



# 聚焦新工科 强化创新实践能力培养

——天津大学材料学院实验中心教学改革探索与实践

材料科学与工程国家级实验教学示范中心（天津大学）

龙丽霞

2024.03.24

- 一、新工科背景下创新人才培养需求**
- 二、面向新工科的实验教学改革探索**
- 三、实验教学改革取得的成效**



# 一、新工科背景下创新人才培养需求



天津大学以“**新工科**”建设为牵引，从**理念倡导和顶层设计**到**推进落实和质量提升**，**全面深化本科教育教学改革**。

复旦共识



天大行动



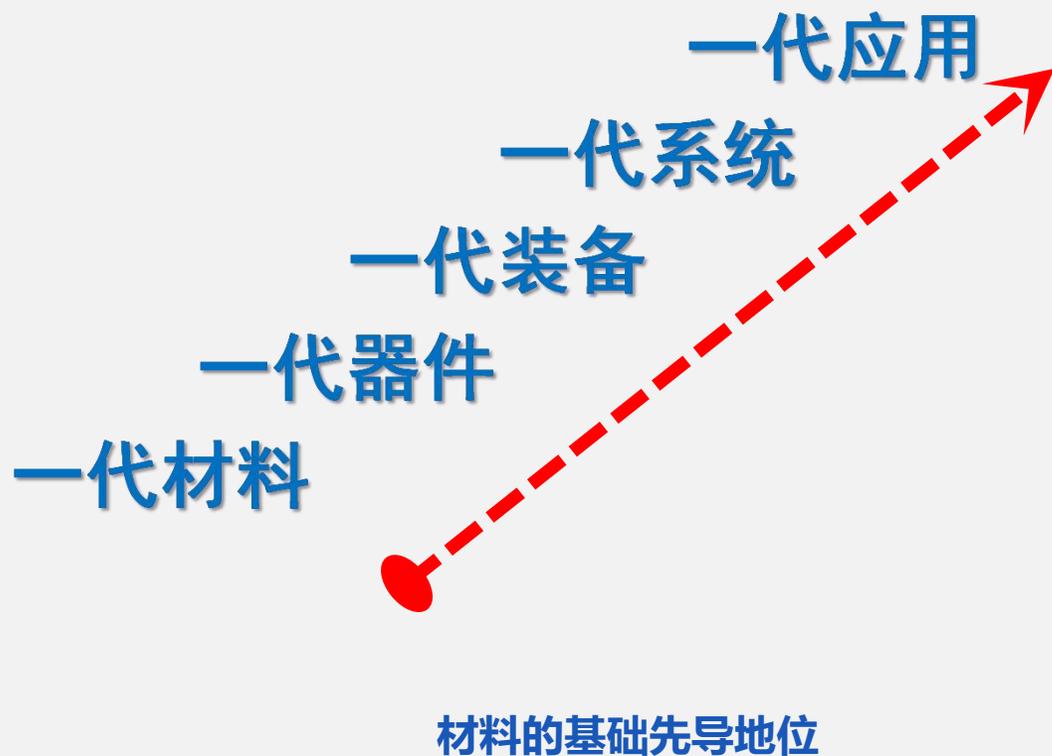
北京指南



# 一、新工科背景下创新人才培养需求



材料学科既是基础学科，又是产业先导。新材料是国家科技竞争和战略型产业发展的短板与瓶颈，迫切需要培养具有**解决复杂工程问题能力的新工科创新人才**。



中国路



中国箭



中国机



中国核电



- 一、新工科背景下创新人才培养需求
- 二、面向新工科的实验教学改革探索
- 三、实验教学改革取得的成效



# 实验中心概况



## 发展历程



1960

金相实验室

1985

材料科学与工程系  
实验室



1998

材料科学与工程学院  
平台实验室

2006

材料科学与工程  
实践教学中心



2012

材料科学与工程国家级  
实验教学示范中心 (天津大学)

2015

教学与大型仪器中心  
(北洋园校区)



