

文章编号: 1001-1749(2024)01-0026-09

渤南洼陷页岩油储层夹层组测井曲线 重处理检测与油气特征

刘升余¹, 于正军¹, 高秋菊¹, 巴素玉¹, 金春花¹, 罗礼²

(1. 中国石化胜利油田分公司物探研究院, 东营 257022;

2. 成都理工大学, 成都 610059)

摘要: 胜利油田济阳坳陷渤南地区沙三下泥岩是良好的页岩油储层, 其中广泛发育碳酸盐岩夹层和砂岩夹层, 纵向上密集分布构成夹层组。夹层组的分布对页岩油的富集具有较大的控制作用, 对夹层组的检测成为页岩油勘探的关键。但夹层单层厚度薄(1 m ~ 2 m), 纵向叠置复杂, 横向变化快, 加上测井曲线不具有良好对应的电性特征, 因而夹层组检测难度极大。笔者首先以钻井岩屑、取心所描述的岩性特征为控制, 对测井曲线进行重处理, 极大地突出了夹层组电性特征。通过对水平井夹层组密度与产能分析, 夹层组发育段产能占总产能的 54% 以上。同时在测井曲线重处理基础上进行高分辨率 GR 反演, 获得夹层组的平面分布特征, 与目前页岩油的开发结果非常吻合, 从而有效地揭示了目标层位页岩油可能的富集区, 为后期页岩油的勘探开发提供了坚实依据。

关键词: 页岩油; 夹层组; 测井曲线重处理; 地震反演; 油气特征

中图分类号: P 631.4 **文献标志码:** A **DOI:** 10.3969/j.issn.1001-1749.2024.01.03

0 引言

目前, 国内外关于页岩油的定义主要包括广义页岩油和狭义页岩油两种。广义页岩油泛指以吸附或游离状态赋存于生油岩或与生油岩互层、紧邻的致密砂岩、致密碳酸盐岩等储集岩中, 未经过大规模长距离运移的近源石油聚集^[1]。狭义页岩油专指以吸附或游离状态赋存于烃源岩内富有机质页岩中的石油聚集^[2-3]。胜利油田早在 1963 年在泥页岩的裂缝中偶然发现了油气^[4-5], 2011 年起在沾化凹陷和东营凹陷先后完成了罗 69 井、樊页 1 井、牛页 1 井和利页 1 井等 4 口井的页岩油层段系统密闭取心, 累计取心 1 010.26 m^[6-8]。钻探开发表明, 济阳坳陷渤南地区沙三下页岩油主要以游离和吸附状态

赋存于富有机质页岩及富有机质页岩体系中的碳酸盐岩、砂岩薄夹层中的液态烃^[6-9]。夹层型页岩油主要分布在斜坡带埋深 3 000 m 以下富有机质纹层状和层状岩相及其内发育的薄砂岩、碳酸盐岩夹层^[7-11], 济阳坳陷页岩油井中, 碳酸盐岩夹层油井占夹层型油井的 82.7%, 砂岩夹层油井仅占 17.3%^[6], 夹层数和累计厚度均大于碳酸盐岩夹层。薄夹层是页岩油稳定渗流的有利条件, 亦是有利的压裂改造通道^[6-13]。前人对页岩油的控制因素进行了大量分析研究^[14-21]。但寻找页岩油储层中的夹层“甜点”也成为提高钻探成功率的重要因素之一^[11-13]。

但目前济阳坳陷页岩油夹层组研究多限于利用测井资料进行识别与划分, 利用地震反演对区域上夹层组分布特征研究开展较少, 主要原因是由于页

收稿日期: 2022-07-18

基金项目: 胜利油田分公司科技攻关项目(YYK2001)

