

# 塔里木盆地环哈拉哈塘海相油气地球化学特征与成藏

卢玉红\* 肖中尧 顾乔元 张秋茶

(中石油塔里木油田公司勘探开发研究院, 库尔勒 841000)

**摘要** 环哈拉哈塘凹陷是一个油气十分富集的含油气系统, 但是各地区油气的性质与分布差异很大. 研究认为已发现的原油和天然气均主要来自于  $O_{2+3}$  烃源岩. 油气性质的差异主要受油气充注成藏的控制. 综合研究认为环哈拉哈塘凹陷油气藏主要经历了三期重要成藏期: 晚加里东-早海西期油气主要来自满加尔凹陷寒武系烃源岩, 原生古油藏中的烃类遭受强烈降解, 目前在塔北隆起高部位形成大量残余干沥青; 晚海西期, 满加尔凹陷内中上奥陶统烃源岩开始大量生烃并在塔北隆起高部位聚集成藏, 在海西期末期因遭受生物降解变成稠油; 燕山-喜山期, 哈拉哈塘凹陷南部及其以南的满加尔凹陷边缘的中上奥陶统烃源岩开始进入大量生液态烃阶段, 生成的油气聚集在印支-燕山期之前形成的圈闭中, 其中部分地区稠油遭到不同程度的稀释, 或者受到强烈的气侵, 导致原油出现明显的差异.

**关键词** 海相 中上奥陶统烃源岩 油气源 成藏期 哈拉哈塘凹陷 塔里木盆地

塔里木盆地塔北隆起位于库车坳陷和北部坳陷之间, 是一个富集海、陆相油气区域. 陆相原油主要分布在轮台低凸起以及南喀-英买力低凸起北缘. 海相原油主要聚集在轮南低凸起以及环哈拉哈塘凹陷周缘<sup>[1,2]</sup>. 其中, 在哈拉哈塘凹陷东缘发现了 2 个亿吨级油气田(塔河油田和哈得逊油田), 落实三级油气储量超过 12 亿吨, 而凹陷西缘和北缘发现的油气藏规模与其相差甚远. 因此研究环哈拉哈塘凹陷周缘油气藏的地球化学特征、成藏特征具有重要的科学意义; 同时该工作的开展对扩大哈拉哈塘凹陷西、北缘海相原油的勘探成果也具有十分重要的现实意义.

## 1 油气地质特征与勘探概况

环哈拉哈塘凹陷海相原油三级储量以油为主, 天然气为辅, 折合油当量约为 12.27 亿吨(不包括雅克

拉 O- $\infty$  油气田), 油气储量主要分布在哈拉哈塘凹陷东缘, 其中东缘油气储量占 95.5%, 西缘发现的原油储量很有限, 可见同处于环哈拉哈塘凹陷油气系统东西两侧油气勘探成果悬殊较大(图 1). 环哈拉哈塘凹陷油气藏(田)主要储层为石炭系和奥陶系, 油气藏类型受岩性和构造双重控制. 与轮南奥陶系潜山相比, 英买力地区勘探力度相对较低. 最新圈闭研究成果表明, 哈拉哈塘凹陷及周缘内发育多个石炭系、志留系岩性圈闭, 而且新完钻的哈 6 井位于哈拉哈塘凹陷, 在石炭系测试获工业油气流, 为岩性地层圈闭. 这些勘探成果展示出哈拉哈塘及周缘油气勘探仍具有良好前景.

哈拉哈塘凹陷位于塔北隆起中段南斜坡(部分属于满加尔凹陷), 北接轮台断裂, 南以地震反射层 Tg8(震旦系的底界)挠折带为界, 东与轮南低凸起接

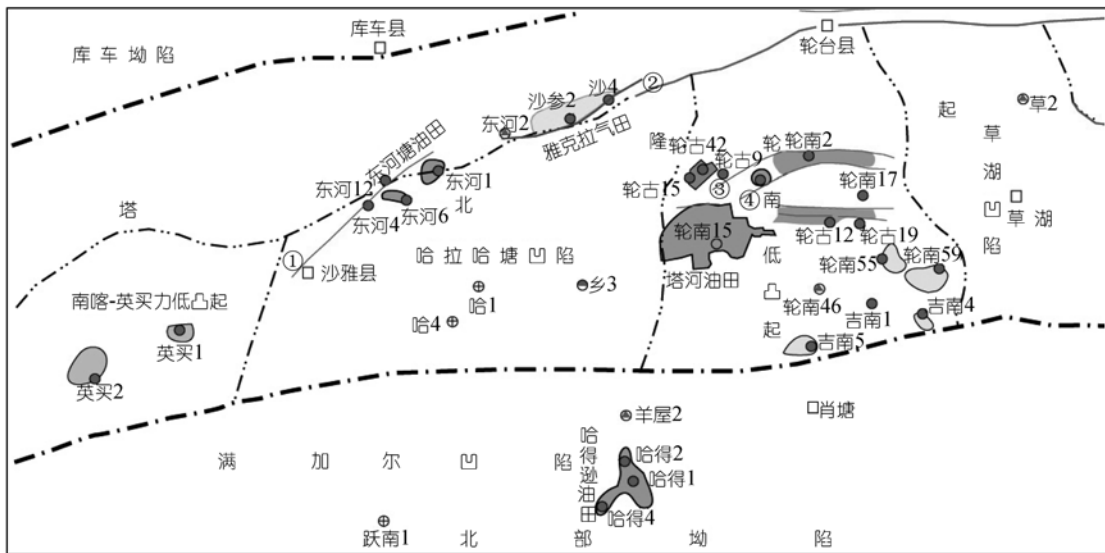


图 1 环哈拉哈塘凹陷油气藏(田)分布图

①东河塘断裂; ②雅克拉断裂; ③轮西 1 号走滑断裂; ④轮南西断裂

壤, 西邻南喀-英买力低凸起, 面积约 5000 km<sup>2</sup>. 环哈拉哈塘凹陷已发现多个海相油气藏(图 1): 英买 1(O)油藏、英买 2(O)油藏、东河塘(C)油田、雅克拉(O- $\epsilon$ )油气藏、塔河油田、轮南西斜坡古潜山稠油藏和哈得逊油田等.

塔里木盆地台盆区内主要发育寒武系-下奥陶统烃源岩和中、上奥陶统两套烃源岩 [3-6]. 寒武系-下奥陶统烃源岩现今成熟度高(高-过成熟), 而中、上奥陶统烃源岩主要处在中等成熟演化阶段. 这两套优质源岩为台盆区油气聚集成藏提供了充足的油气源 [7,8].