# 实验中心概况



□ 占地面积3000平米，实验室35间；现有基础教学设备877台套、大型仪器20余台套，总资产超1.4亿元。



X射线光电子能谱



球差校正透射电镜



热场发射扫描电镜



X射线衍射仪



显微结构实验室



力学性能实验室



热处理实验室

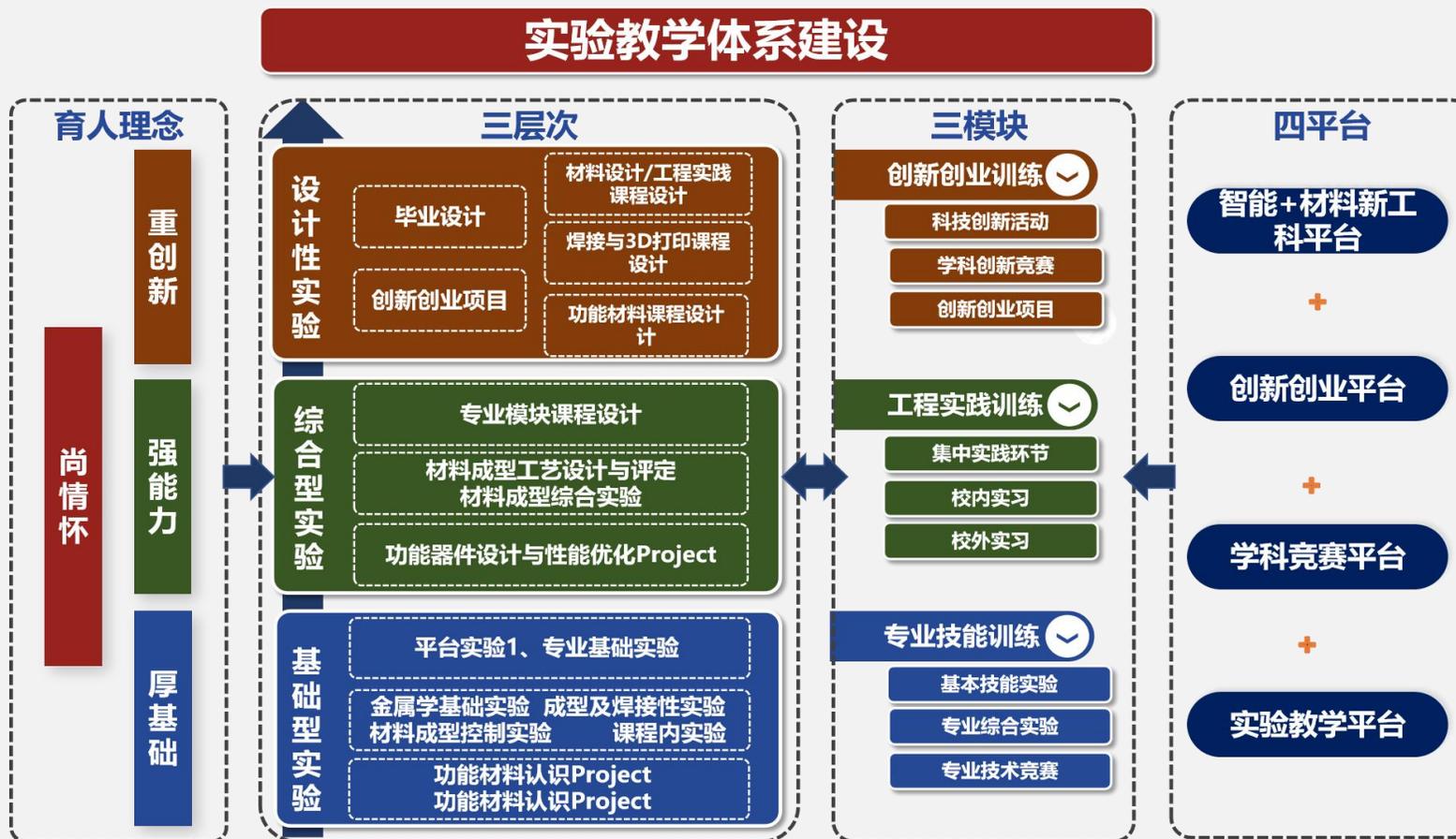


化学制备实验室

# 实验中心概况



□ 2023年面向材料学院3个专业的900余名学生开放，2023年开设实验课程45门，其中独立实验课程24门，实验项目共190项，实验人时数达到11.5万。



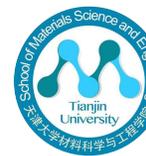
# 实验中心概况



口 中心专职实验队伍9人，其中正高级1人、副高级2人，具有博士学位4人，主持国家基金面上和青年项目5项，获天津大学“青年文明岗”、“先进基层党组织”、“三八红旗集体”等荣誉称号。



## 二、面向新工科的实验教学改革探索



### 改革举措

兴趣导向的专业特色实践活动探索

赛教融合的实验教学模式改革

基于大型仪器的创新实验教学探索

线上线下、虚实结合的实验教学模式探索

项目驱动的实验课程教学改革

# 2.1 兴趣导向的专业特色实践活动探索



在特色实践活动中，增强学生专业学习兴趣，引导学生热爱材料专业

高分子材料



树脂凝胶



水晶滴胶创意工坊

金属材料



金相制备



金相创意工坊

无机非金属材料



陶艺制作



陶瓷创意工坊

材料加工



增材制造

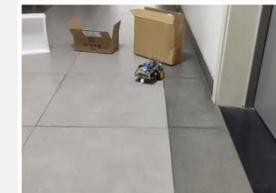


3D打印创意工坊

新能源材料



新能源  
动力车



清洁能源动力车  
创意工坊

# 2.1 兴趣导向的专业特色实践活动探索



## “走进材料微观世界” 探索实践

思政教育贯穿全程

通识讲座

天津大学  
Tianjin University

走进材料世界  
—— “形貌”

