

基于灰色关联法的滨 425 区块压裂效果影响因素分析

王云川¹,周玉龙¹,袁浩仁¹,李欣阳²,马莅²,卢聪²

1. 中石化胜利油田鲁明油气勘探开发有限公司 山东东营 257000
2. 西南石油大学“油气藏地质及开发工程”国家重点实验室 四川成都 610500

通讯作者:Email:swpulc@163.com
项目支持:国家油气科技重大专项“地震与井筒精细勘探关键技术”(2016ZX05006-002)

引用:王云川,周玉龙,袁浩仁,等. 基于灰色关联法的滨 425 区块压裂效果影响因素分析[J]. 油气井测试,2021,30(1):73-78.
Cite: WANG Yunchuan, ZHOU Yulong, YUAN Haoren, et al. Analysis on influencing factors of fracturing effect in Bin 425 block based on grey correlation method [J]. Well Testing, 2021,30(1):73-78.

摘要 胜利油田滨 425 区块开发前期单井压裂后产量提高不明显,且油井自喷和转抽后产量差异很小。为改进下一步压裂措施,应用灰色关联法,结合该区块单井生产资料,从影响油井压裂效果的地质因素和工程因素两方面,对影响单井产量的主控因素进行分析,按权重给出了单井压后产能影响因素的排序。结果表明,排量、加砂强度、产层有效厚度和孔隙度对单井压后产量有较大影响。压裂方案设计时,在缝高可以控制的层段应合理调整改造规模,提高加砂强度和施工排量,增大改造体积,保证裂缝的长期导流能力。灰色关联法在滨 425 区块压裂效果影响因素分析中的研究结果,为低渗透层压裂参数优化和开发方案优选及改进提供了依据。

关键词 滨 425 区块;低渗透油藏;压裂效果;油井产量;影响因素;灰色关联法;加砂强度

中图分类号:TE355 **文献标识码**:B **DOI**:10.19680/j.cnki.1004-4388.2021.01.013

Analysis on influencing factors of fracturing effect in Bin 425 block based on grey correlation method

WANG Yunchuan¹, ZHOU Yulong¹, YUAN Haoren¹, LI Xinyang², MA Li², LU Cong²

1. Luming Oil-Gas Exploration & Development Co., Ltd., SINOPEC Shengli Oilfield, Dongying, Shandong 257000, China
2. State Key Laboratory of Oil and Gas Reservoir Geology and Exploitation, Southwest Petroleum University, Chengdu, Sichuan 610500, China

Abstract: In the early development stage of the Bin 425 block of Shengli Oilfield, the production of a single well did not increase significantly after fracturing, and the production difference of the oil wells in spouting period and in swabbing period was very small. In order to improve the fracturing measures in the next step, the gray correlation method is applied to analyze the main control factors of the single well production from the two aspects of geological and engineering factors that affect the fracturing effect of the oil well, combining with the production data of the single well in the block. According to the weight, the ranking of the factors affecting the productivity of a single well is given. The results show that the displacement, sanding intensity, net thickness of the pay zone and porosity have a greater impact on the production after fracturing. In the design of fracturing scheme, the reconstruction scale should be reasonably adjusted in the zone where the fracture height can be controlled, the sand adding intensity and construction displacement should be increased, and the reconstruction volume should be increased to ensure the long-term conductivity of the fracture. The research results of grey correlation method in the analysis of influencing factors of fracturing effect in Bin 425 block provide a basis for the optimization of fracturing parameters and development scheme in low permeability reservoir.

Keywords: Bin 425 block; low permeability reservoir; fracturing effect; oil well production; influencing factors; grey correlation method; sand adding intensity

胜利油田滨 425 区块位于济阳坳陷东营凹陷利津洼陷的西斜坡,北邻滨县凸起,西与平方王油田相接。该区地层发育较全,钻井揭示,地层包括:第四系平原组,上第三系明化镇、馆陶组;下第三系东营组、沙河街组沙一段、沙二段、沙三段、沙四段。其中沙四段上亚段为主要含油层系,共分为 4 个砂组,该段在滨 425 区块的埋藏深度主要在 2 450 ~ 2 700 m。断层较为发育,以北东向、近东西向为主。

