

文章编号: 1000-0550(2013)01-0184-09

柴达木盆地台深1井烃源岩和天然气地球化学特征分析^①

孙敏卓¹ 王鹏² 吴永良² 李国燕² 陈勇³ 谭和勇⁴ 易宗旺⁵ 孟仟祥¹

(1. 中国科学院油气资源研究重点实验室 兰州 730000; 2. 中国石油青海油田勘探开发研究院 甘肃敦煌 736202;
3. 四川省核工业地质局 283 大队 四川达州 635000; 4. 河南省地质调查院 郑州 450001;
5. 重庆市地质矿产勘查开发局 107 地质队 重庆 401120)

摘要 对柴达木盆地三湖地区台深1井烃源岩的地球化学进行研究,可以为该地区进一步勘探提供科学依据。本研究通过高精度GC/MS和同位素分析,研究了台深1井天然气同位素和烃源岩生物标志化化合物的分布特征。结果表明,台深1井天然气不同于涩北气田的生物气,为低熟过渡带天然气;烃源岩的母质类型以陆源高等植物为主,也有水生生物的贡献;成烃环境为浅湖相咸化含硫的弱还原—弱氧化环境,而且成烃环境中微生物发育。

关键词 柴达木盆地 台深1井 烃源岩 天然气

第一作者简介 孙敏卓 女 1979年出生 助理研究员 地球化学 E-mail: sunmz04@sina.com

中图分类号 P593 **文献标志码** A

柴达木盆地三湖地区第四系生物气区是我国最大的生物气区之一。经过40多年的地质勘探,该地区的生物气已探明储量达到了 $3\ 000 \times 10^8 \text{ m}^3$,初步建成了涩北1、2号和台南4号构造气田,形成了30多个亿立方米天然气年生产能力的气田,成为我国陆上第四大天然气区。但是,三湖地区天然气勘探面临着“后背圈闭严重不足”的问题。因此,寻找新的探勘领域成为当前该区天然气勘探的重点工作^[1,2]。台深1井位于柴达木盆地三湖坳陷北斜坡台南构造较高部位(图1)。2010年,柴达木盆地为了了解台南构造上第三系狮子沟组生烃能力、储层特征及含气性,扩展三湖地区生物气勘探领域,增加天然气地质储量,探索寻找第四系气藏的新思路、新方法而钻探的一口探井。该井是台南构造较高部位的一口风险探井,侧钻部分虽全烃显示比较低,但是与原始井孔良好气显示变化特征具有较好的一致性。

本文主要通过台深1井4块烃源岩(表1)地球

化学分析,认识该烃源岩的演化程度、母质类型及成烃古环境特征,进而探讨是否存在低演化阶段可以生成天然气的母质基础,以及进入较高演化阶段的生烃能力,为该地区石油勘探和开发提供科学依据。

1 样品分析测试

采自台深1井第三系黑灰色含碳质泥岩,样品经表面去污染处理后,粉碎至小于100目,索氏抽提(氯仿72h)后,经正己烷沉淀沥青质得到可溶有机质,然后将可溶有机质经硅胶和氧化铝(硅胶和氧化铝的体积比3:1)柱色层作族组成分离,分别以正己烷、二氯甲烷和甲醇做冲洗剂,得到饱和烃、芳烃和非烃三个馏分。其中饱和烃和芳烃直接做气相色谱-质谱(GC/MS)分析,非烃经 $\text{BF}_3\text{-CH}_3\text{OH}$ 溶液甲酯化后再做GC/MS分析^[3]。为对照研究,对烃源岩进行了碳同位素的分析,以及台深1井不同深度的5个天然气也进行碳同位素分析。

表1 柴达木盆地三湖坳陷样品的地球化学分析数据

Table 1 Data of geochemical analysis on samples from SAnhu depression in Qaidam basin

井号	深度/m	层位	TOC/%	S ₀ /(mg/g)	S ₁ /(mg/g)	S ₂ /(mg/g)	T _{max} /(°C)
台深1井	4176	N ₂ ²	2.23	0.0081	0.0497	0.4284	438
	4208	N ₂ ²	2.82	0.0075	0.1530	1.2785	441
	4228	N ₂ ²	1.88	0.0083	0.1667	1.0942	444
	4240	N ₂ ²	1.22	0.0082	0.0812	0.6393	435

①海相碳酸盐岩层系烃源演化与评价技术(2011ZX05005-001)和早古生代海相层系烃源特征与成藏过程示踪(2012CB214801)联合资助
收稿日期: 2011-12-23; 收修改稿日期: 2012-04-13

