

波斯湾盆地古生界油气地球化学特征及油源分析

杨永才, 孙玉梅, 李友川, 黄兴文

(中海油研究总院, 北京 100027)

摘要:波斯湾盆地古生界储层原油为高 API、低含硫量的轻质油, 具有偏轻碳同位素值, 形成于还原沉积环境。研究表明, 波斯湾盆地阿曼次盆前寒武—二叠系储层原油来源于前寒武—寒武系海相烃源岩。中阿拉伯次盆、鲁卜—哈利次盆古生界储层原油主要来源于志留系热页岩。长期、继承性发育隆起区的古生界背斜圈闭或地层、岩性等隐性圈闭为波斯湾盆地有利的勘探目标。

关键词:烃源岩; 油源对比; 碳同位素; 油气分布; 古生界

中图分类号: P618.13

文献标志码: A

文章编号: 1672-3767(2014)02-0020-09

Geochemical Characteristics and Hydrocarbon-Source Rock Correlations of Paleozoic Petroleum in Persian Gulf Basin

Yang Yongcai, Sun Yumei, Li Youchuan, Huang Xingwen

(China National Offshore Oil Corporation Research Institute, Beijing 100027, China)

Abstract: The crude oils of the Paleozoic reservoirs in the Persian Gulf Basin deposited in the reducing sedimentary environments are of high API gravities, low sulfur contents and light isotopic ratios. The study of oil-source rock correlations show that the oils from the Precambrian to Permian reservoirs of Oman Sub-basin were generated from the Precambrian-Cambrian marine source rocks. The oils from the Paleozoic reservoirs in the Central Arabian Sub-basin and Rub'al Khali Sub-basin were derived from the basal hot shale of the Silurian. The Paleozoic favorable exploration targets are the anticlinal traps and the stratigraphic and lithologic traps which are located in the long-term and inherited developed uplift area in the Persian Gulf Basin.

Key words: source rocks; oil-source rock correlations; carbon isotope; petroleum distribution; Paleozoic

中东波斯湾盆地的油气资源非常丰富, 其最终可采储量为 $1\ 818.96 \times 10^8\ \text{m}^3$, 占全球石油最终可采储量的 48%^[1], 其中沙特阿拉伯的 Ghawar 油田为世界第一大油田, 卡塔尔的 North 气田为世界第一大气田。波斯湾盆地石油地质特征与油气成藏研究在国内一直备受关注和研究。金之钧等^[2]研究了亚洲主要含油气盆地构造演化特征、盆地类型及油气资源结构。王学军和赵玉光^[3]分析了波斯湾盆地构造叠合演化特征及储层—圈闭条件。白国平^[4-5]系统总结了波斯湾盆地基本石油地质特征、油气田分布特征及其油气资源潜力。本研究从油气地球化学角度出发, 论述波斯湾盆地烃源岩生烃潜力, 并从原油物性、类异戊间二烯烷烃、稳定碳同位素等方面剖析了古生界原油地球化学特征, 通过原油生物标志物及稳定碳同位素特征, 运用原油组分稳定碳同位素特征分析古生界石油的来源, 指明该盆地古生界有利勘探目标区, 为中国各石油公司在中东地区前侏罗系油气战略选区研究及海外勘探区块优选提供参考依据。

收稿日期: 2013-07-04

基金项目: 国家科技重大专项项目(2008ZX05030-001, 2011ZX05030-001)

作者简介: 杨永才(1978—), 男, 河北大名人, 工程师, 博士, 主要从事油气地球化学与海外油气勘探的研究。

E-mail: yangyc2003@126.com

1 地质概况

波斯湾盆地位于中東板块,西部与阿拉伯地盾相邻,东北部、北部分别为扎格罗斯褶皱带、托罗斯褶皱带,西北边界为死海断裂,东南部紧邻亚丁湾和阿拉伯海(图1)。面积约为 $350 \times 10^4 \text{ km}^2$ 。

