

文章编号: 1000-0550(2006)06-0901-09

塔里木盆地北部塔河油田原油分子地球化学特征及成因类型划分^①

王传刚¹ 王铁冠² 张卫彪¹ 何发歧³

(1 中国石油化工股份有限公司石油勘探开发研究院 北京 100083

2 中国石油大学 北京 102249 3 中国石油化工股份有限公司油田部 100029)

摘要 GC、GC-MS、GC-MS/MS 分析表明,塔河 1~7 区块各油藏原油饱和烃、芳烃生物标志物组成和稳定碳同位素特征具有同源性,即塔河原油来自相同的烃源灶(或烃源层)。然而,对原油物性特征、成熟度特征、生物降解特征及原油馏分碳同位素组成等的深入研究发现,塔河原油属于早、晚两次充注成藏:早期充注为一般成熟型原油,相当于 R_o 值 0.70%~0.80% 成熟阶段的生排烃产物,遭受生物降解后具有重、稠油特征,主要分布在 4、6、7 区下奥陶统储层中;晚期成藏原油相当于 R_o 值 0.80%~1.00% 的高成熟阶段的生烃产物,表现为正常油,甚至轻质油或凝析油,在塔河油田广泛分布,并可以与早期充注油藏原油的生物降解残留成分进行充分混合,呈现复杂的地球化学特征。

关键词 塔河油田 分子地球化学 甲藻甾烷 25-降藿烷 成因类型

第一作者简介 王传刚 男 1970 年出生 博士 石油地质学

中图分类号 P593 **文献标识码** A

亿吨级的塔河油田展示了塔里木盆地古生界油气勘探的巨大前景,引起国内外石油界的瞩目。塔河油田含油层系众多(奥陶系、石炭系、三叠系),原油种类复杂(凝析油、轻质油、黑油、重油均有分布),对油源和成藏机制等问题存在各种认识^[1~4],正确划分原油的成因类型对明确成藏规律和指导进一步勘探具有重要意义。

生物标记化合物(分子化石)因其具有生物成因的分子结构而能提供原油的成因信息^[5~4],分子地球化学就是从化合物结构和相对组成特征上,来研究生物标志化合物所携带的反映原油生物来源、原始沉积环境、及其后生改造等的地球化学信息,以帮助解决烃源和成藏机制问题^[6~7]。

1 样品与实验

1.1 样品分布

取得塔河油田 1~7 区块奥陶系、石炭系、三叠系等不同层位的原油样品 99 个,既有凝析油、轻质油,也有黑油、重油。为便于认识塔河原油的来源特征,同时取得塔东 2 井(∈-O₁)自生自储原油^[8]样品一个、中一上奥陶统岩心样品两个(塔中 30 井、轮南 46

井)、下奥陶统岩心样品一个、寒武系岩心(塔东 2 井)和露头(柯坪地区)样品各一个。

1.2 实验条件

饱和烃色谱(GC)分析:仪器为岛津 GC-17A,色谱柱 25m×0.25mm×0.25 μ m SE-54 弹性石英毛细柱,CLASS-GC10 色谱工作站。以高纯氮气(99.99%)做载气,初始炉温 60℃,恒温 2min 再以 4℃/min 升至 320℃,恒温 25min。

饱和烃 芳烃色谱-质谱(GC-MS)分析:仪器为 Finnigan SSQ-710 色谱质谱仪,色谱柱为 DB-5 石英毛细管柱(60m×0.25mm×0.25 μ m)。以高纯 He(99.99%)做载气,气化室温度 300~310℃,柱初始温度 800~100℃,恒温 1min 以 2~4℃/min 程序升温至 320℃,恒温。离子化电压 70eV,离子化电流 200~300 μ A,全扫描。需要说明的是,三芳甲藻甾烷是用色谱-质谱来检测的(m/z 245),这与甲藻甾烷不同,后者必须用色谱-质谱-质谱(即双质谱)来检测。

饱和烃色谱-质谱-质谱(GC-MS/MS)分析:仪器为 Agilent 6890 GC QUATTRO II MS-MSD。其色谱柱为(HP) J&W gongsi DB-5 MS 60m×0.25mm×

^①中国石油化工股份有限公司西北石油分公司“塔河油气田奥陶系油气藏成藏地球化学研究”项目和中国石油化工石油勘探开发研究院国家“973”重点基础研究发展计划项目(2003CB214608)资助。

收稿日期:2005-12-31; 收修稿日期:2006-04-13

0.25 μm, 气化室温度 310°C, 传输线温度 300°C。初始柱温 100°C, 以 6°C/min 升至 200°C, 再以 3°C/min 升至 310°C, 终极柱温 320°C, 恒温 25 min。柱流速 1 ml/min, 以 He 载气, Ar 为碰撞气 (能量 28 eV), 离子化电离能为 70 eV。多反应检测 (MRM) 方式采集。m/z 分别是 414 → 231 (甲藻甾烷及 3-β-甲基-24-乙基胆甾烷 C₃₀); 414 → 217 (C₃₀ 甾烷) 400 → 217 (C₂₉ 甾烷); 386 → 217 (C₂₈ 甾烷); 372 → 217 (C₂₇ 甾烷); 358 → 217 (降胆甾烷 C₂₆)。

原油及其族组分稳定碳同位素检测分离仪器为

isopach 检测仪器 Finnigan MAT 252 型质谱仪。以 CCl₄ 溶解分离样品, 800°C 条件下进行燃烧, 250°C 条件下还原后, 用 -289°C 液氮冷井进行提纯、净化、收集, 并检测。δ¹³C 误差范围 ±0.1‰。

2 结果与讨论

2.1 饱和烃色谱特征

塔河各区块原油虽然层位不同、类型和密度各异, 却有着近乎一致的正构烷烃分布形态, 在气相色谱图上 (图 1A) 表现为: 碳数在 C₁₁ ~ C₃₅ 之间, 主峰

