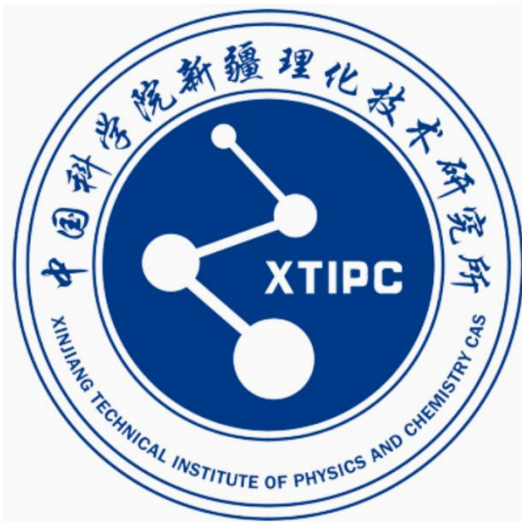


聚集诱导油水分离技术 及其在化工含油污水处理领域的应用

艾克热木·牙生 副研究员

中国科学院新疆理化技术研究所 能源化工中心

2026-03-22, 杭州



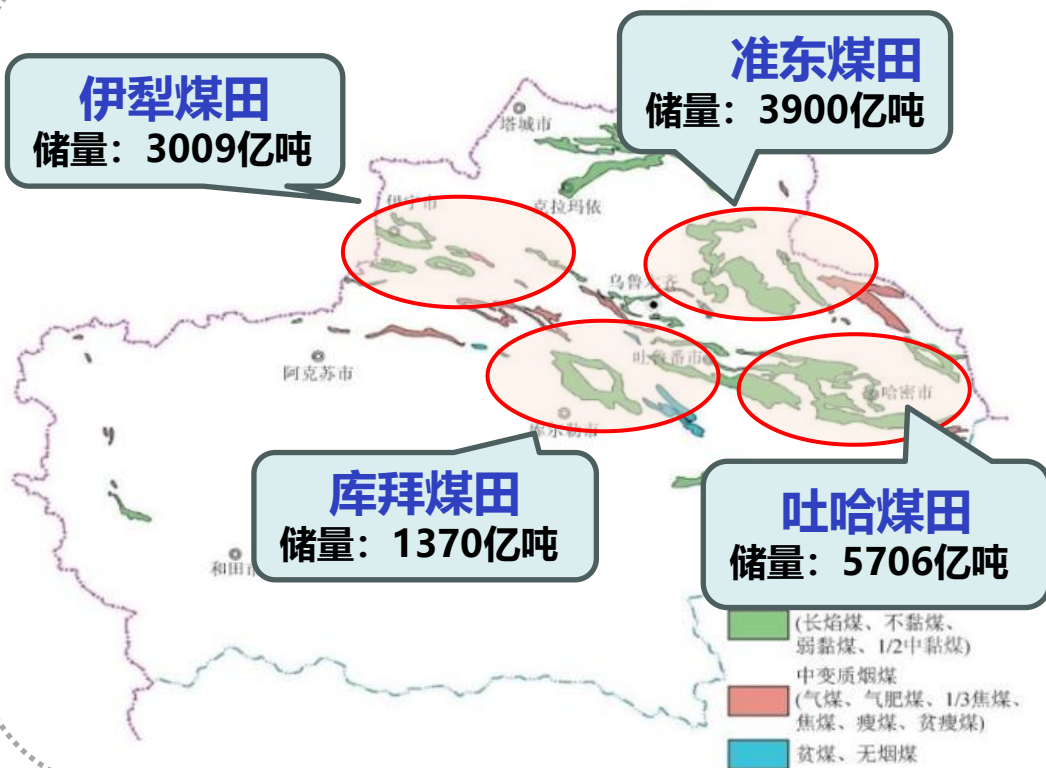
- 一、研究背景
- 二、研究内容与核心技术
- 三、化工行业中的应用推广

1. 研究背景



新疆化工资源禀赋

石油石化、煤化工--新疆重点发展的支柱产业

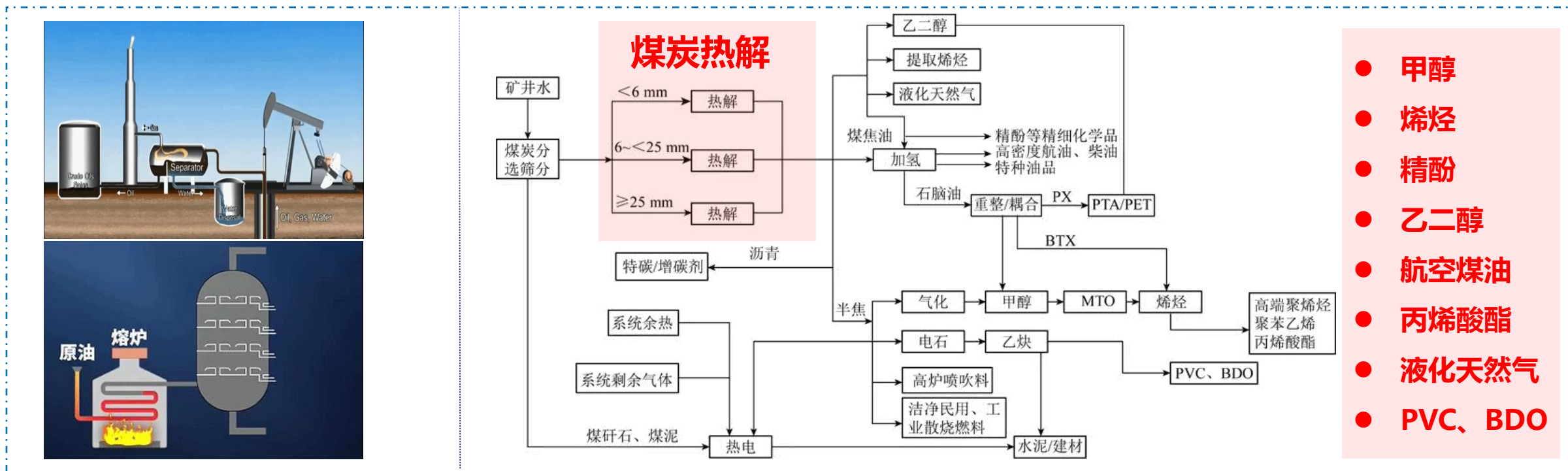


- 新疆**煤炭资源**预测总量约**2.19万亿吨**，占全国总资源量的**40%**
- 新疆已探明**石油储量**占全国陆上储量的**30%**
- 依托**资源禀赋**、**区位优势**和**产业基础**，推动**能源、产业绿色、低碳、高质量**发展成为**新命题**

1. 研究背景

化工油水分离需求

- 煤制油、煤制天然气、煤制烯烃、煤制合成氨、煤制兰炭、低阶煤分级分质利用等均具**油水分离需求**



- **含油废水资源化高效处理:** 热解气洗涤水、热解设备冷凝水、热解气压缩含油凝液等
- **商品油/有机试剂脱水纯化:** 柴油、航空煤油、氯乙烯单体等脱水纯化提质需求

1. 研究背景



化工含油污水目前主要处理工艺

重力沉降



超声破乳



机械过滤器



絮凝-气浮



隔油-沉降



- 处理流程长
- 处理能耗高
- 资源浪费大
- 占地面积大
- 环境污染大
- 处理成本高

从**环境治理**和**能源消耗**角度考虑，开发可对油-水混合物进行**高效、快速物理分离技术**意义重大

新型分离材料和
工艺

1. 研究背景



高效油水分离材料和技术

化工含油污水特点:

- 携带大量固体杂质
- 高度乳化
- 混有大量可溶性有机物



研发特殊环境用高性能分离材料，揭示分离机制，突破工业化规模应用

2. 研究内容与核心技术



马鹏程
研究员
能源化工中心主任



副研究员
天山英才-青年拔尖 (2024-2027)
中科院“青促会”会员 (2023-2026)