波斯湾盆地可划分为阿曼次盆、中阿拉伯次盆、鲁卜-哈利次盆、美索不达米亚次盆、扎格罗斯次盆和西阿拉伯次盆等二级构造单元(图1)。

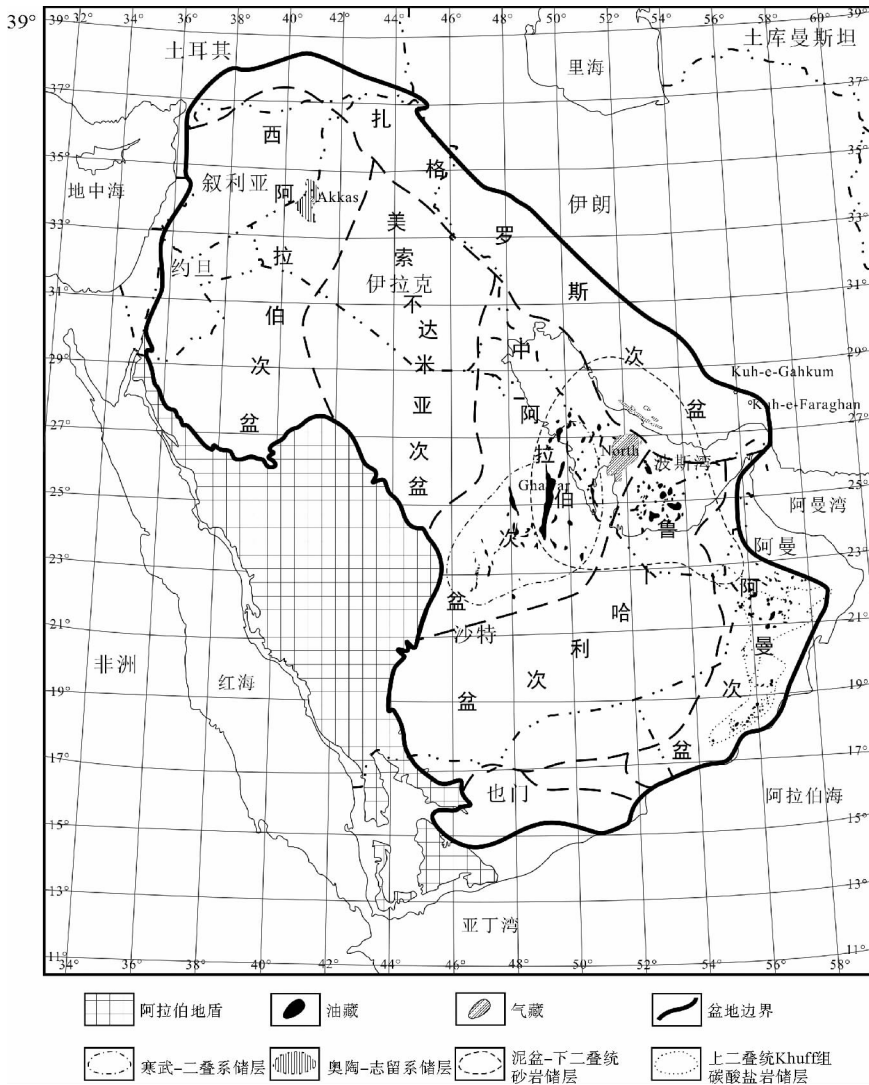


图1 波斯湾盆地构造单元及古生界油气分布(据文献[6-7]修改)

Fig. 1 The tectonic units and the Paleozoic petroleum distribution in Persian Gulf Basin(modified from references [6-7])

波斯湾盆地经历前新元古代阿拉伯地盾克拉通化、海西运动、扎格罗斯运动等构造运动。阿拉伯地盾克拉通化,形成了与裂谷相关的盆地和坳陷。前寒武-寒武纪,陆架碎屑岩和海相沉积物覆盖于结晶基底之上,快速沉降控制了膏岩及碳酸盐岩沉积,在盆地和坳陷底部缺氧沉积环境中形成了前寒武-寒武系富有机质烃源岩(图2)。

早古生代波斯湾盆地为一个被动大陆边缘沉积背景,晚古生代期间,沉积背景转变为活动大陆边缘,在陆架边缘上有陆相和浅海相沉积物。晚奥陶世,极地冰川扩大到冈瓦纳大陆并覆盖了阿拉伯板块西部。奥

陶纪末, 冰川迅速融化, 导致海平面急剧上升, 形成大规模海侵, 形成了早志留世分布广泛、厚度薄且富含有机质的热页岩(图 2)。

中生代三叠纪, 气候干燥一半干燥, 沉积物以红层、浅水碳酸盐岩和蒸发岩与页岩的交互层为主。在侏罗—白垩纪, 波斯湾盆地沉积环境为新特提斯洋的稳定大陆架背景, 沉积以浅水碳酸盐岩为主, 形成了多套侏罗系、白垩系海相碳酸盐岩烃源岩(图 2)。

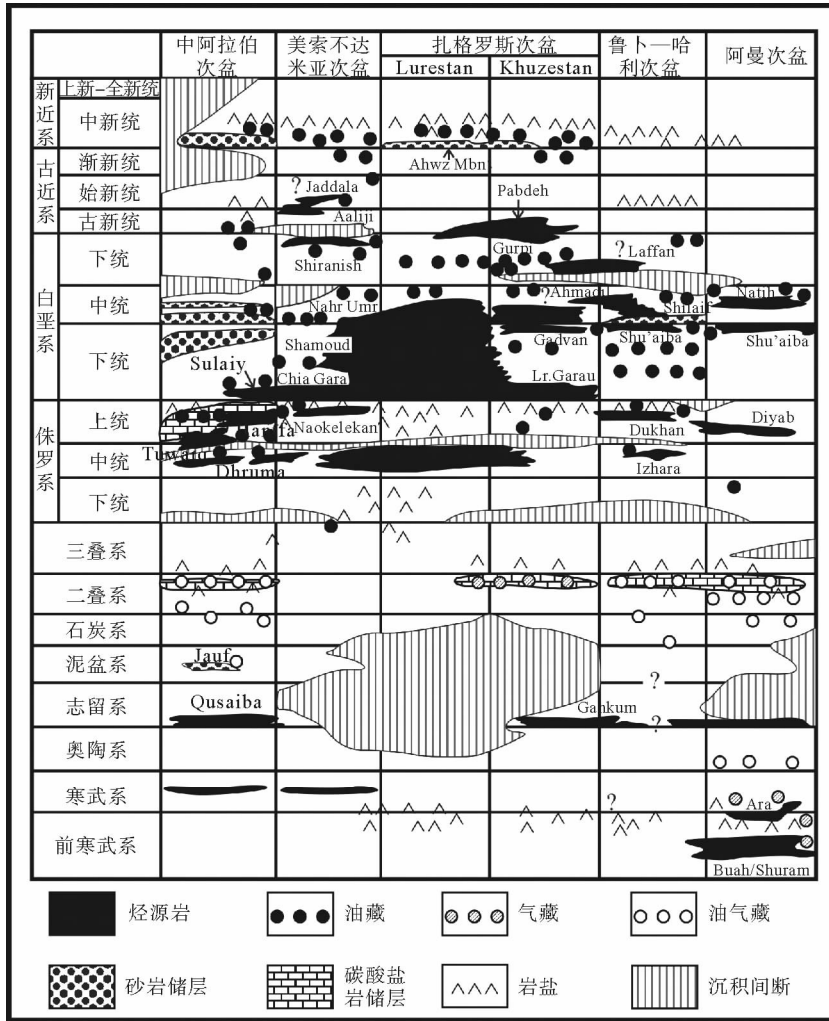


图 2 波斯湾盆地烃源岩时空分布图(据文献[8]修改)

