

塔里木碳酸盐岩油水层有机地球化学判识方法

陈传平¹, 孙伟琳¹, 袁志华¹, 苏秀芳¹, 弥积良², 黄克难²

(1. 江汉石油学院, 湖北荆州 434102; 2. 塔里木石油勘探开发指挥部, 新疆库尔勒 843000)

摘要: 当碳酸盐岩储层的含油饱和度 $> 50\%$ 时, 即为油层; $< 10\%$ 时划分为水层。对中-重质油而言, 利用岩石热解和电测解释可获得碳酸盐岩岩芯的含油率和岩石孔隙度, 通过计算获得岩石的视含油饱和度, 从而判识储层的性质; 轻质油的视含油饱和度对判断储层性质已无实际意义, 主要依据储层有机溶剂抽提物的气相色谱特征来进行油水层的识别。塔里木盆地应用此方法判识的油水层已经被钻井所证实。

关键词: 碳酸盐岩; 储层; 有机地球化学; 视含油饱和度; 塔里木盆地

第一作者简介: 陈传平, 男, 44岁, 副教授, 化学化工

中图分类号: P641.3 **文献标识码:** A

碳酸盐岩在塔里木盆地下古生界沉积地层中有着广泛的分布, 其中蕴藏的油气在勘探中占有重要的比重。开展塔里木碳酸盐岩油气水层识别的方法研究有着重要的意义。

碳酸盐岩储层, 普遍具有储集空间复杂、储集类型多样、非均质性极强的特点。研究和识别其中油气水层比砂岩储层要困难得多。目前, 对碳酸盐岩渗透层中油气水层的判别, 测井解释存在许多困难, 特别是以裂缝和溶蚀洞穴为主的油气层, 在研究和识别上就更为困难, 至今仍然是个棘手的问题^[1]。由于常规测井资料难以直接反映储层流体性质和类型, 根据测井曲线往往得到的是对碳酸盐岩裂隙优劣的评价(I~II级)。

有机地球化学方法在预测储层孔隙中流体的性质方面具有独到的优点, 正好可以补充物理测井方法的某些不足。储层热解(rock-eval)已在储层含油性的评价^[2,3]和砂岩油水层的定量判别^[4,5]方面得到了广泛的应用, 并有利用毛细管气相色谱判别砂岩油气水层的成功范例^[6]。目前, 已开始运用有机地球化学手段来确定碳酸盐岩储层油水界面^[7]。

1 方法

塔里木碳酸盐岩储层中古生代原油经历了漫长地质演化过程, 以成熟-过成熟的轻质油或凝析

油为主; 同时, 在一些圈闭条件遭受部分破坏的油藏中, 原油经历了微生物的降解、水洗等作用, 形成了中质-重质原油甚至稠油。因此可将碳酸盐岩储层原油划分为轻质油和中质-重质油两大类。

储层性质(油、水层)的有机地球化学判别是基于其中含油饱和度划分的。当含油饱和度 $> 50\%$ 时, 可划分为油层; 含油饱和度 $< 10\%$, 划分为水层; 其余依次划分^[4](表1)。无论砂岩或碳酸盐岩, 只有当储层中储集了足够的油气并满足其他条件时, 如岩石孔隙渗物性, 才能够在试油或生产中产出以油气为主的流体。

表1 含中质-重质油碳酸盐岩储层性质及孔隙度 Φ 和PG值关系

Table1 Relations between medium-heavy oil bearing carbonate rock reservoir nature, porosity Φ and PG value			
储层性质	S'	PG(校正系数1.3)	
		$\Phi \geq 4\%$	$\Phi \geq 2\%$
油层	$> 50\%$	> 4.5	> 2.2
含水油层	$40\% \sim 50\%$	> 4.2	> 2.1
油水同层	$20\% \sim 40\%$	> 2.8	> 1.4
差油层	$10\% \sim 20\%$	> 1.4	> 0.7
水层或干层	$< 10\%$	< 0.9	< 0.5

对中质-重质油, 利用岩石热解仪获取的碳酸盐岩岩芯样品含油率(PG值, $k_{\text{烃}}/t_{\text{岩}}$), 根据电测解释中的岩石孔隙度(Φ , $\%$)或实测值, 可以直接计算出岩石中视含油饱和度(S' , $\%$), 从而作为划分油水层的指标。计算原理和具体步骤见参考文献[4]。

对轻质油,由于岩芯样品采出地面后,其中大量组分容易散失,热解 PG 值难以真实反映地下油气面貌,利用视含油饱和度进行储层性质预测已无实际意义。此时,可结合储岩有机溶剂抽提物的气相色谱特征进行油水层的识别。

