

水平井压裂试气工程设计

(寒武系NT组)

1. 钻井及目的层地质情况

1.1 钻井基本情况

1.1.1 基础数据

表1-1-1 SZY1HF井钻井基础数据表

构造位置	米仓山隆起东缘				
钻探目的	1.获取NT组产能和资源评价参数,为页岩气联合勘探开发提供保障,支撑陕南地区页岩气勘探开发基地建设; 2.力争实现陕南地区寒武系NT组页岩气产能突破。				
井别	参数井	井型	水平井	设计井深 (m)	3921
井口复测坐标	纵坐标 (X): 18729662.855		横坐标 (Y): 3604241.524		
设计 A 靶点坐标	(X): 18729847.83	(Y): 3603920.22	垂深 (m)	2020.29	
设计 M 靶点坐标	(X): 18730418.59	(Y): 3602930.82	垂深 (m)	2118.74	
设计 N 靶点坐标	(X): 18730597.75	(Y): 3602621.50	垂深 (m)	2159.10	
设计 B 靶点坐标	(X): 18730698.61	(Y): 3602447.00	垂深 (m)	2190.05	
补心海拔 (m)	1244.55	地面海拔 (m)	1244.55	补心高 (m)	10m
一开日期	2020-07-05	二开日期	2020-07-22	三开日期	2020-09-24
侧钻日期					
完钻日期	2021-03-30		完井日期	2021-04-17	
实钻 A' 靶点坐标	(X): 492387.42	(Y): 3395020.46	斜深 (m)	2143	
			垂深 (m)	2017.27	
实钻 A 靶点坐标	(X): 492340.43	(Y): 3394934.26	斜深 (m)	2225	
			垂深 (m)	2046.8	
实钻 M 靶点坐标	(X): 491664.10	(Y): 3393743.72	斜深 (m)	3384	
			垂深 (m)	2229.1	
实钻井底坐标	(X): 492340.43	(Y): 3394934.26	斜深 (m)	3406.12	
			垂深 (m)	2231.69	
井口层位	寒武系NT组	完钻井深 (m)	3406.12	水平井段长 1133.94m	油套阻位
完钻层位	寒武系NT组	人工井底 (m)	3276.94 (3230)	井队号	

1.1.2 钻井液使用情况

一开井段: 50.97~627.00m, 钻头Φ406.4mm。空气钻钻进。

二开井段: 627.00~1956.00m, 钻头Φ311.2mm。高性能聚合物钻井液。

三开井段: 1956.00~2110.00m, 钻头Φ311.2mm。高性能聚合物钻井液。

三开侧钻水平井段: 2110.00~3921.00m, 钻头Φ215.9mm。油基钻井液。

本井段主要钻遇NT组地层。水平井段完全在页岩地层中钻进, 水平位移较长, 综合考虑该井的工程要求, 并结合该地层的地质特征, 使用水基钻井液具有极大的井壁失稳风险, 难以实

现地质的勘探目的。因此水平段设计采用油基钻井液体系（表1-1-2）。

表1-1-2 SZY1HF井钻井液性能使用情况

层位	井段	密度 (g/cm ₃)	粘度(s)	备注
L组~X组	50.97- 627.00	空气钻		
X组~NT组	627.00- 1956.00	1.06- 1.08	47- 146	水基钻井液
侧钻C组~S组	1554- 1930.67	1.06- 1.08	46- 88	
侧钻S组~NT组	1930.67- 2110.00	1.11- 1.17	78- 86	
水平段NT组	2110.00- 3057.00	1.13- 1.18	65- 84	油基钻井液
	3057.00- 3406.12	1.19- 1.20	60- 71	

1.1.3 井身结构

(1) 钻头程序:

Φ609.6mm×47.54m

Φ444.5mm×423.5m

Φ311.2mm×2110m

Φ215.9mm×3406.12m

(2) 套管程序

导管: 508.00mm(外径)×11.13mm(壁厚)×44.7m(下深)

表层套管: 339.70mm(外径)×9.65mm(壁厚)×423.5m(下深)

技术套管: 244.48mm(外径)×10.03mm(壁厚)×2107.88m(下深)

油层套管: 139.70mm(外径)×10.54mm(壁厚)×3276.94m(下深)

SZY1HF井水平井设计井身结构见表1-1-3, 实际井身结构见表1-1-4, 实际井身结构图见图1-1-3。

表1-1-3 设计井身结构

钻头尺寸 (mm)	井深 (m)	套管层序	套管尺寸 (mm)	套管下深 (m)	水泥返深 (m)
609.6	47.54	导管	508	44.7	地面
444.5	423.5	表层套管	339.7	423.5	地面
311.2	2090	技术套管	244.5	2090	地面
215.9	3921	生产套管	139.7	3921	地面

表1-1-4 实际井身结构

钻头尺寸 /mm	井深 /m	套管 层序	套管尺寸 /mm	套管下深 /m	水泥返高 /m
609.6	47.54	导管	508	44.7	地面
444.5	423.5	表层套管	339.7	423.5	地面
311.2	2110	技术套管	244.5	2107.88	地面
215.9	3406.12	生产套管	139.7	3276.94	地面

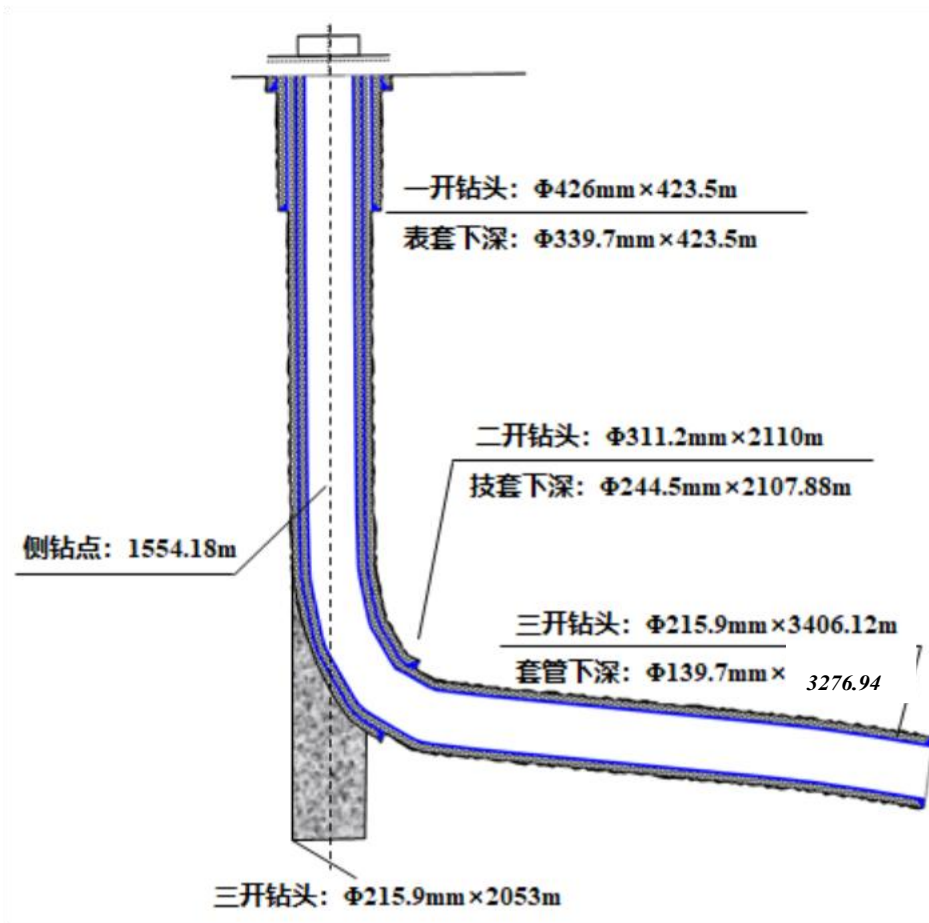


图1-1-3 SZY1HF井身结构示意图

1.1.4 井眼轨迹

(1) 井眼轨迹质量要求

井眼轨迹总体原则是：能保证实现钻井目的，有利于安全、优质、快速钻井；在对各个参数的选择上，要进行综合考虑。井身质量严格执行非常规行业标准 Q/SH0439-2011《非常规油气井钻井井身质量要求》的基础上，依据地质开发质量要求，页岩气开发井井身质量控制要求。

(2) 造斜段井身质量控制要求

连续三个测点的全角变化率不大于 $7.5^{\circ}/30\text{m}$ 。水平段井身质量控制要求

①连续三个测点的全角变化率每 30m 变化率不大于 3°

②平均井径扩大率不大于 15 %。

(3) 井身质量

造斜段最大狗腿 $6^{\circ}/30\text{m}$ ，平均狗腿 $3.69^{\circ}/30\text{m}$ ；

水平段最大狗腿 $3.76^{\circ}/30\text{m}$ ，井深 2652.59m（位于 4 小层灰尖位置，方位摆动大），平均狗腿 $1.12^{\circ}/30\text{m}$ ，无连续测点超 $3^{\circ}/30\text{m}$ 。

最大井斜 85.79° ，井深 2652.59m（位于 4 小层灰尖位置，增斜上切）（图 1-1-4、图 1-1-5）。

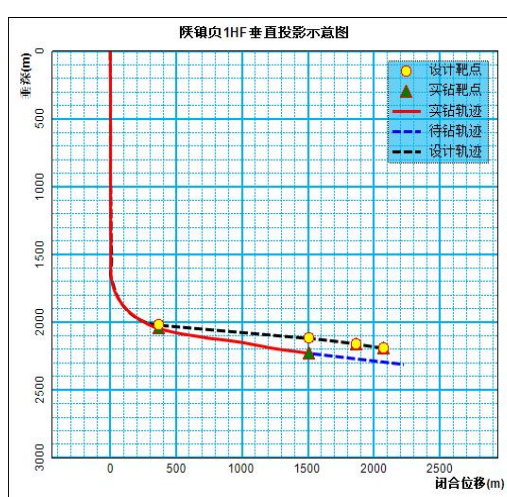


图 1-1-4 SZY1HF井垂直投影图

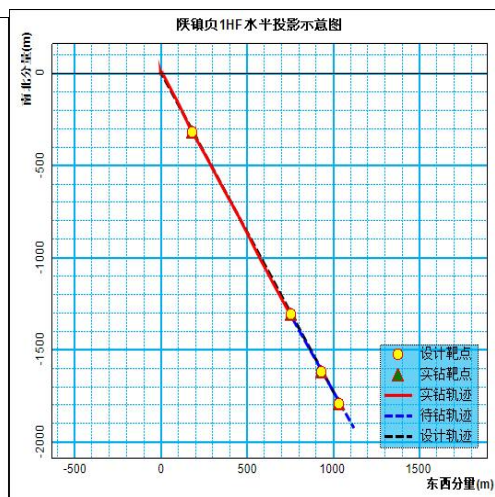


图 1-1-5 SZY1HF井水平投影图

(4) 三开施工

1) 施工概况

二开侧钻：2020年12月27日11:00使用直径311.2mm三牙轮钻头二开侧钻，侧钻点1554.18m。2021年2月10日使用直径311.2mmPDC钻头钻进至井深2110.00m，二开中完。

2月15日中完测井，2月17日下入外径244.48mm技术套管至井深2107.88m，20日固井，21日井口返挤水泥，24日测声幅，25日套管环空灌水泥候凝，至3月3日整理现场、三开准备。

二开完钻井深2110.00m，层位：NT组8号层。

SZY1HF井三开自井深2120.00m采用旋转导向施工，至井深3406.12m

完成服务，施工井段包括着陆段和水平段，旋转导向作业1趟钻、总进尺1286.12m。服务总时间为321小时（13.38天），其中定向作业303小时（12.63天），待命18小时（0.75）。时间节点如下：

3月19日：斯伦贝谢旋转导向设备、工具、工作间、人员于到达井场；

3月20日3:30：开始下钻，施工起始井深2120.00m；

3月30日04:40：钻至井深3406.12m，因井下复杂情况，起钻；

4月1日18:30：起钻完毕；

4月1日24:00：完成旋转导向技术服务；

4月2日：斯伦贝谢旋转导向设备、工具、工作间撤场。

三开段钻时为2-56min/m，平均钻时7min/m（图1-1-6）。

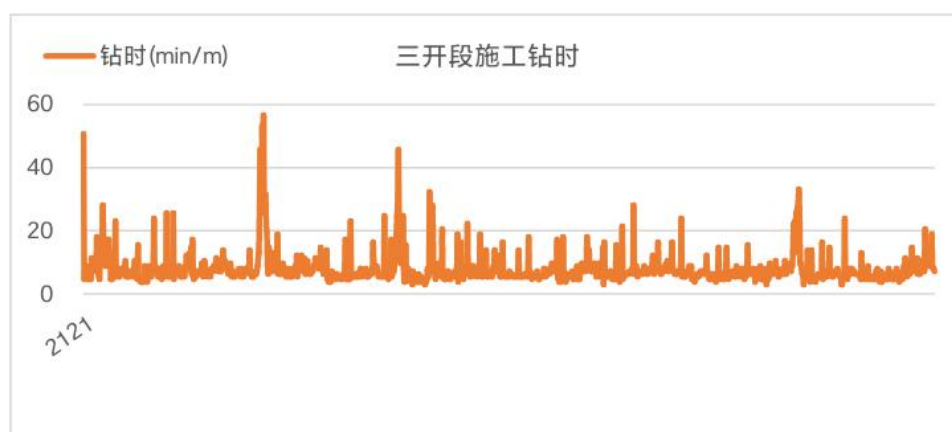


图1-1-6 SZY1HF井三开旋导施工钻时示意图

三开旋转导向设备工具包括：PDC钻头、旋转导向系统、随钻测量设备、无磁承压钻杆、滤网接头、随钻震击器等。

三开钻具组合 ϕ 215.9mmPDC钻头+PDArcher675旋转导向+无线信号传输器+转换接头+随钻测量仪器+转换接头+无磁承压钻杆+滤网接头+单向浮阀接头+ ϕ 127mm加重钻杆*1柱+随钻震击器+ ϕ 127mm加重钻杆*1柱+127mm钻杆。

二开造斜段提供随钻伽马及测斜数据，三开旋导钻进，斯伦贝谢提供远端伽马，近钻头方位伽马及测斜数据，详细数据见附表1。

(5) SZY1HF井完井作业

(1) 施工概况

侧钻：12月27日11:00使用直径311.2mm三牙轮钻头二开侧钻，侧钻点1554.18m，

侧钻层位：寒武系C组。2021年2月10日使用直径311.2mmPDC钻头钻进至井深2110.00m，二开中完，2月15日中完测井，2月17日下入外径244.48mm技术套管至井深2107.88m，固井、候凝，三开准备。

三开钻进：2021年3月18日21:30，使用钻头215.9mm三牙轮钻头三开钻进至2120.00m，3月20日使用215.9mmPDC钻头旋导钻进。至3月30日钻进至井深3406.12m，发现井下掉块严重，起钻甩旋导仪器。4月3日至4月7日下常规钻具通井，4月13日完钻测井，4月15日通井，4月16日下入139.7mm油层套管至井深3276.94m，固井、候凝、测声幅。

(2) 套管数据：

套管下深3276.94m；共计下入 $\Phi 139.7\text{mm} \times \text{P}110 \times 10.54\text{mm}$ 套管270根（含联顶节1根、定位短节3根、双公短节1个），刚性扶正器30只，滚珠刚性扶正器60只，整体式弹性扶正器70只，浮鞋1只，浮箍2只。

(3) 固井数据：施工正常，注入加重隔离液20m³，冲洗液6m³，水泥浆共91m³，水泥车替清水共36.5m³，碰压明显，压力由17MPa升至28MPa，稳压10min压力升至29MPa。施工期间返出正常，水泥浆混浆返出约12m³。环空憋压至2MPa，压力不再上涨，吃入量0.3m³，20分钟后再次憋压，压力仍在2MPa不再上涨，吃入量0.6m³，故不再进行环空憋压作业，敞压候凝。本次施工共使用嘉华G级水泥102吨，重晶石粉13t。

1.1.5 固井质量

1. 入井工具附件

SZY1HF井水平井固井下入工具见表1-1-5。固井套管性能和套管强度校核见表1-1-6和表1-1-7

表1-1-5 SZY1HF井固井入井工具表

名称	尺寸 mm	钢级	壁厚 mm	扣型	数量	备注
浮鞋	139.7	P110	10.54	TP-CQ	1个	3278m
短套管	139.7	P110	10.54	TP-CQ	1根	
套管	139.7	P110	10.54	TP-CQ	2根	
浮箍1#	139.7	P110	10.54	TP-CQ	1个	
套管	139.7	P110	10.54	TP-CQ	1根	
浮箍2#	139.7	P110	10.54	TP-CQ	1个	
套管串	139.7	P110	10.54	TP-CQ		3244m
联顶节	139.7	P110	10.54	TP-CQ	1根	
水泥头	139.7mm TP-CQ					

说明：1、暂留井底口袋2m，预计管内水泥塞34m。

表1-1-6 SZY1HF井固井套管性能数据表

外径 mm	段长 m	钢级	壁厚 mm	段重 Kg	扣型	内径mm	抗外挤强度MPa	抗内压强 度MPa	抗拉强 度kN
139.7	340 4	P110	10.54	116.52	TP-CQ	118.62	100.2	100.1	3240

表1-1-7 SZY1HF井固井套管强度校核表

外径mm	段长m	重量t	累重t	浮重t	安全系数		
					抗拉	抗挤	抗内压
139.7	3404	116.52	116.52	97.82	4.46	3.59	1.12

2. 固井质量结果

整体固井质量合格，水平段胶结以优-中为主，直井段除井口附近差，其余为优（表1-1-8、图1-1-7）。

表1-1-8 SZY1HF井固井质量统计情况表

序号	井段			一界面解释结论	二界面解释结论	测井解释结论
1	11.00	--	460.00	泥浆	泥浆	
2	460.00	--	814.00	差	差	
3	814.00	--	834.50	中等	中等	
4	834.50	--	878.50	差	差	
5	878.50	--	902.50	中等	中等	
6	902.50	--	913.50	差	差	
7	913.50	--	1380.00	中等	中等	
8	1380.00	--	1404.50	好	好	
9	1404.50	--	1592.00	中等	中等	
10	1592.00	--	1663.00	好、中等交互	好、中等交互	
11	1663.00	--	2047.00	好	好	
12	2047.00	--	2111.00	好	中等	
13	2111.00	--	2594.50	好	好	I类页岩气层、II类页岩气层、III类页岩气层
14	2594.50	--	2652.00	好	好、中等交互	II类页岩气层、III类页岩气层
15	2652.00	--	2964.00	好	好	II类页岩气层、III类页岩气层
16	2964.00	--	3080.00	好、中等交互	好、中等交互	II类页岩气层、III类页岩气层
17	3080.00	--	3216.00	好	好	II类页岩气层、III类页岩气层
18	3216.00	--	3224.50	中等	中等	II类页岩气层
19	3224.50	--	3230.50	好	好	II类页岩气层

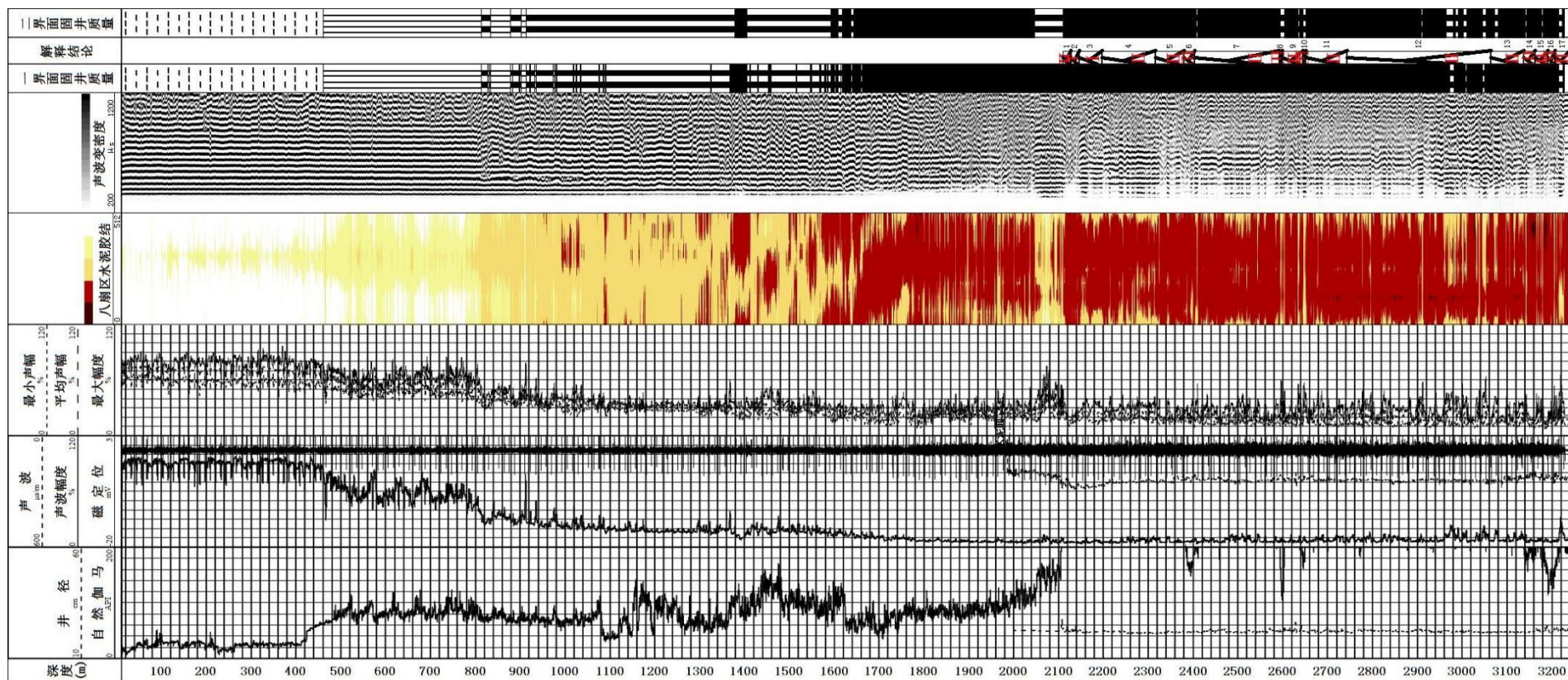


图1-1-7 SZY1HF井水平段固井质量图

1.2 地层及岩性组合特征

1.2.1 导眼井钻遇地层及岩性

SZY1井开孔层位为下古生界志留系下统L组，钻遇地层自上而下依次为：上古生界志留系下统L组、X组，奥陶系上统W组，奥陶系中上统B组，奥陶系下统Z组，寒武系中统XW组，寒武系下统LT组、C组、XN组、S组、NT组，新元古界震旦系上统T组（未穿）。地层具体分界深度、厚度及岩性简述见表1-2-1。本井自导管鞋50.97m开始综合录井，现将各组段的岩性组合特征分述如下：

