

文章编号: 0253-2697(2016)05-0644-09 DOI:10.7623/syxb201605008

塔里木盆地台盆区奥陶系储层烃包裹体成熟度

蒋 静¹ 张 甬² 潘文龙³ 房启飞⁴ 赵 欣⁵ 余小庆²

(1. 中国地质大学能源学院 北京 100083; 2. 中国石油勘探开发研究院 北京 100083; 3. 中国石油大港油田公司勘探开发研究院 天津 300280; 4. 中国石油勘探开发研究院西北分院 甘肃兰州 730020; 5. 中国地质大学地球科学与资源学院 北京 100083)

摘要:利用生物标志化合物的构型异构特征,通过色谱-质谱分析技术(GC-MS)研究塔里木盆地台盆区烃包裹体的甾烷和藿烷参数特征来分析区内烃包裹体的成熟度。塔北和塔中地区海相碳酸盐岩烃包裹体主要为中—高成熟度,不同地区及期次可能有细微差异;塔北地区晚海西期烃包裹体成熟度在各地区相差较大,牙哈—金跃—热普地区烃包裹体均达到高成熟而其他地区为成熟;塔中地区晚海西期和燕山期—喜马拉雅期烃包裹体成熟度整体上比塔北地区高,认为相同期次油气充注时间比塔北地区相对较晚。塔中地区储集层原油成熟度整体比塔北地区低,说明塔北地区受后期改造作用较强。塔北地区油气以晚海西期和燕山期—喜马拉雅期两期油气为主要贡献,塔中地区燕山期—喜马拉雅期油气贡献度更大。

关键词:塔里木盆地;甾烷;藿烷;成熟度;烃包裹体

中图分类号:TE122.14 **文献标识码:**A

Hydrocarbon inclusion maturity of Ordovician reservoirs in craton area of Tarim Basin

Jiang Jing¹ Zhang Nai² Pan Wenlong³ Fang Qifei⁴ Zhao Xin⁵ Yu Xiaoqing²

(1. School of Energy Resources, China University of Geosciences, Beijing 100083, China; 2. PetroChina Research Institute of Petroleum Exploration and Development, Beijing 100083, China; 3. Research Institute of Petroleum Exploration and Development, PetroChina Dagang Oilfield Company, Tianjin 300280, China; 4. Northwest Branch Institute of PetroChina Research Institute of Petroleum Exploration and Development, Gansu Lanzhou 730020, China; 5. School of Geosciences and Resources, China University of Geosciences, Beijing 100083, China)

Abstract:Based on the configuration heterogeneous characteristics of biomarkers, the sterane and hopanoid characteristics of hydrocarbon inclusions in craton area of Tarim Basin are studied using chromatography-mass spectrometry (GC-MS), so as to analyze the maturity of hydrocarbon inclusions. The hydrocarbon inclusions of marine carbonates in North Tarim and Central Tarim mainly show mid-high maturity, and slight differences might exist among different regions and stages. In North Tarim during the Late Hercynian, the maturity of hydrocarbon inclusions varied a lot in each region. Hydrocarbon inclusions in Yaha-Jinyue-Repu area were highly mature, while mature in other regions. As compared with North Tarim, the maturity of hydrocarbon inclusions was comprehensively higher in Central Tarim during the Late Hercynian and Yanshan-Himalayan, where hydrocarbon charging in the same stage was considered posterior to North Tarim. The maturity of crude oil in Central Tarim was lower than that in North Tarim as a whole, indicating that North Tarim underwent more severe late reformation. The hydrocarbons in both Hercynian and Yanshan-Himalayan stages made a major contribution in North Tarim, while those had a greater contribution in Central Tarim.

Key words: Tarim Basin; sterane; hopanoid; maturity; hydrocarbon inclusions

引用:蒋静,张甬,潘文龙,房启飞,赵欣,余小庆.塔里木盆地台盆区奥陶系储层烃包裹体成熟度[J].石油学报,2016,37(5):644-652,679.

Cite: Jiang Jing, Zhang Nai, Pan Wenlong, Fang Qifei, Zhao Xin, Yu Xiaoqing. Hydrocarbon inclusion maturity of Ordovician reservoirs in craton area of Tarim Basin[J]. Acta Petrolei Sinica, 2016, 37(5): 644-652, 679.

自从 Connan^[1,2]和 Philp^[3]将生物标志化合物引入油气藏研究以来,生物标志化合物,尤其是甾烷和藿烷类化合物广泛应用于油藏化学研究。如指示生源: C₂₇甾烷来源于藻类、真核生物等低等水生生物,而较高的 C₂₉甾烷则来源于高等陆源有机质^[4],高丰度的

C₃₅升藿烷一般与海相碳酸盐岩或蒸发盐岩有关^[5]。指示成熟度: Scifert^[6]提出 C₂₉甾烷 20S/(20S + 20R)和 $\beta\beta/(\alpha\alpha + \beta\beta)$ 比值可以指示原油的成熟度, Huang等^[7]根据 C₂₉甾烷这 2 个参数比值将原油划分为未成熟油、低成熟油和成熟油, van Graas^[8]提出了萜类和藿烷

基金项目: 中国石油塔里木油田公司科研项目(041014080008)资助。

第一作者及通信作者: 蒋 静,男,1989年9月生,2013年获成都理工大学资源勘查工程专业学士学位,现为中国地质大学(北京)硕士研究生,主要从事油气地质学、沉积学、岩石学和流体包裹体研究。Email: jpp406202655@163.com

的绝对浓度、重排甾烷/甾烷及 $T_s/(T_s + T_m)$ 等是反映高成熟度的参数。还用于油源对比、油气运移等。甾烷和藿烷参数在中国也得到广泛应用:王春江^[9]以下辽西部凹陷原油得出新藿烷及重排藿烷类化合物可用作判识原油成熟度的有效指标;赵孟军^[10]认为高含量的 $17\alpha(H)$ -重排藿烷的抽提物和原油主要源于氧化—亚氧化环境的沼泽—浅湖相烃源岩的沉积特征;王广利^[11]在济阳拗陷古近系沉积中检测出 3β -烷基甾烷类化合物,并与规则甾烷差向异构化作用的趋势一致;姜振学^[12]研究发现塔中地区储层油的成熟度高于对应层位的烃包裹体,认为是原油再次充注的结果;祁灵^[13]根据规则甾烷“V”字型分布和 C_{27} 主峰特征说明柴达木盆地七个泉油田原油母质为低等水生生物为主, $\alpha\alpha\alpha C_{29}$ 甾烷 $20S/(20S + 20R)$ 与 C_{29} 甾烷 $\beta\beta/(\alpha\alpha + \beta\beta)$ 比值揭示为低熟原油;马安来^[14]发现塔北隆起轮东地区奥陶系原油存在 2 类:一类高重排甾烷、高藿烷、低三环萜烷;另一类则对应相反,但成熟度较高。

塔里木盆地台盆区是塔里木盆地主要产油带。目前有关台盆区奥陶系原油地球化学特征的报道较多^[12,14-19],但烃包裹体地球化学研究较少,将原油组分和烃包裹体组分一起对比分析更少。笔者利用 GC-MS 技术对塔里木盆地塔北和塔中地区奥陶系储层烃包裹体组分和原油组分成熟度研究,分期次探讨烃包裹体成熟度及其对现今油气藏的贡献。

1 样品与分析

1.1 样品制备

样品制备方法为:①样品挑选:先在薄片或光片上进行(荧光)显微镜分析观察被测包裹体及赋存矿物。一般挑选大于 $10\ \mu\text{m}$ 、离顶面近的同期次烃包裹体;并确定赋存矿物成分,为测试结果中减去赋存矿物成分做准备。然后在光片上圈定同一世代待测包裹体。②样品净化:用三氯甲烷淋滤 7d,至淋滤液无任何色调。用二氯甲烷抽提矿物清洗液,然后加入内标角鲨烷(约 0.58 g)做 GC-MS 分析,监测样品是否已达到清洁要求。③打开包裹体提取成分:采用微钻法打开包裹体,在低温下对塔北和塔中地区奥陶系发荧光的烃包裹体进行组分提取^[20,21],值得注意的是微钻时打开包裹体的钻径孔洞不能太大,防止目标包裹体附近分散的沥青质等有机物污染。