Fig. 2 Temporal and spatial distribution of the source rocks in Persian Gulf Basin(modified from references[8])

波斯湾盆地古生界油气主要分布于该盆地中部中阿拉伯次盆、鲁卜—哈利次盆及东南部阿曼次盆, 少量油气分布于扎格罗斯盆地东南部和西阿拉伯次盆(图 1)。

波斯湾盆地中阿拉伯次盆、鲁卜—哈利次盆古生界油气系统主要分布于沙特东部、卡塔尔、巴林和伊朗南部, 主要储层为上二叠统 Khuff 组碳酸盐岩、下二叠统 Unayzah 组砂岩、泥盆系 Jubah 组砂岩、Jauf 组砂岩, 次要储层为下三叠统碳酸盐岩和奥陶系砂岩。古生界区域盖层为 Khuff 顶部膏盐。

波斯湾盆地阿曼次盆古生界油气系统储盖组合包括: 储层为上寒武—下奥陶统 Haima 组砂岩, 盖层为该组内海相页岩; 储层为上石炭—下二叠统 Haushi 组砂岩, 盖层为上覆 Akhdar 群(相当于 Khuff 组)层间页岩或灰岩。

2 烃源岩

2.1 前寒武—寒武系烃源岩

前寒武—寒武系 Huqf 群位于前寒武—寒武系盐层内部或下部,为 I / II 型倾油烃源岩,为波斯湾盆地最古老的烃源岩。Huqf 群烃源岩生成的原油主要分布于阿曼南部 Huqf 群内部储层、寒武—二叠系和中生界碎屑岩储层^[9-10]。

阿曼次盆 Jaleel-1 井和 Fahud North-1 井揭示了 Huqf 群 Nafun 组烃源岩。总有机碳含量(TOC,totoal organic carbon)介于 1%~10%,氢指数(HI,hydrogen index)介于 200~700 mgHC/gTOC(表 1)。烃源岩厚度为 20 m。

Haima-1 井揭示了前寒武—寒武系 Huqf 群顶部 Dhahaban 组碳酸盐岩烃源岩,厚度约为 80 m,由白云化的灰岩和硬石膏组成,TOC 高达 8%,HI 平均为 600 mgHC/gTOC,最大可达 800 mgHC/gTOC,干酪根类型为 I / II 型,达到高成熟阶段(等效镜质体反射率约为 1.45%)(表 1)。

表 1 波斯湾盆地古生界烃源岩热解数据(据文献[9-17])

Tab.1 The rock-eval pyrolysis data of the Paleozoic source rocks in Persian Gulf Basin(modified from references [9-17])

烃源岩	地区	地层	TOC/%	HI/(mgHC/gTOC)	干酪根类型	R _o /%	热演化程度	烃源岩厚度/m
前寒武—寒武系烃源岩	阿曼	Huqf 群 Nafun 组	1~10	200~700	I / II	—	高成熟—过成熟	20
	阿曼	Huqf 群 Dhahaban 组	2~8	400~800, 平均为 600	I / II	超过 1.45	高成熟—过成熟	80
奥陶系烃源岩	伊拉克	Khabour 组	0.71~1.41	—	—	1.5~2.5	高成熟—过成熟	300
志留系热页岩	沙特	Qusaiba 段	4~11, 平均 3~5, 最高 20	平均为 339, 最高为 670	I / II	0.70~2.47	成熟—过成熟	15~75
	伊拉克	Qusaiba 段	平均为 5, 最高可达 16	—	I / II	—	高成熟	21~43
	伊朗	Qusaiba 段	1.5~4.2	50~200	II	—	高成熟	40
	约旦	Qusaiba 段	最高达 7~11	—	II / I	0.29~0.95	未成熟—成熟	0~15
二叠系烃源岩	卡塔尔	Qusaiba 段	1.0~3.89	50~191	II	—	高成熟—过成熟	5~15
	巴林	Khuff 组	平均为 0.5, 最高达 1.7	—	—	—	—	—
	阿联酋	Khuff 组	0.5~1.0	—	—	—	成熟	—

2.2 奥陶系烃源岩

伊拉克西部 Akkas-1 井和 Khleisya-1 井揭示了奥陶系 Khabour 组海相页岩烃源岩,形成于内浅海—外浅海相沉积环境。奥陶系 Khabour 组海相页岩 TOC 介于 0.71%~1.4%,有机质主要由无定形组构成,为差—中等烃源岩;等效镜质体反射率约为 1.5%~2.5%,处于高成熟—过成熟阶段^[14](表 1)。奥陶系烃源岩可能存在于沙特南部的鲁卜—哈利次盆,但缺乏地化资料证实。伊拉克西部 Akkas 气田志留系砂岩储层气藏推测可能具有奥陶系烃源岩的贡献。

