

孤岛油田馆陶组含油层系多源供烃判识及成藏分析

王 忠

(中国石化胜利油田分公司地质科学研究院, 山东 东营 257015)

摘要:济阳坳陷孤岛油田馆陶组油气资源丰富,但油气来源复杂。通过对该区烃源岩与原油生物标志化合物特征的精细对比分析认为,孤岛油田馆陶组原油普遍为“混源油”,由渤南洼陷沙四上亚段烃源岩与渤南、孤北、孤南3个生油洼陷沙三下亚段烃源岩提供,渤南洼陷是孤岛油田的主要油气来源,沙四上亚段碳酸盐岩生成的原油遍及孤岛油田的各个区块。根据生物标志化合物参数的变化规律划分了各洼陷的供烃范围。孤岛油田至少经历了2期油气充注成藏,后期充注是最重要的一期成藏,孤岛油田目前所获得的储量主要来自后期成藏。

关键词:生物标志化合物;油源;成藏过程;孤岛油田;沾化凹陷

中图分类号:TE122.1⁺14

文献标识码:A

文章编号:1672-1926(2011)03-0399-08

引用格式:王忠. 孤岛油田馆陶组含油层系多源供烃判识及成藏分析[J]. 天然气地球科学, 2011, 22(3): 391-398.

孤岛油田是我国油气勘探在20世纪60年代的重要发现,是胜利油区以披覆背斜为主的具有多套含油层系、多个洼陷供烃和多种油气藏类型的复式油气聚集带,截至2008年底,已发现探明储量为4.2亿t,油气资源丰富,但油源关系复杂,目前针对孤岛披覆背斜带构造的研究已经很多^[1-5],但对其油气来源尚不明晰,孤岛油田油气来源及供烃范围的划分一直是石油勘探者关注的问题。本文以生物标志化合物分析测试技术为手段,通过对孤岛油田原油宏观组成和微观分子特征的深入剖析,区分出不同的原油类型,结合地质条件分析,探讨了孤岛油田馆陶组储层的油气来源及其成藏过程,以期为孤岛油田下一步的勘探开发提供可靠的科学依据。

1 区域地质概况

孤岛油田位于济阳坳陷沾化凹陷东部孤岛披覆背斜构造带上,其南以孤南断裂与孤南洼陷相接,东北以孤北断裂与五号桩洼陷相连,西北以孤西断裂、孤北断裂与渤南洼陷相分隔,圈闭面积为100 km²左右(图1)。

孤岛披覆背斜构造是受孤北、孤南断层控制下

形成的继承性发育在古潜山之上的大型披覆背斜构造。构造基底为古生界奥陶系、中生界石炭—二叠系组成的古凸起,古近系围绕古凸起边缘超覆沉积,新近系超覆于凸起之上,在上覆沉积物重荷下产生差异压实作用形成大型披覆背斜构造。根据其内部构造特征及开发管理的需要,孤岛油田从平面上划分为渤21断块、西区、中一区、中二区、东区和南区6个开发区块,纵向上发育明化镇组、馆陶组、东营组、沙河街组、奥陶系等多套含油层系,其中以馆陶组含油层系为主,其探明储量可占孤岛油田总储量的96%以上。

大量研究表明,沾化凹陷发育有3套优质烃源岩,即沙四上亚段、沙三下亚段和沙一段^[6-9]。其中沙三下亚段在渤南洼陷、孤北洼陷、孤南洼陷普遍发育,沙四上亚段主要在渤南洼陷发育,沙一段烃源岩主要在渤南洼陷和孤南洼陷发育,均可为孤岛油田提供大量油气。

2 烃源岩生物标志化合物特征

2.1 沙四上亚段烃源岩

沙四上亚段烃源岩为一套咸水—半咸水湖相沉

积,主要分布于渤南洼陷,根据其生物标志化合物特征可分为2套,分别为泥岩(岩性以泥岩、泥页岩、油泥岩为主)和碳酸盐岩(岩性以泥灰岩、泥质灰岩为主)^[10]。其中沙四上亚段泥岩生物标志化合物特征为:有明显的植烷优势,姥/植值低,为0.15~0.83;伽马蜡烷含量较高,伽马蜡烷/ C_{30} 藿烷值为0.20~0.34;含有重排甾烷及 C_{30} 重排藿烷,而4-甲基甾烷含量较低(图2);沙四上亚段碳酸盐岩生物标志化合物特征为:具有植烷优势,姥/植值低,为0.28~0.91;伽马蜡烷含量较高,伽马蜡烷/ C_{30} 藿烷值为0.20~0.76, $C_{35}>C_{34}$ -升藿烷,含有 C_{28} -29,30-二降藿烷,反映了咸化还原条件的沉积环境;重排甾烷和 C_{30} 重排藿烷极不发育,4-甲基甾烷含量丰富(表1)。

2.2 沙三下亚段烃源岩

沙三下亚段是渤南洼陷、孤北洼陷、孤南洼陷均发育的优质烃源岩。沙三段沉积时期3个洼陷相互连通,因此各洼陷沙三下亚段烃源岩生物标志化合物特征区别不大。表现为:姥/植值高,为0.80~2.59;伽马蜡烷含量低,伽马蜡烷/ C_{30} 藿烷值为0.03~0.15; T_s 含量较高;重排甾烷发育,含有4-甲基甾烷(图3),所生原油都为成熟原油。孤北洼陷沙三下亚段4-甲基甾烷含量高于渤南洼陷、孤南洼陷(表1)。

2.3 沙一段烃源岩

沙一段烃源岩主要分布于渤南洼陷与孤南洼陷。生物标志化合物特征表现为 Pr/Ph 值低,为0.26~0.89;富含伽马蜡烷; T_s 丰度低, T_s/T_m 值为0.12~0.79;有机质演化程度低,甾烷异构化参数 $C_{29}20S/(20S+20R)$ 值为0.14~0.28,发育 C_{26} 甾烷(图4),沙一段烃源岩所生原油为低熟油(表1)。