1.2 GC-MS 分析

将提取出来的烃包裹体组分,通过 Thermo-Trace GC Ultra-DSQ II 气相色谱-质谱联用仪进行色谱质谱鉴定。运用 xcaliber 2.07 软件在测试结果 m/z 191 和 m/z 217 质量色谱图中确定研究所需各特征峰。

利用峰面积法算出成熟度分析所需的藿烷和甾烷参数(表 1)。

2 塔北和塔中地区奥陶系烃包裹体期次

对塔里木盆地塔北和塔中地区奥陶系近 51 口井近 3 000 多个样品系统性观察,并总结前人研究成果^[22-31]。塔北和塔中地区主要发育 3 期烃包裹体:加里东期晚期—早海西期、晚海西期和燕山期—喜马拉雅期,各地区可能出现细微调整(表 2)^[32,33]。本次烃包裹体组分提取由于技术原因不能对气态烃提取,黑色液态烃在显微荧光取样系统上与黑沥青无法区分,因此也未做组分分析,仅对发荧光的烃包裹体进行了组分分析。塔北地区第 I 期发褐色荧光的褐色烃包裹体[图 1(a)、图 1(b)]形成时期为晚加里东期—早海西期^[32];第 II 期发黄色荧光的烃包裹体[图 1(c)、图 1(d)]形成时期为晚海西期;第 III 期发蓝色荧光的无色液气烃包裹体[图 1(e)、图 1(f)]形成时期为燕山期—喜马拉雅期。塔中地区第 II 期发中等黄色和白色荧光的液烃包裹体[图 1(g)、图 1(h)],形成时期为晚海西期^[33];第 III-2 期发蓝色荧光的液气烃包裹体[图 1(i)、图 1(j)]形成时间为燕山期—喜马拉雅期。

3 塔北和塔中地区甾烷参数特征

3.1 烃包裹体甾烷参数

地质条件下,生物合成的链中心 R 构型在受热过程中将向 S 构型转化而形成 R + S 构型的混合物。这样 C_{27} 、 C_{28} 、 C_{29} 甾烷的 $20S/(20S + 20R)$ 的比值就会随成熟度的升高而增大^[34]。由于 C_{27} 和 C_{28} 甾烷的异构化比值常常受共逸峰的干扰,所以 C_{29} 甾烷异构化参数 $\alpha\alpha\alpha C_{29}$ 甾烷 $20S/(20S + 20R)$ 与 C_{29} 甾烷 $\beta\beta/(\alpha\alpha + \beta\beta)$ 是定量判识原油成熟度的有效指标。南青云^[35]认为随着成熟度的增加, $\alpha\alpha\alpha C_{29}$ 甾烷 $20S/(20S + 20R)$ 比值从 0 升到约 0.5(0.52~0.55 为平衡状态),而 C_{29} 甾烷 $\beta\beta/(\alpha\alpha + \beta\beta)$ 达到平衡状态时相对迟缓,从非零值增加到 0.7(0.67~0.71 为平衡状态),且与源岩有机质输入无关,故 C_{29} 甾烷 $\beta\beta/(\alpha\alpha + \beta\beta)$ 评价高成熟阶段更为有效。Huang 等^[7]将 $\alpha\alpha\alpha C_{29}$ 甾烷 $20S/(20S + 20R)$ 值为 0.25 和 C_{29} 甾烷 $\beta\beta/(\alpha\alpha + \beta\beta)$ 值为 0.27 定为未熟和低熟的界限;将 $\alpha\alpha\alpha C_{29}$ 甾烷 $20S/(20S + 20R)$ 值为 0.43 和 C_{29} 甾烷 $\beta\beta/(\alpha\alpha + \beta\beta)$ 值为 0.42 定为低熟和成熟的界限。由于不同地区实际地质条件的不同成熟度的判别标准就不同,塔里木盆地油气“九五”(1996—2000 年)攻关成果所确认的低熟油判别标准 $\alpha\alpha\alpha C_{29}$ 甾烷 $20S/(20S + 20R)$ 与 C_{29} 甾烷 $\beta\beta/(\alpha\alpha + \beta\beta)$ 的值分别小于 0.3 和 0.32^[36]。

表1 塔北和塔中地区奥陶系烃包裹体甾烷和藿烷成熟度参数值

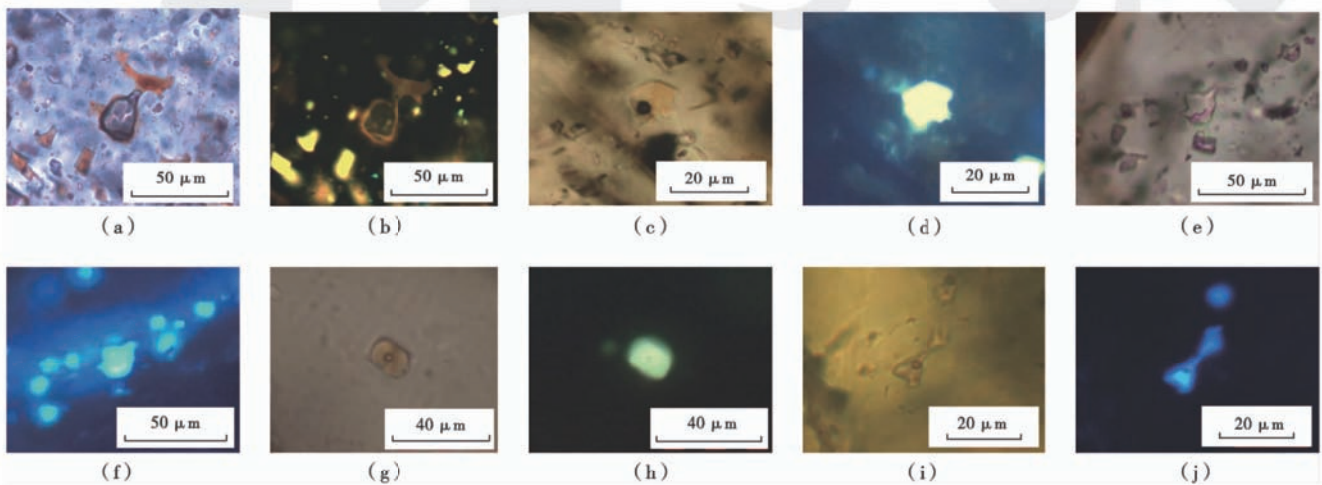
Table 1 Sterane and hopanoid maturity parameter values of hydrocarbon inclusions in Ordovician of North and Central Tarim

