

引用格式:区舫,杨辉廷,黄晓兵.X气田飞仙关组礁滩相储层测井解释方法应用[J].油气藏评价与开发,2021,11(5):744-752.

OU Fang, YANG Huiting, HUANG Xiaobing. Application of logging interpretation method for reef shoal reservoir in Feixianguan Formation of X Gas Field[J]. Petroleum Reservoir Evaluation and Development, 2021, 11(5):744-752.

DOI:10.13809/j.cnki.cn32-1825/te.2021.05.012

X气田飞仙关组礁滩相储层测井解释方法应用

区舫¹,杨辉廷¹,黄晓兵²

(1.西南石油大学地球科学与技术学院,四川成都610500;2.中国石油东方地球物理公司西南物探分公司,四川成都610200)

摘要:礁滩相碳酸盐岩孔隙型储层岩性及孔隙类型多样、孔喉结构复杂,是造成复杂孔渗关系的根本因素,极大地影响了储层参数,尤其是渗透率解释的准确度,给储层评价工作带来了很大的难度。以X气田飞仙关组礁滩相储层为例,在明确储层四性关系的基础上,根据岩心分析、铸体薄片、压汞分析以及测井资料,采用密度曲线与声波时差曲线变化特征定义了参数测井曲线幅度差,再将新参数与密度曲线进行交会,利用多元回归分析方法建立孔隙类型识别模板,最终,构建了基于孔隙类型识别的储层参数解释模型,来准确解释礁滩相孔隙型储层参数。实例解释结果表明,具有孔隙识别能力的测井解释模型明显提高了礁滩相储层测井解释准确率,可为国内外同类型的礁滩相储层测井解释提供技术方法的参考。

关键词:礁滩相储层;碳酸盐岩;孔隙类型;测井解释模型;储层评价

中图分类号:TE132

文献标识码:A

Application of logging interpretation method for reef shoal reservoir in Feixianguan Formation of X Gas Field

OU Fang¹, YANG Huiting¹, HUANG Xiaobing²

(1. School of Geosciences and Technology, Southwest Petroleum University, Chengdu, Sichuan 610500, China;

2. Southwest Branch Company of East Geophysical Company, CNPC, Chengdu, Sichuan 610200, China)

Abstract: For the reef carbonate reservoirs, the various lithology and pore types and the complex throat structure are the fundamental factors of complex pore-permeability relations, which greatly affect the accuracy of the reservoir parameters, especially the logging interpretation of permeability, and bring great difficulty to the reservoir evaluation. First, the reef-flat facies reservoir of Feixianguan Formation in X Gas Field is taken as an example to define the amplitude difference of the logging curve by the change characteristics of density curve and acoustic time difference curve on the basis of clarifying the four property relationship of the reservoir and according to the data of core analysis, casting thin section, mercury injection analysis and logging. And then, the cross plot of the new parameters and the density curve is made to establish the pore type identification template by the multiple regression analysis method. At last, the reservoir parameter interpretation model based on the pore type identification is established to make the accurate interpretation of the parameters of the reef-flat facies porous reservoir. The interpretation results show that the logging interpretation model with pore identification ability can significantly improve the logging interpretation accuracy of reef-flat facies reservoir, and can provide technical reference for the logging interpretation of the same reservoir type.

Keywords: reef-flat facies reservoir, carbonate, pore type, logging interpretation model, reservoir evaluation

X气田位于川东北褶皱带双石庙—普光北东向的鼻状构造上,北靠米仓山—大巴山背斜,南接川南褶皱带北部,西邻华蓥山脉,东至川东南—湘鄂西褶

皱带^[1]。气藏类型属于构造—岩性圈闭,圈闭面积达到45.6 km²,主要储层是上二叠统的长兴组地层和下三叠统的飞仙关组地层^[2-3]。其中,下三叠统飞仙关

收稿日期:2020-07-01。

第一作者简介:区舫(1997—),男,在读硕士研究生,主要从事油气藏描述及建模方面的研究工作。地址:四川省成都市新都区新都大道8号西南石油大学,邮政编码:610500。E-mail:1074739336@qq.com

基金项目:“十二五”国家科技重大专项“超深层礁滩相储层非均质性评价技术”(2011ZX-05017-001-HZ02)。

组地层为台地边缘鲕粒滩相沉积^[4],其生成的白云岩孔渗条件良好,是一套优质的礁滩相孔隙型储层^[5-7]。

礁滩相碳酸盐岩储层储集空间类型多样、孔喉结构复杂,具有复杂的孔渗关系,一直以来都是储层参数,尤其是渗透率解释工作的难点^[8-9]。针对礁滩相储层,大量学者在测井技术研究礁滩相碳酸盐岩沉积微相与储层评价方法方面取得了诸多进展。李昌等^[10]提出了利用电成像测井结合常规测井的技术路线,建立了碳酸盐岩沉积微相测井综合图版;刘宏等^[11]按照不同岩石类型及不同孔喉结构建立了四川碳酸盐岩储层渗透率的解释模型;张海龙等^[12]分析了孔隙结构对测井解释的影响;刘晓敏^[13]建立了针对礁滩相储层储集类型的测井模型,分别对应孔洞型、缝洞型、裂缝型与致密型;胡碟等^[14]根据国内外主流碳酸盐岩测井流体识别方法,总结优选了最适合川东北礁滩相储集层的3种方法:电阻率法、中子声波信息组合法及纵横波信息法。这3种方法大大提高了礁滩相储层的流体识别符合率。

礁滩型碳酸盐岩油藏的储层发育受沉积环境及后期改造等多种因素制约,在开发过程中面临多种挑战^[15]。X气田飞仙关组鲕粒滩地层埋藏较深,礁滩相在平面上变化复杂^[16-17],且受到各种成岩作用与成岩后作用的影响,致使传统测井解释模型失准^[18-21]。以X气田礁滩相孔隙型碳酸盐岩储层为例,根据地质特征与四性关系认识,并参考普光气田礁滩相储层精细评价分类标准^[22],分析岩石孔隙类型与测井响应特征,结合多元回归分析方法,建立了具有孔隙类型识别能力的测井解释模型,对礁滩相气藏的高效开发具有重要的实际意义。

