

文章编号: 0253-9985(2009)03-0324-06

塔东地区天然气地球化学特征及运聚探讨

兰晓东¹, 朱炎铭¹, 冉启贵², 程宏岗²(1 中国矿业大学 资源与地球科学学院, 江苏 徐州 221008; 2 中国石油天然气股份有限公司
勘探开发研究院 廊坊分院, 河北 廊坊 065007)

摘要: 塔东地区存在两套烃源岩, 根据对样品组分、碳氢同位素及轻烃组分等方面的综合分析, 塔东地区天然气属于有机海相油型气, 来自于寒武系—奥陶系烃源岩, 形成温度较高, 属于高温裂解气。结合碳同位素特征和天然气运移指数 ΔR_3 对该区天然气运聚规律进行了探讨, 大致方向由构造低部位向构造高部位运移。从英南 2 井来看, 其气藏充注过程至少有两次。

关键词: 同位素组成; 成因类型; 地球化学特征; 天然气运移和聚集; 塔东地区

中图分类号: TE122.1 **文献标识码:** A

A discussion on the geochemical characteristics and migration and accumulation of natural gas in the eastern Tarim Basin

Lan Xiaodong¹, Zhu Yanning¹, Ran Qigui², Cheng Honggang²(1 School of Resource and Earth Science, China University of Mining and Technology, Xuzhou, Jiangsu 221008, China;
2 Langfang Branch of PetroChina Exploration & Development Research Institute, Langfang, Hebei 065007, China)

Abstract There are two sets of source rocks in eastern Tarim Basin. Comprehensive analysis of components, isotopes of carbon and hydrogen, and light hydrocarbon constituents of the samples from the basin indicates that natural gas there is marine organic oil-prone gas derived from the Cambrian and Ordovician source rocks. The gas was formed at a very high temperature and therefore can be classified as cracked gas. Study on gas accumulation and migration patterns based on character of carbon isotope and gas migration index (ΔR_3) shows that the direction of gas migration is generally from structural low to high. Data of the well Yingnan-2 show that the reservoirs there had experienced at least two times of hydrocarbon charges.

Key words isotopic composition; genetic type; geochemical characteristics; gas migration and accumulation; eastern Tarim Basin

塔东地区位于天山和阿尔金山之间^[1,2], 塔里木盆地的东部, 自北而南包括孔雀河斜坡、满加尔凹陷—英吉苏凹陷、古城鼻隆—塔东低凸起—罗布泊鼻隆, 总面积达 $10 \times 10^4 \text{ km}^2$ 。本区油气显示丰富, 根据区域内 26 口探井进行详细的油气显示分析, 在 9 口油气显示井中有 2 口工业气流井 (英南 2 井、满东 1 井)、1 口低产气流井 (英东 2 井), 同时发现油气显示以天然气为主, 有凝析油或湿气 (图 1)。因此, 本区天然气的进一步的探讨将对

后期勘探有着十分重要的指导作用。

1 气源岩状况

塔东地区沉积了两套有效烃源岩, 寒武系—中、下奥陶统海相烃源岩和中、下侏罗统的煤系烃源岩^[3]。石炭系和志留系为连续发育的细砂岩和粉砂岩, 基本无生烃能力, 为非烃源岩。前者本区稳定发育, 厚度大, 分布广, 主要由泥质岩 (泥岩及