分离材料制备



阿卜杜克热木·喀迪尔
研究员、QR计划



李慧 研究员
BR 计划



岳秀 副研
天山英才



艾克热木·牙生
副研 青年托举



吕重江 助研
天池英才



吉兹兰 助研
天池英才

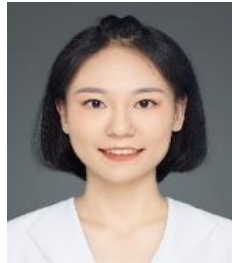
分离机理研究



马鹏程 研究员
QR 计划



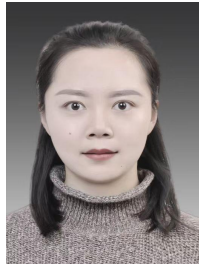
范源 副研
BR计划



邢路 助研
天池英才



阿南德 助研
天池英才

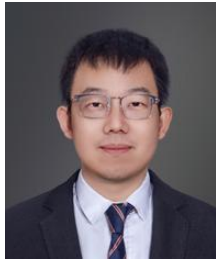


李倩茹 助研
天池英才



里梅 研究员
KL计划

装备集成应用



郝斌 副研
天山英才



马福鑫 助研
天池英才



梁存光 助研
天池英才



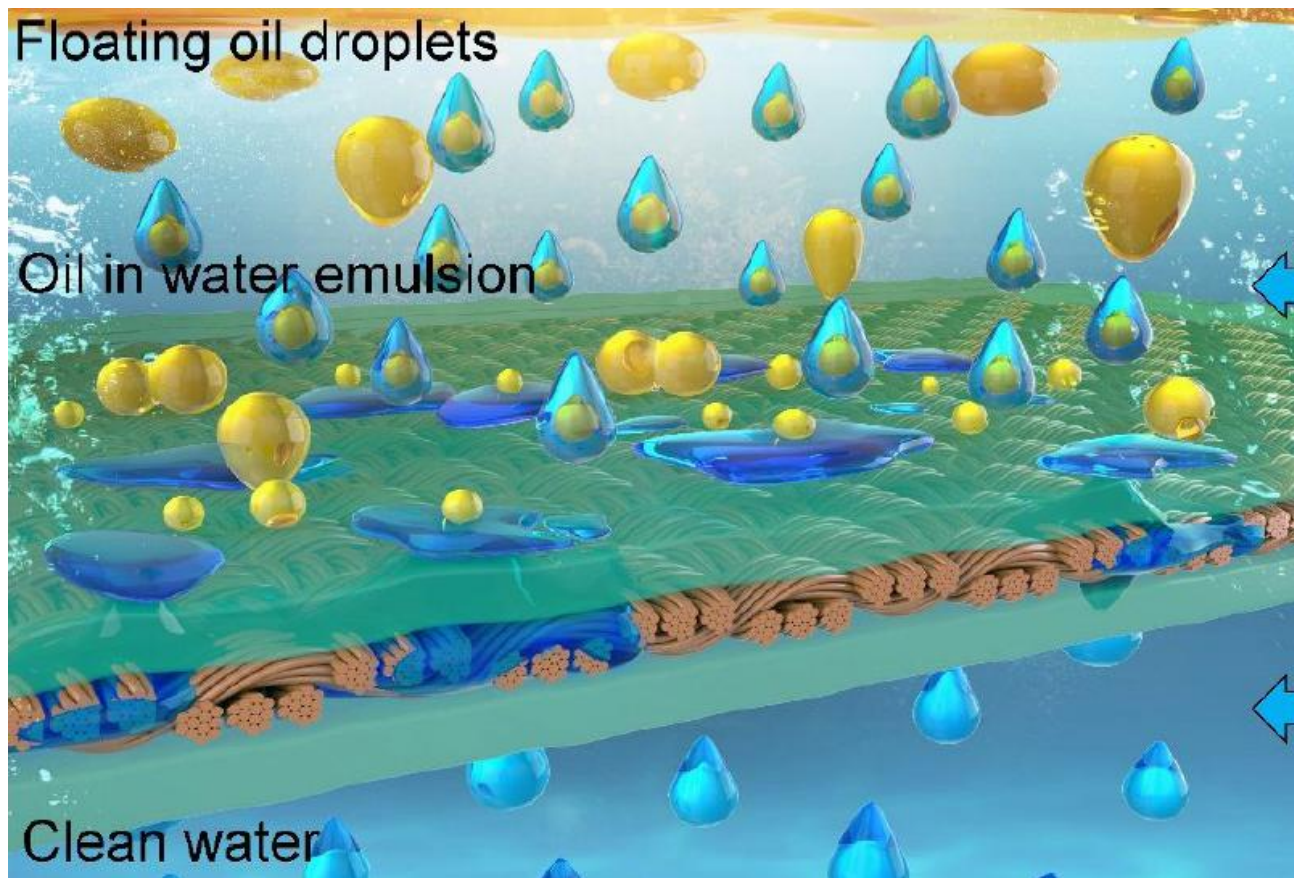
韩青源 助研
天池英才

2. 研究内容与核心技术

内容一：建立基于聚集诱导现象实现油水分离的新技术

研究材料在复杂液相体系中识别、俘获、聚集油类的微观作用机制

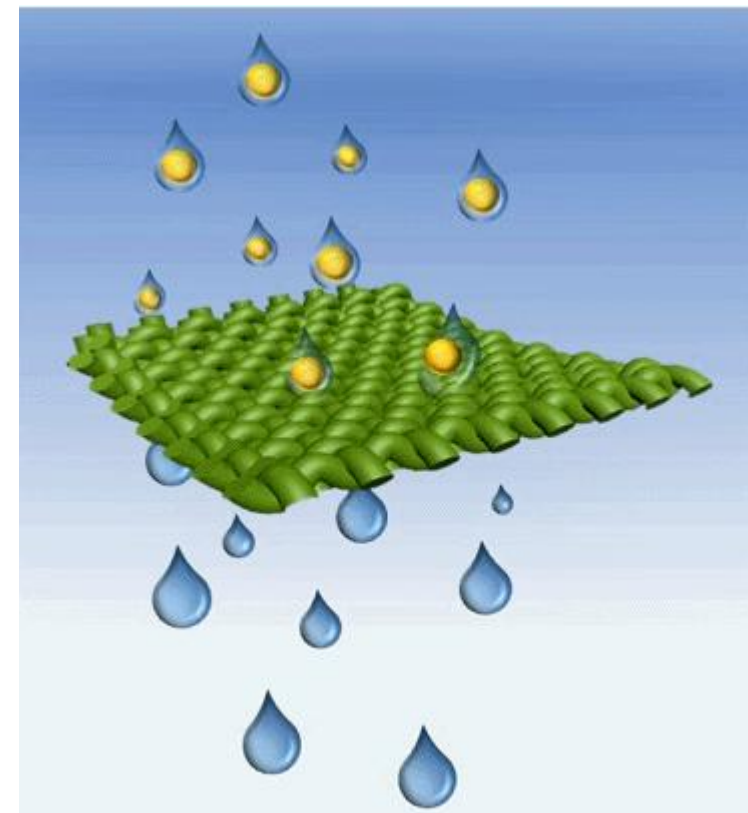
聚集诱导分离技术 (AIS)