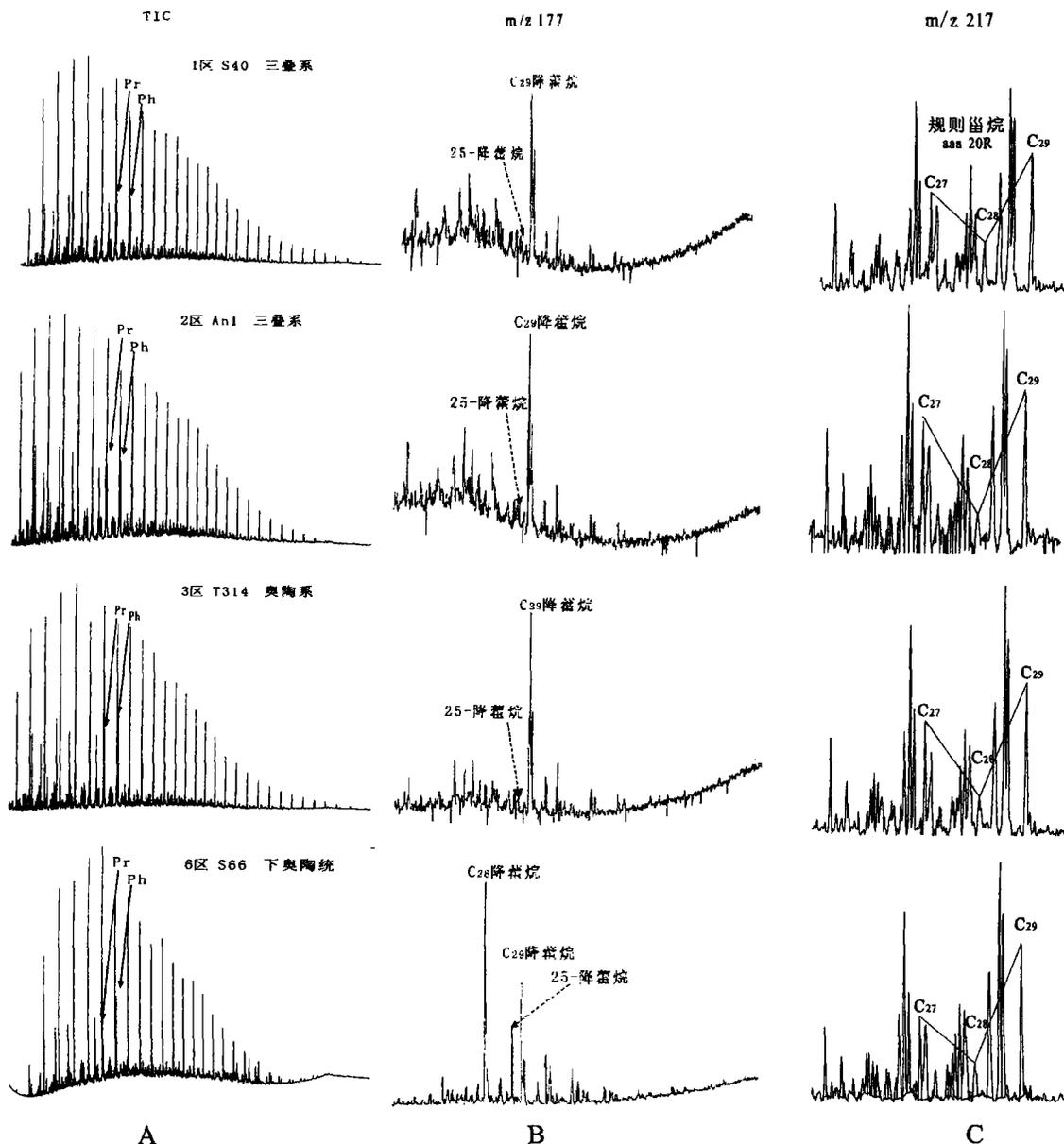


图 1 塔河油田各油藏原油生物标志物谱图特征

(A: 饱和烃气相色谱特征; B: 25-降藿烷分布特征; C: C₂₇ ~ C₂₉ 甾烷分布特征)

Fig 1 Biomarkers spectrogram characters of oils in Tahe oilfield reservoirs

碳为 C_{14} 或 C_{15} , 属于单峰型高成熟正构烷烃系列的分布特征。值得注意的是, 几乎全部的 4、6、7 区原油 (都属于奥陶系, 仅以 6 区 S66 井为例) 的饱和烃色谱图上基线都具有明显的“鼓包”, 即通常所说的 UCM (强烈降解油所具有的分子量大、不分解的复杂混合物), 说明原油遭受了强烈生物降解。而绝大多数 1~3 区原油 (包括奥陶系、石炭系和三叠系, 仅以部分样品为例) 的基线都比较“平稳”, 生物降解程度弱或基本没有生物降解。4、6、7 区原油遭受了强烈生物降解, 必然使正构烷烃和类异戊二烯烷烃遭受破坏, 却又与 1、2、3 区原油拥有一致的正构烷烃碳数分布规律, 暗示了这些原油具有两期 (甚至更多期) 成藏的可能性, 先期充注原油遭受生物降解的残留物与后期成藏原油相混合, 而后期原油与 1、2、3 区各储层原油相似。

2.2 25-降萘烷 (C_{29}) 特征

地下原油遭受生物降解常常导致原油组成产生改变, 严重时会使沥青质含量增加, 原油密度增大, 甚至失去经济价值。25-降萘烷 (10-脱甲基萘烷 $C_{29, m/z177}$) 是公认的强烈生物降解油中的一种典型化合物标志^[5b]。图 1 中, 1、2、3 区各储层原油 $m/z177$ GC-MS 图中 25-降萘烷相对含量低、分布不明显; 而 4、6、7 区原油则具有明显的 25-降萘烷分布, 同时出现了高丰度的 C_{28} -降萘烷, 表明原油遭受了强烈的生物降解。

图 2 清晰地展现了塔河原油间生物降解程度的差异, 在图 2-A 中, 以 25-降萘烷/ C_{30} 萘烷比值 13.6% 和 25-降萘烷/三环萘烷比值 4.0% 为界, 可以将 99 件不同储层原油分成两个区: 1、2、3 区各油藏原油全

部分分布在轻微—弱生物降解的 II 区; 4、6、7 区原油绝大多数分布在强烈降解的 I 区。图 2-B 中 25-降萘烷/三环萘烷比值和塔河原油密度之间同样表现出了较好的正相关性, 表明 4、6、7 区奥陶系原油中存在较多先期成藏原油的生物降解残留物, 沥青质含量高, 密度明显较大, 基本分布在 I 区; 而 1、2、3 区各油藏原油则主要分布在低密度的 II 区。