收稿日期: 2008-12-31。

第一作者简介: 兰晓东 (1984—), 男, 硕士研究生, 油气地质。

基金项目: 国家重点基础研究发展 (973) 计划项目 (2007CB209503)。

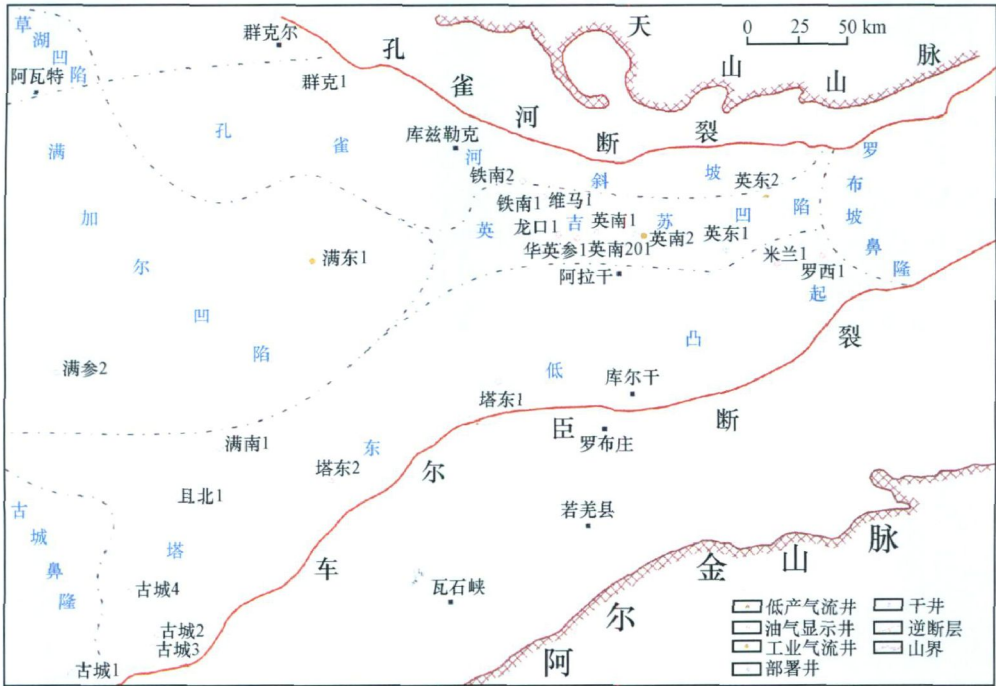


图 1 塔东地区构造单元划分及油气显示

Fig. 1 The structural units and oil and gas shows in eastern Tarim Basin

页岩)、灰岩和白云岩以及它们之间的过渡型岩石组成,有机质丰度高,生烃潜在在 0.37~0.75 mg/g 地史中有过巨大的生烃贡献,而且至今仍有一定的生烃潜力。后者煤系烃源岩主要分布于北部的英吉苏凹陷罗布泊地区,最厚可达 365 m,岩石类型包括暗色泥岩、碳质泥岩和煤岩,碳质泥岩 TOC 含量为 6.65%~48.79%,煤岩 TOC 含量为 35.20%~97.80%,生烃潜力均很大,为很好的烃源岩。

根据本区固体沥青做等效镜质体反射率研究,寒武系—奥陶统海相烃源岩现今烃源岩演化程度很高, R_o 主要分布在 2.0%~2.5% 之间,处于高过成熟阶段。据经典干酪根生烃理论和“接力生气”模式^[4],判断其为塔东地区主要的气源岩。中、下侏罗统的煤系烃源岩成熟度较低,本文不做讨论。

2 天然气地球化学特征

天然气的组分和同位素特征是研究天然气成因、来源和进行气—气源对比等非常重要的地球化学指标之一^[5~7]。通过分析来自满东 1 井、龙口 1 井、英南 2 井、英东 2 井和古隆 1 井等天然气样品,对塔东地区的天然气特征做如下阐述。

2.1 天然气组分特征

塔东地区天然气相对密度变化较小,分布在 0.59~0.77 之间,甲烷和重烃含量的分布范围较宽,甲烷含量介于 65%~92% 之间,重烃含量介于 0.76%~19.73% 之间(图 2),非烃气体主要是氮气,其他非烃气体含量很少。英东 2 井天然气甲烷最高,在 90% 左右, C_2-C_6 含量为 1.9%~2.4%,其天然气较干;满东 1 井天然气中甲烷含量最低,在 65% 左右, C_2-C_6 含量最高,在 12.95%~14.33% 之间;其他井天然气甲烷含量介于 65.93%~87.46%, C_2-C_6 主要介于 9.44%~

