

**ANTON 安東**

# 安东数字岩屑技术

数字岩屑技术应用成果，高效实时从“岩屑”中获取地质工程参数

**东方智慧 全球分享**  
Oriental wisdom , Global sharing

- 一、数字岩屑技术概况**
- 二、数字岩屑应用场景**
- 三、数字岩屑案例分享**

## 一、数字岩屑技术概况

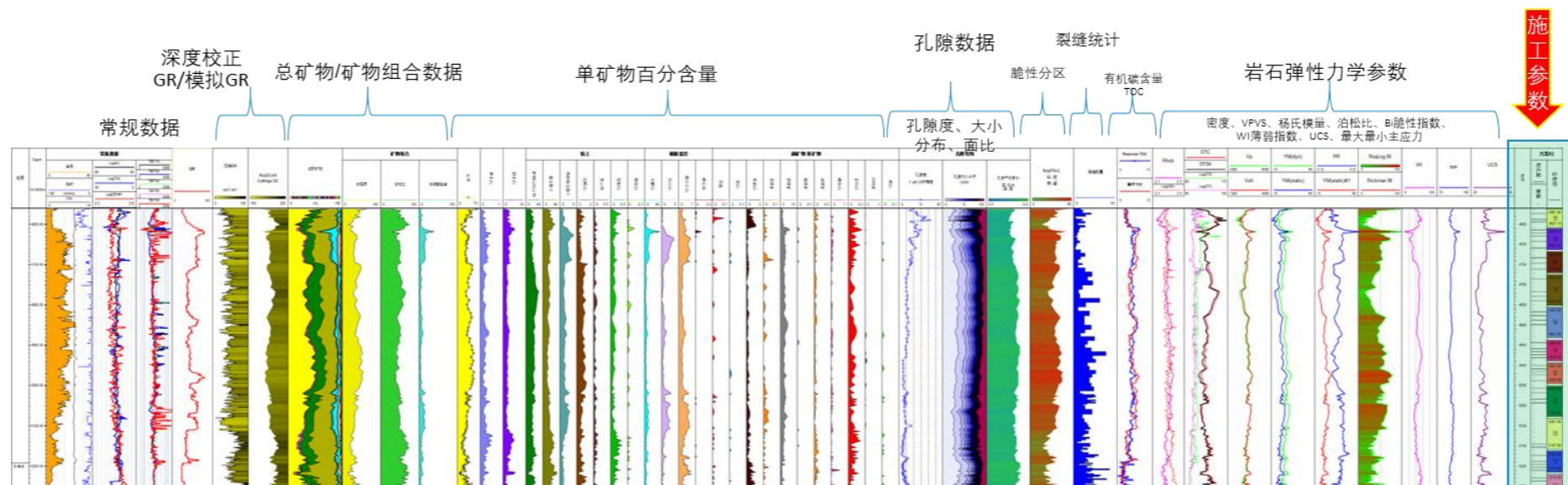


多种样品类型  
岩心/岩屑/壁心等

**技术概述:** 数字岩屑技术通过高精度扫描电镜系统(SEM)、能谱(EDS)、自动矿物分析系统对现场岩屑数字化扫描分析, 提供矿物、孔隙度、孔喉结构、杨氏模量、泊松比、脆性指数等重要参数, 快速评价储层。为地质研究、完井、射孔和压裂设计与优化提供依据。

**成果数据:** 图像数据、定量矿物数据(百余种)、结构数据(孔隙度、孔隙大小分布、孔隙面比等)、裂缝数量统计、骨架(颗粒)密度、岩屑GR。岩石弹性参数: 剪切模量、体积模量、弹性模量、VP/VS、杨氏模量、泊松比、脆性指数BI、薄弱指数WI、破裂压力、 $\mu$ CS、最大最小主应力等。

**主要应用:** 地质工程甜点评价、完井段簇优化、钻井液优化、随钻矿物学地质导向、随钻地层压力预测、测井资料标定、替代部分实验分析和测井方法、替代部分钻井取芯、综合地质研究。



## 一、数字岩屑技术概况

数字岩屑技术流程：通过对随钻获取的录井岩屑进行扫描分析，获取储层特征参数，进而计算岩石力学参数，拟合全井段综合成果曲线，分析单井综合甜点，为钻中实时优化、完井后开发方案制定提供数据支撑。



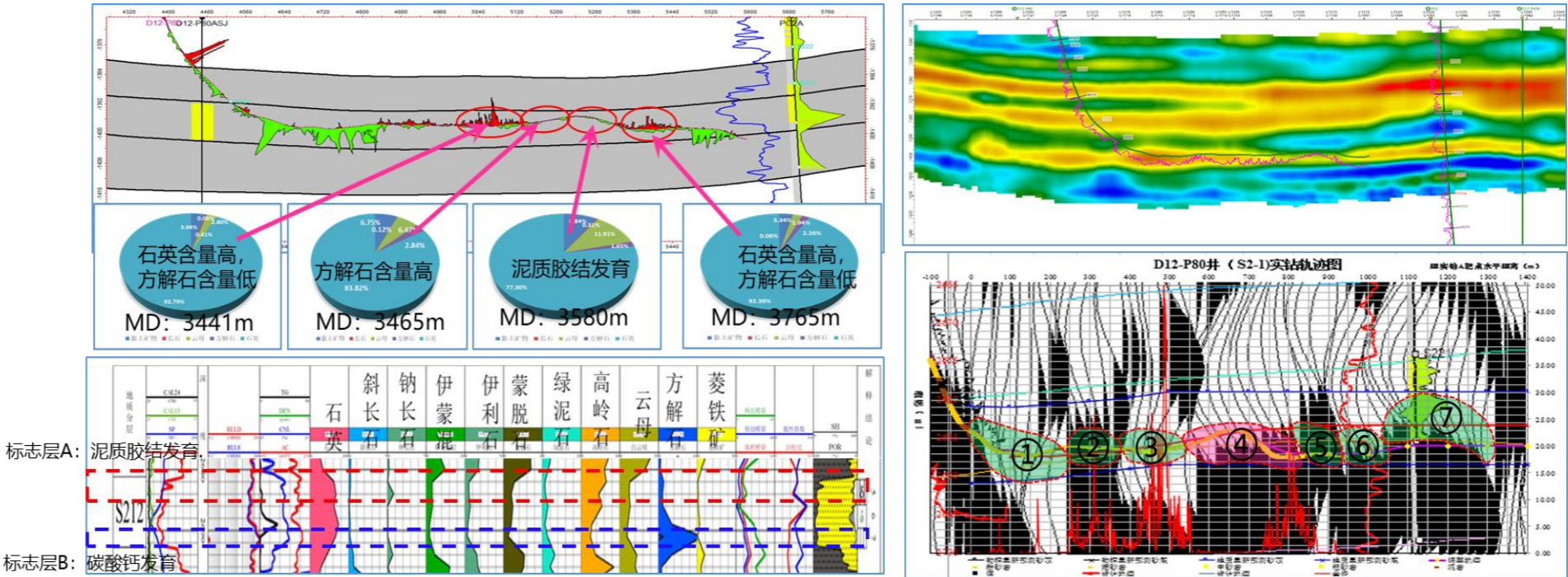
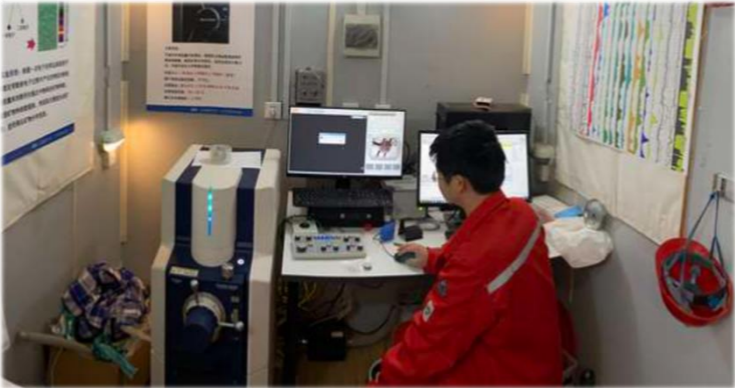
- 一、数字岩屑技术概况
- 二、数字岩屑应用场景**
- 三、数字岩屑案例分享

