

文章编号:0253-9985(2006)05-0689-07

地表土壤中物理吸附轻烃的石油地质意义

李广之^{1,2},程同锦³,汤玉平³,邓天龙²

(1. 中国石油化工股份有限公司 石油勘探开发研究院 合肥石油地质研究所,安徽 合肥 230022;

2. 成都理工大学 材料与化学化工学院,四川 成都 610059; 3. 中国石油化工股份有限公司

石油勘探开发研究院 无锡石油地质研究所,江苏 无锡 214151)

摘要:油气藏中的轻烃在和环境进行物质和能量的交换过程中,各赋存状态轻烃在沉积岩表面的作用下构成了一个动态的物理化学平衡。油气藏上方地表土壤中的物理吸附轻烃主要来源于油气藏,其组成和含量上的特征可反映油气藏的性质和特征。根据环境中物理吸附轻烃的含量与组分特征,可追踪出轻烃供给源(即油气藏),并可进一步预测与推断出油气藏的性质和特征。物理吸附轻烃技术是让样品在真空状态下比较完全地释放出所吸附的物理吸附轻烃,用气相色谱仪定性和定量分析其中的轻烃组分,然后根据轻烃的浓度变化来推断油气藏的性质和特征。物理吸附轻烃技术在岩性变化很大的四川盆地新场气田实验剖面上、在地质及地表条件复杂的鄂尔多斯盆地镇原-泾川黄土塬实验区及塔里木盆地柴窝堡戈壁实验区都有很好的油气指示意义。该技术取得了很好的应用效果且有着广泛的应用前景。

关键词:物理吸附;轻烃;油气;指示意义**中图分类号:**TE122.3**文献标识码:**A

Petroleum geological significance of physical absorption of hydrocarbon in surface soil

Li Guangzhi^{1,2}, Cheng Tongjin³, Tang Yuping¹, Deng Tianlong³

(1. Petroleum Geochemical Exploration Unit, Petroleum Exploration and Production Research Institute, SINOPEC,

Hefei, Anhui 230022; 2. College of Materials and Chemistry & Chemical Engineering, Chengdu University of

Technology, Chengdu, Sichuan 610059; 3. Wuxi Research Unit of Experimental Petroleum Geology,

Petroleum Exploration and Production Research Institute, SINOPEC, Wuxi, Jiangsu 214151)

Abstract: During a mass and energy exchange between the light hydrocarbon in reservoirs and its environment, a dynamic equilibrium is formed by the light hydrocarbons of all states under the action of sediment surface. The light hydrocarbon physically absorbed by surface soil mainly comes from the reservoirs below and their composition and content can reflect the nature and features of the associated reservoirs. By tracing the composition and content of absorbed light hydrocarbons, the hydrocarbon source (i. e. reservoir) can be located and its quality and characteristics can be predicted. The technology of physical absorption of light hydrocarbon is to completely release the physically absorbed light hydrocarbons from soil samples in a vacuum state and qualitative and quantitative analysis the composition of released hydrocarbon with a gas-chromatogram, so as to predict the quality and characteristics of the reservoir through an observation of the concentration change. The application of the technology in the pilots in Xinchang gas field of Sichuan basin, in Zhenyuan-Jinchuan loess tableland of Ordos basin, and in Chaiwopu Gobi of Tarim basin both with complex surface and geologic conditions gains positive results and implies a bright future for its further application and development.