塔北隆起先后经历了加里东期、海西期、印支-燕山期及喜山期等多次构造运动. 断裂相当发育, 且与褶皱构造相伴生而成带分布. 轮西断裂及轮西 I 号走滑断裂带、东河塘断裂带和雅克拉断裂带等 I 级断裂及其伴生的次级断裂成为环哈拉哈塘凹陷海相油气运输的主要通道.

加里东中、晚期-海西期隆升, 奥陶系遭受长期风化剥蚀, 轮南西部中上奥陶统已剥蚀殆尽, 构造低部位如东河塘和英买力南部残余厚度较薄. 碳酸盐岩潜山古地貌、地层不整合、岩溶风化形成的溶蚀孔洞以及断裂产生的裂缝为油气提供了良好的储层空间 [9-11]. 中上奥陶统泥灰岩与下奥陶统潜山、石炭系泥岩与下伏奥陶系碳酸盐岩、东河砂岩与上伏泥岩以及石炭系中泥岩段砂岩透镜体与周围的泥岩等形成

多套优质储盖组合, 从而造就了环哈拉哈塘凹陷成为一个油气富集的大型含油气系统(图 1).

## 2 环哈拉哈塘凹陷原油的地球化学性质

### 2.1 原油物性特征

环哈拉哈塘凹陷周缘油藏原油密度较大, 在 0.86~1.03 g/cm<sup>3</sup> 之间, 属中-重质原油; 原油胶质+沥青质含量较高, 含量基本大于 10%; 而轮南西部潜山斜坡带原油胶质+沥青质含量最高, 含量大于 30%, 比塔河 4 号油田还高(表 1), 这与其复杂的成藏演化特征有密切关系.

### 2.2 原油族组成

英买力 1、2 油藏、东河塘油田、雅克拉油气藏、哈得逊油田以及塔河部分区块原油的饱和烃含量相对轮西奥陶系原油较高, 在 62%~85% 之间, 饱/芳值大于 2, 胶质+沥青质含量低(表 2). 东河塘油田上部侏罗系、轮南西部潜山和塔河部分区块的稠油中饱和烃含量较其他地区低, 饱/芳值在 0.61~1.69 之间, 显示出这些稠油中烷烃组分存在大量损失, 具有重质稠油或严重生物降解油的特征. 沥青质含量较高, 最高达到 39.78%, 进一步显示出轮南西部潜山斜坡带、塔河部分区块和东河塘油田上部的侏罗系油藏中的原油遭受了生物降解作用.

表 1 环哈拉哈塘凹陷海相原油的物性参数表

井号	层位	密度/g·cm <sup>-3</sup> , 20℃	含蜡量/%	胶质+沥青质含量/%	含硫量/%
轮古 9	O	1.0292	4.41	39.23	
轮古 15	O	1.0384		31.98	2.08
塔河 4 油田	O	0.9541	2.49	24.7	2.45
东河 1	C	0.8547	7.61	8.21	0.54
英买 2	O	0.8902	5.71	13.6	0.8
东河 4	C	0.8647			
东河 11	C	0.8644	3.79	15.54	0.14
乡 3	O	0.9255	2.12	9.51	0.21
哈得 4	C	0.8857		6.05	0.09
沙参 2	O	0.8500	5.03		0.3

表 2 环哈拉哈塘凹陷油气藏原油族组成特征

油气田(藏)	井号	井深/m	层位	族组分/%				饱/芳
				饱和烃	芳烃	非烃	沥青质	
英买 2 油藏	YM2	5796 ~ 6050	O	35.95	23.53	18.95	21.57	1.53
	YM2	5940 ~ 5953	O	47.3	26.4	13	5.9	1.79
	YM 206	5802 ~ 5950	O	68.71	16.91	7.55	3.6	4.06
东河塘油田	YM 20	5444 ~ 5451	J	25.57	25.3	8.81	39.78	1.01
	DH 1	5726 ~ 5800	C	60.2	18.8	12.8	7.9	3.2
	DH 11	5705 ~ 5773	C	53.7	21	5.3	4.4	2.56
轮南西部潜山	LG9	5548 ~ 5568	O	18.55	30.5	20.13	35.53	0.61
	LG15	5727 ~ 5750	O	38.96	23.05	8.44	22.72	1.69
	LG15-1	5905 ~ 5953	O	35.87	24.73	10.87	23.1	1.45
哈得逊油田	HD1	4994 ~ 5008	C	65.5	18.9	6.95	6.95	3.47
	HD4	5070 ~ 5077	C	44.7	25.2	10.4	17	1.77
塔河油田	T301	5361 ~ 5388	O		84.84		15.16	
	T401	5363 ~ 5370	O		58.7		41.3	

## 2.3 原油饱和烃的生物标志化合物组成特征

### 2.3.1 原油色谱分布特征

轮南西部古潜山轮古 9 井和塔河 4 油田原油饱和烃气相色谱特征表现为基线明显向上飘移, 在  $nC_{27}$ — $nC_{29}$  形成明显的“鼓包”, 但正构烷烃的分布较为完整。而英买 2、东河塘油田和哈得逊油田原油色谱基线平整, 反映油藏未受到明显破坏。环哈拉哈塘凹陷原油 Pr/Ph 总体上较低, 小于 1.0, 具有海相原油的分布特点 [12-14], 反映源岩沉积时具有较强的还原性; Ph/ $nC_{18}$  在 0.45 ~ 0.77, 也具有海相原油的特点(图 2)。

### 2.3.2 原油生物标志化合物分布特征

原油中  $C_{21}$  三环萜烷远低于  $C_{23}$  三环萜烷,  $C_{24}$  四环萜烷含量较  $C_{26}$  三环萜烷高, 大于  $C_{26}$  高碳数三环萜烷含量较高, Ts 小于 Tm,  $C_{29}$  藿烷峰高与  $C_{30}$  藿烷峰高相接近, 伽马蜡烷含量低;  $C_{27}$ ,  $C_{28}$ ,  $C_{29}$  甾烷呈不对称的“V”字形分布,  $C_{28}$  甾烷含量较低, 重排甾烷含量中等。环哈拉哈塘凹陷分布的原油饱和烃色谱与甾萜烷分布特征极为相似(图 3), 说明其可能具有共同

的油源岩。

25-降藿烷的富集可以作为微生物降解作用的指示物。按照降解程度分类, 含有较丰富的 25-降藿烷表明已达中等-较重的降解程度, 此时原油中的正构烷烃已被完全降解。也就是说, 如果是古油藏保存至今而形成的稠油就不可能会有丰富的正构烷烃和异构烷烃。事实上, 轮古 9 井、塔河 412 井等原油中不仅含有丰富的 25-降藿烷(图 4), 而且存在丰富的正构烷烃。这表明轮南西部潜山至少存在两期原油的注入过程, 即原油可能为早期破坏的古油藏残余化合物与晚期原油的混合物, 进而形成稠油, 其中含有较多早期古油藏残存的胶质+沥青质和破坏的产物 25-降藿烷, 也含有后期注入的正构烷烃和异构烷烃。