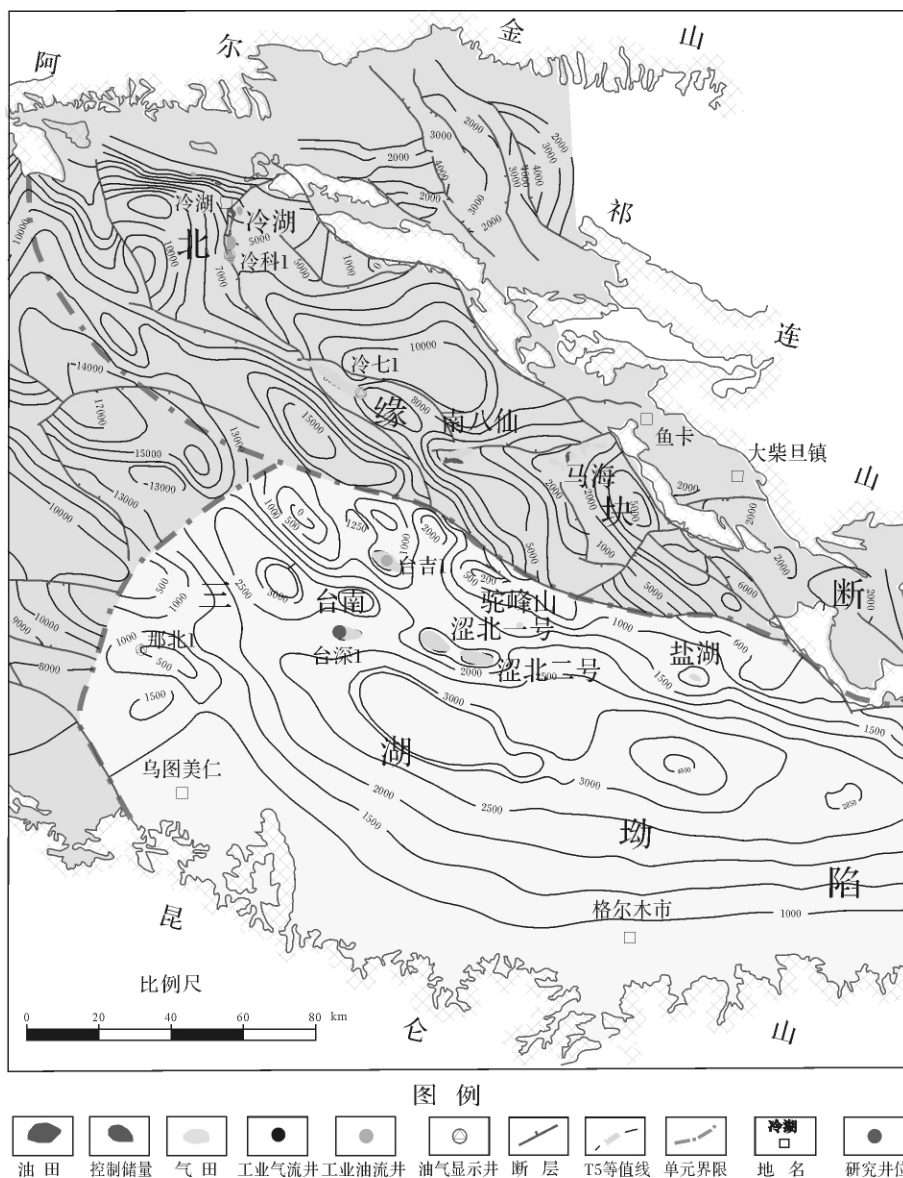


图 1 研究区域位置

Fig. 1 Location of the study area

2 结果与讨论

2.1 烃源岩的族组成特征

由图 2 和表 2 可以看出,台深 1 井 4 块烃源岩的族组成中以饱和烃和非烃馏分含量高为特征。高含量的非烃馏分表明,该烃源岩有机质未经历过较强烈的脱羧基、脱羰基等脱杂原子过程,未经历过较强烈的热作用过程^[4],即所研究台深 1 井烃源岩有机质演化程度较低。烃源岩有机质族组成具高饱和和烃馏分和较低芳烃馏分,反映出烃源岩有机质的演化程度还较低,还未达到经受高温发生环化芳够化的程度^[5]。

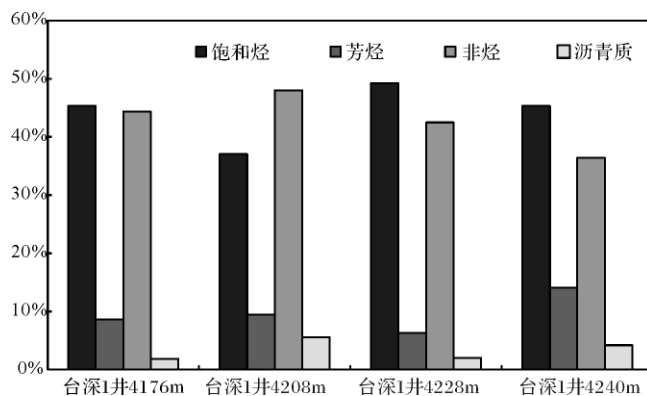


图 2 台深 1 井烃源岩的有机质族组成柱状图

Fig. 2 The histogram of group composition on Well Taishen 1

表2 台深1井烃源岩的有机质族组成数据

Table 2 The data of group composition on Well Taishen 1

井号	深度/m	族组成 /%			
		饱和烃	芳烃	非烃	沥青质
台深1井	4176	45.31	8.63	44.35	1.86
	4208	37.05	9.40	48.00	5.55
	4228	49.21	6.32	42.48	1.99
	4240	45.31	14.09	36.41	4.19

2.2 烃源岩可溶组分组成剖析

2.2.1 正构烷烃和类异戊二烯烷烃特征

图3为研究样品正构烷烃碳数分布图。从图3可以看出,台深1井烃源岩正构烷烃呈双驼峰,碳数

分布为 $nC_{12} \sim nC_{33}$,前峰群(ΣC_{21-})的丰度明显大于后峰群(ΣC_{22+}),说明有机质母质类型以水生生物为主。OEP₁和OEP₂是反映前峰群和后峰群正构烷烃奇偶碳优势参数^[6]。由表3可以看出,样品的OEP₁在1.0左右,无奇偶优势,显示为成熟有机质特征。而OEP₂均大于1.0,为奇碳优势,显示为低熟有机质特征。如果样品的成烃环境没有微生物存在,则在漫长的地热作用下OEP₁和OEP₂是同步演化的^[7,8],由此证明了台深1井的这4块烃源岩的成烃环境中微生物发育,OEP₁和OEP₂的不一致是由微生物造成的。

