

材 料 力 学 講 義

上 冊

北京鋼鐵工業學院

力学教研組

1959.9

序 言

本教材系参照我院最近修訂的冶金机械專業及压力加工專業用材料力学大綱編写而成，适当地考虑了其他專業的需要，同时也参考了国内及苏联的許多教材並摘用了部分資料。在取材及深度上尽量結合專業的特点及要求，如作适当的刪減及修改，也拟兼作冶金，金相、采矿等專業用教材。

本教材是我組教师分头編写的，虽經專人校閱，但各方面仍有不能完全一致的地方。同时，由于缺乏經驗，限于水平及編写時間的短促，錯誤及缺点一定不少。我們热忱地希望讀者及兄弟院校給予批評及指正。

目 錄

序 言	1
第一章 緒論	1
§ 1.1 材料力学的基本任务	1
§ 1.2 材料力学的研究对象: 桿、板、壳	1
§ 1.3 材料力学的研究方法	2
§ 1.4 材料力学发展简史	3
§ 1.5 材料力学与工程实际及有关课程的关系	5
第二章 基本概念	6
§ 2.1 变形固体的基本假设	6
§ 2.2 作用于构件上外力的分类	7
§ 2.3 内力和截面法	8
§ 2.4 应力的概念	10
§ 2.5 变形的概念	11
§ 2.6 变形与应力之间的关系——虎克定律	13
§ 2.7 构件变形的基本形式	13
第三章 直桿的軸向拉伸和壓縮	15
§ 3.1 一般概念	15
§ 3.2 橫截面上的应力	15
§ 3.3 軸向力图, 正应力图	17
§ 3.4 縱向及橫向变形	17
§ 3.5 桿件拉压时的虎克定律	19
§ 3.6 拉压时的强度計算	22
§ 3.7 拉伸壓縮时应力集中的概念	26
第四章 自重对軸向拉伸与壓縮的影响	27
§ 4.1 考虑自重时截面的选择	27
§ 4.2 变截面桿	29
§ 4.3 考虑自重时变形的計算	31
第五章 材料机械性質的實驗研究。許用应力	33
§ 5.1 材料机械試驗的任务	33
§ 5.2 靜拉伸試驗	33
§ 5.3 真正应力图	37
§ 5.4 拉伸时所需的功	38
§ 5.5 壓縮試驗	39
§ 5.6 材料的硬度及其与强度的关系	41
§ 5.7 温度对金属材料机械性質的影响。蠕变的概念	42
§ 5.8 塑性及脆性材料机械性質特点的比較	43

§ 5.9 安全系数及許用应力的确定	44
第六章 拉伸与压缩时的静不定問題	46
§ 6.1 拉伸与压缩的静不定問題	46
§ 6.2 装配应力	50
§ 6.3 温度的变化对静不定系的影响	53
§ 6.4 同时考虑各种因素	53
第七章 剪切	58
§ 7.1 剪切的实用計算	58
§ 7.2 純剪切, 純剪切試驗, 剪切許用应力	62
§ 7.3 剪切虎克定律, 剪切变形能	64
第八章 复杂应力状态	66
§ 8.1 直杆受軸向拉压时斜截面上的应力	66
§ 8.2 主应力的概念, 物体内应力状态的形式	68
§ 8.3 二向(平面)和三向(空間)应力状态的实例	69
§ 8.4 二向(平面)应力状态的一般情况	70
§ 8.5 求应力的图解法——应力圆	72
§ 8.6 三向应力状态的最大剪应力	79
§ 8.7 八面体应力	82
§ 8.8 广义虎克定律, 物体变形时体积的改变	83
§ 8.9 三向应力状态下的弹性比能	85
§ 8.10 材料的三个彈性常数 E 、 G 、 μ 之間的关系	86
§ 8.11 变形分析的用途	87
§ 8.12 平面变形时任意方向上的綫变形及剪变形	87
§ 8.13 变形仪器	89
第九章 强度理論	96
§ 9.1 关于强理論的概念	96
§ 9.2 三个古典强度理論	97
§ 9.3 歪形能理論	99
§ 9.4 馬尔强度理論	100
§ 9.5 达維靖可夫——弗里特曼联合强度理論的概述	102
§ 9.6 强度理論在校核复杂应力状态下構件强度时的应用	104

目 錄

第十章 扭轉	107
§ 10.1 扭轉的概念	107
§ 10.2 扭矩, 扭矩圖	107
§ 10.3 圓軸扭轉時的應力及變形	110
§ 10.4 圓軸扭轉時的強度和剛度計算	115
§ 10.5 圓軸扭轉時的應力狀態	117
§ 10.6 圓軸扭轉時的變形能	117
§ 10.7 密圈彈簧	118
§ 10.8 圓軸扭轉的靜不定問題	120
§ 10.9 扭轉的應力集中概念	120
§ 10.10 非圓截面等直桿的扭轉	122
§ 10.11 薄膜比拟法的概念	123
第十一章 平面圖形的幾何性質	124
§ 11.1 平面圖形的靜矩和形心的位置	124
§ 11.2 平面圖形慣性矩與慣性積	125
§ 11.3 慣性矩與慣性積的平行軸定理	128
§ 11.4 坐標軸轉動時的慣性矩和慣性積	130
§ 11.5 平面圖形的主軸與主慣性矩	131
§ 11.6 慣性圓	132
§ 11.7 求慣性矩的近似解析法	135
第十二章 直梁的平面彎曲——彎矩與剪力	137
§ 12.1 關於梁的一般概念	137
§ 12.2 作用在梁上的外力	138
§ 12.3 梁的橫截面上的內力——彎矩和剪力	141
§ 12.4 彎矩圖和剪力圖	142
§ 12.5 彎矩、剪力和分佈載荷密度間的關係	147
§ 12.6 作彎剪圖時力作用的迭加法	151
第十三章 直梁的平面彎曲——梁內的應力	153
§ 13.1 純彎時梁內的正應力	153
§ 13.2 正應力公式的應用	157
§ 13.3 梁彎曲時的強度計算	158
§ 13.4 梁截面的經濟形狀	162
§ 13.5 矩形截面梁的剪應力	163
§ 13.6 工字形截面上的剪應力	166
§ 13.7 圓形截面上的剪應力	167
§ 13.8 梁彎曲時強度計算中的剪應力校核	169

