

文章编号: 0253-9985(2007)01-0025-10

塔中地区志留系砂岩中孔隙游离烃和包裹体烃 对比研究及油源分析

朱东亚^{1,2}, 金之钧¹, 胡文瑄³, 张学丰³, 姚素平³

(1. 中国石油化工股份有限公司 石油勘探开发研究院 博士后工作站, 北京 100083

2. 中国石油大学 博士后流动站, 北京 102249 3. 南京大学 地球科学系, 江苏 南京 210093)

摘要: 对塔里木盆地塔中地区 6 个志留系沥青砂岩样品中的孔隙游离烃和包裹体烃, 做了分离并分别进行了色-质分析。色-质分析表明孔隙游离烃和包裹体烃具有显著不同的特征: 前者表现为前峰型轻质烃特点, 主峰碳较小 (为 nC_{16} 或 nC_{20}), 无奇碳优势, 多伴有生物降解现象; 而后者多表现出双峰分布特征, 主峰碳数较大 (为 nC_{25} 或 nC_{29}), 有一定奇碳优势。在生物标志物上, 孔隙游离烃三环萜烷和孕甾烷含量都较高, C_{27} , C_{28} 和 C_{29} 甾烷呈不对称“V”字型分布; 而包裹体烃的三环萜烷和孕甾烷含量都较低, C_{27} , C_{28} 和 C_{29} 甾烷呈斜线上升型分布。油源对比表明, 沥青砂岩包裹体中捕获的烃与中-下寒武统烃源岩有关, 而孔隙游离烃则与中-上奥陶统烃源岩有关。

关键词: 孔隙游离烃; 包裹体烃; 色-质分析; 油源分析; 志留系; 塔中地区

中图分类号: TE125.2 **文献标识码:** A

Comparative study of free hydrocarbons in pores with inclusion hydrocarbons and oil-source rock correlation for Silurian sandstone in Tazhong area

Zhu Dongya^{1,2}, Jin Zhijun¹, Hu Wenxuan³, Zhang Xuefeng³, Yao Suping³

(1. Exploration & Production Research Institute, SINOPEC, Beijing 100083, China;

2. China University of Petroleum, Beijing 102249, China;

3. Department of Earth Sciences, Nanjing University, Nanjing, Jiangsu 210093, China)

Abstract Pore free hydrocarbons and inclusion hydrocarbons in 6 Silurian bituminous sandstone samples from the Tazhong area of Tarim basin are separated and analyzed with GC and GC-MS. The analysis results show that pore free hydrocarbons and inclusion hydrocarbons have different characteristics. The pore free hydrocarbons are represented by light hydrocarbons of pre-peak distribution and peak carbon number at nC_{16} or nC_{20} , without odd carbon number predominance, which are usually associated with significant biodegradation. The inclusion hydrocarbons are represented by heavy hydrocarbons of bimodal distribution and peak carbon number at nC_{25} or nC_{29} , with odd carbon number predominance. In respect of biomarker, the pore free hydrocarbons have a relatively high concentration of tricyclic terpanes and pregnane with the C_{27} , C_{28} and C_{29} steranes of asymmetrical “V” distribution, whereas the inclusion hydrocarbons have a relatively low concentrations of tricyclic terpanes and pregnane with the C_{27} , C_{28} and C_{29} steranes of oblique-ascending distribution. Oil-source correlation indicates that the hydrocarbons entrapped in the inclusions of bituminous sandstone might be sourced from the Middle-Lower Cambrian source rocks, while the pore free hydrocarbons might be generated by the Middle-Upper Ordovician source rocks.

Key words free hydrocarbon in pores; inclusion hydrocarbon; GC-MS analysis; oil-source correlation; Silurian; Tazhong area

收稿日期: 2006-07-14

第一作者简介: 朱东亚 (1974-), 男, 博士, 石油地质

基金项目: 国家重点基础研究发展规划 (973) 项目 (G1999043309)

大量研究表明,塔里木盆地古生界存在着两套有效烃源岩层,即中-下寒武统和中-上奥陶统烃源岩^[1,2]。塔里木盆地现今海相原油大多来自中-上奥陶统源岩^[3,4],而源于中-下寒武统烃源岩的油藏至今还没有发现。许多专家认为盆地中广泛发育的志留系沥青砂中的沥青与中-下寒武统烃源岩有关^[3~6],但由于沥青蚀变严重而难以获得可以对比的地球化学参数,加之古生界烃源岩时代老以及后期多期生排烃、多期运聚成藏、多期破坏和调整等复杂的演化过程^[7],给油源对比工作带来了很大的难度。致使人们对中-下寒武统烃源岩在地质历史上是否生过烃,生成了什么样的烃,是否有过成藏,还有否保存等问题存在较多的争议和分歧。

一般认为烃类包裹体多是油气早期成藏阶段的产物^[8]。由于处于矿物包裹体这样一个封闭体系中,在漫长的地质演化过程中,包裹体中的烃不易遭受生物降解等次生变化,即使在强烈的热变质作用下也能很好的保存下来^[9,10]。所以,包裹体中的烃类物质成分能保持相对的稳定,可以代表油藏中早期充注的烃类^[11~14]。对塔里木盆地而言,如果中-下寒武统烃源岩在地质历史上存在着大量的生烃过程,当生成的烃进入到储层后,将会被捕获到包裹体中并保存下来,成为探索中-下寒武统烃源岩成烃、成藏的良好样本。正基于此,作者选择了塔中地区含有烃类包裹体的典型沥青砂岩,进行了孔隙游离烃和包裹体烃的分离和提取,开展了气相色谱(GC)和色-质(GC-MS)分析,以求为全面认识塔里木盆地的成藏历史提供新的资料。

1 样品选取和实验方法

1.1 样品选取

Tz11, Tz12, Tz18, Tz47等井的岩心观察发现,志留系储层许多部位由于受到早期严重生物降解作用而形成了沥青砂岩,此后又有轻质液态烃注入到未被沥青完全占据的孔隙空间中。因沥青充填程度、含油性等方面的差异,这些井不同层段的砂岩在颜色上表现出褐黑色或黄褐色的特征,不同色调的砂岩层段在纵向上或厚或薄交替出现。

褐黑色砂岩层段在镜下表现为砂岩颗粒间的

大多数孔隙被黑色的沥青所占据,沥青附着在砂岩颗粒周围,剩余孔隙则被后期注入的液态烃所充填。紫外光下,沥青无荧光而呈黑色,液态烃发褐黄色或亮黄色荧光。与褐黑色砂岩层段相比,黄褐色层段的孔隙空间大多被液态烃所充填,只有少量的黑色沥青附着在砂岩颗粒上。