第一作者: 刘升余(1984—), 男, 硕士, 副研究员, 主要从事石油物探相关研究, E-mail: 449824026@qq.com。

通信作者: 罗礼(1996—), 男, 硕士, 主要从事计算机应用技术研究, E-mail: 1134575362@qq.com。

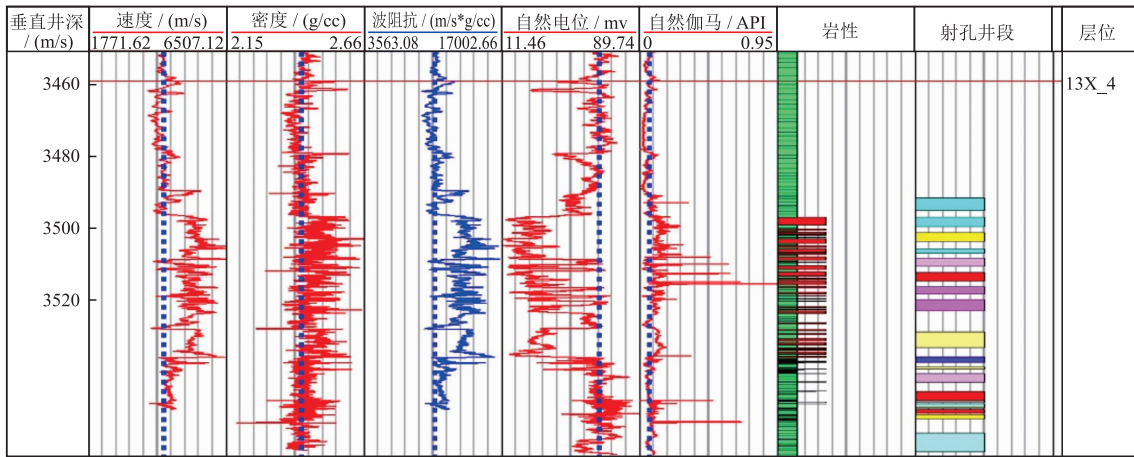


图 3 义页平 1 井 13X 层组钻井综合柱状图

Fig. 3 Drilling comprehensive histogram of 13X in YiYP1

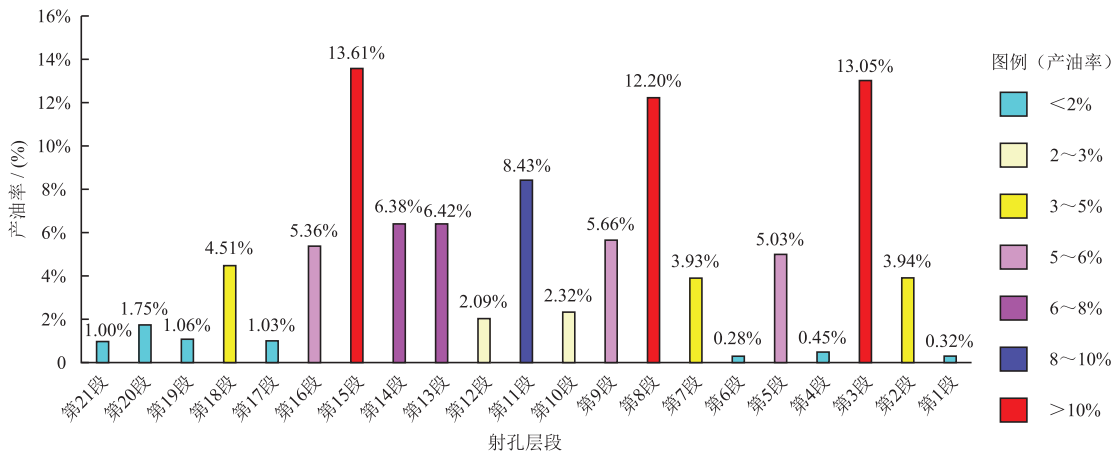


图 4 义页平 1 井射孔段油气产出率柱状图

Fig. 4 Histogram of oil and gas production rate in perforated section of YiYP1

象,这对页岩油储层中的夹层组识别、检测非常不利,基本上无法从测井曲线上准确的定义与划分夹层组。因此依据钻井岩屑分布特征对测井曲线进行重处理不仅非常重要,而且十分必要。

2 测井曲线特征重处理方案设计

如图 3 所示,义页平 1 井水平段前段为含灰质泥岩,相对曲线波动小,只有 GR 波动大,说明岩性组分有变化。中段大量薄夹层(云+灰岩),对应曲线波动明显(SP 波动少)。后段大量泥岩夹少量薄夹层,曲线有一定波动。总体上曲线对夹层组有一定的响应,但如果根据基线(纯泥岩确定,蓝线)划分夹层组,显然与钻井岩性对应不上。同时即使在泥页岩中,由于含灰质等组份的变化,也导致曲线出现明显波动。

根据前面对测井曲线特征分析,测井曲线在夹层组反应细节上需要提高,在岩性组分变化方面更需要突出,同时基线的偏移导致属性的地震反演结果难于地质解释。为此需要进行两方面的处理:一是基线调整;二是曲线特征的岩性突出化。基线调整原理是选择泥岩较厚的测井曲线且较平直段为基准线,其他泥岩和夹层组漂移的测井曲线段拉直到基准线,保证了泥岩段测井曲线基准线一致;测井曲线岩性特征突出化是在基线对齐基础上,依据不同的夹层岩性特征,对测井曲线进行放大处理,以突出夹层组测井特征。

