

文章编号:0253-9985(2011)04-0593-08

海拉尔盆地布达特潜山裂缝性油藏油水层识别方法

张津海¹,姜洪福²,张迪楠³,李建民²,李全²

(1. 西北大学 地质系,陕西 西安 710069; 2. 中国石油 大庆油田 海拉尔石油勘探开发指挥部,黑龙江 大庆 021000; 3. 中国石油 大庆油田 勘探开发研究院,黑龙江 大庆 021000)

摘要:布达特潜山油藏属于基岩浅变质裂缝性油藏,具有双重孔隙介质的储集空间类型,含油饱和度由基质孔隙含油饱和度和裂缝孔隙含油饱和度两部分组成。通过油气成藏过程的毛细管压力平衡理论,建立油藏高度与基质孔隙度函数关系,求取基质孔隙含油饱和度;并利用裂缝含油饱和度测定的经验参数,计算出潜山油藏双重孔隙介质储层的总含油饱和度;通过对工区不同断块生产井试油、试采及初期产液性质与相应射孔层段的测井响应特征统计与对比分析,依据测井曲线计算储层基质孔隙度、裂缝孔隙度以及储层的总含油饱和度,并分别与电阻率曲线参数进行交会,建立不同断块油水层解释图版,并划定油层、水层、油水同层的解释标准;将工区各井油水层解释结果应用于油藏生产动态和油水界面系统分析,将布达特潜山油藏划分为四个油水系统,每个油水系统内部均表现出具有统一的油水界面,与油藏地质特点及储集层类型具有很好的一致性,应用效果好,对潜山油藏开发和方案调整具有指导作用。

关键词:油水层识别;裂缝性油藏;潜山油藏;布达特潜山;海拉尔盆地

中图分类号:TE122.1

文献标识码:A

Identification of oil and water layers in Budate fractured buried hill reservoir, the Hailar Basin

Zhang Jinhai¹, Jiang Hongfu², Zhang Dinan³, Li Jianmin² and Li Quan²

(1. Department of Geology, Northwest University, Xi'an, Shaanxi 710069, China;

2. CNPC Hailar Exploration and Development Administration, Daqing Oilfield Company, Daqing, Heilongjiang 021000, China;

3. CNPC Exploration and Development Institute of Daqing Oilfield Company, Daqing, Heilongjiang 021000, China;)

Abstract: Budate buried hill reservoir is a epimetamorphosed fractured basement reservoir with dual porosity. Both matrix porosity and fracture porosity contribute to its oil saturation. The theory of capillary pressure balance in the process of hydrocarbon accumulation is used to establish the functional relationship between oil column height and matrix porosity for calculating oil saturation in matrix porosity. The total oil saturation of buried hill reservoir with dual porosity can be calculated by using the empirical parameters of fracture oil saturation. Formation test data, production test data and initial fluid production are correlated with the logging responses of the corresponding perforated intervals in different fault blocks in the study area. The correlated logging curves are then used to calculate matrix porosity, fracture porosity and total oil saturation of the reservoir. The calculation results are separately crossplotted with resistivity curve parameters to generate chart boards for interpretation of oil, water and oil/water layers in different fault blocks. The interpretation results of oil and water layers in each wells are used to systematically analyze production performance and oil/water contact. Budate buried hill reservoir is divided into four oil/water systems each with a uniform oil/water contact. They are in good conformance with the geological characteristics and reservoir types. These methods can guide planning and program adjustment of buried hill reservoir development.

Key words: oil/water layer identification, fractured reservoir, buried hill reservoir, Budate buried hill, Hailar Basin

布达特潜山油藏位于海拉尔盆地贝尔凹陷贝西洼槽带和贝中洼槽带之间的中央隆起苏德尔特构造

带上,近北东向展布,区内断层十分发育。以北西—南东向正断层为主,并将整个构造带分割成若干个断

收稿日期:2011-05-07。

第一作者简介:张津海(1968—),男,博士研究生,石油地质。

块,控制着各断块的油水分布。布达特潜山油藏属于中生界三叠系基岩浅变质裂缝性油藏(图 1)。

1 储层特征

布达特潜山油藏储集层沉积体系为滨浅湖-半深湖沉积环境下的扇三角洲相沉积,岩石类型十分复杂,具有典型的低成分成熟度和结构成熟度特征。岩性组合特征为具浅变质特征的灰黑色泥岩、粉砂质泥岩与灰色泥质粉砂岩、粉砂岩,灰、灰白砂质砾岩呈不等厚互层,局部地区出露火山岩。主要储集空间以基质孔隙和裂缝及与裂缝有关的次生孔(洞)为主,并构成孔(洞)缝储渗系统

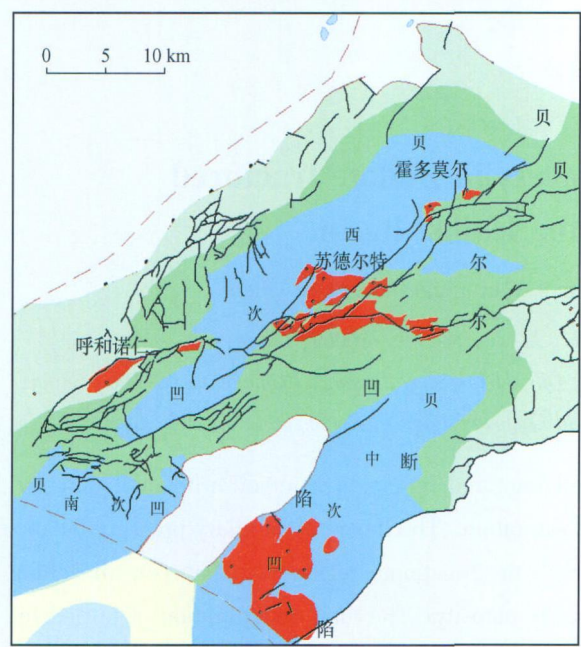


图 1 海拉尔盆地布达特潜山油田构造位置
Fig. 1 Structure location of Budate buried hill oilfield in Halar Basin

