

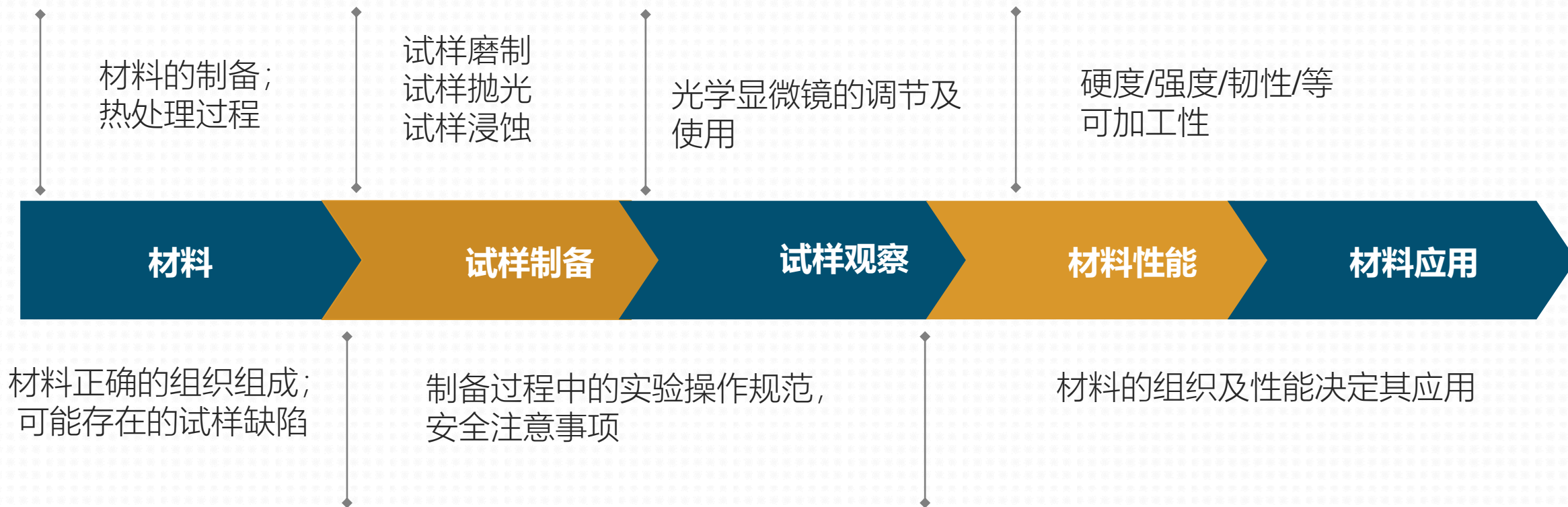
# 金相大会试题库建设中的 体会与探索



天津大学材料科学与工程国家级实验教学示范中心 毛晶

# 金相大会题目范围：

金相分析技术、材料科学类基础、材料工程类应用（金属热处理）等知识



# 目录

CONTENTS

- 01 金相试样制备过程直接相关的问题
- 02 金相试样制备过程引申的其他应用问题
- 03 部分试题学生问卷调查反馈



01

PART ONE

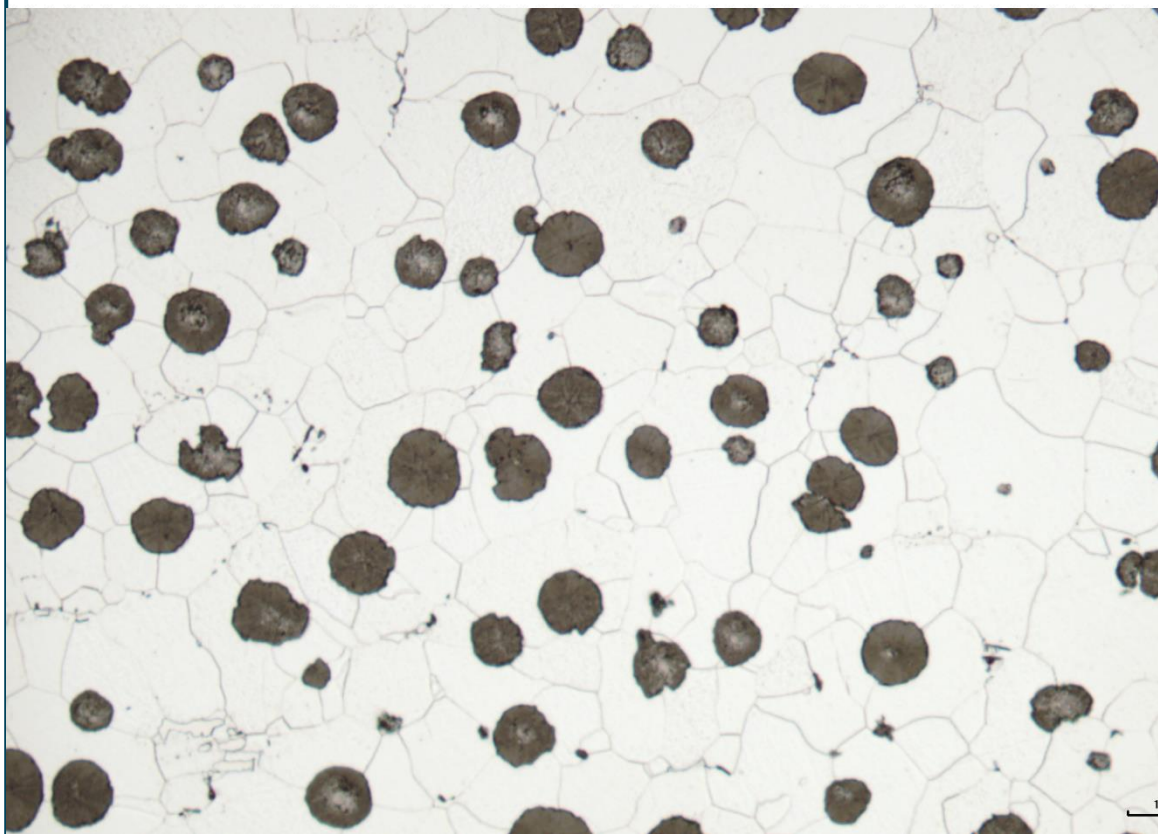
# 金相试样制备过程直接相关的问题



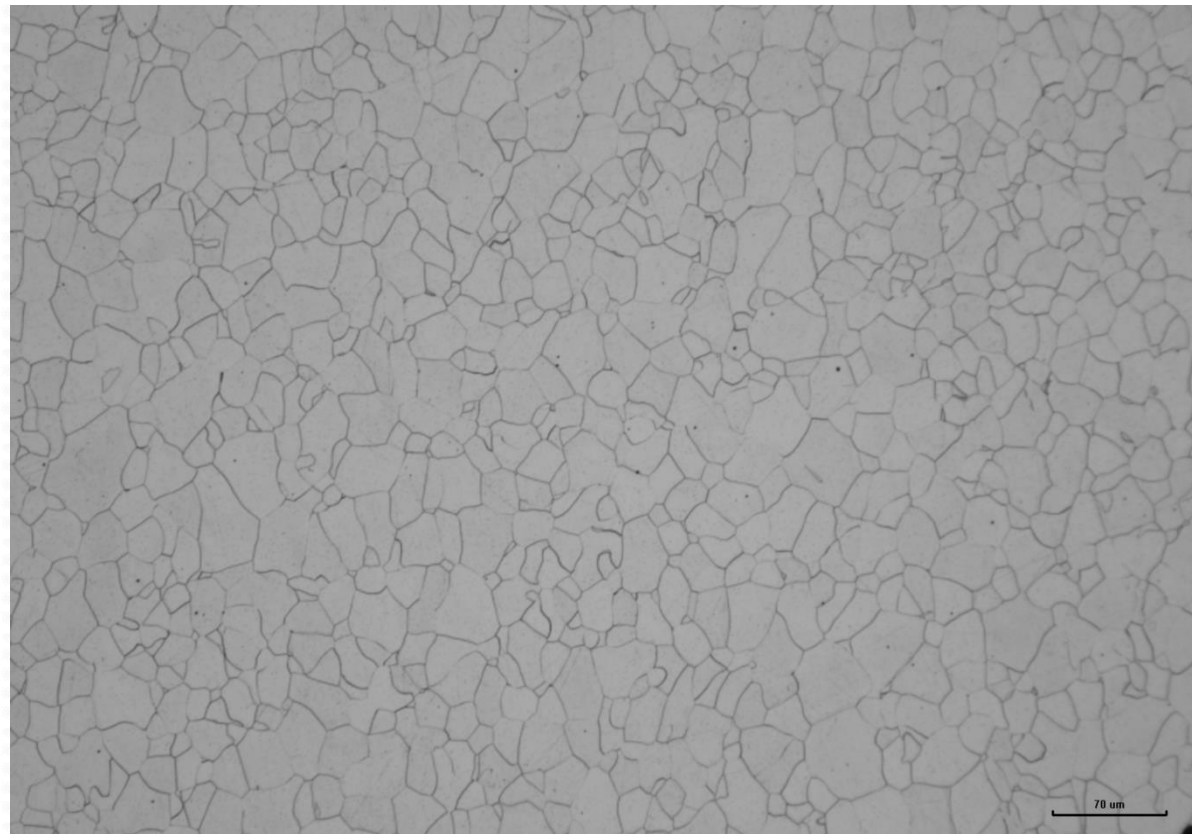
# 全国大赛比赛常用样品：

金相制样的主要步骤：取样 磨制 抛光 浸蚀 观察

01 / 球墨铸铁



02 / 工业纯铁

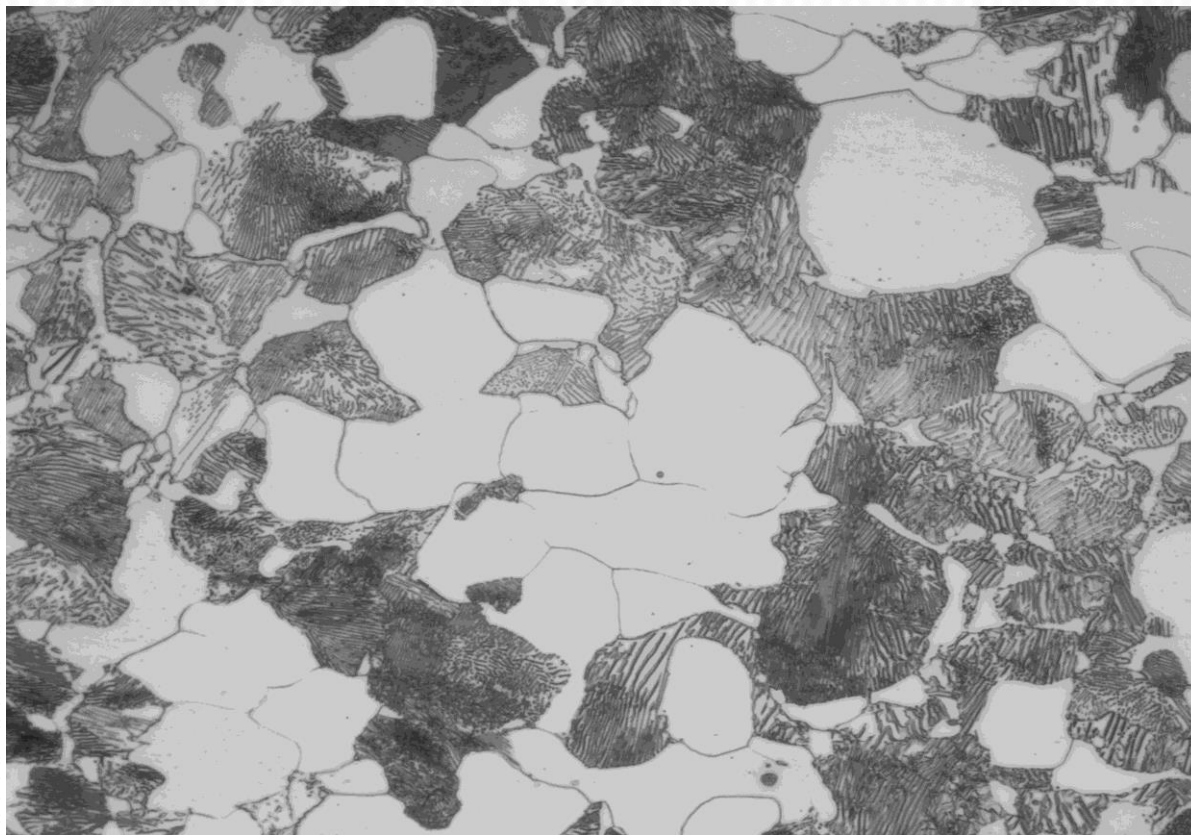


退火处理；腐蚀剂：4%硝酸酒精溶液

# 全国大赛比赛常用样品：

金相制样的主要步骤：取样 磨制 抛光 浸蚀 观察

03 / 20#钢



退火处理；腐蚀剂：4%硝酸酒精溶液



# 金相试样制备中的常见问题：

## 球墨铸铁

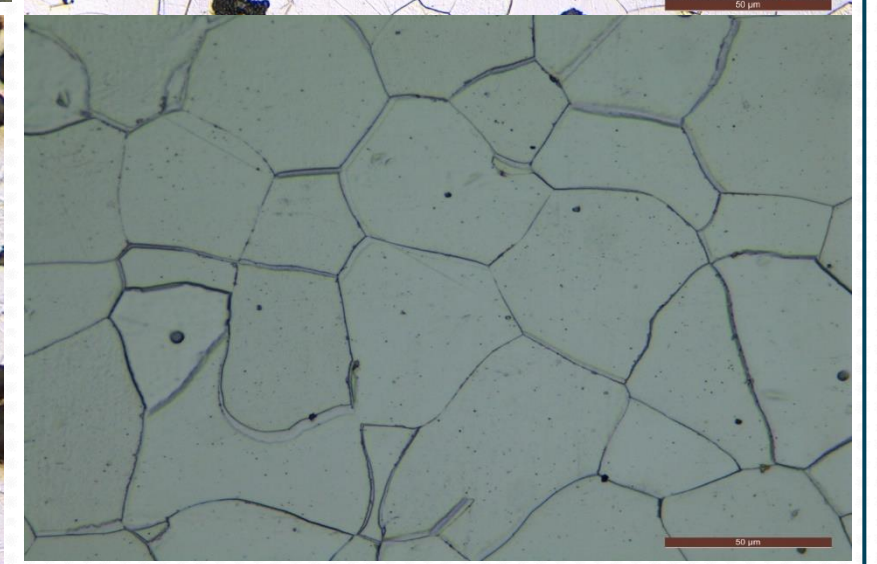
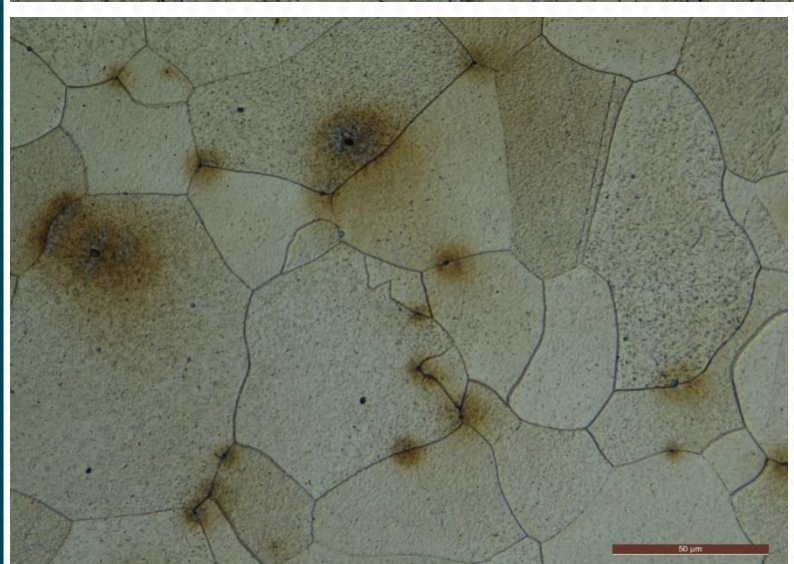
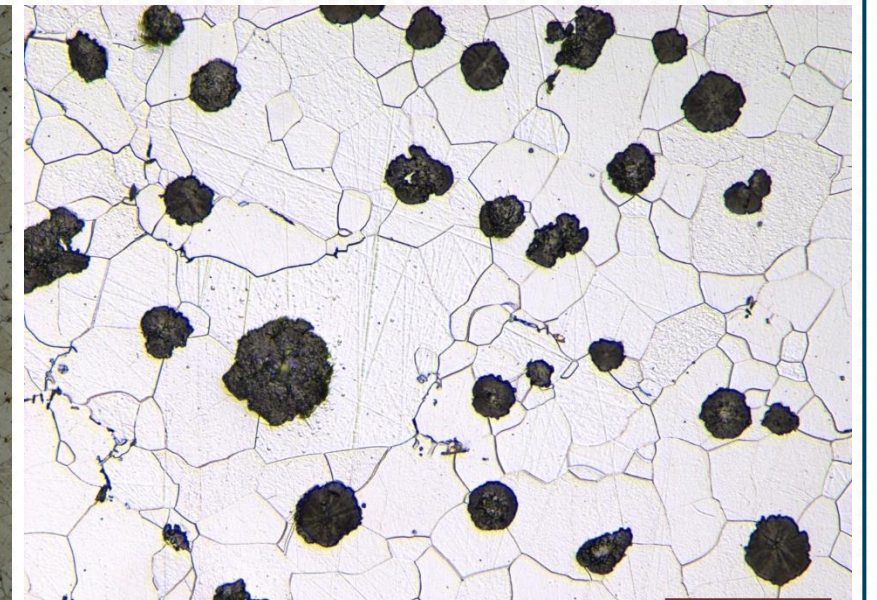
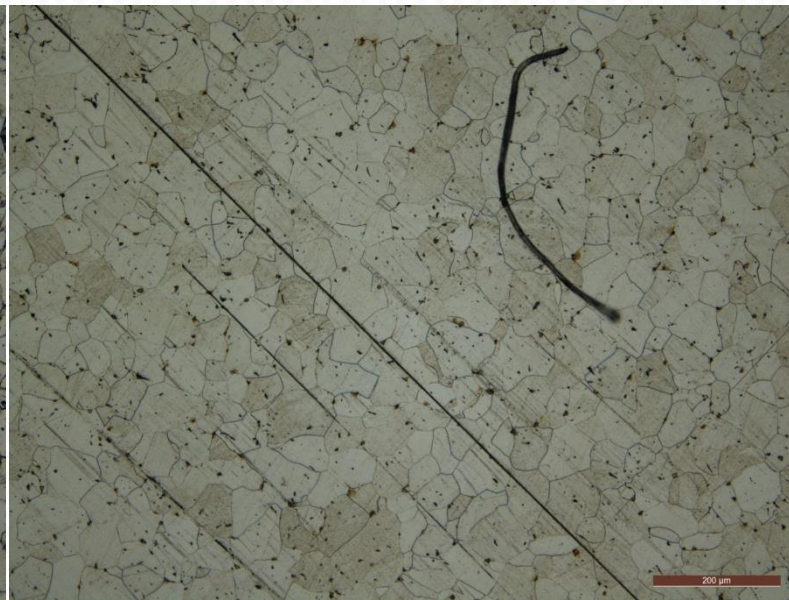
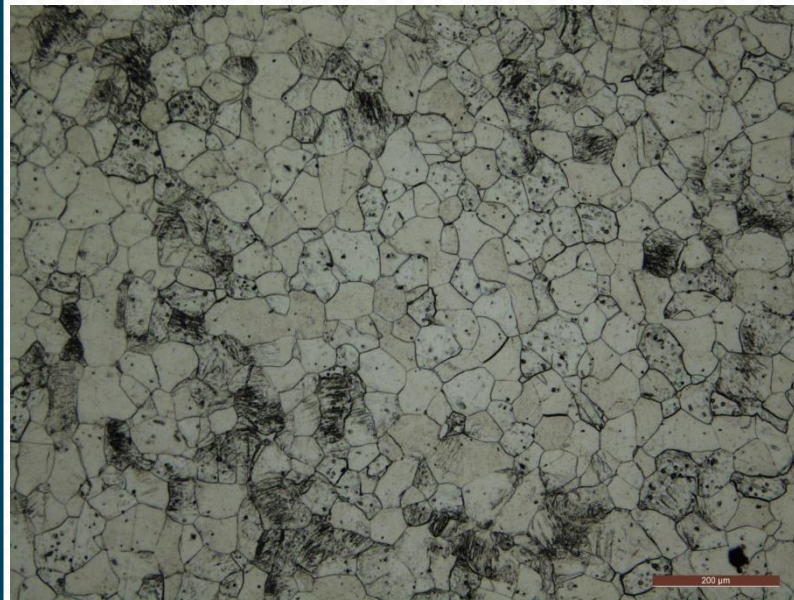
- (1) 铸造缺陷：呈现在显微镜下是试样表面有局部大黑坑或者在晶界处有夹杂物聚集。
  - (2) 石墨球脱落：指的是石墨球脱离了它正常所在位置，或大部分石墨球的形状发生了畸变。
  - (3) 锈斑：即大多数石墨球周围出现的一圈圈的“锈迹”。
- .....

