高等学校函授教材

（兼作高等教育自学用书）

材料力学
学习指导书

天津大学材料力学教研室编

高等教育出版社

前　言

这本《材料力学学习指导书》适用于高等工业学校机械类专业的函授教学，是为选用天津大学材料力学教研室苏翼林主编的《材料力学》(人民教育出版社出版，1979年12月第1版)一书作为函授教材而编写的。本书的内容和要求，习题的选择、数目等均以一九八一年十二月教育部审订的"材料力学函授教学大纲(草案)"(机械类专业试用)作为依据。按照该大纲编写了十七个题目，在每一个题目中包括：要求，学习安排，复习题(包括思考题)和例题以及小结四部分。在小结中除了对每个题目的主要内容作简短总结外，还写了容易混淆的概念和学习过程中容易发生的问题。书中指定学员独立演算的习题约150题(不包括标有星号的选作题)。文中提到的章节、图号、公式号和习题号均指的是上述教材中的编号。在学习安排、复习题和小结中的某些段落，左上角用星号标出的均指大纲中的选学内容。此外在题目十和题目十七之后写了阶段总结，以便于学员复习。在本书的最后，编了测验作业题I(7个题目)、II(4个题目)和III(5个题目)。学员可在学完相应部分后演算测验题，作为复习练习。

这本学习指导书除了可供函授教学外，也可作为自学读者选用或参考。

本书承东北工学院于绥章同志审阅，提出了很多宝贵意见，特此致谢。

由于我们缺乏函授教学经验，这本学习指导书会有很多缺点和不足之处，希读者指正。

编　者

一九八三年一月

目　录

一、绪论……1
二、拉伸与压缩……3
三、材料的力学性质……8
四、拉、压超静定问题……11
五、剪切……14
六、平面图形的几何性质……18
七、扭转……24
八、直杆弯曲时的内力……29
九、弯曲应力……33
十、弯曲变形……39
阶段总结一
十一、应力分析……48
十二、强度理论……53
十三、组合变形时的强度计算……56
十四、能量法……59
十五、压杆稳定……63
十六、动载荷……66
十七、疲劳强度……70
阶段总结二
测验作业题 I
测验作业题 II
测验作业题 III

一、绪　论

1. 要求

(1) 初步建立构件强度、刚度和稳定性的概念。

(2) 了解材料力学的任务，材料力学与生产实践之间的辩证关系。

(3) 明确材料力学的研究对象是变形固体，了解材料力学对于变形固体所采取的基本假设。

(4) 知道如何区分杆、板、壳和块体，知道杆件变形的四种基本形式。

2. 学习安排

(1) 阅读§0-1, §0-2, 结合复习题1、2。

(2) 阅读§0-3, 结合复习题3。

(3) 阅读§0-4, 结合复习题4、5。

3. 复习题

(1) 构件的强度、刚度和稳定性指的是什么？就日常生活和工程实际各举一、两个实例。

(2) 材料力学的任务是什么？它能解决工程上哪些方面的问题？

(3) 材料力学对变形固体作了哪些基本假设？假设的根据是什么？理论力学中的绝对刚体假设在材料力学中还能不能使用？

(4) 杆、板、壳、块体的区别是什么？何谓等直杆？

(5) 杆件有哪几种基本变形？

4. 小结

本章主要内容有三个。第一，是了解材料力学的任务，明确学习目的。材料力学为工程中使用的各类构件，提供选择材料、确定截面形状和尺寸所必需的基础知识和计算方法。有了材料力学的知识，才能做到既能保证所要求的强度、刚度和稳定性，又能达到节约材料、减轻重量的目的。所谓强度，不仅指构件抵抗发生断裂的能力，而且包括构件抵抗发生永久变形的能力；所谓刚度，指的是构件抵抗弹性变形的能力；而稳定性指的是构件维持其原有平衡形式的能力。

第二，是了解材料力学的研究对象——可变形固体，即固体在外力作用下要发生形状改变。变形固体的基本性质，就是基本假设所概括的：连续均匀和各向同性。这是从宏观研究工程构件强度时所作的近似简化，这种简化具有足够的精确性。材料力学理论就是建立在这种假设之上，即以后谈到构件时，总认为它们是处处密实、均匀，并且各方向性质相同。