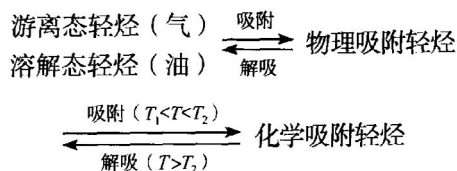
Key words: physical absorption; light hydrocarbon; oil and gas; indicative significance

收稿日期:2006-02-09

第一作者简介:李广之(1970—),男(汉族),高级工程师,油气地球化学基础理论、技术方法应用及实验分析技术
基金项目:中国石油化工股份有限公司科技项目(P02091)

油气藏中的轻烃无非以两种状态进行垂向运移:一种是溶解态(溶解于水或石油中),另一种是游离态(独立气相形式)。后者是最主要的垂向运移方式^[1,2]。处于固体表面的原子或离子,由于周围原子或离子对它的作用力不对称,存在剩余价力场,有吸附气体或液体的能力^[1~6]。因而,轻烃在垂向微运移^[7~11]过程中必然要被其运移通道表面所吸附。油气藏中轻烃向环境中垂向运移的结果是使环境中的轻烃分布被限制在一定而又明确的区域空间内,而轻烃运移通道表面对轻烃的吸附作用又留下了轻烃运移的“印迹”^[11~13],从而造成了油气藏上方一定区域空间内的轻烃分布有别于正常地层空间的轻烃分布,且在运移的过程中与环境之间的相互作用又导致环境中轻烃的组成和浓度的有规律变化以及剖面地球化学特征的有规律变化,而这些变化的规律性又可以通过研究地层岩石所吸附轻烃的浓度和组分变化特征反映出来。因此,可以通过这些变化的规律性追踪轻烃在运移过程中所遗留下来的痕迹^[1,5,13],据此预测和监测地下油气储层,并可对油气储层的含油气能力、含油气属性及油气成因^[1~3,13]作出较为准确的判断。

游离态轻烃和溶解态轻烃在自下而上的垂向运移过程中和运移通道表面很容易发生物理吸附作用,作用过程几乎没有能量的变化^[1~5]。某层位的物理吸附轻烃的组成和含量与运移到该层位的游离态轻烃和溶解态轻烃的组成和含量有关,而这二者又直接来源于油气藏,其组成和含量上的特征可反映油气藏的性质和特征。因此,物理吸附轻烃的组成和含量上的特征也可反映油气藏的性质和特征。油气藏中的轻烃在和环境进行物质和能量的交换过程中,各赋存状态轻烃在沉积岩表面的作用下构成了一个动态的物理化学平衡,在压力或溶液中轻烃浓度一定的条件下,该平衡可表示为^[1~5]:



式中, T 表示温度; T_1 为化学吸附的临界吸附温

度; T_2 为化学吸附的临界解吸温度。从平衡式中可以看出,根据环境中物理吸附轻烃的含量与组分特征,可追踪出轻烃的供给源(即油气藏),并可进一步预测与推断出油气藏的性质和特征。如果提取到对应层位物理吸附轻烃的组成和含量信息,就可以一定程度上了解和认识对应地层及下伏地层的含油气信息,进而有效地为油气勘探和生产服务。从平衡式中还可看出体系压力对左半部分平衡的影响:当温度一定时,随着体系压力减小,左半部分平衡向解吸方向移动^[1~5];也就是说,在真空或负压的状态下,可以把物理吸附轻烃较充分地解吸出来。这是物理吸附轻烃技术应用于油气勘探的理论基础。

1 提取与分析技术

1.1 提取与分析

物理吸附轻烃技术的具体思路如下:把所取土壤或岩屑样品称重(或量体积)后置入特制的样品预处理装置中,加入饱和盐水排走空气,通过外力作用造成内部具有一定真空度的真空,使样品中的物理吸附轻烃较完全地脱出来;再设法收集所脱的气体,取部分用气相色谱仪定性和定量分析其中的 C_1 — C_7 轻烃组分。该技术所分析的轻烃包含了物理吸附轻烃、少部分孔隙水中的水溶轻烃和游离轻烃(大部分游离轻烃在取样及装样过程中逸散了),其主要成分为表面所吸附的物理吸附轻烃。

