

文章编号: 1000-0550(2012)05-0975-08

三塘湖盆地上二叠统芦草沟组烃源岩地球化学特征^①

王作栋¹ 陶明信² 梁明亮^{1,3} 余水生⁴ 李中平¹ 徐永昌¹

(1. 中国科学院地质与地球物理研究所 油气资源研究重点实验室 兰州 730000;

2. 北京师范大学资源环境学院 地表过程与资源生态国家重点实验室 北京 100875;

3. 中国科学院研究生院 北京 100049; 4. 吐哈油田公司勘探开发研究院 新疆哈密 839009)

摘要 三塘湖盆地上二叠统芦草沟组分布面积广、厚度大、有机碳含量高,具好的生烃潜力,是盆地内主力烃源岩。烃源岩样品可溶有机质中含有丰富的脂肪酸、脂肪酸酯等含羰基化合物,随着埋深增加,饱和烃和芳烃含量递增,非烃含量和有机碳则呈递减趋势,表明含羰基化合物对源岩生烃有较大的贡献。饱和烃的各项指标显示,烃源岩的沉积环境为咸化湖相还原环境,母质输入以水生生物为主,陆源物质输入较少。诸多证据表明,在沉积初期和成岩早期细菌输入较多,细菌输入有机质构成了原始有机质的一部分,细菌改造原始有机质并产生前述含羰基化合物,在热作用和微生物作用下均可成烃。

关键词 芦草沟组 烃源岩 地球化学特征 羰基化合物 生烃

第一作者简介 王作栋 男 1966年出生 高级工程师 博士 地球化学 E-mail: wangzuo_dong@163.com

中图分类号 P593 文献标识码 A

0 引言

三塘湖盆地处于新疆维吾尔自治区东北部的巴里坤哈萨克自治县和伊吾县境内,是准噶尔大型含油气盆地边缘的一个中小型盆地。盆地内上二叠统芦草沟组有机质类型好、成熟度较高,综合评价为好烃源岩,被认为是三塘湖盆地内最主要的烃源岩和储油层^[1],具有好的生烃潜力。但是,这套地层由于岩性复杂、储集性能变化大,在岩性、古生物和岩石地球化学特征方面既有陆相沉积特征,又有海相沉积特征,给油气勘探带来一些困扰。同时很多研究者也相继开展了一系列的科研工作,但对二叠系芦草沟组烃源岩的认识还存在疑问,尤其是其形成的古水体环境、原始有机质的类型等还存在很大分歧,杜宏宇等^[2]曾提出早期微生物改造作用的观点,但关于微生物改造作用在其原始有机质构成和细菌改造的方式途径仍然值得探讨。本文通过分析芦草沟组烃源岩的族组成和饱和烃的特征,研究该组烃源岩形成的古环境、母源、成熟度、细菌输入和微生物降解特征,肯定了前人关于其陆源有机质较少的认识;同时,在分析其常规特征生物标志物基础上,结合含羰基化合物,主要是脂肪酸、脂肪醇和脂肪酮的鉴定和分析,肯定了细菌输入有机质的贡献。结合前人关于本地区的

构造演化、岩石学等地质特征,指出其细菌输入有机质的成烃途径,在沉积初期和成岩早期细菌输入较多,细菌输入有机质构成了原始有机质的一部分,细菌改造原始有机质并产生系列含羰基化合物,说明在热作用和微生物作用下均可成烃。

1 样品与实验

1.1 样品采集

芦草沟组为浅—半深湖相沉积,广泛分布于条湖和马朗凹陷,厚度在150~500 m之间,南厚北薄,预测其局部厚度可达1500 m,是三塘湖盆地内主要烃源岩层和主要勘探目的层^[1-3]。芦草沟组暗色泥岩以条带状分布于汉水泉凹陷东南部、条湖凹陷中南部和马朗凹陷主体部位。汉水泉凹陷东南部的暗色泥岩厚度估计大于100 m,较厚区域分布在芦草沟组的跃进沟剖面附近,估测厚度大于200 m。芦草沟组烃源岩样品包括一个露头样品和五个井下样品,所采集样品的基本信息见表1。

1.2 实验分析

样品粉碎至100目以上,用氯仿索氏抽提72 h,抽提物经柱色层(硅胶:氧化铝=3:1)分离,用石油醚洗脱饱和烃馏分,用二氯甲烷洗脱芳烃馏分,用甲醇洗脱极性馏分。对饱和烃馏分进行GC/MS分析。

^①国家自然科学基金项目(批准号:41072106)资助。
收稿日期:2012-01-20; 收修改稿日期:2012-04-21

表1 芦草沟组烃源岩样品基本信息

井号	层位	深度/m	岩性	R_o /%	TOC/%
跃进沟	P_2l	露头	黑色页岩	0.55	10.28
牛101井	P_2l	1991.8	泥岩	0.62	8.66
牛101井	P_2l	2028	泥岩	0.64	6.34
马7井	P_2l	2215	粉砂质泥岩	0.65	6.23
马6井	P_2l	3102	泥岩	0.63	2.37
条5井	P_2l	3424.5	泥岩	0.68	0.33

仪器及分析条件: 气相色谱—质谱联用仪: 美国安捷伦科技有限公司, 6890N—GC/5973N—MSD; 色谱进样口温度: 260℃; 载气: 高纯氦; 载气流量: 1.2 ml/min; 美国 J&W. HP—5 (30 m × 0.25 mm × 0.25 μm) 弹性石英毛细管柱; 程序升温: 80℃ 起始以每分钟 4℃ 升至 290℃, 恒温 30 min; 质谱离子源: EI 源; 离子源温度: 230℃; 四极杆温度: 150℃; 离子源电离能: 70 eV; 质谱与色谱接口温度: 280℃; 谱库: 美国 NIST02L。

