

鄂尔多斯盆地西南部长8段砂岩沥青 地球化学特征及其来源分析

王自翔¹, 王永莉², 孙则朋^{2,3}, 朱深圳^{2,3}, 汪亘^{2,3}, 徐亮^{2,3}, 孙丽娜⁴

(1 中国石油化工股份有限公司江汉油田分公司)

(2 中国科学院地质与地球物理研究所兰州油气资源研究中心/中国科学院油气资源研究重点实验室)

(3 中国科学院大学; 4 长江大学湖北省非常规油气协同创新研究中心)

摘要 系统采集了鄂尔多斯盆地西南部地区延长组8段沥青砂岩,对砂岩沥青的地球化学特征进行了研究,探讨了沥青的母质特征、形成环境和成熟度。研究结果表明:(1)长8段砂岩沥青中高碳数的正构烷烃优势明显,规则甾烷中 C_{29} 含量相对较高,萜烷系列中四环萜烷含量较高, C_{24} 四环萜烷/(C_{24} 四环萜烷+ C_{26} 三环萜烷)的值为0.26~0.52, C_{23} 三环萜烷/(C_{23} 三环萜烷+ C_{30} 藿烷)的值分布范围为0.06~0.41,这些都指示研究区长8段砂岩沥青母质来源为混合型,并且陆源有机质贡献较大;(2)砂岩沥青中Pr/Ph为0.67~1.07,同时,沥青中检测出低丰度的 β 胡萝卜素,说明沥青形成环境为弱氧化—弱还原环境,较低丰度的伽马蜡烷与 C_{30} +藿烷指示沥青的母质形成于淡水或微咸水湖泊环境;(3)长8段砂岩沥青的 C_{31} 藿烷22S/(22S+22R)、 C_{29} 甾烷20S/(20S+20R)、 C_{29} 甾烷 $\beta\beta/(\alpha\alpha+\beta\beta)$ 和 C_{29} 重排甾烷20S/(20S+20R)均接近或已经达到平衡值,反映沥青为成熟沥青。将研究结果与已报道潜在烃源岩的生物标志化合物特征进行对比,显示出研究区长8段砂岩沥青主要来源于延长组7段烃源岩,表明长7段烃源岩是研究区最主要的烃源岩之一。

关键词 鄂尔多斯盆地; 延长组8段; 沥青; 烃源岩; 生物标志化合物; 油源对比

中图分类号: TE135+.6

文献标识码: A

1 引言

鄂尔多斯盆地是我国西部一个构造简单、地层平缓、沉降稳定的多旋回沉积型含油气盆地。早古生代为浅海台地,晚古生代发育为近海平原,至中生代则进入了内陆湖盆的形成发展时期^[1]。三叠系延长组和侏罗系延安组是盆地中生界的两套主要烃源岩。晚三叠世时期,沉积中心位于盆地西南部地区,该区接受了一套湖泊相和三角洲相沉积,其中延长组7段(简称长7段)沉积的是一套深湖相—半深湖相富含有机质的暗色泥岩,东北方向、西南方向的两大三角洲前缘砂体为有效储集体^[1-4]。延长组沉积以后,延安组的沉积中心向东北迁移至延安附近^[5]。延安组以河流相和湖沼相沉积为主,其泥质烃源岩生烃条件较延长组差,河流砂岩为延安组重要的储集体^[6]。

研究区位于鄂尔多斯盆地伊陕斜坡的西南部(图1a),是鄂尔多斯盆地的重点勘探区。本文系统采集了伊陕斜坡西南部的延长组8段(简称长8段)沥青

砂岩(取样井位见图1b),对砂岩沥青的地球化学特征进行了研究,探讨了沥青的母质特征、形成环境和成熟度,同时收集了该区主要烃源岩地球化学特征进行油源对比,以期为该区油气勘探开发提供科学依据。

2 样品与实验方法

样品为鄂尔多斯盆地西南部地区17口钻井岩心的21个储层砂岩样品,均为延长组8段。砂岩样品用氯仿经索氏抽提72 h,将抽提物沉淀沥青质后,用氧化铝/硅胶柱色谱进行分离。分别用正己烷和苯对饱和烃和芳烃馏分进行冲洗,用乙醚对非烃馏分进行冲洗。

饱和烃的分析鉴定是在美国安捷伦科技公司(Agilent)制造的色谱(6890N)—质谱(5973N)联用仪上进行的。色谱柱为HP-5MS(30 m × 0.32 mm),固定相涂膜厚度0.25 μ m,载气为He,起始温度80 $^{\circ}$ C,以4 $^{\circ}$ C/min升温至300 $^{\circ}$ C,并且恒温30 min。质谱离子源温度为250 $^{\circ}$ C,电离电压为70 eV。

收稿日期: 2015-08-07; 改回日期: 2016-12-30

王自翔: 1988年生,2016年中国科学院地质与地球物理研究所兰州油气资源研究中心毕业,获博士学位。主要从事油气地球化学研究。通讯地址: 430223 湖北省武汉市东湖高新区大学园路18号 江汉油田勘探开发研究院; E-mail: zx_wang@sina.cn

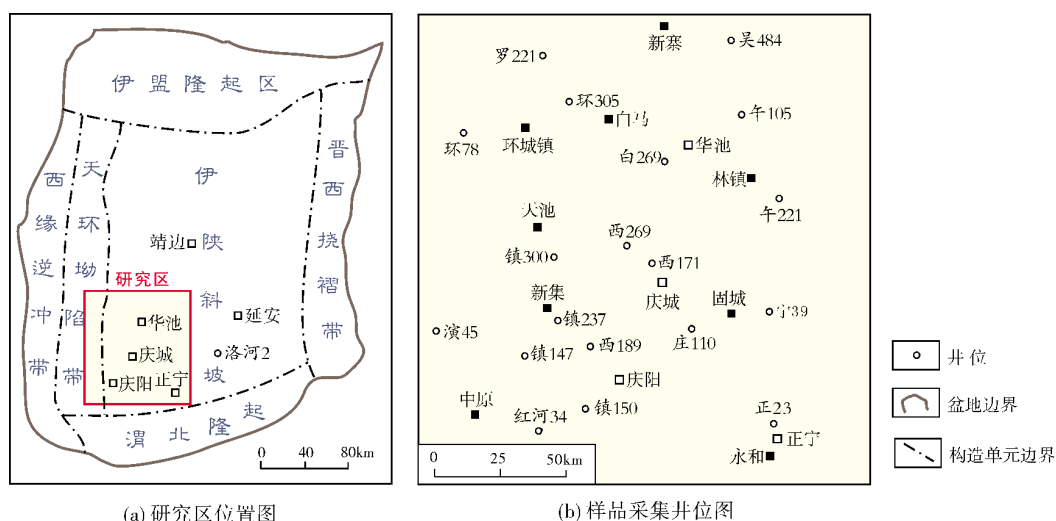


图1 研究区位置及样品采集井位

3 结果与讨论

3.1 族组分及饱和烃总离子流(TIC)特征

研究样品氯仿沥青“A”含量及族组分含量见表

1。砂岩氯仿沥青“A”含量较高,为0.26%~2.25%,平均为0.91%;沥青“A”以饱和烃为主,其相对含量达49.88%~84.15%,平均为70.29%;饱和烃与芳烃的比值为4.89~10.04(表1),绝大多数分布在5~6之间,表明这些样品可能同源。