2.3 甾类化合物特征

2.3.1 $C_{27} \sim C_{29}$ 规则甾烷分布

$C_{27} \sim C_{29}$ 规则甾烷的相对分布特征是公认的生源类型生物标志化合物指标。当原油中存在 25-降萘烷的情况下, 甾烷分布可能已经受到了影响, 必须慎重。图 1C 中, 1、2、3 区不同层位原油和 4、6、7 区原油 (以 S66 为代表) 具有相同的规则甾烷分布模式: $C_{29} > C_{27} > C_{28}$, 说明塔河油田不同期次成藏的原油可能具有相同的来源。S66 (下奥陶统原油) 的 C_{27} 规则甾烷丰度相对偏低, 可能已经受到生物降解的影响, 这符合三化合物生物降解由易到难 $C_{27} > C_{28} > C_{29}$ 的顺序。换个角度来看, 假使 S66 油样中的甾烷完全是后期充注原油来的, 至少可以认为塔河各区、各储层中后期充注原油具有同源特征。

2.3.2 具生源或时代专属性甾类生物标志化合物特征

许多生物标志化合物会受到成熟演化、运移分馏效应甚至生物降解的影响^{[9~12]②}。与萘烷相比, 甾烷生物标记化合物不但在受到生物降解时更稳定, 而且更具有明确的生物学意义, 特别是某些具有生源或时代专属性的特殊甾类化合物, 更引起了研究者的极大兴趣, 近年来发表了许多重要研究成果^[11, 13~17]。

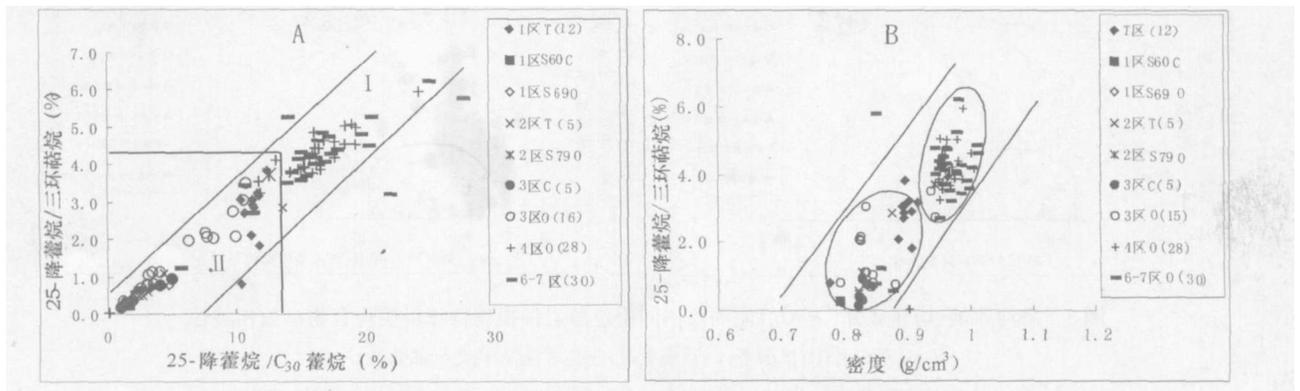


图 2 塔河油田各油藏原油生物降解特征

(C: 寒武系; O: 奥陶系; C: 石炭系; T: 三叠系; 括号内为样品数量)

Fig 2 Biodegradation characters of oils in Tahe oilfield reservoirs

②黄第藩, 梁狄刚. 塔里木盆地油气生成与演化. 石油勘探开发研究院, 1995

运用 GC-MS/MS 技术,对塔河油田 19 个油样、塔东 2 井 $\epsilon-O_1$ 的一个油样、以及不同层位的 6 个源岩样品抽提物中的专属性甾类化合物进行了分析。为避免热成熟作用对生物标志物绝对浓度的影响,所运用的对比参数都采用热稳定性相近化合物的相对比值,而不是其绝对浓度。

(1) 甲藻甾烷、三芳甲藻甾烷及 3,4-甲基-24-乙基胆甾烷

甲藻甾烷即 $4\alpha, 23, 24$ -三甲基胆甾烷 (C_{30}), 属于 4-甲基甾烷化合物, 而三芳甲藻甾烷是其芳构化产物。通常认为甲藻甾烷的分布时代主要限于三叠系及更新的地层^[18~21], 被作为沟鞭藻存在的生物标志物^[22, 23]。M. Oldow 等在寒武纪至泥盆纪富含有机质的海相岩石中发现了丰富的三芳甲藻甾烷^[24~26], 并且在一些早寒武世微化石中鉴定出了一系列沟鞭藻的生物标志物 (甲藻甾烷和 4α -甲基-24-乙基胆甾烷); 张水昌等^[17]也在塔里木和 4 井及肖尔布拉克露头前寒武和寒武系样品中发现了甲藻甾烷、三芳甲藻甾烷

以及 24-降胆甾烷等化合物, 因此认为沟鞭藻的生命先质具有古老成因。

甲藻甾烷 (甲藻甾烷 + 3-甲基-24-乙基胆甾烷) 比值、三芳甲藻甾烷 (三芳甲藻甾烷 + 3-甲基-24-乙基三芳胆甾烷) 比值, 和 4α - (4α - + 3β -) 甲基-24-乙基胆甾烷比值曾被成功应用于塔里木盆地其它地区的油源研究^③。塔河油田不同区块各层位原油的甲藻甾烷、三芳甲藻甾烷及 4α -甲基-24-乙基胆甾烷含量都很低, 19 个样品的甲藻甾烷 (甲藻甾烷 + 3β -甲基-24-乙基胆甾烷) 比值低于 12.75%, 平均只有 4.91% (图 3-A); 4α - (4α - + 3β -) 甲基-24-乙基胆甾烷比值低于 31.67%, 平均为 20.46% (图 3-D); 三芳甲藻甾烷 (三芳甲藻甾烷 + 3-甲基-24-乙基三芳胆甾烷) 比值低于 16.90%, 平均只有 6.71% (图 3C、D)。这与张水昌等对塔里木盆地中—上奥陶统源岩抽提物的研究结论相符。图 3A、C、D 表明塔河原油和中—上奥陶统源岩抽提物的这三个参数具有相似分布特征, 与寒武系、下奥陶统岩心抽提物间存在分野。