Emulsion



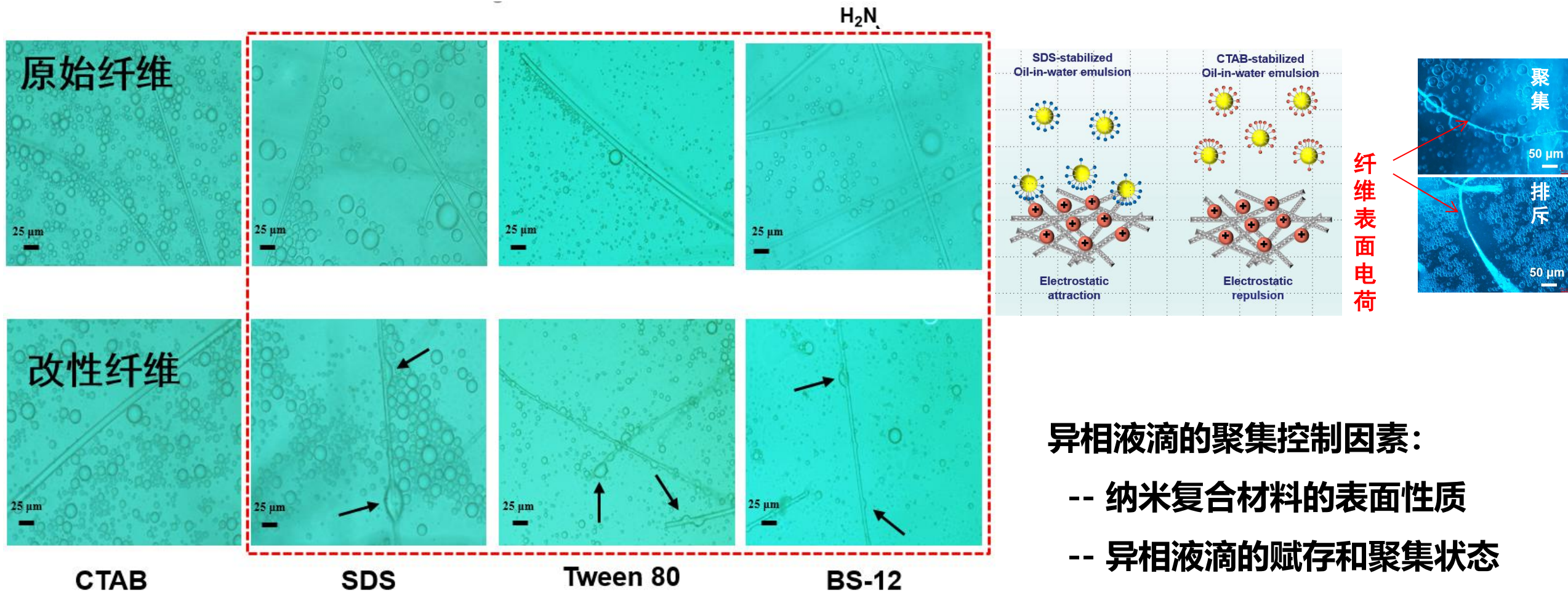
Filtrate



2. 研究内容与核心技术

内容一：建立基于聚集诱导现象实现油水分离的新技术

提出了材料在复杂液相体系中识别、俘获、聚集油类的微观作用机制



异相液滴的聚集控制因素：

- 纳米复合材料的表面性质
- 异相液滴的赋存和聚集状态

2. 研究内容与核心技术



内容二：聚集诱导油水分离用高分子纳米复合材料

丙烯腈

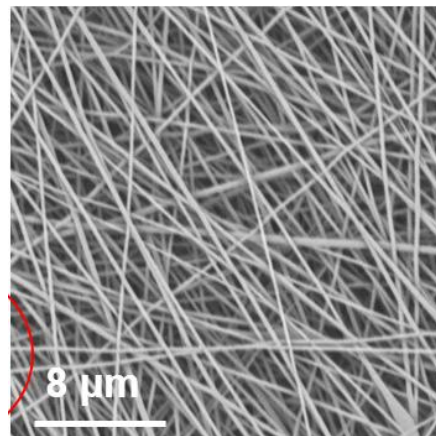
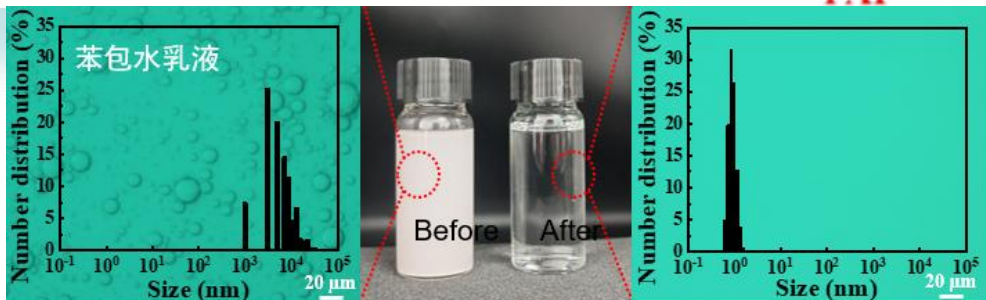
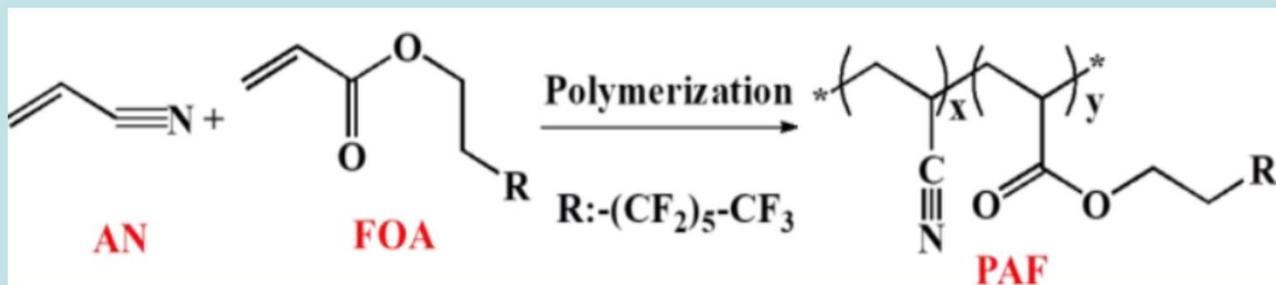
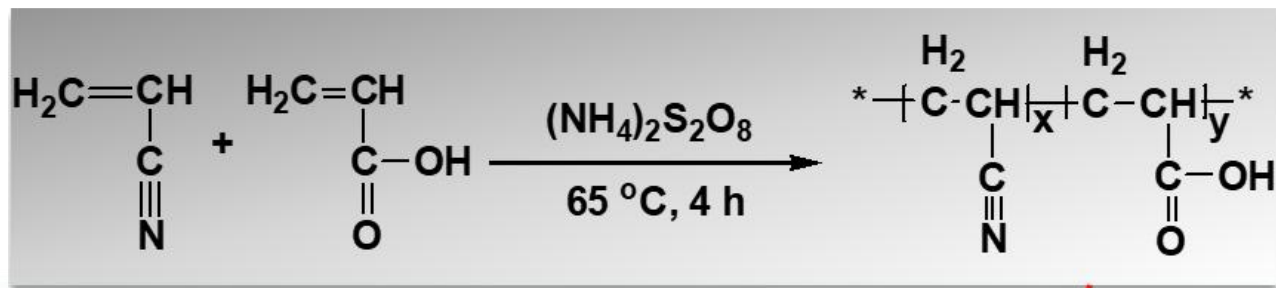
丙烯酸

聚（丙烯腈/丙烯酸）

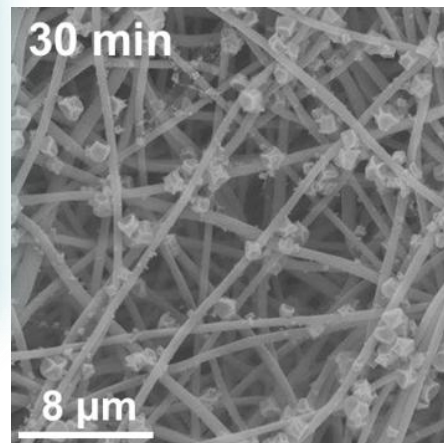
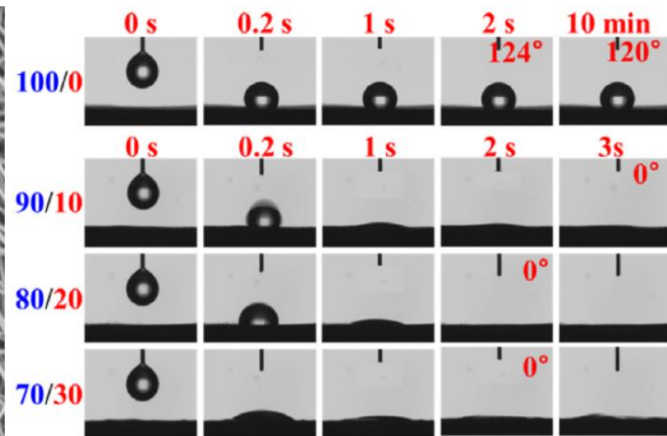
AN

AA

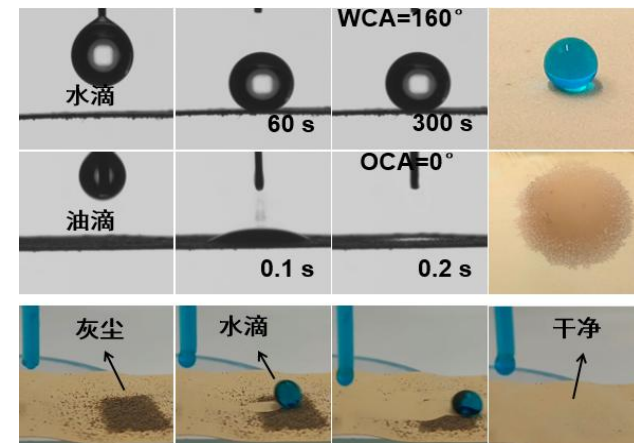
P (AN/AA)



Polymer, 2022, 253, 124969



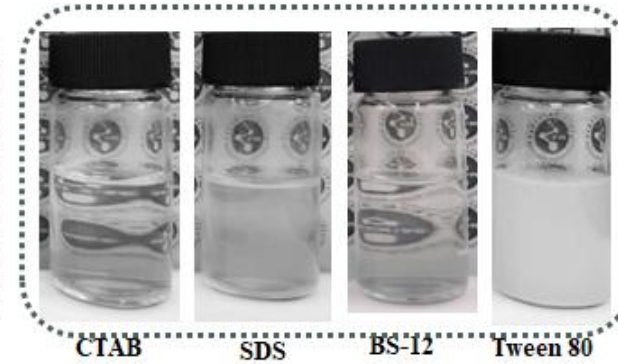
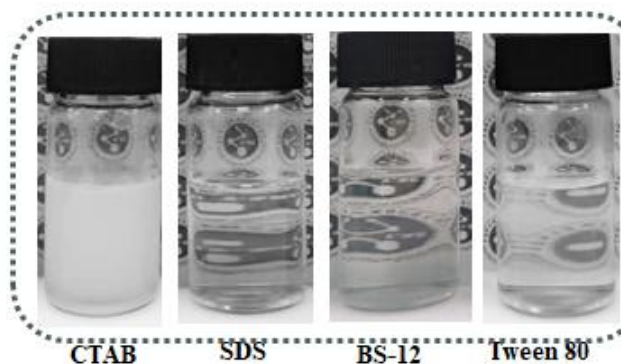
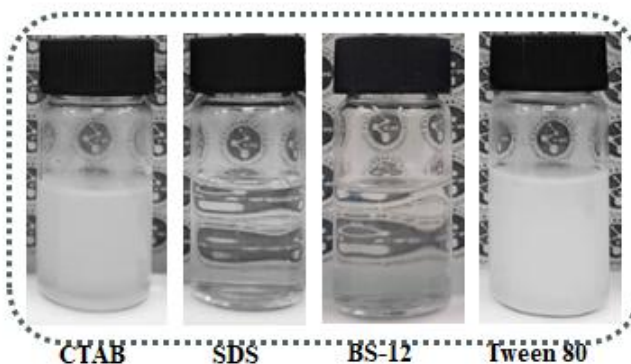
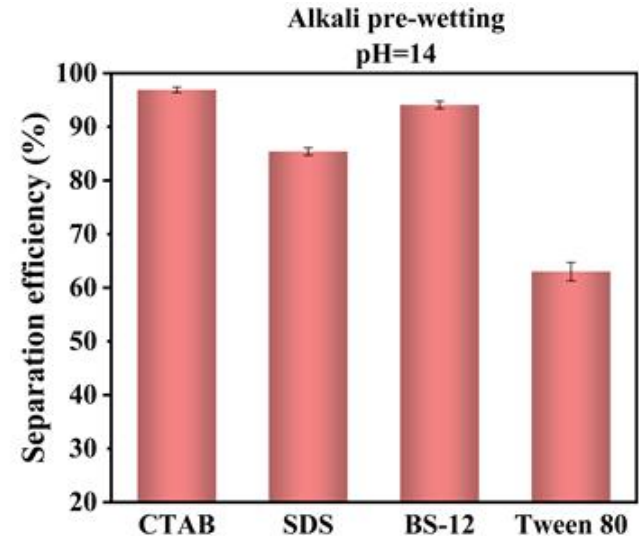
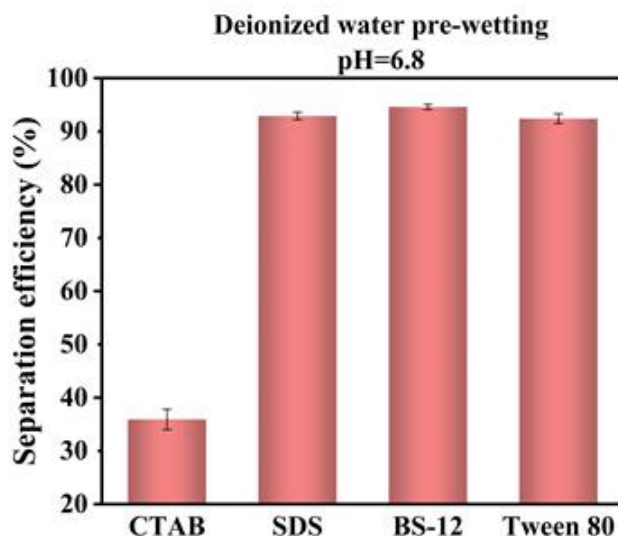
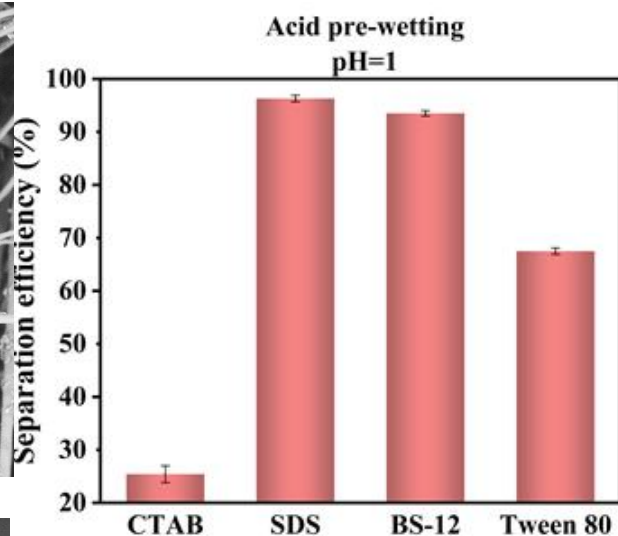
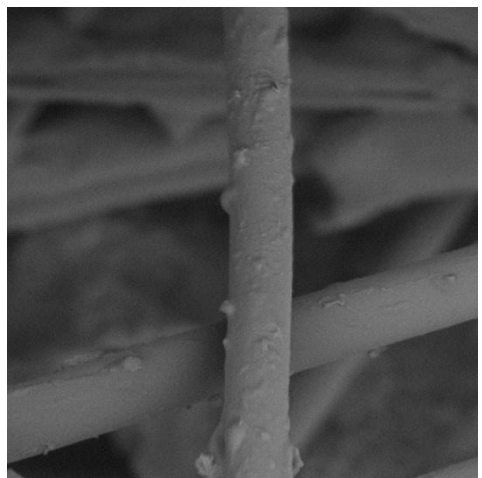
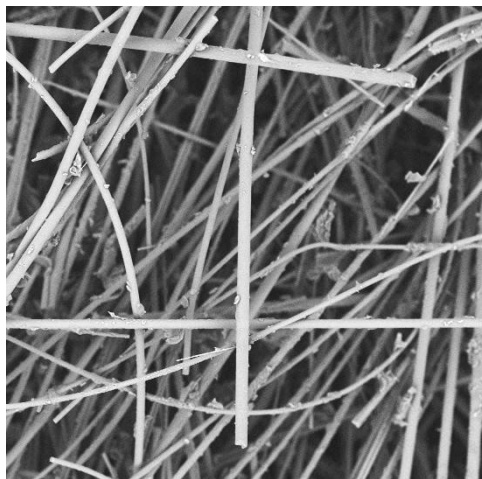
Polymer, 2022, 258, 125292