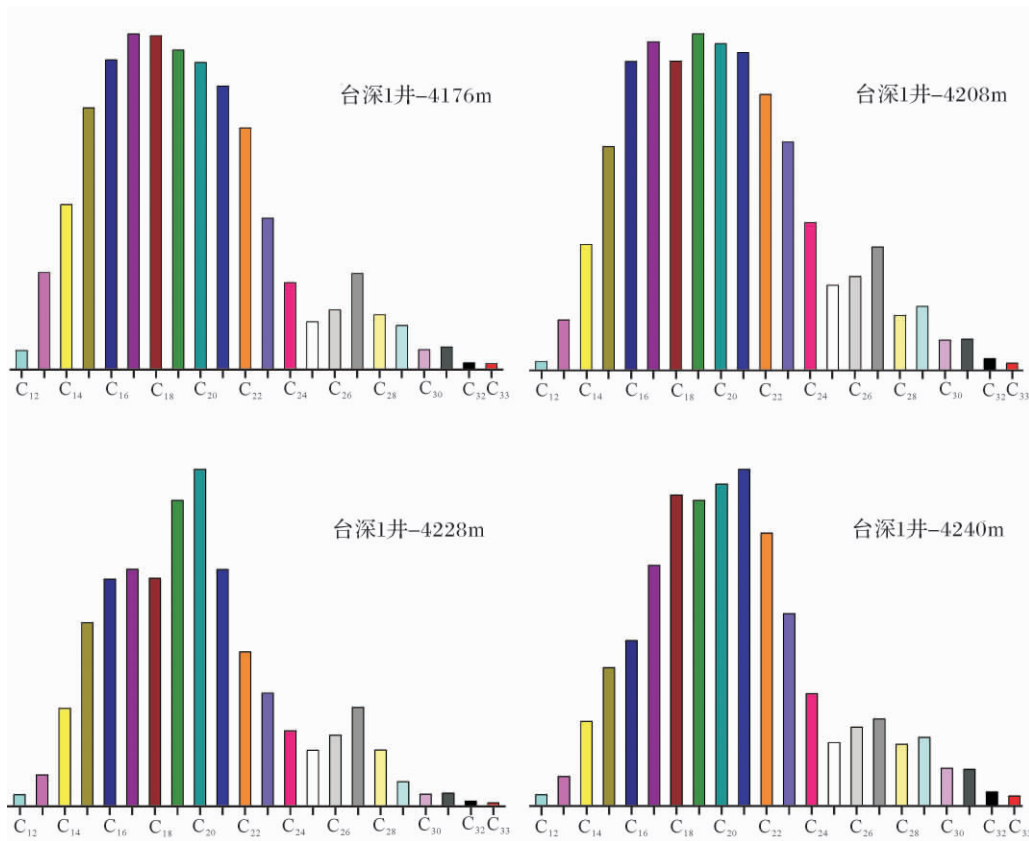


图3 台深1井烃源岩正构烷烃碳数分布图

Fig.3 The distribution graph showing carbon numbers of n-alkane

表3 正构烷烃参数表

Table 3 The parameters of n-alkane

井号	井深/m	碳数分布	主峰及次主峰	峰型	OEP ₁	OEP ₂	Pr/Ph
台深1井	4176	$C_{12} \sim C_{33}$	nC_{18} nC_{27}	双峰型	0.995	1.462	1.245
	4208		nC_{17} nC_{27}		1.051	1.494	1.182
	4228		nC_{20} nC_{27}		1.022	1.324	1.000
	4240		nC_{21} nC_{27}		0.969	1.166	0.922

注: $OEP_1 = (C_{17} + 6C_{19} + C_{21}) / 4(C_{18} + C_{20})$; $OEP_2 = (C_{25} + 6C_{27} + C_{29}) / 4(C_{28} + C_{30})$

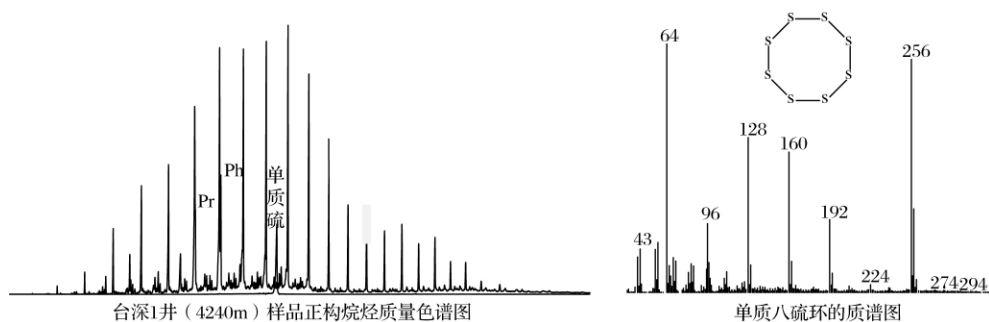


图4 台深1井(4 240 m)正构烷烃质量色谱图和单质八硫环的质谱图

Fig. 4 *N*-alkanes mass chromatogram of Well Taishen 1 (4 240 m) and mass spectrogram of elemental sulfur

姥植比(Pr/Ph)是反映成烃古环境氧化还原程度的重要参数,而且可以间接的反映成烃古环境水体的深浅^[9]。研究样品的Pr/Ph值分布在0.922~1.245区间(表3),同时在正构烷烃的质量色谱图中检测到单质八硫环(图4),表明了其成烃古环境为浅湖相的含硫的弱还原—弱氧化环境。由于单质八硫环强烈的催化作用,其可能为台深1井在低演化阶段生成天然气作出了贡献^[10]。

2.2.2 甾萜烷系列化合物特征

四块样品的 m/z 191质量色谱图(图5)中均检测出较丰富的三环二萜烷化合物,碳数分布为 C_{19} ~ C_{29} (C_{27} 缺失), C_{25} 以后因22位碳手型特征而以22S和22R一对对映异构体出现,主峰为 C_{21} (C_{20}),呈倒

“V”字型。母质类型参数 $\Sigma(C_{27} + C_{29}) / \Sigma C_{31+}$ 分布在1.136~1.258区间(表4),显示陆源母质占优势,羽扇烷和 C_{24} 四环二萜烷的检测出,进一步表明样品中有丰富的高等植物输入^[11,12],说明了台深1井这块烃源岩的母质类型为混源。

藿烷系列碳数分布为 C_{27} ~ C_{35} (C_{28} 缺失), C_{30} $\alpha\beta$ -藿烷为主峰(图5)。反映成烃环境水质咸淡程度的参数 γ -蜡烷/ $0.5C_{31}\alpha\beta$ 值分布在0.245~0.510区间(表4),且随深度逐渐变大,显示台深1井烃源岩随深度的增加,成烃环境越来越咸。

