

# 四川宣汉盘龙洞生物礁古油气藏油气源分析

牟传龙<sup>1</sup>, 马永生<sup>2</sup>, 余 谦<sup>1</sup>, 郭彤楼<sup>2</sup>, 谭钦银<sup>1</sup>, 王立全<sup>1</sup>

(1. 成都地质矿产研究所, 成都 610082; 2. 中国石化 南方勘探开发分公司, 昆明 650200)

**摘要:** 盘龙洞生物礁古油气藏位于四川省宣汉县鸡唱乡盘龙洞, 是一个海绵礁古油气藏; 大地构造位置上位于四川盆地东北边缘, 属米仓山一大巴山前缘地带。地层层位为上二叠统长兴组, 厚度约 80 m。岩性主要为浅灰色块状海绵障积岩和海绵骨架岩; 造礁生物主要为房室海绵、水螅、苔藓虫等。生物礁及其上下地层中均含有大量的沥青, 主要分布于礁核的骨架岩、障积岩和礁盖的白云岩中。通过对盘龙洞生物礁古油气藏的实地考察, 结合测试结果和室内综合分析, 推断该古油气藏先期为原油充填, 后来一部分裂解为天然气, 一部分氧化形成沥青; 油气源来自于长兴组本身烃源岩的可能性较大, 不排除混源的可能。

**关键词:** 生物礁; 古油气藏; 油气源; 长兴组; 上二叠统; 四川盆地

中图分类号: TE122. 1

文献标识码: A

四川盆地及邻区二叠系长兴组生物礁较为发育, 部分专家学者已对此进行过专题研究和讨论<sup>[1-5]</sup>。此类生物礁油气显示丰富、油气藏发育, 烃源较为复杂, 油气来自于二叠系或三叠系<sup>[6-9]</sup>。盘龙洞生物礁为新发现的海绵礁古油气藏<sup>[10-12]</sup>, 油气显示极为丰富, 且规模较大, 确定其油气源对于川东北礁气藏的勘探部署具有重要意义。

## 1 油气性质

盘龙洞生物礁古油气藏位于四川省宣汉县鸡唱乡盘龙洞(图 1), 大地构造位置上位于四川盆地东北边缘, 属米仓山一大巴山前缘地带。盘龙洞生物礁发育于上二叠统长兴组的中上部, 厚度约 80 m<sup>[2]</sup>, 为一海绵礁, 岩性主要为浅灰色块状海绵障积岩、海绵骨架岩, 造礁生物主要为房室海绵、水螅、苔藓虫等。生物礁及其上下地层中均含有大量的沥青, 主要分布于礁核的骨架岩、障积岩和礁盖的白云岩中。油气显示性质较为单一, 以炭质沥青、干沥青为主, 局部可见软沥青, 污手严重; 油气产状多样, 以孔隙(孔洞)式、裂缝式为主。沥青丰富, 充填于孔洞、裂缝中, 部分充填于海绵体腔孔、生物体腔孔中, 局部沥青含量多达 10% (体积)。根据沥青的分布, 至少有 3 期充填: 一期为孔隙沥青, 质软, 有油性光泽, 主要分布于原生粒间孔、生物骨架孔以及生物体腔孔中; 二期为裂缝沥青, 以炭质沥青为主, 规

模大, 裂缝宽度数毫米至数厘米; 三期为裂隙沥青, 一般小于 2 mm, 切割先期充填有沥青的裂缝。偏光镜下, 岩石中含海绵、棘皮、珊瑚及腕足等生物, 泥晶基质中具明显的重结晶作用, 晶内溶孔、原生粒间孔、粒内溶孔及压溶缝发育, 普遍充填网脉状的沥青。孔隙中主要为炭质沥青, 基本不发荧光; 裂隙中充填沥青质沥青, 发弱褐—黄褐色荧光; 基质中晶隙、孔隙及裂隙周围有浸染, 为油质沥青, 呈弱的黄绿色荧光。因此, 岩石中油气显示为次生沥青, 同时, 裂隙中的沥青由缝内向缝外浸染, 愈远愈轻, 色光连续, 具含油性特征, 但因发光较弱, 不够明显。