§ 13.9 梁弯曲时的主应力	170
§ 13.10 主应力迹线的概念	172
§ 13.11 弯曲中心的概念	173
第十四章 直梁的弯曲变形	177
§ 14.1 梁的挠曲轴的微分方程	177
§ 14.2 求梁变形的重积分法	179
§ 14.3 求梁变形的图解分析法 (共轭梁法)	183
§ 14.4 求梁变形的迭加法	188
§ 14.5 梁的刚度计算	189
第十五章 变截面梁	191
§ 15.1 等强度梁的概念	191
§ 15.2 弯曲时应力集中现象	193
§ 15.3 变截面梁的变形	194
第十六章 求梁变形的能量法	197
§ 16.1 拉伸, 剪切与弯曲的变形能计算	197
§ 16.2 卡氏定理	200
§ 16.3 功的互等定理和位移互等定理	208
§ 16.4 馬克斯維尔——馬尔方法	209
§ 16.5 維力沙金法	214
§ 16.6 梁内剪力所引起的挠度	219
第十七章 靜不定梁	224
§ 17.1 一般概念与计算方法	224
§ 17.2 变形比較法	225
§ 17.3 卡氏定理, 馬尔定理及維力沙金法的应用	226
§ 17.4 靜定基的选择与变形条件	227
§ 17.5 三弯矩方程式	230
§ 17.6 三弯矩方程式在在固定端及外伸端靜不定梁中的应用	235
§ 17.7 温度对靜不定梁的影响	239
§ 17.8 靜不定桁架	240
§ 17.9 剛架的计算	242
第十八章 复合抗力	246
§ 18.1 基本概念	246
§ 18.2 斜弯曲	247
§ 18.3 弯曲与拉伸 (或压缩) 的联合作用	253
§ 18.4 偏心拉伸或压缩	255
§ 18.5 截面核心	259
§ 18.6 扭轉与弯曲的組合作用	261
§ 18.7 曲柄軸的强度校核	266
附 录: 型钢表	271

目 錄

第十九章 曲桿	279
§ 19.1 一般概念	279
§ 19.2 平面曲桿的应力計算	280
§ 19.3 中性軸位置的确定	285
§ 19.4 曲桿的强度校核	291
§ 19.5 曲桿弯曲应力計算的另一方法	295
§ 19.6 曲桿的变形及靜不定問題	296
第二十章 厚壁圓筒及薄壁容器	301
§ 20.1 厚壁圓筒的应力	301
§ 20.2 厚壁圓筒的位移	305
§ 20.3 組合套筒的計算	305
§ 20.4 薄壁容器的应力	309
第二十一章 开口薄壁桿件弯曲扭轉計算的基本原理	313
§ 21.1 薄壁桿件的定义	313
§ 21.2 自由扭轉与約束扭轉	313
§ 21.3 約束扭轉时扇性正应力公式的推导	315
§ 21.4 弯曲中心和扇性零点的确定	319
§ 21.5 主扇性面积的繪制	321
§ 21.6 弯扭双力矩	323
§ 21.7 扇性靜矩和扇性慣性矩的計算	325
§ 21.8 扇性剪应力和弯扭力矩	326
§ 21.9 薄壁桿件約束扭轉时的微分方程式	328
第二十二章 接触应力	336
§ 22.1 一般概念	336
§ 22.2 二球体的接触应力	336
§ 22.3 二圆柱体的接触	338
§ 22.4 任意曲面的接触应力	340
第二十三章 实验应力分析	344
§ 23.1 引言	344
§ 23.2 电阻变形仪的工作原理	344
§ 23.3 电阻絲片的構造及其性能	346
§ 23.4 电阻变形仪的应用	347
§ 23.5 光彈性試驗的实質及其应用范围	349
§ 23.6 光彈性試驗的原理	350
§ 23.7 条紋的意義及其应用	353
§ 23.8 梁的純弯曲試驗	355

