

油、水、干层的地球化学识别

张枝焕^{1,2)} 王铁冠²⁾ 常象春²⁾ 朱雷²⁾ 李伯虎³⁾ 周永炳³⁾ 刘国志³⁾

1) 北京大学城市与环境学系, 100871; 2) 石油大学, 北京, 102200

3) 大庆石油管理局勘探开发研究院, 163712

内容提要 本文介绍一种判断油、水、干层的地球化学方法, 根据储层样品中有机抽提物的含量和组成特征, 结合油层物性、地层测试和试油资料编制识别油、水、干层的图版, 提出判别油、水、干层的地质/地球化学指标, 确定油层的地球化学参数的下限。并运用此方法对松辽盆地新站油田主要油层分布段的油、水、干层进行判别。根据试油资料验证表明, 地球化学判断结果比传统的地质录井及地球物理测井资料判断结果更符合实际情况。

关键词 地球化学 油层识别 抽提物含量 储层物性

目前常规采用钻井地质录井、地球物理测井和地层测试资料综合分析的方法识别油、水层, 已经取得了很多成功的经验, 并成为识别油、水层的传统的方法。但由于地质条件的复杂性, 上述方法都存在一定的局限性。地球化学方法可以直接、准确地确定油砂体中的含油程度, 近年来人们曾提出一些根据地球化学特征分析油水层的方法(Baskin et al., 1993; 朱扬明等, 1995; 江继纲等, 1996; 李友川等, 1998; 戴鸿鸣等, 1998), 但这些方法主要综合应用地球化学特征对油水层作定性判断, 并未提出可以在油田推广的定量判识油水层的图版。以下介绍一种应用地球化学参数研究油、水、干层的新方法, 这种方法有许多其他方法所不具备的优越性, 并在松辽盆地新站油田取得了良好的实际应用成效, 可望成为判断油水层的有效补充手段。

1 样品与实验分析

样品取自松辽盆地新站油田葡萄花和黑帝庙油层, 包括不同含油级别的砂岩和粉砂岩样品, 样品分布在28口井中。首先用二氯甲烷与甲醇二元混合溶剂(二氯甲烷与甲醇的体积比为93:7)对样品进行抽提, 抽提时间为24 h, 油砂样品的抽提效率在96%以上。然后对抽提物作棒薄层色谱分析, 测定抽提物中的饱和烃、芳香烃、非烃和沥青质的相对含量。

2 抽提物含量的定量指标

2.1 二元有机抽提物含量

二元有机抽提物含量(以下简称抽提物含量或DEM)是指用二氯甲烷与甲醇二元混合溶剂(二氯甲烷与甲醇的体积比为93:7)抽提储集岩样品所取得的有机抽提物占岩石重量的百分比, 用“mg 抽提物/g 岩石”表示。抽提物含量代表目前样品所含的烃类和非烃类化合物的总和, 基本上反映了样品中的含油量。尽管在采样、样品保存和实验室抽提过程中可能引起部分轻质组分损失, 但在相同的油层地质和压力、体积、温度条件下, 含油样品中抽提物含量仍然可反映样品中含油量的相对大小。

2.2 抽提物饱和度

在油气勘探、开发中, 通常用含油饱和度来表示油层孔隙中的含油程度, 含油饱和度(S_o)是用油层孔隙中含油部分体积占总有效孔隙体积的百分数表示。即:

$$S_o = V_o / V_p$$

由于: $V_o = M_o / d_o = M_e / [1 - M_l(\%)] d_o$;

$$V_p = M_r \phi / d_r$$

则: $S_o = M_e d_r / M_r d_o \phi [1 - M_l(\%)]$
 $= 1000 DEM d_r / \phi d_o [1 - M_l(\%)]$

式中, S_o 为含油饱和度, V_o 为原始原油体积, V_p 为有效孔隙体积, M_o 为原始含油量, M_l 为损失油量, M_r 为岩石重量, M_e 为抽提物重量, d_o 为原油比重,