从 m/z 217质量色谱图(图5)看出,孕甾烷和重排甾烷的相对丰度很低,显示低熟有机质特征。常规甾烷的分布显示为 $C_{29} > C_{27} \approx C_{28}$ 特征, C_{27} 、 C_{28} 和 C_{29}

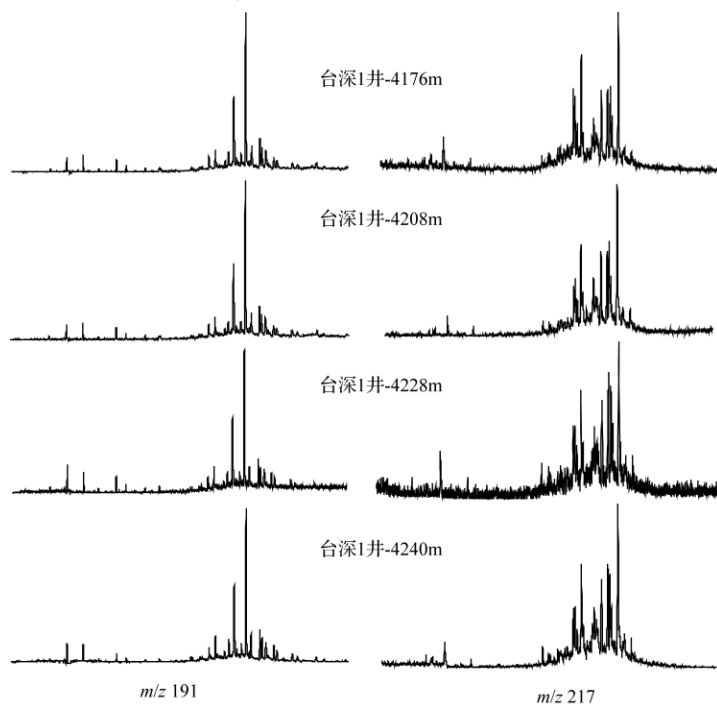
图5 台深1井烃源岩藿烷(m/z 191)和甾烷(m/z 217)质量色谱图Fig. 5 The mass chromatogram of the hopane(m/z 191) and the sterane(m/z 217)

表4 台深1井烃源岩藿烷和甾烷系列参数表

Table 4 The parameter of hopanaces and steranes from source rocks in Well Taishen 1

井号	深度/m	藿烷系列			甾烷系列			
		$C_{31}\alpha\beta 22S$ /22(S+R)	γ -蜡烷/ $0.5C_{31}\alpha\beta$	$\Sigma(C_{27}+C_{29})$ / ΣC_{31+}	$C_{29}\alpha\alpha 22S$ /22(S+R)	$C_{29}\beta\beta$ /($\beta\beta + \alpha\alpha$)	Σ 孕甾烷/ Σ 甾烷	Σ 重排甾烷 / Σ 甾烷
台深1井	4167	0.583	0.245	1.136	0.298	0.327	0.104	0.110
	4208	0.589	0.291	1.258	0.312	0.392	0.144	0.163
	4228	0.600	0.500	1.153	0.365	0.382	0.076	0.131
	4240	0.600	0.510	1.211	0.379	0.333	0.073	0.145

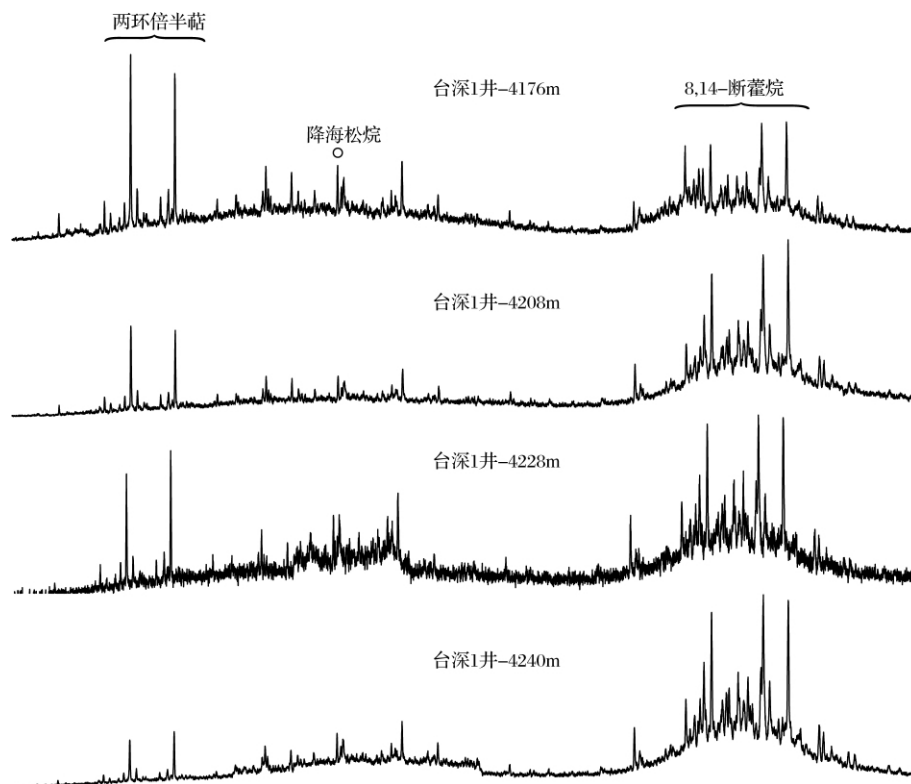
$\alpha\alpha\alpha-20R$ 呈反“L”型,说明母质类型以高等植物为主,但也有水生生物的贡献。 $C_{29}\beta\beta/(\beta\beta + \alpha\alpha)$ 值是甾烷中表征热演化程度的参数,研究样品的该值分布在0.327~0.392区间(表4),反映其演化程度较高。一般在细菌不发育的样品中,即使是经历过热作用,该值比较低^[13]。研究样品中较高的 $C_{29}\beta\beta/(\beta\beta + \alpha\alpha)$ 值再次证明该样品古环境中细菌微生物发育。