(图 2)。裂缝发育不均,主要受岩性、埋深等多种地质因素影响。不同层段裂缝发育密度、开度及组系差异较大,其中以中、小裂缝为主,分布区间在 0.05 ~ 1.5 mm,延伸长度 2 ~ 80 cm 不等;裂缝产状以中高角度为主,裂缝倾角为 30° ~ 90°;储层物性参数变化较大,孔隙度分布在 0.2% ~ 11.2% 之间,平均孔隙度为 4.66%。渗透率分布在 $0.01 \times 10^{-3} \sim 1\,677 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$,平均渗透率为 $0.3 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ 。

2 油水层解释与识别

2.1 含油饱和度定量分析

布达特潜山为双重孔隙介质储层,含油饱和度由基质孔隙含油饱和度和裂缝孔隙含油饱和度两部分组成。传统的阿尔奇方程无法准确计算出该类储层的饱和度参数。因此,需要分别求取基质孔隙含油饱和度和裂缝孔隙含油饱和度。

2.1.1 基质含油饱和度分析

众所周知,油气藏形成过程是油气运移的驱动力不断克服毛细压力而排驱水达到平衡的过程,油气水分布的现状是驱动力和毛细压力相对平衡的结果,其含水饱和度与深度的关系具有毛细压力曲线的分布特征,油藏内不同位置处的含水饱和度受油藏高度(自由水界面以上的高度)、孔隙结构以及油水密度差(流体性质)等因素控制。毛细压力与油水重力差为:

$$p_{cr} = \frac{(\rho_w - \rho_o)gH}{1\,000}$$

(1)

式中: p_{cr} 为地下毛细压力,MPa; ρ_w, ρ_o 分别为水、油气质量密度, g/cm^3 ; g 为重力加速度; H 为油藏

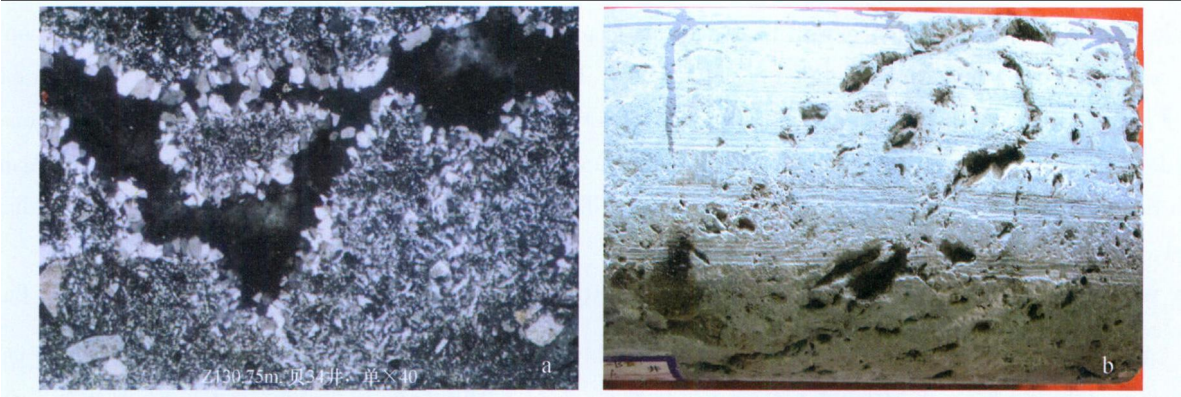


图 2 典型孔、洞、缝薄片与岩心照片
Fig. 2 Thin section and core photographs of typical pore, vug and fracture

高度, m。

如果能直接测得地层条件下的毛管压力曲线,即可求得油藏高度 H 处的饱和度。但是实验室条件下测得的毛管压力曲线,所用流体的界面性质与地下不同,故要进行换算:

$$p_{cr} = \frac{\sigma_r \cos \theta_r}{\sigma_1 \cos \theta_1} p_{cl}$$

(2)

式中: p_{cl} 为实验室毛管压力,MPa; σ_r 和 σ_1 分别为地下和实验室表面张力,mN/m; θ_r, θ_1 分别为地下和实验室接触角,(°)。将式(1)和式(2)结合有:

$$p_{cl} = \frac{\sigma_1 \cos \theta_1}{\sigma_r \cos \theta_r} \frac{(\rho_w - \rho_o) g H}{1\,000}$$

(3)

从式(3)知,只要知道实验室和地层条件下表面张力、接触角和油水密度,就可根据毛管压力曲线求得油藏高度 H 处的含水饱和度。从而利用贝16-B2等12口井布达特组78块岩心样品数据,在室内通过压汞法毛管压力曲线测定的结果经校正处理后,建立基质孔隙含油饱和度与油藏高度关系图(图3)。计算公式为:

$$S_{ob} = (0.006\Phi_b \times 4 - 0.153\Phi_b \times 3 + 1.296\Phi_b \times 2 - 3.533\Phi_b + 4.869)H \times 0.45$$

(4)