第三，是了解材料力学的研究范围，目前主要限于杆件，特别是直杆。要明确划分杆、板、壳和块体的主要依据是其三个方向的尺寸的相对比例，长远大于厚、宽者为杆，厚远小于长、宽者为板、壳，长、宽、厚属于同一量级者为块体。截面尺寸沿杆长不变的杆件，称为等直杆。

最后，对拉伸(压缩)、剪切、弯曲、扭转等四种杆件变形的基本形式，要有一初步的感性认识，以后再逐章讨论其严格定义。

此为试读，需要完整PDF请访问：www.ertongbook.com

二、拉伸与压缩

1. 要求

(1) 建立杆件内力、轴力的概念;学会运用截面法求轴力，画轴力图。

(2) 建立应力、正应力和许用应力的概念，掌握轴向拉、压时正应力强度条件及其应用。

(3) 通过直杆拉伸时斜截面应力的讨论，对于剪应力及应力随截面改变有初步了解。

(4) 建立变形、应变和抗拉刚度的概念，掌握轴向拉、压时虎克定律及其应用。

(5) 建立变形能概念,知道弹性范围内的变形能原理,以及轴向拉、压时变形能的计算方法。

2. 学习安排

(1) 学习§1-1, §1-2, 计算习题 1-1 前一问及 1-2 (*a*)、(*b*)、(*d*)。

(2) 学习§1-3, §1-4, 计算习题 1-5, 1-7, 1-8, 1-11, 1-12。

(3) 学习§1-5, 计算习题 1-18, 1-19, 1-20, * 1-21。

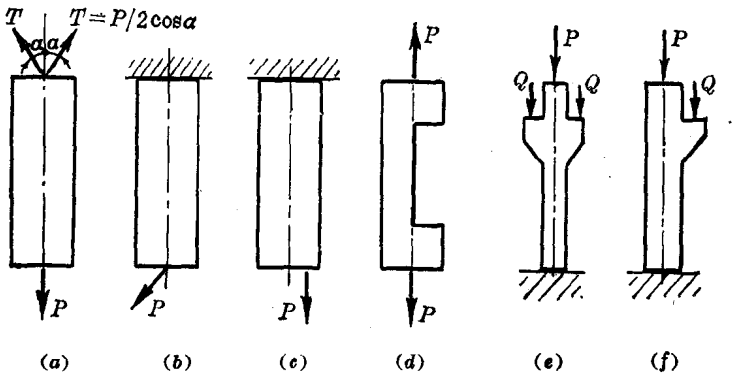
(4) 学习§1-6, 计算习题 1-23, 1-24, 1-27, 1-28, *1-26。

(5) 学习§ 1-8, 结合复习题 7。

注: 左上角有"*"者为选做题。

3. 复习题和例题

(1) 满足哪些条件，直杆才承受轴向拉伸(压缩)？试辨别图1所示构件是否属于轴向拉伸或压缩？



(a) (b) (c) (d) (e) (f)