藿烷 $C_{31}\alpha\beta-22S/22(S+R)$ 值和甾烷 $C_{29}\alpha\alpha-20S/20(S+R)$ 值也是用来判识样品热演化程度的参数。研究样品的 $C_{31}\alpha\beta-22S/22(S+R)$ 值在0.583~0.600区间(表4),显示成熟有机质特征,而甾烷 $C_{29}\alpha\alpha-20S/20(S+R)$ 值却分布在0.298~0.379区间,为低熟有机质特征,甾烷立体异构型中20R向20S

转化比藿烷22R向22S转化有明显迟豫现象。Curry等认为微生物对沉积有机质降解过程中各系列生物标志物降解敏感性存在“类阶梯式”,即正构烷烃>无环类异戊二烯烷烃>藿烷系列>甾烷系列^[14],因而研究样品中甾烷参数现象比藿烷成熟度有明显迟豫现象,进一步表明研究样品有机质经历过微生物的降解。

2.2.3 两环倍半萜、树脂来源二萜及8,14-断藿烷系列特征

在 $m/z 123$ 的质量色谱图(图6)的前半段检测出丰富的 $C_{14}\sim C_{16}$ 两环倍半萜,其中以补身烷和升补身烷相对丰度最高为特征。丰富的两环倍半萜的检测出反映了样品的成烃环境为淡-微咸水的湖相沉积

图6 $m/z 123$ 质量色谱图Fig. 6 The mass chromatogram of $m/z 123$

环境。

在 $m/z123$ 的质量色谱图(图 6)的中段检测出降海松烷,反映了烃源岩有机质中有较丰富的高等植物树脂类的输入。树脂类化合物已被证实是烃源岩低温成烃的有效母源^[15],因而高等植物树脂类可能为台深 1 井低熟天然气做出了贡献。

在 $m/z123$ 的质量色谱图(图 6)的后半段检测出丰富 8,14-断藿烷化合物。8,14-断藿烷是藿烷立体构型中最弱的 8 和 14 之间化学键受到较强烈外力时发生断裂生成的系列衍生物^[16,17]。台深 1 井烃源岩有机质中检测出丰富的 C_{27} 、 C_{29} 和 C_{30} -8,14 断藿烷,进一步证明了台深 1 井烃源岩的成烃古环境微生物发育。

2.2.4 芳烃特征

芳烃馏分中均以 $C_{14} \sim C_{24}$ 脂肪酸甲酯系列相对丰度最高为特征,并以十六烷酸甲酯为主峰(图 7),反映了成岩早期成烃环境中存在丰富的脂肪酸系列化合物,它们与甲醇的缩合产物便形成了脂肪酸甲酯系列。该系列化合物在较低温度下发生去甲基反应及脱羧基反应,生成以甲烷为主的气态烃以及液态

烃。同时还检测出一系列的稠环芳烃化合物(萘系列、芴系列、联苯系列、氧芴系列、菲系列、屈系列、三芳啉烷系列和蒽稀,以及苯并荧蒹、苯并芘和花系列),其中花是来自高等植物的特征生标,表明样品有机质中有较丰富的陆源物质输入。相对丰度较高的蒽稀(RET)检测出,表明样品有机质中有较丰富的高等植物树脂类化合物的输入^[18]。

稠环芳烃中以菲系列和萘系列相对丰度最高是湖相淡—微咸水环境烃源岩芳烃的分布特征。异常低的四甲基菲比菲值(TeMP/P)反映出样品有机质经历了强烈的去甲基化过程,说明样品在成烃早期生成过甲烷为主的气态烃。

2.2.5 非烃特征

台深 1 井烃源岩非烃中主要检测出 $C_{12} \sim C_{26}$ 脂肪酸系列化合物,以十六烷酸相对丰度最高为特征。高丰度的不饱和脂肪酸(油酸和亚油酸)、甲氧基酸和羟基酸检测出,表明研究样品有机质的演化程度低,还未经历较强的热作用过程。同时还检测出豆甾二烯,它的前身物为高等植物中发育的豆甾醇,再次证明样品母质类型中有高等植物的输入。

