

文章编号: 1000-0550(2008) 04-0688-09

柴达木盆地北缘侏罗系两类不同有机质丰度泥岩的生物标志物特征对比研究^①

杨少勇¹ 曹 剑² 刘云田^{1,2} 胡 凯¹ 边立曾¹ 汪立群² 陈 琰²

(1. 中国石油青海油田公司勘探事业部 甘肃 敦煌 736202; 2 南京大学地球科学系 南京 210093)

摘 要 在柴达木盆地北缘地区,分别选取有机碳含量很低和较高的侏罗系泥岩样品,对比分析了它们在生物标志物组成上的差异。结果发现,高有机质丰度泥岩的生标组成与我国西北地区侏罗纪煤系有机质的特征差异不大,相比而言,低有机质丰度泥岩的正烷烃以前主峰为特征,Pr/Ph比值在 1.0 左右,三环萜烷和伽马蜡烷丰度较高,并在部分样品中检出了 25 降藿烷系列。结合泥岩的有机岩石学特征,认为这些差异可能反映了泥岩沉积环境和生烃母质的不同:高有机质丰度泥岩的有机显微组分以相对弱还原条件下的形态有机质为主,包括藻类体、孢子体和角质体等,而低有机质丰度泥岩的有机显微组分以相对强还原条件下的矿物沥青基质为主,其母质可能来源于低等显微菌藻类。进一步通过对比不同有机质丰度泥岩,以及区内原油生标组成之间的相互关系,讨论了研究区的油源问题。

关键词 生物标志物 侏罗系泥岩 烃源岩 油源对比 柴达木盆地北缘地区

第一作者简介 杨少勇 男 1968 年出生 高级工程师 石油地质学

通讯作者 曹剑 E-mail: jca@nju.edu.cn

中图分类号 P593 **文献标识码** A

柴达木盆地北缘(柴北缘)地区位于盆地东北缘,是属于中亚中生界油气聚集域的一个侏罗纪煤系含油气系统^[1-3],尽管存在一些争议,但多数学者认同,区内油气主要源于侏罗系泥质烃源岩的贡献,煤和炭质泥岩是气源岩,对原油聚集的贡献可能有限^[2]。因此,对侏罗系泥岩生物标志物(生标)特征的研究不仅可以反映沉积有机质的生源与化学组成,而且可为油源对比提供基础信息,因而具有重要的理论意义和应用价值,促使众多学者开展了持续深入研究^[2,4,5]。然而,侏罗系烃源层系在晚白垩世曾遭受过大面积的隆升剥蚀,尔后又在新世代晚期发生了强烈的走滑冲断作用^[1,6],由此导致烃源岩的分布与性质具有强烈的非均质性。因此在此背景下,对烃源岩生标的研究仍需要更多的基础资料来丰富发展。此外,在过去的工作中,受传统观念影响,即认为含油气盆地中的油气聚集主要来自于优质烃源岩的贡献^[7-9],人们往往把重点放在分析暗色的、岩性细的、有机碳(TOC)含量高的高有机质丰度泥岩样品,而对有机碳含量低的泥岩样品关注甚少,由此可能会遗漏掉某些重要的地质地球化学信息。

基于上述两点考虑,本次工作在柴北缘地区采集了两类不同有机质丰度的泥岩样品,一类有机碳含量低于 0.75%,根据中国西北地区煤系烃源岩的评价标准^[10],不属于烃源岩,一类有机碳含量较高(大于 1.5%),分别属于不同级别的烃源岩,本文试图在前人工作基础上,进一步剖析泥岩的生标组成特征,及其对生源与沉积特征的指示意义,获得了一些新认识,这些结果可望在一定程度上深化本区的生物标志物地球化学和油气地质勘探研究工作。

1 地质背景与样品

海西运动后,青藏板块内部各微板块开始联合,柴达木陆块在由南向北的推挤应力作用下,抬升并发生差异性块体升降,使盆地基底受到改造、活化,并逐渐转化为大型沉降盆地,于总体温暖湿润的气候条件背景下开始了中生代断—拗陷湖盆的形成与演化^[11]。早侏罗世早期,祁连山南缘和阿尔金山断裂开始活动,在本区形成了一系列中生代断陷盆地,其中,冷湖断陷(下侏罗统)和鱼卡断陷(中侏罗统)是两个比较大的沉积中心^[1,2]。

①国家自然科学基金(批准号:40602014)资助。

②包建平,汪立群,陈琰,等.柴达木盆地北缘侏罗系成烃演化研究.青海油田公司勘探开发研究院,2006.

收稿日期:2007-09-10,收修改稿日期:2007-12-21

用于本次工作的 12 块泥岩样品即分别来自于冷湖断陷和鱼卡断陷邻近的冷湖构造带和鱼卡地区, 包括冷湖三号构造的石深 25 井和石地 22 井, 冷湖四号构造的深 86 井, 冷湖五号构造的冷科 1 井, 以及鱼卡地区的煤矿鱼卡 25 井 (表 1)。如表 1, 12 块研究样品中有 3 块的 TOC 含量低于 0.75%, 氢指数 HI 分布在 22~65 mg/g 之间, 有机质类型属于 III₂ 型, 不属于烃源岩^[10]; 相比而言, 其它 9 块样品的 TOC 含量从 1.88%~9.24%, 质量级别从中等到好, 到很好皆有分布, 有机质类型基本属于 II 型 (HI=144~318 mg/g)^[10], 大致能够反映本区侏罗系烃源岩的非均质性, 因此本文分析结果可望在一定程度上反映全区的地质情况。从 R_o (0.42%~0.70%) 来看, 这些泥岩样品刚刚进入生油窗^[10], 所以生标组成受热演化的影响程度较小, 主要反映的是样品的沉积环境和有机质生源^[12~15]。也正是因此, 本文对泥岩样品生标组成的成因分析主要从生源和沉积环境特征角度展开 (见后文第 2 部分)。

表 1 柴达木盆地北缘地区侏罗系泥岩研究样品的基本地球化学参数

Table 1 Basic organic geochemical parameters of Jurassic mudstones from the northern Qaidam Basin