2. 研究内容与核心技术

内容二：聚集诱导油水分离用高分子纳米复合材料

乳化体系：可控表面性质的膜材料



2. 研究内容与核心技术



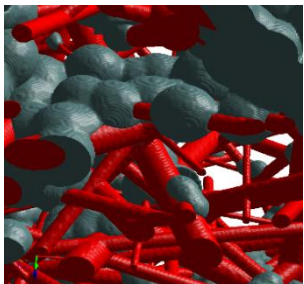
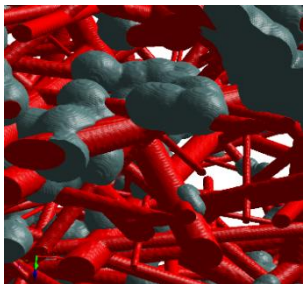
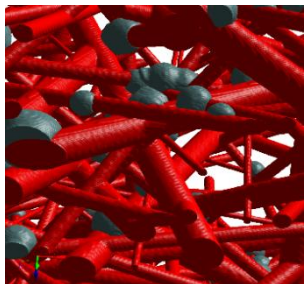
内容一：建立基于聚集诱导现象实现油水分离的新技术

Time step 1

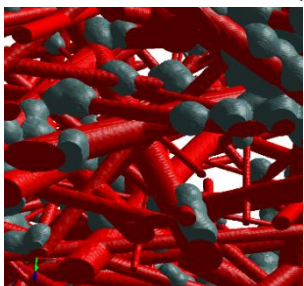
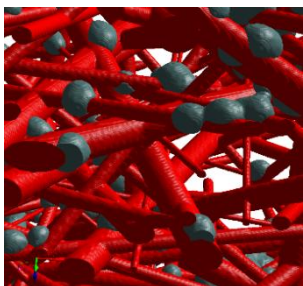
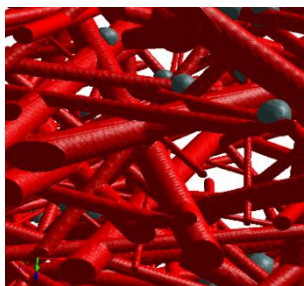
Time step 10

Time step 20

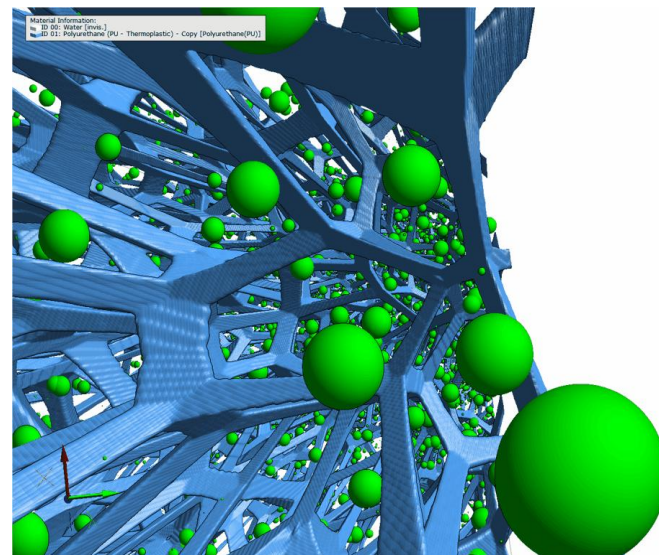
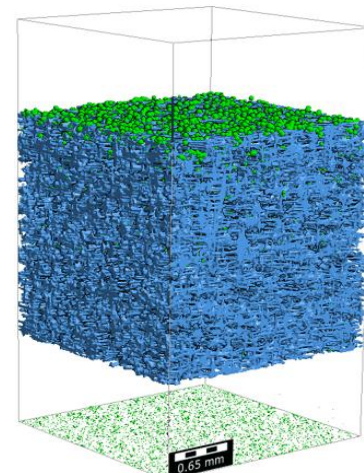
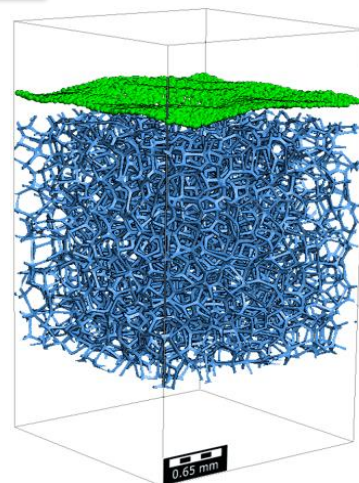
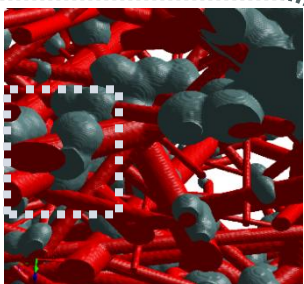
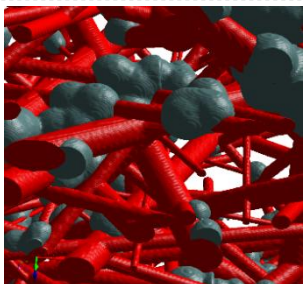
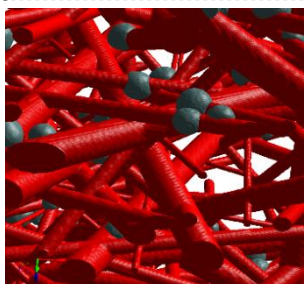
纤维与液滴带
相反电荷