表1-2-1 SZY1井钻遇地层简表

地层名称				实钻地层		岩性综述
界	系	统	组	底深 (m)	厚度 (m)	
下古 生 界	志 留 系	下 统	L组 (S ₁ l)	398.0	398.0	上部为灰褐色灰岩、灰色灰岩夹灰色砂质泥岩，中下部以灰色、深灰色、绿灰色泥岩为主夹灰色泥质粉砂
			X组 (S ₁ x)	1043.0	645.0	顶部深灰色页岩夹灰黑色砂质泥岩、灰色泥质粉砂岩， 上部灰色、绿灰色泥岩、砂质泥岩，下部灰色页岩、
			LM组	1075.0	32.0	上部深灰色页岩，下部灰黑色页岩、黑色碳质页岩。
	奥 陶 系	上 统	W组	1082.3	7.3	黑色碳质页岩、黑色硅质页岩。
		中 上 统	B组 ('O ₂₊₃ b)	1119.0	36.7	灰色瘤状灰岩、浅灰色灰岩。
		下 统	Z组 (O ₁ z)	1139.0	20.0	灰黑色泥岩、灰质泥岩夹灰色灰岩。
	寒 武 系	中 统	XW组 (Є ₂ x)	1250.0	111.0	上部深灰色灰质白云岩夹深灰色灰质泥岩，中部灰色、 深灰色白云质泥岩夹灰色泥质白云岩，底部浅灰色泥
		下 统	LT组 (Є ₁ s)	1450.0	200.0	中上部深灰色、灰色泥质白云岩、灰质白云岩、白云岩夹深灰色白云质泥岩，下部为灰色、深灰色白云质泥岩夹浅灰色灰岩、灰色泥质白云岩，底部见灰白色

			C组 (\in_{ic})	1624.0	174.0	顶部灰色泥岩、砂质泥岩夹灰色细砂岩，中部以灰色、深灰色泥质细砂岩为主夹深灰色泥岩，底部绿灰色、
			XN组 (\in_{ix})	1748.0	124.0	灰色灰岩、灰色鲕粒灰岩、深灰色泥灰岩夹灰色灰质泥岩。
			S组 (\in_{isp})	1938.0	190.0	中上部深灰色、灰色含灰泥质粉砂岩夹深灰色砂质泥岩，底部深灰色砂质泥岩夹灰色含灰泥质粉砂岩。
			NT组 (\in_{in})	2025.2	87.2	黑色碳质页岩。
新元古界	震旦系	上统	T组 (Z:dn)	2053.0 (未穿)	27.8	灰色白云岩。

SZY1井主要目的层是下寒武系NT组黑色碳质页岩，优质页岩厚度87.2m，对该层进一步划分8个小层（图1-2-10），测录井综合评价2-6小层1968-2008m/40m为最优质页岩甜点段（表1-2-2），设计水平井轨迹主要从4号层穿行，力争通过水平井压裂改造沟通2-6小层。

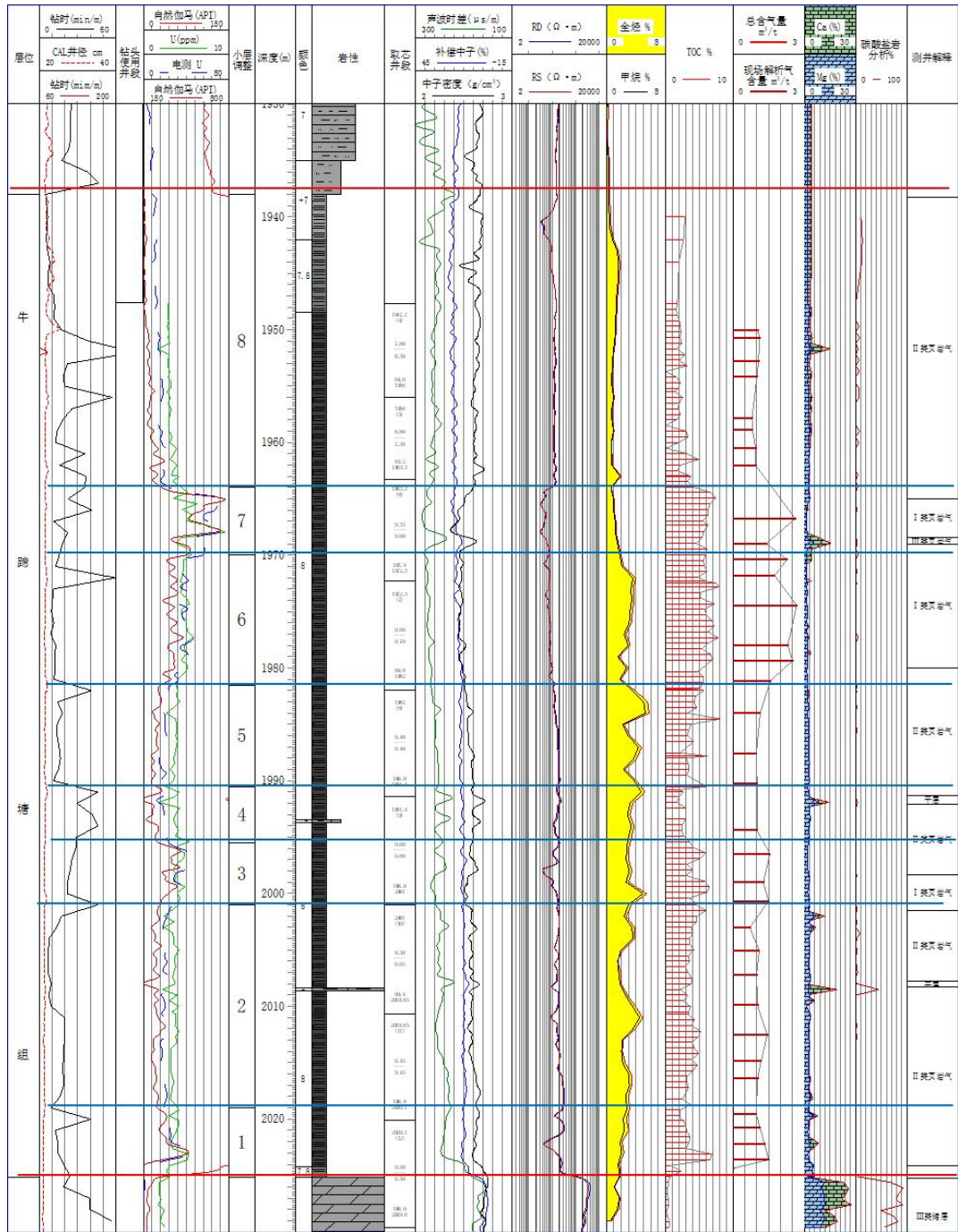


图1-2-10 SZY1井NT组小层划分示意图

表1-2-2 SZY1井寒武系NT组小层对比表

小层	厚度(m)	气测显示 (%)	现场解析 (m ³ /t)	有机碳含量 TOC (%)	脆性矿物含量(%)			孔隙度 (%)	渗透率 (mD)	杨氏模量 (GPa)	泊松比	最大水平 主应力 (MPa)	最小水平 主应力 (MPa)	水平应力 差异 系数	脆性指 数 (%)
					硅质+长 石	钙质	粘土								
8	1938-1964/26	0.46-2.4	0.97	1.46-4.95/2.40	29+2	8	49	3.4	0.11	31.2	0.29	55.2	48.8	0.13	44.8
7	1964-1970/6	0.55-1.72	2.01	4.54-7.45/6.04	30+15	9	27	5.9	0.20	28.8	0.26	52.5	46.0	0.14	46.3
6	1970-1981.5/11.5	1.48-4.33	2.18	4.82-7.90/6.23	40+12	6	25	5.8	0.19	29.3	0.24	50.7	44.2	0.15	48.4
5	1981.5-1990.5/9.0	1.90-6.06	1.05	2.21-8.14/4.31	41+2	5	42	4.5	0.15	34.2	0.25	51.8	45.3	0.14	49.6
4	1990.5-1995.5/5.0	2.92-5.45	1.01	1.69-3.61/2.55	38+5	7	41	2.9	0.10	36.9	0.26	52.8	46.2	0.14	50.1
3	1995.5-2001/4.5	2.64-6.24	1.45	2.96-6.49/4.69	35+17	5	31	4.1	0.14	35.5	0.25	51.4	44.9	0.15	50.8
2	2001-2007.8/6.3 2007.8-2008.3/0.5 2008.3-2019/10.7	1.19-6.24	1.07	2.19-6.00/3.83	36+9	8	37	3.2	0.11	37.5	0.26	53.0	46.3	0.14	50.6
1	2019-2025.2/6.2	1.47-3.15	1.23	0.62-6.92/3.05	31+11	10	32	3.1	0.07	41.3	0.28	55.7	49.1	0.14	50.1

1.2.2 SZY1HF井钻遇地层及岩性

SZY1HF井侧钻层位为寒武系下统C组，钻遇寒武系下统XN组、S组、NT组。地层具体分界深度、厚度及岩性简述见表1-2-3。

表1-2-3 SZY1HF井钻遇地层简表

地层名称				实钻地层				岩性综述	
界	系	统	组	小层	底界斜深 m	斜厚 m	底界垂深 m		垂厚 m
下 古 生 界	寒 武 系	下 统	C组		1624.0	69.82			侧钻点：1554.18m。中上部以深灰色、灰色粉砂岩为主夹深灰色泥
			XN组		1755.0	131.0	1751.2	127.2	灰色灰岩、灰色鲕粒灰岩、深灰色泥质灰岩夹灰色灰质泥岩。
			S组		2051.5	296.5	1972.9	221.7	中上部深灰色、灰色含灰泥质粉砂岩夹深灰色砂质泥岩，底部深灰色砂质泥岩夹灰色含灰泥质粉砂岩。
			NT组	8	2130.0	78.5	2011.4	38.5	顶部为深灰色含灰页岩、灰黑色页岩，下部为黑色碳质页岩。
				7	2150.0	20.0	2020.2	8.8	黑色碳质页岩
				6	2200.0	50.0	2039.4	19.2	黑色碳质页岩
				5	2320.0	120.0	2068.7	29.3	黑色碳质页岩
				4	2744.0	424.0	2131.8	63.1	黑色碳质页岩夹灰黑色灰质泥岩
				5	3065.0	321.0	2185.03	53.2	黑色碳质页岩
				4	3406.12	341.1	2231.7	46.7	黑色碳质页岩夹灰黑色灰质泥岩

1、寒武系下统C组

井段：1554.00m~1624.00m，录井厚度70.00m，见图1-2-11。

(1) 岩性组合：中上部以深灰色、灰色粉砂岩为主夹深灰色泥岩及薄层灰色泥灰岩，底部绿灰色、棕红色泥岩夹灰色泥质粉砂岩。

(2) 岩性特征:

粉砂岩: 灰色、深灰色, 成分以石英为主, 长石, 岩屑次之, 见少量暗色矿物, 泥质胶结, 致密、硬, 加HCl-, 岩屑呈片状、部分块状, 偶见石英颗粒。

砂质泥岩: 灰色、深灰色, 质不纯, 含少量粉砂, 呈条带状分布, 较硬, 加稀HCl-, 岩屑呈片状, 块状。

泥灰岩: 灰色、深灰色, 成分以泥晶方解石为主, 泥质次之, 含少量白云石, 泥质含量约45-60%, 致密, 硬, 加稀HCl+++ , 反应后留大量泥垢, 岩屑片状、块状。岩屑见少量方解石次生矿物。

泥岩: 灰色、绿灰色、棕红色, 质较纯, 硬、脆, 加HCl-。岩屑大部分为片状, 少量为块状。

(3) 电性特征:

本组地层伽马呈现锯齿状较高值, 一般38-145API, 平均92API; 双侧向电阻率平缓较高值, 深侧向电阻率92~524 $\Omega\cdot m$, 平均287 $\Omega\cdot m$ 。

(4) 沉积特征: 本组整体岩性为砂岩夹泥岩, 底部颜色为绿灰色、棕红色, 属三角洲相沉积。

(5) 分层依据:

a、本组岩性底部为绿灰色泥岩, 下伏寒武系下统XN组岩性为灰岩类, 区别明显。

b、电性上, 下伏XN组伽马数值明显降低, 双侧向电阻率整体抬升, 区别明显。

(6) 地层接触关系: 与下伏寒武系下统XN组地层呈整合接触。

2、寒武系下统XN组

井段: 1624.00m~1755.00m, 斜厚131.00m, 垂深1624.00m~1751.20m, 垂厚127.20m见图1-2-12。

(1) 岩性组合: 灰色灰岩、灰色鲕粒灰岩、深灰色泥质灰岩夹灰色灰质泥岩。

(2) 岩性特征:

灰岩: 灰色, 成分以泥粉晶方解石为主, 见少量白云石及泥质, 泥质含量约10-15%, 致密, 硬, 加稀HCl+++ , 岩屑片状、块状。岩屑见少量方解石次生矿

物。

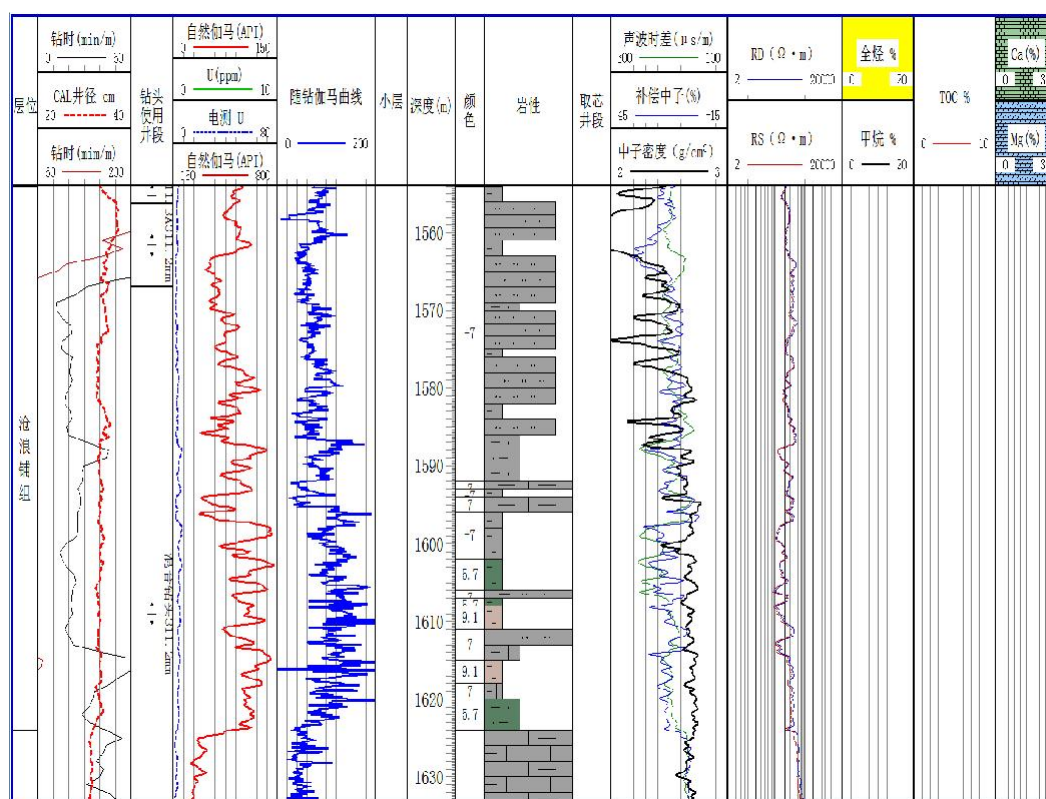


图1-2-11 SZY1HF井C组岩性柱状图

鲕粒灰岩：灰色，成分主要由灰质鲕粒，基质为隐晶白云石组成，鲕径0.2-1.0mm，鲕粒70%为变鲕，部分被自形白云石交代，缝洞不发育，被白色次生方解石充填，次生方解石含量3%，致密，加HCl+++。岩屑呈片状、碎末状。

泥质灰岩：成分以方解石为主，泥质次之，含少量白云石，致密，硬，加HCl+++，滴酸反应后表面留有泥垢，岩屑呈片状、碎末状。

灰质泥岩：质不纯，含灰质，灰质呈条带状分布，性硬，较脆，加稀HCl++。

(3) 电性特征：

本组地层伽马呈现平缓较低值，局部峰状高值，一般18-117API，平均48API；双侧向电阻率整体箱装高值，局部峰状高值，深侧向电阻率169~3760Ω·m，平均795Ω·m。

(4) 沉积特征：本组整体岩性为灰岩类，见鲕粒灰岩，属潮坪相沉积。

(5) 分层依据：

a、本组岩性底部为深灰色泥灰岩，下伏寒武系下统S组岩性为砂岩类，

质，加稀HCl+，岩屑呈片状。

(3) 电性特征：

本组地层伽马呈现平缓较高值，底部伽马持续升高，一般62-140API，平均90API；双侧向电阻率整体平稳较低值，深侧向电阻率190~871Ω·m，平均382Ω·m。

(4) 沉积特征：本组整体岩性为粉砂岩夹泥岩，普遍含灰质，属浅海陆棚-潮坪相沉积。

(5) 分层依据：

a、本组岩性底部为深灰色含灰泥质粉砂岩、粉砂质泥岩，下伏寒武系下统NT组岩性为灰黑色页岩、黑色碳质页岩，区别明显。

b、电性上，下伏NT组伽马数值明显升高，双侧向电阻率顶部明显降低，区别明显。

(6) 地层接触关系：与下伏寒武系下统NT组地层呈整合接触。

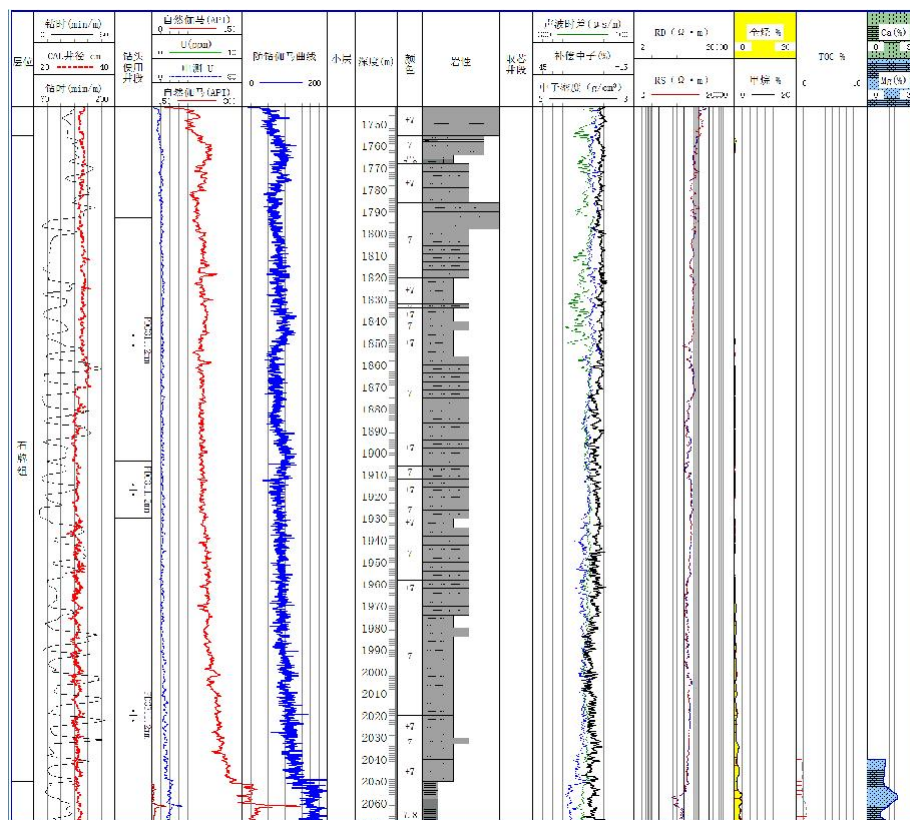


图1-2-13 SZY1HF井S组岩性柱状图

4、寒武系下统NT组

井段：2051.50m~3406.12m，斜厚1354.62m，垂深1972.90m~2231.70m，垂厚258.80m，未穿，见图1-2-14。

NT组按SZY1井直井可分为8个小层，本井钻遇地层自上而下钻遇NT组8~4小层（表1-2-4）。

表1-2-4 SZY1HF井钻遇NT组地层小层分层表

层位	开始斜深 m	结束斜深m	开始垂深 m	开始垂深m	斜厚m	垂厚m
8小层	2051.5	2130	1972.86	2011.38	78.50	38.52
7小层	2130	2150	2011.38	2020.24	20.00	8.90
6小层	2150	2200	2017.27	2039.36	50.00	19.1
5小层	2200	2320	2039.36	2068.70	120.00	29.34
4小层	2320	2744	2068.70	2131.81	424.00	63.11
5小层	2744	3065	2131.81	2185.03	321.00	53.22
4小层	3065	3406.12	2185.03	2231.70	341.12	46.67

(1) NT组8号小层

①斜深2051.50m~2130.00m，斜厚78.50m，垂深1972.86m~2011.38m，垂厚38.52m。

②岩性组合：顶部为深灰色含灰页岩、灰黑色页岩，下部为黑色碳质页岩。

③岩性特征：

页岩：深灰色，灰黑色，质不纯，含少量灰质，灰质含量约15%，岩屑见少量粉砂，呈纹层状分布，致密，硬，页理较发育，页片厚0.1-0.5mm，加HCl++，岩屑呈块、片状。

碳质页岩：黑色，质较纯，含少量灰质，碳质分布不均匀，染手，页理发育，页片厚0.1-0.5mm，手捻易碎，较致密，吸水较软，加HCl-，岩屑呈块、片状，部分叠瓦状。

④电性特征：

本段地层伽马曲线上部平缓高值，下部逐步抬升，一般128-239API，平均166API；双侧向电阻率整体平稳较低值，且上下部较中部较高，深侧向电阻率71~320Ω·m，平均199Ω·m。

