

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

(机械电机类型各专业用)

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

2712/1
T.2

工业专科学校試用教科書



工 程 力 学

第二部分 材料力学

(机械电机类型各专业用)

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

內 容 提 要

本書包括理論力學及材料力學兩部分，並分為兩冊出版。第一部分理論力學包括：靜力學、運動學、動力學等三篇十九章。第二部分材料力學包括：緒論、結論、以及基本概念、拉伸及壓縮、拉伸和壓縮的超靜定問題、扭轉及剪切、應力狀態理論、強度理論、彎曲時的內力、彎曲時的應力、彎曲時的變形、超靜定梁、組合變形時杆的強度計算、壓杆的穩定、重複應力作用下構件的強度計算、動載荷等十四章。實驗應力分析一章列為附錄。

本書的主要讀者是三年制工業專科學校機械電機類型各專業的学生，也可作為二年制專科同類型專業的教材。

工業專科學校試用教科書

工 程 力 學

第二部分 材料力學

(機械電機類型各專業用)

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

湖北省新華書店發行

湖北省新華印刷廠印刷

*

787×1092毫米 32·11 1/16 印張·274,000字

1961年7月第1版

1961年7月第1次印刷

印數：1—5,150

統一書號：15106·203

定 價：1.50 元

选編說明

本書的主要藍本是南京工学院力学教研組編的“材料力学”（人民教育出版社1960年9月第一版）。

在选編时，为了适应三年制工业专科学校的具体情况，只选編了藍本的基本內容部分，同时还作了一些刪节、修改和补充，并将一些次要問題改用小字排印。

本書由武汉水利电力学院李蕢宜选編，华中工学院李克荣校訂，并由武汉水利电力学院栗一凡負責主持。

湖北省三年制工业专科学校工程力学教材选編組

11-71/63

目 录

緒論	1
1. 材料力学的任务	1
2. 材料力学的发展簡史	3
3. 材料力学的研究方法	7
4. 材料力学与其他課程的关系	8
第一章 基本概念	9
§1-1. 变形固体的概念	9
§1-2. 变形固体的基本假設	10
§1-3. 位移和变形的概念	11
§1-4. 外力及其分类	13
§1-5. 内力·截面法·应力	14
§1-6. 杆件变形的基本形式	17
§1-7. 小結	19
第二章 拉伸及压縮	20
§2-1. 概述	20
§2-2. 簡單拉伸及压縮时的应力	21
§2-3. 簡單拉伸及压縮时的变形	24
§2-4. 拉伸及压縮时杆件自重的影响	29
§2-5. 材料力学試驗	30
§2-6. 低碳鋼的拉伸試驗性質	30
§2-7. 其他材料拉伸时的应力-应变图	34
§2-8. 压縮时材料的性質	36
§2-9. 拉伸时所耗的功·变形能	39
§2-10. 材料的力学性質討論	40
§2-11. 安全系数及許用应力·强度条件	43
§2-12. 蠕滑及松弛的概念	50

第三章 拉伸和压缩的超静定问题	52
§3-1. 概述	52
§3-2. 超静定问题的解法	53
§3-3. 装配应力	55
§3-4. 温差应力	59
第四章 扭转及剪切	63
§4-1. 扭转的概念	63
§4-2. 扭矩计算·扭转时的应力	64
§4-3. 薄壁圆筒扭转实验·剪切胡克定律	68
§4-4. 圆轴的应力及变形	71
§4-5. 圆轴扭转的强度及刚度计算	77
§4-6. 扭转时的应力集中	79
§4-7. 非圆截面直杆扭转的概念	82
§4-8. 剪切的假定计算·挤压应力	84
§4-9. 圆柱形密圈螺旋弹簧的应力及变形	89
第五章 应力状态理论	95
§5-1. 应力状态的概念	95
§5-2. 复杂应力状态举例·受内压的圆筒形容器计算	96
§5-3. 二向应力状态分析	98
§5-4. 二向应力状态分析的图解法	101
§5-5. 三向应力状态的最大应力	106
§5-6. 复杂应力状态的变形计算	108
§5-7. 复杂应力状态下的弹性变形能	110
第六章 强度理论	112
§6-1. 强度理论的概念	112
§6-2. 关于断裂的强度理论	113
§6-3. 关于塑性流动的强度理论	115
§6-4. 强度理论应用的实例——圆筒形容器计算	117
§6-5. 强度理论的讨论	119
第七章 弯曲时的内力	122
§7-1. 弯曲的概念	122