3 馆陶组含油层系油气来源判识

为了更全面、准确地确定孤岛油田馆陶组的原油来源,笔者不仅分析了馆陶组含油层系原油特征,还对分布局限但烷烃保存相对完整的东营组、沙河街组原油的油源进行了详细剖析。

3.1 孤南断裂带沙河街组(东营组)构造油藏

通过对孤南断裂带沙河街组及东营组原油的地球化学特征分析,按照来源不同将其分为3种类型:第一类为低熟油,如孤南151井,原油成熟度低, C_{27} 、 C_{28} 、 C_{29} (20R)甾烷相对丰度中等, C_{28} 甾烷较丰富, Pr/Ph 值为0.40~0.81,伽马蜡烷/ C_{30} 藿烷值为0.40~0.94,油源对比表明,来源于孤南洼陷沙一段烃源岩;第二类为成熟油,如孤南131井, Pr/Ph 值为2.8,伽马蜡烷/ C_{30} 藿烷值为0.08,重排

甾烷、4-甲基甾烷含量较高,油源对比表明来源于孤南洼陷沙三下亚段烃源岩;第三类为混源油,如孤南22井,生物标志化合物特征介于第一类、第二类原油之间,为孤南洼陷沙三下亚段与沙一段烃源岩提供。

3.2 南区东营组超覆油藏

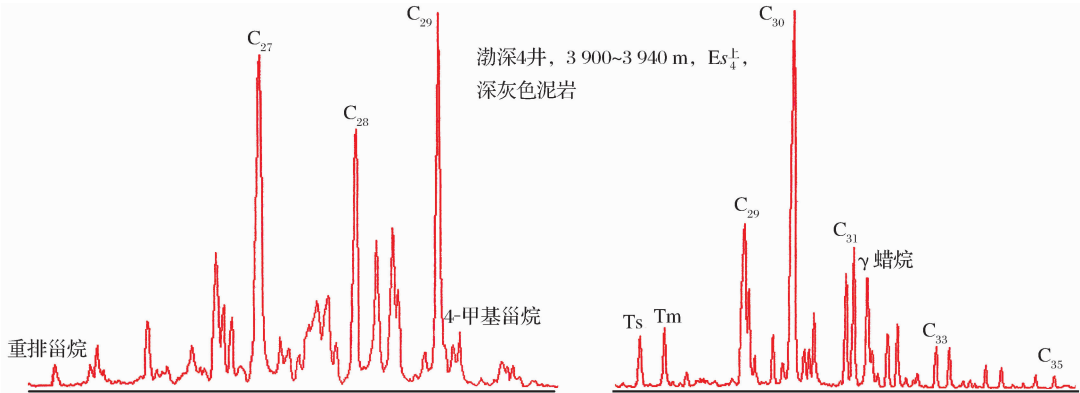
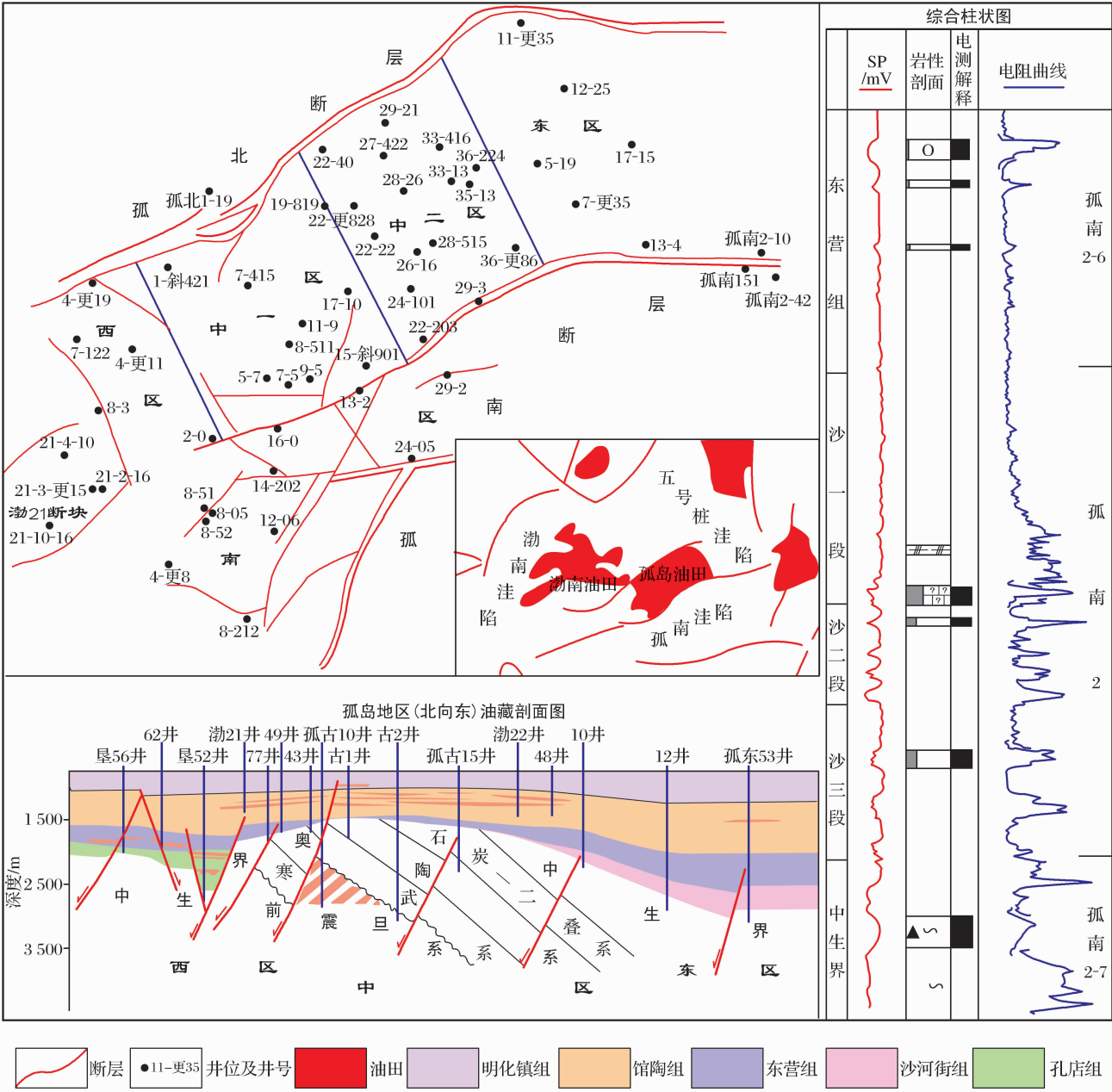
在南区西南部,东营组超覆在奥陶系灰岩风化壳上,形成地层超覆油藏,如南8-05井。其原油甾烷 $C_{29}20S/(20S+20R)$ 值为0.42,为成熟原油。4-甲基甾烷含量丰富,含有 C_{28} -29,30-二降藿烷,升藿烷含量出现 $C_{35}>C_{34}$ 的异常分布,表现出渤南洼陷沙四上亚段碳酸盐岩的特征;同时含有较高的重排甾烷、低伽马蜡烷,伽马蜡烷/ C_{30} 藿烷值为0.13,又出现了沙三下亚段烃源岩的特征,因此其油源来自渤南洼陷沙四上亚段烃源岩与沙三下亚段烃源岩。