1 储层基本地质特征

1.1 岩石学特征

PX2-1井和PX4-1井的岩心资料与镜下薄片资料显示:飞仙关储层主要的岩石类型为鲕粒白云岩、砂屑白云岩、粉晶、细晶白云岩,其中,鲕粒云岩的物性条件极佳,发育大量粒间溶孔、晶间溶孔,是研究区内飞仙关组地层主要的储集岩,但砂屑云岩粒内、粒间溶孔发育水平有限,储集性能中等。

1.2 储集空间类型

飞仙关组储层以孔隙为主要储集空间,溶洞与

裂缝发育较少(图1)。孔隙以次生孔隙为主:一种是受溶蚀作用的影响,如晶间溶孔与粒内溶孔等,这也是最主要的储集空间类型;另一种是受白云石化作用的影响形成的晶间孔。而原生孔隙则在多期次的胶结作用与压实作用中消亡,难以保留。

1.3 物性特征

全直径岩心样品275个,孔隙度最大为26.7%,最小为1.0%,平均为10.59%,渗透率的范围值为 $(0.001 \sim 220) \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$,平均值为 $7.9 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ 。飞仙关组一段、二段储层的物性条件较好,以中孔中渗为主,部分层段具有高孔高渗特征。另外,飞仙关组一段、二段储层孔隙度渗透率关系杂乱,但结合镜下薄片资料的孔隙类型识别结果对数据点进行分类之后,孔渗关系展现出一定的规律性(图2)。

1.4 孔喉结构特征

孔隙以大孔隙为主,频率达75.58%,喉道以中喉与粗喉为主,二者平均频率为72.17%。总体来看,飞仙关组储层段以大孔中喉与大孔粗喉为主要孔隙结构,储层连通性较好。

2 储层四性关系

2.1 岩性物性关系

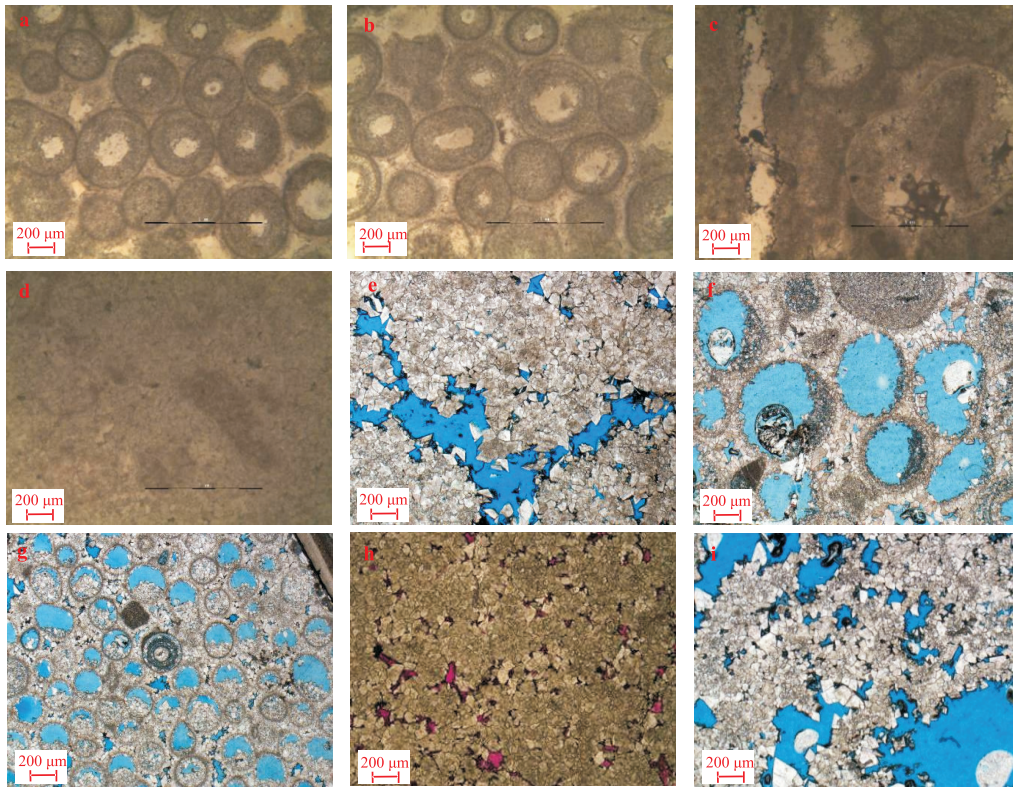
普光地区飞仙关组岩性种类多样,不同岩性岩石的物性差距较大,将孔隙度为2%,渗透率为 $0.01 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ 当做下限来划分储层,其中,鲕粒云岩物性条件较好,以中孔中渗为主,部分样本具有高孔高渗的特征。砂屑云岩也有部分层位有良好的物性条件,以中孔中渗为主,而部分砂屑云岩与绝大部分细晶、粉晶白云岩物性条件较差。

2.2 岩性和电性关系

普光地区飞仙关组地层以礁滩相碳酸盐岩沉积为主,岩性变化较复杂,根据各岩性自然伽马值与声波时差值的特点对岩性进行识别。鲕粒云岩特点是极低的自然伽马值,砂屑云岩、细晶—粉晶白云岩与泥质白云岩的自然伽马和声波时差值依次上升。