⑤沉积特征：本组整体岩性为黑色碳质页岩，属深水陆棚相沉积。

(2) NT组7号小层

①斜深2130.00m~2150.00m，斜厚20.00m，垂深2011.38m~2020.24m，垂厚8.90m。

②岩性组合：黑色碳质页岩。

③岩性特征：

碳质页岩：黑色，质较纯，含少量灰质，碳质分布较均匀，染手，页理发育，页片厚0.1-0.5mm，手捻易碎，较致密，吸水较软，加HCl-，岩屑呈片状、叠瓦状。

④电性特征：

本段地层伽马曲线双尖峰异常高值，一般345-791API，平均539API。

⑤沉积特征：本组整体岩性为黑色碳质页岩，属深水陆棚相沉积。

(3) NT组6号小层

①斜深2150.00m~2220.00m，斜厚50.00m，垂深2020.24m~2039.36m，垂厚19.10m。

②岩性组合：黑色碳质页岩。

③岩性特征：

碳质页岩：黑色，质较纯，含少量灰质，碳质分布较均匀，染手，页理发育，页片厚0.1-0.5mm，手捻易碎，较致密，吸水较软，加HCl-，岩屑呈片状、叠瓦

状。

④电性特征：

本段地层伽马呈现锯齿状高值，一般193-471API，平均333API。

⑤沉积特征：本组整体岩性为黑色碳质页岩，属深水陆棚相沉积。

(4) NT组5号小层

①斜深2220.00m~2320.00m，斜厚120.00m，垂深2039.36m~2068.70m，垂厚29.34m。

②岩性组合：黑色碳质页岩。

③岩性特征：

碳质页岩：黑色，质较纯，含少量灰质，碳质分布较均匀，染手，页理发育，页片厚0.1-0.5mm，手捻易碎，较致密，吸水较软，加HCl-，岩屑呈片状、叠瓦状。

④电性特征：

本段地层伽马呈现平缓较高值，一般172-282API，平均237API。

⑤沉积特征：本组整体岩性为黑色碳质页岩，属深水陆棚相沉积。

(5) NT组4号小层

①斜深2320.00m~2744.00m，斜厚424.00m，垂深2068.70m~2131.81m，垂厚63.11m。

②岩性组合：黑色碳质页岩夹灰黑色灰质泥岩。

钻遇4号层第一个灰尖，即4低①后开始增斜，轨迹上行。

③岩性特征：

碳质页岩：黑色，质较纯，含少量灰质，碳质分布较均匀，染手，页理发育，页片厚0.1-0.5mm，手捻易碎，较致密，吸水较软，加HCl-，岩屑呈片状、叠瓦状。

④电性特征：

本段地层伽马呈现高值，灰尖处低值，一般104-292API，平均230API。

⑤沉积特征：本组整体岩性为黑色碳质页岩，属深水陆棚相沉积。

(6) NT组5号小层

①斜深2744.00m~3065.00m，斜厚321.00m，垂深2131.81m~2185.03m，

垂厚53.22m。

②岩性组合：黑色碳质页岩。

③岩性特征：

碳质页岩：黑色，质较纯，含少量灰质，碳质分布较均匀，染手，页理发育，页片厚0.1-0.5mm，手捻易碎，较致密，吸水较软，加HCl-，岩屑呈片状、叠瓦状。

④电性特征：

本段地层伽马呈现平缓较高值，一般180-278API，平均236API。

⑤沉积特征：本组整体岩性为黑色碳质页岩，属深水陆棚相沉积。

(7) NT组4号小层

①斜深3065.00m~3406.12m，斜厚341.12m，垂深2185.03m~2231.70m，垂厚46.67m，未穿。

②岩性组合：黑色碳质页岩夹灰黑色灰质泥岩。

③岩性特征：

碳质页岩：黑色，质较纯，含少量灰质，碳质分布较均匀，染手，页理发育，页片厚0.1-0.5mm，手捻易碎，较致密，吸水较软，加HCl-，岩屑呈片状、叠瓦状。

灰质泥岩：灰黑色，

④电性特征：

本段地层伽马呈现高值，灰尖处低值，一般116-297API，平均207API。

⑤沉积特征：本组整体岩性为黑色碳质页岩，属深水陆棚相沉积。

1.3 油气显示、井漏及井涌情况

1.3.1 气测显示

SZY1HF井水平段钻进过程中录井共发现油气显示13层1374.12m，其中S组解释微含气层1层1.0m，解释含气层1层18.50m；主要目的层NT组解释泥页岩气层6层1269.12m，解释泥页岩含气层5层85.50m，详见油气显示大表1-3-1。

表1-3-1 SYZ1HF井油气显示大表

序号	层位	井段 m	厚度 m	岩性	钻时 min /m	全烃 %	烃组分%		非烃 气体		钻井液参 数		槽面显 示情况	综合 解释
							C ₁	C ₂	H ₂ S pp m	CO ₂ %	相对 密度	粘 度 s		
1	S组	1757.0 0 ~ 1758.0 0	1.00	深灰色含灰泥岩	37	0.96 ↑ 0.23	0.9348↑ 0.1651	0.0206 ↑ 0.0196	0	0.12	1.08	80	无	微含气层
2	S组	2033.0 0~ 2051.5	18.50	深灰色含灰泥质粉砂岩、深灰色含灰粉砂质泥岩	10 ~ 46	1.86 ↑ 0.98	1.8048↑ 0.9614	0.0503 ↑ 0.0080	0	0.12	1.13	76	无	含气层
3	NT组 (8)	2051.5 0~ 2091.0 0	39.50	深灰色页岩、灰黑色页岩、黑色碳质页岩	8 ~ 43	3.53 ↑ 0.81	3.3517↑ 0.7486	0.1743 ↑ 0.0236	0	0.10	1.13 ~ 1.15	76 ~ 86	无	泥页岩含气层
4	NT组 (8)	2091.0 0~ 2110.0 0	19.00	黑色碳质页岩	7 ~ 34	19.31 ↑ 3.14	18.3469 ↑ 3.0090	0.6185 ↑ 0.1152	0	0.08 ~ 0.10	1.15	90	槽面见无色针孔状气泡，约占5%	泥页岩气层
5	NT组 (7~4)	2110.0 0~ 2385.0 0	275.0 0	黑色碳质页岩	3 ~ 219	16.53 ~ 0.51	15.0244 ~ 0.4574	0.4461 ~ 0.0103	0	0.96 ~ 0.12	1.14 ~ 1.15	68 ~ 72		泥页岩气层
6	NT组 (4)	2385.0 0~ 2406.0 0	21.00	灰黑色灰质泥岩	6 ~ 56	7.12 ~ 0.97	6.4760 ~ 0.9314	0.2030 ~ 0.0326	0	0.60 ~0.1 3	1.16	65 ~ 67		泥页岩含气层
7	NT组	2406.0 0~ 0	189.0 0	黑色碳质页岩	4 ~ ~	11.19 ~ ~	11.0101 ~ ~	0.5749 ~ ~	0	0.19 ~ ~	1.16 ~ ~	67		泥页岩气层

	(4)	2595.0 0			24	2.96	2.6081	0.0170		0.15	1.17			
8	NT 组 (4)	2595.0 0~ 2602.0 0	7.00	灰黑色灰质泥岩	17 ~ 45	5.90 ~ 2.24	5.3164 ~ 1.8342	0.1712 ~ 0.0670	0	0.17 ~ 0.15	1.17	71		泥页岩 含气层
9	NT 组 (4)	2602.0 0~ 2645.0 0	43.00	黑色碳质页岩	3 ~ 25	10.11 ~ 2.26	9.4685 ~ 1.9001	0.2733 ~ 0.0676	0	1.16 ~ 0.17	1.17	70		泥页岩 气层
10	NT 组 (4)	2645.0 0~ 2652.0 0	7.00	灰黑色灰质泥岩	9 ~ 32	4.99 ~ 3.21	4.2921 ~ 2.6804	0.0890 ~ 0.1316	0	1.17 ~ 1.16	1.17	71		泥页岩 含气层
11	NT 组 (4-5)	2652.0 0~ 3192.0 0	540.0 0	黑色碳质页岩	3 ~ 28	10.97 ~ 2.82	10.5668 ~ 2.2358	0.2766 ~ 0.0045	0	1.15 ~ 0.15	1.17 ~ 1.18	74		泥页岩 气层
12	NT 组 (4)	3192.0 0~ 3203.0 0	11.00	灰黑色灰质泥岩	12 ~ 33	4.17 ~ 1.16	3.3896 ~ 1.0168	0.0959 ~ 0.0335	0	1.62 ~ 1.28	1.19	68		泥页岩 含气层
13	NT 组 (4)	3203.0 0~ 3406.1 2	203.1 2	黑色碳质页岩	2 ~ 24	8.95 ~ 3.18	8.4912 ~ 2.6363	0.2082 ~ 0.0616	0	1.76 ~ 0.15	1.19 ~ 1.20	66 ~ 70		泥页岩 气层

S组现场解释微含气层1层1.0m，解释含气层1层18.50m，详述如下：

1、现场解释第2层显示：井段2033.00-2051.50m，厚度18.50m，现场解释：含气层。

(1) 气测录井

井段2033.00-2051.50m，厚度18.50m，岩性：深灰色含灰泥质粉砂岩、深灰色含灰粉砂质泥岩。层位：S组。钻时10~46min/m，气测全烃0.98%↑1.86%，甲烷0.9614%↑1.8048%，乙烷0.0080%↑0.0503%，其它组分为0，H₂S:0ppm，CO₂:0.10%，钻井液密度1.13g/cm³，粘度76s，槽面无显示。出口温度40.1℃，出口电导率27.5mS/cm，体积：162.08m³。

(2) 地化及残余碳录井

残余碳TOC%：0.8~0.9%，平均：0.8%。

(3) 元素录井

主要特征元素特征：Ca9.0~10.2%，平均9.5%；Mg2.9~4.1%，平均3.6%；Ca+Mg12.8~13.4%，平均13.2%；S2.3~2.4%，平均2.4%；Fe4.6~5.4%，平均5.1%。

(4) 碳酸盐岩含量分析录井

碳酸盐岩含量最大值11.8~17.9%，平均15.0%。

NT组解释泥页岩气层6层1269.12m，解释泥页岩含气层5层85.50m，下面按照井段自上而下详述如下：

1、现场解释第3层显示：井段2051.50~2091.00m，厚度39.50m，岩性为深灰色页岩、灰黑色页岩和黑色碳质页岩。气测全烃0.81~3.53%，甲烷气测异常0.7486~3.3517%，录井现场解释：泥页岩含气层（见图1-3-1、表1-3-1）。

2、现场解释第4层显示：井段2091.00~2110.00m，厚度19.00m，岩性为黑色碳质页岩。气测全烃3.14~19.31%，甲烷气测异常3.0090~18.3469%，钻井液相对密度1.15，录井现场解释：泥页岩气层（见图1-3-1、表1-3-1）。

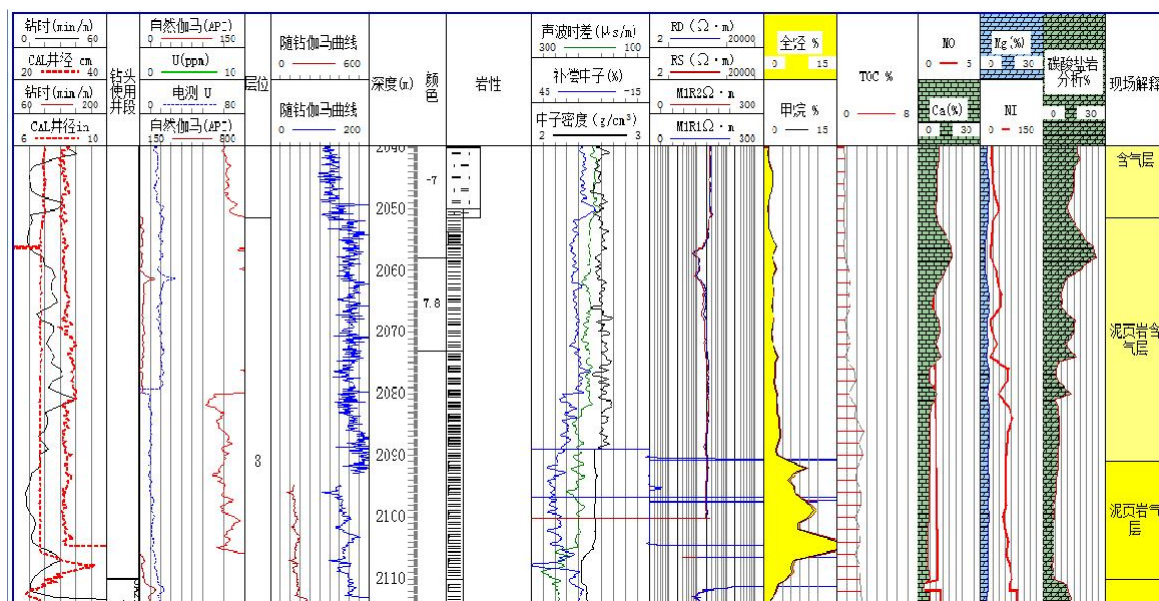


图1-3-1 SZY1HF井组NT组8号层显示图（2051.50~2110.00m）

3、现场解释第5层显示：井段2110.00~2385.00m，厚度275.00m，岩性为黑色碳质页岩。气测全烃0.51~16.53%，甲烷气测异常0.4574~15.0244%，钻井液相对密度1.15，录井现场解释：泥页岩气层（见图1-3-2、表1-3-1）。

4、现场解释第6层显示：井段2385.00~2406.00m，厚度21.00m，岩性为灰黑色灰质页岩。气测全烃0.97~7.12%，甲烷气测异常0.9314~6.4760%，钻井液相对密度1.15，录井现场解释：泥页岩含气层（见图1-3-2、表1-3-1）。

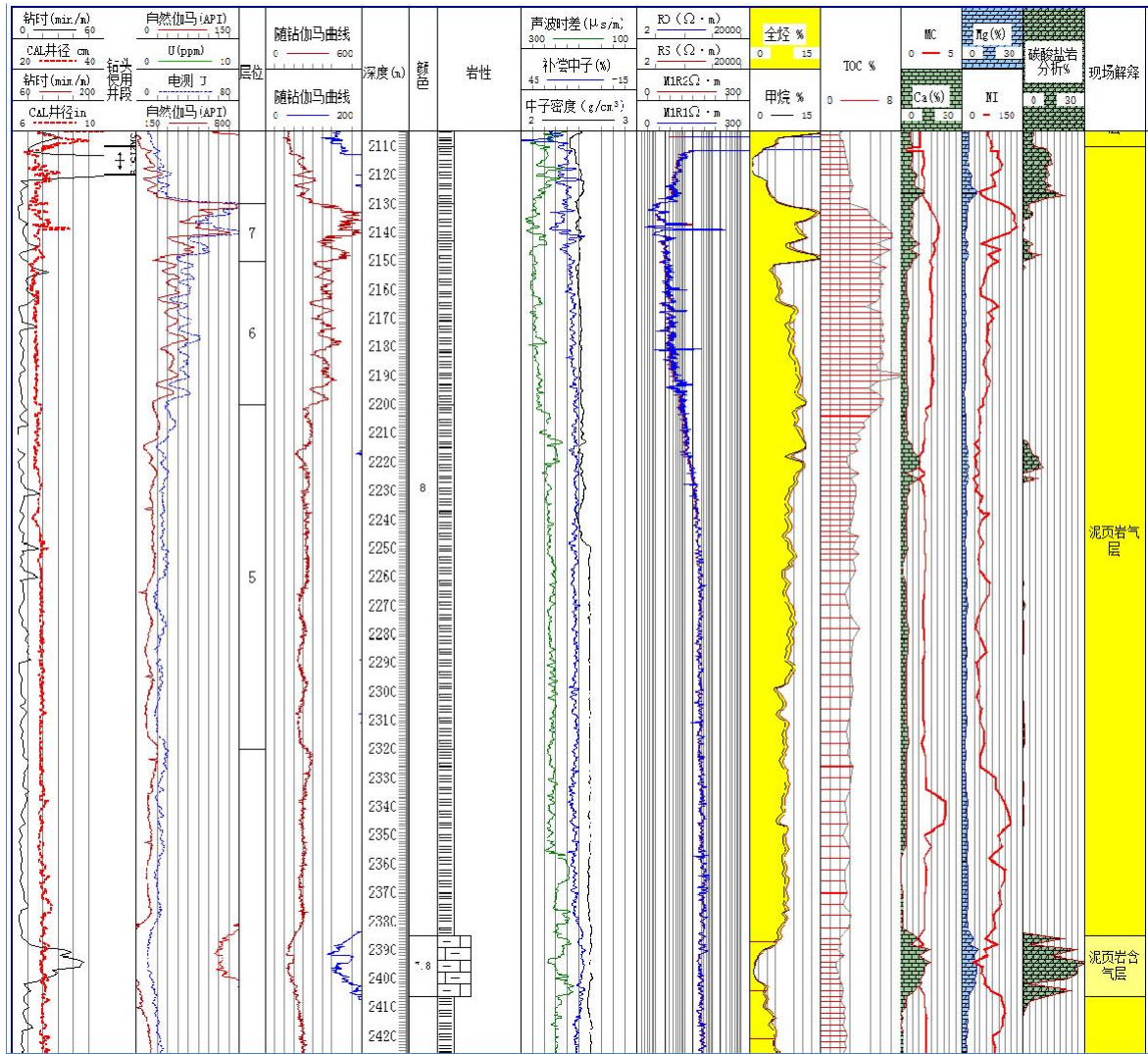


图1-3-2 SZY1HF井组NT组显示图（2110.00~2406.00m）

5、现场解释第7层显示：井段2406.00~2595.00m，厚度189.00m，岩性为黑色碳质页岩。气测全烃2.96~11.19%，甲烷气测异常2.6081~11.0101%，钻井液相对密度1.17，录井现场解释：泥页岩气层（见图1-3-3、表1-3-1）。

6、现场解释第8层显示：井段2595.00~2602.00m，厚度7.00m，岩性为灰黑色灰质页岩。气测全烃2.24~5.90%，甲烷气测异常1.8342~5.3164%，钻井液相对密度1.17，录井现场解释：泥页岩含气层（见图1-3-3、表1-3-1）

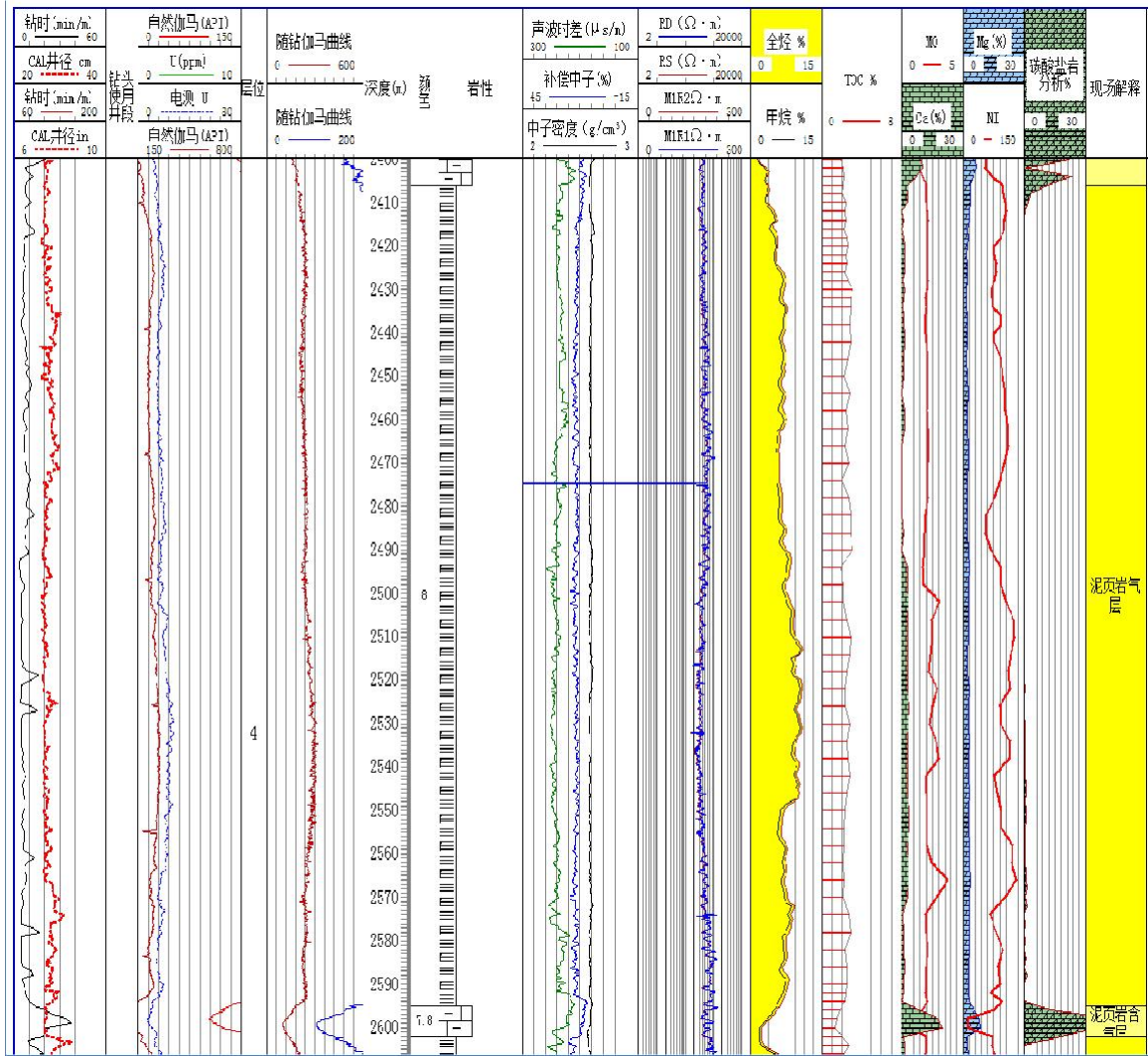


图1-3-3 SZY1HF井组NT组显示图（2406.00~2602.00m）

7、现场解释第9层显示：井段2602.00~2645.00m，厚度43.00m，岩性为黑色碳质页岩。气测全烃2.26~10.11%，甲烷气测异常1.9001~9.4685%，钻井液相对密度1.17，录井现场解释：泥页岩气层（见图1-3-4、表1-3-1）。

8、现场解释第10层显示：井段2645.00~2652.00m，厚度7.00m，岩性为灰黑色灰质页岩。气测全烃3.21~4.99%，甲烷气测异常2.6804~4.2921%，钻井液相对密度1.17，录井现场解释：泥页岩含气层（见图1-3-4、表1-3-1）。

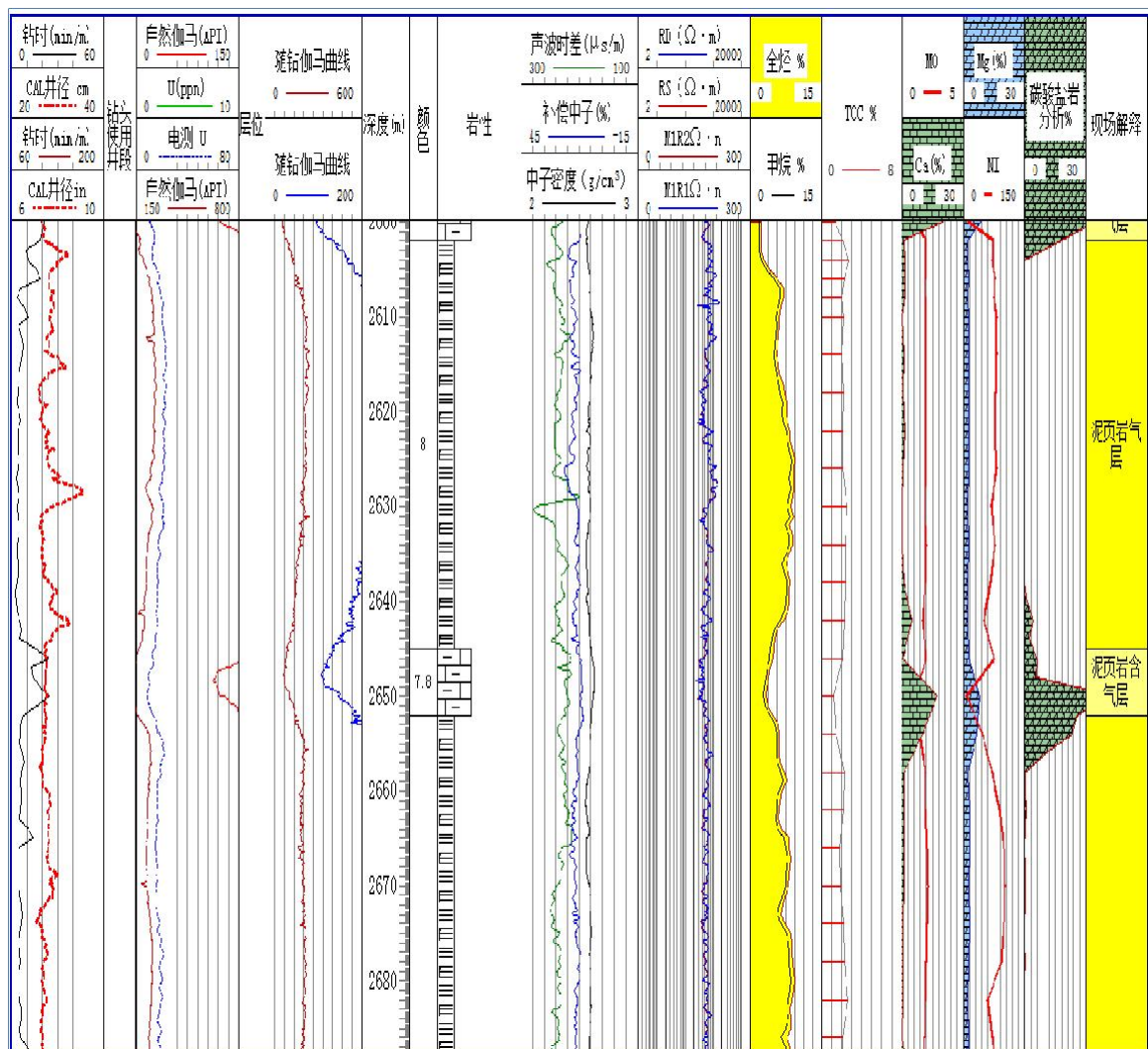


图1-3-4 SZY1HF井组NT组显示图（2602.00~2652.00m）

9、现场解释第11层显示：井段2652.00~3192.00m，厚度540.00m，岩性为黑色碳质页岩。气测全烃2.82~10.97%，甲烷气测异常2.2358~10.5668%，钻井液相对密度1.18，录井现场解释：泥页岩气层（见图1-3-5、表1-3-1）。