1.2 定量技术

在理论上可根据脱气体积把技术中所分析的轻烃准确地定量为单位重量(或单位体积)样品的物理作用吸附轻烃的含量。从实验结果来看(表1),样品体积与轻烃的含量似乎不相关,在一定范围内与脱气体积也不相关。究其原因应该是样品表面所物理吸附的气体中轻烃的含量是一定的,而与样品重量或体积无关;也就是说,样品表面对轻烃并无选择性吸附效应,而是对环境中气体的整体吸附。物理吸附轻烃技术的分析数据单位是 $\mu\text{L/L}$,意义是每升所脱气体中含有多少微升的某组分轻烃浓度,无需定量为单位重量(或单位体

表1 采样体积实验
Table 1 Experiment of sampling volume

样品名	采样体积/ml	脱气量/ml	浓度/($\mu\text{l} \cdot \text{L}^{-1}$)								
			甲烷	乙烷	乙烯	丙烷	丙烯	异丁烷	正丁烷	异戊烷	正戊烷
27-12	50	1.0	6.99	0.17	0.72	0.16	0.21	0.48	0.09	0.17	0.48
	75	2.2	5.26	0.17	0.62	0.11	0.15	0.25	0.02	0.04	0.10
	100	3.2	4.64	0.15	0.42	0.11	0.12	0.26	0.02	0.07	0.41
28-12	50	1.3	6.62	0.24	0.74	0.17	0.23	0.25	0.05	0.05	0.40
	75	2.4	4.76	0.16	0.59	0.19	0.25	0.18	0.03	0.12	0.35
	100	0.7	7.62	0.24	0.56	0.15	0.23	0.56	0.03	0.12	0.58
29-12	50	0.7	6.28	0.21	0.67	0.18	0.25	0.56	0.07	0.02	0.41
	75	0.6	6.43	0.40	0.20	0.18	0.21	0.64	0.04	0.14	0.41
	100	0.7	5.80	0.27	0.23	0.16	0.21	0.44	0.04	0.03	0.21

积)样品的物理作用吸附轻烃的含量。如果脱气体积太大,表明脱气系统漏气,有空气进入系统,须重新处理或进行校正。从抑制脱气系统背景干扰的角度考虑,应尽量选择较大重量或体积的样品。

1.3 技术特点

1.3.1 含量较高,组分较多

由于该技术采用了内部造真空的方法,避免了空气的影响,且能较完全地把物理吸附的轻烃定量提取出来,从而使对应位置单位重量(或单位体积)样品物理吸附轻烃的含量较顶部空间气中的轻烃含量高,所提取的轻烃组分多。表2鄂尔多斯盆地镇原-泾川黄土塬实验区(面积近150 km²,样本数642个)的轻烃指标特征中,物理吸附轻烃含量高于热释烃指标近3倍,高于游离烃指标近2倍,相比较热释烃及游离烃指标,表现了较高的丰度值。由于前两指标在部分地区大部分样点的检测值接近仪器的检出下限,因此物理吸附轻烃指标从丰度和组分特征上保证了其化探应用

的效果。

1.3.2 避免生物成因气干扰

物理吸附轻烃受到了沉积岩或溶液的范德华引力^[14],较游离气中的轻烃稳定,受外界环境影响相对较小,且各赋存状态轻烃在沉积岩表面的作用下构成了一个动态的物理化学平衡。物理吸附轻烃达到对应条件下的饱和度时,就不再吸附游离态和溶解态的轻烃。油气藏的形成要早于当前对应上方地表土壤的沉积,而油气藏中的烃类垂向微运移自形成后就一直稳定存在,当其上方的土壤一沉积下来,就要吸附从下伏油气藏运移来的烃类,而此时土壤中的有机物还未能微生物作用下生成烃类。当物理吸附轻烃在对应条件下达到饱和状态时,就不再吸附微生物作用下生成并运移上来的轻烃,因而可一定程度上避免生物作用成因轻烃的干扰。在塔里木盆地柴窝堡戈壁实验区的化探指标中,有些技术轻烃指标在河边和湖边表现为高值特征(表3);而物理吸附轻烃指标未出现这样的特征。

表2 鄂尔多斯盆地镇原-泾川黄土塬实验区轻烃指标特征
Table 2 Characteristics of light hydrocarbon indicator in the pilot
in Zhenyuan-Jinchuan loess tableland, Ordos basin