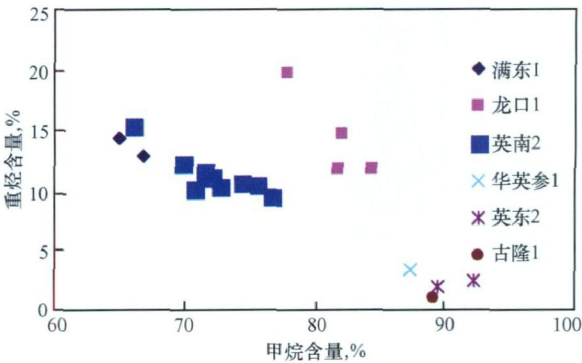


图 2 塔东地区天然气甲烷与重烃含量关系

Fig. 2 The relationship of CH₄ and heavy hydrocarbons in eastern Tarim Basin

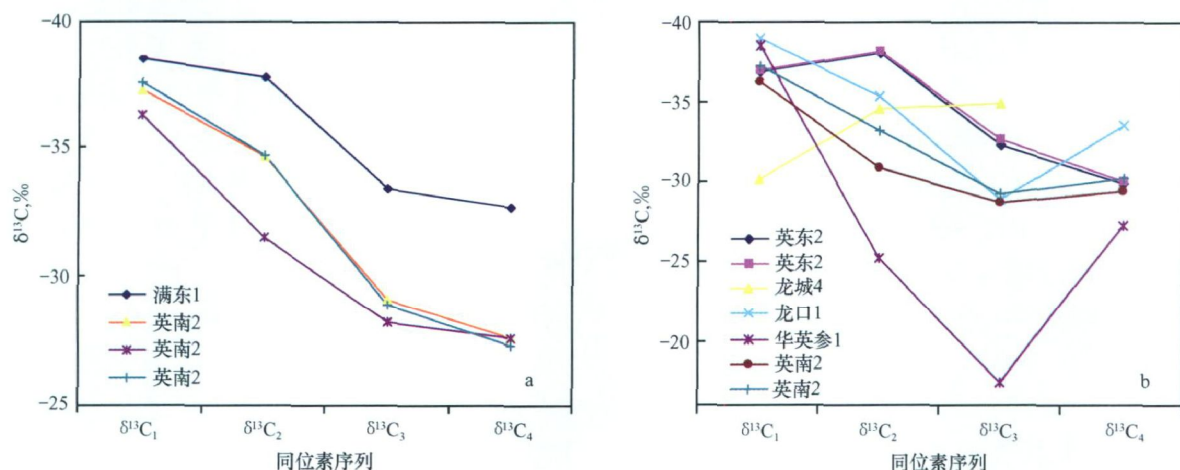


图 4 塔东地区天然气碳同位素序列特征

Fig. 4 Carbon isotope succession of gas in eastern Tarim Basin

a. 正碳同位素序列; b. 碳同位素序列倒转

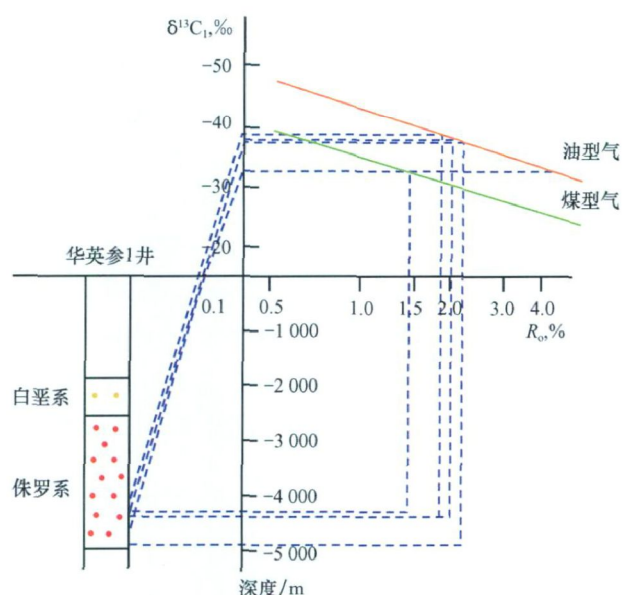


图 5 华英参 1 井天然气类型判别

Fig. 5 Chart for identification of gas types
in Well Huayingcan-1

天然气乙烷的碳同位素受热演化影响较小, 受母质继承效应明显, 故可以用 $\delta^{13}\text{C}_2$ 值为 -28‰ 作为煤型气和油型气分界点, 华英参 1 井天然气乙烷碳同位素较重, 为 -25.3‰ , 属于陆相腐殖型天然气, 可能来自于中、下侏罗统烃源岩。除华英参 1 井外, 其他各井天然气 $\delta^{13}\text{C}_2$ 值分布范围相对较宽, 介于 $-39.0\text{‰} \sim -31.0\text{‰}$ 之间, 英南 2 井乙烷碳同位素为 $-34.7\text{‰} \sim -30.9\text{‰}$, 龙口 1 井乙烷碳同位素为 -35.4‰ , 可以确定其来源于海相腐泥型烃源岩。

