

压裂示踪剂监测技术在东胜气田 M 井应用分析

韩蓬勃

中国石化华北油气分公司采气二厂 陕西咸阳 712000

通讯作者: Email: pepehan@163.com

引用: 韩蓬勃. 压裂示踪剂监测技术在东胜气田 M 井应用分析[J]. 油气井测试, 2024, 33(2): 58-64.

Cite: HAN Pengbo. Application analysis of fracturing tracer monitoring technology in well M of Dongsheng gas field[J]. 2024, 33(2): 58-64.

摘要 为了准确评价东胜气田 M 井储层压裂改造效果, 采用在压裂过程中加注微量元素, 通过检测不同时段返排液中各种示踪剂的种类及含量, 分析该井不同压裂段气、水产出能力与储层物性、压裂参数的关系, 以此评价储层各压裂段改造效果, 分析影响改造效果的主要原因。选取两相示踪剂对 M 井各段产出贡献占比实现有效测量, 结果表明, 各压裂段产气贡献与储层物性、含气性存在着一定的相关性, 与压裂工艺参数的相关性并不明显, 水平段钻遇的储层物性、含气性越好, 产气贡献越大, 产出越好。该研究成果为提升该区同类储层压裂改造的针对性和有效性提供技术支撑。

关键词 东胜气田; 示踪剂监测; 水平井; 压裂; 产出剖面; 储层物性; 独贵气区

中图分类号: TE357 **文献标识码:** B **DOI:** 10.19680/j.cnki.1004-4388.2024.02.010

Application analysis of fracturing tracer monitoring technology in well M of Dongsheng gas field

HAN Pengbo

The Second Gas Production Plant, North China Oil and Gas Company, SINOPEC, Xianyang, Shaanxi 712000, China

Abstract: In order to accurately evaluate the effect of reservoir fracturing in well M in Dongsheng gas field, trace elements were injected into the wells during the fracturing process. By detecting the types and concentrations of various tracers in the returned fluids at different time intervals, the relationship between gas and water production capacity in different fracturing stages of the well and reservoir properties, as well as fracturing parameters, was analyzed. This was done to evaluate the effect of reservoir fracturing in each stage and to analyze the main factors affecting the fracturing effect. The contribution of each interval in well M was effectively measured by using two-phase tracers. The results show that there is a certain correlation between gas production contribution and reservoir properties, gas content in each fracturing interval, whereas the correlation with fracturing process parameters is not significant. The better the reservoir properties and gas content encountered during horizontal drilling, the greater the gas production contribution and the better the production. The research results provide a technical support for improving the pertinence and effectiveness of fracturing stimulation in similar reservoirs in this area.

Keywords: Dongsheng gas field; tracer monitoring; horizontal well; fracturing; production profile; reservoir property; Dugui gas area

致密油气储层低孔、低渗, 层内流体的流动性较差, 需精细、大规模分段压裂方能提高气井产量。一般分段压裂后, 仅了解气井整体的产出状况, 不能明确各段的产气产液量^[1], 近年来示踪剂监测技术应用于油气井压裂过程, 将稳定性、吸附性、与压裂液配伍性较好的无机盐类水溶性示踪剂或油、气体示踪剂同压裂液注入多段压裂目的层, 以此评估各段产出情况^[2]。水平井产出剖面测试智能示踪剂监测技术在国外快速发展。2005 年挪威 RES-MAN 公司致力于井下产层产液量智能化监测技术。

目前已研发 172 种独特智能示踪剂体系, 涵盖 80 种油溶、80 种水溶及 17 种气溶体系。英国 Tracerco 公司发明一种微量物质智能示踪剂 LANTracer, 具有水敏、油敏和气敏性特点, 该类示踪剂分别遇到水、油和气时才能溶解^[3], 智能示踪剂监测技术可提供一种无干扰化学监测方案, 精细描述地层流体性质及流量, 监测地层水流动位置、时间等^[4]。俄罗斯 Geosplit 公司研发基于碳量子点的智能示踪剂技术, 形成量子涂层支撑剂与量子示踪带两种智能监测技术。美国应用示踪剂技术监测水平井压裂超

30 000段^[5]。赵政嘉等^[6]选择不同特点液体示踪剂,与压裂液同时注入地层进行示踪剂监测。于永生等^[7]发明水平井油管传输示踪剂分段探水技术,优选自然界中不存在的5种同位素示踪剂,通过油管输送到目的层,在各压裂段监测产出流体中各种同位素示踪剂信号的强度,通过监测数据分析寻找产水位置。李林凯等^[8]基于示踪剂返排提出致密油压裂缝网的评价方法。国内在应用智能示踪剂技术测试水平井产出剖面方面起步较晚,示踪剂优选、测试工艺及数据解释方面存在不足,需进一步攻关^[9]。