样号	井号	深度 /m	层位	TOC %	HI/(mg/g)	R_o %
SS25	石深 25	1278	J ₁	0.54	37	0.56
SD22	石地 22	1110	J ₁	0.18	11	0.70
S86	深 86	3306	J ₁	5.03	194	0.58
LK1-A	冷科 1	3485	J ₁	4.29	217	0.60
LK1-B	冷科 1	3541	J ₁	4.07	317	0.60
LK1-C	冷科 1	4235	J ₁	2.62	265	0.55
LK1-D	冷科 1	4321	J ₁	9.24	318	0.63
YK25-A	鱼卡 25	323	J ₂	4.22	304	0.42
YK25-B	鱼卡 25	338	J ₂	0.17	65	0.45
YK25-C	鱼卡 25	343	J ₂	1.88	186	0.44
YK25-D	鱼卡 25	619	J ₂	3.04	144	0.60
YK25-E	鱼卡 25	630	J ₂	3.77	185	0.63

样品用氯仿抽提得到沥青“ A”, 再用正己烷脱去沥青“ A”中的沥青质, 柱色层分离把脱沥青质沥青分成饱和烃、芳烃和非烃。饱和烃色谱和质谱分析仪器分别使用 HP6890 色谱仪和 Agilent 5973 I 质谱仪。气相色谱分析条件如下: 色谱柱为 30 m × 0.25 mm 的 HP-5 石英毛细柱, 进样温度 300°C, 检测器 (FID), 温度 310°C, 饱和烃分析的升温程序: 80°C (3 min) — 3°C/min — 310°C (20 min), 载气为恒流 1 ml/

min 的氮气。色谱—质谱分析条件为: 电子轰击能量 70 eV, 离子源温度 230~250°C, 传输线温度 250°C, 光电倍增管电压 350 V, 扫描方式为多离子检测。

2 生物标志物组成及成因

2.1 无环链烷烃类

根据碳数的分布形态及主峰碳的出峰位置, 可把柴北缘地区侏罗系不同有机质丰度泥岩样品的无环类生物标志物系列大致分出四种类型 (图 1a-d)。第一类的碳数分布形式比较独特, 包括 3 块样品, 其碳数出峰不均衡, 主峰碳位于前部, 可为 nC_{16} (YK25-B) 或 nC_{17} (SS25, SD22); 第二类碳数分布型式的最主要特征是主峰碳, 为 nC_{23} , 包括样品 S86, LK1-A, LK1-B, YK25-A 和 YK25-C; 第三种碳数分布型式主要见于 LK1-C 和 LK1-D 这两块样品, 其特征与上面提到的第一类碳数分布型式的相似之处在于主峰碳都是位于前部, 分别可为 nC_{18} 和 nC_{19} , 不同在于这两块样品的碳数相对出峰完整; 第四类碳数分布型式的最大特征是双峰分布 (样品 YK25-D 和 YK25-E), 前峰为 nC_{18} , 后峰为 nC_{25} 或 nC_{26} 。

综合可见, 同时代泥岩的生标组成在纵向和横向上都存在差异, 如下侏罗统样品的碳数分布型式就包括了第一、二和三类; 而有些不同时代烃源岩的生标组成却具有可比性, 如第一和第二类型的碳数分布型式在中下侏罗统泥岩中皆有发现。这既说明烃源岩发育的非均质性, 也有可能说明本区的生物标志物组成不具有时代特征, 而主要反映的是沉积环境和生源。

通常认为, 不同有机质来源的正构烷烃, 具有不同的组成特征, 如源于浮游植物的正构烷烃分布在低碳数范围内, 主峰碳位于 nC_{17} 或 nC_{19} , 而来源于湖盆内大型水生植物的正构烷烃则以在 nC_{21} 、 nC_{23} 或 nC_{25} 处具明显优势为特征, 比较而言, 源于湖盆周边高等植物的正构烷烃分布在高碳数区间, 主峰碳可以是 nC_{27} 、 nC_{29} 和 nC_{31} ^[12]。据此判断, 柴北缘地区四类正烷烃分布型式 (图 1) 所反映的生源母质分别可能指示着浮游藻类、大型水生植物、浮游藻类、低等水生藻类和高等植物的多源输入。然而, 越来越多的研究资料表明, 单凭正烷烃的分布来判断生源母质具有较强的多解性^[12]。那么, 本次工作所检出的四类正烷烃分布是否有效反映了泥岩的生源特征呢? 为此, 结合镜下的有机岩石学鉴定结果进行综合分析。

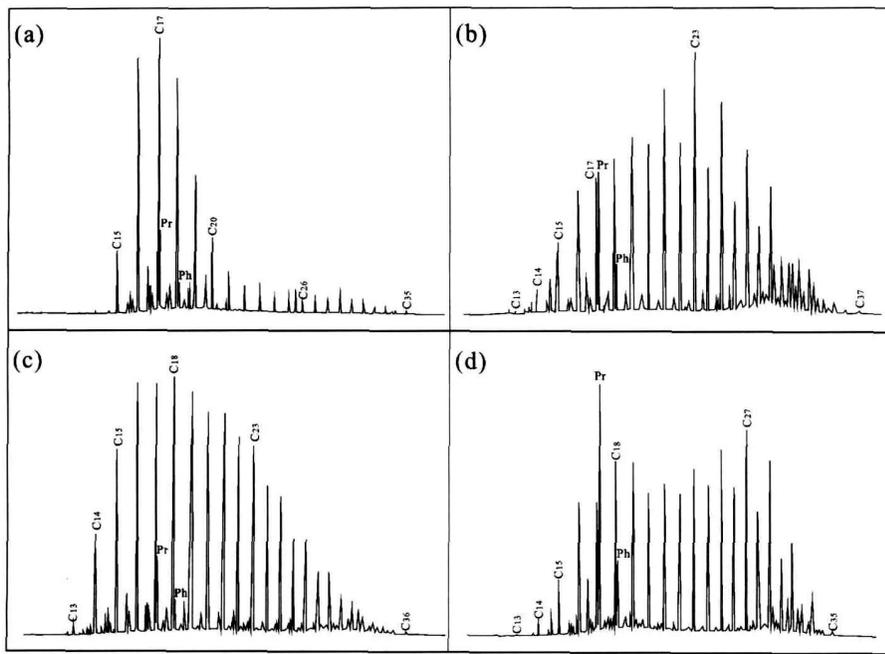


图 1 柴达木盆地北缘地区侏罗系泥岩无环链烷烃类的四种典型碳数分布型式,

(a) 样品 SS25, (b) 样品 LK1-B, (c) 样品 LK1-C, (d) 样品 YK25-E, 样品基本特征参见表 1

Fig. 1 Gas chromatograms of four typical kinds of Jurassic mudstones from the northern Qaidam Basin (a) sample SS25, (b) sample LK1-B, (c) sample LK1-C, (d) sample YK25-E. See Table 1 for basic features of samples

