

高等学校試用教科書



材 料 力 学

CAILIAO LIXUE

梁治明 丘 侃 陆耀洪合編

人 民 教 育 出 版 社

高等学校試用教科書



材 料 力 学

CAILIAO LIXUE

梁治明 丘 侃 陆耀洪合編

人民教育出版社

本書是在原梁治明、丘侃、陸耀洪合編的“材料力學”(1958年由高等教育出版社出版,1960年以人民教育出版社名義繼續印行)第十七章之後增加了第十八章,“用變形解法求變形及超靜定杆系的計算”和第十九章,“杆件極限承載能力的計算”兩章。這兩章系取自南京工學院力學教研組所編的“材料力學”。

本書可作為綜合大學及高等師範學校力學專業“材料力學”課程的教材。

材 料 力 學

梁治明 丘 侃 陸耀洪合編

北京市書刊出版業營業許可証出字第2號

人民教育出版社出版(北京景山東街)

京 華 印 書 局 印 裝

新華書店北京發行所發行

各 地 新 華 書 店 經 售

統一書號 K 15010·705 開本 850×1168 $1/32$ 印張 12 $8/16$

字數 95,000 印數 71,001—76,500 定價(7) 1.40

1958年9月第1版 1962年3月北京第11次印刷

目 录

緒 論	1
1. 材料力学的任务	1
2. 材料力学的发展簡史	2
3. 祖國学者的貢獻	4
4. 材料力学的研究方法	6
5. 材料力学与其他課程的联系	7
第一章 基本概念	8
1-1. 关于彈性体的概念	8
1-2. 变形固体的基本假設	9
1-3. 位移及变形	11
1-4. 外力及其分类	12
1-5. 内力·截面法	14
1-6. 应力的概念	17
1-7. 杆件变形的基本形式	19
第二章 拉伸及压縮	22
2-1. 縱向变形·橫截面上的应力	22
2-2. 胡克定律	25
2-3. 橫向变形	30
2-4. 应力集中概念	32
第三章 拉伸及压縮下材料机械性质的研究·許用应力	34
3-1. 材料机械性質的实驗研究	34
3-2. 靜拉伸試驗·拉伸图	34
3-3. 拉伸时所耗的功·应变位能	40
3-4. 真正应力应变图的概念	42
3-5. 压縮时材料机械性質的研究·压縮图	43
3-6. 硬度	45
3-7. 蠕滑及松弛現象	47
3-8. 塑性及脆性材料机械性質特点的比較	48
3-9. 許用应力·安全倍数	50
第四章 拉伸及压縮的計算	54
4-1. 拉伸及压縮时的强度条件	54
4-2. 拉伸及压縮中自重的影响	58
4-3. 柔索計算	63
4-4. 薄圆环应力	65
第五章 拉伸及压縮中的超靜定問題	68
5-1. 超靜定問題的解法	68

5-2. 不同材料組合杆的应力計算	72
5-3. 裝配应力	71
5-4. 温差应力	77
第六章 复杂应力状态	80
6-1. 直杆受軸向力作用時斜截面上的应力	80
6-2. 应力状态的概念	84
6-3. 二向及三向应力状态的实例	86
6-4. 二向应力状态下斜截面上的应力	87
6-5. 求应力的图解法·应力圆	92
6-6. 用应力圆求主应力	97
6-7. 复杂应力状态下的变形	99
6-8. 复杂应力状态下的彈性应变位能	103
6-9. 薄壁容器計算	105
第七章 强度理論	111
7-1. 强度理論的概念	111
7-2. 按不同理論的强度檢查	112
第八章 剪切	119
8-1. 剪切的观念	119
8-2. 鉚接的計算	120
8-3. 銲接的計算	126
8-4. 許用剪应力	129
8-5. 純剪時应力与变形間的關係	132
8-6. 純剪時的彈性应变位能	134
第九章 扭轉	136
9-1. 扭轉的觀念	136
9-2. 圓軸扭轉時的實驗觀察及假設	136
9-3. 圓軸扭轉時的应力及变形	138
9-4. 圓截面的极慣矩和抗扭截面矩量	142
9-5. 扭矩的計算·扭矩图	144
9-6. 扭轉時的强度及剛度計算	146
9-7. 扭轉時的应力状态	149
9-8. 密圈螺旋彈簧的計算	150
9-9. 非圓形截面杆扭轉的觀念	154
第十章 平面图形的几何性质	157
10-1. 靜矩·形心	157
10-2. 慣矩·慣积·慣性半徑	158
10-3. 平行軸慣矩、慣积間的關係	160

