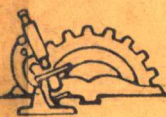


高等学校試用教科书



材 料 力 学

CAILIAO LIXUE

上 册

武汉水利电力学院建筑力学教研组編

人 民 教 育 出 版 社

高等学校試用教科书



材 料 力 学

CAILIAO LIXUE

上 册

武汉水利电力学院建筑力学教研组編

人 民 教 育 出 版 社

本书是武汉水利电力学院建筑力学教研组所编写的，原于1960年2月由水利电力出版社出版。1961年3月間，經清华大学、北京航空学院、唐山铁道学院、南京工学院、大連工学院、西安交通大学、西北工业大学、华中工学院等校材料力学教研組的有关教师研究討論，由清华大学、北京航空学院的有关教师負責略加修改和增补后，改由人民教育出版社再版。

全书分上下两册。原书内容包括：拉伸和压缩，剪切，扭转，弯曲，超静定梁，应力状态理論，强度理論，能量法求变形，曲杆，稳定，许可荷重計算，动力荷重，重复应力等二十章，連同增补的分析和薄壁构件的实用計算理論兩章，合計二十二章，原书緒論实验应力部分，作了修改。

本书可作高等工业学校土建、水利类专业“材料力学”課程的試用教科书，也可供其他专业师生和工程技术人員参考。

材 料 力 学

上 册

武汉水利电力学院建筑力学教研组編

人民教育出版社出版

高等学校教学用书編輯部
北京宣武門內大街25號

(北京市书刊出版业营业許可證出字第2号)

人民教育印刷厂印装

新华书店科技发行所发行

各地新华书店經售

統一書号 15010·937 开本 850×1108 1/32 頁数 101°/16 插頁 1

字數 279000 印數 00001—15,000 定价 (7) 1.20

1961年6月第1版 1961年6月北京第1次印刷

目 录

緒論	9
§0-1 材料力学的基本任务	9
§0-2 材料力学的发展簡史	11
§0-3 材料力学与其它課程的关系	14
第一章 基本概念	15
§1-1 变形固体的概念	15
§1-2 变形固体的基本假設	16
§1-3 变形和变位	18
§1-4 外力和它的分类 杆件的計算簡图	20
§1-5 內力 截面法	23
§1-6 应力的概念	25
§1-7 杆件变形的形式	27
§1-8 材料力学的研究方法	28
小結	29
复习題	30
第二章 拉伸和压縮	31
§2-1 实际工程中的受拉杆件和受压杆件	31
§2-2 横截面上的应力	32
§2-3 斜截面上的应力	35
§2-4 軸向变形 虎克定律	38
§2-5 横向变形系数(泊松比) 体积变形	43
§2-6 应力集中的概念	46
小結	47
复习題	48
第三章 拉伸和压縮时材料强度的实验研究	49
§3-1 材料力学实验	49
§3-2 低碳鋼的拉伸試驗	50
§3-3 冷作硬化	56

§3-4 真正应力图	57
§3-5 其他材料的拉伸应力应变图	58
§3-6 压缩试验	59
§3-7 材料的硬度和刚度	63
§3-8 材料的塑性状态和脆性状态	64
§3-9 许用应力和安全系数的确定	66
小結	68
复习題	68
第四章 拉伸和压缩时的强度计算与自重影响	69
§4-1 强度条件	69
§4-2 轴向力图 正应力图	71
§4-3 自重的影响 变截面杆的计算	76
小結	83
复习題	84
第五章 拉伸和压缩的超静定问题	84
§5-1 超静定问题的一般概念	84
§5-2 简单拉伸或压缩超静定问题的解法	85
§5-3 装配应力	94
§5-4 变温应力	101
小結	104
复习題	105
第六章 剪切	107
§6-1 实际工程中的受剪切构件	107
§6-2 剪切的实用计算	110
§6-3 剪切变形 剪切虎克定律	119
§6-4 切应力双生互等定律	121
小結	122
复习題	124
第七章 扭转	124
§7-1 扭转的概念 实际工程中的受扭杆件	124
§7-2 圆轴的扭转	126
§7-3 空心圆轴的扭转 薄壁圆筒的扭转	132
§7-4 受扭圆轴的强度计算和刚度计算	135