## 二、数字岩屑应用场景

### ■ 辅助地质导向

通过对标准井岩屑数字化分析，建立单井数字岩屑矿物纵向分布剖面，寻找标志性矿物组合，指导新钻井地质卡层及地质力学参数评价。

在钻井过程中通过储层各类型黏土、碳酸盐及石英等矿物含量变化，结合储层反演成果进行综合地质导向，有效提高优质储层钻遇率。

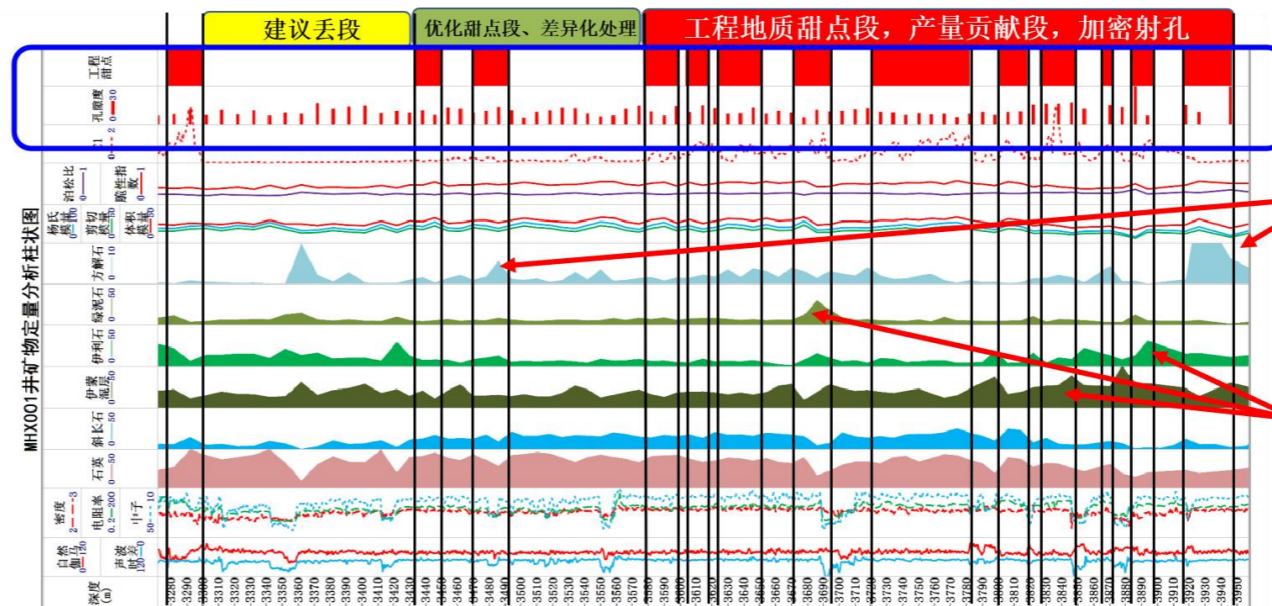


## 二、数字岩屑应用场景

### ■ 钻井液、酸液优化

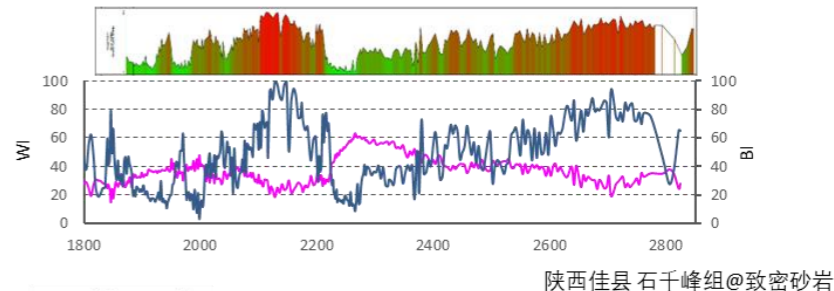
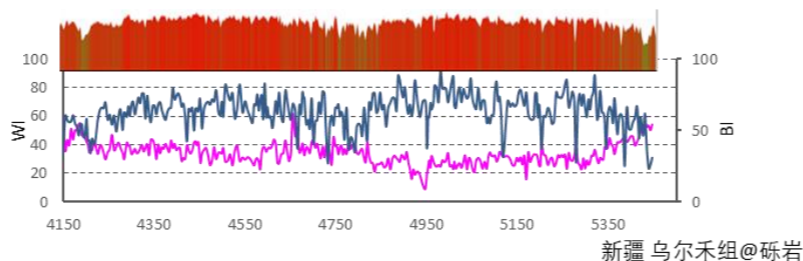
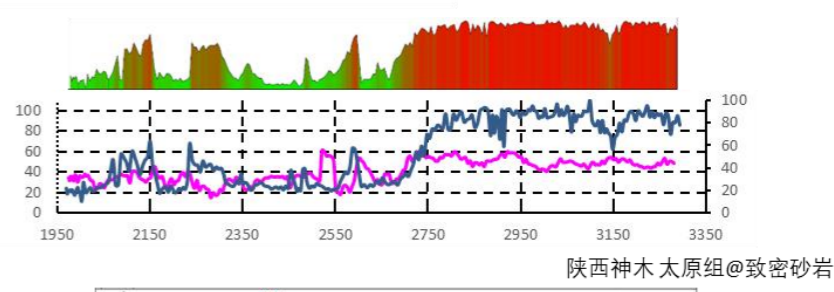
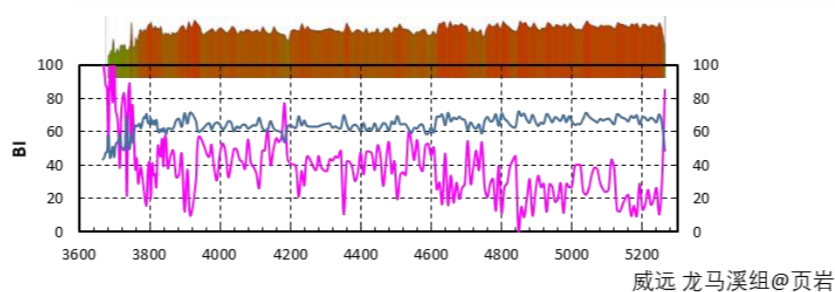
利用数字岩屑技术，明确储层中各类型敏感性矿物分布，如水敏的蒙脱石、伊蒙混层；酸敏的绿泥石；速敏的伊利石。

通过拟合储层岩石力学参数、脆性指数BI、薄弱指数WI，进一步分析储层非均质性特征，进而为该区域钻井液、酸液的优化提供重要依据。



碳酸盐含量高段：方解石

粘土含量高段：粘土类型主要为伊蒙混层、伊利石、绿泥石。

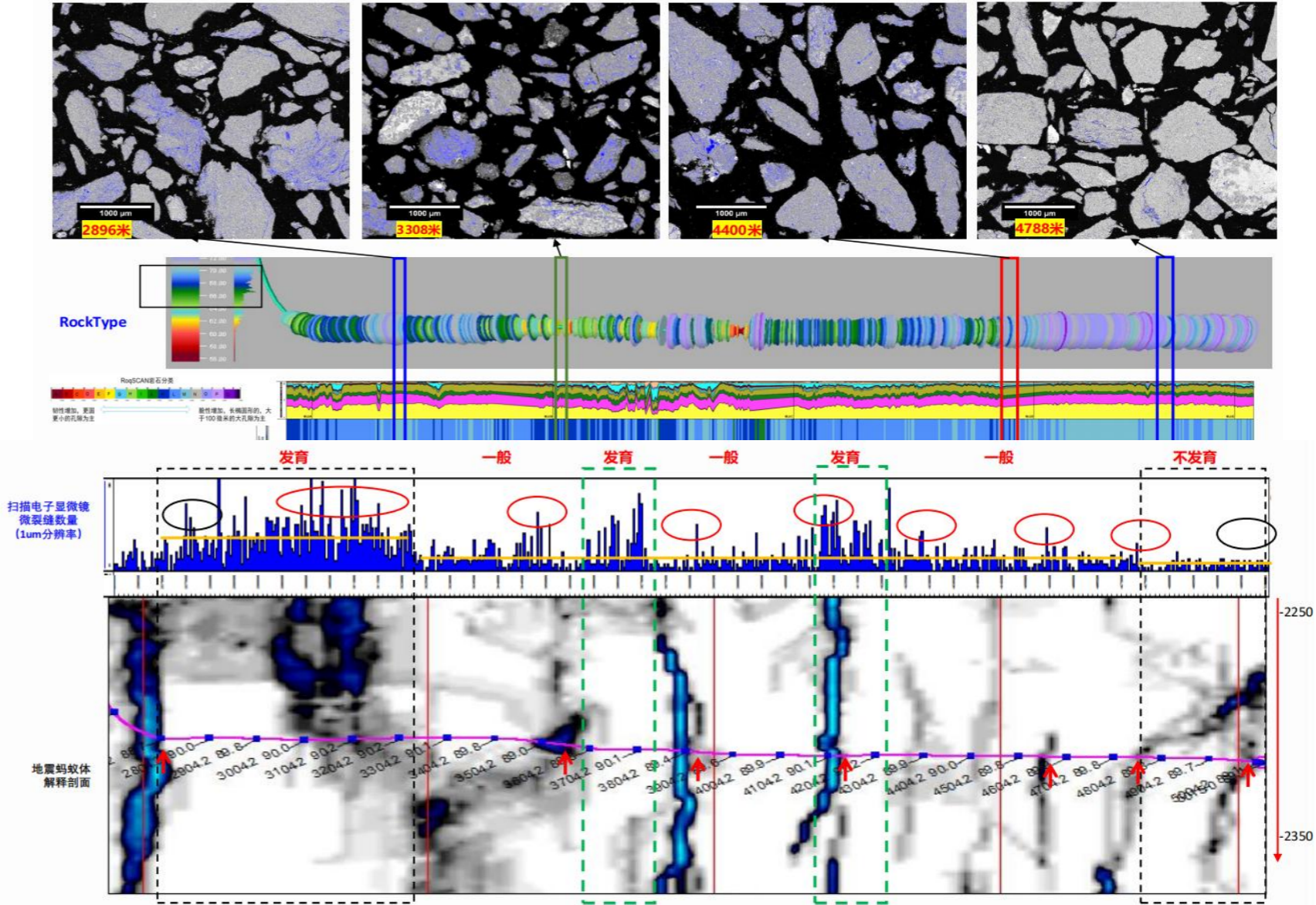


## 二、数字岩屑应用场景

### ■ 储层精细评价

数字岩屑技术拥有纳米级别分辨率识别精度，可以提供上百种矿物组分、岩屑颗粒内孔隙度、孔隙长宽比、裂缝发育程度、骨架密度。

在油气田勘探开发过程中，有效弥补常规实验精度不足、周期较长等问题。为勘探井的储层精细评价、沉积微相特征研究、成岩演化特征、识别有利储层下限，提供新的技术思路与方案。