表1 鄂尔多斯盆地西南部长8段砂岩沥青族组分特征

井位	深度 (m)	层位*	沥青“A” (%)	族组分(%)				饱和烃/芳烃
				饱和烃	芳烃	非烃	沥青质	
白269	2133.35	长8 ²	0.60	60.82	12.30	25.16	1.72	4.95
西269	1870.80	长8 ¹	1.04	77.01	13.58	7.82	1.59	5.67
西269	1900.26	长8 ²	0.69	74.79	12.30	11.37	1.54	6.08
西171	2085.32	长8 ²	0.95	78.16	11.18	7.48	3.18	6.99
西189	2103.30	长8 ¹	1.57	72.24	13.58	10.67	3.51	5.32
西189	2112.10	长8 ¹	1.91	72.50	13.02	7.90	6.58	5.57
西189	2123.26	长8 ¹	0.78	52.87	10.40	26.40	10.32	5.08
镇147	2337.83	长8 ¹	0.35	62.23	11.63	24.99	1.15	5.35
镇147	2340.77	长8 ¹	0.26	84.15	13.07	0.76	1.27	6.44
镇150	1959.34	长8 ¹	0.90	72.93	14.91	10.55	1.62	4.89
镇237	2169.52	长8 ¹	0.84	53.92	9.59	34.76	1.72	5.62
镇300	2373.73	长8 ¹	1.03	67.56	13.11	17.53	1.80	5.15
吴484	1973.45	长8 ¹	1.02	80.11	12.78	4.68	2.43	6.27
庄110	1823.37	长8 ¹	0.60	63.72	11.70	14.28	10.31	5.45
环78	2678.03	长8 ¹	0.32	63.51	10.98	24.01	1.50	5.78
环305	2450.02	长8 ¹	0.68	79.03	13.87	4.89	2.22	5.70
午105	2076.23	长8 ¹	2.25	74.07	10.33	14.26	1.34	7.17
午221	1723.31	长8 ¹	1.17	83.39	8.30	6.75	1.56	10.04
罗221	2751.72	长8 ¹	0.35	74.97	7.59	15.55	1.89	9.88
演45	2352.03	长8 ¹	0.75	78.14	13.31	6.96	1.58	5.87
正23	1254.37	长8 ¹	0.95	49.88	9.90	20.84	19.37	5.04

* “长8¹”为延长组8段1亚段; “长8²”为延长组8段2亚段

图2为典型样品饱和烃GC-MS总离子流图(图2a)及质谱图(图2b—2d)。总离子流图(图2a)呈单峰

型分布,主峰为 C_{22} , C_{22} 前呈微弱偶碳优势, C_{22} 以后呈微弱奇碳优势。

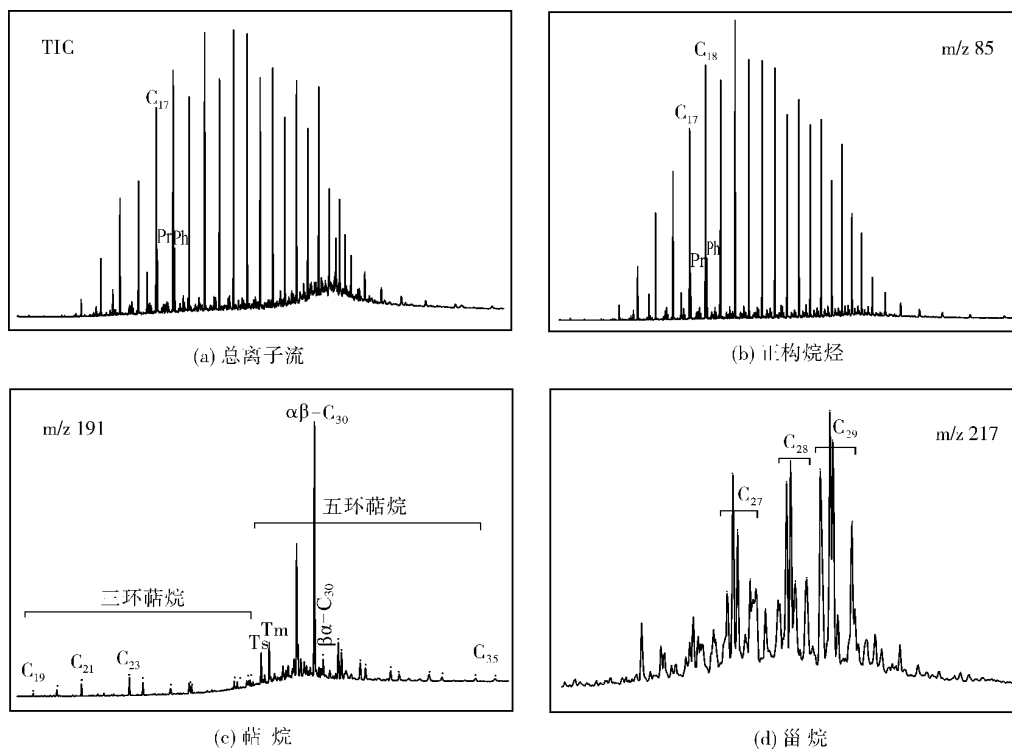


图2 鄂尔多斯盆地西南部长8段砂岩沥青典型样品饱和烃质谱图

3.2 正构烷烃及类异戊二烯烷烃

鄂尔多斯盆地西南部长8段砂岩沥青具有相似的正构烷烃分布特征。碳数分布范围为 C_{13} ~ C_{36} ,主峰碳数为 C_{20} ~ C_{23} ,奇偶优势不明显,反映沥青母质为混合型,水生生物和陆源高等植物均有重要贡献; $\Sigma C_{21}/\Sigma C_{22}$ 值分布范围为0.65~1.05(表2),高碳数正构烷烃的丰度略高于低碳数正构烷烃的丰度,说明沥青的母质类型为混合型,且陆生高等植物具有重要贡献。

沥青中的姥鲛烷/植烷(Pr/Ph)的值可以很好地反映沉积环境,Pr/ nC_{17} 值和Ph/ nC_{18} 值通常用来研究母质类型、形成环境和成熟度^[7-9]。前人研究认为,Pr/Ph>2.0反映氧化环境,Pr/Ph=1.0~2.0反映弱还原—弱氧化环境,Pr/Ph=0.5~1.0反映还原环境,Pr/Ph<0.5反映了强还原沉积环境^[10-11]。华池—庆阳地区长8段砂岩沥青中Pr/Ph值分布范围为0.67~1.07(表2),数值分布比较集中,绝大多数小于1,具微弱的植烷优势,反映沥青形成于还原—弱还原的沉积环境。由图3中