无论是褐黑色还是黄褐色砂岩都是以硅质胶结为主,部分可见钙质胶结,许多部位石英砂岩颗粒边缘都有明显的次生加大现象。紫外光下观察可见,在这些特征不同的沥青砂岩样品的石英颗粒次生加大边中捕获有石油包裹体,它们呈黄绿色或褐黄色荧光(图 1a b)。少数石英颗粒的次生加大边内还可见包裹了一定量的黑色沥青(图 1c d)。在本次研究中,对褐黑色和黄褐色两种特征的砂岩分别进行了取样,取样井位深度和样品特征见表 1,并对其中的孔隙游离烃和包裹体烃分别做了气相色谱(GC)和色-质分析(GC-MS)。

1.2 实验方法

对孔隙烃和包裹体烃进行分离时主要采取了快速冷冻碎样、盐酸脱附和重铬酸钾氧化等方法,其流程为:1)取沥青砂岩样品 1.0~1.5 kg 先碎成粒径 1~2 mm 的碎块,然后用氯仿浸泡进行常规抽提,得到沥青砂岩开放孔隙中的游离烃;2)将浸泡过的样品采用高压注水和快速冷冻相结合的方法进行碎样,即先将样品进行高压注水,然后放入冷冻室冷冻,取出后融化,再加入蒸馏水冷冻后再取出融化,如此反复直至样品解结成单个颗粒;3)筛选粒径 0.10~0.25 mm 的砂岩颗粒(主要是石英和长石类矿物) 100 g 进行氯仿抽提,初步除去颗粒表面的油气组分,随后用盐酸处理样品,一方面除去颗粒表面碳酸盐胶结物,另一方面部分残留吸附烃在酸性介质中能够从颗粒表面脱附;4)样品经清洗、干燥后,再用氯仿抽提去除颗粒表面紧密吸附的油气组分;5)进一步用浓硫酸、重铬酸钾洗液处理 12 h 清除颗粒表面可能残留的油气组分,将干净的样品尽可能磨细,再用氯仿抽提,即可得到颗粒中的包裹体烃。本次研究对孔隙游离烃和包裹体烃进行了分析。

饱和烃气相色谱(GC)分析在 HP6980型气相色谱仪上进行,色谱柱为 DB-1 型(30 m × 0.25 mm),载气为氦气。初始温度为 70℃,恒温

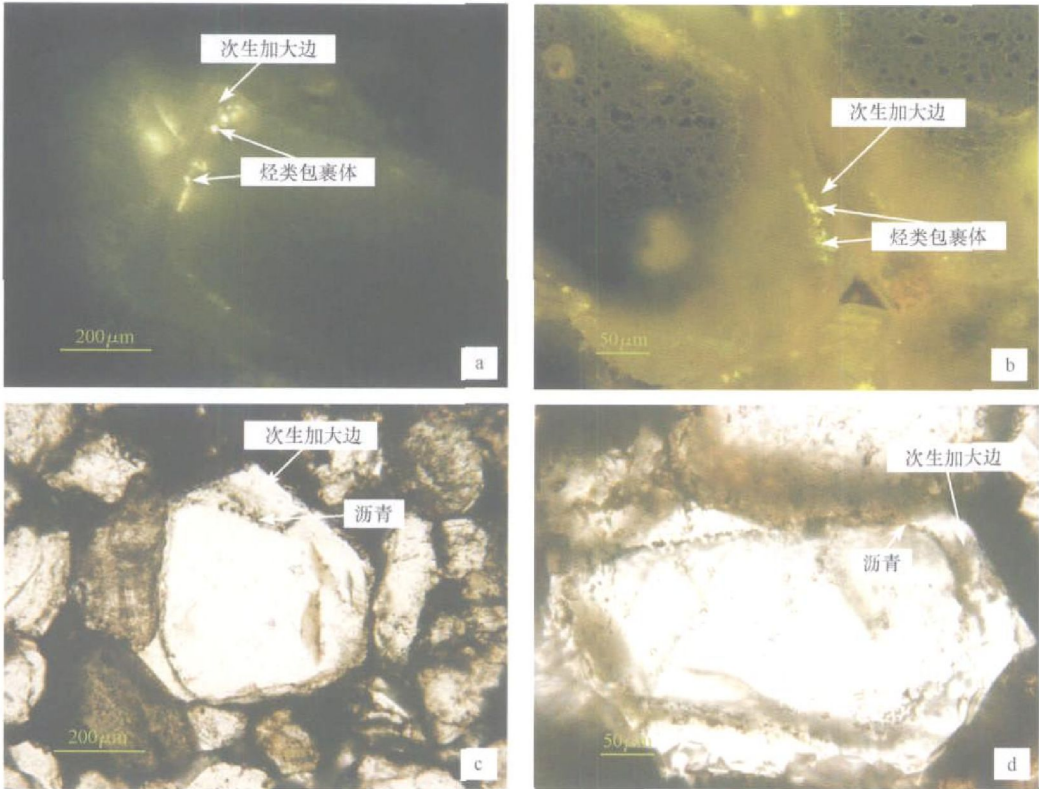


图 1 塔中地区志留系沥青砂岩石英次生加大边中的包裹体烃和包裹沥青

Fig. 1 Inclusion hydrocarbons and inclusion bitumen entrapped within the rim of quartz secondary enlargement in the Silurian bituminous sandstone in Tazhong area

a. b. 石英次生加大边中捕获的具有黄色荧光的烃类包裹体, 紫外光; c. d. 石英次生加大边中捕获的黑色沥青, 透射光

a. Tz11井, 4 419.82 m; b. Tz47井, 4 983.00 m; c. Tz12井, 4 387.70 m; d. Tz11井, 4 310.900 m

2 m in, 然后以 4℃/min 升温至 290℃, 在 290℃下恒温 30 min。饱和烃色-质 (GC-MS) 分析在 Fisons VG Quattro ㊟型质谱仪上进行, 连接到 Fisons GC-8000 Series 气相色谱仪, 色谱柱为 DB-1 型 (30 m×0.25 mm), 载气为氦气。初始温度为 70℃, 恒温 2 min, 然后以 4℃/min 升温至 290℃, 在 290℃下恒温 30 min。

2 结果和讨论

2.1 孔隙游离烃和包裹体烃气相色谱特征比较

2.1.1 孔隙游离烃气相色谱特征

从孔隙游离烃气相色谱图 (图 2a—f) 上可以看出, 6 个样品都表现出了一定程度生物降解的特征, 但饱和烃组分分布又都比较完整, 因此它们应为未遭受生物降解的液态烃和遭受生物降解烃相互叠加的结果。其中有 2 个样品 (图 2a, c) 的饱和烃组分含量较低, 它们在岩心上均为褐黑色沥青

砂岩 (表 1)。褐黑色沥青砂岩中的孔隙几乎完全被早期生物降解沥青所占据, 这样就阻碍了后期烃类的再次充注, 所以晚期液态轻质烃类的量较少。其他 4 个样品孔隙游离烃的气相色谱特征较为相似 (图 2b, d, e, f), 正构烷烃含量高、分布完整。这 4 个样品在岩心上均为黄褐色的含油砂岩, 其孔隙中仅有少量的沥青, 主要是被后期运移过来的液态轻质烃所充填。这 6 个样品的碳数分布范围介于 nC_{14} — nC_{34} 之间, 主峰碳为 nC_{16} ,