图 1

(2) 什么叫轴力？其正、负号如何确定，正、负号的物理意义是什么？

(3) 何谓截面法？其步骤是什么？

(4) 公式 $\sigma=N/A$ 在满足什么条件下才能使用？什么情况下必须分段计算？

(5) 虎克定律的物理意义是什么？它能解决哪些问题？

(6) 试指出下列各量的区别和联系：

a. 内力与应力；

b. 变形、位移与应变；

c. 正应力、剪应力与全应力；

(7) 轴向拉、压变形能算式 $U=P.\Delta l/2$ 中，为什么有因子 $1/2$？

例题 图2表示由两种材料组成的阶梯杆。若已知铜杆的

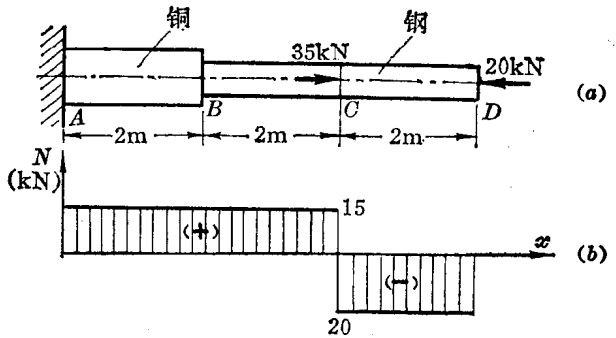


图 2

横截面面积 $A_c=2\text{cm}^2$，弹性模量 $E_c=100\text{GPa}$，许用应力$[\sigma_c]=100\text{MPa}$，钢杆的对应量为 $A_s=1.6\text{cm}^2$，$E_s=200\text{GPa}$，$[\sigma_s]=160\text{MPa}$。要求校核其强度及计算总伸长。

解 首先须作出轴力图，如图 2 (*b*)。从图上可看出，*CD*段轴力最大，是危险截面，*AB*段轴力虽较小，面积也较大，但铜的许用应力较钢材低，因此也必须进行校核。*AB*段

$$\sigma_c=\frac{N_{AB}}{A_c}=\frac{15\times10^3}{2\times10^2}=75\text{N/mm}^2=75\text{MPa}<[\sigma_c]$$

*CD*段

$$\sigma_s=\frac{N_{CD}}{A_s}=\frac{20\times10^3}{1.6\times10^2}=125\text{MPa}<[\sigma_s]$$

故此杆强度是足够的。注意，由于$1\text{N/mm}^2=1\times10^6\text{N}/1\times10^6\text{mm}^2=1\text{MN/m}^2=1\text{MPa}$，上面计算时把力的单位化成牛 (N)，尺寸单位化为毫米(mm)，最后求得的应力单位就是兆帕(MPa)。

计算全杆总伸长时，由于 *AB* 段和 *BD* 段材料和尺寸不同，即弹性模量 *E* 和面积 *A* 不同，必须分段计算；又 *BD* 段中，*BC* 和 *CD* 两段轴力不同，也要分开计算。综上所述，全杆必须分成三段应用

虎克定律，即

$$\Delta l=\Delta l_{AB}+\Delta l_{BC}+\Delta l_{CD}$$

$$=\frac{N_{AB}\cdot l_{AB}}{E_c\cdot A_c}+\frac{N_{BC}\cdot l_{BC}}{E_s\cdot A_s}+\frac{N_{CD}\cdot l_{CD}}{E_s\cdot A_s}$$

$$=\frac{15\times10^3\times2\times10^3}{100\times10^3\times2\times10^2}+\frac{15\times10^3\times2\times10^3}{200\times10^3\times1.6\times10^2}$$

$$-\frac{20\times10^3\times2\times10^3}{200\times10^3\times1.6\times10^2}$$

$$=1.5+0.938-1.25=1.188\text{mm}$$

上面的计算中，除了力单位化成牛(N)，尺寸单位化成毫米(mm)外，弹性模量 E 也采用兆帕(MPa)为单位，得到的伸长量的单位便是毫米(mm)。

4. 小结

本章讨论了杆件在轴向拉、压时的强度和刚度计算，并介绍了材料力学的某些基本概念和方法。

只有当外力作用线平行杆轴、作用点通过截面形心，即外力顺沿杆轴时才产生轴向拉伸(压缩)这种简单变形形式。

显示和计算内力的方法，叫截面法，其要点是：(1)在欲求内力处，将截面假想截开；(2)用内力代替被截开的两部分之间的相互作用；(3)对其中的任一部分，运用静力平衡条件求出未知内力。

用截面法求轴力时，注意永远将轴力方向设为正向(对保留截面为拉伸)；这样，解答中的正负号，才能既说明所设是否正确，又能说明该截面是受拉还是受压。对包括有固定面的截开部分列平衡方程时，注意不要将约束反力遗漏。

本章主要公式为

$$\boxed{\sigma=\frac{N}{A}} \qquad (1\text{-}1)$$

及
$$\boxed{\Delta l=\frac{Nl}{EA}} \tag{1-5}$$

或
$$\boxed{\sigma=E\varepsilon} \tag{1-6}$$

使用时应注意，杆端加力方式的不同，对应力分布的影响，只限于杆端附近的截面。如果轴力 N、截面面积 A 和弹性模量 E 三个量中的任一个沿杆长有变化，上列公式就必须分段使用。