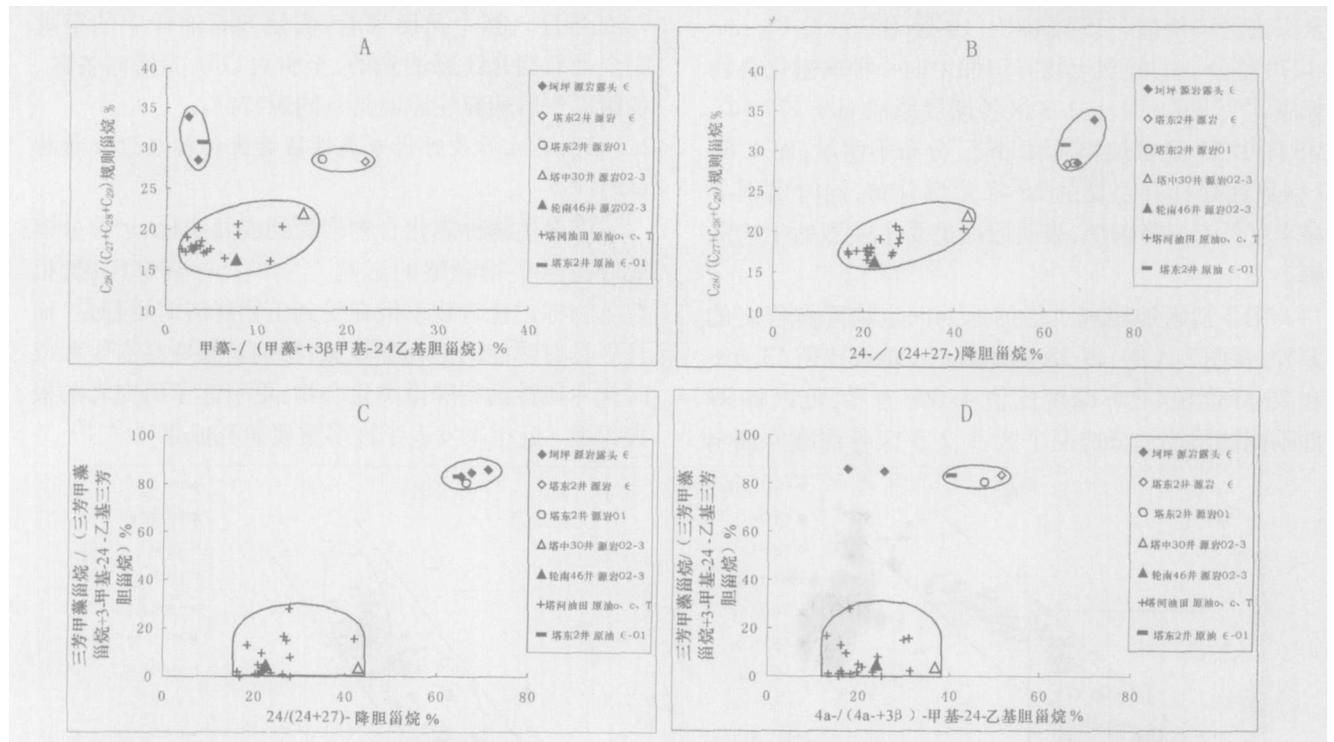


图 3 塔河原油、塔东 2 井 ($\epsilon-O_1$) 原油及不同层位源岩抽提物特殊甾类化合物参数相关性
(ϵ : 寒武系; O: 奥陶系; C: 石炭系; T: 三叠系; 括号内为样品数量)

Fig 3 Correlations of special sterane parameters for source rocks from different strata and oils of Taha oilfield and Tadong 2 well ($\epsilon-O_1$)

③ 张水昌, 王飞宇, 张俊, 何忠华. 塔里木盆地油源对比、源岩生烃史及油气藏形成史. 中国石油勘探开发研究院“九五”国家重点科技攻关项目 (99-111-01-03-03), 2000 106

图 3A、D 中坳坪地区寒武系源岩(露头)抽提物甲藻甾烷和 4α -甲基-24 乙基胆甾烷分布与塔河原油没有截然区别, 与塔东 2 井寒武系岩心有明显区别, 是否与露头样品在地表遭受的风化、氧化有关值得探究。另外, 塔东 2 井来自寒武系的原油甲藻甾烷分布与塔河原油没有区别, 也与已有认识不同^[4]。

(2) 24 降胆甾烷 (C_{26})

硅藻可能是 24 降胆甾烷的直接或间接生源^[27, 28], $24/(24+27)$ 降胆甾烷参数比值常被用于研究源岩形成的时代^[16, 17]。在塔河原油、塔东 2 井原油以及不同层位源岩中都检测到了有意义含量的 24 降胆甾烷, 塔河油田不同层位原油的 $24/(24+27)$ 降胆甾烷参数比值低于 42.13%, 平均为 23.77%, 与中-上奥陶统源岩抽提物非常一致; 而塔东 2 井原油和所有寒武系、下奥陶统源岩抽提物该参数值都大于 64.41%, 与塔河原油之间存在明显区别(图 3B、C)。

(3) C_{28} 甾烷

海相原油中 C_{28} 甾烷的增加与不断增加的多种多样的浮游植物(硅藻、颗石藻和沟鞭藻)有关^[29]。在 GC-MS 检测中, $C_{27} \sim C_{29}$ 规则甾烷常与重排甾烷有共逸出峰而难于准确判断三者间的相对含量, 在 GC-MS-MS 检测中, 根据 m/z 400 \rightarrow 217、386 \rightarrow 217 和 372 \rightarrow 217 可以分别统计 C_{29} 、 C_{28} 和 C_{27} 规则甾烷的含量。19 个塔河原油的 $C_{28}/(C_{27}+C_{28}+C_{29})$ 比值都小于 20.57%, 平均为 18.06%, 与中-上奥陶统源岩抽提物相似, 而塔东 2 井原油和寒武系、下奥陶统源岩抽提物的该值却都大于 64.41%, 与塔河原油之间存在明显区别(图 3A、B)。

寒武系一下奥陶统与中-上奥陶统源岩之间在上述甾类生物标志物分布上的区别可能与当时的源岩沉积环境和古海洋条件的改变有关^[30]。图 3 中不同生物标志物参数间的正相关性都表明塔河原油和中-上奥陶统源岩之间存在油源关系, 而与寒武系一下奥陶统源岩及塔东 2 井寒武系自生自储原油之间存在区别(与顾忆等^[1]的认识不同)。塔河油田各区不同层位原油应该来自同一烃源灶或烃源层。