表 1 塔中地区志留系沥青砂岩样品深度和特征

Table 1 Depth and characteristics of Silurian bituminous sandstone samples in Tazhong area

样号	深度 /m	岩性特征
Tz11-1	4 310.9	褐黑色沥青砂岩
Tz11-2	4 419.8	黄褐色含油砂岩
Tz12-1	4 387.7	褐黑色沥青砂岩
Tz12-2	4 398.2	黄褐色含油砂岩
Tz47-1	4 983.0	黄褐色含油砂岩
Tz47-2	4 992.0	黄褐色含油砂岩

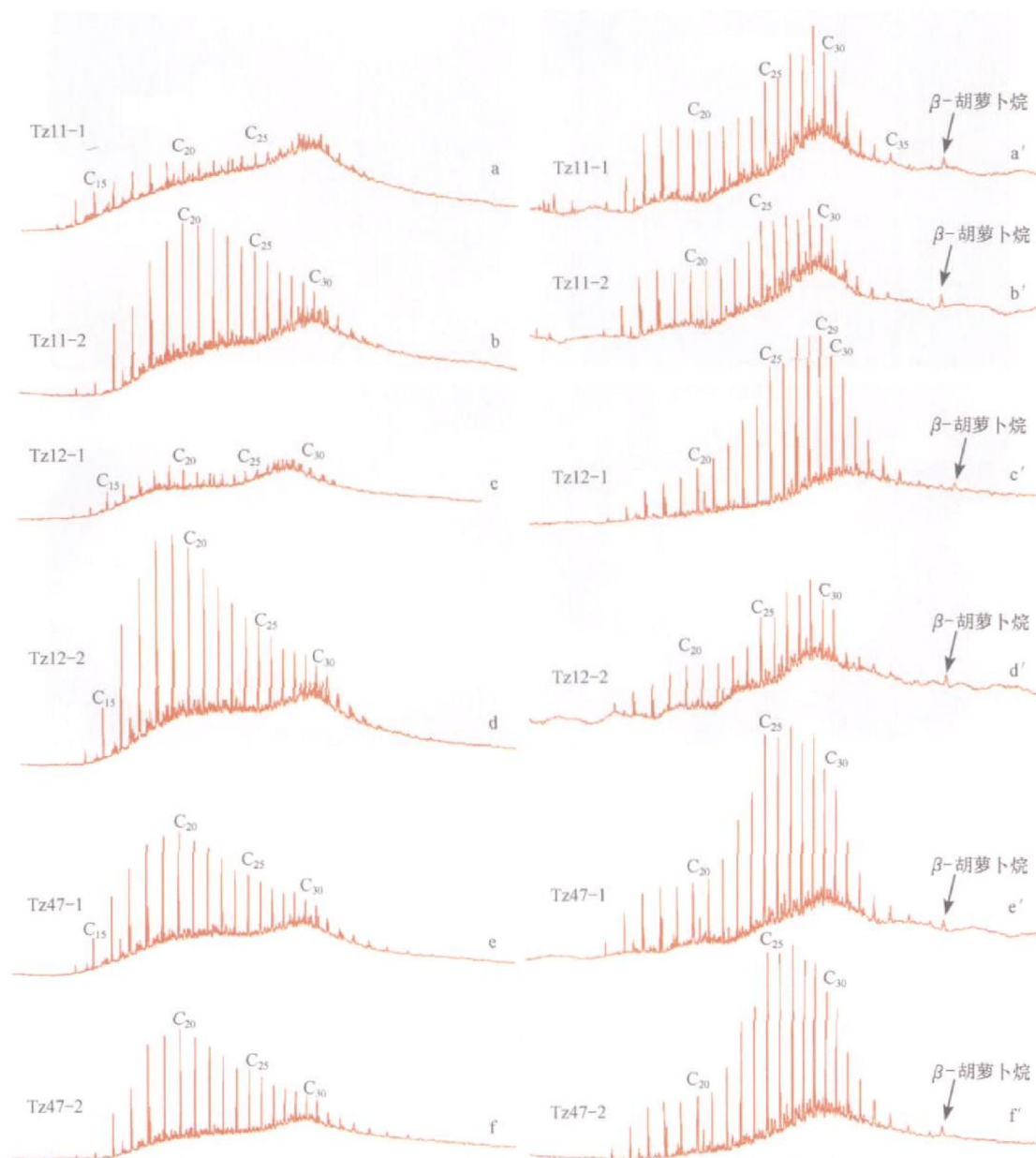


图 2 塔中地区志留系沥青砂岩中孔隙游离烃和包裹体烃气相色谱

Fig. 2 Gas chromatograms of free hydrocarbons in pores and inclusion hydrocarbons in the Silurian bituminous sandstone of Tazhong area
a—f. 孔隙游离烃; a'—f'. 包裹体烃

nC_{19} 或 nC_{20} 。

2.1.2 包裹体烃气相色谱特征

包裹体烃的饱和烃碳数分布也都比较完整, 气相色谱的基线或多或少也都有一定程度的向上隆起, 表明包裹体烃也具有一定的生物降解特征 (图 2a'—f')。这看起来与包裹体中的烃不易遭受次生变化相矛盾, 但结合砂岩颗粒次生加大的特点, 包裹体烃所表现出的生物降解特征并不难理

解。

从镜下观察可知, 许多石英砂岩颗粒的次生加大边中捕获有烃类包裹体 (图 1a b), 但也有一部分颗粒的次生加大边中包裹有少量的生物降解形成的沥青 (图 1c d)。包裹在次生加大边中的这部分沥青在砂岩颗粒被研磨碎之前并没能被去除掉, 在砂岩颗粒磨碎之后会和包裹体烃一起被抽提出来。受到沥青的影响, 包裹体烃就表现出了生物降解的特征, 这个特征实质上是包裹体烃

与包裹体沥青叠加的结果。6个包裹体烃样品的碳数分布介于 nC_{15} — nC_{35} 之间,主峰碳分别为 nC_{25} 或 nC_{29} ,都还表现出了一定的双峰分布的特征。

2.1.3 孔隙游离烃和包裹体烃气相色谱比较

从上述孔隙游离烃和包裹体烃气相色谱分析中可以看出,孔隙游离烃的主峰碳为 nC_{18} , nC_{19} 或 nC_{20} ,而包裹体烃的主峰碳为 nC_{25} 或 nC_{29} ,包裹体烃的主峰碳数要大于孔隙游离烃的主峰碳数。

在饱和烃轻重比上,孔隙游离烃的 $\sum C_{21}^- / \sum C_{22}^+$ 值分别为 0.93 0.73 0.65 1.19 0.90 和 0.85,包裹体烃的 $\sum C_{21}^- / \sum C_{22}^+$ 值分别为 0.39 0.43 0.14 0.38 0.19 和 0.18(表 2),孔隙游离烃的 $\sum C_{21}^- / \sum C_{22}^+$ 均大于相应的包裹体烃的 $\sum C_{21}^- / \sum C_{22}^+$ 值,表明孔隙游离烃中低碳数轻质组分占有相对较大的比例,而包裹体烃中高碳数重质组分占的比例较大。取孔隙游离烃样品中饱和烃含量较高、碳数分布比较完整的 4 个样品(图 2h d e f)和 6 个包裹体烃作出的正构烷烃碳数分布图(图 3)上可以看出,包裹体烃和孔隙游离烃在碳数分布上具有明显的差异,孔隙游离烃