首先,如图 1a 对于第一类正烷烃, nC_{17} 主峰是绿藻门的典型特征^[16]。这也大致与这三块样品检出的较低 Pr/Ph 比值(在 1.0 左右)所反映的相对还原的沉积环境特征相互吻合^[17]。然而,镜下观测却未能发现典型的形态低等水生显微藻类体,而是以矿物沥青基质优势分布为特征(图 2a)。矿物沥青基质是一种复杂的有机-无机混杂物^[18], 荧光镜下矿物沥青基质普遍具颗粒状, 发中等强度的黄色或黄绿色荧光, 而颗粒荧光相对较暗。因此,初步推测,本次工作所检出的前峰型正烷烃分布以及 Pr/Ph 比值是样品中矿物沥青基质的反映。并且结合其 nC_{17} 主峰碳所反映的低等菌藻生源母质特点(图 1a)^[12], 以及在前主峰 (nC_{19} 和 nC_{19}) 的 LK1-C 和 LK1-D 样品(图 1c, 第三类)中观测到的葡萄球藻 (*Botryococcus branu ii* 属水生绿藻门)(图 2b), 初步推测, 葡萄球藻很可能是沥青基质的一种重要原始生源。浮游葡萄球藻向无定形沥青基质转化的成因机制与微生物改造有关(见后文对 25-降藿烷成因的讨论)。

其次,对于图 1b-d 中所展示的其他三类正烷烃分布型式,不同层位、不同深度泥岩样品的生源组成有明显差异。但显微镜下的岩石学鉴定未发现母质类型的差异,仅是相对含量上表现出一些变化(图

2b-d)。这些泥岩的生油组分主要是壳质组和腐泥组,其中,壳质组具有明显的荧光效应,主要可见孢子体和角质体,腐泥组主要是藻类体。据此,可以认为,正构烷烃的碳数分布在反映泥岩沉积环境和母质类型时不是好的指纹参数,在应用其进行油源对比时需密切结合其它生标参数和地质背景进行综合分析^[12]。

此外,姥鲛烷 (Pr) 和植烷 (Ph) 的比值 Pr/Ph 可反映沉积母质的母源特征及其沉积的氧化还原环境^[12]。本次研究所有 12 块样品的 Pr/Ph 比值总体分布在 0.89~4.59 之间,其中,第一类正烷烃分布型式(图 1a)的三块样品的 Pr/Ph 比值较低,为 0.89~1.4,其它三类正烷烃分布型式(图 1b-d)样品的 Pr/Ph 比值分别位于 1.67~3.27, 1.89~4.59, 3.07~4.09 之间,这与显微镜下观测到的有机岩石学特征基本一致,即三个在 1.0 左右的低 Pr/Ph 比值反映了矿物沥青基质的母源特征(图 2a),而较高的 Pr/Ph 比值反映出泥岩的生烃母质除了有盆内水生浮游藻类的来源外,还有湖盆周边的陆生高等植物(图 2b-d)。

2.2 甾萜烷类

与无环链烷烃类一样,柴北缘地区中下侏罗统泥岩的甾萜烷和萜烷类虽然存在一定差异,但也不具有时

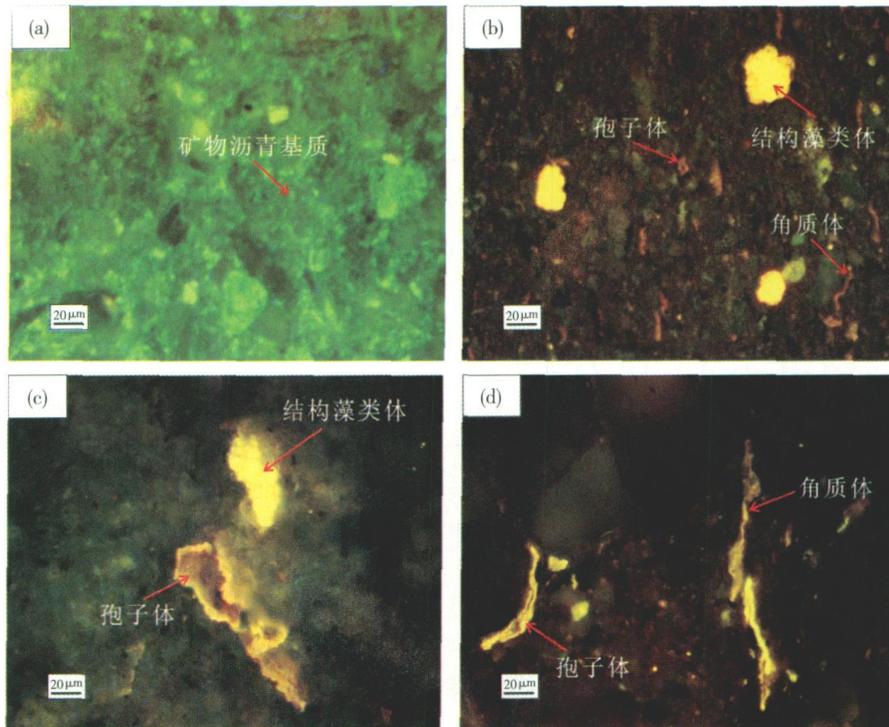


图 2 柴达木盆地北缘地区侏罗系典型泥质烃源岩的生油母质显微照片图, 荧光照片 (蓝光激发),

(a) 样品 SS25 (b) 样品 LK1-C, (c) 样品 S86 (d) 样品 LK1-A, 样品基本特征参见表 1

Fig 2 Organic maceral features of Jurassic mudstone source rocks from the northern Qaidam Basin, fluorescence under blue excitation, (a) sample SS25, (b) sample LK1-C, (c) sample S86, (d) sample LK1-A. See Table 1 for basic features of samples

代特征, 表明了源岩母质来源组成和沉积环境的复杂性。

首先, 对于萜烷, 从三环、四环萜烷和五环三萜烷的总体分布特征来看, 有三块样品中的三环、四环萜烷相对含量较高, 分别是 SS25、SD22 和 YK25-B, 属于第一类低有机质丰度的泥岩样品, 它们的 (三环 + 四环) 萜烷 / 五环萜烷比值分别为 1.79、0.89 和 0.70, 而在第二类高有机质丰度泥岩样品中, 相对于五环三萜烷, 三环、四环萜烷的含量非常低, (三环 + 四环) 萜烷 / 五环萜烷的比值最高不过 0.11。