2.4 三芴系列化合物特征

芴、氧芴和硫芴是三类分子环系结构相似的化合物, 习惯上称为“三芴”系列化合物。“三芴”的相对组成具有沉积环境指示意义, 一般而言, 海相咸水强还原环境原油及其烃源岩具有高硫芴含量。在芴一氧芴一硫芴系列化合物相对含量三角图中(图 4), 塔

河油田 99 件油样都集中在高硫芴、低芴和低氧芴含量一端, 而塔东 2 井($\epsilon-O_1$)原油却相去甚远, 落在了硫芴含量明显偏低的区域。总体上, 塔河原油的源岩都应该形成于高硫芴含量的偏还原性碳酸盐岩环境。

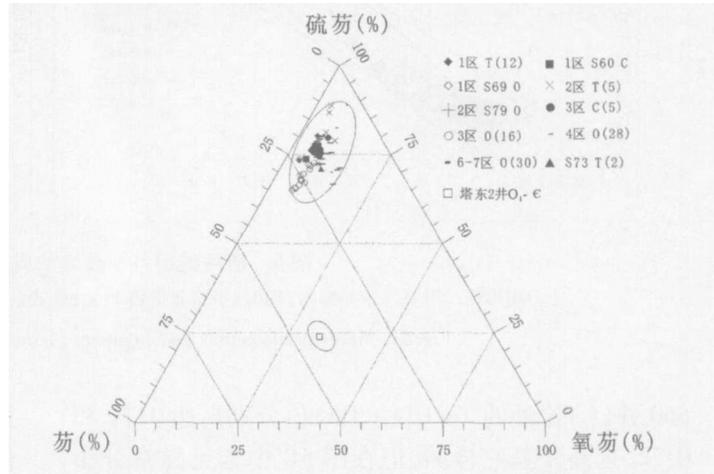


图 4 塔河油田各油藏原油与塔东 2($\epsilon-O_1$)

井原油三芴系列化合物聚类对比

(ϵ : 寒武系; O: 奥陶系; G 石炭系; T: 三叠系; J 侏罗系;
括号内为样品数)

Fig 4 Clustering and contrast of fluorine dibenzofuran and dibenzothiophene for oils from reservoirs of Tahe oilfield and well Tadong 2($\epsilon-O_1$)

2.5 成熟度分子地球化学特征

C_{29} 甾烷 $\alpha\alpha\alpha$ 20S ($20S+20R$) 是常用的成熟度参数, 但细菌常选择性地破坏其中 20R 立体构型而使 20S ($20S+20R$) 比值出现异常, 因此该成熟度参数不能用于遭受明显生物降解的塔河原油。成熟度参数 C_{29} 甾烷 $\alpha\beta\beta$ ($\alpha\alpha\alpha + \alpha\beta\beta$) 演化终点值为 0.70^[31], 塔河油田原油 C_{29} 甾烷 $\alpha\beta\beta$ ($\alpha\alpha\alpha + \alpha\beta\beta$) 分布在 0.53~0.58^[32]^④, 据此判断, 它们属于正常的成熟原油, 成熟度多处于生油高峰的前期, 其中, 4、6、7 区奥陶系原油 R_o 值在 0.70%~0.80%; 1、2、3 区各层原油 R_o 值在 0.80%~1.00%。18 α (H) 新藿烷成熟度参数 $T_s/(T_s+T_m)$ 和 $C_{29} T_s/(C_{29} T_s+C_{29} H)$ 的应用越来越广泛^[31, 33], 这两项参数对高一过成熟原油的成熟度判识尤为重要。图 5A 中塔河油田原油的 $T_s/(T_s+T_m)$ 和 $C_{29} T_s/(C_{29} T_s+C_{29} H)$ 值呈现出良好的正相关性, 而且 1、2、3 区各层原油成熟度总体高于 4、6、7 区奥陶系原油。1 区 S69 井 (O) 和

④ 王铁冠, 何发歧, 张卫彪, 等. 塔河油田奥陶系油藏成藏地球化学研究. 中国石油化工股份公司西北石油分公司, 2003. 105

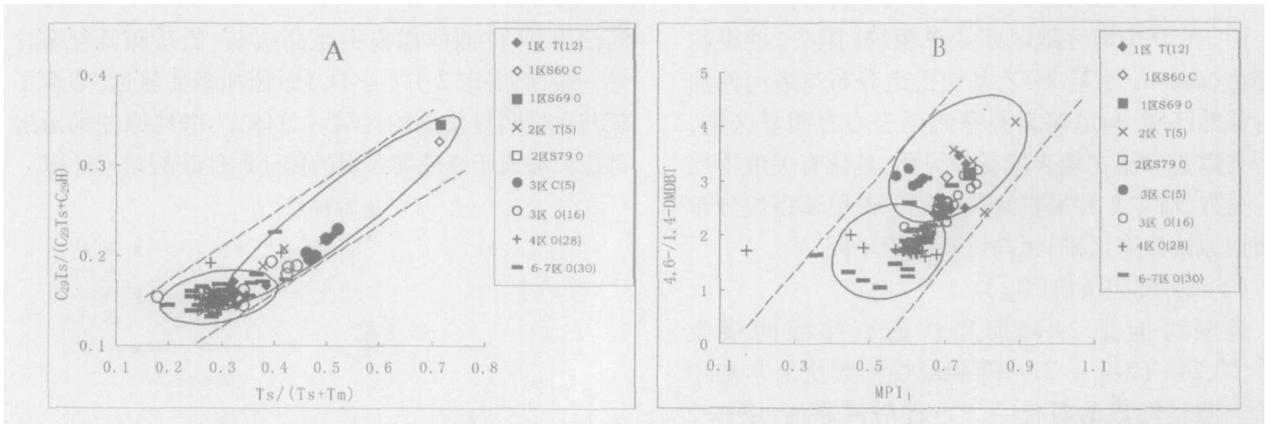


图 5 塔河油田各油藏原油成熟度分子地球化学特征

(DMDBT: 二甲基二苯并噻吩; MPI₁: 甲基菲指数 1; ε: 寒武系; O: 奥陶系; G: 石炭系; T: 三叠系; 括号内为样品数量)

Fig 5 Maturity molecular geochemistry characters of oils from Tahe oilfield reservoirs

S60井(C)原油的 $T_s/(T_s+T_m)$ 值分别高达 0.71 和 0.72 远高于其它样品,但在图 5B 中未见异常分布现象,暂不另作成藏期次划出(其 $T_s/(T_s+T_m)$ 值的异常分布也许与样品本身为凝析油有关)。

