

伊朗库姆盆地油气成藏机理分析

王世虎¹, 李 政², 周 文², 郇玉龙³, 刘 庆², 徐兴友²

(1. 中国科学院 广州地球化学研究所, 广东 广州 510640; 2. 中国石化 胜利油田有限公司地质科学研究院, 山东 东营 257015; 3. 中国石化 胜利油田有限公司物探研究院, 山东 东营 257015)

摘要: 库姆盆地是以前寒武系变质岩为基底的中新生代盆地, 通过对中下侏罗统舍姆沙克组和渐新统一中新统库姆组两套烃源岩的有机质丰度、类型、成熟度及油源对比等地球化学分析表明, 舍姆沙克组烃源岩为一套有效的烃源岩层系, 库姆组为一套潜在的烃源岩层系。舍姆沙克组烃源岩在早白垩世开始进入生烃门限, 大约在 17Ma 时进入湿气和凝析油阶段, 上新世早期盆地的快速沉降使侏罗系源岩达到过成熟阶段。经对库姆盆地成藏要素的演化过程进行分析, 认为库姆盆地的区域石油地质背景有利于油气藏的形成、演化。库姆盆地既存在以舍姆沙克组(及库姆组)为源岩的新近系油气藏, 也可存在舍姆沙克组原生气藏。燕山期和喜山期形成的圈闭是本区的有利勘探目标。

关键词: 库姆盆地; 烃源岩; 舍姆沙克组; 库姆组; 含油气系统; 构造运动

中图分类号: TE122. 3

文献标识码: A

中国石化承担的风险勘探卡山区块位于伊朗库姆盆地东南部, 由于卡山区块勘探程度较低, 对烃源岩的认识不清, 其油气勘探能否有重大突破, 烃源岩生烃潜力及排烃时间与构造的匹配关系是焦点问题之一。库姆盆地中下侏罗统舍姆沙克组泥岩在库姆盆地及周围广泛分布, 埋深大, 演化程度高, 具有较大的生烃潜力, 是库姆盆地最好的烃源岩。渐新统一中新统库姆组泥灰岩在库姆盆地局部埋深较大, 演化程度中一高, 也是一套不可忽视的烃源岩。本文在前人研究的基础上, 对库姆盆地舍姆沙克组和库姆组源岩丰度、类型、演化及生烃演化特征进行研究, 对该盆地生、储、盖、圈、运、保等成藏要素的动态演化过程进行分析, 指出该区有望找到舍姆沙克组原生气藏和在新近系中形成的油气藏, 燕山期和喜山期形成的圈闭是该区油气的有利勘探目标。

1 区域地质简介

库姆盆地位于伊朗中部地区, 北部为厄尔布尔士山脉, 西南部与扎格罗斯逆冲带相接, 面积 10 660 km²^[1](图 1)。

盆地基底由前寒武系变质岩组成, 在发展演化

过程中, 沉积了多套海相碳酸盐岩和陆相碎屑岩, 各时代的地层特征见表 1。前人研究认为, 本地区主要发育了两套可能的烃源岩^[2], 第一套为中下侏罗统舍姆沙克组地层。在中、下侏罗统沉积时期, 伊朗地块北靠古特提斯缝合带的造山带, 南临开阔的新