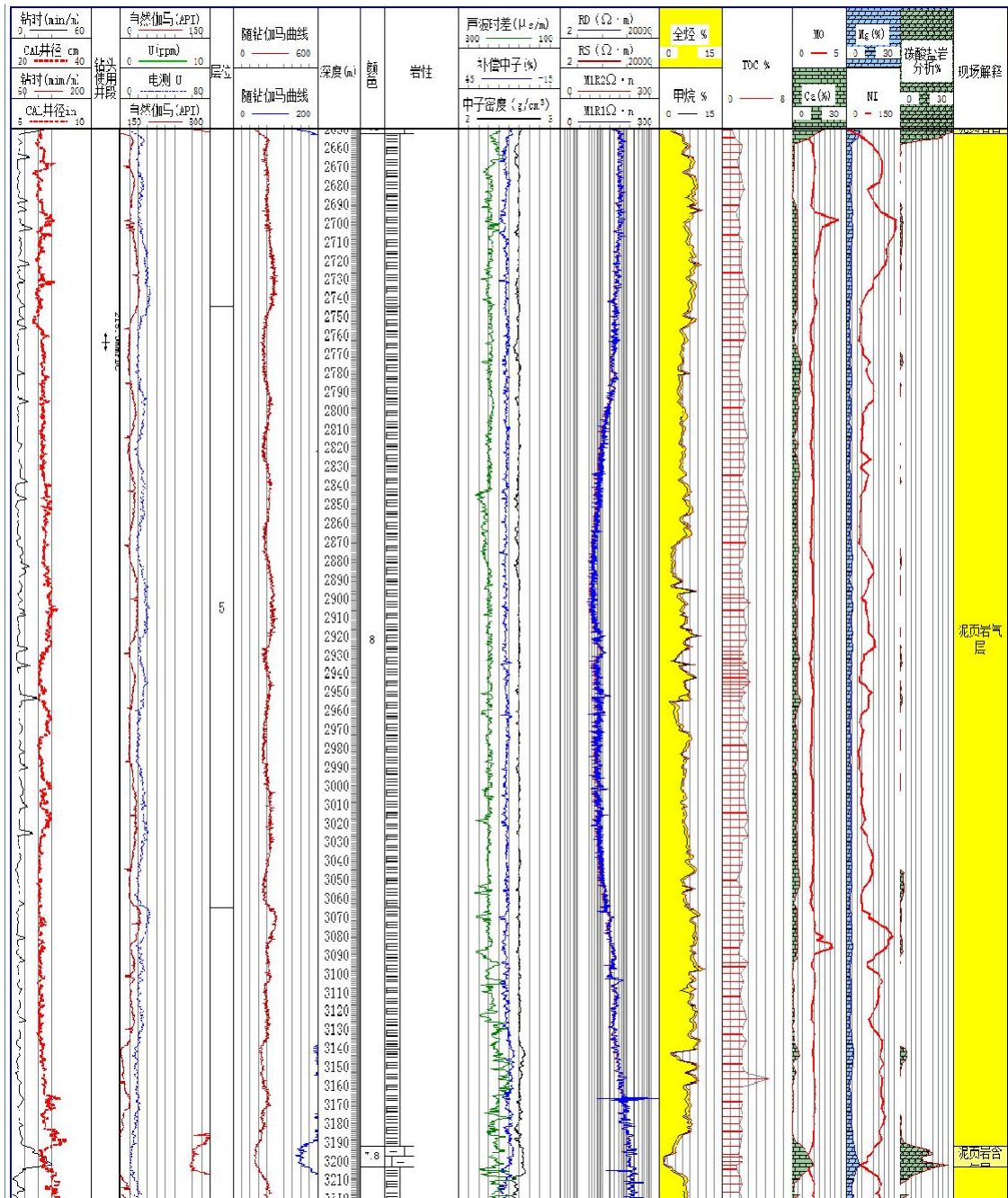


图1-3-5 SZY1HF井组NT组显示图（2652.00~3192.00m）

10、现场解释第12层显示：井段3192.00~3203.00m，厚度11.00m，岩性为灰黑色灰质页岩。气测全烃1.16~4.17%，甲烷气测异常1.0168~3.3896%，钻井液相对密度1.19，录井现场解释：泥页岩含气层（见图1-3-6、表1-3-1）。

11、现场解释第13层显示：井段3203.00~3406.12m，厚度203.12m，岩性为黑色碳质页岩。气测全烃3.18~8.95%，甲烷气测异常2.6363~8.4912%，钻井液相对密度1.20，录井现场解释：泥页岩气层（见图1-3-6、表1-3-1）。

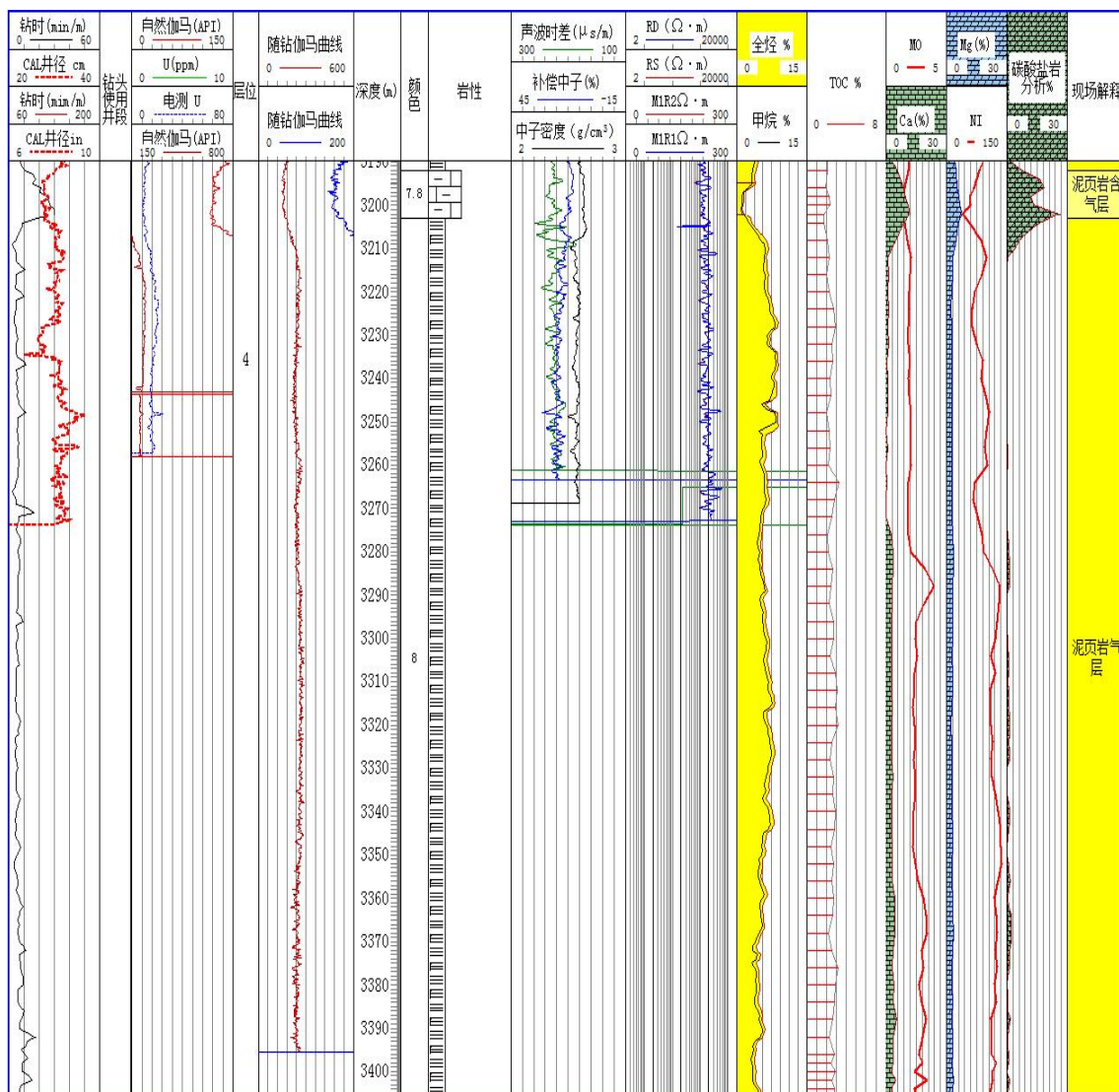


图1-3-6 SZY1HF井组NT组显示图（3192.00~3406.12m）

1.3.2 后效显示

SZY1HF井钻开NT组显示后共测得后效10次，气测全烃最高1.26%~25.57%，计算油气上窜高度2.12~27.36m/h（表1-3-2），详述如下。

后效显示1：开泵时间2021年2月11日00:43，静止时间6.7h，钻头深度2109.00m，排量1860L/min，迟到时间59min，01:39出现显示，01:51气测全烃值达最高，全烃1.63%↑4.17%，甲烷1.4073%↑3.8940%，乙烷0.0920%↑0.2290%，02:15全烃值降为1.58%，甲烷降为1.53%，乙烷降为0.112%，其余组分为0，CO₂:0.08%，H₂S:0ppm。钻井液相对密度1.16，粘度88s，槽面未见显示。温度37.6°C，电导率27.8mS/cm，体积168.8m³。显示层井段2050.00~2110.00m。计算油气上窜速度7.18m/h。

后效显示2：开泵时间2021年2月13日11:47，静止时间57.28h，钻头深度2107.35m，排量1860L/min，迟到时间59min，12:41出现显示，12:48气测全烃值达最高，全烃0.33%↑1.26%，甲烷0.2600%↑1.1812%，乙烷0.0400%↑0.0610%，13:12全烃值降为0.65%，甲烷降为0.6325%，乙烷降为0.0401%，其余组分为0，CO₂:0.08%，H₂S:0ppm。钻井液相对密度1.16，粘度88s，槽面未见显示。温度37.4℃，电导率28.1mS/cm，体积153.5m³。显示层井段2050.00~2110.00m。计算油气上窜速度2.12m/h。

后效显示3：开泵时间2021年4月05日18:15，静止时间16.0h，钻头深度3288.00m，排量1728L/min，迟到时间48min，19:00见显示，19:03气测全烃值达最高，全烃2.80%↑15.59%，甲烷2.4100%↑14.2000%，乙烷0.0500%↑0.4700%，20:09全烃值降为2.46%，甲烷降为1.7000%，乙烷降为0.0300%，其余组分为0，CO₂:0.08%，H₂S:0ppm。钻井液相对密度1.26，粘度116s，槽面未见显示。温度45.7℃，电导率223.5mS/cm，体积124.1m³。显示层井段3288.00~3406.12m。计算油气上窜速度12.84m/h，

（中途多次开停泵，上窜速度仅供参考）

后效显示4：开泵时间2021年4月08日16:45，静止时间29.90h，钻头深度3063.00m，排量2034L/min，迟到时间39min，17:21见显示，17:25气测全烃值达最高，全烃0.82%↑14.43%，甲烷0.4600%↑13.4900%，乙烷0.0100%↑0.2400%，17:34全烃值降为0.81%，甲烷降为0.6700%，乙烷降为0.0100%，其余组分为0，CO₂:0.11%，H₂S:0ppm。钻井液相对密度1.32，粘度123s槽面未见显示。温度45.6℃，电导率223.1mS/cm，体积99.2m³。显示层井段3063.00~3406.12m。计算油气上窜速度7.88m/h，（中途多次开停泵，上窜速度仅供参考）。

后效显示5：开泵时间2021年4月13日20:43，静止时间87.22h，钻头深度2544.61m，排量1680L/min，迟到时间36min，21:12见显示，21:20气测全烃值达最高，全烃0.17%↑3.35%，甲烷0.1000%↑2.8600%，乙烷0.0100%↑0.0500%，21:25全烃值降为0.50%，甲烷降为0.2200%，乙烷降为0.0200%，其余组分为0，CO₂:0.12%，H₂S:0ppm。钻井液相对密度1.38，粘度116s，槽面未见显示。温度45.6℃，电导率222.1mS/cm，体积101.2m³。显示层井段2544.61~3406.12m。计算油气上窜速度5.67m/h。

后效显示6：开泵时间2021年4月13日23:33，静止时间90.05h，钻头深度

2975.35m, 排量1680L/min, 迟到时间42min, 14日00:08见显示, 00:18气测全烃值达最高, 全烃 0.51%↑14.13%, 甲烷 0.4500%↑11.1400%, 乙烷 0.0200%↑0.2000%, 00:27全烃值降为1.09%, 甲烷降为0.51%, 乙烷降为0.0200%, 其余组分为0, CO₂:0.13%, H₂S:0ppm。钻井液相对密度1.38, 粘度116s, 槽面未见显示。温度45.7°C, 电导率223.2mS/cm, 体积101.1m³。显示层井段2975.35~3406.12m。计算油气上窜速度5.51m/h。

后效显示7: 开泵时间2021年4月14日02:55, 静止时间93.42h, 钻头深度3240.67m, 排量1680L/min, 迟到时间48min, 03:30见显示, 03:40气测全烃值达最高, 全烃2.30%↑25.57%, 甲烷4.9600%↑23.4200%, 乙烷0.0700%↑0.4800%, 03:53全烃值降为5.81%, 甲烷降为5.5200%, 乙烷降为0.0900%, 其余组分为0, CO₂:0.11%, H₂S:0ppm。钻井液相对密度1.38, 粘度112s, 槽面见无色针孔状气泡, 约占槽面10%。温度45.8°C, 电导率222.3mS/cm, 体积101.3m³。显示层井段3240.67~3406.12m。计算油气上窜速度9.40m/h。

后效显示8: 开泵时间2021年4月15日01:26, 静止时间17.43h, 钻头深度3270.00m, 排量1680L/min, 迟到时间48min, 02:07见显示, 02:14气测全烃值达最高, 全烃1.56%↑10.65%, 甲烷1.3100%↑9.8900%, 乙烷0.0300%↑0.2100%, 02:33全烃值降为1.56%, 甲烷降为1.4600%, 乙烷降为0.0300%, 其余组分为0, CO₂:0.10%, H₂S:0ppm。钻井液相对密度1.38, 粘度114s, 槽面未见显示。温度47.0°C, 电导率222.8mS/cm, 体积92.86m³。显示层井段3270.00~3406.12m。计算油气上窜速度27.36m/h。中途多次开停泵, 上窜速度仅供参考。

后效显示9: 开泵时间2021年4月16日03:44, 静止时间24.73h, 钻头深度2260.69m, 排量1680L/min, 迟到时间34min, 04:17见显示, 04:18气测全烃值达最高, 全烃2.04%↑5.16%, 甲烷1.6800%↑4.2100%, 乙烷0.0300%↑0.0600%, 04:22全烃值降为0.56%, 甲烷降为0.5200%, 乙烷降为0.0100%, 其余组分为0, CO₂:0.10%, H₂S:0ppm。钻井液相对密度1.38, 粘度115s, 槽面未见显示。温度36.3°C, 电导率223.1mS/cm, 体积73.6m³。显示层井段2260.69~3406.12m。计算油气上窜速度2.69m/h。

后效显示10: 开泵时间2021年4月16日10:27, 静止时间31.45h, 钻头深度3276.94m, 排量1680L/min, 迟到时间53min, 11:15见显示, 11:17气测全烃值达最高, 全烃2.26%↑12.02%, 甲烷1.8300%↑10.8100%, 乙烷0.0200%↑0.2000%,

11:36全烃值降为2.22%，甲烷降为1.9200%，乙烷降为0.0400%，其余组分为0，CO₂:0.10%，H₂S:0ppm。钻井液相对密度1.38，粘度114s，槽面未见显示。温度36.8°C，电导率223.0mS/cm，体积75.7m³。显示层井段3276.94~3406.12m。计算油气上窜速度9.83m/h。

表1-3-2 SZY1HF井后效显示统计表

序号	日期	层位	井深	钻头位置m	油气层位置m	岩性	开泵时间h:min	见显示时间h:min	高峰时间h:min	落峰时间h:min	钻井液静止时间h	迟到时间min	油气上窜速度m/h	全烃%	甲烷%	钻井液相对密度	粘度s	槽面显示情况
1	2021/2/11	NT组	2110.00	2109.00	2050.00-2110.00	深灰色页岩、灰黑色页岩、黑色碳质页岩	0:43	1:39	1:51	2:15	6.72	59	7.18	1.63↑4.17	1.4073↑3.8940	1.16	88	
2	2021/2/13	NT组	2110.00	2107.35	2050.00-2110.00	黑色碳质页岩	11:47	12:41	12:48	13:12	57.28	59	2.12	0.33↑1.26	0.2600↑1.1812	1.16	88	
3	2021/4/5	NT组	3406.12	3288.00	3288.00-3406.12	黑色碳质页岩	18:15	19:00	19:03	20:09	16.0	48	12.84	2.80↑15.59	2.4100↑14.2000	1.26	116	
4	2021/4/8	NT组	3406.12	3063.00	3063-3406.12	黑色碳质页岩	16:45	17:21	17:25	17:34	29.9	39	7.88	0.82↑14.43	0.4600↑13.4900	1.32	123	
5	2021/4/13	NT组	3406.12	2544.61	2544.61-3406.12	黑色碳质页岩	20:43	21:12	21:20	21:27	87.22	36	5.67	0.17↑3.35	0.1000↑2.8600	1.38	116	
6	2021/4/13	NT组	3406.12	2975.35	2975.35-3406.12	黑色碳质页岩	23:33	0:08	0:18	0:30	90.05	42	5.51	0.51↑14.13	0.4500↑11.1400	1.38	116	

表1-3-2 SZY1HF井后效显示统计表（续）

序号	日期	层位	井深	钻头位置 m	油气层 位置m	岩性	开泵时间 h:min	见显示 时间 h:min	高峰 时间 h:min	落峰 时间 h:min	钻井液 静止时 间h	迟到 时间 min	油气上 窜速度 m/h	全烃%	甲烷%	钻井液 相对密 度	粘度 s	槽面显 示情况
7	2021/4/1 4	NT组	3406.12	3240.67	3240.67 -3406.12	黑色碳质 页岩	2:55	3:30	3:40	4:00	93.42	48	9.40	2.30↑25.57	1.7700↑ 23.4200	1.38	112	见无色针 孔状气 泡，约占 槽面10%
8	2021/4/1 5	NT组	3406.12	3270.00	3270.00 -3406.12	黑色碳质 页岩	1:26	2:07	2:14	2:33	17.43	48	27.36	1.56↑10.65	1.3100↑9.8900	1.38	114	
9	2021/4/1 6	NT组	3406.12	2260.69	2260.69 -3406.12	黑色碳质 页岩	3:44	4:17	4:18	4:22	24.73	34	2.69	2.04↑5.16	1.6800↑4.2100	1.38	130	
10	2021/4/1 6	NT组	3406.12	3276.94	3276.94 -3406.1 2	黑色碳质 页岩	10:27	11:15	11:17	11:36	31.45	53	9.83	2.26↑12.02	1.8300↑ 10.8100	1.38	114	

1.3.3 井漏及井涌情况

SZY1HF井水平段钻进期间，共发生7次井漏。

第1次井漏：2021年03月31日00:00至13:00倒划眼起钻，井段3218.36-2472.01m，期间共漏失钻井液5.7m³，漏速0.4m³/h，钻井液密度为1.20g/cm³，粘度84s。

13:00至13:34倒划眼起钻发生漏失，井段2472.01-2454.44m，漏失钻井液9.6m³，漏速16.9m³/h，漏失钻井液密度为1.20g/cm³，粘度84s。

14:03至17:10倒划眼起钻，后面持续开泵有小漏失，井段2455.31-2244.00m，期间漏失钻井液10.9m³，漏速3.5m³/h，钻井液密度1.21g/cm³，粘度87s。

18:08至21:30倒划眼起钻，井段2239.65-2016.75m，期间漏失钻井液8.2m³，漏速2.4m³/h，钻井液密度为1.21g/cm³，粘度87s，层位：NT组，岩性：黑色碳质页岩，后循环无漏失。

本次井漏累计漏失钻井液34.4m³。

第2次井漏：2021年04月03日13:30至14:00上提下放钻具，井段3288.00-3260.34m，循环钻井液时漏失12.8m³，漏速25.6m³/h，后循环无漏失，钻井液密度1.24g/cm³，粘度95s。层位：NT组，岩性：黑色碳质页岩。

第3次井漏：2021年04月04日07:32至09:00划眼，井段3233.38-3260.56m，漏失11.0m³，漏速7.5m³/h，后循环无漏失，钻井液密度1.25g/cm³，粘度88s。层位：NT组，岩性：黑色碳质页岩，现场判断为微裂缝漏失。

04日19:35至20:05划眼，井段3006.22-3006.58m，漏失15.8m³，漏速31.6m³/h，后循环无漏失钻井液密度1.26g/cm³，粘度95s。层位：NT组，岩性：黑色碳质页岩。

本次井漏累计漏失钻井液26.8m³。

第4次井漏：2021年04月07日11:14至11:28倒划眼起钻上提钻具，井段3032.64-3005.62m，漏失10.5m³，漏速45.0m³/h，后循环无漏失，钻井液密度1.27g/cm³，粘度136s。层位：NT组，岩性：黑色碳质页岩。

第5次井漏：2021年04月08日17:50至18:00上提下放钻具循环钻井液，井段3034.44~3062.00m，漏失6.5m³，漏速9.8m³/h，后循环无漏失，钻井液密度1.32g/cm³，粘度123s。层位：NT组，岩性：黑色碳质页岩。

第6次井漏：2021年04月09日19:50至22:48循环钻井液上提下放钻具，井段3175.84~3204.08m，漏失21.7m³，漏速7.7m³/h，后循环无漏失，钻井液密度1.37g/cm³，粘度120s。层位：NT组，岩性：黑色碳质页岩。