2.3 岩性和含油气性关系

存在天然气显示的岩心主要为鲕粒云岩、砂屑



注:显微镜25倍镜下观察:a.鲕粒云岩,PX2-1井,5 703.72 m;b.鲕粒云岩,PX4-1井,5 703.72 m;c.砂屑云岩,PX4-1井,5 661.54 m,可见残余砂屑;d.细晶白云岩PX4-1井,5 663.20 m,可见粒状细晶自形一半自形白云石;e.PX2-1井,5 590.67 m,鲕粒云岩,发育粒间溶孔;f.PX2-1井,5 580.64 m,颗粒以鲕粒为主,孔隙以粒内溶孔为主;g.PX2-1井,5 596.71 m,孔隙发育,鲕模孔;h.PX4-1井,5 674.88 m,晶间孔,呈三角形或多边形;i.PX2-1井,5 560.32 m,砂屑云岩,发育晶间溶孔。

图1 孔隙类型镜下照片

Fig. 1 Microscopic photos of pore types

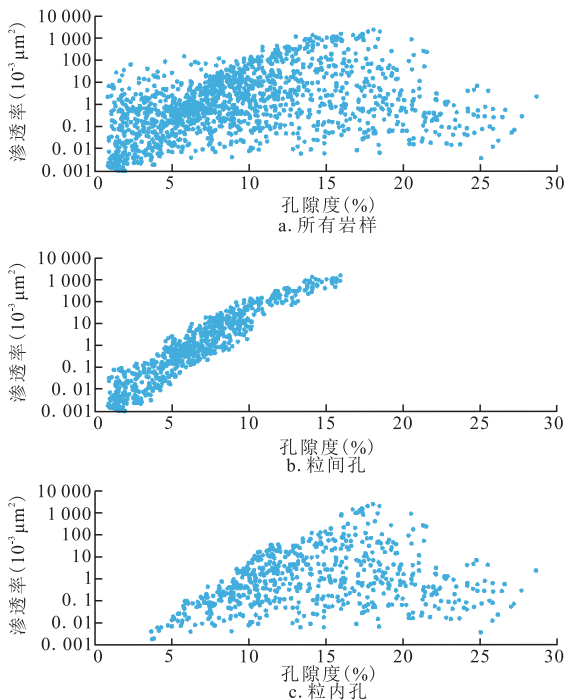


图2 普光地区X气田PX2-1井岩样孔隙度与渗透率关系
Fig. 2 Porosity and permeability correlation of rock samples from Well-PX2-1 in X Gas Field of Puguang area

云岩与细晶、粉晶白云岩。结合测井曲线,含天然气层系的含水饱和度低、岩石密度相对下降,声波时差相对上升。大量的鲕粒云岩与部分砂屑云岩具有低密度、高声波时差、低含水饱和度的特征。细晶粉晶白云岩与泥质白云岩基本没有天然气特征显示。

2.4 电性和含油气性关系

自然伽马曲线、声波时差曲线、密度曲线与双侧向测井曲线结合起来能较好地反映地层的含气情况,其组合特征为:气层的声波时差突然增大,密度相对降低,双侧向低电阻率曲线出现正差异以及高电阻率。

2.5 电性和物性关系

自然电位曲线与声波时差曲线能有效地反映地层的物性条件,主要表现为自然电位曲线的负偏移与相对较高的声波时差值,且高孔高渗层段的自然电位曲线与声波时差曲线组合特征对应情况较好。

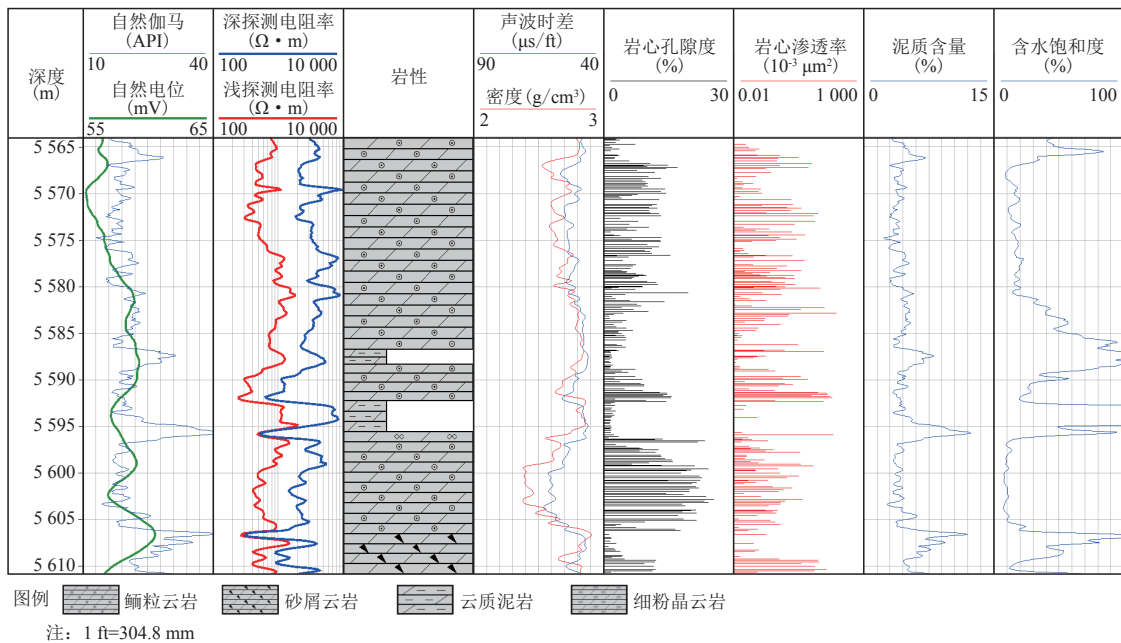


图3 普光地区X气田PX2-1井飞仙关组储层四性关系

Fig. 3 Four properties of Feixianguan Formation in Well-PX2-1 in X Gas Field of Puguang area