鄂尔多斯盆地东胜气田为致密高含水气藏,主要以水平井开发为主,压裂施工过程规模较大,高产液特征突出,难以对储层压裂改造效果及各段产出情况进行准确评价。为了对该区水平井各段产出规律有明确认识,采用微量元素示踪剂,通过监测各压裂层段返排液中示踪剂的浓度变化,定性与定量分析该区水平井各层段的产气、产液贡献率,以此来跟踪评价压后各段压裂效果,掌握致密砂岩含水气藏水平段的产出特征^[10]。

1 气田概况

东胜气田位于鄂尔多斯盆地北缘构造、沉积、成藏过渡带上,横跨伊盟隆起、伊陕斜坡、天环坳陷三个构造单元^[11-12]。主要含气层系为二叠系下石盒子组盒3段、盒2段和盒1段,地层埋深2 000~3 540 m,平均埋深2 800 m。气田地温梯度为2.87℃/100 m,压力系数为0.89~0.92,平均值为0.91,属于正常温度、低压系统,具有较强的应力敏感,最大水平主应力方位介于北东方向62.9°~76.5°。储层平均孔隙度8.9%,渗透率为0.87 mD,含气饱和度45%~55%,属特低孔、超低渗储层^[13-14]。受岩性封闭作用,西部盒1、盒3以及山西组山2段存在孤立水体,山1、太原组多发育水层,局部高部位发育气层。东部受岩性构影响,存在气水分异,气藏低部位为水层,河道较窄,断层、裂缝发育。气田气藏类型多样,气水关系较为复杂。

东胜气田自2017年开发建产,截至目前投产井数707口,开井数594口,开井率84.0%。平均套压4.9 MPa,日产气 $573.8 \times 10^4 \text{ m}^3$ 、日产液 $3\,098 \text{ m}^3$,液气比 $5.4 \text{ m}^3/10^4 \text{ m}^3$ 。

2 示踪剂工艺原理及特点

压裂示踪是理论上能够实现直观、量化评价

的主体技术,对于从理论和实践上提升非常规油气开发水平,实现长期、规模效益开发至关重要。针对多段压裂水平井,压裂示踪监测及分析结果可以进一步优化地质工程方案,提高措施效果及经济效益。

2.1 工艺原理

多段压裂示踪监测工艺是在水平井分段压裂过程中,在每段入井压裂液中注入不同类型的微量元素,示踪剂随压裂液进入地层,通过检测不同时段返排液中各种示踪剂的种类及含量,评价水平井每段产出贡献能力^[15]。为了评价东胜气田M井各分段压裂后的产气和产水贡献,根据该水平井压裂段数,优选12种气溶性示踪剂和12种水溶性示踪剂,在压裂施工过程分批次注入,通过取样检测、产出数据综合分析,评价各段压裂后的产能贡献。

2.2 示踪剂特点

本次测试选用的示踪剂具有以下性能:

- (1)在色谱分析中有各自独特的峰值易于辨识;
- (2)惰性,基本不与任何物质发生化学反应,在40~200℃下化学性质稳定,不产生明显的化学分解;
- (3)水基示踪剂无毒、无放射性;
- (4)扩散率/熔点一致;
- (5)极小的地层吸附,与目标介质物理亲和,其中,水相只与水亲和,气相只与天然气亲和(气相在地层温度下雾化,与天然气融合);
- (6)油剂和气相均疏水;
- (7)具有ppb甚至ppt级的痕量示踪能力(ppb、ppt为无量纲量浓度单位,可以用来定义溶液的浓度和气体浓度, $1 \text{ ppb} = 1 \mu\text{g/L}$, $1 \text{ ppt} = 1 \text{ ng/L}$);
- (8)水相、油剂、气相均抗酸抗碱,对过硫酸铵等强氧化剂具有良好耐受性。

结合该井地质甜点、应力大小、固井质量、接箍位置,经地质、工程人员进行储层改造方案讨论,确定压裂段、射孔簇位置和桥塞位置。筛选出水相示踪剂25种,气相示踪剂20种,最终优选型号WCT1~WCT20水相示踪剂12种,型号GCT1~GCT20气相示踪剂12种。

3 测试流程

- (1)将各段非放射性示踪剂随携砂液泵入地层;