岩性主要为一套浅湖相灰黑色泥岩与薄层灰质粉砂岩互层,地层厚度为 130~140 m,其中砂层厚度为 30~50 m,占地层厚度约 30%。根据探井岩芯物性资料统计,平均渗透率 $32.2\times10^{-3}\text{ }\mu\text{m}^2$,平均孔隙度 14.7%,为典型的中孔低渗断块油藏。

滨 425 区块井段长、小层多,井深且井身结构复杂,自然产能较差,开发至今对多数井采取压裂增产措施,陆续压裂 60 余井次。经统计,单井压裂后初期日产液量平均 7.9 t,日产油量平均 5.4 t。压裂单井日产油是压裂前的 2.2~68.0 倍,表明压裂可有效提升该区储层渗流能力,提高油井产能。但单井的增产效果差异较大,并且地层能量亏空对渗透率影响较大,油井自然递减率大,产量递减快^[1-2]。而压裂效果影响因素分析是区块储量评价和后期压裂工艺及开发方案改进的重要手段^[3-5]。

在影响因素分析问题,灰色关联分析法跟其它方法相比具有一定优势。具体来讲,该方法对各因素的样本量没有严格要求,并且不需要样本有明显的分布规律^[6-8]。该理论在油田增产方面运用广泛^[9-13]。因此,本文通过统计和分析滨 425 区块的地质及压裂施工相关数据,利用灰色关联方法对压

裂效果的影响因素进行筛选,分析并确定各因素优先顺序和影响程度大小,为该区块乃至整个油田单井的压裂方案设计及施工提供指导。

1 单井基础参数

油井压裂的效果是多个因素共同作用的结果。从类型上划分,主要分为地质因素和工程因素两部分^[14-15]。地质因素主要包括孔隙度,渗透率,含水饱和度,产层有效厚度,地层压力系数,表皮系数等;工程因素主要包括砂量,施工排量,加砂强度(加入支撑剂体积与压裂段长之比),平均砂比,液量,最大施工排量等。由于影响因素众多,有必要选取对压裂效果影响相对较明显的因素进行分析^[16-17]。

在充分调研的基础上,选取孔隙度,渗透率,含水饱和度,产层有效厚度,砂量,施工排量,加砂强度,平均砂比和液量等 9 种影响因素,并以单井压后初期的日产油量为参考指标加以研究分析。从滨 425 区块中选取数据完整的 44 口压裂井作为样本,依次统计了 44 口井的上述基本参数。具体统计结果见表 1。

表 1 滨 425 区块单井各因素统计结果
Table 1 Statistical results of various factors for single well in Bin 425 block

孔隙度/ %	渗透率/ mD	含水 饱和度/%	有效厚度/ m	加砂量/ m ³	排量/ (m ³ ·min ⁻¹)	加砂强度/ (m ³ ·m ⁻¹)	平均砂比/ %	液量/ m ³	压后产量/ (t·d ⁻¹)
10.77	2.92	78.18	7.0	16.0	3.2	2.3	39.0	146.6	7.0
14.24	38.89	81.52	16.2	23.0	3.8	1.4	26.1	192.3	2.8
23.98	1083.49	68.71	4.8	14.5	4.0	3.0	16.4	168.9	4.6
19.45	43.73	44.45	6.0	27.0	4.5	4.5	27.3	208.9	6.8
13.61	124.81	66.47	7.0	20.0	3.5	2.9	34.1	134.5	5.2
15.37	28.61	73.55	11.2	30.0	4.0	2.7	27.7	223.5	1.6
15.39	14.63	61.90	5.2	30.0	4.2	5.8	29.2	213.7	4.0
14.71	56.27	57.44	10.9	52.0	4.5	4.8	31.3	349.5	3.5
12.46	10.86	78.54	6.6	20.0	3.5	3.0	29.7	146.4	5.6
14.88	18.87	58.07	5.1	20.0	3.2	3.9	25.0	160.6	6.2
11.62	21.94	75.08	5.3	32.0	4.0	6.0	25.9	238.3	4.8
11.02	8.53	18.85	5.2	16.0	4.5	3.1	9.4	193.4	4.0
13.76	16.19	66.65	8.8	20.0	4.0	2.3	22.8	181.8	4.7
14.60	19.53	55.80	6.0	22.0	4.0	3.7	25.8	211.8	8.2
12.07	34.78	76.60	8.0	40.0	4.5	5.0	28.4	282.8	6.1
8.75	19.02	79.90	7.8	23.0	4.0	2.9	25.2	199.4	4.6
15.80	45.05	69.05	10.2	28.0	4.0	2.7	28.0	207.4	1.5
13.55	32.01	67.85	17.0	64.1	6.0	3.8	25.1	154.4	8.7
15.15	49.10	61.50	9.0	36.0	4.3	4.0	28.9	280.7	4.9
18.53	65.48	48.96	4.0	14.9	4.6	3.7	19.2	179.5	8.2
11.84	49.92	74.93	31.0	32.0	5.3	2.4	26.6	315.5	5.1
12.85	1.68	75.65	10.2	48.0	4.8	4.7	31.0	332.5	2.4
10.75	34.06	78.54	22.9	66.0	5.0	2.9	26.3	522.1	3.8
11.55	80.65	69.75	10.6	42.0	4.0	4.0	28.4	295.5	4.0
15.35	50.92	70.50	12.3	45.0	4.0	3.7	25.2	366.7	5.1