长8段沥青数据投点可知,长8段抽提物的Pr/ nC_{17} 值和Ph/ nC_{18} 值分布在一个比较窄的数值范围内(图3,图4),反映它们具有相似的母质来源^[6],母源为混合型,沉积环境处于还原—弱氧化的盐湖相—混合相环境中。

长8段沥青正构烷烃不存在奇偶优势,OEP值分布范围为0.94~1.26(表2),接近于1.0,反映沥青已成熟。

3.3 萜烷组成特征

研究样品中三环萜烷含量较低,五环萜烷含量较高(图2c)。原油中三环萜烷和四环萜烷的丰度能够有效地反映出原油母质的性质^[12]。 C_{25} 三环萜烷/ C_{24} 四环萜烷、 C_{25} 三环萜烷/ C_{26} 三环萜烷和(C_{19} 三环萜烷+ C_{20} 三环萜烷)/ C_{23} 三环萜烷的值可以用来判识原油母源性质,陆相原油中 C_{25} 三环萜烷/ C_{24} 四环萜烷值和 C_{25} 三环萜烷/ C_{26} 三环萜烷的值小于1;海相原油中则大于1^[13-14]。鄂尔多斯盆地华池—庆阳地区砂岩沥青中的 C_{25} 三环萜烷/ C_{24} 四环萜烷值、(C_{19} 三环萜烷+

表 2 鄂尔多斯盆地西南部长 8 段砂岩沥青正构烷烃和类异戊二烯烷烃分析数据表

井位	深度(m)	层位*	碳数范围	主峰碳数	$\Sigma C_{21-}/\Sigma C_{20+}$	Pr/Ph	Pr/nC ₁₇	Ph/nC ₁₈	OEP	CPI
白269	2133.35	长8 ²	C ₁₄ -C ₃₅	C ₂₂	0.80	0.82	0.19	0.20	1.06	1.04
西 269	1870.80	长8 ¹	C ₁₃ -C ₃₅	C ₂₀	0.95	1.07	0.18	0.19	1.07	1.09
西 269	1900.26	长8 ²	C ₁₃ -C ₃₅	C ₂₀	1.05	0.99	0.24	0.18	1.03	1.12
西 171	2085.32	长8 ²	C ₁₃ -C ₃₅	C ₂₃	0.65	0.86	0.20	0.22	1.04	1.14
西 189	2103.30	长8 ¹	C ₁₃ -C ₃₅	C ₂₀	0.75	0.88	0.27	0.25	0.94	1.20
西 189	2112.10	长8 ¹	C ₁₃ -C ₃₆	C ₂₀	0.83	0.79	0.26	0.28	0.99	1.17
西 189	2123.26	长8 ¹	C ₁₃ -C ₃₅	C ₂₂	0.69	0.83	0.27	0.32	0.99	1.19
镇 147	2337.83	长8 ¹	C ₁₃ -C ₃₅	C ₂₃	0.72	0.94	0.26	0.29	1.11	1.11
镇 147	2340.77	长8 ¹	C ₁₃ -C ₃₆	C ₂₁	0.76	0.96	0.27	0.28	1.07	1.06
镇 150	1959.34	长8 ¹	C ₁₃ -C ₃₅	C ₂₁	0.88	0.99	0.27	0.26	1.08	1.05
镇 237	2169.52	长8 ¹	C ₁₃ -C ₃₅	C ₂₂	0.79	0.91	0.23	0.27	1.01	1.12
镇 300	2373.73	长8 ¹	C ₁₃ -C ₃₅	C ₂₁	0.95	0.84	0.22	0.19	1.08	1.10
吴 484	1973.45	长8 ¹	C ₁₃ -C ₃₅	C ₂₃	0.82	0.92	0.20	0.24	1.10	1.16
庄 110	1823.37	长8 ¹	C ₁₃ -C ₃₆	C ₂₂	0.83	0.70	0.27	0.32	1.14	1.17
环 78	2678.03	长8 ¹	C ₁₃ -C ₃₆	C ₂₃	0.71	0.87	0.20	0.19	1.15	1.16
环 305	2450.02	长8 ¹	C ₁₃ -C ₃₆	C ₂₀	1.04	0.97	0.17	0.13	0.98	1.14
午 105	2076.23	长8 ¹	C ₁₃ -C ₃₅	C ₂₃	0.85	1.01	0.15	0.14	1.07	1.13
午 221	1723.31	长8 ¹	C ₁₃ -C ₃₅	C ₂₂	0.87	0.82	0.14	0.17	1.01	1.15
罗 221	2751.72	长8 ¹	C ₁₃ -C ₃₅	C ₂₁	0.84	0.80	0.18	0.22	1.03	1.07
演 45	2352.03	长8 ¹	C ₁₃ -C ₃₅	C ₂₁	0.87	0.68	0.24	0.30	0.97	1.18
正 23	1254.37	长8 ¹	C ₁₃ -C ₃₆	C ₂₃	0.85	0.67	0.24	0.34	1.26	1.18

* “长8¹”为延长组8段1亚段; “长8²”为延长组8段2亚段

C₂₀三环萜烷)/C₂₃三环萜烷和C₂₅三环萜烷/C₂₆三环萜烷的值分别为0.23~0.97、0.47~1.28和0.18~0.69(表3),这些值指示研究区长8段砂岩沥青具有相似的母质来源,均为混合型,并且陆源有机质贡献较大(图5)。另外,C₂₃三环萜烷/(C₂₃三环萜烷+C₃₀藿烷)的值分布范围为0.06~0.41,大多数小于0.3,C₂₄四环萜烷/(C₂₄四环萜烷+C₂₆三环萜烷)的值为0.26~0.52(表3,图6),这些也指示出陆生高等植物对沥青母质的贡献较大^[9]。