第二十四章	压杆的稳定	357
§ 24.1	压杆稳定的概念	357
§ 24.2	临界应力, 欧拉公式	358
§ 24.3	杆端支持方式不同对临界压力的影响	360
§ 24.4	欧拉公式的适用范围及超过弹性范围的稳定计算	362
§ 24.5	压杆的稳定校核	363
§ 24.6	材料及截面形式的选择	366
§ 24.7	稳定校核的实际意义	370
§ 24.8	纵横弯曲的概念及强度校核	370
第二十五章	动载荷	376
§ 35.1	引言	376
§ 25.2	等加速运动时应力的计算	376
§ 25.3	旋轉圓环 (飞輪輪緣) 的计算	379
§ 25.4	連桿及平行桿的计算	380
§ 25.5	等厚旋轉圓盤的计算	383
§ 25.6	振动时应力的计算	387
§ 25.7	振动时彈性体系質量的影响	391
§ 25.8	撞击时应力的计算	396
§ 25.9	撞击时应力计算实例	398
§ 25.10	構件截面变化对撞击的影响	402
§ 25.11	撞击物自身应力的计算	408
§ 25.12	考虑被碰彈性体系質量时撞击应力的计算	404
§ 25.13	撞击时材料机械性質的实驗研究	406
第二十六章	重复应力	410
§ 26.1	重复应力的概念	410
§ 26.2	重复应力的性質	411
§ 26.3	对称循环时的持久极限	413
§ 26.4	极限应力图	414
§ 26.5	应力集中对持久极限的影响	416
§ 26.6	零件尺寸对持久极限的影响	419
§ 26.7	其他因素对持久极限的影响	420
§ 26.8	許用应力的确定	421
§ 26.9	确定 (P_r) 的改进方法	425
§ 26.10	在重复应力及复杂受力状态下的强度校核	427
第二十七章	蠕变計算基础	428
§ 27.1	蠕变現象	428
§ 27.2	蠕变計算基础	429
§ 27.3	蠕变計算例題	431
§ 27.4	松弛現象	432

第一章 緒 論

§ 1.1 材料力學的基本任務

為了滿足人民生活日益增長的需要及加強國防，就必須迅速地生產更多更好的機器、車輛、船舶、飛機、武器並建築更多更好的橋梁、房屋、水壩等。設計人員在設計任何一個建築物或機器時，必須為每一個構件——機械零件或建築物的部件選擇適當的材料，並確定合理的截面形狀和尺寸。所謂“適當”和“合理”，就是既要保證構件在外力作用下不發生破壞或引起過大的變形。也要盡量經濟地使用材料換句話說，就是在使用過程中能保證安全同時還要保證材料的消耗量最小，達到經濟的目的。總的來說，就是要求在設計過程中，貫徹黨所提出的：“多、快、好、省地建設社會主義”的原則。

保證構件的使用安全要求加大構件截面尺寸，增加使用材料，而滿足最大經濟的目的則又要求減少使用的材料。這二者是互相矛盾的。材料力學這門科學，就是提供正確解決這類問題的基礎。學習材料力學後，就可以掌握解決這個矛盾的基本方法。

在工程實際中，構件能安全承受外力而不破壞，就認為它們有足夠的強度。在生產中，絕不允許結構破壞，造成財產的損失。因此，要求每一個構件都有足夠的強度。構件受力後，雖然沒有破壞，但它的變形超過某一許可範圍，也是不可以的。例如，轉爐的轉動軸（爐耳）在冶煉時，因受力而變彎曲，使得轉爐不能轉動，影響生產。構件受力後，它的變形不超過規定的限度，工程上就認為它有足夠的剛度。因此，要求每一構件都有足夠的剛度。有時候構件在工作時不一定能夠保持原有形式的平衡，例如，一個細長的直桿，受到軸向的壓力，當力到達了某一個極限值時桿件就不能保持直的形式而變彎曲，可以設想廠房的柱子不能保持直立狀態而變彎曲了，將造成多么嚴重的後果，這是工程中不允許的。凡是構件工作時仍能保持原來形式的平衡，就認為它具有穩定性。總的來說，材料力學是一門關於各種構件強度、剛度和穩定計算的科學。

§ 1.2 材料力學的研究對象：桿、板、殼

在理論力學中研究的是物體運動的普遍規律，對這些問題的研究，並不涉及物體的性質及變形，因而可將物體抽象化為剛體。但在材料力學中，由於研究任務不同，它在研究構件的強度、剛度及穩定的時候，必須涉及材料的性質及變形。它研究的是實際的物體，不是抽象化了的剛體，因此我們說，材料力學研究的物體是變形固體。

研究任意形狀的變形固體是困難的，這不是材料力學的研究範圍，為了更直接地解決工程實際中的問題，材料力學研究的是工程實際中常用的幾種構件形式：桿、板、殼。

一個固體，若它的長度比橫向尺寸在量級上大得多時，就叫做桿。一根桿的幾何形狀，可由一條軸線（通過截面形心）及垂直於軸線的幾何圖形（截面）來表示（圖1.1），軸線為直線的桿稱為直桿（圖1.1a），為曲線的稱為曲桿（圖1.1b），各個截面相同的桿稱等截面桿，不同的稱變截面桿。我們將先研究等截面直桿，然後再討論變截面桿及曲桿。根據受力情況的不同，直桿又將分為桿、軸、梁、柱等等。

