

文章编号: 1001-6112(2008)03-0227-05

# 塔里木盆地满东地区油气成藏特征分析

邵志兵<sup>1,2</sup>, 白森舒<sup>2</sup>

(1. 中国石油化工股份有限公司 石油勘探开发研究院 西部分院, 乌鲁木齐 830011;

2. 中国石油化工股份有限公司 石油勘探开发研究院 无锡石油地质研究所, 江苏 无锡 214151)

**摘要:**塔里木盆地满东地区的成藏物质基础、成藏事件和成藏模式分析表明, 该地区除发育寒武系—中下奥陶统高有机质丰度的干酪根型烃源岩外, 还发育以古油藏形式为主的“再生烃源”, 油气藏的形成可分为 3 个发展阶段: 1) 中加里东期的古隆起发育、古油气藏形成阶段; 2) 晚加里东期—印支期的古隆起隆升剥蚀、古油藏破坏并调整阶段; 3) 晚燕山期—喜山期的上构造层褶皱断裂发育、圈闭形成、以古油藏裂解气充注为主的阶段。晚燕山期—喜山期可能是该区最具有有效规模的成藏期, 并以形成气藏为主。

**关键词:** 烃源岩; 再生烃源; 成藏事件; 成藏模式; 满东地区; 塔里木盆地

**中图分类号:** TE122.3

**文献标识码:** A

## ANALYSES OF HYDROCARBON ACCUMULATION CHARACTERISTICS IN THE EAST OF MANJIAER REGION, THE TARIM BASIN

Shao Zhibing<sup>1,2</sup>, Bai Senshu<sup>2</sup>

(1. Western Branch, Research Institute of Petroleum Exploration and Production, SINOPEC, Urumqi, Xinjiang 830011, China; 2. Wuxi Research Institute of Petroleum Geology, Research Institute of Petroleum Exploration and Production, SINOPEC, Wuxi, Jiangsu 214151, China)

**Abstract:** Based on analyses of accumulation material basement, event and mode in the east of Manjiaer region of the Tarim Basin, it has been found out that, besides kerogen source rocks rich in carbonate from Cambrian to Middle—Lower Ordovician, there also exist regenerated hydrocarbon source rocks represented by ancient reservoirs. Formation of accumulations has experienced 3 stages: 1) palaeohighs generation and accumulations formation in Middle Caledonian; 2) palaeohighs uprising and erosion as well as accumulations destruction and adjustment from Late Caledonian to Indosinian; 3) upper structural folds and traps formation as well as cracking gas infilling from Late Yanshanian to Himalayan. The 3rd stage is the main accumulation stage and mainly forms gas pools.

**Key words:** source rock; regenerated hydrocarbon source; accumulation event; accumulation mode; the east of Manjiaer region; the Tarim Basin

满东地区位于塔里木盆地东部, 横跨满加尔坳陷、孔雀河斜坡、古城墟隆起 3 个三级构造单元的中东部。该地区油气成藏地质条件比较复杂, 笔者从油气成藏物质基础分析入手, 并通过分析成藏事件和建立成藏模式, 阐述了油气成藏的主要特征。

### 1 成藏物质基础

成藏的物质基础是烃源岩。满东地区除发育

和分布以干酪根型为主的烃源岩外, 还有以古油气藏形式分布的“再生烃源”。

#### 1.1 干酪根型烃源岩

满东地区干酪根型烃源岩主要发育和分布于下古生界的中下寒武统、上寒武—下奥陶统、中下奥陶统黑土凹组 3 套地层中。

中下寒武统烃源岩的岩性组合与沉积相之间呈有序分布, 在欠补偿深水盆地亚相中, 发育以塔

收稿日期: 2007-10-22; 修订日期: 2008-05-28。

作者简介: 邵志兵(1963—), 男, 高级工程师, 主要从事油气地球化学、油气成藏综合研究。E-mail: shaozb@mail.wuxisuo.com。

基金项目: 中国石油化工股份有限公司西部新区勘探指挥部项目(XBK Y03—03)。

东1、尉犁1井为代表的硅质泥岩、灰质泥岩、页岩夹薄层状泥质泥晶灰岩；在欠补偿浅水盆地亚相中，则发育以库南1井为代表的泥质泥晶灰岩夹暗色灰质泥岩、页岩。中下寒武统烃源岩 TOC ≥ 0.50% 的平均占 1.24% ~ 2.28%，最高可达 5.52%，厚度一般为 150~350 m。

上寒武一下奥陶统烃源岩的发育同样以塔东1、尉犁1、库南1井为代表，岩石类型为薄层状泥质泥晶灰岩夹灰质泥岩。塔东1井烃源岩 TOC 平均为 1.93%，厚 144 m。库南1井烃源岩 TOC 平均为 1.15%，厚 98 m。尉犁1井烃源岩 TOC 平均为 0.91%，最高可达 2.33%，厚度达 45 m。

中下奥陶统黑土凹组烃源岩，在满东及库鲁克塔格南相区露头广泛发育黑灰、灰黑色薄层状硅质页岩、泥岩夹含放射虫硅质岩，并以夹有含放射虫硅质岩而区别于上覆上奥陶统却尔却克群，属典型的欠补偿深水盆地有机相沉积。代表井有塔东1、塔东2井。塔东1井烃源岩 TOC 平均达 1.94%，厚 48 m。塔东2井烃源岩 TOC 平均为 2.84%，厚 54 m。尉犁1井表现为欠补偿浅水盆地—盆地边缘相沉积，岩性表现为灰色、深灰色泥岩及泥质灰岩，烃源岩 TOC 平均为 1.11%，厚 46.5 m。