对比链烷烃的研究结果, 发现一个有意义的现象, 即 3 块 (三环 + 四环) 萜烷 / 五环萜烷比值较高的低有机质丰度泥岩样品恰好都属于第一类的链烷烃分布型式 (图 1a)。鉴于其生源与低等水生显微菌藻类的相关性较大 (见 2.1 的分析), 而四环萜烷通常被认为与陆源有机质输入有联系^[12], 所以可以推断, 三环萜烷在生源上更为接近于低等水生显微菌藻类的特征^[19-20]。并且这 3 块样品三环萜烷的主峰都是 C₂₃ (图 3a), 这很可能说明 C₂₃ 三环萜烷的出现可能与某种特定的生源环境 / 生物种属相关, 根据伽马蜡

烷指数 (伽马蜡烷 / C₃₀ 藿烷 = 0.10 ~ 0.18) 判断, 这种环境可能具有微咸水性质。前人对准噶尔盆地二叠系风城组盐湖相原油^[21], 以及库车坳陷三叠系湖相原油^[22]的分析也表明, C₂₃ 三环萜烷与微咸水的沉积环境相关性较大。此外, 综合对比这些地区烃源岩的镜下有机岩石学特征, 可以进一步推测, C₂₃ 三环萜烷的母质来源很可能与局限还原环境中的低等菌藻类有关。

在这 3 块样品中, 还在 SS25 和 SD22 中检出了 25-降藿烷系列 (图 3b)。25-降藿烷系列一般见于遭受严重降解的原油和储层沥青抽提物中, 所以通常把它视为原油遭受严重生物降解的标志^[23]。但也有报道在烃源岩中检出了 25-降藿烷系列, 成岩环境的性质和特定的微生物活动可能是控制其在地质体中分布的重要因素^[24-26]。结合前文对这两块样品有机显微特征和正烷烃分布特征的分析, 可以推测, 本次工作检出的 25-降藿烷系列反映了微生物活动对有机质的改造^[27], 即泥岩中的浮游藻类沉积有机质在特定的环境中被微生物改造而转化、分散, 并与矿物基质混杂, 最终形成矿物沥青基质在泥岩中优势分布

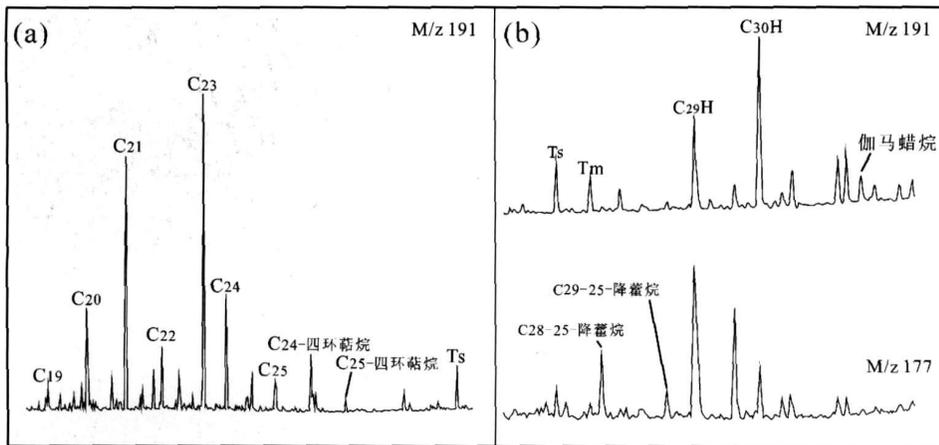


图 3 柴达木盆地北缘地区 SS25 样品的 m/z 191 和 m/z 177 色质图, 样品基本特征参见表 1

Fig 3 M/z 191 and m/z 177 mass chromatograms of sample SS25 see Table 1 for basic feature of sample

(图 2a), 以及 25-降萜烷的检出 (图 3b)。微生物的存在还可从倍半萜中检出高含量的 8β -锥满烷和 8β -升锥满烷佐证, 通常认为, 这两个化合物为细菌成因萜烷类的前身物被微生物改造而形成^[28]。

至于 9 块 (三环 + 四环) 萜烷 / 五环萜烷比值小于 0.11 的高有机质丰度泥岩样品, 对比陈建平等^[29]归纳的我国西北地区侏罗系煤系有机质的生标组成特征, 三环萜烷的含量通常不超过五环萜烷含量的 10%, 可以推断, 柴北缘地区富集有机质泥岩的沉积环境与西北地区其它侏罗系含油气盆地没有大的差异, 同属中亚中生界煤系油气域^[22]。结合保存较为完整的显微组分 (图 2b-d), 表明泥岩的沉积环境为弱还原。此外, 煤单显微组分热解油生标特征的研究表明, 无论是藻类体, 还是孢子体、角质体、镜质体等, 其萜烷组成均以五环萜烷为主, 三环和四环萜烷的相对含量均较低^[30], 由此说明, 柴北缘地区不同有机质丰度泥岩的沉积环境 / 生源组成有差异, 否则二者检出的萜烷类组成应差异不大, 印证了显微镜下的有机岩石学鉴定结果 (图 2)。

三环萜烷 / 五环萜烷比值在有的文献中被用来衡量沉积有机质的成熟度, 这是因为当成熟度增高时, 干酪根中产生的三环萜烷的比例要高于萜烷^[31]。但根据本次工作的实验结果, 并不如此。比如, 以三块有机质生源基本一致, 皆为低等菌藻类的样品 SS25、SD22 和 YK25-B 为例, 其 R_o 分别是 0.56%、0.7% 和 0.43%, 但三环萜烷 / 五环萜烷的比值却表现出 SS25 > YK25-B > SD22, 没有展现出与 R_o 相一致的演化趋势。据此可以认为, 本区三环萜烷和五环萜烷的相对含量与有机质的生源有着密切关系, 这也说明上文从

