

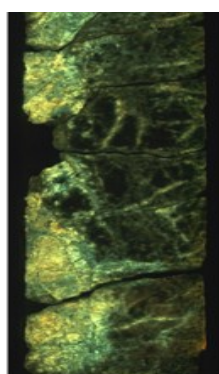
数字岩心技术

➤ 全直径岩心数字扫描分析服务

对岩心外表面及内部构造进行扫描，形成二维、三维图像，建立数字岩心库，实现岩心无损、永久保存。

样品长度：23cm，直径：10cm

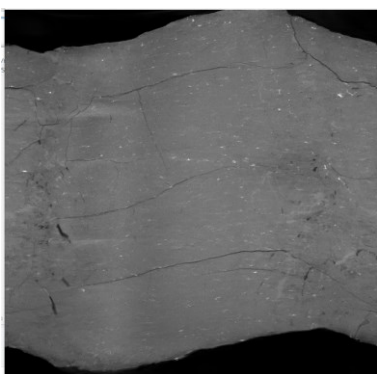
扫描分辨率：70μm



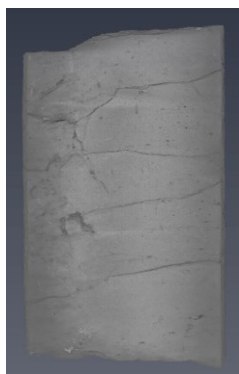
荧光图像



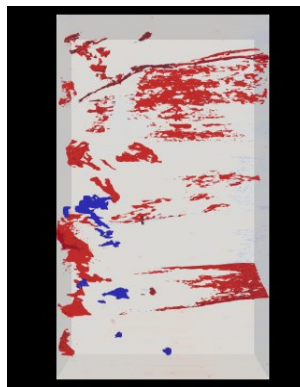
白光图像



360°环面展开图



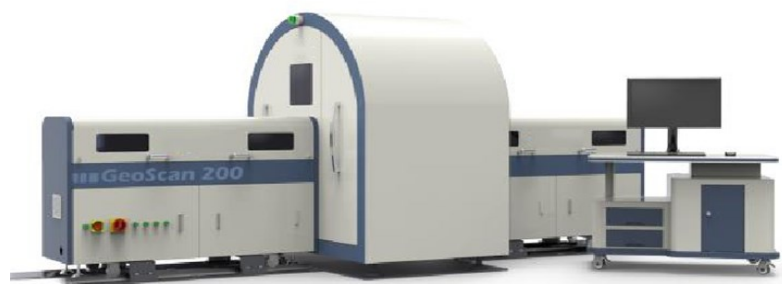
动态立体图



裂缝、孔洞分布图

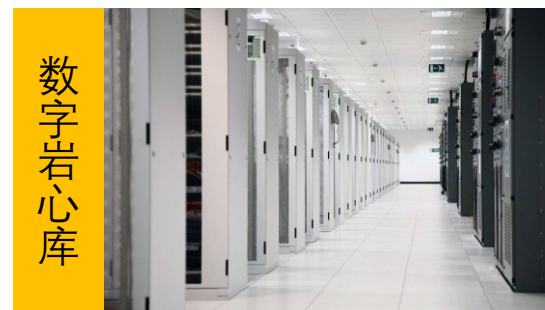
■ 裂缝
■ 孔洞

裂缝条数	17
低角度裂缝 (15°~45°)	8
高角度裂缝 (45°~75°)	8
垂直裂缝 (≥75°)	1
长度均值 (mm)	29.6
宽度均值 (mm)	15.1
张开度均值 (mm)	0.65
裂缝总孔隙度 (%)	0.70
孔洞孔隙度 (%)	0.53
总孔隙度 (%)	1.23



实物岩心库

体量大、难管理，易风化、难保存



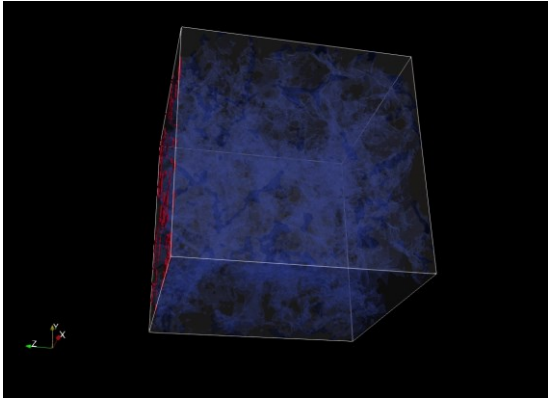
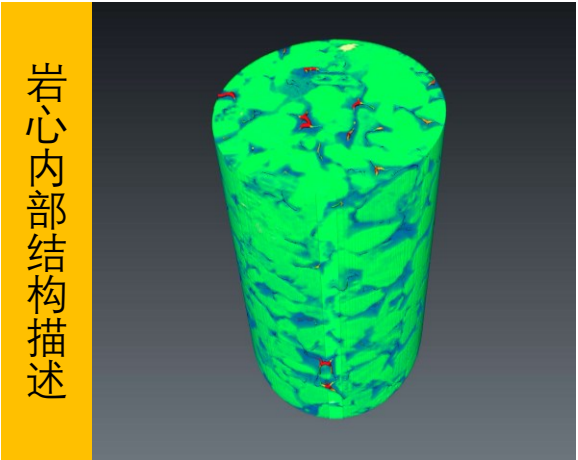
数字岩心库

体积小、易管理，无损永久保存

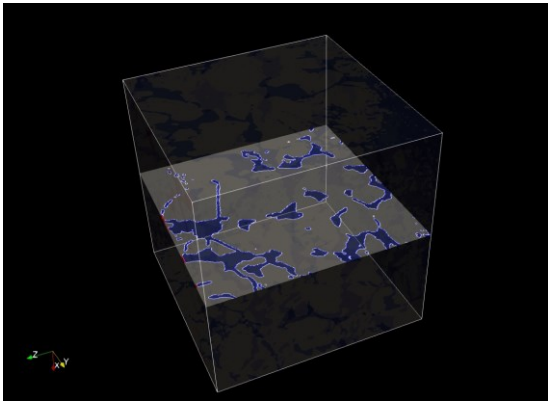
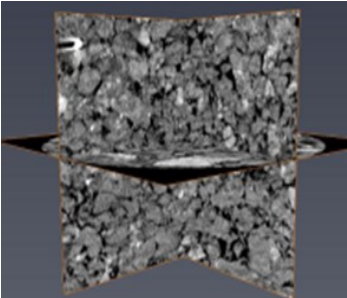
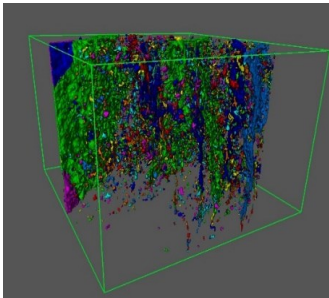
数字岩心技术

