

材料力学教程

同济大学材料力学教研组编

科学技术出版社

材料力学教程

同济大学材料力学教研组编著

科学技术出版社

內 容 提 要

本書系按照 1954 年中央高等教育部頒布的土建类型材料力学教学大綱編写而成，适合作为我国高等工业学校中全年为 165 学时的材料力学課程的教本或参考書。

全書內容分十七章。緒論及第一章述材料力学的发展簡史及基本概念。以后三章述杆件受拉、压、剪切、扭轉作用时分析应力和变形的理論及計算。書內对于梁的弯曲理論特別重視，取材較多較新。从第五章开始至第十一章，其中除第七章外，皆討論梁的問題，包括初参数法求梁的变形、彈性基础梁、平面曲梁、組合梁等問題在內。第十一章及第十二章为复合抗力及强度理論，包括达維靖考夫—弗里特曼联合强度理論在內。第十三章述开口薄壁杆件的扭弯理論。以后数章述压杆的穩定性、容許載荷法計算結構物及动力載荷作用时杆件强度及变形之計算等。最后一章为材料力学的結論。

材 料 力 学 教 程

編 著 者 同濟大学材料力学教研組

丁燮和 徐次达 溫立林

朱頤齡 王魏帆 赵清澄

*

科 学 技 術 出 版 社 出 版

(上海南京西路 2004 号)

上海市書刊出版业营业許可証出 079 号

中科藝文聯合廠印刷 新華書店上海發行所总經售

*

統一書号: 15119·548

开本 787×1092 1/18·印張 21 8/9·字數 446,000

1957年9月第1版

1957年9月第1次印刷 印數 1—2,500

定价: (10) 8.70 元

目 次

緒 論	1
第一章 基本概念	5
§ 1-1. 变形固体的性質及其在材料力学上采用的基本假設	5
§ 1-2. 作用于構件上的外力及其分类	6
§ 1-3. 內力和截面法	7
§ 1-4. 应力的概念	8
§ 1-5. 变形的概念	9
§ 1-6. 杆件变形的基本形式	9
第二章 拉伸和压缩	11
§ 2-1. 直杆受簡單拉伸和压缩的应力計算	11
§ 2-2. 虎克定律	12
§ 2-3. 材料的机械性質, 軟鋼的拉伸图	14
§ 2-4. 材料的压缩图	17
§ 2-5. 变形能, —— 比功	18
§ 2-6. 塑性材料和脆性材料机械性質的特性比較	19
§ 2-7. 容許应力, 安全系数	20
§ 2-8. 强度校核, 截面选择	20
§ 2-9. 应力集中概念	23
§ 2-10. 自重影响, 等强度杆	24
§ 2-11. 杆件受拉伸或压缩时的超靜定問題	29
§ 2-12. 变溫应力	35
§ 2-13. 薄壁容器內的应力計算	37
第三章 剪切	40
§ 3-1. 剪切概念	40
§ 3-2. 剪应力及容許剪应力的計算	40
§ 3-3. 剪切实例計算	41
第四章 扭轉	50
§ 4-1. 扭矩的概念	50
§ 4-2. 薄壁圓管的扭轉	52
§ 4-3. 剪切虎克定律	55
§ 4-4. 实心圓截面杆件的扭轉	55
§ 4-5. 平面图形的极慣矩	58
§ 4-6. 扭轉及剪切变形能	60
§ 4-7. 密圈螺旋彈簧	62
§ 4-8. 閉口薄壁杆件的扭轉	64
§ 4-9. 非圓截面实心杆件的扭轉	67
§ 4-10. 薄膜比拟法	70
§ 4-11. 开口薄壁杆件的扭轉	73
第五章 梁的剪力和弯矩	75
§ 5-1. 平面弯曲的概念	75
§ 5-2. 梁的支座及支座反力	76
§ 5-3. 梁弯曲时横截面上的內力素 —— 剪力和弯矩	79
§ 5-4. 剪力图和弯矩图	81
§ 5-5. 弯矩 M 、剪力 Q 和分布載荷	