塔东地区天然气甲烷氢同位素分布在 $-154.4\text{‰} \sim -125.0\text{‰}$ 之间, 远远大于 $-190.0\text{‰}^{[13]}$, 乙烷和丙烷氢同位素值分别为 $-165.1\text{‰} \sim -115.1\text{‰}$ 和 $-146.5\text{‰} \sim -98.6\text{‰}$ (表 1)。显然塔东地区天然气属于典型的海相天然气, 是寒武系—奥陶统烃源岩演化的产物。

Rooney 等 (1995) 建立了海相天然气形成温度模版, 根据海相天然气 $\delta^{13}\text{C}_2 - \delta^{13}\text{C}_1$ 和 $\delta^{13}\text{C}_3 - \delta^{13}\text{C}_2$ 可计算天然气形成的温度^[14]。英南 2 井 $\delta^{13}\text{C}_2 - \delta^{13}\text{C}_1$ 值为 $2.6\text{‰} \sim 5.4\text{‰}$, $\delta^{13}\text{C}_3 - \delta^{13}\text{C}_2$ 值为 $7.5\text{‰} \sim 8.6\text{‰}$; 满东 1 井 $\delta^{13}\text{C}_2 - \delta^{13}\text{C}_1$ 值为 0.7‰ , $\delta^{13}\text{C}_3 - \delta^{13}\text{C}_2$ 值为 4.3‰ ; 龙口 1 井 $\delta^{13}\text{C}_2 - \delta^{13}\text{C}_1$ 值为 3.6‰ , $\delta^{13}\text{C}_3 - \delta^{13}\text{C}_2$ 值为 6.5‰ 。对照模板, 可见塔东地区天然气形成温度均大于 190°C (图 6), 属于高温裂解气。

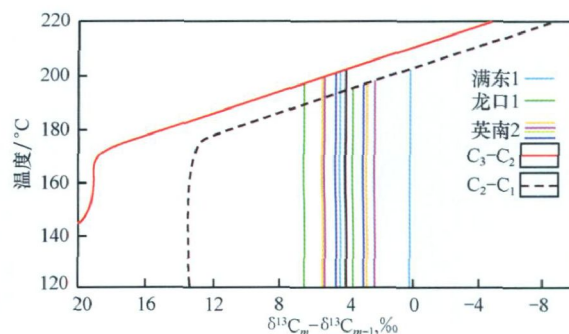


图 6 塔东地区天然气形成温度

Fig. 6 Temperatures of gas formation
in eastern Tarim Basin

3 天然气运聚分析

天然气运移研究是目前天然气地质研究的难点和焦点,也是天然气资源评价和预测研究中最薄弱的环节。天然气的运聚是一个复杂的地质过程,受多种因素控制。许多学者应用地球化学指标、地质演化事件与特征、实验模拟等对烃类运移进行了大量研究^[15~17]。笔者运用分子和同位素地球化学示踪的方法来研究本区天然气运移和聚集。

随着热成熟度增加,气藏中单一烃组分比值(如 C_1/C_2 , C_2/C_3)以及甲烷、乙烷、丙烷之间的 $\delta^{13}C$ 差异随之增加。此外,丁烷异构体(iC_4 , nC_4),其组分比 iC_4/nC_4 及其同位素值之差($\delta^{13}nC_4 - \delta^{13}iC_4$)的差,也都和成熟度正相关。

Lorant(1998)指出两个相邻组分间的 $\delta^{13}C$ 差别($\delta^{13}C_1$ 和 $\delta^{13}C_2$ 之间, $\delta^{13}C_2$ 和 $\delta^{13}C_3$ 之间)表示了完全封闭系统比开放系统存在更大的分馏性,并认为与有效聚集正相关^[18]。

天然气运移时,甲烷较重烃组分、异构丁烷较正构丁烷优先迁移。随着运移距离的增大,出现“甲烷化”和“异构化”的趋势。在扩散过程中对甲烷的同位素分馏作用很明显,天然气运移使甲烷富集 ^{12}C 。这就是说, $\delta^{13}C_1$, $\delta^{13}C_2 - \delta^{13}C_1$ 和 C_1/C_2 值受运移影响程度很大,运移距离和这 3 个参