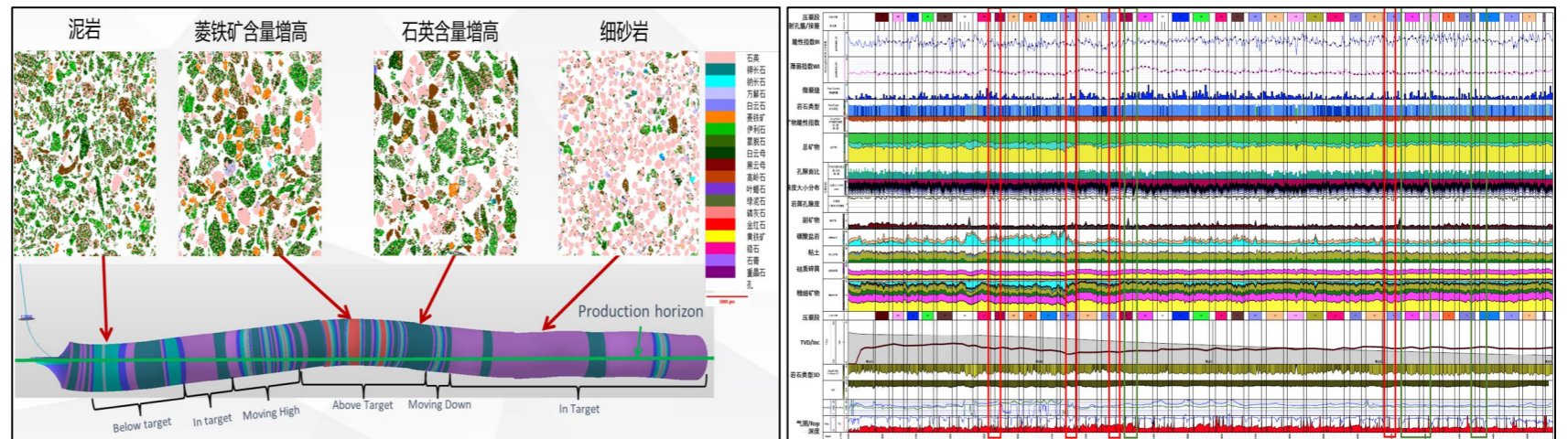
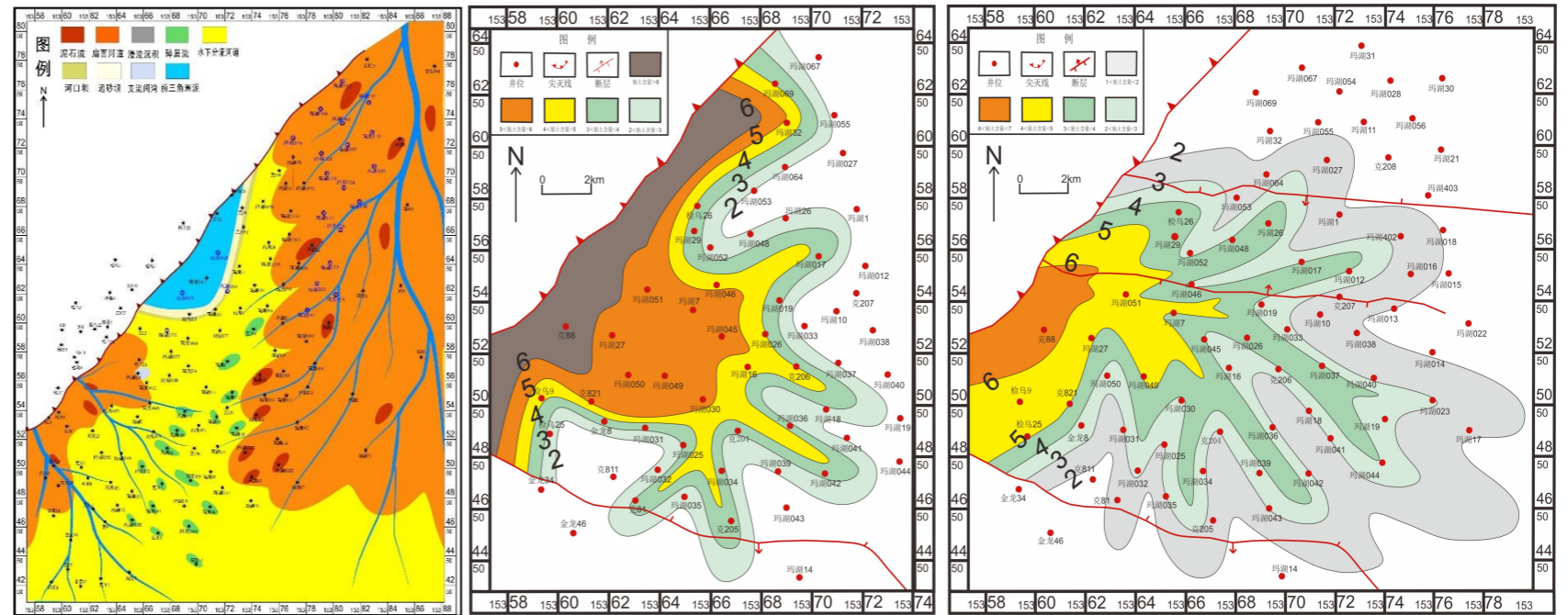
## 二、数字岩屑应用场景

### 综合甜点评价

依据目标层段的数字岩屑技术成果，结合储层预测、地质建模、地应力特征、生产动态分析，优选甜点目标。

同时，基于三维地质工程模型，设计地质导向方案，多源信息精准定位，随钻实时评价地质工程甜点，确保优质储层钻遇率。

结合区域地质资料，建立多参数精细化三维地质模型，为油田滚动勘探开发提供依据。



## 二、数字岩屑应用场景

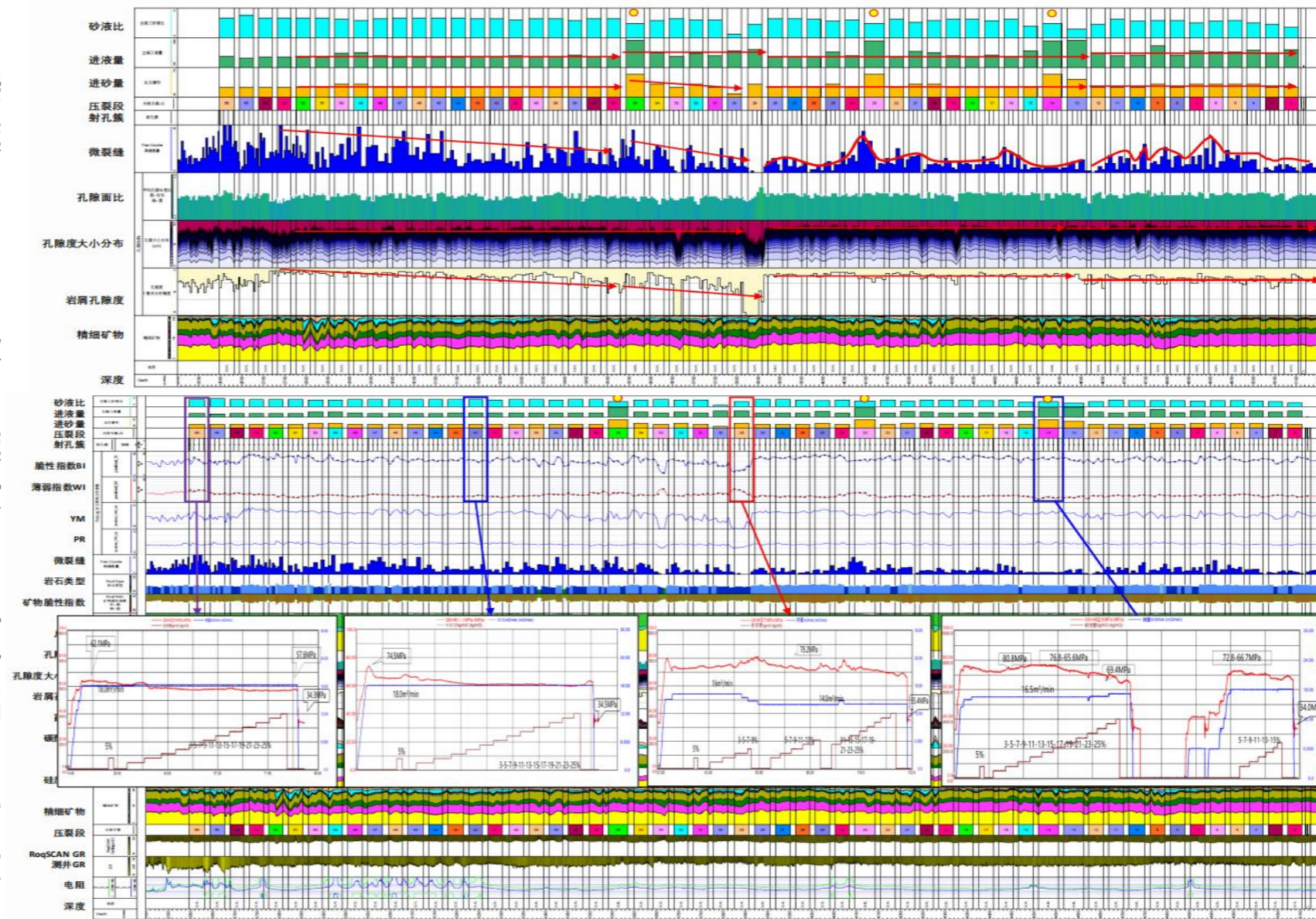
### ■ 压裂段簇方案优化

优化目标：使每一段岩石性质接近，射开各簇岩石类型相似，段内各簇裂缝均匀开启、均匀进液、有效延伸，从而提高压裂效率，增加单井产量。

1. 综合使用关键参数：WI、BI、裂缝、孔隙结构、矿物成分，降低段内、簇间非均质程度，达到均衡进液、充分改造的目的，以达到‘段均衡，簇相近’为原则，最终实现提高压裂效率，增加单井产量目标。

