

石臼坨凸起东部斜坡带 新近系录井综合解释

袁胜斌¹,穆天喜¹,刘娟霞¹,胡云²

(1 中法渤海地质服务有限公司,天津 300452;2 中海石油(中国)有限公司天津分公司,天津 300452)

摘要:石臼坨凸起为渤海海域典型的复式油气聚集区,复杂的油气成藏导致录井资料在全井对比上差异性非常大。随着勘探的深入,在石臼坨凸起东部斜坡带解释符合率较低。对石臼坨凸起东部斜坡带的 19 口井 534 层储层进行了综合分析,分析资料包括气测、地化、电测、试油等数据。通过对比分析发现,错误主要集中在新近系的明下段和馆陶组储层,生物降解、荧光、气体组分在认识上存在一些偏差。将生物降解分类,优选参数,建立适应本地区的解释图板和阈值,符合率达到 87.7%,效果非常好。东部斜坡带所建立的解释方法对整个石臼坨凸起以后的录井综合解释具有非常大的指导作用。

关键词:石臼坨凸起;录井综合解释;气测;生物降解

中图分类号:TE319 **文献标识码:**A **DOI:**10.16028/j.1009-2722.2018.05009

石臼坨凸起位于渤海海域西北部,为长期继承性的宽缓型凸起,凸起周围被秦南、南堡和渤中凹陷等 3 个生烃凹陷所包围,为渤海海域典型的复式油气聚集区^[1,2]。近几年,发现了秦皇岛 33-1S/2/3/4 等油田,这些油田多发育浅层构造—岩性油气藏^[3]。石臼坨凸起浅层油气藏受生物降解影响很大^[4],这类浅层油气藏常用的录井解释方法是根据气体组分特征将其分为组分齐全和组分不齐全两种类型,结合荧光面积,针对这两种不同特征的油气藏建立了相应的解释方法。最近在石臼坨凸起东部斜坡带的勘探过程中,原来所建立的解释标准在浅层解释过程中符合率较低,统计分析仅在 75%左右。经过统计分析,解释符合率较低的层集中于新近系明下段和馆陶组,主要原

因是对生物降解、荧光面积、气体组分的认识上存在偏差。通过研究分析,重新优化组合参数,采用气测结合地化(岩石热解、热解气相色谱分析),提出新的录井综合解释方法,从而提高解释符合率,满足了录井解释评价的需要。

1 新近系储层录井特征

目前,录井的解释分析主要根据每天现场发回的资料进行油气水评价,而此次数据分析不仅包括了钻井过程的气测、荧光、地化数据,还包完钻后的壁心、电测和试油数据。通过对石臼坨凸起东部斜坡带 19 口井 534 层储集层进行统计分析,对新近系储层进行了重新认识。

1.1 生物降解

油藏形成后,边水和底水是细菌迁移的最好介质,它们溶解分子氧和微生物并将其携带至油水界面附近油藏上,从而对油藏进行生物降解作用^[5-7]。生物降解作用,主要损失石油中的正构烷

收稿日期:2018-01-18

基金项目:中海石油(中国)有限公司综合科研项目“细构造带的录井油气水解释模型及评价方法研究”(ZZKJ-2016-TJ 01)

作者简介:袁胜斌(1980—),男,工程师,主要从事录井资料综合解释工作。E-mail:yuansb@cfbgc.com

烃和类异戊二烯烃,相同分子量范围内,一般从易到难的菌解顺序为:正构烷烃、异构烷烃、单环芳香烃(低环烷烃)、多环芳香烃、多环环烷烃(甾萜烷)^[8,9]。通常中、小分子至 C₂₀ 的烃比大分子烃先被菌解而损失严重,带有六环的环烷烃则不易被菌解作用破坏,细菌对噻吩和其他含硫化合物的破坏力小。生物降解使碳链断裂,直至形成甲烷,同时由于降解后剩余有高碳烃类及其氧化物,使原油油质变差,降解气若保存条件好可形成气藏^[10]。生物降解油在地化录井上的响应特征通常为,岩石热解油质判别参数 PS (S₁/S₂) < 1.0;热解气相色谱图表现为正构烷烃峰缺失,并且基线隆起,呈穹窿状,尾部不可分辨化合物增多的现象^[11,12],图 1 为典型的生物降解气相色谱图。