2 结果与讨论

2.1 族组成特征

源岩样品索氏抽提的可溶有机质经正己烷沉淀沥青质后, 再经柱色层分离为饱和烃、芳烃和非烃, 其相对百分含量见表 2。

表2 芦草沟组烃源岩样品族组成特征

Table 1 Characteristic of group composition of Lucaogou Formation source rocks

井号	层位	深度/m	岩性	饱和烃/%	芳烃/%	非烃/%	沥青质/%	非+沥/%	饱/芳
跃进沟	P_2l	露头	黑色页岩	10.39	2.88	56.96	29.77	86.73	3.61
牛101井	P_2l	1991.8	泥岩	26.71	12.64	50.93	10.12	61.05	2.11
牛101井	P_2l	2028	泥岩	46.17	14.9	37.56	1.37	38.93	3.10
马7井	P_2l	2215	粉砂质泥岩	49.67	10.95	37.52	1.85	39.37	4.54
马6井	P_2l	3102	泥岩	49.56	18.29	28.63	3.52	32.15	2.71
条5井	P_2l	3424.5	泥岩	29.33	15.95	24.1	30.62	54.72	1.84

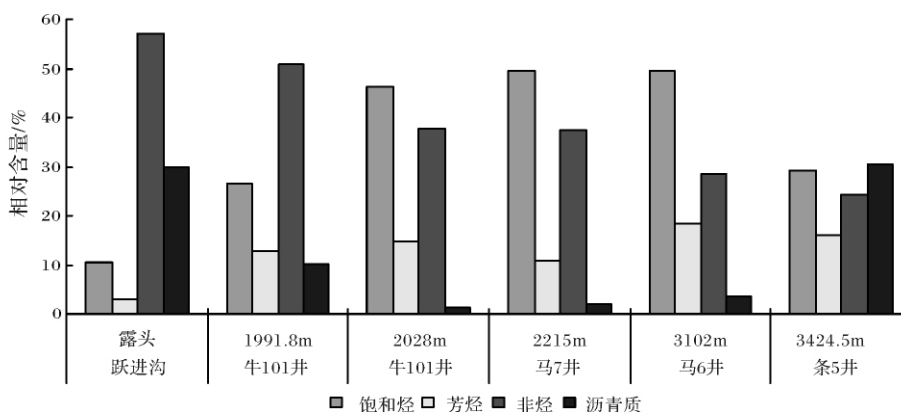


图1 族组成柱状图

Fig. 1 Histogram of group composition

根据甲基菲指数 (MPI1) 计算的计算反射率 R_o (%) [R_o (%) = 0.6MPI1 + 0.4]^[4, 5] 值来看, 低熟烃源岩是从烃源岩热演化的角度提出的理念, 对于低熟烃源岩的热演化标尺, 按照黄第藩^[4]的划分, 指 $R_o \approx 0.3\% \sim 0.7\%$ 的烃源岩。徐永昌等^[5, 6]根据低熟气的理念, 将其热演化标尺热演化标尺定在 $R_o \approx 0.3\% \sim 0.8\%、0.9\%$ 。烃源岩的 R_o 值分布 0.55% ~ 0.68% 之间, 为低熟烃源岩。

芦草沟组烃源岩样品的族组成数据 (表 2) 和柱状图 (图 1) 显示, 源岩样品随着埋深增加, 饱和烃和芳烃含量在增加, 非烃、有机碳和沥青质的含量在减小。烃类物质 (饱和烃 + 芳烃) 在迅速递增, 而非烃与沥青质在迅速递减, 表明三塘湖上二叠统芦草沟组烃源岩的在此阶段已经开始生烃。这个阶段主要发生大分子有机质 (沥青质) 向小分子降解过程, 同时伴随着含氧等杂原子有机质 (非烃) 的脱羧基、脱羰基及脱羟基等复杂的脱杂原子化学变化, 从而产生烃类物质。Fowler^[7]研究了加拿大 Williston 盆地上奥陶统 Yeoman 组库克油页岩, 认为其极高的 T_{max} 是由于以粘球性藻为主的干酪根中高的脂肪族性质, 而不是高的成熟度。未熟的跃进沟页岩具高的 T_{max} 值 (446℃) 也可能与其富含藻类物质有关。

2.2 正构烷烃和类异戊二烯烷烃

表 3 正构烷烃和类异戊二烯烷烃特征

Table 1 Characteristics of *n*-alkanes and isoprenoid alkanes

井号	层位	峰形	$\Sigma C_{22-} / \Sigma C_{23+}$	OEP ₁	OEP ₂	Pr/Ph	Pr/nC ₁₇	Pr/nC ₁₈	β -carotane/0.5(Pr + Ph)
跃进沟	P ₂ l	单峰	1.24	1.03	1.33	1.12	0.13	0.12	3.38
牛 101	P ₂ l	双峰	1.38	0.98	2.02	0.857	2.76	5.66	0.70
牛 101	P ₂ l	双峰	1.56	0.99	1.31	0.724	1.09	1.53	6.20
马 7	P ₂ l	双峰	1.24	0.97	1.23	1.333	0.70	0.62	2.46
马 6	P ₂ l	双峰	1.12	0.97	1.16	0.967	1.32	1.91	2.09
条 5	P ₂ l	单峰	1.34	0.87	1.32	0.938	0.23	0.14	0.65