3.3 主体馆陶组披覆构造油藏

通过对孤岛油田各区块馆陶组原油中规则甾烷、4-甲基甾烷、三环萜烷及五环三萜烷等生物标志化合物特征的分析,发现馆陶组原油普遍为“混源油”,即渤南洼陷沙四上亚段碳酸盐岩烃源岩与渤南、孤北、孤南沙三下亚段烃源岩所提供的“混源油”。

一方面,8,14-断藿烷含量丰富,发育4-甲基甾烷,伽马蜡烷含量较高, C_{35} 藿烷丰度较高, C_{35}/C_{33} 升藿烷值为0.81~1.02,而各洼陷沙三段及沙一段烃源岩该值均小于0.75,上述特征均是渤南洼陷沙四上亚段烃源岩碳酸盐岩强还原特征的表现。同时馆陶组原油含硫量普遍较高,为1.17%~3.38%,而其他洼陷所生原油含硫量低,如孤南油田原油含硫量<0.5%,也说明了渤南洼陷的贡献。由于孤岛披覆构造带构造平缓,渤南洼陷这个生烃量巨大的富油洼陷,在异常压力的推动下,源源不断地运移到孤岛构造的包括东区、南区在内的各个区块,是孤岛油田最重要油源。

另一方面,重排甾烷含量较高,又出现了沙三下亚段烃源岩的特征。正是由于“混源”使得该类原油生物标志化合物特征与单纯以沙四上亚段碳酸盐岩为油源的原油相比有所变化:4-甲基甾烷含量降低;伽马蜡烷含量相对较低,为0.16~0.25(图5); C_{29} 藿烷含量有所降低, C_{29}/C_{30} 藿烷值为0.47~0.56, C_{35} 升藿烷含量降低。由于孤岛油田周围生油洼陷渤南、五号桩、孤南沙三下亚段都为优质烃源岩,馆陶组原油中沙三段源岩的贡献到底来自哪个洼陷,这需要对各个区块原油从成熟度、4-甲基甾烷含量等参数作全面、系统地分析,找出变化规律。