## 工业纯铁

- (1) 黑白晶粒缺陷  
铁素体晶粒度呈现该缺陷是由样品抛光面与抛光布接触处存在局部发热现象所致。
  - (2) 宽晶界或双晶界缺陷  
该缺陷是由于样品侵蚀时间过长，或侵蚀剂浓度过大所致。
  - (3) 试样表面变形层  
试样在加工或是磨制过程中，表面形成的不同程度的变形和损伤层。
  - (4) 划痕  
磨制过程中，磨削颗粒在试样表面磨制形成。
- .....



# 金相试样制备中的常见问题：

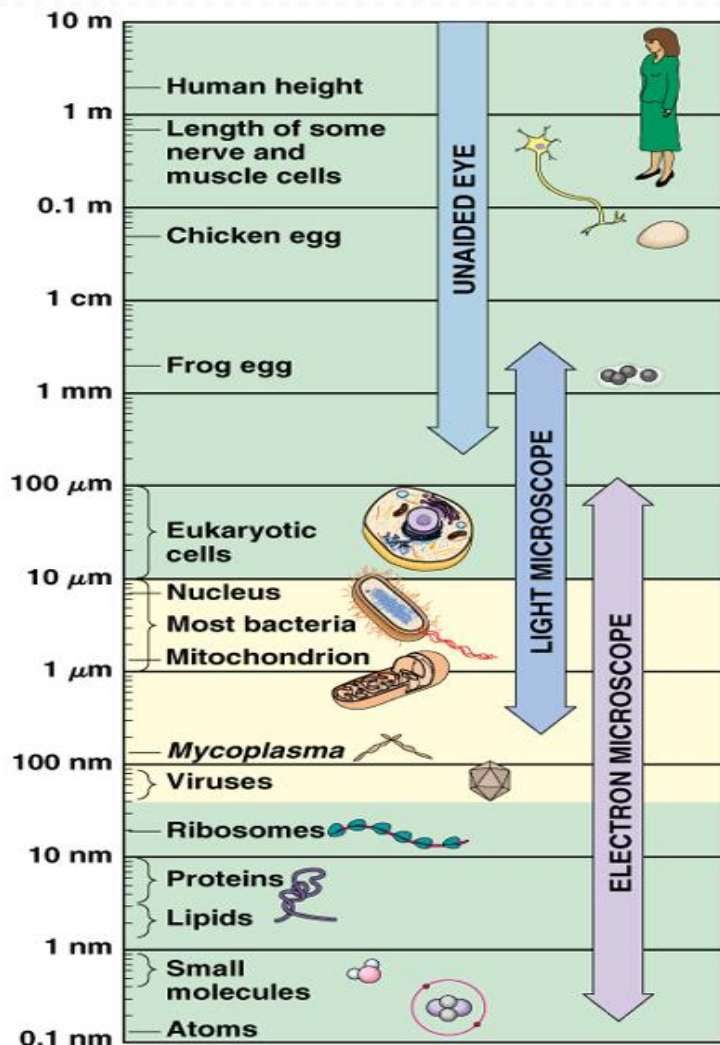




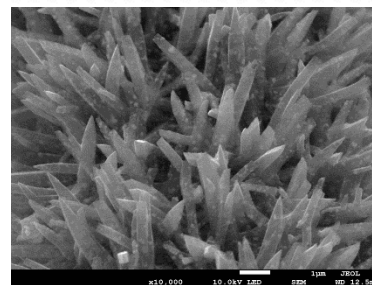
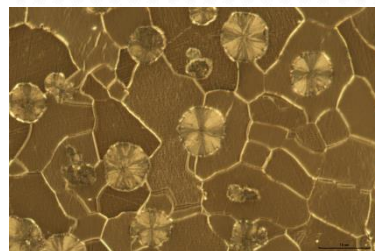
# 扫描电镜观察特点

## 电子显微镜观察特点:

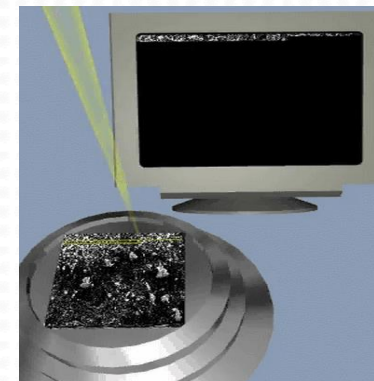
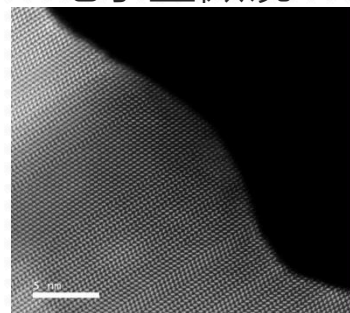
分辨率提高  
综合成分及其他分析



光学显微镜



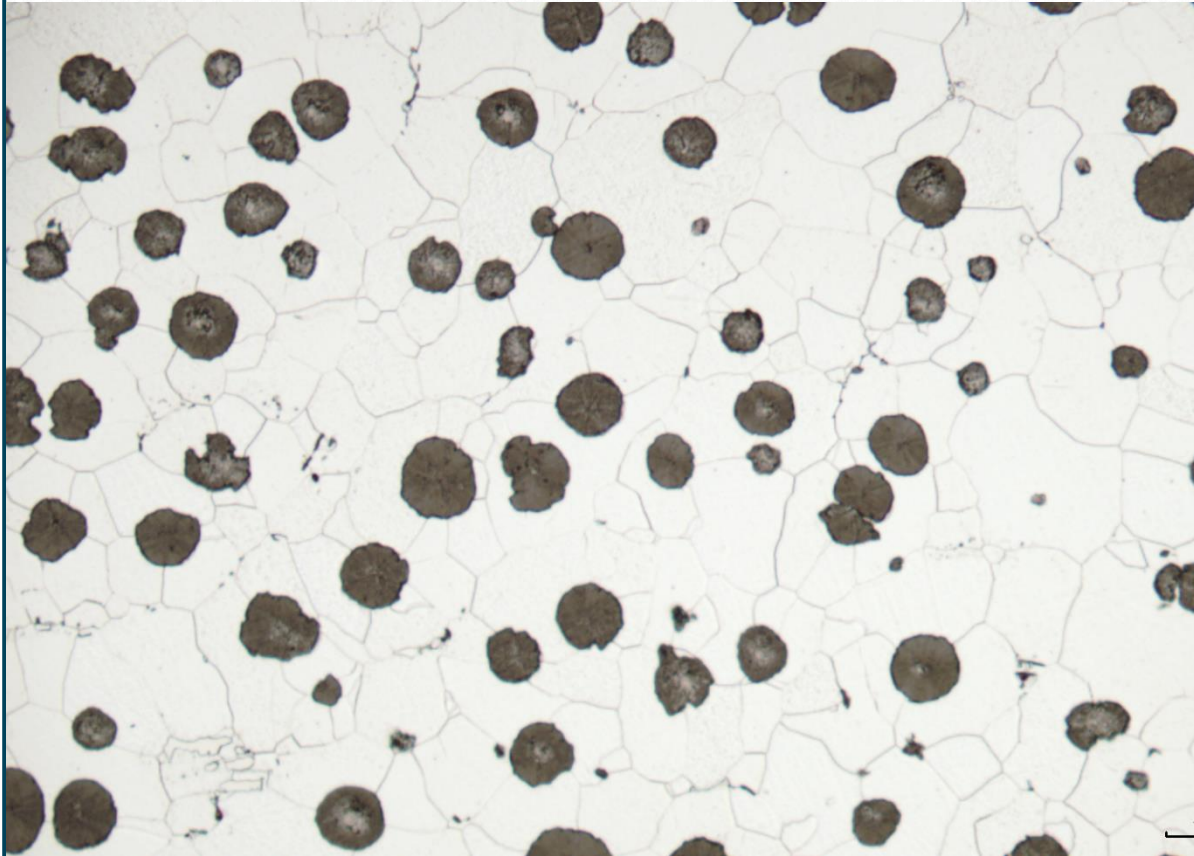
电子显微镜



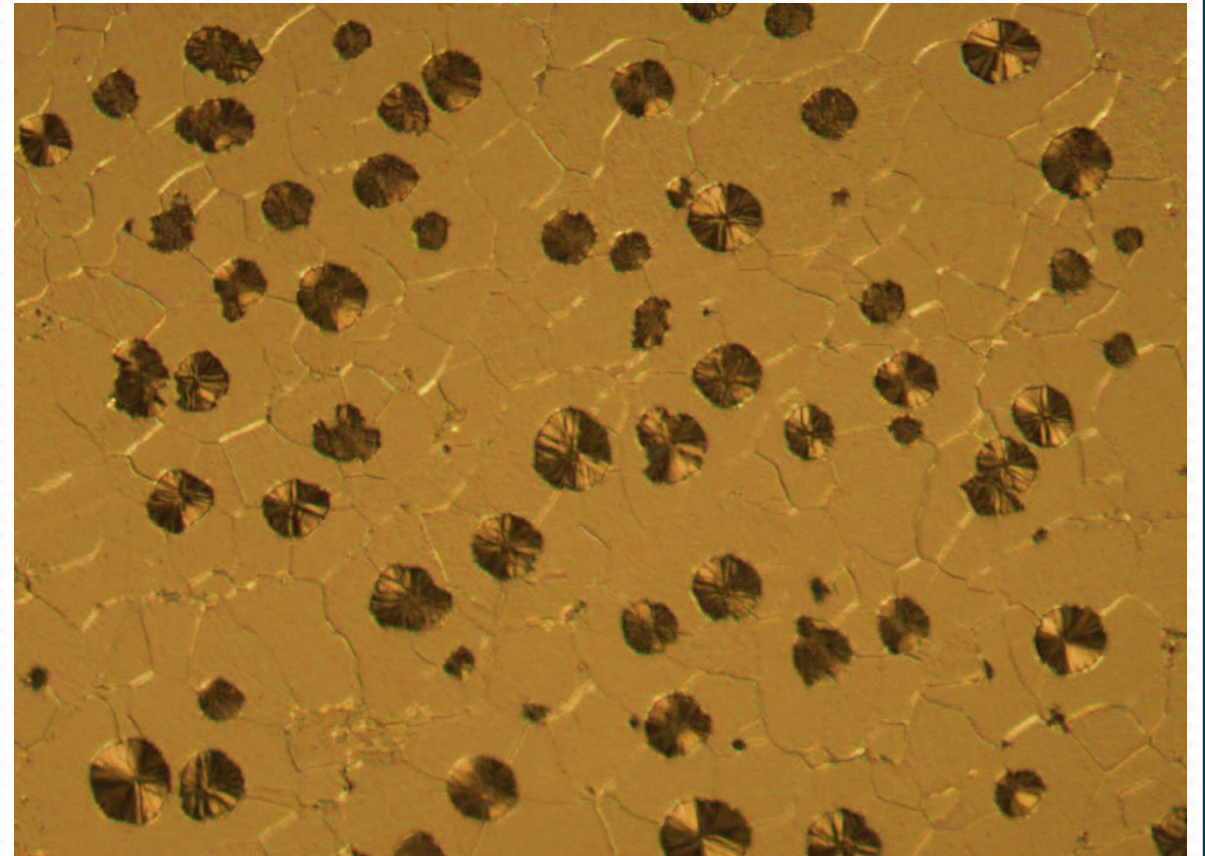


# 球墨铸铁试样分析：

球墨铸铁（QT-400-18）金相试样光镜观察：



球墨铸铁样品（退火），200X  
腐蚀剂：4%硝酸酒精溶液，

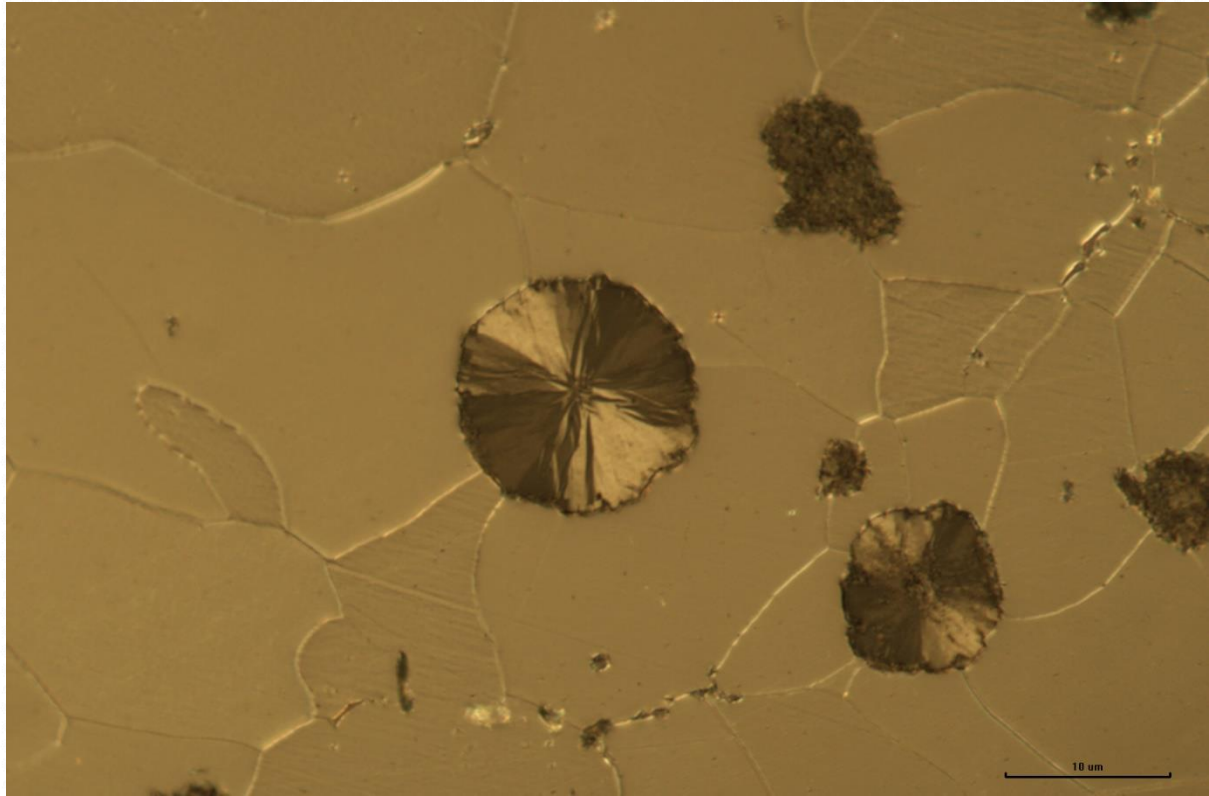


偏振光下的球墨铸铁样品，200X

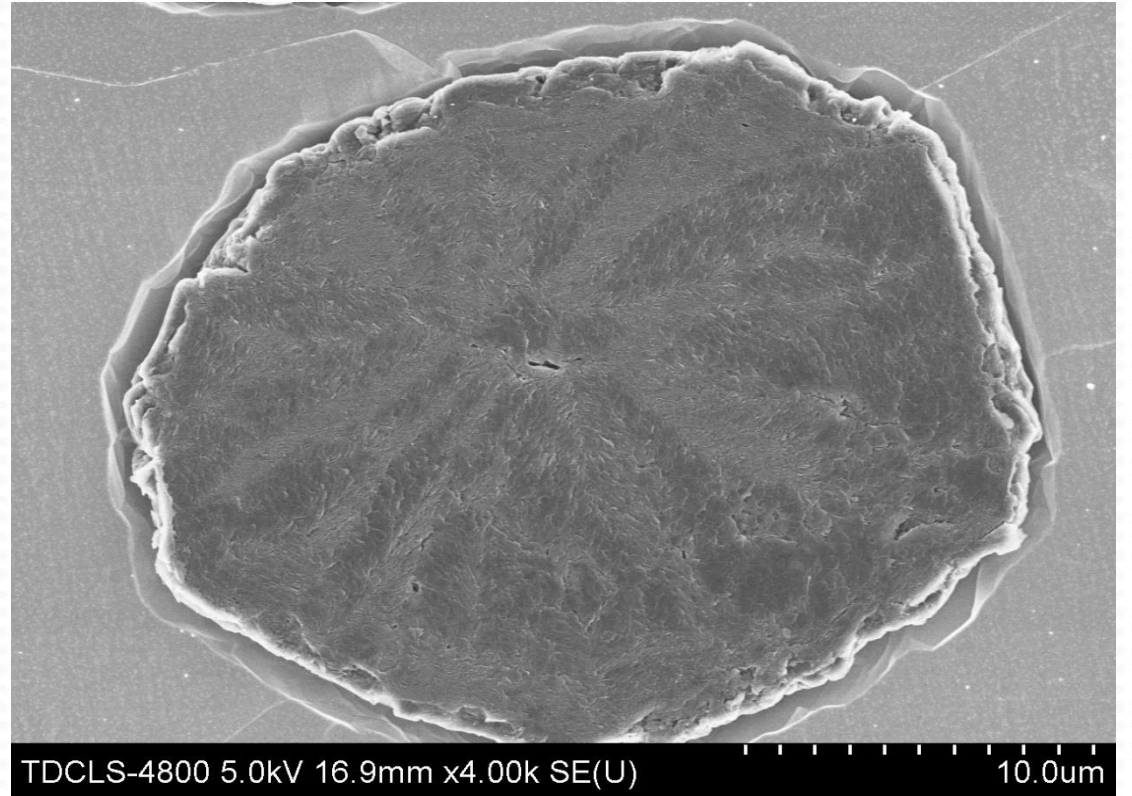


# 球墨铸铁试样分析：

## 石墨与基体的结合情况及各向异性



偏振光下的石墨，500X

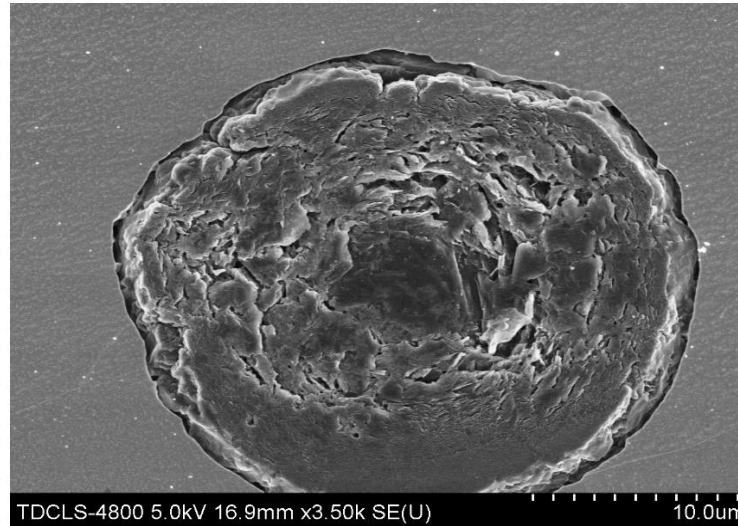
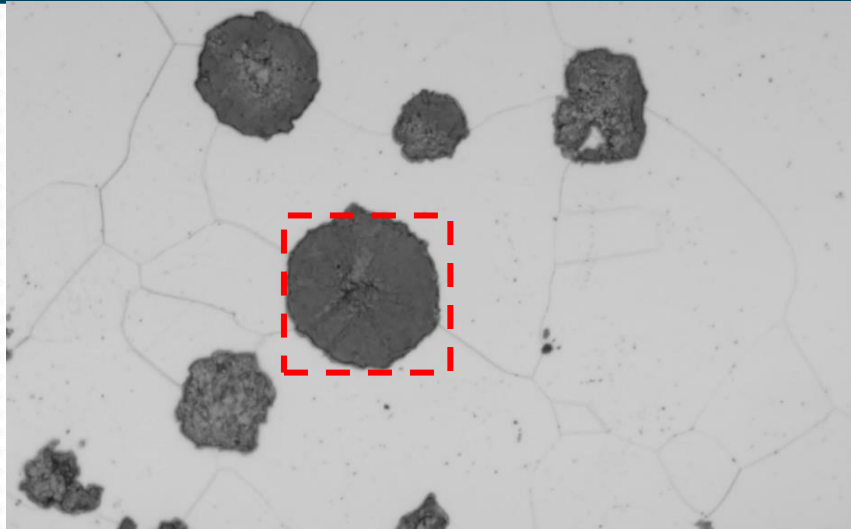