➤ 多尺度柱塞样/微样品数字化分析服务

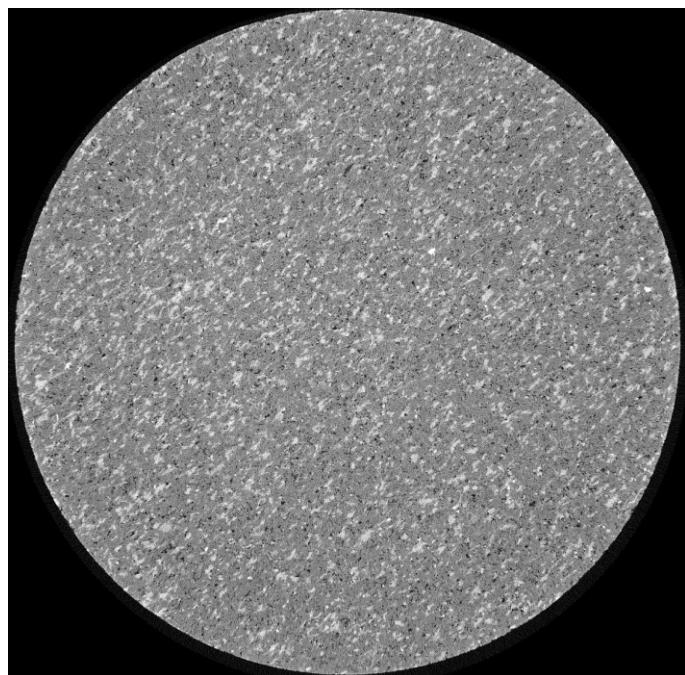
精准描述岩石内部孔隙结构及矿物分布特征，建立数字岩心模型，开展渗流、岩石力学模拟实验等。革新现有实验方式，耗时短(2-6小时)、可无限次实验。



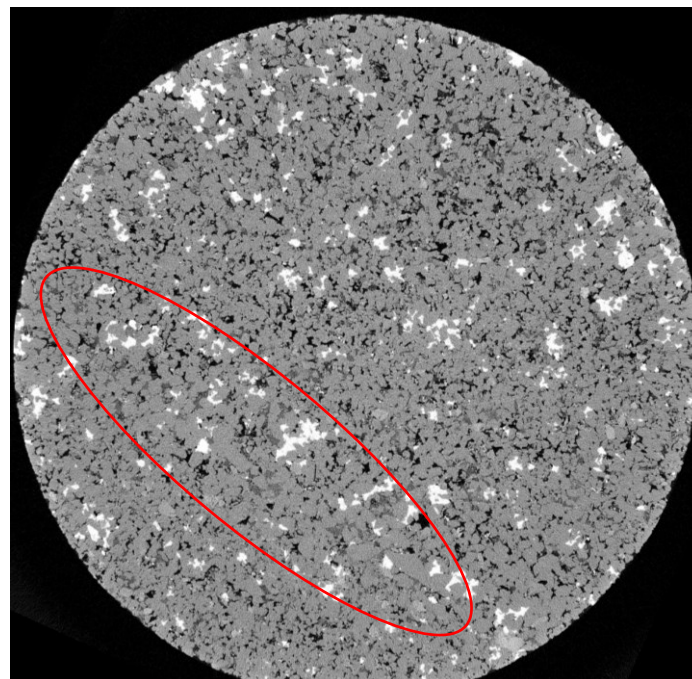
显微CT - nanoVoxel 4000



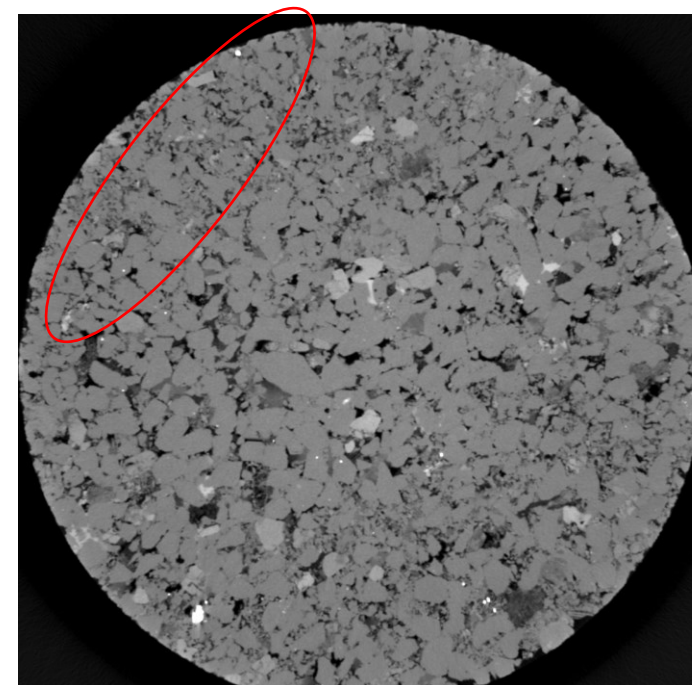
➤ 应用: 鄂尔多斯致密砂岩储层 (CT扫描)



细砂岩, 孔隙度7.12%, 有效孔隙度3.32%



细-中砂岩、非均质性强, 见钙质填充, 孔隙度11.25%, 有效孔隙度8.6%

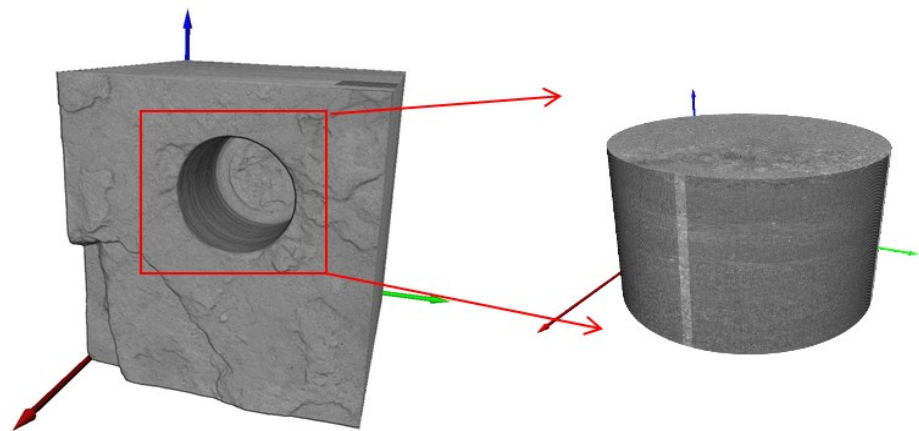


中砂岩, 非均质性强, 孔隙度12.98%, 有效孔隙度6.28%

样品编号	分辨率/ μm	孔隙度/%	有效孔隙度/%	平均有效孔隙半径/ μm	平均喉道半径/ μm	平均配位数	渗透率/md
1#	7.2 μm	7.12	3.32	12.89	7.31	1.18	0.84
X327#	7.2 μm	11.25	8.60	14.88	9.74	2.43	9.74
2531#	7.2 μm	12.98	6.28	43.85	31.88	1.91	56.35

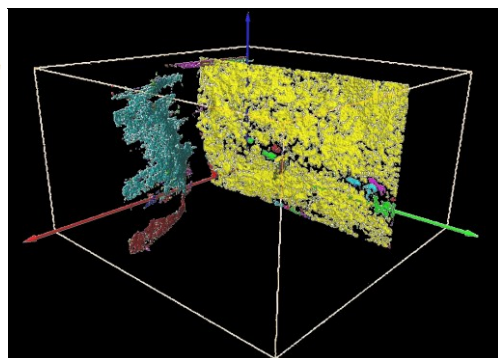
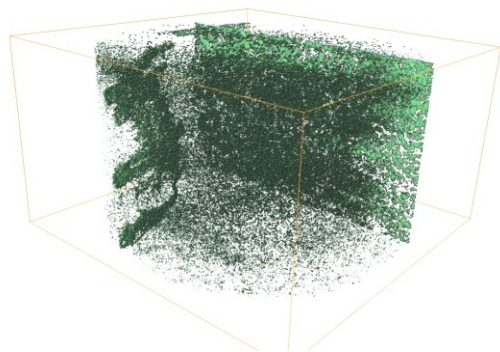
样品编号	颗粒分割模型	总孔隙体积模型	球棍模型	喉道模型	渗流模型
1#	由于颗粒接触紧密，颗粒边界较难区分，该样品未分析颗粒分割				
X327#					
2531#					