§7-5 扭轉的超靜定問題	141
§7-6 非圓截面杆在純扭轉時的應力及變形	143
小結	150
復習題	150
第八章 梁的彎曲、切力與彎矩	151
§8-1 實際工程中的受彎構件	151
§8-2 一般概念	154
§8-3 梁彎曲時橫截面上的內力素；切力與彎矩	161
§8-4 切力圖與彎矩圖	165
§8-5 荷重較複雜時的切力圖和彎矩圖	172
§8-6 分佈荷重密度、切力、彎矩之間的微分關係與 積分關係	178
§8-7 用迭加法作切力圖與彎矩圖	184
小結	187
復習題	187
第九章 梁的應力	188
§9-1 梁的正應力	188
§9-2 一般梁的計算 強度計算	194
§9-3 梁的合理截面	196
§9-4 材料抗拉、抗压彈性係數不同時的彎曲	201
§9-5 梁的切應力	202
§9-6 工字形截面梁的切應力	208
§9-7 圓形截面梁的切應力	212
§9-8 梁的切應力強度計算	215
§9-9 不對稱截面梁的彎曲、彎曲中心	217
§9-10 變截面梁的應力	221
小結	225
復習題	225
第十章 應力狀態理論	227
§10-1 應力狀態的概念	227
§10-2 單向應力狀態	229
§10-3 二向應力狀態	235
§10-4 應力圓(莫爾圓)	239

§ 10-5 用应力圆求主应力	243
§ 10-6 梁的主应力 主应力迹线	250
§ 10-7 三角形截面坝的应力分析	254
§ 10-8 三向应力状态	259
§ 10-9 三向应力状态的应力圆	262
§ 10-10 三向应力状态中的变形 广义虎克定律 体积变形	269
小結	274
复习題	276
 补第一章 实验应力分析	 277
§ 1 概述	277
§ 2 平面应力及应变分析	278
§ 3 用电阻应变仪测应力	281
§ 4 测定应变及计算应力	283
§ 5 电阻应变仪实验中的几个问题	285
§ 6 动荷应力测定的简单介绍	287
§ 7 多点测量问题	288
§ 8 脆层法	291
§ 9 脆层法的定量试验	293
§ 10 光弹性法	294
§ 11 光弹性法的基本原理	295
§ 12 根据实验资料计算应力	299
§ 13 实验应力分析的发展方向	304

緒 論

§ 0-1 材料力学的基本任务

(一)水利事业是祖国社会主义建設事业中的重要組成部分，它与工业、农业、交通运输业的发展，都有着紧密的联系。为了发展水利事业，綜合地利用水利資源，使全国的河流湖泊馴服地为社会主义建設服务，我們必須建筑一系列的水工建筑物，如坝、渠道、涵洞、发电厂房等，和安装、使用各种有关的机器設備，如抽水机、水輪机、发电机、施工机械等。水工建筑物与水利机械象所有的建筑物和机器一样，不論是如何的复杂，它們总是由許多单个的結構零件(簡称构件)所組成的(图0-1)。一般說，每座优良的建筑物或机器上的每一个构件，都要能同时滿足安全与經濟两个要求。为了滿足經濟的要求，必須使构件具有最小的截面尺寸。为了滿足安全的要求，則必須使构件在受到外力的作用(或外在因素的影响)时，能同时滿足下面的几个条件：