指 标	浓度/($\mu\text{l} \cdot \text{L}^{-1}$)			标准偏差
	极小值	极大值	均值	
热释烃甲烷	0.04	12.94	2.60	1.34
热释烃重烃	0.02	4.50	0.74	0.56
物理吸附轻烃甲烷	2.86	258.85	7.24	12.69
物理吸附轻烃重烃	0.16	5.50	0.84	0.52
游离烃甲烷	1.12	89.09	4.67	5.34
游离烃重烃	0.00	10.69	0.72	1.16

表3 塔里木盆地柴窝堡戈壁实验区酸解烃指标特征

Table 3 Characteristics of acidolysis hydrocarbon indicators in the pilot in Chaiwopu Gobi, Talinu Basin

指标	全区	盐湖区	戈壁区	山前区	丘陵区
甲烷/($\mu\text{l} \cdot \text{kg}^{-1}$)	181.52	774.20	94.25	175.06	232.44
乙烷/($\mu\text{l} \cdot \text{kg}^{-1}$)	17.89	140.74	7.19	11.48	10.67
丙烷/($\mu\text{l} \cdot \text{kg}^{-1}$)	6.99	58.56	2.69	3.83	3.63
重烃/($\mu\text{l} \cdot \text{kg}^{-1}$)	29.53	233.19	11.81	18.35	17.19
重烃/甲烷	0.12	0.17	0.13	0.11	0.07

1.3.3 适用性广

物理吸附轻烃技术是在内部真空状态下充分解吸物理作用吸附的轻烃。而物理作用吸附轻烃与油气源的相关性好,在样品中具有一定的稳定性,受岩性影响很小,不受原生烃及生物成因烃干扰。所有这些特点决定了物理吸附轻烃技术具有广泛的应用效果:对不同地貌特征、不同岩性的地区都有很好的应用效果,可用于各种类型土壤的地表化探,对海底土样及水样适用,对南方酸性土壤及碳酸岩表层同样适用;当用于井中化探时,可对油气储层的质量作出准确评价;该技术还可用于勘探冻土及海底的气水化合物。而其他轻烃技术的应有效果都具有一定的局限性。

2 在地表土壤中的石油地质意义

2.1 反映油气的性质特征

从地表样品物理吸附轻烃分析数据可以判断出下伏油气藏的属性。气藏的主要成分为 C_1-C_4 轻烃组分,其上方地层中也主要含有 C_1-C_4 轻烃组

分,湿度值 $W_h \left(W_h = \frac{C_2 + C_3 + C_4 + C_5}{C_1 + C_2 + C_3 + C_4 + C_5} \times 100 \right)$ 较

小;而油藏或油气同藏的主要成分为 C_1-C_7 轻烃组分,其上方地层中也主要含有 C_1-C_4 轻烃组分,但湿度值较大。表4为新场气田气藏上方和镇原-泾川黄土塬区油藏上方地表土样的物理吸附轻烃分析数据。从表中数据可以看出,气藏上方地表土样中缺失异戊烷和正戊烷组分, W_h 值较小;而油藏上方地表土样中含有异戊烷和正戊烷组分, W_h 值较大。

2.2 在岩性突变区的石油地质意义

因物理吸附轻烃技术是在真空状态下脱气,不受岩性吸附力的影响。用物理吸附轻烃技术对四川新场气田上方B剖面(图1,气藏位置在B5—B11之间,A和C剖面做其他方法实验)进行试验,尽管剖面岩性变化较大(图2),但结果表明该技术有效地避免了岩性的干扰,具有很好的应用效果,油气指示明显、准确(图3);而顶空气技术应用效果受到了B02和B04点的影响(图4),酸解烃及热释烃技术则应用效果不好(图5)。