集度 q 間的微分关系.....85	§ 5-7. 作剪力图和弯矩图时力作用之叠加法.....90
§ 5-6. 载荷较复杂情形下的剪力图和弯矩图.....89	
第六章 梁内应力92	
§ 6-1. 梁受纯弯曲时的正应力.....92	§ 6-8. 梁截面无对称轴时的弯曲.....108
§ 6-2. 平面图形的惯性矩.....97	§ 6-9. 矩形截面梁内剪应力的分析——儒拉夫斯基公式.....109
§ 6-3. 平面图形的惯性积.....99	§ 6-10. 工字梁截面上的剪应力.....112
§ 6-4. 平行轴惯性矩间的关系.....101	§ 6-11. 圆形截面的最大剪应力.....115
§ 6-5. 轴转动后惯性矩的计算.....102	§ 6-12. 剪应力对梁强度的影响.....116
§ 6-6. 主轴和主惯性矩.....103	
§ 6-7. 组合图形惯性矩的计算.....106	
第七章 复杂受力状态的应力和变形的分析120	
§ 7-1. 直杆受轴向拉伸或压缩时斜面上的应力.....120	§ 7-7. 二向和三向受力状态时的变形——广义虎克定律.....131
§ 7-2. 二向受力时的应力.....122	§ 7-8. 材料的 E 、 G 、 μ 三个常数之间的关系.....132
§ 7-3. 主应力与主平面.....124	§ 7-9. 梁内主应力.....134
§ 7-4. 应力圆.....124	§ 7-10. 主应力的方向——主应力迹线.....136
§ 7-5. 用应力圆求主应力.....127	
§ 7-6. 三向受力时的应力.....130	
第八章 梁的变形139	
§ 8-1. 梁截面的挠度和转角.....139	§ 8-5. 图解解析法.....153
§ 8-2. 挠曲轴的微分方程式.....140	§ 8-6. 近似微分方程式应用的范围.....158
§ 8-3. 重积分法.....141	§ 8-7. 叠加法.....159
§ 8-4. 初参数法.....147	
第九章 超静定梁163	
§ 9-1. 一般概念.....163	§ 9-3. 固定梁的计算.....167
§ 9-2. 基本静定梁及多余反力的选择.....164	§ 9-4. 连续梁.....169
第十章 梁的补充问题174	
§ 10-1. 变截面梁的弯曲.....174	模数时的弯曲.....188
§ 10-2. 变截面梁变形的计算.....175	§ 10-7. 弯曲中心的概念.....189
§ 10-3. 平面曲杆弯曲的概念.....179	§ 10-8. 弹性基础梁及其挠度微分方程式.....192
§ 10-4. 曲梁常用的几种截面的中性层位置的计算.....182	§ 10-9. 有限长弹性基础梁.....194
§ 10-5. 组合梁的弯曲.....185	§ 10-10. 无限长弹性基础梁.....201
§ 10-6. 材料抗拉与抗压有不同弹性.....	
第十一章 复合抗力206	

§11-1. 基本概念·····	206	§11-4. 偏心压缩或拉伸·····	215
§11-2. 斜弯曲·····	206	§11-5. 截面核心·····	218
§11-3. 弯曲与拉(压)的组合·····	212	§11-6. 弯曲与扭转的组合·····	221
第十二章 强度理论 ·····	225		
§12-1. 问题的提出·····	225	§12-5. 达维靖考夫-弗里特曼(Н. Н. Давиденков-Я. Бфри- дман) 联合强度理论·····	234
§12-2. 几种主要的强度理论·····	226	§12-6. 强度理论在设计上的应用·····	236
§12-3. 莫尔 (Mohr) 强度理论·····	231		
§12-4. 对上述理论的进一步的認識·····	232		
第十三章 开口薄壁杆件扭弯計算基本原理 ·····	240		
§13-1. 自由扭转与约束扭转·····	240	§13-5. 扭弯双力矩·····	253
§13-2. 杆件受自由扭转时所产生的 截面翘曲·····	242	§13-6. 扇性剪应力和扭弯力矩·····	255
§13-3. 约束扭转的截面翘曲和扇性 正应力·····	245	§13-7. 扇性静矩及扇性惯矩計算·····	257
§13-4. 截面的扇性面积·····	247	§13-8. 约束扭转的变形微分方程式·····	260
		§13-9. 薄壁杆件受复杂抗力时的应 力計算·····	269
第十四章 压杆的稳定 ·····	272		
§14-1. 关于压杆稳定的概念·····	272	性区域内的稳定·····	279
§14-2. 临界载荷、欧拉公式·····	274	§14-5. 压杆的实用計算; φ 系数法·····	284
§14-3. 杆端支持方式对于欧拉公式 的影响·····	277	§14-6. 受偏心载荷的压杆·····	287
§14-4. 欧拉公式的适用范围, 非彈 性区域内的稳定·····	279	§14-7. 轴向力及横向力的联合作用·····	290
第十五章 按容許載荷計算結構物 ·····	292		
§15-1. 一般概念·····	292	§15-5. 按照容許載荷选择二軸对称梁 的截面·····	298
§15-2. 在簡單拉伸杆件上的应用·····	293	§15-6. 按容許載荷选择具有一个对 称軸的梁截面·····	300
§15-3. 集結于一点(或一剛杆)的杆 群的計算·····	294	§15-7. 按照容許載荷計算超靜定梁·····	301
§15-4. 圓軸受扭时按容許載荷法的 計算·····	297		
第十六章 动力載荷 ·····	303		
§16-1. 一般概念·····	303	影响·····	312
§16-2. 达倫培尔原理的应用, 慣性 力集度的求法·····	304	§16-6. 持久极限及持久曲綫·····	314
§16-3. 撞击問題——按能量計算的 方法·····	306	§16-7. 局部应力及其对持久极限的 影响·····	316
§16-4. 撞击試驗, 脆性的及韌性的破 坏·····	311	§16-8. 零件尺寸对于持久极限的影 响·····	318
§16-5. 重复应力及其对構件破坏的 影响·····	312	§16-9. 强度条件及容許应力的确定·····	318
		§16-10. 重复載荷下的强度校核例題·····	320