天津大学材料科学与工程学院 2023.08

天津大学  
Tianjin University

走进材料世界  
—— 成分&结构

天津大学材料科学与工程学院 2023.08

展望——望前驱之英华卓萃望, 应后起之努力追踪

李红涛 (右一) 在纪念中国共产党成立100周年与教育电视台合影

李红涛教授 曾任天津大学校长

李红涛教授 曾任天津大学党委书记

李红涛教授 中国科学院院士

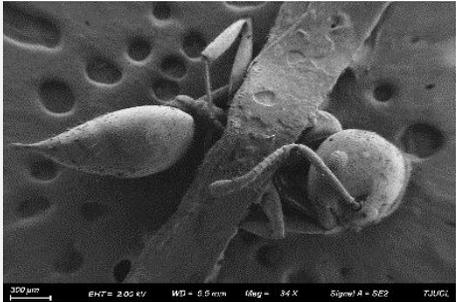
李红涛教授 曾任天津大学党委书记

李红涛教授 曾任天津大学党委书记

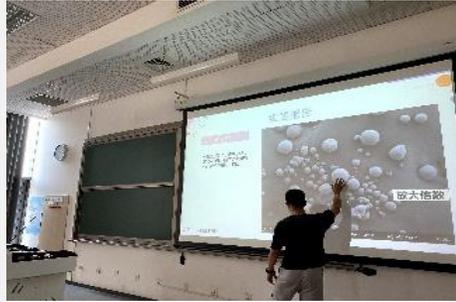
李红涛教授 曾任天津大学党委书记

李红涛教授 曾任天津大学党委书记

微观实践



汇报答辩



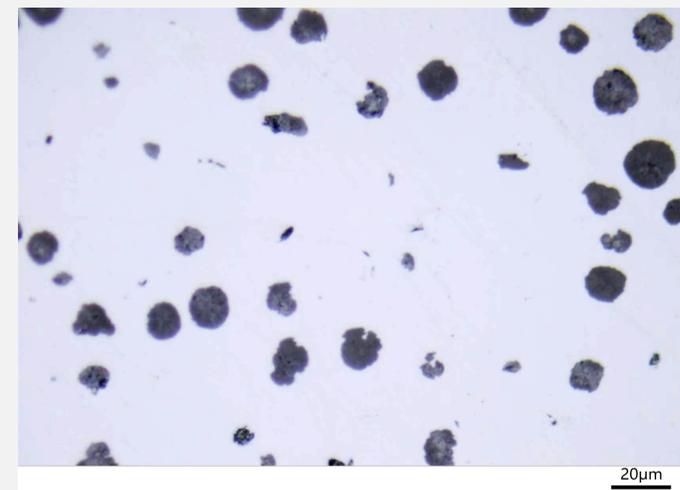
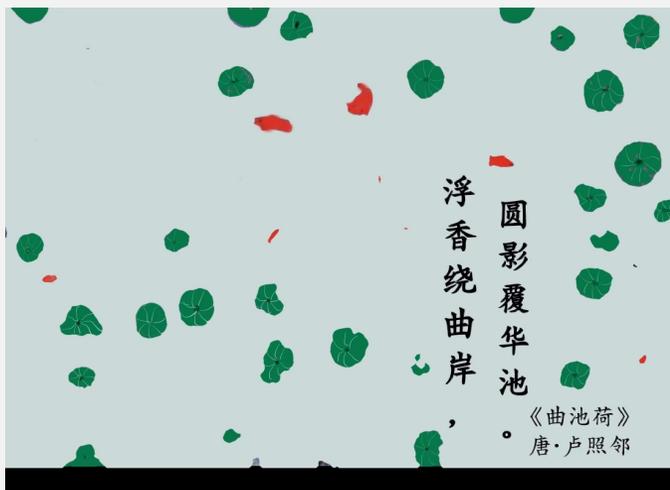
-体会感悟 (摘自组内同学实践报告)

- 思政教育的内容是在光学显微镜案例中，激光电子显微镜的知识，老师用生动的视频向我们讲了电子束的发射和不在平面上的发射两种情况，在显微镜发展史中，从1926年改斯·布利为电子显微镜提供了理论基础到1938年Ruska和Knoll研制成功第一台透射电镜，在具体的应用中，老师介绍了TEM及扫描电镜生命为应用，使用对电子束透明的薄膜试样，以透射式样的透射电子束或者扫描电镜分析显微组织结构的例子。
- 今天的实践活动结束后，老师不经意地感慨：“你们今天参观的这些，总价值是在五千方的仪器上，没有一个是中国产的，它们来自国外，还电路上移的都是英文，什么时候国产的精密仪器才能站起来呢？”是啊，让我国的后续材料发展起来，总离不开我们这些年轻人身上的重担吗？我不禁心潮澎湃，我要为祖国的材料科学尽更大的努力。
- 中国的现代化离不开科技，科技的发展离不开人才，人才的培养离不开教育，而教育以科学和技术为核心的综合国力建设，并提到以人为本的教育，发展教育和科学是我国文化建设的基石工程，是振兴劳动生产力的源泉。