在工程實際中，如桁架的桿件，傳動軸，起重機的掛鉤等構件，皆屬於桿的範圍。

一個固體，如果它的厚度比其他兩個方向的尺寸在量級上小得多，此時它的幾何形式可

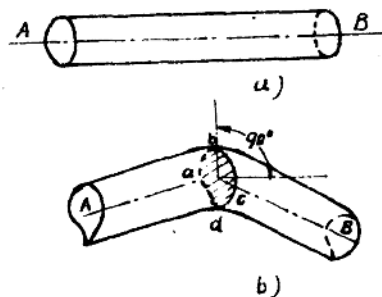


圖1.1

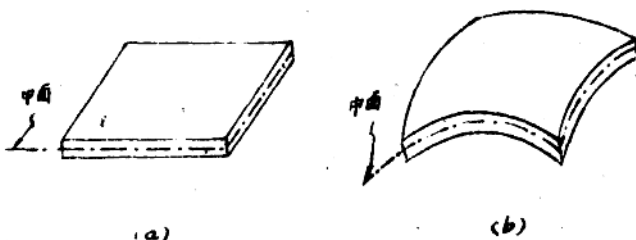


圖1.2

用一中面及与中面垂直的厚度表示，中面为平面时称为板(图1.2a)，中面为曲面时称为壳(图1.2b)。

在冶金工业中，如盛鋼筒底，轉爐烟罩水箱等皆为板的構造，化鉄爐，热风爐，高爐等的外壳皆为壳的構造。

一般在材料力学中，研究的主要对象为直桿，此外，解决一些簡單的壳的問題，板因为計算复杂，往往放入彈性理論中去解决，其所以將桿作为材料力学研究的主要对象，这是因为桿是工程中最常見最基本的構件，許多其他形式的構件，也可近似地轉化为桿的問題来解决。例如齒輪；同时在桿的研究中，也貫徹材料力学的基本方法，掌握了桿的問題以后，能基本解决工程实际中構件强度，刚度及稳定的一些問題。

§1.3 材料力学的研究方法

材料力学的研究方法，也和其他一切物理科学一样，包括实际观察、实验、假设、理論推导、实践或实验验证。这样的过程，完全符合毛主席在实践論中所指示的原则，所以說，这是科学的方法。

材料力学所研究的都是实际问题，是由生产实际中提出来的，因此，首先观察实际物体的具体现象。实际事物是复杂的，为了研究方便，必須忽略那些次要的因素，根据所观察到的现象本質，做出假设，把問題加以简化。問題經過抽象化，簡單化以后，就可以进行理論分析了。在理論分析过程中，常从下列三个方面来考虑。

(1) 力的平衡条件。运用理論力学的靜力学平衡方程(或运动方程)来决定作用于構件上的外力和材料的內力之間的关系。

(2) 变形的几何条件。材料力学研究的是变形体。因而必須研究物体的变形。把变形用几何的形式表达出来。

(3) 物理条件。从实际的观察和材料試驗来决定受力和变形的关系。这样就把变形与材料的內力連系起来。

也有时为了方便起见采用在形式上是把以上三个条件混合起来的能量法。

通过理論分析所得到的結論，究竟是否正确，能不能用到实践中去，还需要通过实验和生产实践来验证。只有那些被实践所証实的理論，才認為是科学的。

从研究材料力学的基本方法中可以看出，实验是一个重要环节，它不仅是来验证理論，同时也是建立理論的基础。因为材料力学所研究的对象是实际物体，它需要通过实验来研究材料的机械性質，从而建立理論所必須的物理条件。理論和实验是紧密連系相互交錯的。所

謂材料機械性質，就是在試驗機上使物體受力產生變形所測出材料的某些性質，它與用儀表測出的物理性質和通過化學分析得到的化學性質一樣，是說明材料性質的一個重要方面。

由於大家還沒有接觸到材料力學的具體內容，一定會感到現在所講的材料力學的研究方法，還是不夠具體和明確。但是，因為在以後討論每一章節時，都是按照這個基本方法來進行的，所以大家在今後學習中，應該經常注意這些基本方法。這樣會使概念更加明確，學習更加鞏固。這是正確掌握這門課程的關鍵。

§1.4 材料力學發展簡史

科學的發展，主要決定於社會生產力的發展，材料力學的發展過程，也是如此。

科學發展的最初階段，是人們在生產活動中逐漸積累著豐富的感性知識及生產技術的經驗。

我國是文化發達最早的国家之一，祖國的勞動人民在很早的年代里，在掌握材料性能方面，顯示了創造的能力，並取得很大的成就。

在建築方面，我國的“骨架木結構”的建築形式在3500年以前就形成了。這種建築形式比起歐洲古典建築要優越得多。如山西省五台山佛光寺大殿是唐末（公元857年）年間建造的；山西省應縣佛宮寺的木塔共九層，高達66米，是宋代（公元1056年）建造的，這些建築物都已經有1000年左右的歷史了，但現在仍然完整無損。

在宋代，建築師李誠總結了我國木結構建築經驗而寫成一部“營造法式”，這是一部完整的建築規範，其中對於一些構件的尺寸，作了科學的規定，如“凡梁之大小若將其寬分為三分，一分為厚”，就對梁的高寬尺寸作了規定。

在橋樑方面，我們祖先很早就發明了拱橋形式，現存的河北趙州橋是隋朝李春（公元581—681年）所建，距現在已有1300年的歷史，橋跨達37米，拱半徑有25米，這種形式的橋樑在歐洲到1912年才開始出現。在我國西南地區，由於江水湍急，橋基不易建立，勞動人民架設了鐵索橋和竹索橋，利用了竹及鋼的抗拉能力，如西康省瀘定縣的鐵索橋，這是在1696年建造的，跨度達100米。美國在1801年建造的橋跨度也只有21米。歐洲在1834年才有索橋出現。