研究样品的饱和烃总离子流图(图 2)显示,正构烷烃的主峰碳均在 C₂₅ 以下,且具很高丰度的甾萜烷、 β -胡萝卜素、 8β (H)-锥满烷和 8β (H)-升锥满烷,样品中均有丰度很高的伽玛蜡烷,这些化合物均是干旱气候条件下,超盐水体中细菌等微生物和藻类等水生物的贡献。所有样品较高的饱/芳比(>1),也是以腐泥型母质为主的特征^[7]。正构烷烃的 $\Sigma C_{22-} / \Sigma C_{23+}$ 值全部大于 1,表明其母源输入中以藻类和微生物等低等水生生物为主。OEP₁ 整体小于 1,且所有样品的 OEP₁ < OEP₂,牛 101 井两个样品和条 5 井样品的正构烷烃丰度较低于类异戊二烯烷烃是样品发生生物降解的表现。

平均值为 0.97,显示成烃古环境为弱还原环境,沉积环境水体较深。类异戊二烯烷烃和 β -胡萝卜素的抗生物降解能力较强, β -胡萝卜素/0.5(Pr + Ph) 作为衡量 β -胡萝卜素含量的指标,结果显示该比值在 0.65 ~ 3.38 之间。通常认为, β -胡萝卜素是干旱气候条件下咸化湖相中藻类输入的标志^[8-9]。所有样品中均检测到异常丰富的 γ 蜡烷,很多研究者^[10-13] 认为, γ -蜡烷是超盐环境中细菌作用的产物。前述 8β (H)-锥满烷和 8β (H)-升锥满烷来源于微生物产生的锥满醇,表明芦草沟组烃源岩形成于咸化湖相沉积环境,微生物较为发育。研究样品中 C₃₀ 藿烷的含量极高,也是细菌活动的产物。

样品的 Pr/Ph 值平均小于 1(除马 7 井为 1.33),

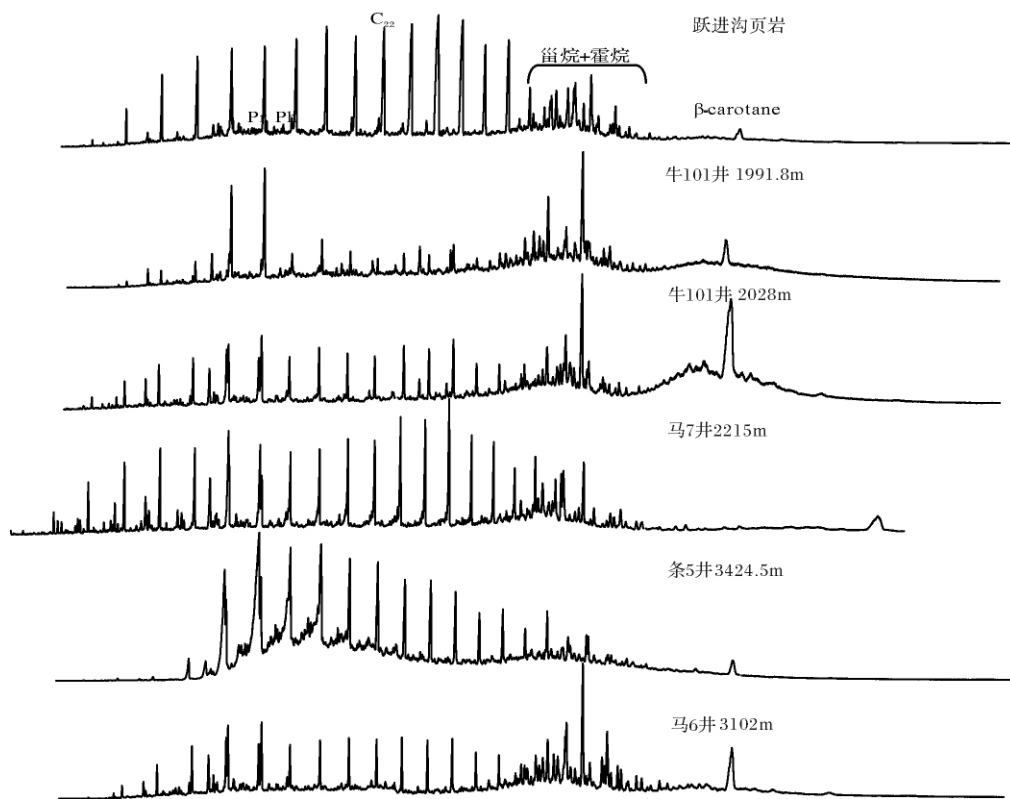


图 2 饱和烃总离子流图

Fig. 2 Total ion chromatogram of saturated hydrocarbon

Pr/nC_{17} 和 Ph/nC_{18} 值是衡量有机质是否经历生物降解及降解严重程度不同的常用指标。样品的该二项比值显示(表3), 芦草沟组烃源岩经历了不同程度的生物降解作用, 而且生物降解发生在沉积和成岩演化的不同时期。牛101井两个样品和条五井样品的饱和烃总离子流图中, 正构烷烃的丰度远低于类异戊二烯烷烃和甾烷和三萜烷, C_{30} 藿烷的丰度极高, C_{31-35} 以上升藿烷的丰度很低且随碳数增加丰度急剧下降, 表明有机质在成岩演化过程有较多的细菌输入, 原始有机质经历了较强烈的生物降解作用。跃进沟和马7井样品虽保留了完整的正构烷烃, 但其 $m/z191$ 质量色谱图中均检出丰富的25-降藿烷系列, 表明其生物降解发生在成岩初期, 且微生物改造有机质对烃类物质的生成有一定的贡献^[14, 15]。