收稿日期: 2000-08-24; 改回日期: 2001-06-05; 责任编辑: 周健。

作者简介: 张枝焕, 男, 1962年生, 副教授。1985年毕业于成都地质学院, 1991、2000年在石油大学分别获硕士和博士学位, 现在北京大学城市与环境学系做博士后研究工作。主要从事有机地球化学的教学与研究工作。通讯地址: 102200, 北京市昌平区府学路石油大学资源与信息学院; 电话: 89733422(办); Email: zzh@bjpu.bjpu.edu.cn。

d_r 为岩石比重, φ 为储层孔隙度, DEM 为抽提物含量。

由于在特定的地质、样品采集、保存和实验室分析条件下, $d_r/d_o[1-M_r(\%)]$ 变化不大, 因此可以用 DEM/φ 代表样品含油饱和度的相对大小, 用 S_{DEM} 表示, 即: $S_{DEM} = DEM/\varphi$ 。

3 抽提物含量与储层电性特征及含油饱和度定量关系

储集岩中抽提物含量能够客观地反映储层的含油程度, 但是目前地球化学方法在储层评价中的应用仍属于非常规方法, 要使这一方法得到很好地应用和推广, 必须与传统的矿场地质/地球物理和实验室中传统方法所测定的含油饱和度方法进行对比, 并且建立定量关系。

3.1 抽提物含量与储层微球测井响应值的关系

储层微球测井响应值(W)是储层物性和含油性的综合响应, 储集岩中的抽提物含量代表样品中所含的石油的总量, 其大小也受储层物性的控制。从理论上讲二者之间存在一定的定量关系。图1为新站油田葡萄花油层和黑帝庙油层储层微球测井响应值(W)与抽提物含量(DEM)关系图。从图中看出二者之间有良好的线性相关关系。

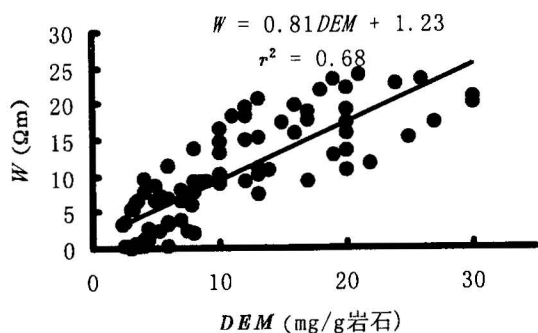


图1 新站油田葡萄花油层和黑帝庙油层储层微球测井响应值(W)与抽提物含量(DEM)关系图
Fig.1 Relation between the extraction content (DEM) in reservoir and microspheric logging parameter (W) of Putaohua and Heidimiao production layers, Xinzhan oilfield

3.2 抽提物含量与含油饱和度的关系

图2a、b分别为某井油层样品含油饱和度与 DEM 的关系图和抽提物含量与色谱法测定的含油饱和度(色谱法含油饱和度的含义和测定方法见高瑞祺等, 1992)的关系图, 从图中可以看出, 抽提物

含量与含油饱和度之间有很好的对应关系, 尤其是色谱法饱和度与抽提物含量之间有着非常好的线性关系。

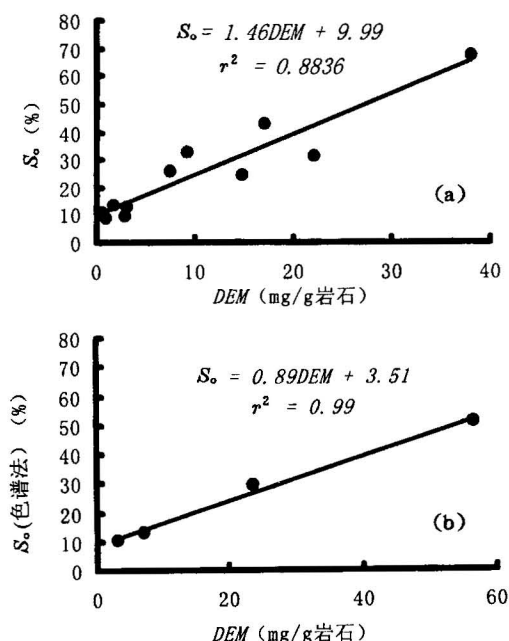


图2 抽提物含量与含油饱和度(a)及色谱法含油饱和度(b)的关系图

Fig.2 Relation between extraction content in reservoir and oil saturation (a) / chromatogram-oil saturation (b)

3.3 有效烃浓度及其与单井原油产量的关系

单井原油产量不仅取决于油层中含油程度, 还与油层有效厚度有关, 从而我们提出了一个既能反映油层中抽提物含量, 又可体现出有效厚度的参数, 即有效烃浓度。对一口单井来说, 所谓的有效烃浓度是指单井各小层内油砂样品抽提物含量的加权平均值与单井累计有效厚度的乘积, 即: 有效烃浓度 = $DEM_{\text{平均}} \times \text{单井总有效厚度}$ 。