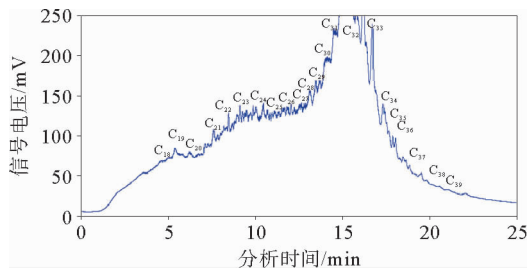


图 1 QHD29-2EA 井明化镇组 1 605 m 热解气相色谱图
Fig. 1 Thermal gas chromatogram of Well QHD29-2EA, 1 605 m, Minghuazhen Formation

据资料研究,一般细菌存活温度在 60~80 °C,储层中的微生物在嗜高温生物的温度上限(113 °C)不能生存,当温度 > 80 °C 时不具有降解烃类的能力,在正常的地温梯度下,埋深应 < 2 000 m^[13-15],因此,之前所建立的图板以井深 2 000 m 作为生物降解的分界深度。由于馆陶组岩性多含砾,胶结物少,砂岩疏松,加上 PDC 钻头的影响,很多原油在岩石破碎的时候就混入钻井液中,无法在砂岩颗粒表面附着,造成地化岩屑取样分析时,效果非常差,岩石热解 P_g 值在 1~2.5 mg/g,岩石热解气相色谱图组分峰不明显。这次研究重点对壁心的地化数据进行研究,发现油层地化壁心效果较好,数值在 15~45 mg/g 之间,并且油层存在生物降解的情况(图 2,3)。从数据和图形分析统计来看,埋藏较深的馆陶组油层受

生物降解的程度相对于明化镇组较弱,生物降解影响的深度可达 2 100 m,比原采取的分界深度偏深。

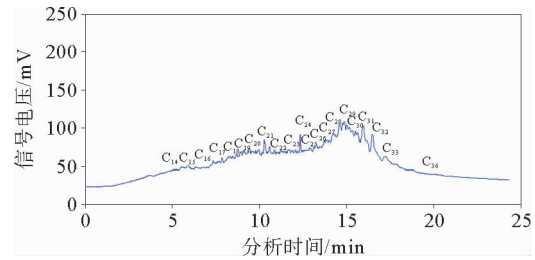


图 2 QHD29-2c 井馆陶组 2 023 m 热解气相色谱图
Fig. 2 Thermal gas chromatogram of Well QHD29-2c, 2 023 m, Guantao Formation

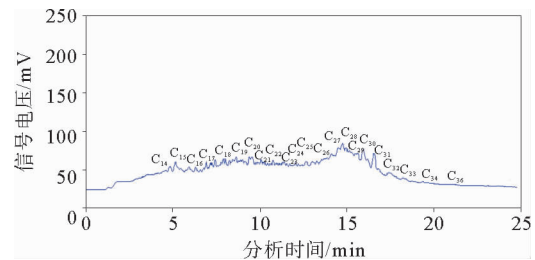


图 3 QHD29-2a 井馆陶组 2 070 m 热解气相色谱图
Fig. 3 Thermal gas chromatogram of Well QHD29-2a, 2 070 m, Gurantao Formation

1.2 气体特征

明化镇组油层受生物降解影响较为严重,气测烃组分不全,主要以 C₁ 为主,相对含量在 97% 以上,全烃值较高,在 2.5% 以上。馆陶组油层受生物降解影响相对较轻,气测组分齐全, C₁ 相对含量在 92%~98% 之间,但全烃值较低, > 0.8% 就可能为油层(表 1)。统计分析表明,以前通过气体组分齐全和不齐全判断生物降解存在较大偏差。组分不齐全的层,多属于生物降解严重层;对于降解不明显的馆陶组,利用气体组分无法准确判断其生物降解的情况,各井之间降解程度井深不一致,如 QHD29-2EB 井 2 042~2 016.5 m 储层和 QHD29-2a 井 2 068~2 071.5 m 储层,一个未降解,一个发生降解,生物降解需要根据地化资料进行分析。

