

# 中国科学院大学

## 2020 年招收攻读硕士学位研究生入学统一考试试题

### 科目名称：材料专业综合

#### 考生须知：

1. 本试卷满分为 150 分，全部考试时间总计 180 分钟。
2. 所有答案必须写在答题纸上，写在试题纸上或草稿纸上一律无效。
3. 试题分成四个部分，每一部分试题的分值和为 100 分，总分值为 400 分。考生需在 400 分的试题中任意选做分值和不超过 150 分的大题并在答题纸上明确标示。如果选做大题的分值和超过 150 分，考生需要在答题纸的最前面标注计分的题号。如没有标注，判卷将按照所选做试题的题号顺序依次判卷直到所做题目分值和超过 150 分题目的前一题，后面所做试题视作无效考试内容。
4. 可以使用无字典存储和编程功能的电子计算器，三角板、量角器。

---

### 第一部分 材料力学 ( 100 分 )

#### 一、(20 分) 简答题

1. 如图 1 所示，解释为何作为脆性材料的木材受压缩时的断面与轴线成  $45^\circ$  角。(8 分)



图 1 受压缩失效的木材块体



图 2 受拉伸材料中的吕德带

2. 如图 2 所示, 受拉伸的韧性材料试件中经常出现吕德带 (Lüders bands), 给出其发生的成因。(6 分)
3. 写出材料力学中的四个强度理论并给出其适用范围。(6 分)

二、(20 分) 材料力学中主要讨论了拉、压、弯、扭、稳定性、断裂、能量法等内容, 请提纲挈领地回答下列问题:

1. 分别给出拉伸刚度 ( $EA$ )、扭转刚度 ( $GI_p$ )、弯曲刚度 ( $EI$ )、应力强度因子  $K_{IC} = \sigma\sqrt{\pi a}$  的量纲;(9 分)
2. 材料筛选中效能因子的定义;(4 分)
3. 在手机中, 射频器件可简化为一个悬臂梁, 其长度为  $L$ , 杨氏模量为  $M$ , 其材料密度为  $\rho$ , 请给出该器件的材料筛选原则。(7 分)

三、(20 分) 圆轴的扭转问题中材料的剪切模量为  $G$ , 密度为  $\rho$ , 半径为  $R$ 。请求解下列问题:

1. 应用量纲分析, 证明圆轴的扭转波速的数量级为:  $c_t \sim \sqrt{\frac{G}{\rho}}$ ; (6 分)
2. 给出该圆轴截面的极惯性矩  $I_p$ ; (5 分)
3. 建立该圆轴的扭转波动方程:  $\frac{1}{c_t^2} \frac{\partial^2 \varphi}{\partial t^2} = \frac{\partial^2 \varphi}{\partial x^2}$ , 这里  $\varphi$  为扭转角,  $c_t = \sqrt{\frac{G}{\rho}}$  为横波波速。(9 分)

四、(20 分) 如图 3 所示, 天梯 (space elevator) 是一种低成本将有效载荷从地球或其它星球的表面运输到空间的解决方案。对于建造在地球上的太空电梯, 平衡锤需要位于距离地面至少 3.6 万千米上空, 使用 3.6 万千米长的缆绳与地面连接。这种缆绳必须十分结实才可以胜任。已知太空电梯的高度为  $l$ , 其所用材料的弹性模量和密度分别为  $E$  和  $\rho$ , 问题:

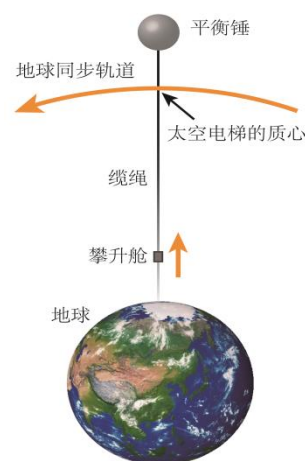


图 3 太空电梯

1. 已知  $E$  和  $\rho$  的情况下，若太空电梯受到来自地面的微扰动，试用量纲分析证明：扰动在太空电梯中传播的速度  $c_l \sim \sqrt{E/\rho}$ 。(5分)
2. 给出太空电梯材料筛选的判据；(10分)
3. 单层碳纳米管的杨氏模量可高达 5.5 TPa，抗拉强度高达 10 GPa，是钢的百倍，而其密度仅为钢材的 1/6。因此，诺贝尔化学奖获得者 Smalley 曾提出，若搭乘太空电梯上太空观光旅行，只有碳纳米管这种材料的强度才能用来制作相应的超轻超强的电缆。请简要分析：和钢材相比，为何碳纳米管是更适合做“太空电梯”；(5分)

五、(20分) 该题来自于一篇发表在英国《自然》(Nature) 杂志的一篇文章。如图 4 所示，在水平拉力的作用下，弹性薄膜发生了屈曲或褶皱。问题如下：

- 1、什么是材料力学中的泊松比和泊松效应？(2分)
- 2、证明泊松比的取值范围为： $-1 < \nu \leq \frac{1}{2}$ ；(10分)
- 3、用量纲分析的快速匹配法推导压杆临界载荷的标度关系： $F \sim EI/L^2$ ；(4分)
- 4、所谓“拉伸屈曲”的本质是什么？(4分)

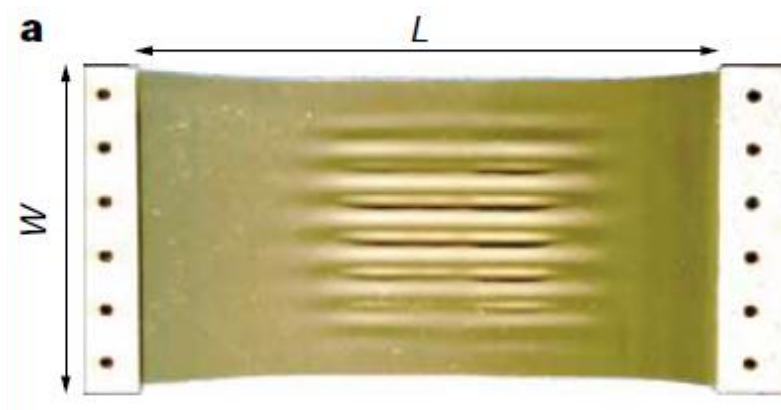


图 4. 在水平拉力的作用下，薄膜发生了褶皱

## 第二部分 材料科学基础 ( 100 分 )

一、(10 分) 判断对错，在题后括号内填入“√”或“×”。

- 1、离子键的正负离子相间排列，具有方向性，无饱和性。 ( )
- 2、复杂晶胞与简单晶胞的区别是，除在顶角位置外，在体心、面心或底心上也存在阵点。 ( )
- 3、晶体结构的原子呈周期性重复排列，即存在短程有序。 ( )
- 4、立方晶系中，晶面族{111}表示正八面体的面。 ( )
- 5、晶向指数 $\langle u \ v \ w \rangle$ 和晶面指数 $(h \ k \ l)$ 中的数字相同时，所对应的晶向和晶面则相互垂直。 ( )
- 6、弗兰克缺陷是原子迁移到间隙中形成的空位-间隙对。 ( )
- 7、bcc 的间隙不是正多面体，四面体间隙包含于八面体间隙之中。 ( )
- 8、选取晶胞时，所选取的正方体应与宏观晶体具有同样的对称性。 ( )
- 9、晶体表面一般为原子密度最大的面。 ( )
- 10、滑移时，刃型位错的运动方向始终平行于位错线，而垂直于柏氏矢量。( )

二、(6 分) 已知硅(Si)的相对原子量为 28.09，若 100 g 的 Si 中有  $5 \times 10^{10}$  个电子能自由运动，试计算：(1) 能自由运动的电子占价电子总数的比例是多少？(2) 必须破坏的共价键之比例是多少？