(1)强度条件：就是能够防止破坏；

(2)剛度条件：就是构件所发生的变形，能够被限制在正常工作所許可的范围以內；

(3)稳定条件：就是构件工作时，不会突然改变它本来的形状或工作性質。

为了使构件能够滿足这些条件，在我們进行設計工作的时

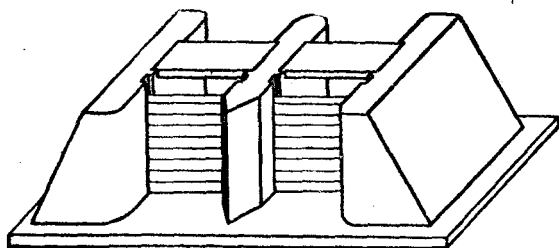


图 0-1(a) 擋水梁式水閘

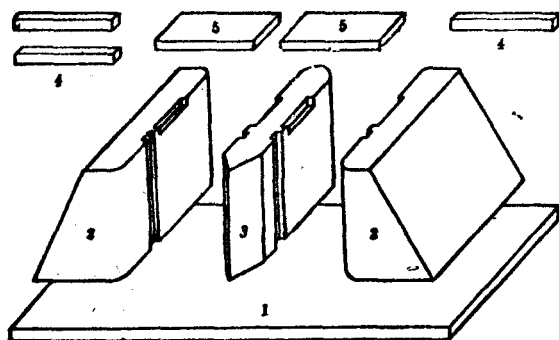


图 0-1(b) 擋水梁式水閘的組成构件

1—底板；2—閘牆；3—閘墩；4—擋水梁；5—工作橋。

候，必須通过一定的計算，为它們选择适当的材料和适当的形状尺寸。因此，材料力学就是研究各种类型构件的强度、剛度及稳定性的科学。由于任何一种工程材料，在受到外力（或外在因素）的作用时，都会发生內力与变形；它們对构件的强度、剛度和稳定的計算又有密切的关系。因此材料力学的基本任务就是：当各种型式的构件在外力作用（或外在因素影响）的各种不同場合下，确定外力、构件的几何形状尺寸、以及由外力（或外在因素）所引起的內力和变形四者之間的相互关系，然后根据这些关系以及通过試驗所測得的各种材料的机械特性，为构件选择适当的材料和适当的几何形状尺寸。但是，在某些場合下，材料力学也要解决在形式上不同的另外一些問題，例如该校已設計或建造好了的构件是否能滿足上列的三个条件，或决定材料与尺寸都是已知的构件，究竟能安全地承受多大的荷重。

(二)虽然适当的安全与最大的經濟是工程設計中所必須滿足的两大基本要求，但是它們經常是互相矛盾的；前者一般要求多用材料，后者則要求减少材料的消耗。要恰当地解决这个矛盾，就必须正确地运用材料力学的知識，因为只有根据材料力学的知識才能够使我們知道怎样在保証安全的条件下尽量地使构件消耗最少的材料。同时也正是这一种矛盾的存在，才促使着材料力学

不断地向前发展。另外，由于生产的发展，科学技术水平在不断的提高，新的实际问题都要求寻求新的材料，研究它们的性能，改良和创造新的计算方法。例如近代航空工业和火箭技术发展的需要，就大大推动了其它科学和材料力学的迅速发展。

(三)每个工程技术工作者在设计建筑物或机器时，都必须正确地运用材料力学的科学方法，对各个构件进行分析计算，才可能建造出既经济又安全的新的工程结构。否则就一定会为国家和人民带来不同程度的损失。例如在1952年修建我国解放后第一个大型水利工程——荆江分洪工程的时候，其中的节制闸弧形闸门工程，在开始时由于原设计人员缺乏正确的设计思想，盲目地袭用了资本主义国家落后的技术标准，因而使原设计包含了一些不合理和严重浪费人力物力的缺点，幸亏这些缺点后来被发现了，在党组织的领导下，向这种保守思想与不负责任的态度作了坚决的斗争，并且得到了苏联专家的帮助，才按照苏联的先进技术标准进行了修改。单因提高铆钉的许用切应力一项就节省了12万多个铆钉，加上其它方面的修正，共为国家节约了当时极为宝贵的钢材128吨(约值人民币35万元)。至于因为节省了一半的工作量，使得全部闸门工程提早了一半时间完工，促使全部荆江分洪第一期工程能够在两个半月内提前完成，并使荆江大堤具有了较高的安全保证，提前发挥了这一工程的全部经济效益，同时还在国内和国际上产生了极为良好的政治影响。由此可见，作为一个未来的国家工程技术干部，及时地正确地掌握好材料力学和其它有关强度计算科学的知识，对于增产节约，加速祖国的社会主义建设是非常重要的。