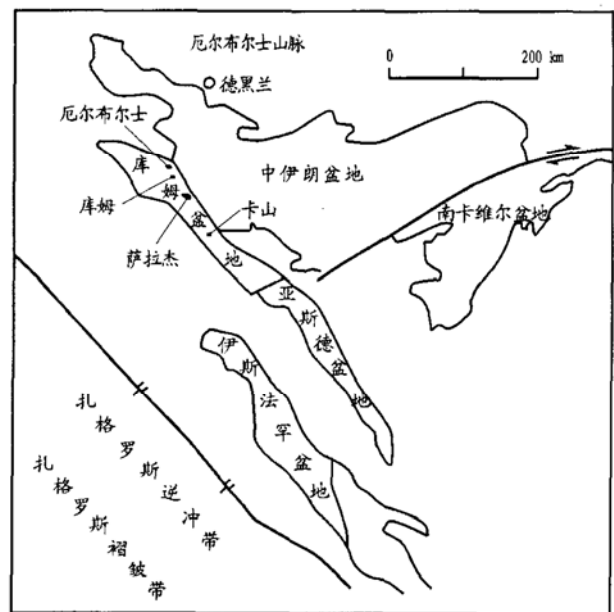


图 1 库姆盆地位置图

Fig. 1 Location map of Qom Basin

表 1 库姆盆地地层特征表
Table 1 Stratigraphy in Qom Basin

地层				厚度/ m	岩性 剖面	
界	系	统	组		W	E
新 近 系	第四系	上新统		1 500	[岩性剖面]	
		中统	上红组		[岩性剖面]	
	渐新统	新统		0~2 300	[岩性剖面]	
					库姆组	[岩性剖面]
		下统	下红组	0~2 000	[岩性剖面]	
	古近系	始新统		1 200	[岩性剖面]	
					卡拉季组	[岩性剖面]
		古新统		1 200	[岩性剖面]	
	中生界	白垩系		0~1 000	[岩性剖面]	
				0~1 000	[岩性剖面]	
侏罗系		中下统	舍姆沙克组	0~3 000	[岩性剖面]	
					[岩性剖面]	
古生界	三叠系		0~1 300	[岩性剖面]		
	二叠系			[岩性剖面]		
	石炭系			[岩性剖面]		
	泥盆系		0~1 300	[岩性剖面]		
	志留系		0~1 000	[岩性剖面]		
	奥陶系			[岩性剖面]		
前寒武系			0~1 000	[岩性剖面]		

[砂岩]	[泥页岩]	[青岩]	[凝灰岩]
[灰岩]	[白云岩]	[砂砾岩]	[煤层]
[含炭质]	[火山岩]	[安山岩]	[变质岩]

特提斯洋, 处于海陆交互地带^[2], 属于热带—亚热带潮湿气候区, 有利于生物的生长繁殖。舍姆沙克组地层岩性为暗色砂泥岩互层, 局部发育煤层, 厚度一般在1 000m以上, 最大厚度超过2 000m, 现广泛出露

于库姆盆地边缘。第二套为渐新统一中新统库姆组灰岩和泥灰岩, 此套岩石形成于大规模海侵时期, 生物种类繁多, 水体盐度正常, 水流通畅, 能量中等, 有利于有机质的发育。

2 舍姆沙克组和库姆组有机质特征

舍姆沙克组泥岩样品, 残余有机碳含量变化较大, 一些地区的样品在 0.04%~0.80% 之间, 氯仿沥青“*A*”含量和 S_{1+2} 较低; 但盆地南部的一些地区, 有机碳含量高, 平均为 5.36%, 最高为 15.63%。按 Ronov (1958) 烃源岩的有机碳标准最低为 0.5%^[3] 来计算, 舍姆沙克组样品有 82% 达到烃源岩的评价标准, 其中有 13% 的样品大于 1%, 达到好烃源岩的评价标准(图 2)。镜下观察发现, 有机质以陆源植物残骸为主, 镜质组占优势, 有机质以腐殖型为主, 少量为腐泥—腐殖型。盆地南部露头区样品镜质体反射率值在 1.15%~3.98% 之间, 普遍大于 1.7%, 达到成熟—过成熟阶段。各项地化参数综合评价结果表明, 舍姆沙克组为一套成熟—过成熟的源岩, 局部地区可能为优质烃源岩, 较厚的沉积和较高的有机质含量使舍姆沙克组泥岩具备充足的生烃物质, 具有较大生烃潜力, 是区块的主要烃源岩层。