强度条件

$$\sigma=\frac{N}{A}\leqslant[\sigma] \tag{1-2}$$

根据已知和未知条件的不同，可以分别用来校核强度、设计截面尺寸和确定许可载荷。注意按公式(1—2)求得的许用轴力$[N]$，有时并不等于结构（如杆系）的许可载荷$[P]$；对照§1-4的例 1-4可看出，整个结构的许可载荷$[P]$，应取各杆许用轴力$[N]$所对应的载荷中的最小值。

受轴向拉、压杆件的变形，指的是它的伸长或缩短量；单位长度的变形，即伸长(或缩短)量与原长之比，就是它的应变（线应变）；位移是指结构的某一截面或某一点在结构变形后的位置改变。例如例 1-6 中B点的位移等于 AB 杆的轴向变形，而在例 1-7 中 A 点的位移并不同于 1、2 两杆的变形。

弹性体在外力作用下产生变形时，其内部所储存的能量，称为变形能 U，它在数值上与外力在施加过程中所做的功相等，即

$$U=\frac{1}{2}N\cdot\Delta l=\frac{N^2l}{2EA}=\frac{EA}{2l}\cdot(\Delta l)^2 \tag{1-7}$$

而单位体积的变形能，称为能密度(或比能)

$$u=\frac{U}{V}=\frac{1}{2}\sigma\cdot\varepsilon=\frac{\sigma^2}{2E}=\frac{E\varepsilon^2}{2} \tag{1-8}$$

变形能和能密度的应用，将在第九、十和十三章讨论。

三、材料的力学性质

1. 要求

(1) 对低碳钢试件在拉伸过程中反映出的力学性质与现象要有明确的了解。通过低碳钢拉伸试验可测出下列指标：比例限σ_p、流动限σ_s、强度限σ_b、延伸率δ，截面收缩率ψ及弹性模量E，要了解这些指标的意义以及怎样确定这些指标。

(2) 了解塑性材料的卸载，冷作硬化现象及名义流动限$\sigma_{0.2}$的意义。

(3) 了解铸铁受拉伸与压缩时的力学性质。

(4) 了解应力集中现象及应力集中系数的意义。

(5) 了解许用应力[σ]的确定及采用安全系数的原因。

2. 学习安排

(1) 阅读§2-1，§2-2，§2-3，结合复习题(2)、(3)、(4)、(5)、(10)。

(2) 阅读§2-6，§2-9，结合复习题(6)、(7)、(8)、(9)。

(3) 阅读§2-5，结合复习题(11)。

3. 复习题

(1) 何谓材料的力学性质？为何要研究材料的力学性质？

(2) 通过低碳钢与铸铁的拉伸及压缩试验可以测定出哪些力学性质？

(3) 绘出低碳钢试件拉伸时的σ-ε图，在图上标出σ_p、σ_s、

此为试读，需要完整PDF请访问：www.ertongbook.com

σ_b及δ。

(4) 怎样度量材料的塑性性质？

(5) 冷作硬化的现象是什么？

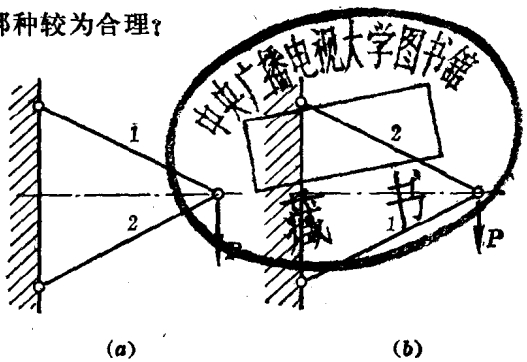
(6) 对于塑性材料和脆性材料，如何定出它们的许用应力$[\sigma]$？

(7) 说明采取安全系数的原因。

(8) 塑性材料在静载下可以不考虑应力集中的影响，试解释之。

(9) 比较低碳钢与铸铁的主要力学性质(强度和塑性)。

(10) 图 3 中的杆 1 为铸铁，杆 2 为低碳钢。图 a 与图 b 两种设计方案，哪种较为合理？



中央广播电视大学图书馆

(a) (b)