2 样品采集和分析

2.1 采样

本文中研究的样品为钻井过程采出的岩芯。为减少轻质组分的散失,在岩芯采出地面后应及时采样并分析。考虑到碳酸盐岩的非均质性,采样时可适当加密,通常间隔 0.2~0.5 m,在接近录井或电测给出的油水界面时,可间隔 0.2 m。取样量约 5~10 g。采样中尽量选取岩芯中间部位,以避免泥浆等的污染。

2.2 分析

(1) 热解 操作过程同常规分析。

(2) 气相色谱分析 称取约 2 g(准至 0.1 g)样品,碎成米粒大小,在具塞三角瓶中,加入三氯甲烷,密闭条件下浸泡 12 小时。过滤,滤液待溶剂挥发复称重(准至 0.000 1 g),得单位重量岩石有机抽提物含量。有机抽提物中加入一滴三氯甲烷重新溶解后,直接注入毛细管气相色谱仪,用氢火焰离子检测器检测,经色谱数据工作站处理,打印储层油全烃色谱图和归一化定量报告。操作条件同全油色谱分析。

3 结果与讨论

3.1 储油性质的预测

根据岩芯热解分析参数和有机抽提物的气相色谱特征,可预测储岩中原油性质,进而进行分类。对轻质油,油质系数 TPI 通常 > 0.70 , 表明含有较多气体和轻质组分; 当 $0.50 < TPI < 0.70$, 可划分为中质-重质油。热解峰温 T_{max} 对应着热解中加热过程液态烃含量最大组分的出峰温度,从一个侧面反映了油质的轻重,根据对塔里木碳酸盐岩原油的统计,轻质油大多 $T_{max} < 430^{\circ}\text{C}$, 而中质-重质油 $T_{max} > 430^{\circ}\text{C}$ 。气相色谱图上,轻质油表现为“前峰型”,主峰碳正构烷烃碳数低,高碳数 ($> C_{20}$) 正构烷烃含量低,中质-重质油则反之。

此外,由于划分的原油类型相对简单,还可根据岩芯缝洞中储集油的外观,如色泽、粘性等作出

预测。

3.2 中质-重质油层的识别

利用岩石热解含油率(PG 值)和岩石孔隙度(Φ)的关系计算视含油饱和度 S' ,其中碳酸盐岩密度取 2.7 t/m^3 ,原油密度在缺少实测值的情况下近似取 0.88 t/m^3 。计算中考虑到岩芯样品中部分油气的散失, PG 值乘上校正系数 1.3。

根据计算结果,表 1 中列出了碳酸盐岩储层性质与视含油饱和度、 PG 值和岩石孔隙度之间的关系。由于塔里木碳酸盐岩储岩普遍具有低孔、低渗的特点,表 1 中只计算了孔隙度分别为 $\Phi = 4\%$ 和 $\Phi = 2\%$ 的关系值。

以塔中某井计算为例: 4 288.50~4 303.25 m 井段(厚 14.75 m)深度范围取碳酸盐岩芯样 43 块,热解分析参数平均值 TPI 为 0.58, T_{max} 为 446°C ,气相色谱图上,低碳数烃含量低,基线中部有所抬升(图 1),预测为中质-重质油,实测密度 0.867 g/cm^3 。 PG 平均值为 1.41。4 288.00~4 309.00 m,平均孔隙度 Φ 为 2.1% 。由式

$$S' = (V/\Phi) \times 100\% \quad (1)$$

$$V = [(D \times PG)/d \times 1000] \times 100\% \quad (2)$$

计算视含油饱和度^[4],得

$$S' = \frac{2.7 \times 1.41 \times 1.3}{0.867 \times 2.1 \times 10} \times 100\% = 27.2\%$$

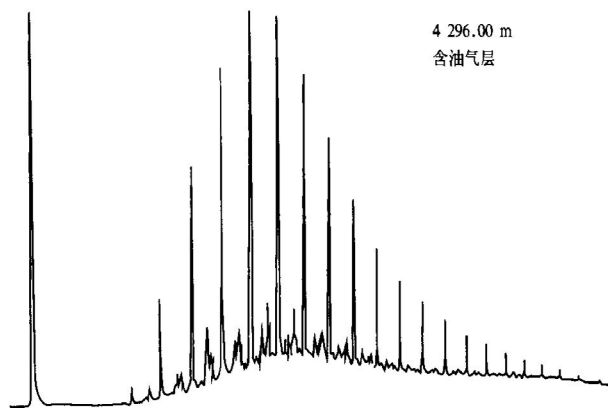


图1 塔中某井 4 296.00 m 碳酸盐岩有机抽提物气相色谱图

Fig. 1 Gas chromatographic diagram showing organic extractions of carbonate rock samples in the interval of 4296.00m from a well in central Tarim basin