库姆组灰岩有机碳含量小于 0.1%, 干酪根类型为 iv 型; 泥灰岩有机碳含量在 0.06%~0.93% 之间, 其中 14% 有机碳含量大于 0.5% (图 2), 主要分布在库姆盆地中部地区, 干酪根类型为 C^+ — C^{II} 型, 具有一定的生烃潜力。 R_o 变化范围较大, 在 0.51%~2.07% 之间, 属于成熟—高成熟阶段。火成岩发育区的样品, R_o 在 1.75%~1.95% 之间, 达高成熟阶段; 远离火成岩的露头区样品, R_o 在 0.75%~1.05% 之间, 处于成熟阶段。库姆盆地中部的萨拉杰和厄尔布尔士油气田库姆组岩心样品 T_{max} 值为 426~449 °C, 处于成熟阶段。这表明火山活动对库

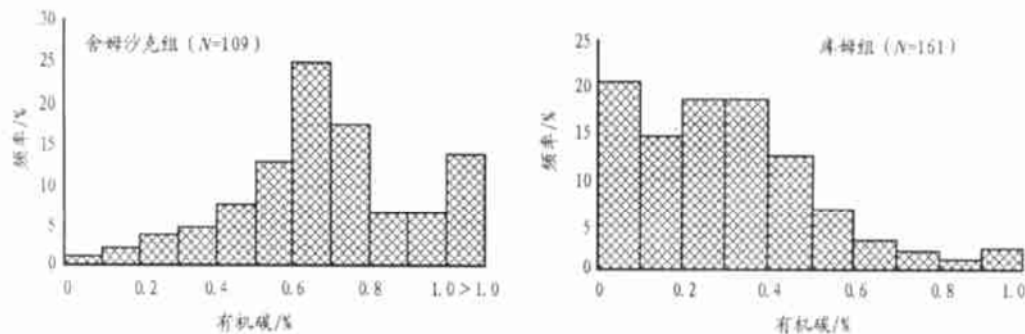


图 2 库姆盆地舍姆沙克组和库姆组岩石样品有机碳含量频率分布图
Fig. 2 Frequency distribution of organic carbon of rock samples from Shemshak Formation and Oom Formation in Oom Basin

姆盆地有机质演化影响较大。

从有机质丰度、类型及成熟度来看,舍姆沙克组烃源岩优于库姆组烃源岩。

3 油源对比与讨论

目前,在库姆盆地已发现了厄尔布尔士油田。厄尔布尔士油气田的石油为石蜡基石油,平均密度为 38°API,含蜡量较高,平均含量为 10.8%。一般认为原油高含蜡其源岩母质具有陆源高等植物特征^[4-6]。

厄尔布尔士油田原油样品的生物标志物特征与侏罗系泥岩样品的相似(图3),甾烷以规则甾烷为主, C₂₉含量最高, C₂₉> C₂₇> C₂₈, 显示出陆源有机质母质类型特征;重排甾烷丰度低;萜烷以五环萜烷为主,其中又以 17α(H) 藿烷系列为主要成分, γ-蜡烷发育,表明生成环境为半咸水—咸水环境, Ts 不发育, Ts/Tm < 1。而库姆组岩石样品中 C₂₇甾烷含量最高, C₂₇> C₂₉> C₂₈, 呈对称“V”字型,表明为低等水生生物占优势,高等植物较少的母质类型,重排甾烷和 Ts 发育,重排甾烷的含量与规则甾烷相当, Ts/Tm > 1, γ-蜡烷不发育,表明其沉积环境为淡

水环境,与原油样品的亲缘关系较小。

由此,我们认为,库姆盆地的油气应该主要源自中下侏罗统舍姆沙克组,第三系库姆组的贡献较小。舍姆沙克组泥岩应该为一套有效的烃源岩层,而库姆组为一套潜在的烃源岩层。以下我们将主要对舍姆沙克组烃源岩的生烃演化过程及成藏机理进行分析。