2. 段优化原则（同段内岩石类型相似）：尽可能改造所有水平段；根据WI和BI变化，通过调整“段长”来隔离储层非均质性较强区域。

3. 簇优化原则（同段内簇间岩石性质接近）：通过调整射孔簇位置，使WI或者BI变化最小。

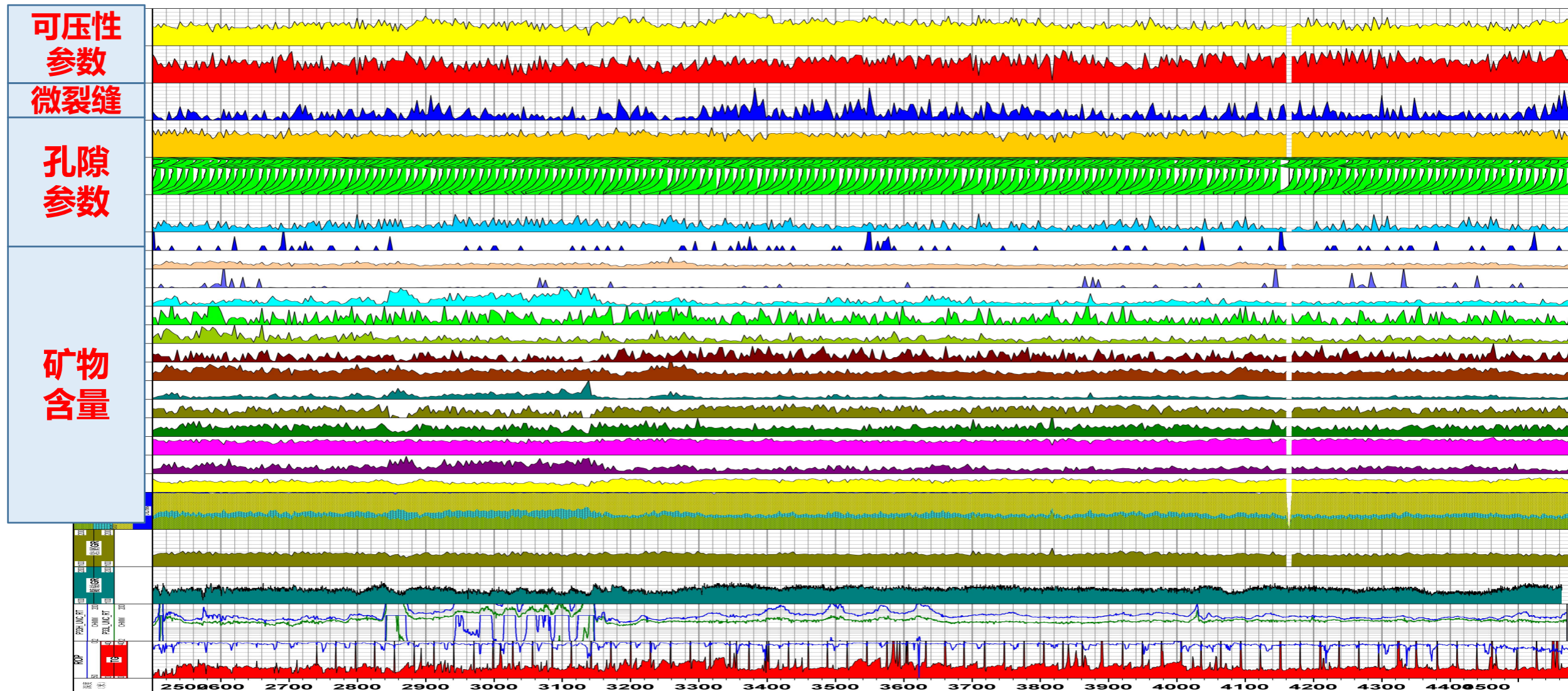


- 一、数字岩屑技术概况
- 二、数字岩屑应用场景
- 三、数字岩屑案例分享

### 三、数字岩屑案例分享

#### ➤ 大庆古龙页岩油应用案例

水平井段2451米，531块样品

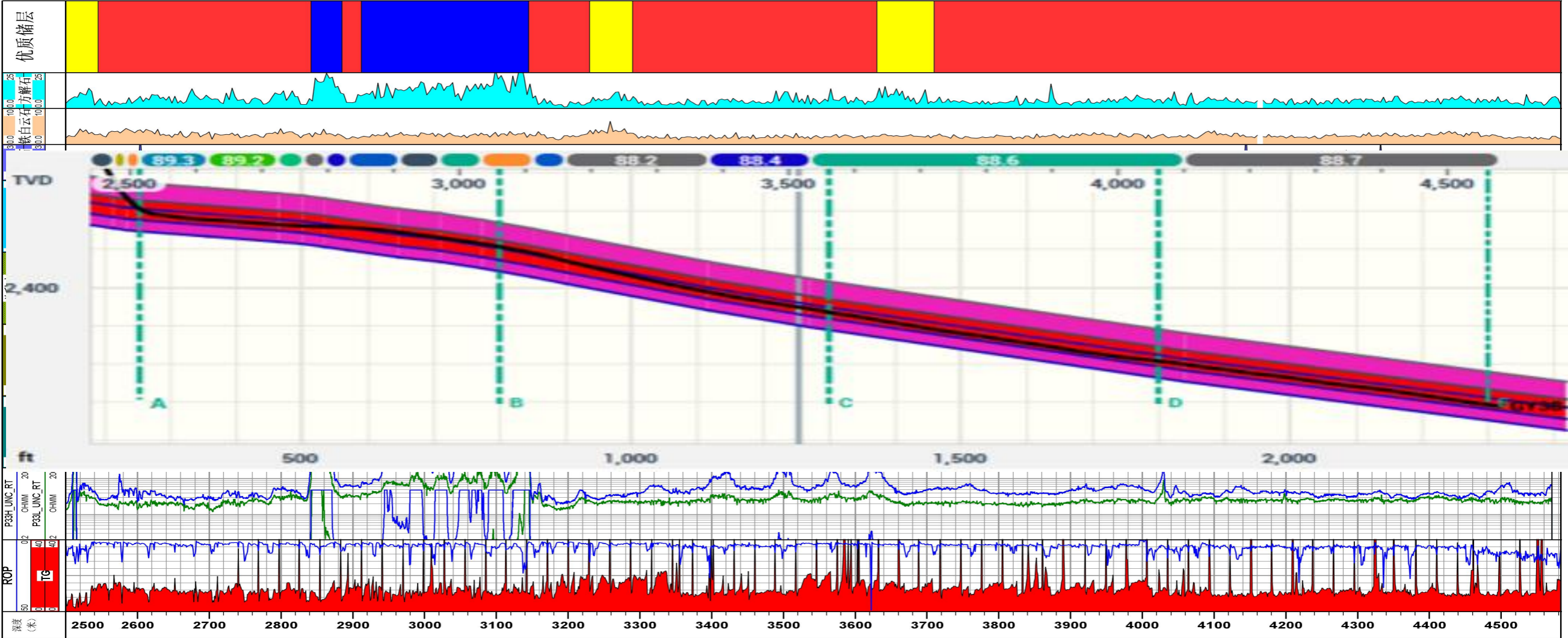


## 三、数字岩屑案例分享

### 储层评价

根据碳酸盐岩含量如方解石，可划分为优、中、差三个级别；为方解石含量少至无，硅质含量高为**优质储层**；方解石含量多，硅质含量少为**较差储层**；**中等储层**储层界线附近--混样。