目 录

10-4. 简单图形的惯性矩	161
10-5. 组合图形的惯性矩	164
10-6. 轴旋转时惯性矩、惯性积间的关系	166
10-7. 主惯性轴·主惯性矩	168
第十一章 直梁的弯曲——剪力及弯矩	176
11-1. 弯曲的概念	176
11-2. 梁的支座及反力·梁的分类	176
11-3. 剪力及弯矩	180
11-4. 剪力图及弯矩图	183
11-5. 弯矩、剪力及载荷集度间的关系	186
11-6. 力作用的迭加法	190
第十二章 直梁的弯曲——梁内应力	193
12-1. 弯曲时的正应力	193
12-2. 弯曲时的强度计算	199
12-3. 梁截面的合理形状	202
12-4. 矩形截面梁内的剪应力	205
12-5. 工字梁内的剪应力	210
12-6. 弯曲时的主应力	212
12-7. 变截面梁的概念	214
12-8. 弯曲中心的概念	216
第十三章 弯曲时的变形	219
13-1. 概说	219
13-2. 梁的挠度及截面旋转角	219
13-3. 弹性曲线的微分方程及其积分	221
13-4. 弹性曲线微分方程的分段积分	226
13-5. 梁变形的普遍方程·初参数法	229
13-6. 图解解析法	238
13-7. 求梁变形的迭加法	245
第十四章 超静定梁	250
14-1. 一般概念	250
14-2. 变形比较法	252
14-3. 初参数法的应用	253
14-4. 图解解析法的应用	254
14-5. 多余反力及静定基的选择	255
14-6. 连续梁·三矩方程	259
14-7. 连续梁的弯矩图与剪力图作法及反力计算	265
第十五章 复合抗力	270
15-1. 概说	270

15-2. 斜弯曲	270
15-3. 拉伸或压缩与弯曲的组合	279
15-4. 截面核心	288
15-5. 扭轉与弯曲的组合	291
第十六章 压杆的稳定	295
16-1. 压杆稳定的概念	295
16-2. 临界力的欧勒公式	297
16-3. 不同支座情况时的临界力	301
16-4. 欧勒公式的应用范围·临界应力的經驗公式	304
16-5. 压杆的实际計算	307
16-6. 縱橫弯曲的概念	311
第十七章 动載荷	315
17-1. 一般概念	315
17-2. 達朗伯尔原理的应用	316
17-3. 冲擊時的应力計算	320
17-4. 材料抵抗冲擊的能力	325
17-5. 金屬的疲乏	327
17-6. 重復应力的循环特征·持久限	329
17-7. 极限应力图	332
17-8. 应力集中对持久限的影响	333
17-9. 尺寸及其他因素对持久限的影响	336
17-10. 許用应力的確定	338
第十八章 用变形能法求变形及超靜定杆系的計算	344
18-1. 概述	344
18-2. 杆变形时变形能的計算	345
18-3. 卡氏定理	346
18-4. 慕尔定理	353
18-5. 功的互等定理及位移互等定理	356
18-6. 超靜定杆系·正則方程	358
18-7. 彈性中心法	367
第十九章 杆件极限承載能力的計算	372
19-1. 概述	372
19-2. 超靜定杆系的极限承載能力	374
19-3. 圓軸扭轉時的极限承載能力	377
19-4. 直杆弯曲時的极限承載能力	379