具体计算流程如下(见图 5)。

3 测井曲线特征重处理效果分析

图 6~图 7 为两口水平井测线曲线特征重处理

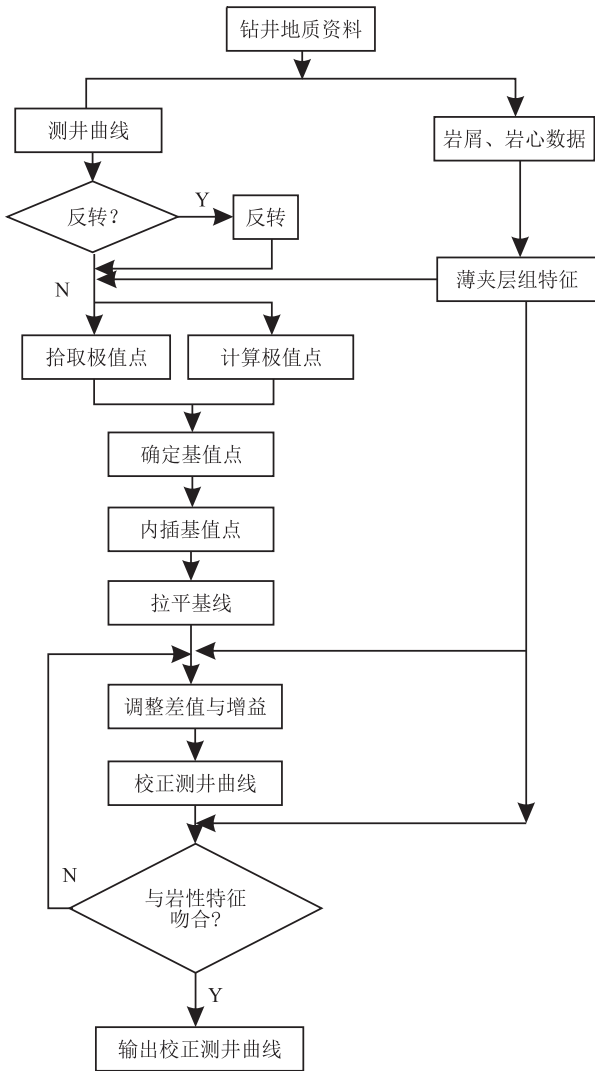


图 5 基于岩性特征的测井曲线重处理流程图
Fig. 5 Flow chart of log curve reprocessing based on lithology characteristics

前后对比图,从左到右分别中 IMP、GR、SP 曲线重处理曲线,图中可以看出,重处理后的曲线高值与夹层对应关系非常良好。另外把重处理前后的 GR 与原始波阻抗值进行交会分析,见图 8~图 9 所示,从中可以看出,泥岩与夹层组岩性的 GR 与原始波阻抗值完全重合,无法区别岩性,但重处理后,夹层组 GR 值增益至最大,泥岩与夹层组的 GR 完全分隔,极大地区分泥岩与夹层组。

通过测井曲线特征处理之后,获得以下优势:第一拉直了曲线基线,使各井曲线基线一致,便于区域岩性特征统一对比分析;第二通过曲线特征调整,突出了曲线反映薄夹层组特征,使 IMP、GR 对薄夹层有良好的对应,有利于后期的属性地震反演;第三突出了不同曲线对不同岩性夹层的响应能力。总体说来重处理之后的曲线,SP 对砂岩夹层有一定检测能力,GR 对云、灰岩夹层有较好检测能力,IMP 介于两者之间。

4 测井曲线重处理后夹层组平面分布特征

通过对测井重处理后,以随机反演技术进行拟 GR 反演,获得 GR 数据体,经与钻井岩性特征进行对比,选择阈值 > 0.6 的标准化后曲线值为夹层组(图 5~图 6 验证阈值),经钻井厚度进行校正后形成平面分布图(见图 10),总体说来与钻井岩屑统计结果基本一致(见图 11),但地震反演获得的夹层组厚度分布细节清楚,展布特征明确,反映出重处理结果比较准确。