4 构造运动与生烃史的时空匹配

侏罗纪早期,库姆盆地在拉张背景下,地层快速沉降,沉积厚度可达 2 500 多米。侏罗纪沉积后期,库姆盆地在晚基梅里造山运动作用下,地壳抬升,地层遭受剥蚀,盆地沉降幅度及埋藏深度均较小,使得生油过程一直处于停滞状态。白垩纪早期,盆地在拉张背景下沉降,上覆地层的沉积使舍姆沙克组烃源岩埋深厚度增大,埋藏深度达到 2 600 多米,超过生油门限深度,进入生油阶段。晚白垩世,库姆盆地在阿尔卑斯造山运动作用下,构造环境由拉张逐渐向挤压转化,导致调查区隆升,遭受剥蚀,生油过程停止。始新世—中新世,构造背景由挤压转为相对的伸展,盆地快速沉降,侏罗系烃源岩进入大量生油期。同时侏罗系底部部分烃源岩开始进入湿气生成阶段。随后,地温梯度下降,侏罗系烃源岩演化速度减缓,随着埋藏深度的增加,侏罗系烃源岩在 17 Ma 时,完全进入湿气和凝析油阶段。上新世早期盆地快速沉降阶段促使舍姆沙克组达到过成熟阶段(图4)。综上所述,库姆地区侏罗系烃源岩发生过多次生排烃过程,从其烃源岩的埋藏史及生烃史来看,舍姆沙克组烃源岩在燕山期进入生烃门限,主要生排烃阶段应该在燕山期之后的喜山期。

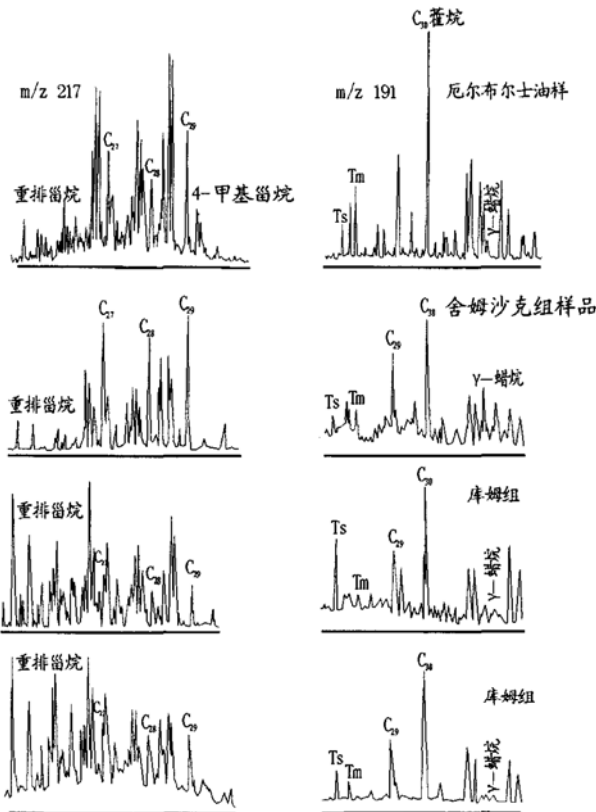


图3 库姆盆地原油与岩石抽提物甾烷和萜烷对比图

Fig. 3 Diagram showing steranes and terpanes from oil and rock samples in Qom Basin

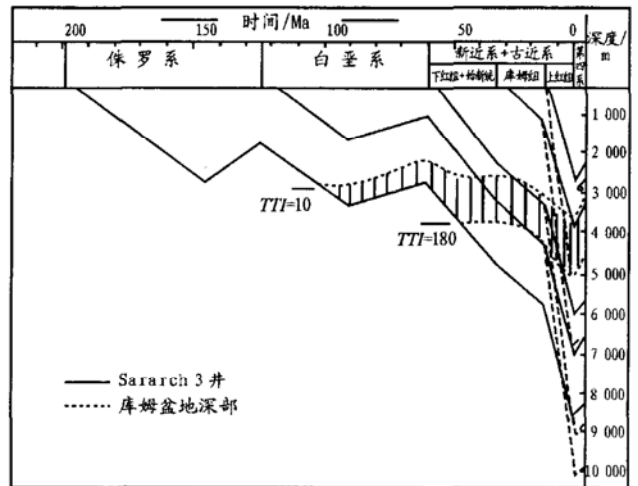


图4 库姆盆地生烃-埋藏史图

Fig. 4 Diagram showing hydrocarbon generating and burial history of source rocks in Qom Basin