第十七章 結論.....322

§17-1. 課程內容的回顧.....322

§17-2. 材料力学的研究方法.....324

§17-3. 材料力学的发展方向.....325

附 录.....327

1. 习題.....327

2. 普氏函数表.....367

3. 材料性質表.....374

4. 型钢表.....376

5. 型钢屬性性質表.....385

緒 論

材料力学的任务

工程师在设计任何一个建筑物或机器时,必須为每一个構件选择适当的材料,并确定适当的截面尺寸。所謂适当就是說既要保證結構物能够安全地承担所受的外力,不至于发生破坏或引起过大的变形;又要保證消耗的材料最少,得到最大的經濟。材料力学这門科学为这项問題提供解决的基础。

在一切工程实践中,安全和經濟是相互矛盾的。为了保證結構物的安全,需要加大構件的截面尺寸;而为了保證得到最大的經濟,就需要减小構件的尺寸。怎样正确地解决安全和經濟之間的矛盾,乃是工程师的主要职责。如果一个工程师片面地強調經濟而忽視安全,則將造成結構物的破坏,引起生命财产的損失,这当然是絕對不允許的;但是如果他片面地強調安全而忽視經濟,則將引起材料和劳动力的浪費,造成国民經濟的損失,这同样也是不允許的。所以,作为一个工程师,他必須学会怎样把安全和經濟的矛盾全面地考虑,并給以正确的处理,力求在保證安全的条件下消耗最少的材料,得到最大的經濟。因此,他必須首先掌握材料力学的知識并学会把这种知識运用到工程实践中去。

更具体一点說,材料力学是研究構件的强度、剛度和稳定的科学。强度問題是研究構件受力后会不会破坏的問題,如果構件能够承担載荷而不破坏,就滿足强度条件。剛度問題是研究構件受力后的相对不变形性,如果構件受力后而它們的变形不超过某一个限度,我們就認為有足够的剛度。稳定問題是研究構件受力后会不会使構件的形式突然改变,例如一根細長的直杆,加压力到一定限度,杆件的直綫形式將改变为弯曲的形式。关于这些問題的解釋和严密的分析將在以后各章节中討論。

不难看出,材料力学这門科学对于我們国家进行大規模的經濟建設和胜利地完成五年計劃具有多么重大的意义。

材料力学的发展簡史

毛主席在实践論中說:“馬克思主义者認為人类的生产活动是最基本的实践活

动,是决定一切其他活动的东西,人的認識,主要地依赖于物質的生产活动,逐渐地了解自然的現象、自然的性質、自然的規律性、人和自然的关系;而且經過生产活动,也在各种不同程度上逐渐地認識了人和人的一定的相互关系。一切这些知識,离开生产活动是不能得到的”。材料力学的知識并不例外,它正是从人类的生产实践中产生出来的,并且随着人类生产活动的发展而一步步地从低級向高級发展。