2.6 四性关系综合分析

根据上述的研究结论,结合PX2-1井储层段四性关系(图3)可知:1)储集岩层以鲕粒云岩为主,还包括部分薄层砂屑云岩,这2类岩石物性条件良好,尤其是鲕粒云岩。岩心含气性实验也显示这两种岩性的岩心侵入水中会有串珠状或针孔状气泡冒出;2)自然电位与自然伽马都处于低值,反映出储集岩泥质含量低、岩性纯的特征;3)声波时差曲线突然增大和密度曲线降低表明储集层的物性条件良好,结合双侧向曲线的正差异的特点,说明孔隙中含气性较好。

3 测井解释

飞仙关组储层以礁滩相鲕粒云岩与砂屑云岩为主,储集空间类型以次生孔隙为主,裂缝与溶洞基本不发育,是孔隙型储层,因此,裂缝与洞穴对储层的各个参数影响不大。

3.1 测井解释模型

3.1.1 判断孔隙类型

要进一步精确地进行测井解释,必须要对储层

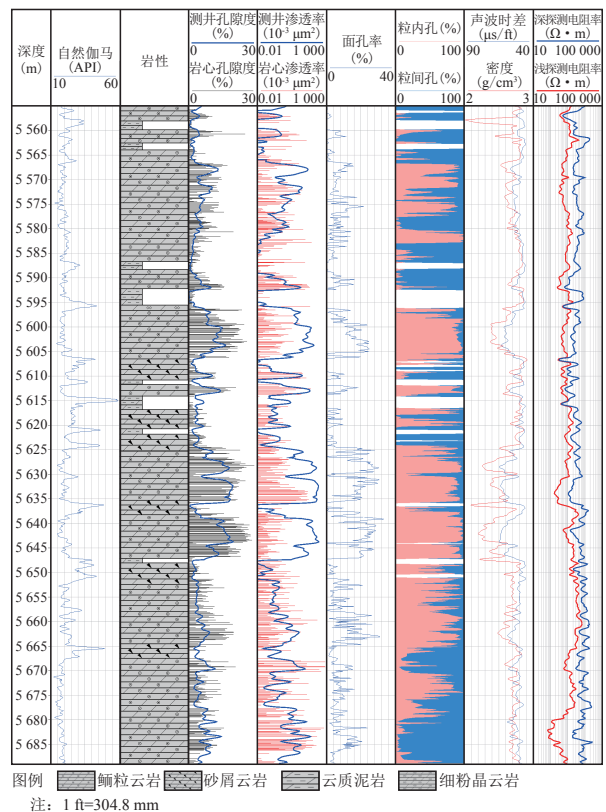


图4 普光地区X气田PX2-1井孔隙类型与测井曲线对应特征

Fig. 4 Correspondence between pore type and logging curve characteristics of Well-PX2-1 in X Gas Field of Puguang area

孔隙类型进行分类,再分别建立模型进行解释。根据PX2-1井的铸体薄片资料与测井曲线特征,建立对储层孔隙类型的分类标准。如图4所示,粒内孔与粒间孔的主要差异表现在密度曲线与声波时差曲线上,粒内孔的测井密度值相对较低时,密度曲线与声波时差曲线幅度差较大;粒间孔的测井密度值相对较高时,密度曲线与声波时差曲线幅度差较小。幅度差计算式为:

$$\Delta(DEN-AC) = \frac{(3-DEN)}{(3-2) \times 100} - \frac{(AC-40)}{(90-40) \times 100} \quad (1)$$

式中: $\Delta(DEN-AC)$ 为密度曲线与声波时差曲线幅度差; DEN 为密度曲线, g/cm^3 ; AC 为声波时差曲线, $\mu s/ft$ 。

利用幅度差与密度值的交会图(图5)进行分析,对粒间孔粒内孔进行判别与分类:

1) $\Delta R \leq 15$ 且 $\Delta R \geq 550.253$ 2-206.4DEN, 判定为粒间孔,即图5中黑框以内区域。

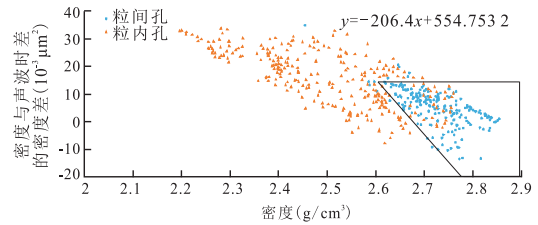


图5 幅度差与密度值交会图

Fig. 5 Cross plot of the difference in amplitude and DEN

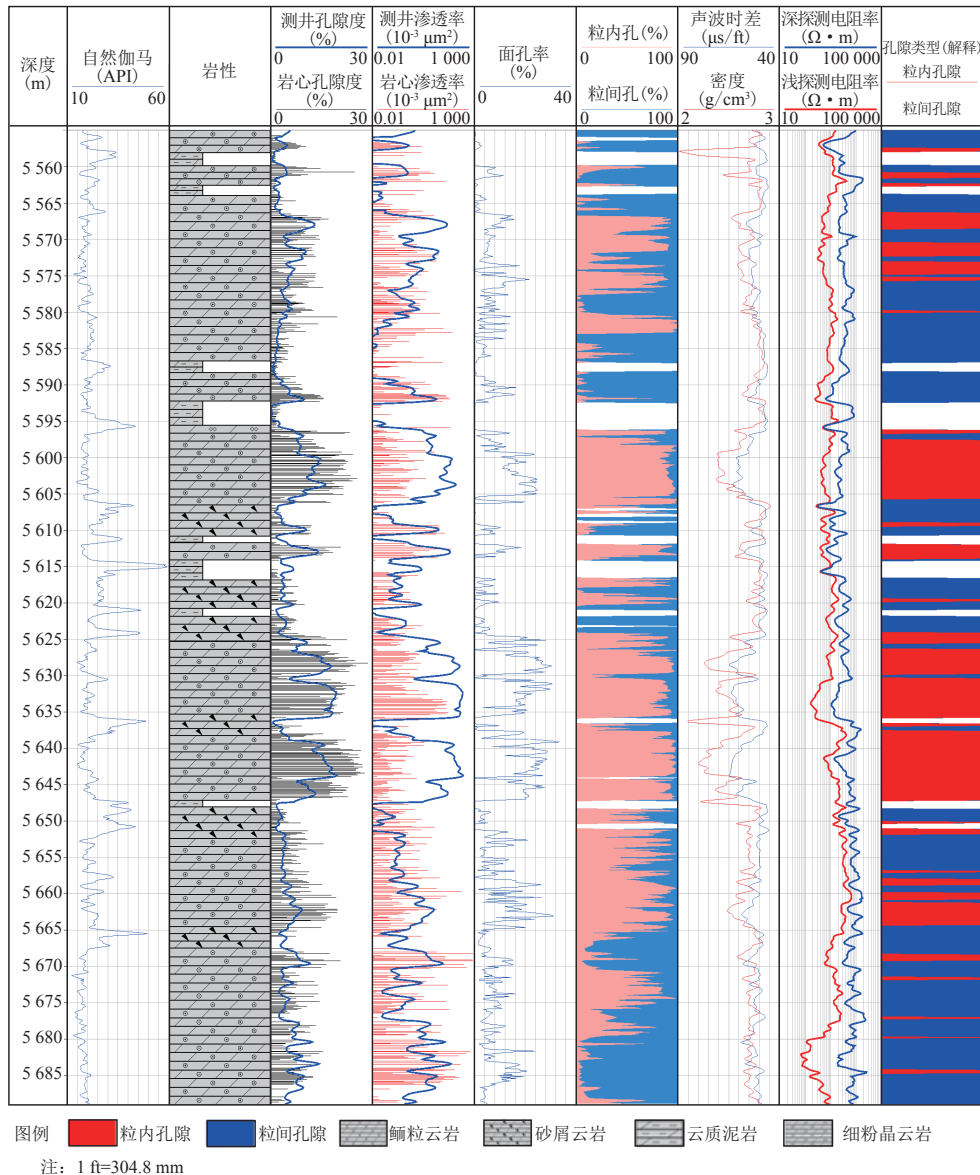


图6 普光地区X气田PX2-1井孔隙类型判定模型解释成果

Fig. 6 Interpretation results of pore type determination model for Well-PX2-1 in X Gas Field of Puguang area

2) 若 $15 < \Delta R < 550.253 \text{ 2} - 206.4 \text{ DEN}$, 判定为粒内孔, 即图5黑框之外的区域。

根据上述分类标准, 对PX2-1井全储层段进行处理, 拟合关系良好(图6)。

3.1.2 孔隙度模型

原测井孔隙度与渗透率解释与实际情况差异较大, 因此, 以PX2-1井作为模板, 利用新的孔隙度渗透率模型进行解释。根据孔隙类型的识别结果, 结合岩心孔隙度测试数据以及粒内孔、粒间孔对应声波时差与岩心孔隙度相关关系式(图7), 计算2种孔隙类型的孔隙度。

粒间孔孔隙度计算式为:

$$\varphi = (AC - 44.664) / 0.7517 \quad (2)$$

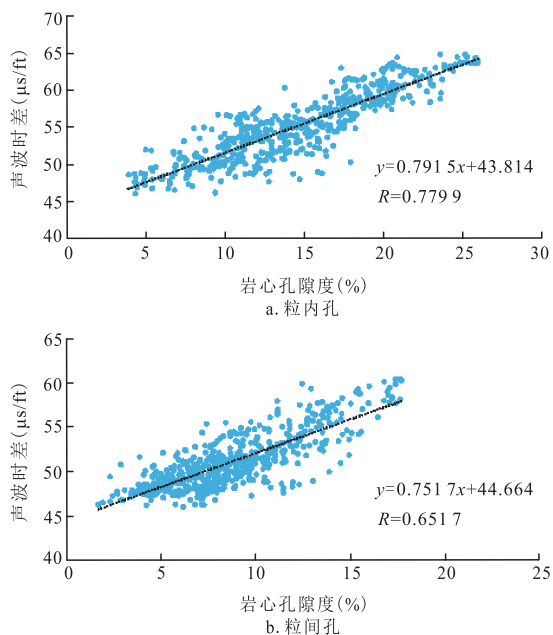
粒内孔孔隙度计算式为:

$$\varphi = (AC - 43.814) / 0.7915 \quad (3)$$

式(2)—(3)中: φ 为孔隙度, %; AC 为声波时差曲线, $\mu\text{s}/\text{ft}$ 。

3.1.3 渗透率

飞仙关组礁滩相储层为孔隙型储层, 裂缝对于渗透率的影响较小, 因此, 造成孔隙关系复杂的主要因素是孔隙结构。根据镜下薄片资料的孔隙类型识别结果, 将孔渗数据分为两类(图8): 一类是以粒间



注: 1 ft=304.8 mm

图7 不同类型孔隙度与声波时差交会图

Fig. 7 Cross plot of porosity acoustic transit time

溶孔为主的连通性良好的岩样, 另一类为粒内溶孔与铸模孔等连通性较差的岩样。根据不同孔隙类型的孔渗关系计算对应的渗透率。

粒间孔隙渗透率计算式为:

$$K = 0.0384e^{0.6522\varphi} \quad (4)$$

粒内孔隙渗透率计算式为:

$$K = 0.1287e^{0.2173\varphi} \quad (5)$$

式(4)—(5)中: K 为渗透率, $10^{-3} \mu\text{m}^2$ 。

3.2 新测井解释的对比与验证

利用以上模型对PX2-1井重新进行解释, 并与原测井解释结果与岩心孔隙度结果进行对比, 对比结果表明: 新的测井解释更加符合实际情况, 孔隙度和渗透率的相对误差降低(表1、表2)。图9为PX2-1井原测井解释与新测井解释对比图。