➤ 应用：凝灰岩储层（CT扫描）

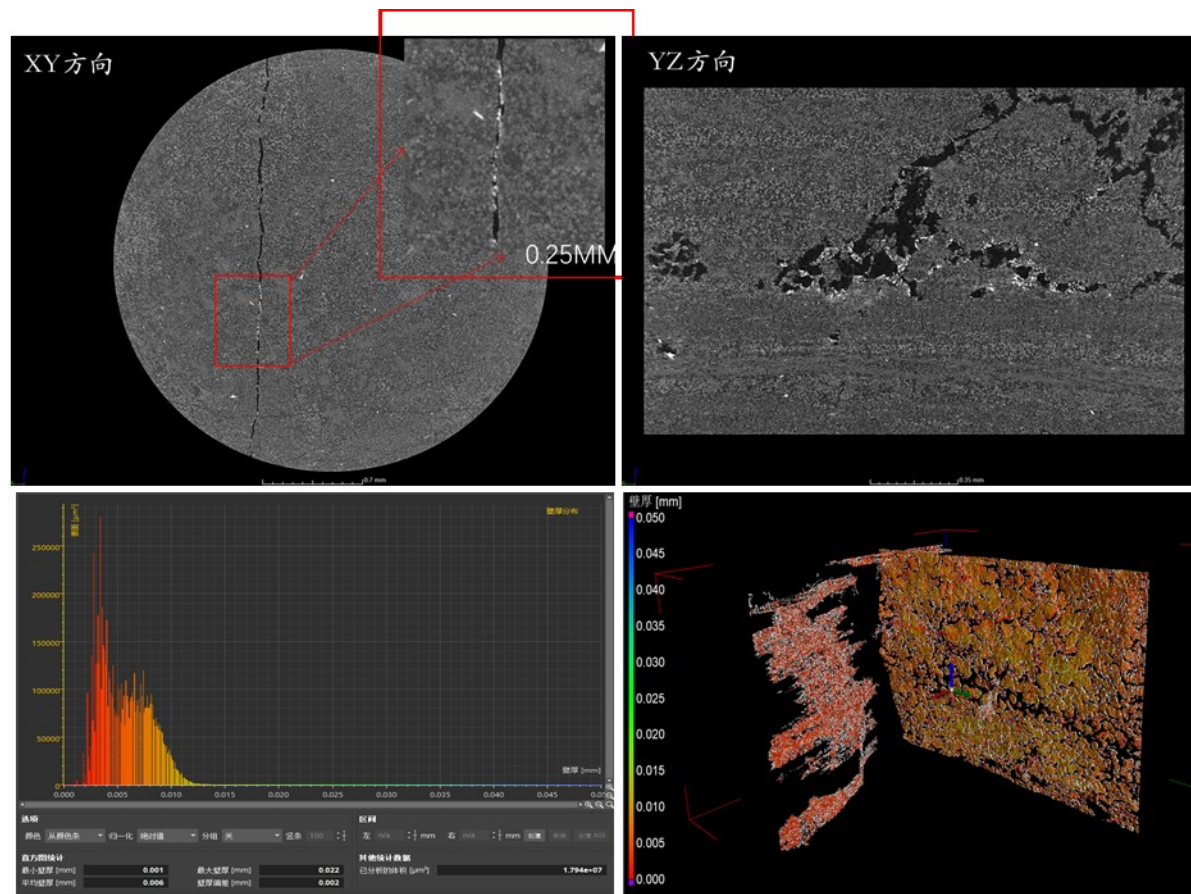


整体扫描结果8 μm

选择特征区域0.9 μm



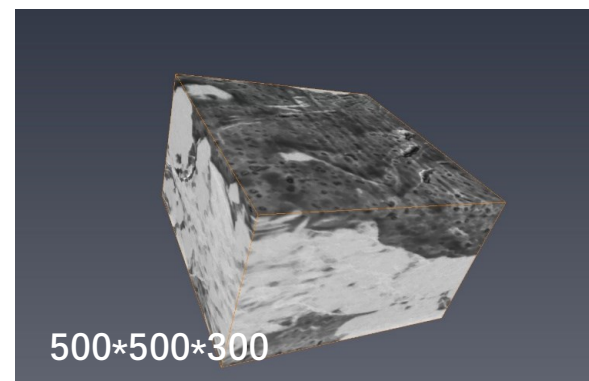
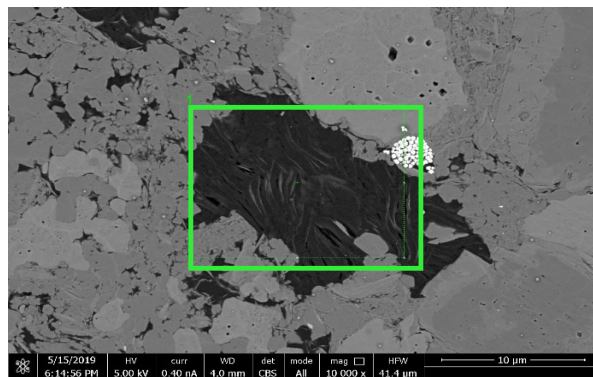
基质孔隙度为0.35%，裂缝孔隙度0.39%，孔隙间靠裂缝连通，连通率46%。