石墨的扫描电镜照片

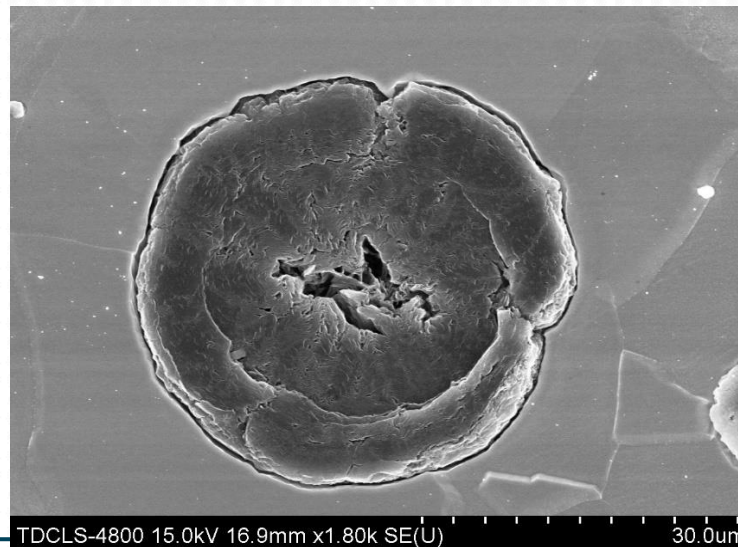
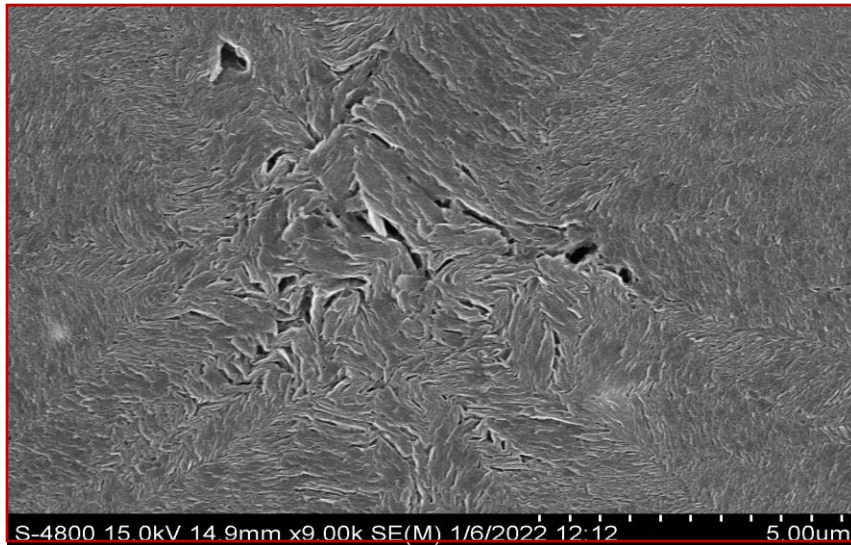
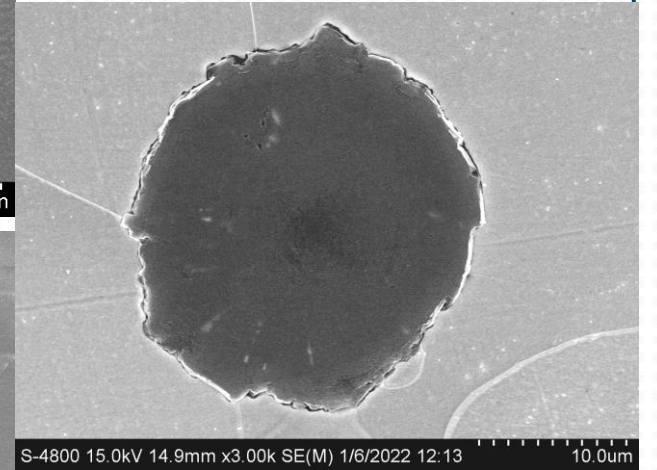


# 球墨铸铁试样分析：

## 石墨球的疏松问题

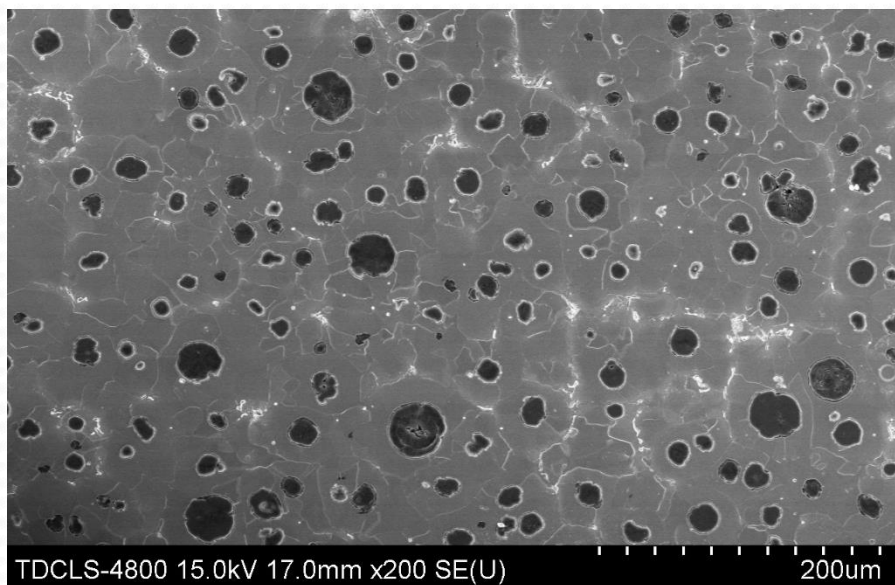
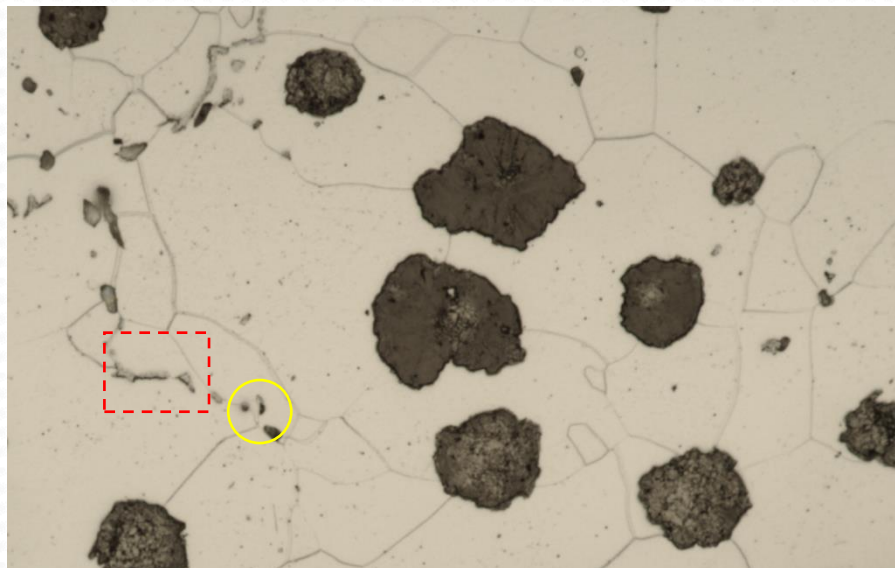


较为完整的石墨球  
表面：

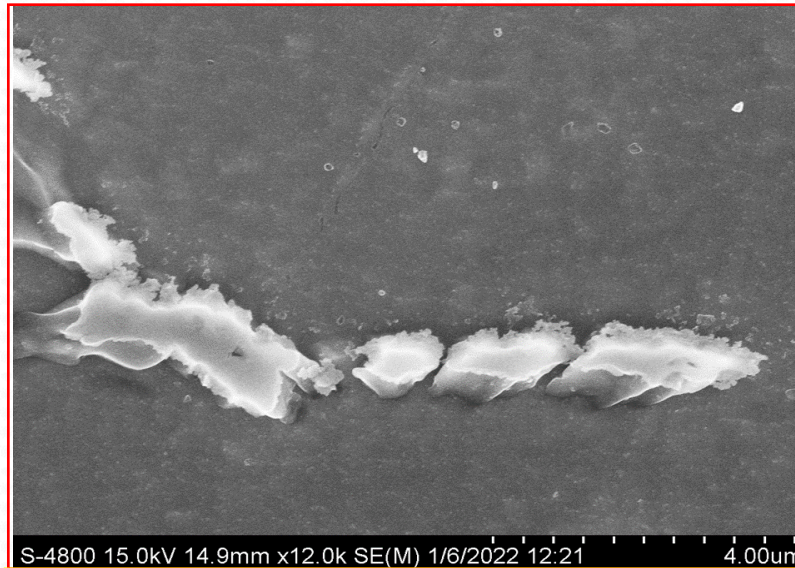




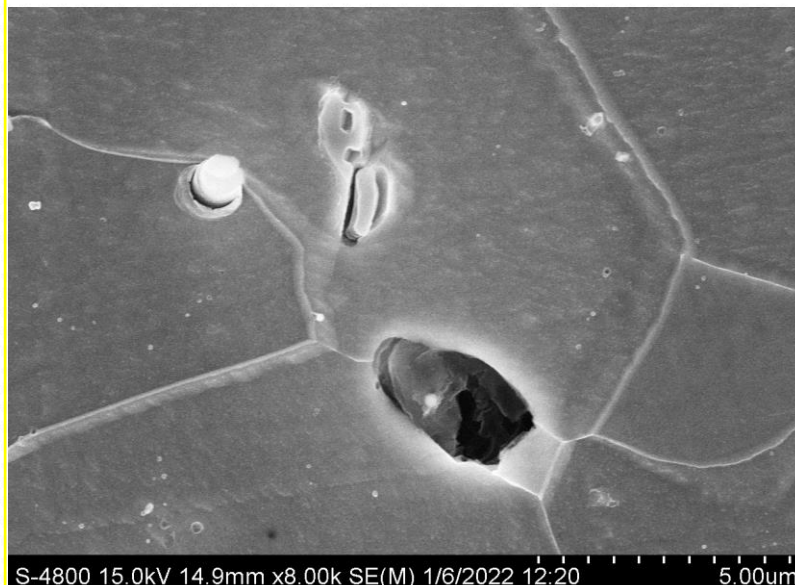
# 球墨铸铁试样分析：



TDCLS-4800 15.0kV 17.0mm x200 SE(U) 200um



S-4800 15.0kV 14.9mm x12.0k SE(M) 1/6/2022 12:21 4.00um



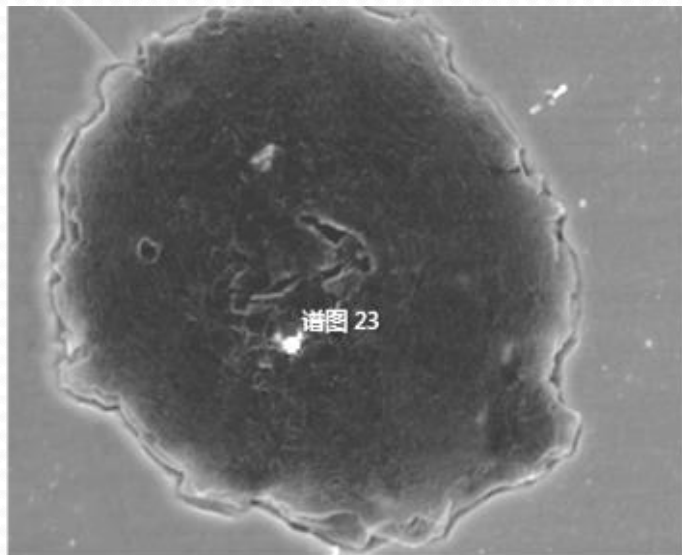
S-4800 15.0kV 14.9mm x8.00k SE(M) 1/6/2022 12:20 5.00um

球墨铸铁基体上杂质及析出物形貌



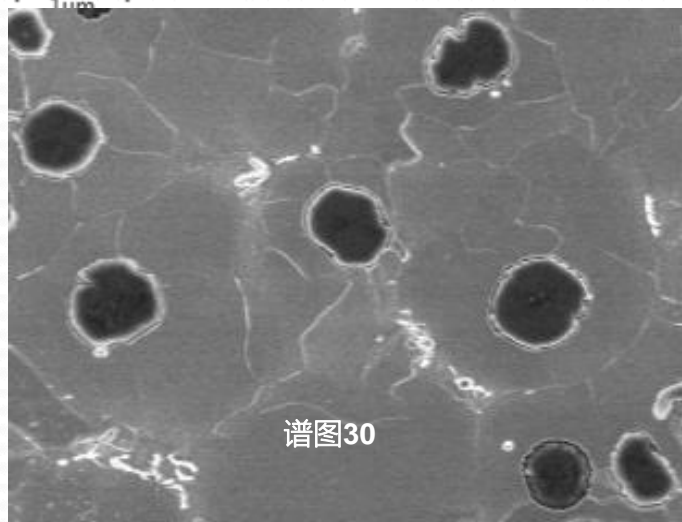
# 球墨铸铁试样分析：

## 球墨铸铁试样成分分析：



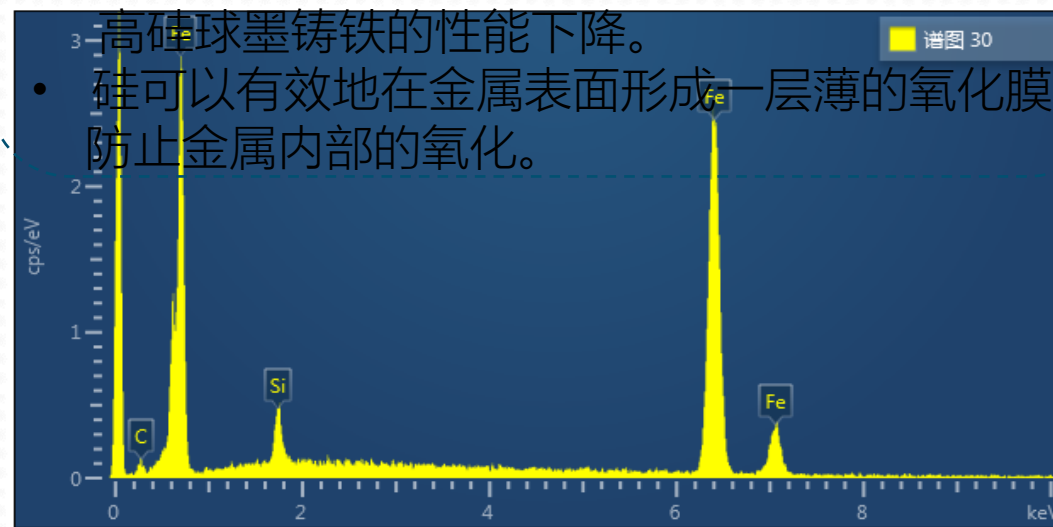
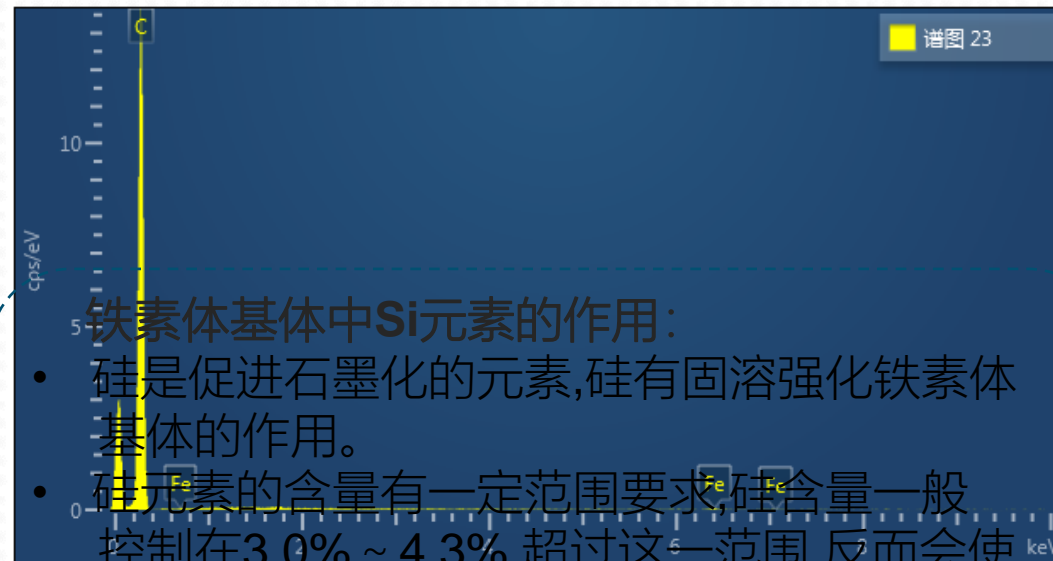
### 石墨球的元素分析

元素	原子百分比
C	99.66
Fe	0.34
总量:	100.00



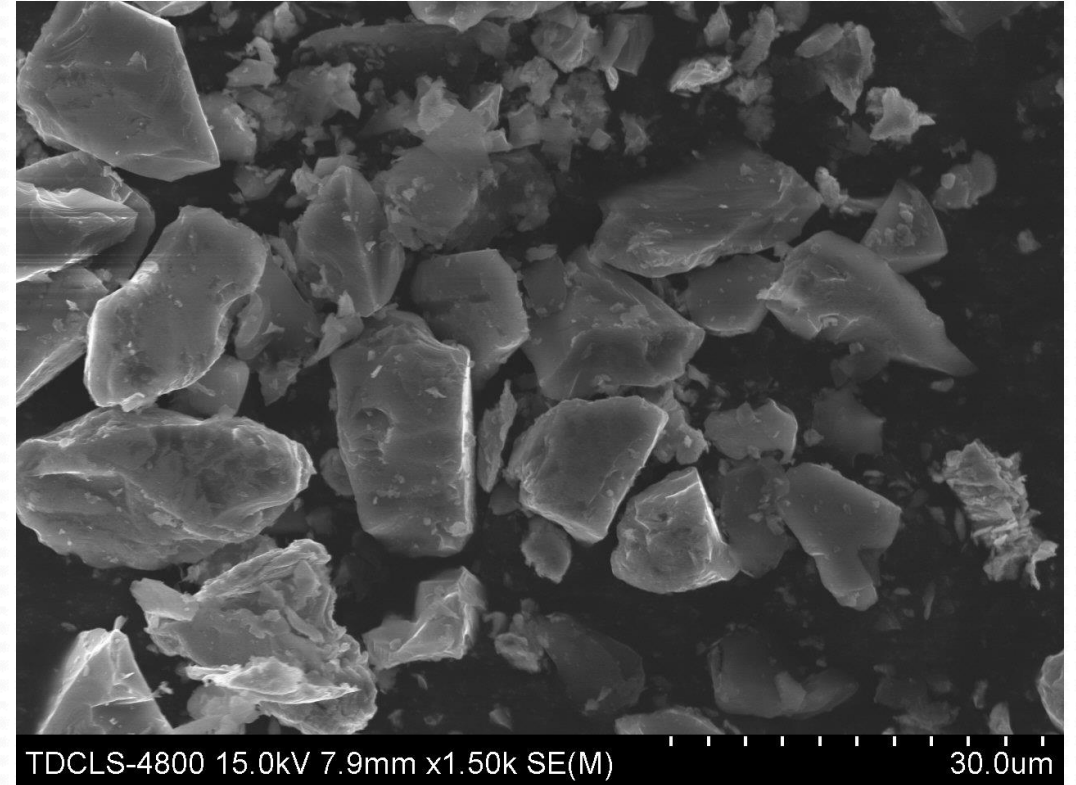
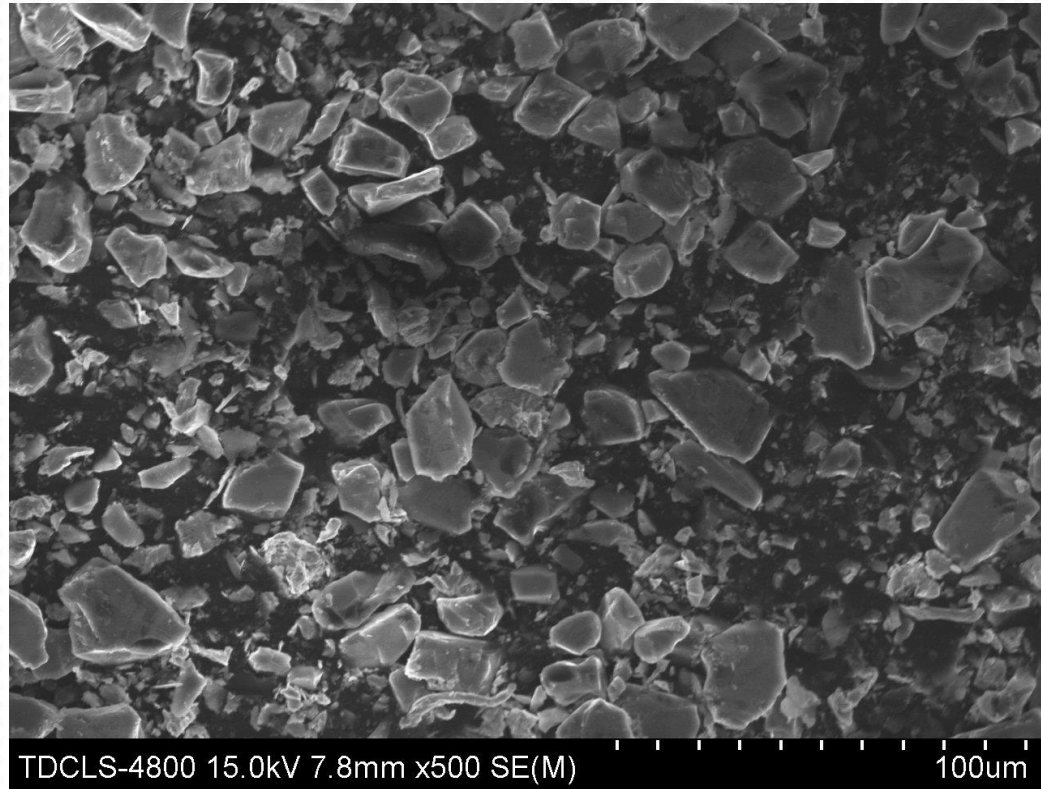
### 铁素体基体的元素分析