生源角度对三环、四环和五环萜烷进行解释是合适的。

以上分析表明, 泥岩的生标组成总体不具有时代特征, 尽管如此, 有一些生标参数在不同时代泥岩中展现出了一定的差异, 可能是潜在的油源对比参数, 如: (1) 三环萜烷 C_{19}/C_{20} 的比值, 中侏罗统泥岩的最高值才 0.70 通常在 0.50 之下, 与 2 块性质特殊的低有机质丰度下侏罗统泥岩 (SS25 和 SD22) 比值相近, 而下侏罗统富集有机质泥岩样品的该比值都在近 1.0 之上 (图 4a); (2) 在三环萜烷 $C_{19}/C_{20}-C_{20}/C_{21}-C_{21}/C_{23}$ 三端元分布图中, 还是除了比较特殊的 SS25 和 SD22 样品, 中下侏罗统泥岩也可以比较好的区分开来 (图 4b); (3) 在 C_{27}/C_{29} 萜烷和 C_{28} 萜烷 / C_{29} 萜烷相关图中, 中下侏罗统泥岩可以比较好的区分开来 (图 4c), 但与图 4b 所展示的特点有所不同, SS25 和 SD22 样品相对更为靠近下侏罗统的样品, 说明了其沉积与生源组成特征的特殊 / 复杂性。

综合看来, 三环萜烷 (C_{19} 、 C_{20} 、 C_{21} 、 C_{23}) 的分布形态, 以及规则萜烷 (C_{27} 、 C_{28} 、 C_{29}) 的相对组成较好地反映了不同层位泥岩的沉积环境及其所控制的生源组成特征。结合泥岩的沉积环境和有机岩石学特征, 可以初步讨论这些指标参数的地质与地球化学涵义。

研究表明, 柴北缘地区在早侏罗世整体属于断陷近岸沉积, 水体较浅, 至中侏罗世, 逐渐转变为坳陷沉积, 湖盆沉积中心距岸较远, 水体较深^[1-2], 反映在有机显微组成上的特征即表现为中侏罗统泥岩中的藻类体丰度要高于下侏罗统, 而孢子体和角质体的丰度在下侏罗统泥岩中较高 (图 2b-d)。对比生标参数特征 (图 4), 可以推测, C_{19} 三环萜烷和 C_{29} 规则萜烷在

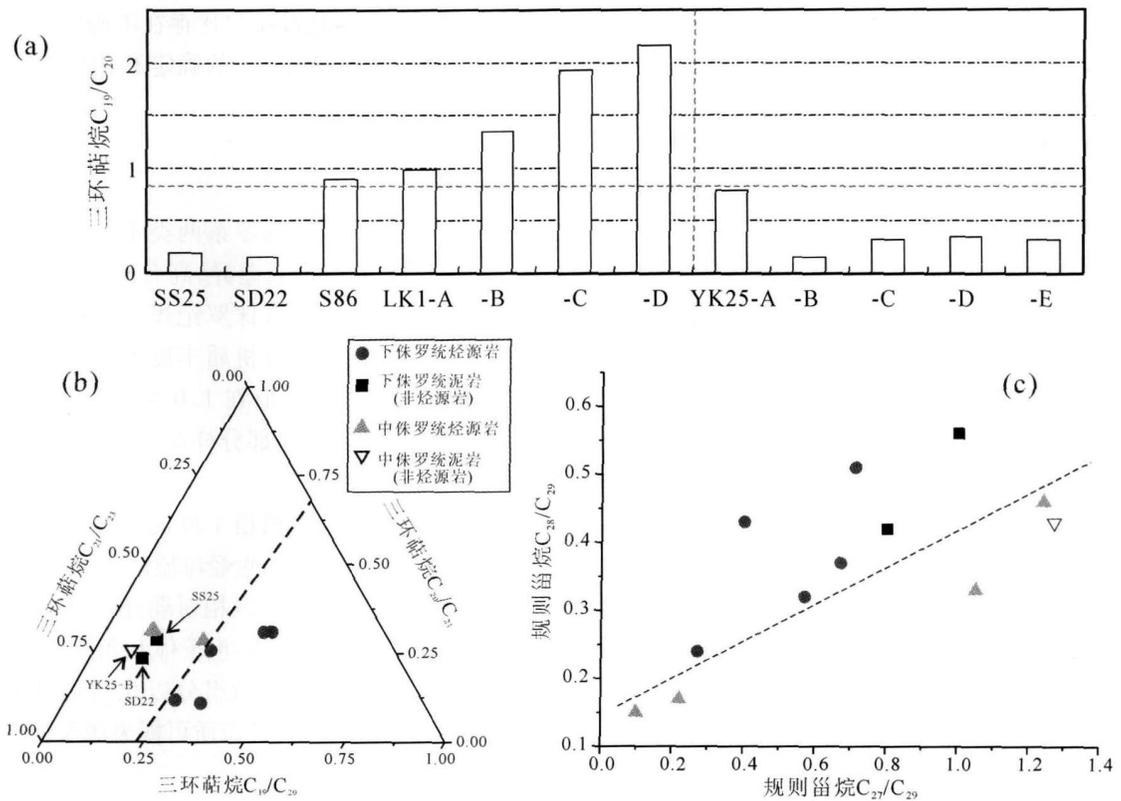


图 4 柴达木盆地北缘地区侏罗系泥岩饱和烃的三环萜烷 C_{19}/C_{20} 比值直方图 (a), 三环萜烷 $C_{19}/C_{20}-C_{20}/C_{21}-C_{21}/C_{22}$ 三端元分布 (b), 甾烷 C_{27}/C_{29} 和 C_{28}/C_{29} 相关图 (c)

Fig 4 Histogram showing tricyclic terpane C_{19}/C_{20} data (a), ternary diagram of tricyclic terpane $C_{19}/C_{20}-C_{20}/C_{21}-C_{21}/C_{22}$ (b), and correlation between regular sterane C_{27}/C_{29} and C_{28}/C_{29} (c) of Jurassic mudstones from the northern Qaidam Basin

生源意义上与高等植物具有较高的相关性, 而 C_{20} 、 C_{21} 、 C_{23} 三环萜烷, 以及 C_{27} 规则甾烷在生源意义上与藻类体的关系较大。但需要指出的是, 由于烃源岩的非均质性及生源成因的复杂性, 目前还不能完全明确上述指标参数的地球化学涵义, 上述讨论仅是初步的, 在今后的油源对比研究中, 有待加以深入关注分析。