(2)施工结束后的返排测试阶段,返排液携带该段特有的水相示踪剂至地面,产出油气携带此段独有的油剂或气相示踪剂至地面;

(3)在井口返排流程上密集采集返排液及油气样品;

(4)通过实验室室内色谱分析采集样品中不同示踪剂含量,评价压裂后各段产量贡献及返排情况,综合各种资料进一步深化区域储层地质认识,开展相应的后评估工作。

4 现场应用

示踪监测的目的是定量评价气井各改造层段的产液、产气情况,结合储层岩性、物性、含气性差

异和压裂规模,对气水产出情况及影响产量的因素进行分析。

4.1 测试井情况

选取该区气藏中部 M 井进行压裂示踪监测,该井水平段总长度 935 m,钻遇砂岩长度 906 m,具有全烃显示的砂岩长度为 861 m,占水平段总长度的 92.0%;泥岩段总长度为 29 m,占水平段总长度的 3.1%。水平段主要钻遇中砂岩、细粉砂岩,其中第 1~4 段钻遇细、粉砂岩,第 5~8 段、10~12 段钻遇中砂岩,全烃显示较好,最高值达 50% 以上(见图 1)。该井盒 1 段地层采用可溶桥塞-射孔联作分 12 段压裂后投产,压裂累计入地砂量为 675 m³,入地液量为 6 222 m³(见表 1)。

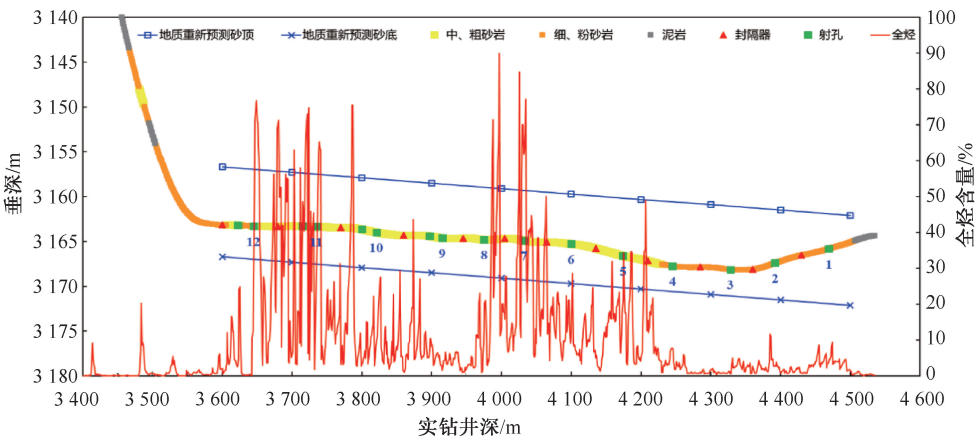


图 1 M 井实钻轨迹图
Fig.1 Drilling track diagram of well M

表 1 M 井水平段参数统计表
Table 1 Statistical table of horizontal section parameters of well M

压裂段	段长/m	砂岩长度/m	GR/ API	ILD/ (Ω·m)	AC/ (μs·m ⁻¹)	CNL/ %	SH/ %	φ/ %	K/ mD	Sg/ %	气测全 烃/%
1	4 430~4 505	75	52.7	20.5	220.1	4.1	6.6	9.0	0.3	38.1	9.4
2	4 360~4 430	70	60.4	16.9	225.7	5.1	8.9	9.7	0.3	45.5	11.7
3	4 285~4 360	75	78.8	25.7	215.1	4.8	16.1	6.9	0.2	27.7	5.0
4	4 210~4 285	75	59.9	33.2	215.0	5.1	15.9	8.2	0.2	44.6	7.9
5	4 135~4 210	75	71.1	27.0	224.5	4.3	15.5	11.3	0.3	57.1	19.8
6	4 065~4 135	70	80.8	17.3	237.1	5.7	15.5	14.8	0.8	55.5	21.1
7	4 005~4 065	60	67.5	14.1	250.7	4.4	7.8	15.3	1.0	54.4	40.4
8	3 945~4 005	60	49.5	24.6	214.9	3.3	11.2	9.8	0.3	51.2	31.2
9	3 860~3 945	85	64.3	16.2	232.0	4.9	10.2	12.6	0.6	48.9	25.1
10	3 770~3 860	90	46.8	19.4	235.7	4.8	7.8	12.1	1.1	60.5	48.6
11	3 680~3 770	90	34.2	26.7	236.9	4.3	5.5	13.8	1.0	59.2	45.3
12	3 600~3 680	80	65.5	21.1	227.3	6.9	14.8	11.8	0.9	41.3	46.9