元素	原子百分比
C	12.69
Si	4.28
Fe	83.04
总量:	100.00



# 金相砂纸上砂粒观察

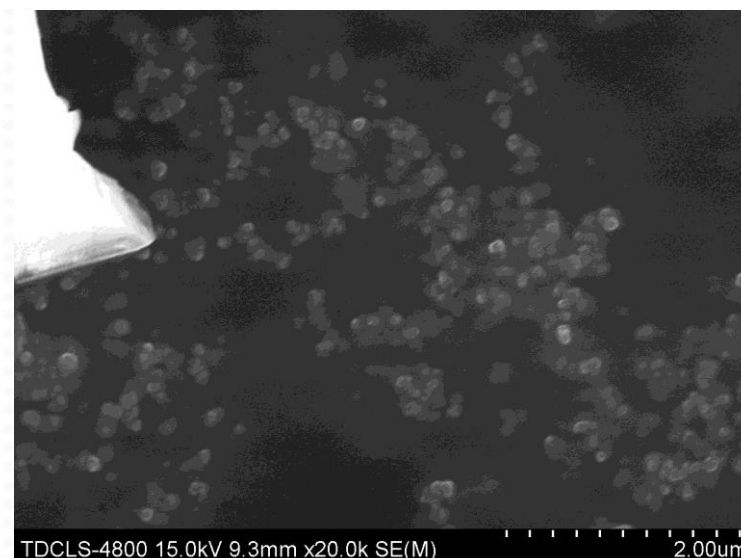
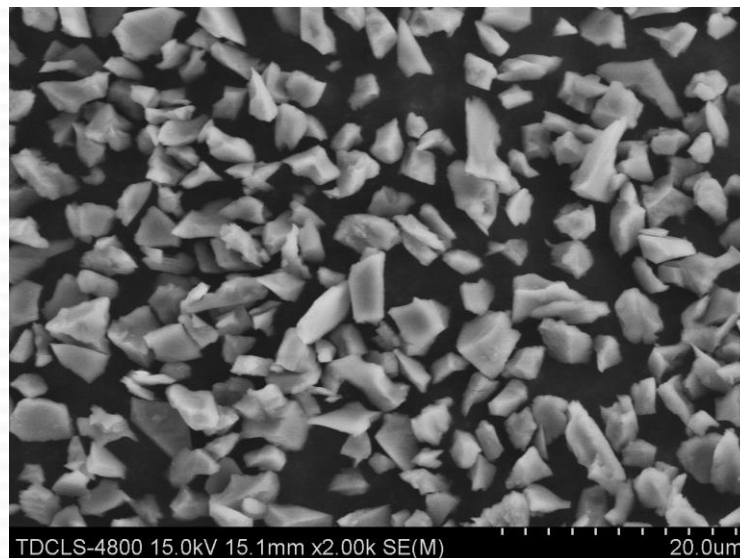
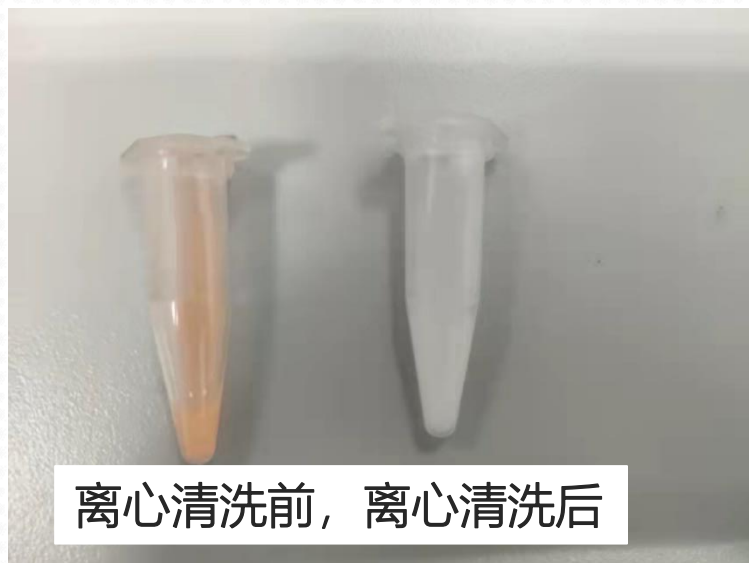
砂纸上SiC砂粒的形貌:





# 抛光膏形貌及成分

研磨膏 (w:2.5金刚石研磨膏) 的制样及形貌观察:

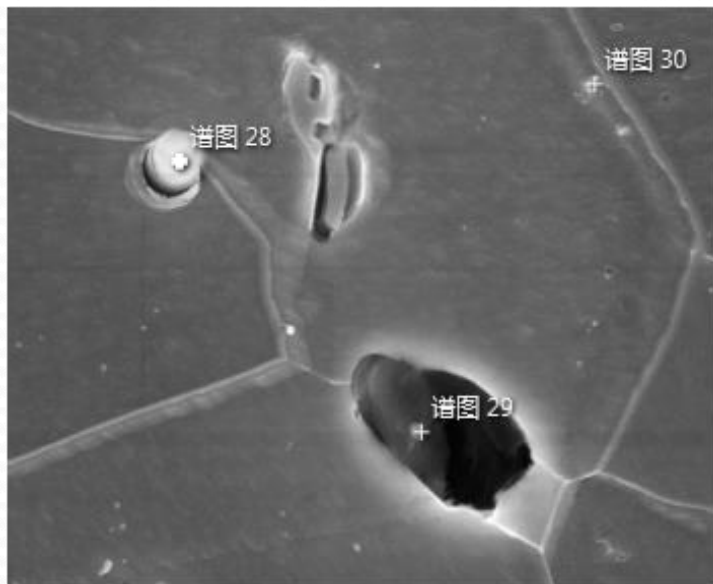




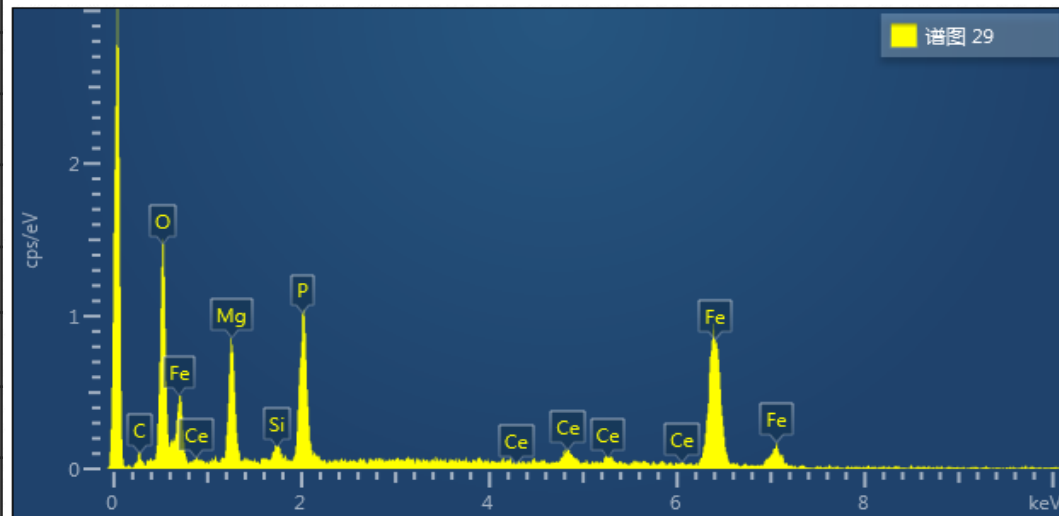
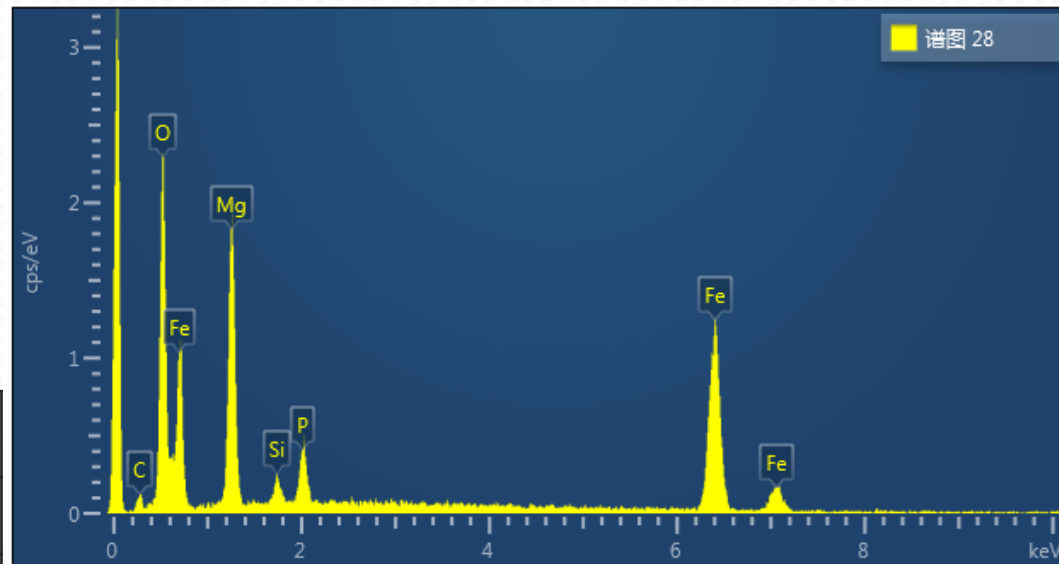
# 球墨铸铁试样分析:

**P:**磷共晶硬度高、脆性大，磷共晶分布在晶界区域，使球墨铸铁强度和塑性下降，硬度提高。  
**Mg和稀土Ce:** 是球化元素，同时也是一个强烈稳定碳化物的元素

铁素体基体中颗粒状物元素分析:

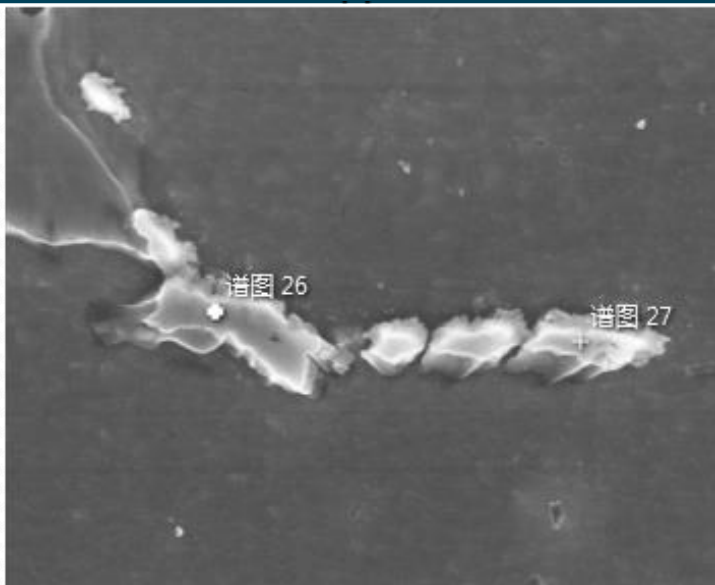


	谱图28	谱图29
元素	原子百分比	原子百分比
<b>C</b>	10.26	12.07
<b>O</b>	36.93	34.52
<b>Mg</b>	19.41	11.45
<b>Si</b>	1.25	0.91
<b>P</b>	3.06	9.94
<b>Fe</b>	29.10	29.68
<b>Ce</b>		1.43
总量	100	100

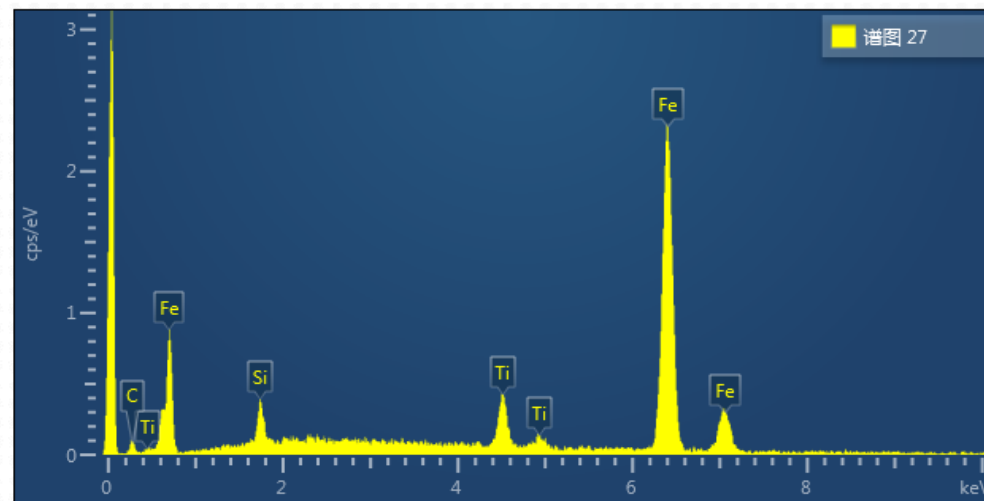
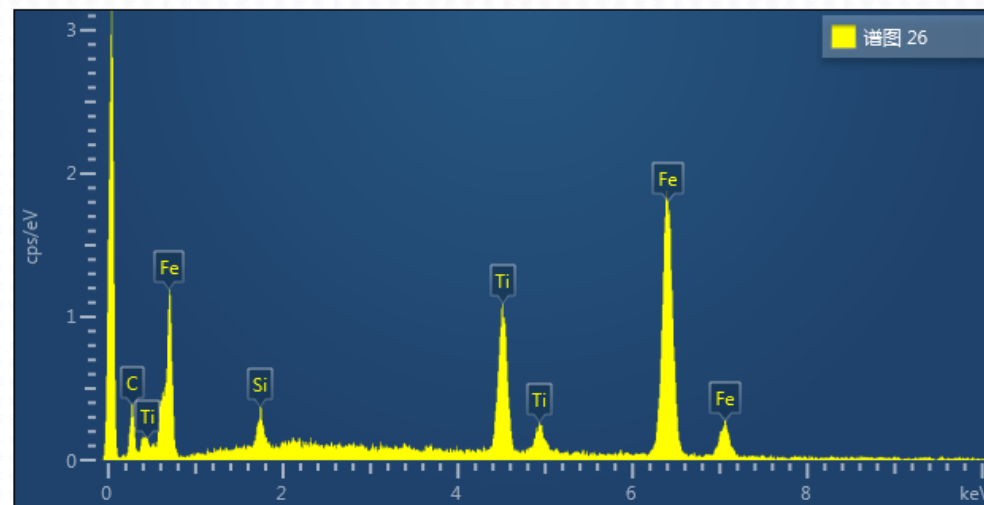


# 球墨铸铁试样分析：

## 铁素体基体晶界处链状物成分分析：



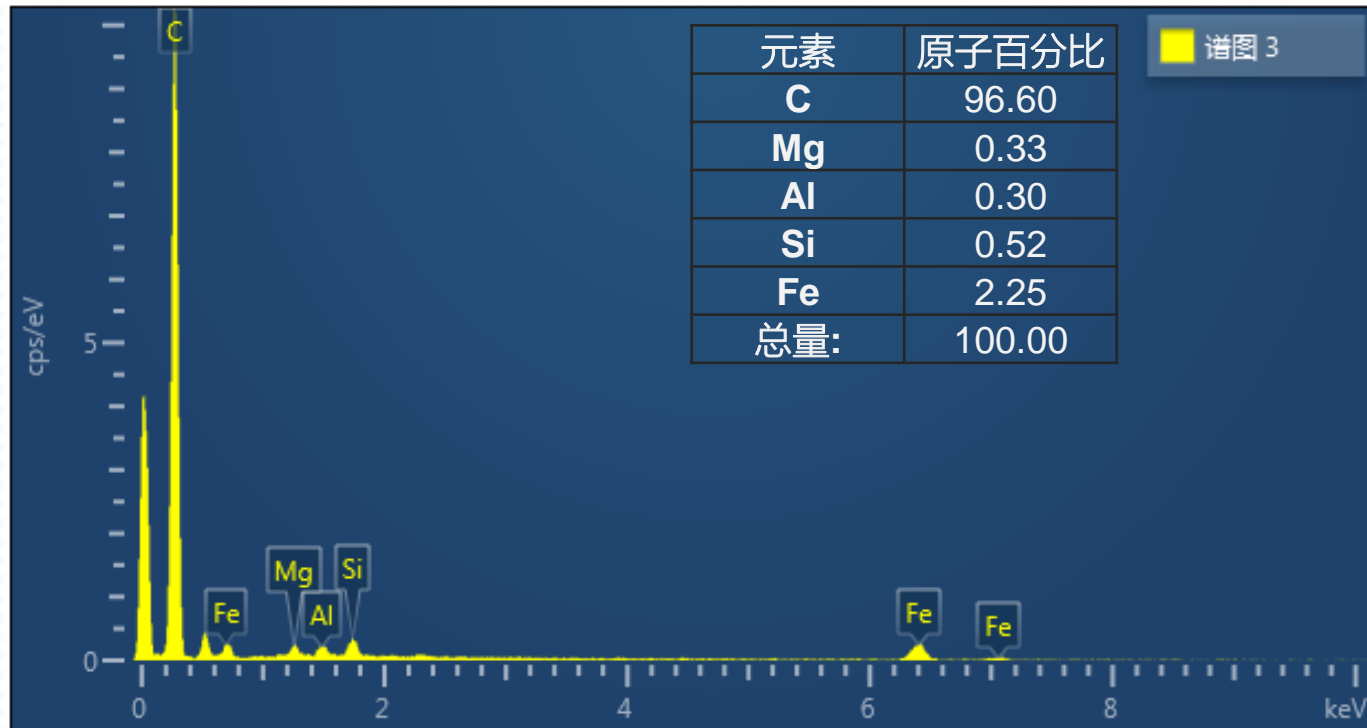
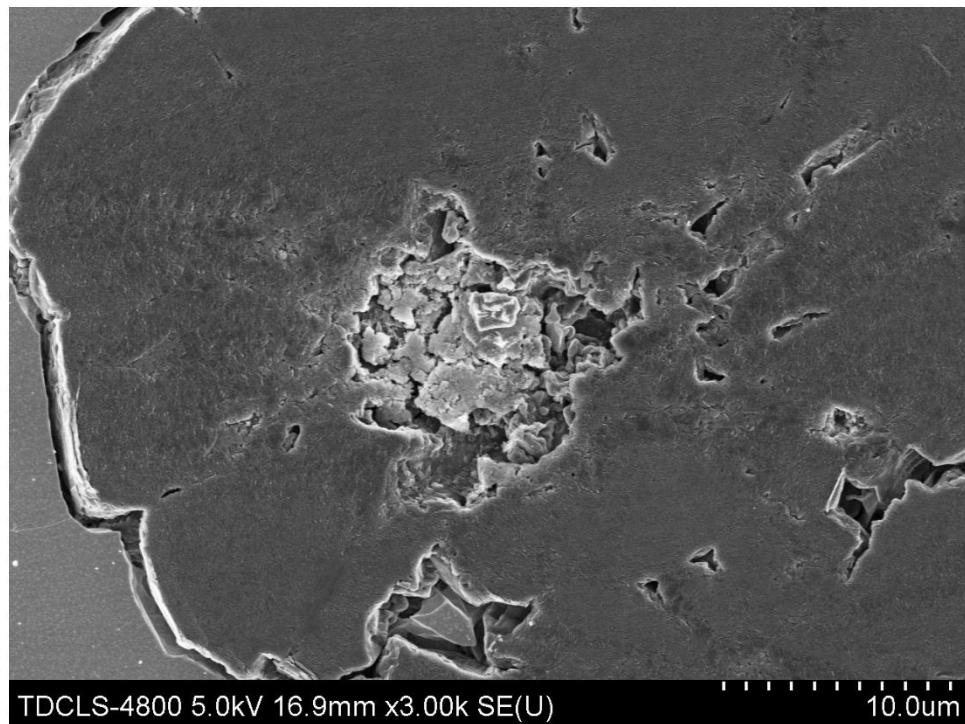
元素	原子百分比
C	33.05
Si	2.09
Ti	13.74
Fe	51.13
总量	100.00