2.3 志留系烃源岩

根据测井伽马射线特征,将波斯湾盆地古生界志留系 Qalibah 组 Qusaiba 段划分为三种类型:热页岩、

温页岩和冷页岩^[15]。热页岩具有高的伽马射线值($API \geq 150$),主要形成于缺氧还原环境,为优质烃源岩($TOC \geq 2.0\%$);温页岩具有中等的伽马射线值,形成于贫氧环境,主要为中等烃源岩;低伽马射线值的冷页岩沉积于富氧环境,为非烃源岩^[15-16]。

热页岩形成主控因素包括:①稳定的被动大陆边缘构造环境;②幅员辽阔的、平坦的陆表海陆架;③冰川融化导致海平面快速上升;④北冈瓦纳大陆架上升流形成高原始有机质生产率;⑤古隆起导致内陆架盆地富营养水体产生分层;⑥缺氧环境;⑦陆源粗碎屑输入较少;⑧氧气含量较低^[15]等。

在沙特,下志留统底部 Qusaiba 段热页岩通常为暗灰色至黑色薄层静海相页岩,TOC 平均为 $3\% \sim 5\%$,最高可达 20% ,为 II 型干酪根,倾油,包含大量的壳质组和笔石;志留系热页岩达到成熟阶段生烃之后,其 TOC 和热解烃含量(S_2)降低。在伊拉克,Akkas-1 井志留系热页岩 TOC 平均为 5% ,最高可达 16% (表 1)。

在扎格罗斯山前,志留系烃源岩仅出露于两个地方:Kuh-e-Gahkum 和 Kuh-e-Faraghan(图 1)。在 Kuh-e-Gahkum,志留系黑色页岩 TOC 介于 $1\% \sim 4\%$,HI 介于 $50 \sim 200 \text{ gHC/kgTOC}$,厚度为 40 m , T_{\max} 为 $457 \text{ }^\circ\text{C}$ ^[18],有机质已处于过成熟阶段(表 1)。

伽马射线以 $150API$,TOC 以 2% 作标准,波斯湾盆地志留系热页岩沉积中心位于中阿拉伯次盆 Gharwar 油田东南部,最厚达 75 m ,向卡塔尔方向逐渐减薄为 15 m ,甚至 5 m 。

2.4 二叠系烃源岩

二叠系 Khuff 组具有一定生烃能力。二叠系烃源岩资料很少。钻井揭示的二叠系 Khuff 组烃源岩主要分布于巴林和阿联酋。巴林下 Khuff 组烃源岩 TOC 平均为 0.5% ,局部最高可达 1.7% ,为差一中等烃源岩。阿联酋 Khuff 组 TOC 介于 $0.5\% \sim 1.0\%$,为差一中等烃源岩; R_o 介于 $0.97\% \sim 1.01\%$,处于成熟阶段^[12]。二叠系 Khuff 组烃源岩分布较为局限,对古生界油气藏贡献有限。

2.5 中生界三叠系、侏罗系、白垩系烃源岩

中上三叠统有机碳最高达 7.4% ,氢指数最大为 700 mgHC/gTOC ,为优质烃源岩;处于成熟阶段。但其分布局限(相对于志留系和侏罗系烃源岩),厚度较薄。三叠系烃源岩生成原油的 $m(\text{Pr/Ph})$ 介于 $0.8 \sim 1.2$, C_{34} 升藿烷和伽马蜡烷丰度较高,表明其形成于高盐局限沉积环境。卡塔尔在中三叠统 Jilh 组发现商业油气藏,油源可能为三叠系烃源岩^[17]。

波斯湾盆地中生界侏罗系 Hanifa 组 TOC 为 $1\% \sim 6\%$,BH NE-1 井 TOC 高达 8.4% ,干酪根显微组分主要由腐泥组构成。含硫量高达 $4.9\% \sim 8.9\%$ 。烃源岩抽提物碳同位素值 $\delta^{13}\text{C}_{\text{烃源岩}}$ 介于 $-26.0\% \sim -26.5\%$,钒镍比较高,形成于碳酸盐岩沉积环境。

波斯湾盆地中生界白垩系 Shilaif 组泥质灰岩 TOC 主要为 $1\% \sim 6\%$,卡塔尔 A-06 井最高可达 15.3% ,干酪根显微组分主要为腐泥组构成,倾油,含硫量为 $2.1\% \sim 6.6\%$,钒镍比较高, $\delta^{13}\text{C}_{\text{烃源岩}}$ 为 $-24.9\% \sim -27.6\%$,形成于海相碳酸盐岩环境。

3 油气地球化学特征

波斯湾盆地古生界储层油气储量为 $231.28 \times 10^8 \text{ m}^3$,占中东油气总储量的 15% ,以天然气为主(占古生界油气储量 84%)。

波斯湾盆地古生界储层原油的 API 主要介于 $40^\circ \sim 53^\circ$,含硫量介于 $0.03\% \sim 0.42\%$,为高 API、低含硫量原油,钒镍比一般小于 1,指示烃源环境主要形成于海相碎屑岩沉积环境^[19]。中生界侏罗系储层原油 API 介于 $24.5^\circ \sim 41.6^\circ$,含硫量介于 $0.66\% \sim 3.2\%$,钒镍比介于 $1 \sim 4.5$,白垩系储层原油 API 介于 $25.1 \sim 34.3^\circ$,含硫量主要介于 $1.96\% \sim 4.7\%$,钒镍比主要介于 $1 \sim 5.25$,均为低 API、高含硫量、高钒镍比的原油,与古生界储层原油物理性质存在较大的差异,其烃源沉积环境为海相碳酸盐岩环境^[19]。