根据试油资料与地球化学资料分析对比表明, 单井原油产量与有效烃浓度之间有良好的对应关系(图3)。

4 油、水、干层地球化学识别图版建立

从油气田开发生产角度看, 储层含油性的好坏, 主要取决于含油饱和度, 储层物性、原油性质(主要取决于原油中非烃和沥青质的含量)对其也有一定的影响, 因此应在综合考虑这些因素的基础上, 根据抽提物含量和组成(棒薄层色谱火焰离子分析数据), 结合油层物理、地层测试及试油资料标绘各参

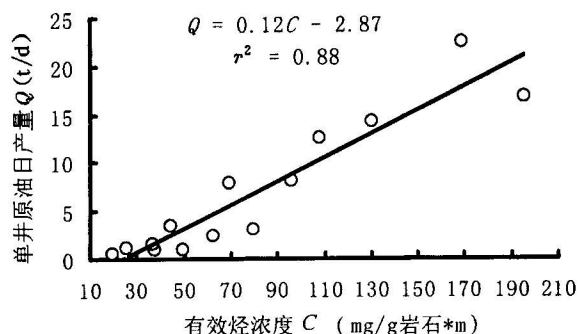


图3 新站油田单井有效烃浓度与原油日产量关系图

Fig. 3 The relation between individual-well effective hydrocarbon content and individual-well daily crude production rate in the Xinzhan oilfield

数的关系图版,提出判断油层性质的地质、地球化学指标,确定油层的地球化学参数下限值。

首先根据油砂中抽提物含量与试油结论比较,并参考储层中孔隙度分布状况,建立抽提物饱和度与试油结果的关系图(图4),提出初步划分界线,划分标准见表1。

表1 油层含油性判断标准

Table 1 A geochemical and geological standard distinguishing the oil, water and dry layers

油层		黑帝庙油层		葡萄花油层	
地质/地球化学参数		S_{DEM}	孔隙度(%)	S_{DEM}	孔隙度(%)
含油性 性质	油层	>0.5	>13	>0.8	>13
	水层或油水同层	<0.5		<0.8	>13
	干层		<13	>0.8	<9
				<0.8	<12

注:表中参数不适合于判断气层。

黑帝庙油层有效样品点23个,落在正确范围内的有22个点,误入的样品点1个,图版精度为95.6%。葡萄花油层有效样品点51个,落在正确范围内的有47个点,误入的样品点为4个,图版精度为92.2%。

在缺乏储层物性资料的情况下,油层与水层(同层或干层)的界线大致定为:泥(钙)质粉砂岩层抽提物含量(DEM)为7.5mg/g 岩石,粉砂岩层抽提物含量(DEM)为10mg/g 岩石,砂岩层抽提物含量(DEM)为12.5mg/g 岩石。

在划分油层含油性时,尤其是判断干层时,必须考虑原油中非烃和沥青质含量。根据本区样品抽提物含量与沥青质+非烃资料分析,二者之间存在着负相关关系,水层、干层的沥青质含量一般都很高,抽提物含量较低的泥质(钙质)粉砂岩中沥青质+非

烃含量也较高,而富含油的样品中沥青质和非烃含量一般不高。但也有例外,有些油浸或油斑级别,甚至富含油级别的油层,沥青质和非烃的含量也较高。所以在抽提物含量划分的基础上,再结合沥青质、非烃的含量划分干层。除孔隙度低可能是造成出现干层的原因外,如果非烃+沥青质(NOS)含量较大(大于50%),即使孔隙度较高,也可能为干层。由于气层中轻烃组分含量较高,在岩心中难以保存,并且在抽提物过程中也易于散失,因此气层中抽提物含量不高,必须结合其他地球化学特征进行分析。