表 1 新近系部分油层数据统计

Table 1 Statistics of Neogene reservoir data i

井名	层位	顶深/ m	底深/ m	岩性	荧光 面积/%	全烃/ %	峰基 比	C ₁ / %	C ₂ / %	C ₃ / %	iC ₄ / %	nC ₄ / %	C ₁ 相 对含量	Pg	PS	生物降解 (色谱识别)	解释 结论
QHD29-2a	明化镇组	1 575	1 577	细砂岩	5	5.01	9.9	4.013 7	0	0.001 7	0.000 2	0.001 1	100	47.7	0.80	严重	油层
QHD29-2a	馆陶组	2 068.5	2 071.5	细砂岩	10	1.47	11.0	0.665 9	0.013 6	0.008 4	0.0047	0.005	95	24.0	0.81	是	油层
QHD29-2a	馆陶组	2 106	2 110	细砂岩	5	2.34	5.5	1.521 4	0.036	0.007 3	0.002 8	0.002 1	97	16.1	0.77	是	油层
QHD29-2b	明化镇组	1 584	1 588	细砂岩	5	9.79	7.1	8.109 3	0	0.005 8	0.016 8	0.004 9	100	24.6	0.98	严重	油层
QHD29-2b	明化镇组	1 617	1 619.5	细砂岩	5	5.01	6.6	3.121	0	0.002 7	0.003 8	0.002 1	100	36.6	0.90	严重	油层
QHD29-2b	明化镇组	1 672	1 674.5	细砂岩	5	7.4	9.8	6.753 4	0.016 4	0.004 1	0.001 1	0.001 6	100	35.6	0.69	严重	油层
QHD29-2b	明化镇组	1 822	1 823	细砂岩	20	3.56	5.7	1.999 4	0.089 2	0.009 8	0.053 3	0.006 9	93	23.8	0.84	是	油层
QHD29-2b	馆陶组	1 858.5	1 860	细砂岩	20	3.36	7.1	1.633 5	0.050 8	0.039 1	0.048 1	0.028 4	91	23.8	0.84	是	油层
QHD29-2b	馆陶组	1 893.5	1 896	细砂岩	5	2.77	5.9	1.216 9	0.046 2	0.043 9	0.03	0.031 9	89	34.9	0.70	是	油层
QHD29-2c	馆陶组	1 988.5	1 991	粉砂岩	5	0.65	6.0	0.558	0.028 5	0.002 7	0	0	95	16.2	0.57	严重	油层
QHD29-2c	馆陶组	1 993	1 997	细砂岩	5	1.25	11.5	1.034 5	0.045 6	0.005 9	0	0	95	29.0	0.58	严重	油层
QHD29-2c	馆陶组	2 018	2 025.5	粉砂岩	5	0.88	8.1	0.514 9	0.036 9	0.022 4	0.013 7	0.009 6	86	37.9	0.52	严重	油层
QHD29-2EA	明化镇组	1 614	1 621	细砂岩	10	4.78	10.2	3.963 2	0.042 9	0.001 4	0.000 4	0.000 4	99	45.5	0.78	严重	油层
QHD29-3EA	明化镇组	1 692.5	1 695	细砂岩	5	2.17	5.3	1.532 7	0.061 4	0.001 4	0.001 7	0.000 4	96	26.5	0.98	严重	差油层
QHD29-2EB	馆陶组	2 042	2 046.5	细砂岩	10	12.26	10.2	6.587 2	0.121 8	0.105 6	0.032 1	0.050 3	95	7.3	2.48	否	油层
QHD29-3EB	馆陶组	2 047.5	2 049	细砂岩	10	4.68	21.3	3.225 1	0.026 9	0.02	0.008 4	0.010 9	98	9.3	2.43	否	油层