§7-2. 梁的类型及支座	123
§7-3. 剪力及弯矩	125
§7-4. 剪力图及弯矩图	127
§7-5. 弯矩、剪力及载荷集度間的关系	129
§7-6. 弯矩图及剪力图的迭加法	135
第八章 弯曲时的应力	137
§8-1. 概述	137
§8-2. 弯曲时的正应力	138
§8-3. 常用截面的慣矩計算·平行軸定理	144
§8-4. 弯曲时的剪应力	150
§8-5. 弯曲时的强度計算及校核·弯曲主应力	156
§8-6. 变截面梁·弯曲时的应力集中	162
§8-7. 平面曲杆应力計算的概念	166
§8-8. 旋轉軸定理·主慣軸与主慣矩	170
第九章 弯曲时的变形	177
§9-1. 概述	177
§9-2. 梁的撓度及截面旋轉角	178
§9-3. 彈性曲綫的微分方程及其积分	180
§9-4. 图解解析法	189
§9-5. 求变截面梁的变形問題	196
§9-6. 求变形的迭加法	197
第十章 超靜定梁	202
§10-1. 概述	202
§10-2. 超靜定梁的解法	203
§10-3. 連續梁·三力矩方程	207
第十一章 組合变形时杆的强度計算	214
§11-1. 概述	214
§11-2. 斜弯曲	215
§11-3. 弯曲与拉伸或压縮的組合	220
§11-4. 偏心压縮(拉伸)	223
§11-5. 扭轉及弯曲的組合	229

第十二章 压杆的稳定	237
§ 12-1. 概述	237
§ 12-2. 临界力的确定——欧拉公式	241
§ 12-3. 欧拉公式的应用范围·临界应力的经验公式	247
§ 12-4. 压杆的实际计算	251
第十三章 重复应力作用下构件的强度计算	259
§ 13-1. 概述	259
§ 13-2. 应力循环·持久极限	261
§ 13-3. 对称循环持久极限的测定	266
§ 13-4. 不对称循环下的持久极限·持久极限曲线	270
§ 13-5. 影响零件持久极限的主要因素	273
§ 13-6. 在重复应力下零件受单向拉压、弯曲或扭转时的强度校核	279
§ 13-7. 在重复应力及复杂应力状态下的强度校核	285
第十四章· 动载荷	290
§ 14-1. 动载荷问题的概念	290
§ 14-2. 等变速运动杆件的应力计算	293
§ 14-3. 等速旋转杆件的应力	296
§ 14-4. 变加速运动杆件的应力	298
§ 14-5. 振动应力的计算	301
§ 14-6. 一个自由度系统的自由振动	302
§ 14-7. 一个自由度的有阻尼强迫振动	305
§ 14-8. 冲击应力的计算方法	311
§ 14-9. 杆受冲击时的应力计算	315
§ 14-10. 减低冲击应力的措施	318
§ 14-11. 冲击时材料机械性质的实验研究	320
結 論	323
附录 I 实验应力分析	331
§ I-1. 概述	331
§ I-2. 平面应力及应变分析	332
§ I-3. 用电阻应变仪测应力	335
§ I-4. 测定应变及计算应力	337

目 录

§1-5. 电阻应变仪实验中的几个问题	340
§1-6. 脆层法	342
§1-7. 脆层法的定量试验	345
§1-8. 光弹性法	346
§1-9. 光弹性法的基本原理	347
§1-10. 根据实验资料计算应力	352
附录 II 型钢规范表	357
1. 等肢角钢	357
2. 不等肢角钢	359
3. 工字钢	361
4. 槽 钢	362

緒 論

1. 材料力学的任务

在理論力学中，由于它主要是研究物体在外力作用下的平衡及运动的規律，我們曾經把物体看作是剛体。例如在靜力学中，我們可以根据剛体的平衡，求出物体在已知力作用下的約束反力。至于物体在这些外力作用下，会不会变形，会不会破坏，都沒有加以考虑。但是在材料力学中研究类似的問題时，就必须考虑到物体在外力作用下不仅要变形而且最后还可能要损坏的問題。可見材料力学中研究的問題，比理論力学又深入了一步。