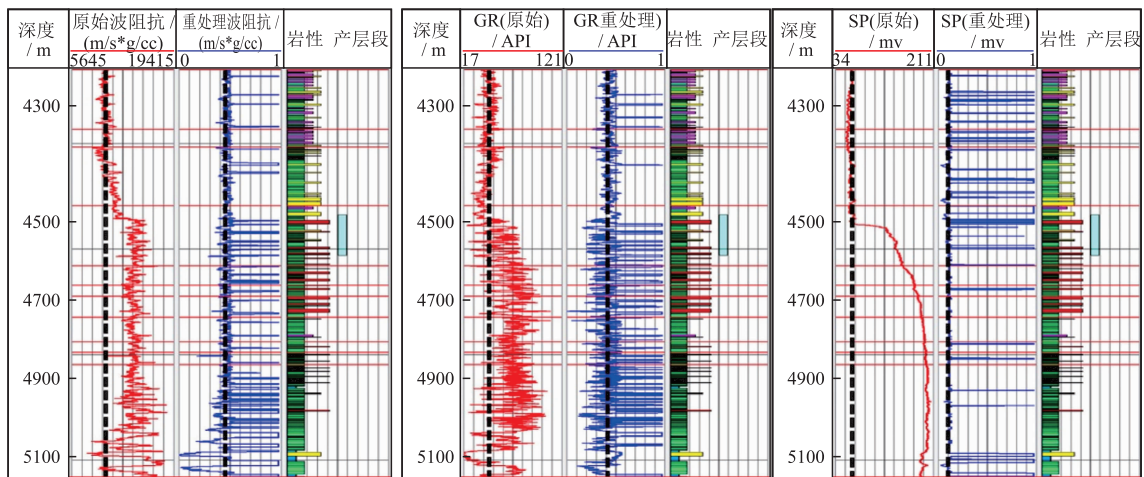


图 6 BS5 测线曲线特征重处理前后对比图(红为原始曲线,蓝为重处理后曲线)
Fig. 6 Comparison diagram of curve characteristics of BS5 survey line before and after reprocessing

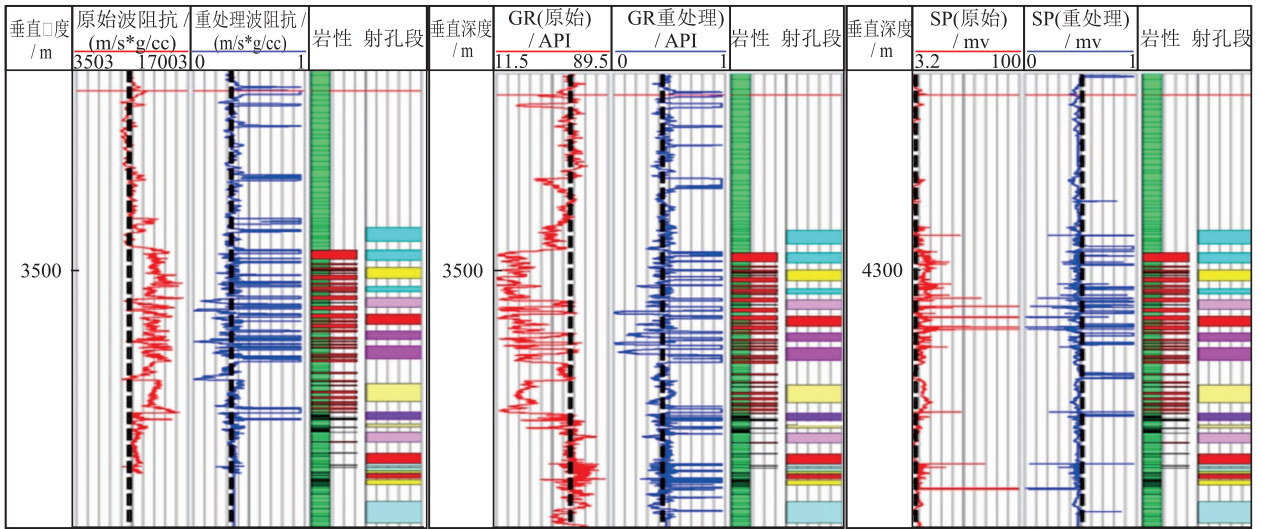


图 7 义页平 1 井测线曲线特征处理前后对比图(红为原始曲线,蓝为重处理后曲线)

Fig. 7 Comparison diagram of curve characteristics of YiYP1 survey line before and after reprocessing