4.2 现场注入及取样

M 井于 2022 年 12 月 11 日开始压裂,示踪剂注入施工过程遵循施工设计要求,在每一段注入水相、气相示踪剂各一种。

水样取样情况:2022 年 12 月 19 日、2023 年 1 月 4 日取 1 个样,1 月 5 日取 2 个样,1 月 6 日~1 月 15 日,每天等时间间隔取样 3 次;1 月 16 日~1 月 25 日,每天等时间间隔取样 2 次,1 月 26 日~2 月 4

日,每天取样 1,共计取样 64 个。

气样取样情况:放喷初期几乎不产气,2023 年 1 月 5 日取 1 个样,1 月 6 日~1 月 15 日,每天等时间间隔取样 3 次,1 月 16 日~1 月 25 日,每天等时间间隔取样 2 次;1 月 26 日~2 月 4 日,每天取样 1 次(气样与水样同步),共计取样 61 个。

4.3 示踪剂产出浓度分析

4.3.1 检测结果及规律

分析水样检测浓度时序图,第 10 段水相示踪剂产出浓度最高,第 11、12、9 段次之,其次是第 7、

8 段水相示踪剂产出浓度较高,第 1、2、3、4、5、6 段水相示踪剂产出浓度较低。从气样检测浓度时序图看出,第 10、11 段气相示踪剂产出浓度最高,其次是第 12、8、9、2 段气相示踪剂产出浓度较高,第 1、3、4、5、6、7 段气相示踪剂产出浓度较低(见图 2)。

从气水相示踪剂产出形态分析,第 1~6 段示踪剂产出浓度呈现先低后高再低的规律,第 7~12 段示踪剂产出浓度呈现先高后低的规律,显示分簇压力差异对产出有影响(见图 3)。