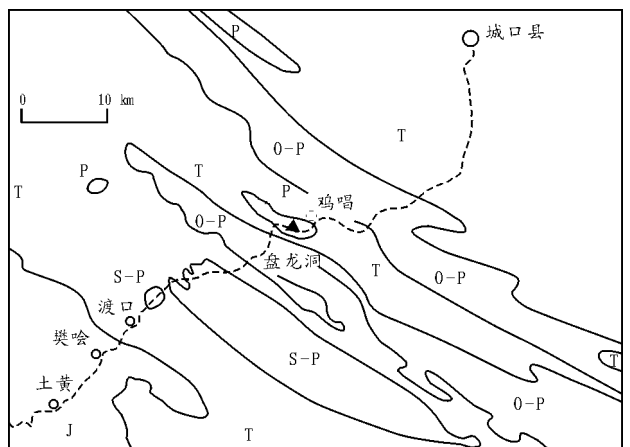


图 1 川东北盘龙洞上二叠统长兴组生物礁地理位置图

Fig. 1 Location of the Upper Permian Changxing Formation organic reefs in the Panlongdong, Northeast of Sichuan

收稿日期: 2004- 10- 27; 修订日期: 2005- 10- 10。

作者简介: 牟传龙(1965- ), 男(汉族), 四川达州人, 研究员、博士生导师, 主要从事沉积与油气地质研究。

基金项目: 四川省学术和技术带头人培养资金资助项目(1200308)。

根据流体包裹体均一温度和包体荧光温度喇曼测试结果, 盘龙洞生物礁碳酸盐岩中包裹体类型主要有: 气液二相包裹体、水油二相包裹体、液相包裹体、气态包裹体、液相盐水包裹体。通常早期为灰黑色液烃包裹体(图 2a), 少量为灰褐色, 具弱荧光, 含量 10%~80%; 中期为浅灰色含烃盐水包裹体(图 2b), 呈不规则群体定向分布, 含量 30%~70%; 晚期为盐水包裹体, 其中常见气泡含量 > 70%, 呈气态包裹体, 还含一部分液态烃包裹体, 呈结丝网状分布在晚期裂缝中。有机包裹体均一温度通常较高, 为 152.5~364.5 °C; 方解石中共生包裹体均一温度相对较低, 为 47.9~154.1 °C, 方解石裂缝中包裹体温度较方解石晶体中的温度要高一些, 为 137.5~154.1 °C, 且定向分布的包裹体温度高于分散分布的包裹体温度, 可能主要受成岩作用影响。在方解石晶体中, 巨晶中包体温度最高, 可达 143~154 °C,

而粗晶方解石中包体温度相对低一些, 中细晶方解石中包体温度高低不等, 这些差异可能主要与方解石结晶时地热梯度和流体介质条件有关。

液态烃包裹体中, 以烃类为主, 次为 CO<sub>2</sub>, 其中烃类以 CH<sub>4</sub> 为主; 含烃盐水包裹体中, 以炭质沥青为主, 次为水, 并含少量的 CO<sub>2</sub>(表 1)。

上述结果表明盘龙洞古油藏先期为原油充填, 后来一部分裂解为天然气, 同时烃源岩新形成的天然气充填其中, 暴露地表后形成现在的沥青。

## 2 烃源岩特征

川东北地区烃源岩按岩性可分为碎屑岩和碳酸盐岩 2 种类型。碎屑岩主要由灰、深灰、灰黑色泥质岩、炭质泥页岩和煤组成, 分布于志留系、下二叠统梁山组、上二叠统龙潭组、上三叠统须家河组及侏罗