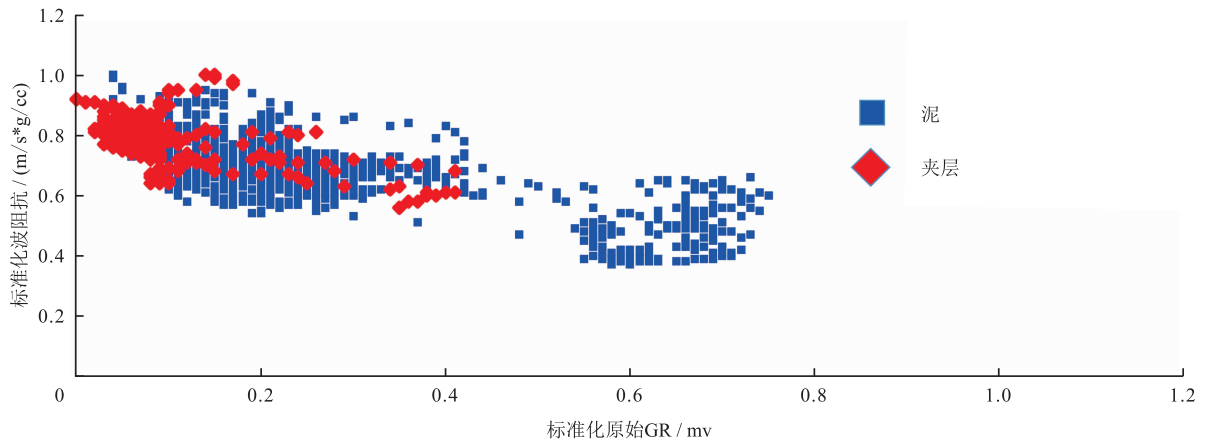


图 8 义页平 1 井 3 960 m~4 160 m 井段原始 GR 与波阻抗交会图

Fig. 8 Cross plot of original GR and wave impedance of well YiYP1 between 3 960 m ~4 160 m

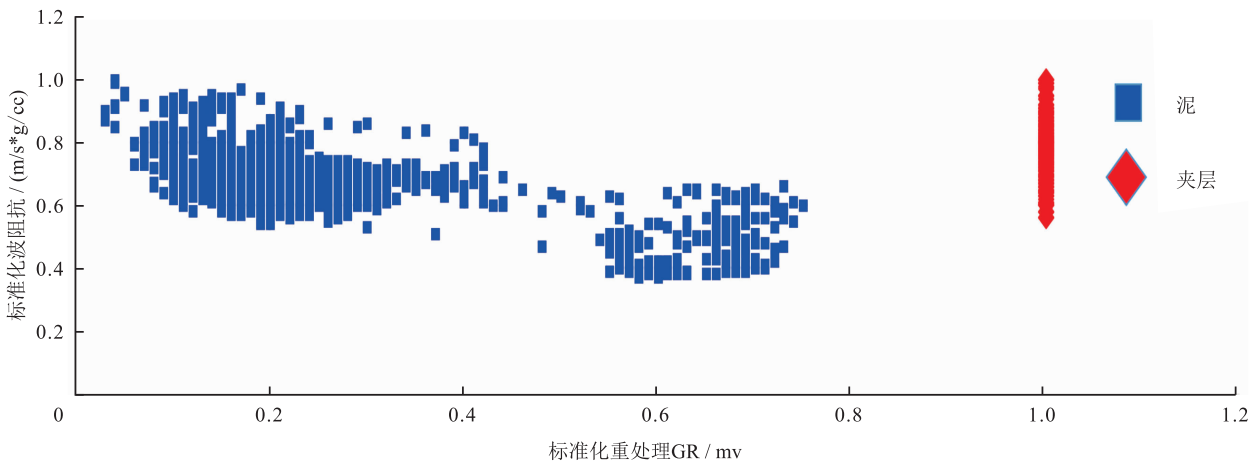


图 9 义页平 1 井 3 960 m~4 160 m 井段重处理 GR 与波阻抗交会图

Fig. 9 Cross plot of reprocessed GR and wave impedance of well YiYP1 between 3 960 m ~4 160 m

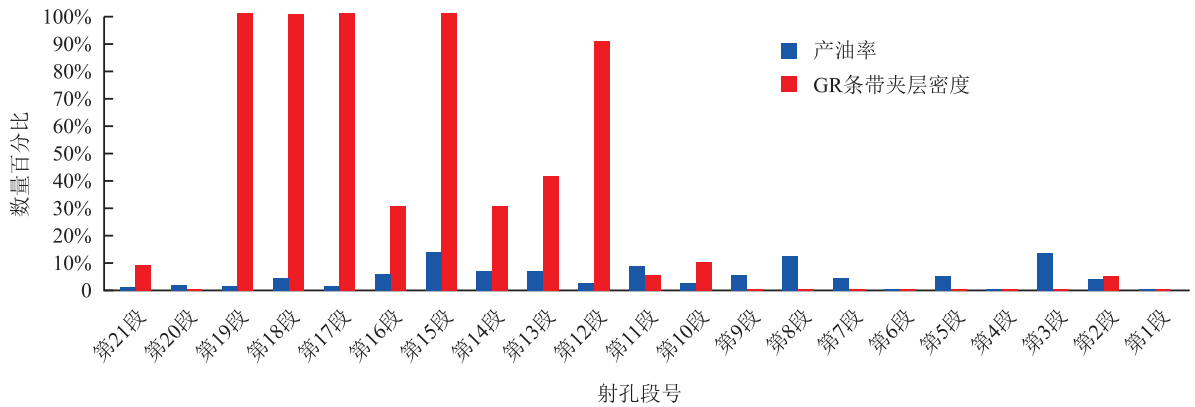


图 13 义页平 1 井射孔段产油率与夹层组密度图

Fig. 13 Oil production rate and sandwich group density of perforated section of YiYP1