人类自从用双手进行劳动以来,就在不断地制造改进工具、机械、舟車、堤坝、房屋等等。在建造这些东西时不能不使用各种材料。最初人們使用天然的材料,如石料、木材等等;后来又使用各种人工制造的材料,如鋼、鉄、水泥等等。在長期的生产活动过程中逐渐認識了材料的性能,并初步地掌握了有关材料的規律。但是,一直到十六世紀以前,人类在制造机械或建造房屋时,对于構件的尺寸主要是依靠过去的經驗来决定,而不是根据严密的理論計算出来。在这一个时期中,人类对于材料的知識停留在經驗的阶段,还没有上升到科学理論的水平。

材料力学,作为一門科学來說,一般認為是从意大利的科学家伽利略 (*G. Galileo*) (1564~1642) 开始的。当时意大利正处在封建社会解体、商业資本勃兴的时代。海外貿易的活躍、采矿冶金工业的萌芽发展、等等一系列新的經濟情况,提出了一系列新的技术問題。例如,为了滿足海外貿易的要求,就需要增大船舶的吨位,以及修建水閘,改造內河交通等等。这些新的技术問題是不可能單單依靠仿照旧有的結構物而解决的。研究怎样按照結構物各構件的尺寸及所承受的外力的大小来計算出它的强度,在当时成为十分必要。伽利略的重要貢獻在于他初步地研究了梁及其他杆件的截面尺寸与它們所能够承担的載荷之間的关系。他的研究成果对于当时的船舶工业具有重大的意义。

随着資本主义社会的兴起,大規模的近代工业开始建立,人类社会的生产力得到了巨大的发展。建筑和机械工业的发展提出了无数的新問題需要材料力学解决,促使着材料力学的内容越来越丰富,而材料力学的每一步前进都对于工程实践起着重要的影响,反轉过来推动生产力的发展。到现在为止,材料力学已經成为一門极其光輝燦爛的科学理論。这和几百年来世界各国許多数学家、物理学家、工程师等等科学工作者的辛勤努力是分不开的。材料力学的光輝成果應該归功于他們的集体的貢獻。

1660年英国科学家虎克 (*R. Hooke*) 創立了所謂虎克定律,闡明了应力和变形之間的关系,奠定了材料力学的基本法則。

十八世紀时彼得堡科学院院士欧拉 (*L. Euler*) (1707~1873) 和意大利科学家柏努利 (*D. Bernoulli*) 对于弯曲理論作出了重大的貢獻。此外,欧拉首次研究了压杆的穩定問題。

十九世紀時俄國杰出的橋梁工程師儒拉夫斯基 (Д. И. Журавский) 發現了彎曲時剪應力的存在，並且提出了計算組合梁的方法。俄國學者雅興斯基 (Ф. С. Ясинский) 和奧國學者泰脫麥耳 (Tetmajer) 同時進行了中等長度壓杆的穩定的研究。

蘇聯在十月革命之後，生產力得到空前的发展，大規模的社會主義工業迅速建立，這使得材料力學以飛躍的速度前進。符拉索夫教授 (В. З. Власов) 及烏曼斯基教授創立了薄壁構件的強度和穩定的計算理論；達維靖柯夫 (Н. Н. Давиденков) 提出了聯合強度理論。這些科學家們的卓絕成就是以馬克思列寧主義思想為指導而取得的。他們的成就不僅為社會主義工業建設解決了一系列新的重要的技術問題，而且把材料力學的國際水平大大地提高了一步。

我國是文化發達最早的国家之一。我們的祖先在長時期的封建社會中創造了光輝燦爛的古代文化。直到明朝為止，我國不僅在文化方面，而且在經濟和科學技術方面，都保持着世界上最先進的地位。

從建築方面來說，我國木結構的結構方法在三千五百年前已經形成，我國建築上所特有的斗拱結構在春秋戰國時代的銅器上已經可以看到它們的圖案。如山西省五台山佛光寺大殿是唐末大中年間 (857 年) 建造的；河北省薊縣獨樂寺的觀音閣，其中供着高達二十公尺的觀音立像，是 984 年建造的；山西省應縣佛宮寺木塔共九層，高達 66 公尺，是遼代 (1056 年) 建造的；這些建築物都已經有了一千年以上的歷史，但到現在仍然完整。