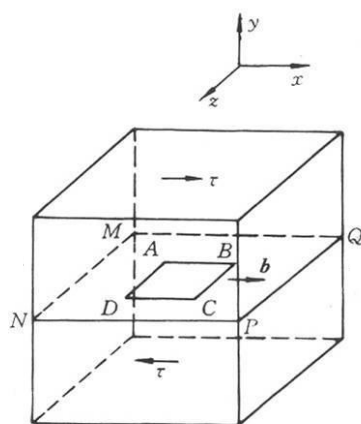
三、(10 分) 若磁量子数  $m$  的取值有所变化，即  $m$  可取 0, 1, 2, ...,  $l$  共  $l+1$  个值，其余不变，那么周期表将排成什么样？按新周期表写出前 20 号元素中最活泼的碱金属元素，第一个稀有气体元素，第一个过渡元素的原子序数、元素符号及名称。

四、(8 分) 在立方晶系的晶胞图中画出以下晶面和晶向：(1) (001) 与 $[-210]$ 、(2) (111)与 $[11-2]$ 、(3)  $(-3-22)$ 与 $[236]$ 、(4) (123)与 $[1-21]$ 。

五、(10分) (a)按晶体的钢球模型，若球的直径不变，当 Fe 从 fcc 转变为 bcc 时，计算其体积膨胀多少？(b)经 X 射线衍射测定在 912°C 时， $\alpha$ -Fe 的  $a = 0.2892 \text{ nm}$ ， $\gamma$ -Fe 的  $a = 0.3633 \text{ nm}$ ，计算从  $\gamma$ -Fe 转变为  $\alpha$ -Fe 时，其体积膨胀为多少？与(a)相比，说明其差别原因。

六、(8分) 影响屈服强度的因素有哪些？

七、(8分) 已知位错环 BADCDB 的柏氏矢量为  $\mathbf{b}$ ，外应力为  $\tau$ ，如图所示如下图。试分析：(1) 该位错环各边位错类型；(2) 求各段位错线所受力的方向与大小；(3) 在  $\tau$  的作用下，该位错环将要如何运动。



位错环BADCDB及其柏氏矢量 $\vec{b}$

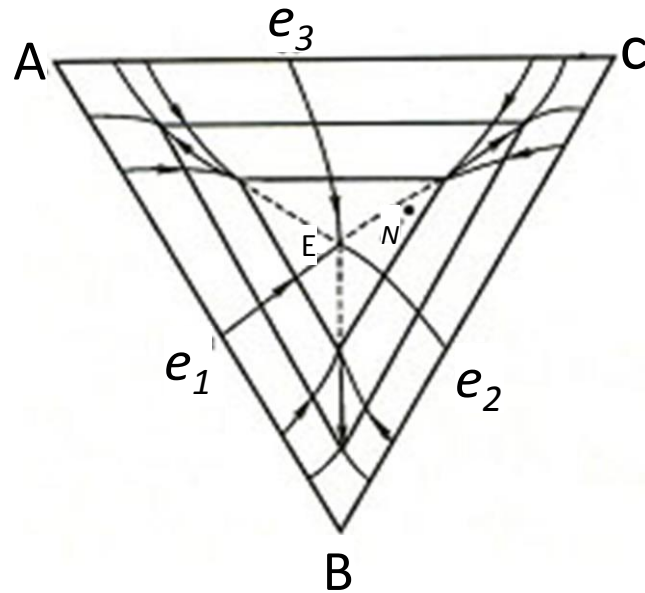
八、(6分) 试讨论金属晶体缺陷对其固态相变形核过程的影响。

九、(10分) 证明位错密度  $\rho$  和弯曲晶体曲率半径  $R$  的关系为  $\rho = 1/(Rb)$ ，其中  $R$  为曲率半径， $b$  为柏氏矢量模。

十、(6分) 工业纯铁在 927°C 下渗碳，设工件表面很快达到渗碳饱和 (1.3% 的碳)，然后保持不变，同时碳原子不断向工件内部扩散。求渗碳 10h 后渗碳层中碳浓度分布的表达式。