续表 1
Continued Table 1

孔隙度/ %	渗透率/ mD	含水 饱和度/%	有效厚度/ m	加砂量/ m ³	排量/ (m ³ ·min ⁻¹)	加砂强度/ (m ³ ·m ⁻¹)	平均砂比/ %	液量/ m ³	压后产量/ (t·d ⁻¹)
15.10	12.21	67.02	7.9	24.0	3.5	3.0	33.2	164.0	7.0
12.00	20.30	70.50	12.8	25.5	3.8	2.0	29.9	196.1	10.0
14.12	16.36	67.14	23.4	102.0	8.0	4.4	36.0	641.1	6.2
13.03	21.64	72.74	5.9	24.0	3.8	4.1	23.5	174.1	4.8
12.75	21.45	71.95	7.1	22.0	4.5	3.1	20.4	220.8	5.8
5.88	5.66	77.51	6.1	23.5	4.0	3.9	22.7	180.9	3.6
11.70	31.94	65.10	3.3	8.0	3.3	2.4	23.4	91.7	3.6
13.55	4.54	70.62	8.3	19.0	4.5	2.3	30.5	154.8	1.3
11.40	43.44	81.25	9.2	38.0	5.0	4.1	22.3	300.4	7.5
10.85	25.53	82.90	30.0	36.0	4.7	4.5	26.4	283.4	12.0
13.04	28.31	69.42	7.3	25.0	4.0	3.4	25.5	180.3	10.7
9.70	7.12	67.90	12.4	16.7	4.5	1.3	21.0	218.7	5.2
11.00	22.06	65.81	10.1	46.0	4.2	4.6	27.8	334.9	6.7
9.83	2.23	84.04	6.0	12.0	4.0	2.0	18.2	163.1	1.8
14.70	22.49	55.78	4.6	20.0	3.8	4.3	21.4	167.0	1.4
16.45	53.40	65.45	12.0	38.0	4.0	3.2	31.7	234.2	12.2
14.33	30.20	52.95	7.8	12.0	3.0	1.5	35.0	98.0	4.1
6.85	18.40	77.95	37.7	41.5	4.8	1.1	23.0	330.3	9.8
12.20	20.20	69.65	11.0	39.0	4.2	3.5	22.5	336.9	5.8

2 压裂效果影响因素分析

对于影响因素分析^[18],本文使用灰色关联分析方法,综合考虑各影响因素,找出影响压裂效果的关键因素。

灰色关联方法的基本原理是通过对两两因素序列的几何关系进行对比,来确定多因素中关系的紧密程度。紧密程度越高,即关联程度越高^[19-20]。对影响因素分析问题,灰色关联分析方法要确定参考序列与各因素比较序列,将参考序列和比较序列具体确定后,再分别对各比较序列和参考序列的灰色关联系数及关联度进行计算。具体步骤如下:

(1)确定参考序列与比较序列。针对压裂效果影响因素问题,参考序列不同单井的压后产量所组成的序列;而比较序列是指上述影响因素的取值所组成的序列。

(2)对参考序列和比较序列进行无量纲化处理。在灰色关联分析中,各因素的物理意义不同,导致其量纲也不同。因此,需要对各因素下的所有数据进行无量纲化,也即归一化处理。