任何一个結構或机器，都是由很多构件(或称另件)組成的。为了保证結構或机器能正常地工作，我們在設計每一个构件时，必須考虑到以下的几个方面：

首先，构件在外力作用下不会破坏。即构件必須具有足夠的强度。

其次，构件所发生的变形应限制在正常工作所許可的範圍以內。即构件必須具有足夠的剛度。

第三，构件在变形时，要能一直保持原有的平衡形式，不会发生突然的改变。即构件必須具有足夠的稳定性。

一般說来，設計每一构件时，应当考虑以上三个方面的要求。但对于各个具体的构件，有时往往只需要考虑某些主要的方面。例如有的可能是以强度为主要的；有的則可能是以剛度为主要的；有的則可能是以稳定为主要的。当这些主要的方面已被考虑滿足后，其它的次要方面也就无問題了。

假使所設計的构件能符合强度、剛度及稳定三个要求，我們就認為这个設計是安全的。一般地說，只要选用較好的材料以及

較大的截面尺寸，安全一定是可以保證的。但這樣又可能會造成浪費而不符合經濟原則。顯然，太保守地強調安全可能會造成浪費；但片面地講經濟也可能會使設計不安全。這樣安全與經濟就形成了矛盾。材料力學正是解決這種矛盾的一門科學。根據材料力學的知識可以使我們知道怎樣在保證安全的條件下盡量地使構件消耗最少的材料。隨着生產的發展，構件採用的形式、受力情況以及材料等等日益改進與提高，經濟與安全間的新矛盾不斷出現。在解決這些矛盾的過程中，材料力學將得到不斷的發展。

為了能既安全又經濟的設計每一構件，除了要有新的、合理的計算方法與理論外，對於材料的性質也必須有充分的了解。材料的性質可以通過試驗來測定。對於現有理論還不足以解決的某些形式複雜的構件的設計問題，也可以依靠試驗的方法來幫助解決。因此試驗工作在材料力學中占着重要的地位。

綜上所述，我們可以作出如下的結論，即：材料力學是研究各種類型構件的強度、剛度及穩定性的科學，它提供了有關的基本理論，計算方法與試驗技術，使我們能合理地確定構件的材料和形狀尺寸，以達到安全與經濟的設計要求。

祖國的社會主義建設規模日益巨大，材料力學所提供的科學方法，有助於多、快、好、省地完成建設任務，對國民經濟具有很大的影響。但是必須指出：要使材料力學的知識發揮應有的作用，必須要以政治為統帥。只有人們有了高度的政治覺悟，思想上政治挂帥以後，材料力學才能在祖國的社會主義建設中發揮更大的作用。另外也必須指出：在工程設計中，並不是單是材料力學就能完全解決問題，它只是一個方面，還有其它的方面，例如工藝、結構等等的要求也必須滿足。如果太片面地強調力學這一方面，有時可能會使作出的設計脫離實際。

2. 材料力学的发展簡史

材料力学与其它的科学一样，是由于生产实践的推动逐步地发展和丰富起来的。它是人們与大自然作斗争的必然产物。

勤劳智慧的祖国人民，在很早的年代里，就表现出对于材料力学具有丰富的知識。例如在二千多年前我国就有了长城、运河等偉大的工程。在汉代我們的祖先就开始运用鉄軸。到三国时代馬鈞开始运用齿輪。至今尚完整的河北赵州单跨石拱桥，是由隋代杰出的工程师李春設計建造的。桥的跨度为 37 米。拱半徑为 25 米，桥上有附拱可作洪水期泄洪之用，同时可以減輕桥重，节省材料。这种拱桥在欧洲到 1912 年才开始出現。用悬索造悬桥也是在很早的年代就开始的。在出竹子的南方，有竹索桥的发明，四川都江堰上跨过岷江的一座长达 320 米的竹索桥就是例子。紅軍长征时强渡过跨在大渡河上的泸定桥，就是在 1696 年（清康熙 45 年）建造的，是世界上第一座长达 100 米的鉄索桥。从以上所举的一些例子可以看出，有关材料力学的知識与經驗在我国发展是較早的。我們的祖先对于有关强度的基本規律，以及对于石、鉄、竹等材料的力学性質，很早就具有丰富的經驗。