表4 新场气田气藏上方和镇原-泾川黄土塬实验区油藏上方样品物理吸附轻烃指标特征对比

Table 4 Comparison of characteristics of geophysically absorbed light hydrocarbon in soil samples taken from Xinchang gas field and the oil reservoirs in Zhenyuan-jinchuan loess tableland pilot

	样号	浓度/($\mu\text{l} \cdot \text{L}^{-1}$)									$W_{\text{h}}, \%$
		甲烷	乙烷	乙烯	丙烷	丙烯	异丁烷	正丁烷	异戊烷	正戊烷	
气藏上方	B07	214.20	9.23	5.51	2.69	1.25	0.34	0.28	0	0	8.30
	B08	398.60	29.08	10.91	9.30	2.70	0.91	0.81	0	0	11.90
	B09	96.70	4.92	1.65	1.75	0.66	0.33	0.36	0	0	8.80
	B10	371.30	14.50	2.85	6.01	1.08	1.26	0.76	0	0	6.70
油藏上方	12-15	5.97	0.21	0.55	0.05	0.21	0.24	0.03	0.02	0.24	20.60
	12-16	2.98	0.10	0.27	0.05	0.13	0.19	0.02	0.04	0.04	22.00
	12-17	3.94	0.07	0.31	0.07	0.20	0.11	0.06	0.05	0.08	19.40
	12-18	6.48	0.15	0.66	0.12	0.55	0.22	0.05	0.03	0.18	23.20

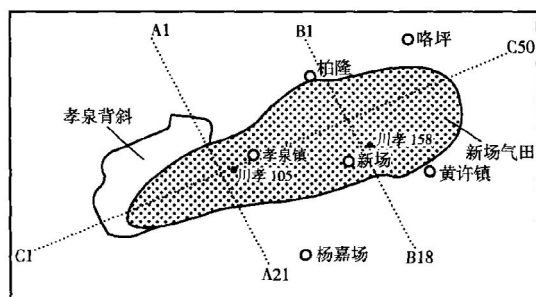


图1 四川新场气田油气化探测量点示意图

Fig. 1 Sampling spots of geochemical prospecting for oil and gas in the Xinchang gas field, Sichuan basin

2.3 在黄土塬区的石油地质意义

黄土区由于黄土的成因特点与本身的结构特征,在自然界长期营力作用下切割严重,地形地貌复杂,塬、梁、峁密布,呈季节性特点的树枝状水系十分发育,故酸解烃及热释烃技术应用效果不好。用物理吸附轻烃技术对黄土塬实验区进行应用研究,取得了很好的应用效果(图6):6

口油井在环状异常内,而空井在异常外;中、下部有一异常集中区域,未经钻探验证。物理态轻烃、重烃地球化学图的高值异常分布还显示了一定的方向性,其高值异常具有北东走向的条带分布特征,这与实验区的砂体等厚分布走向一致。

2.4 在戈壁区的石油地质意义

由于大多数戈壁区广泛分布着较厚的砾石层,近地表沉积物主要是砾石与砂土、粘土的混杂堆积,其取样工作均受到了很大程度的限制,且不易取得岩性一致的样品,故其他烃类分析技术易受地貌和岩性的影响导致应用效果不好。用物理吸附轻烃技术对黄土塬实验区进行应用研究,取得了很好的应用效果(图7)。物理吸附轻烃、重烃的主要高值带出现在试验区的东部,与地貌和岩性没有关系。在A井(获工业油气流)区上出现了一个环状异常,异常呈北西走向,临近的B井(钻遇低产油层)在异常之外;东北角出现一个面