库姆组烃源岩总体上埋深较浅, 在新近纪经历了快速的沉降过程(5~ 15 Ma), 库姆组在中新世后埋深超过 3 000 m, 约在 5 Ma 时期, 库姆组烃源岩全面进入生烃阶段。根据重磁和地震资料, 在盆地中心位置, 新生界底部埋深约为 5 000 m, 因此可以推测在盆地内的深洼陷内, 库姆组可能已经达到湿气阶段。从库姆盆地南部野外露头库姆组样品的成熟度来看, R_o 在 0.75%~ 0.97% 之间, 已经进入生烃门限。

5 成藏机理分析

有效的烃源岩、储层、盖层是含油气盆地中油气成藏的必备地质条件。库姆盆地的中下侏罗统舍姆沙克组的暗色泥岩和库姆组的泥灰岩可作为有效的烃源岩层系。有利的储层有 3 套: 一是渐新统库姆组海相碳酸盐岩, 包括石灰岩和生物灰岩等; 第二是白垩系灰岩; 第三为侏罗系的砂岩^[2]。最有利的区域性盖层是库姆组之上的中新世上部红层中的盐岩和蒸发岩。其次, 侏罗系的泥页岩厚度大, 为一套较好的区域性盖层。库姆组 D 段的膏岩、膏泥岩及始新统、下红组局部的泥岩、膏泥岩也可以作为局部盖层。

油气成藏是一个动态的过程, 油气藏的成藏机理的研究需结合油藏地球化学和油气藏的构造演化史才能得出正确的结论^[7, 8]。根据舍姆沙克组烃源岩的生烃-埋藏史分析, 在空间上叠置, 在时间上连续发展有两次生排烃高峰期, 第一次在在白垩纪末, 地壳抬升使盆地内地层压力降低, 源于舍姆沙克组烃源岩的成熟油气已经生成, 可能向与暗色泥岩互

层的砂岩运移、聚集, 因此侏罗系地层生、排、圈、运在时空上构成了一个完整的系列, 形成侏罗系地层中自生自储型油气藏(图 5)。在此时期, 大量源于舍姆沙克组烃源岩的油气由于没有良好的储盖组合, 造成油气大量散失, 在库姆盆地南部的卡山地区的侏罗系、白垩系露头区的岩石样品经镜下观察, 发现大量油气运移的痕迹; 在扎格罗斯山下沿伊朗-伊拉克边界, 有侵入到上白垩统礁灰岩(距今约 70 Ma) 中的浸染沥青, 这表明, 这些岩层在沉积过程中曾有大量的石油聚集被消耗掉^[9]。

第二次排烃高峰在距今 3~ 5 Ma, 造山运动使盆地在挤压的构造背景下, 地壳再次抬升, 地下的流体梯度随之改变, 此时新生代的圈闭已经形成, 舍姆沙克组烃源岩二次生成的大量油气及遭到破坏的古油气藏中的油气经有效的运移通道(断层或不整合面)运移至库姆组灰岩为主的背斜圈闭中(如厄尔布尔士油田), 此类油气藏主要以构造油气藏为主, 主要发育于大断裂附近的高部位地区(图 5), 如萨拉杰和厄尔布尔士背斜, 为它源自储型油气藏。局部地区造山运动使在中新世沉积物成为盖层之前, 通过活化断层的油从深处的储层中渗流出来, 从而造成了库姆盆地在局部地区存在大量的浸染沥青, 如 Mil 地区。

库姆组源岩在 5~ 6 Ma 时, 凹陷内油气已经生成, 由于地壳抬升, 已生成的油气从盆地较深部位处的库姆组运移到以库姆组 E 段为储层, 背斜圈闭的顶部, 可形成库姆组自生自储型油气藏(图 6)。