地区	井号	形成时期	期次	Ts/ (Tm + Ts)	C ₂₉ 20S/ (20S + 20R)	C ₂₉ ββ/(αα + ββ)	C ₃₁ 22S/ (22S + 22R)	C ₃₀ 17α21β/ (17α21β + 17β21α)	成熟度
塔北地区	解放 127	早海	I	0.44	0.389	0.378	0.580	0.889	中—高成熟
	英古 2	西期	I	—	—	—	0.547	0.889	成熟
	英买 201		II	0.42	0.405	0.417	0.541	0.888	成熟
	英买 201		II	0.44	0.380	0.381	0.555	0.881	成熟
	英古 2		II	0.42	0.399	0.399	0.527	0.878	成熟
	英古 2		II	0.44	0.446	0.440	0.565	0.888	高成熟
	新垦 4		II	0.45	0.425	0.432	0.549	0.889	成熟
	新垦 7		II	0.50	0.457	0.431	0.554	0.879	高成熟
	哈 6		II	0.47	0.445	0.399	0.568	0.875	成熟
	哈 601-1		II	0.48	0.474	0.395	0.533	0.899	中—高成熟
	哈 902		II	0.46	0.528	0.523	0.528	0.885	高成熟
	哈 902		II	0.45	0.475	0.547	0.570	0.886	高成熟
	金跃 2		II	0.35	0.524	0.550	0.452	0.910	高成熟
	金跃 2		II	0.36	0.503	0.553	0.475	0.910	高成熟
	热普 3-1	晚海 西期	II	0.35	0.492	0.540	0.434	0.915	高成熟
	热普 4		II	0.42	0.465	0.358	0.589	0.881	中—高成熟
	热普 7		II	0.37	0.493	0.529	0.470	0.907	高成熟
	轮古 102		II	0.42	0.381	0.389	0.576	0.874	成熟
	轮古 351		II	0.44	0.381	0.388	0.561	0.877	成熟
	轮古 36		II	0.43	0.393	0.386	0.580	0.879	成熟
	轮古 39		II	0.40	0.375	0.367	0.592	0.871	成熟
	解放 127		II	0.41	0.477	0.376	0.563	0.879	成熟
	解放 127		II	0.45	0.458	0.377	0.565	0.878	成熟
	解放 127		II	0.43	0.440	0.364	0.577	0.871	成熟
	解放 127		II	0.44	0.376	0.377	0.574	0.879	成熟
	轮南 23		II	0.46	0.389	0.385	0.530	0.888	成熟
	轮南 39		II	0.43	0.462	0.368	0.559	0.879	中—高成熟
	轮南 54		II	0.43	0.377	0.372	0.546	0.874	成熟
	英买 201		III	0.45	0.389	0.400	0.573	0.875	成熟
	英买 201		III	0.45	0.388	0.413	—	—	成熟
	英古 2		III	0.39	0.396	0.409	0.561	0.879	成熟
	金跃 2	燕山期	III	0.45	0.420	0.435	0.515	0.862	中—高成熟
金跃 2	—喜	III	0.49	0.499	0.470	—	—	高成熟	
轮古 351	—雅	III	0.43	0.383	0.379	0.578	0.878	成熟	
轮古 351	—雅	III	0.45	0.390	0.381	0.563	0.877	成熟	
解放 127		III	0.42	0.381	0.386	0.543	0.884	成熟	
解放 127		III	0.48	0.402	0.404	0.549	0.884	成熟	
轮南 54		III	0.44	0.461	0.375	0.598	0.883	高成熟	
塔中 201-1H		II	0.43	0.499	0.465	0.568	0.876	高成熟	
塔中 62	晚海 西期	II	0.49	—	—	0.570	0.862	中—高成熟	
塔中 62		II	0.50	0.400	0.465	0.567	0.863	成熟	
塔中 62		II	0.49	0.458	0.411	0.572	0.866	成熟	
塔中 45		III-2	0.49	0.467	0.339	0.585	0.867	成熟	
塔中 45		III-2	0.48	0.445	0.361	0.585	0.874	中—高成熟	
塔中 45		III-2	0.48	0.341	0.396	0.587	0.866	成熟	
塔中 822		III-2	0.46	0.449	0.392	0.568	0.873	成熟	
塔中 822		III-2	0.43	0.437	0.392	—	—	成熟	
塔中 822		III-2	0.43	—	—	0.559	0.871	成熟	
塔中 822		III-2	0.44	—	—	0.571	0.801	成熟	
中古 7		III-2	0.47	0.463	0.357	0.555	0.877	成熟	
中古 7	燕山期	III-2	0.46	0.486	0.357	0.545	0.881	中—高成熟	
塔中 83	—喜	III-2	0.46	0.452	0.413	0.576	0.872	成熟	
塔中 83	—雅	III-2	0.45	0.470	0.391	0.588	0.881	高成熟	
塔中 30		III-2	0.39	0.446	0.370	0.624	0.861	中—高成熟	
塔中 30		III-2	0.39	0.438	0.372	0.600	0.862	中—高成熟	
塔中 62		III-2	0.50	0.461	0.368	0.593	0.875	中—高成熟	
塔中 62		III-2	0.47	0.497	0.363	0.594	0.869	中—高成熟	
塔中 161		III-2	0.40	0.419	0.384	0.561	0.860	成熟	
塔中 161		III-2	0.43	0.430	0.384	0.565	0.887	成熟	
塔中 24		III-2	0.48	0.459	0.371	0.559	0.850	成熟	
塔中 24		III-2	0.47	0.444	0.375	0.584	0.855	中—高成熟	

表 2 塔北和塔中地区烃包裹体期次

Table 2 Stages of hydrocarbon inclusions in North and Central Tarim

时期	塔北地区	本次研究	塔中地区	本次研究
晚加里东期— 早海西期	第 I 期发褐色荧光或 无色荧光烃包裹体	✓	第 I 期不发荧光或发极弱荧光 的黑色液相烃包裹体	
晚海西期	第 II 期发黄色荧光 的烃包裹体	✓	第 II 期发中等黄色和 白色荧光的烃包裹体	✓
燕山期— 喜马拉雅期	第 III 期发蓝白色 荧光的烃包裹体 第 VI 期黑色烃包裹体	✓	第 III 期 III-1 发棕红色 荧光烃包裹体 III-2 发强蓝色 荧光烃包裹体 第 IV 期发黄色荧光烃包裹体、 黑色气烃包裹体和沥青质包裹体	✓



(a)褐黄色的液气烃包裹体,英买 2 井 5 921.15 m,单偏光;(b)图(a)中发褐色荧光和黄色荧光烃包裹体,荧光;(c)黄色气液烃包裹体,东河 24 井 5 782.08 m,单偏光;(d)图(e)中发黄色荧光的烃包裹体,荧光;(e)粉红色烃包裹体,英买 201 井 6 112.54 m,单偏光;(f)图(e)中发蓝色荧光的烃包裹体,荧光;(g)黄色气液烃包裹体,塔中 161 井 4 290.9 m,单偏光;(h)图(g)中发黄色荧光的烃包裹体,荧光;(i)黄色气液烃包裹体,塔中 62 井 4 828m,单偏光;(j)图(i)中发蓝色荧光的烃包裹体,荧光。

图 1 塔北和塔中地区奥陶系各期次发荧光的烃包裹体

Fig. 1 Difference stages of hydrocarbon inclusions in Ordovician of North and Central Tarim

塔北地区早海西期(解放 127 井)烃包裹体成熟度 $20S/(20S+20R)$ 值和 $\beta\beta/(\alpha\alpha+\beta\beta)$ 值为 0.389、0.378, 均小于 0.4, 判定为成熟(表 1)。从塔北和塔中晚海西期 $\alpha\alpha C_{29}$ 甾烷 $20S/(20S+20R)$ 和 C_{29} 甾烷 $\beta\beta/(\alpha\alpha+\beta\beta)$ 特征图上可以看出(图 2), 晚海西期的发黄色荧光烃包裹体成熟度均较高, 成熟—高成熟; 塔北地区烃包裹体 $20S/(20S+20R)$ 值和 $\beta\beta/(\alpha\alpha+\beta\beta)$ 值分布比较广泛, 分别为 0.38~0.53、0.35~0.55。塔北地区晚海西期烃包裹体在不同区块成熟度相差较大, 英买 201 井地区、英古 2 井地区、轮南和轮古地区晚海西期烃包裹体相对较低, $20S/(20S+20R)$ 值小于 0.4, $\beta\beta/(\alpha\alpha+\beta\beta)$ 值小于 0.42, 处于成熟阶段。但在牙哈—金跃—热普地区烃包裹体 $20S/(20S+20R)$ 值均大于 0.47, $\beta\beta/(\alpha\alpha+\beta\beta)$ 值大于 0.52(图 2 中褐色圈内), 成熟度总体较高。在图 2 中这些点均分布于 $20S/(20S+20R)$ 平衡线附近, 说明为高成熟油气。塔北地区晚海西期

烃包裹体从西至东 $20S/(20S+20R)$ 值展布可以明显看出东西存在差异, 两头高中间低(图 3)。分析认为, 哈拉哈塘—金跃—热普地区的发黄色烃包裹体可能并不是晚海西期形成, 成熟度比其他区块更高, 说明这一期可能晚于塔北其他地区充注, 因此该地区发黄色荧光的烃包裹体显现为高成熟油气。或者在晚海西期油气在被包裹之前发生了相对其他区较强的生物降解, 导致 $20S/(20S+20R)$ 值较高。塔中地区发黄色荧光烃包裹体 $20S/(20S+20R)$ 值平均在 0.43 左右, $\beta\beta/(\alpha\alpha+\beta\beta)$ 值平均值约为 0.44, 比较靠近平衡状态, 因此为成熟—高成熟(图 2 中蓝色圈内), 图 2 中还可以看出除牙哈—金跃—热普地区外, 塔北其他地区晚海西期烃包裹体成熟度总体比塔中地区低。

塔北和塔中地区燕山期—喜马拉雅期形成的发蓝色荧光烃包裹体 $20S/(20S+20R)$ 与 $\beta\beta/(\alpha\alpha+\beta\beta)$ 值均超过了塔里木地区低熟油的判别标准(图 4), 进入了