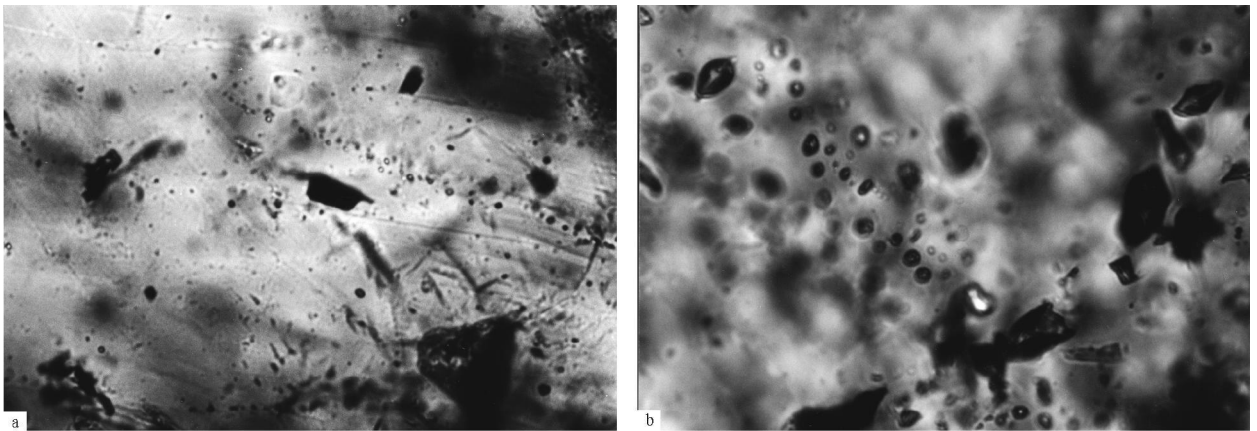


图 2 川东北盘龙洞生物礁岩石包裹体特征

a. 方解石中零星分布的黑灰色液烃包裹体, 群体定向分布浅灰色含烃盐水包裹体、原生的盐水包裹体, PL12- BT1: 骨架岩, P<sub>2</sub>c, 500 单偏;  
b. 方解石中群体分布的灰黑色含烃盐水包裹体, PL10- BT17: 障积岩, P<sub>2</sub>c, 500 单偏

Fig. 2 Inclusion types from the Panlongdong organic reefs in Northeast of Sichuan

表 1 川东北盘龙洞古油藏流体包裹体成分相对摩尔百分比值

Table 1 Relative mol percentage for the fluid inclusion compositions from the Panlongdong fossil oil pools in Northeast of Sichuan

野外编号	包裹体类型	包裹体成分, %											
		CO <sub>2</sub>	CO	H <sub>2</sub> O	CH <sub>4</sub>	C <sub>2</sub> H <sub>6</sub>	C <sub>2</sub> H <sub>4</sub>	C <sub>2</sub> H <sub>2</sub>	C <sub>3</sub> H <sub>8</sub>	C <sub>3</sub> H <sub>6</sub>	C <sub>4</sub> H <sub>6</sub>	C <sub>6</sub> H <sub>6</sub>	炭质沥青
PL12- BT1	OL+ W	2.1	3.6	33.3	0.6	0.3			0.3		0.3	0.7	54.2
PL12- BT1	OL+ W			9.1	0.4	0.7	1.2		0.9	1.0	0.4	1.1	79.5
PL12- BT	OL	17.1	26.4		24.7	4.1		9.6	8.9		2.1	7.1	
PL12- BT	OL+ W	2.9	4.9	39.2	0.40	0.6	1.4		1.0	1.5		0.5	47.7
PL10- BT17	OL+ W	2.9		40.1	1.69	0.9			1.0			0.9	52.6
PL10- BT17	OL	44.1			20.69	5.4			5.4	11.6	3.7	9.2	
PL10- BT17	OL				10.49		46.7		10.2	14.3	7.6	10.7	

注: OL 为液态烃包裹体; W 为盐水包裹体; OL+ W 为含烃盐水包裹体。

系自流井组、千佛岩组,以志留系及须家河组为主;碳酸盐岩岩性主要为灰黑、深灰色泥灰岩和泥晶灰岩,广泛分布于下二叠统栖霞组至中三叠统雷口坡组,以二叠系为主。烃源岩总体表现为色暗,以深灰、灰黑色为主,还原环境沉积,累计厚度为 1 649~4 058 m,其中,碎屑岩、碳酸盐岩厚度分别为 617~1 488 m 和 1 032~2 570 m。志留系、二叠系和上三叠统须家河组烃源岩是川东北地区的主力烃源层系。