总的說来，在我国材料力学方面的知識在第二世紀就很发达，一直到十四世紀，我国在这方面的成就均居于世界前列，但是由于封建制度的长期延續，生产一直落后，劳动人民的智慧和創造力未能很好地發揮，因之材料力学也与其它科学一样，一直停留在經驗阶段而沒有多大提高。十四世紀以后，在欧洲由于社会經濟基础的变革，生产的发展推动了材料力学这門科学的发展，并取得了很大的进步。

材料力学作为一門科学，一般認為是从意大利科学家伽利略（1564—1642）开始的。当时由于海外貿易的兴起，要求增大船

只的吨位和改进船只的构造。伽利略为了解决造船中所需梁的問題，对梁的强度作了計算和实验。由于他这一工作，在科学研究中开辟了一个新的領域。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。伽利略的研究发表于1638年出版的“两种新科学”論文中。但由于当时还不知道力与变形間的关系，伽利略是以剛体力学的观点来研究的，所以他并没有成功地解决这个問題。

作为材料力学物理基础的力与变形之間的关系，是由英国科学家胡克（1635—1703）总结了一系列的实验在1678年提出的。这就是著名的胡克定律。

由于工业发展的推动，材料力学在十八世紀获得了很大的发展。俄国彼得堡科学院院士欧拉（1707—1783）研究了受压杆的稳定理論；俄国大科学家罗蒙諾索夫（1711—1765）开始用試驗的方法来研究材料的力学性質。法国工程师庫倫（1736—1806）对于弯曲和扭轉等問題作了理論及实验的研究，获得了梁的正应力和圓軸扭轉剪应力的正确結果。

在十九世紀中由于鉄路的兴建，大大地推动了材料力学向各个新的方向发展。重复应力下的强度問題，是由于机車的軸不断地被损坏而引起研究的。受压杆的彈性稳定的研究，是由于在鉄路鋼桥中要用細长的压杆而被重視的。当时还曾由于对稳定問題的認識不足发生了桥梁损坏的事故。由于車輛以一定的速度通过桥梁，于是又促使人們对动荷、振动、冲击等問題进行研究。在以上这些研究工作中，实验占着重要的地位。例如重复应力的强度計算，完全是以实验为基础的；又如压杆的稳定問題，也是依靠实验才澄清了对于有关的理論的紛爭。就在这个时期，各国都相繼建立起規模巨大的試驗室。本世紀的后半期，在船舶、蒸汽鍋爐、火車头等制造中，广泛采用薄壁結構，促使人們在这方面又开始研究。但限于生产水平及一些数学知識的不足，因之薄壁

理論沒有得到充分的发展。在这一世紀中由于光学和力学已有一定的发展，这两門科学的結合形成了光測彈性力学——用偏振光的方法来研究强度問題的科學。但限于当时的生产水平，所以这一方法沒有立即得到实际的应用。

在二十世紀中，航空工业的发展又大大地推动了材料力学的研究。由于飞机构造的重量有限制，促使了輕型薄壳結構的研究。由于噴气发动机在高温下工作，材料在高温下的力学問題，就成为一个新的研究領域。近年来由于人造卫星和火箭等工业的发展，又促使材料在高温下强度問題的研究更进了一大步。动載荷的問題在本世紀中又有了更多的研究。光測彈性力学以及电測量技术等用实验研究构件强度問題的方法，在本世紀也得到了广泛的应用。現代工程建設中，由于要求更經濟地使用材料，就促使材料力学发展到彈性范围以外的阶段。这就是塑性力学方面的研究。

十月革命以后，苏联开始了宏偉的社会主义工业化建設，于是提出了大量的材料力学問題亟待解决。苏联人民在党的关怀下进行了很多的工作，使材料力学与其它的科学一样，居于世界的前列。杰出的表現在以下几方面：結合国家建設，大大地发展了薄壁杆件、薄壳、扁壳和空間結構的强度計算，結構动力和稳定等計算，以及結構的极限設計等。結合动力、航空等工业的发展，苏联在塑性理論、高温蠕变以及动載荷理論諸方面都获得了巨大的成就。在最近十年中，苏联在和平利用原子能方面有着飞跃的进展。其成就和規模已远超过資本主义国家。这个新的发展，必将引起新材料的运用和有关的强度問題等。苏联在人造卫星和宇宙火箭方面的成就，一定也会丰富材料力学的内容。例如高强度材料的性能，以及高温下材料强度問題的研究等，必定会反映到材料力学中来。