中以轻质组分为主,而包裹体烃中则以重质组分为主,和轻重比的结果一致。

包裹体烃的 OEP 值分别为 1.22 1.29 1.12 1.34 1.16 和 1.20(表 2),表明包裹体烃具有一定的奇碳优势;从气相色谱图上(图 2a'—f')也可以看出,在碳数介于 nC_{25} — nC_{30} 之间的正构烷烃含量上,这些样品具有 $nC_{25} > nC_{26}$, $nC_{27} > nC_{28}$, $nC_{29} > nC_{30}$ 的明显奇碳优势的分布形式。孔隙游离烃的 OEP 值分别为 0.96 0.92 0.93 0.88 0.93 和 0.99,不具有奇碳优势的分布特点(表 2)。

包裹体烃无论在 Ph/nC_{18} 还是 Pr/nC_{17} 上都要大于孔隙游离烃的相应值(表 2),并且,从 Ph/nC_{18} 和 Pr/nC_{17} 关系图(图 4)上可以看出,孔隙游离烃和包裹体烃分别位于不同的区域,但各自内部都具有较好的一致性,并分别与图 4中所引用的中—上奥陶统和中—下寒武统烃源岩对应参数分布情况相一致。此外,包裹体烃都检测出一定量的 β -胡萝卜素,但孔隙游离烃则没有检测到。

2.2 孔隙游离烃和包裹体烃色—质特征比较

在萘烷(m/z 191)和甾烷(m/z 217)分布上,孔隙游离烃和包裹体烃各自内部有着很强的一致性,但相互之间却有着较为明显的区别(图 5 图 6)。从图 5 上可以看出孔隙游离烃具有相对较高

表 2 塔中地区志留系沥青砂岩中孔隙游离烃和包裹体烃有机地化参数

Table 2 Organic geochemistry parameters of free hydrocarbons in pores and inclusion hydrocarbons in the Silurian bituminous sandstone of Tazhong area

样品	类型	$\sum C_{21}^- / \sum C_{22}^+$	Pr/nC_{17}	Ph/nC_{18}	Pr/Ph	重排 / 规则	$C_{29}/C_{30}H$	三环 / 五环	$\alpha\beta\beta C_{29} / (\alpha\alpha\alpha C_{29} + \alpha\beta\beta C_{29})$	$\alpha\alpha\alpha C_{28} / C_{29}$	$C_{27}\%$	$C_{28}\%$	$C_{29}\%$
Tz11-1	孔隙烃	0.93	0.41	0.41	0.69	0.59	0.90	0.38	0.61	0.44	25.6	16.3	58.1
	包裹体烃	0.39	0.59	0.63	0.63	0.48	0.64	0.32	0.56	0.87	16.1	39.1	44.8
Tz11-2	孔隙烃	0.73	0.22	0.28	0.50	0.66	0.85	0.64	0.63	0.43	38.0	14.7	47.3
	包裹体烃	0.43	0.58	0.74	0.71	0.48	0.57	0.27	0.55	0.71	16.9	34.1	49.0
Tz12-1	孔隙烃	0.65	0.25	0.45	0.69	0.60	0.77	0.45	0.61	0.39	30.9	14.8	54.3
	包裹体烃	0.14	0.49	0.64	0.75	0.42	0.38	0.21	0.51	0.74	15.2	34.8	50.0
Tz12-2	孔隙烃	1.19	0.42	0.50	0.66	0.60	0.78	0.49	0.61	0.42	32.0	14.1	53.9
	包裹体烃	0.38	0.48	0.60	0.53	0.48	0.67	0.35	0.53	0.84	15.1	35.1	49.8
Tz47-1	孔隙烃	0.9	0.34	0.47	0.60	0.68	0.86	0.61	0.63	0.46	39.8	15.0	45.2
	包裹体烃	0.19	0.50	0.70	0.67	0.48	0.49	0.23	0.52	0.79	16.2	34.1	49.7
Tz47-2	孔隙烃	0.85	0.39	0.46	0.51	0.62	0.84	0.63	0.62	0.46	36.4	14.6	49.0
	包裹体烃	0.18	0.50	0.67	0.69	0.54	0.59	0.44	0.54	0.83	14.2	40.0	45.8

注:重排/规则—重排甾烷/规则甾烷: $C_{29}/C_{30}H-C_{29}$ 甾烷/ C_{30} 甾烷;三环/五环—三环萘烷/五环萘烷: $\alpha\beta\beta C_{29} / (\alpha\alpha\alpha C_{29} + \alpha\beta\beta C_{29}) - \alpha\beta\beta - C_{29} 20R$ 甾烷 / $(\alpha\alpha\alpha - C_{29} 20R$ 甾烷 + $\alpha\beta\beta - C_{29} 20R$ 甾烷); $\alpha\alpha\alpha C_{28} / C_{29} - \alpha\alpha\alpha - C_{28} 20R$ 甾烷 / $\alpha\alpha\alpha - C_{29} 20R$ 甾烷; $C_{27}\% - \alpha\alpha\alpha - C_{27} 20R$ 甾烷 / $(\alpha\alpha\alpha - C_{27} 20R + \alpha\alpha\alpha - C_{28} 20R + \alpha\alpha\alpha - C_{29} 20R)$ 甾烷; $C_{28}\% - \alpha\alpha\alpha - C_{28} 20R$ 甾烷 / $(\alpha\alpha\alpha - C_{27} 20R + \alpha\alpha\alpha - C_{28} 20R + \alpha\alpha\alpha - C_{29} 20R)$ 甾烷; $C_{29}\% - \alpha\alpha\alpha - C_{29} 20R$ 甾烷 / $(\alpha\alpha\alpha - C_{27} 20R + \alpha\alpha\alpha - C_{28} 20R + \alpha\alpha\alpha - C_{29} 20R)$ 甾烷。

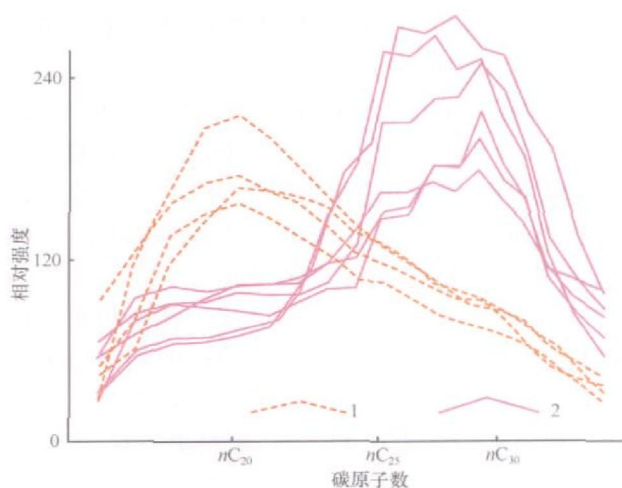


图 3 塔中地区志留系沥青砂岩中孔隙游离烃和包裹体烃碳数分布

Fig. 3 Carbon number distributions of free hydrocarbons in pores and inclusion hydrocarbons in the Silurian bituminous sandstone of Tazhong area