达县—宣汉地区烃源岩的有机质性质(表 2)变化极大。陆相侏罗系平均有机碳含量均 < 0.4%,上三叠统须家河组平均值达 11.9%,但变化区间较宽,从 0.72%~31.0%,反映其烃源岩品质差异巨大;有机质类型以混合型、腐殖型为主。海相碳酸盐岩(雷口坡组—栖霞组)有机碳平均值均 > 0.1%,最高可达 0.9%;碎屑岩(志留系)有机碳为 0.4%~3.85%,平均值为 0.95%。两者以腐泥型—混合型为主,有机质演化程度高,雷口坡组—嘉陵江组已进入高成熟和过成熟阶段( $R_o$  为 1.29%~2.53%),飞仙关组—志留系已进入过成熟干气阶段。

### 2.1 志留系烃源岩

志留系是下古生界厚度最大、蕴藏有机质最多的区域性生油岩,厚度 500~900 m,烃源岩厚度 400~500 m。其下部的龙马溪组为局限浅海盆地相黑色页岩,深灰色、灰绿色泥岩,含大量的有机质,为下古生界最佳生油岩,剩余有机碳 0.4%~3.85%;上部灰绿色页岩及粉砂岩增多,生油气条件相对变差。目前揭穿志留系的钻井太少,据区域研究成果,宣汉—达县地区生气量为  $147.679 2 \times 10^8 \text{ m}^3/\text{km}^2$ ,为重要的烃源层系。

### 2.2 二叠系烃源岩

烃源岩包括底部梁山组煤系,栖霞组下部与茅口组灰、深灰色泥灰岩、泥晶灰岩,吴家坪组底部王坡页岩段与龙潭组泥页岩,吴家坪组中上部与长兴组灰、深灰色泥灰岩、泥晶灰岩。

梁山组煤系有机质丰富,南江桥亭有机碳为 1.21%,氯仿沥青“ $A$ ”为  $137.4 \times 10^{-6}$ ,以混合型为主,已进入高一过成熟阶段,分布稳定。栖霞组与茅口组大部分为生物发育的浅海沉积,有机质丰富,转化条件良好;生油层的剩余有机碳含量通常较下古生界高,一般为 0.68%~0.99%,最高达 0.8%~1.2%;转化指标也较高,氯仿沥青“ $A$ ”为  $2\ 000 \times 10^{-6}$ ~ $3\ 000 \times 10^{-6}$ ,尤以栖霞组一段、茅口组一段及二段下部低能环境的黑色灰岩具有最好的生油条件。达县—宣汉地区下二叠统烃源岩厚 85~270 m,据川岳 84 井资料,生气量达  $65.993 8 \times 10^8 \text{ m}^3/\text{km}^2$ 。吴家坪组底部王坡页岩有机质丰度极高,南江桥亭有机碳高达 35.53%,氯仿沥青“ $A$ ”为  $68.5 \times 10^{-6}$ ,以混合型和腐殖型为主,分布稳定,并逐渐过渡到达县—宣汉地区的龙潭组。碳酸盐岩有机碳 0.05%~5.33%,转化指标较高,氯仿沥青“ $A$ ”达  $1\ 000 \times 10^{-6}$ ~ $2\ 000 \times 10^{-6}$ ,以腐泥型和腐殖腐泥型为主,生气量(不含泥质岩)可达  $72.640 4 \times 10^8 \text{ m}^3/\text{km}^2$ 。烃源岩厚度大,横向分布广,有机质丰富,是重要的烃源层系之一。

### 2.3 上三叠统须家河组烃源岩

岩性以灰、深灰、灰黑、黑色泥质岩、炭质泥岩、煤为主,主要分布于须三段和须五段,平均厚度 221.5 m。川岳 84 井有机碳平均为 11.88%,干酪根类型为  $I$  型, $R_o$  为 1.11%,达成熟阶段;宣汉温泉有机碳为 2.93%~9.3%,氯仿沥青“ $A$ ”为  $53.9 \times$

表 2 达县—宣汉地区烃源岩特征统计表

Table 2 Characteristics of the source rocks in the Xuanhan-Daxian region, Northeast of Sichuan