因此, 库姆盆地成藏可能有 3 种, 一是在燕山期舍姆沙克组烃源岩生成的原生油气藏, 在舍姆沙克

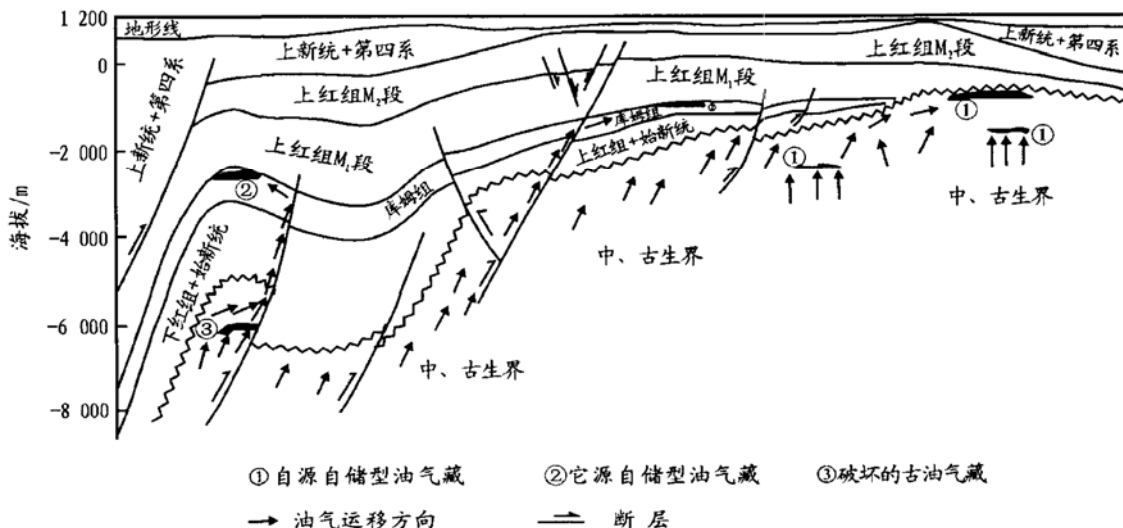


图 5 库姆盆地成藏模式图(舍姆沙克组为源岩)
 Fig. 5 Diagram showing petroleum accumulative model in Qom Basin (source rocks from Shemshak Formation)

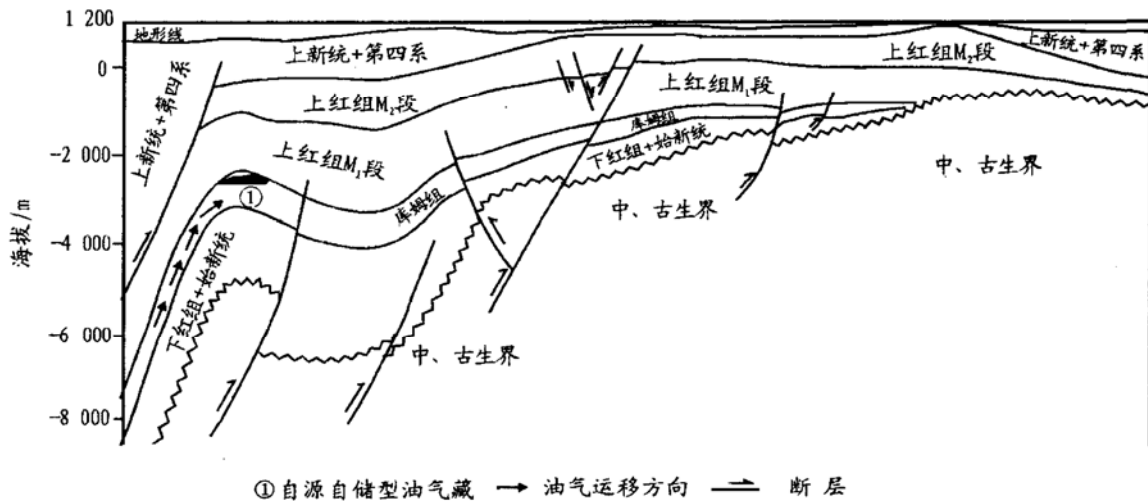


图6 库姆盆地库姆组为源岩的成藏模式图

Fig. 6 Diagram showing petroleum accumulative model in Qom Basin (source rocks from Qom Formation)