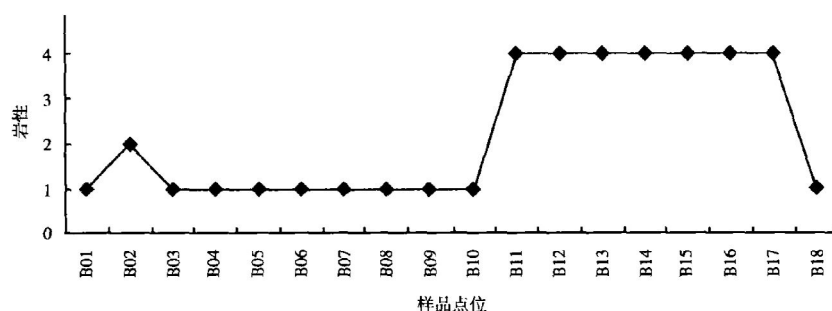


图2 四川新场气田B剖面岩性变化

Fig. 2 Lithology variety on B section in Xinchang gas feild

岩性代号:1. 砂土;2. 亚砂土;3. 亚粘土;4. 粘土

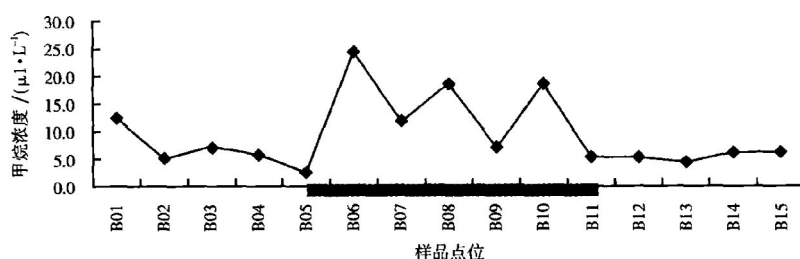


图3 四川新场气田B剖面物理吸附轻烃甲烷浓度

Fig. 3 Methane concentration in geophysically-absorbed-gas on

B section in Xinchang gas field, Sichuan basin

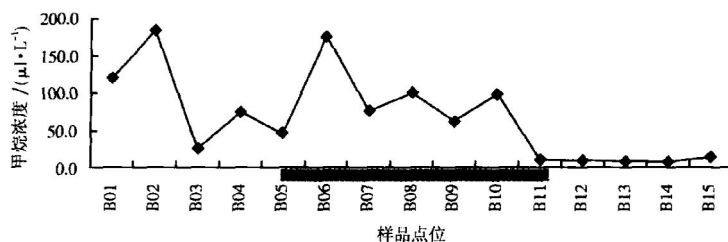


图4 四川新场气田B剖面顶空气甲烷浓度

Fig. 4 Methane concentration in head-space-air on B section in Xinchang gas field, Sichuan basin

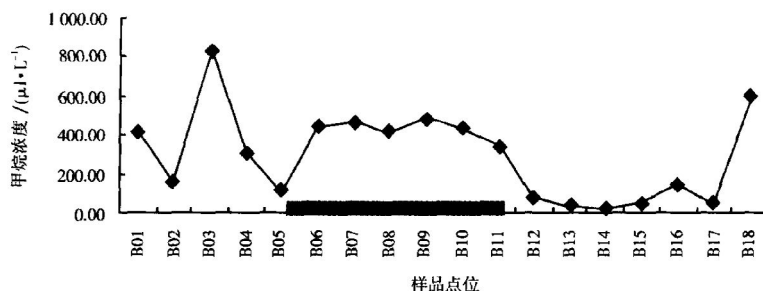


图5 四川新场气田B剖面酸解烃甲烷浓度

Fig. 5 Methane concentration in acidolysis-hydrocarbon on B section in Xinchang gas field, Sichuan basin