1. 孔隙游离烃; 2. 包裹体烃

的三环萜烷和升藿烷含量, 在升藿烷/ $17\alpha(\text{H})-\text{C}_{30}$ 藿烷(升藿烷为 $\geq \text{C}_{31}$ 藿烷之和)与三环萜烷/五环萜烷的关系图上可以看出两者有较为明显的区别(图 7)。在甾烷上, 孔隙游离烃具有相对较高的孕甾烷含量, 而包裹体烃的孕甾烷含量较低(图 6)。 C_{27} , C_{28} , C_{29} 甾烷含量百分比分布三角图(图 8)上可以看出孔隙游离烃和包裹体烃分别位于不同区域。孔隙游离烃具有相对较低的 C_{28} 甾烷含量和较高的 C_{27} 以及 C_{29} 甾烷含量, C_{27} , C_{28} , C_{29} 甾烷呈不对称“V”字型分布, 在含量上 C_{28} 甾烷 $<$ C_{27} 甾烷, C_{28} 甾烷 $<$ C_{29} 甾烷(表 2); 包裹体烃则具有较低的 C_{27} 甾烷含量, 但 C_{28} 和 C_{29} 甾烷含量较高, C_{27} , C_{28} , C_{29} 甾烷呈斜线上升型分布, 在含量上 C_{27} 甾烷 $<$ C_{28} 甾烷 $<$ C_{29} 甾烷(表 2)。

此外, 孔隙游离烃具有相对较高的三环萜烷/五环萜烷、重排甾烷/规则甾烷、 $\text{C}_{29}/\text{C}_{30}$ H、 $\alpha\beta\text{C}_{29}/(\alpha\alpha\alpha\text{C}_{29} + \alpha\beta\text{C}_{29})$ 值以及相对较低的 $\alpha\alpha\alpha-\text{C}_{28}/\text{C}_{29}$ 甾烷比值; 包裹体烃的上述生物标志物参数则与孔隙游离烃的相反(表 2)。

2.3 孔隙游离烃和包裹体烃油源特征分析

无论是在链烷烃分布, 还是甾萜类分布上, 孔隙游离烃和包裹体烃之间都有着较为明显的区别, 这些特征表明它们应分别来自不同的烃源岩。下古生界烃源岩研究结果表明, 中-上奥陶统烃

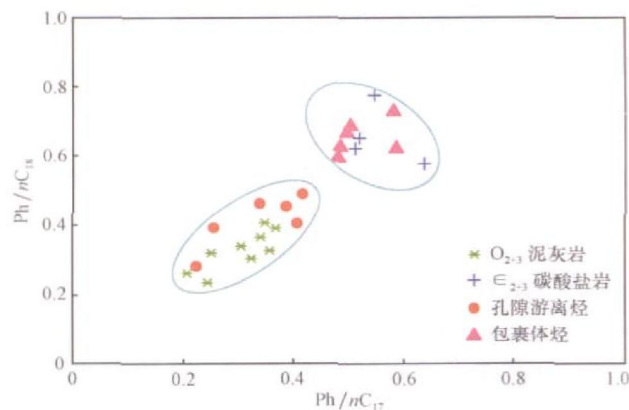


图 4 塔中地区志留系沥青砂岩中孔隙游离烃和包裹体烃 $\text{Ph}/n\text{C}_{18}$ 和 $\text{Pr}/n\text{C}_{17}$ 的关系^[15]

Fig. 4 Relationship between $\text{Ph}/n\text{C}_{18}$ and $\text{Pr}/n\text{C}_{17}$ values for free hydrocarbons in pores and inclusion hydrocarbons in the Silurian bituminous sandstone of Tazhong area

源岩的 C_{27} , C_{28} , C_{29} 甾烷呈不对称“V”字型分布^[2](图 9), 相对较高的重排/规则甾烷比值、相对较低的 $\text{C}_{28}/\text{C}_{29}$ 甾烷比值以及相对较高的三环萜烷含量^[13]; 而中-下寒武统烃源岩的 C_{27} , C_{28} , C_{29} 甾烷多呈斜线上升型, 部分呈反“L”型分布^[2](图 9), 具有相对较低的重排/规则甾烷比值、相对较低的 $\text{C}_{28}/\text{C}_{29}$ 甾烷比值以及相对较低的三环萜烷含量^[14]。把孔隙游离烃和包裹体烃分别与这两套烃源岩相对比可以看出, 孔隙游离烃和中-上奥陶统烃源岩的特征较为一致, 而包裹体中的烃与中-下寒武统烃源岩的特征较为一致。并且, 从图 4 上也可以看出孔隙游离烃和包裹体烃在 $\text{Ph}/n\text{C}_{18}$ 和 $\text{Pr}/n\text{C}_{17}$ 分布上分别和中-上奥陶统烃源岩和中-下寒武统烃源岩较为一致。由此可推断孔隙游离烃和包裹体烃应分别来自中-上奥陶统和中-下寒武统烃源岩。

2.4 成藏过程分析

对塔中地区有直接贡献的烃源岩为位于满加尔凹陷东部和塔中北斜坡的中-下寒武统海相灰岩源岩以及中-上奥陶统斜坡相泥岩源岩^[6, 8, 16~18]。其中, 中-下寒武统源岩在加里东晚期达到成熟阶段并大量生烃^[3, 5], 生成的烃类沿着断裂等通道运移到志留系储层中聚集成藏, 同时会被捕获到石英次生加大边中的包裹体中(图 1a b)。加里东晚期至早海西期的时候, 志留系地层遭受褶皱抬升, 并普遍受到剥蚀, 局部地区甚至