從橋梁方面來說，我們祖先很早就發明了拱橋的形式。現存石橋中最古的河北省趙州石拱橋，跨度達 37 公尺，是隋朝杰出的工程師李春 (581~681 年) 所建造，距今已有 1300 年以上。在我國西南地區，由於江流湍急，橋基不易建立，勞動人民架設了鐵索橋及竹索橋，如四川省瀘縣的竹索橋，和西康省瀘定縣的鐵索橋，跨度都達到 100 公尺。

從造船工業來說，我國在隋朝已經可以製造高達百尺、容納 800 人的大船。明朝鄭和七次远航南洋群島，並且到過非州 (1405~1433 年)，這比葡萄牙人地亞士到好望角 (1487) 和意大利人哥倫布發現美洲 (1492 年) 都要早上幾十年。當時他所建造的船，寬達 18 丈，長達 44 丈。

這些資料說明，在十四世紀以前，我國的工程技術是在全世界範圍內領先的，我們的勞動人民積累了長時期的生產實踐的經驗，對於磚、石、木、鐵等各種材料的性能已經有了豐富的知識，並且知道怎樣正確地使用它們。但是另一方面，由於封建制度長期地束縛着我國社會的發展，資本主義的因素雖然在唐、宋時代已經逐漸地積累起來，但是始終沒有打破封建制度的枷鎖而進一步地高漲，生產力的提高受

到了一定的限制,因此,从明朝以后我国的科学技术水平逐渐地落在欧洲的后面,材料力学这门科学在我国没有建立起来。我国过去对于构件的尺寸主要是依靠经验加以估计,而不是根据严密的理论进行计算。

今天,我国已经摆脱了封建主义的束缚和帝国主义的压迫,并且正在进行空前巨大的社会主义建设。工业建设的前进必然地将引起一系列新的技术问题需要我们解决,这自然会推动着材料力学向前发展。可以预想,在不久的将来,我国学者在材料力学方面的成就一定会赶上世界先进国家的水平,取得辉煌卓越的成就。

第一章 基本概念

§ 1-1. 变形固体的性質及其在材料力学上采用的基本假設

自然界中的真实物体,其性質是多种多样的,是十分复杂的。每一种科学,只是从某一角度来研究它,只是研究它的性質的某一方面。为研究方便起見,我們將它的与問題无关或关系不大的次要性質加以忽略,而只保留它的主要的特征性質。至于那些性質是主要的,那些是次要的,則要看某种科学所要研究的問題范围而定。这样,我們將物体加以抽象化,假設它只具有某种主要的特征性質,以理想的情形代替了真实的物体。例如我們在天文学中研究行星运动規律时,是要找出行星和太阳的互相位置之間的关系,而由于行星本身的直徑比起行星到太阳的距离是非常之小的,所以我們加以忽略而把行星当作一个質点,这样,我們就用理想的質点代替了真实的行星。不这样地做,是不可能的,因为如果不提出一定的假設,使研究的对象抽象化、簡單化,則所研究的对象就將变成十分复杂,研究就不可能进行。恩格斯說:“只要自然科学在思維着,它的发展形式就是假設”,就是指这样的意义而言。

我們在理論力学中把物体当作剛体来处理,假設它在外力作用之下既不会破坏也不会变形。因为我們在这一門科学中主要地是要研究物体在外力作用下保持平衡和位置变化問題,而它的破坏和变形等性質与我們所要研究的問題无关,可以加以忽略。这样的假設是可以的,也是必需的。

但是,在材料力学中,我們所要研究的对象正是物体怎样在外力的作用下发生破坏和变形,这时,显然不能再把物体設想为剛体,而必須設想为变形体,因为研究剛体的破坏和变形是完全沒有意义的。

根据材料力学的研究对象,我們对于固体的性質作出以下的假設。

1. 均質性和連續性——所謂物体的均質性,就是說物体的性質不以其体积的大小为轉移。事实上,完全均質性的物体在自然界中是不存在的。例如,所有的金屬都具有結晶的結構,在很大程度上表現出非均質性。但是由于我們在材料力学中所要研究的是構件,而一个構件的大小比起結晶体的大小要大得很多,一个構件含有結晶体的数目是非常之多,因此,这种非均質性是可以忽略的。同样,象混凝

土这样的材料,是由碎石、砂和水泥組成的,显然是非均質性的材料,但是用混凝土澆制的結構物的大小比起碎石的大小要大得很多,所以混凝土实际上仍然可以作为均質性的材料看待。