3 泥岩与原油生物标志物组成的关系及意义

以上分析可知, 柴北缘地区两类不同有机质丰度泥岩中的生标组成及有机显微特征均存在显著不同。但众所周知, 含油气盆地中的原油既不可能由某一类烃源岩生成, 也不可能由某一种显微组分生成, 而应是不同类型烃源岩及其显微组分生成产物的混合物。因此, 对于本文分析获得的不同有机质丰度泥岩之间的差异, 为进一步剖析它们的普遍意义, 需要结合本区主要产出原油的生标组成进行对比分析。迄今为止, 柴北缘地区已在冷湖构造带的三号、四号、五号和七号构造, 以及南八仙、马海、马北和鱼卡等地区产

油。

根据前人对原油生标组成的分析结果^①, (1) 本区绝大多数原油样品的 Pr/Ph 比值介于 1.5~3.5 之间, 而南八仙油气田和冷湖三号油田表现出一些特殊性, 如在南八仙油气田, 分别各有 1 块样品的 Pr/Ph 比值为 0.58、4.36、5.57, 冷湖三号构造带上也有一块样品的 Pr/Ph 比值较高, 为 5.24。(2) 三环萜烷系列的分布特征较为复杂, 大致可分成两类, 一是以 C_{21} 或 C_{23} 为主峰的正态分布 ($C_{19} < C_{20}$), 这些原油包括鱼卡地区的原油、马北 2 井原油、仙 3 井 1076~1082.6 m 的原油, 其它原油属于第二类, 呈 $C_{19} > C_{20} > C_{21} > C_{23} > C_{24} > C_{25} > C_{26}$ 的阶梯状分布。(3) 甾烷的分布同样可分出两大类: 其一是以 C_{27} 甾烷占优势为特征 (甾烷 $C_{27}/C_{29} > 2.0$), 这类原油主要见于鱼卡地区, 还包括马北 3 井、马北 101 井、仙 3 井 (1076~

① 包建平, 汪立群, 陈琰, 等. 柴达木盆地北缘侏罗系成烃演化研究. 青海油田公司勘探开发研究院, 2006

1 082 6 m)和仙 6井的部分原油,区内其它原油则属于另一类,甾烷 C_{27}/C_{29} 多小于 0.5。

综合上述原油的典型生标组成特征,可把这些原油大致分成两类:一类是以鱼卡地区的原油为代表,还包括马北和南八仙地区的部分原油(如仙 3井 1 076~1 082 6 m),第二类即是区内其它原油。对于第一类原油,表现出低等显微藻类是其重要的原始生烃母质,对比本次工作分析结果,可以说明其主要来源于中侏罗统烃源岩。值得注意的是,这类原油中有 1块样品(仙 3井 1 076~1 082 6 m)的 Pr/Ph 比值仅为 0.58。鉴于目前还没有在高有机质丰度泥岩样品中发现如此低的 Pr/Ph 比值,因此可以推断,这类原油很可能来自于中侏罗统烃源岩,其沉积环境/生源组成与本次工作所分析的低有机质丰度泥岩类似,属于相对强还原条件下的沉积,并以低等菌藻类为主要生源为特征。相比而言,对于第二类原油,显然主要来源于下侏罗统的淡水湖相烃源岩。

目前在油源对比研究中,如前所述,受传统观念影响,即认为含油气盆地中的油气聚集主要来自于优质烃源岩的贡献^[7-9],人们通常希望通过分析高有机质丰度泥岩的生标组成,并与原油的生标组成对比,了解原油成因,查明原油的源岩层位和位置。显然,高有机质丰度泥岩的生烃潜能要高于低有机质丰度的泥岩,对原油的贡献也较大,因此上述思路“在理论上”是正确的。然而,众所周知,原油的生标组成反映的是不同品质烃源岩贡献的混合面貌^[12],因此从理论上讲,除非平面上有覆盖了整个研究区、垂向上有足够反映源岩非均质性^[7-9]的代表性样品用于分析,否则难于找到有效的油源对比指标参数,完成油源之间的“一一对比”。正如本文所展示的一样,实际工作中,一方面钻井钻到的烃源岩厚度有限,能够采集的烃源岩(高有机质丰度泥岩)样品主要来自于构造高部位的油气聚集带,另一方面,由于烃源岩沉积的非均质性^[7-9],现今所采有机质丰度不高、类型不好的泥岩并不一定在其它地方就不好,甚至有些情况下反而有可能对现今原油起到了重要贡献,如上文对仙 3井 1 076~1 082 6 m处原油油源的分析也许属于这种情况。

因此,在油源对比研究中,如果只注意高有机质丰度的泥岩,而忽视低有机质丰度的泥岩,将很有可能遗漏掉一些重要的地质地球化学信息,导致在烃源岩的众多生标地球化学参数中,有些与原油之间对应得较好,有些对应得不好,给参数选择和解释带来分

歧,造成含油气盆地油源对比存在不确定性。认识到这点,对于盆地油源层/区的确定和油气资源评价具有重要的理论和现实意义。

4 结论

(1) 柴北缘地区侏罗系两类不同有机质丰度泥岩的生标组成存在显著差异,高有机质丰度泥岩的生标组成与我国西北地区侏罗纪煤系有机质的特征差异不大,相比而言,低有机质丰度泥岩的正烷烃以前主峰为特征, Pr/Ph 比值在 1.0 左右,三环萜烷和伽马蜡烷丰度较高,并在部分样品中检出了 25-降藿烷系列。

(2) 两类不同有机质丰度泥岩的生标组成特征反映了泥岩沉积环境和生烃母质的不同,高有机质丰度泥岩的有机显微组分以相对弱还原条件下的形态有机质为主,包括藻类体、孢子体和角质体等,而低有机质丰度泥岩的有机显微组分以相对强环境条件下的矿物沥青基质为主,其母质可能来源于低等显微菌藻类。

(3) 泥岩的生标组成总体不具有时代特征,但有一些参数也展现出了一定的差异,可能是潜在的油源对比指标,如三环萜烷 C_{19}/C_{20} 比值、三环萜烷 $C_{19}/C_{20}-C_{20}/C_{21}-C_{21}/C_{23}$ 的三端元分布,以及规则甾烷 C_{27}/C_{29} 和 C_{28}/C_{29} 的相关关系。结合与区内原油生标组成的对比,认为在中侏罗统地层中,可能存在一类烃源岩,其沉积环境/生源组成与本次研究所揭示的低有机质丰度泥岩相似,该新认识对于全面认识本区的有效烃源岩组成特征及油源对比具有重要意义。

致谢 蒙审稿专家悉心点评,提出宝贵建议,谨致谢忱

参考文献 (References)