地层	岩性	厚度/m	TOC, %	干酪根类型	$R_o$ , %
千佛岩组( $J_2q$ )	暗色泥岩、页岩夹煤线	107~308	0.04~0.57		0.82
自流井组( $J_1z$ )	黑色页岩、生物灰岩	50~80	0.13~0.39		0.91
须家河组( $T_3x$ )	黑色页岩	60~600	0.72~31.0		1.11
雷口坡组( $T_2l$ )	深灰色泥灰岩、灰岩	20~200	0.21~0.70	-	1.41
嘉陵江组( $T_1j$ )	泥灰岩、灰岩	227~800	0.04~0.4	、-	2.05
飞仙关组( $T_1f$ )	泥灰岩、灰岩	200~500	0.02~0.32	、-	2.59
长兴组( $P_2c$ )	生物灰岩、泥灰岩	100~300	0.05~5.33	、-	3.01
茅口组( $P_1m$ )	泥灰岩、灰岩、生物屑灰岩	85~270	0.68~0.99	、-	3.22
龙马溪组( $S$ )	黑色页岩、粉砂质页岩	400~500	0.4~3.85		3.33

注:据中石化南方海相油气勘探项目经理部,2001年11月。

$10^{-6}$ , 腐殖腐泥型,  $R_o$  为 2.11%; 旺苍立溪岩有机碳为 3.68% ~ 41.41%, 混合型和腐殖型,  $R_o$  为 1.58%。据川岳 84 井计算生气量为  $137.3058 \times 10^8 \text{ m}^3/\text{km}^2$ 。烃源岩有机质丰富, 分布稳定, 也是重要的烃源层系。

### 3 油气源对比

选用 5 个样品进行实验对比, 分别为: PL-Y1—宣汉盘龙洞  $P_{2c}$  沥青, PL18-S1—宣汉盘龙洞  $P_{2c}$  泥晶灰岩, QT1-S1—南江桥亭  $S_{3h}$  炭质泥岩, QT35-S7—南江桥亭  $P_{2w}$  炭质泥岩, Lx69-S1—旺苍立溪岩  $T_{3x}$  泥岩, WQ-S5—旺苍五权  $T_{3x}$  泥岩。

#### 3.1 稳定碳同位素对比

$\delta^{13}\text{C}$  值的系统变异与原始母质有关, 可以作为油源判别的重要指标。盘龙洞沥青与川东北地区烃源岩分子类型— $\delta^{13}\text{C}$  曲线(图 3)表明, 沥青分子曲线与长兴组烃源岩 PL18-S1 样品较为接近, 但仍存在一定区别, 在芳烃同位素处, 沥青同位素增大, 且在“沥青质”同位素处, 沥青又与王家坪组底部的王坡页岩相似。

#### 3.2 饱和烃色谱对比

从饱和烃色谱曲线(图 4)中看出, 沥青与 PL18-S1 具有相似的饱和烃色谱特征, 两者曲线形态相近, 单峰型, 主峰碳均为  $C_{23}$ , 具微弱的奇偶

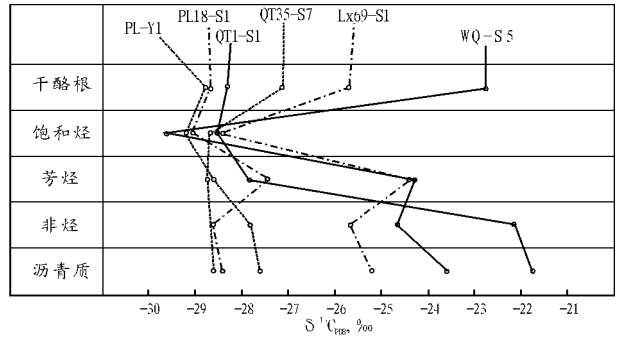


图 3 研究区沥青与源岩稳定碳同位素对比图  
Fig. 3 Comparison of stable carbon isotope from asphalt and source rocks in the study area

优势, 姥鲛烷和植烷含量低, 姥植比约大于 1.0。而 Lx69-S1 为单峰型, 主峰碳为  $C_{17}$ ; QT1-S1, QT35-S7, WQ-S5 均为双峰型, 且姥鲛烷和植烷含量高。因此, 沥青与长兴组本身的烃源岩同源。

#### 3.3 生物标记化合物对比

饱和烃色谱—质谱对比(图 5)表明, 沥青与 PL18-S1 和 WQ-S5 谱图极为相似,  $C_{27}$ — $C_{29}$  甾烷较为发育,  $C_{27} R_{\alpha\alpha}$  甾烷大于  $C_{29} R_{\alpha\alpha}$  甾烷; 孕甾烷含量高;  $\gamma$ -蜡烷不发育; 三环萜烷含量高。