式中: Φ_b 为基质孔隙度,%; S_{ob} 为基质含油饱和度,%。通过图3及公式(4)可以看出,基质含油饱和度是基质孔隙度和油藏高度的函数。同时,基质孔隙度与含油饱和度有明显的相互关系(图4)。

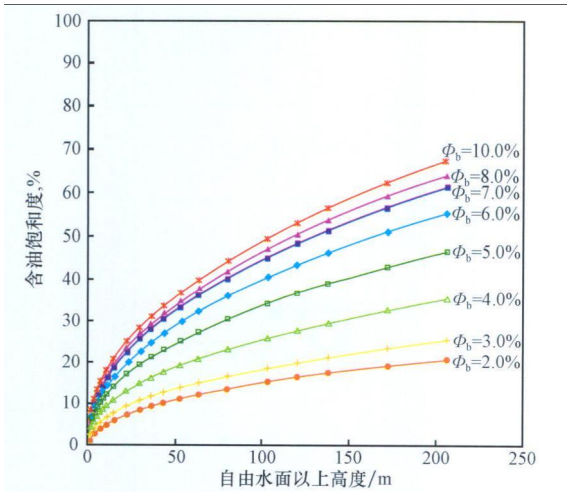


图3 基质孔隙含油饱和度与油藏高度的关系
Fig. 3 Relationship between oil saturation in matrix porosity and oil column height

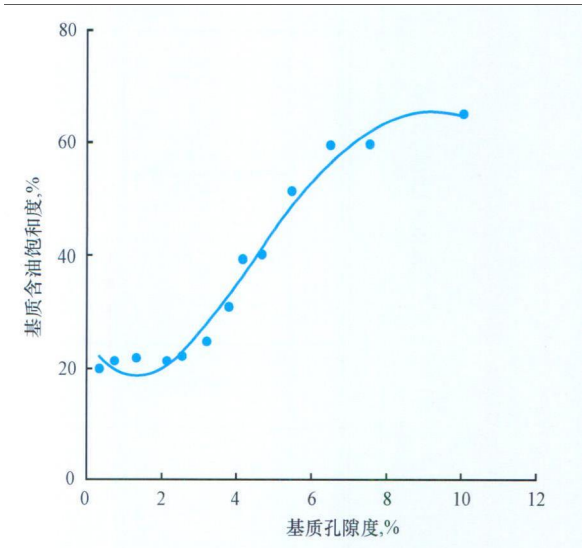


图4 基质孔隙度与含油饱和度关系

Fig. 4 Relationship between matrix porosity and oil saturation

2.1.2 裂缝含油饱和度

根据前人实验研究和经验表明,当裂缝开度为10 μm时,含油饱和度趋于100%。通过对工区岩性、测井及室内样品分析结果的综合研究,布达特潜山裂缝比较发育,而且裂缝中有油气显示强。因此,对裂缝比较发育的一类储层,裂缝含油饱和度确定为 $S_{of} = 90\%$;对于裂缝发育程度一般的二类储层,裂缝含油饱和度确定为 $S_{of} = 80\%$ 。

2.1.3 总含油饱和度

总含油饱和度(S_o)为基质含油饱和度和裂缝含油饱和度的加权平均,表达式如下:

$$S_o = \frac{\Phi_b S_{ob} + \Phi_f S_{of}}{\Phi_b \Phi_f}$$

(5)

式中: Φ_b 为基质孔隙度,%; Φ_f 为裂缝孔隙度,%。利用上式并结合测井裂缝储层评价结果,对工区完钻井布达特潜山储层的含油饱和度进行计算及油水层评价。

2.2 油水层解释图版及标准

通过对工区不同断块生产井试油、试采及初期产液性质与相应射孔层段的测井响应特征统计对比分析,依据测井曲线计算储层基质孔隙度、裂缝孔隙度以及上述方法确定的含油饱和度,并分别与电阻率曲线参数进行交会,建立不同断块油水层解释图版,划定油层、水层、油水同层的解释标准(图5—图7)。