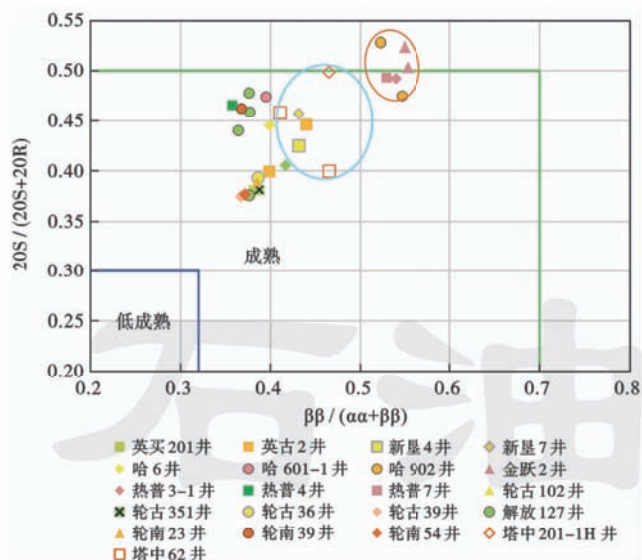


图2 塔北和塔中地区晚海西期烃包裹体甾烷 $C_{29} 20S/(20S+20R)$ 和 $C_{29} \beta/(\alpha+\beta)$ 参数

Fig. 2 Variation of Late Hercynian hydrocarbon inclusion $C_{29} 20S/(20S+20R)$ vs. $C_{29} \beta/(\alpha+\beta)$ in North and Central Tarim

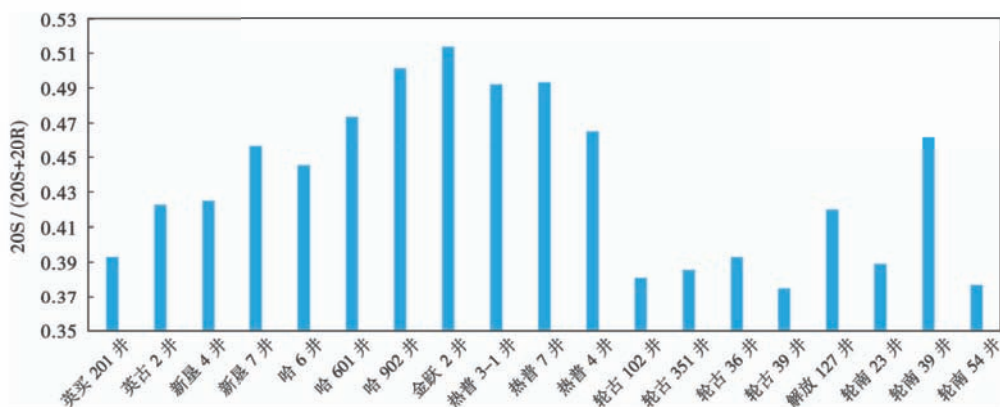


图3 塔北地区晚海西期烃包裹体甾烷 $C_{29} 20S/(20S+20R)$ 值展布

Fig. 3 Distribution of Late Hercynian hydrocarbon inclusion $C_{29} 20S/(20S+20R)$ in North Tarim

原油成熟度与塔北其他地区表现出很大的不同, $20S/(20S+20R)$ 值为 0.45、 $\beta/(\alpha+\beta)$ 值为 0.41。牙哈7井 $\beta/(\alpha+\beta)$ 值远低于塔北地区的整体集中值。研究认为这可能是不同油气源导致了这种差别。牙哈地区油气主要来源于库车坳陷陆相烃源岩, 塔北南部地区油气主要来源于海相烃源岩^[32]。塔中地区 $20S/(20S+20R)$ 与 $\beta/(\alpha+\beta)$ 值主要分布在 0.37~0.48 和 0.42~0.60, 显示中—高成熟度, 塔中 63C 井原油的 $20S/(20S+20R)$ 值为 0.685, 已远远超过平衡状态 (0.52~0.55)。原油生物降解可以造成 $\alpha\alpha C_{29}$ 甾烷 $20S/(20S+20R)$ 比值增至 0.55 以上^[37,38], 说明该井内的原油发生了严重的生物降解作用。还可明显看出塔北地区原油成熟度整体比塔中地区原油成熟度高。将原油与烃包裹体的 $20S/(20S+20R)$ 与 $\beta/(\alpha+\beta)$

成熟—高成熟油气范畴, 因此判断塔北和塔中地区燕山期—喜马拉雅期发蓝色荧光的烃包裹体主要为成熟—高成熟。塔北地区该期烃包裹体 $20S/(20S+20R)$ 值集中在 0.4 附近(图4褐色圈内), $\beta/(\alpha+\beta)$ 值主要分布区间 0.38~0.41 为成熟油气。金跃地区烃包裹体 $20S/(20S+20R)$ 值在平衡状态附近, 为高成熟。塔中地区燕山期—喜马拉雅期发蓝色荧光的烃包裹体 $20S/(20S+20R)$ 与 $\beta/(\alpha+\beta)$ 值分布也比较集中, 主要分布区间分别为 0.42~0.50、0.35~0.41。其 $20S/(20S+20R)$ 值接近平衡状态代表是高成熟油, 但 $\beta/(\alpha+\beta)$ 值却偏低, 所以认为塔中地区该期以成熟油为主, 部分达到高成熟。相比于塔北地区该期油气成熟度也较高。

3.2 原油甾烷参数

塔北和塔中地区原油以高成熟为主, 不同地区原油的成熟度有所差别(图5)。塔北地区原油的 $20S/(20S+20R)$ 与 $\beta/(\alpha+\beta)$ 值主要分布在 0.44~0.55 和 0.54~0.68, 为高一过成熟度。但牙哈7井

值对比发现塔北和塔中地区烃包裹体成熟度均比本区原油成熟度低, 说明在烃包裹体形成之后原油在储层中或多或少均受到生物降解等外界作用影响, 其中塔北地区似乎受降解作用等影响更强烈。烃包裹体和原油的这种差异也说明了用烃包裹体组分在研究油气成藏时的油气成熟度的优越性, 烃包裹体更能反映油气充注时的状态。塔北地区储层普遍见到晚海西期发黄色荧光烃包裹体和燕山期—喜马拉雅期发蓝色荧光烃包裹体, 且这两期 $\beta/(\alpha+\beta)$ 平均值与区内原油值相差分别为 0.18 和 0.2, 没有明显的差距, 初步断定塔北地区现今油气以这两期油气充注为主, 两期油气贡献度差别不大。但在牙哈地区晚海西期烃包裹体表现出较高的成熟度而原油成熟度并不高, 说明在晚海西期油气对牙哈地区贡献度低。塔中地区晚

海西期烃包裹体 $20S/(20S+20R)$ 与 $\beta\beta/(\alpha\alpha+\beta\beta)$ 值分布区间与原油分布区间类似没有较大差别,按照同期油气原油相比于烃包裹体必定会受到一些外界影响,其 $20S/(20S+20R)$ 与 $\beta\beta/(\alpha\alpha+\beta\beta)$ 值应比同期烃包裹体值高,认为塔中地区晚海西期发黄色荧光烃包裹体这期油气并不是主要贡献者。燕山期—喜马拉雅期烃包裹体 $\beta\beta/(\alpha\alpha+\beta\beta)$ 平均值与本区块的原油相差 0.13,认为燕山期—喜马拉雅期油气是塔中地区现今储层油气的主要贡献者。

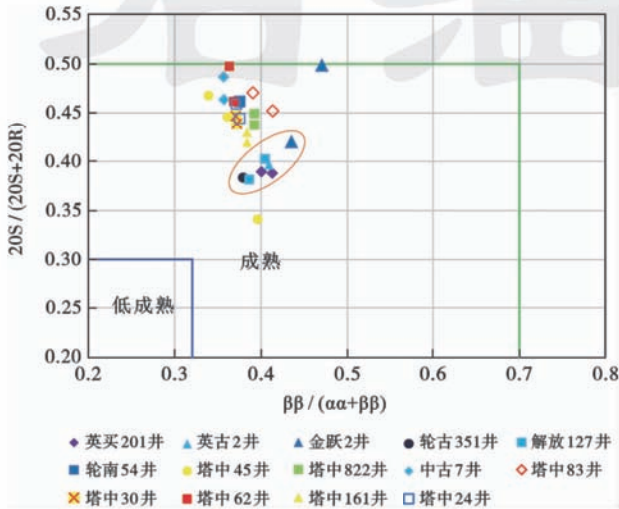


图 4 塔北和塔中地区燕山期—喜马拉雅期烃包裹体甾烷 C_{29} $20S/(20S+20R)$ 和 C_{29} $\beta\beta/(\alpha\alpha+\beta\beta)$ 参数