最小宽度	最大宽度	平均宽度	宽度偏差
0.001mm	0.022mm	0.006mm	0.002mm

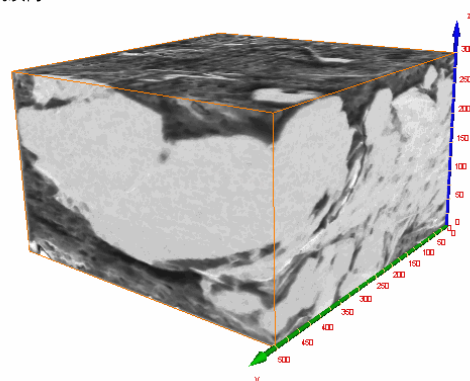
➤ 应用: 页岩孔喉结构分析

FIB-SEM三维重建

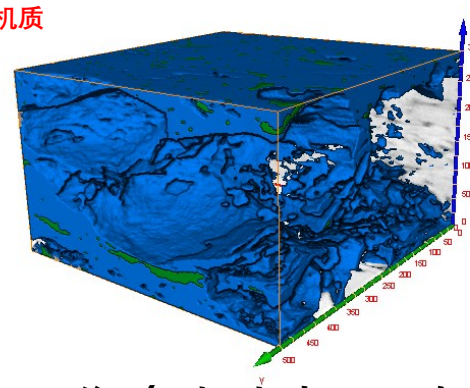


扫描二维切片图像与3D图像

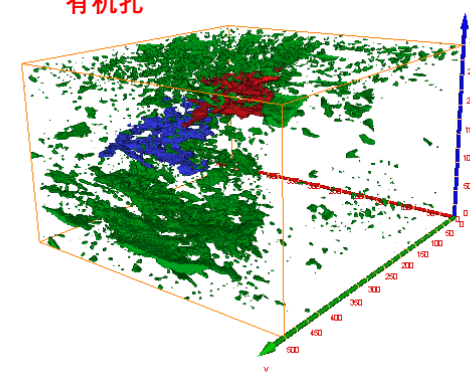
$\Phi_{\text{有机质内}} = 40.78\%$



有机质



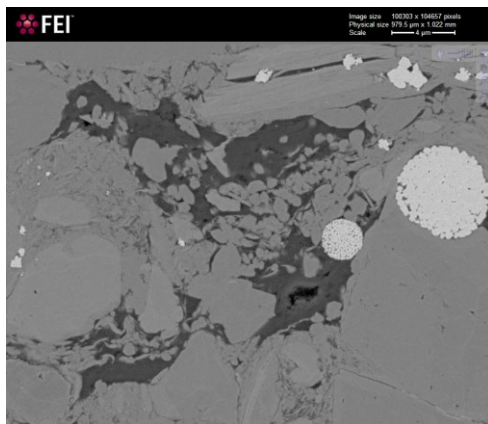
有机孔



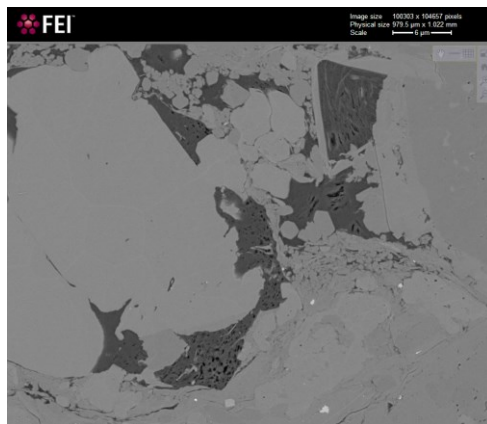
阈值分割3D图像 (a.切片动画;b. 有机质;c.有机孔)

➤ 应用：页岩孔喉结构分析

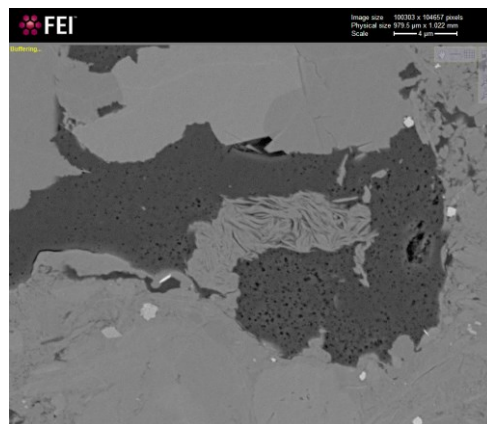
MAPS (大面积高分辨率背散射成像)



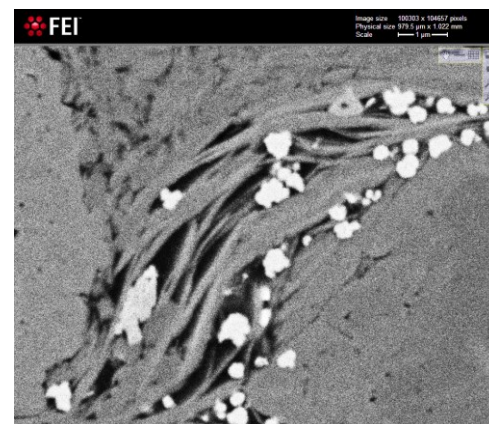
圆状有机孔



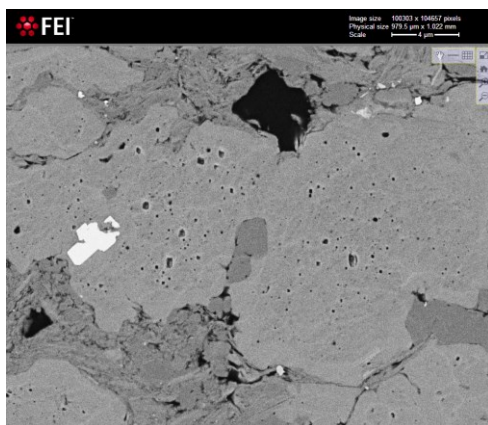
网络状有机孔



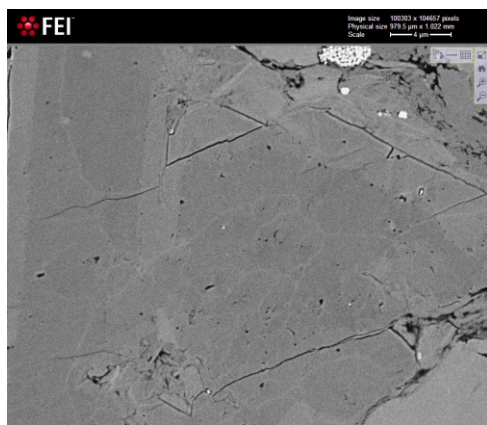
海绵状有机孔



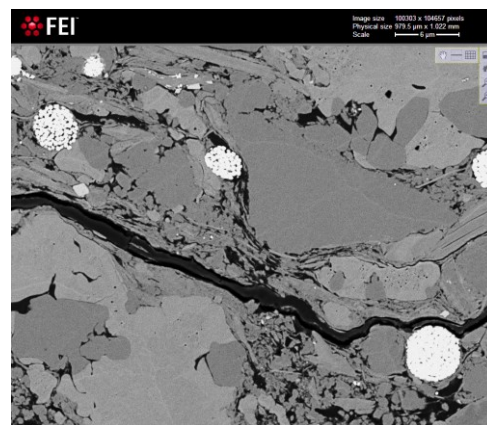
无机孔
(黏土粒间孔)



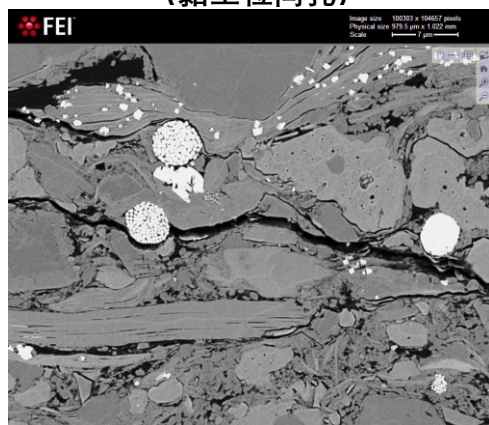
无机孔
(方解石粒内孔)



无机孔
(白云石粒内孔、缝)