在造船方面，我國在隋朝已經可以製造高百尺，可容800人的大船。而船舶的製造是需要很多的材料力學知識的。

在運輸及機械製造方面，3500年前的殷代已知作輻條車輪，漢代已開始利用鐵軸，三國時代馬鈞開始運用了齒輪。

這些都說明了我們的祖先的智慧，他們在很早以前就掌握了材料力學的知識，他們善於應用不同的木、石、鐵、竹等材料及各種結構形式。

同時在歐洲、埃及、印度也積累了许多材料力學的实际知識，如埃及的金字塔，羅馬的神殿，城牆、拱形門，圓拱屋頂等，都是雄偉的建築。

總的來講，在十四世紀以前，我們祖國的力學水平，一直是在歐洲之上的，但由於長時期封建制度的延續，一直沒有得到在理論上的發展。十四世紀以後，歐洲由於社會經濟基礎的變革，而有了較大的進步。

材料力學作為一門科學來講，一般都認為是從1638年意大利科學家伽利略(G. Galileo, 1564—1642)開始的。伽利略生在封建社會解體，商業資本及國際航運發展，並且是采礦冶金工業萌芽的時代。這時代新的經濟情況提出了一系列的技術問題，例如，海外貿易的活

跃，提出了增大船只吨位的问题，因而就必须改进船只的构造，以及建设新的内河交通，运河，水闸等问题。这些问题是不能用单纯抄袭旧有船只及建筑物结构来解决，因而根据强度计算来决定构件的尺寸，就成为非常迫切的问题。伽利略是第一个提出强度计算的科学家，从他那时开始，设计不再是单凭经验，而是在科学理论指导下进行的。

奠定材料力学这门科学的基础有着伟大贡献的，是英国科学家虎克（R. Hooke, 1635—1703），他根据弹簧实验的结果，在1660年提出“在弹性体内，变形的大小与载荷成正比例”有名的虎克定律。荷兰科学家伯努利（J. Bernoulli, 1654—1708）在1705年提出了物体变形的几何规律。俄国科学家罗蒙诺索夫（М. К. Ломоносов, 1711—1765）最早进行了材料研究及试验工作。

随着建筑及机械制造等生产技术的发展，材料力学也得到很大的发展，俄罗斯和苏联学者在材料力学方面有着卓越的贡献。

十八世纪，俄国彼得堡科学院士欧拉（L. Euler, 1707—1783）解决了压杆的稳定问题。

十九世纪，俄国杰出的工程师儒拉夫斯基（Д. И. Журавский, 1821—1893）在修建彼得堡到莫斯科间的铁路时，作了有关弯曲时剪应力的研究，提出了有名的儒拉夫斯基公式。

二十世纪初，俄国科学家在材料力学方面起着领导作用。

布勃诺夫（И. Г. Бубнов）教授对有关船只强度的研究有很大的贡献。

雅兴斯基（Ф. С. Ясинский）进行了中等长度压杆的稳定问题的研究，提出著名的经验公式——雅兴斯基公式。

克雷劳夫（Д. Н. Крылов）院士是杰出的应用数学和力学家，他在振动理论方面有着卓越的成就。

在伟大的十月革命以后，苏联开始了空前未有的社会主义建设，这使材料力学得到飞速的发展。

勿拉索夫（В. З. Власов）和乌曼斯基（А. А. Уманский）创立了薄壁构件强度和稳定的计算理论。

达维靖柯夫（Н. Н. Давиденков）以辩证唯物主义的觀點建立了解释材料破坏原因的新理论——联合强度理论。

依留申（А. А. Ильшин）提出了关于塑性理论的形变理论。

苏联的科学家们在力学方面的成就太多了，无法一一叙述，这些科学家们的卓越成就，是以马克思——列宁主义思想为指导而取得的。他们为共产主义建设作出了重大的贡献。从苏联连续发射三颗人造卫星和宇宙火箭这一事实，更清楚地说明几乎所有科学领域内（包括材料力学），苏联的学者都跃居世界领导地位。

我国在解放前，由于国民党反动派的长期统治，工业落后，生产力发展受到阻碍，在各方面都是一蹶不振，在材料力学方面更谈不上发展了，只有少数科学家在跟随着资本主义国家方向进行缺乏系统的研究。但是在今天，在解放了的我国，随着生产的全面大跃进，在党的领导下，短短的几年中，力学事业有了很大的发展。在1952年，在北京大学成立了中国的第一力学专业，1956年2月成立了力学研究所，以后在各地又有不少力学研究机构相继成立，並有很多院校添设工程力学专业。所有这一切，都说明党对力学科学研究的重视和关怀。几年中不少力学工作者，在党的领导和关怀下，与工人同志一道解决了许多力学的重大问题。例如，在治淮与荆江分洪工程中，由于采用了先进的计算方法，节省了大量的材料。在佛子岭水库的连拱坝的建筑物中，解决了一系列强度问题，例如，用逐次校正法解决了横向地震应力问题。1956年建成的长江武汉大桥，是近代宏伟工程之一，在设计与按装连续梁的过程

中，都解決了不少材料力學方面的問題。正在建造中的三門峽攔河壩工程與正在設計不久即將動工修建的長江三峽水利樞紐工程，都是世界第一流水平的大工程。在設計與建造的過程中，都要解決一系列的力學問題。我國許多力學工作者，正在積極地研究及解決這些問題。

在黨的領導下，我國的力學研究部門對重大的力學問題，也開始了系統的研究。

總結上述材料力學的發展簡史，我們可以進一步地明確到下面的幾個問題：

(1) 材料力學的發生和發展，和其他科學一樣，是依賴於人們在生產中技術上的需要。証明了恩格斯的天才論斷“科學的興起和發展，從開始便是由生產所決定。”