緒 論

1. 材料力学的任务

在工程上,任何一个結構或机械,必須滿足若干要求,其中基本的要求为安全、适用及經濟。

組成某一結構的杆件及机械的零件,統称为構件。所有構件都是用固体形态的材料制造而成的。

根据經驗及实验,我們知道:一般固体在外力作用下,都要产生一定程度的变形(即形狀和尺寸發生一定的改变),若外力繼續增加,則最后就將發生損坏。

当一个結構或机械被使用时,都要受到外力作用;为了保証整个結構或机械的安全适用,同时还要滿足經濟性的要求,工程师必須为每一構件(或零件)選擇适当的材料及尺寸,使它不致損坏或过度地变形,而且还要是最經濟的。

結構或机械不但應該滿足基本要求,同时还要滿足某些情况下的特殊要求;例如在紧急工程中要求施工的簡便和迅速,在航空机械中要求减小重量,制造火箭內的發动机要求能耐高溫的材料等等。

这些要求之間,經常是存在着矛盾的。比如,要想提高安全性,常常須要用較好的較多的材料;但是为了滿足最大經濟的要求,却須要選用較差的材料,并設法减少材料的消耗。材料力学提供出解决这种矛盾的基础;同时,也可以說,这些矛盾,就是材料力学这門科学發展的主要动力。

除了設計以外,有时我們還須要解决形式上有些不同的問題,

即：对已經設計好的構件，校核它們的尺寸是否足夠；对某些已經制成的構件，算出它們的承載能力。解决这些問題，都須要应用材料力学的原理。

簡單地說：材料力学這門科学的任务是研究各种材料及構件在外力作用下所表現的力学性能，并指出如何从構件的材料及尺寸方面，来保證構件能够滿足安全、适用和經濟等要求。

2. 材料力学的發展簡史

科学的产生，是由于生产斗争中的需要；科学的發展，也有其必要的物質基础，那就是社会生产力的發展。在生产力的發展中，科学随着它發展；而科学的进步，又反轉过来帮助生产力的提高。材料力学是一門具有悠久历史的科学，它的产生和發展过程，也不例外。

在远古时期，人类在与大自然的斗争中，就知道挖掘拱形山洞，以独木为桥，并会制造簡單的工具。从長期劳动中，累积了好些經驗，逐漸懂得了一些材料的性質及如何選擇形狀和尺寸。到了奴隶社会和封建社会，随着生产力的發展，人們已經能建造宮殿堡壘及車輛船舶。不过在这一阶段中，只是感性認識的累积，談不到理論方面的研究。这一个阶段，很为長久，而發展得也很緩慢。

材料力学，作为一門科学來說，一般認為是从十七世紀前半期开始發展的。当时欧洲的封建社会解体，商業資本开始發达，国际間航海貿易發展，采矿冶金工業也在萌芽；这个时期新的經濟情况，提出了一系列新的技術問題，如改变船舶構造以增大船只吨位，改造及新建內河交通設備（包括建造运河及水閘）等問題。这些技術問題是不能靠單純抄襲旧有船只及建築物結構来解决的；因而必須研究新的計算方法，根据結構物所受的外力及材料的强

度来决定構件的形狀及尺寸。意大利科学家伽利略(公元 1564—1642)首先对于梁及其他杆件的承載能力作了初步的研究,其結果于公元 1638 年發表在他的著作中。当时他根据理論力学的定律做了些实验研究,但是他沒有考虑到材料的彈性性質和杆件变形的几何特征;虽然他未能得出正确的解答,但是他的研究却指出了由实验到理論的分析研究途徑。

在公元 1678 年,英国科学家胡克(公元 1635—1703)根据实验的結果,提出了著名的胡克定律,他指出:在彈性物体中,变形的大小与載荷成正比例。这个定律,奠定了材料力学这門科学的理論基础。

科学家伯努利(公元 1654—1705)研究杆件变形的几何性質而提出了平面截面假設;这个假設,在材料力学中,成为好些重要理論的依据。

材料力学的發展,与建筑及机械制造等生产技术的發展是并进的,而且与数学家、物理学家及工程师們的貢獻是分不开的。比如微积分学的創立和牛頓运动定律的提出等等,对于材料力学的研究,就有很大的帮助。