二苯并噻吩的甲基化作用和甲基重排作用在高一过成熟阶段仍然存在,甲基菲指数(MPI)值在 R_o 值大于 1.35% 时才发生逆转,因此二者都是原油高一过成熟阶段仍然有效的判识指标。图 5B 中,塔河原油的 4,6-/1,4-DMDBT(二甲基二苯并噻吩)与 MPI₁(甲基菲指数 1)呈现良好的正相关性,非常明晰地展现了塔河 1、2、3 区各层后期原油成熟度高于以 4、6、7 号区奥陶系强烈生物降解重油为代表的早期充注的原油。

2.6 全油及其族组分碳同位素特征

塔河及塔东 2 井 20 个原油样品的碳同位素特征见图 6。塔河油田原油全油 $\delta^{13}C$ 分布在 $-33.3\% \sim -31.5\%$,符合海相原油特征。不同族组分 $\delta^{13}C$ 分布在 $-33.6\% \sim -30.6\%$,最大差值不超过 3%,具备同一来源原油条件^[15a]。与塔东地区塔东 2 井($\epsilon-O_1$)原油存在明显差别,后者全油 $\delta^{13}C$ 为 -28.5% ,不同族组分的 $\delta^{13}C > -29.3\%$ 。

塔河不同区块间原油的规律是,4、6、7 区既有稳定碳同位素值偏低的油样(如 4 区的 S48、TK409、TK434 及 6~7 区的 S66、S74、T705 等井的奥陶系原油),也有与 1、2、3 区原油碳同位素值相近的原油。而 1、2、3 区不同层位原油碳同位素值普遍较高,仅 2 区 S79 井奥陶系原油例外。表明早期成藏原油主要分布在 4、6、7 区。

通常,原油及其族组分碳同位素组成存在如下规

律: $\delta^{13}C_{\text{烷烃}} < \delta^{13}C_{\text{原油}} < \delta^{13}C_{\text{芳烃}} < \delta^{13}C_{\text{非烃}} < \delta^{13}C_{\text{沥青质}}$,但是,研究区中 4、6、7 区原油族组分中沥青质的碳同位素值全部存在“倒转”现象,低于非烃,甚至芳烃组分(另外具有该特征的是 2 区的 S79 井奥陶系原油)。证实了塔河油田早期成藏原油(具有较低的全油和族组分碳同位素值)遭受生物降解后残留较多的沥青质组分,并与后期成藏原油相混合的事实。

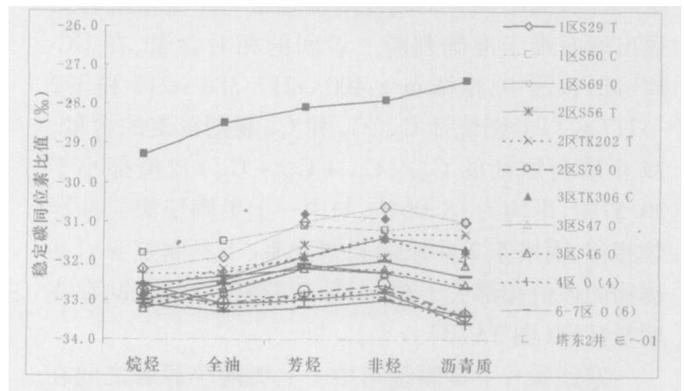


图 6 塔河油田各油藏及塔东 2 井($\epsilon-O_1$)原油全油及族组分碳同位素分布曲线

(ε: 寒武系; O: 奥陶系; G: 石炭系; T: 三叠系; 括号内为样品数量)

Fig 6 Carbon isotope distribution curves of oils and compositions for samples from Tahe oilfield reservoirs and Well Tadong 2($\epsilon-O_1$)

2.7 塔河油田油气成藏历史

有成果认为石炭纪之前有过一次生油、运移和聚集成藏过程^[34]。或认为志留纪末或泥盆纪初,满加尔坳陷中心部位的寒武系和下奥陶统有机质进入成熟期,所生成油气向包括阿克库勒隆起在内的古隆起运移,并使塔河油田地区成藏^[35]。顾忆等^[36]肯定了塔河油田总体存在早、晚两期的成藏历史过程,而王

铁冠等^①通过近期对塔河油田奥陶系油藏成藏时间和地层热演化历史的研究认为其前期充注成藏在加里东—晚期的中—晚志留世(429~415 Ma),后期充注成藏发生于喜马拉雅期的中新世—上新世(8~2 Ma)。塔河油田经历了早期成藏—油气藏调整(或破坏)与后期充注成藏的复杂过程,而后期成藏是一个持续、漫长的过程(海西晚期—喜马拉雅期^[1]),给原油类型的认识带来了困难,但总体上可以分为两个成藏期次(或阶段),这对于人们认清塔河油田原油特征、分析塔河油田成藏规律不无裨益。

3 结论

(1)塔河原油饱和烃总离子流图、25降藿烷质量色谱图、25降藿烷相对含量及其与原油密度相关性等,直观地展现了塔河油田存在的两期成藏过程。成熟度分子地球化学参数和原油碳同位素深入分析提供了关于两期成藏的有力证据。早期充注原油遭受了强烈生物降解,残留以非烃、沥青质为主的组分,可表现为重、稠油,主要分布在4、6、7区下奥陶统储层中。相当于 R_o 值0.70%~0.80%成熟阶段的生排烃产物,全油和族组分碳同位素普遍偏负,并且存在明显的沥青质碳同位素值“倒转”现象。晚期成藏原油相当于 R_o 值0.80%~1.00%的高成熟阶段的生烃产物,表现为正常油、甚至轻质油或凝析油,在塔河油田分布广泛,并以分布在1、2、3区的不同储层中为主。其全油和族组分碳同位素偏高且不存在沥青质同位素“倒转”现象。可与先期成藏原油的生物降解残留成分充分混合。

(2)碳同位素分析表明塔河原油符合海相原油特征并可能具有相同来源,与来自寒武系的塔东2井原油存在明显区别。“三萜”系列化合物相对组成同样证明塔河原油全部形成于偏还原性的沉积环境并与塔东2井原油存在差异。 C_{27} ~ C_{29} 规则甾烷相对组成,和具有生源或时代专属性甾类化合物甲藻甾烷、三芳甲藻甾烷、4甲基-24乙基胆甾烷、24降胆甾烷及 C_{28} 甾烷等的分布特征证明,塔河原油具有相同来源,并且与中—上奥陶统烃源岩间关系密切,与寒武系—下奥陶统烃源岩和来自寒武系的塔东2井原油之间存在明显分野。