第7次井漏：2021年04月13日23:30至14日00:40循环钻井液，井段2950.53~2976.25m，漏失5.1m³，漏速4.4m³/h；14日02:55至04:00循环钻井液，井段3241.10~3259.12m，漏失15.5m³，漏速15.5m³/h；后调配泥浆，后循环无漏失，漏失钻井液密度1.38g/cm³，粘度112s。层位：NT组，岩性：黑色碳质页岩。

本次井漏累计漏失钻井液20.6m³。

水平井段累计漏失油基钻井液133.3m³，主要在倒划眼起钻阶段和上提下放钻具阶段发生，判断主要为地层微裂缝漏失。

1.4 温压特征

根据本井的钻井泥浆比重使用情况和测录井解释结果，井段1972.00m~2053.00m使用钻井液相对密度1.06-1.08g/cm³。初步预测本井NT组地层为常压储层，根据地层温度测井结果，垂深2225m处测得井底温度71.75°C地层温度梯度为2.6°C/100m，初步判断地层为常温常压储层。地层温压结果有待进一步落实。

2. 储层可压性综合分析

2.1 岩石矿物特征

2.1.1 全岩矿物特征

SZY1井NT组页岩岩心X衍射全岩矿物分析结果来看，NT组脆性矿物以硅质矿物为主，石英含量在20%~49.8%，平均38.1%，其次为长石和碳酸盐岩矿物，长石含量在1.72%~17.93%，平均11.79%；碳酸盐岩矿物含量在0%~57.06%，平均9.74%。黏土矿物含量在15.3%~49.7%，平均约35.0%，黏土矿物含量相对较高（图2-1-1）。

从NT组页岩垂向矿物特征来看，1968.94m⑦号小层下部、1983.81m⑤号小层中上部处和1991.77m④号小层中部处明显存在铁白云石含量较高的云质薄夹层，这不利于后期压裂裂缝高的延伸。由于水平井轨迹穿行段主要在④号小层和⑤号小层下部，后期压裂时可通过深穿透射孔工艺突破④号小层云质夹层，但还需重点考虑使压裂裂缝向上突破1983m处的云质夹层，沟通上部⑥⑦号层。

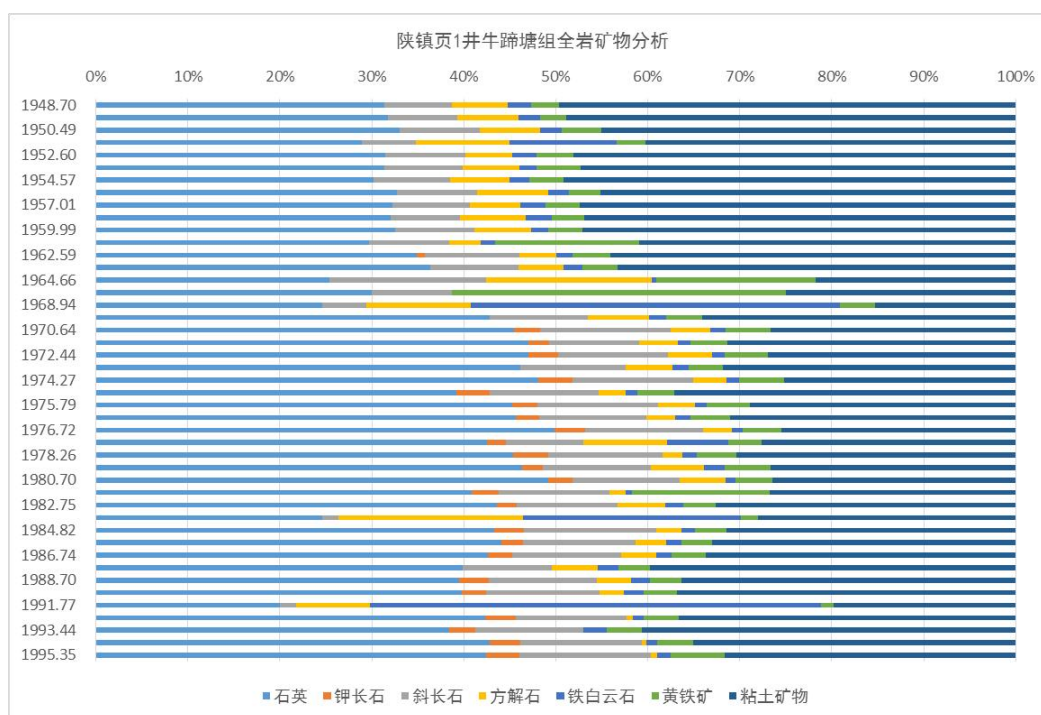


图2-1-1 SZY1井NT组页岩全岩矿物分析

2.1.2 粘土矿物特征

根据自然伽马能谱测井解释结果，一般来讲，在绝大多数粘土矿物中，钾和钍的含量高，而铀的含量相对较低，因此，根据Th/K，可大致确定粘土类型。表2-1-1为各种粘土矿物的Th/K判断依据。

表2-1-1各种粘土矿物的Th/K判断依据

矿物类型	重钍矿	高岭石	蒙脱石	伊利石	云母	海绿石	长石	钾蒸发岩
Th/K值范围	>28	12-28	3.5-12	2-3.5	1.5-2	0.8-1.5	0.5-0.8	<0.5

针对SZY1井NT组（目的层）做了Th-K交会图（图2-1-2），从图中可以看出：NT组钍钾比值范围主要在3.0~7.0之间，粘土矿物成分以伊蒙混层为主。

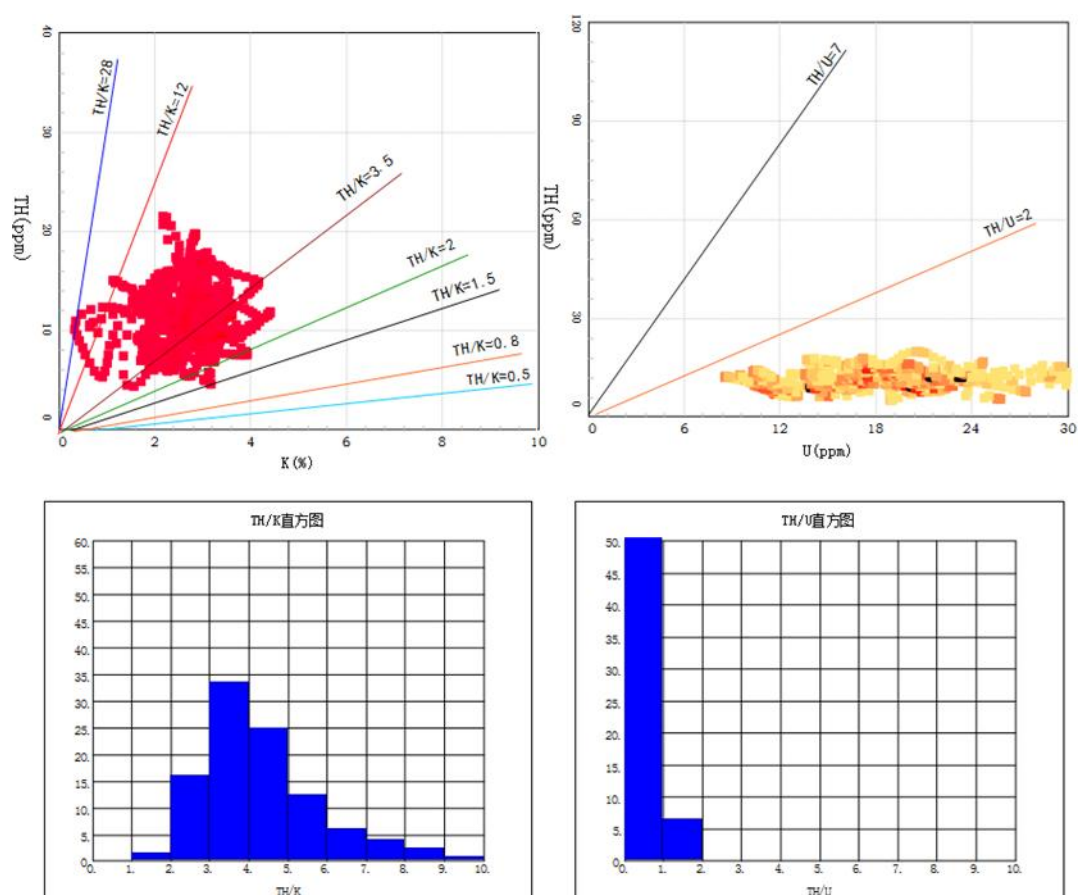


图2-1-2 SZY1井NT组TH-K、TH-U交会图和直方图

但通过NT组页岩X衍射粘土矿物分析试验结果来看，粘土矿物以伊利石为主，伊利石含量占比30%~74%，平均60%，其次为绿泥石，绿泥石含量占比14%~54%，平均26%，另外含少量的伊蒙混层和高岭石，伊蒙混层含量占

比7%~12%，平均9%，高岭石含量占比2%~7%，平均4%（图2-1-3）。从粘土矿物特征来看，NT组页岩整体处于中高成岩阶段，水敏较低。其中1983.81m处和1991.77m处明显存在绿泥石高含量，正对应云质夹层位置。

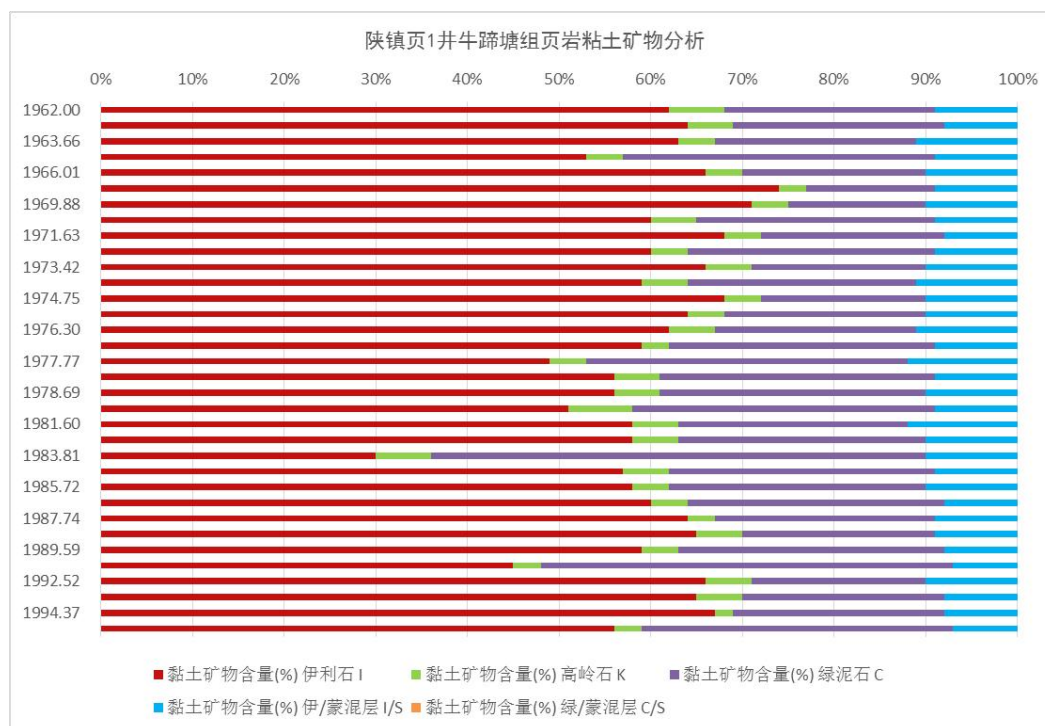


图2-1-3 SZY1井NT组页岩粘土矿物分析

2.2 有机地化特征

2.2.1 有机碳含量TOC

NT组页岩有机质丰度高，从1938.00-2025.20m/87.2m段录井分析结果来看，页岩有机质丰度TOC分布在2.4%~6.23%，平均4.14%（表1-2-2），总体达到好的页岩气层标准。

2.2.2 热演化程度Ro

镇巴试验区内NT组成熟度普遍大于2.0%，属于过成熟阶段。

2.2.3 有机质类型

该地区NT组有机质主要类型为I型（腐泥型），少量为II₁型，生烃潜力较好。汉中南部NT组页岩有机碳同位素 $\delta^{13}C$ 值分布在-35.284‰~29.537‰之间（图2-2-1），反映有机质类型为腐泥型（I型）。

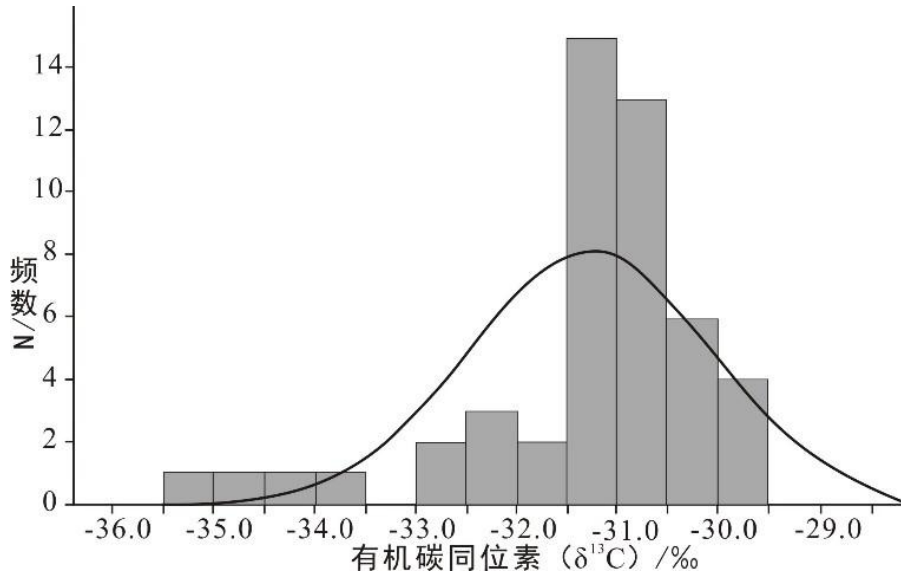


图2-2-1 NT组泥页岩有机质碳同位素 ($\delta^{13}\text{C}$) 分布

2.3 储层物性特征

2.3.1 孔渗特征

根据SZY1井NT组页岩测井解释结果，NT组页岩1938.00-2025.20m/87.2m段页岩孔隙度在2.9%~5.9%，平均为4.1%，渗透率在0.07mD~0.2mD，平均为0.14mD，总体反映为低孔低渗储层（见表1-2-2）。

根据SZY1井NT组页岩孔渗试验结果（表2-3-1），NT组页岩1950.43-2013.51m段孔隙度范围在0.41%~6.21%，平均为3.95%，渗透率在0.00101mD~0.80753mD，平均为0.48644mD，总体反映为低孔低渗储层。

SZY1HF井水平井测井解释孔隙度范围在1.4%~5.4%，平均为2.9%，渗透率范围在0.05mD~0.18mD，平均0.097mD。

表2-3-1 SZY1井NT组页岩孔渗试验结果

顶深(m)	底深(m)	直径 (cm)	上覆压力 (psi)	孔隙度 (%)	空气渗透率 (md)
1950.430	1950.49	2.517	1000	2.44	0.2797716
1951.390	1951.5	2.530	1000	3.38	0.5426158
1952.520	1952.6	2.536	1000	3.32	0.4420759
1953.540	1953.62	2.509	1000	2.26	0.5272452
1954.480	1954.57	2.500	1000	2.43	0.6622372
1956.000	1956.1	2.534	1000	3.12	0.1965041
1956.900	1957.01	2.504	1000	3.26	0.5524053
1958.090	1958.15	2.514	1000	3.41	0.4335239
1959.900	1959.99	2.516	1000	4.06	0.4431277

1961.440	1961.53	2.511	1000	4.26	0.4467438
1962.520	1962.59	2.537	1000	3.04	0.4462134
1963.570	1963.66	2.513	1000	3.03	0.5219301
1964.580	1964.66	2.515	1000	5.60	0.4684615
1968.880	1968.94	2.528	1000	4.65	0.4022299
1969.800	1969.88	2.515	1000	4.84	0.2949951
1970.540	1970.64	2.509	1000	6.21	0.4224285
1971.540	1971.63	2.526	1000	4.01	0.5261402
1972.380	1972.44	2.531	1000	6.19	0.4226322
1973.350	1973.42	2.504	1000	5.19	0.4267144
1974.210	1974.27	2.507	1000	6.20	0.4679666
1974.700	1974.75	2.523	1000	5.39	0.5850333
1975.740	1975.79	2.516	1000	5.56	0.5841241
1976.660	1976.72	2.506	1000	5.25	0.7937039
1977.710	1977.77	2.524	1000	4.67	0.3960734
1978.190	1978.26	2.524	1000	4.51	0.6843953
1978.630	1978.69	2.503	1000	5.15	0.6952087
1981.540	1981.6	2.513	1000	4.68	0.4712221
1982.660	1982.75	2.510	1000	5.52	0.8075274
1984.730	1984.82	2.515	1000	4.52	0.5070864
1985.670	1985.72	2.515	1000	3.78	0.6305793
1986.690	1986.74	2.511	1000	4.11	0.529239
1987.650	1987.74	2.494	1000	3.34	0.3541363
1989.530	1989.59	2.529	1000	3.36	0.5583849
1991.700	1991.77	2.506	1000	1.32	0.7748896
1992.450	1992.52	2.525	1000	3.24	0.5221923
1993.380	1993.44	2.501	1000	2.70	0.5352579
1994.280	1994.37	2.509	1000	3.10	0.5745182
1995.270	1995.35	2.510	1000	3.67	0.5503494
1996.240	1996.41	2.516	1000	3.59	0.6889037
1997.260	1997.35	2.500	1000	3.37	0.5074256
2000.040	2000.14	2.503	1000	5.29	0.4764933
2002.580	2002.72	2.518	1000	3.98	0.4849301
2003.100	2003.2	2.500	1000	4.09	0.5871165
2004.130	2004.24	2.473	1000	4.02	0.5533764
2005.330	2005.4	2.513	1000	5.24	0.62227
2006.370	2006.43	2.510	1000	4.00	0.6926473
2007.410	2007.47	2.525	1000	3.99	0.2147136
					0.00101226
2008.390	2008.48	2.518	1000	0.41	6
2009.450	2009.52	2.505	1000	3.61	0.55227
2010.310	2010.38	2.504	1000	3.44	0.5086349

2011.480	2011.57	2.500	1000	3.80	0.2323106
2012.550	2012.62	2.522	1000	4.44	0.1784684
2013.510	2013.58	2.499	1000	1.49	0.00125208 8

2.3.2 微观孔隙特征

从对SZY1井NT组页岩的扫描电镜结果来看，NT组页岩孔隙结构以基质孔隙和有机质孔隙发育较好，以矿物基质孔为主要储集空间，基质孔隙多见矿物晶间孔、溶蚀孔，孔径变化较大，10nm-500nm不等，一般大于50nm。有机孔多发育于填隙状有机质及黄铁矿共生的有机质中，多见草莓状黄铁矿。另外多见层理缝发育（图2-3-1）。

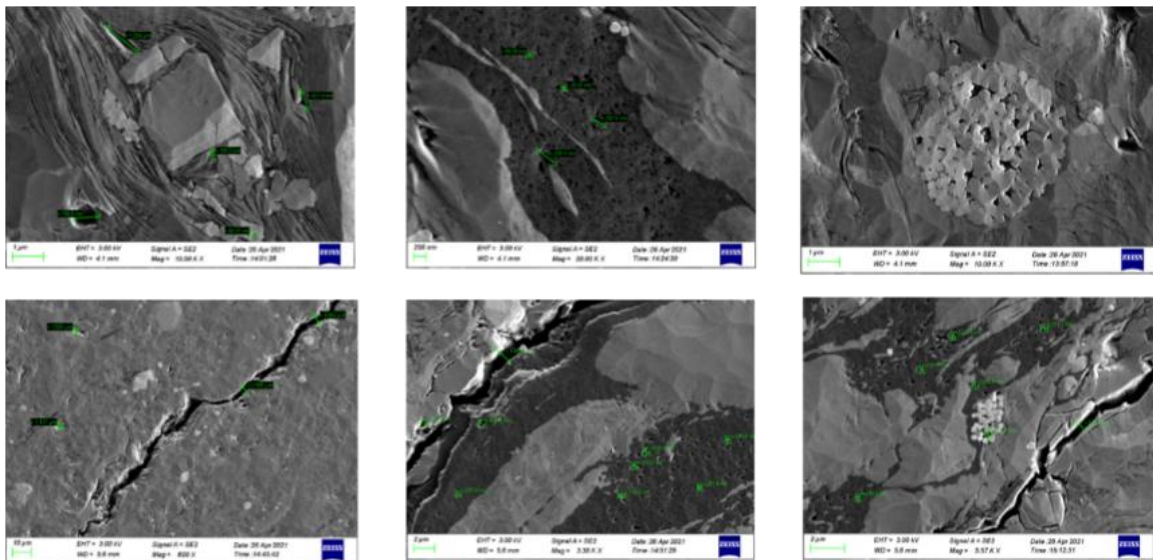


图2-3-1 SZY1井NT组扫描电镜（1987m、1994m）

2.4 含气性特征

SZY1井现场完成NT组岩心解析样34个（见表2-4-1），现场解析气含量范围0.03-2.68m³/t,平均为1.31m³/t。SZY1井测井解释总含气量范围2.3-5.2m³/t，平均3.96m³/t。页岩段整体含气性好（图2-4-1）。

SZY1HF井水平井钻井过程中，录井全烃气测异常0.51%~19.31%，平均为7.12%，甲烷气测异常0.4574%~18.3469%，平均为6.47%，水平段页岩整体含气性好（表2-4-2）。SZY1HF井测井解释总含气量范围1.7-5.7m³/t，平均3.5m³/t。

表2-4-1 SZY1井NT组页岩现场解析气量

顶深(m)	底深(m)	岩性	样品质量 (Kg)	总解析气量 (ml)	现场解析气含量 (m ³ /t)
1950.07	1950.35	黑色碳质页岩	5.046	5257.9	1.04
1950.74	1951	黑色碳质页岩	4.953	5616.0	1.13
1952.83	1953.07	黑色碳质页岩	4.462	4779.7	1.07
1954.15	1954.38	黑色碳质页岩	4.864	4936.0	1.01
1957.88	1958.18	黑色碳质页岩	3.034	2426.9	0.80
1958.91	1959.18	黑色碳质页岩	2.575	2104.6	0.82
1960.55	1960.76	黑色碳质页岩	4.457	4263.8	0.96
1962.03	1962.31	黑色碳质页岩	5.602	5317.2	0.95
1966.77	1966.96	黑色碳质页岩	3.280	8596.2	2.62
1968.97	1969.19	黑色碳质页岩	4.200	5897.4	1.40
1970.38	1970.64	黑色碳质页岩	4.910	11144.9	2.27
1971.82	1972.08	黑色碳质页岩	4.910	8571.8	1.75
1974.44	1974.69	黑色碳质页岩	4.880	13083.7	2.68
1977.97	1978.26	黑色碳质页岩	5.690	13135.9	2.31
1979.36	1979.61	黑色碳质页岩	4.905	12262.9	2.50
1981.12	1981.32	黑色碳质页岩	4.260	6709.0	1.57
1983.98	1984.25	黑色碳质页岩	5.145	5934.1	1.15
1987.62	1987.83	黑色碳质页岩	4.155	4059.9	0.98
1990.22	1990.49	黑色碳质页岩	5.310	5419.6	1.02
1994.37	1994.61	黑色碳质页岩	4.770	4822.9	1.01
1996.48	1996.75	黑色碳质页岩	5.225	8115.6	1.55
1999	1999.21	黑色碳质页岩	4.075	5217.1	1.28
2000.67	2000.87	黑色碳质页岩	3.935	5919.3	1.50
2003	2003.23	黑色碳质页岩	4.580	3272.9	0.71
2005.06	2005.33	黑色碳质页岩	5.240	5836.3	1.11
2007.19	2007.47	黑色碳质页岩	5.365	5311.0	0.99
2009.91	2010.19	黑色碳质页岩	5.585	5764.7	1.03
2012.54	2012.62	黑色含碳页岩	5.595	8074.0	1.44
2014.86	2015.14	黑色含碳页岩	5.700	6758.5	1.19
2016.35	2016.62	黑色含碳页岩	5.255	5466.9	1.04
2019.52	2019.68	黑色含碳页岩	4.615	4472.0	0.97
2020.74	2020.92	黑色含碳页岩	4.640	5270.5	1.14
2022.23	2022.51	黑色含碳页岩	5.555	7368.2	1.33
2023.61	2023.89	黑色含碳页岩	5.335	7976.4	1.50
2024.35	2024.55	灰黑色灰质页岩	4.300	110.6	0.03