**Ti元素相关的夹杂：**球化剂中Ti元素可能存在，钛的化学性质比较活泼，在铸铁中钛对碳比对铁具有较大的亲和力，很容易夺取碳元素形成TiC，而且钛与氮、氧、硫都有强烈形成化合物的倾向。



# 球墨铸铁试样分析



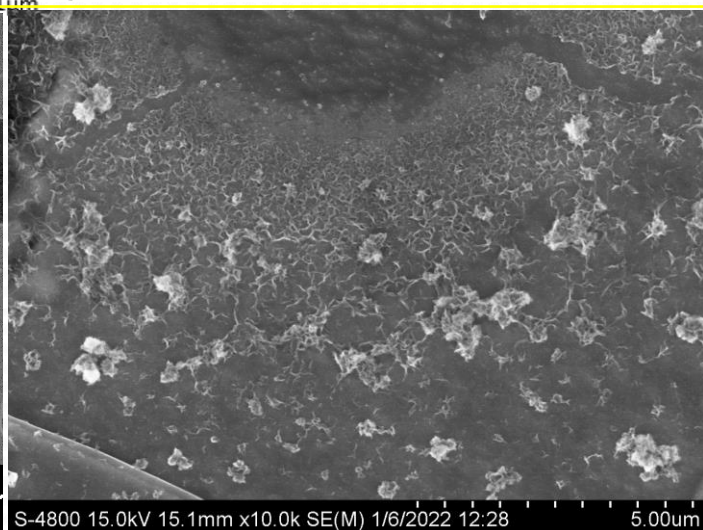
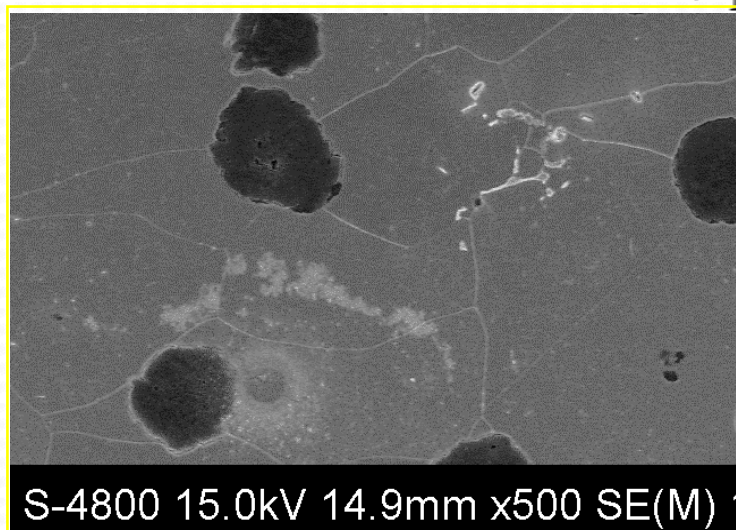
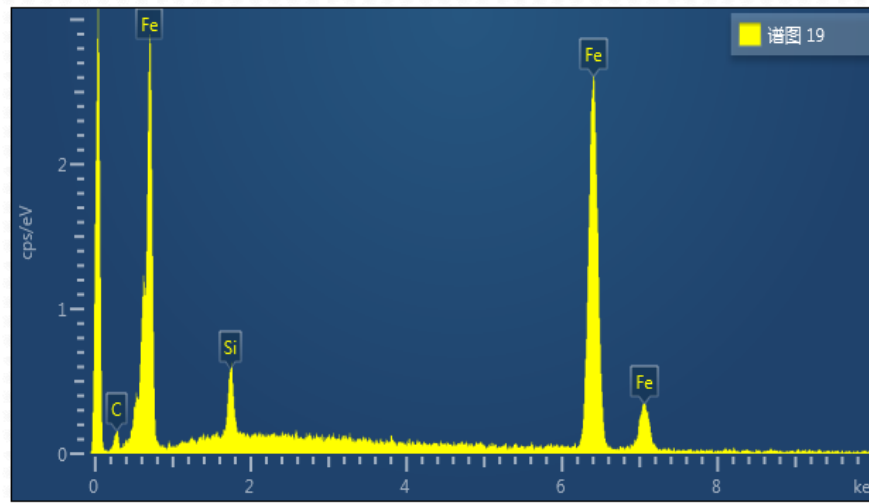
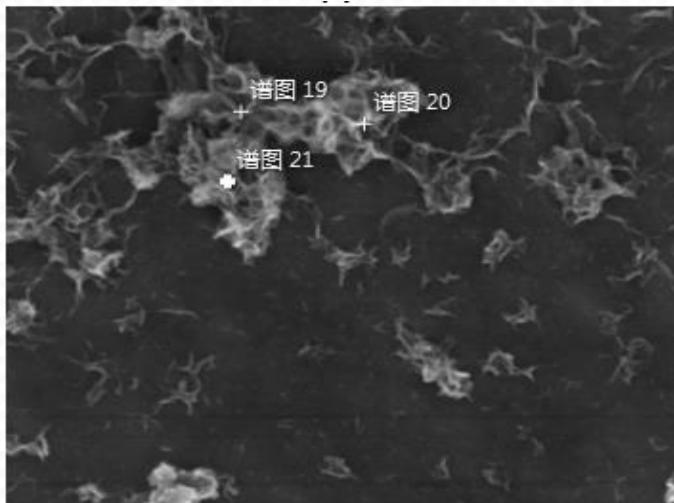
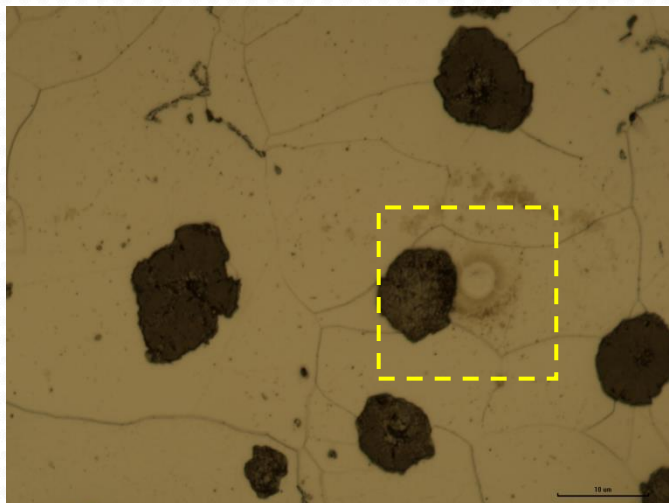
## 石墨形核核心

石墨球的形核核心一般主要成分是球化元素,且常见的球化元素有镁,钙,稀土等

——申志清, 山东大学硕士论文, 球墨铸铁石墨球核心组成及热力学分析

# 球墨铸铁试样分析：

## 锈斑的观察分析：



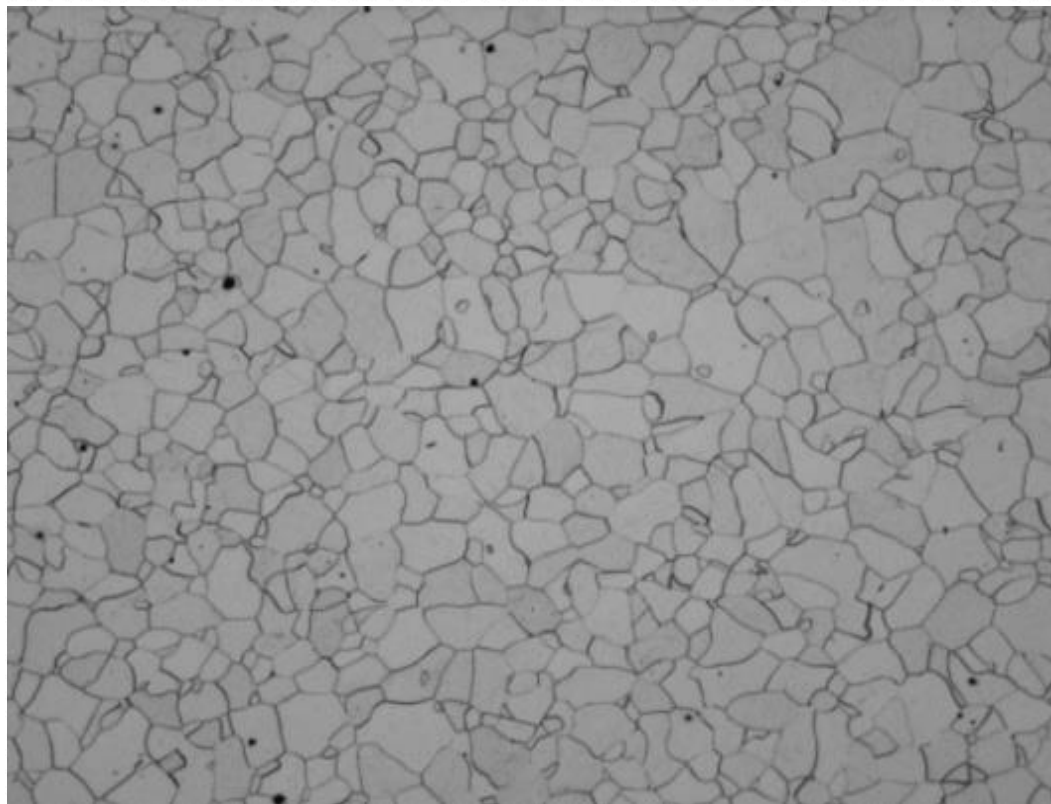
## 锈斑处形貌及成分分析：

	位置19	位置20	位置21
元素	百分比	百分比	百分比
C	13.21	16.23	13.21
Si	4.85	5.14	4.85
Fe	81.94	78.63	81.94
总量:	100.00		100.0

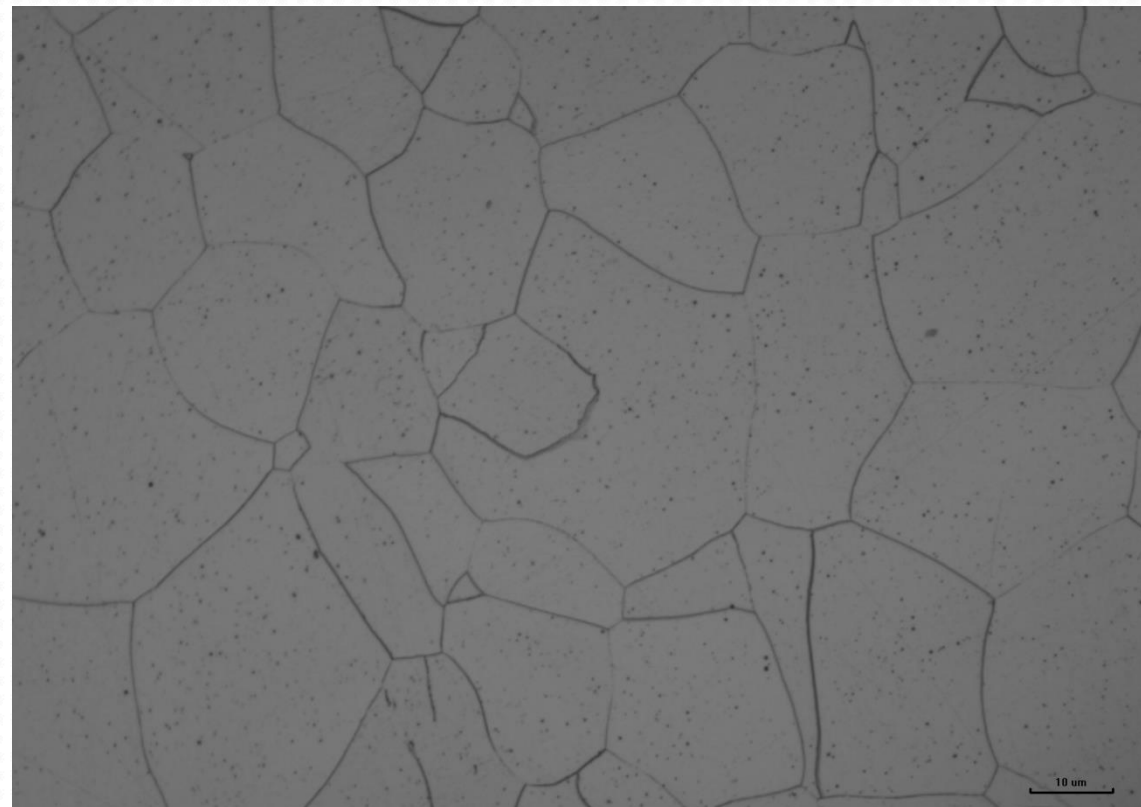


# 工业纯铁样品分析：

工业纯铁样品分析探索：



工业纯铁试样上的“大黑点”

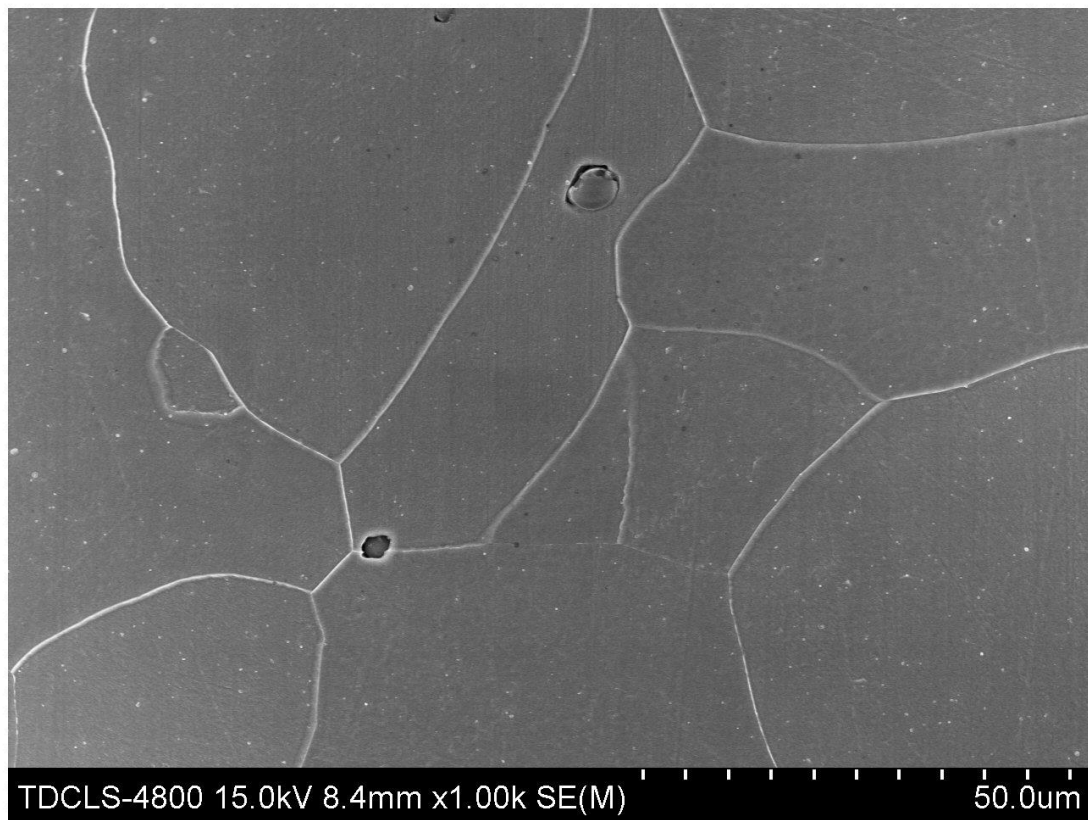
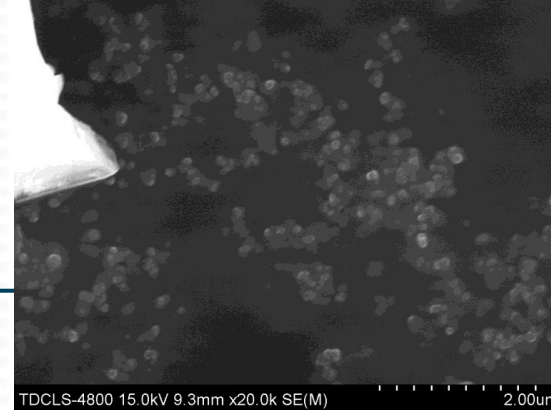


工业纯铁试样上分布的“小黑点”

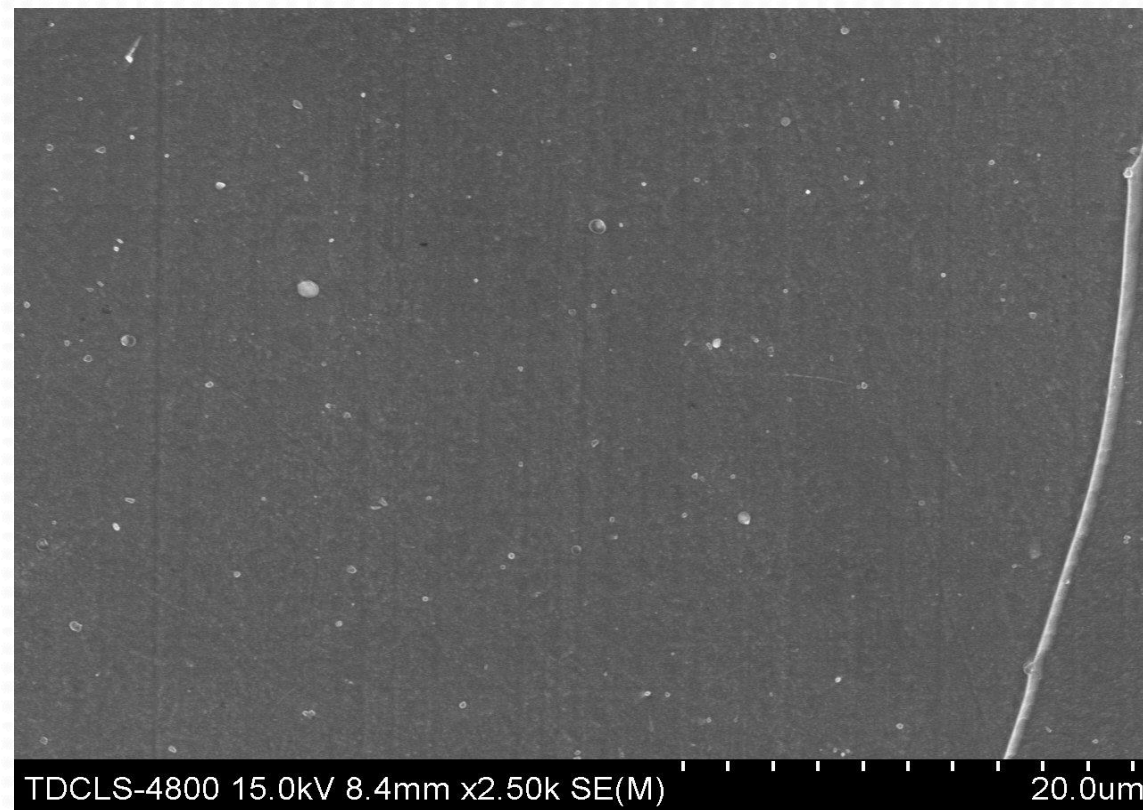


# 工业纯铁样品分析：

工业纯铁样品分析探索：



工业纯铁试样上的“大黑点”

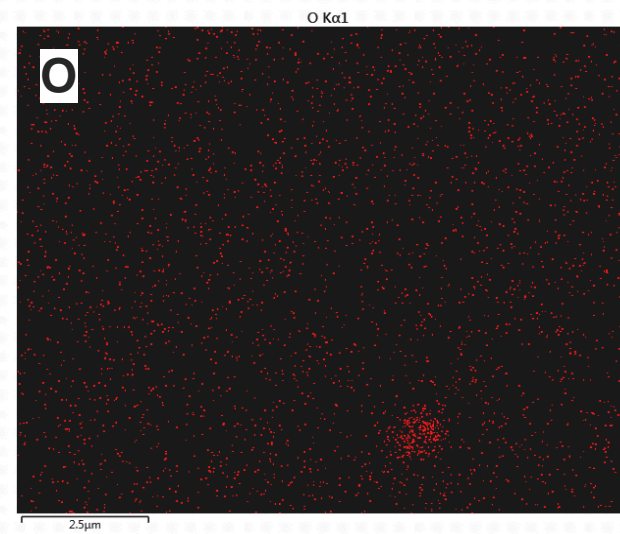
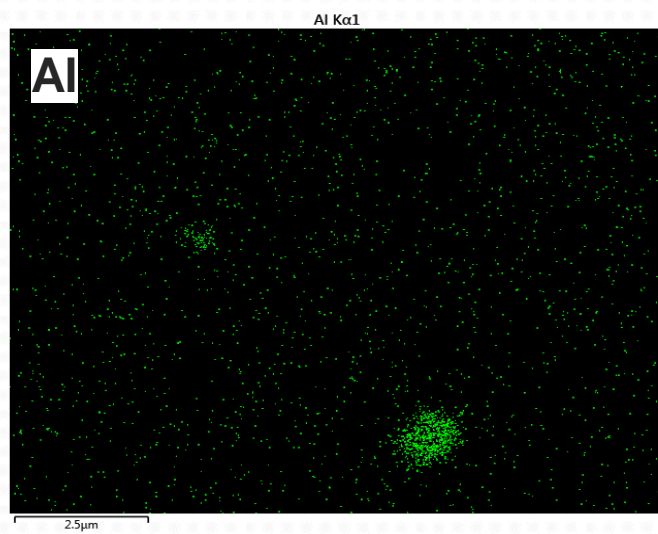
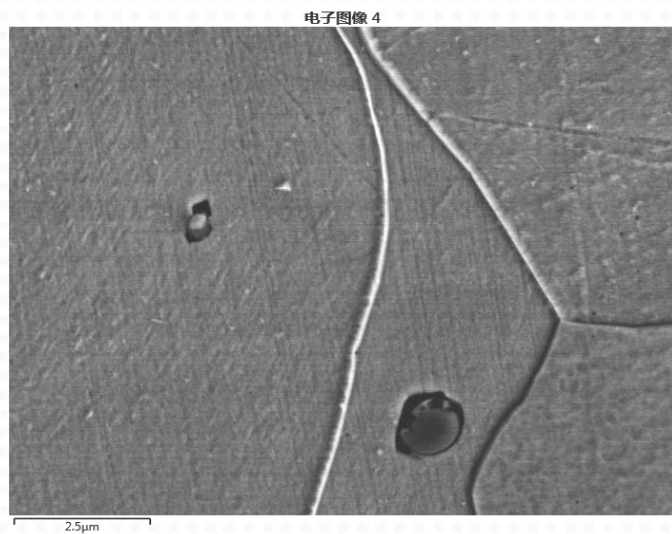


工业纯铁试样上分布的“小黑点”