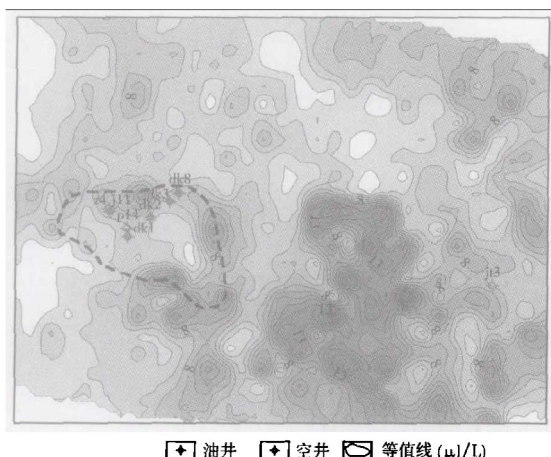
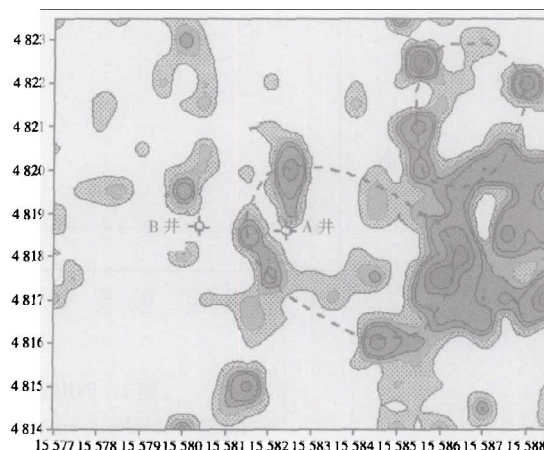


图6 镇原-泾川黄土塬实验区物理吸附轻烃甲烷地球化学

图6 镇原-泾川黄土塬实验区物理吸附轻烃甲烷地球化学
(虚线框表示环状异常区域)

Fig. 6 Geochemical map of geophysically absorbed methane from oil reservoirs in Zhenyuan-Jinchuan loess tableland

积较小的环状异常,未经勘探验证。同时,物理吸附轻烃丁烷异构比(iC_4/nC_4)指标的主要高值带在实验区的中部B井区上方形成了一个顶端块状异常,其范围与其他指标形成的环状异常比较匹配,可能是由于油气藏的存在使异构烷烃能不断地得到有效补充所形成的,在烃组构上与油气区以外的样品产生了显著差异。

图7 柴窝堡戈壁实验区物理吸附轻烃、重烃(C_2^+)
指标浓度异常($\mu L/L$)

(虚线框表示环状异常区域)

Fig. 7 Geochemical concentration anomalies of physically-absorbed light hydrocarbons and heavy hydrocarbons (C_2^+) in the pilot in Chaiwopu Gobi area

3 结论与建议

3.1 结论

物理吸附轻烃技术是在内部真空状态下充分

解吸物理作用吸附的轻烃。物理作用吸附的轻烃与油气源的相关性好,在样品中具有一定的稳定性,受岩性影响很小,不受原生烃及生物成因烃干扰。所有这些特点决定了物理吸附轻烃技术具有广泛的应用效果。物理吸附轻烃技术在不同地貌和岩性的区域都有很好的油气指示意义。

3.2 建议

物理吸附轻烃技术的关键在于定量提取与分析的对应地层的物理吸附轻烃,以此来反映与对应地层或下伏地层相关的含油气信息。在技术的实施过程中,要充分发挥样品预处理技术、测试与分析技术、计算与处理技术及解释与评价技术的作用。新技术的应用要结合地层沉积环境和沉积相、构造条件和水动力条件等,提高高科技含量,以提高新技术的应用效果。为此,还需做以下工作:1)使定量技术更加准确、有效;2)进一步研究岩性、孔隙度、含水率、采样条件及样品处理条件对物理吸附轻烃含量的影响;3)整套处理装置向自动化方向改进;4)在沙漠区域的应用研究;5)异常模式的确立、异常与油气藏对应关系的校正等。