§ 0-2 材料力学的发展简史

所有一切的科学都是通过人类的实践活动而产生的。人类的生产活动又是最基本的活动。所以“一切知识，离开生产活动是不能得到的。”①人类

① 毛泽东：“实践论”，“毛泽东选集”，人民出版社1952年北京第二版，第一卷，第271页。

由于生产实践,从很早的时候开始,就逐渐地获得了有关自然现象和自然规律的知識;反过来,这些知識在人类进一步的活动中間,又起到指导生产实践的作用。

材料力学,作为一門科学,虽然現在一般认为是十七世紀由意大利科学家伽利略开始建立的,但是我国古代劳动人民对于材料性质的了解和材料的合理利用、結構受力和工作条件的分析、結構和构件的合理設計等方面早已有了丰富的知識及卓越的成就。

例如在了解和利用材料方面,远在汉朝人們就利用了竹材耐拉不耐压的特性,在四川灌县建造了跨越泥江长达320米的竹索桥。隋朝石工李春,利用石料耐压不耐拉的特性,建造了跨长37.37米的石拱桥,即河北赵州永济桥,这桥上所带小拱,一方面可以減輕桥重和大量节约材料,另一方面又起了泄洪作用以減輕洪水的冲击,这說明該桥的設計和建造在世界桥梁史上具有很高的地位。

在結構和构件的合理設計方面,我国古代木結構的构造就力学的观点来看是很出色的。两千多年前,我們的祖先就发明了斗拱形式的結構,斗拱一方面起着将橫梁上的载荷逐漸过渡傳到立柱的作用,另一方面則可使屋檐加寬,創造性地应用了材料力学的原則。至于历代的偉大建筑物更不胜枚举,其中如857年所造五台山的佛光寺大殿、1056年在山西应县所建高达66米的九层木塔等結構,就是現代工程师看了也无不感到敬佩。

上述各結構物不仅当时設計的合理,而且至今大都还完整并在繼續使用,这說明了它們都合乎安全和經濟的要求。

通过实践,我們的祖先还写出了許多有价值的总結性文獻,其中最突出的是:周朝墨子所著的“墨經”中敘述了力和运动的定义及杠杆原理,周礼“考工記”記錄了我国古代工艺技术和材料力学方面有关的經驗总結,宋朝李誠于1103年发表了“营造法式”一书。其中一部分給出了房屋各部分尺寸的經驗公式,这些公式大多都与現代材料力学的理論相符合,明朝宋应星所著“天工开物”,总結了我国几千年来的生产成就和經驗及特定結構的經驗公式。

以上史实說明,在十四世紀以前,我国生产的发展以及科学的水平都是在世界上領先。以后由于封建制度的延續,各代剝削階級的反动統治,尤其是在近百年来帝国主义的侵略,对我国的經濟和文化极力摧殘,使我国生产力停滯不前,阻碍了科学和技术的发展,使我国长期处于貧困落后状态。

欧洲科学的迅速发展是在十七世紀文艺复兴时期开始。那时正当欧洲封建社会解体、資本主义新兴,在建造大船舶和水閘等生产建設中发生了一

系列的新問題。就在这时，意大利科学家伽利略，根据了理論力学的一些定律及进行了一系列的實驗研究，在1638年发表了“两种新科学”一书，其中他提出了有关构件尺寸与承載能力間关系的問題并作了解答。因此，現在一般认为材料力学这门科学是由伽利略开始創立。

十七世紀后期和十八世紀初是这门科学得到了进一步的发展。英国科学家虎克和法国科学家馬里奥特先后根据實驗結果各自独立地提出了杠杆变形与所受外力成正比关系的物理定律，就是現在大家知道的虎克定律。荷兰科学家捷·伯努力研究了梁弯曲的几何問題，作了彈性綫撓度的計算和創議了弯曲后梁剖面仍为平面的假設。俄国彼得堡科学院院士欧拉研究了梁的弯曲理論，提出了彈性体的稳定問題，并对压杆稳定的临界載荷作出了解答。