- 1 党玉琪,胡勇,余辉龙,等.柴达木盆地北缘石油地质[M].北京:地质出版社,2003:1-186 [Dang Yuqi, Hu Yong, Yu Huilong et al. Petroleum Geology in Northern Qaidam Basin[M]. Beijing Geological Publishing House, 2003: 1-186]
- 2 王玉华,侯启军,孙德君,等.柴达木盆地北缘地区中生代地层油气生成与资源评价[M].北京:科学出版社,2004:1-434 [Wang Yuhua, Hou Qijun, Sun Dejun et al. Mesozoic and Cenozoic Petroleum Formation and Resource Assessment in Northern Qaidam Basin[M]. Beijing Science Press, 2004: 1-434]
- 3 张敏,尹成明,陈琰.柴达木盆地北缘含油气系统与油气勘探方向[J].沉积学报,2005,23(1):143-149 [Zhang Min, Yin Chengming, Chen Yan. Strategy of hydrocarbon exploration in the petroleum system of the northern Qaidam Basin[J]. Acta Sedimentologica Sinica

- 2005, 23(1): 143-149]
- 4 刘洛夫, 妥进才, 于会娟, 等. 柴达木盆地北部地区侏罗系烃源岩地球化学特征 [J]. 石油大学学报 (自然科学版), 2000, 24(1): 64-68 [Liu Luofu, Tuo Jincai, Yu Huijuan, *et al*. Geochemistry of the Jurassic source rocks in the northern areas of Qaidam Basin in China. Journal of the University of Petroleum (Edition of Natural Science), 2000, 24(1): 64-68]
 - 5 苏爱国, 朱扬明, 梁狄刚, 等. 青海柴达木盆地南八仙油气田油源与成藏机理 [J]. 地球化学, 2003, 32(4): 292-399 [Su Aiguo, Zhu Yangming, Liang Digang, *et al*. Source of oils and mechanism of reservoir formation of the Nanbaxian oil and gas field, Qaidam Basin, Qinghai Province, China [J]. Geochimica, 2003, 22(4): 393-399]
 - 6 陈志勇, 肖安成, 周苏平, 等. 柴达木盆地侏罗系分布的主控因素研究 [J]. 地学前缘, 2005, 12(3): 149-155 [Chen Zhiyong, Xiao Ancheng, Zhou Suping, *et al*. The main control factor for Jurassic distribution in Qaidam Basin [J]. Earth Science Frontiers, 2005, 12(3): 149-159]
 - 7 梁狄刚, 张水昌, 张宝民, 等. 从塔里木盆地看中国海相生油问题 [J]. 地学前缘 (中国地质大学, 北京), 2000, 7(4): 534-547 [Liang Digang, Zhang Shuichang, Zhang Baomin, *et al*. Understanding on marine oil generation in China based on Tarim Basin [J]. Earth Science Frontiers (China University of Geosciences, Beijing), 2000, 7(4): 534-547]
 - 8 张林晔. “富集有机质”成烃作用再认识: 以东营凹陷为例 [J]. 地球化学, 2005, 34(6): 619-625 [Zhang Linye. A restudy on the hydrocarbon occurrence of “enriched organic matter”: a case study of Dongying Depression [J]. Geochimica, 2005, 34(6): 619-625]
 - 9 陈践发, 张水昌, 孙省利, 等. 海相碳酸盐岩优质烃源岩发育的主要影响因素 [J]. 地质学报, 2006, 80(3): 467-472 [Chen Jianfa, Zhang Shuichang, Sun Shengli, *et al*. Main factors influencing marine carbonate source rock formation [J]. Acta Geologica Sinica, 2006, 80(3): 467-472]
 - 10 陈建平, 赵长毅, 何忠华. 煤系有机质生烃潜力评价标准探讨 [J]. 石油勘探与开发, 1997, 24(1): 1-5 [Chen Jianping, Zhao Changyi, He Zhonghua. Criteria for evaluating the hydrocarbon generating potential of organic matter in coal measures [J]. Petroleum Exploration and Development, 1997, 24(1): 1-5]
 - 11 杨永泰, 张宝民, 席萍, 等. 柴达木盆地北缘侏罗系展布规律新认识 [J]. 地层学杂志, 2001, 25(2): 154-159 [Yang Yongtai, Zhang Baomin, Xi Ping, *et al*. New knowledge about distribution of the Jurassic strata along northern margin of Qaidam Basin [J]. Journal of Stratigraphy, 2001, 25(2): 154-159]
 - 12 Peters K E, Walters C C, Molkow J M. The Biomarker Guide: Interpreting Molecular Fossils in Petroleum and Ancient Sediments, second edition [M]. U.K: Cambridge University Press, 2005, 1-1155
 - 13 王铁冠. 生物标志物地球化学研究 [M]. 武汉: 中国地质大学出版社, 1990, 1-154 [Wang Tieguan. Approach to Biomarker Geochemistry [M]. Wuhan: China University of Geosciences Press, 1990, 1-154]
 - 14 傅加谟, 盛国英, 许家友, 等. 应用生物标志化合物参数判识古沉积环境 [J]. 地球化学, 1991, 1: 1-12 [Fu Jiamu, Sheng Guoyou, Xu Jiayou, *et al*. Application of biomarker compounds in assessment of paleoenvironments of Chinese terrestrial sediments [J]. Geochimica, 1991, 1: 1-12]
 - 15 史基安, 赵欣, 王金鹏, 等. 油藏储层中不同赋存状态烃类地球化学特征: I链烷烃——以鄂尔多斯盆地三叠系延长组 [J]. 沉积学报, 2005, 23(1): 162-169 [Shi Jí an, Zhao Xin, Wang Jinpeng, *et al*. Geochemical characteristics of oil sand extracts in different state from sandstone reservoir I linear hydrocarbon: a case study from Triassic Yanchang Formation in Ordos Basin [J]. Acta Sedimentologica Sinica, 2005, 23(1): 162-169]
 - 16 邵宏顺, 黄杏珍. 茫崖凹陷原油的地球化学特征与成油环境 [C] // 中国科学院兰州地质研究所生物气体地球化学开放研究室研究年报. 兰州: 甘肃科学技术出版社, 1987, 105-117 [Shao Hongshun, Huang Xingzhen. Geochemical characteristics of oils from Mangya sag and the environment for oil formation [C] // Annual Research Reports of Organic Geochemistry Laboratory of Institute of Geochemistry Academicia Sinica, Lanzhou: Gansu Science and Technology Press, 1987, 105-117]
 - 17 胡瑛, 张枝焕, 李伟, 等. 黄骅拗陷渤海三马地区烃源岩分子标志物特征及其沉积相指示意义 [J]. 沉积学报, 2006, 24(3): 419-425 [Hu Ying, Zhang Zhihuan, Li Wei, *et al*. Molecular biomarkers characteristics of source rocks from Tanhai Sanma area in the Huanghua Depression and its significance for sedimentary facies [J]. Acta Sedimentologica Sinica, 2006, 24(3): 419-425]
 - 18 陈建平, 黄第藩. 烃源岩中矿物沥青基质成烃潜力探讨 [J]. 地球化学, 1997, 26(6): 18-24 [Chen Jianping, Huang Diefan. Hydrocarbon generation potential of mineral bituminous matrix in source rocks [J]. Geochimica, 1997, 26(6): 18-24]
 - 19 Ourisson G, Albrecht P, Rohmer M. The microbial origin of fossil fuels [J]. Scientific American, 1984, 251: 44-51
 - 20 Molkow J M, Fage F J, Carlson R M K. Rearranged hopanes in sediments and petroleum [J]. Geochimica et Cosmochimica Acta, 1991, 55: 3333-3353
 - 21 Cao Jian, Yao Suping, Jin Zhijun, *et al*. Petroleum migration and mixing in NW Junggar Basin (NW China): constraints from oil-bearing fluid inclusion analyses [J]. Organic Geochemistry, 2006, 37(7): 827-846
 - 22 梁狄刚, 陈建平, 张宝民, 等. 塔里木盆地库车坳陷陆相油气的生成 [M]. 北京: 石油工业出版社, 2004, 1-19, 176-180 [Liang Digang, Chen Jianping, Zhang Baomin, *et al*. Petroleum Formation in the Kuqa Depression of the Tarim Basin [M]. Beijing: Petroleum Industry Press, 2004, 1-19, 176-180]
 - 23 Bennett B, Fustic M, Farrimond P, *et al*. 25-Norhopanes: Formation during biodegradation of petroleum in the subsurface [J]. Organic Geochemistry, 2006, 37: 787-797
 - 24 Chosson P, Connan J, Dessort D, *et al*. In vitro biodegradation of steranes and terpanes: a clue to understanding geological situations [C] // Molkow J M, Albrecht P, Philip R P, eds. Biological Markers in Sediments and Petroleum. Prentice Hall, 1992: 320-349
 - 25 包建平. 未降解原油和生油岩中的 25-降藿烷系列 [J]. 科学通报, 1996, 41(20): 1875-1878 [Bao Jianping. 25-Norhopanes in