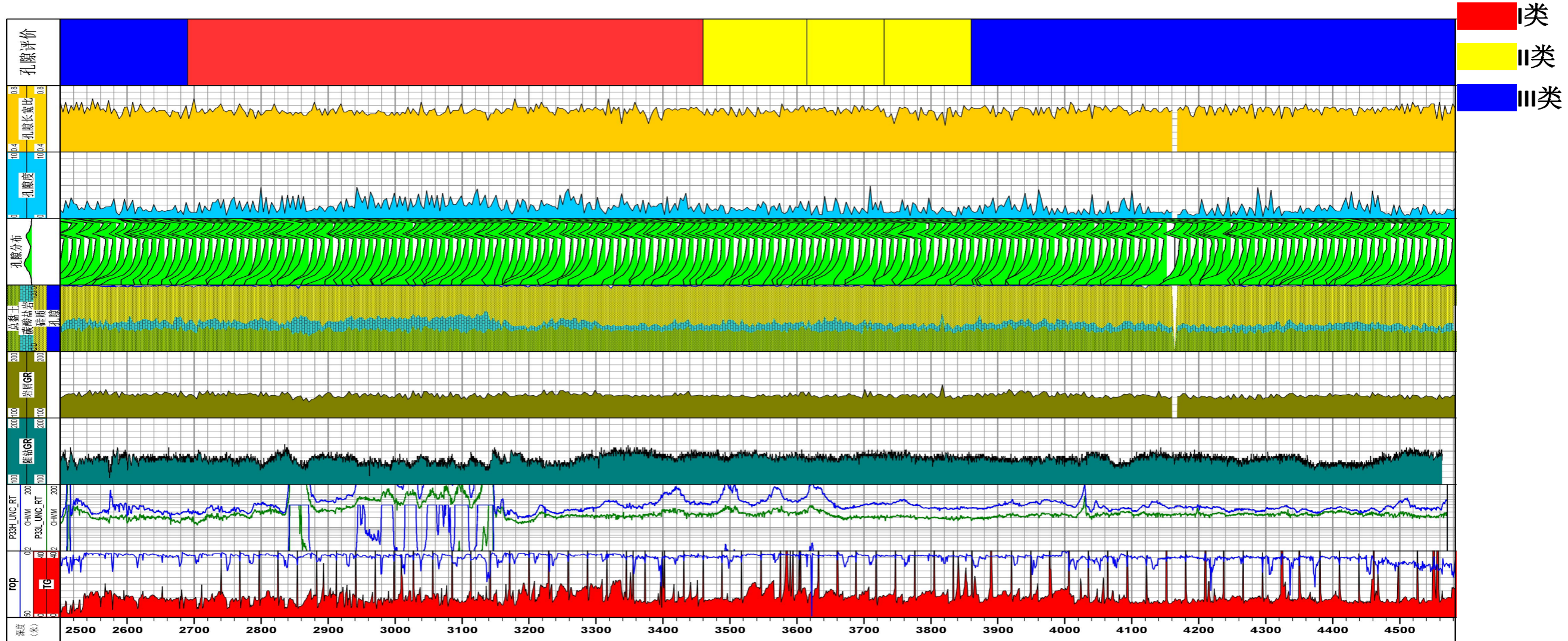
■ 优    ■ 中    ■ 差



# 三、数字岩屑案例分享

## 孔隙评价

大孔占比可分为小于10%和大于10%两类；孔隙度可划分为小于5%和大于5%两类。  
 I类：高孔隙度，高大孔占比；II类：低孔隙度，高大孔占比或高孔隙度，低大孔占比；III类：低孔隙度，低大孔占比。

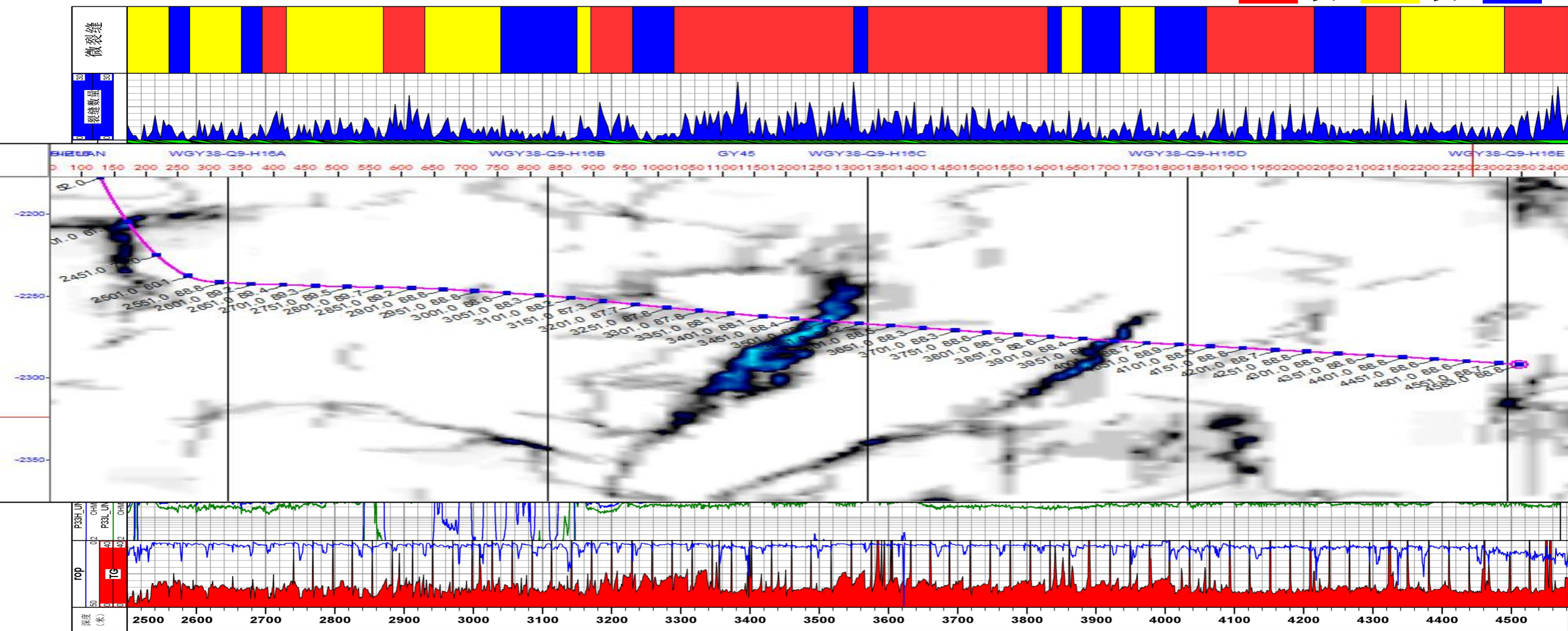


## 三、数字岩屑案例分享

### 微裂缝评价

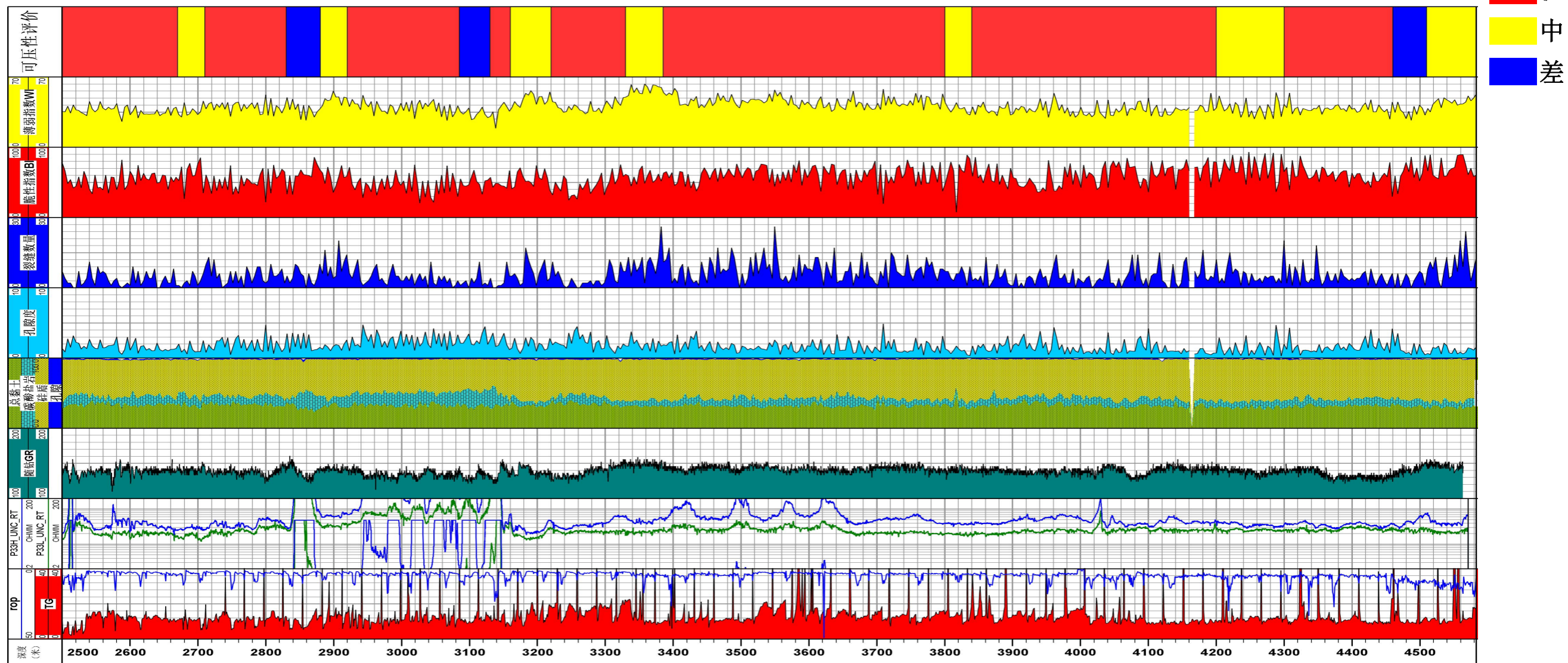
蚂蚁体蓝灰色区域附近微裂缝发育，发育数量多且密度大；  
微裂缝分为3类；I类微裂缝数量大于5条；II类2-5条；III类0-1条。