## 2.4 原油碳同位素

塔里木盆地陆相原油碳同位素较重, 全油碳同位素一般在  $-23\text{‰}$  ~  $-29\text{‰}$ , 而海相原油较轻, 一般都小于  $-30\text{‰}$ 。环哈拉哈塘凹陷分布的原油的全油及原油族组成碳同位素在  $-32\text{‰}$  ~  $-33.3\text{‰}$ (表 3), 表明来源于海相腐泥型烃源岩。

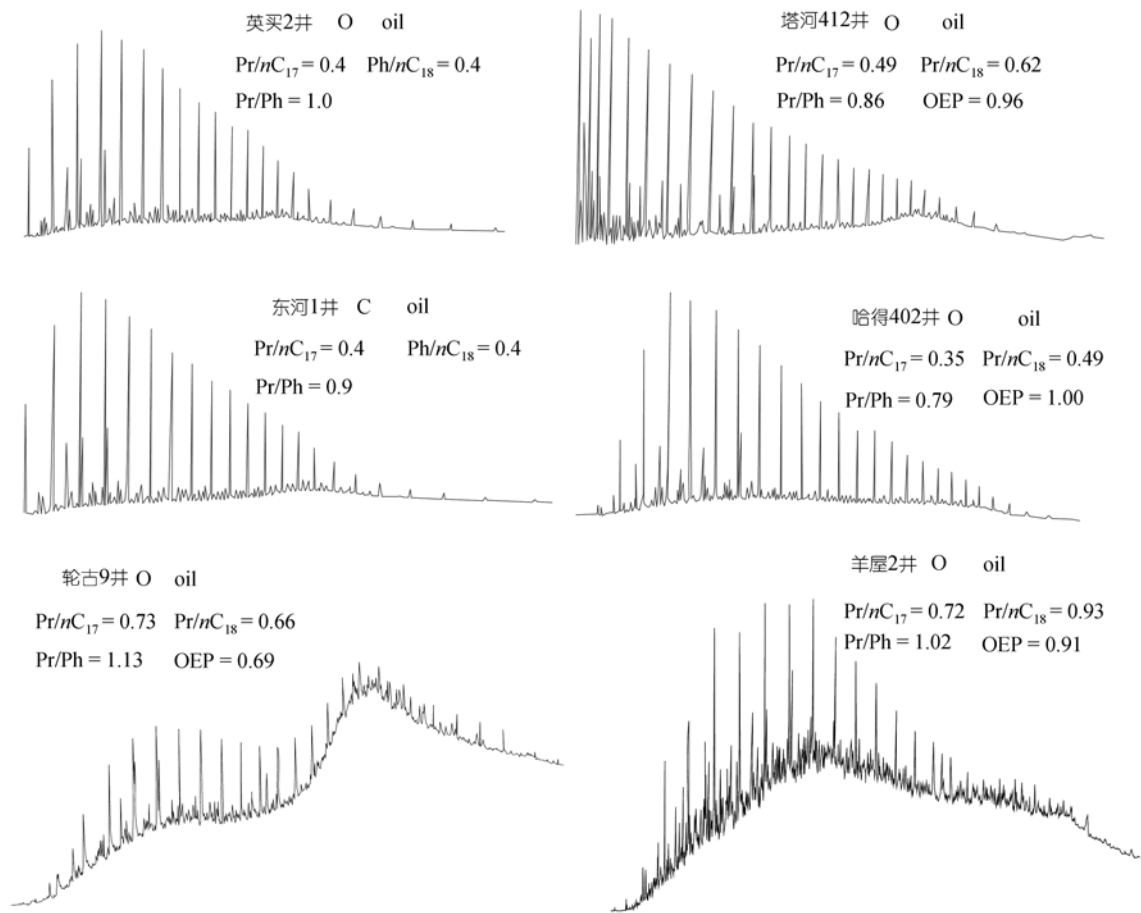


图 2 环哈拉哈塘凹陷原油饱和烃气相色谱图

表 3 环哈拉哈塘凹陷原油及族组分碳同位素分布特征(‰)

井号	层位	井段/m	原油	饱和烃	芳烃	非烃	沥青质
轮古 15-1	O	5905 ~ 5953		-32.8	-32.7	-31.6	-33.2
轮古 15-2	O	5789 ~ 5805		-32.6	-32.6	-31.5	-33.3
羊屋 2	O	5460 ~ 5463		-32.2	-31.1	-30.2	-30.8
沙 47	O	5344 ~ 5370	-32.8	-33.2	-32.2	-32.3	-32.1
塔河 434	O	5426 ~ 5475	-33.1	-33.0	-32.9	-32.8	-33.3
英买 2	O	5927 ~ 6050	-32.92	-33.3	-32.27		
东河 11	C	5763 ~ 5783	-32.6	-33.0	-32.5		
哈得 10	C	5056 ~ 5061	-32.4	-32.8	-32.1	-32.1	-32.4
哈得 17	C	5224 ~ 5228	-32.6	-32.9	-32.50	-32.6	-32.9

## 2.5 原油成熟度

应用  $C_7$  轻类参数及生物标志物参数标定塔北海相原油(包括凝析油)的成熟度都相当于  $V_{R_0}$  值 0.8%~0.9%, 且来自同一套油源岩<sup>1)</sup>。根据  $Ts/(Ts+Tm)$  及二苯并噻吩成熟度参数, 厘定塔河油田原油成熟度在 0.8%~1.2%, 利用生物标志化合物参数计算轮南地

区海相原油成熟度为 0.86%~1.02%。由此可见, 环哈拉哈塘海相原油主要是海相烃源岩在生油窗演化阶段生成的烃类, 原油的生成期一致, 是同类源岩在相同时期生成的。而轮南西部潜山稠油与塔河 4 油田原油的物理性质显示出明显差异, 这暗示着该地区奥陶系原油成藏之后经历了复杂的后期次生改造。