参考文献(References)

1 顾忆.塔里木盆地北部塔河油田油气藏成藏机制.石油实验地质,2000,22(4):307~312[Gu Yi. Forming mechanism of hydrocarbon

- pools in Tahe oilfield of the northern Tarim basin. *Petroleum Geology and Experiment* 2000, 22(4): 307~312]
- 2 张抗.塔河油田性质和塔里木碳酸盐岩油气勘探方向.石油学报,2000,22(4):1~6[Zhang Kang. The characteristic of Tahe oilfield and the oil gas exploration direction in the carbonates of Tarim basin. *Acta Petroli Sinica* 2000, 22(4): 1~6]
- 3 丁勇,晏银华,顾忆,等.塔里木盆地塔河油田成藏史与成藏机制.新疆石油地质,2001,22(6):478~479[Ding Yong, Yan Yinhua, Gu Yi, et al. The reservoir formed history and mechanism of Tahe oilfield in Tarim basin. *Xinjiang Petroleum Geology* 2001, 22(6): 478~479]
- 4 马安来,张水昌,张大江,等.轮南、塔河油田稠油油源对比.石油与天然气地质,2004,25(1):31~38[Ma Anlai, Zhang Shuichang, Zhang Dajiang, et al. Oil and source correlation in Lunnan and Tahe heavy oil fields. *Oil & Gas Geology* 2004, 25(1): 31~38]
- 5 彼得斯 K E,莫尔多万 J M,著.姜乃煌,张水昌,林永汉,等,译.生物标记化合物指南——古代沉积物和石油中分子化石的解释.北京:石油工业出版社,1995. a 1~2, b 178~187, c 87~94[Peters K E, Moldovan J M. The Biomarker Guide: Interpreting Molecular Fossils in Petroleum and Ancient Sediments. Translated by Jiang Naihuang, Zhang Shuichang, Lin Yonghan, et al. Beijing: Petroleum Industry Press, 1995. a 1~2, b 178~187, c 87~94]
- 6 代世峰,唐跃刚,杨建业,等.烃源岩生烃性的飞行时间二次离子质谱研究.中国矿业大学学报,2000,29(6):581~586[Dai Shifeng, Tang Yuegang, Yang Jianye, et al. Study of TOF-MS on hydrocarbon generating potential of source rocks. *Journal of China University of Mining & Technology* 2000, 29(6): 581~586]
- 7 Dai S F, Ren D Y, Yang J Y, et al. TOF-SIMS study of the hydrocarbon-generating potential of mineral-bituminous groundmass. *Acta Geologica Sinica* 2000, 74(1): 84~92
- 8 孙玉善,金英爱,顾乔元,等.塔东2井古油藏成藏期分析.石油勘探与开发,2003,30(5):31~33[Sun Yushan, Jin Yingai, Gu Qiaoyuan, et al. Timing of paleo oil accumulation in Tadong No. 2 well, Tarim basin. *Petroleum Exploration & Development* 2003, 30(5): 31~33]
- 9 Seifert W K, Moldovan J M. The effect of biodegradation on steranes and terpanes in crude oils. *Geochimica et Cosmochimica Acta* 1979, 43: 111~126
- 10 Palkas J G, Monopolis D, Nicolau C A, et al. Geochemical correlation of surface and subsurface oil, western Greece. *Organic Geochemistry* 1986, 10: 417~432
- 11 Peters K E, Moldovan J M, Sundaram P. Effects of hydrous on biomarker thermal maturity parameters. *Monterey Phosphatic and Siliceous Members. Organic Geochemistry* 1990, 15: 249~265
- 12 陈建平,程克明,张大江.热模拟实验中生物标志物的演化.石油勘探与开发,1993,20(30~36)[Chen Jianping, Cheng Keming, Zhang Dajiang. Biomarkers evolution in hot simulation experiment. *Petroleum Exploration & Development* 1993, 20(30~36)]
- 13 Moldovan J M, Dahl J, Jacobson S R, et al. Chemostratigraphic reconstruction of biofacies: Molecular evidence linking Cyst forming dinoflagellates with pre-Triassic ancestors. *Geology* 1996, 24(2): 159~162