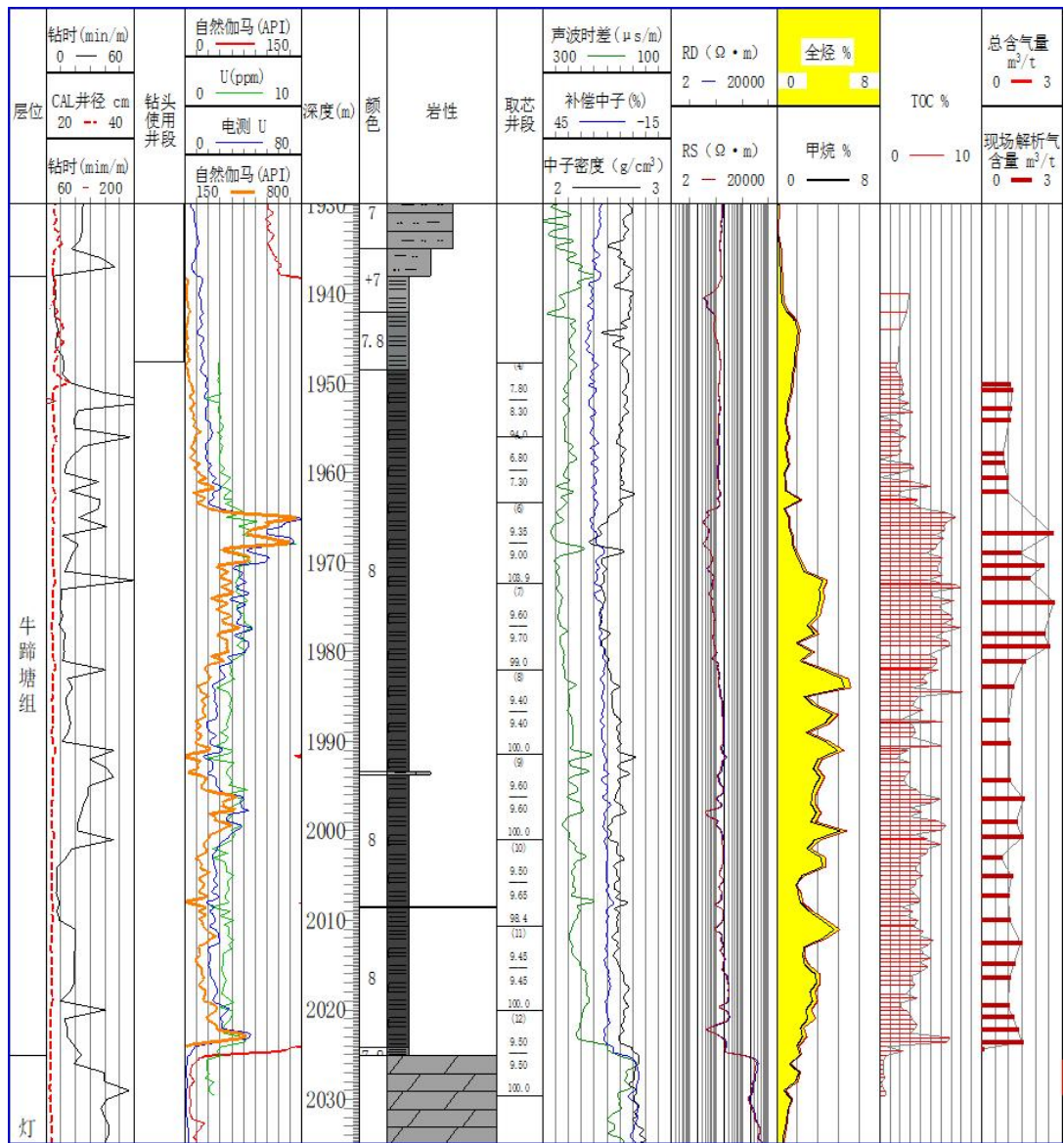


图2-4-1 SZY1井NT组显示图（1985.00~2025.00m）

表2-4-2 SZY1HF井NT组气测录井显示

序号	层位	井段 m	厚度m	岩性	钻时 min/m	全烃%	烃组分%		非烃气体		钻井液参数		槽面显示情况	综合解释
							C1	C2	H2Sppm	CO2%	相对密度	粘度s		
1	牛蹄塘组 (8)	2051.50~2091.00	39.5	深灰色页岩、灰黑色页岩、黑色碳质页岩	8~43	3.531 0.81	3.35171 0.7486	0.17431 0.0236	0	0.10	1.13~1.15	76~86	无	泥页岩含气层
2	牛蹄塘组 (8)	2091.00~2110.00	19.0	黑色碳质页岩	7~34	19.311 3.14	18.34691 3.0090	0.61851 0.1152	0	0.08~0.10	1.15	90	槽面见无色针孔状气泡, 约占5%	泥页岩气层
3	牛蹄塘组 (7~4)	2110.00~2385.00	275.0	黑色碳质页岩	3~219	16.531 0.51	15.02441 0.4574	0.44611 0.0103	0	0.96~0.12	1.14~1.15	68~72		泥页岩气层
4	牛蹄塘组 (4)	2385.00~2406.00	21.0	灰黑色灰质泥岩	6~56	7.121 0.97	6.47601 0.9314	0.20301 0.0326	0	0.60~0.13	1.16	65~67		泥页岩含气层
5	牛蹄塘组 (4)	2406.00~2595.00	189.00	黑色碳质页岩	4~24	11.11 2.96	11.010112.608 1	0.574910.0170	0	0.1~0.15	1.16~1.17	67		泥页岩气层
6	牛蹄塘组 (4)	2595.00~2602.00	7.00	灰黑色灰质泥岩	17~45	5.901 2.24	5.316411.8342	0.171210.0670	0	0.17~0.15	1.17	71		泥页岩含气层
7	牛蹄塘组 (4)	2602.00~2645.00	43.00	黑色碳质页岩	3~25	10.11 2.26	9.468511.9001	0.273310.0676	0	1.16~0.17	1.17	70		泥页岩气层
8	牛蹄塘组 (4)	2645.00~2652.00	7.00	灰黑色灰质泥岩	9~32	4.991 3.21	4.292112.6804	0.089010.1316	0	1.17~1.16	1.17	71		泥页岩含气层
9	牛蹄塘组 (4~5)	2652.00~3192.00	540.00	黑色碳质页岩	3~28	10.971 2.82	10.566812.235 8	0.276610.0045	0	1.15~0.15	1.17~1.18	74		泥页岩气层
10	牛蹄塘组 (4)	3192.00~3203.00	11.00	灰黑色灰质泥岩	12~33	4.171 1.16	3.389611.0168	0.095910.0335	0	1.62~1.28	1.19	68		泥页岩含气层
11	牛蹄塘组 (4)	3203.00~3406.12	203.12	黑色碳质页岩	2~24	8.951 3.18	8.491212.6363	0.208210.0616	0	1.76~0.15	1.19~1.20	66~70		泥页岩气层

2.5 天然裂缝特征

2.5.1 测井解释裂缝发育特征

从SZY1井NT组成像测井解释结果来看，NT组层理比较发育，地层倾角主要分布在6-8°，地层较平缓（图2-5-1）。

从SZY1井XRMI测量井段所见到的裂缝主要包括高导缝。高导缝在动态图像上往往表现为褐黑色正弦曲线，有的连续性较高（张开缝），有的呈半闭合状（半张开缝），图像上的褐黑色表明此类裂缝未被方解石等高阻矿物完全充填，属于有效缝，但部分高导缝也不排除被低阻泥质充填的可能性，多数高导缝趋向属于开启缝。本井测量井段内共解释76条高导缝。参数见表2-5-1，高导缝特征见图2-5-2。

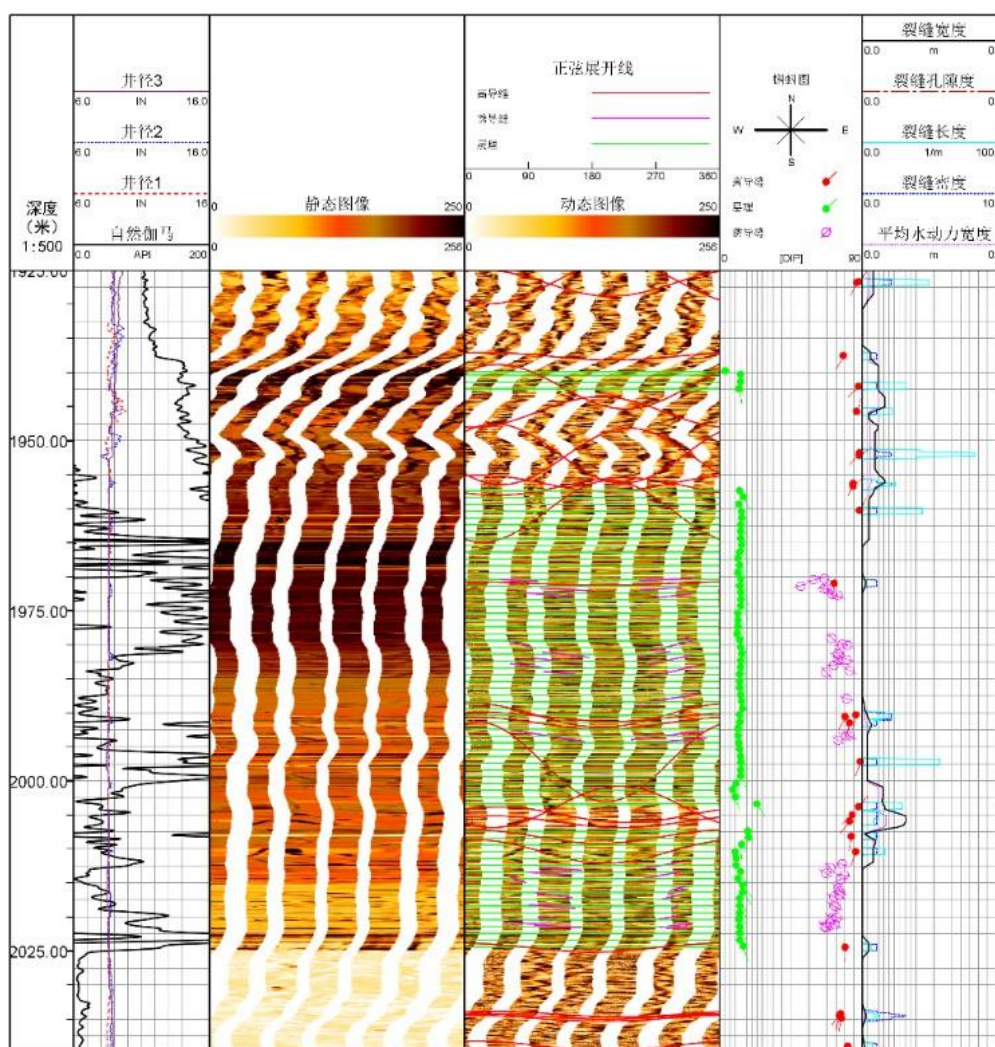


图2-5-1 SZY1井成像构造分析

表2-5-2SZY1井高导缝参数表

序号	裂缝深度 (m)	FVTL 裂缝长度 (1/m)	FVDC 裂缝密度	FVAH 平均水动力宽度 (mm)	FVPA 裂缝孔隙度	FVA 裂缝宽度 (mm)	层位
1	1892.510 0	10.3726	3.0000	0.0082	0.0133	0.0127	S组
2	1892.890 0	7.6428	2.0000	0.0082	0.0127	0.0122	S组
3	1893.230 0	3.8140	1.0000	0.0072	0.0111	0.0107	S组
4	1895.230 0	6.0212	1.0000	0.0021	0.0021	0.0021	S组
5	1901.540 0	48.5592	1.0000	0.0042	0.0042	0.0042	S组
6	1905.320 0	8.8608	1.0000	0.0199	0.0292	0.0292	S组
7	1906.800 0	34.7295	1.0000	0.0197	0.0226	0.0226	S组
8	1912.950 0	42.7621	1.0000	0.0164	0.0164	0.0164	S组
9	1916.600 0	11.9258	1.0000	0.0168	0.0263	0.0263	S组
10	1918.030 0	13.6541	1.0000	0.0047	0.0081	0.0081	S组
11	1920.680 0	15.5380	1.0000	0.0066	0.0103	0.0103	S组
12	1921.800 0	13.9187	1.0000	0.0066	0.0103	0.0103	S组
13	1926.780 0	46.7461	2.0000	0.0098	0.0153	0.0153	S组
14	1926.870 0	46.7461	2.0000	0.0098	0.0153	0.0153	S组
15	1937.620 0	5.2035	1.0000	0.0115	0.0117	0.0115	S组
16	1942.090 0	30.1612	1.0000	0.0225	0.0225	0.0225	NT组
17	1945.810 0	20.8428	1.0000	0.0092	0.0119	0.0119	NT组
18	1951.920 0	78.8113	2.0000	0.0112	0.0176	0.0176	NT组
19	1952.320 0	38.4579	1.0000	0.0112	0.0176	0.0176	NT组
20	1956.300 0	23.2278	2.0000	0.0108	0.0274	0.0273	NT组
21	1956.750 0	12.0005	1.0000	0.0098	0.0186	0.0185	NT组
22	1960.390 0	41.8256	1.0000	0.0093	0.0093	0.0093	NT组
23	1971.020 0	2.8278	1.0000	0.0044	0.0047	0.0044	NT组
24	1990.370 0	22.1888	2.0000	0.0033	0.0069	0.0068	NT组

25	1990.610 0	22.1888	2.0000	0.0038	0.0077	0.0076	NT组
26	1991.530 0	8.1939	1.0000	0.0062	0.0123	0.0122	NT组
27	1997.220 0	54.0558	1.0000	0.0066	0.0066	0.0066	NT组
28	2003.810 0	28.2304	1.0000	0.0228	0.0317	0.0316	NT组
29	2004.970 0	10.7451	1.0000	0.0306	0.0575	0.0572	NT组
30	2006.010 0	8.0119	1.0000	0.0332	0.0600	0.0597	NT组
31	2008.180 0	9.3343	1.0000	0.0078	0.0109	0.0108	NT组
32	2010.410 0	15.8819	1.0000	0.0151	0.0151	0.0151	NT组
33	2024.490 0	5.9963	1.0000	0.0085	0.0086	0.0085	NT组
34	2034.270 0	12.1521	3.0000	0.0025	0.0052	0.0050	T组
35	2034.590 0	12.1521	3.0000	0.0025	0.0052	0.0050	T组
36	2034.880 0	8.1228	2.0000	0.0021	0.0042	0.0041	T组
37	2038.990 0	7.0972	1.0000	0.0020	0.0029	0.0029	T组
38	2040.640 0	10.8874	1.0000	0.0020	0.0020	0.0020	T组
39	2048.430 0	7.4465	2.0000	0.0006	0.0012	0.0012	T组
40	2048.810 0	11.5656	3.0000	0.0006	0.0013	0.0012	T组
41	2049.090 0	7.8401	2.0000	0.0006	0.0012	0.0011	T组

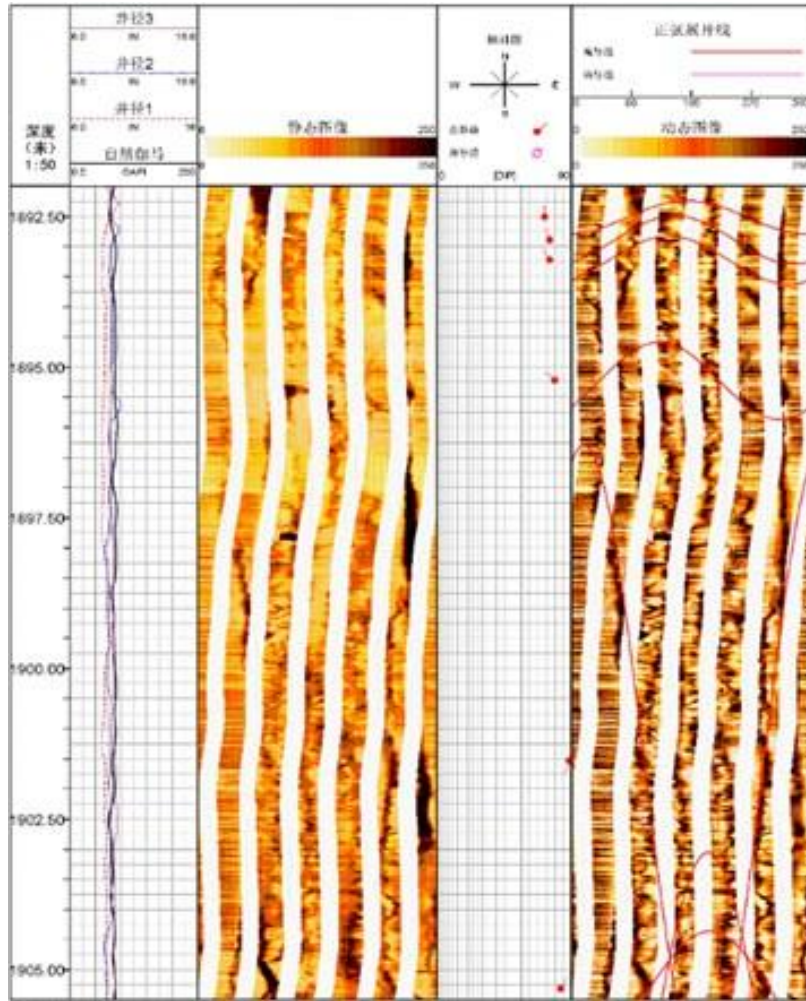


图2-5-2 SZY1井典型高导缝特征

依据斯通利波反射处理成果，斯通利波变密度图出现“人字型”干涉条纹，可认为该段裂缝较发育。SZY1井直井段S组（1908.0-1928.0m）、NT组（1958.0-2015.0m）、T组（2040.0-2048.0m）可见明显“人字型”干涉条纹，分析认为本井S组、目的层NT组、T组有一定天然裂缝或层理缝发育。声波变密度图和斯通利波反射处理成果图见图2-5-3。

从SZY1HF井斯通利波处理结果来看，NT组储层声波变密度图部分井段可见人字纹发育（图2-5-4），可能为层理裂缝发育段，有多处波形幅度衰减井段，分析多为岩性变化引起。