# 工业纯铁样品分析

工业纯铁样品分析探索：

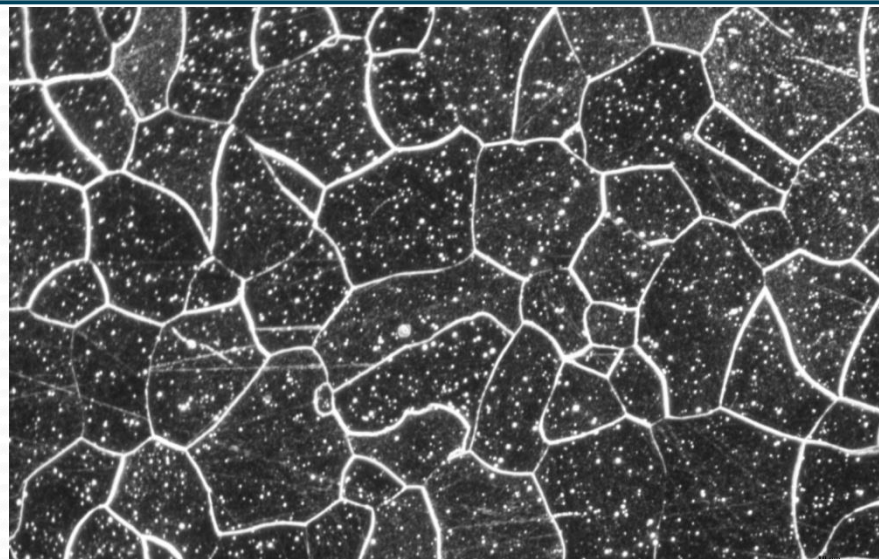
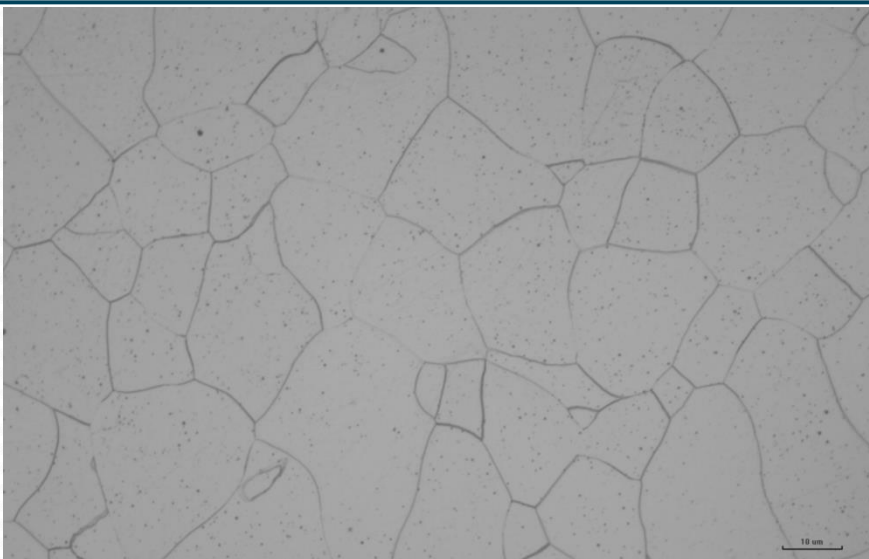


金属氧化物夹杂

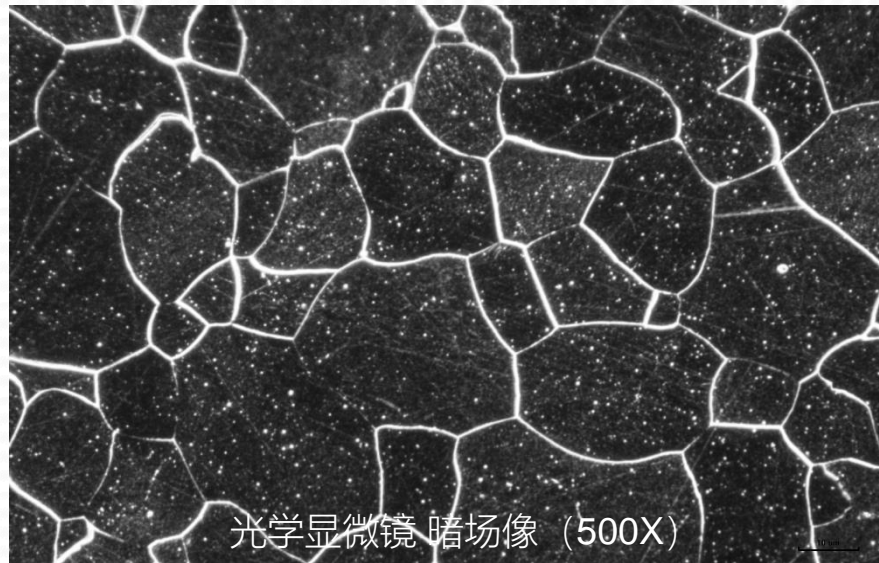
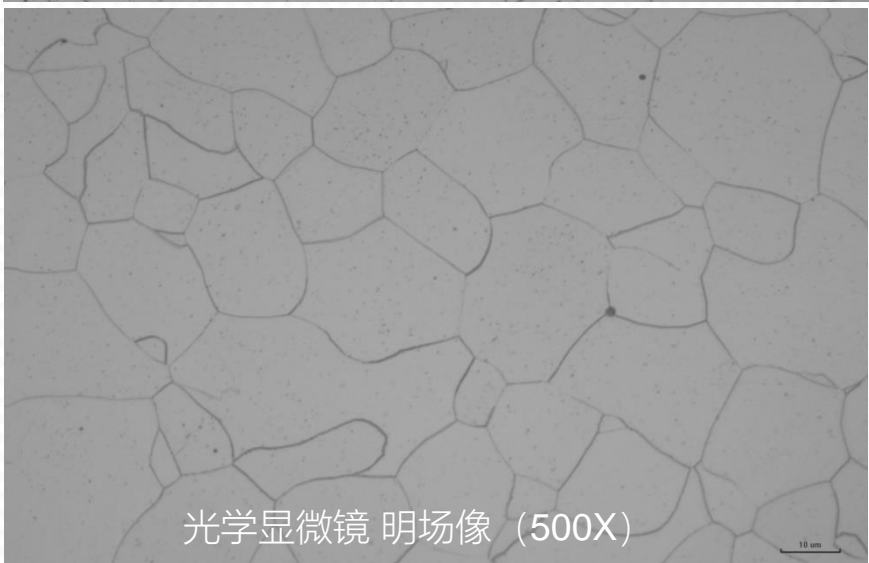
# 工业纯铁样品分析探索

乙醇超声清洗前后工业纯铁样品上面小黑点对比：

超声清洗前



超声清洗后



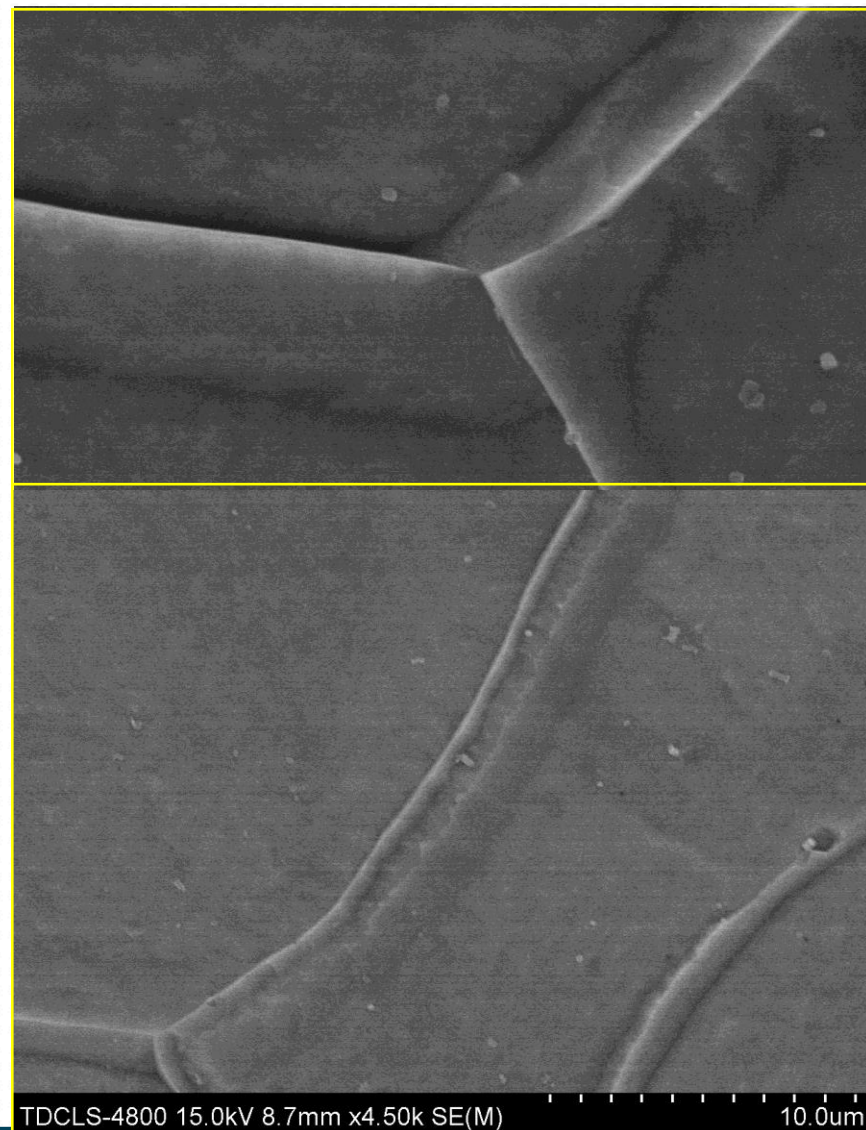
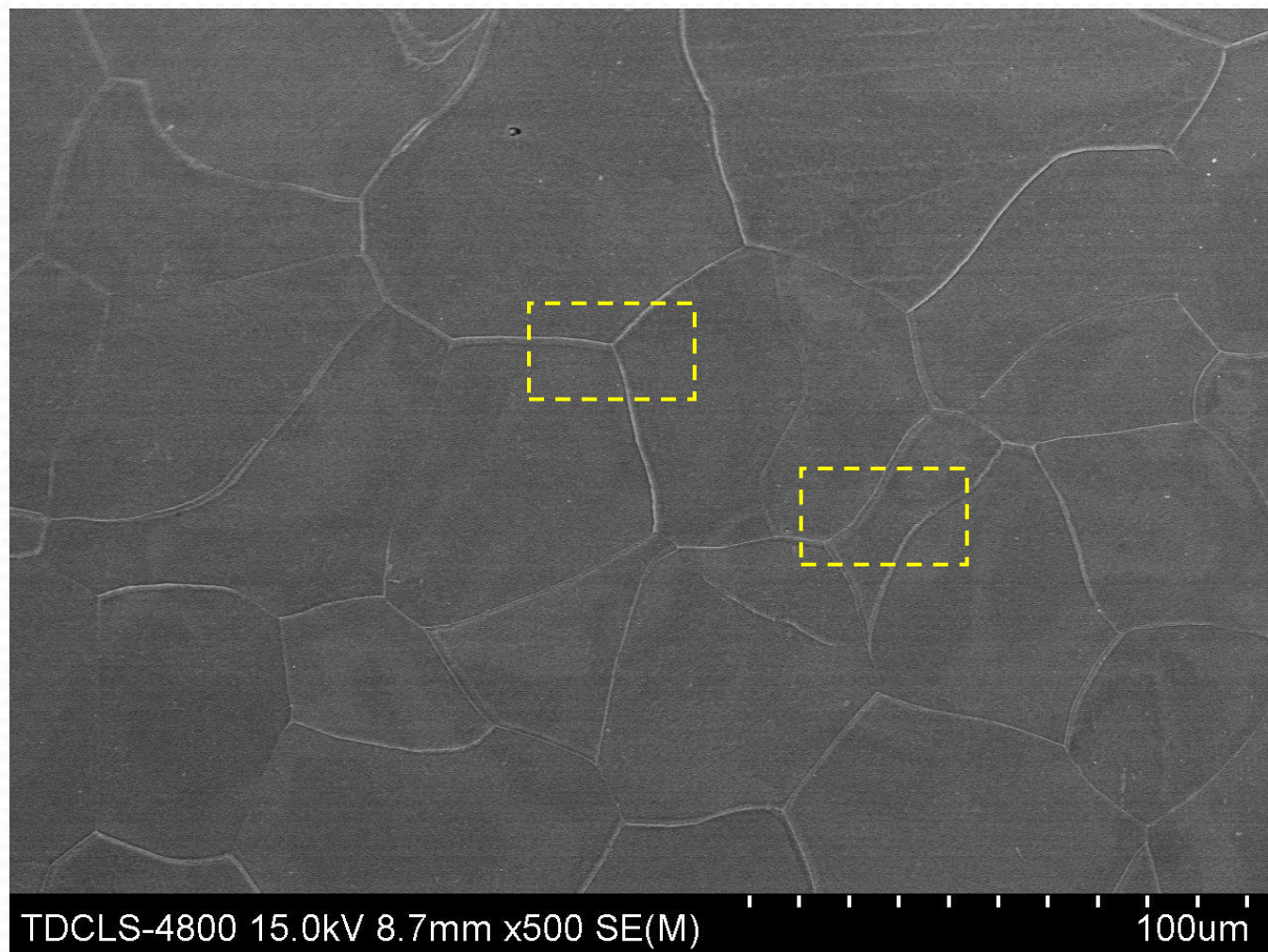
光学显微镜 明场像 (500X)

光学显微镜 暗场像 (500X)



# 工业纯铁样品分析探索

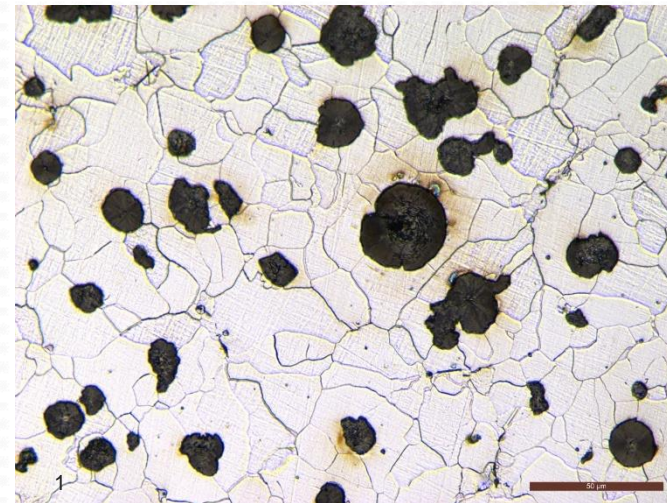
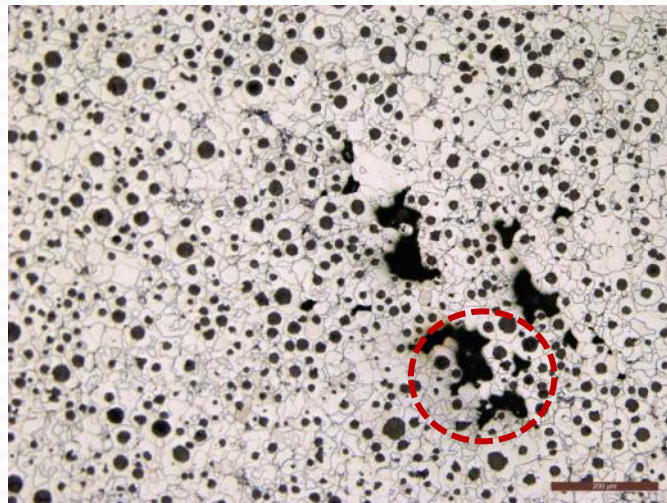
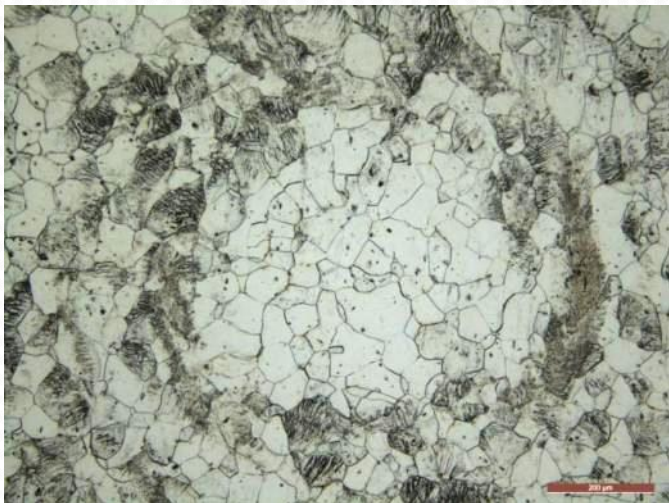
腐蚀较深时双晶界：





## 部分试题举例

试样制备中直接能观察到的现象判断及推断类：



- 图中问题为：（A）  
A 试样加工车痕变形层未去除  
B 样品制备过程中产生的应力层  
C 腐蚀不均匀造成深浅不一  
D 锈渍产生

- 图中所示为：（C）  
A 夹杂物  
B 污渍  
C 原材料孔洞缺陷  
D 抛光膏未清理干净

- 为了避免球墨铸铁出现生锈现象，以下哪几种方式是正确的：（ACD）  
A 用无水乙醇代替水对抛光后试样进行清洗  
B 用吹风机高温风延长对试样的吹干时间  
C 抛光过程中注意水的添加，避免试样过热  
D 吹干过程中将试样倾斜，加快乙醇的挥发

判断题：

试样组织出现浮雕状纹路是由于抛光时用力过大，或是抛光时间较长造成的。（√）

出现这种现象主要原因是在抛光过程中未将磨制划痕完全去除。（×）





## 部分试题举例

### 金相试样制备过程中操作规范及安全注意事项等：

- 处理使用后的腐蚀液，以下错误的是（ C ）
  - A. 不明的腐蚀液不可混合收集存放
  - B. 腐蚀废液不可任意处理
  - C. 少量腐蚀液用水稀释后，可以倒入下水道
  - D. 禁止将水以外的任何物质倒入下水道，以免造成环境污染和处理人员危险
- 各向同性非金属夹杂物，在正交偏振光下观察，旋转载物台时，其光示特征为（ A ）
  - A. 明暗没有明显变化
  - B. 发生四次明暗变化
  - C. 发生色彩变化
  - D. 发生二次明暗变化
- 暗场观察时，被观察面上（ B ）
  - A. 没有光线照射
  - B. 斜射光照射
  - C. 空心柱光线照射
  - D. 有微弱的光线照射

02

PART TWO

# 金相试样制备引申的其他应用问题

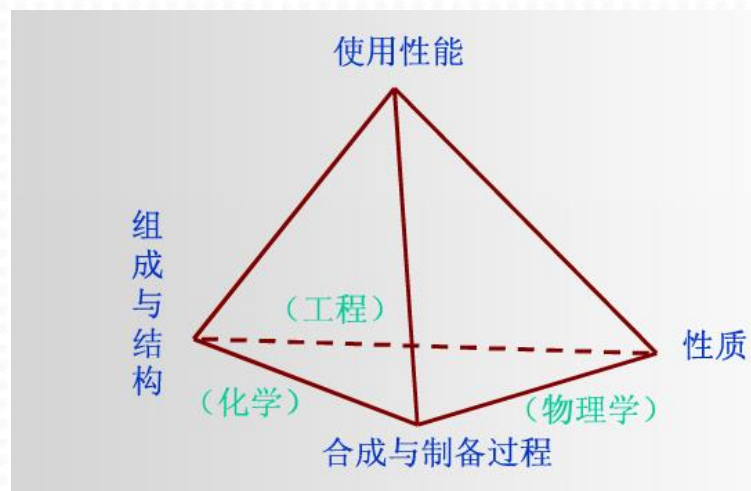


# 金相试样制备相关的其他应用问题

## 材料科学与工程学院学生培养目标：

### 子目标 1：工程问题分析与评价

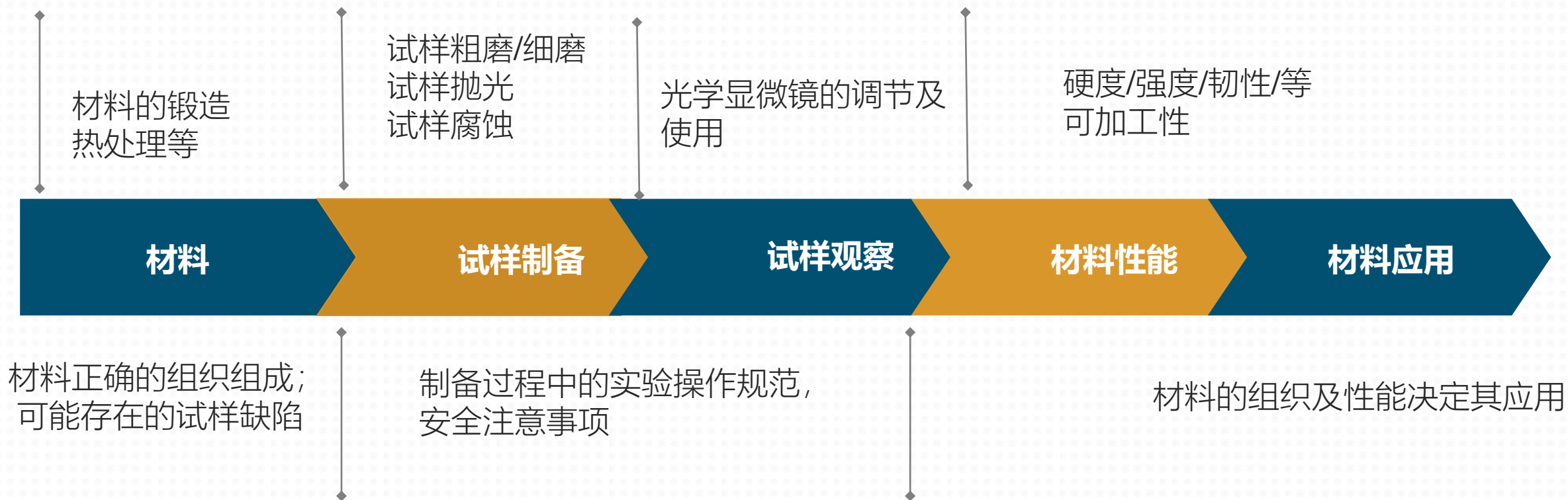
具备数学、自然科学基础知识和材料科学与工程的基本原理和专业知 识，并能将其综合应用于材料设计、制备与合成、加工与成型、使用与分析，正确和合理地评价材料的生产工艺和使用性能，并进行寿命预测。