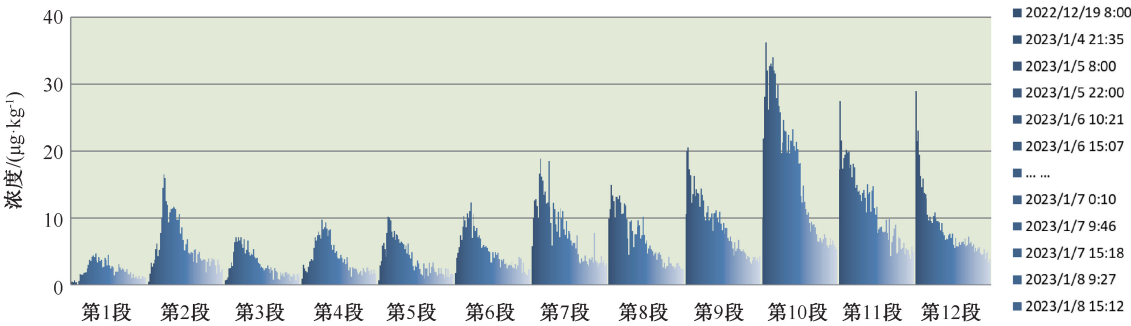


图 2 M 井分段水样检测浓度时序图

Fig. 2 Time series diagram of detection concentration of water sample in well M

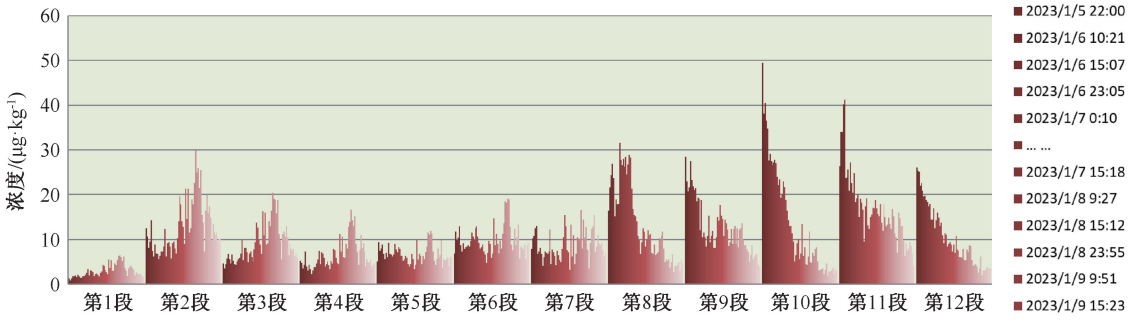


图 3 M 井分段气样检测浓度时序图

Fig. 3 Time series diagram of detection concentration of gas sample in well M

分段气水相示踪剂回采率分析,整体回采情况良好,水相第 10 段示踪剂回采率达到 20% 以上,第 2、7、8、9、11、12 段示踪剂回采率接近或者大于 10%,第 1、3、4、5、6 段水相示踪剂回采率明显低于 10%。气相第 2、11 段气相示踪剂回采率达到 60% 以上,第 8、9、10、12 段气相示踪剂回采率大于 30%,第 1、3、4、5、6 段气相示踪剂回采率差异较大,介于 15%~50% 之间,主要是受到前、后期产气量差异大的影响。

4.3.2 产出解释剖面

从产出剖面解释结果来出,各小段的产气贡献分别为:2.4%、10.4%、7.4%、5.3%、5.4%、8.0%、

7.0%、10.8%、10.3%、11.0%、13.6%、8.5%。其中产气贡献大于 10% 的有 5 段:2、8~11 段,合计产气 56.1%。产气贡献大于 5%、小于 10% 的有 6 段:分别为 12、3~7 段,合计产气 41.5%。产气贡献大于 1%,小于 5% 的有 1 段:1 段,产气 2.4%。各小段的产水贡献分别为:2.5%、7.2%、3.6%、4.8%、4.7%、6.1%、9.2%、8.1%、10.5%、19.9%、13.4%、10.1%。其中产水贡献大于 10% 的有 4 段:9~12 段,合计产水 53.9%。产水贡献大于 5%、小于 10% 的有 4 段:分别为 2、6~8 段,合计产气 30.5%。产气贡献大于 1%,小于 5% 的有 4 段:1、3~5 段,产气 15.6%(见图 4)。

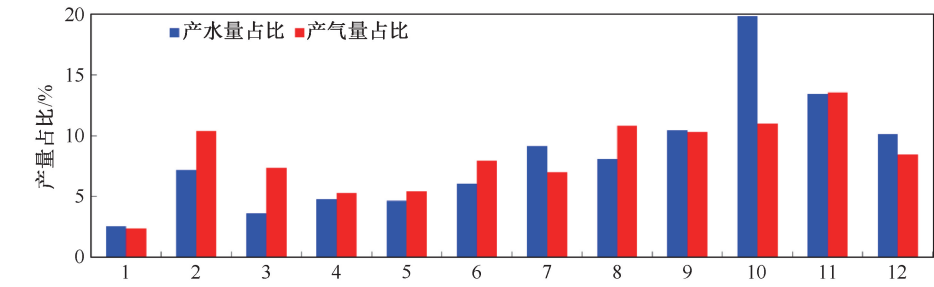


图 4 M 井产出剖面测试结果图

Fig. 4 Well M production profile test results

4.3.3 产出解释与测井解释对比分析

第 8~11 段产量占比均大于 10%，这四段伽马值相对较低，平均声波时差 229 $\mu\text{s}/\text{m}$ ，孔隙度 12.1%，渗透率 0.7 mD，泥质含量较低，测井解释物性较好，同时含气饱和度、全烃值显示最高，整体表现出储层品质和物性最好，产气贡献最高。第 3~7、12 段伽马值相对较高一点，平均声波时差 227 $\mu\text{s}/\text{m}$ ，孔隙度 11.4%，渗透率 0.5 mD，泥质含量有一定升高，物性相对较好，含气饱和度、全烃值显示中等，整体表现出储层品质和物性相对较好，产气贡献较高。第 1 段，储层较为致密，物性、含气性较差，解释为差气层，产气贡献占比最低。

通过多参数对比分析，产气贡献与全烃值有较

好相关性，全烃显示较好的压裂段，产气贡献一般较高，但同时受控于物性影响。各压裂段产气能力与孔隙度、渗透率、含气饱和度等参数呈正相关，孔隙度、渗透率、含气饱和度越高，对应储层的物性、含气性较好，产气占比越高。产气贡献同泥质含量存在负相关，泥质含量越高，产气贡献降低。分析认为，各压裂段产水贡献与孔隙度、渗透率、含气饱和度对应关系并不明显（见图 5）。

4.3.4 产出解释与压裂施工曲线关联分析

该井盒 1 段地层采用可溶桥塞-射孔联作分 12 段压裂后投产，压裂期间累计入地砂量为 675 m^3 ，入地液量为 6222 m^3 ，平均砂比 22.1%，平均地层破裂压力 42.7 MPa（见表 2）。