Fig. 4 Variation of Yanshan-Himalayan hydrocarbon inclusion C_{29} $20S/(20S+20R)$ vs. C_{29} $\beta\beta/(\alpha\alpha+\beta\beta)$ in North and Central Tarim

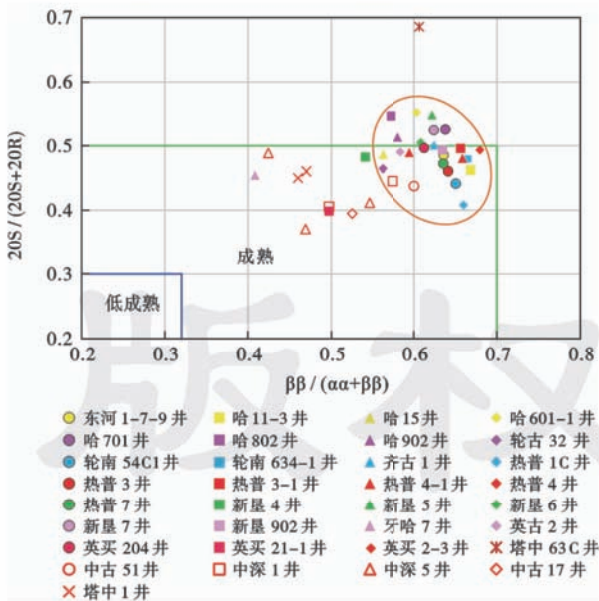


图 5 塔北和塔中地区原油甾烷 C_{29} $20S/(20S+20R)$ 和 C_{29} $\beta\beta/(\alpha\alpha+\beta\beta)$ 参数

Fig. 5 Variation of crude oil C_{29} $20S/(20S+20R)$ vs. C_{29} $\beta\beta/(\alpha\alpha+\beta\beta)$ in reservoirs of North and Central Tarim

4 塔北和塔中地区藿烷参数特征

4.1 烃包裹体藿烷参数

与甾烷原理一样, C_{31} 到 C_{35} $17\alpha(H)$ -升藿烷上 C-22 位的异构化作用,由生物产生的藿烷前驱物带有 1 个 22R 构型逐渐转化为 22R 和 22S 非对映异构体的混合物^[39]。随成熟度的增加, $22S/(22S+22R)$ 值由小变大。Zumberge^[40] 计算 27 个低熟原油在 C_{31} , C_{32} , C_{33} , C_{34} , C_{35} 上的 $22S/(22S+22R)$ 平衡比值的平均值,分别为 0.55, 0.58, 0.60, 0.62 和 0.59。在成熟阶段 C_{31} 或 C_{32} 升藿烷的 $22S/(22S+22R)$ 比值由 0 增加到 0.6 (0.57~0.60 为均衡状态^[41])。 $22S/(22S+22R)$ 比值在 0.50~0.54 表明进入生油阶段, 比值为 0.57~0.62 时已达到或超过主要的生油阶段。Seifert 等^[42] 提出在成岩过程中, 当达到一定温度时 $17\beta(H)$, $21\beta(H)$ -藿烷(β -藿烷)就会向 $17\beta(H)$, $21\alpha(H)$ -藿烷($\beta\alpha$ -藿烷, 也称为莫烷)或 $17\alpha(H)$, $21\beta(H)$ -藿烷($\alpha\beta$ -藿烷)转化。莫烷和藿烷都形成于成岩阶段, 在后生作用阶段, 不稳定的 $17\beta 21\alpha$ -莫烷比 $17\alpha 21\beta$ -藿烷减少得更快。所以 $17\beta 21\alpha$ 莫烷与 $17\alpha 21\beta$ 藿烷的比值随成熟度的增加而减少, $17\alpha 21\beta/(17\alpha 21\beta+17\beta 21\alpha)$ 比值随成熟度增加而增加。成熟生油岩中 $17\beta 21\alpha$ 莫烷与 $17\alpha 21\beta$ -藿烷的比值小于 0.15^[42,43], 则经换算 $17\alpha 21\beta/(17\alpha 21\beta+17\beta 21\alpha)$ 比值应大于 0.87。因此藿烷的 $22S/(22S+22R)$ 值和 $17\alpha 21\beta/(17\alpha 21\beta+17\beta 21\alpha)$ 值可作为成熟度指标。

此次实验藿烷的参数选取为 C_{31} 的 $22S/(22S+22R)$ 值和 C_{30} 的 $17\alpha 21\beta/(17\alpha 21\beta+17\beta 21\alpha)$ 值。塔里木盆地台盆区晚海西期烃包裹体的 $22S/(22S+22R)$ 值显示大部分均进入生油阶段, 为成熟油(图 6)。塔北地区晚海西期发黄色荧光的烃包裹体的 $22S/(22S+22R)$ 值分布较广, 为 0.43~0.59, 分为两个部分: 金跃—热普地区表现出低 $22S/(22S+22R)$ 值和高 $17\alpha 21\beta/(17\alpha 21\beta+17\beta 21\alpha)$ 值特征(图 6 中褐色圈内); 塔北其他地区 $22S/(22S+22R)$ 值均大于 0.52, 跨度在生油阶段和超过主要生油阶段, $17\alpha 21\beta/(17\alpha 21\beta+17\beta 21\alpha)$ 值也较高 0.87~0.89, 为成熟—高成熟油气。金跃—热普地区的发黄色荧光烃包裹体表现出与塔北其他地区不同的 $22S/(22S+22R)$ 值和 $17\alpha 21\beta/(17\alpha 21\beta+17\beta 21\alpha)$ 值特征, 再次说明该地区的发黄色荧光烃包裹体这期油气应与塔北其他地区的晚海西期油气充注存在差异, 推测晚于其他地区充注。塔中地区该期发黄色荧光的烃包裹体 $22S/(22S+22R)$ 分布在 0.57 线附近, $17\alpha 21\beta/(17\alpha 21\beta+17\beta 21\alpha)$ 值 0.86~0.865 也接近 0.87, 为成熟—高成熟油。

塔里木盆地台盆区燕山期—喜马拉雅期烃包裹体藿烷参数成熟度特征表现为成熟—高成熟(图7),塔北地区该期烃包裹体成熟度 $22S/(22S+22R)$ 和 $17\alpha 21\beta/(17\alpha 21\beta+17\beta 21\alpha)$ 值分布区间为 0.52~0.60(主要集中在 0.54~0.58)、0.87~0.88,其成熟度特征与晚海西期相似为成熟—高成熟。金跃2井的 $22S/(22S+22R)$ 和 $17\alpha 21\beta/(17\alpha 21\beta+17\beta 21\alpha)$ 值还是表现出与塔北其他地方不同,为高成熟。塔中地区该期烃包裹体油气成熟度整体比塔北地区油气成熟度高,其两值主要分布区间分别为 0.56~0.65 和 0.85~0.88,为成熟—高成熟油气。塔中822井中有样品点出现异常 $17\alpha 21\beta/(17\alpha 21\beta+17\beta 21\alpha)$ 值为 0.8,相比于该井其他测试样品偏低,可能是取样时出现污染导致。

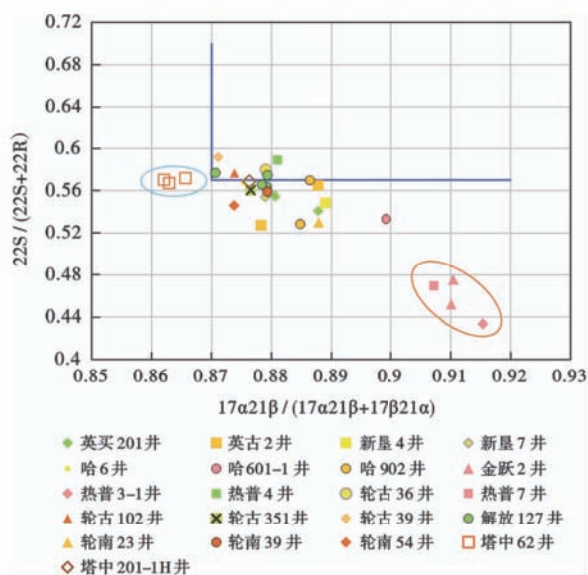


图6 塔北和塔中地区晚海西期烃包裹体藿烷 $C_{31} 22S/(22S+22R)$ 和 $C_{30} 17\alpha 21\beta/(17\alpha 21\beta+17\beta 21\alpha)$ 参数