1.3 荧光显示

针对生物降解严重的储层,之前研究中使用较多的图板是轻组分/荧光模型,其中荧光面积是一个非常重要的参考参数。制定模板时主要考虑,生物降解使得油质变差、质量变重,荧光更容易被发现,所以一般将荧光面积达到10%的层才解释为油层,荧光面积<10%多解释含油水层。但是对石臼坨凸起东部斜坡带30层油层统计发现,荧光面积达到5%的层有20层,占统计油层的67%,在这个区域荧光面积不是确定油层的重要参数。

2 解释图板建立

通过以上分析,针对石臼坨凸起东部斜坡带可以得到3个结论:

(1)储层在井深2100 m仍会受到生物降解影响,生物降解的判断需要使用地化数据,PS和热解色谱图是非常好的手段。

(2)荧光面积对生物降解油层的确定,在石臼

坨凸起东部斜坡带不是重要的参数。荧光面积5%,即可以判断储层内含油,存在油层的可能。

(3)明化镇组油层受生物降解影响比馆陶组更严重,馆陶组油层全烃值较明化镇要低很多,0.8%以上的全烃值就存在油层的可能,需要针对馆陶组的特殊性建立相应的解释方法。

在此认识之上,综合东部斜坡带的气测数据、壁心岩石热解数据、壁心热解气相色谱图,重新对东部斜坡带19口井,534层储集层进行统计分析,优选了全烃、峰基比、Pg、PS和色谱图作为判别参数,建立了3套解释标准(表2),针对生物降解层、馆陶组生物降解层和未发生生物降解层分别建立相应的解释标准。

解释的流程如图4所示,重要的环节是根据PS和色谱图判断生物降解,然后根据生物降解的情况和层组选择对应的气体解释标准,然后给出解释结论。此图板将气测数据和地化数据结合在一起,依据生物降解程度,建立生物降解分类;以气测数值的大小和基值的对比情况进行分析,符合率达到87.7%,效果非常好。

表2 新近系综合解释标准

Table 2 Interpretation standard for Neogene logging data

解释模型	层位	生物降解	解释结论	全烃/%	峰基比	Pg	色谱图	PS	荧光面积	备注
A	明化镇	发生严重	油层	>2.5	>6	≥15	基线隆起,正构烷烃缺失,尾部不可分辨化合物增加明显	<1.0	≥5%	PS值越小表示降解越严重
			含油水层	>1.0	>3	4~15	碳数分布范围窄,未分辨化合物含量相对于油层低	<1.0	≥5%	
			水干层	>0.3	>2	<4	无明显峰值,和基线相同	—	—	
B	馆陶组	发生	油层	>0.8	>6	≥12	基线隆起,正构烷烃缺失,尾部不可分辨化合物增加	<1.0	≥5%	
			含油水层	>0.5	>3	4~12	碳数分布范围窄,未分辨化合物含量相对于油层低	<1.0	≥5%	
			水干层	>0.3	>2	>2	无明显峰值,和基线相同	—	—	
C	明化镇/ 馆陶组	未发生	油层	>2.5	>7	≥6	正构烷烃齐全,呈规则梳状结构	≥1.0	≥5%	
			含油水层	>1.0	>3	2~6	碳数分布范围窄,未分辨化合物含量相对于油层低	≥1.0	≥5%	
			水干层	>0.3	>2	<2	无明显峰值,和基线相同	—	—	