- 14 M oldowan JM, Ta lyzina N M. Biogeochem ical evidence for dinoflagellate ancestors in the early Cambrian. *Science*, 1998, 281: 1168 ~ 1170
- 15 Holba A G, Tegekar E W, Huizinga B J *et al*. 24 norcholestanes as age sensitive molecular fossils. *Geology*, 1998, 26: 783 ~ 786
- 16 Holba A G, D zou L I B, Masterson W D, *et al*. Application of 24 norcholestanes for constraining the age petroleum. *Organic geochemistry*, 1998, 29: 1269 ~ 1283
- 17 Zhang Shuichang, Bian Lizeng, He Zhonghua, *et al*. The abnormal distribution of the molecular fossils in the pre-Cambrian and Cambrian: its biological significance. *Science in China (Series D)*, 2002, 03: 769 ~ 775
- 18 Summons R E, Volkman J K, and Boreham C J. Geochimica et Cosmochimica Acta, 1987, 51: 3075 ~ 3082
- 19 Goodman D K. Dinoflagellate cysts in ancient and modern sediments. In Taylor F J R, ed. *The Biology of Dinoflagellates*. Oxford: Blackwell Scientific, 1987, 649 ~ 722
- 20 Heoby R, Morgan R, Patridge A A. A Palynological zonation of the Australian Mesozoic. In: *Studies in Australian Mesozoic Palynology*. Sydney: Association of Australian Palynologists, 1987, 1 ~ 94
- 21 Lipps J H. *Fossil Prokaryotes and Protists*. Boston: Massachusetts Blackwell Scientific Publications, 1993, 155 ~ 167
- 22 Withers N. Dinoflagellate Sterols. In: Taylor F J R, ed. *The Biology of Dinoflagellate*. Oxford: Blackwell Scientific, 1987, 316 ~ 359
- 23 Volkman J K, Barrett S M, Dunstan G A, *et al*. A new source of 4-methyl sterols and 5 α (H)-stanols in sediments: Prymnesiophyte microalgae of the genus Pavlova. *Organic Geochemistry*, 1990, 15: 489 ~ 497
- 24 M oldowan JM, Dahl J J, Jacobson S R, *et al*. Chemostratigraphic reconstruction of biofacies: Molecular evidence linking Cyst forming dinoflagellates with pre-Triassic ancestors. *Geology*, 1996, 24(2): 159 ~ 62
- 25 M oldowan JM. Trails of life. *Chemistry in Britain*, 2000, 36: 34 ~ 37
- 26 M oldowan JM, Ta lyzina N M. Biogeochem ical evidence for dinoflagellate ancestors in the early Cambrian. *Science*, 1998, 281: 1168 ~ 1170
- 27 Holba A G, Tegekar E W, Huizinga B J, *et al*. 24 norcholestanes as age sensitive molecular fossils. *Geology*, 1998a, 26: 783 ~ 786
- 28 Holba A G, D zou L I B, Masterson W D, *et al*. Application of 24 norcholestanes for constraining the age petroleum. *Organic geochemistry*, 1998b, 29: 1269 ~ 1283
- 29 Grantham P J, Wakefield L L. Variations in the sterane carbon number distributions of marine source rock derived crude oils through geological time. *Organic geochemistry*, 1988, 12: 61 ~ 76
- 30 Zhang Shuichang, Hanson A D, M oldowan JM, *et al*. Paleozoic oil source rock correlations in the Tarim basin, NW China. *Organic Geochemistry*, 2000, 31: 273 ~ 286
- 31 Peters K E, M oldowan JM. *The Biomarker Guide: Interpreting Molecular Fossils in Petroleum and Ancient Sediments*. Englewood Cliffs, New Jersey: Prentice Hall, 1993, 230 ~ 232
- 32 王传刚, 王铁冠, 何发歧, 等. 塔河油田原油稳定碳同位素特征及其成藏意义. *新疆石油地质*, 2005, 26(2): 156 [Wang Chuangang, Wang Tieguan, He Faqi, *et al*. Characters of oil stable carbon isotope and its pool forming mechanism of Tahe oilfield. *Xinjiang Petroleum Geology*, 2005, 26(2): 156]
- 33 王春江, 傅家谟. 18((H)-新藿烷及 17((H)-重排藿烷类化合物的地球化学属性与应用. *科学通报*, 2000, 45(13): 1366 ~ 1372 [Wang Chuangang, Fu Jiamu. The attribute and application of 18((H)-neohopane and 17((H)-rearranged hopanoid compounds. *Chinese Science Bulletin*, 2000, 45(13): 1366 ~ 1372]
- 34 叶德胜, 刘树辉. 塔里木盆地东北地区古油藏及其石油地质地质意义. 见: 贾润霄编. *中国塔里木盆地北部油气地质研究*. 武汉: 中国地质大学出版社, 1991, 317 ~ 326 [Ye Desheng, Liu Shuhui. Paleoreservoir and Its Petroleum Geology Meanings in Northeast of Tarim Basin. In: Jia Runxiao, ed. *Geology Research for Oil and Gas in North Tarim Basin*. Wuhan: China Geology University Press, 1991, 317 ~ 326]
- 35 张抗. 塔河油田的发现及其地质意义. *石油与天然气地质*, 1999, 20(2): 123 [Zhang Kang. The discovery of Tahe oilfield and its geological significance. *Oil & Gas Geology*, 1999, 20(2): 123].
- 36 顾忆, 黄继文, 邵志兵. 塔河油田奥陶系油气地球化学特征与油气运移. *石油实验地质*, 2003, 25(6): 749 [Gu Yi, Huang Jiwen, Shao Zhibing. Petroleum geochemistry and hydrocarbon migration in Tahe oilfield of the Tarim basin. *Petroleum Geology & Experiment*, 2003, 25(6): 749]

Molecular Geochemistry and Classifications of Genetic Types of Petroleum from Tahe Oilfield of the Northern Tarim Basin

WANG Chuangang¹, WANG Tieguan², ZHANG Weibiao¹, HE Faqi³

(1 Exploration & Production Research Institute SINOPEC Beijing 100083

2 China University of Petroleum Beijing 102249 3 Oil Department of SINOPEC Beijing 100029)

Abstract The results of GC, GC-MS and GC-MS/MS indicate that saturated hydrocarbon, ariena biomarkers and stable carbon isotope characteristics are of the same origin of oils from different zones in the Tahe Oilfield and oils were derived from the same source kitchen (or oil source formation). However, detail studies of oil physical properties, oil

maturity, biodegradation and stable carbon isotope of oil compositions revealed that the oil from the Tahe Oilfield has the early and later oil recharging periods. Earlier oils with Ro values varying from 0.70% to 0.80% are now mainly distributed in zones 4, 6 and 7 of the Ordovician hydrocarbon pools from the Tahe Oilfield and such oils have heavy or thick oil qualities due to the biodegradation. The subsequent oils with a high maturity of Ro values varying from 0.80% to 1.00% widely distributed in the Tahe Oilfield and they showed the physical properties of normal oil, clean oil and condensate oil. Owing to the fully blending of the two recharging oils, the later one present a complex geochemistry.

Key words Tahe Oilfield, molecular geochemistry, dinoflagellate, 25-norhepane, genetic type

欢迎订阅《沉积学报》

《沉积学报》是中国矿物岩石地球化学学会沉积学专业委员会、中国地质学会沉积地质专业委员会、中国科学院兰州地质研究所共同主办的综合性学术刊物,是全国自然科学核心期刊。主要刊载沉积学、沉积矿产、地球化学以及相关分支学科、交叉学科的基础和应用基础研究的创新性研究成果和高水平论文,介绍沉积学研究的新技术、新理论及国内外最新沉积学论著,同时也报导有关学术活动、学科研究动态及学术思想的讨论和争鸣。优先发表国家、省、部级重大科技项目及基金资助的在沉积学、地球化学前沿各分支领域以及学科交叉点上有创造性的研究成果。读者对象为大专院校地学专业的师生及科研院所的地学工作者。

2006年起《沉积学报》改为双月刊,16开本,每期144页,逢双月10日出版,定价30元,全年定价180元。国内外公开发行,欢迎广大读者到当地邮局订阅。

国内邮发代号:54-45

国外发行代号:Q832

同时欢迎各位专家学者踊跃投稿。

地址:兰州市东岗西路382号 中国科学院兰州地质研究所《沉积学报》编辑部

邮政编码:730000

联系电话:(0931)4960916

传真:(0931)8278667

Email: cjxb@ns.lzb.ac.cn