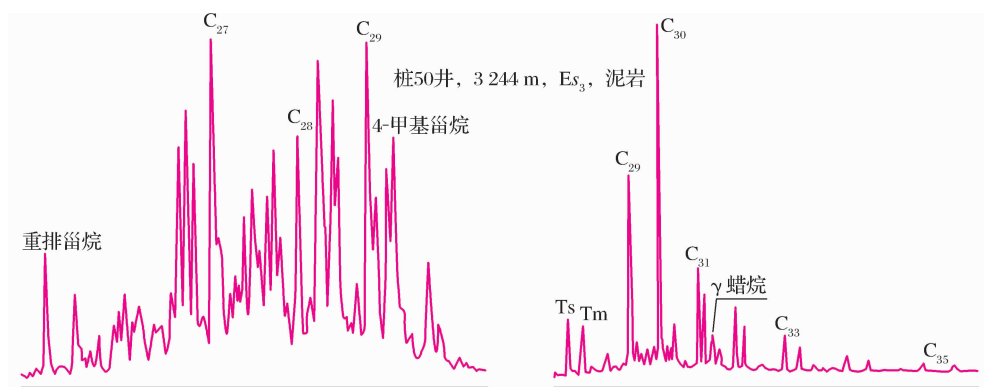


图3 五号桩洼陷沙三段烃源岩甾烷、萜烷特征

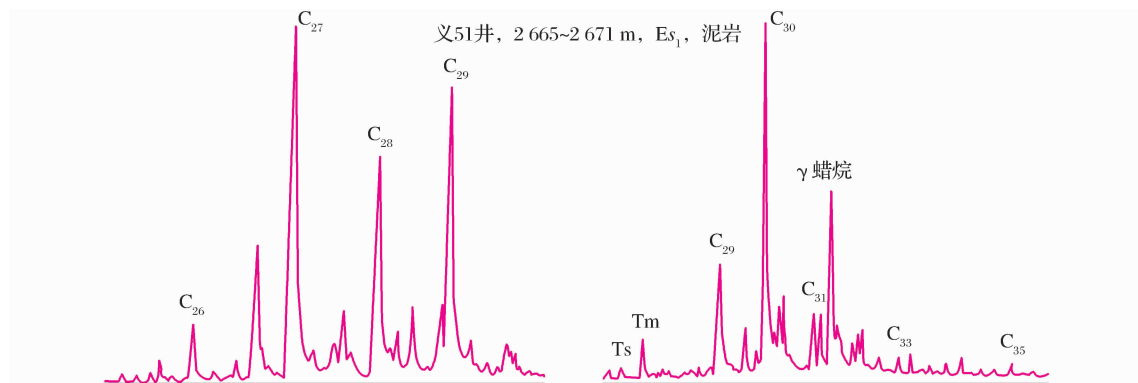


图 4 渤南洼陷沙一段烃源岩甾烷、萜烷特征

表 1 沾化凹陷各洼陷烃源岩及其所生原油的生物标志化合物特征

| 注陷 | 层系 | γ 蜡烷/ C_{30} 藿烷 | Pr/Ph | Ts/Tm | $C_{29}20S/(20S+20R)$ | 4-甲基甾烷 | 备注 |
|-----|-------------|--------------------------|-----------|-----------|-----------------------|--------|-----------------|
| 渤南 | 沙四上亚段(泥岩) | 0.20~0.34 | 0.15~0.83 | 0.56~1.16 | 0.35~0.50 | 较低 | $C_{35}>C_{33}$ |
| | 沙四上亚段(碳酸盐岩) | 0.19~0.76 | 0.25~0.78 | 0.11~0.40 | 0.44~0.55 | 高 | |
| | 沙三段 | 0.08~0.17 | 0.80~1.44 | 0.61~3.80 | 0.35~0.60 | 中等 | |
| | 沙一段 | 0.31~1.53 | 0.32~0.85 | 0.20~0.56 | 0.11~0.32 | 低 | |
| 五号桩 | 沙三段 | 0.08~0.20 | 0.79~2.59 | 0.74~1.62 | 0.38~0.53 | 高 | |
| 孤南 | 沙三段 | 0.07~0.12 | 0.88~2.0 | 0.56~1.97 | 0.46~0.57 | 中等 | |
| | 沙一段 | 0.46~0.96 | 0.26~0.89 | 0.12~0.79 | 0.14~0.28 | 低 | 含有 C_{26} 甾烷 |

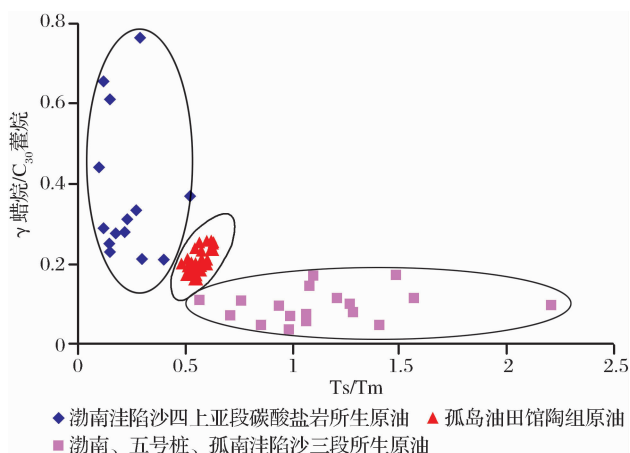


图5 孤岛油田馆陶组原油与周围洼陷
烃源岩所生原油生物标志化合物参数关系

3.4 油气运移方向与来源判识

陆相断陷盆地具有多期生烃、多次充注、多期成藏的特点。依据油藏地球化学的基本原理,在一个油藏范围内,先期充注的石油成熟度较低,而后期充注的石油成熟度相对偏高,成熟度相对最高的石油分布在最接近油藏充注点的地带^[11-12]。因而运用生物标志化合物成熟度参数,结合油源判识结果及研究区地质特征可以示踪石油充注的途径。

孤岛油田馆陶组原油自西向东、自北向南原油甾烷成熟度、4-甲基甾烷、硫芴、脱羟基维生素 E 等相对含量呈规律性的变化。自西区向东原油的甾烷成熟度变化为(图 6):从西 7-122 井的 0.36 降到

中一区的 1-斜 421 井的 0.33,再向东到孤北 1-19 井、中 29-21 井、东 11-更 35 井的 0.37、0.36、0.37,成熟度又变大;同时 4-甲基甾烷/ C_{29} 甾烷值、1-甲基硫茈/4-甲基硫茈值、脱羟基维生素 E β/γ 值也表现了同样的变化趋势(图 7),这违背了油藏的地球化学原理,肯定有其他洼陷对该区油气做出了贡献,提供了原油。由于孤岛潜山北部的孤北洼陷沙三下亚段烃源岩所生原油成熟度较高,4-甲基含量丰富,因此可判断孤北洼陷对孤岛油田提供了油源;依据自孤北洼陷由近及远(由北向南)原油的成熟度、4-甲基甾烷含量等参数的变化,可判断出其提供的原油到达中一区、中二区、东区中部。同样,根据渤南洼陷提供的原油从西区自北向南到南区及孤北洼陷提供的原油自北向南原油的成熟度从高到低再变高的事实,可判断出东南部孤南洼陷沙三下亚段烃源岩对该区也提供了部分油气,并且可大致划出运移边界:孤南洼陷油气运移至南区南部、东部及中二区、东区中部(图 8)。

4 馆陶组含油层系油气成藏过程分析

孤岛油田南区的奥陶系原油性质较差,密度较高,为 0.95 g/cm^3 ,粘度为 $1\,165\text{ mPa}\cdot\text{s}$ 。南区的东营组原油密度也较高($0.93\sim 0.95\text{ g/cm}^3$),粘度