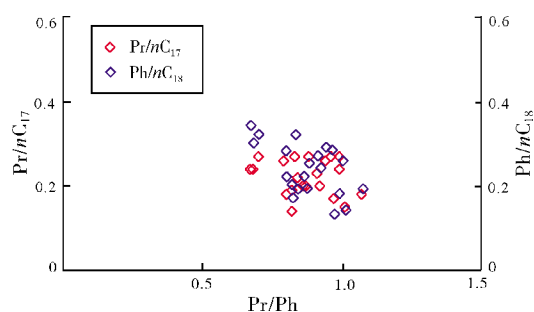


图3 鄂尔多斯盆地西南部长8段沥青中Pr/Ph值与Pr/nC₁₇值、Ph/nC₁₈值相关特征

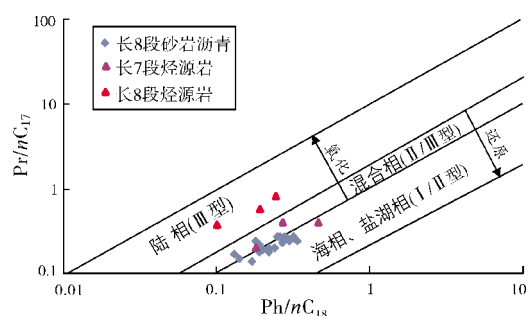


图4 鄂尔多斯盆地西南部长8段砂岩沥青与其他烃源岩中Pr/nC₁₇值与Ph/nC₁₈值相关关系

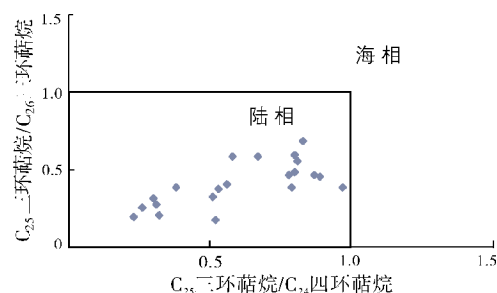


图5 鄂尔多斯盆地西南部长8段砂岩沥青中C₂₅三环萜烷/C₂₆三环萜烷与C₂₅三环萜烷/C₂₄四环萜烷相关图

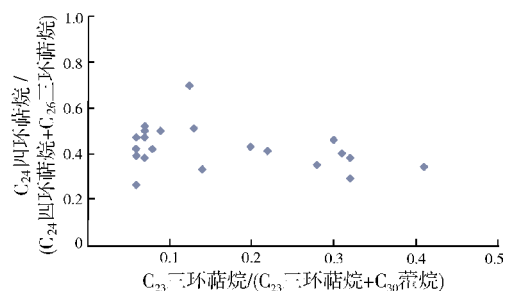


图6 鄂尔多斯盆地长8段砂岩沥青中 C_{23} 三环萜烷/(C_{23} 三环萜烷+ C_{30} 藿烷)与 C_{24} 四环萜烷/(C_{24} 四环萜烷+ C_{26} 三环萜烷)相关图

原油中伽马蜡烷的相对含量与古盐度成正相关,它是一种常见的表征古水体盐度的指标^[15-16]。鄂尔多斯盆地华池—庆阳地区沥青中伽马蜡烷/ $\alpha\beta$ - C_{30} 藿烷值和 C_{30} 藿烷相对含量的分布范围分别是0.02~0.21和26.96%~42.12%(表3),其分布比较集中,指示华池—庆阳地区长8段砂岩沥青形成于相似的、较低盐度的沉积环境。另外,沥青样品中检测出低丰度 β 胡萝卜素,说明沥青形成环境为弱氧化—弱还原环境。

Ts/Tm 是萜烷中最常见的成熟度指标,沥青中 Ts/Tm 分布在0.53~5.59(表3),除西189、镇237、庄110和正23等四口井的样品小于1外,其余样品中该值均大于1(图7),说明沥青已成熟。 Ts/Tm 分布范围较宽,并且与 Σ 三环萜烷/ Σ 藿烷成正相关(图8),这可能指示长8段砂岩沥青来源于不同成熟度原油的混合。 C_{31} 藿烷 $22S/(22S+22R)$ 也可以反映原油的成熟度^[17-18]。研究样品中 C_{31} 藿烷 $22S/(22S+22R)$ 的值为0.45~0.59(表3),接近或已经达到平衡值,说明鄂尔多斯盆地西南部地区长8段砂岩沥青已成熟。

3.4 甾烷特征

原油中的甾烷分布特征常用于判断原油母质来源和成熟度^[15-16, 19-21]。鄂尔多斯盆地西南部地区长8段砂岩沥青中 C_{27} 、 C_{28} 和 C_{29} 规则甾烷的相对含量分别为20.54%~35.12%、23.05%~30.41%和37.86%~52.04%(表4,图9),表明长8段砂岩沥青中甾烷的分布特征是 C_{29} 规则甾烷含量最高, C_{28} 和 C_{27} 规则甾烷含量较低(图2d),反映了沥青母质为水生生物和陆生高等植物,陆源高等植物贡献较大。规则甾烷/藿烷常用于表征原油母质中真核生物与原核生物的输入量。高的规则甾烷/藿烷值(≥ 1)指示原油是源于藻类生物的海相有机质^[9],而低的规则甾烷/藿烷值是陆源或

者被微生物改造过的有机质特征^[22]。本次研究中长8段砂岩沥青样品中规则甾烷/藿烷的值为0.13~0.82(表4),反映了陆生高等植物是沥青的重要来源,同时沥青也可能存在一定的微生物改造作用。4-甲基甾烷一般被认为来源于甲藻类和细菌^[21, 23]。本次研究中长8段砂岩沥青中检测出较丰富的4-甲基甾烷,4-甲基甾烷/规则甾烷的值分布在0.10~0.23之间(表4),反映了甲藻类和细菌是研究区沥青的母质来源之一。