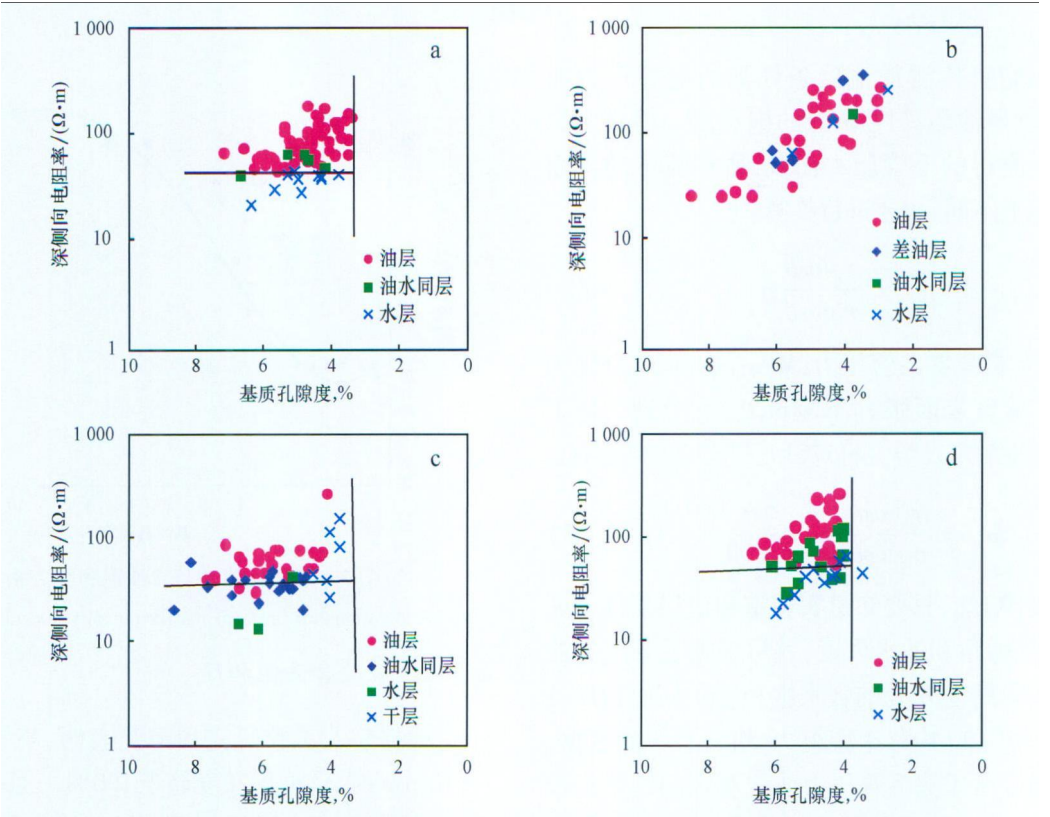


图 5 不同断块油水层基质孔隙度与深侧向电阻率交会图

Fig. 5 Cross-plot of matrix porosity and deep lateral resistivity of oil and water layers in different fault blocks

a. 贝 14 区块; b. 贝 16 区块; c. 贝 28 区块; d. 贝 38 区块

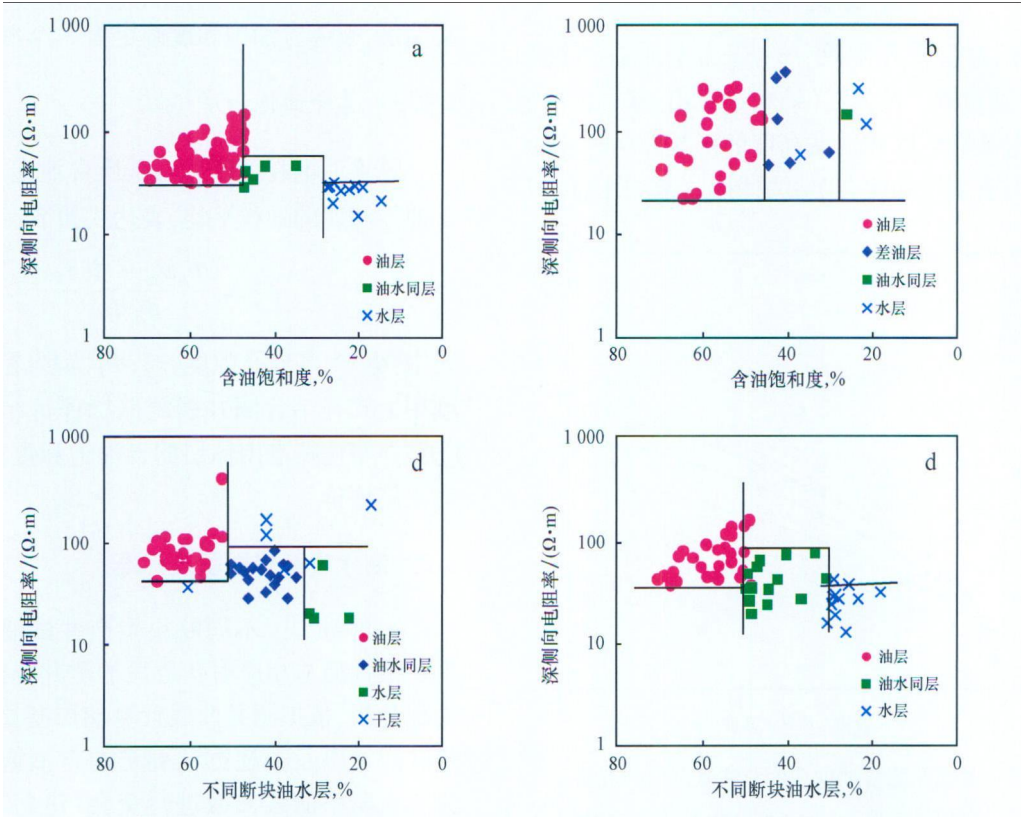


图 6 不同断块油水层裂缝孔隙度与深侧向电阻率交会图

Fig. 6 Cross-plot of fissure porosity and deep lateral resistivity of oil and water layers in different fault blocks