3.1 原油异戊二烯类化合物

波斯湾盆地中阿拉伯次盆、鲁卜-哈利次盆泥盆-二叠系储层原油姥鲛烷/植烷比值 $m(\text{Pr/Ph})$ 介于 $1.29 \sim 1.84$,阿曼次盆前寒武-二叠系储层原油 $m(\text{Pr/Ph})$ 介于 $0.8 \sim 1.6$,指示其烃源主要形成于海相碎屑岩沉积环境;侏罗系、白垩系和第三系储层原油 $m(\text{Pr/Ph})$ 一般小于 1.0 ,主要介于 $0.46 \sim 0.96$,其沉积成烃

环境主要为海相碳酸盐岩环境^[19]。 $m(\text{Pr}/n\text{C}_{17})$, $m(\text{Ph}/n\text{C}_{18})$ 变化趋势可分析原油形成的海相沉积环境^[19], 古生界储层原油形成于海相碎屑岩还原沉积环境; 而中生界侏罗系和白垩系储层原油则形成于海相碳酸盐岩的沉积环境(图3)。

3.2 原油稳定碳同位素组成

波斯湾盆地阿曼次盆前寒武—二叠系储层原油饱和烃碳同位素值 $\delta^{13}\text{C}_{\text{饱和烃}}$ 介于 $-36.40\text{‰} \sim -33.70\text{‰}$ (PDB, 下同), 芳烃碳同位素值 $\delta^{13}\text{C}_{\text{芳烃}}$ 介于 $-36.90\text{‰} \sim -33.00\text{‰}$, Q型原油(Q型原油为阿曼次盆前寒武—二叠系储层赋存另一类原油, 但其油源最初并未确定^[9])的 $\delta^{13}\text{C}_{\text{饱和烃}}$, $\delta^{13}\text{C}_{\text{芳烃}}$ 分别介于 $-32.40\text{‰} \sim -30.00\text{‰}$ 和 $-33.20\text{‰} \sim -30.00\text{‰}$, 均轻于 -30.00‰ ; 中阿拉伯次盆、鲁卜—哈利次盆泥盆系、二叠系储层原油 $\delta^{13}\text{C}_{\text{饱和烃}}$ 主要介于 $-30.12\text{‰} \sim -28.26\text{‰}$, $\delta^{13}\text{C}_{\text{芳烃}}$ 主要介于 $-29.35\text{‰} \sim -26.10\text{‰}$, 其饱和烃、芳烃碳同位素值明显重于阿曼次盆前寒武—二叠系储层原油及Q型原油; 波斯湾盆地中生界储层侏罗系和白垩系储层原油 $\delta^{13}\text{C}_{\text{饱和烃}}$ 主要介于 $-27.42\text{‰} \sim -26.80\text{‰}$, $\delta^{13}\text{C}_{\text{芳烃}}$ 分别主要介于 $-27.06\text{‰} \sim -25.78\text{‰}$ (图4), 中生界储层原油饱和烃与芳烃碳同位素明显重于古生界储层原油。

4 油源分析

油源对比包括原油与烃源岩之间及不同储层中原油之间的对比, 目的在于追踪储层中原油的来源^[23-24]。根据原油碳同位素组成特征, 波斯湾盆地阿曼次盆前寒武—二叠系储层原油可划分为两类, 第一类原油同位素值偏轻, 其 $\delta^{13}\text{C}_{\text{原油}}$ 主要介于 $-37.10\text{‰} \sim -33.30\text{‰}$, 平均值为 -35.06‰ ; 第二类原油同位素值则偏重, 其

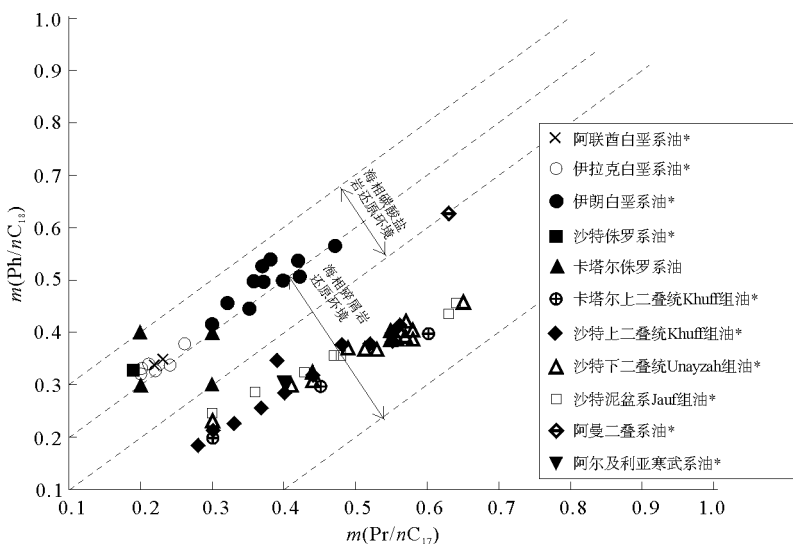


图3 波斯湾盆地不同层系储层原油 $m(\text{Pr}/n\text{C}_{17})$ 和 $m(\text{Ph}/n\text{C}_{18})$ 相关图 (数据 * 据文献[9-10,20-22])

Fig. 3 Plot of $m(\text{Pr}/n\text{C}_{17})$ versus $m(\text{Ph}/n\text{C}_{18})$ for the oil of the reservoirs in Persian Gulf Basin (data * from references[9-10,20-22])