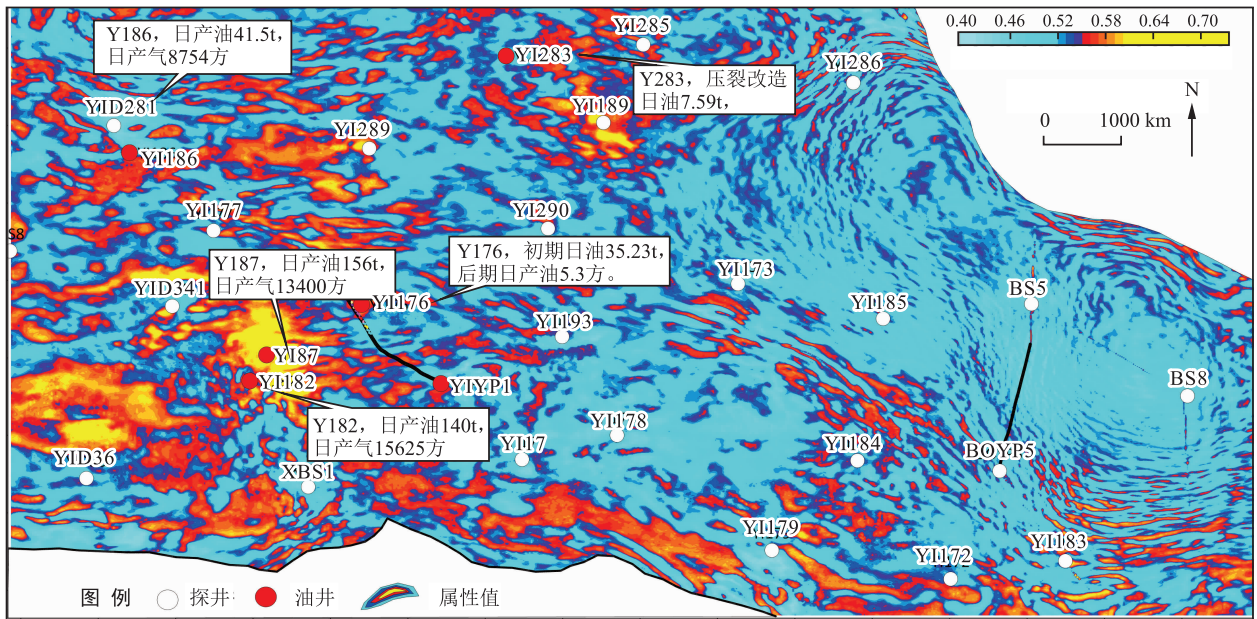


图 14 13X 层页岩油产出与 GR 反演夹层组平面展布图

Fig. 14 Plane distribution of shale oil production and gr inversion sandwich group of 13X

5 水平井页岩油储层夹层组与油气特征

研究区两口水平井，渤页平 5 井水平段长度 1 059.59 m，21 段射孔段长度 987 m。产能主体集中在前段，中段产出较低，后半段有一定产出，末端井漏严重。水平段前半段钻遇较发育的夹层条带，占总能 55.2% (见图 12)。义页平 1 井水平段长度 942 m，21 段射孔段长度 891 m。产能在前中后三段均有高产出，主体集中在前半段。水平段前半段钻遇较发育的夹层条带，占总产能 54.2% (图 13)，说明夹层组对油气产出具有较大贡献。

6 页岩油储层夹层组平面油气特征

沿 13X 层位中部提取 GR 反演值形成平面图 (见图 14)，目前的产油率均位于高 GR 指示的夹层组发育区内。其中两口产量最高的井 Y187、Y182 位于夹层组最发育区域，且分布范围大，Y186 产量高，分布范围也较大。而 Y176 夹层组发育，但分布范围有限，产量递减快，Y283 井夹层组不发育，但邻近有夹层组发育区，经压裂沟通后有较高产能。开发结果证明通过测井曲线特征重处理后进行的属性反演的准确性，反过来说明了测井曲线重处理是成功的。

7 结论

针对工区内页岩油夹层组的测井特征不明,曲线不能识别夹层组的特点,以钻井岩屑统计为依据,采用测井曲线基线调整、增益放大等算法,对测井曲线进行了特征重处理。处理后的测井曲线在夹层组岩性识别、厚度检测上具有较高可靠性。以此基础进行的属性反演,获得页岩油夹层组的时空变化特征,为页岩油的进一步勘探开发提供了可靠保障。

参考文献:

- [1] 周庆凡,杨国丰.致密油与页岩油的概念与应用[J].石油与天然气地质,2012,33(4):541-544.
ZHOU Q F, YANG G F. Definition and application of tight oil and shale oil terms[J], Oil & Gas Geology, 2012, 33(4): 541-544. (In Chinese)
- [2] 傅成玉.非常规油气资源勘探开发[M].北京:中国石化出版社,2015.
FU C Y. Exploration and development of unconventional oil and gas resources[M]. Beijing: China Petrochemical Press, 2015. (In Chinese)
- [3] 张金川,林腊梅,李玉喜,等.页岩油分类与评价[J].地学前缘,2012,19(5):322-331.
ZHANG J C, LIN L M, LI Y X, et al. Classification and evaluation of shale oil[J]. Earth Science Frontiers, 2012, 19(5): 322-331. (In Chinese)
- [4] 宁方兴.现河庄地区泥岩裂缝主控因素分析与油气成藏.石油地质与工程,2008,22(3):37-39.
NING F X. Key factors of mudstone fracture and its relationship with hydrocarbon formation at Xianhezhuang area[J]. Petroleum Geology And Engineering, 2008, 22(3): 37-39. (In Chinese)
- [5] 宁方兴.东营凹陷现河庄地区泥岩裂缝油气藏形成机制[J].新疆石油天然气,2008,14(1):20-25.
NING F X. Mechanism of mudstone fracture reservoir forming in Xianhezhuang oil field in Dong Ying depression[J]. Xinjiang Oil & Gas, 2008, 14(1): 20-25. (In Chinese)
- [6] 宋明水,刘惠民,王勇,等.济阳拗陷古近系页岩油富集规律认识与勘探实践[J].石油勘探与开发,2020,47(2):225-235.
SONG M S, LIU H M, WANG Y, et al. Enrichment rules and exploration practices of Paleogene shale oil in Jiyang Depression, Bohai Bay Basin, China[J]. Petroleum Exploration And Development, 2020, 47(2): 225-235. (In Chinese)
- [7] 宋明水.济阳拗陷页岩油勘探实践与现状[J].油气地质与采收率,2019,26(1):1-12.
SONG M S. Practice and current status of shale oil exploration in Jiyang Depression[J]. Petroleum Geology and Recovery Efficiency, 2019, 26(1): 1-12. (In Chinese)
- [8] 孙焕泉.济阳拗陷页岩油勘探实践与认识[J].中国石油勘探,2017,22(4):1-14.
SUN H Q. Exploration practice and cognitions of shale oil in Jiyang depression[J]. China Petroleum Exploration, 2017, 22(4): 1-14. (In Chinese)
- [9] 刘惠民,张顺,包友书,等.东营凹陷页岩油储集地质特征与有效性[J].石油与天然气地质,2019,40(3):512-423.
LIU H M, ZHANG S, BAO Y S, et al. Geological characteristics and effectiveness of the shale oil reservoir in Dongying sag[J]. Oil & Gas Geology, 2019, 40(3): 512-423. (In Chinese)
- [10] 宁方兴.济阳拗陷页岩油富集主控因素[J].石油学报,2015,36(8):905-914.
NING F X. The main control factors of shale oil enrichment in Jiyang depression[J]. Acta Petrolei Sinica, 2015, 36(8): 905-914. (In Chinese)
- [11] 付茜,刘启东,刘世丽,等.中国“夹层型”页岩油勘探发现现状及前景[J].石油钻采工艺,2019,41(1):63-70.
FU Q, LIU Q D, LIU S L, et al. Exploration & development status and prospect of sandwich-type shale oil reservoirs in China [J]. Oil Drilling & Production Technology, 2019, 41(1): 63-70. (In Chinese)
- [12] 王永诗,巩建强,房建军,等.渤南洼陷页岩油气富集高产条件及勘探方向[J].油气地质与采收率,2012,19(6):6-10.
WANG Y S, GONG J Q, FANG J J, et al. Enrichment condition analysis and exploration direction of shale oil-gas in Bonan subsag[J]. Petroleum Geology and Recovery Efficiency, 2012, 19(6): 6-10. (In Chinese)
- [13] 王学军,宁方兴,郝雪峰,等.古近系页岩油赋存特征——以济阳拗陷为例[J].地科学技术与工程,2017,17(29):39-48.
WANG X J, NING F X, HAO X F, et al. Paleogene shale oil occurrence features: a case of Jiyang depression[J]. Science Technology and Engineering, 2017, 17(29): 39-48. (In Chinese)
- [14] 包友书,张林晔,张金功,等.渤海湾盆地东营凹陷古近系页岩油可动性影响因素[J].石油与天然气地质,2016,37(2):408-414.
BAO Y S, ZHANG L Y, ZHANG J G, et al. Factors