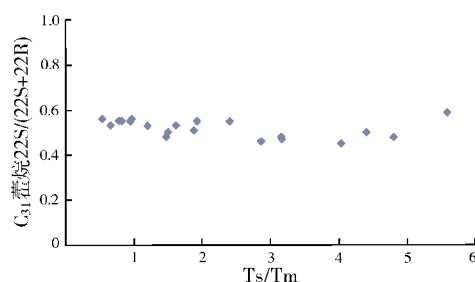


图7 鄂尔多斯盆地西南部长8段砂岩沥青中 Ts/Tm 与 C_{31} 藿烷 $22S/(22S+22R)$ 相关图

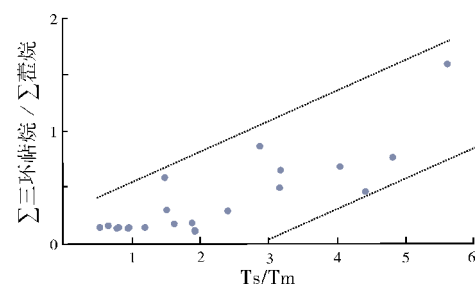


图8 鄂尔多斯盆地西南部长8段砂岩沥青中 Ts/Tm 与 Σ 三环萜烷/ Σ 藿烷相关关系

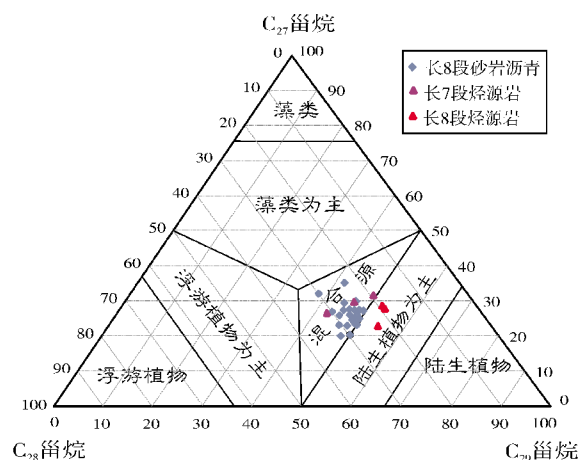


图9 鄂尔多斯盆地西南部长8段砂岩沥青与其他烃源岩中不同碳数规则甾烷分布特征

表 3 鄂尔多斯盆地西南部长 8 段砂岩中萘烷参数分析数据表

井位	深度 (m)	层位*	C ₂₅ 三环萘烷/ C ₂₄ 四环萘烷		三环萘烷相对含量(%)		C ₂₆ 三环萘烷/ (C ₂₅ +C ₂₆)/ C ₂₅ 萘烷		C ₂₇ 三环萘烷/ C ₂₆ 三环萘烷		C ₂₈ 三环萘烷/ C ₂₇ 三环萘烷		C ₂₉ 三环萘烷/ C ₂₈ 三环萘烷		C ₃₀ 三环萘烷/ C ₂₉ 三环萘烷		Ts/Tm	加马萘烷/ αβ-C ₃₀ 萘烷	Σ三环萘烷/ Σ萘烷	C ₃₂ 萘烷2S/ (2S+2R)
			C ₂₅ 三环萘烷/ C ₂₄ 四环萘烷	C ₂₅ 三环萘烷/ C ₂₄ 四环萘烷	(C ₂₅ +C ₂₆)/ C ₂₅ 萘烷	C ₂₆ /C ₂₅	C ₂₆ 三环萘烷/ C ₂₅ 三环萘烷	C ₂₇ 三环萘烷/ C ₂₆ 三环萘烷	C ₂₇ 三环萘烷/ C ₂₆ 三环萘烷	C ₂₈ /C ₂₇	C ₂₈ 三环萘烷/ C ₂₇ 三环萘烷	C ₂₉ 三环萘烷/ C ₂₈ 三环萘烷	C ₂₉ 三环萘烷/ C ₂₈ 三环萘烷	C ₃₀ /C ₂₉	C ₃₀ 三环萘烷/ C ₂₉ 三环萘烷					
井269	2133.35	长8 ¹	0.87	0.78	0.74	0.47	0.28	0.35	0.19	29.88	27.99	42.12	4.25	3.16	0.13	0.66	0.47			
西269	1870.80	长8 ¹	0.78	0.79	0.47	0.47	0.32	0.38	0.26	39.12	29.92	30.96	6.61	2.86	0.21	0.87	0.46			
西269	1900.26	长8 ²	0.83	0.86	0.69	0.69	0.30	0.46	0.21	34.08	28.13	37.79	6.68	4.03	0.16	0.69	0.45			
西171	2085.32	长8 ²	0.32	0.71	0.21	0.21	0.31	0.40	0.25	40.58	22.67	36.75	4.15	1.47	0.13	0.59	0.48			
西189	2103.30	长8 ¹	0.67	0.54	0.59	0.06	0.47	0.39	0.04	29.03	39.40	31.57	5.69	0.81	0.02	0.15	0.55			
西189	2112.10	长8 ¹	0.53	0.59	0.38	0.06	0.42	0.04	0.04	32.08	40.97	26.96	3.91	0.77	0.02	0.14	0.55			
西189	2123.26	长8 ¹	0.23	0.54	0.20	0.20	0.07	0.47	0.04	31.68	37.89	30.43	5.43	0.94	0.03	0.14	0.55			
镇147	2337.83	长8 ¹	0.52	0.47	0.18	0.06	0.26	0.04	0.04	24.75	34.92	40.32	9.96	1.92	0.04	0.12	0.55			
镇147	2340.77	长8 ¹	0.31	0.51	0.28	0.06	0.47	0.04	0.04	27.05	36.12	36.83	7.92	1.92	0.03	0.13	0.55			
镇150	1959.34	长8 ¹	0.80	0.59	0.49	0.07	0.38	0.05	0.05	25.92	37.41	36.67	8.15	1.61	0.04	0.18	0.53			
镇237	2169.52	长8 ¹	0.26	0.59	0.26	0.07	0.50	0.05	0.05	30.51	36.46	33.03	7.02	0.96	0.03	0.15	0.56			
镇300	2373.73	长8 ¹	0.79	0.57	0.39	0.14	0.33	0.09	0.09	32.21	35.62	32.17	6.02	1.50	0.06	0.31	0.50			
吴484	1973.45	长8 ¹	0.58	0.72	0.59	0.09	0.50	0.05	0.05	30.61	35.82	33.57	4.09	1.87	0.03	0.19	0.51			
庄110	1823.37	长8 ¹	0.51	0.56	0.33	0.06	0.39	0.33	0.04	31.81	41.10	27.09	4.94	0.53	0.03	0.15	0.56			
环78	2678.03	长8 ¹	0.38	0.68	0.39	0.13	0.51	0.09	0.14	33.90	35.41	30.69	6.43	2.40	0.06	0.30	0.55			
环305	2450.02	长8 ¹	0.80	0.78	0.60	0.20	0.43	0.15	0.15	28.36	33.48	38.15	4.34	3.15	0.08	0.50	0.48			
环105	2076.23	长8 ¹	0.81	0.93	0.56	0.22	0.41	0.14	0.14	30.33	28.57	41.10	8.70	4.40	0.05	0.47	0.50			
牛221	1723.31	长8 ¹	0.89	1.28	0.46	0.41	0.34	0.32	0.32	31.68	39.19	29.12	9.39	5.59	0.15	1.60	0.59			
罗221	2751.72	长8 ¹	0.97	0.89	0.39	0.32	0.29	0.38	0.38	41.90	20.48	37.62	8.81	4.80	0.12	0.77	0.48			
浪45	2352.03	长8 ¹	0.30	0.57	0.32	0.07	0.52	0.04	0.04	30.37	38.36	31.26	5.57	1.19	0.05	0.15	0.53			
浪23	1254.37	长8 ¹	0.56	0.59	0.41	0.08	0.42	0.05	0.05	31.26	37.18	31.56	7.45	0.65	0.04	0.17	0.53			