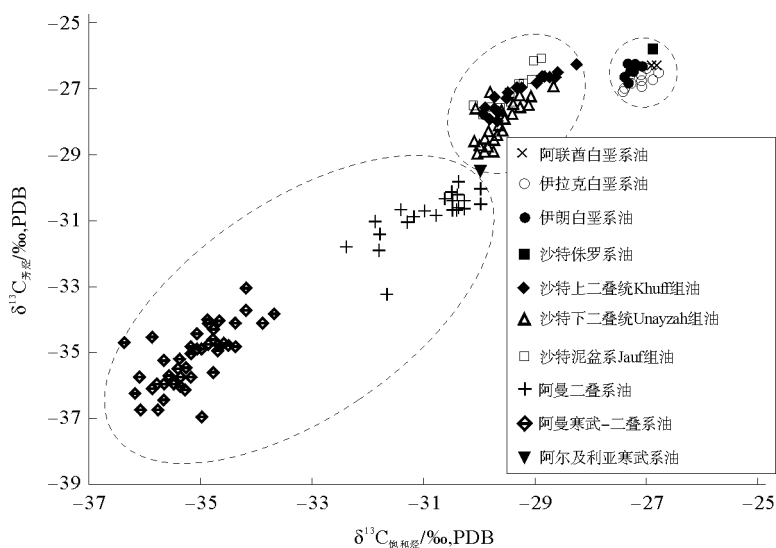


图4 波斯湾盆地不同层系储层原油饱和烃与芳烃碳同位素值相关图 (数据据文献[9-10,20-22])

Fig. 4 Plot of the saturate versus the aromatic hydrocarbons for the isotope of the oil of the reservoirs in Persian Gulf Basin (from references [9-10,20-22])

碳同位素值 $\delta^{13}\text{C}_{\text{原油}}$ 主要介于 -33.00% \sim -29.5% ，平均值为 -31.05% (图 4)，阿曼次盆后一类原油 $\delta^{13}\text{C}_{\text{原油}}$ 明显重于前一类原油。阿曼次盆 Haima-1 井前寒武—寒武系 Huqf 群 Nafun 组烃源岩 $\delta^{13}\text{C}_{\text{烃源岩}}$ 介于 -32.00% \sim -34.00% ，阿曼 Huqf 群 Nafun 组烃源岩 $\delta^{13}\text{C}_{\text{饱和烃}}$ 及 $\delta^{13}\text{C}_{\text{芳烃}}$ 分别为 -38.70% \sim -32.00% 和 -39.50% \sim -31.20% ；Shara South-1 井 Huqf 群 Nafun 组/Dhahaban 组 $\delta^{13}\text{C}_{\text{烃源岩}}$ 则为 -31.00% \sim -33.00% 。因此，阿曼前寒武—二叠系储层第一类原油来源于阿曼次盆前寒武—寒武系 Huqf 群 Nafun 组烃源岩，阿曼第二类原油亦为前寒武系原生油气，来自于 Huqf 群顶部 Dhahaban 组烃源岩。

波斯湾盆地中阿拉伯次盆、鲁卜—哈利次盆泥盆—二叠系储层原油含硫量低于 0.35% ，其 $\delta^{13}\text{C}_{\text{原油}}$ 介于 -29.66% \sim -27.69% ，平均值 -28.98% ，其碳同位素值明显重于阿曼次盆古生界储层原油。波斯湾盆地侏罗系、白垩系储层原油含硫量大于 1.0% ，其 $\delta^{13}\text{C}_{\text{原油}}$ 介于 -27.10% \sim -25.90% ，平均值 -26.53% ，波斯湾盆地中阿拉伯次盆、鲁卜—哈利次盆泥盆—二叠系储层原油亦明显轻于波斯湾盆地侏罗系、白垩系储层原油 (图 5)，表明波斯湾盆地泥盆—二叠系储层原油与阿曼次盆寒武—二叠系以及侏罗系、白垩系储层原油均不存在成因联系。波斯湾盆地志留系热页岩 $\delta^{13}\text{C}_{\text{烃源岩}}$ 介于 -31.19% \sim -29.36% (约旦 BG-14 井 $\delta^{13}\text{C}_{\text{烃源岩}}$ 为 -31.12% \sim -30.92%)；侏罗系烃源岩 $\delta^{13}\text{C}_{\text{烃源岩}}$ 介于 -26.00% \sim -26.50% 。因此，中阿拉伯次盆、鲁卜—哈利次盆泥盆—二叠系储层原油主要来源于志留系热页岩。同样，伊朗南部 Nar 油气田二叠系储层凝析油亦来源于志留系热页岩。

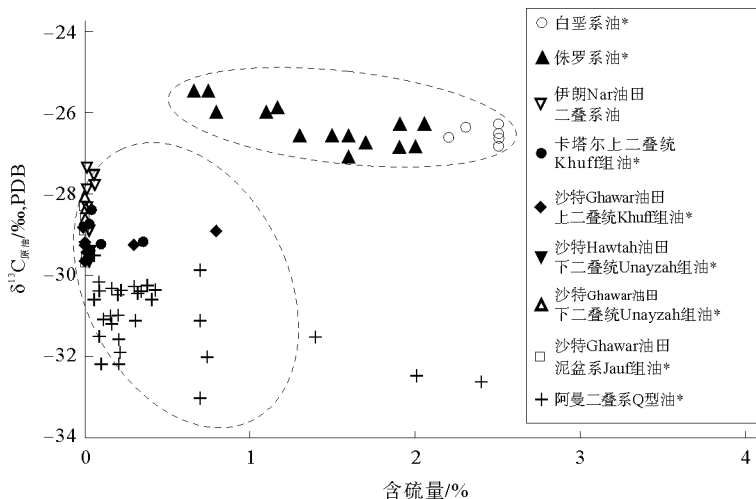


图 5 波斯湾盆地不同层系储层原油含硫量与 $\delta^{13}\text{C}_{\text{原油}}$ 相关图 (数据 * 据文献 [9-10, 20-22])