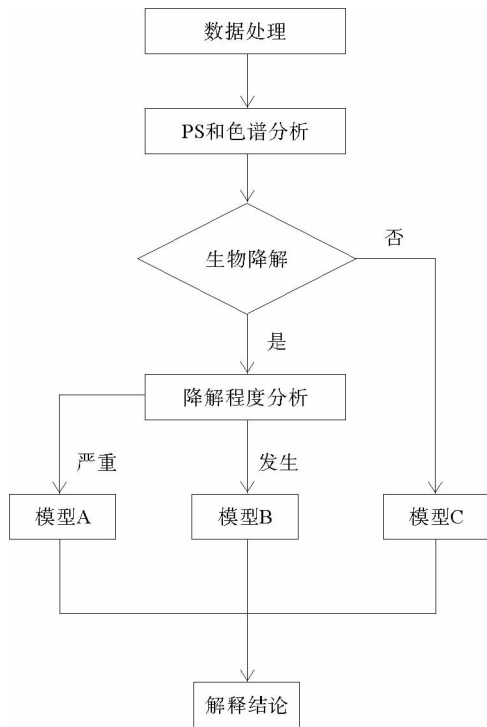


图 4 解释流程图

Fig. 4 Interpretation flow chart

3 应用实例

QHD34A 井馆陶组显示段 1 839~1 845 m, 岩性为荧光细砂岩, 浅灰色, 成分以石英为主, 次为长石, 少量暗色矿物, 细粒为主, 部分中粒, 少量砾石, 次棱角一次圆状, 分选中等, 泥质胶结, 疏松; 荧光湿照暗黄色, 面积 5%, D 级, A/C 反应慢, 乳白色; 壁心含油面积 15%, 含油不饱满, 呈斑块状分布, 油脂感弱, 不污手, 油味淡, 滴水渗。地化壁心热解气相色谱图如图 5 所示, 基线隆起, 正构烷烃缺失, 尾部不可分辨化合物增加, PS

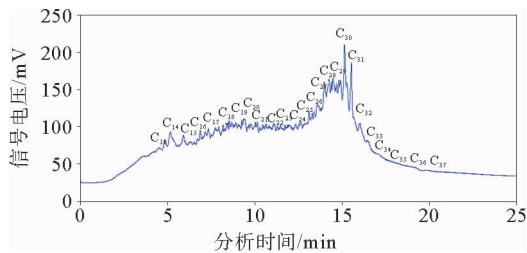


图 5 QHD34A 井馆陶组 1 842 m 热解气相色谱图

Fig. 5 Thermal gas chromatogram of Well QHD34A, 1 842 m, Guantao Formation

值为 0.87, 分析表明储层内油层受到了生物降解的影响, 但不严重, 按照解释流程图应该选用解释模型 B。本井段气测组分不全, C_1 为主, 少量 C_2 , 后面组分缺失, 气测全烃值仅为 1.07%, 峰基比 7.8, Pg 值为 29.4 mg/g, 按照解释模型 B 解释为油层。1 842 m 电测取样, 取得油 400 mL, 证实了解释结论正确。

4 结束语

(1) 石臼坨凸起勘探漫长而曲折, 因为其油气成藏特征非常复杂, 近期勘探的油田多为浅层构造—岩性油气藏^[16], 特殊的油气藏也导致了录井解释评价的难度。利用气测结合地化对储层进行综合解释评价, 在石臼坨凸起东部斜坡带新近系取得了符合率为 87.7% 的良好效果。

(2) 随着石臼坨凸起勘探的深入, 原来简单的气测荧光的解释模型, 逐渐的显示其在复杂油气藏方面解释的短处, 发展综合解释是录井提高解释符合率的一个途径。利用壁心的地化资料, 从数据和色谱图分析重新对生物降解进行分类, 将生物降解界定数字化、图形化。有了统一的标准, 针对馆陶组的储层解释也取得了非常好的效果。

(3) 石臼坨凸起东部斜坡带的综合解释模型的建立, 突出了录井综合解释的必要性和实用性。各项录井资料组合在一起, 发挥各项数据优点, 资料之间相互补充, 相互验证, 抓住储层油气特征, 从而提高解释符合率。此解释方法不仅在东部斜坡带新近系有着非常好的效果, 对石臼坨整个区域新近系的录井综合解释也起到很大的指导作用。

参考文献:

- [1] 夏庆龙, 周心怀, 李建平, 等. 渤海海域古近系层序沉积演化及储层分布规律[M]. 北京: 石油工业出版社, 2012: 67-71.
- [2] 张功成. 渤海海域构造格局与富生烃凹陷分布[J]. 中国海上油气(地质), 2000, 14(2): 93-98.
- [3] 张国良, 姚长华, 张云慧. 从石臼坨凸起浅层油气的重大发现看渤东地区的勘探潜力[J]. 中国海上油气(地质), 2000, 14(2): 84-92.
- [4] 王德英, 余宏忠, 于海波, 等. 渤海海域新近系层序地层格架约束下岩性圈闭发育特征分析及精细刻画: 以石臼坨凸起明下段为例[J]. 中国海上油气, 2012, 24(增刊 1): 23-28.
- [5] Peters K E, Moldowan J M. Effects of source, thermal ma-

- turity, and biodegradation on the distribution and isomerization of homohopanes in petroleum[J]. *Organic Geochemistry*, 1991, 15:47-61.
- [6] 宋长玉. 济阳坳陷严重生物降解油的类型与形成途径[J]. *油气地质与采收率*, 2006, 13(4):15-17.
- [7] 马安来, 张水昌, 张大江, 等. 生物降解原油地球化学研究新进展[J]. *地球科学进展*, 2005, 20(4):449-454.
- [8] Peters K E, Moldowan J M. *The biomarkers guide interpreting molecular fossils in petroleum and ancient sediments* [M]. New York: Prentice Hall, 1995:178-187.
- [9] 倪春华, 包建平, 朱翠山, 等. 原油生物降解模拟实验研究[J]. *石油天然气学报*, 2005, 27(5):574-577.
- [10] 宋义民, 纪伟, 李毅遼, 等. 介绍两种特殊烃组分油层[J]. *录井技术*, 2004, 15(2):15-18.
- [11] 穆天喜, 黄小刚, 刘娟霞. 蓬莱地区特殊烃组分储层的录井解释方法[J]. *海洋地质前沿*, 2016, 32(2):53-58.
- [12] 国鹏飞, 何生, 朱书奎, 等. 泌阳凹陷生物降解油“基线鼓包”成因及化合物组成[J]. *石油与天然气地质*, 2014, 35(3):317-325.
- [13] Connan J. Biodegradation of crude oils in reservoirs[C]// Brooks J, Welte D. *Advances in Petroleum Geochemistry (Volume 1)*. London: Academic Press, 1984:299-335.
- [14] Wilhelms A, Larter S R, Head I, et al. Biodegradation of oil in uplifted basins prevented by deep-burial sterilization[J]. *Nature*, 2001, 411(6841):1034-1037.
- [15] 陈传平, 梅博文, 易绍金, 等. 砂岩储层中原油微生物降解的模拟实验研究[J]. *沉积学报*, 1997, 15(1):135-140.
- [16] 王应斌, 薛永安, 王广源, 等. 渤海海域石臼坨凸起浅层油气成藏特征及勘探启示[J]. *中国海上油气*, 2015, 27(2):8-15.

INTEGRATED INTERPRETATION OF NEOGENE MUDLOGGING DATA FROM SHIJIUTUO UPLIFT IN EAST SLOPE BELT OF BOHAI BAY

YUAN Shengbin¹, MU Tianxi¹, LIU Juanxia¹, HU Yun²

(1 China France Bohai Geoservices Co., Ltd., Tianjin 300452, China; 2 Tianjin Branch of CNOOC Ltd., Tianjin 300452, China)

Abstract: The Shijiutuo Uplift of Bohai Bay is a typical composite hydrocarbon accumulation, where correlation and interpretation of mud logging data are very difficult. The interpretation results always differ from different methods. In this paper, we made a comprehensive analysis of logging data from 534 reservoirs of 19 wells on the Shijiutuo Uplift of the East Slope Belt. The mud logging data, such as gas logging, geochemical logging, E-logging, in addition to oil testing data, are carefully checked. It is found that errors and differences mainly occur in the Lower Minghuazhen Formation and Guantao Formation on biodegradation, fluorescence and gas component. For biodegradation, we made a reclassification and parameters reselection, and upon the basis established a local interpretation chart and some threshold numbers. Data consistency is then improved up to 87.7%. Therefore, the method used for this case is recommended for logging data interpretation.

Key words: Shijiutuo Uplift; mudlogging interpretation; gas logging; biodegradation