隨着我國生產的大躍進，許多工人農民以及科學家們，為了滿足大躍進的需要，提供了許多新的發明和創造。在鋼鐵事業方面，例如三槽出鋼，高爐利用系數等，都是世界第一流水平的。這充分說明，科學隨着生產的發展而發展。當然科學的發展也促使生產力進一步提高。

(2) 材料力學的理論成就，從最早的虎克定律到最近的勿拉索夫關於薄壁桿件的理論，這一切成就都是自然界不依人們的意識為轉移的客觀法則的認識和運用。這也說明，世界是可知的。

(3) 只有在工人階級專政的，以馬列主義立場、觀點和方法為科學界唯一指導思想的社會主義國家里，科學才能有計劃，有目的地隨着生產的飛躍發展而發展，並將所有科學上的成就都用於祖國的社會主義建設上去。

§ 1.5 材料力學與工程實際及有關課程的關係。

材料力學是力學的一個分支，是現代工程技術課程的基礎課程之一，它與很多課程密切地聯系着。

在研究材料力學理論時，對作用於物體的力的分析和計算，就要用到理論力學和數學。同時，它又為機械零件，結構力學等基礎技術課及有關專業課程提供了一般的計算方法，在金屬學及熱處理課程中，在研究金屬的微觀組織及性質時，也需要材料力學對材料機械性質研究的知識，所以說，材料力學是基礎課和專業課之間的橋樑。

材料力學與工程實際問題的關係也是很密切的。無計在冶金工業，基本建設，交通運輸等方面都有着廣泛的應用，以冶金廠中的起重機來說，吊運機器的掛鉤，鋼索及起重機上的轆轤，傳動軸，及起重機的主要結構的鉸梁而甚至每一個鉚釘等，都有材料力學的問題。

作為一個工程技術人員，學好材料力學對今后的工作是有重要意義的。例如，過去一些設計人員在設計時過於偏重安全，造成財產的浪費。我國某廠的平爐結構是按10噸設計的，在大躍進時期，工人同志敢想敢幹，曾裝料到70噸，現在一直是裝40噸，仍能安全生產。這就把生產提高了三倍多，這說明不正確的設計，為國家造成多么大的浪費，又比如把塑性理論應用到鋼筋混凝土設計中去，就可以節省水泥20~30%，所以我們現在看到的冶金廠的廠房結構，許多混凝土構件比舊廠房的混凝土構件小了許多。在冶金設備上，仍然可以舉出許多節約大量資金的實例。這就充分說明了很好地掌握這門科學，對於加速祖國社會主義建設有着多么重大的意義。

第二章 基本概念

§2.1 变形固体的基本假设

在自然界中，实际物体的性质是多种多样十分复杂的。每一种科学只是从某一角度来研究它，只是研究物体性质的某一方面。因此，为了方便起见，我们常常忽略那些与问题没有关系或者关系不大的次要性质，只保留它的主要性质，这样我们就把物体抽象化了，假定使它只具有某种主要的特征性质，用理想情况来代替真实物体。至于哪些性质是主要的，哪些是次要的，就必须根据这门科学所要研究的范围而定。例如：在天文学里，我们研究地球绕太阳运转过程它们之间相对位移的关系时，因为地球的直径比起它运行的轨道来要小得多，可以把地球看成是一个质点。这样，我们就用理想的质点代替了真正的地球。不这样假设，问题就复杂得多。但是在研究地球的物理现象时，就不能把地球看成是质点了。

在理论力学里，是把物体当做刚体来处理，假设它在外力作用下，既不会破坏，也不会变形，事实上，在自然界中绝对刚体是没有的。不过因为这一门科学，主要的是研究物体运动的普遍规律，破坏和变形等性质与所要研究的问题没有关系，所以把物体假设成为刚体，是可以的，同时也是必要的。

但是在材料力学中，我们所要研究的，是物体怎样在外力作用下发生破坏和变形。这里，变形已经是物体的主要属性，显然不能再把它看成为刚体了，而应当把它假设成变形固体来研究。

变形固体的性质也是多方面的，在材料力学里，研究变形固体的性质，常采用以下的基本假设：

(1) 材料的均匀连续性。根据近代物理的研究。可以肯定材料是由不连续的粒子所组成（分子，原子以及更微小的粒子）。但是根据粒子构造来研究物体的受力和变形，是非常复杂的，同时因为所研究的物体大小比起粒子之间的空隙，要大得多，因此我们可以假设材料是均匀连续的。

所谓“连续”就是说物体整个体积内完全被物质所充满。这样的假设，当然不能用来说明物体内在微小部分所发生的现象的本质。但是一般情况，在较大的体积上应用这个假设所得到的结论，完全可以应用到实际中去。

所谓“均匀”是说物体各处处在同一方向的物理性质及机械性质都是一样的，实际的物体并不是均匀的。例如，木材、铸铁等材料很显然各处的性质就不完全一样，但是在材料力学中，所研究的是构件受力后的宏观性质，这样的假设，也是完全适用的。

在普通静力作用及常温下，我们可以认为钢、铜及铸铁等金属材料都是均匀连续的。

均匀连续性的假设，使得我们可以从物体中截取无限小的单元体来进行研究，也可以使用数学中无限小的分析方法。所以这种研究方法，也叫做数学力学方法。

(2) 材料的各向同性。所谓各向同性是说材料在各个方向上都具有相同的性质。也就是说，物体受到外力作用后，它在各个方向上所表现出来的都是一样的，因为绝大部分金属材料都是属于多晶结构，由于物体内部晶体的排列是错综复杂的，从统计的观点，可以认为是各向同性的。如铸铁、铸钢等，它们都是各向同性材料。