2.3 三环萜和藿烷

上二叠统芦草沟组源岩样品除牛101井1991.8 m 泥岩的 γ 蜡烷/ $0.5C_{31}\alpha\beta 22(S+R)$ 值较低为0.76 为微咸水—咸水环境外, 其余样品的该值分布在1.4

~5.16 之间, 显示沉积环境水体为咸水; 样品均具有较丰富的三环萜系列, Σ 三环/ Σ 藿烷值分布在0.005~0.32 之间; 在藿烷系列中, 具有较低的 $(C_{27} + C_{29}) / C_{31+}$ 值(分布在0.58~0.99 之间), 显示较丰富的水生生物输入特征; 常用藿烷 $C_{31}\alpha\beta 22S/22(S+R)$ 和 $C_{32}\alpha\beta 22S/22(S+R)$ 值来衡量有机质的成熟度, 跃进沟和牛101井样品的该二值较低, 均小于0.45, 为未熟—低熟有机质; 马7井、马6井和条5井样品的该二值此0.53~0.63 之间, 显示其成熟度较高。

2.4 甾烷

一般认为, C_{27} 甾烷来源于水生生物, C_{29} 甾烷来源于高等植物, 而 C_{28} 甾烷来源藻类、苔藓及地衣等。研究样品在甾烷分布图(图3)中, 虽然多数样品仍然以 C_{29} 为最高峰, 但 C_{28} 甾烷的丰度均极高, 牛101井1991.8 m 样品的 $C_{28} > C_{29}$, C_{27} 、 C_{28} 、 C_{29} 呈倒V字形, 其它样品均呈倒“L”形分布, 表明母质输入中有丰富的藻类和水生生物, 也有一定量陆源物质输入。大多数样品中还检出了 $C_{21} \sim C_{26}$ 短链甾烷系列, 可能与微

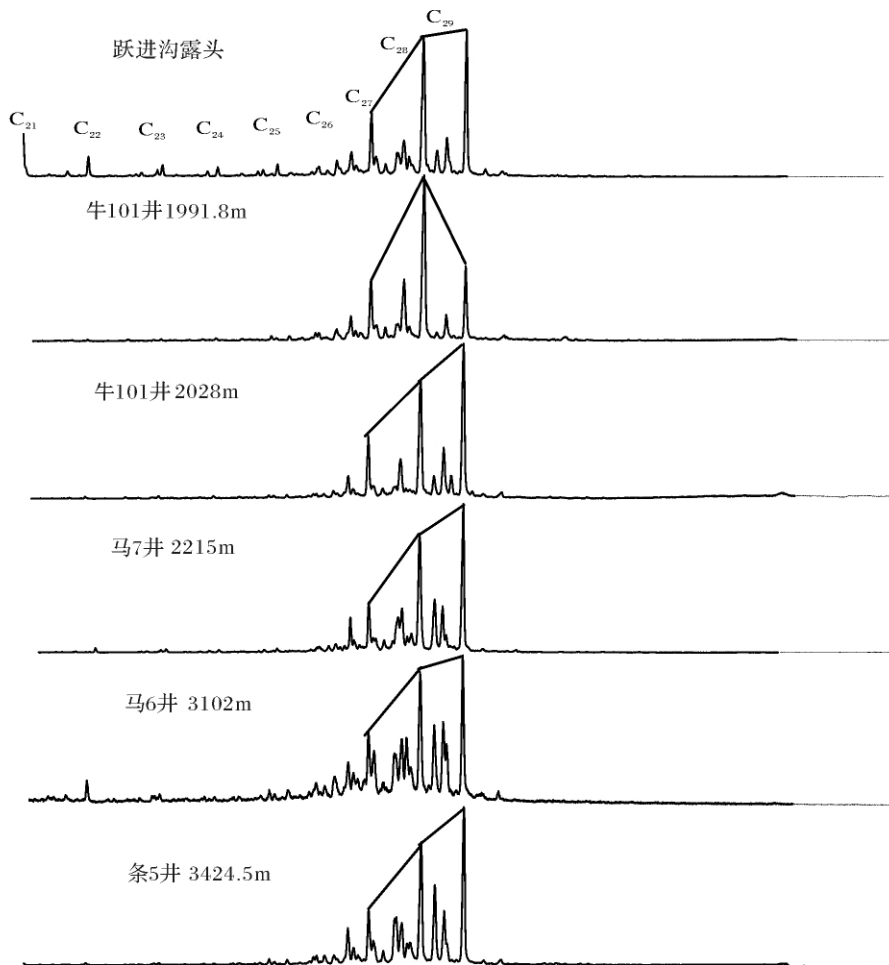


图3 甾烷分布形式图

Fig. 3 Graph of distributional form of steranes

生物对有机质的改造有关^[14,15]。甾烷 $C_{29}\beta\beta/(\alpha\alpha + \beta\beta)$ 和 $C_{29}\alpha\alpha\alpha 20S/20(R+S)$ 参数常用来评价源岩和原油的成熟度。诸多研究者认为, $C_{29}\beta\beta/(\alpha\alpha + \beta\beta)$ 和 $C_{29}\alpha\alpha\alpha 20S/20(R+S) < 0.2$ 为低未熟, $0.2 \sim 0.4$ 为低熟, > 0.4 为成熟。研究样品的该二值均小于 0.4, 与实测镜质体反射率(R_o) 十分一致, 显示源岩处于未熟—低熟阶段。

