



高等学校試用教科書

材料力学

CAILIAO LIXUE

大連工学院材料力学教研室編

人民教育出版社

高等学校試用教科書



材 料 力 学

CAILIAO LIXUE

大連工学院材料力学教研室編

人民教育出版社

本书是大連工学院材料力学教研室所編写的,于1960年9月出版(人民教育出版社),在1961年3月間經過該教研室作小的修改和訂正后再版。

全书共分十三章。前七章为基本部分,包括:导論,軸向拉伸和压縮,扭轉,梁的弯曲,复合抗力,应力状态理論及强度理論,实验应力分析概論。后六章为专题部分,包括:厚壁圓筒及薄壁容器,平板的弯曲,平衡的稳定性,动荷問題,构件在重复应力下的計算,蠕变及松馳的概念。

本书可作为高等工业学校化工、食品、輕工业等类专业“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。

簡裝本說明

目前850×1168毫米規格紙張較少,本书暫以787×1092毫米規格紙張印刷,定价相应减少20%。希鑒諒。

材 力 学

大連工学院材料力学教研室編

北京市书刊出版业营业許可證出字第2号

人民教育出版社出版(北京景山东街)

人民教育印刷厂印裝

新华书店北京发行所发行

各地新华书店經售

统一书号K15010·949 开本787×1092^{1/32} 印張8^{11/16}

字數203,000 印數55,001—73,000 定价(7) 0.85

1960年9月第1版 1961年C月第2版 1962年2月北京第7次印刷

序 言

这本教材是教育部在今年三月間指定我院編写的，我們接到这一任务后，就积极准备，在短期内編写完成，这是我們教研室在党的领导下通过教学改革所取得收获的一部分。

本书适用于化学工业、食品工业、輕工业等各类型专业，教学時間約为 65—90 学时。

我們結合学习“毛澤东同志論教育工作”的心得及最近教学改革中的体会，对今年年初在西安召开的“理論力学”、“材料力学”教学大綱座談会上所修訂的材料力学教学大綱草案又作了一些修改和补充，本教材是按更改后的教学大綱草案編写的。变动較大的是删去了一些內容，如拉压靜不定問題、剪切、梁的支座等章节；精簡了平面图形几何性質一章的內容。这些我們初步認為有的是不必要的，有的是与有关課程重复的。另一方面增加了一些章节，如平板、厚壁圓筒的塑性計算等，以便有关专业可以選擇讲述。

在內容安排上，我們試图从感性到理性，俾使符合認識規律，例如导論一章的內容比一般現有教材中相应部分的內容大大紧縮，因为我們認為在最初就提出很多概念，初学者是沒有基础来接受的。在內容的闡述上，也試图从它們之間的內在联系从一个問題过渡到另一个問題。

为了扩大初学者的知識領域，防止对事物認識的局限性，我們將未能列入本教程中的某些內容在有关的章节中也适当地指出，例如用弯矩、剪力、載荷集度之間的微分关系作剪力图和弯矩图，以及三弯矩定理等。

所有以上一切，我們虽尽量努力，但做得还很不够。此外，由

于我們發揮群众力量不充分，又限于我們的政治思想水平和业务知識水平，因而有許多缺点，例如在联系实际、結合专业方面做得就很欠缺。加以編写時間短促，工作上就显得很不細致，例如文字的簡練、插图的美观上都存在有不少缺点。希望使用这本教材的教師同志們及同學們隨時向我們提出宝貴意見，以便在再版时改正和补充。

这本教材是当教学改革还在繼續深入的情况下編写的，随着形势的发展，对其内容将会需要作不断修改。关于这一点，也希望使用本教材的同志們給我們大力协助，提供有关資料。

西安座談会上所修訂的材料力学教学大綱草案，人民教育出版社將单行出版，以供使用本教材的同志参考。該教学大綱中有“★”号部分，在本教材中都用小字排印，对低限学时的专业，可不講。

大連工学院“材料力学”編写小組

1960年5月

目 录

序言	vii
----	-----

第一章 导論

§ 1-1. 材料力学的基本任务	1
§ 1-2. 材料力学的发展	2
§ 1-3. 材料力学研究的构件。杆件变形的基本形式	4
§ 1-4. 实验与假设, 变形固体的基本假设	6
§ 1-5. 材料力学与其他课程及材料力学实验的关系	8