Fig. 6 Variation of Late Hercynian hydrocarbon inclusion $C_{31} 22S/(22S+22R)$ vs. $C_{30} 17\alpha 21\beta/(17\alpha 21\beta+17\beta 21\alpha)$ in North Tarim and Central Tarim

4.2 原油藿烷参数

塔里木盆地台盆区原油藿烷参数 $22S/(22S+22R)$ 和 $17\alpha 21\beta/(17\alpha 21\beta+17\beta 21\alpha)$ 值整体均不是很高且分布范围宽泛(图8)。塔北地区整体具有高 $17\alpha 21\beta/(17\alpha 21\beta+17\beta 21\alpha)$ 值(0.86~0.99),特别是热普地区热普1C井近高达 0.99,为高成熟有特征。塔北地区 $22S/(22S+22R)$ 也在 0.40~0.58 范围,认为塔北地区为成熟—高成熟原油。从图8可以看出塔中地区原油整体成熟度不如塔北地区,在图中表现为塔中地区原油参数点大部分在塔北地区参数点左下方。塔中地区藿烷参数分布范围较广($22S/(22S+22R)$ 值为 0.27~0.57, $17\alpha 21\beta/(17\alpha 21\beta+17\beta 21\alpha)$ 值为 0.72~0.92),

显示为低熟—成熟油气特征。将塔里木盆地烃包裹体和原油的藿烷参数 $22S/(22S+22R)$ 和 $17\alpha 21\beta/(17\alpha 21\beta+17\beta 21\alpha)$ 值作比较,可以得出:塔北地区晚海西期发黄色荧光的烃包裹体和燕山期—喜马拉雅期发蓝色荧光的烃包裹体均与原油相差不大,不能肯定到底是哪期油气是塔北地区原油的主力,说明这两期油气均在塔北地区起主要成藏。塔中地区原油 $22S/(22S+22R)$ 和 $17\alpha 21\beta/(17\alpha 21\beta+17\beta 21\alpha)$ 值分布范围较大,与燕山期—喜马拉雅期烃包裹体分布范围广的特征类似,说明燕山期—喜马拉雅期油气对塔中地区影响较大。

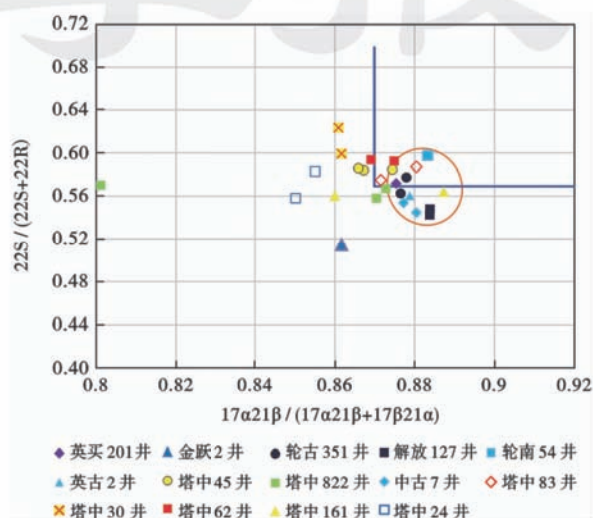


图7 塔北和塔中地区燕山期—喜马拉雅期烃包裹体藿烷 $C_{31} 22S/(22S+22R)$ 和 $C_{30} 17\alpha 21\beta/(17\alpha 21\beta+17\beta 21\alpha)$ 参数

Fig. 7 Variation of Yanshan-Himalayan hydrocarbon inclusions $C_{31} 22S/(22S+22R)$ vs. $C_{30} 17\alpha 21\beta/(17\alpha 21\beta+17\beta 21\alpha)$ in North and Central Tarim

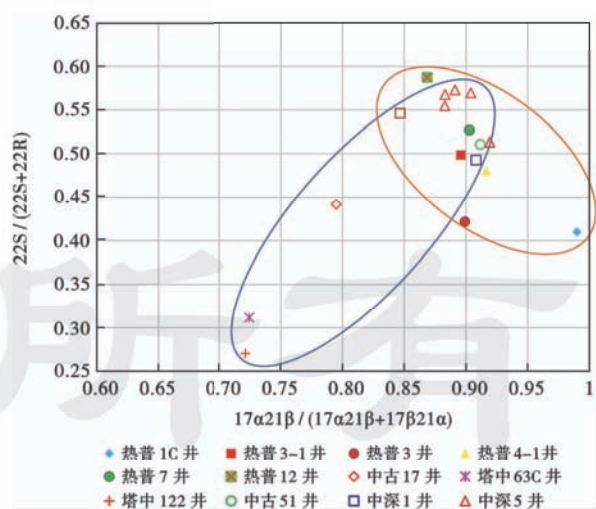


图8 塔北和塔中地区原油藿烷 $C_{31} 22S/(22S+22R)$ 和 $C_{30} 17\alpha 21\beta/(17\alpha 21\beta+17\beta 21\alpha)$ 参数

Fig. 8 The variation of crude oil $C_{31} 22S/(22S+22R)$ vs. $C_{30} 17\alpha 21\beta/(17\alpha 21\beta+17\beta 21\alpha)$ in reservoirs of North and Central Tarim

5 结 论

(1) 塔北地区晚海西期发黄色荧光的烃包裹体为成熟—高成熟,金跃—热普地区甾烷和藿烷参数特征与塔北其他地区有较大差异。金跃—热普地区为高成熟,其他地区为成熟—高成熟。晚海西期油气似乎是现今油藏的主要充注时期,燕山期—喜马拉雅期次之。塔中地区晚海西期烃包裹体以成熟—高成熟为主,除塔北金跃—热普地区外,塔中地区的成熟度整体要比塔北地区高。

(2) 塔北地区燕山期—喜马拉雅期发蓝色荧光烃包裹体成熟—高成熟,金跃地区烃包裹体仍表现出与其他地区有较大差别。塔中地区该期烃包裹体以高成熟为主,部分为成熟。塔中地区燕山期—喜马拉雅期发蓝色荧光烃包裹体成熟度整体还是要比塔北地区高。晚海西期和燕山期—喜马拉雅期两期油气充注均表现出塔中地区要比塔北地区高。同一期次成熟度的差异可能是充注的先后时间不同导致的,虽然两个地区都在同一时期充注,但塔北地区油气充注时间可能相对更早。

(3) 对比塔北和塔中地区原油成熟度,发现塔北地区原油成熟度均高于塔中地区,其结果与烃包裹体表现出的特征正好相反,推断塔北地区受生物降解等后期改造作用比塔中地区更强。

(4) 对比塔北和塔中地区不同期次烃包裹体和原油的成熟,晚海西期和燕山期—喜马拉雅期发蓝色荧光为代表的油气对塔北地区现今油气贡献均很大,为主要贡献者。但在牙哈地区晚海西期油气并不是主要贡献者,燕山期—喜马拉雅期油气贡献度较大。塔中地区以燕山期—喜马拉雅期发蓝色荧光为代表的油气为主要贡献者。