由于沥青样品镜检显微组分为腐泥无定形, 典型的 I 型干酪根形成, 且与 PL18-S1 样品对比具有明显的相似形, 因此沥青来源于长兴组本身烃源岩的可能性较大, 不排除混源的可能。

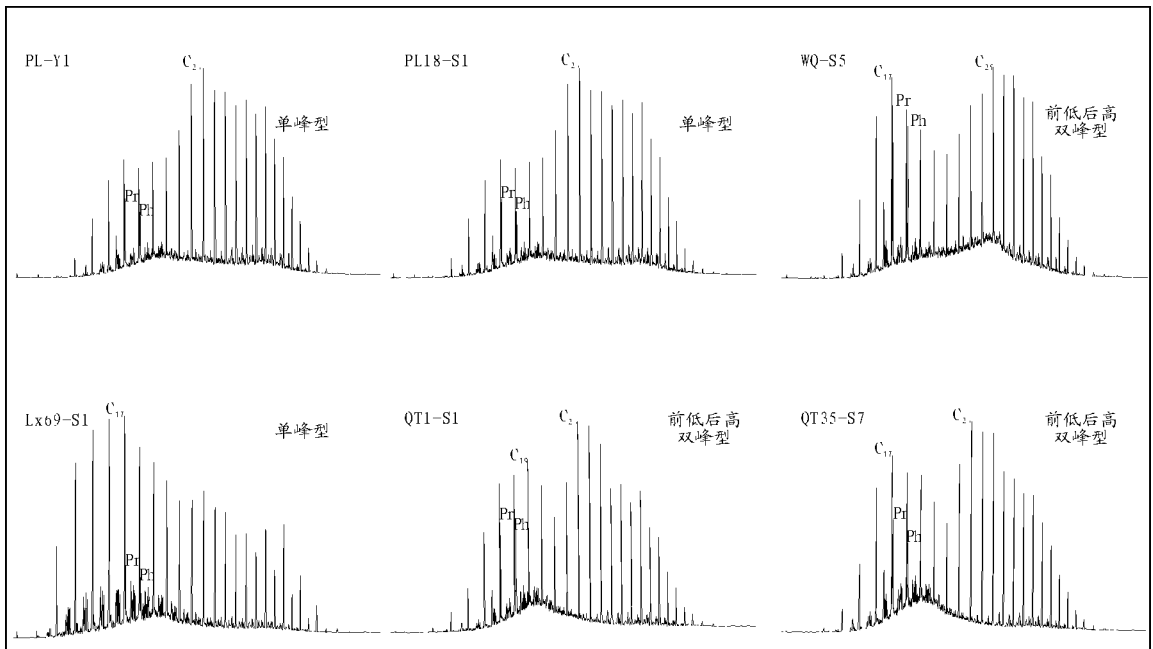


图 4 研究区沥青与源岩饱和烃色谱对比图  
Fig. 4 Comparison of chromatograms for the saturated hydrocarbons from asphalt and source rocks in the study area