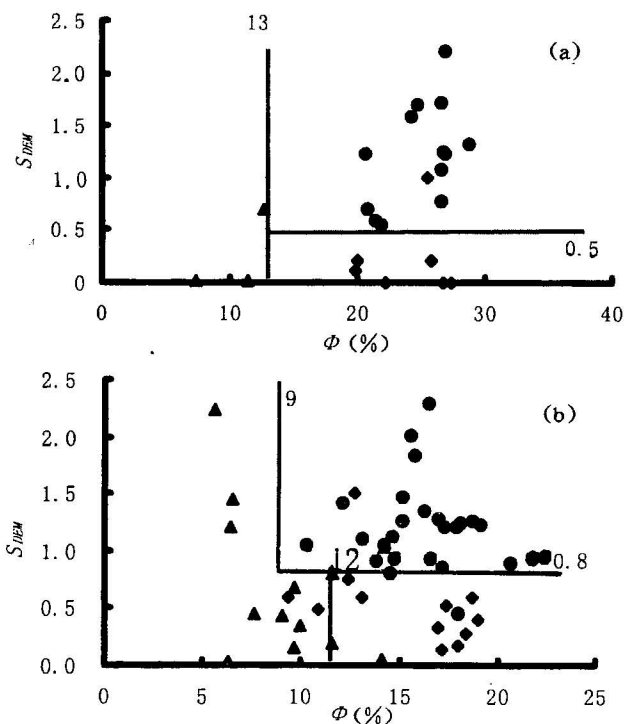


图4 新站油田黑帝庙油层(a)和葡萄花油层(b)油、水、干层识别图版

Fig. 4 The geochemical plot to distinguish the oil, water and dry layers of Putaohua (a) and Heidimiao (b) production layer, Xinzhan oilfield

●—油层; ◆—水层或油水同层; ▲—干层
●—Oil bearing layer; ◆—water layer or oil-bearing water layer; ▲—dry layer

5 地球化学与常规油层解释结果比较

5.1 与录井含油级别比较

含油级别是岩心中含油多少的直观标志,是判断油、水层及油层好坏的主要标志。录井含油级别主要依靠含油面积的大小和含油饱满程度来确定,因

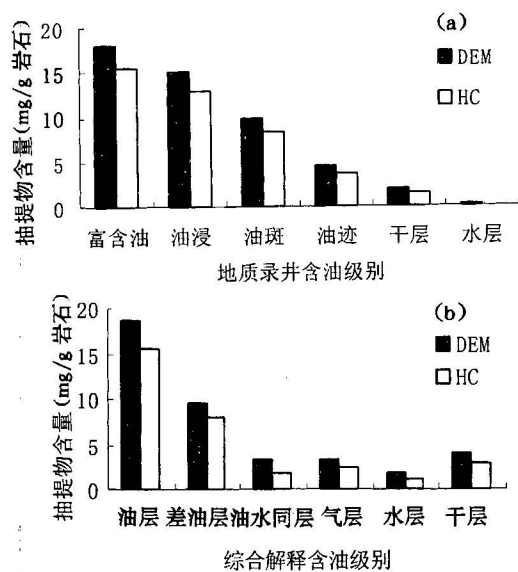


图 5 地质录井(a)和综合解释(b)不同含油级别
储层中抽提物含量平均值直方图

Fig. 5 Average extraction content histogram in different
oil-bearing reservoirs of (a) geological logging and (b)
synthesis explanation

而存在肉眼观察误差,与地下实际情况存在差别。此外,当勘探涉及复杂油气藏时,含油产状多变,油、气、水频繁交互,也使人为观察困难增大。

根据松辽盆地新站油田28口井200多个不同地质录井含油级别的样品(其中富含油的样品33个,油浸样品48个,油斑样品59个,油迹样品15个,水层9个,干层34个,含气层5个)抽提物含量间的关系进行统计分析,抽提物含量与录井记录中含油级别之间有良好的相关性(图5a)。

录井含油级别与岩样中抽提物含量的总体分布特征是一致的,但也有部分样品二者之间存在相当大的差别(表2)。如图6所示,录井含油级别中的富

表 2 油层地球化学解释结果与地质录井含油级别对比
Table 2 Contrast between the results of well-logging
explanation and the results of geochemical
explanation of reservoir oil-bearing

地化解释	地质录井含油级别(%)					
	富含油	油浸	油斑	油迹	水层	干层
油 层	28.8	33.33	27.16	1.23	0	2.47
水层、油水同层	11.11	19.75	27.16	9.88	9.88	18.52
干 层	0	14.29	28.57	21.43	0	35.71