# 2.1 兴趣导向的专业特色实践活动探索



## 本科生赛道作品：荷



央视新闻：胭脂海棠闹春浓、千里江山图……一起来看看微观世界里的“绝世名画”吧！

2022-07-21

你见过微观世界吗？那里有胭脂海棠、凤舞九天、千里江山图……当我们透过电镜探索科学奥秘，就会发现在微观世界中蕴含着许多美轮美奂的“画作”。

近日由天津大学材料学院主办、材料科学与工程国家级实验教学示范中心承办的微观摄影大赛已圆满落幕。

下面就让我们一起来看看吧。

### 千里江山图

作者：冯鑫

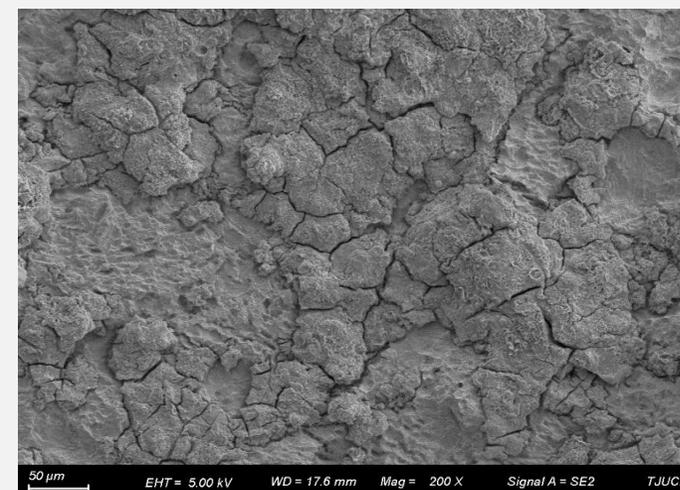
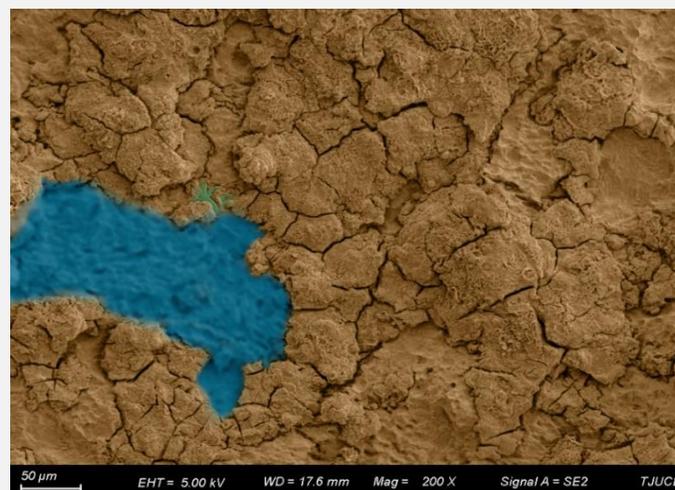
该作品是经过强力挤压变形制备的用于电催化产氢的一体化铁电极材料得到的。纹理如《千里江山图》的层峦叠嶂，有底影像如像一池春水，同时飞鸟浮空倒影，水中似有以天刷染青山色。

### 人民网：显微镜透视科学之美

2022-07-22

200µm EHT = 5.00 kV WD = 8.5 mm Mag = 40.00 X Signal A = SE2 TJUCL

## 本科生赛道作品：干涸的土地



## 2.2 赛教融合的实验教学模式改革



□ 在参加全国性材料学科竞赛、举办区域性竞赛中总结经验。



### 参加学科竞赛



全国大学生金相技能大赛



中国大学生材料热处理大赛



全国大学生高分子材料实验实践大赛



全国大学生高分子实验实践虚拟仿真大赛



### 举办学科竞赛



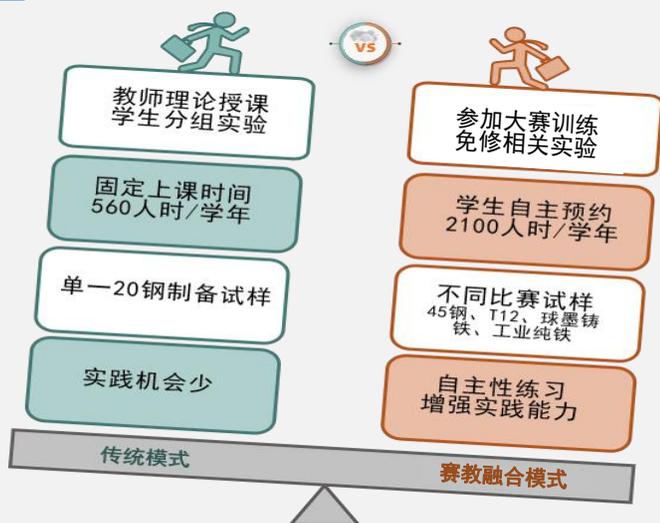
## 2.2 赛教融合的实验教学模式改革



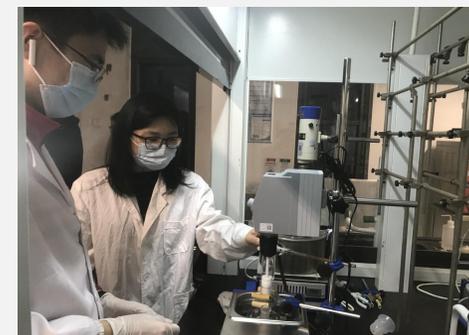
□ 将竞赛机制引入实验教学过程，将传统验证性实验转变为探究性实验，探索以赛促教、赛课融合的实验教学模式改革，同时也促进了实验室建设。