Fig. 5 Plot of sulfur versus whole oil isotope for the oil of the reservoirs in Persian Gulf Basin (data * from references [9-10, 20-22])

5 古生界勘探潜力分析

波斯湾盆地古生界油气田分布及油气源分析表明，古生界油气分布严格受烃源岩控制，烃源灶分布及规模控制油气分布范围及资源规模如图 6 所示。

波斯湾盆地长期处于稳定的被动大陆边缘构造环境，古生界油气系统发育两套烃源岩，即前寒武—寒武系海相烃源岩和志留系热页岩。前寒武系烃源灶主要位于阿曼次盆，其生成的油气亦分布于阿曼次盆 (图 6)，生成的油气向其周缘有利圈闭运移聚集，赋存于前寒武系碳酸盐岩储层及二叠系砂岩储层。志留系热页岩烃源灶及其生成的油气主要分布于中阿拉伯盆地和鲁卜—哈利次盆 (图 6)，产生的油气向其周缘隆起区运移聚集成藏，油气赋存于古生界砂岩和碳酸盐岩储层中。

中阿拉伯次盆和鲁卜哈利次盆的卡塔尔隆起以及阿曼次盆中部、东南部凸起一直处于古生界油气运移聚集的有利指向区，在该有利区内长期、继承性发育的背斜圈闭或地层、岩性等隐性圈闭为有利的勘探目标。

6 结论

1) 波斯湾盆地古生界储层原油具有高 API、低含硫量的特征，具有偏轻碳同位素值，形成于还原的沉积环境。

2) 油源分析表明，波斯湾盆地阿曼寒武—二叠系储层原油来源于阿曼次盆前寒武—寒武系 Huqf 群 Nafun 组烃源岩，阿曼 Q 型原油亦为前寒武—寒武系原生油气，来自于 Huqf 群顶部 Dhahaban 组烃源岩。中

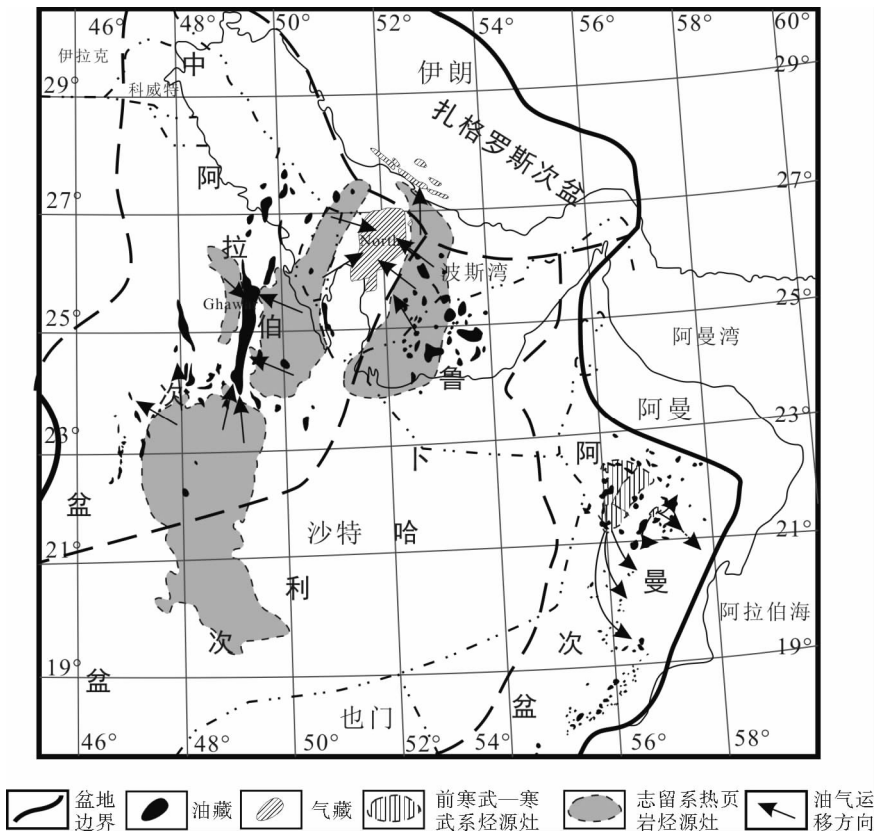


图 6 波斯湾盆地前寒武-志留系烃源灶分布(据文献[7,9]修改)

Fig. 6 Distribution of the Pre-Cambrian to Silurian source kitchens in Persian Gulf Basin(modified from references [7,9])

阿拉伯次盆、鲁卜-哈利次盆古生界储层原油主要来源于志留系热页岩。

3)波斯湾盆地前寒武-寒武系和志留系烃源灶分布及规模控制古生界油气分布范围及资源规模。长期、继承性发育的凸起是波斯湾盆地古生界油气运移聚集的有利指向区,其中的背斜圈闭或地层、岩性等隐性圈闭为有利的勘探目标。

致谢:中海油研究总院勘探研究院张功成地质总师在本文完成过程中提供了指导和帮助;审稿专家提出了宝贵意见,对此一并深表谢忱。

参考文献:

[1]Mann P,Gahagan L,Gordon M. Tectonic setting of the World's Giant oil fields[J]. World Oil,2001,222(10):78-79.

[2]金之钧,殷进垠. 亚洲石油地质特征与油气分布规律[M]. 北京:中国石化出版社,2007:1-20.