数中的第一个正相关,与后两个负相关。

Alain Prinzhofer 提出,应用天然气 C_1-C_4 组分及同位素比值等 11 项天然气地化参数与天然气成藏的成熟度、聚集效率及运移过程中的分馏间的相关性,并用盖斯塔图表达了它们之间的关系^[19]。由于研究区缺少丁烷同分异构体同位素的数据,加上天然气的扩散和氧化作用导致组分及同位素数值的变化,分析起来会有些出入,但还是可以看出一些特征来(图 7)。在塔东地区,古城 4 井位于外圈,天然气的成熟度明显高于其他井,同时其运移分馏因素也较其他井明显;英东 2 井天然气运移分馏作用也比较明显,由于天然气产于寒武系地层,其侧向运移比较远。其他井是比较类似的,这也和区域构造划分相一致,天然气由满加尔凹陷、英吉苏凹陷构造低部位向古城鼻隆、塔东低凸起、孔雀河斜坡等构造高部位运移。

根据傅家谟(1992)总结的规律, ΔR_3 是天然气运移判识的良好指标^[20]。随运移距离的增加 ΔR_3 呈现更大幅度的增加。本文计算了塔东地区 9 个气样的 ΔR_3 值(表 2)。这些数值的分布特征大体上反映了天然气的运移情况。英东 2 井寒武系产层中 ΔR_3 由深至浅又变大的趋势,反映了其垂向运移的存在。龙口 1 井侏罗系的产层中 ΔR_3 比英南 2 井大,在区域位置上二者靠的很近。英南 2 井侏罗系的产层中从深至浅变化时, ΔR_3 数

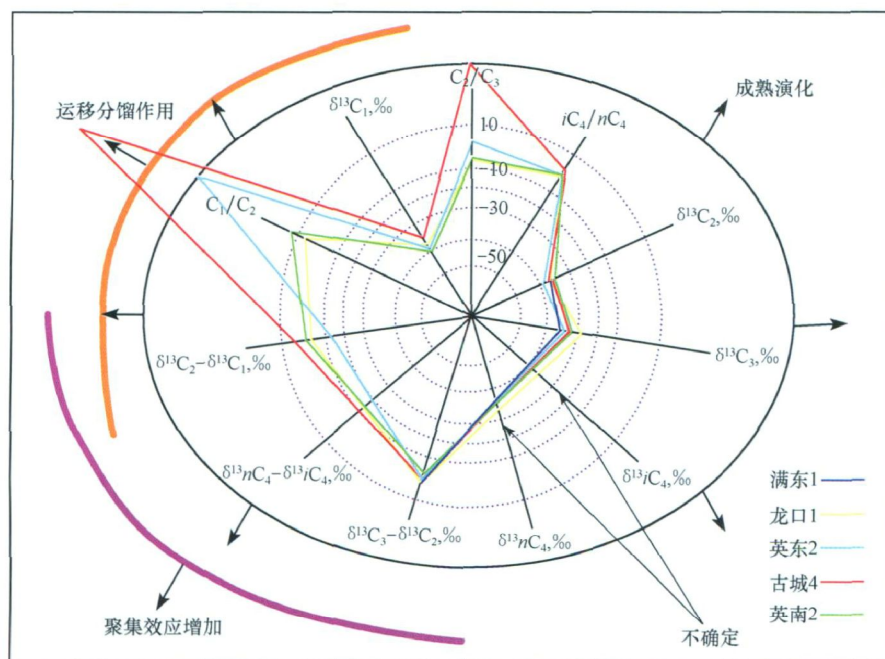


图 7 塔东地区盖斯塔图

Fig. 7 Gaster diagram of eastern Tarim Basin

表 2 塔东地区天然气运移指数 ΔR_3 特征

Table 2 List of gas migration index (ΔR_3) in eastern Tarim Basin

井号	深度 /m	运移指数 ΔR_3		
		寒武系储层	志留系储层	侏罗系储层
满东 1	5 555.19~ 5 607.00		3.04	
龙口 1	4 471.77~ 4 488.24			3.18
英南 2	3 470.79~ 3 501.65			2.89
	3 505.08~ 3 517.85			1.74
	3 624.80~ 3 667.56			1.91
	3 725.85~ 3 776.00			1.98
	3 805.47~ 3 833.99		1.52	
英东 2	4 348.60~ 4 427.70	2.64		
	4 464.10~ 4 545.00	2.29		

注: $\Delta R_3 = |R_3 - R_4| / R_4$, $R_3 = iC_4 / nC_4$, $R_4 = iC_4 / C_3$ 。

值大致是由小一大一小一大, 其碳同位素序列部分倒转, 说明成藏过程中有同源不同期的气混入, 可以分析出其气藏至少有两次充注^[21], 不同期的充注导致天然气各方面的差异。