对照表 1,这一层段应划分为油水同层。对 4 289.00~4 306.00 m 层段测试,日产油 1.95 m^3 ,产水 4.45 m^3 ,结论为低产油水同层,地球化学解释与测试结论相一致。

实际应用中,可将 S' 、 Φ 和 PG 值关系制成图

版, 在工程中应用更为简便、直观(图2)。

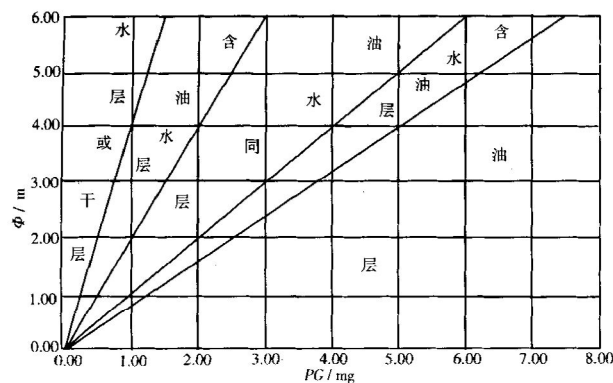


图2 含中质-重质油碳酸盐岩储层性质及孔隙度 Φ 与 PG 值关系图版

Fig. 2 Plates indicating relations between medium- heavy oil bearing carbonate rock reservoir nature, porosity Φ and PG value

3.3 轻质油层的识别

油气水层的岩石有机抽提物气相色谱图有明显的差异, 利用这一特征可辅助预测储层性质^[6]。由于含轻质油气的岩芯样品在地面烃类组分的大量散失, 导致热解分析 PG 值偏低, 这一方法对轻质油层的识别尤为适用(图3)。

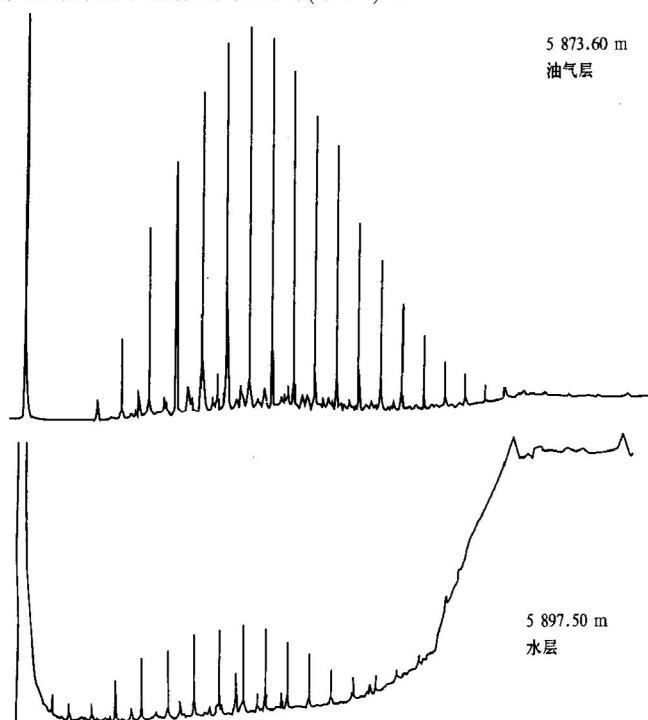


图3 碳酸盐岩典型油水层岩石有机抽提物气相色谱图

Fig. 3 Gas chromatographic diagram of organic extractions from typical rocks in oil- water layers of carbonate rock in Tarim basin

但实际工作表明, 某些井段的色谱分析在超出油层很大的深度范围内显示出油气的特征, 这可能与碳酸盐岩纵向上的裂隙有关。此时, 可结合岩石

热解 PG 值和岩石有机抽提物含量进行判别。对塔里木已钻探井的岩芯热解参数 PG 值以及试油资料统计, 在一定厚度(满足一定油气柱高度)范围内, 含轻质油储层的 PG 值比相邻层段明显要高, 平均值只要接近 0.5 就达到油层的要求。如 YH7x-1 井, 5 850.00~ 5 882.30 m 井段热解分析, TPI 大多数样品 > 0.7 , T_{max} 平均 428 $^{\circ}C$, 为轻质油, PG 平均值为 0.53^[7]。同井段测试采出高产油气流, 原油密度约为 0.8 t/m³。

在油层范围内, 岩石有机抽提物含量比相邻井段高。以塔中某井为例, 4 288.50~ 4 303.25 m 出油井段分析样品 29 个, 有机抽提物含量平均为 1.05 mg/g; 相邻 4 303.35~ 4 407.00 m 非产层段分析样品 22 个, 抽提物平均含量只有 0.48 mg/g。