纤维与液滴带
相同电荷



纤维与液滴
均不带电荷

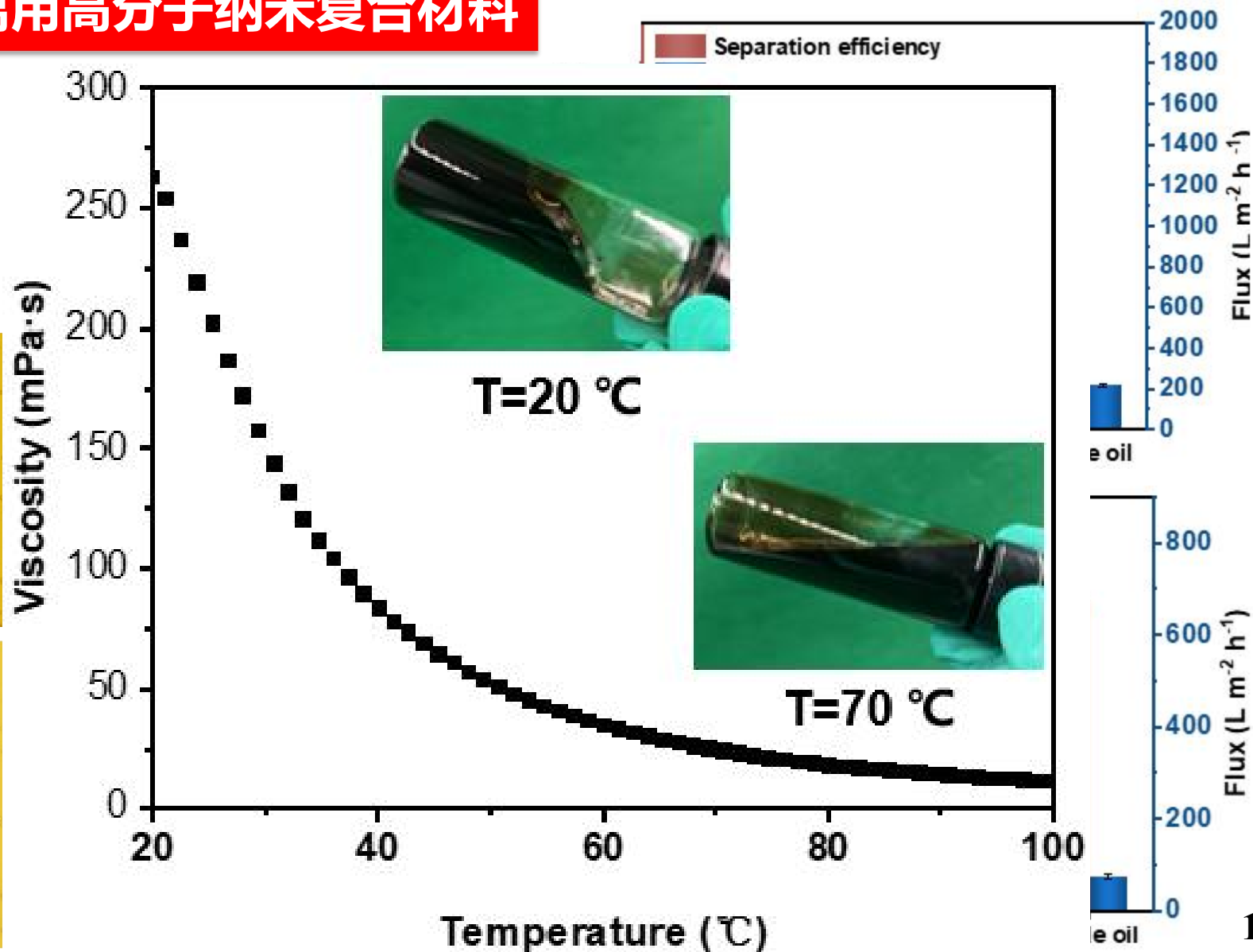
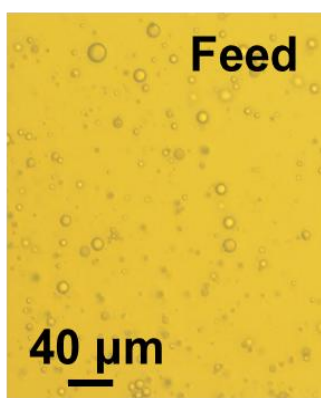
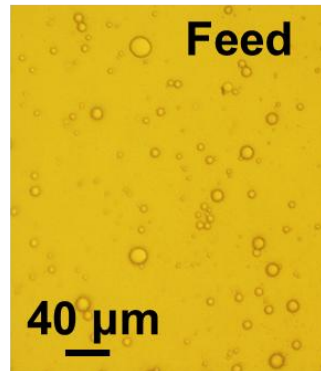
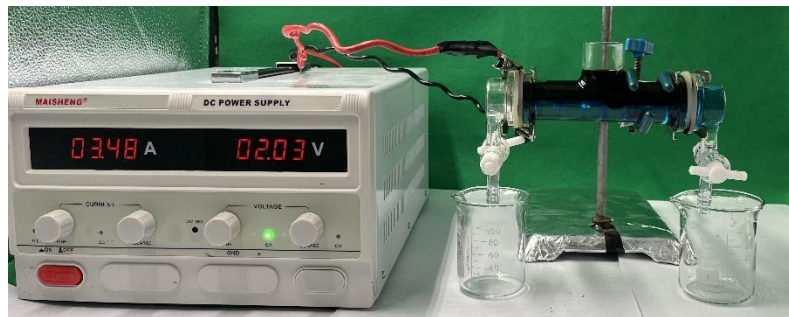