十一、(9分) 下图为固态有限互溶三元共晶相图的投影图，请回答下列问题：

- 1、指出三个液相面的投影区；
- 2、指出  $e_3E$  线和 E 点表示的意义；
- 3、分析合金 N 的平衡结晶过程。



十二、(9 分) 一根多晶 Zn ( $c/a = 1.86$ ) 棒和一根多晶镁 ( $c/a = 1.62$ ) 棒受压缩变形，分析二者的变形特征，比较二者的塑性。

### 第三部分 材料性能 (100 分)

#### 一、(20 分) 名词解释

- |        |             |
|--------|-------------|
| 1、布洛赫波 | 2、倒易空间和布里渊区 |
| 3、赝势理论 | 4、导带、价带及禁带  |

## 二、(30分) 推导题

限制在边长为  $L$  的正方形中的  $N$  个自由电子，电子的能量

$$E(k_x, k_y) = \frac{\hbar^2}{2m}(k_x^2 + k_y^2) \quad , \quad \text{自由电子波函数表示为 } \psi = Ae^{i[k_x x + k_y y]} :$$

- (i) 利用周期性边界条件，推导能量  $E$  到  $E+dE$  之间的状态数
- (ii) 推导此二维系统在绝对零度的费米能量

## 三、(15分) 计算题 (一)

某一价金属为体心立方结构，晶格常数  $a = 4.28 \text{ \AA}$ ，试计算该金属材料的霍尔系数。(霍尔系数表达式： $R = -\frac{1}{ne}$ )

## 四、(20分) 计算题 (二)

假定存在一维晶体，其能带可以表达如下：

$$E(k) = \frac{\hbar^2}{ma^2} \left( \frac{7}{8} - \cos ka + \frac{1}{8} \cos 2ka \right)$$

式中  $a$  为晶格常数。

试求：(i) 能带宽度 (ii) 电子在波矢  $k$  时的速度 (iii) 能带底和顶的有效质量

## 五、(15分) 证明题

根据布洛赫定理，晶体中的波函数可写成  $\psi(\mathbf{r}) = e^{i\mathbf{k}\cdot\mathbf{r}} u(\mathbf{r})$  的形式，证明  $u(\mathbf{r})$  具有与晶格同样周期性。

## 第四部分 材料分析方法 (100 分)

### 一、(20 分, 每题 4 分) 判断题 (简要给出判断理由)

- 1、连续 X 射线光谱和标识 X 射线光谱其产生的机理完全一样, 所不同的只是产生 X 射线时, 对管电压的大小取值有差异, 前者管电压高, 后者管电压低。
- 2、X 射线貌相术中, 所获得的衍射晶面上的位错像是 X 射线衍射动力学像。
- 3、在电子衍射衬度的运动学理论中, 由于重点研究衍射束对衬度的作用, 因此, 单束假设是运动学分析的一个重要依据。
- 4、能谱 (EDX) 是分析样品中元素成分的重要仪器, 其分析功能强大, 尤其对原子序数低的元素, 分辨非常准确, 比如原子序数低于 11 (Na) 的元素。
- 5、样品在高分辨电镜中所获得的晶格一维条纹像是明场像。

### 二、(40 分, 每题 20 分) 计算题

- 1、计算某一晶体中 (111) 晶面的面间距, 以及 (111) 晶面与 (110) 晶面之间的晶面夹角。(已知该晶体的晶格常数  $a=0.357\text{nm}$ )
- 2、采用铜靶进行某一晶体的透射投影貌相术时, 试计算该试样的厚度。(其中, 该晶体的质量吸收系数是  $5.5\text{cm}^2/\text{g}$ , 密度  $3.51\text{g}/\text{cm}^3$ )

### 三、(20 分) 作图题

对于正空间的某一简立方晶体, 请画出其 [111] 晶带的倒易点阵, 其中: 该晶体的晶格常数为单位长度。

### 四、(20 分) 论述题

运用 X 射线衍射运动学理论, 试论述晶体的晶格倒易点与 X 射线衍射点之间的关系。