### 金属学基础实验



### 高分子化学实验



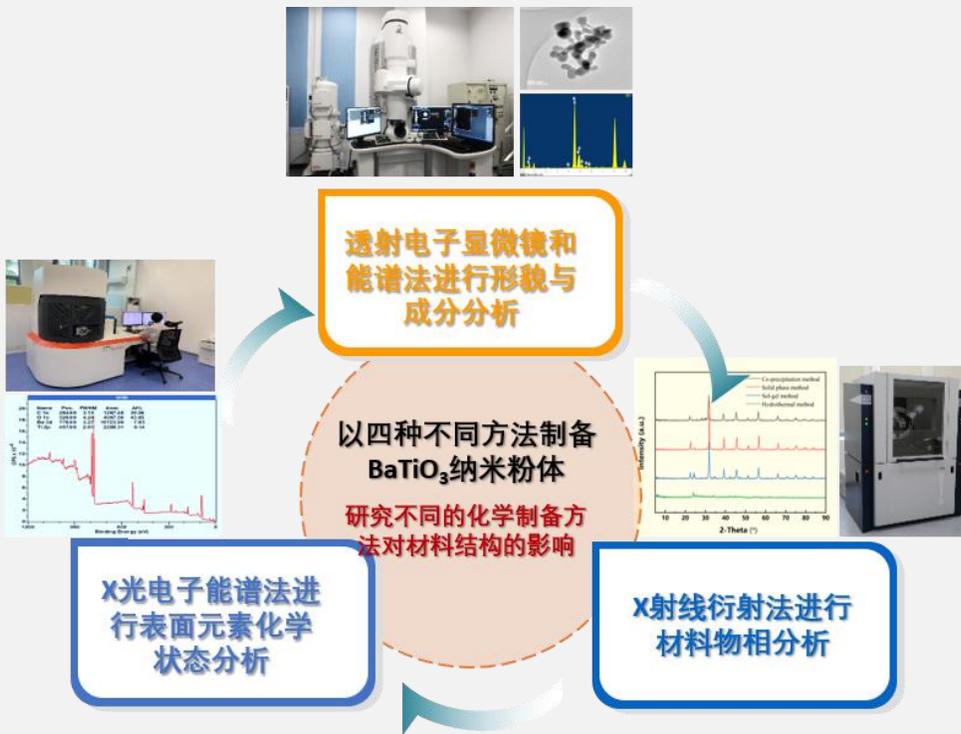
## 2.3 基于大型仪器的创新实验教学探索



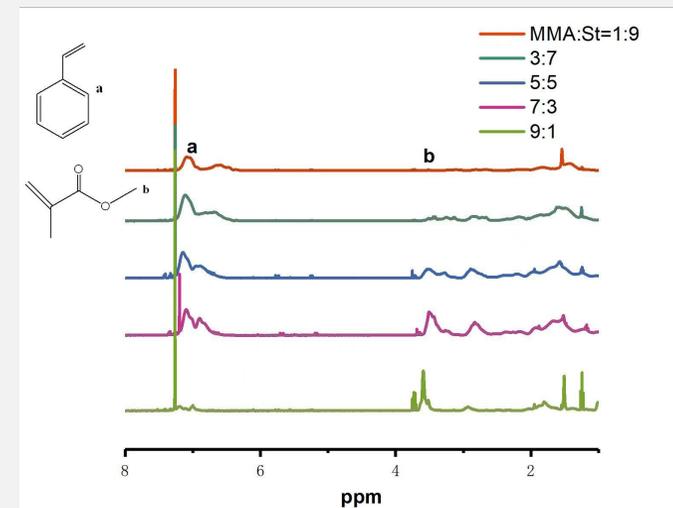
在开设的专业基础实验、科学基础实验等课程中，引入透射电镜、扫描电镜、XRD、XPS、核磁等先进大型仪器表征手段，提升本科生应用先进表征手段分析和解决问题的能力。



EBSD应用于《材料专业基础实验》

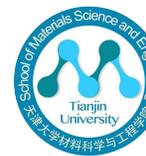


TEM、XRD、XPS应用于《材料科学基础实验》



NMR应用于《高分子化学实验》

## 2.3 基于大型仪器的创新实验教学探索



□ 以课题、实验室双开放的形式开展创新实验，培养学生科研探索能力和自主创新能力。



# 2.4 线上线下、虚实结合的实验教学模式探索



建立实验教学线上学习资料库。针对SEM、TEM、XRD、XPS等常用材料测试分析仪器，录制理论及操作视频20余项；内容包括大型仪器工作原理、功能介绍、应用案例、仪器操作、数据分析等。

泛雅

材料科学与工程国家级实验教学示...

班级活动

课件

教案

章节

资料

通知

讨论

作业

考试

题库

知识图谱

统计

编辑章节

目录

- 1 X射线光电子能谱仪
  - 1.1 X射线光电子能谱仪基础培训
  - 1.2 CASA XPS软件使用介绍
- 2 电子背散射衍射技术及其应用
  - 2.1 电子背散射衍射技术及其应用
- 3 场发射扫描电子显微镜
  - 3.1 透射电子显微镜技术
  - 3.2 场发射扫描电镜2100F操作视频
- 4 核磁共振谱仪
  - 4.1 理论培训视频
  - 4.2 上机培训视频
- 5 热场发射扫描电子显微镜
  - 5.1 热场扫描电镜JSM-7800F操作视频

### XPS的基本原理简介

**XPS信息深度:**

- X射线辐射的穿透深度为 $10^2 \sim 10^3$  nm,
- XPS的信息灵敏度仅为5~10nm, 具体测试深度由材料类型及状态决定。一般情况下, 大致估计各种材料的XPS采样深度为:
  - 金属样品: 0.5~2nm
  - 无机化合物: 1~3nm
  - 有机物: 3~10nm

因此, XPS是一种分析深度很浅的表面分析技术。  
**XPS检测极限 ~ 0.1 atomic %.**

样品的探测深度(d)由电子的逃逸深度(λ, 受X射线波长和样品状态等因素影响)决定, 通常取探测深度 $d = 3\lambda$ .