也有一些材料仅仅在某一方面性質是相同的。例如木材，順紋方向上的性質是一样的，但橫紋方向上的性質却和順紋的不相同。又例如經過軋軋的鋼材，在制軋方向的性質是一样的，其他方向上的性質則和軋制方向上的不相同。这类材料都叫做單向同性的材料。

在各方向上性質都不相同的材料，叫做各向異性材料。如冷扭的鋼絲就屬於这一类。

(3) 彈性。物体在外力作用下改变形狀。但是因为物体有抵抗改变其質点間相对位置的能力，所以当外力除去以后，物体就消除了由于外力作用所引起的变形，这种性質叫做彈性。在外力除去以后，能完全恢复原来形狀的固体叫做完全彈性体。

自然界中既沒有完全彈性体，也沒有完全非彈性体。例如鋼材，即使加一个很小的力，都会引起变形，甚至不能恢复原狀。但是象金屬，木材等材料，如果載荷不超过某一定的数值，所存在的不能恢复的变形非常小，即使用现代最精密的仪器，也不可能測量出来，它們的性質，接近于完全彈性体。因此在材料力学中，都把它們当作完全彈性体来处理。

許多材料在受到較大的外力作用时，把外力除去后，它的变形不能完全恢复，保留一部分消灭不掉的变形，这种变形叫做塑性变形。(又称永久变形，或残余变形)。例如冷軋帶鋼，每軋制一道，它的厚度就要变薄一些，不能再恢复到原来的厚度。材料的这种性質叫塑性。在材料力学里，一般假設材料是完全彈性体，进一步研究材料的塑性性質，是材料力学新的发展方向。

我們在作以上的假設时，保留了实际物体共同的主要性質，而忽略了那些次要的个别性質，这些假設能集中地反映某一方面的客观情况，同时也使十分复杂的现象得到适当的簡化，便利了計算方法的推导。所以材料力学的計算方法，是以适当簡化的假設为基础建立起来的，所得到的結果也是近似的。但是对于工程实际问题來說，已达到了足够的准确度。

§2.2 作用於構件上外力的分類

当設筑物或机器被使用时，它們的各个構件都要受到外力(又称載荷或荷重)作用，並且由这一構件傳遞到另一構件上。例如：軋制鋼料的軋軋承受着金屬压力；吊車的鋼絲繩承受下面所吊的鋼水重量；煉鉄厂的热风爐承受风力，同时在内部受有气体压力等。这一类載荷都叫做作用於構件上的外力。我們现在就对这些外力进行分类。

外力的分类，可以按几种不同的特征来进行。

(1) 按外力作用位置的特点可以分为体积力和表面力。如果構件所承受的載荷，是分佈在体积內各点上，就叫做体积力。例如，構件本身的重量，或运动时構件中的慣性力，都是体积力。表示体积力的單位是：吨/米³(t/m³)或公斤/厘米³(kg/cm³)。

如果構件所承受的載荷，是由相碰的物体傳遞而作用於構件表面的，就叫做表面力。表面力又可分为分佈力和集中力。

分佈力是連續作用於構件表面某一块面积或某一段長度上的外力。假若在表面取出一小块面积 ΔF ， ΔP 为作用在小面积上外力的合力。則外力的平均密度为

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

外力的真正密度为

$$q = \lim_{\Delta F \rightarrow 0} \frac{\Delta P}{\Delta F}$$

q 的單位是：噸/米² (t/m²) 或公斤/厘米² (kg/cm²)。

9 為常量時，叫做均佈載荷。例如屋頂上的積雪。 q 不是常量，叫做非均佈載荷。如作用到盛鋼筒壁上的鋼水壓力，礦倉擋土牆所承受的压力都是非均佈荷重。

若外力在一個方向上是均勻分佈時，還可以把外力用沿長度的分佈來表示。沿長度垂直方向取等寬度 b (在寬度 b 上分佈是均勻的)

$$\begin{aligned} \text{則} \quad q' &= \lim_{\Delta L \rightarrow 0} \frac{\Delta P}{b \Delta L} \\ &= \frac{1}{b} \lim_{\Delta L \rightarrow 0} \frac{\Delta P}{\Delta L} = \frac{1}{b} q \end{aligned}$$

於是， $q = bq'$

這樣， q 的單位變成為：噸/米 (t/m) 或公斤/厘米，(kg/cm)。

集中力是分佈在物體一塊非常小的表面上的力。為了計算簡單，假定集中力作用於一點，事實上，要想通過一點來傳遞載荷是不可能的。但在實際中，已經証明了這種簡化所引起的誤差不大。集中力的單位是：噸 (t)，或公斤 (kg)。

(2) 按載荷作用的性質，可分為靜載荷和動載荷。靜載荷是逐漸加到構件上的載荷。因為加載荷時速度很慢，構件不產生加速度或者加速度很小，可以忽略不計。動載荷又可分為沖擊和隨時間而變化的兩種。鍛壓時鍛錘對鍛件的作用就是沖擊載荷，蒸汽機的活塞往復運動時，活塞桿上受到的蒸汽壓力，就是不斷在改變大小和方向的載荷。