在十八世紀,俄国彼得堡科学院院士欧勒(公元 1707—1783)对于材料力学作出了偉大的貢獻,他解决了有关压杆的稳定等問題。

十九世紀,工業蓬勃地發展,广泛地展开了鉄道建設,由于桥梁建筑及机械制造的需要,要求进一步改善結構及机械的計算理論。俄国工程师朱拉夫斯基(公元 1821—1891)曾进行了許多研究,發展了梁的理論。俄国学者高劳文首先解决了曲杆的强度問題;雅兴斯基根据他对压杆問題的研究,提出了經驗公式。

杰出的数学家納維埃、科西、泊松、奥斯特洛格拉斯基等,为彈性力学奠定了基础,由于这些科学家的研究,使得有关彈性体的力

學分成為材料力學與彈性力學兩門科學。

本世紀初葉，俄國學者在材料力學方面開始起着領導作用。克雷勞夫院士在動荷作用方面作出很重要的貢獻。鉄木辛可教授提出了許多有關強度計算的方法。

十月革命以後，蘇聯進行了大規模的社會主義建設，蘇聯學者在材料力學方面作出了很多重要的貢獻，在這一門科學領域中，已處於領導地位。符拉索夫教授創立了關於薄壁杆件和薄殼的理論。達維靖可夫教授和他的學派創立了解釋材料毀壞原因的聯合強度理論。

由於近代工業的飛速發展，使得材料力學也很快地在發展着。隨着科學技術的進步，提出了很多重要的問題，如高溫、高速、高壓等複雜情況下的力學問題，動荷問題以及在原子能的和平利用中所遇到的材料抗力等問題；這些問題已逐步地獲得了一些解決。

1957年10月和11月，蘇聯先後發射了兩顆人造地球衛星，為人類歷史写下了驚天動地的一頁，為科學開了一個新紀元。為了發射人造衛星，創造了結構極為完善的火箭，創造了在很高的溫度條件下運轉的馬力強大的發動機。

不難想象，今後在生產技術上仍將不斷地出現許多新問題，在解決這些新問題中，常須尋求新的材料，研究出新的計算方法。總之，材料力學的進步，必須趕得上生產技術方面的進步，以滿足生產上的要求。

3. 祖國學者的貢獻

我們祖國的文化，具有很悠久的歷史；在很早的年代中，我們的祖先就在生產技術上表現出偉大的創造能力，並獲得了很多光輝的成就；這些成就，在世界文化史上，占着很重要的地位。

遠在三千幾百年以前，在殷代，已有完善的車輛，我們的祖先，

已采用有輻的車輪。在西周时代,已經用青銅來鑄造工具和兵器。

在建筑方面,我国木結構的結構方法,远在殷代,已經形成;在战国时代的銅器上,已經可以看到我国特有的斗拱結構的圖案。宋朝偉大的建筑家李誠總結了兩千年来建筑方面的經驗,写成了光輝的著作“营造法式”一書,共 36 卷,于公元 1103 年刊行。書中說明了房屋結構标准做法,并詳述了比例尺寸。例如对于木梁,規定其高与寬为三与二之比,以近代的知識来看,是很符合安全与經濟的原則的。象这样完备而有系統的建筑技术上的著作,是世界上最早的一部。在存留的古迹中,更可以看出我們祖先的成就;如河北省薊县独乐寺的观音閣,建于公元 984 年,高三層,其中供着高达 20 m 的神象;又如山西省应县的佛宮寺木塔,建于辽代(十一世紀),共有九層,高达 66 m。

土石結構中,如秦朝的万里長城,是聞名于全世界的偉大建筑;又如嵩岳寺塔,建于公元 520 年,共有 15 層。

在桥梁方面,我們的祖先很早就發明了拱桥的形式,充分地發揮了石料的抗压能力。現在尚完整存在的河北省赵县的赵州桥,是由隋朝杰出的工程师李春(公元 581—618 年)建造的,跨度达 37 m,是我国古代最大的單孔石拱桥。在我国西南地区,由于江流湍急,不易建立桥基,在很早的年代中,我們的祖先就創造了悬索吊桥。現存的如西康瀘定的鉄索桥,建于清康熙年間(公元 1696 年),長达 100 m。更值得提出的,因为鉄索又貴又重,又有竹索的發明,如四川灌县的竹索桥,橫跨泯江,長达 320 m。