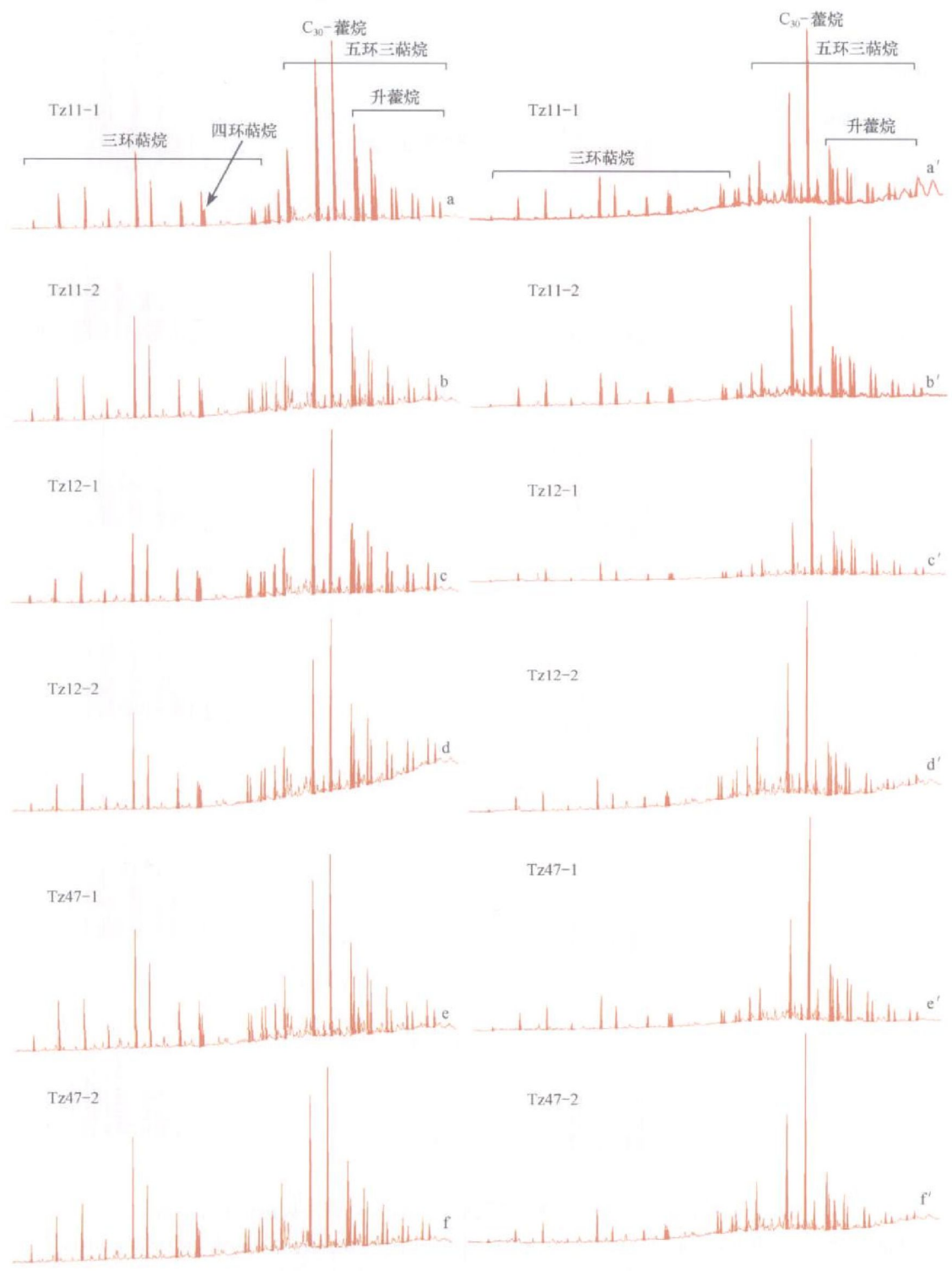


图 5 塔中地区志留系沥青砂岩中孔隙游离烃和包裹体烃萜烷分布特征
Fig. 5 Terpane distribution characteristics of free hydrocarbons in pores and inclusion hydrocarbons
in the Silurian bituminous sandstone of Tazhong area
a—f. 孔隙游离烃; a'—f'. 包裹体烃

剥蚀殆尽,这时志留系古油藏抬升至近地表或暴露于地表,在水洗、氧化淋滤以及生物降解等作用下转化为稠油和沥青^[5 19],只有包裹体中的烃类被完好的保存了下来。

直到海西晚期,塔里木盆地再次沉陷埋藏。在埋深过程中,成岩条件的改变导致石英砂岩颗粒再次发生次生加大,遭受生物降解后的沥青被包裹到此次形成的石英次生加大边中(图 1c d),

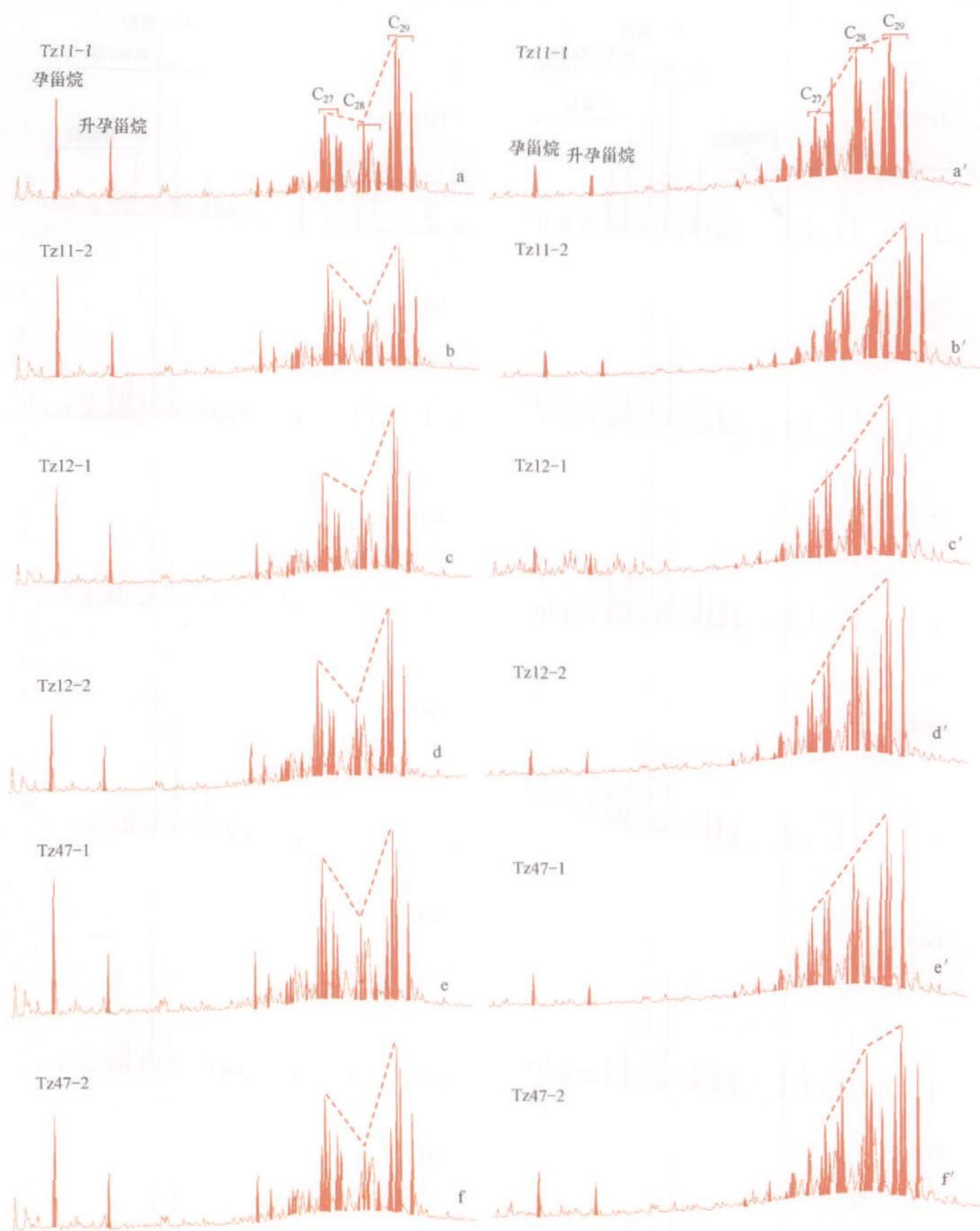


图 6 塔中地区志留系沥青砂岩中孔隙游离烃和包裹体烃甾烷分布特征

Fig. 6 Sterane distribution characteristics of free hydrocarbons in pores and inclusion hydrocarbons in the Silurian bituminous sandstone of Tazhong area
a—f. 孔隙游离烃; a'—f'. 包裹体烃

