摧毀實物形象給予人們對事物的認識和感受，因此，我們不打算引用大量的文獻記錄來說明祖國勞動人民在力學方面的貢獻和成就，只準備從勤勞勇敢的祖先給我們留下的許多遺產中，尋求這個問題的答案。

我們先從建築結構方面開始。

几千年來，中國建築一直是以別具風格的東方建築體系出現於世界古老建築之林，為中國人民對人類文化科學事業的貢獻博得了巨大

的榮譽。這里足以引起人們注意的，顯然不應該單是它的特殊形式，而是產生這種特殊形式的基本結構方法以及几千年來我們的祖先在這個方法的演進上所作的努力。從下面列舉的幾個實例，完全可以証實祖國人民在工程技術和力學原理上作過何等艱巨的努力，而且獲得足以自豪的成果：

1) **五台佛光寺**：山西五台山豆村鎮佛光寺的大廈是一座木構建築，始建於公元857年（唐末會昌年間）。柱頭上有雄大的斗拱，用以外挑着屋檐，在內承托梁架，充分發揮了中國木架結構的特長。它屹立了整整1100年，至今仍然完整如新，這說明它的結構工程是如何符合科學原理的。

2) **蘆縣獨樂寺**：河北蘆縣獨樂寺的山門和觀音閣也是全部木質的，建造於公元984年，距今也將近980年了。山門是一座靈巧的單層小建築，觀音閣則是一座龐大的三層大閣。

3) **雁門木塔**：塔高120公尺，周圍60公尺，六檐八角，斗拱羅列，結構奇麗，建造於1056年（遼清寧二年），至今仍安然無恙。

4) **應縣木塔**：山西應縣佛官寺的木塔位於桑干河上，建造於1056年。塔為八角九層，總高66公尺余；為了適應力學上的各種需要，上下內外共用了57種不同的斗拱。

現在再從橋梁結構方面來談談。

我們勤勞勇敢的祖先不但在建築構造上達到登峰造極的技術水平，在結構原理上有過杰出的貢獻，就是在造橋的技術和理論上也有輝煌的成就。在祖國無數的河流上，橫跨着成千上萬的橋梁，便利了廣大人民往來交通，並且有許多橋梁在中國歷史上還有着深刻的意義，如西安的塽橋，北京的盧溝橋，就是卓越的例子。但從工程技術和結構原理上看，最為傑出的要以下述兩個工程為代表：

1) **趙州石拱橋**：這座拱橋跨越在趙縣汶水河上，全跨37公尺有余，是中國古代橋梁中跨度最大的一座，然而它的偉大處不僅在跨度大，而在中間主拱上背着四個小拱的做法。這種設計手法完全結合了當地的具體情況，目的在縮小洪水時期橋身對水流的阻擋面積，借以減小主拱上的荷載；這是隋代著名橋梁工程師李春（公元581—618年）的天才傑作。這種做法直到1912年才初次出現在歐洲，計算起來，比我

国迟緩了1300多年。

2) 泸定鉄索桥：橫跨西康境內大渡河的泸定鉄索桥，建造于1696年，为世界上第一座跨长100公尺的吊桥。这座桥梁不仅在交通上給人民带来很多便利，同时在中国共产党领导下 的人民革命事业中，也作出了不朽的貢獻。

祖国人民不仅在建筑結構和桥梁結構方面表現了自己的創造才能，就是在机械、船舶和飞机制造的啓蒙思想上，也有过虽然是朴实的，但毕竟是偉大的貢獻和成就。根据周礼考工記以及最近殷墟出土的車子和甲骨文的記載，在殷代我們已会制造有幅条車輪的車輛。偉大的建筑家公輸班（公元前570~481）在春秋战国时期便发明了“以窺宋城”的木鸢。这实是世界上最原始最朴实的飞机胎形。在造船方面，在公元六世紀的隋代，杨素在永安就建造过能容战士八百多人的战船；到了宋代，我們的船只已具有四桅九帆的装备；至明代则更扩展为能够航行远洋的船了。

以上所述，只不过是我們偉大的祖先在力学方面所作的貢獻中的一点一滴，而且是很小的一点一滴；虽然如此，这也足以說明：在人类力学事业中，中华民族作过了多少誠实的努力，貢獻出多少智慧的傑作！

令人感到遺憾的是，几千年来，我們在力学工作中缺乏有系統的深入研究，在理論上自始至終沒有建立起自己的独立学派，从而沒有把它更深远的影响扩大到全世界，以致怀着历史偏見的人們在总结各个民族各个国家的人民对人类力学事业的貢獻时，往往企图一手遮掩天下人的耳目，將我国劳动人民的智慧和努力一笔勾消，只字不提。这是几千年来封建奴役、近百年来的帝国主义侵略和最后卅多年来国民党法西斯統治的恶果。

解放八年来，掙脱了奴隶鎖鏈的中国人民，在光荣、伟大、正确的中国共产党的领导下，在伟大盟邦苏联无私的援助下，正为加速建成社会主义社会而热情地劳动着。为了适应国防建設和經濟建設的需要，我們已經有了自己独立的力学研究机构，在1956年还史无前例地开过第一次全国力学学术會議，檢閱了全国力学工作者的队伍。我們深信，在不久的将来，象祖国其他各个科学部門一样，在力学領域