(3)求参考序列与各比较序列的关联系数 $\xi(X_i)$ 。假设参考序列为 X_0 ,比较序列分别为 X_1, X_2, \cdots, X_n ,每个序列上的所有值组成一条曲线,两两曲线上对应的一组点的差异程度即为关联系数。关联系数的计算公式如下,即

$$\xi_{0i} = \frac{\Delta(\min) + \rho\Delta(\max)}{\Delta 0i(k) + \rho\Delta(\max)}$$

(1)

式中: ρ 为分辨系数(一般在 0~1 之间,通常取 0.5); $\Delta(\max), \Delta(\min)$ 分别为第二级最大差、最小差。

(4)求参考序列与各比较序列的关联度 r_i 。因为关联系数是参考序列与各比较序列曲线上对应点的差异程度,而每条曲线上又有若干个点,即对应若干个关联系数值。单独的一个关联系数值并不能准确地比较某比较序列与参考序列的相关程度,因此需要将上述所有关系系数集中为一个值,即平均值,来量化比较序列与参考序列间的关联程度大小,这便是关联度。

根据该定义,关联度的计算公式如下,即

$$r_i = \frac{1}{N} \sum_{k=1}^N \xi_i(k)$$

(2)

式中: r_i 为比较序列 X_i 对参考序列 X_n 的灰色关联度,或称序列关联度、平均关联度、线关联度。 r_i 值越接近 1,说明相关性越好。

(5)对求取的关联度进行排序。在获取各比较序列与参考序列的关联度值后,对其进行从大到小排序。关联度越大,说明该比较序列与参考序列的相关性越大。针对本节要解决的问题,即关联度越大,表明该关联度对应的影响因素对压裂效果的影响越明显。

根据表 1 统计的地质及工程参数,以单井压后的产量为参考指标,利用上述样本进行灰色关联分析,得到 9 种参数的灰色关联度。在灰色关联度结

果基础上,对 9 种影响因素的权重进行计算(表 2)。

表 2 参数灰色关联度及权重计算结果
Table 2 Grey correlation degree of parameters and its weight calculation results

参数	对应编号	灰色关联度	权重
孔隙度	①	0.953 004	0.124 121
渗透率	②	0.868 707	0.113 142
含水饱和度	③	0.721 801	0.094 009
有效厚度	④	0.970 234	0.126 365
砂量	⑤	0.877 773	0.114 323
排量	⑥	0.985 877	0.128 403
加砂强度	⑦	0.982 77	0.127 998
平均砂比	⑧	0.884 097	0.115 147
液量	⑨	0.433 737	0.056 491

权重的计算公式如下,即

$$W_i = r_i / \sum_{i=1}^n r_i \tag{3}$$

式中:W_i 为比较序列 X_i 的权重。

如图 1 所示,当以 44 口单井为样本时,孔隙度、有效厚度、排量和加砂强度对压后产能的影响较大。根据该结果,滨 425 区块单井压后产能影响由

大到小排序为:排量,加砂强度,有效厚度,孔隙度,平均砂比,砂量,渗透率,含水饱和度,液量。

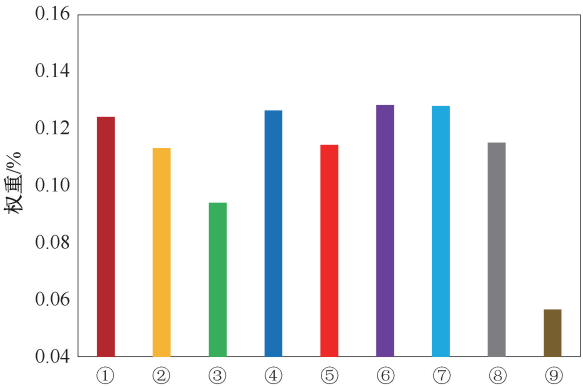


图 1 参数权重分布图(以 44 口井为样本)
Fig. 1 Weight distribution of parameters (Taking 44 wells as samples)

在区块整体分析的基础上,将上述 44 口单井分为 I-Ⅳ砂组,分别对不同砂组单井的参数灰色关联度及权重进行计算。具体计算结果见表 3。图 2 给出了 4 个砂组参数的权重分布。