图 3

*(11) 何谓冲击韧度α_k，如何测定？塑性材料的α_k值为何比脆性材料的为大？

4. 小结

金属材料按照断裂时塑性变形的大小分为塑性材料与脆性材料。在这两类材料中分别选取低碳钢和铸铁作为典型。本章重点就是研究这两种材料在常温、静载下的力学性质。

从低碳钢的拉伸试验可以测定出以下指标：比例限σ_p，标志

材料的线弹性范围；流动限 σ_s，标志材料的流动（屈服）现象；强度限 σ_b，标志材料的最大强度；延伸率 δ 和截面收缩率 ψ，标志材料的塑性性能；弹性模量 E，标志材料的弹性性能。注意：在确定以上 σ_p、σ_s、σ_b 时均用试件原截面面积。

对于无明显流动阶段的塑性材料，工程中规定产生塑性应变为0.2%时的应力为名义流动限 $\sigma_{0.2}$。如标距为100 mm的拉伸试件，在卸载后能产生塑性变形为0.2 mm时的应力即为 $\sigma_{0.2}$。

*冲击韧度 α_k 表示材料抵抗冲击的能力。α_k 值愈大，表示材料抵抗冲击的能力愈强。通常，塑性材料（如低碳钢）抗冲击的能力远大于脆性材料（如铸铁），这是因为塑性材料在断裂时需要较大的外力功，或即塑性材料的试件断裂时吸收较大的能量。

低碳钢材料具有强度高，塑性性能好，组织比较均匀等特点，这也是一般塑性材料具有的特点。铸铁材料与低碳钢相比较，其抗拉强度低，塑性性能差；但铸铁的抗压性能远大于它的抗拉性能，这些是一般脆性材料的特点。

在构件的截面改变处要出现应力局部增大，此即应力集中现象。该现象对静载下的塑性材料并无任何影响。

塑性材料以流动限 σ_s 或 $\sigma_{0.2}$ 作为极限应力 σ_{jx}；脆性材料取强度限 σ_b 作为极限应力 σ_{jx}，将 σ_{jx} 除以安全系数即得这两类材料的许用应力。由于材料不具有理想的匀质性，构件工作时可能出现超载现象以及应力计算的近似性，所以必须采取安全系数使设计出的构件具有一定的强度储备。同一种材料所处情况不同应采用不同的安全系数。

四、拉、压超静定问题

1. 要求

(1) 会区别静定问题与超静定问题，并会判断结构(铰节杆系)的超静定次数。

(2) 比较深入地理解超静定问题的一般解法，并会利用这个方法解决简单的拉、压超静定问题。

(3) 了解超静定结构的特点。

2. 学习安排

(1) 阅读§3-1，作习题 3-1，3-2，3-3，3-4，3-6，3-7。注意3-7题中，在内压力作用下两环仍应贴紧，故变形协调条件为两圆筒的环向应变应相等。

(2) 阅读§3-2(例 3-2 除外)，作习题 3-9，*3-10。

(3) 阅读§3-3(例 3-5除外)，作习题 3-11。

3. 复习题

(1) 何谓拉、压超静定问题？何谓多余约束？如何判断其超静定次数？

(2) 试说明超静定问题的一般解法。

(3) 为解决拉、压超静定问题而建立平衡方程式时，各杆的轴向拉力或轴向压力可以任意假设吗？

(4) 超静定杆系设计截面的步骤与静定杆系有何不同？为什么？

(5) 何谓装配应力？试以图 3-6 所示杆系为例说明装配应力的求法。

(6) 何谓温度应力？当温度变化时为什么会在超静定结构中引起应力？

4. 小结

学习本章应深入的理解解决超静定问题的一般方法，即利用三方面(静力学、变形几何、物理)方程求解超静定问题的方法。超静定结构亦处于平衡状态，其内力(轴力)自然应满足平衡条件，与静定问题不同之处是仅利用平衡条件不能定出内力值。由于超静定结构具有多余约束(超静定次数等于多余约束数)，因此，除了平衡方程外，还应满足变形几何方程。事实上，每一个多余约束就提供了一个建立变形几何方程的条件。在解决超静定问题时，联系力与变形的物理方程亦是不可缺少的，因为只有利用物理方程才能将变形几何方程改写成以内力为未知量的补充方程。最后，将平衡方程与补充方程联立求解，就可以求出超静定杆系各杆的内力。