■ I类    ■ II类    ■ III类



### 三、数字岩屑案例分享

可压性评价 每个段内WI、BI值在同一个水平或台阶，保证均衡起裂。





## 三、数字岩屑案例分享

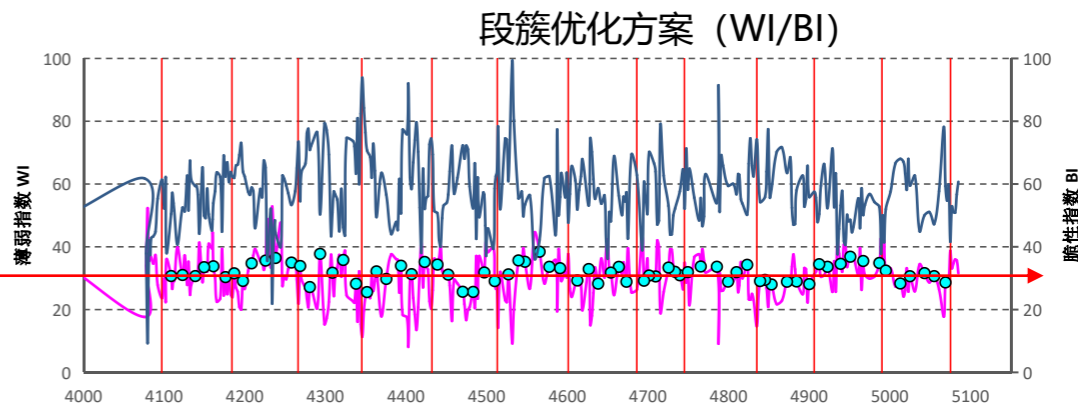
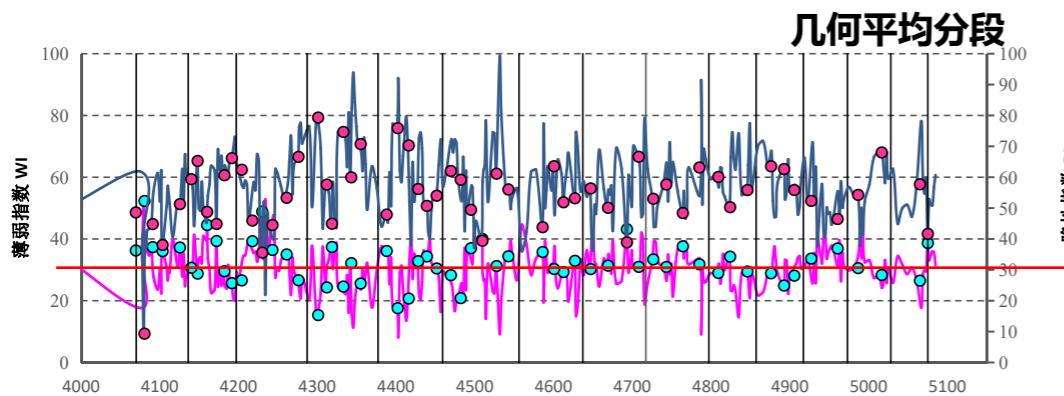
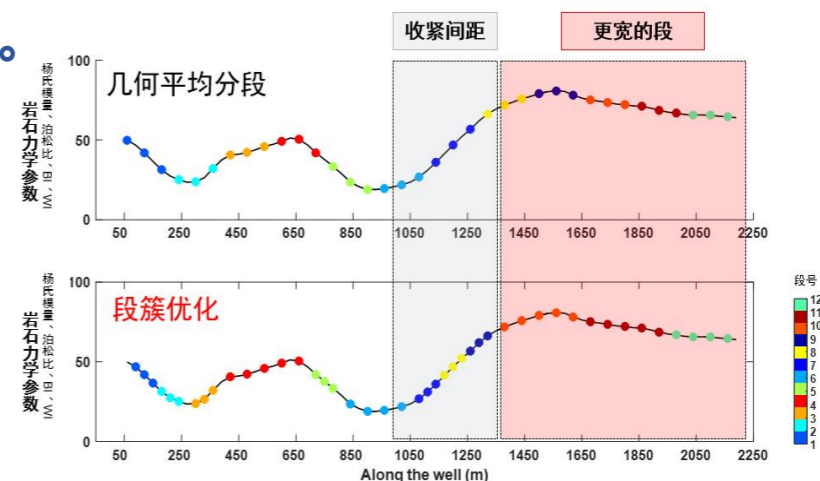
### ➤ 压裂段簇方案优化流程

理想结果：每一段岩石性质接近，射开各簇岩石相似，段内各簇裂缝均匀开启、均匀进液、有效延伸，从而提高压裂效率，增加单井产量。

1. 综合使用关键参数：WI、BI、裂缝、孔隙结构、矿物成分，降低段内、簇间非均质程度，达到均衡进液、充分改造的目的达到‘段均衡，簇相近’为原则，最终实现提高压裂效率，增加单井产量目标。

2. 段优化原则（同段内岩石类型相似）：尽可能改造所有水平段；根据WI和BI变化，通过调整“段长”来隔离高度不均质区。

3. 簇优化原则（同段内簇间岩石性质接近）：通过调整射孔簇位置，使WI或者BI变化最小（ $\Delta WI$ 和 $\Delta BI$ 低值）。



优化后从段数减少，非均质性明显降低，如同一段内各簇差异变小（ $\Delta WI$ 和 $\Delta BI$ 显著减小）

## 三、数字岩屑案例分享

➤ 改造了所有水平井段2600-5015米（共2415米）；划分成44段（段长30.65-64.10米，每段4-6簇），总改造长度1858米（段间距未统计在内）；通过气测、岩石类型、WI、BI变化范围划分出大段（方法：每段岩石类型接近、每段WI、BI值在同一范围内）；通过调整簇位置，缩小簇间非均质性（方法：每段 $\Delta BI$ 和 $\Delta BI$ 较小；即段内岩石力学参数最大值减最小值较小）。