材料组成-结构-性能-工艺过程之间关系示意图

# 金相大会题目范围：

金相分析技术、材料科学类基础、材料工程类应用（金属热处理）等知识





# 金相试样制备相关的其他应用问题

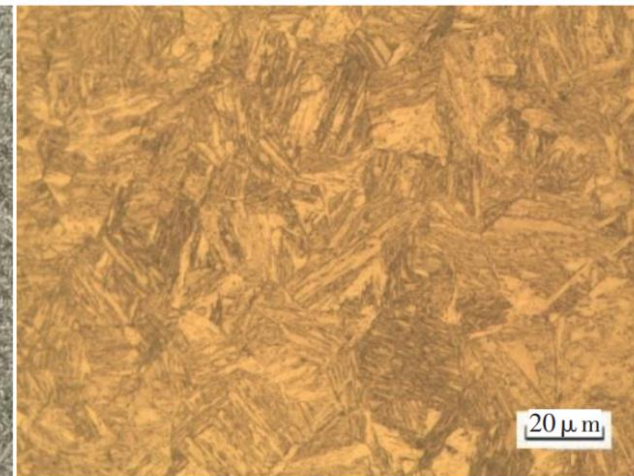
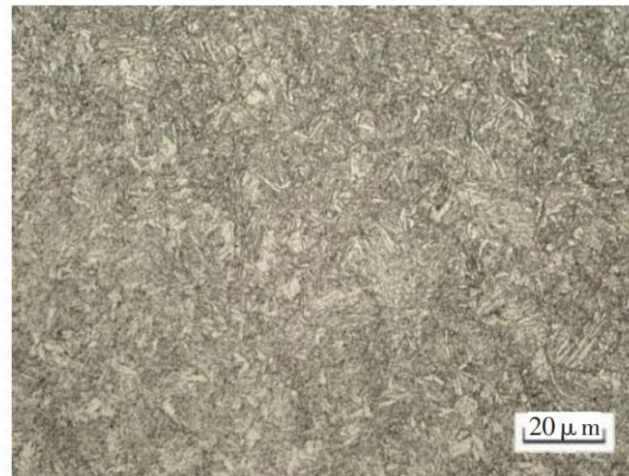
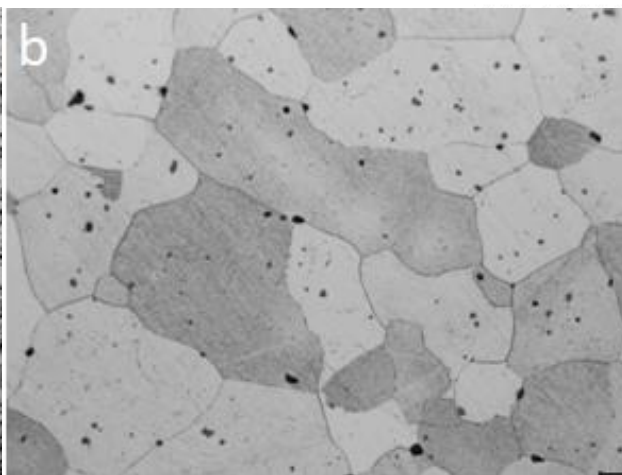
## 材料的制备工艺:

热处理: 热处理是指材料在固态下, 通过加热、保温和冷却的手段, 以获得预期组织和性能的一种金属热加工工艺

普通热处理: 退火、正火、淬火、回火

表面淬火: 感应加热表面淬火、火焰加热淬火

## 高温处理对高Co-Ni超高强度钢拉伸性能的影响



(a) Cu-Ni (30%) 合金铸态组织 (100X); (b) Cu-Ni (30%) 合金扩散退火组织 (100X)

(a) 标准热处理

(b) 高温处理+标准热处理

——葛利玲, 《光学金相显微技术》

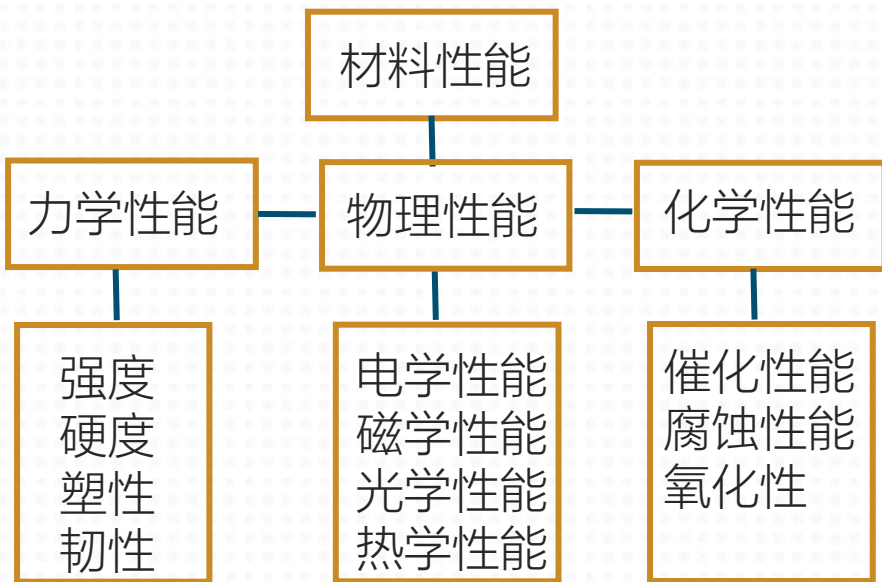
——李杰, 高温处理对高Co-Ni超高强度钢拉伸性能的影响, 湖南工程学院学报



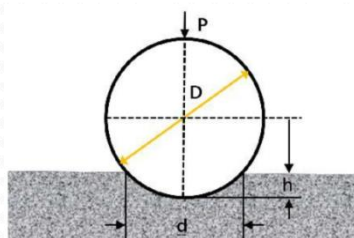
# 金相试样制备相关的其他应用问题

材料的性能：材料的力学，物理，化学性能

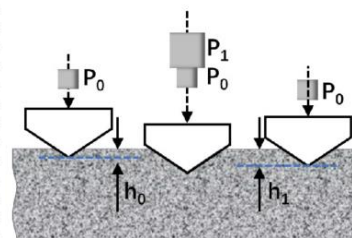
硬度测试方法：



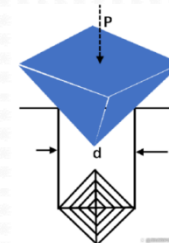
布氏硬度： 淬火钢球 载荷 压痕总面积  
 维氏硬度： 金刚石棱锥 载荷 压痕总面积  
 洛氏硬度： 金刚石圆锥 压入深度



布氏硬度



洛氏硬度



维氏硬度



$QT$   $XXX$  -  $XX$   
 球墨铸铁代号      最低抗拉强度      最低延伸率

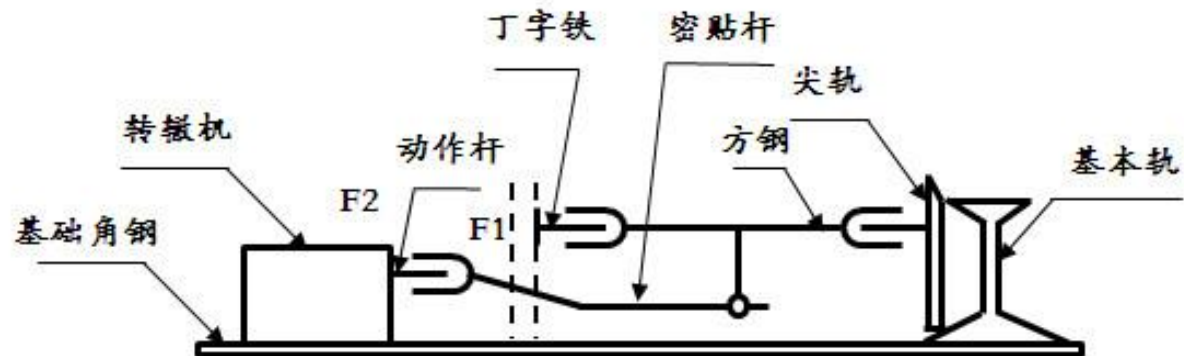
铁素体球墨铸铁，牌号有QT400-17，QT400-15，QT450-10等，具有强度低，但韧性较高的特点，主要用于要承受很大冲击和振动的零部件，例如一些车辆的底盘零件。



## ZD6-E/J型电动转辙机动作杆断裂失效分析

电动转辙机动作杆：45钢，直径40mm，经正火处理

动作杆的扁方一端与密贴调整杆铰链连接，动作杆工作约六年，在动作杆的扁方根部处发生疲劳断裂。  
断裂失效分析：化学成分分析、力学性能测试、宏观分析、断口扫描分析、金相组织观察及受力分析。



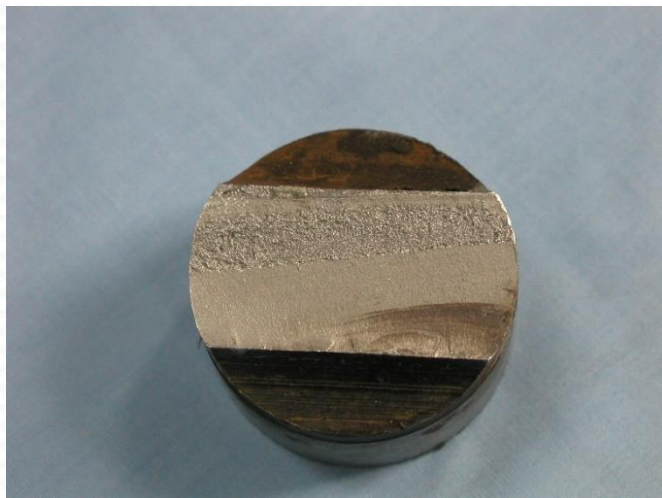
电动转辙机工作示意图

表1 动作杆的化学成分 (wt %)

含元素	C	Si	Mn	S	P
分析含量	0.48	0.20	0.57	0.024	0.027
GB699-88标准中45钢含量	0.42~0.5	0.17~0.3	0.50~0.8	≤0.040	≤0.040

### ➤ 动作杆化学成分分析

动作杆的化学成分见表1，符合GB699-88标准中45钢的化学成分。



动作杆断口宏观照片

## ➤ 动作杆力学性能试验结果

45钢制 $\phi 40\text{mm}$ 动作杆技术要求正火 $\text{HB} \leq 217$ ，在断裂动作杆件的外圆表面测试布氏硬度为203后，制成标准拉伸试样，其试验结果见表。动作杆的力学性能接近标准和技术要求。

表2 动作杆（45钢正火态）的力学性能试验结果

试验指标	$\sigma_b$ (MPa)	$\sigma_s$ (MPa)	$\delta$ (%)	$\Psi$ (%)
试验数据	610	340	24	49
GB699-88标准 中45钢数据	600	355	16	40



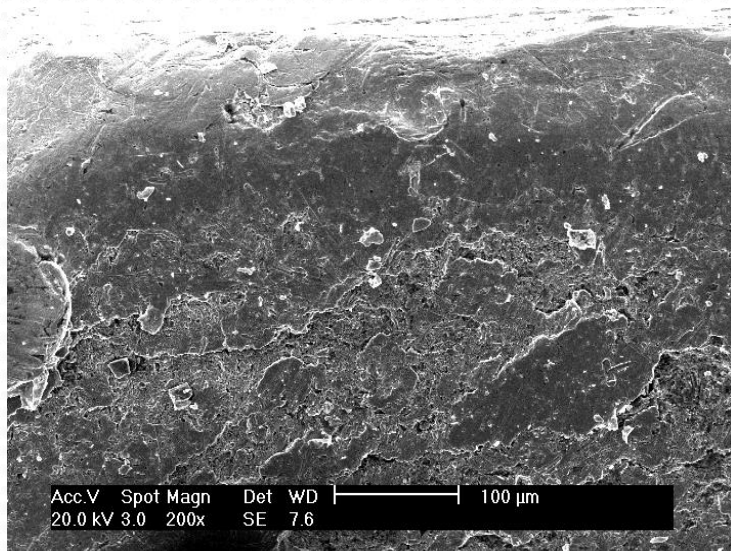
## ZD6-E/J型电动转辙机动作杆断裂失效分析

### ➤ 断口宏观分析

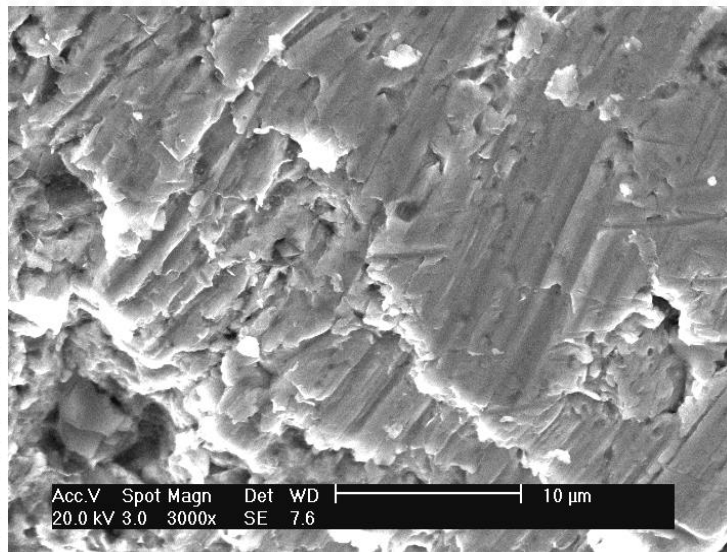
动作杆断裂发生在动作杆的扁方根部, 宏观断口形貌清晰, 断裂源位于断口右下方, 断口断裂源区表面较平坦, 裂纹扩展区可见明显的疲劳贝纹线, 瞬间断裂区靠近断口上方, 断口粗糙有金属光泽, 属于典型的疲劳断口。由疲劳区及贝纹线的形态可知, 疲劳扩展是由扁方根部右下角向斜上方扩展。



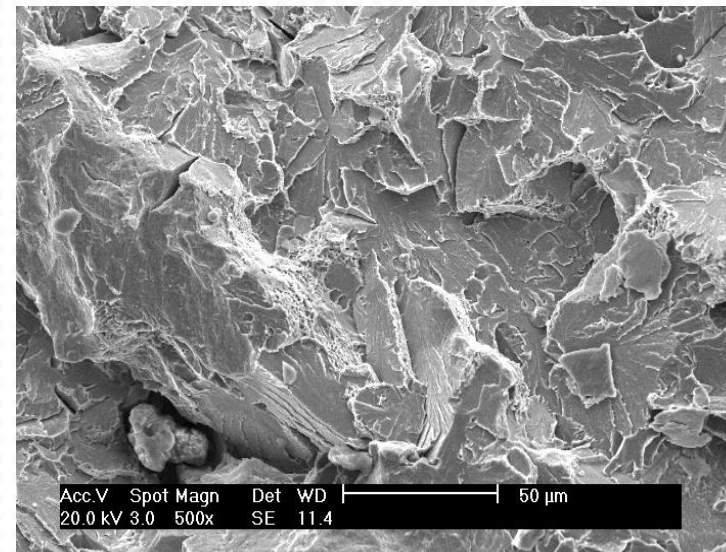
断裂源区未见非金属夹杂物等明显缺陷, 扩展区有明显的疲劳辉纹, 瞬间断裂区呈解理脆性断裂。



断裂源区



扩展区的疲劳辉纹



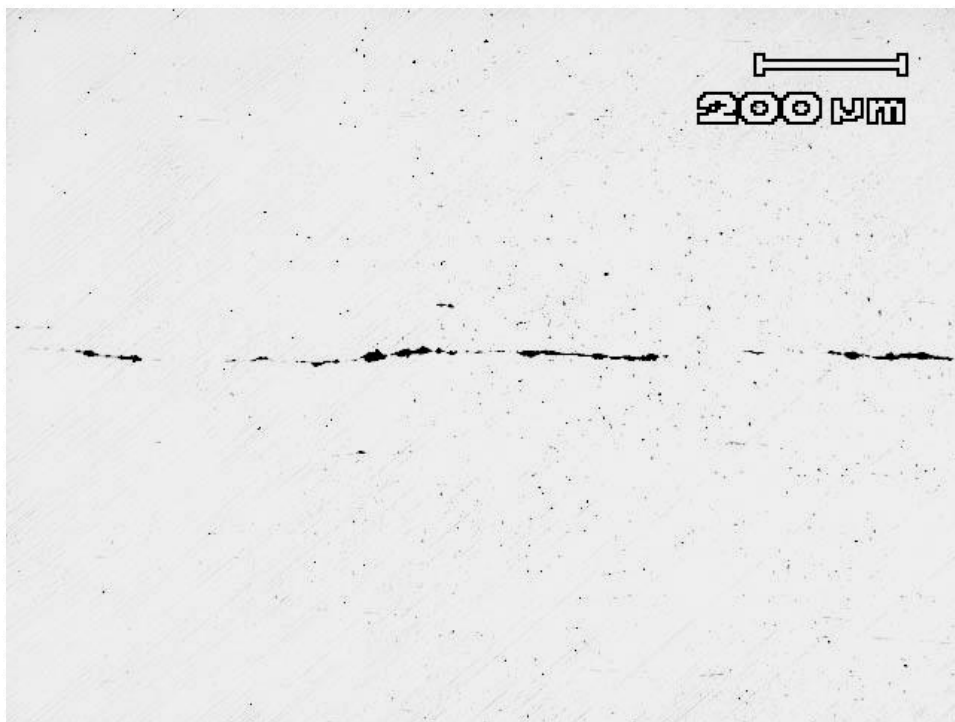
瞬间断裂区的脆性准解理断口



## ➤ 金相分析

### 非金属夹杂物分析

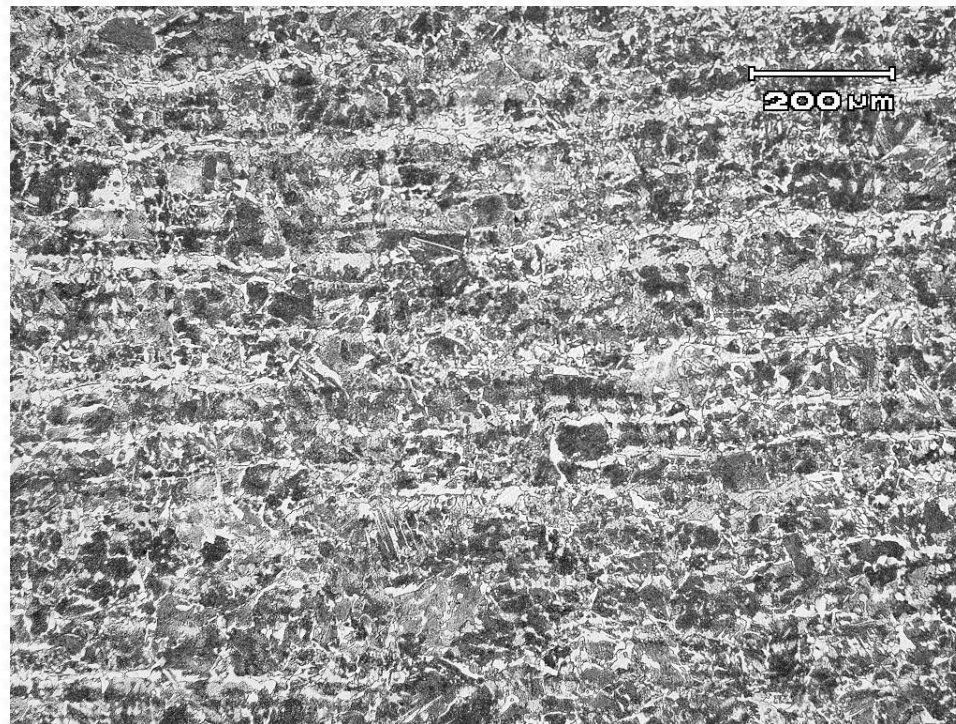
动作杆材料有硫化物和氧化物夹杂，按GB10561-89“钢中非金属夹杂物显微评定方法”评级为A类2.5~3级和B类2.5~3级。