我国在解放前，由于半封建半殖民地的統治，工业基础十分

薄弱。当时既沒有促进材料力学发展成长的因素，也缺少发展的各种物質条件。所以談不上在材料力学方面有多大的貢獻。但在解放以后，随着工农业生产的恢复和发展，社会主义建設的飞跃前进，动力、航空、机械及水利方面提出了許多有关材料力学的问题等待解决。于是材料力学就在坚实的基础上发展了起来，而且已取得了不少成就。

值得特別指出的是，在党的社会主义建設总路綫的光輝照耀下，1958年以来出現了史无前例的国民經济的持續大跃进。两年来，我国不仅在工农业发展速度方面不断地刷新紀錄，而且在科学技术方面也取得了令人振奋的成就。

在建国十周年的前夕，我国已經設計制造了許多重大、精密和尖端产品；例如，巨型初軋机、自由鍛造水压机、大高爐、大功率的汽輪发电機組、水輪发电機組。同时，具有現代水平的噴气式飞机、各种汽車、电气機車、內燃机、万吨巨輪、各种拖拉机等，也都已經試制成功和投入生产。在交通和基建方面也有惊人的成就，如橫渡天塹的武汉长江大桥、宏偉的人民大会堂、即將完成的三門峽水利樞紐工程等。上述各种新产品和巨大建筑中曾出現了許多与材料力学有关的新問題：如汽輪机的壳体、轉子、叶片的振动和温度应力的确定；壩体的温度应力和地震应力的分析，以及各种形状的薄板、薄壳的强度、剛度、稳定和振动等问题。伴随着这些問題的解决，不但提高了理論水平，也带动了过去基础很薄弱的实验应力分析的迅速发展。与此同时，也創制了許多新材料，如質量輕、强度高的玻璃鋼、鍍鉻鋼、无銘无鎳的低碳低合金高强度鋼、玻璃絲混凝土等。这些材料的机械性能都是具有先进水平的。

如上所述，我們可以清楚地看出，材料力学之所以能发展，和其它科学一样，都是由于生产实践的推动，古今中外都是如

此。“一切这些知識，离开生产活动是不能得到的”^①。当然，科学发展以后又将促进生产的更大提高。其次由于科学来自实践，而广大劳动人民是实践的直接参加者，因之劳动人民是科学的創造者。历代的科学家，他的功績在于总结了劳动人民的实践而在科学上有某些成就，离开了劳动实践也就沒有科学家。在我們新中国，科学家只有在党的领导下，密切連系群众，才能發揮更大的作用。

3. 材料力学的研究方法

在材料力学中，我們研究某一問題时，也和其它科学一样，有实验、假設、理論分析及驗証等过程。

材料力学中所研究的，都是实际的問題，为了使得所得的結論不致脱离实际，首先需要从实验中观察具体的現象。

实际的事物，往往是很复杂的。为了研究的方便，必須根据所观察到的現象的本質，略去次要的枝节，立出若干假設，把問題加以簡化。

問題經過了这样簡化以后，就可以进行理論分析。在分析的过程中，常以数学及理論力学为工具，从平衡条件、变形的几何特性、及联系力与变形的物理条件三个方面来考虑^②。

理論分析中所得的結論，究竟是否正确合用，需要重新通过实验和生产实践来驗証。

除了分析研究以外，为了解决强度問題，必須知道材料的一些机械性質，而这方面的資料是需要通过实验才能得到的。所以說材料力学并非單純的理論运算，而是理論与实验紧密联系相互

① 毛澤东：毛澤东选集，第一卷，人民出版社，1952年，第2/1頁。

② 除了这种方法以外，在材料力学中，也可采用能量法。

交錯着的。

彈性力學和材料力學都是研究彈性固體的變形和內力的科學。在彈性力學里採用了比較精確的方法；在材料力學中為了避免數學演算的繁複（如解偏微分方程）而採用了較為近似的方法。不過，儘管說材料力學的定律及若干結論是近似的，但卻適當正確地反映了客觀事物的規律。其準確的程度在生產實際中已足夠應用。

4. 材料力學與其他課程的關係

在高等工業學校里，材料力學是一門基礎技術課，可以說是基礎課和專業課之間的橋梁。它以數學及理論力學等課程為基礎，同時又是其它基礎技術課（如機械零件等）及專業課程的基礎。材料力學這門課程，不但提供了設計課程中所必需的基礎知識和計算方法；而且它的研究方法，對於工科學生今后的學習和工作，也有其重要的意義。