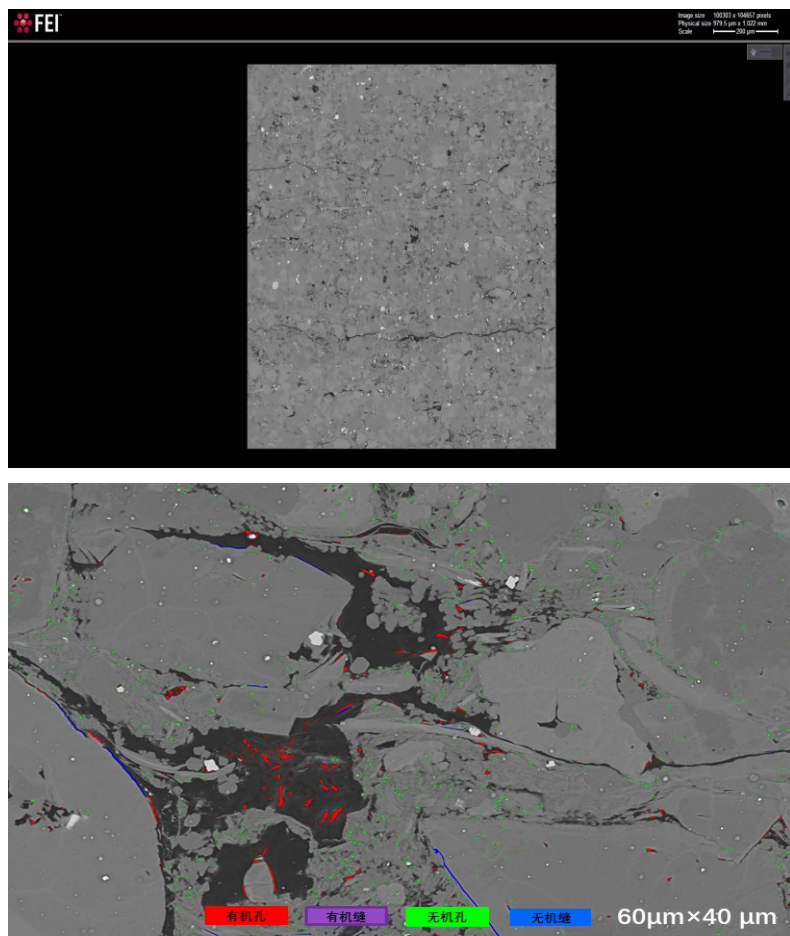


无机缝
(有机质充填)

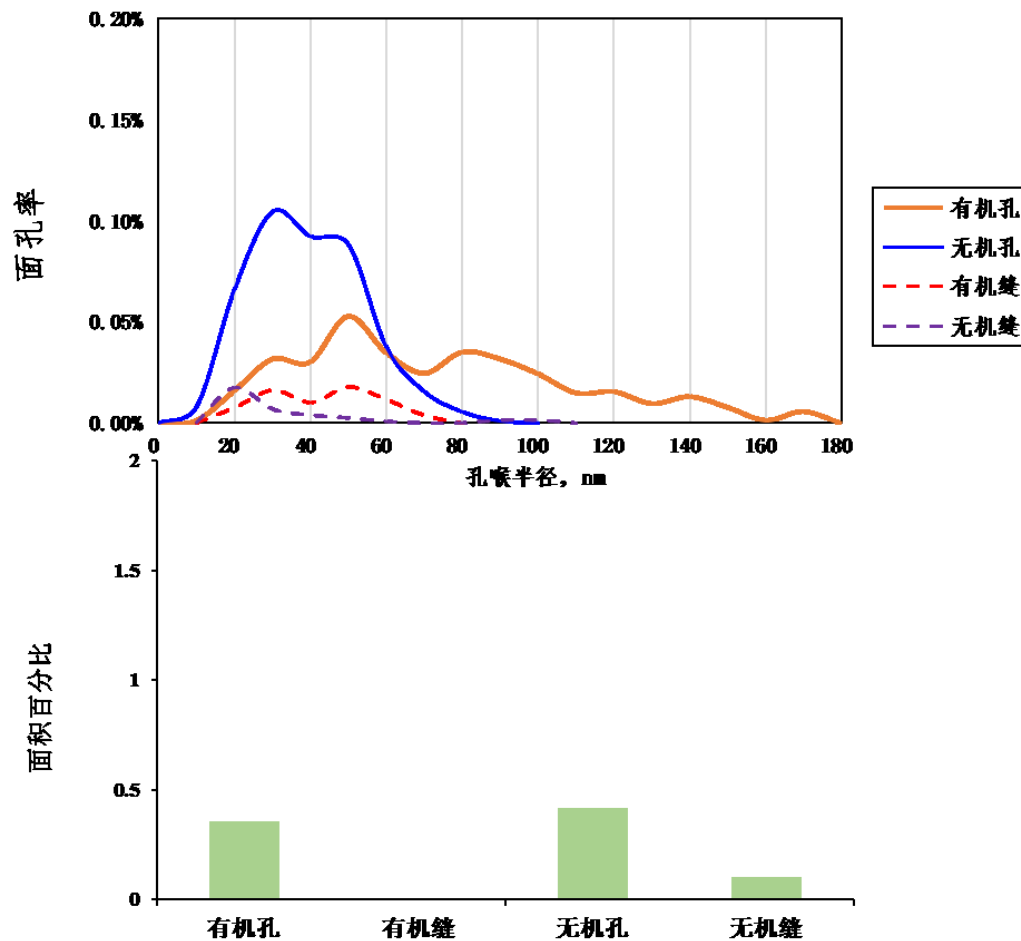


无机缝
(构造缝)

➤ 应用: 页岩孔喉结构分析



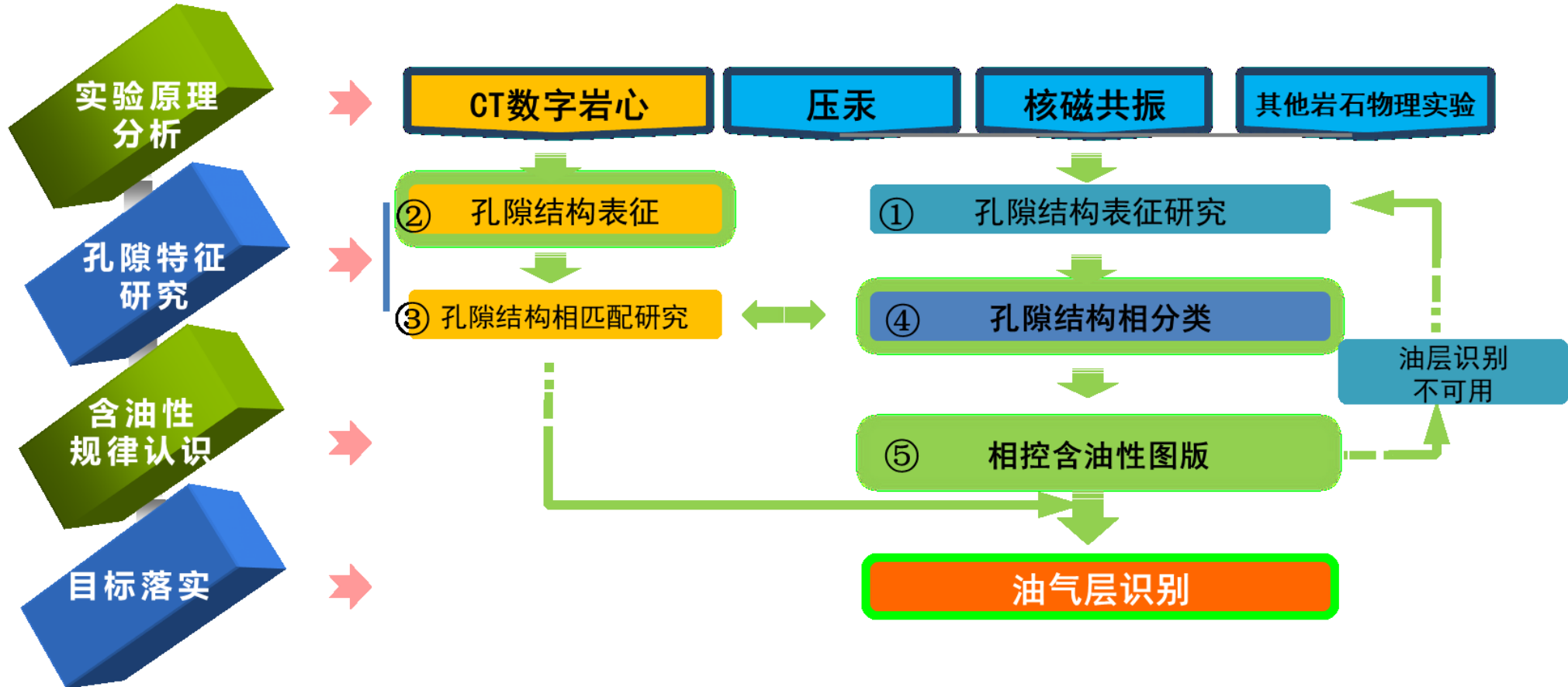
MAPS (大面积高分辨率背散射成像)