- unbiodegraded oils and source rocks [J]. Chinese Science Bulletin, 1996, 41(20): 1875-1878]
- 26 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): 432-434 [Du Hongyu, Wang Tieguan, Hu Jianli *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): 432-434]
- 27 王铁冠, 钟宁宁, 侯读杰, 等. 细菌在板桥凹陷生烃机制中的作用 [J]. 中国科学 (B 辑), 1995, 25(8): 882-889 [Wang Tieguan, Zhong Ningning, Hou Dujie, *et al.* Effect of bacteria in the generation mechanism of source rocks in Banqiao Depression [J]. Science in China (Series B), 1995, 25(8): 882-889]
- 28 Alexander R, Robert IK, Nobel R A. Identification of some bicyclic alkanes in petroleum [J]. Organic Geochemistry, 1984, 6: 63-70
- 29 陈建平, 赵长毅, 王兆云, 等. 西北地区侏罗纪煤系烃源岩和油气地球化学特征 [J]. 地质论评, 1998, 44(2): 149-159 [Chen Jianping, Zhao Changyi, Wang Zhaoyun *et al.* Organic geochemical characteristics of oil gas and source rocks of Jurassic coalmeasures in northwestern China [J]. Geologic Review, 1998, 44(2): 149-159]
- 30 陈建平, 邓春萍, 王汇彤, 等. 中国西北侏罗纪煤系显微组分热解油生物标志物特征及其意义 [J]. 地球化学, 2006, 35(2): 141-150 [Chen Jianping, Deng Chunping, Wang Huitong *et al.* Biomarker and its implication of pyrolysis oils of macerals from Jurassic coalmeasures, Northwest China [J]. Geochemistry, 2006, 35(2): 141-150]
- 31 Aquino Neto FR, Trendel M, Restle A. Occurrence and formation of tricyclic and tetracyclic terpanes in sediments and petroleum [C] // Bjoroy *et al.* eds Advances in Organic Geochemistry 1981. New York, 1983, 659-676

Contrasting Biomarker Features of Two Types of Jurassic Mudstones with Different Organic Matter Contents in the Northern Qaidam Basin

YANG Shao-yong¹ CAO Jian² LIU Yun-tian^{1, 2} HU Kai²

BIAN Lizheng² WANG Lizhun¹ CHEN Yan¹

(1 PetroChina Qinghai Oilfield Company, Branch of Petroleum Exploration, Dunhuang, Gansu 736202;

2 Department of Earth Sciences, Nanjing University, Nanjing 210093)

Abstract Two types of Jurassic mudstones with different total organic contents (*TOC*) from the northern Qaidam Basin were analyzed for biomarker features in this study. It is showed that these two types of mudstones have pronounced different biomarker compositions. The mudstones with high *TOC* contents show similar features to other Jurassic source rocks and their derived oils in the western China's Jurassic petroliferous basins. In contrast, as to the mudstones with low *TOC* contents, it is characterized by an *n*-alkane envelope that peaks at a low carbon number (e.g., *n*C₁₆, *n*C₁₇), Pr/Ph around 1.0, abundance of tricyclic terpane and gammacerane, and detection of 25-norhopane series in two samples. Combined with organic petrographic features of mudstones, it is implied that the biomarkers reflect depositional environments and bio-precursors of the mudstones. Bio-precursors of high *TOC* mudstones consist mainly of algae, cutinites and sporophytes, under relatively anaerobic situations. As to the low *TOC* mudstones, organic maceral composition is composed mainly of mineral bituminous matrix, which comes from biodegradation of micro-alga by microbe under relatively more anaerobic conditions. Furthermore, based on a comparison between biomarkers of mudstones analyzed in this study and of presently explored oils, the oil source in the study area was discussed.

Key words biomarker, Jurassic mudstone, source rock, oil-source correlation, the northern Qaidam Basin