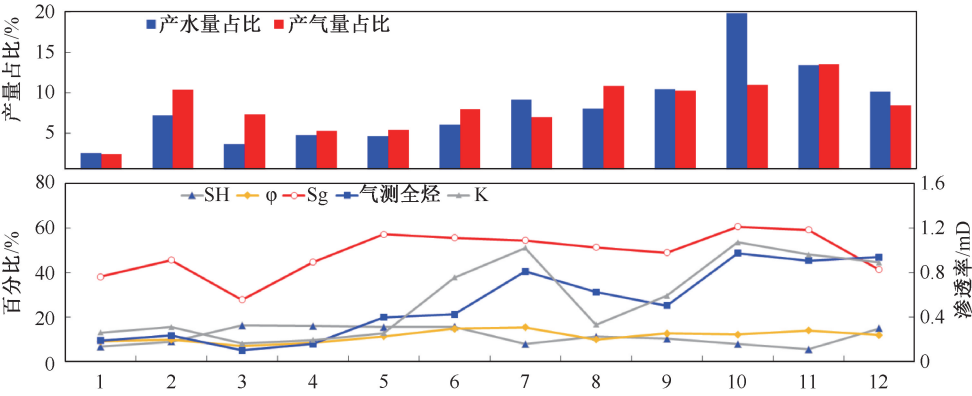


图 5 M 井各压裂段产出贡献与储层参数对比关系图

Fig. 5 The correlation between production contribution of each fracturing stage and reservoir parameters in well M

表 2 M 井压裂施工参数统计表

Table 2 Statistical table of fracturing construction parameters of well M

压裂段	入井总砂量/ m^3	入地层净液量/ m^3	入井液氮量/ m^3	平均砂比/%	停泵压力/MPa	地层破裂压力/MPa	压裂段	入井总砂量/ m^3	入地层净液量/ m^3	入井液氮量/ m^3	平均砂比/%	停泵压力/MPa	地层破裂压力/MPa
1	45	388	22	23	14	61	7	55	514	/	21	19	44
2	45	466	21	22	13	53	8	55	500	26	23	20	22
3	45	439	/	23	14	38	9	70	617	33	21	19	52
4	50	475	/	23	17	29	10	70	631	34	21	20	30
5	50	474	/	23	17	41	11	70	627	35	21	19	51
6	50	468	/	23	17	37	12	71	623	33	21	18	54

参照图 6、图 7,压裂施工曲线大致可以分为两类,第一类是存在明显的破裂压力峰值,压裂段地层物性较差,裂缝延伸长度受到影响,如第一段(见图 6),地层破裂压力在第 10 min 出现峰值后出现下降,表明该段储层较为致密,对应声波时差较低,平均孔隙度 9.0%,平均渗透率 0.3 mD,物性较差;第二类是破裂压力不够明显,压裂段地层物性较好,裂缝延伸受簇数、物性等影响,规律较为复杂,压裂裂缝周围改造区渗透性受储层物性、隐裂缝发育等多因素影响,如第十段(见图 7),破压

没有明显的峰值,该段对应声波时 235.7 $\mu\text{s}/\text{m}$,平均孔隙度 12.1%,平均渗透率 1.1 mD,物性较好,地层破裂压力为 29.8 MPa,破压不够明显。一般来讲,裂缝周围渗透率是地层物性和诱导裂缝叠加控制。该井各压裂段均进行了压裂改造,通过参数对比,产气产水贡献能力与压裂工艺参数的相关性并不明显,各段压裂改造区渗透性受储层物性、隐裂缝发育等多因素影响,没有单调关联规律,分析认为各层段的产出能力主要受储层物性的影响最大。

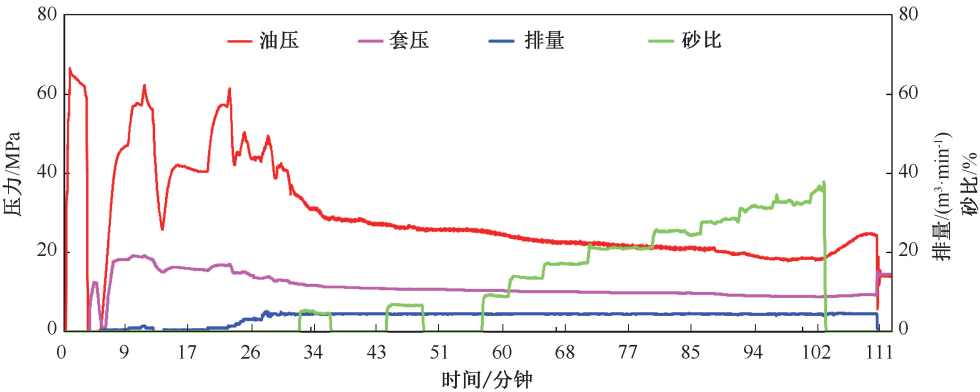


图 6 M 井第一段压裂施工曲线
Fig. 6 Fracturing construction curve of the first section of well M