数字岩心技术

➤ 应用: 提升油气层评价精度

基于三维CT、核磁、压汞等实验，开展CT与岩石物理联合分析，创建了CT-测井孔隙结构分类标准，形成不同泥浆条件下的测井-岩心耦合聚类含油性识别图版，开展储层品质与含油性评价。



数字岩心技术

➤ 应用: 提升油气层评价精度

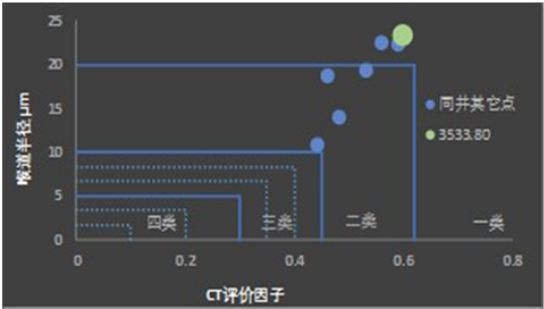
CT分类标准

孔隙度类型			孔隙大小类型			喉道大小类型		
孔隙度类型	孔隙度 %	无量纲量	孔隙类型	半径范围 μm	无量纲量	喉道类型	半径范围 μm	无量纲量
超低孔	0~5	1	特小孔II	0~5	1	微细喉	0~1	1
特低孔	5~10	2	特小孔I	5~10	2	细喉II	1~3	2
低孔	10~15	3	小孔	10~20	3	细喉I	3~5	3
中孔	15~25	4	小中孔	20~30	4	较细喉II	5~7	4
高孔	25~30	5	大中孔	30~40	5	较细喉I	7~10	5
特高孔	>30	6	大孔	>40	6	中细喉	10~15	6
						中粗喉	15~20	7
						粗喉	>20	8

孔隙连通类型			裂缝贡献率类型			裂缝宽度类型		
孔隙连通性类型	平均配位数	无量纲量	裂缝贡献率类型	裂缝孔隙度贡献率 %	无量纲量	微裂缝宽度类型	微裂缝宽度 μm	无量纲量
低连通	0~1.5	1	特低贡献	0~5	1	特细宽度微裂缝	0~5	1
中低连通	1.5~2	2	低贡献	5~10	2	细宽度微裂缝	5~10	2
中高连通	2~3	3	中贡献	10~30	3	中宽度微裂缝	10~20	3
高连通	3~5	4	高贡献	30~100	4	粗宽度	20~100	4
特高连通	>5	5						

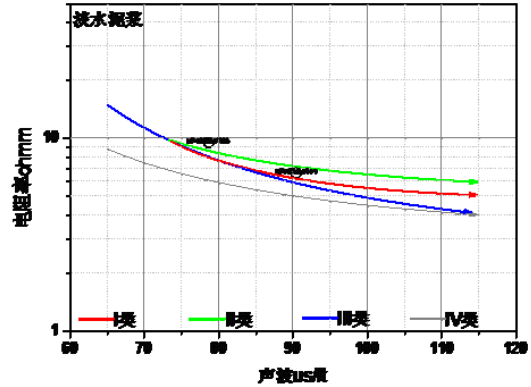
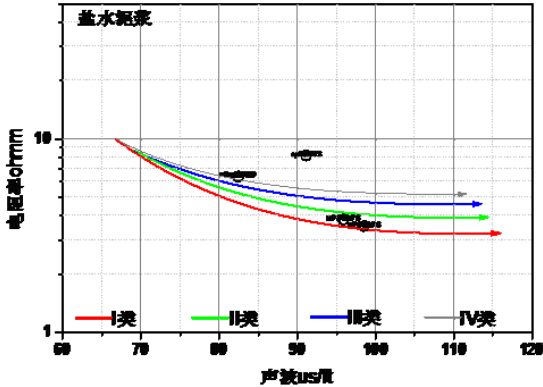
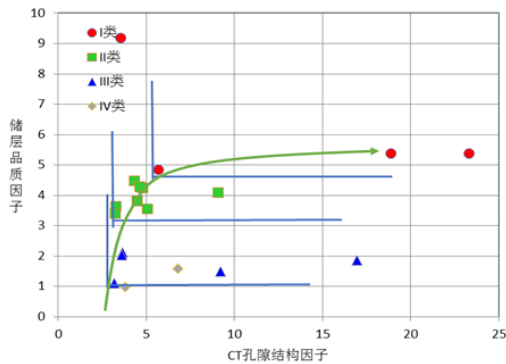
储层分类标准

序号	参数名称	权重数
1	喉道半径	1.2
2	孔喉连通性	1.5
3	孔隙半径	1
4	孔隙度	1.5
5	裂缝贡献率	1.5
6	微裂缝宽度	1.2



类别	CT评价因子	喉道半径 μm
一类	>0.6	>20粗喉
二类	0.45~0.6	10~20中喉
三类 (I、II、III)	0.3~0.45	5~10较细喉
四类 (I、II、III)	<0.3	<5微细、细喉

校正测井解释模型，
提高测井解释符合率8.3%。



数字岩心技术

➤ 应用: 区块潜力快速评价

- 新钻井物性、孔隙结构快速评价, 指导新井生产, 提高新井投产成功率;
- 老区潜力评价需求, 为老井潜力研究提供支撑;
- 为数字岩心指纹库建立奠定基础。



研究区域分层位CT扫描孔隙结构参数表

层位	数量	平均孔隙度%	平均孔隙半径	平均喉道半径	平均配位数
储陶组	25	16.52	21.14	18.17	2.37
东一段	78	19.79	27.78	21.23	3.04
东二段	143	15.54	21.17	16.70	2.30
东三段	243	13.59	21.08	16.61	2.19
沙一段	137	10.74	15.15	12.39	2.06
沙二段	9	8.96	11.07	7.85	1.45
沙三段	310	12.01	15.27	13.12	2.01
下白垩系	13	19.24	25.15	22.13	3.01
前震旦系	2	3.33	6.60	5.39	1.35
前副县系	2	3.41	6.04	4.49	1.22
元古界	6	4.60	8.67	5.80	1.13
太古界	32	5.89	9.76	8.10	1.53