a. 贝 14 区块; b. 贝 16 区块; c. 贝 28 区块; d. 贝 38 区块

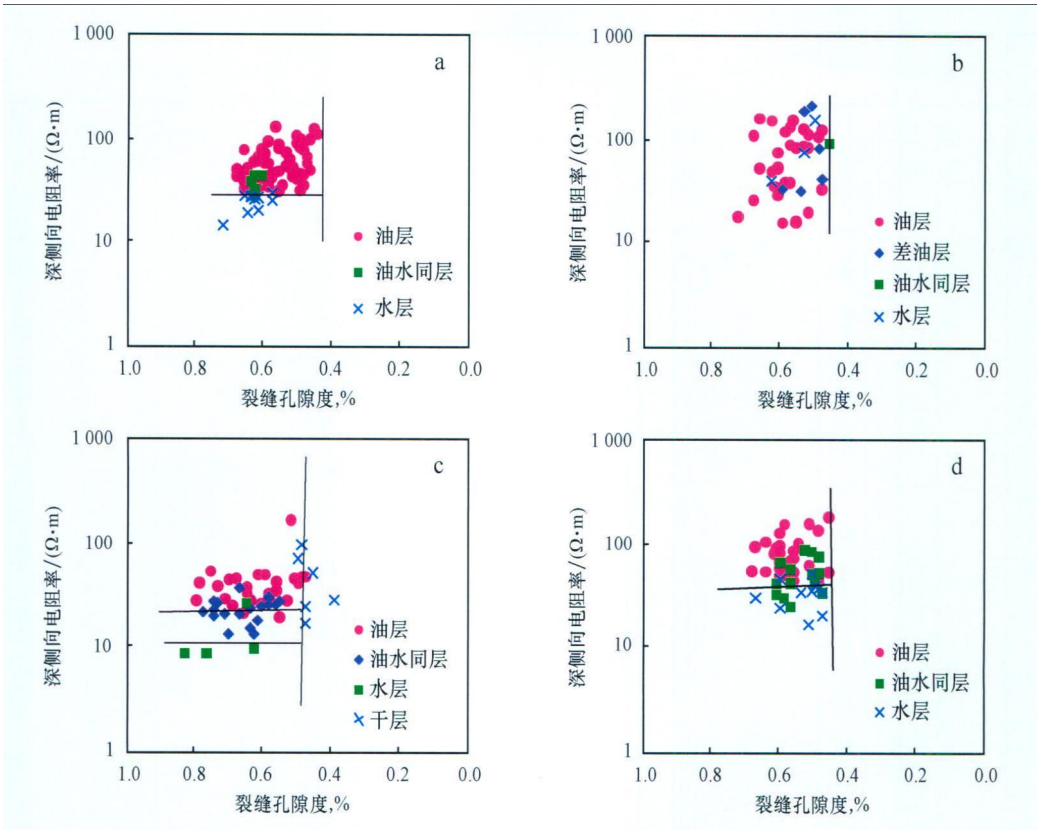


图 7 不同断块油水层含油饱和度与深侧向电阻率交会图

Fig. 7 Cross-plot of oil saturation and deep lateral resistivity of oil and water layers in different fault blocks

a. 贝 14 区块; b. 贝 16 区块; c. 贝 28 区块; d. 贝 38 区块

2.3 油水层解释精度分析

2.3.1 生产动态验证

利用上述解释标准对工区 255 口井进行了油水层识别解释,并将解释结果与试油、试采等生产动态信息进行统计对比分析,油层解释符合率达 93%,油水同层解释符合率达 89%,水层解释符合

率达 95%(表 1)。如贝 28-B59-60 井共解释油层 3 层/77.3 m,差油层 1 层/48.6 m。油层的基质孔隙度为 6.1%,裂缝孔隙度为 0.62%,裂缝渗透率 $6.33 \times 10^{-3} \mu\text{m}$,含油饱和度 59.4%;差油层的基质孔隙度为 5.4%,裂缝孔隙度为 0.53%,裂缝渗透率 $0.89 \times 10^{-3} \mu\text{m}$,含油饱和度 38.2%(表 1;图 8)。该井射孔井段 1 877.0~1 980.0 m,日产油 19.7 t、日产水 1.2 m^3 ,与测井解释结论一致。由此看出,该方

表 1 贝 28-B59-60 井解释成果

Table 1 Interpretation results of Well Bei 28-B59-60

序号	井深/ m	厚度/ m	CR/ API	LLD/ (Ω·m)	LLS/ (Ω·m)	AC/ (μs·ft ⁻¹)	CNL, %	DEN/ (g·cm ⁻³)	泥质 含量, %	基质孔 隙度, %	裂缝孔 隙度, %	总孔 隙度, %	基质渗 透率/ (10 ⁻³ μm ²)	裂缝渗 透率/ (10 ⁻³ μm ²)	含油饱 和度, %	储层 划分	解释 结论
1	1876.5~1901.2	21.5	58	27.0	27.3	66.4	19.8	2.67	12.2	5.9	0.70	6.6	0.06	15.22	64.8	一类裂缝层	油层
2	1901.2~1929.2	28.0	53	43.1	43.2	66.3	17.9	2.67	9.3	5.9	0.63	6.5	0.06	2.65	60.2	一类裂缝层	油层
3	1929.2~1939.0	9.8	88	39.7	40.2	65.8	20.5	2.71	44.1	5.7	0.37	5.7	0.06	0.08	50.3	干层	干层
4	1939.0~1966.8	27.8	70	40.6	39.8	68.0	22.9	2.68	23.3	6.4	0.54	6.9	0.07	1.12	53.2	二类裂缝层	油层
5	1966.8~2015.7	48.6	68	51.3	51.6	64.5	21.4	2.68	22.1	5.4	0.53	5.9	0.06	0.89	38.2	二类裂缝层	油层
6	2015.7~2092.7	77.0	84	52.5	52.6	63.3	21.1	2.68	41.5	5.0	0.39	4.9	0.06	0.12	25.3	干层	干层
7	2092.7~2140.3	47.6	53	125.0	125.4	61.4	16.6	2.70	8.7	4.5	0.40	4.9	0.05	0.02	6.8	干层	干层
8	2140.3~5156.8	16.5	68	290.0	313.5	58.2	15.1	2.73	21.5	3.6	0.29	3.2	0.04	0.01	4.9	干层	干层
9	2156.8~2189.6	32.8	56	156.8	159.5	58.4	16.1	2.72	10.9	3.7	0.38	4.1	0.04	0.01	5.1	干层	干层
10	2189.6~2239.0	49.4	64	144.1	146.9	59.2	16.1	2.72	17.8	3.9	0.39	4.3	0.05	0.02	5.9	干层	干层