第二章 直杆的轴向拉伸和压缩

第一部分 直杆拉伸和压缩时的应力计算	9
§ 2-1. 拉压实例	9
§ 2-2. 截面法求内力。内力的度量——一点的应力	10
§ 2-3. 轴向拉伸(压缩)时横截面上的应力	12
§ 2-4. 轴向拉伸(压缩)时斜截面上的应力	13
§ 2-5. 强度条件及其应用	15
§ 2-6. 有关应力应变的某些概念	16
第二部分 常温静载荷下材料机械性质的研究	18
§ 2-7. 拉伸试验。低碳钢的应力应变图	18
§ 2-8. 其他材料的拉伸图	25
§ 2-9. 压缩时材料的机械性质	26
§ 2-10. 材料的塑性状态与脆性状态	28
§ 2-11. 材料的硬度	29
第三部分 安全系数与许用应力	30
§ 2-12. 安全系数与许用应力	30

第三章 扭转

§ 3-1. 扭转的实例	33
§ 3-2. 力偶矩、转速和功率间的关系	34
§ 3-3. 扭矩。扭矩图	35
§ 3-4. 圆轴扭转时横截面上的应力	37
§ 3-5. 圆轴扭转时的变形及变形位能	44
§ 3-6. 实心和空心圆轴的强度及刚度条件	45

§ 3-7. 密圈螺旋弹簧计算.....	49
----------------------	----

第四章 梁的弯曲

第一部分 内力计算。内力图.....	53
§ 4-1. 弯曲实例及基本概念.....	53
§ 4-2. 剪力及弯矩.....	55
§ 4-3. 剪力图、弯矩图.....	59
§ 4-4. 弯矩、剪力与载荷集度间的微分关系.....	63
第二部分 梁的应力.....	66
§ 4-5. 梁横截面上的法应力.....	66
§ 4-6. 非对称截面梁的应力计算.....	76
§ 4-7. 弯曲时的强度校核.....	77
§ 4-8. 梁截面的合理形状.....	78
§ 4-9. 矩形截面梁的剪应力.....	80
§ 4-10. 其他截面梁的剪应力.....	83
§ 4-11. 剪切强度校核.....	86
第三部分 梁的变形.....	88
§ 4-12. 梁的变形计算在工程中的意义.....	88
§ 4-13. 梁的挠度和截面的转角.....	88
§ 4-14. 挠曲轴的近似微分方程式及其积分.....	89
§ 4-15. 梁变形的普遍方程及其应用.....	95
§ 4-16. 图解解析法求梁的变形.....	103
第四部分 静不定梁.....	109
§ 4-17. 静不定梁的实例及基本概念.....	109
§ 4-18. 变形比较法.....	110
§ 4-19. 普遍方程的应用.....	114

第五章 复合抗力

§ 5-1. 复合抗力实例.....	116
§ 5-2. 偏心拉伸(压缩)时的应力计算及强度校核.....	117
§ 5-3. 弯曲、扭转同时作用时的应力计算及刚度校核.....	119
§ 5-4. 拉伸(压缩)、弯曲与扭转同时作用时的应力计算.....	122
§ 5-5. 计算复合抗力的普遍情形.....	123

第六章 应力状态理论及强度理论

第一部分 应力状态理论.....	125
§ 6-1. 一点的应力状态及其表示方法.....	125
§ 6-2. 平面应力状态时任意斜截面上应力的计算.....	126

§ 6-3. 求应力的图解法(应力圆).....	127
§ 6-4. 最大应力的确定 主应力及主平面.....	130
§ 6-5. 三向应力状态时的最大应力.....	133
§ 6-6. 复杂应力状态下应力与变形的关系 广义虎克定律.....	135
§ 6-7. 复杂应力状态下的弹性变形比能.....	136
第二部分 强度理論.....	136
§ 6-8. 强度理論的概念.....	136
§ 6-9. 目前常采用的四个强度理論.....	137
§ 6-10. 几个强度理論在工程設計中的应用.....	140
§ 6-11. 对于强度理論应有的認識.....	142

第七章 实验应力分析概論

§ 7-1. 概述.....	144
§ 7-2. 偏光法測定应力.....	145
§ 7-3. 电测法.....	152
§ 7-4. 平面应变分析.....	157
§ 7-5. 动荷应变測定簡介.....	163
§ 7-6. 实验应力分析的发展.....	164