参 考 文 献

- 李广之,陈昕华. 物理吸附轻烃的录井技术及其石油地质意义[J]. 石油勘探与开发,1999,26(4):96~99
Li Guangzhi, Chen Xinhua. Logging technology of geophysically absorbed light hydrocarbons and its petroleum geological significance[J]. Petroleum Exploration & Development, 1999, 26(4): 96~99
- 李广之,胡斌,袁子艳,等. 轻烃的吸附与解吸模型[J]. 天然气地球科学,2006,17(4):552~558
Li Guangzhi, Hu Bin, Yuan Ziyang, et al. The model of light hydrocarbons adsorption & desorption[J]. Nature Gas Geoscience, 2006, 17(4): 552~558
- 李广之,汪林自. 吸附态轻烃的解吸与分析[J]. 物探与化探,2000,24(1):34~42
Li Guangzhi, Wang Linzi. The desorption, analysis and application of adsorbed light hydrocarbon[J]. Geophysical and Geochemical Exploration, 2000, 24(1): 34~42
- 李广之. 轻烃地球化学场的形成和特征[J]. 石油与天然气地质,1999,20(1):66~69
Li Guangzhi. Formation and characteristics of light hydrocarbon geochemical fields[J]. Oil & Gas Geology, 1999, 20(1): 66~70
- 李广之,袁子艳,胡斌,等. 利用顶空气技术判别凝析气(油)储层[J]. 天然气地球科学,2006,17(3):309~312
Li Guangzhi, Yuan Ziyang, Hu Bin, et al. Identify the attribute of the condensable gas or oil beds by using the analysis technology of headspace gas[J]. Nature Gas Geoscience, 2006, 17(3): 309~312
- 傅献彩,沈文霞,姚天扬. 物理化学[M]. 北京:高等教育出版社,1991.934~968
Fu Xiancai, Shen Wen Xia, Yao Tianyang. Physical chemistry[M]. Beijing: Advanced Education Press, 1987. 934~968
- 汤玉平,刘运黎,赵跃伟,等. 四川盆地烃类垂向微运移及其地球化学效应[J]. 石油实验地质,2005,27(5):508~511
Tang Yuping, Liu Yunli, Zhao Yuewei, et al. Hydrocarbon vertical micro-migration and its geochemical effects in Sichuan basin[J]. Petroleum Geology & Experiment, 2005, 27(5): 508~511
- 刘运黎. 似源组构异常在油气化探中的应用[J]. 石油与天然气地质,2003,24(2):184~186,190
Liu Yunli. Application of source-similar fabric anomaly analysis in petroleum geochemical exploration[J]. Oil & Gas Geology, 2003, 24(2): 184~186, 190
- 汤玉平,蒋涛. 油气藏不同部位 ΔC 差异性分析[J]. 石油与天然气地质,1999,20(1):76~77
Tang Yuping, Jiang Tao. Differential analysis of ΔC in different parts of oil-gas pools[J]. Oil & Gas Geology, 1999, 20(1): 76~77
- 汤玉平,唐艳玲. 荧光光谱在烃类垂向微运移研究中的应用[J]. 石油与天然气地质,2000,21(4):369~371
Tang Yuping, Tang Yanlin. Application of fluorescence spectrum to studies of hydrocarbon micro-migration in vertical direction[J]. Oil & Gas Geology, 2000, 21(4): 369~371
- 程军,郭旭升. 油气垂向微运移的证据及特点[J]. 石油与天然气地质,2000,21(3):236~240
Chen Jun, Guo Xusheng. Evidences and characteristics of petroleum micro-migration in vertical direction[J]. Oil & Gas Geology, 2000, 21(3): 236~240
- 赵克斌,孙长青. 油气化探在天然气勘探中的应用[J]. 石油实验地质,2005,27(6):574~584
Zhao Kebin, Sun Changqing. Application of hydrocarbon geochemical exploration technique in nature gas exploration[J]. Petroleum Geology & Experiment, 2005, 27(6): 574~584
- 任以发. 微量烃分析在井中化探录井中的应用[J]. 天然气地球科学,2005,16(1):88~92
Ren Yifa. Apply of paucity hydrocarbon in the borehole geochemical exploration log[J]. Nature Gas Geoscience, 2005, 16(1): 88~92
- 武汉大学,吉林大学. 无机化学[M]. 北京:高等教育出版社,1987.210~220
Wuhan University, Jilin University. Abiochemistry[M]. Beijing: Advanced Education Press, 1987. 210~220

(编辑 李 军)