较高($114\sim 324\text{ mPa}\cdot\text{s}$),含硫量高(3.08%),凝固点为 24°C ;而孤南断层下降盘的东营组原油性质较好,其密度小($0.85\sim 0.89\text{ g/cm}^3$),粘度低($7.5\sim 59\text{ mPa}\cdot\text{s}$),含硫量较低($0.11\%\sim 0.96\%$),凝固点较高($13\sim 35^\circ\text{C}$)。沙河街组原油物性较好,具有低密度($0.85\sim 0.87\text{ g/cm}^3$),低粘度($6\sim 23\text{ mPa}\cdot\text{s}$),低含硫($0.08\%\sim 0.69\%$),凝固点较高($14\sim 38^\circ\text{C}$)的特点。馆陶组原油与沙河街组原油物性明显不同,具有高密度($0.935\sim 0.99\text{ g/cm}^3$)、高粘度($103\sim 5\,700\text{ mPa}\cdot\text{s}$)、高含硫($1.17\%\sim 3.38\%$)、凝固点较低($-10\sim 32^\circ\text{C}$)的特点。原油密度平均为 0.96 g/cm^3 ,以稠油为主,稠油的形成主要是由于原油发生了生物降解作用,导致烃类组分损失,非烃和沥青质等重质组分增加造成的^[13-14]。

从色谱图上可以看出馆陶组原油普遍遭受了生物降解,正构烷烃损失,无环类异戊二烯烷烃部分存在,m/z 191 质谱图上 C_{29} -25-降藿烷普遍存在(图 9),因而为轻微降解油或中等降解油与严重降解油形成的混合油。

以上分析表明,孤岛油田馆陶组原油普遍出现 25-降藿烷,而无环类异戊二烯烷烃存在,且甾烷、萜烷并未受到影响,这违背了生物降解的基本规律^[15],说明 25-降藿烷是在在此之前形成的,是早期成藏原油