非金属夹杂物（B类）

### 显微组织分析

动作杆（正火态）的显微组织为铁素体和珠光体，呈带状组织如图，按YB31-64其带状组织评级为B列2~3级。

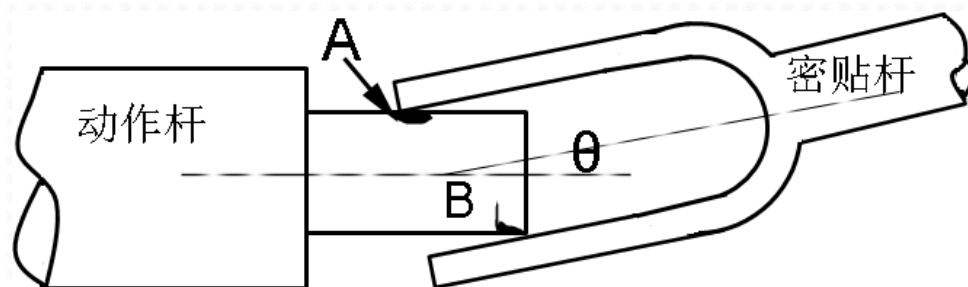
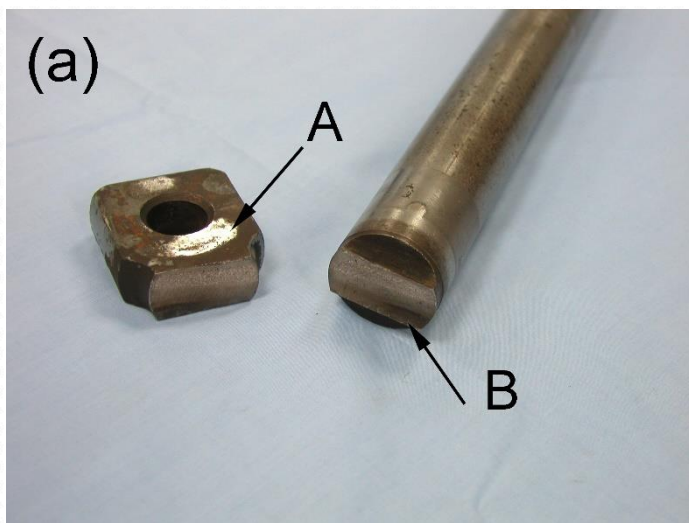


显微组织为铁素体+珠光体，呈带状分布



## 失效分析结果：

1. 材质存在明显带状组织。动作杆中非金属夹杂物主要是硫化物含量较多，使得材料的韧性降低，使得钢的机械性能降低，特别是降低塑性、韧性及疲劳极限。断口呈现解理脆性断口。对动作杆力学结果表明材料的屈服强度为340MPa，略低于标准值355MPa。
2. 动作杆断口处存在明显的磨损，可能受力不均匀。对动作杆的受力分析表明动作杆在拉入位置时其轴心线与密贴调整杆轴心线不在同一水平面相交，不良的受力状态使得动作杆最终疲劳断裂。



动作杆受力示意图

## 部分出题举例

- 球墨铸铁样品球化不良的可能原因有：（ABCD）
  - A. 化学成分S含量偏高，与球化元素反应，导致球化元素不足
  - B. 铸件壁厚太厚
  - C. 球化处理温度过高
  - D. 铁液停留时间过长
- 铸铁中的石墨，主要有（ABCD）
  - A. 片状
  - B. 球状
  - C. 团絮状
  - D. 蠕虫状
- 钢以铁为主要元素，含（A）量一般在2%以下，并含有其他元素的材料。
  - A. C
  - B. B
  - C. O
  - D. Cr

### 判断题

- 随含碳量的增加，钢的强度、硬度不断提高，而塑性韧性降低。（√）
- 20CrMo 钢的含碳量大约是0.2%，铬大约是1%。（√）
- 多晶体的晶粒越细，则强度、硬度越高，塑性韧性也越大。（√）



03

PART THREE

# 学生问卷调查反馈

# 学生问卷调查反馈

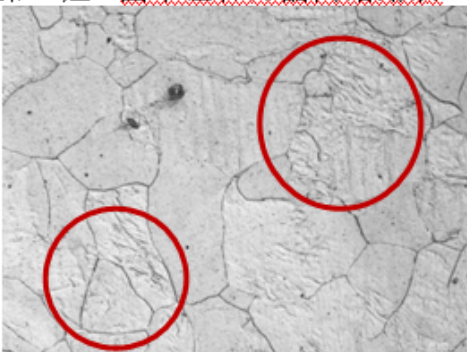
第7题...45号钢的含碳量为4.5%。.....(B).....[单选题]

选项	小计	比例
A正确	8	35.71%
B错误	16	64.29%
本题有效填写人次	24	

第14题...珠光体是一种：(C).....[单选题]

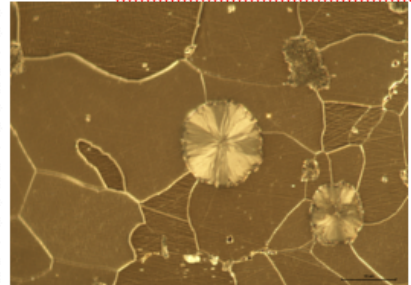
选项	小计	比例
A固溶体	6	21.43%
B化合物	0	0%
C机械混合物	14	64.29%
D夹杂物	4	14.29%
本题有效填写人次	24	

第10题...图中注释为晶内细划痕。(B).....[单选题]



选项	小计	比例
A正确	12	57.14%
B错误	12	42.86%
本题有效填写人次	24	

第12题...图中球形石墨周围的圆圈是由(A)造成的.....[单选题]



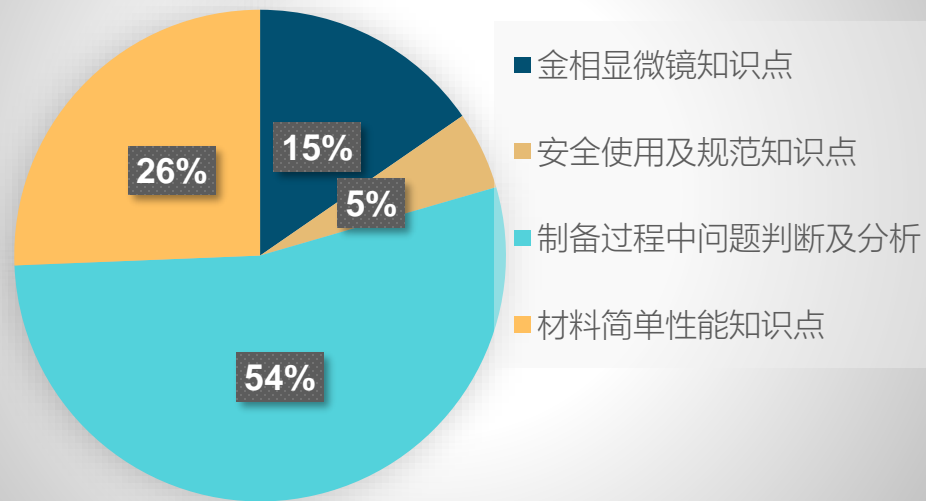
选项	小计	比例
A石墨球与基体之间形成的空隙	8	28.57%
B石墨球周围残留的水渍	8	42.86%
C石墨周围的晶状析出物	5	14.29%
D试样制备残留的研磨膏	3	14.29%
本题有效填写人次	24	



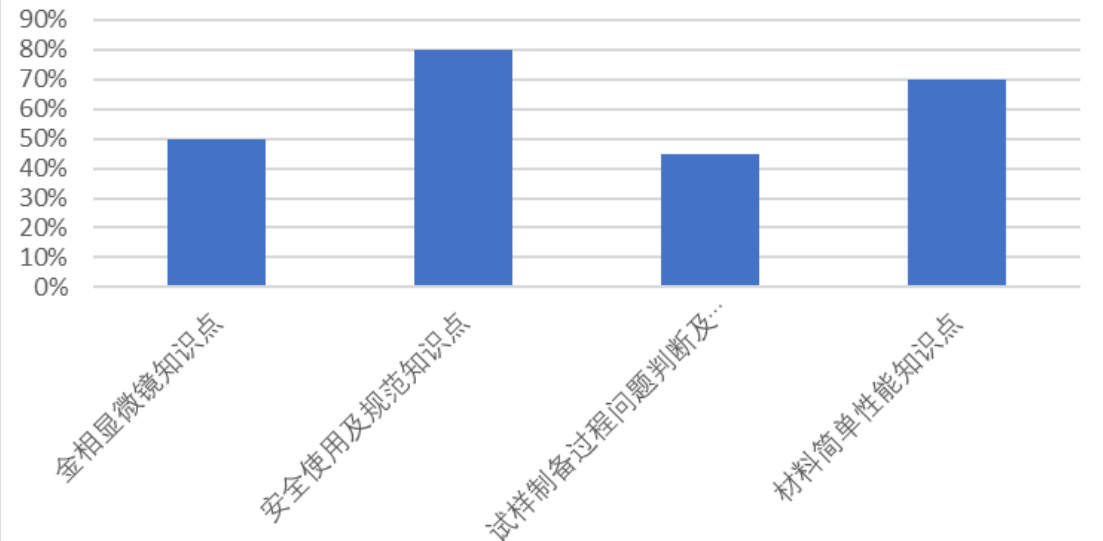
# 学生问卷调查反馈

金相显微镜知识点： 50% 的正确率  
安全使用及规范知识点： 80% 的正确率  
试样制备过程问题判断及分析： 45% 的正确率  
材料简单性能及应用知识点： 70% 的正确率

## 出题知识点



## 知识点正确率



# 学生问卷调查反馈

上述试题难易程度如何？提出关于金相大会题库建设合理化建议，可包括题型、内容以及相关拓展等方面：

题目难易程度适中。关于材料本身的题目可适当拓宽，例如某碳钢的成分与其金相组织的关系(碳含量达到多少时出现珠光体、xx钢的组织以什么为主等)，对金相组织的认识能进一步加深。实验室安全与显微镜操作相关的问题觉得可以多搞一些，安全与操作是制备试样基础上的基础。可以提出一些与金相组织腐蚀后能够呈现不同颜色原理的问题，比如由于晶粒取向不同，受腐蚀程度有所差异(某晶面更容易发生反应)，从而显示出的颜色不一样，再比如珠光体腐蚀是由于铁素体跟渗碳体的反应电位不同，优先与谁反应进而呈现什么颜色等等。也可以根据已经制备的试样，在提出其不足的基础上设置简答题，提出修正缺陷的方案等。希望以上能够加深大家对金相的认识和理解，从而更好的应用到实际中去。

试题整体难度适中，建议增加与具体操作相关提醒，如观察到异常现象，其可能的导致原因以及如何解决？建议减少与材料生产相关问题。

对于材料类专业本科三年级学生难度适宜。单选、多选和判断题型可以主要考察金属学基础和制样手法的正确性（避免违规操作）。金相中出现的问题和解决方法可以用多选和简答题考察，主要是因为照片中展示的情况其造成原因可能并不唯一，解决方法也可能不唯一；照片的分辨率应该再高些，太不清楚了，不容易分辨。此外，目前实际科研中铝材的使用频率也很高，铝合金金相制样是老大难问题，容易出现划痕，不容易正确腐蚀，希望金相大会在除了传统的钢材金相之外更多关注一下铝合金金相的制样。

有很多题答案不确定，因为训练的时间太短，对很多现象产生的原因不太清楚。

较难，建议设置一个题库，方便选手准备

试题较难

难易程度适中

偏难

难易适中

还可以，但是有写选项有点零模两可

题型很全，我觉得很难。

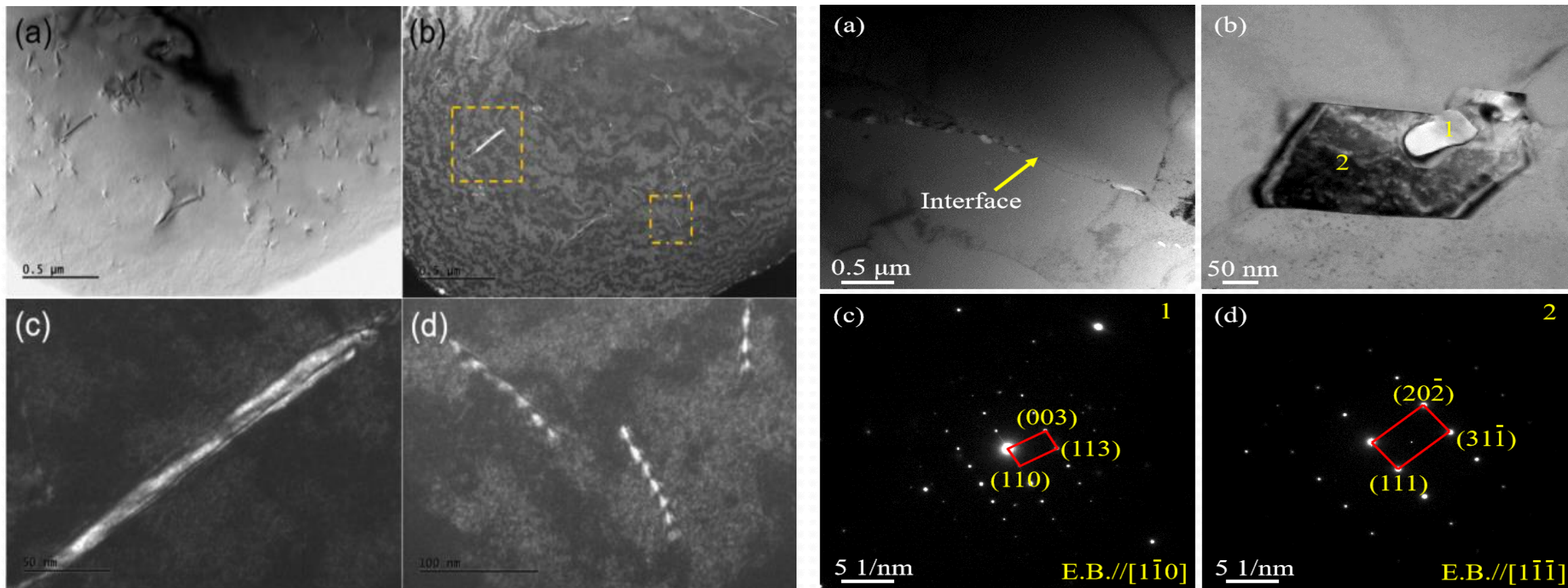
难度适中。

金属学没学好，感觉有点难



## 更多相关拓展知识

- 不同的先进材料：高熵合金/高温合金等
- 多种检测分析技术：透射电子显微镜/激光共聚焦显微镜/X射线衍射分析/原位技术

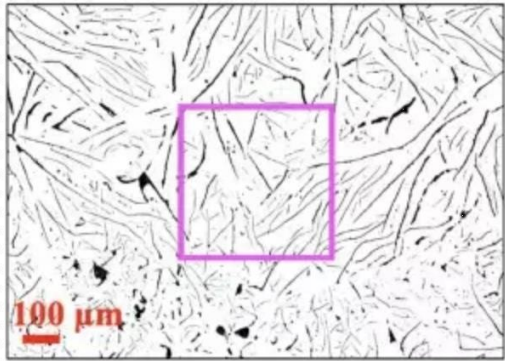


高熵合金 (Fe-30Mn-10Cr-10Mo) 的位错观察

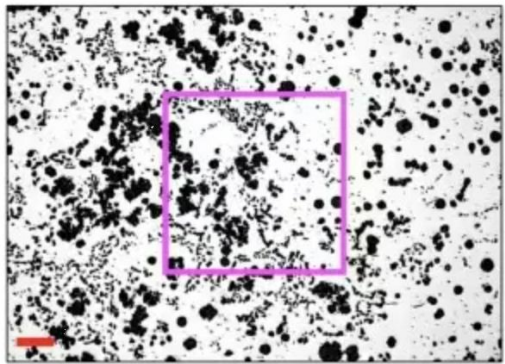
Ni/718Plus(高温镍基合金)界面处析出相分析



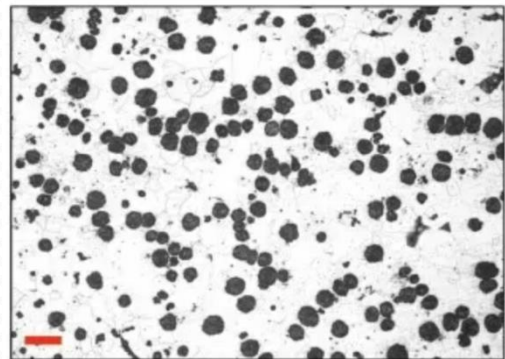
# 多种先进表征手段辅助金相分析



Mg: 0 wt.%

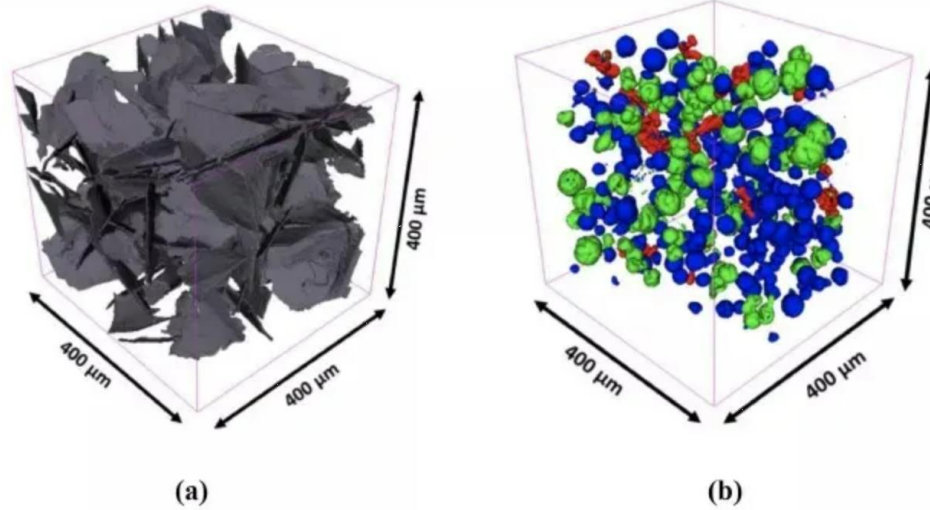


Mg: ~0.02 wt.%

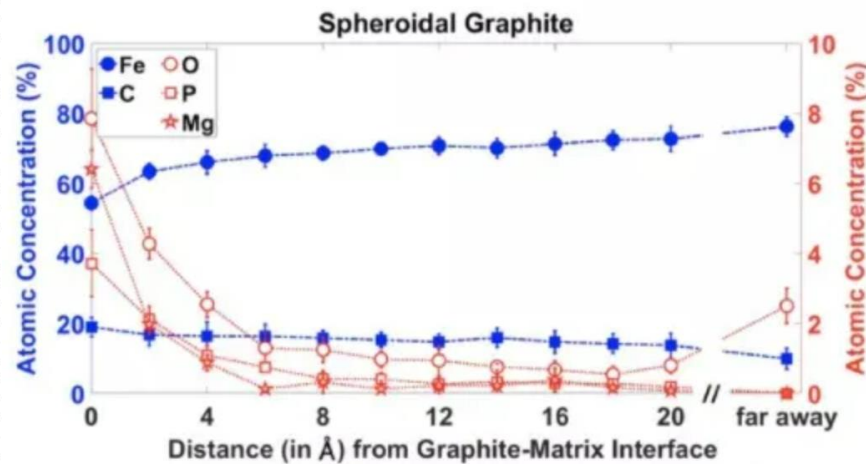


Mg: ~0.04 wt.%

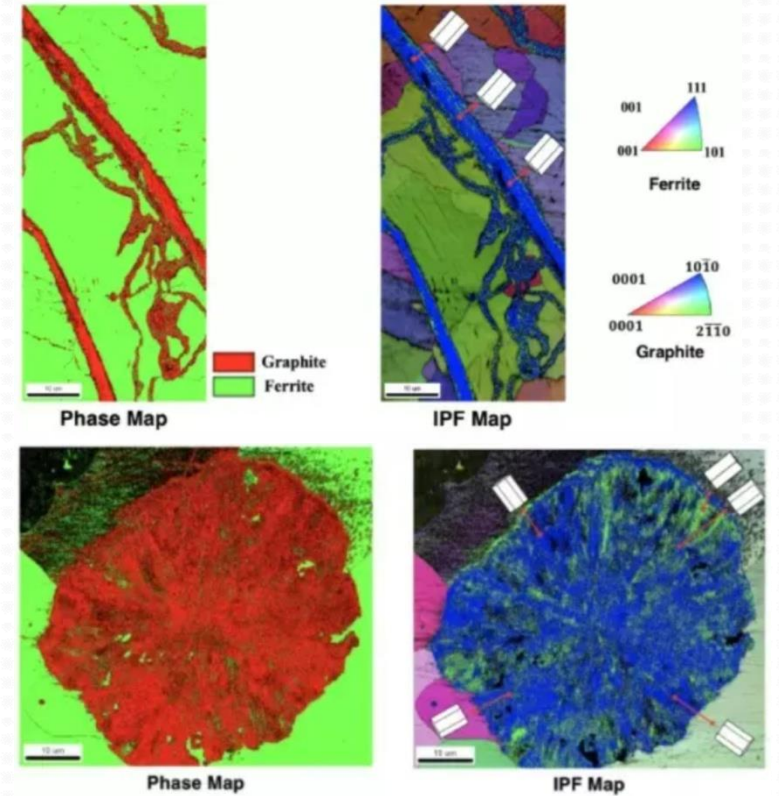
## 三维X射线显微镜



## 俄歇电子能谱(AES)



## EBSD分析



多种分析手段结合分子动力学揭示铸铁中Mg的作用下石墨形态的形成机理。



谢谢，请批评指正！