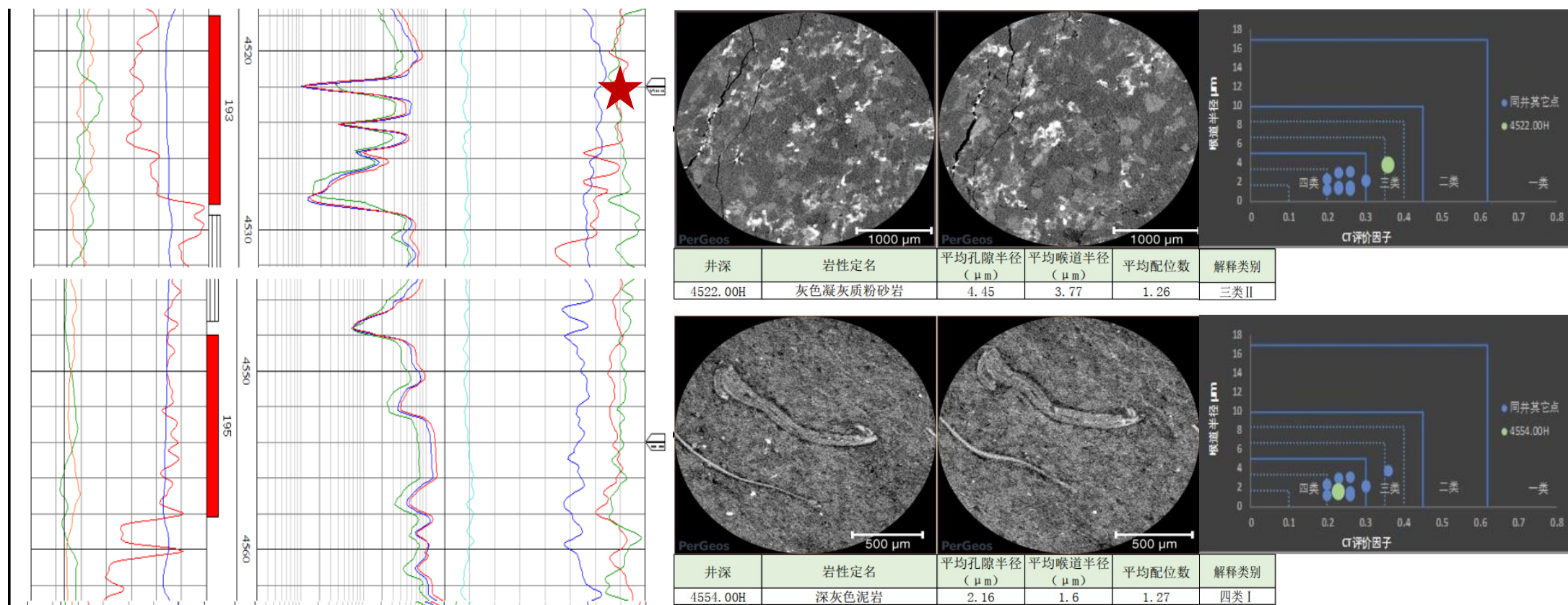


研究区域分区块CT扫描孔隙结构参数表

层位	数量	平均孔隙度%	平均孔隙半径	平均喉道半径	平均配位数
中砂岩	11	4.95	8.73	6.92	1.54
细砂岩	27	19.42	22.74	18.69	3.20
泥岩	251	13.56	16.94	14.24	2.11
砾岩	1	3.79	6.92	4.92	1.25
火山岩	81	14.77	22.89	20.14	2.47
含砾不等粒砂岩	64	18.51	25.02	23.38	2.99
粉砂岩	25	11.89	15.63	14.74	2.13
粗砂岩	20	5.75	11.32	9.07	1.44
变质岩	2	3.33	6.60	5.39	1.35

➤ 应用: 为新井快速决策提供依据

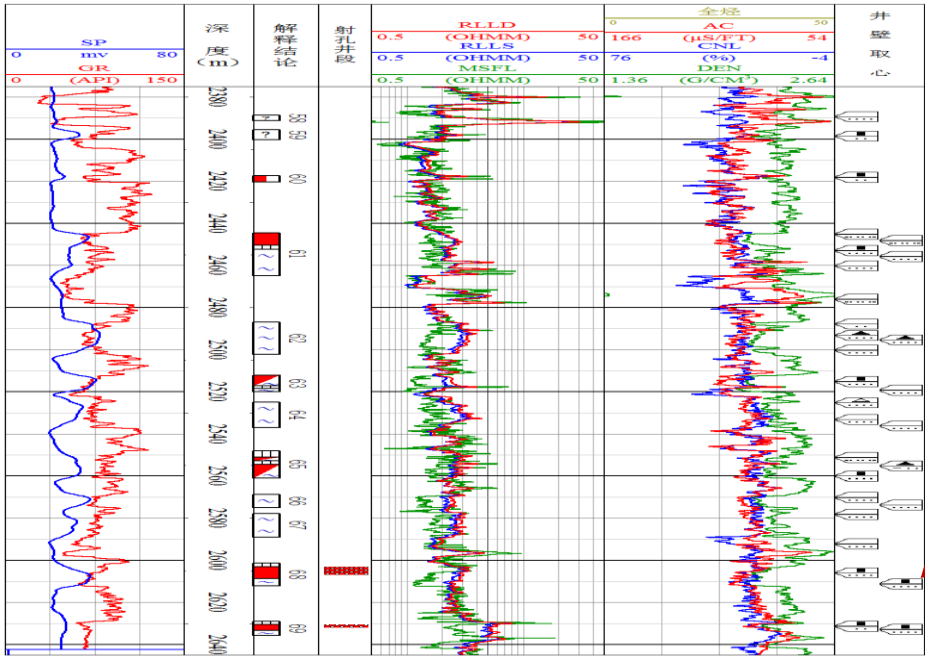
- 现场服务, 协助快速决策, 极大缩短占井周期;
- 风险探井NPXX井, 4个工作日完成24块岩样 (较常规分析缩短约16个工作日), 为完井、试油提供有力依据, 让现场生产零停等, 实现提制增效。



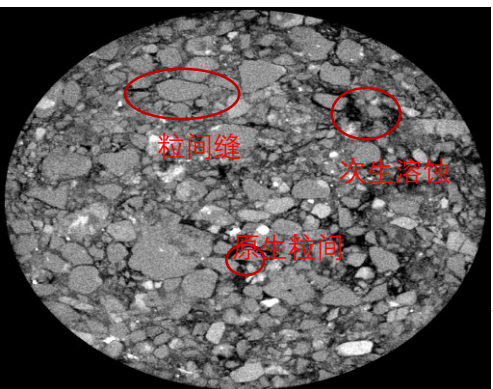
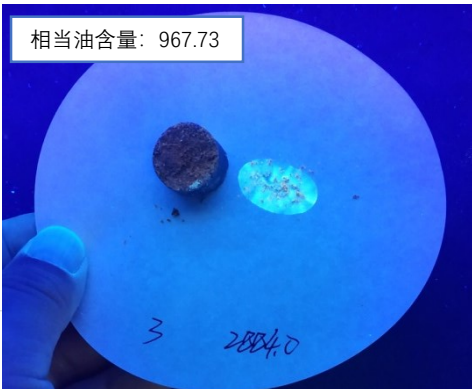
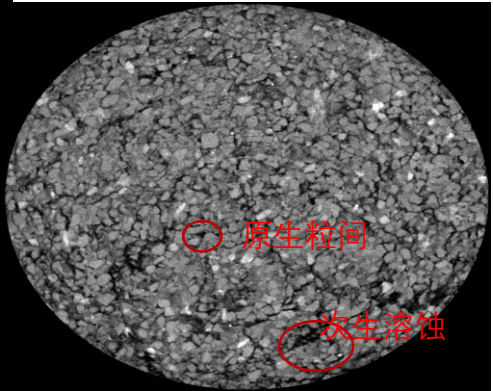
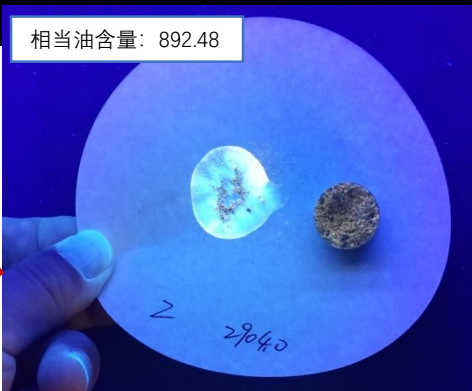
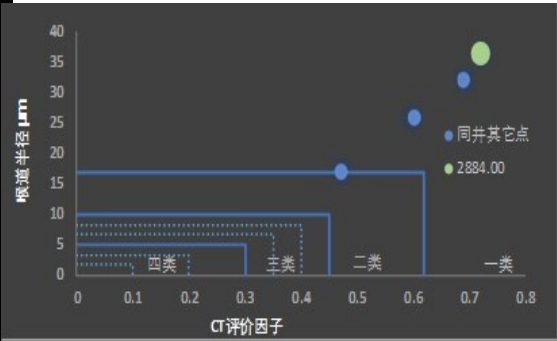
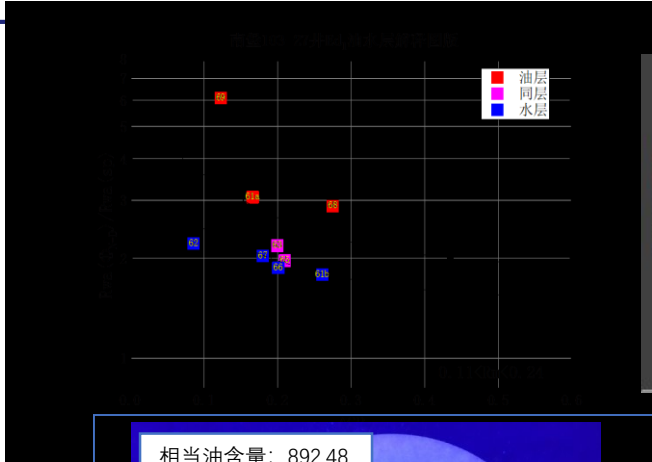
数字岩心技术