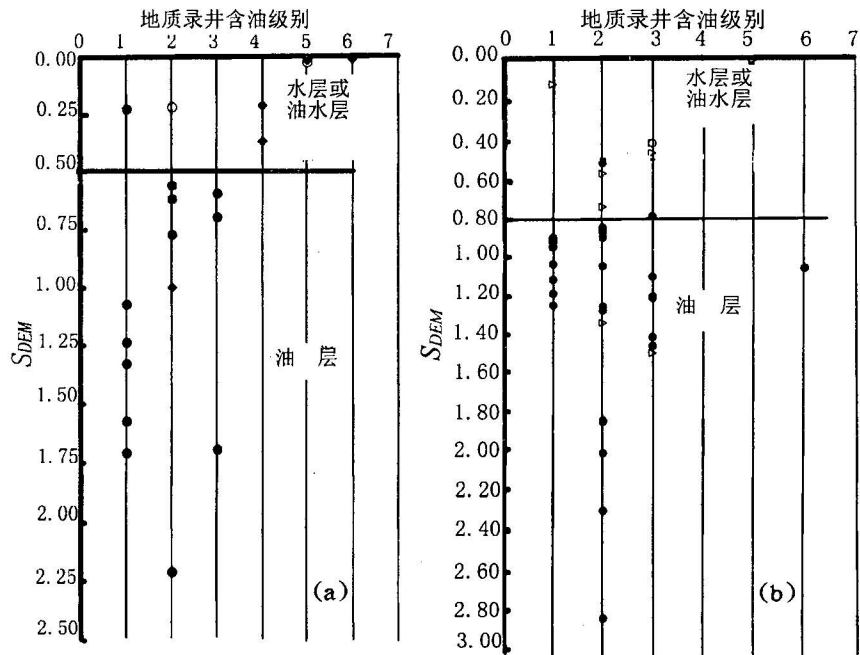


图 6 葡萄花油层(a)和黑帝庙油层(b)地球化学解释结果与地质录井含油级别对比

Fig. 6 Comparison of reservoirs oil-bearing explanation result between geological logging and geochemical method
in Putaohua (a) and Heidimiao (b) production layers

1—富含油;2—油浸;3—油斑;4—油迹;5—水层;6—干层;●—试油结果为油层;○—试油结果为水层;△/◆—试油结果为油水同层
Logging results: 1—oil-bearing sand; 2—oil soaked sand; 3—oil spot; 4—oil trace; 5—water layer; 6—dry layer;
well testing results: ●—oil bearing layer; ○—water layer; △/◆—oil-bearing water layer

含油层,地球化学解释结果也主要为油层,并与试油结果相吻合。但也有部分样品落在油水同层和水层范围内,有试油井段的两个样品,其中一个试油结果为油层,一个为油水同层。

录井含油级别为油浸的样品,地球化学解释也主要为油层,且与试油结论基本吻合(图6),但也有部分样品地球化学解释为油水层和水层,这些异常样品所在的井段试油结果主要为水层或油水层。录井解释为油斑的样品,地球化学解释也以油层为主,也有分布在水层(干层)或油水层范围内,这些样品地球化学解释结果与试油结果基本上是吻合的。油迹、水层、干层样品录井和地球化学解释比较吻合,并且与试油结论基本上是一致的。

上述分析表明,录井资料与地球化学解释结果大部分是吻合的,有部分样品解释结果不同,但地球化学解释结果与试油结果更吻合。

5.2 与油层综合解释结果比较

油层综合解释结果与抽提物含量之间有较好的对应关系(图5b),但也存在个别不一致的样品点(表3)。我们把地球化学解释结果与综合解释结果和试油结果不一致的样品所在井段,逐一进行了对照分析,结果表明,造成差别原因是多方面的,但总的来说,地球化学解释结果比其他常规解释结果与试油结果更吻合(表4)。

表 3 油层地球化学解释结果与综合解释含油级别对比

Table 3 Comparison between the results of synthesis explanation and the results of geochemical explanation of reservoir oil-bearing

地球化学解释	综合解释含油级别所占比例(%)			
	油层	差油层	水层和油水同层	干层
油 层	18.51	59.56	11.11	7.41
水层或油水同层	13.33	46.67	22.22	5.56
干 层	0	75	12.5	12.5

表 4 地球化学评价结果、综合解释结果与试油结果比较

Table 4 The comparison between well-logging explanation results/well testing results and the results from the geochemical distinction