- influencing mobility of Paleogene shale oil in Dongying Sag, Bohai Bay Basin[J]. *Oil & Gas Geology*, 2016, 37(2): 408–414. (In Chinese)
- [15] 宋国奇, 徐兴友, 李政, 等. 济阳坳陷古近系陆相页岩油产量的影响因素[J]. *石油与天然气地质*, 2015, 36(3): 463–471.
SONG G Q, XU X Y, LI Z, et al. Factors controlling oil production from Paleogene shale in Jiyang depression [J]. *Oil & Gas Geology*, 2015, 36(3): 463–471. (In Chinese)
- [16] 王勇, 刘惠民, 宋国奇, 等. 济阳坳陷页岩油富集要素与富集模式研究[J]. *高校地质学报*, 2017, 23(2): 268–276.
WANG Y, LIU H M, SONG G Q, et al. Enrichment controls and models of shale oil in the Jiyang depression, Bohai Bay Basin[J]. *Geological Journal of China Universities*, 2017, 23(2): 268–276. (In Chinese)
- [17] 王勇, 宋国奇, 姜秀芳, 等. 济阳坳陷页岩油富集主控因素[J]. *油气地质与采收率*, 2015, 22(4): 20–25.
WANG Y, SONG G Q, JIANG X F, et al. Main control factors of enrichment characteristics of shale oil in Jiyang depression [J]. *Petroleum Geology and Recovery Efficiency*, 2015, 22(4): 20–25. (In Chinese)
- [18] 张顺, 刘惠民, 王敏, 等. 东营凹陷页岩油储层孔隙演化[J]. *石油学报*, 2018, 39(7): 754–766.
ZHANG S, LIU H M, WANG M, et al. Pore evolution of shale oil reservoirs in Dongying sag [J]. *Acta Petrolei Sinica*, 2018, 39(7): 754–766. (In Chinese)
- [19] 卢浩, 蒋有录, 刘华, 等. 沾化凹陷渤南洼陷油气成藏期分析[J]. *油气地质与采收率*, 2012, 19(2): 5–8.
LU H, JIANG Y L, LIU H, et al. Study on formation stages of oil-gas reservoirs in Bonan sag, Zhanhua sag. [J]. *Petroleum Geology and Recovery Efficiency*, 2012, 19(2): 5–8. (In Chinese)
- [20] 刘毅, 陆正元, 戚明辉, 等. 渤海湾盆地沾化凹陷沙河街组页岩油微观储集特征[J]. *石油实验地质*, 2017, 39(2): 180–185.
LIU Y, LU Z Y, QI M H, et al. Microscopic characteristics of shale oil reservoirs in Shahejie Formation in Zhanhua Sag, Bohai Bay Basin [J]. *Petroleum Geology & Experiment*, 2017, 39(2): 180–185. (In Chinese)
- [21] 李钜源. 渤海湾盆地东营凹陷古近系泥页岩孔隙特征及孔隙度演化规律[J]. *石油实验地质*, 2015, 37(5): 566–574.
LI J Y. Pore characteristics and their evolution in Paleogene mud shale Dongying Sag Bohai Bay Basin [J]. *Petroleum Geology & Experiment*, 2015, 37(5): 566–574. (In Chinese)

Interbed detection and oil-gas characteristics in shale oil reservoir in bonan depression base on well logging curve reprocessing

LIU Shengyu¹, YU Zhengjun¹, GAO Qiuju¹, BA Suyu¹, Jin Chunhua¹, LUO Li²

(1. Geophysical Exploration Research Institute of Sinopec Shengli Oilfield Company, Dongying 257022, China

2. Chengdu University of technology, Chengdu 610059, China)

Abstract: Es3 is a good shale oil reservoir in the Bonan area of the Jiyang depression of Shengli oilfield, in which carbonate interbed and sandstone interbed are widely developed and densely distributed vertically to form interbed groups. The distribution of interbed has greater control over shale oil enrichment, and detecting interbed groups has become the key to shale oil exploration. However, the single-layer thickness of the interlayer is thin (1–2 m), the longitudinal stacking is complex, the lateral change is fast, and the logging curve does not have good corresponding electrical characteristics. Hence, the detection of the interlayer group is challenging. This paper first reprocessed the logging curve based on the lithologic characteristics described by drilling cuttings and coring, which significantly highlights the electrical characteristics of the interlayer group. Through the analysis of the density and productivity of the interlayer group of horizontal wells, the productivity of the interlayer group development section accounts for more than 54% of the total productivity. At the same time, high-resolution GR inversion is carried out based on log curve reprocessing to obtain the plane distribution characteristics of the interlayer group, which is very consistent with the current shale oil development results, thus effectively revealing the possible enrichment areas of shale oil in the target horizon, providing a solid basis for the exploration and development of shale oil in the later period.

Keywords: shale oil; interbed groups; log reprocessing; seismic inversion; oil and gas characteristics