- **应用:** 为新井快速决策提供依据
- 为导管架井完井快速决策提供依据;
- 投产初期不产液, 通过图像分析, 确定为泥浆储层污染, 解堵后日产油37吨。

南堡XX井测井曲线图



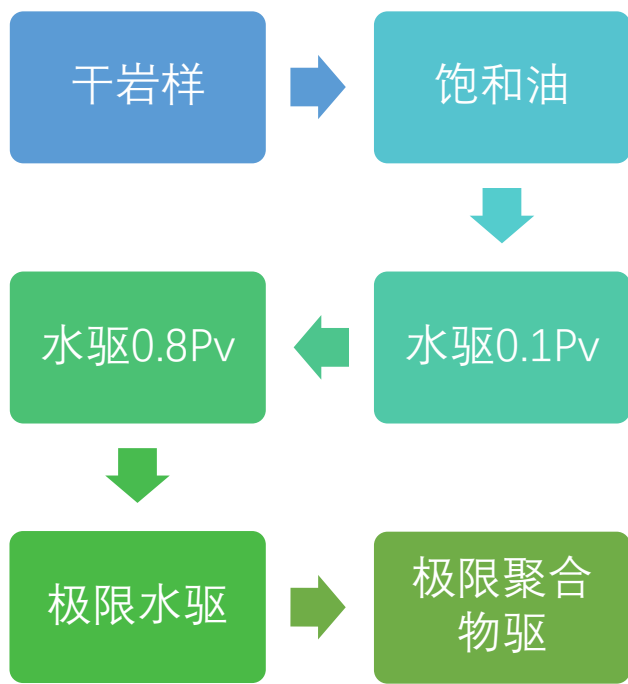
样号	平均孔隙半径 (μm)	平均喉道半径 (μm)	平均配位数	平均孔隙喉比	孔隙度 (%)	孔隙度类型	连通性类型	孔隙类型	喉道类型	CT评价类别
2	54.68	36.58	5.02	1.49	21	中孔	高连通	大孔	粗喉	一类
4	42.66	32.28	3.76	1.32	19.02	中孔	中连通	大孔	粗喉	一类



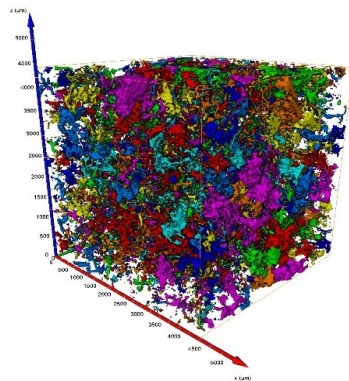
数字岩心技术

➤ 应用: 岩心三维驱替可视化

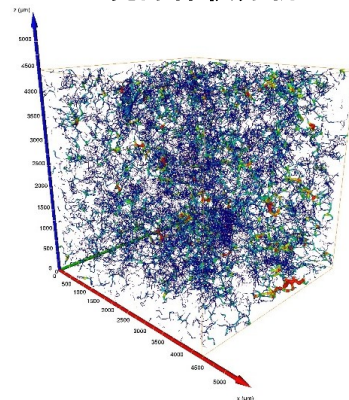
将驱替实验与CT扫描技术相结合, 对不同方式驱替前后岩心微观孔隙结构变化及岩心微观剩余油赋存状态进行探究, 为油田开发方式优选提供理论依据。



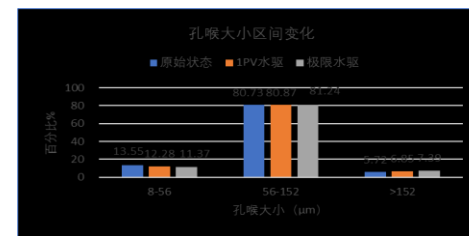
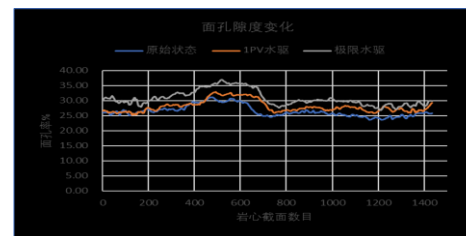
全过程在线CT扫描



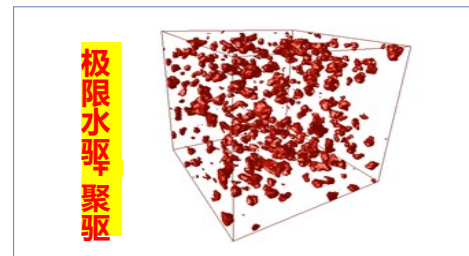
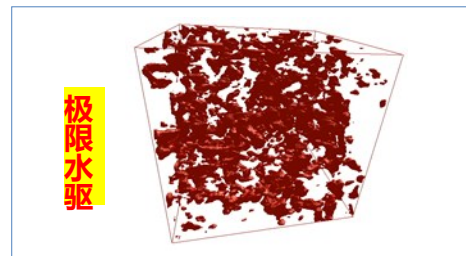
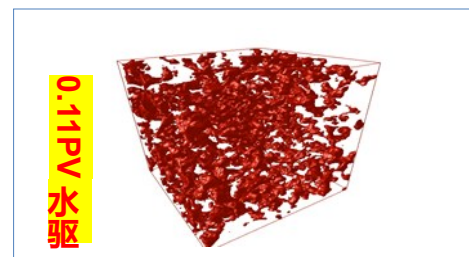
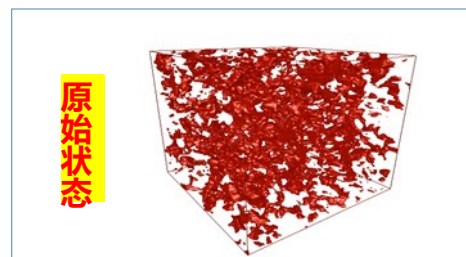
孔隙体积分析



连通性分析



微观孔隙结构变化



微观剩余油分布变化