2.5 含羰基化合物

2.5.1 脂肪酸甲酯

研究区的部分样品(跃进沟、牛 101 井 1991.8m 和条 5 井) 芳烃馏分中含有丰富的链状饱和脂肪酸甲酯。Cooper 的研究^[16,17] 认为, 链状饱和脂肪酸甲酯能够发生脱羧反应形成正构烷烃, 是一种生油母质。但脂肪酸甲酯在地质体中是十分罕见的, 爱进才等^[18] 在鄂尔多斯盆地北部铀矿区沉积有机质中检出

了脂肪酸甲酯, 认为含脂肪酸甲酯的类脂物可能是特殊地质条件下形成的, 碳同位素分析显示, 其分布特征与正构烷烃系列十分相似; 脂肪酸甲酯水解后形成脂肪酸, 进一步脱羧即为正构烷烃, 故是正构烷烃系列化合物的十分重要的母质来源。芦草沟组烃源岩中存在丰富的脂肪酸甲酯, 认为其对生烃有一定的贡献。

2.5.2 游离脂肪酸

跃进沟样品的非烃馏分中检出 $C_{6:0} \sim C_{24:0}$ 游离饱和一元脂肪酸, 呈单峰形式分布, 主峰碳为 $C_{11:0}$, $C_{22:0}$ 以上饱和脂肪酸含量很低(图 5)。一般认为, $C_{12:0} \sim C_{20:0}$ 脂肪酸来自浮游植物和细菌有机质^[19], Matsuda 等^[20] 研究水生生物和浮游动物脂肪酸时发现其分布范围主要在 $C_{14:0} \sim C_{20:0}$ 之间, 且以 $C_{16:0}$ 为主峰。Erwin^[21] 的研究认为, $C_{12:0} \sim C_{20:0}$ 脂肪酸来自细

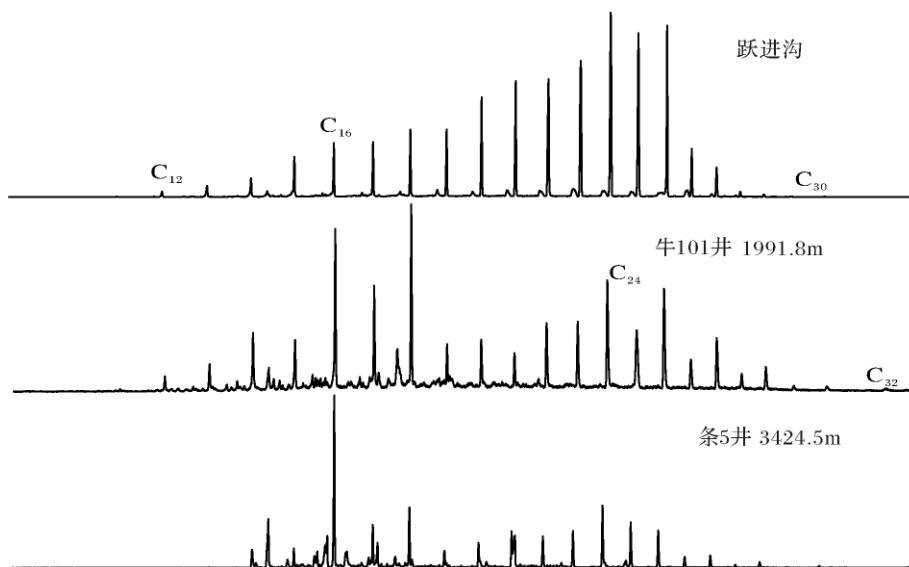


图 4 芳烃馏分中的直链一元饱和脂肪酸甲酯— $m/z74$ 质量色谱图

Fig. 4 Straight chain saturated fatty acid methyl esters of aromatic fraction— $m/z74$ mass chromatogram

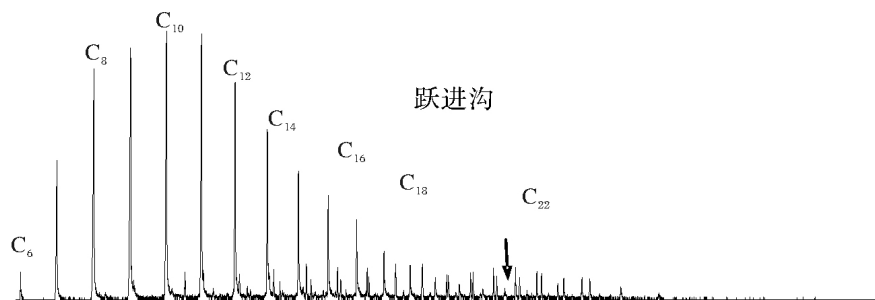
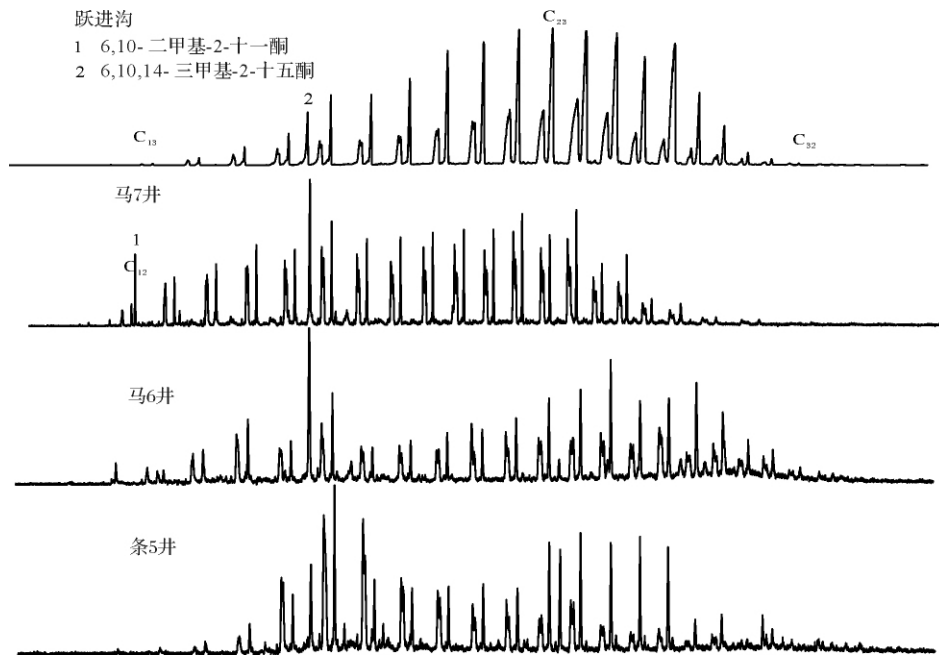