从而使包裹体烃的气相色谱上表现出一定程度上的生物降解的特征。此时,中-下寒武统源岩已进入生气阶段^[20],而不再具有大规模生油的能力^[3],志留系储层中已不大可能再有大量的中-下寒武统原油运移过来。燕山期至喜山期,中-上

奥陶统源岩进入成熟阶段并大量生烃^[3,4]。生成的液态烃类再次运移到志留系储层中,充填在未被早期沥青完全占据的孔隙中,并对沥青起到一定的溶解作用。中-上奥陶统原油是现今志留系油藏中原油的主体。

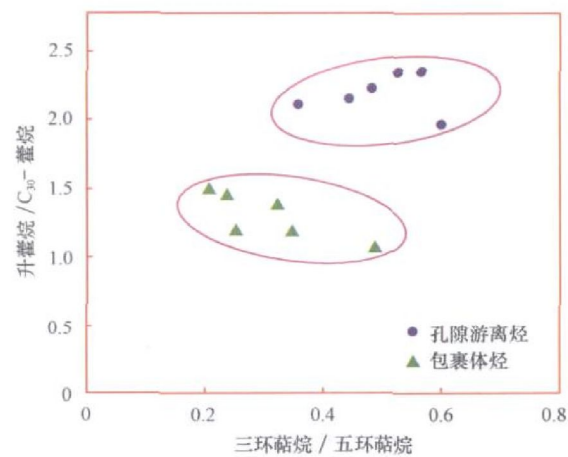


图 7 孔隙游离烃和包裹体烃升藿烷 /17α(H)- C₃₀ 藿烷与三环萜烷 /五环萜烷的关系

Fig. 7 Relationship between hopane/17α(H)-C₃₀ hopane and tricyclic terpane/pentacyclic terpane values for free hydrocarbons in pores and inclusion hydrocarbons in the Silurian bituminous sandstone of Tazhong area

3 结论

气相色谱 (GC)和色-质 (GC-MS)分析结果表明,志留系沥青砂岩中孔隙游离烃和包裹体烃之间具有明显的区别。油源对比显示,孔隙游离烃来自中-上奥陶统烃源岩,而包裹体烃则来自于中-下寒武统烃源岩。表明寒武系烃源岩在地质历史上的确存在着生烃过程,生成的烃运移到志留系砂岩储层中成藏。后因经历复杂而漫长的地质演化,生成的烃大多遭到破坏,降解成为沥青,只有捕获到矿物包裹体中的烃类被较好的保存了下来。目前塔里木盆地的勘探程度很低,许多地

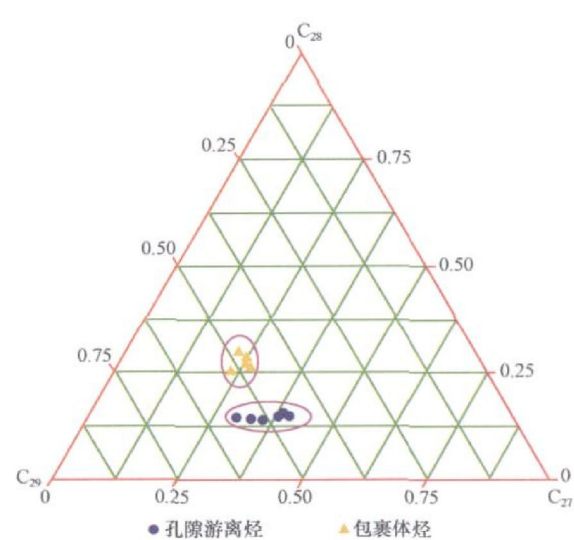


图 8 塔中地区志留系沥青砂岩中孔隙游离烃和包裹体烃 $\alpha\alpha\alpha$ -C₂₇ 20R 甾烷、 $\alpha\alpha\alpha$ -C₂₈ 20R 甾烷、 $\alpha\alpha\alpha$ -C₂₉ 20R 甾烷含量百分比分布三角图

Fig. 8 Triangular diagram of $\alpha\alpha\alpha$ -C₂₇ 20R, $\alpha\alpha\alpha$ -C₂₈ 20R and $\alpha\alpha\alpha$ -C₂₉ 20R sterane concentrations for free hydrocarbons in pores and inclusion hydrocarbons in the Silurian bituminous sandstone of Tazhong area

区 (特别是盆地内部和深层)尚未开展系统工作,很有可能在某些构造部位或良好的岩性圈闭中有中-下寒武统的原油被保存下来,这是今后工作应该注意的重要领域。另外,在现今勘探开发的塔中及塔北隆起地区,尽管中-下寒武统的原油大多被破坏,但仍然有不同程度的残留,并且可能会与奥陶系等其它源岩的烃相混合,给油源对比造成一定的困难,因此在实际工作过程中要充分考虑中-下寒武统烃类的影响,才能给出符合客观事实的解释。

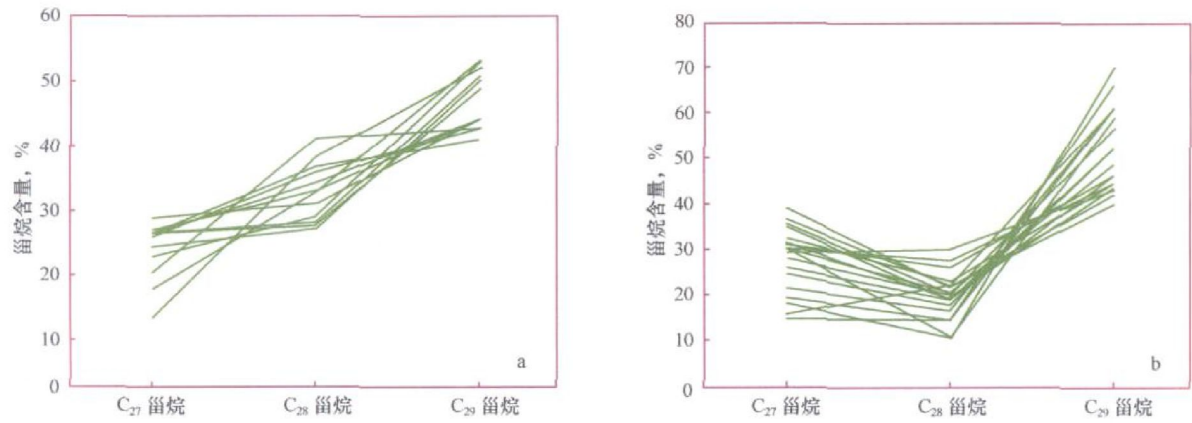


图 9 塔里木盆地下古生界烃源岩甾烷分布特征^[3]