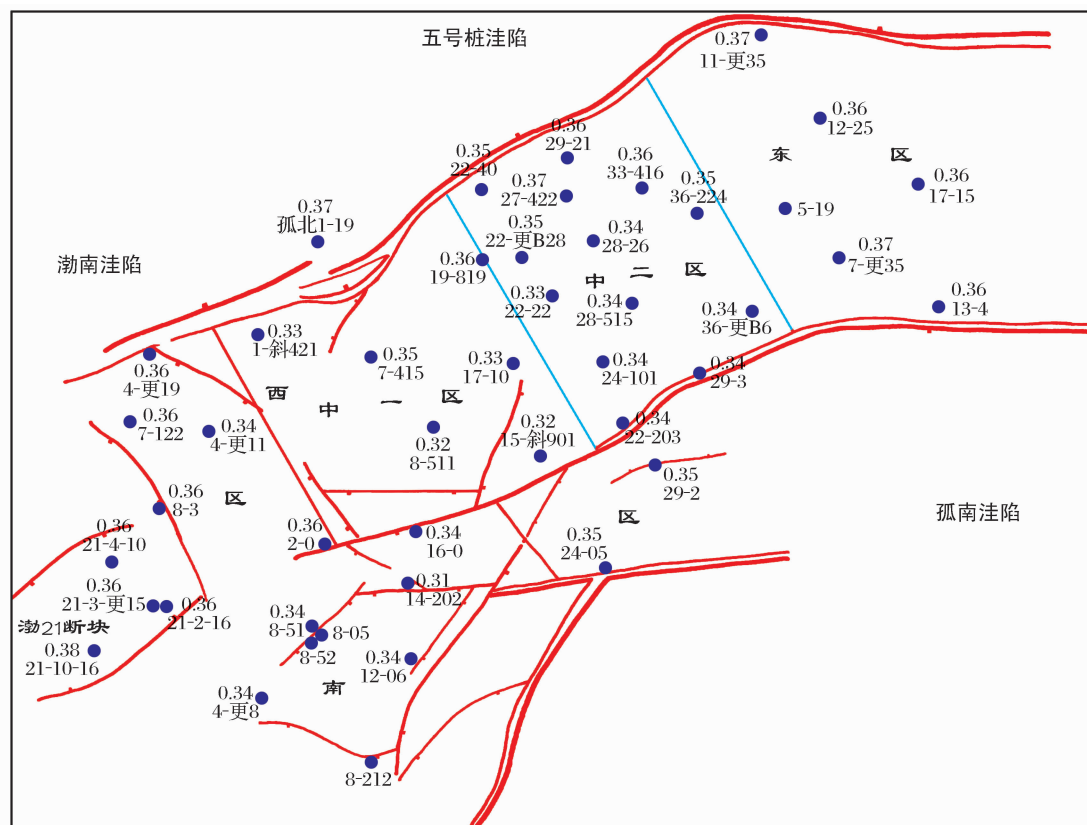


图 6 孤岛油田馆陶组原油甾烷 $C_{29} 20S/(20S+20R)$ 参数值平面分布特征

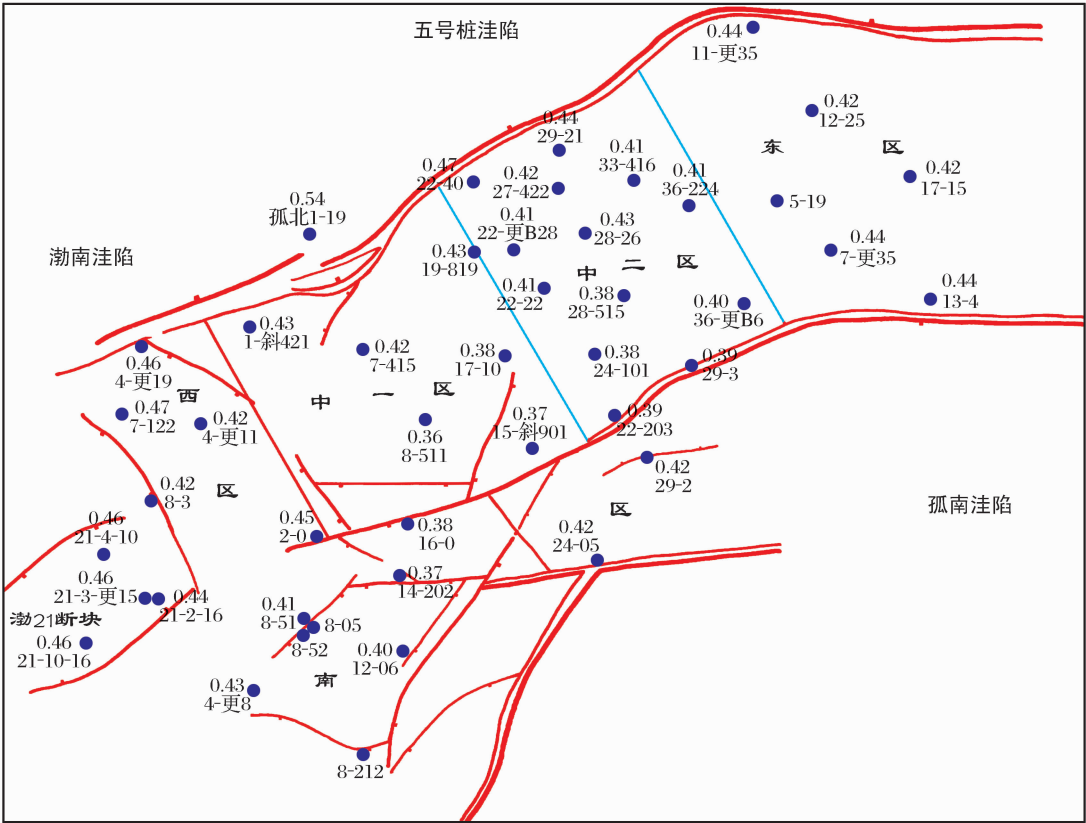


图 7 孤岛油田馆陶组原油 4-甲基甾烷/C₂₉ 甾烷参数值平面分布特征

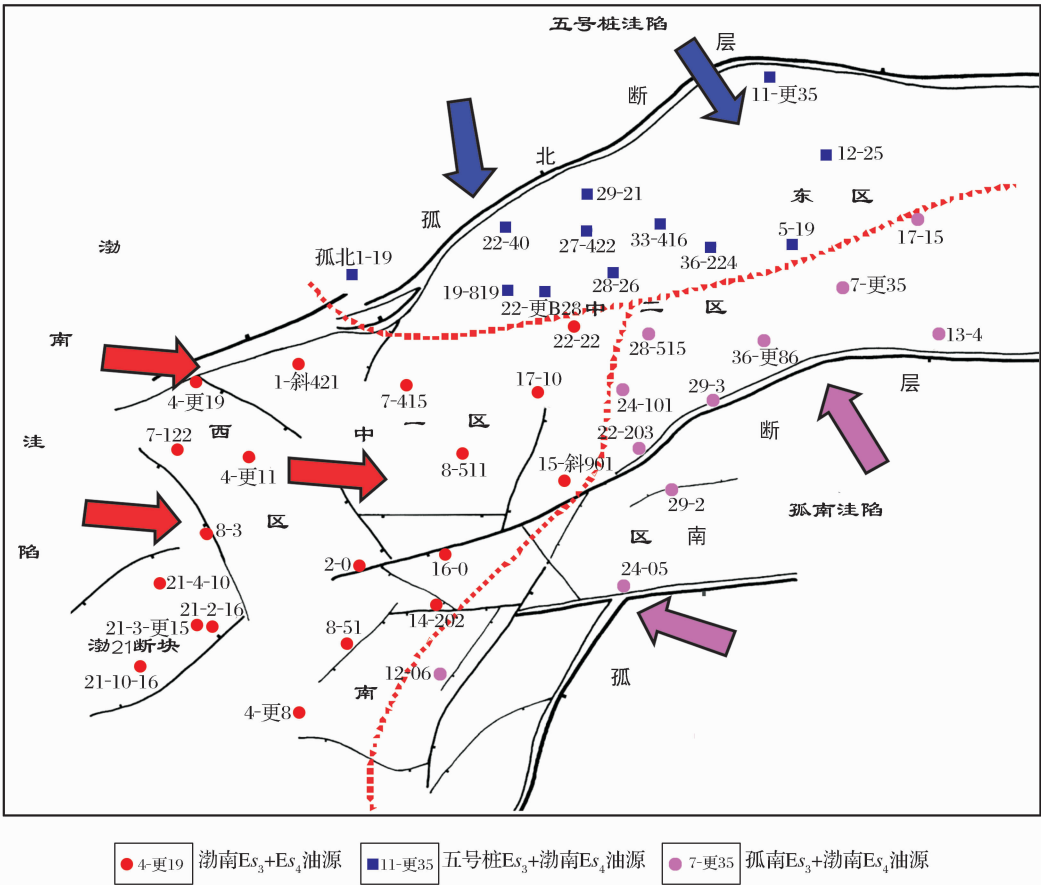


图 8 孤岛油田馆陶组油源分区

发生了严重的生物降解后的遗迹,现今原油中的甾烷、萜烷是早期成藏原油遭受破坏之后再次充注的油气特征的反映。因此,孤岛油田至少经历了2次大规模的油气充注成藏。孤岛油田的早期成藏主要发生在东营期^[16],其油气是由渤南洼陷沙四上亚段烃源岩所提供,由于东营末期的构造运动,油藏破坏严重。第二期大规模的成藏发生在馆陶期至明化镇期,渤南洼陷沙四上亚段碳酸盐岩及周围3个洼陷的沙三下亚段烃源岩均达到主要排烃期,原油向孤岛潜山坡覆构造带运移时,渤南洼陷沙四上亚段烃