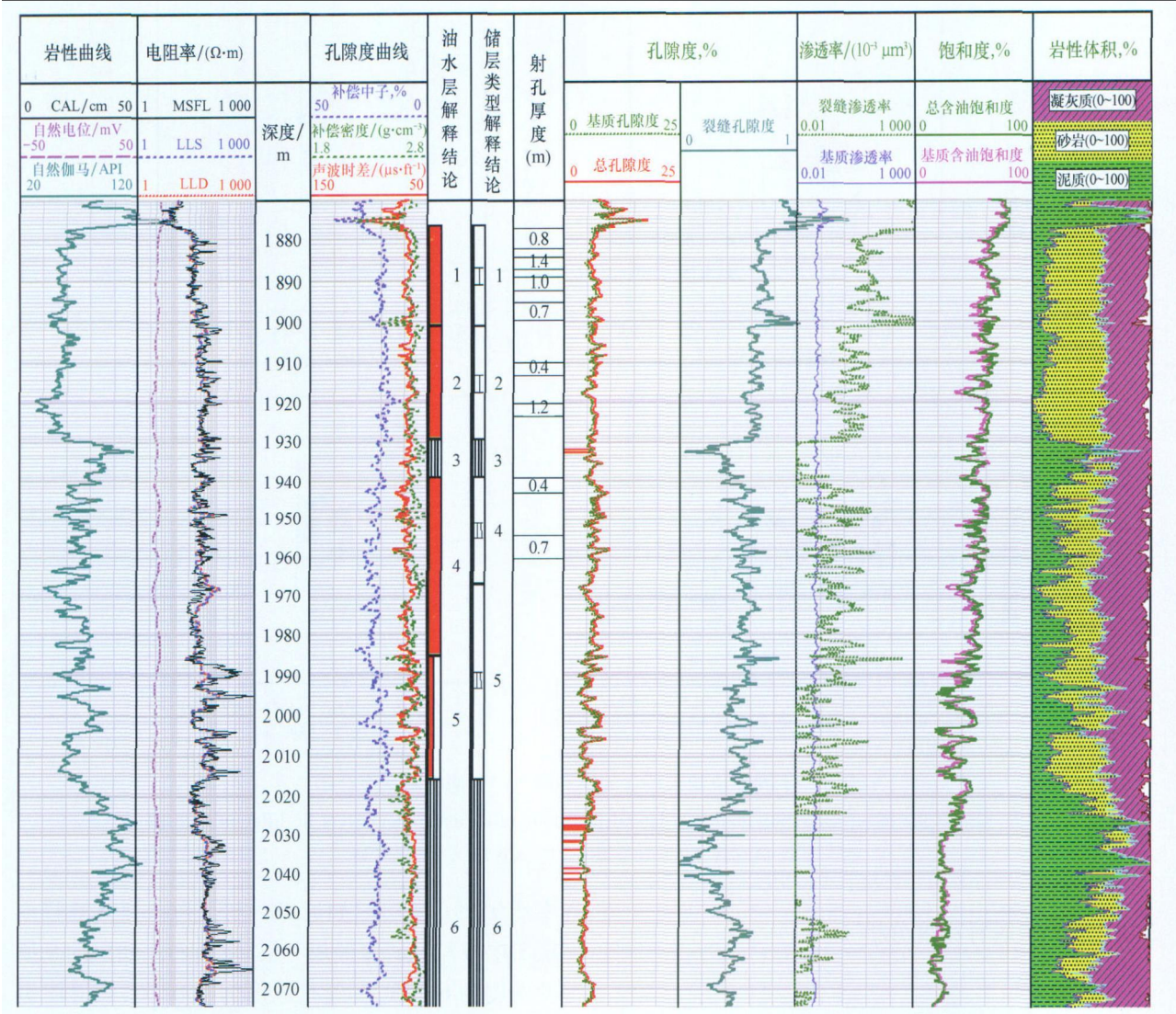


图 8 贝 28 - B59 - 60 井解释成果
Fig. 8 Interpretation results of Well Bei 28-B59-60

法的测井解释精度完全能够满足生产应用需求。

2. 3. 2 油水界面分析

将工区各井油水层解释结果用于油藏油水系统及油水界面分析。布达特潜山油藏可以划分四个油水系统,每个油水系统内部均表现出具有统一的油水界面(图 9),这一结论与本油藏地质特点及储集层类型具有很好的一致性,说明单井油水层解释结果符合油藏地下实际情况。

3 结论

1) 布达特潜山油藏双重孔隙介质的储集空

间类型,通过油气成藏过程的毛细管压力平衡理论及裂缝含油饱和度测定的经验参数,分别确定了基质孔隙含油饱和度和裂缝孔隙含油饱和度,并在此基础上,计算出了潜山油藏双重孔隙介质储层的总含油饱和度。

2) 采用基质孔隙度和裂缝孔隙度以及含油饱和度分别与相应的电性参数进行交会,建立了不同断块油水层解释图版及标准,比较好的解决了常规方法油水层解释精度低、生产应用效果差的难题。