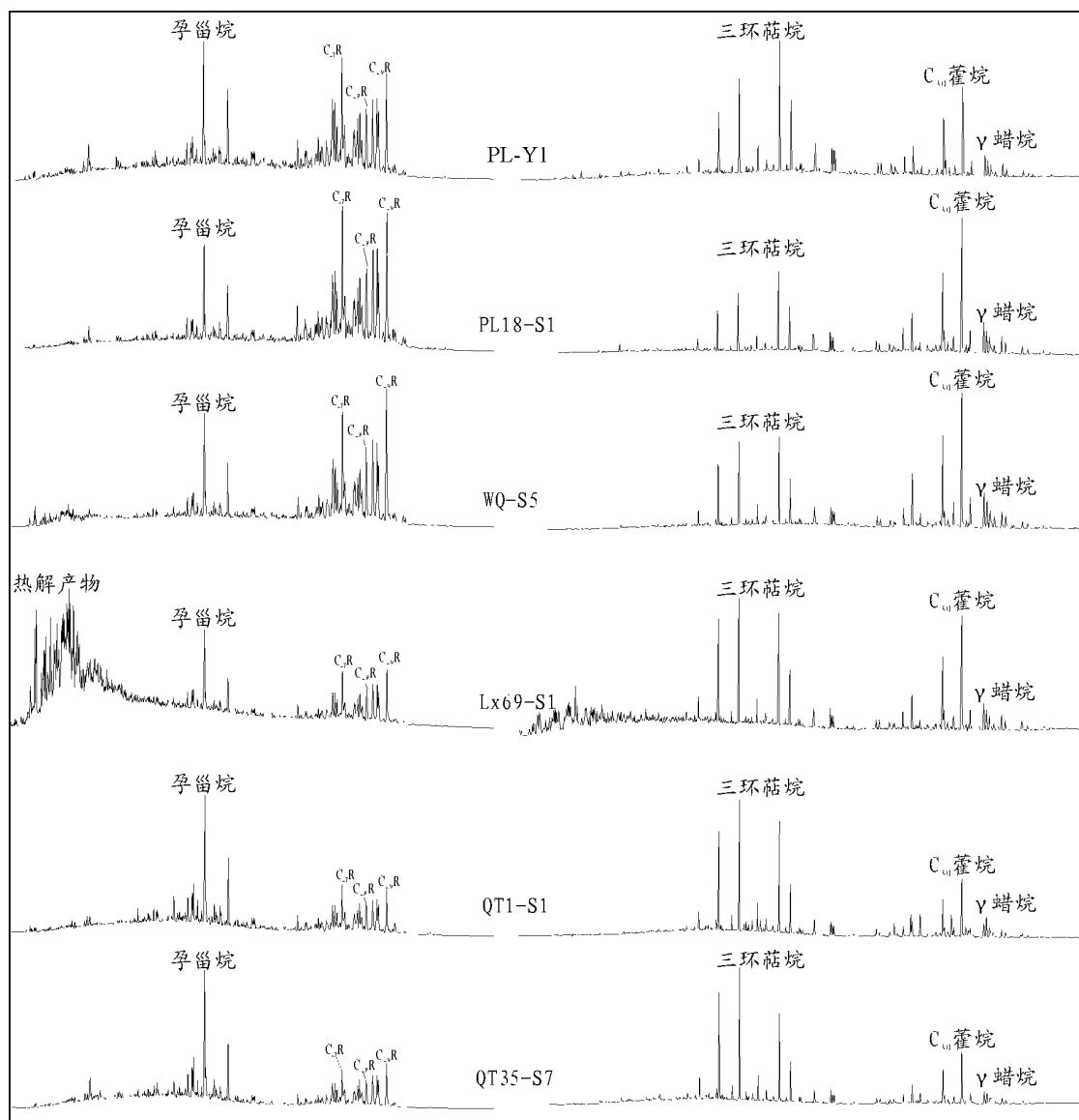


图 5 研究区沥青与源岩饱和烃色谱—质谱对比图

$C_{27}R$  代表  $C_{27}R_{0m}$ ;  $C_{29}R$  代表  $C_{29}R_{0m}$

Fig. 5 Comparison of chromatograms and mass spectrograms for the saturated hydrocarbons from asphalt and source rocks in the study area

参考文献:

- 1 王一刚, 张静, 杨雨等. 四川盆地东部上二叠统长兴组生物礁气藏形成机理[J]. 海相油气地质, 1997, 5(1-2): 145~152
- 2 张继庆, 李汝宁, 官举铭等. 四川盆地及邻区晚二叠世生物礁[M]. 成都: 四川科学技术出版社, 1990
- 3 吴熙纯, 刘效曾, 杨仲伦等. 川东上二叠统长兴组生物礁控储层的形成[J]. 石油与天然气地质, 1990, 11(3): 283~296
- 4 范嘉松, 吴亚生. 川东二叠纪生物礁再认识[J]. 石油与天然气地质, 2002, 23(1): 12~18
- 5 王生海, 强子同. 四川华蓥山涧水沟上二叠统生物礁[J]. 石油与天然气地质, 1992, 12(2): 147~154
- 6 刘划一, 张静, 洪海涛. 四川盆地东北部长兴组飞仙关组气藏形成条件研究[J]. 天然气勘探与开发, 2001, 24(2): 30~38