源岩形成的原油与各洼陷沙三下亚段烃源岩提供的原油混合,从而形成了馆陶组大规模的“混源油”。由于作为区域性盖层的明化镇组在此期间已逐步形成,油气保存相对较好,但由于油藏埋藏浅,原油也遭受了轻到中等程度的生物降解作用,但降解程度远低于早期成藏。Volkman等^[17]认为,可用 m/z 191质量色谱图 C_{29} -25-降藿烷/ C_{29} 藿烷值来确定2次石油充注的相对含量,孤岛油田馆陶组原油中该值仅为0.10左右,说明后期充注是最重要的一次成藏,孤岛油田目前所获得的储量主要来自本期成藏。

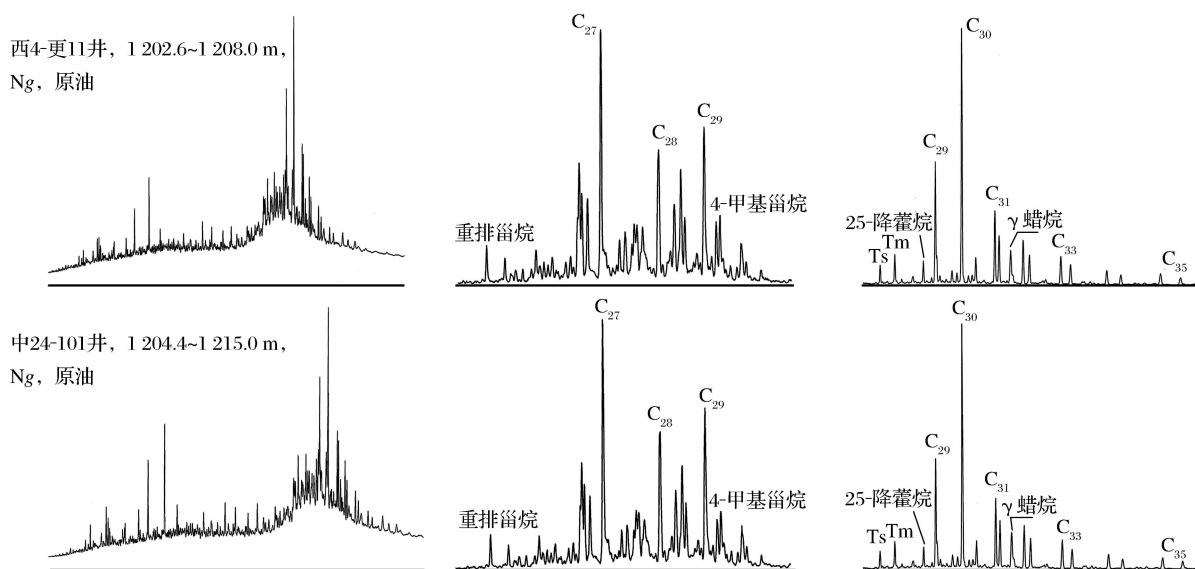


图9 孤岛油田馆陶组原油色谱及甾、萜烷特征

5 结论

孤岛油田馆陶组原油普遍为“混源油”,是渤南洼陷沙四上亚段碳酸盐岩与周围各洼陷沙三下亚段烃源岩形成的混源油,其中渤南洼陷是孤岛油田的主要油源,其沙四上亚段烃源岩生成的原油遍及孤岛油田的各个区块;孤北洼陷沙三下亚段主要向孤岛油田中一区、中二区及东区的北部提供了部分油气;孤南洼陷沙三下亚段提供的油气主要分布于孤岛油田的南区、中二区及东区南部。

孤岛油田馆陶组至少经历了2次大规模的油气充注成藏。其中早期成藏破坏比较严重,原油受到了严重的生物降解作用;后期成藏原油也受到了轻到中等的生物降解作用,馆陶组储量主要来自后期充注。

参考文献:

[1] Zhang Shanwen, Wang Yongshi, Shi Dishu, *et al.* Meshwork-carpet type oil and gas pool-formin system: Taking Neogene

of Jiyang depression as an example[J]. *Petroleum Exploration and Development*, 2003, 30(1): 1-10. [张善文, 王永诗, 石砥石, 等. 网毯式油气成藏体系——以济阳坳陷新近系为例[J]. *石油勘探与开发*, 2003, 30(1): 1-10.]

- [2] Cai Youxing. Characteristics of fault developed in Jiyang sag and its control over hydrocarbon migration and accumulation [J]. *Natural Gas Geoscience*, 2008, 19(1): 56-61. [蔡佑星. 济阳坳陷断裂发育特征及其对油气成藏的控制作用[J]. *天然气地球科学*, 2008, 19(1): 56-61.]
- [3] Qu Fang, Chen Qinghua. New recognitions about fault activity of the southwestern margin of Gudaohill oilfield[J]. *Journal of Earth Sciences and Environment*, 2009, 31(4): 394-399. [渠芳, 陈清华. 对孤岛油田西南缘断层活动性的新认识[J]. *地球科学与环境学报*, 2009, 31(4): 394-399.]
- [4] Bi Yanpeng, Chen Yunlin, Tian Bo, *et al.* Gudaohill Oilfield[M]// Zhang Wenzhao. *Large Terrestrial Oil Field*. Beijing: Petroleum Industry Press, 1997: 646-654. [毕研鹏, 陈云林, 田波, 等. 孤岛油田[M]//张文昭. *中国陆相大油田*. 北京: 石油工业出版社, 1997: 646-654.]
- [5] Shi Dishu. Characterstics of the evidences of oil and gas injection in the Gudaohill of Jiyang depression, Shandong,