* “长8'”为延长组8段1亚段;“长8²”为延长组8段2亚段

表 4 鄂尔多斯盆地西南部长 8 段砂岩沥青烷分析数据表

井位	深度 (m)	层位*	规则馏烃相对含量(%)			C ₂₉	C ₂₈	C ₂₇	规则馏烃/ 藿烷	重排馏烃/ 规则馏烃	4-甲基馏烃/ 规则馏烃	C ₂₀ 馏烃 20S/ (20S+20R)	C ₂₀ 馏烃18β/ (αα+18β)	C ₂₀ 重排馏烃20S/ (20S+20R)
□269	2133.35	长8 ³	27.67	26.83	45.50	0.47	0.14	0.14	0.14	0.14	0.53	0.49	0.62	
西269	1870.80	长8 ¹	26.80	29.98	43.22	0.62	0.16	0.16	0.14	0.14	0.57	0.46	0.62	
西269	1900.26	长8 ³	26.81	25.51	47.68	0.51	0.13	0.13	0.14	0.13	0.50	0.50	0.54	
西171	2085.32	长8 ³	27.65	24.60	47.76	0.50	0.18	0.18	0.11	0.11	0.51	0.49	0.62	
西189	2103.30	长8 ¹	23.39	30.41	46.20	0.18	0.10	0.10	0.10	0.10	0.57	0.48	0.56	
西189	2112.10	长8 ¹	20.54	29.61	49.85	0.18	0.09	0.09	0.12	0.12	0.58	0.50	0.53	
西189	2123.26	长8 ¹	25.00	25.85	49.14	0.18	0.12	0.12	0.12	0.12	0.56	0.51	0.56	
镇147	2337.83	长8 ¹	25.93	25.37	48.71	0.13	0.12	0.12	0.12	0.12	0.61	0.47	0.55	
镇147	2340.77	长8 ¹	27.45	23.06	49.49	0.15	0.14	0.14	0.10	0.10	0.56	0.51	0.63	
镇150	1959.34	长8 ¹	24.91	23.05	52.03	0.14	0.08	0.08	0.13	0.13	0.55	0.51	0.49	
镇237	2169.52	长8 ¹	24.64	26.21	49.15	0.17	0.09	0.09	0.12	0.12	0.58	0.54	0.51	
镇300	2373.73	长8 ¹	23.15	29.01	47.84	0.26	0.10	0.10	0.14	0.14	0.61	0.47	0.65	
吴484	1973.45	长8 ¹	29.56	26.41	44.04	0.29	0.11	0.11	0.13	0.13	0.55	0.52	0.54	
庄110	1823.37	长8 ¹	20.63	27.48	51.89	0.20	0.07	0.07	0.12	0.12	0.55	0.55	0.41	
环78	2678.03	长8 ¹	27.98	26.15	45.87	0.32	0.12	0.12	0.16	0.16	0.56	0.44	0.58	
环305	2450.02	长8 ¹	25.98	28.95	45.07	0.43	0.09	0.09	0.17	0.17	0.58	0.45	0.65	
乍105	2076.23	长8 ¹	27.68	25.32	47.01	0.45	0.15	0.15	0.11	0.11	0.51	0.51	0.63	
乍221	1723.31	长8 ¹	32.10	30.03	37.86	0.82	0.16	0.16	0.23	0.23	0.47	0.56	0.70	
罗221	2751.72	长8 ¹	35.12	23.19	41.69	0.62	0.31	0.31	0.18	0.18	0.56	0.47	0.66	
漠45	2352.03	长8 ¹	24.50	27.05	48.45	0.19	0.10	0.10	0.13	0.13	0.55	0.50	0.59	
正23	1254.37	长8 ¹	20.96	26.99	52.04	0.17	0.08	0.08	0.13	0.13	0.58	0.50	0.49	

* “长8¹”为延长组8段1亚段; “长8²”为延长组8段2亚段

重排甾烷/规则甾烷值可以用来评价原油的成熟度^[19]。鄂尔多斯盆地西南部地区长8段沥青中 C_{29} 甾烷 $20S/(20S+20R)$ 和 C_{29} 甾烷 $\beta\beta/(\alpha\alpha+\beta\beta)$ 的值分别为0.47~0.61和0.44~0.56(表4),Hanson等^[9]认为成熟原油中这两个参数大于0.4,因此长8段沥青均为成熟沥青(图10)。另外 C_{29} 重排甾烷 $20S/(20S+20R)$ 的值为0.41~0.70(表4),并且大多已达到平衡值,也反映了成熟沥青的特征。

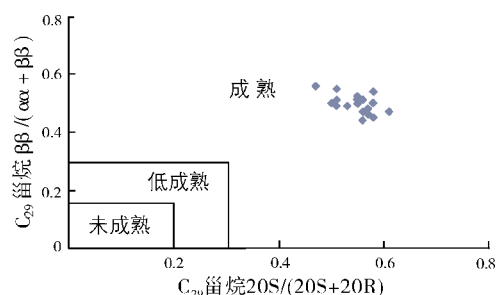


图10 鄂尔多斯盆地西南部长8段砂岩沥青中 C_{29} 甾烷 $20S/(20S+20R)$ 与 C_{29} 甾烷 $\beta\beta/(\alpha\alpha+\beta\beta)$ 相关图

3.5 油源对比分析

前人研究结果表明,延安组和延长组是鄂尔多斯盆地中生界的两套主要烃源岩。徐丽等^[24]研究认为延安组是在湖沼相弱氧化环境下形成的,其成烃母质主要为陆源物质, C_{29} 甾烷含量很高,达60%~73%,明显高于长8段砂岩沥青的 C_{29} 甾烷含量;成熟度指标 C_{29} 甾烷 $20S/(20S+20R)$ 和 C_{29} 甾烷 $\beta\beta/(\alpha\alpha+\beta\beta)$ 分别为0.35~0.43和0.42~0.46,总体略低于长8段砂岩沥青。这说明华池—庆阳地区长8段砂岩沥青并非来源于延安组烃源岩。而延长组4+5段至长8段烃源岩形成于浅湖相—深湖相的沉积环境,有机质含量较高,类型为Ⅱ型+Ⅲ型, R_o 值为0.75%~0.96%^[24],它们可能是研究区长8段砂岩沥青的烃源岩。

为了进一步确定研究区长8段砂岩沥青的油源,在此将沥青生物标志化合物特征与已报道的延长组烃源岩(主要为长7段烃源岩和长8段烃源岩)生物标志化合物特征做对比,进行油源对比研究。正构烷烃中 Pr/Ph 的值和规则甾烷中 C_{27} 、 C_{28} 和 C_{29} 的相对丰度是可靠的油源对比指标。由图4、图9和图11可以看出,研究区长8段砂岩沥青和长7段烃源岩分布范围较一致,而与长8段烃源岩差异较大,指示研究对象可能来自于长7段烃源岩。结合上文分析数据可以看

出,鄂尔多斯盆地西南部地区长8段砂岩沥青的生物标志化合物特征与长7段烃源岩相似,说明研究区沥青主要来源于长7段烃源岩。

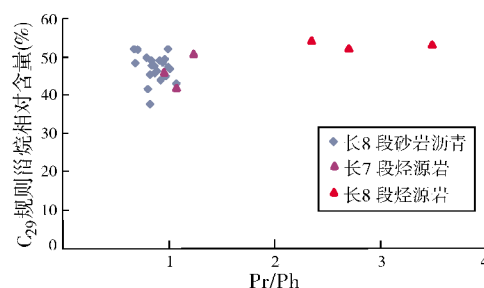


图11 鄂尔多斯盆地西南部长8段砂岩沥青和烃源岩的 C_{29} 规则甾烷相对含量与 Pr/Ph 值相关关系图

长7段烃源岩包括下部的油页岩与中上部的暗色泥页岩,研究显示这两类烃源岩之间也存在较大差异^[25]。通过饱和烃质谱图对比可发现(图12),沥青的总离子流图与长7段泥页岩相似,而与长7段油页岩总离子流图相比差异明显,但长7段油页岩甾烷分布特征与沥青更为相似;长7段泥页岩 Ts/Tm 的值较高,而长7段油页岩 Ts 含量低于或略高于 Tm ,沥青样品的 Ts/Tm 的值恰好介于二者之间。结合上文可以推断,长8段砂岩沥青可能是长7段油页岩与长7段泥页岩的混合来源,不同来源的原油以不同比例发生混合,使得沥青中 Ts/Tm 的值分布发生变化,并且其变化范围在长7段下部油页岩和中上部泥页岩 Ts/Tm 的值之间。