**紫外光电子能谱(UPS):**

激发源为He I, 能量为21.22eV, 检测深度<3nm, 用于表征材料能级结构、材料掺杂状态、材料态密度分布、表/界面能级结构。

### 透射电镜功能-STEM成像

原子序数衬度: 基于扫描透射电子显微术(STEM)

环形场探测器收集很高角度的散射信息。信号主要来自受原子核散射的电子, 衬度则比例于原子序的平方

Conventional TEM imaging

Z-contrast STEM imaging

TEM模式下的高分辨图像和STEM模式下的Z衬度像

### 5. 应用案例

(5) 再结晶分析

IPF

GOS

DIFFRACTION COMMANDER

Application Type: Powder Diffraction

Detector: YANITE

Effective Total Time: 00:01:52

Start: 10.0000

Stop: 0.0563

Step: 0.0021

Scan Rate: 1500

Detector: 44.9967

## 2.4 线上线下、虚实结合的实验教学模式探索



□ 依托慕课平台，实现线上预习管理。根据课程需要发布资料学习要求，并设置关键内容的考核点，制作试题库，用于考查线上学习效果，学期课程活动数达5600人次。



共享平台线上使用情况统计和线上考核

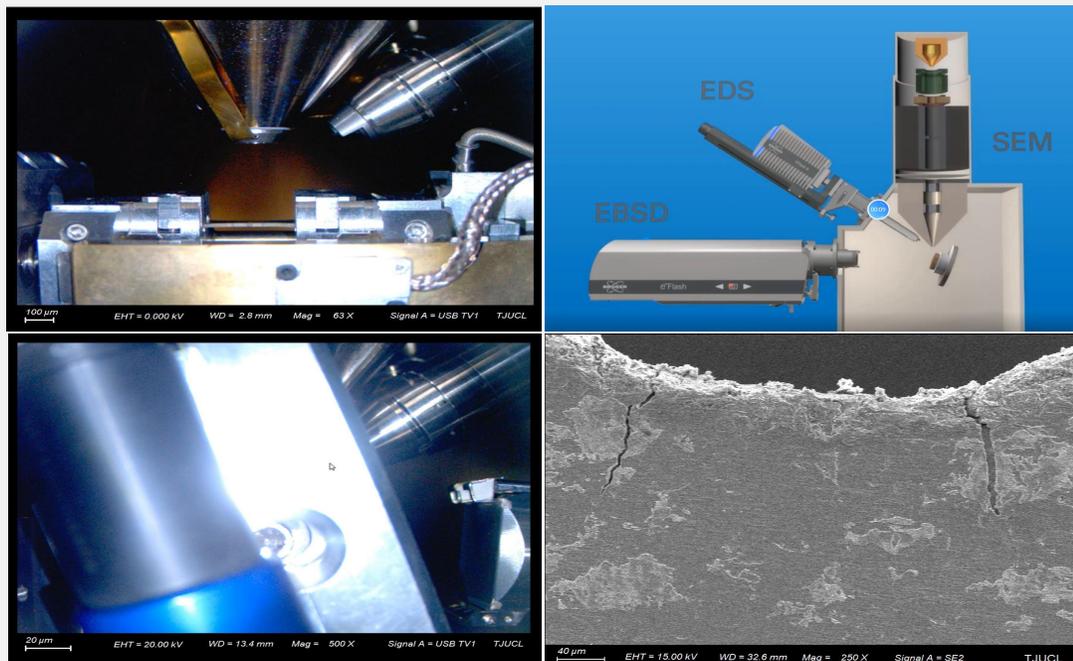


线上线下实验教学内容有机结合

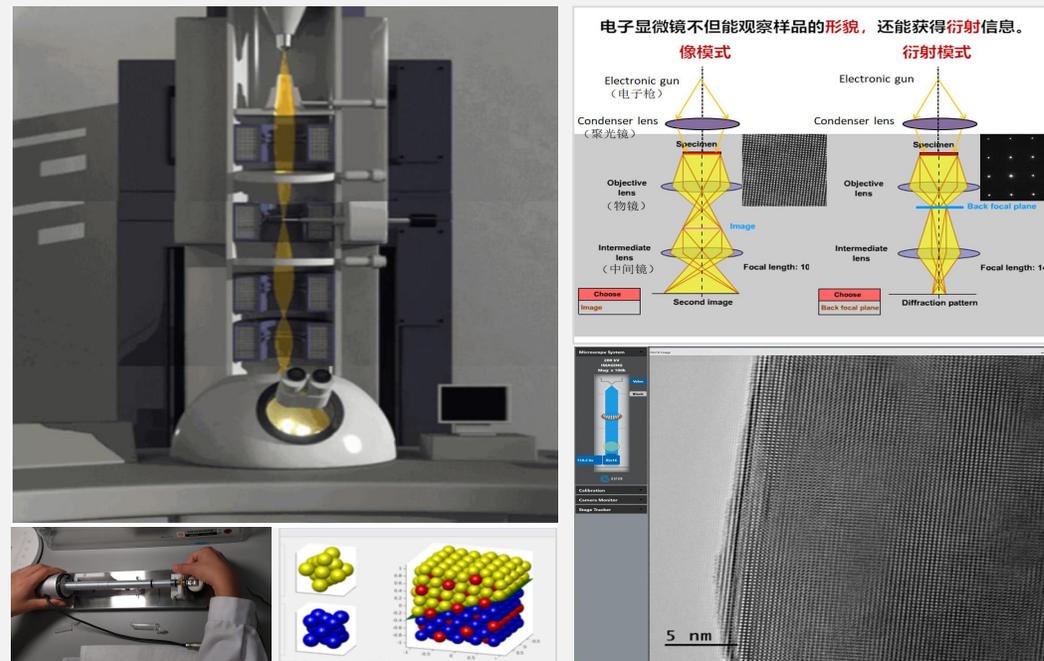
## 2.4 线上线下、虚实结合的实验教学模式探索



□ 建设**新形态实验教学案例库和虚拟仿真实验项目**。聚焦学科研究热点，将最新学术前沿与最新科研技术，通过视频、动画、虚拟仿真等方式引入实验教学案例，作为课堂教学之外的有效教学手段和重要补充。

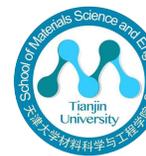


基于扫描电镜的金属材料原位拉伸测试分析



透射电镜下功能纳米材料结构可视化及分析

## 2.5 项目驱动的实验课程教学改革

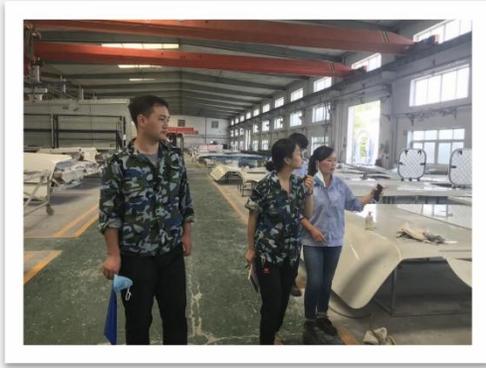
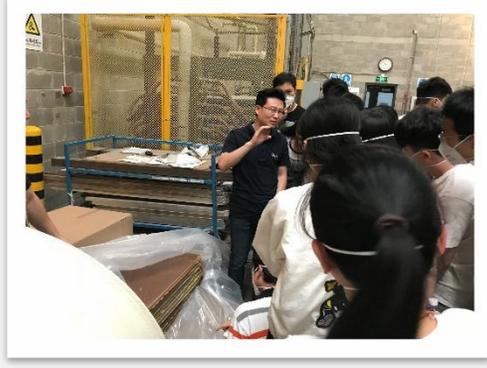