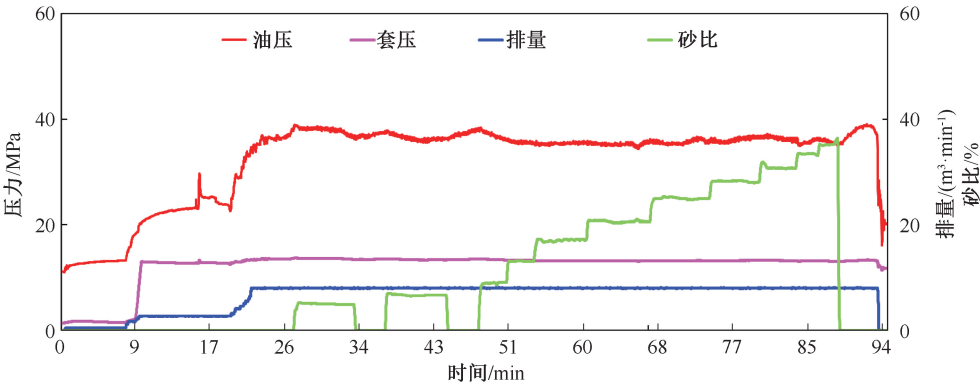


图 7 M 井第十段压裂施工曲线
Fig. 7 Fracturing construction curve of the tenth section of well M

5 结论

(1)两相示踪剂可对 M 井各段产出贡献占比实现有效测量,以此评价储层各压裂段改造效果。其中产气贡献大于 10%的有 5 段:2、8~11 段,合计产气 56.1%。产气贡献大于 5%、小于 10%的有 6 段:分别为 12、3~7 段,合计产气 41.5%;其中产水贡献大于 10%的有 4 段:9~12 段,合计产水 53.9%。产水贡献大于 5%、小于 10%的有 4 段:分别为 2、6~8 段,合计产气 30.5%。

(2)M 井各压裂段产气贡献与孔隙度、渗透率、含气饱和度、泥质含量等参数存在着一定的相关性,水平段钻遇的储层物性、含气性越好,产气贡献越大,产出越好。研究成果为提升该区同类储层压裂改造的针对性、有效性提供技术支撑。

(3)产气产水贡献能力与压裂工艺参数的相关性并不明显,压裂施工曲线大致分为两类,第一类是存在明显的破裂压力峰值,压裂段地层物性较差,裂缝延伸长度受到影响,第二类是破裂压力不够明显,压裂段地层物性较好,裂缝延伸受簇数、物