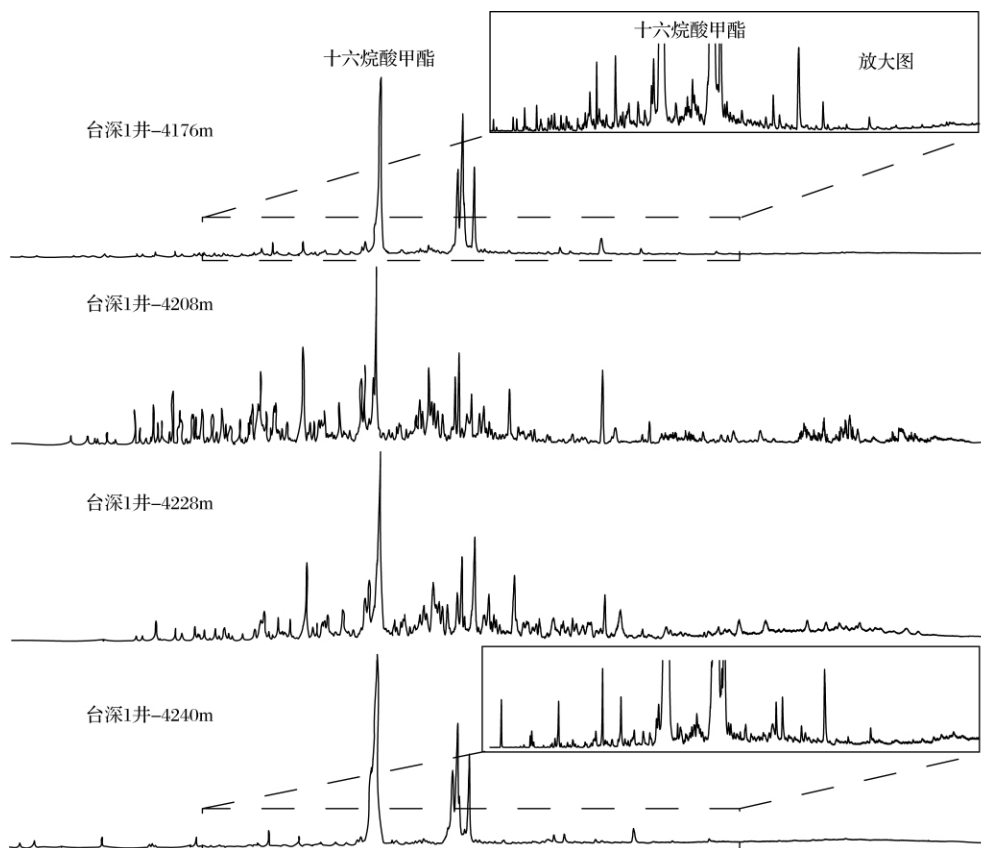


图 7 芳烃总离子流图

Fig. 7 The total ion chromatograms of the aromatic hydrocarbon

在脂肪酸中,异构脂肪酸的存在是细菌微生物存在的证据^[19~22]。在所研究样品非烃馏分中检测出异构和反异构十五烷酸,表明样品沉积环境微生物较发育。

2.3 烃源岩和天然气同位素剖析

台深1井烃源岩全岩有机碳同位素分布在 $-26.5‰ \sim -26.9‰$,显示了台深1井烃源岩有机质的母质类型是以陆源物质为主要输入类型的特征^[23]。

台深1井天然气同位素数据显示,天然气均表现为混源有机质但陆源母质输入量占优势,与烃源岩母质类型相同。同时也可以看出,天然气成熟度较低,估算 R_o 值大约 0.6% ^[24]。从 $\delta^{13}C_1$ 值看,应该有微生物的活动,从 $\delta^{13}C_{CO_2}$ 值看生气环境的细菌应该主要是喜氧菌^[23]。

表5 烃源岩和天然气同位素数据(‰)

Table 5 The data of isotope compositions of source rocks and natural gas

天然气			烃源岩		
深度/m	$\delta^{13}C_1/‰$	$\delta^{13}C_2/‰$	$\delta^{13}C_{CO_2}/‰$	深度/m	$\delta^{13}C/‰$
4084~4090	-40.2	/	-18.3	7176	-26.6
4104~4105	-47.3	-29.7	-19.0	4228	26.9
4131~4135	-45.7	-28.9	-19.0	4240	26.5
4189~4190	-46.9	-30.1	-17.8	/	/
4206~4208	-46.1	-29.7	-17.7	/	/

从台深1井天然气同位素看,不同于涩北气田的生物气。根据徐永昌等人^[25]对低熟气的理念进行的梳理和厘定,判断台深1井天然气为低熟过渡带天然气。结合台深1井烃源岩的地球化学特征分析,认为烃源岩以陆源高等植物为主的母质类型和微生物的发育,是台深1井生成天然气的基本要素。

3 结论

综上所述,对台深1井烃源岩的地球化学特征及烃源岩和天然气的同位素研究表明:

(1) 在烃源岩中均检测出了8,14-断藿烷、异构及反异构脂肪酸,这些化合物均与微生物有关,同时OEP₁和OEP₂的不一致、甾烷参数 $C_{29}\beta\beta/(\beta\beta+\alpha\alpha)$ 和藿烷参数 $C_{31}\alpha\beta-22S/22(S+R)$ 的不同步,以及天然气 $\delta^{13}C_1$ 等特征也证实烃源岩成烃环境微生物发育。微生物的降解作用加强了源岩有机质去甲基化程度,有利于台深1井生成天然气。

(2) 对烃源岩中正构烷烃OEP₂、孕甾烷、重排甾烷、甾烷参数 $C_{29}\alpha\alpha\alpha-20S/20(S+R)$ 和天然气同位素等特征分析说明,台深1井烃源岩有机质处于低演化阶段。由于微生物降解作用,烃源岩的一些特征(正构烷烃OEP₁和藿烷参数 $C_{31}\alpha\beta-22S/22(S+R)$)显示为成熟有机质特征。

(3) 从烃源岩中具有高 C_{20} 三环二萜烷、 C_{20} 四环二萜烷、羽扇烷、芴、萜烯等特征,以及正构烷烃分布、藿烷参数 $\Sigma C_{27}+C_{29}/\Sigma C_{31+}$ 、甾烷 C_{27} 和 $C_{29}\alpha\alpha\alpha-20R$ 的相对丰度、烃源岩 $\delta^{13}C$ 同位素及天然气同位素等特征来看,台深1井烃源岩的母质类型以陆源高等植物为主,同时也有水生生物的贡献,即母质类型为混源,但陆源高等植物为主。这就使得台深1井烃源岩具备了低演化阶段生成天然气的母质基础。

(4) 单质八硫环的检测出以及其他生标特征显示,台深1井烃源岩的成烃环境为浅湖相含硫咸化的弱还原—弱氧化环境。

参考文献(References)