在十八世紀中，这门科学前一个时期的研究成就有了广泛的应用，这又反过来促进这门科学的发展。蒸气机的出現提出了傳动軸的扭轉問題。十九世紀初，铁路和桥梁大規模的兴建就发生了鉄軌的冲击載荷、桥梁的振动、車輪軸的疲劳、桁架压杆的稳定等問題。这些問題均引起了当时广泛的研究和得到了初步的解答。同时，在實驗方面，俄国科学家罗蒙諾索夫創制了材料試驗机。

十九世紀各国科学家对这门科学有重大貢獻的有：英国楊氏首先提出了彈性系数的概念；法国泊桑发现了材料的另一彈性性質——泊桑比；法国那維埃完成了梁弯曲后撓度的計算，并首先用一般方法分析靜不定問題；法国森維南完成了梁剖面上正应力的計算；俄国儒拉夫斯基解决了梁剖面上切应力的分布。

本世紀以来，由于工业的飞速发展与技术的进步，尤其是航空工业的发展，大大地促进了薄壁結構的强度計算、稳定性、疲劳等理論的进展。其中应特別提出的是：十月革命后苏联在这方面的进展已在世界上起领导作用，例如达维德考夫提出的联合强度理論，符拉索夫在薄壁結構力学方面的創造性工作，雅兴斯基发展了稳定問題，依留辛推进了塑性力学，等等。

近年来，苏联在征服宇宙方面遙遙領先，接連发射了人造卫星、宇宙火箭、宇宙飞船等。毫无疑问，这些都是苏联在材料力学和其它科学技术方面所取得重大进展的成果，也是社会主义制度优越性的胜利。这些是帝国主义国家所望尘莫及的。这是因为在帝国主义国家中，資本主义发展到了壟断資本主义的最后阶段，那些推动技术、因而推动其它的一切进步和前进的动因，也就在相当程度上消灭了。于是进而形成一种人为的阻碍技术进步的經濟

力量(参考“紅旗”58年第九期,聶榮臻同志的“我国科学技术工作发展的道路”一文)。

解放前,我国科学的发展是非常緩慢的。一方面是由于长期封建制度的統治及帝国主义的入侵阻碍了生产和科学的进展。另一方面,那时的所謂“科学工作者”存在着唯心主义和理論不联系实际的资产階級学术观点,对于科学研究工作既脫离生产、脫离群众,又依賴欧美,迷信資料。力学研究既不可能成为一个独立的体系,也沒有力学专业和力学研究机构。

中华人民共和国成立之后,科学事业得到了党和政府的关怀和重視,力学科学迅速地发展起来了。根据我国社会主义建設事业对力学科学提出的要求,大力进行了干部培养和理論研究工作。另一方面,党給科学工作者又及时指出科学必須为无产階級政治服务,为生产建設服务的根本原則和方向。

第一和第二个五年計划期間,我国进行了大規模的社会主义建設,这就給科学的发展开辟了无限广闊的研究基地,材料力学由于与生产的密切結合,学习苏联的先进經驗而迅速地发展着并获得了很多成就。

1958年大跃进以来,群众性大搞科学研究的高潮使我国的科学水平大大地提高了一步。

材料力学这門科学的研究工作同样也得到迅速的发展,例如在土木建筑方面,对預加应力混凝土結構进行了大規模理論研究及实际試驗工作,在設計中普遍推行了新的极限状态設計理論,对于新型的薄壳結構的实用計算方法和动力稳定理論都进行了一系列的研究。机械工程方面在重型机械理論計算和实验上都有很大成就。我国現在可以設計巨型的水压机,軋鋼设备等。在航空工程方面,对于近年来广泛采用的三合板材料的理論研究工作也有不少成就,对于航空方面有重大意义的燃气渦輪叶片的振動,結構疲劳,塑性理論等問題都进行了一系列的研究。