1) 梁狄刚, 张水昌, 王飞宇, 等. 塔里木盆地生油岩与油源研究. 国家“九五”攻关成果报告. 1998

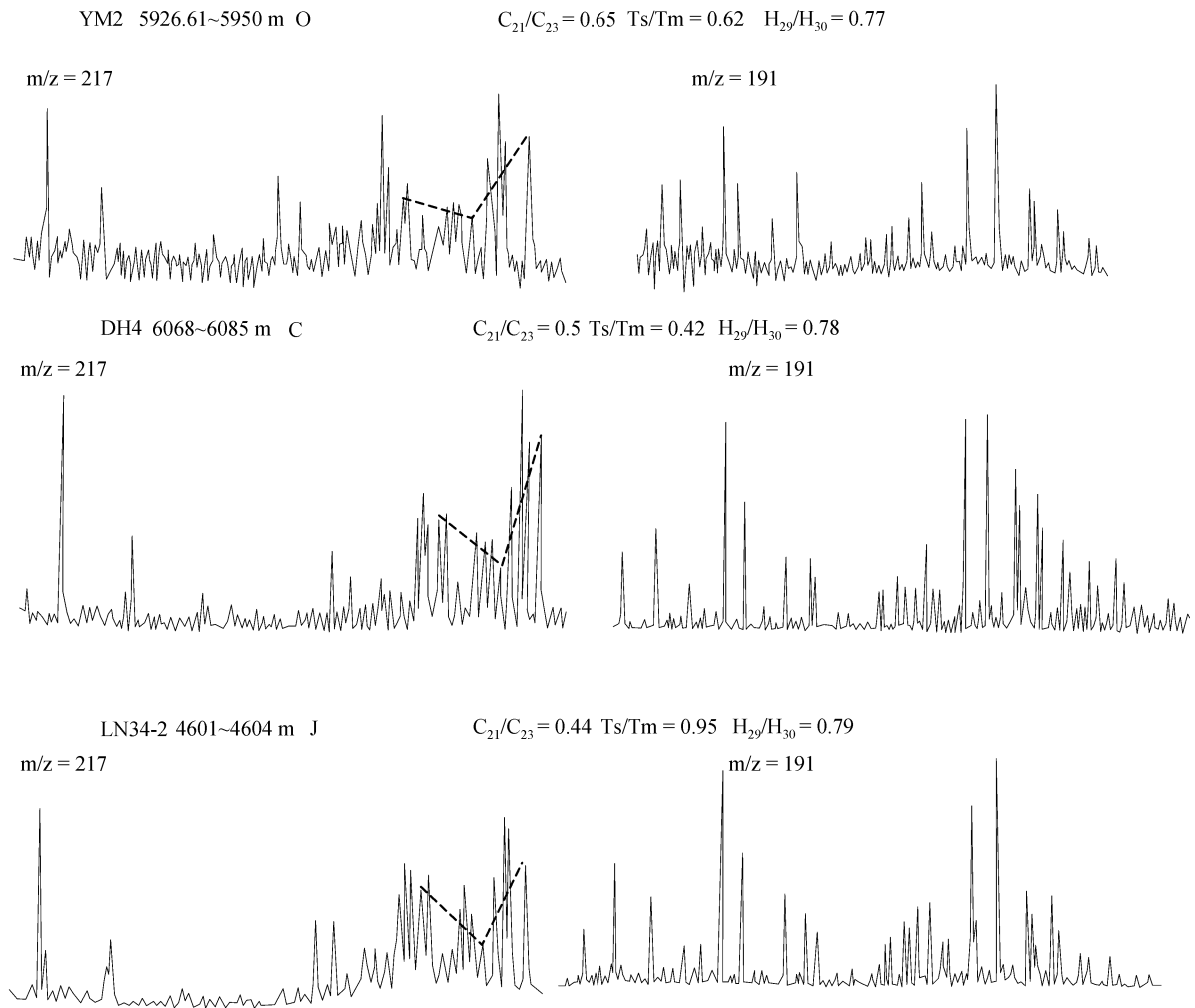


图3 环哈拉哈塘凹陷原油甾烷和萜烷分布特征

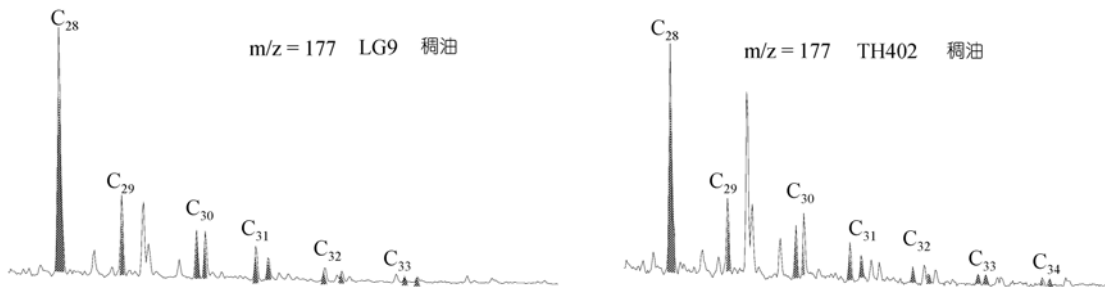


图4 轮古9井和塔河402井25-降藿烷系列分布图

塔里木台盆区内主要发育有下奥陶统一寒武系和中、上奥陶统两套烃源岩,前者主要发育于欠补偿盆地相和蒸发泻湖相沉积中,后者主要分布在台盆区半闭塞-闭塞陆源海湾相和台缘斜坡灰泥丘有机相。因此,  $\epsilon$ - $O_1$  和  $O_{2+3}$  烃源岩的生物标志物具有不同的组合特征。林壬子等<sup>[13]</sup>、Zhang等<sup>[15]</sup>提出  $\epsilon$ - $O_1$  烃源

岩以“六高一低”为其主要特点,而  $O_{2+3}$  烃源岩则主要表现为“六低一高”分布模式(表4)。

环哈拉哈塘凹陷原油具有低伽马蜡烷、低  $C_{28}$  规则甾烷  $C_{28}/(C_{27}+C_{28}+C_{29})$  和高重排甾烷的特征,与  $O_{2+3}$  源岩生标特征相似。原油成熟度较低且具有晚期成藏的特征,因此,环哈拉哈塘凹陷原油主要来源于

表 4 塔里木盆地  $\epsilon$ - $O_1$  和  $O_{2+3}$  有效烃源岩及其所生成原油 GC/MS/MS 特征

分类	$\epsilon$ - $O_1$	$O_{2+3}$
原油具时代意义 生标组合特征	六高-低	六低-高
	高甲萜甾烷 $Dino/(Dino+3-M) \geq 0.2$	低甲萜甾烷 $Dino/(Dino+3-M) < 0.15$
	高 4-甲基甾烷 $4-M/(4-M+3-M) \geq 0.35$	低 4-甲基甾烷 $4-M/(4-M+3-M) < 0.25$
	高 $C_{26}$ -24-降胆甾烷 $24-/(24-+27-) > 0.3$	低 $C_{26}$ -24-降胆甾烷 $24-/(24-+27-) < 0.2$
	高 $C_{26}$ -24-降重排胆甾烷	低 $C_{26}$ -24-降重排胆甾烷
	$dia_{24}$ -降/ $(dia_{24}$ -降+ $dia_{27}$ -降) $> 0.25$	$dia_{24}$ 降/ $(dia_{24}$ -降+ $dia_{27}$ -降) $< 0.2$
	高 $C_{28}$ 规则甾烷 $C_{28}/(C_{27}+C_{28}+C_{29}) > 20\%$	低 $C_{28}$ 规则甾烷 $C_{28}/(C_{27}+C_{28}+C_{29}) < 20\%$
	高伽马蜡烷 $\gamma/C_{30H} > 0.1$	低伽马蜡烷 $\gamma/C_{30H} < 0.05$
低重排甾烷 $diaC_{27}/regC_{27} < 1$	高重排甾烷 $diaC_{27}/regC_{27} > 2$	