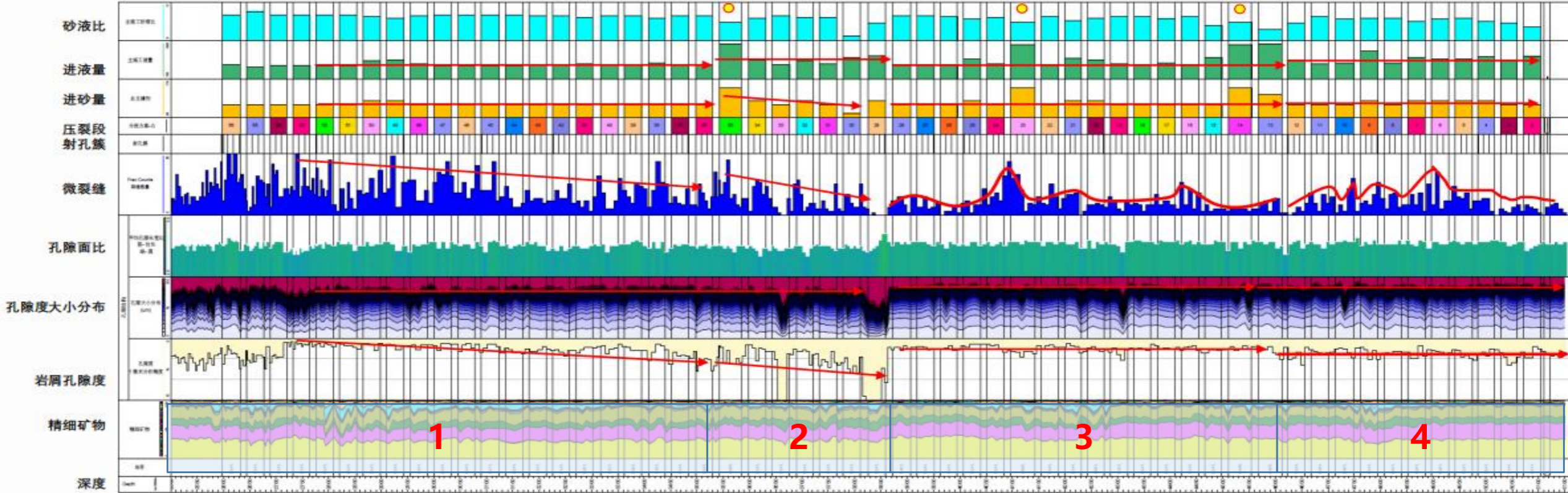
段底	段顶	段长	段间距	第一簇	第二簇	第三簇	第四簇	第五簇	第六簇	第一簇 WI	第二簇 WI	第三簇 WI	第四簇 WI	第五簇 WI	第六簇 WI	$\Delta WI$	第一簇 BI	第二簇 BI	第三簇 BI	第四簇 BI	第五簇 BI	第六簇 BI	$\Delta BI$	
段 44	2713.40	2664.00	49.40		2713.40	2701.55	2689.75	2677.00	2664.00	33.8	36.5	27.5	25.6	30.8		10.9	60.0	45.6	71.9	58.5	54.2		26.3	
段 43	2774.00	2726.45	47.55	13.05	2774.00	2761.30	2750.60	2738.90	2726.45	53.0	51.5	50.9	43.9	36.4		16.5	44.2	44.8	53.6	50.3	45.0		9.4	
段 42	2821.35	2784.00	37.35	10.00	2821.35	2809.50	2796.75	2784.00		50.7	56.9	58.0	52.3			7.3	48.8	39.7	35.5	51.1			15.6	
段 41	2862.75	2834.00	28.75	12.65	2862.75	2854.00	2842.55	2834.00		45.4	42.7	47.2	42.2			5.1	74.4	70.6	65.8	56.7			17.8	
段 40	2914.00	2873.65	40.35	10.90	2914.00	2904.00	2894.00	2884.00	2874.00	49.3	46.0	44.9	46.0	45.0		4.4	69.8	74.5	75.9	75.9	73.2		6.2	
段 39	2964.00	2924.00	40.00	10.00	2964.00	2954.00	2944.00	2934.00	2924.00	48.7	48.0	50.4	48.0	49.3		2.4	51.0	64.7	61.5	63.5	68.9		18.0	
段 38	3014.00	2974.00	40.00	10.00	3014.00	3004.00	2994.00	2984.00	2974.00	56.4	57.4	55.7	51.9	48.5		8.9	51.9	60.8	45.1	50.5	57.2		15.7	
段 37	3058.25	3025.45	32.80	11.45	3058.25	3047.05	3036.50	3025.45		46.3	46.8	52.1	53.8			7.6	77.6	66.4	69.7	68.8			11.1	
段 36	3112.30	3068.55	43.75	10.30	3112.30	3102.80	3090.95	3079.25	3068.55	53.3	55.0	50.2	52.5	50.4		4.8	78.3	65.0	67.5	65.8	68.4		13.3	
段 35	3164.00	3125.20	38.80	12.90	3164.00	3154.00	3144.00	3134.70	3125.20	49.7	49.8	49.5	61.9	57.3		12.5	65.3	47.5	40.0	44.2	52.5		25.3	
段 34	3214.30	3174.00	40.30	10.00	3214.30	3203.70	3194.00	3184.70	3174.00	49.2	48.2	48.8	50.5	49.8		2.3	39.7	57.2	51.6	43.7	45.3		17.5	
段 33	3274.00	3224.00	50.00	9.70	3274.00	3264.00	3254.00	3244.00	3234.00	35.0	38.7	40.7	37.4	43.7	42.3	8.7	34.7	36.3	37.2	45.0	30.3	38.9	14.7	
段 32	3337.50	3287.60	49.90	13.60	3337.50	3326.20	3314.20	3300.80	3287.60	34.2	38.6	35.0	38.0	35.2		4.4	49.1	38.9	44.2	40.6	46.7		10.2	
段 31	3393.80	3352.90	40.90	15.40	3393.80	3384.35	3374.00	3364.00	3352.90	34.1	40.7	36.5	42.9	38.0		8.7	49.8	47.4	43.3	36.7	24.3		25.5	
段 30	3454.00	3406.75	47.25	12.95	3454.00	3442.15	3431.10	3417.75	3406.75	34.1	30.5	29.4	33.6	29.2		4.9	44.7	46.7	51.9	34.4	50.3		17.4	
段 29	3508.00	3464.00	44.00	10.00	3508.00	3493.20	3484.00	3474.00	3464.00	36.2	42.7	45.5	37.8	38.6		9.3	41.9	41.7	35.2	57.2	43.6		22.1	
段 28	3569.00	3530.00	39.00	22.00	3569.00	3549.50	3540.00	3530.00		29.9	24.9	24.1	33.3			9.3	40.6	46.7	43.3	27.8			18.9	
段 27	3638.05	3580.00	58.05	11.00	3638.05	3621.00	3606.00	3594.00	3580.00	38.6	36.1	37.9	36.4	28.6		10.0	60.6	67.5	79.8	60.6	61.9		19.2	
段 26	3701.00	3655.00	46.00	16.95	3701.00	3689.00	3679.00	3669.00	3655.00	44.7	46.9	47.1	36.9	36.5		10.6	64.7	74.8	73.1	62.8	69.9		12.1	
段 25	3774.00	3726.45	47.55	13.05	3774.00	3761.30	3750.60	3738.90	3726.45	53.0	51.5	50.9	43.9	36.4		8.7	39.2	38.9	35.6	50.3			14.7	
段 24	3821.35	3784.00	37.35	10.00	3821.35	3809.50	3796.75	3784.00		50.7	56.9	58.0	52.3			12.6	32.2	20.0	23.9	21.8			12.2	
段 23	3862.75	3834.00	28.75	12.65	3862.75	3854.00	3842.55	3834.00		45.4	42.7	47.2	42.2			10.4	74.8	55.9	70.4	78.6	64.5		22.7	
段 22	3914.00	3873.65	40.35	10.90	3914.00	3904.00	3894.00	3884.00	3874.00	49.3	46.0	44.9	46.0	45.0		12.6	60.6	63.6	55.3	50.8			12.8	
段 21	3964.00	3924.00	40.00	10.00	3964.00	3954.00	3944.00	3934.00	3924.00	48.7	48.0	50.4	48.0	49.3		12.9	58.8	55.3	45.0	51.9			13.8	
段 20	4014.00	3974.00	40.00	10.00	4014.00	4004.00	3994.00	3984.00	3974.00	56.4	57.4	55.7	51.9	48.5		11.3	61.6	65.8	54.4	51.9			13.9	
段 19	4058.25	4025.45	32.80	11.45	4058.25	4047.05	4036.50	4025.45		46.3	46.8	52.1	53.8			4.4	67.5	60.2	53.6	60.6			13.9	
段 18	4112.30	4068.55	43.75	10.30	4112.30	4102.80	4090.95	4079.25	4068.55	53.3	55.0	50.2	52.5	50.4		10.0	58.9	72.8	58.6	64.2			14.2	
段 17	4164.00	4125.20	38.80	12.90	4164.00	4154.00	4144.00	4134.70	4125.20	49.7	49.8	49.5	61.9	57.3		5.8	69.9	74.4	66.9	70.6			7.5	
段 16	4214.30	4174.00	40.30	10.00	4214.30	4203.70	4194.00	4184.70	4174.00	49.2	48.2	48.8	50.5	49.8		4.6	64.3	75.1	59.2	63.1			16.0	
段 15	4274.00	4224.00	50.00	9.70	4274.00	4264.00	4254.00	4244.00	4234.00	35.0	38.7	40.7	37.4	43.7	42.3	8.7	69.2	72.8	58.6	64.2			14.2	
段 14	4337.50	4287.60	49.90	13.60	4337.50	4326.20	4314.20	4300.80	4287.60	34.2	38.6	35.0	38.0	35.2		4.4	67.2	70.0	66.7	83.7	81.4		17.0	
段 13	4393.80	4352.90	40.90	15.40	4393.80	4384.35	4374.00	4364.00	4352.90	34.1	40.7	36.5	42.9	38.0		3.0	53.6	55.3	61.8	60.0	69.7		16.1	
段 12	4454.00	4406.75	47.25	12.95	4454.00	4442.15	4431.10	4417.75	4406.75	34.1	30.5	29.4	33.6	29.2		4.9	58.1	56.7	50.3	55.3			7.8	
段 11	4508.00	4464.00	44.00	10.00	4508.00	4493.20	4484.00	4474.00	4464.00	36.2	42.7	45.5	37.8	38.6		5.7	68.2	76.7	73.9	69.4	69.2		8.5	
段 10	4569.00	4530.00	39.00	22.00	4569.00	4549.50	4540.00	4530.00		29.9	24.9	24.1	33.3			7.8	83.9	84.8	73.6	87.5	69.2		18.3	
段 9	4638.05	4580.00	58.05	11.00	4638.05	4621.00	4606.00	4594.00	4580.00	38.6	36.1	37.9	36.4	28.6		3.9	85.6	81.3	83.1	92.0	84.7		10.7	
段 8	4693.80	4652.90	40.90	15.40	4693.80	4684.35	4674.00	4664.00	4652.90	34.1	40.7	36.5	42.9	38.0		5.6	87.8	77.7	79.7	81.6	83.1		10.0	
段 7	4710.70	4664.00	46.70	10.00	4710.70	4697.95	4684.00	4674.00	4664.00	29.7	31.3	29.2	30.8	31.2		2.2	85.7	84.4	82.5	77.8	77.1		8.6	
段 6	4767.15	4721.60	45.55	10.90	4767.15	4754.00	4744.00	4733.75	4721.60	25.6	26.2	24.3	28.8	29.9		5.6	90.8	81.7	91.4	78.2	77.0		14.4	
段 5	4822.00	4779.20	42.80	12.05	4822.00	4810.95	4799.55	4789.15	4779.20	23.5	26.5	25.6	25.3	22.4		4.1	69.2	74.4	86.1	82.2	89.8		20.7	
段 4	4870.00	4833.00	37.00	11.00	4870.00	4858.00	4846.00	4833.00		27.3	29.4	25.8	25.3			4.2	73.9	84.2	77.2	82.8			10.3	
段 3	4916.00	4880.00	36.00	10.00	4916.00	4904.00	4892.75	4880.00		25.3	26.1	27.8	26.7			2.6	86.4	75.3	81.6	76.7			11.1	
段 2	4974.00	4928.00	46.00	12.00	4974.00	4964.60	4954.65	4942.50	4928.00	21.4	24.0	23.9	27.6	23.9		6.2	76.9	77.1	80.2	76.7	87.2		10.6	
段 1	4984.00	4983.50	0.50	0.00	4984.00											0.0								0.0
最大段长			58.05	22.00																				
最小段长			28.75	9.70																				
总压裂长度			1805																					
平均 $\Delta WI$																5.7								
平均 $\Delta BI$																								11.5