表 3 4 个砂组计算结果
Table 3 Calculation results of 4 sand formations

砂组	参数	孔隙度	渗透率	含水饱和度	有效厚度	砂量	排量	加砂强度	平均砂比	液量
I	灰色关联度	0.951	0.770	0.772	0.958	0.882	0.992	0.990	0.905	0.452
	权重	0.123	0.100	0.100	0.124	0.114	0.129	0.128	0.118	0.058
II	灰色关联度	0.947	0.864	0.694	0.966	0.861	0.985	0.983	0.868	0.396
	权重	0.125	0.114	0.091	0.127	0.113	0.130	0.129	0.114	0.052
III	灰色关联度	0.949	0.913	0.680	0.975	0.873	0.981	0.979	0.872	0.397
	权重	0.124	0.119	0.089	0.127	0.114	0.128	0.128	0.114	0.052
IV	灰色关联度	0.949	0.865	0.627	0.952	0.865	0.977	0.968	0.852	0.362
	权重	0.127	0.116	0.084	0.128	0.116	0.131	0.130	0.114	0.048

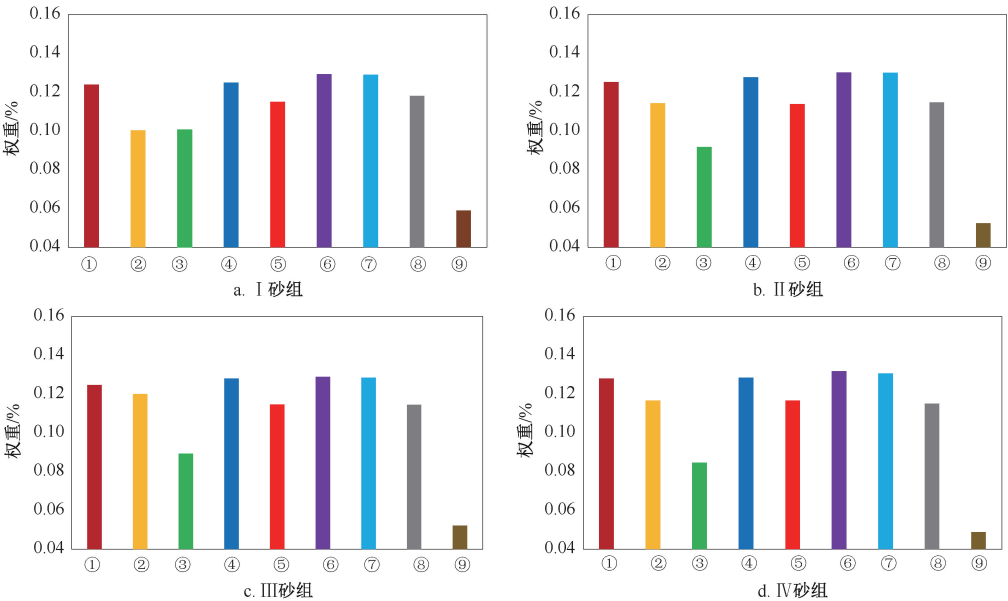


图 2 4 个砂组参数权重分布图
Fig. 2 Weight distribution of parameters of 4 sand formations

如图2所示,各砂组的灰色关联分析结果基本一致,均是孔隙度、有效厚度、排量和加砂强度权重较大。较大的孔隙度和有效厚度能够使近井区域致密储层砂岩孔隙得到较好沟通,产油能力增加;而排量、加砂强度的提高能够有效形成复杂裂缝网络,带来较好的裂缝导流能力。

通过以上分析可知,针对滨425区块储层的特点,在相同的地质条件下,为进一步提高压裂效果,压裂方案设计时,在施工设备允许的前提下,应尽可能的提高施工排量及加砂强度。

3 结论

(1)根据滨425区块压裂施工特点,结合地质参数和工程参数,分析确定了9种影响油藏压裂效果的影响因素:孔隙度,渗透率,含水饱和度,产层有效厚度,砂量,施工排量,加砂强度,平均砂比和液量。

(2)利用灰色关联分析方法,计算了各影响因素与压后产量的灰色关联度,并对其影响权重进行排序。各影响因素按从大到小顺序依次为:排量,加砂强度,有效厚度,孔隙度,平均砂比,砂量,渗透率,含水饱和度,液量等。灰色关联分析方法简单、合理,可用于滨425区块低渗储层压裂方案优选及改进。