井号	深度(m)	岩性	孔隙度(%)	DEM(mg/g 岩石)	含油性	综合解释	地化解释	试油结论
大402	1658.64	粉砂岩	14.63	16.446	富含油	差油层	油层	油层
大403	1653.44	细砂岩	21.72	20.027	富含油	差油层	油层	油层
大404	1064.66	粉砂岩	21.43	12.600	油斑	油水同层	油层	油层
大419	1048.49	粉砂岩	19.95	4.134	油迹	油层	水层或油水同层	油水同层
	1050.84	粉砂岩	9.98	0.138	含水层	油层	水层或油水同层	油水同层
古67	1728.35	泥质粉砂岩	13.53	0.100	含水层	油层	水层或油水同层	油水同层
大401	1631.64	粉砂岩	13.90	6.007	油斑	差油层	水层或油水同层	油水同层
大420	1660.70	泥质粉砂岩	14.54	11.623	油斑	差油层	油层	油层
	1661.85	粉砂岩	14.73	13.645	富含油	差油层	油层	油层
	1675.00	粉砂岩	15.80	29.035	油浸	差油层	油层	油层
	1675.50	粉砂岩	15.59	31.2133	油浸	差油层	油层	油层
	1675.70	粉砂岩	9.83	4.031	油浸	差油层	干层	油层
	1677.00	粉砂岩	17.02	21.816	油浸	差油层	油层	油层
大421	1718.47	粉砂岩	16.46	37.690	油浸	差油层	油层	油层
大408	1160.61	粉砂岩	22.26	0.200	干层	水层	水层或油水同层	油水同层
	1638.10	粉砂岩	5.13	9.465	油浸	干层	油层	油层
	1639.30	泥质粉砂岩	13.47	16.383	油斑	干层	油层	油层
	1639.65	粉砂岩	14.25	14.880	富含油	干层	油层	油层
	1639.85	粉砂岩	15.85	7.050	富含油	干层	水层或油水同层	油层
	1643.35	粉砂岩	15.92	45.032	油浸	差油层	油层	油层
英41	1534.82	粉砂岩	13.13	14.543	油斑		油层	油层
	1542.20	粉砂岩	13.79	12.556	油浸		油层	油层
大414	1607.24	粉砂岩	10.23	10.793	油浸	油层	油层	油层
	1609.04	粉砂岩	17.85	21.560	油斑	油层	油层	油层
大424	1079.45	粉砂岩	20.55	7.443	油迹	差油层	水层或油水同层	油水同层
	1092.40	细砂岩	28.74	38.065	富含油	差油层	油层	油层
	1093.30	细砂岩	26.91	59.420	油浸	差油层	油层	油层
	1094.15	细砂岩	24.74	41.808	油斑	差油层	油层	油层

6 结论

(1) 储层岩心抽提物含量与储层微球测井响应值及实验室测定的含油饱和度之间均有较好的相关关系,尤其是抽提物含量与色谱法饱和度之间有着非常好的线性关系。

(2) 根据试油资料与地球化学资料分析对比表明,单井原油产量与有效烃浓度之间有良好的对应关系。

(3) 根据抽提物饱和度和油层物性资料建立了划分油、水、干层的地球化学图版及地球化学识别标准。黑帝庙油层地球化学识别标准为:油层中油砂抽提物饱和度(S_{DEM}) >0.5 ,孔隙度 $>13\%$;水层及油层中油砂抽提物饱和度 <0.5 ,孔隙度 $>13\%$;干层中油砂抽提物饱和度变化范围较大,孔隙度 $<13\%$ 。葡萄花油层地球化学识别标准为:油层中抽提物饱和度(S_{DEM}) >0.8 ,孔隙度 $>9\%$;水层及油层中油砂抽提物饱和度 <0.8 ,孔隙度 $>12\%$;干层中油砂抽提物饱和度变化范围较大, S_{DEM} 和孔隙度的分布范围为 $S_{DEM}>0.8$ 、孔隙度 $<9\%$ 或 $S_{DEM}<0.8$ 、孔隙度 $<12\%$ 。黑帝庙油层和葡萄花油层图版精度分别为95.6%和92.2%。表明本文提出的地球化学图版及地球化学识别标志是可行的。

(4) 与试油成果对比分析进一步说明了地球化学解释结果比地质录井及油层综合解释结果更可靠,可望成为判断油水层的有效的补充手段。

(5) 与其他传统的油水层识别图版(及标准)一样,本文提出的识别油水层的图版及标准也具有明显的地区局限性,在不同地区,甚至在同一地区不同层均可能存在明显的差别,如研究区黑帝庙和葡萄