中上奥陶统烃源岩。

### 3 环哈拉哈塘凹陷天然气的地球化学特征

#### 3.1 天然气组成特征

环哈拉哈塘凹陷已发现的油气田以原油为主, 天然气含量较少。天然气组分中, 以烃类气体为主, 烃类组分较全。CH<sub>4</sub> 气体百分含量较低, 分布在 36.98% ~ 85.14%, C<sub>1</sub>/C<sub>1</sub><sup>+</sup> 比值在 50.93% ~ 91.52%, 为湿气(表 5)。其中, 轮古 9 奥陶系与东河塘油田侏罗系天然气 C<sub>1</sub>/C<sub>1</sub><sup>+</sup> 比值相对高, 说明原油遭受破坏后, 有少量成熟度较高的天然气再次注入。而其它天然气则可能为原油伴生气与后期天然气的混合。

#### 3.2 天然气碳同位素组成特征

气态烃碳同位素组成特征是进行天然气类型划分、气-气对比及气源判识的非常有效的地球化学指标 [16-24]。环哈拉哈塘凹陷天然气碳位素特征见表 6,  $\delta^{13}C_1 < \delta^{13}C_2 < \delta^{13}C_3 < \delta^{13}C_4$ , 呈正碳分布序列, 为有机成因的原生烷烃气。

前人通常将  $\delta^{13}C_2$  为 -28‰ 作为划分塔里木盆地煤型气和油型气的标准。塔里木的天然气按有机成因分为油型气(海相)、煤型气(陆相)和混源气或海陆过渡相气三大类; 油型气主要分布在台盆区,  $\delta^{13}C_2$  较轻,  $\delta^{13}C_1$  主要分布区间为 -33‰ ~ -46‰,  $\delta^{13}C_2$  主要分布区间为 -33‰ ~ -39‰; 煤型气主要分布在库车油气系统, 乙烷碳同位素值较重,  $\delta^{13}C_1$  主要分布区间为 -25‰ ~ -35‰,  $\delta^{13}C_2$  主要分布在 -17‰ ~ -25‰; 第三种类型的天然气为混合气或海陆过渡相气。环哈拉哈塘凹陷天然气  $\delta^{13}C_2$  较轻(表 6), 主要分布在 -32.44‰ ~ -40.59‰ 之间, 属油型气。

采用戴金星院士所建立的腐泥型天然气成熟度计算公式( $\delta^{13}C_1 = 15.8 \lg R_0 - 42.2$ ) [25], 根据天然气的  $\delta^{13}C_1$  值, 计算出环哈拉哈塘凹陷天然气的成熟度为在 0.92% ~ 1.25%, 为气源岩生烃高峰期的产物; 这与天然气干燥系数低的特征相一致。结合塔里木盆地台盆区烃源岩分布特征和热演化特征, 认为天然气主要来源于中上奥陶统海相烃源岩成熟演化阶段的产物。

表 5 环哈拉哈塘凹陷油气田(藏)天然气组分特征表/%

井号	深度/m	层位	C <sub>1</sub>	C <sub>2</sub>	C <sub>3</sub>	iC <sub>4</sub>	nC <sub>4</sub>	iC <sub>5</sub>	nC <sub>5</sub>	C <sub>6</sub>	CO <sub>2</sub>	N <sub>2</sub>	C1/C1 <sup>+</sup>
DH1	5726~5800	C	47.32	8.93	5.03	2.3	1.59	1.09	1.04		27.83	4.88	70.312
DH11	5426~5432	J	77.72	4.38	1.67	0.48	0.32	0.24	0.11			15.08	91.5214
DH11	5790~5800	C	36.98	5.82	3.22	1.29	1	0.5	0.48		26.76	23.95	75.0254
YM2	5795.65~6050	O	50.65	10.74	6.98	2.24	1.38	0.52	0.57		0.78	26.08	69.3076
YM2	5940~5953	O	41.73	13.17	14.03	3.37	5.84	1.57	1.44	0.79	3.75	14.32	50.9275
YM201	5805.16~5884.6	O	41.66	12.53	12.38	4.22	5.92	2	1.31		0	19.97	52.062
HD1	4994~5008	C	56.26	9.58	4.04	0.56	0.86	0.19	0.22		0.47	27.83	78.4549
HD2	5023~5025	C	51.38	11.29	5.45	1.18	2.45	0.88	1.14	1.03	0.72	24.27	68.6898
LG15-1	5904.72~5953	O	67.46	8.75	6.43	1.28	2.74	1.05	1.4	2.09	3.95	4.86	73.9693
LG9	5549.71~5600	O	85.14	5.3	1.89	0.34	0.33	0.06	0.08	0.04	0.8	6.63	91.3715
LG421	5798 ~ 5819.76	O	73.1	1.87	0.5	0.04	0.09	0.02	0.04	0.15	0.15	24.03	96.4253

表 6 环哈拉哈塘凹陷油气田(藏)天然气碳同位素(‰)特征表

井号	层位	深度/m	$\delta^{13}C_1$	$\delta^{13}C_2$	$\delta^{13}C_3$	$\delta^3C_4$
YM2	O	5795.6 ~ 6050.0	-42.39	-38.16	-34.3	
YM201	O1	6041 ~ 6052	-48.38	-40.59	-34.74	-32.4
SC2	O		-40.73	-32.44	-30.59	-31.75
DH1	C	5575.6 ~ 5621.5	-41.57	-38.16	-34.3	-31.75
DH4	C	6068 ~ 6095	-36.6	-34.1	-30.6	-28.2
DH11	C	5790.00 ~ 5800	-42.75	-33.62	-32.43	
Xiang3	O	6117 ~ 6127	-49.3	-37.4	-35.2	-32.8
HD1	C	4955.97 ~ 5026.04	-41.9	-34.1	-31.8	-29.2