4 结论

- 1) 塔东地区天然气来自寒武系—奥陶系海相烃源岩, 成因属于高温裂解气, 华英参 1 井混入了部分侏罗系的煤型气。
- 2) 根据天然气 C₁—C₄ 组分及同位素比值等 11 项参数做盖斯塔图, 可以看出天然气由满加尔凹陷、英吉苏凹陷构造低部位向古城鼻隆、塔东低凸起、孔雀河斜坡等构造高部位运移。古城 4 井天然气成熟度最大, 运聚效益也比较强烈。对 ΔR_3 对本区天然气运移做分析, 推测英南 2 井天然气至少经历了两次充注过程, 英东 2 井天然气垂向运移明显。

参 考 文 献

1 张光亚. 塔里木古生代克拉通盆地形成演化与油气 [M]. 北京: 地质出版社, 2000 95~ 110

2 吴国干, 李华启. 塔里木盆地东部大地构造演化与油气成藏 [J]. 大地构造与成矿学, 2002 26(3): 229~ 234

3 杨威, 魏国齐, 王清华, 等. 塔里木盆地寒武系两类优质烃源岩及其形成的含油气系统 [J]. 石油与天然气地质, 2004 25(3): 263~ 267

4 赵文智, 王兆云, 张水昌, 等. 有机质“接力生气”模式的提出及其在勘探中的意义 [J]. 石油勘探与开发, 2005 32(2): 1~ 7

5 Stahl W. Carbon isotope fractionations in natural gases [J]. Nature 1974 251(1): 134~ 135

6 Schoell M. Genetic characterization of natural gases [J]. AAPG Bulletin 1983 67(12): 2 225~ 2 238

7 陈践发, 徐永昌, 黄第藩. 塔里木盆地东部地区天然气地球化学特征及成因探讨 [J]. 沉积学报, 2000 18(4): 606~ 610

8 聂采军, 郑威, 李梅. 塔里木东北部英南 2 气藏天然气运移和聚集 [J]. 地质科学, 2004 39(4): 589~ 598

9 胡国艺, 李剑, 李谨, 等. 判识天然气成因的轻烃指标探讨 [J]. 中国科学 (D 辑), 2007 37(增刊 II): 111~ 117

10 戴金星. 利用轻烃鉴别煤成气和油型气 [J]. 石油勘探与开发, 1993 20(5): 26~ 32

11 戴金星, 夏新宇, 秦胜飞, 等. 中国有机烷烃气碳同位素系列倒转的成因 [J]. 石油与天然气地质, 2003 24(1): 1~ 6

12 李艳霞, 钟宁宁, 张枝焕, 等. 塔里木盆地英南 2 气藏成藏机理 [J]. 石油学报, 2005 26(2): 53~ 57

13 陶成, 把立强, 王杰, 等. 天然气氢同位素分析及应用 [J]. 石油实验地质, 2008 30(1): 94~ 97

14 Rooney M A, Claypool G E, Chung G E. Modeling thermogenic gas generation using carbon isotope ratios of natural gas hydrocarbons [J]. Chemical Geology 1995 126(3/4): 219~ 232

15 李明诚. 石油与天然气运移 (第 3 版) [M]. 北京: 石油工业出版社, 2004 208~ 253

16 金之钧, 张发强. 油气运移研究现状及主要进展 [J]. 石油与天然气地质, 2005 26(3): 263~ 270

17 胡伯良. 塔里木盆地石油有机地球化学特征和油源问题探讨 [J]. 石油与天然气地质, 1981 2(4): 359~ 368

18 Lorant F, Prinzhofer A, Behar F, et al. Carbon isotopic and molecular constraints on the formation and the expulsion of thermogenic hydrocarbon gases [J]. Chemical Geology 1998 147: 249~ 264

19 Alain P, Marcio R M, Tika E. Geochemical Characterization of Natural Gas [J]. AAPG Bulletin 2000 84(8): 1 152~ 1 172

20 傅家谟, 刘德汉. 天然气运移、储集及封盖条件 [M]. 北京: 科学出版社, 1992 57~ 157

21 肖中尧, 肖贤明, 马德明, 等. 塔里木盆地英南 2 井气藏生烃动力学研究 [J]. 中国科学 (D 辑), 2007 37(增刊 II): 90~ 96