所謂連續性是指在物体的整个体积內都充滿了物質。

均質性和連續性的假定使我們有可能从物体中截取无限小的單元体来进行研究,并且把用大尺寸的試件所求出的实验結果应用到單元体上去。这样,我們在材料力学的研究中就可以采用微觀的分析方法。

2. 各向同性——所謂各向同性是說材料在各个方向都具有相同的性質。通常使用的材料,其性質的方向性差別不大,可以認為是各向同性的。但有些材料,如木材、鋼絲等等显然不是各向同性的,而是各向异性的,必須作为各向异性体处理。

3. 彈性——物体在外力作用下改变形狀,当外力除去后,又恢复原狀。物体的这种性質叫作彈性。如果在外力作用除去后,物体能够完全恢复原狀,則叫作完全彈性体。

在自然界中既沒有完全彈性体,也沒有完全非彈性体。可是象金属、木材等工程材料,如果載荷不超过一定的限度,其性質接近于完全彈性体,因此,在材料力学中作为完全彈性体处理。

許多种的工程材料,在受較大的外力作用之后,即使把外力去除,其变形并不完全消失,而保留較大的永久变形。这种性質叫作物体的塑性。材料力学一般地假定材料是完全彈性体,但进一步研究材料的塑性性質乃是材料力学的新的发展方向。

我們在作出上述这些假設时,是从真实物体的性質中抽出那些本質的特征的东西而忽略那些次要的非本質的东西,因而这些假定不是什么主观臆測的,而是建立在客觀的基础之上的。这些假設一方面能够充分地反映出材料性能的主要特征,另一方面使十分复杂的現象得到相当的簡化,大大地便于計算方法的推导。由此可知,材料力学的計算方法是以相当簡化的假設为基础而建立起来的,因而它只是近似地准确,但是对于工程实践而言,它的准确性可以满足一般的要求。

§ 1-2. 作用于構件上的外力及其分类

在研究各种結構物的構件在外力作用下所表現的性能以前,首先我們要研究外力的情况。

当結構物發揮作用的时候,結構物的各構件將承受載荷,并將其相互傳遞,房屋承受安裝的機器和人的載荷以及風雪的載荷等,桥梁承受車輛及行人的載荷,水坝承受水的压力,活塞杆承受汽缸內的压力并推动機車等……。这一类載荷称为

作用于杆件上的外力。

如果結構構件所承受的載荷是分布在體積內的，則稱為體積力，它的單位是 t/m^3 ，或 kg/cm^3 ，象構件本身的重量或者運動構件中的慣性力等等都是屬於這一類的外力。

如果結構構件上所承受的載荷是由相鄰介質傳遞而作用于構件表面的，則稱為表面力，這一類外力可以分為集中力與分布力兩種。集中力這個概念在理論力學中已經常使用，它的意義是指作用在構件上某一點的載荷，其單位是 t 或 kg 。事實上要經過一點來傳遞載荷是不可能的。集中力這個概念是為了使計算簡化才提出的，事實證明在某些構件中採用這樣的簡化方法而引起的誤差可以不計。分布力是連續分布在結構物的某段長度上或某塊面積上的力，它的單位分為 t/m ， kg/cm 和 t/m^2 ， kg/cm^2 。

載荷還可以分為永久載荷和暫時載荷。前者在結構物存在的全部期間是經常地作用着的，如結構物本身的重量；后者只是在若干時間內作用于結構物上的，如過橋的車重。

按照載荷的性質，可以分為靜載荷和動載荷。靜載荷是逐漸地加于結構物上的，結構物構件不產生加速度，或者加速度小得可以忽略不計；動載荷是使結構物產生速度變化的載荷，如突加載荷，沖擊載荷，重複載荷。

§ 1-3. 內力和截面法

當構件受外力作用時，將發生變形，也就是說，其分子間的距离將發生變化，而在它的內部也就產生了附加的內力。外力企圖改變構件的形狀，使其一部分脫離其他部分；內力則抵抗這種企圖。