- China[J]. Journal of Chengdu University of Technology: Science & Technology Edition, 2008, 35(5): 513-516. [石砥石. 济阳坳陷孤岛潜山油气充注特征[J]. 成都理工大学学报: 自然科学版, 2008, 35(5): 513-516.]
- [6] Zhang Linye, Kong Xiangxing, Zhang Chunrong, *et al.* High quality oil prone source rocks in Jiyang depression [J]. *Geochimica*, 2003, 32(1): 35-42. [张林晔, 孔祥星, 张春荣, 等. 济阳坳陷优质烃源岩的发育及其意义[J]. 地球化学, 2003, 32(1): 35-42.]
- [7] Li Pilong. The organic-rich hydrocarbon source rocks and their resource potentials in Jiyang depression[J]. *Earth Science Frontiers*, 2004, 11(1): 317-322. [李丕龙. 济阳坳陷“富集有机质”烃源岩及其资源潜力[J]. 地学前缘, 2004, 11(1): 317-322.]
- [8] Zhu Guangyou, Jin Qiang, Ding Hao, *et al.* Hydrocarbon-generation system characteristics of Shahejie Formation in Zhanhua sag of Jiyang depression[J]. *Natural Gas Industry*, 2004, 23(supplement): 10-12. [朱光有, 金强, 丁浩, 等. 济阳坳陷沾化断陷湖盆沙河街组生烃系统特征[J]. 天然气工业, 2004, 23(增刊): 10-12.]
- [9] Wang Wanchun, Wang Chuanyuan, Liu Quanyou, *et al.* Distinguishing oil-associated natural gas biodegradation degree based on petroleum biodegradation grade[J]. *Natural Gas Geoscience*, 2007, 18(5): 703-708. [王万春, 王传远, 刘全有, 等. 依据原油裂解级别判识伴生天然气降解程度[J]. 天然气地球科学, 2007, 18(5): 703-708.]
- [10] Wang Guangli, Wang Tieguan, Zhang Linye, Hydrocarbon-generation characteristics for lacustrine carbonate source rocks in Bonan sag of Jiyang depression[J]. *Acta Petrolei Sinica*, 2007, 28(2): 62-68. [王广利, 王铁冠, 张林晔. 济阳坳陷渤南洼陷湖相碳酸盐岩成烃特征[J]. 石油学报, 2007, 28(2): 62-68.]
- [11] England W A, Mackenzie A S, Mann D M, *et al.* The movement and entrapment of petroleum fluids in the subsurface [J]. *Geological Society*, 1987, 144: 327-347.
- [12] Larter S R, Aplin A C. Reservoir Geochemistry: Method, Application and Chance [M]//Edited by Cubitt J M, England W A. Translated by Wang Tieguan, Zhang Zhihuan. Reservoir Geochemistry. Beijing: Petroleum Industry Publishing Company, 1997: 7-41. [Larter S R, Aplin A C. 油藏地球化学: 方法、应用与机遇[M]//Cubitt J M, England W A 主编. 王铁冠, 张枝焕译. 油藏地球化学. 北京: 石油工业出版社, 1997: 7-41.]
- [13] Ma Anlai, Zhang Shuichang, Zhang Dajiang, *et al.* The advances in the geochemistry of the biodegraded oil [J]. *Advances in Earth Science*, 2005, 20(4): 449-454. [马安来, 张水昌, 张大江, 等. 生物降解原油地球化学研究新进展[J]. 地球科学进展, 2005, 20(4): 449-454.]
- [14] Hu Shouzhi, Zhang Dongmei, Tang Jing, *et al.* Review of the genesis of heavy oil [J]. *Geological Science and Technology Information*, 2009, 28(2): 94-97. [胡守志, 张冬梅, 唐静, 等. 稠油成因研究综述[J]. 地质科技情报, 2009, 28(2): 94-97.]
- [15] Peters K E, Moldowan J M. The Biomarker Guide: Interpreting Molecular Fossils in Petroleum and Ancient Sediments [M]. Translated by Jiang Naihuang, *et al.* Beijing: Press Petroleum Industry, 1995: 178-186. [彼得斯 K E, 莫尔多万 J M. 生物标志物指南: 古代沉积物和石油中分子化石的解释[M]. 姜乃煌等译. 北京: 石油工业出版社, 1995: 178-186.]
- [16] Zhang Zhihuan, Zeng Yantao, Zhang Xuejun, *et al.* The geochemistry characteristics and accumulation-history of crude oil in the Bonan sub-sag of the Zhanhua sag, the Bohaiwan basin [J]. *Petroleum Geology & Experiment*, 2006, 28(1): 54-58. [张枝焕, 曾艳涛, 张学军, 等. 渤海湾盆地沾化凹陷渤南洼陷原油地球化学特征及成藏期分析[J]. 石油实验地质, 2006, 28(1): 54-58.]
- [17] Volkman J K, Alexander R, Kagi R I, *et al.* Demethylated hopanes in crude oils and their applications in petroleum geochemistry [J]. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 1983, 47: 785-794.

Oil Sources in Multi-directions and Accumulation Analysis in Guantao Formation of Gudao Oilfield in Zhanhua Sag

WANG Zhong

(Institute of Geological Science, Shengli Oilfield, Dongying 257015, China)

Abstract: There are abundant hydrocarbon resources in the Guantao Formation of Gudao oilfield in the Zhanhua sag. Biomarkers of the oils from this area suggest oil-to-source correlation. The oils are generally “mixed oils”, mainly from the source rocks of the upper Es₄ of Bonan sag and the others from the lower Es₃ of Bonan, Gubei sag and Gunan sag. Oils generated from the upper Es₄ of Bonan sag are distributed every block of Gudao oilfield, and those from the other three sags are in the designated ranges according to the variation regularity of biomarker parameter. The oils of the Guantao Formation have been infused twice at least, and the late accumulation is the most important, from which the petroleum reserves mainly originate.

Key words: Biomarker; Oil source; Hydrocarbon accumulation; Gudao oilfield; Zhanhua sag.