3.3 新测井解释模型的应用

利用新模型对PX4-1井储层段孔隙类型进行判

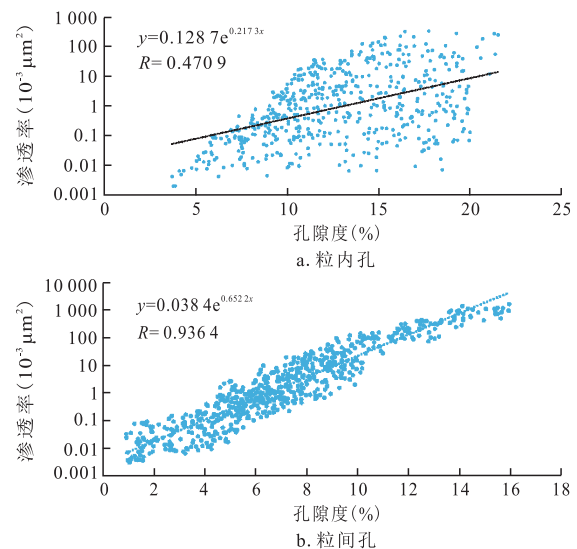
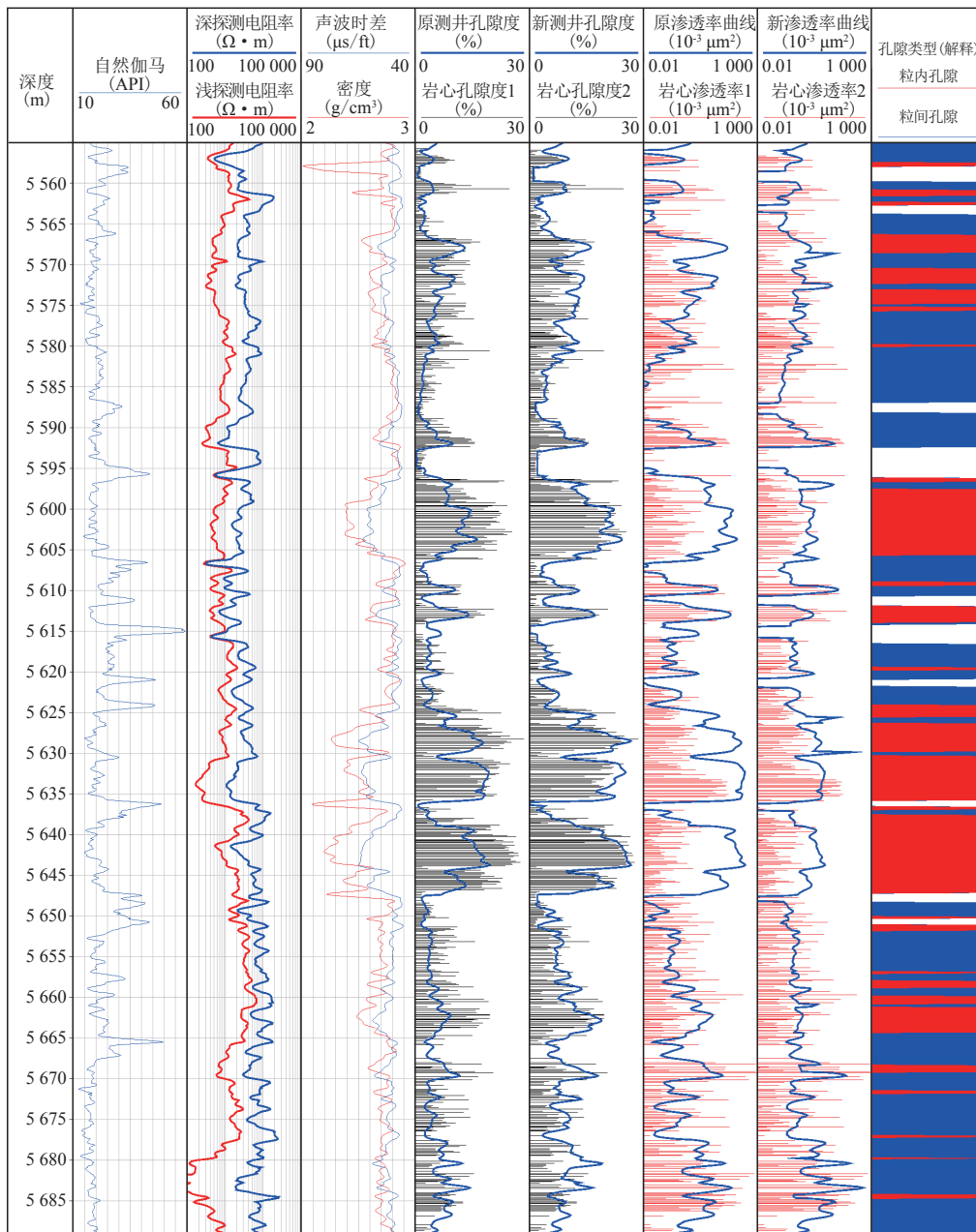


图8 粒间孔、粒内孔孔隙度渗透率交会图

Fig. 8 Cross plot of porosity and permeability

表1 原解释孔隙度与新解释孔隙度误差对比
Table 1 Comparison of new and old porosity errors

深度(m)	岩心孔隙度 (%)	原解释		新解释	
		孔隙度 (%)	相对误差 (%)	孔隙度 (%)	相对误差 (%)
5 555 ~ 5 600	6.788	4.152	38.833	7.804	14.968
5 600 ~ 5 645	13.132	9.207	29.889	13.404	2.071
5 645 ~ 5 680	8.461	5.571	34.157	9.592	13.367



图例 粒内孔隙 粒间孔隙
注: 1 ft=304.8 mm

图9 普光地区X气田PX2-1井原测井解释与新测井解释对比
Fig. 9 Comparison of new and old interpretation of Well-PX2-1 in X Gas Field of Puguang area