為了清楚內力的情況，以判斷構件能否承擔外力的作用，我們必須學會怎樣根據外力來計算內力的數值。

在材料力學中，我們應用截面法進行計算。

設有一根杆件受拉力 P 的作用（圖 1-1）。我們用一個假想的截面 mn 將杆件分為 I 及 II 兩部分。我們暫時

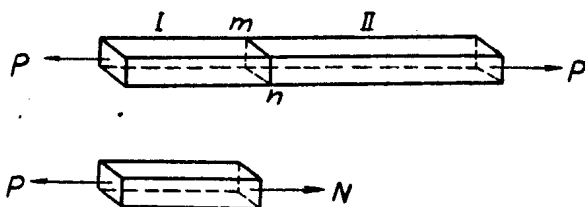


圖 1-1

不管部分 II 而只研究部分 I。如果平衡能夠保持，在 mn 截面上必有內力 N 產生，這個內力與外力 P 互相平衡。如果我們除去部分 I 而只考察部分 II，則可以看出在 mn 截面上也有內力 N 產生，其方向和前一個 N 相反而大小相等。這兩

个内力 N , 一个代表部分 II 对于部分 I 的作用, 一个代表部分 I 对于部分 II 的作用。按照作用和反作用互等定理, 这两个力必然是大小相等而方向相反的。内力在截面上是連續地分布着的, 图 1-1 上的 N , 严格說来是代表内力的合力。

同样的原理可以推广到一般受力情况的物体。我們用一个假想的截面將物体分割为两部分。在截面上作用着連續地分布的内力。这些内力, 一般地可以合成

为六个力素 X 、 Y 、 Z 、 M_x 、 M_y 及 M_z 。根据静力学的平衡条件, 这六个力素不难求出(图 1-2)。

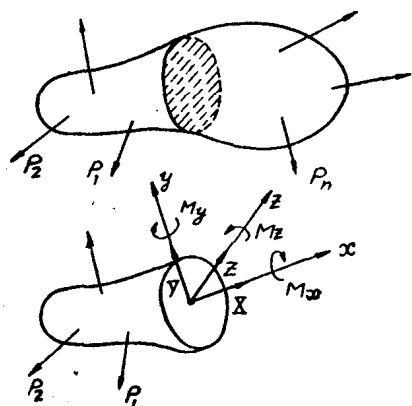


图 1-2

截面法的原理可以簡單地說明如下: “我們用一个假想的截面从受外力作用而保持平衡的物体上切出任意一部分, 把它当作独立的系統而考察, 把在截面上作用着的内力看成是它的外力, 这部分必然能够保持平衡; 对于它, 剛体的静力平衡条件仍然可以适用”。这项原理是材料力学的最基本的原理。

从图 1-1 的例子可以看出, P 的作用点不允许在作用線上随便移动, 因为如果移动之后, 杆件的应力情况也將随着改变。这說明理論力学中的定理并不是全部可以在材料力学中应用的。

§ 1-4. 应力的概念

变形物体內任意一点的内力, 是用一个新的物理量——应力——来度量的。如果我們要研究截面上点 A 附近区域的内力, 我們可以环绕着点 A 取一个微小的面积 ΔF 。設 ΔP 是作用在这个面积上的内力的合力(图 1-3)。以 ΔF 除 ΔP , 就得到該面积上的平均应力。現在使 ΔF 无限地縮小, 最后集中在点 A , 这时候比值 $\Delta P/\Delta F$ 逐渐地改变数值和方向, 最后趋向于一个极限值 p 。这个 p 表示内力的集度, 就叫作点 A 的应力。应用一般的符号, 可以写成:

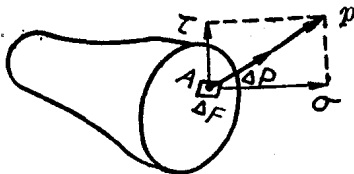


图 1-3

$$p = \lim_{\Delta F \rightarrow 0} \frac{\Delta P}{\Delta F} \dots\dots\dots (1-1)$$

应力 p 是向量, 它的單位通常用 kg/cm^2 或 kg/mm^2 。

我們將内力 ΔP 分解为二个力: 一个是垂直于截面的 ΔN ; 一个是平行于截面

的 ΔT 。垂直于截面的内力集度, 我們称为**正应力**, 以 σ 表示; 平行于截面的内力集度, 我們称为**剪应力**, 以 τ 表示。因此可得

$$\sigma = \lim_{\Delta F \rightarrow 0} \frac{\Delta N}{\Delta F} \dots\dots\dots (1-2)$$

$$\tau = \lim_{\Delta F \rightarrow 0} \frac{\Delta T}{\Delta F} \dots\dots\dots (1-3)$$

$$p = \lim_{\Delta F \rightarrow 0} \frac{\Delta P}{\Delta F} = \lim_{\Delta F} \frac{\sqrt{\Delta N^2 + \Delta T^2}}{\Delta F} = \sqrt{\sigma^2 + \tau^2} \dots\dots\dots (1-4)$$