第八章 厚壁圓筒和薄壁容器

第一部分 厚壁圓筒.....	165
§ 8-1. 厚壁筒在工程中的应用及計算方法.....	165
§ 8-2. 厚壁圓筒的应力和变形計算.....	165
§ 8-3. 厚壁筒的强度計算.....	170
§ 8-4. 組合厚壁筒.....	171
§ 8-5. 温度应力概念.....	173
§ 8-6. 厚壁圓筒的塑性計算基础.....	173
§ 8-7. 多层压力容器介紹.....	176
第二部分 薄壁容器.....	177
§ 8-8. 薄壁容器的应力計算.....	177
§ 8-9. 容器加强环的計算及有力矩理論的概念.....	180

第九章 平板的弯曲

§ 9-1. 概述.....	183
§ 9-2. 板的柱形弯曲.....	184
§ 9-3. 平板在二垂直方向的純弯曲.....	186
§ 9-4. 在对中心对称的外力作用下的圓平板.....	188
§ 9-5. 各种載荷及支承情况下的圓板.....	191
§ 9-6. 矩形板結果介紹.....	196

第十章 平衡的稳定性

§ 10-1. 稳定问题的提出。稳定的概念.....	199
§ 10-2. 求临界力的欧拉公式.....	201
§ 10-3. 临界应力。欧拉公式应用范围及临界应力总图的概念.....	204
§ 10-4. 压杆的实际计算.....	206
§ 10-5. 压杆的合理截面及材料的选择.....	210
§ 10-6. 圆环受均匀外压力时的稳定性.....	210
§ 10-7. 其他稳定问题介绍.....	213

第十一章 动荷问题

§ 11-1. 实例及基本概念.....	215
第一部分 惯性力的影响.....	215
§ 11-2. 等加速度运动杆件的计算.....	215
§ 11-3. 等速旋转构件的计算.....	217
§ 11-4. 曲轴连杆的强度计算.....	218
第二部分 冲击载荷.....	219
§ 11-5. 被冲击物的应力计算.....	219
§ 11-6. 冲击物自身应力的计算.....	226
第三部分 振动应力概念.....	227
§ 11-7. 振动应力概念.....	227

第十二章 构件在重复应力作用下的强度计算

§ 12-1. 基本概念, 重复应力问题在工程实际中的重要意义.....	231
§ 12-2. 应力循环及循环特性.....	232
§ 12-3. 在重复应力作用下材料破坏现象及其产生原因的假说.....	234
§ 12-4. 材料的持久极限及其测定方法.....	234
§ 12-5. 影响持久极限的因素.....	236
§ 12-6. 提高构件持久极限的措施.....	237
§ 12-7. 对称循环时构件的强度计算.....	239
§ 12-8. 持久极限曲线, 非对称循环下构件的强度计算.....	240

第十三章 蠕变和松弛的概念

§ 13-1. 问题的提出.....	246
§ 13-2. 高温对金属材料机械性质的影响.....	246
§ 13-3. 金属的高温蠕变.....	248
§ 13-4. 应力松弛.....	254

附 录

輻鋼规范.....	258
-----------	-----

第一章 导論

§1-1. 材料力学的基本任务

無論在哪个工业生产部門都广泛地遇到机器或結構物，它們都是由各式各样的构件装配而成，它們在工作中都要受到力的作用。为了确保生产的正常进行，就必然会对构件受力后的工作情况提出一些要求，例如：搅拌机的軸不能太細，否則一开动搅拌机，軸就因受力过大而扭断了；又如装配一台机器时用起重机来起吊各个构件，若起重机大梁截面設計不好，受力后很易变形，那么在它起吊的时候，起重机本身就振动得厉害，給安装工作造成困难，因而就要求起重机的大梁要有足够的剛硬性，不致产生过大的变形；再如化学工业中常見的减压塔，是个較薄的圓筒，内部抽成真空外部受大气压力，如果筒壁过薄則大气压力会使圓筒突然的变成波浪形，因而容器就不能正常工作了。这些例子所說明的現象是有一般意义的，为了避免这些現象的发生，我們通常对构件正常工作提出下列三方面要求：

- (一) 强度——保証构件在外力作用下不致破坏；
- (二) 剛度——保証构件在外力作用下不致有不許可的变形；
- (三) 穩定性——保証构件在外力作用下不致突然改变它原有的平衡形式。

这些要求是对各种机器，結構物的构件的基本要求。但要滿足这些要求会遇到一些矛盾，比如說一根梁是采用什么材料好？这样的材料制成的构件受一定的載荷作用时要用多大的截面尺寸才行？这么大的尺寸的截面又采取什么形状最好？这中間就包含着