纤维表面油滴聚集量随时间而增加，纤维与液滴的表面电荷影响油滴的聚集过程

2. 研究内容与核心技术



内容二：聚集诱导油水分离用高分子纳米复合材料



内容二：聚集诱导油水分离用高分子纳米复合材料

通过由材料**表面-内部骨架-分子链端改性**的工艺迭代，制备了**4个系列20余种**油水分离用纳米复合材料，突破了材料从实验室到规模化生产的技术瓶颈



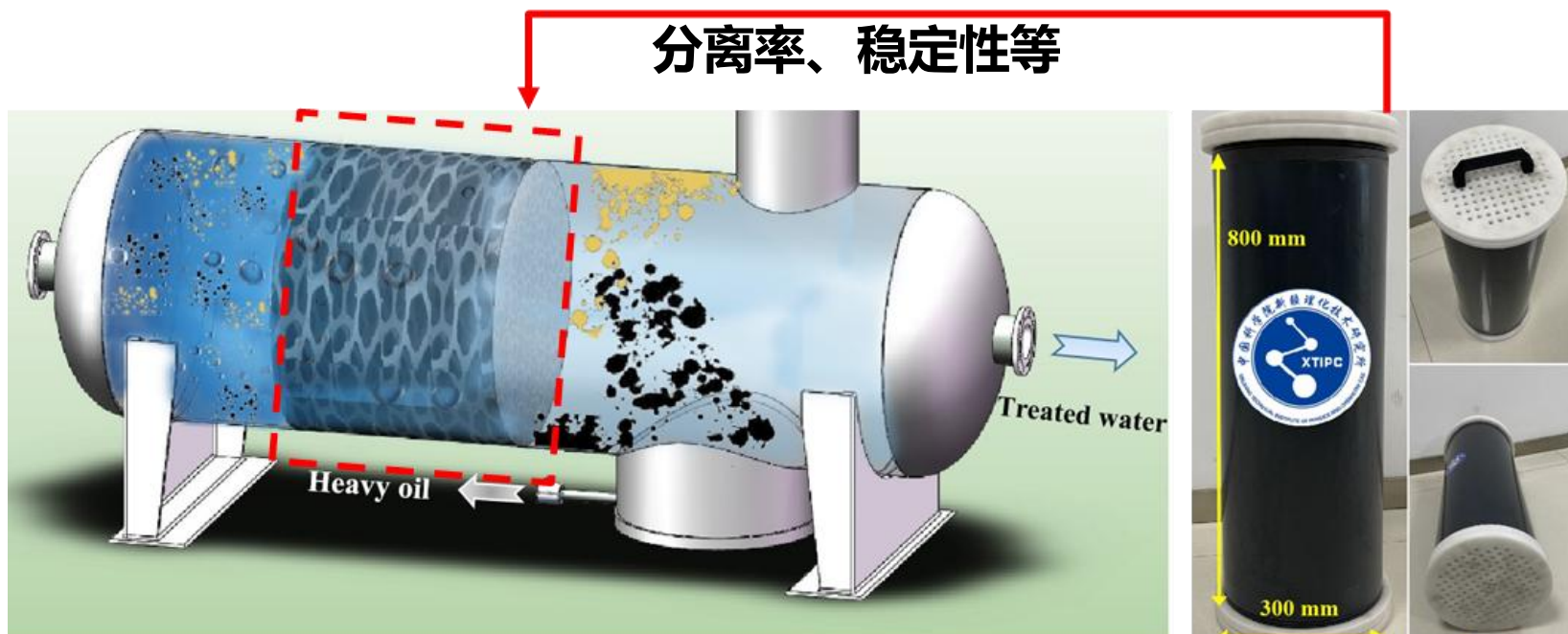
2. 研究内容与核心技术



内容三：聚集诱导油水分离设备的设计、集成与应用

研究难点：1- 如何实现油水分离材料与设备的有效匹配

2- 如何实现装置缩短流程、减少二次污染、防止污堵

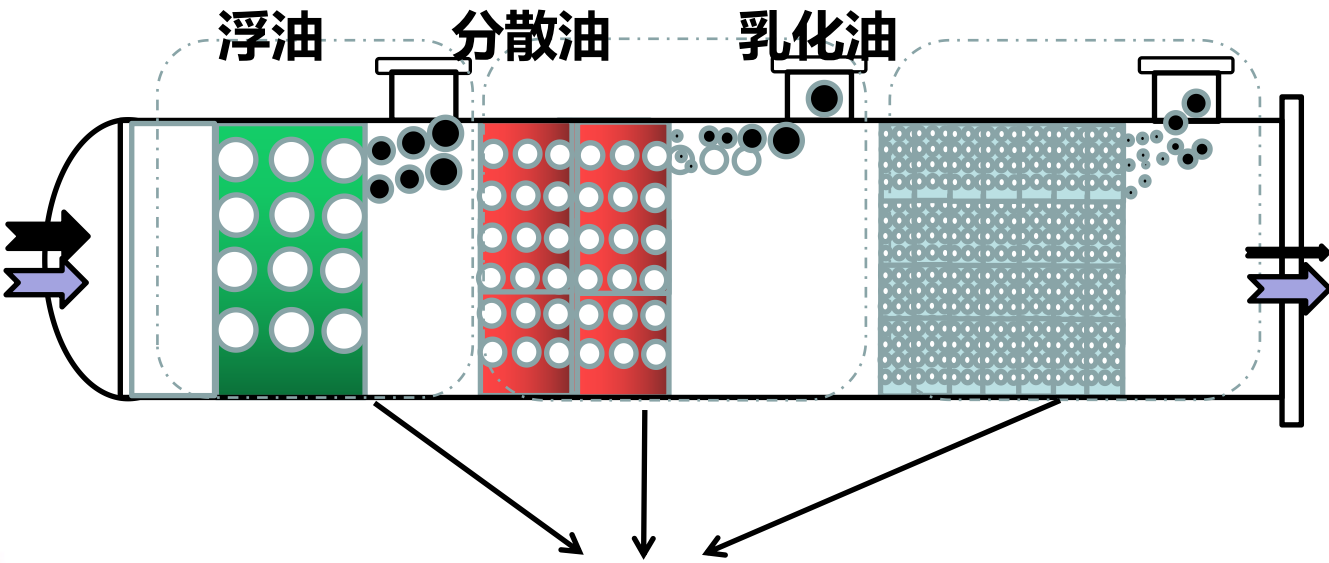
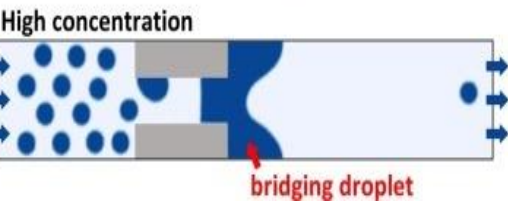
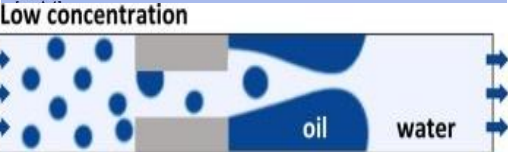
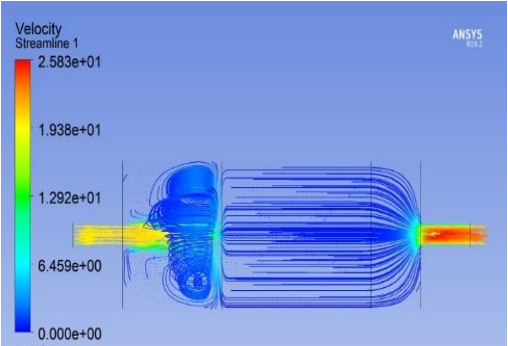


以聚集诱导油水分离材料为核心元件，**研制出**聚集诱导油水分离设备，
实现了油水分离材料和设备的有效集成

2. 研究内容与核心技术

内容三：油水分离材料与设备的集成和应用示范

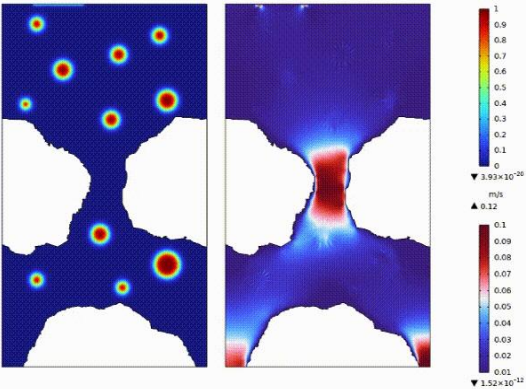
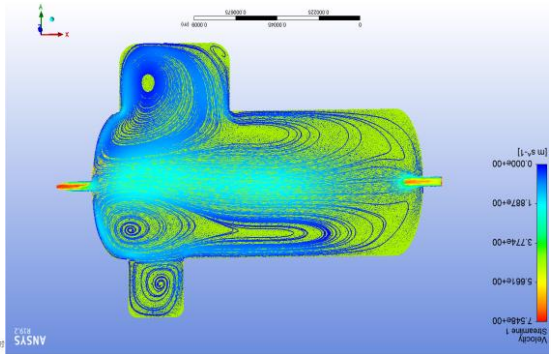
进水口：梯度分布解决压力不均问题



梯度配置的纳米复合油水分离材料

吸附 → 聚集 → 脱附 → 分离

出水/出油口：湍流设计提升分离效率



2. 研究内容与核心技术



内容三：油水分离材料与设备的集成和应用示范



第一代原理验证
(5.0 L/h)



第二代试验研究
(50.0 L/h)



第三代小试放大
(1.0 m³/h)



第四代工业应用
(单台: 10.0-100.0 m³/h)



3. 化工及其它行业应用推广



科研成果转化—中科瑞丽分离科技无锡有限公司



国家级品牌

中科院广州化学有限公司
中国科学院新疆理化技术研究所
2019年联合产业界团队共同发起设立

专业研发及
产业化团队

国家级人才项目入选者
英国皇家化学学会会士、德国洪堡学者
熟悉科研成果转移和转化的运营和市场人员

战略行业
领域

高分子功能材料设计、研发、生产及应用
液体-液体分离、气体-液体分离领域过滤、净化、分离材料



证书

中科瑞丽分离科技无锡有限公司：

你单位被认定为 2024 年度无锡市专精特新中小企业，有效期为 2025 年至 2027 年。

特发此证。

无锡市工业和信息化局
二〇二五年一月

3. 化工及其它行业应用推广



科研成果转化—中科瑞丽分离科技无锡有限公司

- 联合发起**成立公司**
- 中国无锡科技创新创业大赛团队**二等奖**
- 无锡市**科技留学人员科技活动重点类项目**

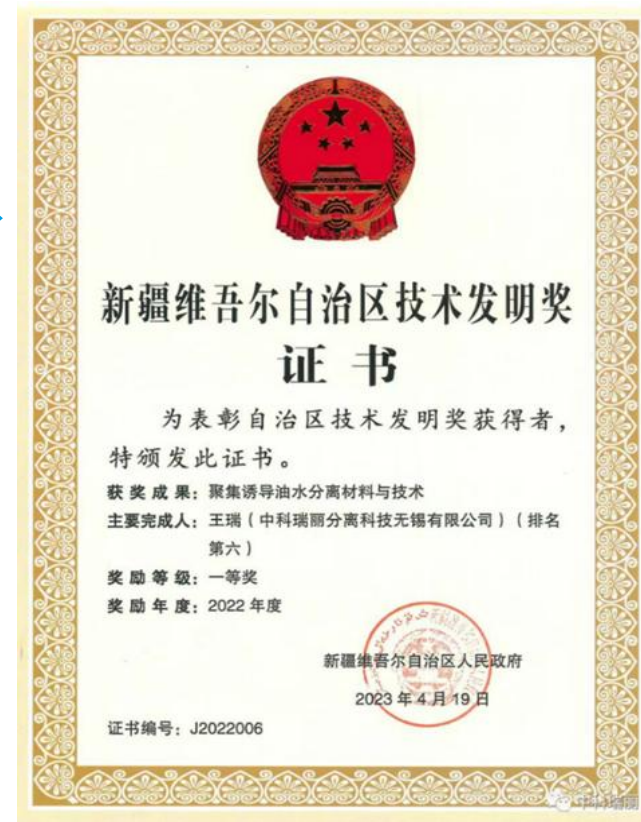


- 无锡市高新区创业**领军人才团队**
- 完成**天使轮融资**
- 京津冀**子公司设立**

2019 2022 2023 2024

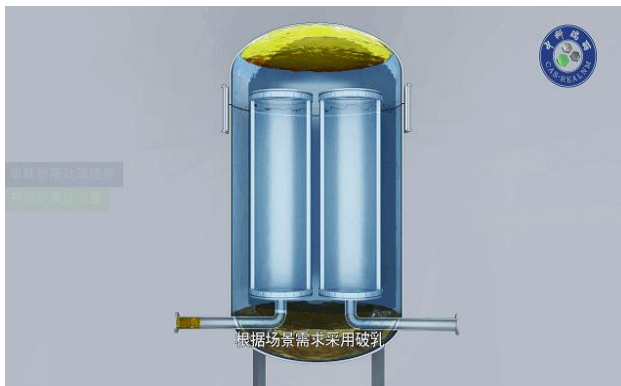


- 入选**国家高新技术企业**
- 入选江苏省无锡市**雏鹰企业**
- 入选江苏省无锡市工信局**创新型中小企业**
- **新疆自治区技术发明一等奖（年度唯一）**