## 4 环哈拉哈塘凹陷油气藏成藏特征

### 4.1 哈拉哈塘凹陷油源岩分布、热演化与运聚

哈拉哈塘凹陷主要分布的烃源岩层为中上奥陶统。羊屋 2 井中、上奥陶统的含油灰岩为褐灰色、灰褐色砂屑、砾屑、生物碎屑灰岩, 这些层段有较高含量的生物碎屑, 如 6392 ~ 6412 m 生物碎屑量达 30% 左右, 为典型的滩相沉积。按照海相烃源岩的发育模式, 由于礁或滩的阻挡作用, 在其后常发育良好的泻湖相沉积体系。这种水体能量较低, pH 值在 7.0 ~ 7.5, 弱碱性环境利于低等生物的繁衍。同时, 由于水体循环不畅, 表层水中的生物在消耗水中游离氧后使底部水迅速成为厌氧的强还原环境, 利于有机质的堆积和保存。因此, 哈拉哈塘凹陷及其以南地区可能发育良好的中上奥陶统烃源岩。

利用原油中有机含氮化合物浓度的差异认为塔河油田奥陶系原油主体是自南向北充注, 油源区指向哈拉哈塘凹陷南部及其以南的地区; 而且哈得 4 油田原油主体是由北向南运移和充注<sup>[26]</sup>。同时研究中还发现, 靠近哈拉哈塘凹陷的乡 3 井(6117 ~ 6127 m) 原油及塔河油田原油含氮化合物浓度明显偏高, 而运移参数值则明显较低, 而轮南 1、11 井原油含氮化合物浓度略低, 而运移参数值则明显较高, 塔河油田向南至哈得逊油田含氮化合物浓度已有明显降低。还

有, 芳烃中 9-甲基菲/1-甲基菲的分布也表现出同样的分布规律, 均表现出自哈拉哈塘凹陷向外发散的分布特点。因此推断环哈拉哈塘凹陷分布的海相原油具有共同的油源区, 而且油源区为哈拉哈塘凹陷及其以南地区。

结合该地区构造演化史和地层分布特征, 认为在中-晚加里东期, 寒武系烃源岩进入生油高峰期, 并迅速进入高成熟演化阶段。晚海西已进入过成熟生干气演化阶段<sup>[14]</sup>。由于巨厚的白垩系-第三系沉积, 哈拉哈塘凹陷中上奥陶统烃源岩开始进入大量生液态烃阶段。这就决定哈拉哈塘油气系统的可流动油气资源具有晚期成藏的特征。

### 4.2 环哈拉哈塘凹陷油气藏成藏分析

#### 4.2.1 流体包裹体期次和均一化温度

由表 7 可见, 环哈拉哈塘凹陷储层中与烃类共生的盐水包裹体均一化温度主要分两个阶段: 60 ~ 80°C 和 85 ~ 130°C(表 7), 表明存在两期烃类流体进入。根据流体包裹体温度和该地区埋藏史, 认为这两期包裹体形成时间相当于晚加里东期和晚海西期至喜山期。

#### 4.2.2 油气成藏过程

综合包裹体测温分析结果并结合台盆区构造发

表 7 环哈拉哈塘凹陷油气藏流体包裹体均一化温度数据表

井名	井深/m	层位	岩性	均一化温度/°C	分析单位
东河 11	5712	C	含油砂岩	65.8, 67.5, 69.1, 68.4, 75.9, 76.5, 69.6, 72.4, 75, 67.8, 68.0, 70.2, 69.7, 103.4, 106.5, 107	中国科学院广州地球化学研究所
英买 2	6054	O	含油灰岩	63.5, 65.2, 68.4, 68.9, 72.5, 76.8	
英买 201	5941 ~ 5945	O1	泥晶灰岩	61.6, 69.9, 65.3, 70.0, 63.4, 67.0, 85.4, 89.5	
哈得 4	5080.10	C <sub>III</sub>	含油细砂岩	99, 109, 115, 105, 108, 98, 103	
羊屋 2	6453.23	O	含油鲕状灰岩	70, 71, 79, 135, 130, 132, 125, 126	中国石油大学地球化学实验室
跃南 1	5356.70	C <sub>III</sub>	灰白色细砂岩	87, 92, 84	
轮古 41	5551 ~ 5702	O		65, 66, 70, 89, 67, 78, 81, 83, 84, 85, 8791, 95, 96, 109, 115, 122, 138,	中国石油勘探开发研究院实验中心

育史和烃源岩热演化史,表明环哈拉哈塘凹陷油气藏(田)成藏期主要有 3 期,即晚加里东-早海西期、晚海西期和燕山-喜山期(图 5)。但各期成藏特点存在明显差异。

(1) 晚加里东-早海西期。塔北隆起已形成,位于满加尔凹陷的下奥陶统-寒武系烃源岩,其上覆地层中上奥陶统厚 2000~6000 m,志留系厚 1000~2000 m,巨大的埋深使下奥陶统-寒武系烃源岩开始大量生烃,生成的油气沿前志留系顶不整合面、断裂带运移至隆起部位聚集于晚加里东运动强烈的挤压作用形成的

大量背斜,形成原生巨型油气藏。在加里东运动末期,由于构造运动变形作用进一步加强,早期形成的原生油气藏因上覆地层遭受强烈剥蚀而被破坏,原生古油藏中的烃类遭受强烈降解,致使在塔北隆起高部位形成大量残余干沥青,如轮南古潜山的高部位、哈 1 井(S)和英买 2(O)等。同时,隆起高部位因志留系被剥蚀,下奥陶统灰岩大面积裸露地表,遭受大气、水的淋滤作用,形成古岩溶地貌。