构件受力与材料使用間的矛盾。材料力学的基本任务，就是在于解决构件的强度、剛度、穩定性三方面的要求与构件的材料，截面尺寸及形状之間的矛盾。因此，就必须深入研究构件受力，变形，截面尺寸以及材料的机械性質（即力与变形方面的性質）等方面的問題及其內在联系，从而力图用最少量的材料去承担最大的載荷，也就是从力学的观点出发来解决构件的安全与材料經濟之間的矛盾。

当然，一个結構物的設計是否符合安全与經濟的原則，单从力学观点上来考虑是不够的，还必须考虑到其他方面的条件，如构件加工，材料的来源与运输，构件工作性質等。有时各方面都需要服从于某种特殊要求，例如紧急工程中一切服从于安全和迅速，在航空工程中要求尽可能減輕构件的重量，火箭发动机的制造中必须采用耐高温的材料等，这些方面的具体考虑是由有关的专业課討論解决的，因此只有在学了材料力学以及其他基础課、专业課之后，我們才具备有比較全面的观点来最終地解决专业設計中提出的机器或結構物的安全与經濟的問題。

§ 1-2. 材料力学的发展

科学的产生是由于生产斗争的需要，生产力的发展是促使科学发展的决定因素。科学的进步又反过来促进了生产的发展。材料力学的发生与发展过程也是如此。

在材料力学还未誕生以前，人們已經在长期生产斗争中逐渐掌握了材料的特性，积累了如何选择合理的形状和尺寸的經驗，制造出效率更高的工具。例如我国在三千多年前就用輻条代替了車輪圓板，二千多年前就用鉄軸代替了木軸，一千八百多年前就創造了各种水力机械，如水磨，水排，水轉翻車，水力紡織机等。在古罗马、埃及、印度也有类似的創造，不过出現的时期比我国晚一些。

到十四世紀以后,随着资本主义的兴起和发展,海外貿易的頻繁和大量增加,提出了增加船舶吨位,兴修水閘等較复杂的技术問題。这时凭以往經驗已很难正确决定构件的形状和尺寸,而必須对材料的受力和破坏进行深入的研究,以找到合适的理論計算方法。因而促使人們开始对构件强度作理論性的研究。其中最初进行这一工作的是意大利科学家伽利略,他对当时工程上最常遇到的梁的弯曲問題进行了許許多多的实验,但由于当时还没发现材料受力后会变形的性質,仍按刚体力学的方法来研究,沒有得到正确答案。后来不断有人繼續这方面的研究,直到英国的虎克发现虎克定律,建立了材料变形的概念以后,弯曲問題才逐步得到了正确答案。这就是材料力学的誕生过程。

十八世紀产业革命以后,机器愈来愈被广泛应用于生产,軸的扭轉問題亟須解决。同时鋼的应用促使构件形状由实体变为薄壁,于是穩定問題被提出来。二十世紀初随着高速大功率机器的大量出現,又促使人們对动荷問題进行了研究。航空工业的发展,促进了薄壁构件的强度計算的研究及穩定疲劳問題的发展。与此同时,由于結構物及各种机器日益走向大型以及結構上的复杂,理論分析一时赶不上需要,因而出現了許多新的实验方法,如电阻变形仪,偏光彈性仪等实验应力分析方法。这些实验一方面解决了实际問題,同时又推动了材料力学理論的发展。在材料性質的研究方面,由于热力机械的不断发展,促使人們进一步研究了高温下的材料性質。这些研究与近代原子核技术,火箭技术有着密切的关系。

苏联对材料力学的发展所起作用巨大的,前面提到的薄壁构件强度計算,动荷,穩定,疲劳,蠕滑等問題,都是首先在苏联获得理論的建立或发展。关于强度理論应結合材料微觀性質来进行研究的方向也是由苏联于1954年特別指出的。

我国解放以后,在党的关怀与领导下,在坚持向苏联学习的方针下,材料力学的研究已在开始,特别是1958年大跃进、大搞群众运动以来,我們自己已經設計制造了許多重大精尖的产品;例如十万千瓦的汽輪发电机组,具有現代水平的噴气式飞机等都已試制成功和投入生产;再如宏偉的人民大会堂及即將完成的三門峽水利樞紐工程等都是建国十年来的巨大成就。在这些巨大成就中就向材料力学提出新的問題如:汽輪机的壳体,轉子,叶片的振动和溫度应力以及各种形状的薄板,薄壳的强度,剛度,穩定及振动等問題;这些問題的解决,不但提高了理論水平,也推动了实验应力分析的工作。与此同时,也創造了許多新材料如玻璃鋼,鍍鋸鋼,玻璃絲混凝土等等。