参 考 文 献

- [1] Connan J. Biological markers in crude oils[M]//Mason J F. Petroleum geology in China. Tulsa, USA: Pennwell Books, 1981: 48-70.
- [2] Connan J. Biodegradation of crude oils in reservoirs[M]//Brooks J, Welte D H. Advances in petroleum geochemistry. London: Academic Press, 1984, 1: 299-335.
- [3] Philp R P, Gilbert T D. Unusual distribution of biological markers in an Australian crude oil[J]. Nature, 1982, 299(5880): 245-247.
- [4] Peters K E, Moldowan J M. The biomarker guide; interpreting molecular fossils in petroleum and ancient sediments[M]. Englewood Cliffs, NJ, USA: Prentice Hall, 1993.
- [5] Fu Jiamo, Sheng Guoying, Peng Ping'an, et al. Peculiarities of salt lake sediments as potential source rocks in China[J]. Organic Geochemistry, 1986, 10(1/3): 119-126.
- [6] Seifert W K, Moldowan J M. Applications of steranes, terpanes and monoaromatics to the maturation, migration and source of crude oils[J]. Geochimica Et Cosmochimica Acta, 1978, 42(1): 77-95.
- [7] Huang Difan, Li Jinchao, Zhang Dajiang, et al. Maturation sequence of Tertiary crude oils in the Qaidam Basin and its significance in petroleum resource assessment[J]. Journal of Southeast Asian Earth Sciences, 1991, 5(1/4): 359-366.
- [8] van Graas G W. Biomarker maturity parameters for high maturities; calibration of the working range up to the oil/condensate threshold[J]. Organic Geochemistry, 1990, 16(4/6): 1025-1032.
- [9] 王春江, 傅家谟, 盛国英, 等. 18 α (H)-新藿烷及 17 α (H)-重排藿烷类化合物的地球化学属性与应用[J]. 科学通报, 2000, 45(13): 1366-1372.
Wang Chunjiang, Fu Jiamo, Shen Guoying, et al. Geochemical characteristics and applications of 18 α (H)-neohopanes and 17 α (H)-diahopanes[J]. Chinese Science Bulletin, 2000, 45(19): 1742-1748.
- [10] 赵孟军, 张水昌. 17 α (H)-重排藿烷在塔里木盆地中的指相意义[J]. 石油勘探与开发, 2001, 28(1): 36-38.
Zhao Menjun, Zhang Shuichang. The special sedimentary facies indicated by 17 α (H)-diahopanes in Tarim Basin[J]. Petroleum Exploration and Development, 2001, 28(1): 36-38.
- [11] 王广利, 张林晔, 王铁冠. 3 β -烷基甾烷在中国古近系陆相沉积中的发现及其地质意义[J]. 科学通报, 2006, 51(12): 1438-1442.
Wang Guangli, Zhang Linye, Wang Tieguan. Identification and significance of 3 β -alkyl steranes in the Eogene lacustrine sediments and petroleum of China[J]. Chinese Science Bulletin, 2006, 51(13): 1628-1632.
- [12] 姜振学, 李峰, 李卓. 利用石油包裹体烃组分信息恢复塔中地区油气成藏过程[J]. 现代地质, 2013, 27(5): 1193-1201.
Jiang Zhenxue, Li Feng, Li Zhuo. Applying molecular compositions of inclusion data to restore hydrocarbon charge history in the Tazhong area[J]. Geoscience, 2013, 27(5): 1193-1201.
- [13] 祁灵, 张敏. 柴达木盆地七个泉油田原油饱和烃组成特征及其意义[J]. 长江大学学报: 自科版, 2014, 11(31): 5-7.
Qi Ling, Zhang Min. Geochemical characteristics of saturated hydrocarbon from Qiqequan oilfield of Qaidam Basin[J]. Journal of Yangtze University: Natural Science Edition, 2014, 11(31): 5-7.
- [14] 马安来, 金之钧, 朱翠山, 等. 塔河油田原油中金甾烷化合物绝对定量分析[J]. 石油学报, 2009, 30(2): 214-218.
Ma Anlai, Jin Zhijun, Zhu Cuishan, et al. Quantitative analysis on absolute concentration of diamondoids in oils from Tahe oilfield[J]. Acta Petrolei Sinica, 2009, 30(2): 214-218.
- [15] 陶小晚, 张义杰, 段书府, 等. 塔里木盆地哈拉哈塘油田原油聚集过程与密度多变成因[J]. 石油学报, 2015, 36(4): 405-415.
Tao Xiaowan, Zhang Yijie, Duan Shufu, et al. Crude oil accumulation processes and causes of highly variable oil density in Halahatang oilfield, Tarim Basin[J]. Acta Petrolei Sinica, 2015, 36(4): 405-415.
- [16] 程斌, 王培荣, 王铁冠, 等. 原油单藿烷的分布及地球化学意义[J]. 石油学报, 2015, 36(11): 1341-1348.

- Cheng Bin, Wang Peirong, Wang Tieguan, et al. Occurrence and geochemical significance of monoterpene hydrocarbons in crude oils[J]. *Acta Petrolei Sinica*, 2015, 36(11): 1341-1348.
- [17] 苗忠英, 陈践发, 张晨, 等. 塔里木盆地南低凸起天然气分布规律与成藏期次[J]. *石油学报*, 2011, 32(3): 404-410.
Miao Zhongying, Chen Jianfa, Zhang Chen, et al. Regularity of distribution and accumulation stages of natural gases in the Lunan lower uplift of the Tarim Basin[J]. *Acta Petrolei Sinica*, 2011, 32(3): 404-410.
- [18] 常象春, 王铁冠, 程斌, 等. 塔北隆起中部原油轻烃地球化学特征及其意义[J]. *天然气地球科学*, 2014, 25(7): 1058-1064.
Chang Xiangchun, Wang Tieguan, Cheng Bin, et al. Geochemical characteristics of light hydrocarbons from the central part of Tabei uplift and their implications[J]. *Natural Gas Geoscience*, 2014, 25(7): 1058-1064.
- [19] 李素梅, 庞雄奇, 杨海军, 等. 塔中 I 号坡折带高熟油地球化学特征及其意义[J]. *石油与天然气地质*, 2008, 29(2): 210-216.
Li Sumei, Pang Xiongqi, Yang Haijun, et al. Geochemical characteristics and implication of high thermal maturity oils in Tazhong-I faulted slope break zone[J]. *Oil & Gas Geology*, 2008, 29(2): 210-216.
- [20] 张肅, 王招明, 张水昌, 等. 烃类包裹体微观取样机: 中国, 200910085342. 7[P]. 2009-11-18.
Zhang Nai, Wang Zhaoming, Zhang Shuichang, et al. Hydrocarbon inclusion microscopic sampler: China, 200910085342. 7[P]. 2009-11-18.
- [21] 张肅. 分组提取烃包裹体内油样的方法: 中国, 201010111409. 2[P]. 2010-07-28.
Zhang Nai. Method for extracting oil sample inside hydrocarbon inclusion in groups: China, 201010111409. 2[P]. 2010-07-28.
- [22] 赵靖舟, 李启明. 塔里木盆地克拉通区海相油气成藏期与成藏史[J]. *科学通报*, 2002, 47(增刊 1): 116-121.
Zhao Jingzhou, Li Qiming. Timing and history of marine hydrocarbon accumulation in Tarim craton[J]. *Chinese Science Bulletin*, 2002, 47(S1): 120-127.
- [23] 康志宏, 魏历灵, 康艳芳. 塔里木盆地油气藏形成期分析[J]. *新疆石油地质*, 2001, 22(6): 462-464.
Kang Zhihong, Wei Liling, Kang Yanfang. Analysis of the formation stages of oil and gas reservoirs in Tarim Basin[J]. *Xinjiang Petroleum Geology*, 2001, 22(6): 462-464.
- [24] 唐友军. 塔里木盆地塔东 2 井寒武系稠油地球化学特征与成藏[J]. *沉积学报*, 2009, 27(6): 1208-1215.
Tang Youjun. Geochemical characteristics and reservoir formation of Cambrian heavy oil of well Tacong 2 in Tarim Basin[J]. *Acta Sedimentologica Sinica*, 2009, 27(6): 1208-1215.
- [25] 钱玲, 李江海, 卢玉红, 等. 塔东地区古城 4 井和罗西 1 井油气成藏差异性分析[J]. *天然气地球科学*, 2011, 22(4): 628-634.
Qian Ling, Li Jianghai, Lu Yuhong, et al. Difference analysis on hydrocarbon accumulations in two wells of Gucheng 4 and Luoxi 1 in the eastern Tarim Basin[J]. *Natural Gas Geoscience*, 2011, 22(4): 628-634.
- [26] 杨威, 杨栓荣, 李新生, 等. 流体包裹体在塔中 40 油田成藏期次研究中的应用[J]. *新疆石油地质*, 2002, 23(4): 338-339.
Yang Wei, Yang Shuanrong, Li Xinsheng, et al. Application of fluid inclusion envelope to study of hydrocarbon accumulation stages of Tazhong 40 oil field[J]. *Xinjiang Petroleum Geology*, 2002, 23(4): 338-339.
- [27] 李玉城. 包裹体在塔中 16 油田成藏期次研究中的应用[J]. *石油地质与工程*, 2008, 22(4): 14-15.
Li Yucheng. Application of fluid inclusions on study on pool forming stages in Tazhong 16 oilfield[J]. *Petroleum Geology and Engineering*, 2008, 22(4): 14-15.
- [28] 张肅, 王招明, 杨海军, 等. 塔中 I 号坡折带奥陶系流体包裹体期次及地质意义[J]. *新疆石油地质*, 2010, 31(1): 22-25.
Zhang Nai, Wang Zhaoming, Yang Haijun, et al. The Stages and significance of Ordovician fluid inclusions in Tazhong No. 1 slope break[J]. *Xinjiang Petroleum Geology*, 2010, 31(1): 22-25.
- [29] 邢永亮, 张肅, 张宝收, 等. 塔中 26-24 井区良里塔格组储层层包裹体特征及成藏期次[J]. *石油与天然气地质*, 2011, 32(5): 651-658.
Xing Yongliang, Zhang Nai, Zhang Baoshou, et al. Characteristics of hydrocarbon inclusions and the timing of the hydrocarbon accumulation in the Lianglitage Fm in Tazhong 26-24 wellblock[J]. *Oil & Gas Geology*, 2011, 32(5): 651-658.
- [30] 肖晖, 赵靖舟, 杨海军, 等. 塔北英买力低凸起奥陶系油藏充注历史的流体包裹体证据[J]. *石油学报*, 2012, 33(3): 372-378.
Xiao Hui, Zhao Jingzhou, Yang Haijun, et al. Evidence of fluid inclusions for the hydrocarbon charging history of Ordovician reservoirs in Yingmaili low-uplift, northern Tarim Basin[J]. *Acta Petrolei Sinica*, 2012, 33(3): 372-378.
- [31] 朱光有, 刘星旺, 朱永峰, 等. 塔里木盆地哈拉哈塘地区复杂油气藏特征及其成藏机制[J]. *矿物岩石地球化学通报*, 2013, 32(2): 231-242.
Zhu Guangyou, Liu Xingwang, Zhu Yongfeng, et al. The characteristics and the accumulation mechanism of complex reservoirs in the Hanilcatam area, Tarim Basin[J]. *Bulletin of Mineralogy, Petrology and Geochemistry*, 2013, 32(2): 231-242.
- [32] 张肅, 张宝收, 卢玉红, 等. 塔北奥陶系油气藏流体包裹体研究及成藏期厘定[R]. 北京: 中国石油勘探开发研究院, 2012.
Zhang Nai, Zhang Baoshou, Lu Yuhong, et al. Study and determining stages of Ordovician reservoir fluid inclusions in northern Tarim[M]. Beijing: PetroChina Research Institute of Petroleum Exploration and Development, 2012.
- [33] 张肅, 张宝收, 柳少波, 等. 塔里木盆地塔中油气藏流体包裹体研究及成藏期厘定[M]. 北京: 中国石油大学, 2010.
Zhang Nai, Zhang Baoshou, Liu Shaobo, et al. Study and determining stages of Ordovician reservoir fluid inclusions in central Tarim[M]. Beijing: China University of Petroleum, 2010.
- [34] 卢双舫, 张敏. 油气地球化学[M]. 北京: 石油工业出版社, 2008: 162-199.
Lu Shuangfang, Zhang Min. *Petroleum geochemistry and geology* [M]. Beijing: Petroleum Industry Press, 2008: 162-199.
- [35] 南青云, 刘文汇, 腾格尔, 等. 塔河油田原油甾萜烷系列化合物地球化学再认识[J]. *沉积学报*, 2006, 24(2): 294-299.
Nan Qingyun, Liu Wenhui, Tengge, et al. Geochemical characters recognition for steranes and hopanes from oils of Tahe oilfield[J]. *Acta Sedimentologica Sinica*, 2006, 24(2): 294-299.