[3]王学军,赵玉光. 波斯湾盆地的叠合演化与油气资源分布[J]. 地质科学,2012,47(4):1223-1237.

Wang Xuejun,Zhao Yuguang. Superposed evolution of Persian Gulf basin and its petroleum distribution[J]. Chinese Journal of Geology,2012,47(4):1223-1237.

[4]白国平. 中东油气区油气地质特征[M]. 北京:中国石化出版社,2007:1-13.

[5]白国平. 波斯湾盆地油气分布主控因素初探[J]. 中国石油大学学报:自然科学版,2007,31(3):28-38.

Bai Guoping. A preliminary study of main control factors on oil and gas distribution in Persian Gulf basin[J]. Journal of China University of Petroleum,2007,31(3):28-38.

[6]Konert G,Afifi A M,Al-Hajri S A,et al. Paleozoic stratigraphy and hydrocarbon habitat of the Arabian Plate[J]. GeoArabia,2001(6):407-442.

[7]Al-Husseini M. Carboniferous,Permian and Early Triassic Arabian stratigraphy[M]. Bahrain:GeoArabia Special Publication 3,2004:7-13.

[8]Beydoun Z R,Hughes-Clarke M W,Stoneley R. Petroleum in the Zagros basin:A Late Tertiary foreland basin overprinted

- onto the outer edge of a vast hydrocarbon-rich Paleozoic passive-margin shelf[M]//Macqueen R W, Leckie D A. Forland Basins and Fold Belts, AAPG Memoir 55. Tulsa, Oklahoma: The American Association of Petroleum Geologists, 1992: 309-339.
- [9] Terken J M J, Frewin N L. The Dhahaban petroleum system of Oman[J]. AAPG Bulletin, 2000, 84(4): 523-544.
- [10] Grosjean E, Love G D, Stalvies C, et al. Origin of petroleum in the Neoproterozoic Cambrian South Oman Salt basin[J]. Organic Geochemistry, 2009, 40(1): 87-110.
- [11] Lüning S, Shahin Y M, Loydell D, et al. Anatomy of a world-class source rock: Distribution and depositional model of Silurian organic-rich shales in Jordan and implications for hydrocarbon potential[J]. AAPG Bulletin, 2005, 89(10): 1397-1427.
- [12] Alsharhan A S, Nairn A E M. Sedimentary basins and petroleum geology of the Middle East[M]. Amsterdam: The Netherlands, Elsevier Science B V, 1997: 467-522.
- [13] Al-Ameri T K, Khasib and Tannuma oil sources, East Baghdad oil field, Iraq[J]. Marine and Petroleum Geology, 2011, 28(4): 880-894.
- [14] Al-Juboury A I, Al-Hadidy A H. Petrology and depositional evolution of the Paleozoic rocks of Iraq[J]. Marine and Petroleum Geology, 2009, 26(2): 208-231.
- [15] Cole G A, Abu-Ali M A, Aoudeh S M, et al. Organic geochemistry of the paleozoic petroleum system of Saudi Arabia[J]. Energy & Fuels, 1994, 8: 1425-1442.
- [16] Lüning S, Craig J, Loydell D K, et al. Lower Silurian hot shales in North Africa and Arabia: Regional distribution and depositional model[J]. Earth-Science Reviews, 2000, 49(1-4): 121-200.
- [17] Hakami A M, Jenden P, Fuhrmann A, et al. Petroleum system analysis of the Triassic sequence of the Central and Eastern Saudi Arabia[D]. Houston: University of Houston, 2004: 55-62.
- [18] Bordenave M L. The origin of the Permo-Triassic gas accumulations in the Iranian Zagros Foldbelt and contiguous offshore areas: A review of the Palaeozoic petroleum system[J]. Journal of Petroleum Geology, 2008, 31(1): 3-42.
- [19] Peters K E, Fraser T H, Amris W, et al. Geochemistry of crude oils from Eastern Indonesia[J]. AAPG Bulletin, 1999, 83(12): 1927-1942.
- [20] Aali J, Rahimpour-Bonab H, Kamali M R. Geochemistry and origin of the world's largest gas field from Persian Gulf, Iran [J]. Journal of Petroleum Science and Engineering, 2006, 50(3): 161-175.
- [21] Arouri K R, Van Laer P J, Prudden M H, et al. Controls on hydrocarbon properties in a Paleozoic petroleum system in Saudi Arabia; Exploration and development implications[J]. AAPG Bulletin, 2010, 94(2): 163-188.
- [22] Peters K E, Walteers C C, Moldowan J M. The biomarker guide; II biomarkers and isotopes in petroleum systems and earth history[M]. 2nd Edition. Cambridge: Cambridge University Press, 2005: 751-963.
- [23] 郭海花, 常象春. 基于聚类分析的油气成因类型判别[J]. 山东科技大学学报: 自然科学版, 2003, 22(4): 39-42.
Guo Haihua, Chang Xiangchun. Determination of genetic types of oil and gas based on clustering analysis[J]. Journal of Shandong University of Science and Technology: Natural Science, 2003, 22(4): 39-42.
- [24] 常象春, 王明镇, 韩作振. 沙岭油田油藏地球化学研究[J]. 山东科技大学学报: 自然科学版, 2004, 23(4): 16-18.
Chang Xiangchun, Wang Mingzhen, Han Zuozhen. Geochemical research of petroleum reservoirs in Shanian Oilfield[J]. Journal of Shandong University of Science and Technology: Natural Science, 2004, 23(4): 16-18.

(责任编辑: 高丽华)