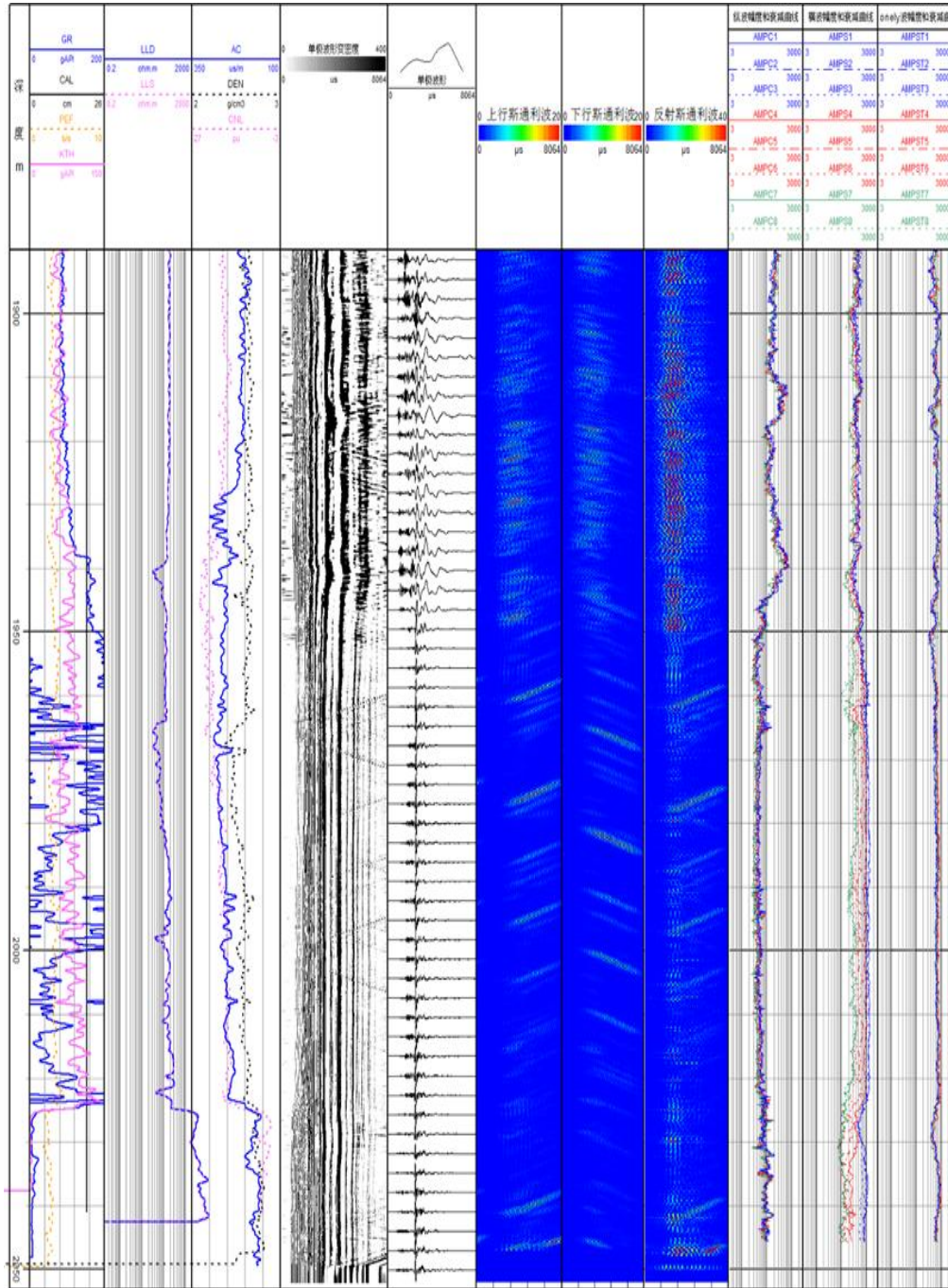


图2-5-3 SZY1井偶极声波变密度和斯通利波处理成果图

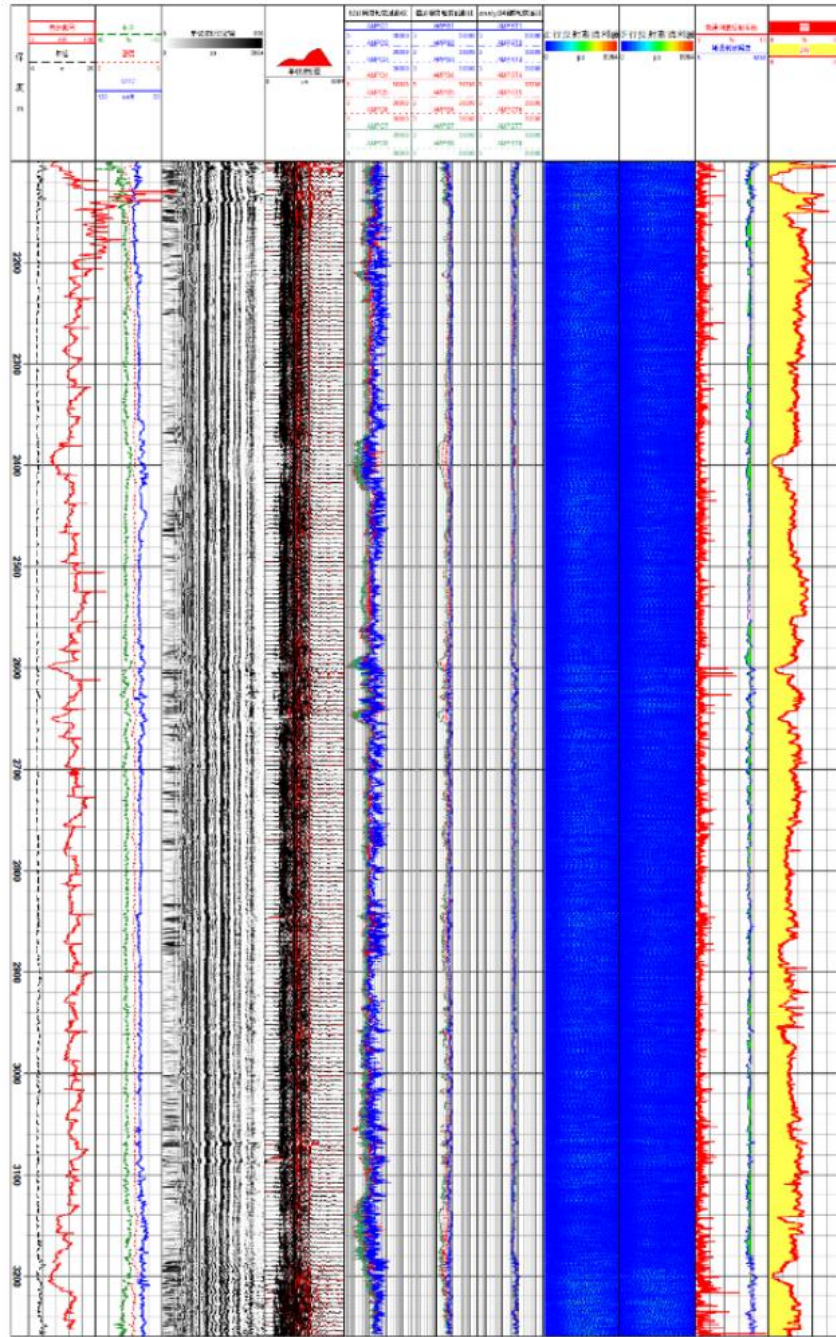


图2-5-4 SZY1HF井偶极声波裂缝分析图（2100.00-3260.00m）

SZY1井直井全井段各向异性大小统计表明，本井测量井段内地层各向异性较强，快横波方向指示最大主应力方向以近东西向（100-280°）为主，各向异性处理成果图见图2-5-5。

SZY1HF井水平段各向异性大小统计表明，页岩储层段各向异性较强（图2-5-6）。按照地质分层统计各向异性方向可知：最大主应力方向为近东-西向。

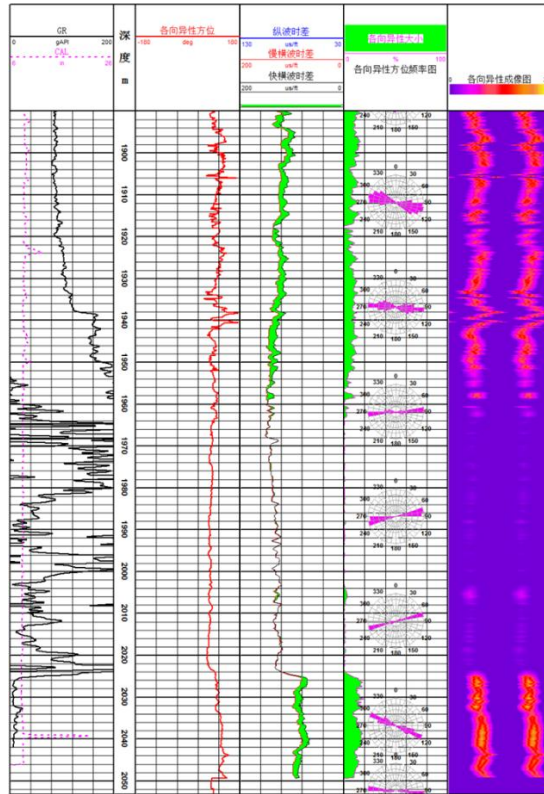


图2-5-5 SZY1井偶极声波各向异性处理成果图

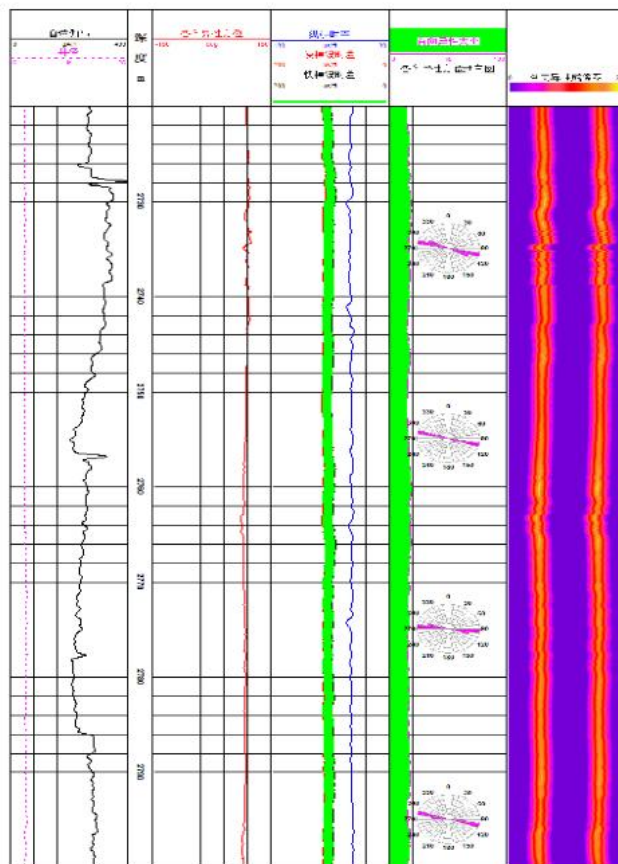


图2-5-6 SZY1HF井偶极声波各向异性处理成果图 (2720.00-2800.00m)

2.5.2 岩心观察裂缝发育特征

根据岩心观察，第8小层1947.70m~1964.00m段岩心发育纵裂缝6条，缝长0.43~3.79m，岩心沿裂缝呈2瓣；该段发育横裂缝29条，其中方解石充填4条，缝宽2~4mm，顺层分布；黄铁矿充填12条，缝宽1~10mm，顺层分布；13条未充填，缝宽0.1~1mm，未充填（见图2-5-7、图2-5-8）。



图2-5-7 SZY1井岩心照片（井段1947.70~1958.91m）



图2-5-8 SZY1井岩心照片（井段1956.00~1964.66m）

第7小层1965.29m~1965.75m段岩心破碎严重，碳质十分发育，碎块岩心见方解石脉，断面见碳质镜面擦痕，染手。1964.00~1968.50m层理缝十分发育，岩心裂开呈饼状，一般宽1~3cm，最大5cm，断面见碳质镜面擦痕。该段被方解石充填横裂缝2条，缝宽2~5mm；被黄铁矿充填横裂缝7条，缝宽2~10mm（图2-5-9）。



第6小层井段1970.00~1981.50m岩心整体完整。发育横裂缝44条，其中方解石充填2条，缝宽2~15mm，顺层分布；黄铁矿充填36条，缝宽1~10mm，顺层分布；6条未充填，缝宽0.5~1mm，未充填（图2-5-10）。

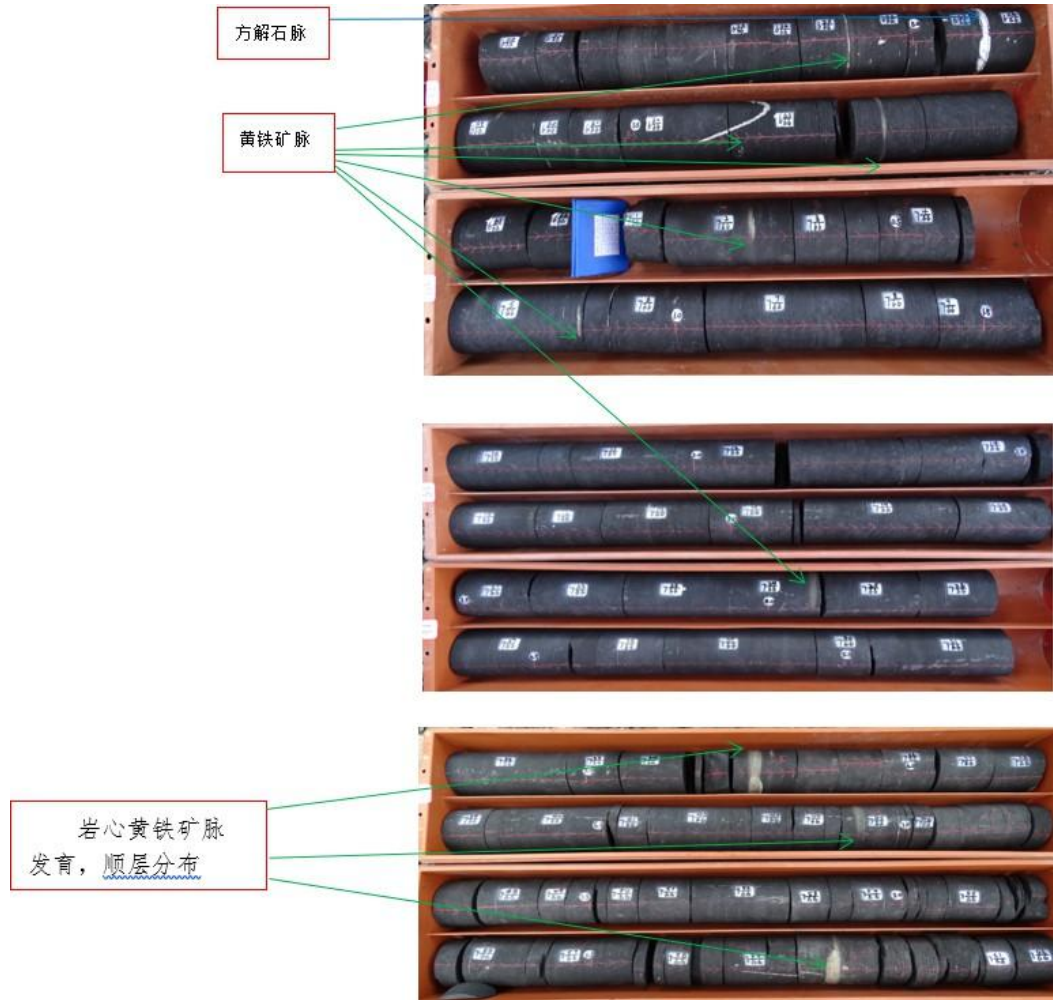


图5-9 SZY1井岩心照片（井段1968.50~1981.54m）

第5小层井段1981.50~1990.50m段岩心整体完整，未见纵缝。层理缝发育，见24条顺层状分布黄铁矿，脉宽0.5~1mm，部分黄铁矿脉呈线状，顶部见纹层状分布（图2-5-11）。

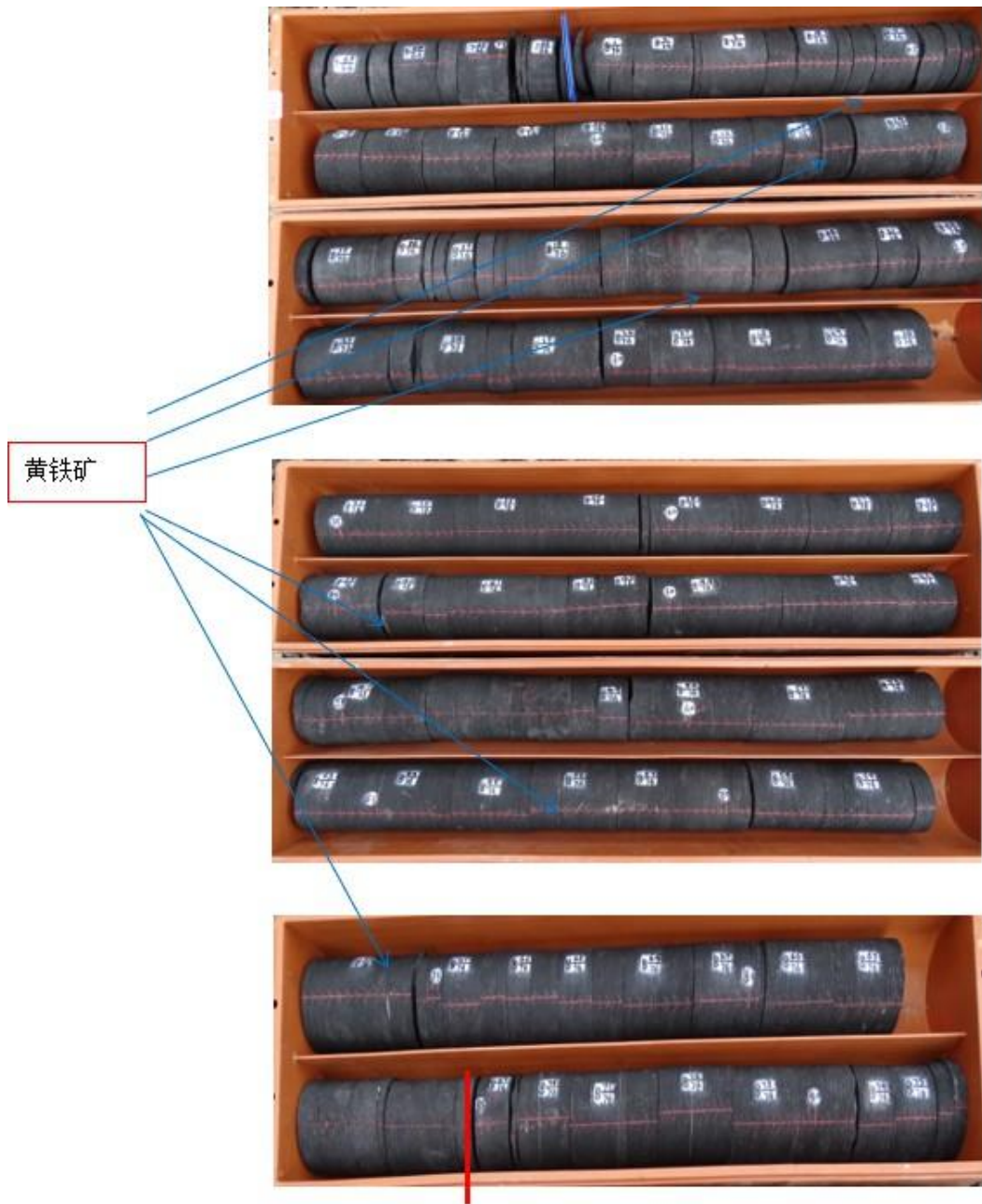


图2-5-11 SZY1井岩心照片（井段1981.54~1990.50m）

第4小层井段1990.50~1995.50m段岩心裂缝较发育。见6条纵裂缝，分别为：
 纵缝1~2：1991.46m见2条纵裂缝，岩心沿裂缝裂开呈3瓣，缝长42cm，纵
 缝3：1991.50m见一条纵裂缝，缝宽0.1~0.5mm，裂缝被方解石完全
 充填，裂缝长40cm，
 纵缝4：1992.01m见一条纵裂缝，岩心沿裂缝呈2瓣，缝长25cm，

纵缝5：1994.61m见一纵裂缝，岩心沿裂缝呈2瓣，裂缝长7cm，

纵缝6：1994.78m见一纵裂缝，岩心沿裂缝呈2瓣，缝长1.63m，该段横裂缝较发育，纵横裂缝相交，岩心沿裂缝局部破碎严重，岩心一般宽2~3cm，最大8cm；

该段岩心横裂缝较发育，见方解石充填横缝16条，缝宽1~3mm；见黄铁矿充填横缝15条，缝宽1~3mm；见5条横缝，缝宽0.5~1mm，未充填（见图2-5-12）。



图2-5-12 SZY1井岩心照片（井段1990.50~1996.91m）

第3小层1995.50~2001.00m段岩心裂缝较发育，见图2-5-13。

纵裂缝1（接第4小层纵缝6）：1994.78m见一纵裂缝，岩心沿裂缝呈2瓣，缝长1.63m，该段横裂缝较发育，纵横裂缝相交，岩心沿裂缝局部破碎严重，岩心一般宽2~3cm，最大8cm；

纵缝2：1996.75m一纵裂缝，缝长12cm，岩心沿裂缝呈2瓣

纵缝3：1998m见一纵裂缝，缝长1.00m，岩心沿裂缝呈2瓣，局部破碎严重；见5条横裂缝，缝宽0.5~14mm，被黄铁矿完全充填。



图2-5-13 SZY1井岩心照片（井段1995.50~2001.00m）第2小层2001.00~2019.00m段岩心见4条纵缝，分布为：

纵缝1：2001.00m见一条纵裂缝，岩心沿裂缝裂开呈3瓣，缝长95cm。纵缝2：2003.25m见一纵裂缝，缝长0.68m，岩心沿裂缝呈2瓣，岩心面见点状黄铁矿透镜体，大小2~3mm×2mm。

纵缝3：2008.30m见一纵裂缝，缝长9cm，岩心沿裂缝呈2瓣，断面见方解石。

纵缝4：2010.65m见一条纵裂缝，岩心沿裂缝裂开呈2瓣，缝长46cm。岩心横裂缝较发育，见33条横裂缝，缝宽0.5~1mm，未充填，见26条黄铁矿脉，脉宽1~20mm，顺层分布。

岩心面见较多黄铁矿透镜体（见图2-5-14）。

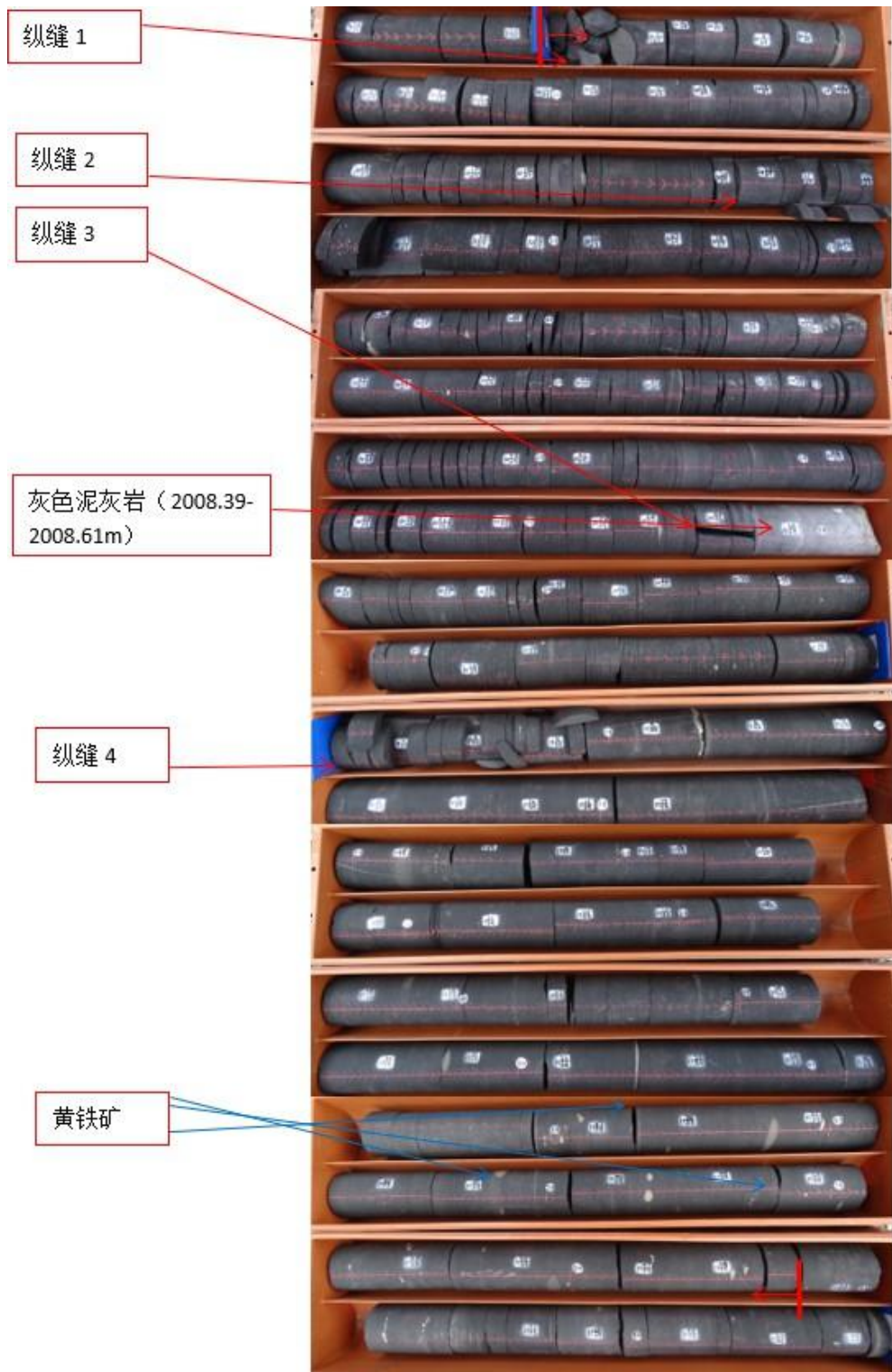


图2-5-14 SZY1井岩心照片（井段2001.00~2019.00m）第1小层
 2019.00~2025.20m段岩心发育纵裂缝1条，井深2020.10m
 见一条纵裂缝，岩心沿裂缝裂开呈2瓣，缝长1.16m。岩心横裂缝较发育，见6
 条横裂缝，缝宽0.1~1mm，未充填。见8条黄铁矿脉，脉宽1~15mm，顺层