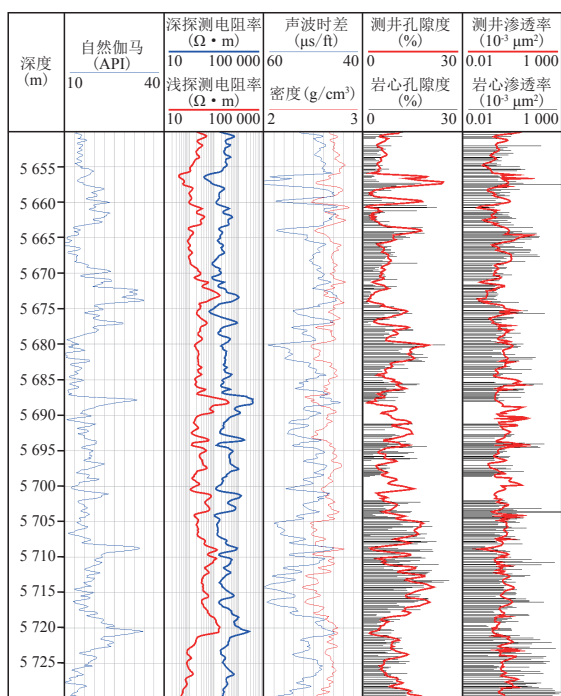
表2 原解释渗透率与新解释渗透率误差对比
Table 2 Comparison of new and old permeability errors

深度(m)	岩心渗透率 (10 ⁻³ μm ²)	原解释		新解释	
		渗透率 (10 ⁻³ μm ²)	相对误差 (%)	渗透率 (10 ⁻³ μm ²)	相对误差 (%)
5 555 ~ 5 600	2.947	2.682	8.992	1.343	54.428
5 600 ~ 5 645	2.956	50.935	1 623.106	3.171	7.273
5 645 ~ 5 680	29.537	4.572	84.521	6.623	77.577

别并进行测井解释,解释孔隙度与岩心分析数据的对应关系良好(图10),另外,通过PX3井产气剖面数据(表3)与新测井解释对比,高产量的储层段(5 336.9~5 343.3 m)对应新测井解释的高渗段。通过以上的分析可知,利用基于孔隙类型识别的测井解释方案,能准确、有效地对礁滩相碳酸盐岩储层参数进行测井解释。

表3 普光地区X气田PX3井产气剖面数据与孔渗关系
Table 3 Relation between gas production profile data and porosity permeability of Well-PX3 in X Gas Field of Puguang area

层号	深度 (m)	厚度 (m)	产气量 (10 ⁴ m ³ /d)	本次测井解释 孔隙度(%)	本次测井解释 渗透率(10 ⁻³ μm ²)	原测井解释 渗透率(10 ⁻³ μm ²)
1	5 258.0 ~ 5 277.7	19.7	7.61	5.42	1.230	1.117
2	5 336.9 ~ 5 343.3	6.4	14.30	6.41	15.250	0.714
3	5 375.8 ~ 5 389.5	13.7	8.15	17.42	0.145	25.310



注: 1 ft=304.8 mm

图10 普光地区X气田PX4-1井测井解释模型验证
Fig. 10 Verification of logging interpretation model of Well-PX4-1 in X Gas Field of Puguang area

4 结论

1) 普光构造飞仙关组储层为礁滩相孔隙型储层,不同岩性储层物性差异较大,其中,以鲕粒云岩最佳,砂屑云岩次之,且孔隙结构复杂多样,使得储层孔隙度和渗透率的关系杂乱,必须要对储层孔隙类型进行合理分类,分别求取物性参数。

2) 声波时差曲线与密度曲线对孔隙类型较为敏感,利用声波时差与密度测井定义幅度差,再用幅度差与密度交会图来建立孔隙类型判断模型,最后,

根据孔隙类型结果,分别建立储层参数解释模型。

3) 利用岩心资料、薄片资料、生产资料验证了具有孔隙类型识别能力的测井解释模型,为在礁滩相孔隙型碳酸盐岩储层进行精细测井解释提供了技术方案,并证明了此方法的有效性。

参考文献

- [1] 马永生,蔡勋育.四川盆地川东北区二叠系—三叠系天然气勘探成果与前景展望[J].石油与天然气地质,2006,27(6): 741-750.
MA Yongsheng, CAI Xunyu. Exploration achievements and prospects of the Permian Triassic natural gas in northeastern Sichuan basin[J]. Oil & Gas Geology, 2006, 27(6): 741-750.
- [2] 马永生,蔡勋育,李国雄.四川盆地普光大型气藏基本特征及成藏富集规律[J].地质学报,2005,79(6):858-865.
MA Yongsheng, CAI Xunyu, LI Guoxiong. Basic characteristics and concentration of Puguang gas field in the Sichuan basin[J]. Acta Geologica Sinica, 2005, 79(6): 858-865.
- [3] ZHOU J G, DENG H Y, YU Z, et al. The genesis and prediction of dolomite reservoir in reef-shoal of Changxing Formation-Feixianguan Formation in Sichuan Basin[J]. Journal of Petroleum Science and Engineering, 2019, 178: 324-335.
- [4] TAN X C, LIU H, LI L, et al. Primary intergranular pores in oolitic shoal reservoir of lower triassic feixianguan formation, Sichuan Basin, Southwest China: Fundamental for reservoir formation and retention diagenesis[J]. Journal of Earth Science, 2011, 22(1): 101-114.
- [5] MA Y S, CAI X Y, ZHAO P R. Characteristics and formation mechanism of Changxing Formation-Feixianguan Formation reef-shoal reservoirs in Yuanba Gasfield[J]. Petroleum Research, 2016, 1(2): 123-134.
- [6] CHEN P Y, TAN X C, YANG H T, et al. Characteristics and genesis of the Feixianguan Formation oolitic shoal reservoir, Puguang gas field, Sichuan Basin, China[J]. Frontiers of Earth Science, 2015, 9(1): 26-39.
- [7] 张博文.普光气田飞仙关组储层特征及其主控因素研究[D].成都:西南石油大学,2012.
ZHANG Bowen. Reservoir characteristics and the control