$\Delta WI$ 为同一段内各簇最大WI值减去最小WI值， $\Delta BI$ 为同一段内各簇最大BI值减去最下BI值；

$\Delta WI$ 越小说明各簇起裂越接近、 $\Delta BI$ 越小说明各簇脆性越接近；

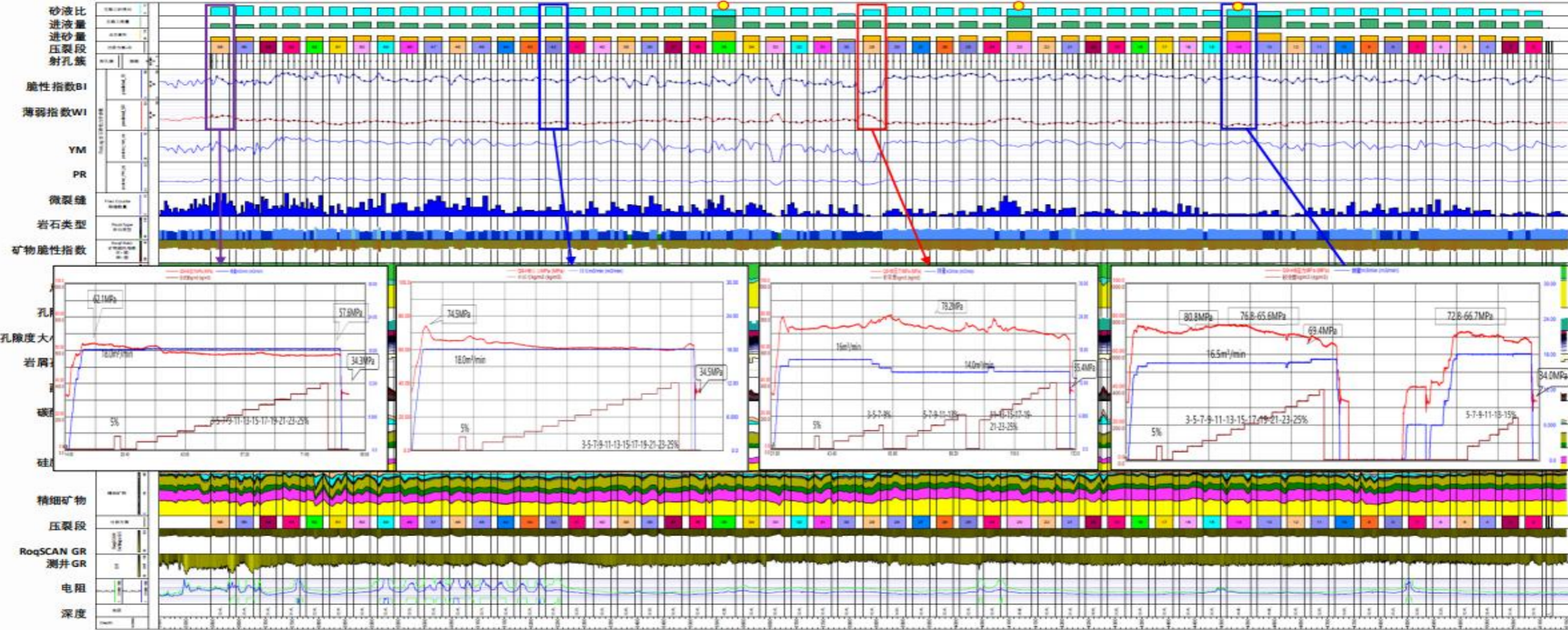
### 三、数字岩屑案例分享

- 第一段：岩屑孔隙度从小到大，微裂缝数量从大到小的变化趋势、大孔占比基本在一致（见孔隙大小分布）、孔隙形状变化一致（见孔隙面比）；孔隙、裂缝共同提供砂液容纳空间、可改造SRV潜力。
- 第二段：与第一段类似，但是整体孔隙增加显著、微裂缝有所降低，孔缝总量比第一段多。
- 第三段：岩屑孔隙度变化不大、大孔占比接近、孔隙形状变化不大、进液进砂量与微裂缝数量变化趋势趋于一致，推测此段微裂缝数量多少可能影响改造效果。
- 第四段：与第三段类似，但岩屑孔隙度增加，砂液容纳空间略有增加。



### 三、数字岩屑案例分享

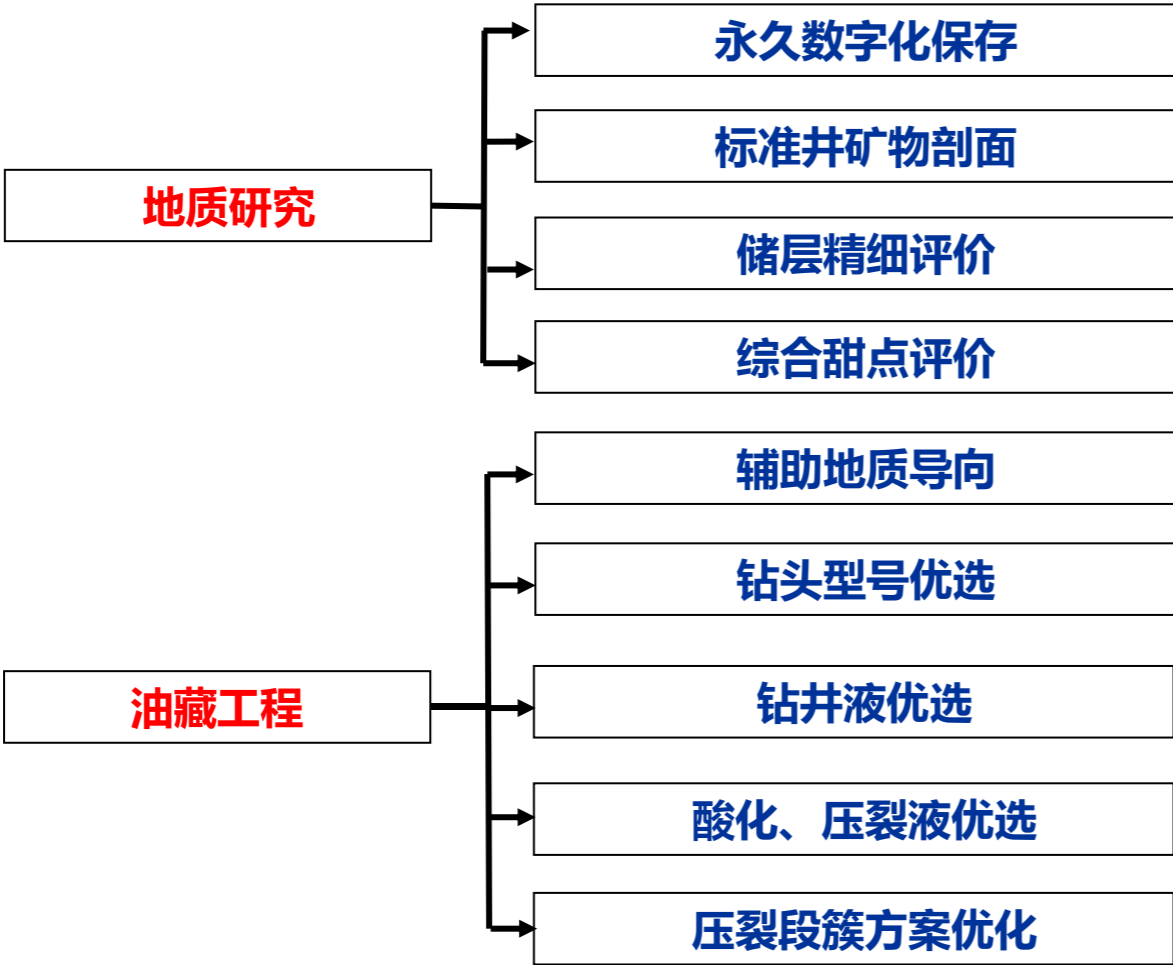
- 均质段与非均质段压裂施工曲线差别明显；均质段起裂后，施工曲线变化平缓稳步达到设计液量（蓝色：簇间差异小）。
- 非均质段压裂施工曲线表现多次先后开裂（紫色：偏塑性；红色：簇间非均质差异大）。



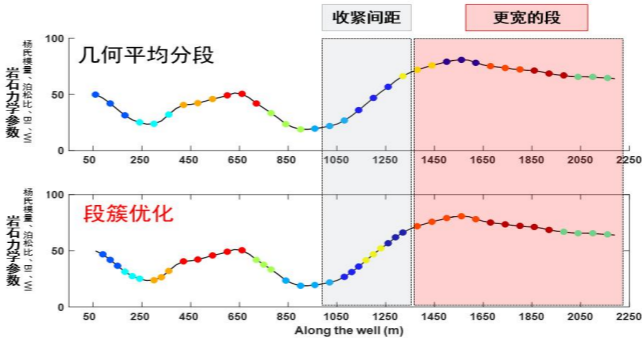
# 三、数字岩屑案例分享

## ■ 总体成果

根据数字岩屑技术特点与可以获取的预期成果数据，总结在油气田勘探开发过程中的应用场景如下。



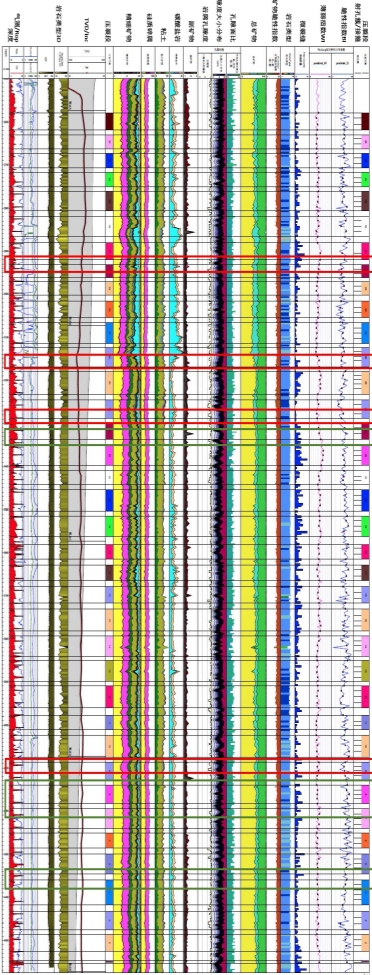
大大降低存储成本



压裂段簇方案优化



钻头型号优选



单井综合甜点评价

**ANTON 安東**

**人与环境高效、和谐发展的典范**

**帮助别人成功... ..**