Fig. 9 Terpane distribution characteristics of the Lower Paleozoic source rocks in Tarim Basin^[3]
a. 中-下寒武统; b. 中-上奥陶统

参 考 文 献

- 1 王飞宇, 刘长伟, 朱雷, 等. 塔里木盆地台盆区寒武系烃源岩有机成熟度 [J]. 新疆石油地质, 2002, 23(3): 372~ 375
- 2 马安来, 张水昌, 张大江, 等. 轮南、塔河油田稠油油源对比 [J]. 石油与天然气地质, 2004, 25(1): 31~ 38
- 3 张水昌, 张宝民, 王飞宇, 等. 中-上奥陶统: 塔里木盆地主要油源层 [J]. 海相油气地质, 2000, 5(1-2): 16~ 22
- 4 张水昌, 张宝民, 王飞宇, 等. 塔里木盆地中上奥陶统油源层地球化学研究 [J]. 石油学报, 2000, 21(6): 23~ 28
- 5 刘洛夫, 赵建章, 张水昌, 等. 塔里木盆地志留系沥青砂岩的成因类型及特征 [J]. 石油学报, 2000(6), 21: 12~ 17
- 6 林青, 王培荣, 金晓辉, 等. 塔中北斜坡塔中 45 井奥陶系油藏成藏史浅析 [J]. 石油勘探与开发, 2002, 29(3): 5~ 7
- 7 蔡希源. 塔里木盆地台盆区油气成藏条件与勘探方向 [J]. 石油与天然气地质, 2005, 26(5): 590~ 597
- 8 Gluyas J G, Robinson A G, Emery D, et al The link between petroleum emplacement and sandstone cementation [A]. In: Parker J R, ed. Petroleum geology of NW Europe [C]. London: Geological Society, 1993. 1 395~ 1 402
- 9 Hoffmann C F, Henley R W, Higgins N C, et al Biogenic hydrocarbons in fluid inclusions from the Aberfoyle tin-tungsten deposit Tasmania Australia [J]. Chemical Geology, 1988, 70: 287~ 299
- 10 Dutkiewicz A, Rasmussen B, Buick R. Oil preserved in fluid inclusions in Archaean sandstones [J]. Nature, 1998, 395(29): 885~ 888
- 11 Karlsen D A, Nedkvite T, Larter S R, et al Hydrocarbon composition of authigenic inclusions: application of petroleum reservoir filling history [J]. Geochimica et Cosmochimica Acta, 1993, 57: 3 641~ 3 659
- 12 George S C, Lisk M, Summons R E, et al Constraining the oil charge history of the south Pepper oil field from the analysis of oil-bearing fluid inclusions [J]. Organic Geochemistry, 1998, 29: 631~ 648
- 13 Bhullar A G, Karlsen D A, Backer-Owe K, et al Dating reservoir filling: a case study from North Sea [J]. Marine and Petroleum Geology, 1999, 16: 581~ 603
- 14 Pan C C, Yang J Q, Fu J M, et al Molecular correlation of free oil and inclusion oil of reservoir rocks in the Junggar Basin, China [J]. Organic Geochemistry, 2003, 34: 357~ 374
- 15 朱俊章, 包建平. 塔里木盆地寒武系-奥陶系海相烃源岩有机地球化学特征 [J]. 海相油气地质, 2000, 5(3-4), 55~ 59
- 16 林青, 林壬子, 王培荣, 等. 塔中北斜坡原油类型及主要油源层 [J]. 石油与天然气地质, 2001, 22(2): 150~ 153
- 17 Liu L F. Distribution and significance of the carbazole compounds in Palaeozoic oils from Tazhong uplift Tarim Basin [J]. Acta Geologica Sinica, 1998, 72(1): 82~ 93
- 18 Xiao X M, Song Z G, Liu D H, et al The Tazhong hybrid petroleum system, Tarim Basin, China [J]. Marine and Petroleum Geology, 2000, 17(1): 1~ 12
- 19 刘大锰, 金奎勋, 王凌志. 塔里木盆地志留系沥青砂岩的特性及其成因 [J]. 现代地质, 1999, 13(2): 169~ 175
- 20 马安来, 金之钧, 王毅. 塔里木盆地台盆区海相油源对比存在的问题及进一步工作方向 [J]. 石油与天然气地质, 2006, 27(3): 357~ 362

(编辑 武新民)

(上接第 24 页)

- 8 金强, 查明, 赵磊. 柴达木盆地西部第三系盐湖相有效生油岩的识别 [J]. 沉积学报, 2001, 19(1): 125~ 129
- 9 刘云田, 杨少勇. 柴达木盆地北缘侏罗系砂岩孔隙发育特征 [J]. 石油与天然气地质, 2001, 22(3): 267~ 269
- 10 王铁冠, 钟宁宁, 侯读杰, 等. 中国低熟油的几种成因机制 [J]. 沉积学报, 1997, 15(2): 75~ 83
- 11 夏燕青, 周凤英, 彭德华, 等. 柴达木盆地未成熟-低成熟油形成实验模拟 [J]. 天然气地球科学, 1999, 10(1): 30~ 36
- 12 邱楠生. 中国西部地区沉积盆地热演化和成烃史分析 [J]. 石油勘探与开发, 2002, 29(1): 6~ 8
- 13 邹华耀, 吴智勇. 镜质体反射率在重建盆地古地温中的应用——中国东部、西部中、新生代沉积盆地古地温特征 [J]. 沉积学报, 1998, 16(1): 112~ 119
- 14 Hunt J M. Generation and migration of petroleum from abnormally pressured fluid compartment [J]. AAPG Bulletin, 1990, 74(1): 1~ 12
- 15 Hindle A D. Petroleum migration pathways and charge concentration: a three-dimensional model [J]. AAPG Bulletin, 1997, 81(9): 1 451~ 1 481
- 16 邹华耀, 胡文义. 生长逆断层与油气生成、运移和聚集: 以柴达木盆地尕斯库勒断陷为例 [J]. 石油与天然气地质, 1993, 14(3): 200~ 206
- 17 车自成. 从青藏高原的隆起看柴达木盆地的形成与演变 [J]. 石油与天然气地质, 1986, 7(1): 87~ 94
- 18 张厚福, 方朝亮, 高先志, 等. 石油地质学 [M]. 北京: 石油工业出版社, 1999. 239~ 244

(编辑 陈喜禄)