- Standardization Administration of the People's Republic of China, GB/T15456-2008 Industrial circulating cooling water-Determination of the chemical oxygen demand: Potassium permanganate method[S], Beijing: China Standards Press, 2008.
- [15] 段晓岩. 聚羧酸使油井水泥异常胶凝的机理研究[D]. 大庆: 东北石油大学, 2012.
Duan Xiaoyan. Mechanism study of oil-well cement aberrant gelation made by polycarboxylic admixtures[D]. Daqing: Northeast Petroleum University, 2012.
- [16] 李焕明, 庄稼, 张梁, 等. 抗高温抗盐油井水泥降失水剂的合成及性能研究[J]. 钻井液与完井液, 2009, 26(5): 39-42.
Li Huanming, Zhuang Jia, Zhang Liang, et al. The synthesis and study on high temperature salt-tolerant filtrate reducer for cement slurry[J]. Drilling Fluid and Completion Fluid, 2009, 26(5): 39-42.
- [17] 郭锦棠, 卢海川, 靳建州, 等. 新型耐温抗盐降失水剂的合成与测试[J]. 天津大学学报, 2012, 45(11): 1001-1006.
Guo Jintang, Lu Haichuan, Jin Jianzhou, et al. Synthesis and test of novel temperature-resistant and salt-tolerant fluid loss additive [J]. Journal of Tianjin University, 2012, 45(11): 1001-1006.
- [18] Plank J, Recalde Lummer N, Dugonjic-Bilic F, et al. Comparative study of the working mechanisms of chemically different cement fluid loss polymers[R]. SPE 121542, 2009.
- [19] 郭胜来, 步玉环, 郭艳霞. 抗高温油井水泥降失水剂的合成和评价[J]. 油田化学, 2012, 29(2): 151-154.
Guo Shenglai, Bu Yuhuan, Guo Yanxia. Synthesis and evaluation of high temperature fluid loss control additive used in oil well cement[J]. Oilfield Chemistry, 2012, 29(2): 151-154.
- [20] Vijn J P, Dao B, Melbouci M. Environmentally acceptable well cement fluid loss control additives, compositions and methods; USA, 6626992[P]. 2003-09-30.
- [21] 秦伟堂, 张宏军, 郑成胜, 等. 国内外油井水泥降失水剂概述[J]. 钻井液与完井液, 2005, 22(2): 54-58.
Qin Weitang, Zhang Hongjun, Zheng Chengsheng, et al. Domestic and overseas fluid loss additives for cement slurry[J]. Drilling Fluid and Completion Fluid, 2005, 22(2): 54-58.

(收稿日期 2015-11-18 改回日期 2016-03-22 编辑 宋宁)

(上接第 652 页)

- [36] 李素梅, 庞雄奇, 金之钧, 等. 济阳坳陷牛庄洼陷南斜坡原油成熟度浅析[J]. 地质地球化学, 2002, 30(1): 50-56.
Li Sumei, Pang Xiongqi, Jin Zhijun, et al. A study of oil maturity at the southern slope of Niuzhuang subdepression, Dongying depression, Bohaiwan basin, eastern China[J]. Geology-Geochemistry, 2002, 30(1): 50-56.
- [37] Rullkötter J, Wendisch D. Microbial alteration of 17 α (H)-hopanes in Madagascar asphalts; removal of C-10 methyl group and ring opening [J]. Geochimica et Cosmochimica Acta, 1982, 46(9): 1545-1553.
- [38] Mckirdy D M, Aldridge A K, Ypma P J M. A geochemical comparison of some crude oils from pre-Ordovician carbonate rocks [M]// Bjorøy M. Advances in organic geochemistry 1981. New-York: Wiley, 1983: 99-107.
- [39] 彼得斯 K E, 莫尔多万 J M. 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[M]. 姜乃煌, 译. 北京: 石油工业出版社, 1995.
Peters K E, Moldowan J M. The biomarker guide: interpreting molecular fossils in petroleum and ancient sediments[M]. Jiang Naihuang, trans. Beijing: Petroleum Industry Press, 1995.
- [40] Zumbege J E. Terpenoid biomarker distributions in low maturity crude oils[J]. Organic Geochemistry, 1987, 11(6): 479-496.
- [41] Seifert W K, Moldowan J M. Use of biological markers in petroleum exploration[M]// Johnson R B. Biological markers in sedimentary records: methods in geochemistry and geophysics. Amsterdam: Elsevier, 1986, 24: 261-290.
- [42] Seifert W K, Moldowan J M. The effect of thermal stress on source-rock quality as measured by hopane stereochemistry[J]. Physics and Chemistry of the Earth, 1980, 12: 229-237.
- [43] Mackenzie A S, Patience R L, Maxwell J R, et al. Molecular parameters of maturation in the Toarcian shales, Paris Basin, France—I. Changes in the configurations of acyclic isoprenoid alkanes, steranes and triterpanes[J]. Geochimica et Cosmochimica Acta, 1980, 44(11): 1709-1721.

(收稿日期 2015-10-20 改回日期 2016-03-08 责任编辑 张怡)

版权所有