花油层的图版及识别标准是显然不同的。

参 考 文 献

- 戴鸿鸣,黄清德,王海清,孙洪斌,马常星,李明阁,潘秀林. 1998. 辽河坳陷海南8井油层地球化学检测. 石油勘探与开发, 25(5): 38~40.
- 高瑞祺,孔庆云,辛国强,黄福堂. 1992. 石油地质实验手册. 哈尔滨: 黑龙江科学技术出版社.
- 江继纲,张青. 1996. 应用热解技术识别油层. 石油勘探与开发, 23(3): 89~92.
- 李友川,蒋基平,席小应,孙晓红,李秀芬. 1998. 地球化学方法用于油层水层预测初探. 中国海上油气地质, 12(3): 193~199.
- 朱扬明,梅博文,潘志清. 1995. 储岩热解技术在石油勘探中的应用. 石油勘探与开发, 22(4): 92~95.

References

- Baskin D K, Iones R W. 1993. Prediction of oil gravity prior to drill-stem testing in Monterey formation reservoir, offshore California. AAPG Bulletin, 77(9): 1479~1487.
- Dai Hongming, Huang Qingde, Wang Haiqing, Shun Hongbin, Ma Changxin, Li Mingge, Pan Xiulin. 1998. Geochemical monitoring of Hainan Well 8 in Liaohe depression. Petroleum Exploration and Development, 25(5): 38~40 (in Chinese with English abstract).
- Gao Ruiqi, Kong Qingyun, Xin Guoqiang, Huang Futan. 1992. A Experiment Handbook of Petroleum Geology. Harbing: Heilongjiang Science and Technology Press (in Chinese).
- Jiang Jigang, Zhang Qing. 1996. Identification of oil reservoir with pyrolysis assay. Petroleum Exploration and Development, 23(3): 89~92 (in Chinese with English abstract).
- Li Youchuan, Jiang Jiping, Xi Xiaoying, Shun Xiaohong, Li Xiufen. 1998. Predicting oil and water intervals using geochemistry methods. China Offshore Oil and Gas (Geology), 12(3): 193~199 (in Chinese with English abstract).
- Zhu Yangming, Mei Bowen, Pan Zhiqing. 1995. Application of pyrolysis analysis of reservoir rock to petroleum exploration. Petroleum Exploration and Development, 22(4): 92~95 (in Chinese with English abstract).

Geochemical Method Distinguishing the Oil, Water and Dry Layers

ZHANG Zhihuan^{1,2)}, WANG Tieguan²⁾, CHANG Xianchun²⁾, ZHU Lei²⁾,

LI Bohu³⁾, ZHOU Yongbing³⁾, LIU Guozhi³⁾

1) Urban and Environment Department, Peking University, Beijing, 100871

2) Geoscience Department, University of Petroleum, Beijing, 102200

3) Daqing Petroleum Exploration and Development Research Academy, Daqing, 163712

Abstract

The relations between hydrocarbon extraction contents in reservoir rock and electrical-logging parameters, such as microspheric-logging parameter, and the relations between hydrocarbon extraction contents in reservoir rock and oil saturation in reservoir determined in laboratory were discussed in detail in this paper. The relation between individual-well daily crude production rate and individual-well hydrocarbon contents (equal to hydro-

carbon extraction contents in reservoir rock $\times$ effective thickness of production layers) is also analyzed. The reservoir rock sample and reservoir geological and engineering information are obtained from two main production layers, Putaohua and Heidimiao, in the Xinzhan Oilfield, Songliao Basin. The result shows that the hydrocarbon extraction contents in the reservoir rock may reflect hydrocarbon saturation of production layers.

On the basis of the distribution characteristics of hydrocarbon extraction saturation and the reservoir properties, such as porosity, of reservoir in the oil, water and dry layers, a geochemical plot or geochemical standard to distinguish the oil, water and dry layers was worked out to explain the oil-bearing of different layers. The results were compared with well-logging explanation results and confirmed by the well testing results, and it can be concluded that the results from the geochemical distinction are more reliable than those of well-logging explanation.

The geochemical characteristics of oil, water and dry layers are summarized. The geochemical plots to distinguish the oil, water and dry layers between the Putaohua and Heidimiao production layers are obviously different. This result shows that the geochemical plots or standards to distinguish the oil, water and dry layers put out in this paper are localized like other methods to distinguish the oil, water and dry layers, such as well-logging or electrical-logging. In different regions or different layers in a specific region, the geochemical plots or geochemical standards are different.

Key words: geochemistry; reservoir geochemical appraisal; extraction content; reservoir properties