图 5 非烃馏分中的游离脂肪酸— $m/z60$ 质量色谱图

Fig. 5 Free fatty acids in nonhydrocarbon fraction— $m/z60$ mass chromatogram

图6 芳烃馏分中的2-酮— m/z 58 质量色谱图Fig.6 2-ketone in aromatic fraction— m/z 58 mass chromatogram

菌。南海海洋沉积物中的脂肪酸以 $C_{12:0} \sim C_{20:0}$ 饱和脂肪酸为主^[22],认为来自海洋浮游生物和细菌。跃进沟页岩样品的正构烷烃和甾烷分布显示,有机质输入以水生生物和细菌为主,也有少量陆源有机质,其饱和正构脂肪酸的分布形式以 $< C_{20}$ 为主,无 $C_{16:0}$ 和 $C_{18:0}$ 优势,也无偶碳优势。研究样品中游离脂肪酸的这种分布形式十分特殊,未见文献报道。综合分析前述生物标志物特征,认为 $C_{6:0} \sim C_{10:0}$ 范围脂肪酸特殊环境中有机质输入的标志,可能是细菌和浮游生物产生的,也可能与长链脂肪酸的细菌降解有关。众多学者进行了近、现代沉积物中游离脂肪酸生烃的研究^[23] 结果表明游离脂肪酸和干酪根中的结合脂肪酸均可成为地质体中正构烷烃的母质来源。研究样品中,只有跃进沟黑色页岩中检出了游离饱和脂肪酸,其他样品中未检测到,表明黑色页岩的成熟度最低,其形成环境十分特殊,综合该样品的其它标志物和参数,认为古环境水体为咸水,藻类和水生生物输入十分丰富,也有一定的高等植物有机质输入,游离脂肪酸可能来自细菌,也可能与来自植物的长链脂肪酸的细菌降解有关。游离脂肪酸对生烃具有一定的贡献。

2.5.3 饱和脂肪酮

芦草沟组烃源岩可溶有机质芳烃馏分中常规芳烃的含量极低,主要是 $C_{12} \sim C_{32}$ 直链饱和 2~7-位酮

(图6)。除跃进沟页岩外,其它样品均以 6,10,14-三甲基-2-十五酮为主峰,碳数分布在 $C_{12} \sim C_{32}$ 之间,有人认为酮类化合物微生物改造有机质的中间产物^[24]。Brassell 等^[25] 和 Volkman 等^[26] 的研究认为,正烷基酮是由正烷烃经微生物氧化作用或脂肪酸经 β 氧化后脱羧基而形成的。研究样品中羧基位置不同的系列酮的检出,认为是浮游生物、细菌和藻类产生有机质在微生物作用下的中间产物,不可能是正构烷烃 β 氧化的产物(因其成熟度较低,还未达到大量生烃阶段)。正烷基酮受到粘土等矿物的催化可形成比自身少一个碳的脂肪酸,也是成烃的母质。

研究样品中同时检出高丰度的 25-降藿烷系列、倍半萜、胡萝卜烷和伽马蜡烷等,且饱和烃、芳烃和非烃馏分的总离子流图中均出现明显的“大鼓包”(UCM) 这些证据表明,在沉积过程和成岩的初期阶段,细菌输入较多,原始有机质受到了细菌的强烈改造,且细菌输入对源岩有机质的贡献较大。前述含氧有机物可能是原始有机质经微生物改造作用形成的类脂物。该组样品的成熟度均较低,其 R_o (%) 介于 0.55%~0.68% 之间, $C_{29} \alpha\alpha\alpha 20S/20(R+S)$ 在 0.07~0.13 之间, $C_{29} \beta\beta / (\alpha\alpha + \beta\beta)$ 值在 0.21~0.37 之间, 藿烷 $C_{31} \alpha\beta 22S/22(S+R)$ 和 $C_{32} \alpha\beta 22S/22(S+R)$ 均小于 0.58,为未熟—低熟特征,还没有发生脱羧基效应而大量生烃。所以,这些含氧有机物不可能是