- 1 张晓宝,徐自远,段毅,等. 柴达木盆地三湖地区第四系生物气的形成途径与运聚方式[J]. 地质评论, 2003, 49(2): 168-174 [Zhang Xiaobao, Xu Ziyuan, Duan Yi, et al. Metabolic pathway of the Quaternary biogenetic gases and their migration and accumulation in the Qaidam Basin, China[J]. Geological Review, 2003, 49(2): 168-174]
- 2 齐小平,张友焱,马达德,等. 柴达木盆地三湖地区正地形遥感研究[J]. 国土资源遥感, 2012, 92(1): 77-82 [Qi Xiaoping, Zhang Youyan, Ma Dade, et al. The raised terrain interpretation based on remote sensing techniques in the Three Lakes Area of the Qaidam Basin[J]. Remote Sensing for Land & Resources, 2012, 92(1): 77-82]
- 3 陈义才,沈忠民,罗小平. 石油与天然气有机地球化学[M]. 北京: 科学出版社, 2007 [Chen Yicai, Shen Zhongmin, Luo Xiaoping. The Organic Geochemistry of Petroleum and Natural Gas[M]. Beijing: Science Press, 2007: 193-209]
- 4 蔡勋育,朱扬明,黄仁春. 普光气田沥青地球化学特征及成因[J]. 石油与天然气地质, 2006, 27(3): 340-347 [Cai Xunyu, Zhu Yangming, Huang Renchun. Geochemical behaviors and origin of reservoir bitumen in Puguang gas pool[J]. Oil & Gas Geology, 2006, 27(3): 340-347]
- 5 贺训云,钟宁宁,陈建平,等. 十万大山盆地古油藏沥青地球化学特征及来源[J]. 石油实验地质, 2009, 31(4): 394-398 [He Xunyun, Zhong Ningning, Chen Jianping, et al. Geochemical characteristics and source of paleo-reservoir solid bitumen in Shewandashan Basin[J]. Petroleum Geology & Experiment, 2009, 31(4): 394-398]
- 6 孙敏卓,龙国徽,孟任祥,等. 塔里木盆地海相碳酸盐岩沥青“A”的地球化学特征[J]. 岩矿测试, 2011, 30(5): 623-630 [Sun Minzhuo, Long Guohui, Meng Qianxiang, et al. Geochemical charac-

- teristics of bitumen "A" in marine carbonate rock of Tarim Basin [J]. *Rock and Mineral Analysis*, 2011, 30(5): 623-630
- 7 王国仓, 张晓宝, 孟任祥, 等. 低熟源岩有机质在微生物作用下的地球化学特征 [J]. *天然气地球科学*, 2009, 20(5): 768-773 [Wang Guocang, Zhang Xiaobao, Meng Qianxiang, *et al.* Studies on geochemical characteristics of organic matter in low-mature source rocks by microorganisms [J]. *Natural Gas Geoscience*, 2009, 20(5): 768-773]
- 8 Manzur Ahmed J W, Smith Simon C. George, effects of biodegradation on Australian Permian coals [J]. *Organic Geochemistry*, 1999, 30: 1311-1322
- 9 孟任祥, 房嫒, 徐永昌, 等. 柴达木盆地石炭系烃源岩和煤岩生物标志化合物特征及其地球化学意义 [J]. *沉积学报*, 2004, 22(4): 729-736 [Meng Qianxiang, Fang Xuan, Xu Yongchang, *et al.* Biomarkers and geochemical significance of carboniferous source rocks and coals from Qaidam Basin [J]. *Acta Sedimentologica Sinica*, 2004, 22(4): 729-736]
- 10 王作栋, 陶明信, 孟任祥, 等. 吐哈盆地烃源岩研究进展与低演化油气的形成 [J]. *天然气地球科学*, 2008, 19(6): 754-760 [Wang Zuodong, Tao Mingxin, Meng Qianxiang, *et al.* Research progress of source rocks and formation of low evolution oil and gas in Turpan-Hami Basin [J]. *Natural Gas Geoscience*, 2008, 19(6): 754-760]
- 11 刘全有, 刘文汇. 利用煤岩可溶有机质生物标志化合物探讨塔里木盆地侏罗系沉积环境 [J]. *世界地质*, 2007, 26(2): 153-158 [Liu Quanyou, Liu Wenhui. Discussion of Jurassic coal-forming environments using fossil biomarkers in soluble organic matters from Tarim Basin [J]. *Global Geology*, 2007, 26(2): 153-158]
- 12 妥进才, 王先彬, 陈践发, 等. 辽河盆地煤系地层中特高含量的二萜类及其地质意义 [J]. *沉积学报*, 1999, 17(2): 285-290 [Tuo Jincai, Wang Xianbin, Chen Jianfa, *et al.* High abundance diterpenoids and their geological significance in coal measure strata, Liaohhe Basin [J]. *Acta Sedimentologica Sinica*, 1999, 17(2): 285-290]
- 13 Fan Pu, Philp R P, Meng Qianxiang, *et al.* Biomarkers indicating sedimentary paleoenvironments [J]. *Science in China: Series B*, 1989, 2(2): 42-256
- 14 Curry G B, Theng B K G, Zheng H H. Amino-acid distribution in a loess-paleosol sequence near Luochuan, Loess Plateau, China [J]. *Organic Geochemistry*, 1994, 22(2): 287-298
- 15 王铁冠. 树脂生源未成熟烃源岩的生物标志物组合及其地质意义 [J]. *中国科学: B 辑*, 1992, 00B(7): 751-758 [Wang Tieguan. Biomarker assemblage and geological significance of resin genetic sources immature hydrocarbon source rocks [J]. *Science in China: Series B*, 1992, 00B(7): 751-758]
- 16 惠荣耀, 张继忠, 孟任祥. 准噶尔盆地南缘煤成油的地球化学特征 [J]. *沉积学报*, 1990, 22(4): 29-35 [Hui Rongyao, Zhang Jizhong, Meng Qianxiang. Geochemical behaviors of coal-formed oil in the southern margin of Junggar basin [J]. *Acta Sedimentologica Sinica*, 1990, 22(4): 29-35]
- 17 孙敏卓, 孟任祥, 房嫒, 等. 柴达木盆地涩北 1 井钙质泥岩饱和烃微生物作用的地球化学意义 [J]. *沉积学报*, 2009, 27(1): 186-190 [Sun Minzhuo, Meng Qianxiang, Fang Xuan, *et al.* Geochemical significance of the microbial function of saturation hydrocarbon of calcilitites from the Sebei 1 Well of Qaidam Basin [J]. *Acta Sedimentologica Sinica*, 2009, 27(1): 186-190]
- 18 任拥军, 李瑞雪. 西藏措勤盆地地下白垩统海相灰岩的芳烃地球化学特征 [J]. *沉积学报*, 2001, 19(2): 282-286 [Reng Yongjun, Li Ruixue. Geochemical characteristics of aromatic hydrocarbons of Lower Cretaceous limestone in Cuoqin Basin [J]. *Acta Sedimentologica Sinica*, 2001, 19(2): 282-286]
- 19 Sun M Y, Smart G W, Cindy L. Rates and mechanisms of fatty acid degradation in oxic and anoxic coastal marine sediments of Long Island Sound, New York, USA [J]. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 1997, 61(2): 341-355
- 20 Heike R, Henrik S, Heribert C, *et al.* Microbial communities in a Wadden Sea sediment core-clues from analyses of intact glyceride lipids and released fatty acids [J]. *Organic Geochemistry*, 2002, 33: 803-816
- 21 Ruttem H, Sass H, Cypionka H, *et al.* Phospholipid analysis as a tool to study microbial communities [J]. *Journal of Microbiological Methods*, 2002, 48: 149-160
- 22 Ruttem H, Sass H, Cypionka H, *et al.* Monoalkylether phospholipids in the sulfate-reducing bacteria *Desulfosarcina variabilis* and *Desulforhabdus amnigenus* [J]. *Archives of Microbiology*, 2002, 176: 435-442
- 23 Gearing J N. The use of stable isotope ratios for tracing the nearshore-offshore exchange of organic matter [C] // Jansson B O ed. *Lecture Notes on Coastal and Estuarine Studies* 22. Berlin: Springer, 1988: 69-101
- 24 戴金星. 各类烷烃气的鉴别 [J]. *中国科学: B 辑*, 1992, (2): 185-193 [Dai Jingxing. Identification of all kinds of gas alkyl hydrocarbon [J]. *Science in China: Series B*, 1992(2): 185-193]
- 25 徐永昌, 王志勇, 王晓锋, 等. 低熟气及我国典型低熟气田 [J]. *中国科学: D 辑*, 2008, 38(1): 87-93 [Xu Yongchang, Wang Zhiyong, Wang Xiaofeng, *et al.* Low mature gas and Chinese typical low mature gas fields [J]. *Science in China: Series D*, 2008, 38(1): 87-93]