□ 学生到工程现场实地调研、实践项目等，针对工程背景和实际工程问题进行了面对面的探讨。从生产实践、科技热点等多个维度发现切实的工程问题，找到自己感兴趣的课题。

### 模块课程设计



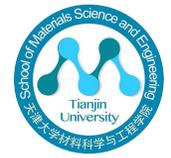
调研固瑞特（天津）复合材料有限公司



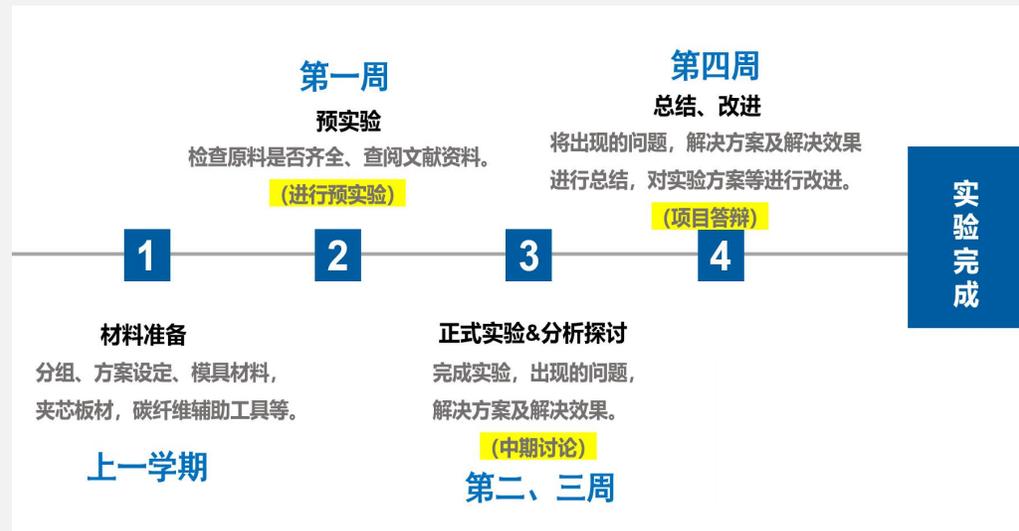
山东双一科技股份有限公司技术学习



# 2.5 项目驱动的实验课程教学改革



项目从材料设计工艺选择、项目实践、性能测试表征、到结果分析，实行开放式实践模式。



# 2.5 项目驱动的实验课程教学改革



课程注重全过程成绩评价，分数主要由实验过程评价、课程答辩和实验报告三部分组成。对照课程目标和毕业要求相应指标细化评分标准。

## ◆ 多元课程评价体系

总成绩 = 实验过程评价 20% + 中期汇报&课程答辩 40% + 实验报告提交 40%

### 学生互评



课程设计评分明细表

| 课程目标   | 毕业要求      | 考核与评价方式及成绩比例 (%) |      |      |      |      | 成绩比例 (%) |
|--------|-----------|------------------|------|------|------|------|----------|
|        |           | 平时表现             | 实验操作 | 口头答辩 | 作品展示 | 书面报告 |          |
| 课程目标 1 | 毕业要求 2-4  | 2                | 4    | 3    | 5    | 14   |          |
| 课程目标 2 | 毕业要求 3-2  | 1                | 2    | 1    | 2    | 7    |          |
|        | 毕业要求 3-4  | 2                | 1    | 1    | 1    | 6    |          |
| 课程目标 3 | 毕业要求 4-1  | 5                | 5    | 4    | 14   |      |          |
|        | 毕业要求 4-3  | 4                | 4    | 4    | 5    | 9    |          |
| 课程目标 4 | 毕业要求 5-2  | 4                | 4    | 2    | 6    | 14   |          |
|        | 毕业要求 5-3  | 2                | 2    | 2    | 4    | 8    |          |
| 课程目标 5 | 毕业要求 6-3  | 1                | 1    | 1    | 2    | 6    |          |
| 课程目标 6 | 毕业要求 7-2  | 1                | 1    | 2    | 2    | 6    |          |
| 课程目标 7 | 毕业要求 9-1  | 2                | 1    | 1    | 3    |      |          |
|        | 毕业要求 9-2  | 2                | 1    | 1    | 3    |      |          |
| 课程目标 8 | 毕业要求 11-2 | 2                | 2    | 2    | 4    | 10   |          |



## 主要课程目标与毕业要求对应表

| 课程目标             | 毕业要求  |
|------------------|---|
| 工程知识 (2-4)       | 分析常见材料的组成-工艺-结构-性能的相互关系与制约规律，并能判断其合理性。  |
| 工程研究能力 (3-2)     | 结合具体应用要求设计合理的技术工艺路线，使用现代技术与工程对实验数据进行处理和分析，并获得合理的结论。                                   |
| 使用现代工具 (5-3)     | 能够针对材料领域复杂工程问题，设计、选择与使用材料结构、性能评价等现代分析测试技术和信息处理技术等工具，对复杂工程问题进行解析、模拟与预测，了解这些方法和技术的适用范围。 |
| 具有社会责任 (7-2)     | 在方案的设计和实施过程中，考虑到处理材料生产、使用与环境及可持续发展的关系，履行安全、健康、法律等方面的义务                                |
| 沟通与交流 (9-2)      | 能够在专业课程设计过程中明确个人的职责与角色定位，并能与他人进行良好的沟通和有效的协作，协同完成设计目标。                                 |
| 设计/开发解决方案 (11-1) | 将管理原理、技术经济方法应用于材料工程产品的开发、工艺设计和工艺流程优化等过程。  |

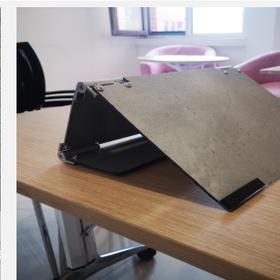
## 2.5 项目驱动的实验课程教学改革



### 课程作品展示



北洋动力车队—碳纤维车身



- 一、新工科背景下创新人才培养需求
- 二、面向新工科的实验教学改革探索
- 三、实验教学改革取得的成效



# 三、实验教学改革取得的成效



## 人才培养成效

- ✓ 近5年获得全国大学生金相技能大赛、全国大学生高分子材料实践大赛等国家级和天津市级学科竞赛**获奖80余人次**。
- ✓ 支持创新创业项目获批国家级和天津市级立项**35项**。



镍  
钛  
储  
能  
动  
力  
车

学生原创项目 入选全国大创年会并获评“全国最佳创意项目”

# 三、实验教学改革取得的成效



## 成果建设情况

### 2018-2022年示范中心阶段性总结考核



### 天津大学 2018-2022 年本科实践教学优秀示范案例

| 序号 | 案例名称                       | 案例团队               |
|----|----------------------------|--------------------|
| 1  | 面向新工科的复合材料课程设计改革           | 马晓晖、师春生、沙军威、薛强、龙丽霞 |
| 2  | 赛教融合--全面提高人才培养质量, 助力国家未来发展 | 郭倩颖、毛晶、韩雅静、张金凤、马利利 |
| 3  | 基于大型仪器平台的项目式实验教学探索与实践      | 龙丽霞、毛晶、马利利、马晓晖、师春生 |

# 五、工作成效



## 成果建设情况

### 支撑专业建设



国家一流本科建设专业点全覆盖



工程教育认证全覆盖

### 获批教学成果奖

“**科工融合，交叉赋能—材料类人才的工程能力培养高阶性目标探索与实践**”荣获**国家级教学成果二等奖**。





谢谢，敬请批评指正！