烃类发生微生物降解的产物,而是沉积过程中细菌输入对有机质的贡献。含羰基化合物中的脂肪酸,在热演化过程中容易脱羧基直接成烃;一元饱和脂肪酸甲酯水解后也会发生脱羧反应成烃;羰基位置不同的脂肪酮在演化过程中被氧化为脂肪酸,也可进一步脱羧成烃。样品族组成随着深度增加的变化规律,印证了上述含羰基化合物对烃源岩成烃的贡献。

3 结论

(1) 芦草沟组烃源岩样品中检出了丰富的脂肪酸、脂肪酸甲酯、链状系列酮等含羰基有机物。在样品的族组成中,饱和烃和芳烃随着埋深和成熟度的增加而增加,有机碳含量和沥青质则递减,表明源岩可溶有机质中存在较多的含羰基化合物,随着热演化程度的增加,含羰基有机物发生脱羧基、脱羰基等脱基团反应形成烃类物质,含羰基化合物是该组烃源岩生烃的一类重要生烃母质,对于该组烃源岩生烃有较大贡献。

(2) 饱和烃馏分含有极丰富的 β -胡萝卜烷、 γ 蜡烷和较丰富的三环萜, m/z 217 质量色谱图中 C_{28} 甾烷含量非常高, Pr/Ph 值 < 1 , 这些证据表明,有机质的沉积环境为干旱气候条件下的咸水湖相,藻类和低等水生生物的贡献大,陆源物质输入较少,有机质类型为 I—II₁ 型。

(3) 饱和烃总离子流图中高丰度的类异戊二烯烷烃、甾萜烷、25-降藿烷系列、倍半萜、 β -胡萝卜烷和伽玛蜡烷与大量含羰基化合物伴生,且饱和烃、芳烃和非烃馏分的总离子流图中均出现明显的“大鼓包”(UCM),认为在沉积初期和成岩作用早期细菌输入丰富,藻类、浮游生物与细菌有机质对原始有机质的贡献较大。

参考文献(References)

- 1 栗维民,梁浩.三塘湖盆地上二叠统芦草沟组沉积环境[J].新疆石油地质,2001,22(6):497-498. [Li Weimin, Liang Hao. The sedimentary environment of Lucaogou Formation in Upper Permian in Santanghu Basin [J]. Xinjiang Petroleum Geology, 2001, 22(6): 497-498]
- 2 杜宏宇,王铁冠,胡剑梨,等.三塘湖盆地上二叠统烃源岩中的25-降藿烷系列与微生物改造作用[J].石油勘探与开发,2004,31(1):42-44 [Du Hongyu, Wang Tieguan, Hu Jianli, Xu Guifang, et al. 25-Norhopane in the source rock of Santanghu Basin and the function of microbe degradation [J]. Petroleum Exploration and Development, 2004, 31(1): 42-44]
- 3 冯乔,柳益群,郝建荣.三塘湖盆地芦草沟组烃源岩及其古环境[J].沉积学报,2004,22(3):513-517 [Feng Qiao, Liu Yiqun, Hao Jianrun. The source rock and its palaeo-environment of Lucaogou Formation, Permian in Santanghu Basin [J]. Acta Sedimentologica Sinica, 2004, 22(3): 513-517]
- 4 黄第藩,张大江,王培荣,等.中国未熟—低熟油成因机制和成藏条件[M].北京:石油工业出版社,2003:45-56 [Huang Difan, Zhang Dajiang, Wang Peirong, et al. Genetic Mechanism and Accumulation Condition of Immature Oil in China [M]. Beijing: Petroleum Industry Press, 2003: 45-56]
- 5 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 gases and typical low-mature gas fields in China [J]. Science in China: Series D, 2008, 38(1): 87-93]
- 6 徐永昌,等.天然气成因理论与应用[M].北京:科学出版社,1994:49-50 [Xu Yongchang, et al. Natural Gas Genesis Theory and Application [M]. Beijing: Science Press, 1994: 49-50]
- 7 Fowler M G. The influence of Gloeocapsomorpha prisca on the organic geochemistry of oils and organic-rich rocks of Late Ordovician age from Canada [C] // Schidlowski M, Golubic S, Kimberley M M, et al., eds. Early Organic Evolution: Implication for Mineral and Energy Resources. Berlin: Springer-Verlag, 1992: 336-56
- 8 Jiang Z, Fowler M G. Carotenoid-derived alkanes in oils from north-western China [J]. Organic Geochemistry, 1986, 4-6: 831-839
- 9 Peters K E, Moldowan J M, Driscoll A R, et al. Origin of beatrix oil by cosourcing from Devonian and Middle Jurassic source rocks, Inner Moray Firth, UK [J]. AAPG Bulletin, 1989, 73: 454-471
- 10 Kleeman H D, Poralla K, Englert G, et al. Tetrahymanol from the phototrophic bacterium Rhodospseudomonas palustris: first report of a gammacerane triterpane from a prokaryote [J]. Journal of General Microbiology, 1990, 136: 2551-2553
- 11 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: 1255-68
- 12 Fu J, Sheng G, Peng P, et al. Peculiarities of salt lake sediments as potential source rocks in China [J]. Organic Geochemistry, 1986, 10: 13-22
- 13 Ten Haven H L, Rullkotter J. The diagenetic fate of taraxer-14-ene and oleanene isomers [J]. Geochimica et Cosmochimica Acta, 1988, 52: 2543-8
- 14 王作栋,孟仟祥,陶明信,等.烃源岩中 C_{19} - C_{29} 甾萜系列和25-降藿烷系列的检出及地质意义[J].沉积学报,2009,27(1):180-185 [Wang Zuodong, Meng Qianxiang, Tao Mingxin, et al. Identification of C_{19} - C_{29} steranes and 25-norhopanes in source rock and geological significance [J]. Acta Sedimentologica Sinica, 2009, 27(1): 180-185]
- 15 王作栋,孟仟祥,房媛,等.低演化烃源岩有机质微生物降解的生标组合特征[J].沉积学报,2010,28(6):1244-1249 [Wang Zuodong, Meng Qianxiang, Fang Yuan, et al. The combination characteristics of the biomarkers of microbial degradation of organic matter in low-evolution source-rock [J]. Acta Sedimentologica Sinica, 2010, 28