造船方面,在我国至少也有三千年的历史。春秋战国时代,已經有坚固的战船。在隋朝(第六世紀)已經能制造高达百尺、容納八百人的大船。到了宋代(十一世紀),所造的已是四桅九帆的大船。到了明朝(十四世紀),郑和出使西洋时,所造的船,已經是長 44 丈、寬 18 丈的大船了。

总的說来,我們的祖先,在很早的年代中,就已經掌握了各种材料的性能,并表现出与力学有关的創造能力;在工程技术方面,很久以来,就是在欧洲之上的。但是由于長期的封建統治,使得生产力的提高,受到了一定的限制;統治者一貫歧視科学,以致劳动人民在生产实践中所得的成就,未能总结成有系統的理论,甚至有些已經失傳。在十四世紀,欧洲的文艺复兴时代,正是我国封建君主加紧束縛人民思想的时期,自此以后,我国的科学技术水平,就逐漸地落在欧洲之后。近百年来,又受到帝国主义者侵略,淪于半封建半殖民地的境地,人民的創造能力,受到种种束縛,在科学技术方面,更显得落后了。

解放以后,中国人民进入了一个新的时代。社会主义建設飞速地展开,材料力学的科学研究正在吸取苏联的先进經驗而逐步發展,并已获得了好些成就。例如在治淮工程和荆江分洪工程中,由于精确的分析而省去基樁;又如鋼筋混凝土設計中,采用了先进的極限載荷法,不但計算較為合理,而且节省了大量的材料;又如在武汉長江大桥工程中,采用了最新的“大型管鑽孔法”,解决了旧的“压气沉箱法”所不能解决的困难,并且节省了建設資金。

由于祖国社会主义建設的規模行將愈来愈大,不难預料,工業生产方面,势將向材料力学提出更多的新問題,这些問題的解决,將有賴于我們的努力。

4. 材料力学的研究方法

在材料力学中,我們研究某一問題时,也和其他科学一样,有实验、假設、理論分析及驗證等过程。

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,首先須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

觀察到的現象的本質，略去次要的支節，立出若干假設，把問題加以簡化。

問題經過了這樣的簡化以後，就可以進行理論分析；在分析工作中，常以數學及力學為工具，而從平衡條件，變形的幾何特性，及聯合力與變形的物理條件三個方面來考慮^①。

理論分析中所得的結論，究竟是否正確合用，還須要重新通過實驗和生產實踐來驗證。

除了分析研究以外，為了解決強度問題，必須知道材料的一些機械性質，而這方面的資料是須要通過實驗才能得到的。所以說材料力學並非是單純的理論運算，而是理論與實驗緊密聯繫相互交錯着的。

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和若干結論是近似的，但却是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踐中多已足夠應用。

5. 材料力學與其他課程的聯繫

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，同時又是其他基礎技術課（如機械零件，結構力學等）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

① 除了這種方法以外，在材料力學中，亦可採用能量法。

第一章 基本概念

1-1. 关于弹性体的概念

在理論力学中，我們把固体看成絕對剛体；換句話說，就是假定在外力作用下，固体的形狀和尺寸絕對不变。实际上，所謂絕對剛体，在自然界中并不存在，它只是一个抽象的概念而已。由实验知：任何固体在外力作用下，都將發生变形，也就是說，它的形狀和尺寸总有些改变；而且最后还可能發生損坏。

实际物体具有复杂的形狀和多种多样的性質，这都足以妨碍科学研究的进行。但是每一門科学仅是从某一角度来研究具体事物中某一方面的問題，因此，为了研究的方便起見，我們常常把那些与問題無關或影响不大的次要性質加以忽略，而保留它們的主要性質；用这种理想情况来代替真实的物体，使得我們能够采用理論的方法来进行分析和研究，借以获得一般性的結論。