3) 通过生产动态验证及油水系统综合分析,解释精度高,应用效果好,能够比较好的满足生产需求。

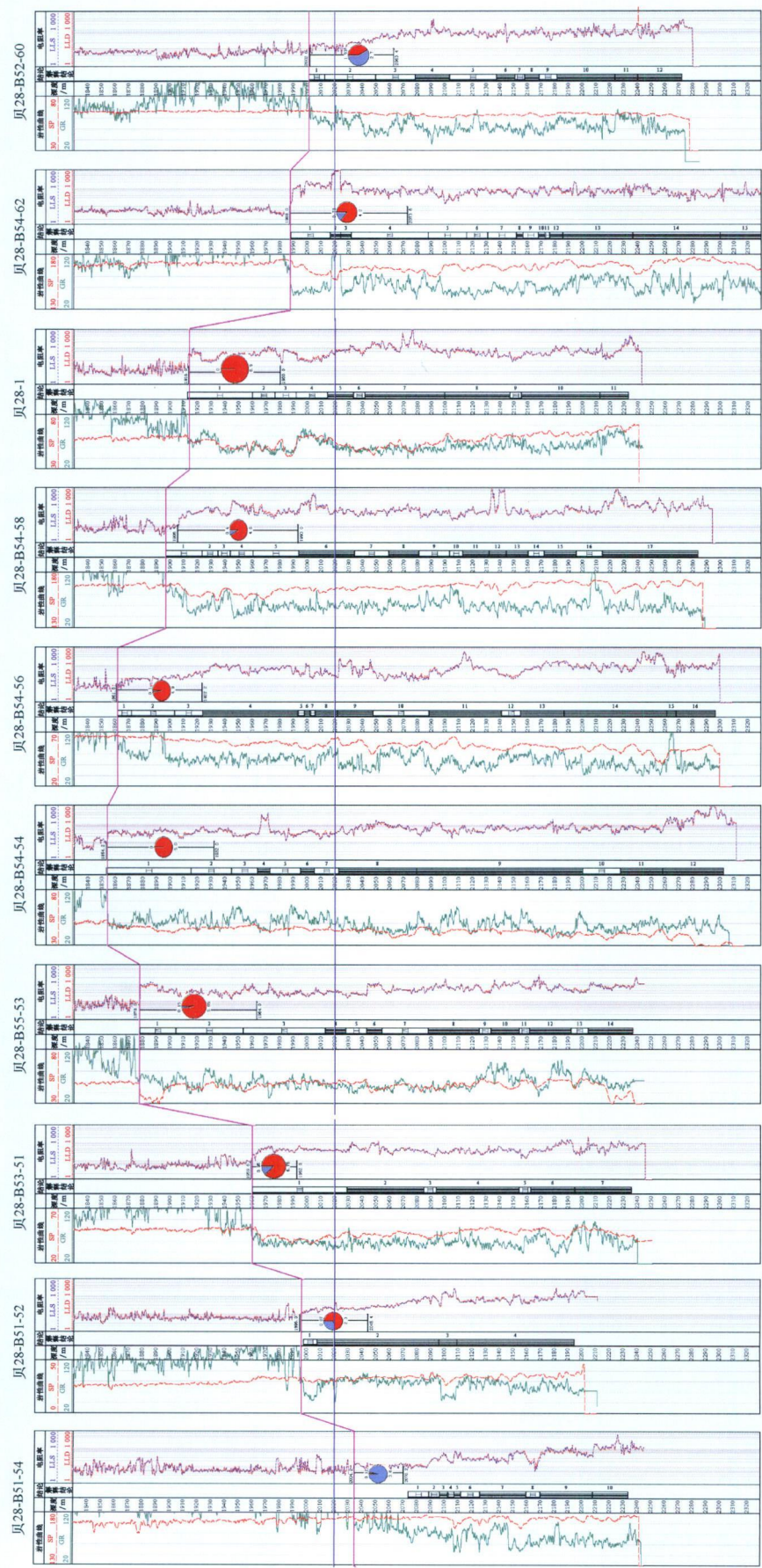


图9 油水界面分布剖面
Fig.9 Profile of oil-water contact
SP为自然电位mV; GR为自然伽马API; LLS为浅侧向电阻率Ω·m; LLD为深侧向电阻率Ω·m