(3)灰色关联方法计算结果表明,孔隙度、有效厚度、排量和加砂强度4个因素对单井压后产量有较大影响。因此,在压裂方案设计时,应该根据储层地层系数和岩石力学参数优化射孔打开程度和位置,在纵向上最大程度动用较好层系;并且在缝高可以控制的层段合理调整改造规模,提高加砂强度和施工排量,增大改造体积,保证裂缝的长期导流能力。

致谢:感谢胜利油田鲁明油气勘探开发有限公司科研所提供的详实资料;感谢西南石油大学“油气藏地质及开发工程”国家重点实验室提供的技术支持。

参考文献

[1] 李焯,苏敬宝,谢向东,等. 影响水力压裂效果的因素分析——以压裂技术在F11-111断块沙三下的应用为例[J]. 西安石油学院学报(自然科学版),2002,17(5):28-31.

LI Xuan, SU Jingbao, XIE Xiangdong, et al. Analysis of the factors affecting the result of hydraulic fracturing-Taking S₃ reservoir of F11-111 block as an example [J]. Journal of Xi'an Petroleum Institute (Natural Science Edition),

2002,17(5):28-31.

[2] 蒋国斌,才庆,杨景海,等. 基于大规模多段压裂水平井返排数据的压裂效果评价方法[J]. 油气井测试,2019,28(2):14-19.

JIANG Guobin, CAI Qing, YANG Jinghai, et al. Fracturing effect evaluation method based on flowback data of horizontal well with large-scale multi-stage fracturing [J]. Well Testing, 2019,28(2):14-19.

[3] 卢聪,马莅,郭建春. 针对大厚段砂砾岩储层的水力压裂新方法[J]. 天然气勘探与开发,2020,43(1):64-70.

LU Cong, MA Li, GUO Jianchun. A novel technology of hydraulic fracturing for massive glutenite reservoirs [J]. Natural Gas Exploration and Development, 2020,43(1):64-70.

[4] 龙学. 川西水平井分段压裂效果影响因素分析[J]. 天然气勘探与开发,2013,36(2):57-60.

LONG Xue. Factors influencing staged fracturing of horizontal wells in Western Sichuan basin [J]. Natural Gas Exploration and Development, 2013,36(2):57-60.

[5] 郑杰. 四川盆地长宁地区页岩气井压裂效果影响因素分析及对策研究[J]. 重庆科技学院学报(自然科学版),2017,19(3):1-6.

ZHENG Jie. Analysis and solutions about influential parameters for hydraulic fracturing in Changning shale gas reservoirs in Sichuan basin [J]. Journal of Chongqing University of Science and Technology (Natural Sciences Edition), 2017,19(3):1-6.

[6] 杨超,李彦兰,韩洁,等. 顶部注气油藏定量评价筛选方法[J]. 石油学报,2013,34(5):938-946.

YANG Chao, LI Yanlan, HAN Jie, et al. Quantitative evaluation and screening method for gas assisted gravity drainage reservoirs [J]. Acta Petrolei Sinica, 2013,34(5):938-946.

[7] 张迎朝,时志强. 用灰色相对变率关联度分析法确定影响油气井产量因素的权重[J]. 石油勘探与开发,1998,25(2):73-74.

ZHANG Yingchao, SHI Zhiqiang. Determining the weight of factors affecting oil and gas productions by grey relative variation correlativity analysis [J]. Petroleum Exploration and Development, 1998,25(2):73-74.

[8] 刘二虎. 应用灰色关联法分析延长气田子长东区山2层产能影响因素[J]. 油气井测试,2014,23(2):18-20.

LIU Erhu. Application of gray correlation method to analyze capacity factor of the Zichang Eastern Mountain2 gas sub-layer in Yanchang gas field [J]. Well Testing, 2014,23(2):18-20.

[9] 郭建春,吴建发,赵金洲,等. 用灰色关联分析法优选压裂井[J]. 钻采工艺,2005,28(2):25-27.