4 结论

(1) 根据岩芯热解分析参数和有机抽提物的气相色谱特征预测储岩中原油性质, 进而将塔里木碳酸盐岩储层油划分为轻质油和中质-重质油两类。

(2) 利用岩石热解含油率(PG 值)和岩石孔隙度(Φ)的关系计算视含油饱和度 S' 判别含中质-重质油水层。

(3) 根据岩石有机抽提物气相色谱图特征, 结合热解 PG 值和有机抽提物含量对含轻质油层进行识别。

(4) 实际表明, 有机地球化学方法对碳酸盐岩油水层的解释与塔里木已钻探井部分井段的测试结论符合率较高, 对正钻井的预测获得了一定的成功, 可作为常规测井方法的补充和完善。

参 考 文 献

- 1 陈立官. 油气田地下地质学[M]. 北京: 地质出版社, 1989
- 2 朱扬明, 梅博文, 潘志清. 储岩热解技术在石油勘探中的应用[J]. 石油勘探与开发, 1995, 22(4): 92~ 95
- 3 潘志清, 苏秀芳, 张敏. 一种新的储集层含油性快速评价——OSA 录井技术[A]. 见: 李长惠. 有机地球化学研究进展[C]. 重庆: 重庆大学出版社, 1996. 183~ 190
- 4 陈传平, 苏秀芳, 孙伟琳, 等. 塔里木砂岩油水层判识的储岩热解方法[J]. 石油与天然气地质, 2001, 22(1): 93~ 94
- 5 李玉恒, 郭立言, 黄九思. 储油岩热解地球化学录井评价技术[M]. 北京: 石油工业出版社, 1986
- 6 Baskin D K, Hwang R J, Purdy R K. Predicting gas, oil and water intervals in Niger Delta reservoirs using gas chromatography[J]. AAPG Bull, 1995, 79(3): 337~ 350
- 7 张春明, 方孝林, 朱俊章. 用热解和气相色谱技术确定碳酸盐

岩储集层油水界面[J]. 石油勘探与开发, 1998, 25(2): 24~ 26

APPLICATION OF ORGANIC CHEMISTRICAL METHOD IN DISCRIMINATING OIL- WATER STRATA IN TARIM CARBONATE ROCKS

Chen Chuanping¹ Sun Weilin¹ Yuan Zhihua¹ Su Xiufang¹ Mi Jiliang² Huang Kenan²

(1. Jiangnan Petroleum Institute, Jingzhou, Hubei; 2. Tarim Oil Exploration and
Development Headquarters, Kuerle, Xingjiang)

Abstract: When oil content saturation in carbonate rock reservoirs is > 50%, it is called oil layer; when oil content saturation is < 10%, it is called water layer. In terms of medium oil, oil bearing rate in rock cores of carbonate rock and rock porosity can be gained by employing rock pyrolysis and interpretation of electrical logging, by calculating visible oil content saturation in the rocks and then reservoir nature can be discriminated. Visible saturation in light oil has no real meaning to discriminate reservoir nature. The discrimination of oil- water strata are mainly based on the gas chromatographic characteristics from organic solvent extractions. Oil- water layers discriminated in Tarim basin with this method have been proved by well drilling.

Key words: carbonate rock; reservoir; organic geochemistry; visible oil content saturation; Tarim basin

(上接第 297 页)

Cretaceous, forming three sets of oil and gas systems of Pinghu Formation Huagang Formation, Huagang Formation and Eocene, the former two sets are – known systems, the latter system is a conjectured one. Hydrocarbon source rocks in these two systems are in the stage of maturation. The closure of oil and gas bearing roof rocks in Huagang Formation deteriorates from southward towards northward and the south part with real meaning for oil and gas exploration. Comprehensive analyses indicate that the key moment for oil and gas bearing system in Pinghu Formation and is about 7 Ma, oil and gas bearing system in Huagang Formation is about 1.64 Ma.

Key words: oil and gas bearing system; distribution; key moment; Xihu lake depression; East China Sea

(上接第 302 页)

composite syncline is a favorable region for exploring a primary oil and gas reservoir. Located below the slope of the ancient structure, the weak reformation of the structure in southern Huaguoping composite syncline and western Sangzhi – Shimen composite syncline is expected to find an inherited oil and gas reservoir. Only a reconstructive type oil and gas reservoir can be found in the remaining lower part of the oil and gas generation assemblage in the center of Yidu – Hefeng composite syncline and the upper part of the oil and gas generation assemblage of the central composite syncline due to intensively reformed by the tectonic movement and the Silurian roof rock being eroded.

Key words: oil and gas reservoir; type; structure activity; exploration orientation; western Hunan– Hubei