从本节的叙述,可以明显地看到:生产实践是自然科学知識的源泉,生产力的发展是促使自然科学不断前进的动力。

§ 1-3. 材料力学研究的构件。杆件变形的基本形式

前面曾一再提到材料力学要研究构件及其材料的問題,在这一节里,把这些問題作一較具体的叙述。机器及結構物中常遇到的有細长的杆,这种构件的长度比橫截面尺寸大得多。杆的中心綫我們称之为軸綫,軸綫为直綫者称直杆,如图1-1, a; 軸綫为曲

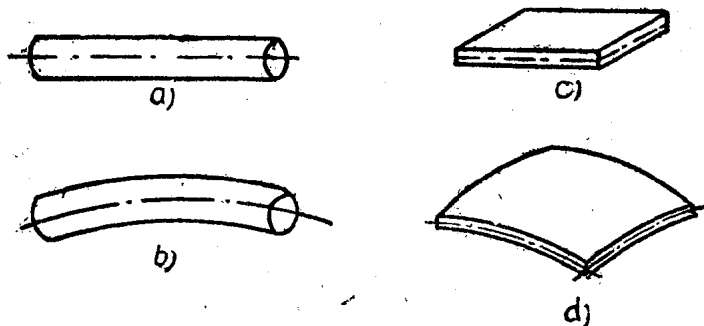


图 1-1

綫者称曲杆,如图 1-1, *b*。

我們主要研究直杆。垂直于軸綫的截面称橫截面。沿杆长方向各处的橫截面都相同者称等直杆,变化者称变截面杆。

机器和結構的构件形状有时相当复杂,但在一定範圍內可以把它們近似的看成是杆。

此外还研究板与壳,如图 1-1, *c* 和 *d*, 它們的特点是厚度比起长度和寬度来小得多,二者的差別在于前者是平面的,后者是曲面的。

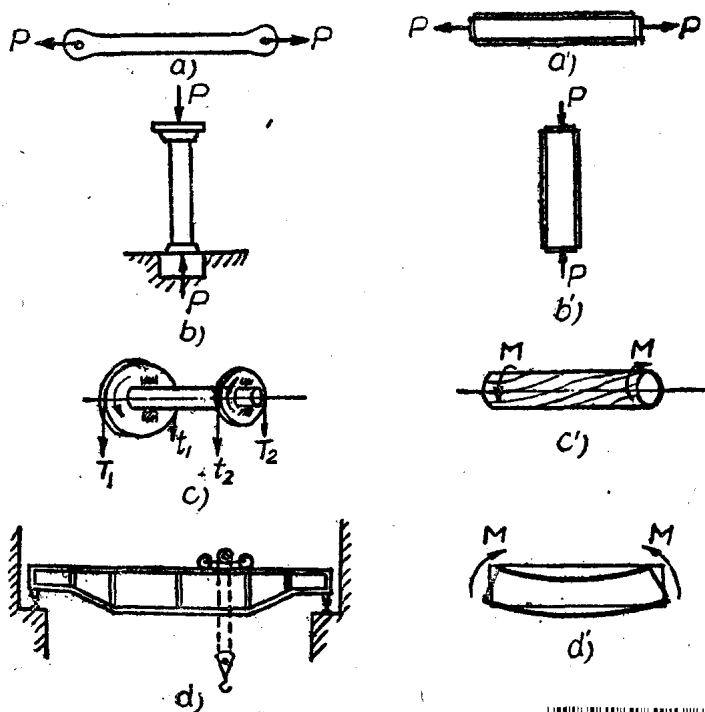


图 1-2

- (一) 拉伸如图 1-2, *a*, 其簡图如 *a'*;
 压缩如图 1-2, *b*, 其簡图如 *b'*;
 (二) 扭轉如图 1-2, *c*, 其簡图如 *c'*;
 (三) 弯曲如图 1-2, *d*, 其簡图如 *d'*。



北林图 A00037664

在各种外力作用下，直杆的变形的形式也很不一样，但总不外乎是如下的几种基本形式或是它們的組合。

以下各章中我們將依次討論上述几种基本变形形式，然后再討論由这些基本形式組合而成的复杂变形形式。

最后还須指出：这些构件的变形比起构件本身的最小尺寸还小很多，这种变形要用精密量测仪器才能发觉，通常称之为小变形。

小变形概念在材料力学中极为重要，例如，由于变形很小，因而我們在列出靜力平衡方程时就不考虑外力作用点在物体变形后所生的位置变化，这样，使計算大大簡化，而引起的誤差却微不足道。此外还在許多地方利用小变形的概念，簡化了問題，这在今后的具体应用中，再行詳述。