至于說，真实物体的多种多样的性質之中，哪些是主要的，哪些是次要的，那要取决于這門科学所研究的問題范围。在理論力学中研究物体平衡及运动的一般規律，对于物体的微小变形，可以不加考虑，所以采用絕對剛体这个抽象概念来把真实物体的性質加以簡化。材料力学是研究强度問題的科学，在材料力学中，物体的变形是其主要的基本性質之一，因此必須加以考虑而不能忽略，所以絕對剛体这一概念已不适用，并应認為一切固体都是变形固体。

外力使固体的各微粒間的相对位置發生变化，因而产生变形。此外，值得注意的是：外力除去后，物体就能恢复其原有的形狀和

尺寸。变形固体的这种基本性質，称为彈性。若物体在外力除去后能完全恢复原狀，这种物体就称为完全彈性体；不能完全恢复原狀的物体，称为部分彈性体。

部分彈性体的变形有兩部分：一部分是随着除去外力而消失的变形，称为彈性变形；另一部分是外力除去后不能消失的变形，称为塑性变形，亦称为殘余变形。

自然界中并没有所謂完全彈性体，一般变形固体，既具有彈性，也具有塑性。不过实验指出：象金屬、木材等等建筑材料，当外力不超过某一限度时，可以看成是完全彈性的；若外力超过了这一限度，就要發生显著的塑性变形而是部分彈性的了。

1-2. 变形固体的基本假設

为了簡化性質复杂的变形固体，在材料力学中常用下列基本假設，作为理論分析的基础：

1) 材料均匀連續的假設 假定物体的机械性質在各处都是一样的，而且材料是毫無空隙地充滿了物体的整个几何容积。

根据近代物理学的研究，我們知道組成物体的粒子之間是不連續的。同时，真实物体也并非均匀的；例如所有金屬都具有結晶的結構，在几个晶体交接处取出一小塊来，其性質將与在一个晶体內取出来的同样大小的一小塊的性質有所不同。不过由于在材料力学中，我們所研究的物体比起粒子或晶体来要大得多，所以可以認為材料是均匀而連續的。

这个假設对于鋼、銅等金屬相当适合，对于磚、石、木材等材料較差。

这个假設使我們可以从物体中截出無限小的單元体来从事研究，并可將那些由大尺寸試件实验中所得的材料性質，移用到無限小的單元体上去；这就使我們在材料力学中可以应用無限小的分

析方法。

2) 材料各向同性的假設 假定材料在各个不同的方向都具有相同的机械性質。

应知單晶体的性質本是有方向性的，但是物体的尺寸远大于晶粒，由于这些晶粒雜錯地排列着，因而它們总共的統計的性質，在各方向趋于相近。压延，拉延及其他压力加工，使各顆粒朝着一定的方向，所以这种材料若未經热加工，將显现各向异性。

鑄鋼、鑄銅、玻璃及做得很好的混凝土等，都可以当作各向同性材料。

3) 变形很小的假設 假定物体几何形狀的改变与其总尺寸比較起来是很微小的。

由于物体的形狀尺寸和材料的性質等原因，有些物体在外力作用下，变形很不显著(如圖 1-1 a)，这种物体称为剛性物体；也有些物体的变形很为明显(如圖 1-1 b)，这种物体称为柔性物体。不过，在工程上，一般構件的变形都是很小的。

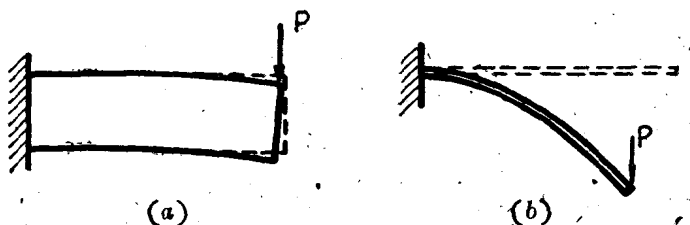


圖 1-1。

由于变形很小，因而我們在立出靜力平衡方程或其他好些分析中，可以不考虑外力作用点在物体变形时所生的位移；这样使得实际計算大为簡化，而引起的誤差却非常微小，在实用上往往是微不足道的。

除了上述几項基本假設之外，在材料力学中还常常采用好些