4 结论

(1)鄂尔多斯盆地西南部长8段砂岩沥青中高碳数的正构烷烃优势明显,规则甾烷中 C_{29} 含量相对较高,甾烷系列中四环甾烷含量较高, C_{25}/C_{26} 和 $(C_{19}+C_{20})/C_{23}$ 分别为0.18~0.69和0.47~1.28, C_{24} 四环甾烷/(C_{24} 四环甾烷+ C_{26} 三环甾烷)的值为0.26~0.52, C_{23} 三环甾烷/(C_{23} 三环甾烷+ C_{30} 藿烷)值的分布范围为0.06~0.41,这些都指示研究区长8段砂岩沥青母质来源为混合型,并且陆源有机质贡献较大。

(2)长8段砂岩沥青中 Pr/Ph 为0.67~1.07,同时,沥青中检测出低丰度的 β 胡萝卜素,说明沥青形成环境为弱氧化—弱还原环境。较低丰度的伽马蜡烷与 C_{30} 藿烷指示沥青的母质形成于淡水或微咸水湖泊环境。

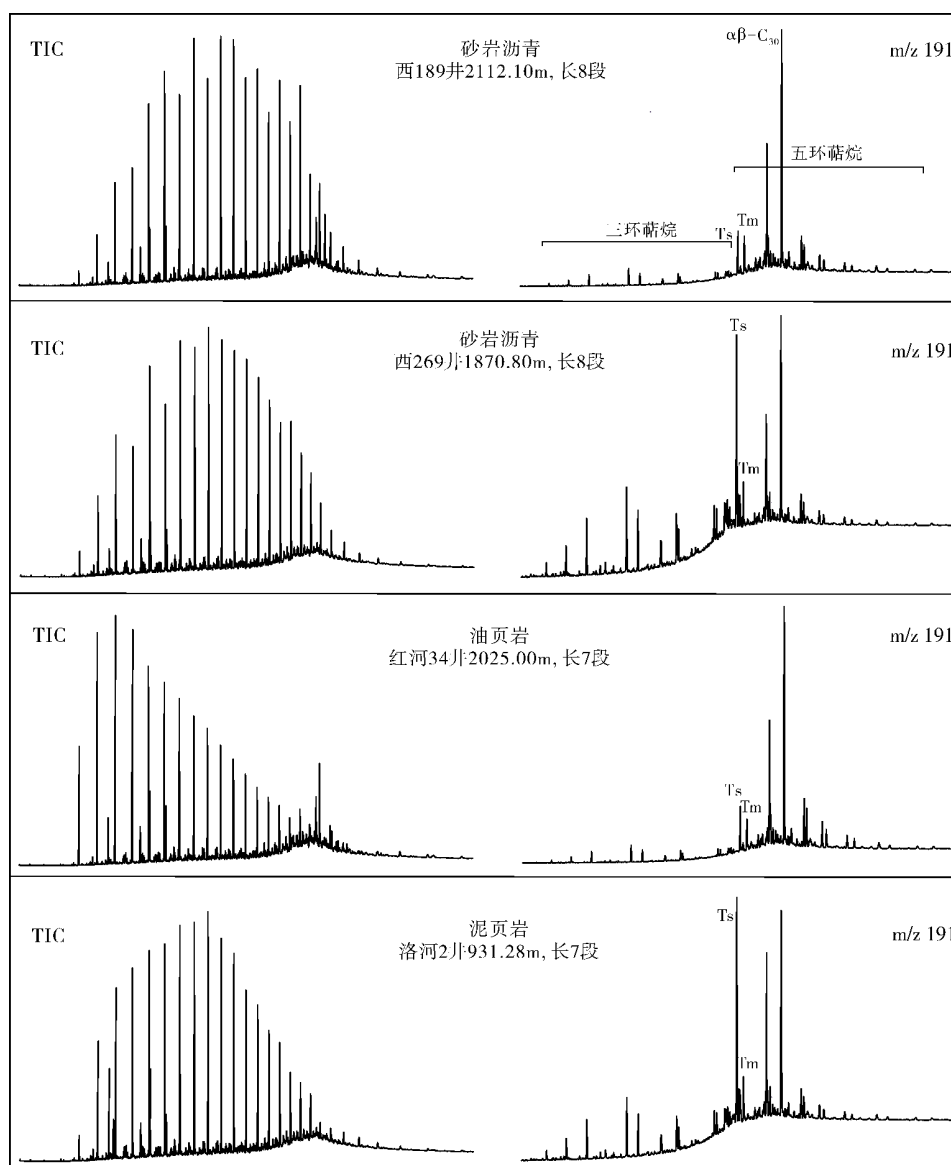


图 12 鄂尔多斯盆地西南部长8段典型砂岩沥青样品与长7段油页岩、泥页岩饱和烃质谱图
(油页岩和泥页岩饱和烃谱图据文献[25])

(3)长8段砂岩沥青中正构烷烃奇偶优势不明显, OEP值分布范围为0.94~1.26, C_{31} 甾烷 $22S/(22S+22R)$ 、 C_{29} 甾烷 $20S/(20S+20R)$ 、 C_{29} 甾烷 $\beta\beta/(\alpha\alpha+\beta\beta)$ 和 C_{29} 重排甾烷 $20S/(20S+20R)$ 均接近或已经达到平衡值,都反映了长8段砂岩沥青为成熟沥青。

(4)通过鄂尔多斯盆地西南部长8段砂岩沥青及长7段烃源岩和长8段烃源岩生物标志化合物研究,发现研究区长8段砂岩沥青的生物标志化合物特征与长7段烃源岩的相似,可能来自于同一油源,由此推断研究区长8段砂岩沥青来自于长7段烃源岩。