必須注意, 应力这一个量, 不是“力”的單位, 因此它不能单独地用来表現“力”的作用, 而必須通过截面积才能表示“力”的作用。

§ 1-5. 变形的概念

一个杆件在受力以后, 就发生变形, 这是固体的基本性質。变形有二种最基本的形式, 在图 1-4a 中, 杆件 AB, 原長为 l , 受外力 P 后, 長度改变为 $l + \Delta l$, 此处 Δl 称为总伸長, 或称为**绝对伸長**, 杆件在單位長度內的伸長称为**相对伸長**, 或称为**縱变形**, 以 ε 表示, 即

$$\varepsilon = \frac{\Delta l}{l} \dots\dots\dots (1-5)$$

又如一个杆件, 高度为 a (图 1-4b), 承受水平方向力 P , 推动后, 直角改变成了銳角 (如图 b 中的右图), 这个改变量称为**角变形**, 以 γ 表示, 則

$$\gamma = \frac{\Delta a}{a} \dots\dots\dots (1-6)$$

以上就是固体的两种最基本变形形式。非常明显, ε 和 γ 的数值与載荷以及杆件的形状存在着一定的关系。

§ 1-6. 杆件变形的基本形式

外力通常以各种不同的方式作用在建筑物和机器的構件上。因此, 在工程實踐中, 構件由于外力而引起的变形具有非常复杂的形式。但是这些复杂的形式最后总可以分析为由下述的几种基本形式所組合而成。

杆件变形的基本形式如下:

1. 拉伸 (图 1-5a), 如鏈条, 吊繩, 拉杆等等;

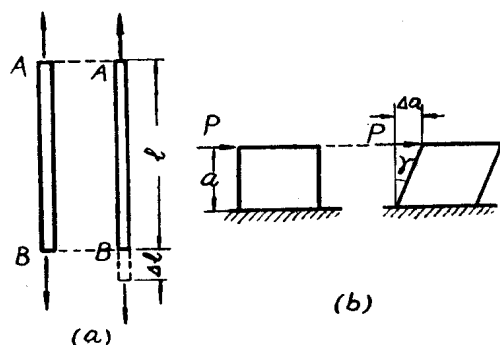


图 1-4

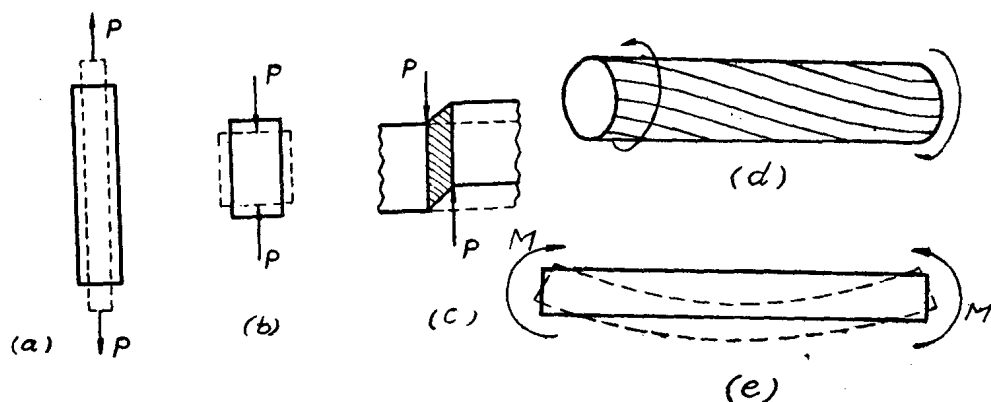


图 1-5

2. 压缩 (图 1-5b), 如短柱, 基座等等;

3. 剪切 (图 1-5c), 如铆钉, 螺杆等等;

4. 扭转 (图 1-5d), 如机轴;

5. 弯曲 (图 1-5e), 如梁。

这几种基本的变形形式是我们在日常生活中常常遇到的, 因而比较容易理解。我们以下将在各章中分别讨论之。理解了这几种基本形式的内容之后, 各种复杂形式变形的問題就不难解决了。