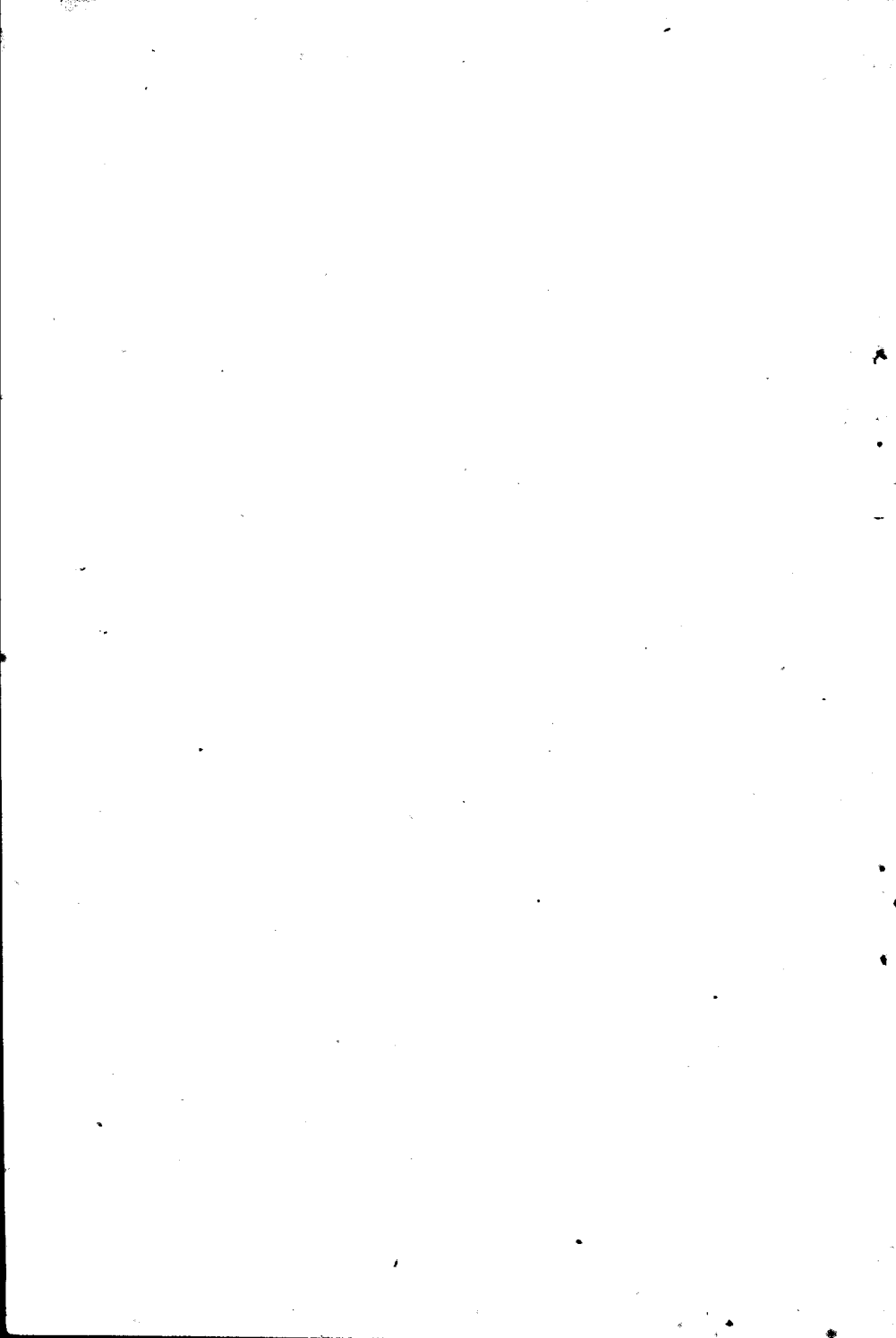
与材料力学等理論研究密切連系的实验应力分析方法,1958年以来也获得了飞跃的发展。全国各个高等学校和許多科学研究机构普遍地建立了實驗室。很多单位試制成功了現代測量仪器和試驗材料。所有取得的成就,充分說明了社会主义制度的优越性和党领导科学的正确。

§ 0-3 材料力学与其它課程的关系

在所有的水利工程专业的教育計划里,都包括了基础課、技

术基础課和专业課三大类課程。材料力学是介于基本科学与工程技術間的技术科学，所以它是一門技术基础課。它是以物理学、理論力学、高等数学等理論課程作为基础的。在材料力学中，我們將要运用物理学中的許多基本知識，要运用理論力学中的一些定律、原理和計算方法。在分析計算中，也要运用到許多基本的和相当成熟的数学工具。