参考文献

- [1] 王传远,段毅,车桂美,等. 鄂尔多斯盆地上三叠统延长组原油地球化学特征及油源分析[J]. 高校地质学报, 2009, 15(3): 380-386.
- [2] 吉利明,吴涛,李林涛. 陇东三叠系延长组主要油源岩发育时期的古气候特征[J]. 沉积学报, 2006, 24(3): 426-431.
- [3] 武富礼,李文厚,李玉宏,等. 鄂尔多斯盆地上三叠统延长组三角洲沉积及演化[J]. 古地理学报, 2004, 6(3): 307-315.
- [4] 李凤杰,王多云,徐旭辉. 鄂尔多斯盆地陇东地区三叠系延长组储层特征及影响因素分析[J]. 石油实验地质, 2005, 27(4): 365-370.
- [5] 韩宗元,苗建宇,布占琦. 鄂尔多斯盆地镇原地区中生界延长组、延安组烃源岩地球化学特征对比分析[J]. 现代地质,

- 2007, 21(3): 532-537.
- [6] 段毅, 吴保祥, 张辉, 等. 鄂尔多斯盆地西峰油田原油地球化学特征及其成因[J]. 地质学报, 2006, 80(2): 301-310.
- [7] Connan J, Cassou A M. Properties of gases and petroleum liquids derived from terrestrial kerogen at various maturation levels[J]. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 1980, 44(1): 1-23.
- [8] Peters K E, Fraser T H, Amris W, et al. Geochemistry of crude oils from eastern Indonesia [J]. *AAPG Bulletin*, 1999, 83 (12): 1927-1942.
- [9] Hanson A D, Zhang Shuichang, Moldowan J M, et al. Molecular organic geochemistry of the Tarim Basin, Northwest China[J]. *AAPG Bulletin*, 2000, 84(8): 1109-1128.
- [10] ten Haven H L, de Leeuw J W, Rullkötter J, et al. Restricted utility of the pristane/phytane ratio as a palaeoenvironmental indicator[J]. *Nature*, 1987, 330(6149): 641-643.
- [11] 梅博文, 刘希江. 我国原油中异戊间二烯烷烃的分布及其与地质环境的关系[J]. 石油与天然气地质, 1980, 1(2): 99-115.
- [12] Seifert W K, Moldowan J M. Applications of steranes, terpanes and monoaromatics to the maturation, migration and source of crude oils[J]. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 1978, 42(1): 77-95.
- [13] Burwood R, Leplat P, Mycke B, et al. Rifted margin source rock deposition: A carbon isotope and biomarker study of a West African Lower Cretaceous "lacustrine" section[J]. *Organic Geochemistry*, 1992, 19(1/3): 41-52.
- [14] Zhang Shuichang, Hanson A D, Moldowan J M, et al. Paleozoic oil-source rock correlations in the Tarim Basin, NW China [J]. *Organic Geochemistry*, 2000, 31(4): 273-286.
- [15] Philp R P, Fan Pu, Lewis C A, et al. Geochemical characteristics of oils from the Chaidamu, Shangganning and Jianghan Basins, China[J]. *Journal of Asian Earth Sciences*, 1991, 5 (1/4): 351-358.
- [16] Moldowan J M, Seifert W K, Gallegos E J. Relationship between petroleum composition and depositional environment of petroleum source rocks[J]. *AAPG Bulletin*, 1985, 69(8): 1255-1268.
- [17] 段毅, 王智平, 张辉, 等. 柴达木盆地原油烃类地球化学特征[J]. 石油实验地质, 2004, 26(4): 359-364.
- [18] Li Maowen, Yao Huanxin, Fowler M G, et al. Geochemical constraints on models for secondary petroleum migration along the Upper Devonian Rimbey-Meadowbrook reef trend in central Alberta, Canada[J]. *Organic Geochemistry*, 1998, 29(8): 163-182.
- [19] 朱扬明, 张春明, 张敏. 沉积环境的氧化还原性对重排甾烷形成的作用[J]. 沉积学报, 1997, 15(4): 104-108.
- [20] Grantham P J, Wakefield L L. Variations in the sterane carbon number distributions of marine source rock derived crude oils through geological time[J]. *Organic Geochemistry*, 1988, 12(1): 61-73.
- [21] Huang Wenyan, Meinschein W G. Sterols as ecological indicators[J]. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 1979, 43(5): 739-745.
- [22] Tissot B P, Welte D H. *Petroleum Formation and Occurrence* [M]. New York: Springer-verlag, 1984: 1-699.
- [23] Robinson N, Eglinton G, Brassell S C, et al. Dinoflagellate origin for sedimentary 4 α -methylsteroids and 5 α (H)-stanols [J]. *Nature*, 1984, 308(5958): 439-442.
- [24] 徐丽, 段毅, 邢蓝田, 等. 鄂尔多斯盆地林镇地区原油地球化学特征[J]. 天然气地球科学, 2013, 24(2): 406-413.
- [25] 邓南涛, 张枝焕, 任来义, 等. 鄂尔多斯盆地南部延长组油页岩地球化学特征及分布规律[J]. 石油实验地质, 2013, 35 (4): 432-437.

编辑: 黄革萍

Geochemical Characteristics and Oil-source Correlation of Bitumen in Sandstone of Chang-8 Member in Southwestern Ordos Basin

Wang Zixiang, Wang Yongli, Sun Zepeng, Zhu Shenzhen, Wang Gen, Xu Liang, Sun Li'na

Abstract: 21 bituminous sandstone samples of Chang-8 member in southwestern Ordos Basin were collected, and the biomarkers of bitumen were detected by means of GC-MS. The compositional and distributional characteristics of biomarker compounds of bitumen samples were studied and the origin of bitumen is discussed. The result shows that: (1) The relative content of tetracyclic terpane to hopanes and C_{29} regular steranes to C_{27} are high, C_{24} tetracyclic terpane/(C_{24} tetracyclic terpane + C_{26} tricyclic terpane) ranges from 0.26 to 0.52, C_{23} tricyclic terpane/(C_{23} tricyclic terpane + C_{30} hopanes) ranges from 0.06 to 0.41, these data indicate that their organic parent materials are mixed ones and the higher land plants make a great contribution to the oil generation. (2) The low-content of β -carotane, gammacerane and C_{30} +hopanes, and that the ratio of Pr/Ph is 0.67~1.07, indicate that the oil was formed under the weak oxidizing to weak reducing freshwater or brackish-water lacustrine environment. (3) Several ratios, including C_{31} hopanes 22S/(22S+22R), C_{29} sterane 20S/(20S+20R), C_{29} sterane $\beta\beta$ /($\alpha\alpha$ + $\beta\beta$) and C_{29} diasterane 20S/(20S+20R), completely or almost completely reached such equilibrium value that it indicates the studied bitumens are mature. The results of oil-source rock correlation show that the geochemical characteristics of bitumen in sandstone of Chang-8 Member from southwest area of Ordos Basin are similar to those of the upper Triassic Chang-7 subsection, so it is proposed that the bitumen originated mainly from the Chang-7 source rock.

Key words: Bitumen; Source rock; Biomarkers; Oil-source correlation; Ordos Basin

Wang Zixiang: Postdoctor in Jiangnan Oilfield Branch Company, SINOPEC. Add: 18 Daxueyuan Rd., Donghu High-tech Zone, Wuhan, Hubei, 430223, China