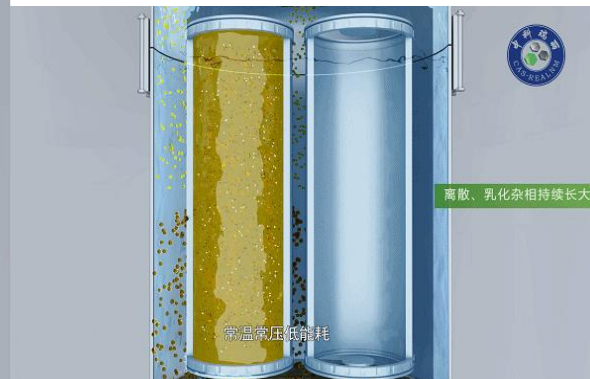


3. 化工及其它行业应用推广

聚集诱导分离材料及技术 (AIS) —— 面向绿色双碳的核心科技



- **破乳滤芯**
液滴由小变大



- **分离滤芯**
通水阻油/通油阻水

- 无药剂添加
- 油品可回收
- 密闭无气味
- 运行能耗低
- 全自动远控

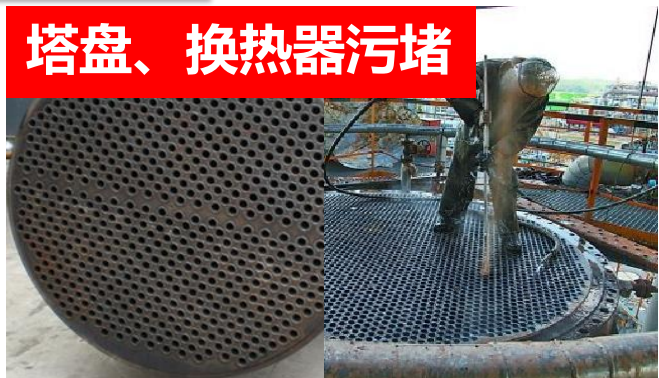
- **破乳 (内进外出)** : 将连续相包裹分散相的状态打破 (**水包油/油包水**)
- **分离 (外进内出)** : 两相分离轻相在上, 重相在下并根据斯托克斯定律 (Stokes theorem) **自由沉降/浮升**

3. 化工及其它行业应用推广

煤热解含油废水处理不达标衍生问题



某兰炭企业酚氨回收装置



蒸氨脱酚换热器、塔盘、管路污堵

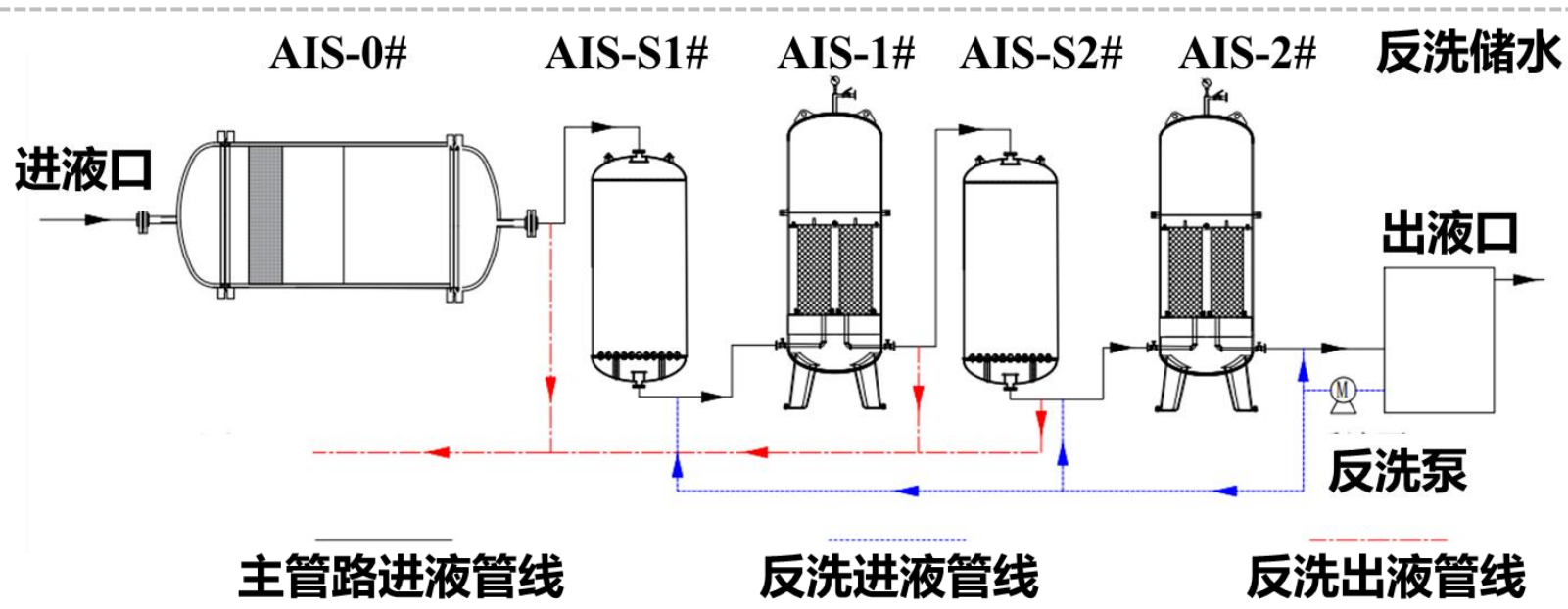


管道污堵

- **焦油资源浪费**：分离过程添加絮凝剂、破乳剂等，导致分散态、乳化态焦油损失浪费
- **关键设备污堵**：造成下游设备塔板、填料及管路严重污堵，严重时导致全套设备**停车**
- **检修安全风险**：污堵后人工频繁介入清洗，涉及受限空间及高空作业，存在**安全风险**

3. 煤化工及其它行业应用推广

高含油、高含尘——AIS装备配置及运行方式



- **预处理**：针对浮油、分散油
- **破乳分离**：纯物理方式处理高度乳化态油水混合物
- **聚集除尘**：改性聚集床高精度处理固体悬浮物 (SS)