Geochemical Characteristics of the Hydrocarbon Source Rock and Natural Gas of Well Taishen 1 in Qaidam Basin

SUN Min-zhuo¹ WANG Peng² WU Yong-liang² LI Guo-yan² CHEN Yong³
TAN He-yong⁴ YI Zong-wang⁵ MENG Qian-xiang¹

(1. Key Laboratory of Petroleum Resources Research, Institute of Geology and Geophysics, Chinese Academy of Sciences, Lanzhou 730000;

2. Petrochina Qinhai Oilfield Research Institute of Exploration & Development, Dunhuang, Gansu 736202;

3. Sichuan Sheng Nugear 283 Bridge, Dazhou, Sichuan 635000;

4. Henan Institute of Geological Survey, Zhengzhou 450001;

5. Chongqing Geological and Mineral Resource Exploration and Development Bureau 107 Geological Team, Chongqing 401120)

Abstract: Well Taishen 1 of three lake is a new exploratory well of Qaidam basin, by studying geochemical characteristics of hydrocarbon source rock of this well, the scientific basis are provided for the further exploration. Based on the information about hydrocarbon source rock, such as total organic carbon (TOC), rock-eval, group composition, the characteristic of saturated hydrocarbon and biomarkers, the characteristic of aromatic hydrocarbon, the characteristic of nonhydrocarbon, the whole-rock organic carbon isotope, as well as the gas isotope, this paper thoroughly analyze the geochemical characteristic of Source rocks and gas in Well Taishen 1 and its possible cause of formation. It is concluded that the 8, 14-secohopanes and iso-fatty acids and trans-iso-fatty acids, which are relevant to the microorganism, are discovered from the chloroform bitumen "A" of hydrocarbon source rock. At the same time the existence of microorganism in the hydrocarbon-generating environment of hydrocarbon source rock are confirmed by the discrepancy between OEP_1 and OEP_2 and the asynchrony between $C_{29}\beta\beta/(\beta\beta + \alpha\alpha)$ of sterane and $C_{31}\alpha\beta-22S/22(S + R)$ of hopane and $\delta^{13}C_1$ of natural gas. The degree of methylation of organic matter has been reinforced by the degradation of microorganism, which are beneficial to the generating of natural gas in Well Taishen 1. It is found that the organic matter of hydrocarbon source rock in Well Taishen 1 are in the low evolution stage by OEP_2 of the *n*-alkane and pregnane and rearranged sterane and $C_{29}\alpha\alpha-20S/20(S + R)$ of sterane and the isopotal natural gas. Some characteristic (OEP_1 of the *n*-alkane and $C_{31}\alpha\beta-22S/22(S + R)$ of hopane) of the hydrocarbon source rock show the mature characteristics of organic matter for the degradation of microorganism. The kerogen type of hydrocarbon source rock in Well Taishen 1 is dominated by the terrigenous higher plants, but which have the contribution of the aquatic organisms from some characteristics, such as the high abundance C_{20} -tricyclic diterpane and C_{20} -tetracycoloterpane, lupcune, perylene, retene, and the distribution of *n*-alkane, $\sum C_{27} + C_{29} / \sum C_{31+}$ of hopane, the relative abundance of C_{27} and $C_{29}\alpha\alpha-20R$ in sterane, $\delta^{13}C$ of hydrocarbon source rock and isopotal of natural gas. So the hydrocarbon source rock of Taishen 1 well are of the basis of the parent material for the generating of natural gas in the low evolution stage. The hydrocarbon-generating environment of hydrocarbon source rock in Well Taishen 1 have revealed shallow lake facies-sulf-saline-weak reducing-weak oxidizing environment reducing environment by the elemental eight sulfur ring and the biomarker characteristics.

Key words: Qaidam basin; Well Taishen 1; hydrocarbon source rock; natural gas