也有的构件变形較大而不属于上述的小变形的范围的問題称为大变形問題，不在本书的研究范围之内。

§ 1-4. 实验与假設，变形固体的基本假設

材料力学的研究方法象其他科学一样，包括：观察，实验，假設，理論，实践，循环往复的辯証过程。

科学实验是发现新的規律和初步檢驗理論的一种方法，对于材料力学來說，也不例外。但是科学实验不能完全代替生产实践，前者只是一种研究方法，只是后者的簡化了的模拟，验证理論还要靠实践本身，只有生产实践才是理論的基础和目的。作为研究方法，实验可以在人們研究分析的过程中对复杂的自然界現象和生产实践中的实际情况进行簡化，在一定条件下使某一現象能重复发生，这样人們就可多次观察研究事物的主要方面，从而揭示問題的本質，找出規律，为建立理論开辟新途徑提供新資料。

假設是发展理論的一个重要手段，毛主席在实践論中教导我

們說：“要完全地反映整个的事物，反映事物的本質，反映事物内部的規律性，就必須經過思考作用，將丰富的感觉材料加以去粗取精，去偽存真，由此及彼，由表及里的改造制作工夫，造成概念和理論的系統，就必須从感性認識跃进到理性認識。”我們从观察，实验出发，經過抽象，思維，概括作出假設。理論的形成應該經過一定科学的假設的方法；但假設決不是人們的意識形态的主觀产物，它虽不能不借助于邏輯推理，但是要以观察，实验到的事实材料为依据，而更重要的是要用新的材料不断加以补充修正从而发展新的理論，或者推翻原有假設，另建新的假設。由此可見假設是人們認識事物本質，发展理論的一个过程而決不是理論发展的基础，决定理論发展的基础和檢驗理論的标准仍然是实践。

根据材料力学的对象，以上述观点出发，我們对于变形固体如工程中常用到的鋼，銅，鑄鐵，混凝土等材料作出如下的假設：

(一) 均匀連續性的假設 認為材料是均匀密实的，即物体的整个几何容积中处处都充滿了相同的物質而毫无空隙。

实际上真实物体是由許許多多粒子組成，它們的排列既不規律又不密实，但當我們所研究的构件尺寸比起这些粒子来要大得多时，則从統計平均观点来看可以認為材料是均匀連續的。

这些假設对常温靜載荷下的鋼，銅等金属相当适合，对于磚，石，木材，混凝土則較差，但仍可采用。

这个假設使我們可以从构件中截取无限小的单元体来进行研究，并且可将大尺寸試件的試驗結果用到无限小的单元体上。

(二) 各向同性的假設 認為材料在各个不同的方向都具有相同的机械性質。

晶粒的性質本来是在各个方向不同的，但若构件尺寸远远大于晶粒，加之晶粒排列是錯綜复杂的，因而使它們集合起来的共同性質，从統計平均的观点来看，就可采用这一假設。例如鑄鋼，鑄

銅,以及作得很好的混凝土,都可看作是各向同性的材料。

各向同性的假設,使我們在研究材料机械性質时不必考慮其方向。

上面的两个假設都是將真实物体簡化了的,但是根据它建立起来的理論为实验及工程实践所証实,对工程实践的目的來說,是可以采用的。

§ 1-5. 材料力学与其他課程及材料力学实验的关系

材料力学是繼刚体力学之后发展的,所以它和物理、数学、理論力学都有着密切联系。例如,在材料力学中要用到物理的基本研究方法——实验、观察——假設——理論——实践验证,要用到虎克定律,要用到微积分、微分方程,要用到理論力学中的靜平衡、动平衡的概念等。同时材料力学又为后續課程的学习打下必要的基础,例如在机械零件、結構力学等課程中用到不少材料力学的結論和方法。所以材料力学与前后課程都有着密切联系,我們必須本着不断革命的精神,踏踏实实的学好每一門課,才能很好地完成党交給我們的学习任务。

此外,从前面的一些叙述,不难看出材料力学实验是材料力学的一个重要部分:我們需要从实验获得材料机械性質方面的知識作为设计的依据;在理論建立以后,常須先經過实验验证再到工程实践中去考驗;如构件形状及受力复杂,在今天的理論計算上有困难时,就要用到实验应力分析的知識,进行研究;所有这些都說明了实验对材料力学的重要性,在学习时也就必須重視这一环节。