GUO Jianchun, WU Jianfa, ZHAO Jinzhou, et al. A grey correlation analysis method for choosing the candidate wells

- in fracturing [J]. Drilling & Production Technology, 2005, 28(2): 25-27.
- [10] 毛虎, 李勇明, 郭建春, 等. 利用灰色关联法分析压后产能影响因素[J]. 重庆科技学院学报(自然科学版), 2011, 13(1): 64-66.
- MAO Hu, LI Yongming, GUO Jianchun, et al. Influential factors of productivity after fracturing with gray correlation method [J]. Journal of Chongqing University of Science and Technology (Natural Sciences Edition), 2011, 13(1): 64-66.
- [11] 曲占庆, 黄德胜, 毛登周, 等. 基于灰色关联法的低渗气藏压裂效果影响因素分析[J]. 西北大学学报(自然科学版), 2014, 44(4): 603-609.
- QU Zhanqing, HUANG Desheng, MAO Dengzhou, et al. The influencing factors of fracturing effects in low permeability gas reservoir with gray correlation method [J]. Journal of Northwest University (Natural Science Edition), 2014, 44(4): 603-609.
- [12] 王瑞. 致密油藏水平井体积压裂效果影响因素分析[J]. 特种油气藏, 2015, 22(2): 126-128.
- WANG Rui. Analysis on influential factors for volumetric fracturing effects in horizontal well in tight reservoir [J]. Special Oil & Gas Reservoirs, 2015, 22(2): 126-128.
- [13] 薛江龙, 周志军, 辛林鹏. 灰色关联度进行低产低效井影响因素分析及措施效果增油量预测模型建立[J]. 数学的实践与认识, 2016, 46(18): 115-121.
- XUE Jianglong, ZHOU Zhijun, XIN Linpeng. Analyze influence factor of low-yield low-efficiency oil well with grey relational degree and build measure effect enhanced production of oil prediction model [J]. Mathematics in Practice and Theory, 2016, 46(18): 115-121.
- [14] LU C, MA L, LI Z, et al. A novel hydraulic fracturing method based on the coupled CFD-DEM numerical simulation study [J]. Applied Sciences, 2020, 10(9): 3027-3039.
- [15] 卢聪, 马莅, 郭建春, 等. 酸处理对页岩微观结构及力学性质的影响[J]. 天然气工业, 2019, 39(10): 59-67.
- LU Cong, MA Li, GUO Jianchun, et al. Effect of acidizing treatment on microstructures and mechanical properties of shale [J]. Natural Gas Industry, 2019, 39(10): 59-67.
- [16] 张宏友, 陈晓祺, 王美楠, 等. 海上特低渗碳酸盐岩油藏酸化效果分析[J]. 油气井测试, 2019, 28(1): 67-71.
- ZHANG Hongyou, CHEN Xiaoqi, WANG Meinan, et al. Acidification effect of offshore ultra-low permeability carbonate reservoir [J]. Well Testing, 2019, 28(1): 67-71.
- [17] 石莹. 榆树林油田缝网压裂改造体积影响因素分析[J]. 油气井测试, 2019, 28(4): 32-37.
- SHI Ying. Analysis of influencing factors on volume of network fracturing stimulation in Yushulin Oilfield [J]. Well Testing, 2019, 28(4): 32-37.
- [18] 王玉海, 王庆红, 闫桂芳, 等. 煤层气井压裂效果评价方法[J]. 油气井测试, 2010, 19(5): 44-47.
- WANG Yuhai, WANG Qinghong, YAN Guifang, et al. Evaluation method of fracturing effect for coal-bed gas wells [J]. Well Testing, 2010, 19(5): 44-47.
- [19] 姬伟, 张育超, 史小亮, 等. 低渗透油藏体积压裂井产能主控参数灰色关联分析[J]. 油气井测试, 2015, 24(1): 34-37.
- JI Wei, ZHANG Yuchao, SHI Xiaoliang, et al. Gray correlation analysis of main control parameters for productivity to volume fractured well in low permeability oil reservoir [J]. Well Testing, 2015, 24(1): 34-37.
- [20] 肖寒. 威远区块页岩气水平井基于灰色关联分析的产能评价方法[J]. 油气井测试, 2018, 27(4): 73-78.
- XIAO Han. Production evaluation method based on grey correlation analysis for shale gas horizontal wells in Weiyuan block [J]. Well Testing, 2018, 27(4): 73-78.

编辑 方志慧

第一作者简介:王云川,男,1971年出生,高级工程师,2005年毕业于中国石油大学(华东)采油工程专业,现主要从事采油技术研究和管理工作。电话:0546-8222699,18615987167;Email:wangyunchuan.slyt@sinopec.com。通信地址:山东省东营市东营区济南路57号胜利油田鲁明油气勘探开发有限公司,邮政编码:257000。