分布；共见9条方解石脉，6条与层面呈30~50°，顺层分布3条，脉宽1mm，见图2-5-15。



图2-5-15 SZY1井岩心照片（井段2019.00~2027.27m）

2.6 岩石力学及地应力

2.6.1 岩石力学特征

根据SZY1井偶极子声波测井解释结果，结合密度、孔隙度和泥质含量测井解释结果，计算了NT组页岩的泊松比、杨氏模量、破裂压力、脆性指数和应力差异系数等岩石力学参数，并建立了单井岩石力学剖面（图2-6-1）。测井解释NT组页岩杨氏模量为28.8-41.3GPa，平均34.34GPa，泊松比为0.24-0.29，平均0.26，页岩脆性指数44.8-50.8%，平均48.84%（见表2-6-1）。NT组页岩储层破裂压力主要集中在46-53MPa之间，最大水平应力主要集中在50-56MPa之间，最小水平应力主要集中在43-50MPa之间（表2-6-1）。

其中压裂主要目的层甜点段1968-2008m段的层间应力差异小，储层均质性较好，最大最小水平应力差异系数为0.14-0.15，有利于压裂形成复杂裂缝。

表2-6-1 SZY1井岩石力学参数解释成果表

层号	深度 m			厚度 m	纵波 时差 μs/ft	横波 时差 μs/ft	横纵 波时 差比	密度 g/cm ³	泊松 比	杨氏 模量 GPa	破裂 压力 Mpa	脆性 指数	最大 水平 主应 力 Mpa	最小水 平主应 力Mpa	应力差 异系数	解释结论
4	1938.3	--	1965.0	26.7	77	143	1.85	2.63	0.29	31.0	51.5	44.8	55.1	48.7	0.13	II类页岩气
5	1965.0	--	1968.4	3.4	83	146	1.77	2.45	0.26	26.8	48.3	45.5	52.6	46.1	0.14	I类页岩气
6	1968.4	--	1969.0	0.6	72	128	1.78	2.61	0.27	37.7	52.8	49.5	53.2	46.7	0.14	III类页岩气
7	1969.0	--	1980.0	11.0	82	140	1.72	2.47	0.24	29.2	46.6	48.4	50.6	44.0	0.15	I类页岩气
8	1980.0	--	1991.3	11.3	76	133	1.74	2.56	0.25	33.9	49.4	49.4	52.0	45.4	0.14	II类页岩气
9	1991.3	--	1992.1	0.8	70	124	1.78	2.68	0.27	40.9	53.3	51.0	53.6	47.0	0.14	干层
10	1992.1	--	1998.3	6.2	74	129	1.74	2.60	0.25	36.8	50.8	50.6	52.2	45.6	0.14	II类页岩气
11	1998.3	--	2001.5	3.2	77	131	1.71	2.53	0.24	34.1	48.4	50.9	50.7	44.1	0.15	I类页岩气
12	2001.5	--	2007.8	6.3	73	128	1.75	2.58	0.26	37.1	51.3	50.4	52.8	46.2	0.14	II类页岩气
13	2007.8	--	2008.3	0.5	69	122	1.77	2.64	0.27	41.7	53.7	51.4	53.9	47.3	0.14	干层
14	2008.3	--	2024.1	15.8	72	128	1.77	2.61	0.26	37.8	52.7	50.0	53.9	47.3	0.14	II类页岩气
15	2025.2	--	2032.1	6.9	47	90	1.91	2.72	0.31	81.9	69.5	64.6	59.3	52.6	0.13	III类储层
16	2032.1	--	2037.9	5.8	47	89	1.91	2.77	0.31	86.0	70.9	66.1	59.6	52.9	0.13	干层
17	2037.9	--	2047.0	9.1	47	89	1.91	2.77	0.31	85.8	71.2	66.3	59.4	52.6	0.13	III类储层

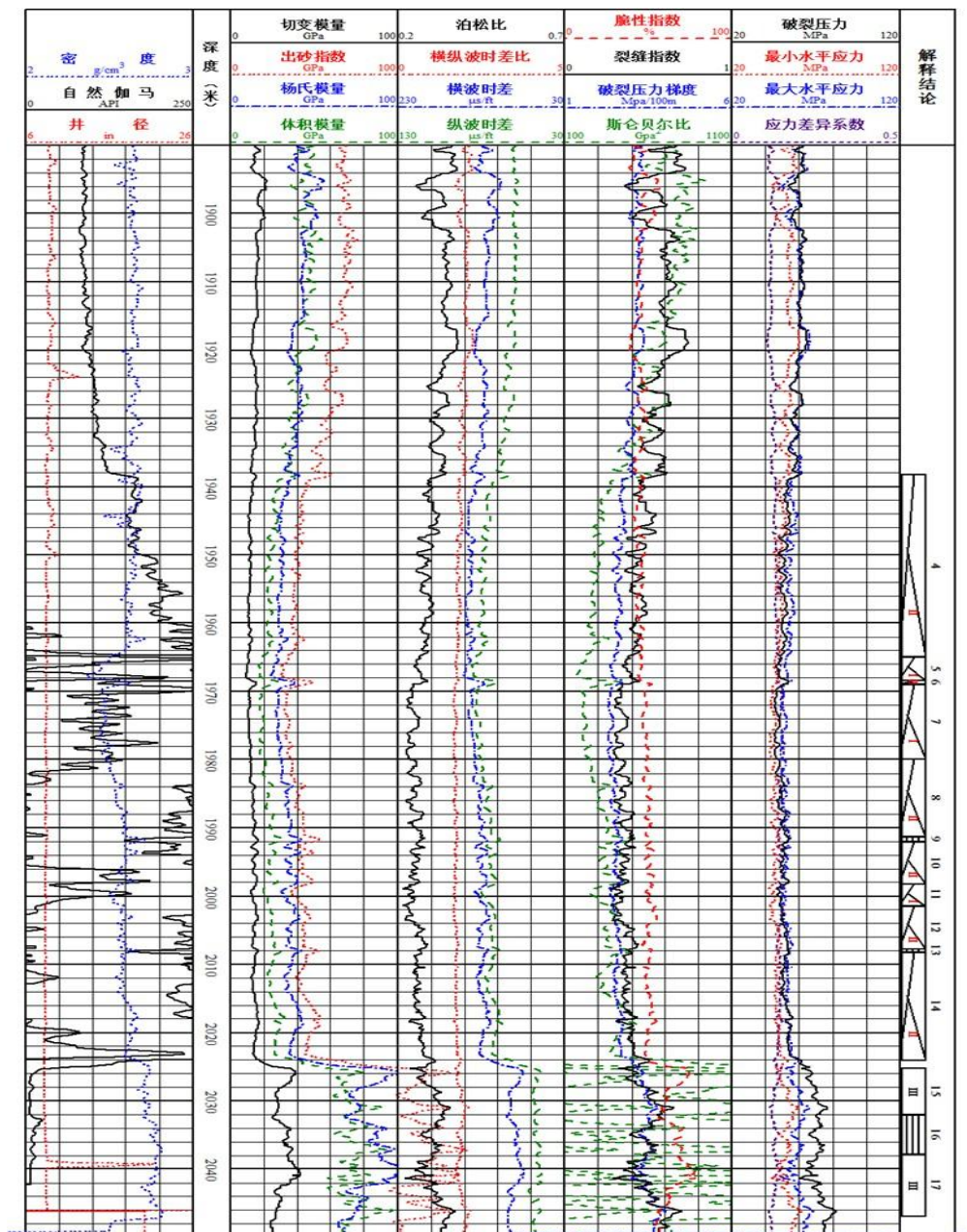


图2-6-1 SZY1井偶极声波岩石力学参数处理成果图（1935.00-2045.00m）

从SZY1HF井测井岩石力学解释结果来看（表2-6-2），NT组④、⑤小层储层纵波时差主要集中在70-75 $\mu\text{s}/\text{ft}$ 之间，横波时差主要集中在130-140 $\mu\text{s}/\text{ft}$ 之间，纵横波时差比主要集中在1.8-1.9之间，杨氏模量主要集中在30-40GPa之间，泊松比主要集中在0.27-0.30之间，脆性指数主要集中在55-60%之间，应力差异系数主要集中在0.12-0.15之间（图2-6-2）。从岩石力学的分析结果来看，I类页岩气层的杨氏模量、泊松比、破裂压力明显小于II类、III类页岩气层，I类页岩气层的脆性指数与II类页岩气层相似，大于III类页岩气层，

反映了I类页岩气层可压性最佳（表2-6-3、图2-6-3）。

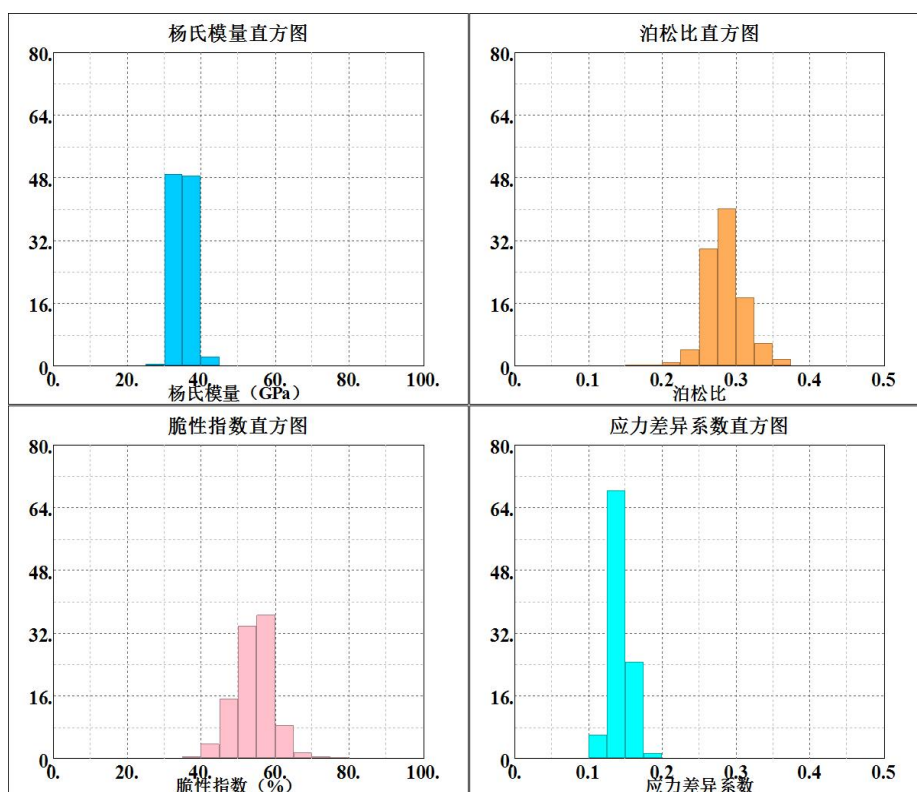


图2-6-2 SZY1HF井NT组④、⑤小层岩石力学直方图

表2-6-3 SZY1HF井NT组储层I类、II类、III类页岩气层岩石力学对比表

岩石力学参数	SZY1HF井（最小-最大/中位数）	
杨氏模量（Gpa）	I类页岩气层	26.3-28.1/27.5（Gpa）
	II类页岩气层	33.7-36.0/34.8（Gpa）
	III类页岩气层	35.9-39.5/37.4（Gpa）
泊松比	I类页岩气层	0.248-0.267/0.257
	II类页岩气层	0.289-0.297/0.281
	III类页岩气层	0.281-0.338/0.31
破裂压力（Mpa）	I类页岩气层	44.9-47.0/45.8（Mpa）
	II类页岩气层	52.0-55.7/53.8（Mpa）
	III类页岩气层	55.9-62.6/59.3（Mpa）
脆性指数（%）	I类页岩气层	52.4-56.4/54.4（%）
	II类页岩气层	51.4-57.5/54.8（%）
	III类页岩气层	45.9-56.5/51.2（%）

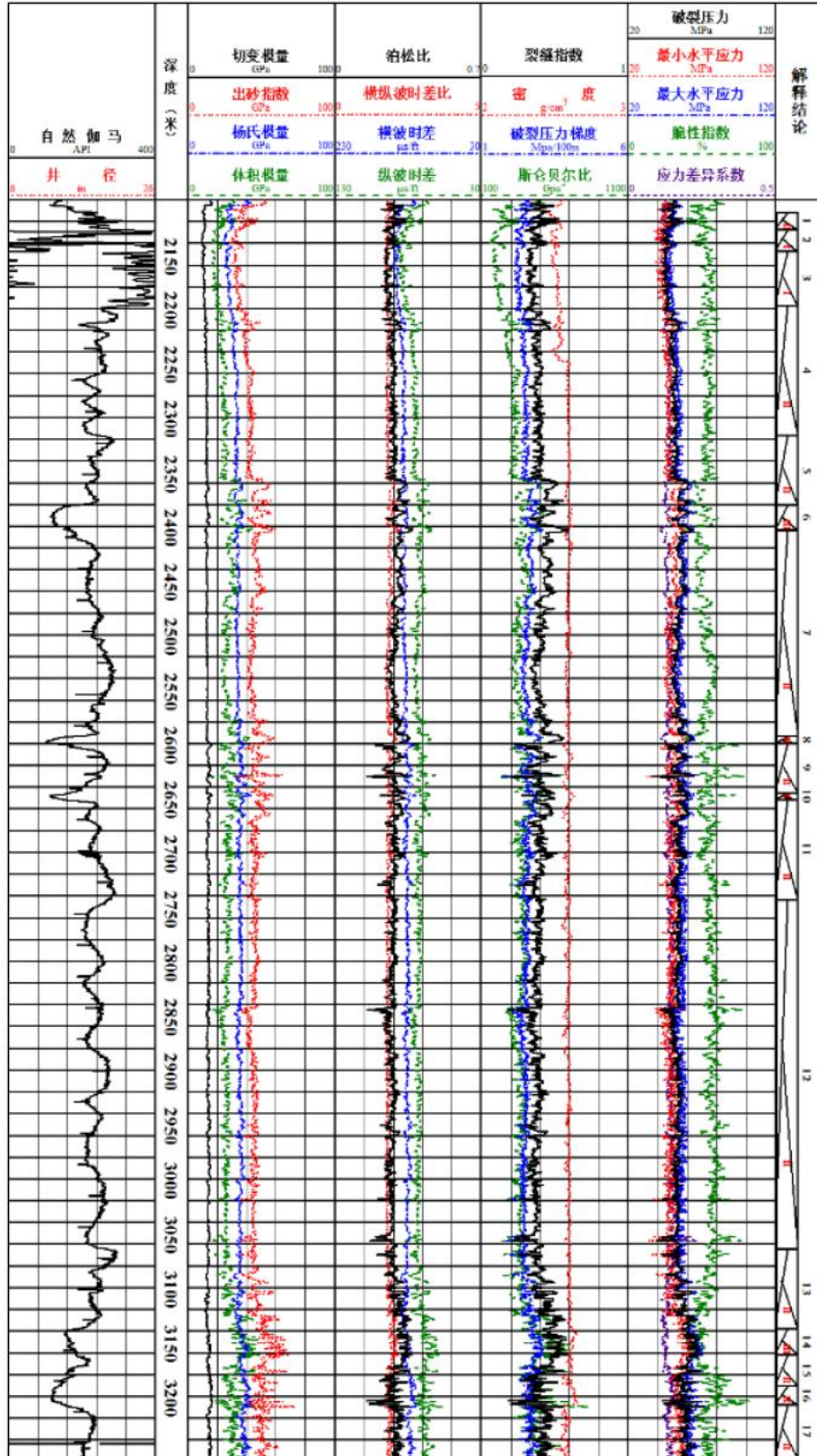


图2-6-3 SZY1HF井偶极声波岩石力学参数处理成果图（2100.00-3260.00m）

表2-6-2 SZY1HF井岩石力学参数解释成果表

层号	深度 m	厚度 m	纵波时差 μs/ft	横波时差 μs/ft	横纵波 时差比	密度 g/cm ³	泊松比	杨氏模 量 GPa	体积模 量Gpa	切变模 量Gpa	破裂压 力 Mpa	脆性指 数 %	最大水平 主应 力 Mpa	最小水平 主应 力 Mpa	应力差 异系数	解释结论
1	2111.5 - 2127.5	16.0	78	143	1.83	2.53	0.28	29.2	23.0	11.4	49.4	50.2	51.0	45.1	0.13	II类页岩气层
2	2127.5 - 2147.6	20.1	84	149	1.78	2.50	0.27	26.5	19.0	10.5	46.2	51.8	48.5	43.0	0.13	I类页岩气层
3	2147.6 - 2197.6	50.0	83	145	1.75	2.51	0.26	27.6	18.8	11.0	45.9	54.9	48.8	43.1	0.13	I类页岩气层
4	2197.6 - 2317.0	119.0	76	137	1.80	2.56	0.28	32.4	24.4	12.7	51.2	54.1	53.9	47.3	0.14	II类页岩气层
5	2317.0 - 2380.9	63.9	73	136	1.86	2.59	0.30	33.5	27.8	12.9	54.1	51.1	56.1	49.4	0.14	II类页岩气层
6	2380.9 - 2403.9	23.0	70	133	1.90	2.61	0.30	35.3	30.7	13.6	56.5	50.8	59.4	52.3	0.14	III类页岩气层
7	2403.9 - 2593.1	189.0	73	135	1.85	2.59	0.29	34.1	27.7	13.2	54.4	52.0	56.6	49.8	0.14	II类页岩气层
8	2593.1 - 2600.0	6.9	66	134	2.03	2.60	0.34	35.5	36.8	13.3	61.2	44.1	63.2	56.4	0.12	III类页岩气层
9	2600.0 - 2645.5	45.5	72	130	1.82	2.58	0.28	36.0	27.7	14.1	54.3	56.2	57.4	50.1	0.15	II类页岩气层
10	2645.5 - 2652.0	6.5	67	128	1.90	2.62	0.30	38.9	33.5	14.9	59.2	53.1	62.6	54.8	0.14	III类页岩气层
11	2652.0 - 2744.0	92.0	72	132	1.83	2.59	0.29	35.5	27.9	13.8	54.7	54.5	57.1	49.9	0.14	II类页岩气层
12	2744.0 - 3065.0	321.0	73	131	1.79	2.59	0.27	35.6	26.1	14.0	53.3	57.5	55.9	48.6	0.15	II类页岩气层
13	3065.0 - 3138.0	73.0	72	134	1.87	2.59	0.30	34.6	28.8	13.4	56.0	51.9	57.3	50.3	0.14	II类页岩气层
14	3138.0 - 3162.0	24.0	65	130	2.01	2.62	0.33	38.1	38.7	14.3	63.7	46.8	66.2	58.8	0.13	III类页岩气层
15	3162.0 - 3190.9	28.9	69	129	1.89	2.59	0.30	37.6	32.1	14.5	59.1	53.1	62.6	55.0	0.14	II类页岩气层
16	3190.9 - 3207.8	16.9	70	123	1.77	2.63	0.26	40.4	28.8	16.0	55.9	63.2	61.0	52.6	0.16	III类页岩气层
17	3207.8 - 3257.1	49.3	68	127	1.87	2.57	0.30	38.2	31.9	14.7	59.1	53.9	62.3	54.7	0.14	II类页岩气层

根据实验室岩石力学试验测试结果，NT组页岩杨氏模量为18.75-28.91GPa，平均27.20GPa，泊松比为0.17-0.27，平均0.23（表2-6-4）。初步反映储层杨氏模量较高、泊松比较小，页岩脆性较好，具备较好的可压性。

表2-6-4 SZY1井岩心三轴应力试验结果

来样编号	深度	围压	泊松比	弹性模量	抗压强度
	m	MPa	μ	E(GPa)	σ_c (Mpa)
SZY1-L02	1960.34	40	0.13	21.18	168.7
SZY1-L04	1964.82	40	0.17	18.746	184.6
SZY1-L06	1975.49	40	0.27	22.57	144.4
SZY1-L07	1988.19	40	0.22	20.479	156.2
SZY1-L00	1951.09	40	0.232	24.04	241.8
SZY1-L01	1960.34	40	0.236	26.94	281.35
SZY1-L03	1964.77	40	0.241	27.07	256.16
SZY1-L05	1975.42	40	0.23	20.56	221.36
SZY1-L08	1988.31	40	0.247	22.82	230.05
SZY1-L09	1997.66	40	0.242	28.91	297.36
SZY1-L10	2005.75	40	0.24	25.75	273.38
SZY1-L11	2015.07	40	0.248	26.31	274.74
SZY1-L12	2022.97	40	0.233	27.14	260.1
SZY1-L13	2026.22	40	0.226	68.28	593.05

2.6.2 地应力特征

SZY1井NT组测井解释最大主应力为50.7-55.7MPa，平均52.9MPa，最小主应力为44.2-49.1MPa，平均46.35MPa，水平应力差为6.4-6.7MPa，平均6.53MPa，水平应力差小于10MPa，水平应力差异系数为0.13-0.15，平均0.14（见表1-2-2），水平应力差异较小，利用压裂裂缝转向形成复杂缝网。

2.7 可压性综合评价

从NT组页岩储层的特征来看，该储层具备以下可压性有利条件：

- (1) 优质页岩甜点段厚度大，含气页岩总厚度达87.5m，其中最优质页岩连续厚度1970-2008m达38m，具备大规模体积压裂改造条件。
- (2) 优质页岩含气性好，现场解析含气量高达2.18m³/t，测井解释总含气量平均3.96m³/t，页岩段整体含气性好，具备高产地质条件。
- (3) NT组页岩脆性较好，储层中硅质、长石和碳酸盐岩脆性矿物含量达59.7%，页岩脆性指数48.84%，页岩脆性较好，具备较好的可压性。

(4) 水平应力差异较小, NT组页岩最大最小水平应力差为6.53MPa, 应力差异系数0.14,有利于压裂裂缝转向形成复杂裂缝网络。

(5) 天然裂缝较发育, NT组页岩中高导缝和层理缝较发育, 有利于压裂裂缝沟通天然裂缝, 形成复杂裂缝网络系统。

该储层在具备以上可压性有利条件的同时, 也具有以下不利条件:

(1) 压裂改造目的层段含灰岩薄夹层, 不利于压裂裂缝缝高的垂向延伸。

(2) 压裂改造层段存在一定的层间应力差异, 压裂过程中需克服层间应力差异实现垂向地层沟通。

(3) 压裂改造的目的层段厚度大, 要求压裂裂缝缝高大, 顶部裂缝铺砂难度较大, 影响裂缝导流能力。

(4) 地层常压, 压后难以形成自然产能, 需借助人工助排措施实现助排和高产突破。

针对以上页岩储层特点, 建议采用“密分切割、加密射孔、大排量、低液量、高砂比、胶液开缝、转向压裂、储层增能”的压裂改造思路, 通过密分切割和加密射孔, 增加压裂裂缝波及体积及裂缝间互相沟通, 打通更多的流体流动通道; 通过快速提高排量+胶液开缝增加压裂初期主裂缝的延伸和裂缝缝高延伸; 通过大排量压裂施工增加裂缝净压力, 促使压裂裂缝实现穿层或转向, 增加裂缝复杂性; 通过低液量高砂比施工, 提高裂缝铺砂浓度和裂缝导流能力, 并减小压后返排困难压力; 施工过程中可通过高砂比胶液粉砂段塞、停泵二次加砂、暂堵转向等工艺实现裂缝复杂化; 基于地层常压储层能量较低的问题, 通过前置液氮增能, 并有助于压后返排。另外建议压裂过程中通过微地震监测手段, 实时获取压裂裂缝延伸规律, 有效指导后续压裂段的方案调整和优化, 更好的评价压裂改造效果。