3. 化工及其它行业应用推广

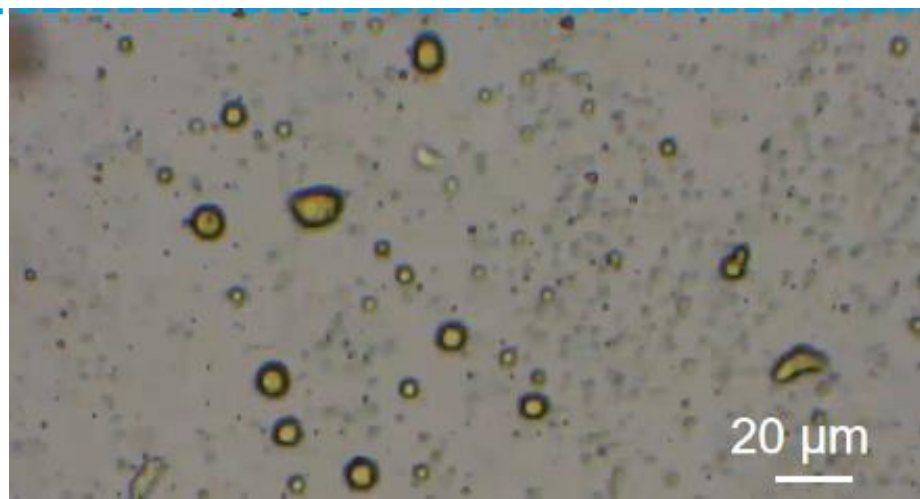


新疆哈密某能源集团-煤低温热解含油含尘废水资源化处理

宏观
对比



微观
状态



3. 化工及其它行业应用推广



新疆哈密某能源集团-煤低温热解含油含尘废水资源化处理

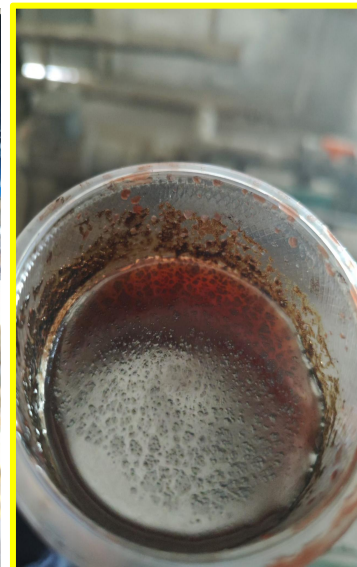
废水中焦油资源化回收—高效性



聚集除渣系统反冲洗恢复—有效性



反洗前
进出水状态



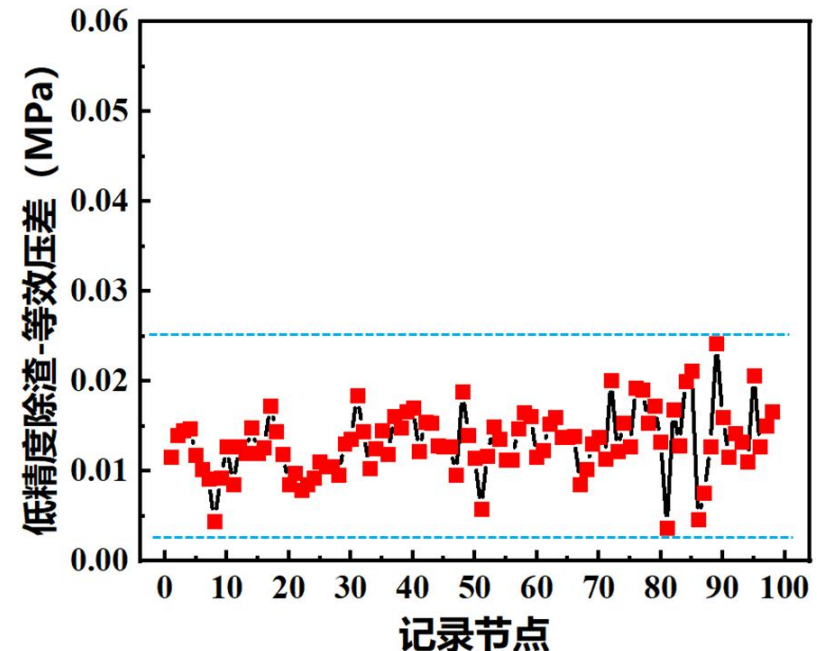
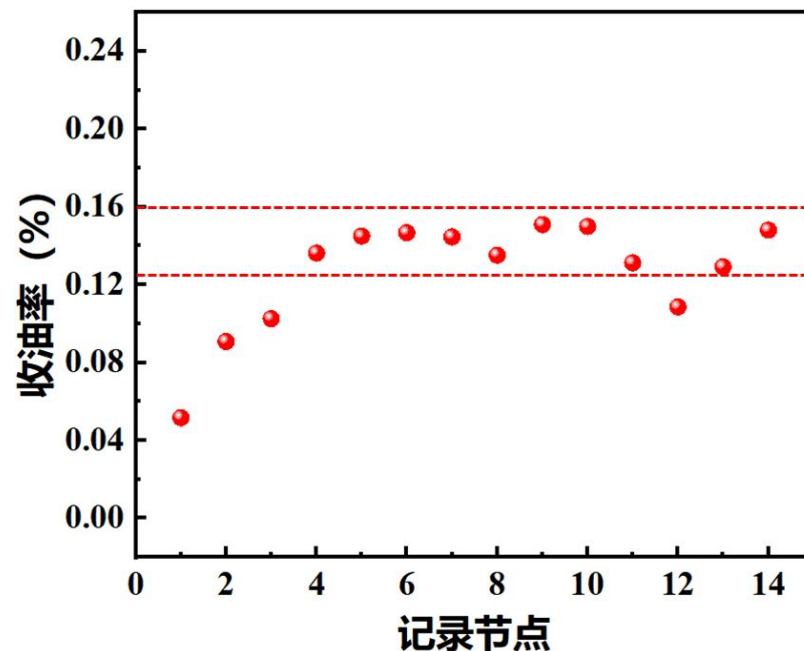
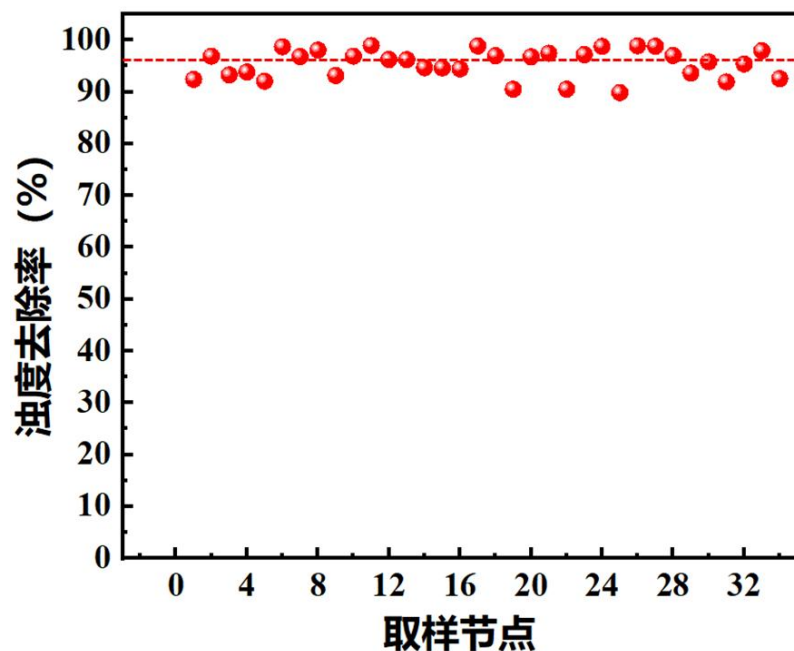
聚集除渣系统
反洗出水

- 吨水处理可回收焦油1.39 kg，油品密度0.98 g/cm³ (20℃)，收集油品含水率仅为2.1%
- 聚集除渣装备通过时间和压差双控，定期反冲洗可维持其运行压差在小范围内波动

3. 化工及其它行业应用推广



新疆哈密某能源集团-煤低温热解含油含尘废水资源化处理



- 设备具有**稳定、高效的除浊、除油性能**，收油率根据进液水质波动有轻微变化
- 除渣装备运行等效压差小于0.025 MPa，通过定期**反冲洗**可长时间维持其稳定运行

3. 化工及其它行业应用推广

陕西某能源化工集团有限公司——甲醇制烯烃（MTO）浓缩水处理

进液
特点

- COD高达15w-50w ppm
- 系统温度105 °C

出液
状态

- 干净透明
- 游离态油降低90%+（SS测试方法）

进液

出液



2024.9.9

进液

出液



2024.9.10

进液

出液



2024.9.18

排油



2024.9.18

- 进液含油波动
- 进液乳化严重



- 出水清澈
- 除油率高

3. 化工及其它行业应用推广



陕西某能源化工集团有限公司——甲醇制烯烃（MTO）水洗水除油、除固

- 水洗水温度较高80-90 °C，杂质含量高，多为催化剂粉末
- 水洗水油含量较低但有波动，油滴多呈乳化状态，原液中无明显浮油，有肉眼可见杂质
- 分离设备运行期间出液状态稳定，保持清澈透亮无明显油膜及固体悬浮物，排油过程中带出杂质



样品	固体悬浮物 SS-第三方测试 (mg/L)	含油量 第三方测试 (mg/L)
进液	43	146
出液	14	30
效率 (%)	67	79

正本

检测报告

No: YCQJ2024125812

项目名称 中煤陕西榆林能源化工有限公司 V1202 号罐气
提前污水送样检测

委托单位 中科瑞丽分离科技无锡有限公司

检测类别 送样检测

报告日期 2024 年 11 月 20 日

榆林市常青环保检测有限公司

榆林市常青环保检测有限公司检测报告

24125812 第 1 页 共 1 页

中煤陕西榆林能源化工有限公司 V1202 号罐气提前污水送样检测			
中科瑞丽分离科技无锡有限公司			
送样检测	联系人	牛永平	
XY-2024-209	联系电话	18691295375	
石油类、悬浮物			
点位: 进液、出液			
频次: /			
分析方法/依据			
分析方法/依据	所用仪器型号/编号/有效期	方法检出限	
水质 石油类和动植物 油类的测定 红外分光光度法 HJ 637-2018	OIL-480 红外分光测油仪 (YCQ-072)2025.03.18	0.06 mg/L	
水质 悬浮物的测定 重量法 GB 11901-1989	BSA 224S 电子天平 (YCQ-109) 2025.03.18	4 mg/L	
检测结果			
玻璃瓶包装完好	样品数量	4 瓶 (G)	
样品均浑浊、异味强	送样日期	2024 年 11 月 18 日	
SSJ202411017-1-2-01	分析日期	2024 年 11 月 19 日	
检测结果			
单位	测定值	分析人员	
	进液	出液	
mg/L	146	30	李艳
mg/L	43	14	韩秀艳

检测结果仅对来样负责。
样品的采集、保存、运输由送样方负责。

审核人: 2024.11.20 室主任: 2024.11.20 签发人: 2024.11.20

2024 年 11 月 20 日 2024 年 11 月 20 日 2024 年 11 月 20 日

3. 化工及其它行业应用推广

推广应用—石化行业：丙烷脱氢制丙烯（PDH）含油废水

项目现场



参数	化学需氧量 (mg/L)
进水	18000
出水	273

回收的油



净化后的水



反冲洗排渣



- 目前该装置在天津渤海化学连续运行，日处理量500 m³/天，最终出水COD均值273 mg/L、SS含量均值33 mg/L，自开车起（2023.06.01）运行至今效果稳定，未更换功能滤芯

3. 化工及其它行业应用推广



推广应用—石化行业：丙烷脱氢制丙烯（PDH）含油废水



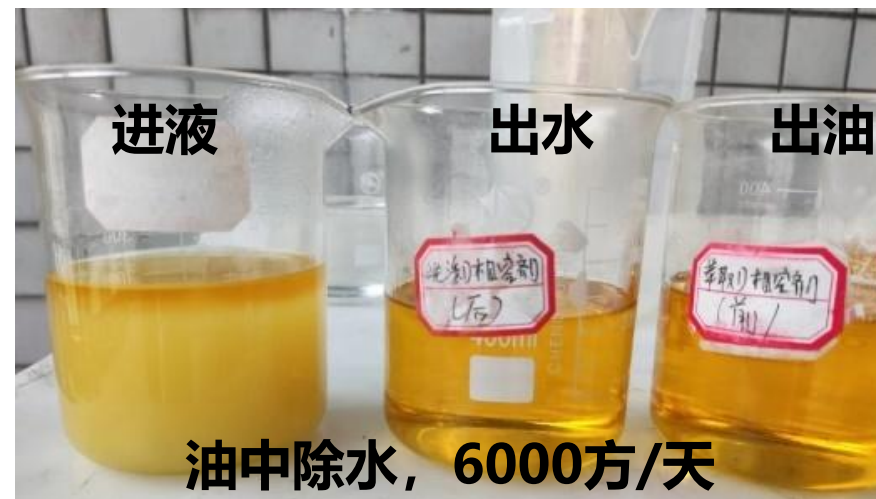
■ 第二套成套化设备目前在宁波台塑现场安装过程中

3. 化工及其它行业应用推广



推广应用—石化行业：冶金行业含油污水

湿法冶金过程中的脱水脱油：取代美国陶瓷膜技术



AIS用于冶金行业多种油-水混合物分离 ($\text{pH}=0.5$, 液温80度), 2023.10投产

3. 化工及其它行业应用推广



推广应用—石化行业：爆炸应急处理

石化行业含油污水：保障生化工艺正常运行



AIS超负荷运行：25-->80 m³/h，10天处理2.1万m³



原水 出水 高精度 排油



致谢



国家自然科学基金委员会

National Natural Science Foundation of China

شىنجاڭ ئۇيغۇر ئاپتونوم رايونلۇق پەن-تېخنىكا نازارىتى

新疆维吾尔自治区科学技术厅

Science & Technology Department of Xinjiang Uygur Autonomous Region



国科控股

CAS HOLDINGS



中国科学院

CHINESE ACADEMY OF SCIENCES

恳请各位专家批评指正！