材料力学同时又是其它技术基础課特別是結構力学、彈性理論、鋼筋混凝土結構、鋼木結構以及各种专业設計課程(如水工結構設計)的基础，因为在材料力学中，将为这些課程提供有关构件計算以及在材料机械性質方面的基本知識和計算方法。



第一章 基本概念

§ 1-1 变形固体的概念

(一)在理論力学中，我們曾把固体当作是絕對剛体，就是假定在外力作用下，它的形状和尺寸都絕對不变。实际上，所謂絕對剛体，在自然界中并不存在，由实验得知，任何固体在外力作用下都会发生变形，也就是說，它的形状和尺寸总会有些改变，甚至当外力增加到一定大小时，它还会发生破坏。

(二)为甚么在理論力学中，我們必須而且可以把固体当作是絕對剛体呢？这是因为真实固体的性質是非常复杂的，每一种科学都只能从某一个角度来研究它，也就是只研究它的性質的某一方面。因此，为了方便起見，我們常常有必要把那些和問題无关或影响不大的次要因素忽略掉，而只保留与問題有关的主要性質。

理論力学主要是研究物体在外力作用下的平衡与运动的問題，因此可以假設物体的破坏与变形对它沒有关系，而认为物体是絕對剛体。

至于在材料力学中，由于它所研究的主要問題是构件在外力作用下的强度、剛度以及穩定的問題，固体的变形就成为它主要的基本性質之一，必須加以足够的重視。例如在水工建筑物中，組成閘門的个别杆件的变形会影响到整个閘門的穩固；基础的剛度会影响到大型坝体内的应力分布等等。因此，在材料力学中所討論的固体(构件)，一般都认为是变形固体。

(三)固体所以能够发生变形，是由于在外力的作用下，組成固体的各微粒間的相对位置发生了变化的原故。在材料力学里我們會要着重研究这种外力和变形之間的关系。但这里首先應該注意的是，在外力除去后，物体能即刻恢复它的原有形状和尺寸大小的这种基本性質，我們称它为彈性。若物体在外力除去后能完

全恢复原状，就称它为完全弹性体；不能完全恢复原状的物体，则称为部分弹性体。

部分弹性体的变形有两部分，一部分是随着外力除去而消失的变形，称为**弹性变形**；另一部分是外力除去后仍不能消失的变形，称为**塑性变形**（也称为**残余变形**或**永久变形**）。

自然界中并没有所谓完全弹性体，一般的变形固体既具有弹性，也具有塑性。不过，实验指出，象金属、木材等建筑材料，当外力不超过某一限度时，可以看成是完全弹性的。

§ 1-2 变形固体的基本假设

为了使我們能够采用理论的方法对变形固体进行分析和研究，从而得到一般性的结论，在材料力学中，有必要根据固体材料的实际性质，经过适当的理想化，提出下列几个关于变形固体共同性的假设，作为理论分析的基础。

(一) 均匀连续的假设。根据近代物理学的研究，我們知道，组成物体的各个粒子之间是不连续的；同时，真实物体也并不是各处均匀一致的。例如，所有的金属都是晶体物质，具有晶体的结构，假定在金属中间取出几个小块，它们的大小和晶粒的大小差不多，则显然在几个晶粒交接处

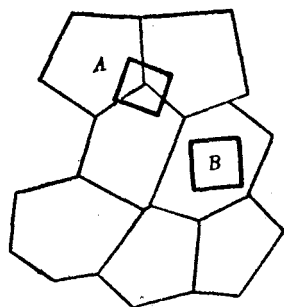


图 1-1 晶体物质中的小块

所取出的小块（如图 1-1 中的 A）的性质，将与在一个晶粒内所取出的小块（如图 1-1 中的 B）的性质不会相同。不过，由于在材料力学中所研究的物体比起晶粒要大得很多，从同一物体不同部分所取出的任何小的试件里，都会包含着无数的排列得错综复杂的晶粒。因此在这些试件之间由于个别晶粒所发生的差别，就完全不会存在了。

对于混凝土也有类似的情况，在混凝土中石块、沙砾和水泥是混杂地固结在一起的，如果只考虑个别的石块或砂砾，它们的