组烃源岩沉积厚度大,而喜山期构造活动不发育的地区为有利的勘探区,如中生界与新生代之间的风化壳,或年代较老的潜山。二是喜山期被破坏的油气藏再次聚集形成的油气藏,或由埋藏较深的舍姆沙克组烃源岩晚第三纪再次生烃运移形成的油气藏,在舍姆沙克组烃源岩沉积厚度大,新生代沉积厚度大,构造发育的地区为有利的勘探区。三是喜山期由埋藏较深的库姆组烃源岩生排烃形成的自源自储型油气藏,由于库姆组烃源岩生烃较晚,一般为近源成藏,在库姆组地层沉积厚度大的地区为有利的勘探区。

6 结论

a) 侏罗系烃源岩有机质类型以 C_{27} 型为主,高一过成熟,是工区内最为可能的烃源岩。库姆组烃源岩有机质类型以 C_{27} 型为主,成熟—高成熟,具有一定的生烃潜力。

b) 通过油源对比,侏罗系烃源岩为一套有效的烃源岩层系。

c) 舍姆沙克组烃源岩可能在白垩纪和始新世—中新世两次大规模生烃,主要生排烃阶段在燕山期之后的喜山期。库姆组在 4~5 Ma 进入生油阶段。

d) 库姆盆地既存在以舍姆沙克组(以及库姆组)为源岩的新近系油气藏,也可能存在舍姆沙克组自

生自储的油气藏。燕山期和喜山期形成的圈闭都是本区的有利勘探目标。

参考文献:

- 1 National Iran Oil Company Exploration and Production Affairs. Geological map of Iran (1:1 000 000) [Z]. NCC Offset Press, Tehran, 1975
- 2 王同良. 国外含油气盆地简介[M]. 中国石油天然气总公司信息研究所, 1997. 231~233
- 3 Stocklin, A. Setudehnia. Stratigraphic lexicon of Iran[R]. report No. 18, Third edition, Geological Survey of Iran, 1991. 192~197, 244~246
- 4 Ronov A B. Organic carbon in sedimentary rocks in relation to presence of petroleum[J]. Translation in Geochem, 5: 1958, 510~536
- 5 Hedberg H D. Significance of high wax oils with respect to genesis of petroleum[J]. AAPG Bull, 1968, 52: 736~750
- 6 Tissot B, Welte D H. Petroleum formation and occurrence[M]. Berlin Heidelberg, New York: Springer-Verlag, 1987
- 7 Tgelaar E W, Matchezing R M, Jansen J B H, Horsfield B, de Leeuw J W. Possible origin of *n*-alkanes in high wax crude oils[J]. Nature, 1989, 342: 529~531
- 8 罗红军, 徐树宝, 杨茂源等. 吐鲁番坳陷温吉桑油气聚集带成藏机理研究[J]. 石油实验地质, 2001, 23(1), 56~61
- 9 徐国盛, 赵异华. 川东开江古隆起区石炭系气藏成藏机理剖析[J]. 石油实验地质, 2003, 25(2), 158~163
- 10 Beydoun Z R. Petroleum in the Zagros Basin: A Late Tertiary foreland basin overprinted onto the outer edge of a vast hydrocarbon-rich Paleozoic-Mesozoic passive margin shelf[A]. In: Marqucen R, Leckic D, eds. Foreland basins and foldbelts[C]. Am Assoc Petrol Geol Mem 55. 309~339 (下转第248页)