(3) 按載荷作用在構件上的時間來分類，可分為永久載荷和暫時載荷。永久載荷作用於結構物存在的全部時間。例如，物體的自重。暫時載荷僅僅在若干時間內作用在結構物上，如被吊起的重量，對吊車的鋼絲繩來講，就是暫時載荷。

一種載荷可以同时按三種分法來分類。例如在軋軋鋼板時，金屬作用在軋軋的軋制壓力，對軋軋來講，就是暫時的，均佈的動載荷。

§ 2.3 內力和截面法

內力是指物體內微粒間相互作用的力。當物體不受外力時，在固體內部就存在着相互的內力，正是由於有了這樣的內力，固體才能保持一定的形狀。但是在材料力學中所研究的內力是當物體受到外力作用後，隨着變形在物體內部所產生的抵抗外力的附加內力。

物體受力後，將發生形狀的改變，也就是微粒間的距離，將發生變化。而物體內所產生的附加內力，就是對外力作用的抗力，它力圖使微粒間的距離保持不變。外力增加時，內力也隨着增加，它們總是隨時保持平衡的。但是當外力增加到一定程度時，內力不能隨着增加，這就造成了構件的破壞，所以說，這個附加的內力是與強度問題有密切關係的。材料力學所注意的，正是這個附加內力。也就是說，在材料力學中認為在物體沒有受力以前，其內力為零，不去管那些在物體未受力以前保持物體形狀的相互內力。

為了計算內力，在材料力學中是通過截面法來把內力揭示出來的。這個方法是材料力學很重要的方法，我們用下面的具體例子來闡明這個方法。

設有一桿受拉力 P 的作用 (圖 2.1)。如果想知道桿的內部因力作用所產生的內力，可

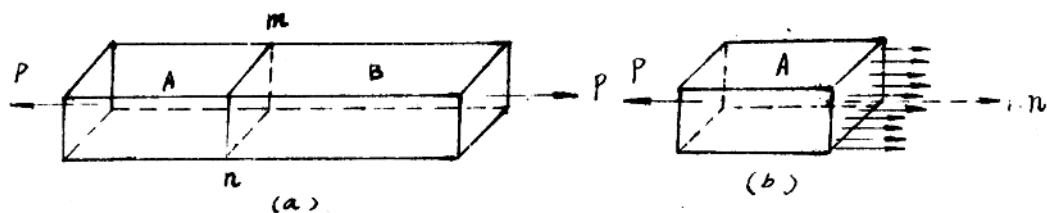


圖2.1

以用一个垂直于棒的假想平面 $m-n$ 把棒子分成兩 A, B 部分, 把 B 部分拿开, 来研究剩下來的 A 部分。在 $m-n$ 面上的各点, 用力来代替拿开的 B 部分对 A 部分的作用, 这些力就是 A, B 兩部分互相作用的內力。这許許多多內力在 $m-n$ 面上的分佈規律, 我們还不知道, 但是可以肯定它們的合力一定要与外力保持平衡。取棒軸線为 x 軸, 我們根据靜力学平衡方程 $\Sigma X=0$, 就可把內力的合力計算出来。

根据上面所叙述的方法, 可以把截面法应用到一般受力情况的物体上。如图 2.2 的物体, 可以用假想平面 (或曲面) S 把它分成 A, B 兩部分, 研究其中一部分, 例如 A 部分。在被截开的截面 S 上, 作用着連續分佈的內力 $p_1, p_2, \dots$ 等。作用在截面上的內力, 应该和作用在 A 部分上的外力相平衡 (图 2.2b)。应用理論力学的硬化原理, 直接对这一部分列出靜

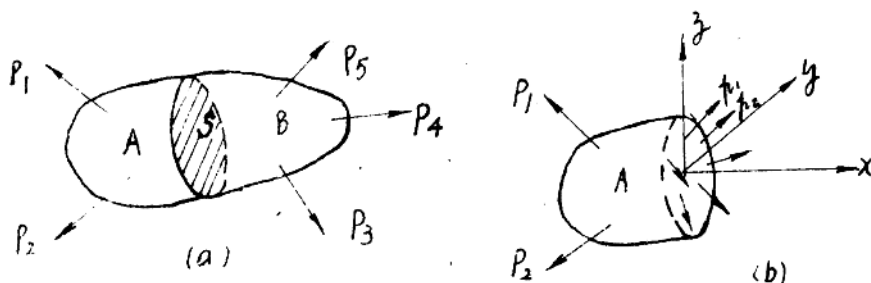


圖2.2

力学平衡方程式。在一般情况下, 內力的总和可以简化为一个力和一个力偶。它們对三个坐标軸的投影和取矩, 为內力的六个分量 X, Y, Z, M_x, M_y 及 M_z , 根据下列的六个靜力学平衡方程式, 就可以把全部分量求得。

$$\begin{aligned} \Sigma X=0, \quad \Sigma Y=0, \quad \Sigma Z=0; \\ \Sigma M_x=0, \quad \Sigma M_y=0, \quad \Sigma M_z=0; \end{aligned}$$

如果是平面問題, 此时內力分量只有三个 (X, Y, M_z) 那就只要三个平衡方程式, 来决定它們。

用靜力学方程式只能求出內力的合力, 至于內力在截面上的分佈規律, 在以后的各章內再詳細討論。以后我們把內力的合力, 簡称为內力。

例2.1 如图 2.3 所示桿件 AB, A 端固定, B 端自由, 在 B 端承受一鉛直方向的外力 P 。試分別求出截面 1-1 与截面 2-2 上的內力。