性等影响,规律较为复杂,压裂裂缝周围改造区渗透性受储层物性、隐裂缝发育等多因素影响。

致谢:感谢华北油气分公司采气二厂同意本论文公开发表,感谢论文编撰过程中开发研究所各位领导同事的悉心指导和辛勤付出。

参考文献

- [1] 常青,刘音,卢伟,等. 微量物质示踪剂对页岩油水平井压后排液诊断技术[J]. 油气井测试, 2021, 30(3):32-38.
CHANG Qing, LIU Yin, LU Wei, et al. Diagnostic technology of trace substance tracer for backflow liquid after fracturing in shale oil horizontal well[J]. Well Testing, 2021, 30(3): 32-38.
- [2] 谢诗章,温守国,王跃宽,等. 示踪剂监测技术在暂堵转向压裂中的应用[J]. 精细与专用化学品, 2022, 30(3): 7-11.
XIE Shizhang, WEN Shouguo, WANG Yuekuan, et al. Application of tracer technology in temporary plugging diverting fracture [J]. Fine and Specialty Chemicals, 2022, 30(3):7-11.
- [3] ZHANG K S, TANG M, YONG S S, et al. Evaluation of stage contribution and interwell connectivity during initial flow back and oil production in a tight oil horizontal stimulation using tracer technology[R]. SPE181854, 2016.
- [4] OVCHINNIKOV K, GURIANOV A, BUZIN P, et al. Production logging in horizontal wells without well intervention [R]. SPE 187751, 2017.
- [5] MURUGESAN S, KUZNETSOV O, SURESH R, et al. Carbon quantum dots fluorescent tracers for production and well monitoring[R]. SPE 181503, 2016.
- [6] 赵政嘉,顾玉洁,才博,等. 示踪剂在分段体积压裂水平井产能评价中的应用[J]. 石油钻采工艺, 2015, 37(4): 92-95.
ZHAO Zhengjia, GU Yujie, CAI Bo, et al. Application of tracer in productivity evaluation for horizontal wells under-segmented volume fracturing[J]. Oil Drilling & Production Technology, 2015, 37(4): 92-95.
- [7] 于永生,廖汉明,齐行涛,等. 水平井油管传输标记物分段找水技术[J]. 石油钻探技术, 2019, 47(2):105-108.
YU Yongsheng, LIAO Hanming, QI Xingtao, et al. Segmented water location technology via conveyed tubing marker for horizontal wells [J]. Petroleum Drilling Techniques, 2019, 47(2): 105-108.
- [8] 李林凯,姜汉桥,李俊健,等. 基于示踪剂返排的致密油压裂缝网评价方法[J]. 特种油气藏, 2017, 24(5):102-106.
LI Linkai, JIANG Hanchao, LI Junjian, et al. Techniques for assessments of hydraulic fracture network in tight oil reservoirs based on tracer discharging [J]. Special Oil & Gas

Reservoirs, 2017, 24(5): 102-106.

- [9] 邸德家,郭肖,何祖清等. 智能示踪剂产出剖面测试技术[J]. 油气井测试, 2021, 30(04):44-49.
DI Dejia, GUO Xiao, HE Zuqing, et al. Intelligent tracer production profile testing technology [J]. Well Testing, 2021, 30(4): 44-49.
- [10] 邓大伟. 水平井压后示踪剂监测技术应用研究[J]. 中外能源, 2021, 26(04):48-51.
DENG Dawei. Application of tracer monitoring technology after fracturing in horizontal well[J]. Sino-Global Energy, 2021, 26(4): 48-51.
- [11] 赵永刚. 低阻气层测井识别和评价新方法——以鄂尔多斯盆地东胜气田为例[J]. 天然气工业, 2020, 40(9): 47-54.
ZHAO Yonggang. A new method for logging identification and evaluation of low-resistivity gas layers: A case study of the Dongsheng gasfield in the Ordos basin [J]. Natural Gas Industry, 2020, 40(9):47-54.
- [12] 谭东萍,罗龙,谭先锋,等. 东胜气田二叠系下石盒子组致密砂岩成岩作用及成储效应[J]. 特种油气藏, 2021, 28(5):68-76.
TAN Dongping, Luo Long, TAN Xianfeng, et al. Diagenesis and reservoir formation effect of tight sandstone in lower permian Shihezi formation, Dongsheng gasfield [J]. Special Oil & Gas Reservoirs, 2021, 28(5): 68-76.
- [13] 彭威龙,庞雄奇,向才富,等. 苏里格地区上古生界连续型致密砂岩气成藏条件及过程分析[J]. 地质科技情报, 2016, 35(3):180-185.
PENG Weilong, PANG Xiongqi, XIANG Caifu, et al. Conditions and process of continuous tight sandstone gas accumulation of the upper paleozoic in Sulige area [J]. Bulletin of Geological Science and Technology, 2016, 35(3): 180-185.
- [14] 张宗辉. 东胜气田独贵气区水平井产出剖面应用分析[J]. 天然气技术与经济, 2021, 15(04):18-24.
ZHANG Zonghui. Application of production profile to horizontal wells in Dugui gas province, Dongsheng gasfield, Ordos basin [J]. Natural Gas Technology and Economy, 2021, 15(4): 18-24.
- [15] 王嘉文,李璐,吴凯,等. 分段压裂示踪剂在油田中的应用[J]. 石油化工应用, 2023, 42(2): 11-14, 20.
WANG Jiawen, LI Lu, WU Kai, et al. Application of staged fracturing tracer in oilfield [J]. Petrochemical Industry Application, 2023, 42(2): 11-14, 20.

编辑 方志慧

第一作者简介:韩蓬勃,男,1994年出生,硕士,工程师,2020年毕业于西北大学地质工程专业,现主要从事致密油气藏开发研究工作。电话:0477-3815064, 18229007047, Email: pepehan@163.com。通信地址:陕西咸阳渭城区毕塬东路10号三普办公楼,邮政编码:712000。