(2) 晚海西期。构造运动主要表现在差异升降作用,挤压作用弱,因此,石炭-二叠系没有明显的背斜

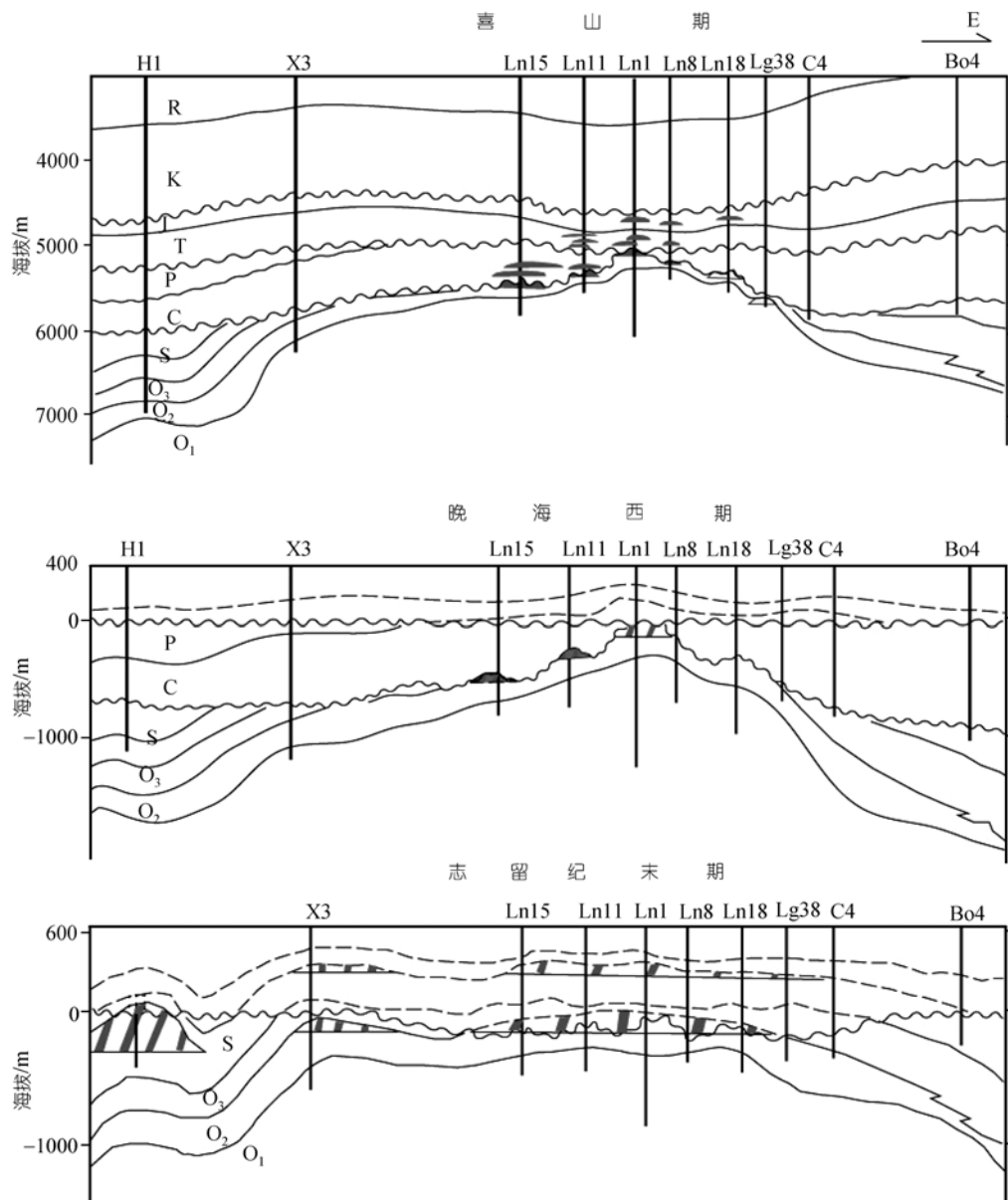


图 5 塔北隆起东西向构造演化和成藏过程



圈闭。由于寒武系-下奥陶统烃源岩绝大部分地区已进入过成熟演化阶段,只是在局部埋藏相对较浅的围斜部位具有一定的生液态烃能力,而生成不多的油气主要聚集在奥陶系潜山圈闭中。满加尔凹陷内中上奥陶统烃源岩开始大量生烃,生成的油在海西期末期遭受生物降解变成稠油,轮古 9、塔河 4 油田稠油就是这一时期形成的。满加尔凹陷周缘由于中上奥陶统上覆地层残余厚度小,不足以使其开始生烃更谈不上成藏作用。

(3) 燕山-喜山期。喜山期,是塔北隆起最主要的成藏期。侏罗纪末,受燕山运动的影响,哈 1 等早期古隆起强烈下降为凹陷区,塔北隆起形成了哈拉哈塘次凹并保持至今。由于巨厚的白垩系-第三纪沉积,使中上奥陶统烃源岩开始进入大量生液态烃阶段,位于轮南低凸起西南侧的哈拉哈塘及其以南的中上奥陶统烃源岩生成的油气聚集在印支-燕山期形成的圈闭中,同时这些油气也可以通过断层、不整合面等运移通道注入到早期已经形成的古油气藏中,形成以中上奥陶统油源为主的混源油气藏。另外,随着埋藏深度逐渐加大,位于轮南低凸起东南侧的寒武系一下奥陶统烃岩生成大量干气,这些气态烃类对早期形成的油气藏有较强的稀释作用。但是,环哈拉哈塘凹陷周缘的油气藏如轮南西部潜山斜坡带,由于距离气源区较远,受气侵作用很弱。

#### 4.3 哈拉哈塘凹陷周缘奥陶系稠油的成因

对腐泥型原油来说,原油的密度随成熟度的增加而降低。但对于轮南西部奥陶系潜山却分布着比重较大的稠油藏。在显微镜下,裂缝与方解石晶间可见黑色碳质沥青分布、黄绿色油质沥青与黑色碳质沥

青共存(图 6)。结合该地区下古生界两套烃源生烃史、储层结构特征及构造演化史分析认为:轮南奥陶系潜山现今稠油藏为早期充注油气被破坏的产物与后期充注正常原油的混合。

轮南西部潜山位于轮南低凸起的斜坡部位,较低部位保存条件相对好,油藏经受强烈的水洗、生物降解作用,致使轮西稠油中含有丰富的 25-降藿烷。也可能是晚加里东期寒武系-下奥陶统烃源岩早期形成的原生油藏因抬升破坏形成大量残余沥青;晚海西期,满加尔凹陷内中上奥陶统烃源岩开始大量生烃,生成的油在海西期末期遭受生物降解变成稠油,轮古 9、塔河 4 油田稠油就是这一时期形成的。因此,现今稠油的生标组合特征表现出中上奥陶统烃源岩的烃类的特征。另外,喜山期,轮南西部大部分地区继续接受轮南周缘及凹陷内中上奥陶系烃源岩生成的油气的再次注入,并且遭受气侵作用较微弱,部分稠油遭到稀释,轮南西部潜山原油为中-重质油。塔河油田部分地区奥陶系油藏晚期受到强烈的气侵,原油相对较轻。

## 5 结论

环哈拉哈塘凹陷是一个油气十分富集的含油气系统,原油具有的低伽马蜡烷、低  $C_{28}$  规则甾烷  $C_{28}/(C_{27}+C_{28}+C_{29})$  和高重排甾烷的特征表明,原油来自于  $O_{2+3}$  烃源岩。天然气的成熟度与同位素分析数据表明,天然气主要来源于中上奥陶统海相烃源岩成熟演化阶段的产物。