在建立三方面方程之前，应在作结构的受力图的同时，将结构变形前、后的位置标注在图上，作出变形关系图，特别要注意的是，受力图中各杆的轴力是拉力、还是压力，要以变形关系图中所反映的杆是伸长还是缩短为依据，两者之间必须一致。经计算如某杆的轴力为正，说明此杆的拉(或压)正如变形关系图中所设的那样；否则，即说明此杆的拉(或压)与变形关系图相反。在建立三方面方程时，难点在于根据问题的变形协调条件建立变形几何方程，这只要将结构变形后的几何位置与原始位置加以比较，即不难找出各杆变形之间的几何关系。

我们应注意到超静定结构区别于静定结构的一个重要特点

是：杆件的内力与各杆的刚度比值有关，意即若不知各杆截面面积比，就不可能求出各杆内力。因此，对超静定杆系作截面设计时，须先设出各杆截面面积的比值，然后解超静定求出各杆内力，再由强度条件设计出各杆的截面面积。这时所求出的截面往往不符合原设的面积比值，因此，应将其中某些杆件的尺寸加大以符合原设比值。当然，这样作必将使某些杆出现多余的强度储备。为避免过多的强度储备，可以通过改变各杆截面面积比而加以适当改善。

超静定结构区别于静定结构的又一特点是：杆件尺寸不准在装配后将产生装配应力，温度改变时将产生温度应力。这些现象的出现是由于超静定结构具有多余约束。因此，结构各杆长度之间应满足一定的几何关系才能装配在一起。当某杆的长度和应有长度相比有误差时，就破坏了应有的几何关系，而不能装配在一起。当强行装配在一起时，就将引起装配应力。温度应力的出现是由于单独温度改变虽可使结构各杆的长度发生变化，但这些变形一般并不满足应有的变形协调条件，当我们将它们强行装配在一起时，即将引起温度应力。在计算温度应力时应注意杆的变形应包括温度引起的变形和轴力引起的弹性变形两部分。

本章所述的解题方法是材料力学研究问题的基本方法之一，它不但可以解决拉、压超静定问题，对杆或杆系的其他超静定问题（如扭转、弯曲、组合变形）也是适用的。此外，在推导杆件在各种基本变形情况下的应力公式时，也将按同样的步骤进行。因此，深入地理解三方面（静力学、变形几何、物理）方程的意义，将有助于后续内容的学习。

五、剪　　切

1. 要求

(1) 建立联接件的两种破坏方式：剪切破坏和挤压破坏。

(2) 了解剪切和挤压计算是一种假定计算。

(3) 会运用剪切强度条件与挤压强度条件进行联接件的强度计算。

2. 学习安排

阅读§4-1，§4-2。作习题4-1，4-2，4-3，4-5，4-6，4-7，*4-10。

3. 复习题和例题

(1) 工程上的联接件，其剪切破坏和挤压破坏的特点是什么？

(2) 怎样计算受剪面上的剪力与剪应力？剪力与剪应力的区别是什么？

(3) 怎样计算挤压面上的挤压应力？

(4) 本章中剪切强度条件与挤压强度条件是怎样建立的？

例题　一铆接头如图4所示。钢板与铆钉的材料相同。已知铆钉数 $n=4$ 个，铆钉直径 $d=16\text{mm}$，钢板的尺寸为 $b=100\text{mm}$、$t=10\text{mm}$，$P=90\text{kN}$，$[\sigma]=160\text{MPa}$，$[\tau]=120\text{MPa}$，$[\sigma_{jy}]=300\text{MPa}$。试校核铆接头的强度。

解　图示的铆接头，其破坏方式不外三种可能，即

此为试读，需要完整PDF请访问：www.ertongbook.com