- 7 王金琪. 四川盆地油气地质特征[J]. 石油实验地质, 2004, 26(2): 115~120
- 8 刘光祥. 干气中浓缩轻烃分析及应用——以川东北、川东区天然气/源对比研究为例[J]. 石油实验地质, 2003, 25(增): 585~589
- 9 戴金星, 夏新宇, 衙延召等. 四川盆地天然气的碳同位素特征[J]. 石油实验地质, 2001, 23(2): 115~121
- 10 牟传龙, 谭钦银, 余谦等. 川东北地区上二叠统长兴组生物礁组成及成礁模式[J]. 沉积与特提斯地质, 2004, 24(3): 56~71
- 11 牟传龙, 谭钦银, 王立全等. 四川宣汉盘龙洞晚二叠世生物礁古油藏的发现及其重要意义[J]. 地质论评, 2003, 49(3): 315
- 12 牟传龙, 谭钦银, 王立全等. 四川宣汉盘龙洞晚二叠世生物礁古油藏剖面序列[J]. 沉积与特提斯地质, 2003, 23(3): 60~64

(下转第 582 页)

the southeast of Erdos Basin is relatively low. Reservoir is a key problem that limit the petroleum exploration in Yanchang Group in this area. Based on the researches of predecessors, the depositional genesis and distribution of reservoir sands as well as the petrologic characteristics, the pore texture and the physical properties of the main Yanchang Group oil reservoirs were studied by using the data of outcrop, core and logging. The result shows that Yanchang Group in this area is a typical tight reservoir with extra-low porosity and permeability. Chang 2, Chang 6 and Chang 8 are three favourable oil-bearing horizons developing in Yanchang Group in this area.

**Key words:** reservoir deposition genesis; reservoir petrologic characteristic; pore texture; reservoir physical property; Triassic; Erdos Basin

(continued from page 574)

## THE OIL-GAS SOURCES OF THE LATE PERMIAN ORGANIC REEFAL OIL-GAS POOLS IN THE PANLONGDONG, XUANHAN, SICHUAN

Mou Chuanlong<sup>1</sup>, Ma Yongsheng<sup>2</sup>, Yu Qian<sup>1</sup>, Guo Tonglou<sup>2</sup>, Tan Qinyin<sup>1</sup>, Wang Liqian<sup>1</sup>

(1. Chengdu Institute of Geology and Mineral Resources, Chengdu, Sichuan 610082, China;

2. Southern Oil and Gas Exploration Branch Company, SINOPEC, Kunming, Yunnan 650200, China)

**Abstract:** The present paper propose a newly discovered sponge-reef fossil oil-gas pool in the Changxing Formation in the Panlongdong, Xuanhan, Sichuan. The organic reefs are developed in the middle and upper parts of the Upper Permian Changxing Formation, with a thickness of about 80 m. The rock types within the Panlongdong organic reefs consist significantly of bafflestone and skeletal limestone. The organic reefs are made from sponge, hydra and polyzoa et al. The occurrence of abundant asphalt in the organic reefs and the strata above and below them has disclosed the migration of oil and gas. The asphalt often fills into pore spaces, fissures and cracks, as well as into brachiopods and sponges. Macroscopically, three phases may be identified for the filling processes of the asphalt: the one is the filling into organic frameworks, intergranular pores, sponges and other organic coelomata such as brachiopods, as indicated in the field sections. In this phase, the asphalt occurs chiefly in the organic reefs and reef caps; the second phase is the filling into paulopost fissures (the diameter of the fissures > 2mm). In this phase, the asphalt is widespread in the organic reefs and their cap rocks (including spararenite and dolostone) and secondary pores. The other is the filling into paulopost fissures (the diameter of the fissures < 2 mm). On the basis of comparative analysis of  $\delta^{13}\text{C}$ , saturated hydrocarbon chromatogram and biomarkers, the authors contend that the oil-gas sources vary probably from the source rocks of the Changxing Formation.

**Key words:** organic reefs; fossil oil-gas pool; oil-gas sources; the Changxing Formation; Upper Permian; the Sichuan Basin