轮南西部潜山原油中不仅含有丰富的 25-降藿烷,而且存在丰富的正构烷烃,表明至少存在两期原油的注入过程。

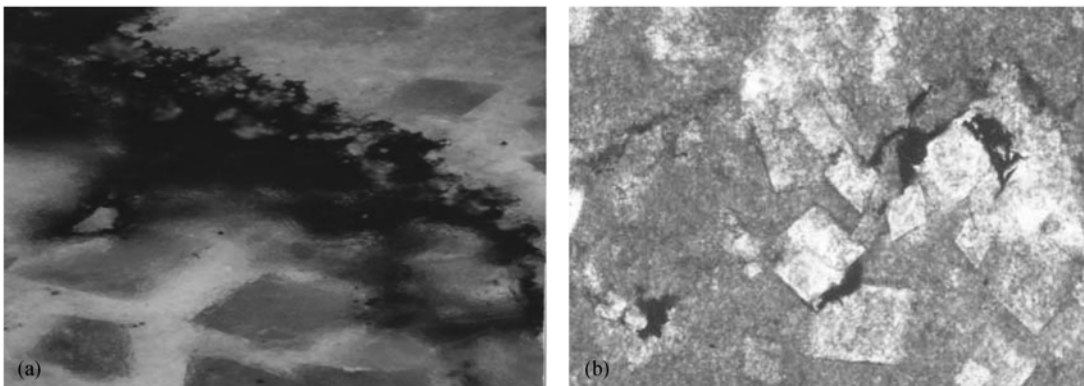


图 6 轮南西部奥陶系灰岩沥青显微分布特征

(a) LG42, 5786.25 m, 荧光; (b) 轮古 47 井, 5789.7 m, 云质泥晶灰岩

环哈拉哈塘凹陷油气藏主要经历三期重要成藏期: 晚加里东-早海西期为寒武系原生古油藏中的烃类遭受强烈降解, 在塔北隆起高部位形成大量残余干沥青; 晚海西期, 满加尔凹陷内中上奥陶统烃源岩开始大量生烃, 生成的油在塔北隆起高部位成藏, 在海西期末期因遭受生物降解变成稠油; 燕山-喜马拉雅期, 中上奥陶统烃源岩开始进入大量生液态烃阶段, 位于轮南低凸起西南侧的哈拉哈塘及其南部的中上奥陶统烃源岩生成的油气聚集在印支-燕山期之前形成的圈闭中, 塔河油田部分地区奥陶系油藏晚期受到强烈的气侵, 原油相对较轻. 轮南西部大部分地区遭受气侵作用较微弱, 稠油没有遭到稀释和次生变化作用而保留至今.

### 参 考 文 献

- 张水昌, 梁狄刚, 张宝民, 等. 塔里木盆地海相油气的生成-塔里木盆地石油地质特征. 北京: 石油工业出版社, 2004
- 贾承造, 孙龙德, 周新源. 塔里木盆地石油地质与勘探. 北京: 石油工业出版社, 2004
- 梁狄刚, 张水昌, 张宝民, 等. 从塔里木盆地看中国海相生油问题. 地学前缘, 2000, 7(4): 534—547
- 张水昌, 张宝民, 边立曾, 等. 中国海相烃源岩发育控制因素. 地学前缘, 2005, 12(3): 39—48
- 张水昌, 张宝民, 王飞宇, 等. 塔里木盆地两套海相有效烃源层: I. 有机质性质、发育环境及控制因素. 自然科学进展, 2001, 11(3): 261—268
- 戴金星, 陈践发, 钟宁宁, 等. 中国大气田及其气源. 北京: 科学出版社, 2003. 170—194
- 张水昌, 张宝民, 边立曾, 等. 中国海相烃源岩发育控制因素. 地学前缘, 2005, 12(3): 39—48
- 秦胜飞, 李先奇, 肖中尧, 等. 塔里木盆地天然气地球化学及成因与分布特征. 石油勘探与开发, 2005, 32(4): 70—78
- 韩剑发, 王招明, 潘文庆, 等. 轮南古隆起控油理论及其潜山准层状油气藏勘探. 石油勘探与开发, 2006, 33(4): 448—453
- 王招明. 塔里木盆地油气勘探与实践. 北京: 石油工业出版社, 2004
- 张抗. 从已发现的油气田看中国海相油气勘探. 海相油气地质, 2002, 7(2): 1—14
- 张水昌, 梁狄刚, 黎茂稳, 等. 分子化石与塔里木盆地油源对比. 科学通报, 2002, 47(增刊): 16—23
- 林壬子. 油气勘探与油藏地球化学. 北京: 石油工业出版社, 1998
- 张水昌, 梁狄刚, 朱光有, 等. 中国海相油气田形成的地质基础. 科学通报, 2007, 52(增刊 I): 19—31
- Zhang S C, Huang H P. Geochemistry of Palaeozoic marine petroleum from the Tarim Basin, NW China: Part 1. Oil family classification. *Org Geochem*, 2006, 36(8): 1204—1214[DOI]
- 戴金星, 裴锡古, 戚厚发. 中国天然气地质学(卷一). 北京: 石油工业出版社, 1992. 35—80
- 徐永昌. 天然气成因理论及应用. 北京: 科学出版社, 1994. 74—75
- 朱光有, 赵文智, 梁英波, 等. 中国海相沉积盆地富气机理与天然气的成因探讨. 科学通报, 2007, 52(增刊 I): 46—57
- Zhu G Y, Jin Q, Zhang S C, et al. Character and genetic types of shallow gas pools in Jiyang depression. *Org Geochem*, 2005, 35: 1650—1663
- 戴金星, 秦胜飞, 陶士振, 等. 中国天然气工业发展趋势及其地质理论重要进展. 天然气地球科学, 2005, 16(2): 127—142
- Dai J X, Xia X Y, Qin S F, et al. Origins of partially reversed alkane  $\delta^{13}\text{C}$  values for biogenic gases in China. *Organic Geochemistry*, 2004, (3): 405—411
- Galimov E. Sources mechanisms of formation of gaseous hydrocarbon on sedimentary rocks. *Chemical Geology*, 1988, 71: 77—95[DOI]
- 朱光有, 张水昌, 梁英波, 等. 四川盆地天然气特征及其气源. 地学前缘, 2006, 13(2): 234—248
- 戴金星. 各类烷烃气的鉴别. 中国科学 B 辑, 1992, (2): 185—193
- 赵孟军, 张水昌. 塔里木盆地天然气成因类型及天然气藏形成条件. 中国石油勘探, 2001, 6(2): 27—31
- 肖中尧, 张水昌, 赵孟军, 等. 简析塔中北斜坡 A 井志留系油气藏成藏期. 沉积学报, 1997, 15(2): 150—154