参考文献

- [1] 张岚, 霍春亮, 赵春明, 等. 渤海湾盆地锦州南油田太古界变质岩潜山储层裂缝三维地质建模[J]. 油气地质与采收率, 2011, 18(2): 12-15.
Zhang Lan, Huo Chunliang, Zhao Chumming, et al. Geologic modeling of Jinzhounan Neo-Archean metamorphic buried hill fracture reservoir[J]. Petroleum Geology and Recovery Efficiency, 2011, 18(2): 12-15.
- [2] 邱隆伟, 符晶, 杨勇强, 等. 渤海湾盆地东营凹陷博东潜山周缘地区沙河街组等时地层对比[J]. 石油与天然气地质, 2010, 31(5): 552-560.
Qiu Longwei, Fu Jing, Yang Yongqiang, et al. An isochronous stratigraphic correlation of the Shahejie Formation in the periphery of the Bodong buried hill in the Dongying Sag, the Bohai Bay Basin[J]. Oil & Gas Geology, 2010, 31(5): 552-560.
- [3] 赵良金, 黄新文, 王军. 文东油田沙河街组三段中亚段油藏裂缝发育规律及其对注水开发的影响[J]. 石油与天然气地质, 2009, 30(1): 102-107.
Zhao Liangjin, Huang Xinwen, Wang Jun. Pattern of fracture occurrence and its influence on waterflooding in the Es reservoirs of Wendong oilfield. [J]. Oil & Gas Geology, 2009, 30(1): 102-107.
- [4] 刘乐, 杨明慧, 李春霞, 等. 辽西低凸起变质岩潜山裂缝储层及成藏条件[J]. 石油与天然气地质, 2009, 30(2): 188-194.
Liu Le, Yang Minghui, Li Chunxia, et al. Fractured reservoirs in metamorphic buried hills in the Liaoxi low uplift and their hydrocarbon accumulation conditions[J]. Oil & Gas Geology, 2009, 30(2): 188-194.
- [5] 吕丁友, 杨明慧, 周心怀, 等. 辽东湾坳陷辽西低凸起潜山构造特征与油气聚集[J]. 石油与天然气地质, 2009, 30(4): 490-496.
Lü Dingyou, Yang Minghui, Zhou Xinhui, et al. Structural characteristics and hydrocarbon accumulation in the buried hills of the Liaoxi low salient, the Liaodong Bay Depression[J]. Oil & Gas Geology, 2009, 30(4): 490-496.
- [6] 尚明, 付红军, 樊自立. 海拉尔盆地苏德尔特油田布达特潜山油藏成藏规律[J]. 科学技术与工程, 2011, 11(14): 3778-3181.
Shi Shangming, Fu Hongjun, Fan Zili. The accumulation rules of Budate Buried hill hydrocarbon sudeerte Oilfield in Hailar Basin[J]. Science Technology and Engineering, 2011, 11(14): 3178-3181.
- [7] 付红军. 海拉尔盆地苏德尔特油田布达特潜山油藏储集层特征[J]. 科学技术与工程, 2011, 11(7): 1429-1432.
Fu Hongjun. The reservoir characteristic of Budate buried hill hydrocarbon reservoir of sudeerte Oilfield in Hailar Basin[J]. Science Technology and Engineering, 2011, 11(7): 1429-1432.
- [8] 王化爱, 钟建华, 陈巍, 等. 海拉尔盆地苏德尔特构造带布达特群潜山油气成藏特征[J]. 油气地质与采收率, 2009, 16(2): 33-35.
Wang Huaai, Zhong Jianhua, Chen Wei, et al. Hydrocarbon accumulation characteristics of Budate Group buried hill reservoirs in Sudeerte Tectonic Zone, Hailaer Basin[J]. Petroleum Geology and Recovery Efficiency, 2009, 16(2): 33-35.
- [9] 刘菊, 林承焰, 任丽华. 苏德尔特构造带三叠系布达特群潜山油藏特征[J]. 断块油气田, 2006, 13(3): 18-20.
Liu Ju, Lin Chengyan, Ren Lihua. Study on characteristics of buried hill oil reservoir of budate Group in Sudeerte tectonic belt of Hailar Basin[J]. Fault-block oil & gas field, 2006, 13(3): 18-20.
- [10] 徐振中, 姚军, 王夕宾, 等. 海拉尔盆地苏德尔特油田布达特群储层裂缝的综合评价[J]. 石油天然气学报, 2008, 30(3): 15-19.
Xü Zhenzhong, Yao Jun, Wang Xibin, et al. Comprehensive evaluation of fractures in Budate Group reservoirs of Sudeerte Oilfield in Haila er Basin[J]. Journal of Oil and Gas Technology, 2008, 30(3): 15-19.
- [11] 闫伟林, 崔宝文, 殷树军. 苏德尔特油田布达特群潜山油藏裂缝储层测井评价[J]. 油气地质与采收率, 2007, 14(5): 26-30.
Yan Weilin, Cui Baowen, Yin Shujun. Well logging evaluation on fractured reservoirs of buried hill oil reservoirs in Budate Group of Sudeerte Oilfield[J]. Petroleum Geology and Recovery Efficiency, 2007, 14(5): 26-30.
- [12] 任丽华, 林承焰, 刘菊, 等. 海拉尔盆地苏德尔特构造带布达特群碎屑岩潜山油藏类型划分[J]. 中国石油大学学报, 2007, 31(2): 9-12.
Ren Lihua, Lin Chengyan, Liu Ju, et al. Classification of reservoir types of Budate group in clastic buried hills of Sudeerte structural zone, Hailaer Basin[J]. Journal of China University of Petroleum, 2007, 31(2): 9-12.
- [13] 沈万杰, 苏惠, 巩磊, 等. 东濮凹陷三叠系砂岩潜山油气藏裂缝特征[J]. 断块油气田, 2009, 16(4): 19-21.
Shen Wanjie, Su Hui, Gong Lei, et al. Fracture characteristics of buried-hill reservoirs of Triassic sandstone in the north of Dongpu Depression[J]. Fault-block oil & gas field, 2009, 16(4): 19-21.
- [14] 谢风猛. 东营凹陷平方王—平南潜山油藏裂缝性储层描述[J]. 油气地质与采收率, 2010, 17(3): 42-44.
Xie Fengmeng. The description of buried hill fractured—reservoir in Pingfangwang—Pingnan west of Dongying depression [J]. Petroleum Geology and Recovery Efficiency, 2010, 17(3): 42-44.
- [15] 崔海峰, 张年春, 郑多明, 等. 塔里木盆地牙哈断裂构造带寒武系白云岩潜山储层预测[J]. 石油与天然气地质, 2009, 30(1): 116-121.
Cui Haifeng, Zhang Nianchun, Zheng Duoming, et al. Prediction of dolomite reservoirs for the Cambrian buried hills in the Yaha fault structural belt, the Tarim Basin[J]. Oil & Gas Geology, 2009, 30(1): 116-121.

(编辑 张亚雄)