- (6): 1244-1249]
- 16 Cooper J E. Fatty acids in recent and ancient sediments and petroleum reservoir [J]. *Nature*, 1962, 193: 744-746
- 17 Cooper J E, Bray E E. A postulated role of fatty acids in petroleum formations [J]. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 1963, 27: 1113-1127
- 18 妥进才, 张明峰, 王先彬. 鄂尔多斯盆地北部东胜轴矿区沉积有机质中脂肪酸甲酯的检出及意义 [J]. *沉积学报*, 2006, 24(3): 432-439 [Tuo Jincái, Zhang Mingfeng, Wang Xianbin. The content and significance of fatty acid methyl esters in Dongsheng sedimentary uranium ore deposits, Ordos Basin, China [J]. *Acta Sedimentologica Sinica*, 2006, 24(3): 432-439]
- 19 Heras X, Takii S. Vertical distribution and some properties of bacteria in a stored core sample from Lake Biwa [C] // Horie S, ed. *Paleolimnology of Lake Biwa and the Japanese Pleistocene*. 1977, 5: 235-243
- 20 Matsuda H, and Koyama T. Early diagenesis of fatty acids in lacustrine sediments-I, Identification and distribution of fatty acids in recent sediment from a freshwater lake [J]. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 1977, 41: 777-783
- 21 Erwin J A. Comparative biochemistry of fatty acids in eukaryotic microorganisms [M] // Erwin J A, ed. *Lipids and Biomembranes of Eukaryotic Microorganisms*. New York: Academic Press, 1973: 91-143
- 22 段毅, 罗斌杰, 钱吉盛. 南海海洋沉积物中脂肪酸地球化学研究 [J]. *海洋地质与第四纪地质*, 1996, 16(2): 23-31 [Duan Yi, Luo Binjie, Qian Jisheng. Study on organic geochemistry of fatty acids in recent sediments from Nansha Sea area [J]. *Marine Geology and Quaternary Geology*, 1996, 16(2): 23-31]
- 23 Lajat M, Saliot A, Schimmelmann N. Free and bond lipids in recent (1985-1987) sediments from Santa Barbara Basin [J]. *Organic Geochemistry*, 1990, 16: 793-803
- 24 宋桂侠, 惠荣耀, 丁安娜, 等. 松辽盆地滨北地区生物气源岩中醇、酮含氧化合物的地球化学特征 [J]. *天然气地球科学*, 2004, 15(4): 360-366 [Song Guixia, Hui Rongyao, Ding Anna, et al. Geochemical characteristics of natural bearing-oxygen compounds in source rocks of biogas, Binbei Area, Songliao Basin [J]. *Natural Gas Geoscience*, 2004, 15(4): 360-366]
- 25 Brassell S C, Comet P A, Eglinton G, et al. The origin and fate of lipids in the Japan Trench [M] // Douglas A G, Maxwell J R, eds. *Advances in Organic Geochemistry*. Oxford: Pergamon Press 1980: 375-91
- 26 Volkman J K, Gillan F T, Johns R B, et al. Sources of natural lipids in a temperate intertidal sediments [J]. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 1981, 45: 1817-28

Characteristics of Organic Geochemistry of Lucaogou Formation Source Rocks, Upper Permian, Santanghu Basin

WANG Zuo-dong¹ TAO Ming-xin² LIANG Ming-liang^{1,3} HE Wei-guo⁴
LI Zhong-ping¹ XU Yong-chang¹

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

2. College of Resource Science and Technology/ Key Laboratory of Environmental Change and Natural Disaster of Ministry of Education, Beijing Normal University, Beijing 100875;

3. Graduate School of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049;

4. Petroleum Exploration and Development Institute, Turpan-Hami Oilfield Company, CNPC, Hami, Xinjiang 839009)

Abstract: Upper Permian Lucaogou Formation of Santanghu Basin with a wide distribution, large thickness, high organic carbon content, and good hydrocarbon potential, was the main source rocks in the basin. Soluble organic matter from rock samples contains rich carbonyl compounds such as fatty acids, fatty acid esters, etc. Saturated hydrocarbons and aromatics content increasing along with the depth increase, but non-hydrocarbon content and organic carbon decreasing, showed these carbonyl compounds in the source rocks have made a greater contribution to hydrocarbon generation. The indicators of saturated hydrocarbon showed that the depositional environment of source rocks was the salinity lake, reduction conditions. The input of the parent material dominated by aquatic organisms, terrestrial input less. A lot of evidence indicated that bacteria entered the organic matter deposition during the early diagenesis stages and formed part of the original organic matter; bacteria transformed the original organic matter and produced the aforementioned carbonyl compounds, hydrocarbons could be generated in the thermal effect and affection of microorganisms.

Key words: Lucaogou Formation; source rock; geochemical characteristics; carbonyl compounds; hydrocarbon generation