- factors of the Feixianguan formation in Puguang gas field[D]. Chengdu: Southwest Petroleum University, 2012.
- [8] 徐维胜,何川,秦关.普光气田碳酸盐岩储层测井评价方法[J].大庆石油学院学报,2011,35(5):6-10.
XU Weisheng, HE Chuan, QIN Guan. Well logging evaluation of carbonate reservoirs in Puguang gas field[J]. Journal of Daqing Petroleum Institute, 2011, 35(5): 6-10.
- [9] 强文明,谭海芳,秦昌伟,等.普光气田碳酸盐岩储层测井解释方法[J].内蒙古石油化工,2012,38(11):134-137.
QIANG Wenming, TAN Haifang, QIN Changwei, et al. Logging interpretation methods in Puguang gas carbonate reservoir[J]. Inner Mongolia Petrochemical Industry, 2012, 38(11): 134-137.
- [10] 李昌,潘立银,厚刚福,等.川东北LG地区碳酸盐岩沉积微相测井识别[J].国外测井技术,2012,33(5):29-32.
LI Chang, PAN Liyin, HOU Gangfu, et al. Logging identification of carbonate sedimentary microfacies in LG region of northeastern Sichuan[J]. World Well Logging Technology, 2012, 33(5): 29-32.
- [11] 刘宏,吴兴波,谭秀成,等.多旋回复杂碳酸盐岩储层渗透率测井评价[J].石油与天然气地质,2010,31(5):678-684.
LIU Hong, WU Xingbo, TAN Xiucheng, et al. Logging evaluation of permeability of multicyclic carbonate rock reservoirs in the middle Sichuan basin[J]. Oil & Gas Geology, 2010, 31(5): 678-684.
- [12] 张龙海,周灿灿,刘国强,等.孔隙结构对低孔低渗储集层电性及测井解释评价的影响[J].石油勘探与开发,2006,33(6):671-676.
ZHANG Longhai, ZHOU Cancan, LIU Guoqiang, et al. Influence of pore structures on electric properties and well logging evaluation in low porosity and permeability reservoirs [J]. Petroleum Exploration & Development, 2006, 33(6): 671-676.
- [13] 刘晓敏.基于常规测井资料的礁滩相储层储集类型分类[J].测井技术,2014,38(1):99-103.
LIU Xiaomin. Identification of reef flat carbonate reservoir with conventional log data[J]. Well Logging Technology, 2014, 38(1): 99-103.
- [14] 胡碟,贺洪举,朱占美,等.复杂礁滩气藏储层流体测井识别技术[J].天然气工业,2012,32(1):49-52.
HU Die, HE Hongju, ZHU Zhanmei, et al. Logging identification of reservoir fluids in complex reef-bank gas reservoirs[J]. Natural Gas Industry, 2012, 32(1): 49-52.
- [15] 刘仁静.大型礁滩型碳酸盐岩油藏开发技术策略研究[J].石油地质与工程,2019,33(4):47-49.
LIU Renjing. Development technology strategy of large reef-shoal carbonate oil reservoir[J]. Petroleum Geology and Engineering, 2019, 33(4): 47-49.
- [16] 张纪喜,陈岑,成群.碳酸盐岩储层微观非均质性分类评价——以普光气田飞仙关组储层为例[J].天然气勘探与开发,2016,39(4):5-7.
ZHANG Jixi, CHEN Cen, CHENG Qun. Evaluation on classification of microscopic heterogeneity in carbonate reservoirs: examples from Feixianguan formation in Puguang gasfield[J]. Natural Gas Exploration and Development, 2016, 39(4): 5-7.
- [17] 黄仁春,邢凤存,范小军,等.四川盆地元坝地区长兴组—飞仙关组高精度层序地层格架的建立及礁滩储集层预测[J].古地理学报,2019,21(2):369-378.
HUANG Renchun, XING Fengcun, FAN Xiaojun, et al. Establishment of high-precision sequence stratigraphic framework of the Changxing-Feixianguan formations and prediction of reef-shoal reservoirs in Yuanba area, Sichuan basin[J]. Journal of Palaeogeography (Chinese Edition), 2019, 21(2): 369-378.
- [18] 孙耀庭,谭海芳,于世建.普光气田储层特征及测井解释方法[J].石油天然气学报,2008,30(1):83-87.
SUN Yaoting, TAN Haifang, YU Shijian. Reservoir characteristics and logging interpreting method used in Puguang gas field[J]. Journal of Oil and Gas Technology, 2008, 30(1): 83-87.
- [19] 李力,孙耀庭,陈建.普光气田飞仙关组和长兴组测井解释方法[J].断块油气田,2011,18(4):508-511.
LI Li, SUN Yaoting, CHEN Jian. Well logging interpretation method for Feixianguan and Changxing formation in Puguang gas field[J]. Fault-Block Oil & Gas Field, 2011, 18(4): 508-511.
- [20] 司马立强,蒋国平,伍丽红.测井新技术在四川油气勘探开发中的应用[J].测井技术,2002,26(2):118-122.
SIMA Liqiang, JIANG Guoping, WU Lihong. Application of new logging technology in Sichuan's oil&gas exploration and development[J]. Well Logging Technology, 2002, 36(2): 118-122.
- [21] GU Y F, JIANG Y Q, FU Y H, et al. Hydrocarbon accumulation and main controlling factors of reef-shoal gas reservoirs in Changxing Formation in the complex tectonic area, Eastern Sichuan Basin[J]. Arabian Journal of Geosciences, 2019, 12(6): 148-163.
- [22] 任杰,田永敏,王军,等.普光气田礁滩相储层特征及分类评价[J].断块油气田,2020,27(5):579-584.
REN Jie, TIAN Yongmin, WANG Jun, et al. The characteristics and classification evaluation of reef-shoal facies reservoir[J]. Fault-Block Oil & Gas Field, 2020, 27(5): 579-584.

(编辑 余聪)