总之，满东地区寒武系—中下奥陶统烃源岩具有厚度大、分布广、有机质丰度高的特点。它们均表现为一套欠补偿盆地相—台缘斜坡相、盆地边缘相的烃源岩。其演化具有明显的差异生烃特点，坳陷区为持续生烃直至衰竭，隆起区为阶段生烃、阶段埋藏，这一演化特征决定了满东地区具有早期形成古油藏的有利条件。

### 1.2 “再生烃源”古油藏存在的证据

众所周知，地质历史中先期形成的古油藏，除部分埋深较浅受后期抬升破坏或出露地表遭受氧化和生物降解外，处于深部的古油藏可随不断深埋而温度增高，油藏内的原油必然发生相态转变，形成天然气和热演化沥青，最终形成甲烷和石墨。伴随相态的转变，可发生油气的再运集，成为新生油气藏的“再生烃源”。而与古油藏有关联的次生气藏中天然气成因则应以原油裂解气为主。

#### 1.2.1 天然气组分特征证据

对塔里木盆地环满加尔坳陷区已知油气藏天然气组分的统计显示(图1)，满东地区气藏中除华英参1井外，大部分气藏天然气和部分塔中地区气藏天然气具有中—较低的干燥系数和较高—高的 N<sub>2</sub> 含量 (>13%) 的特点，明显区别于塔北轮南、草湖地区和部分塔中地区气藏的天然气，是原油裂解气的体现。

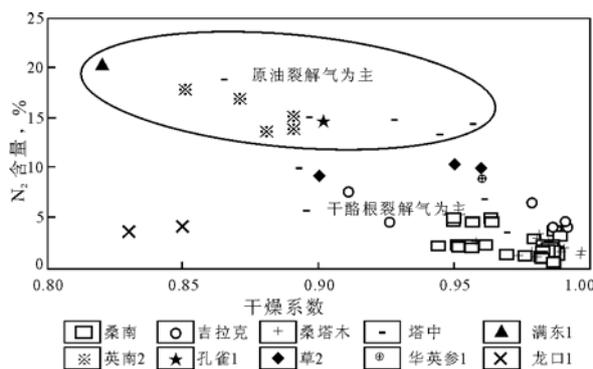


图1 塔里木盆地环满加尔坳陷区油气藏天然气干燥系数与 N<sub>2</sub> 含量关系

Fig. 1 Relationship between dry coefficient and N<sub>2</sub> content of reservoir natural gas around the Manjiaer Sag of the Tarim Basin

依据戴金星<sup>[1]</sup>对天然气中 N<sub>2</sub> 的成因判别，认为满东地区天然气较高—高含量 N<sub>2</sub> 应为有机成因，而与岩浆成因无关。因为岩浆作用形成的无机气除有高含量的 N<sub>2</sub> 外，还应有大量 CO<sub>2</sub>，而目前满东地区发现的天然气中 CO<sub>2</sub> 含量都较低，一般为 0.05%~1.35%。

从有机成因分析，N<sub>2</sub> 主要是由有机质含氮化合物的生物化学作用或有机质的热演化作用形成的，因此天然气中的 N<sub>2</sub> 主要源自赋存于烃源岩中的有机质(即干酪根)和油藏中原油的裂解。高含 N<sub>2</sub> 气藏的形成和源岩的演化程度与天然气聚集条件密切相关<sup>[2~4]</sup>。碳酸盐源岩在低—高成熟阶段形成的 N<sub>2</sub> 含量较高或形成其他含氮化合物，到高一过成熟阶段 N<sub>2</sub> 的释放量逐渐减少；泥页岩源岩在高—过成熟阶段形成的 N<sub>2</sub> 含量较高<sup>[5]</sup>。此外，原油高温裂解形成的油型裂解气中普遍含有大量 N<sub>2</sub>，这是由于原油中的大量含氮化合物在原油裂解时裂解而产生的。

从天然气藏形成的地质条件来看，图1中的天然气主要与环满加尔坳陷区的寒武系—中下奥陶统烃源岩有成因联系，该区烃源岩主要是泥质岩和泥质碳酸盐岩，目前普遍进入高一过成熟演化阶段。塔北地区桑塔木、桑南、吉拉克气藏、草2井天然气的干燥系数高，普遍达到 0.95 以上，主要表现为干气特征，这与满加尔坳陷北部斜坡区的烃源岩演化进入高一过成熟干气阶段相吻合。但这类天然气组分显示 N<sub>2</sub> 含量并不是很高，普遍小于 10%。与之相反的是，满东地区烃源岩演化程度相对北部斜坡区更高，基本处于过成熟的干气阶段，但该地区英南2、满东1、孔雀1井天然气主要表现

为湿气,其干燥系数相对较低,一般小于 0.90,而  $N_2$  含量则相对较高,普遍大于 13.0%,最高可达 20.39%。显然,一方面天然气干燥系数与气源岩演化程度不相吻合,另一方面天然气的  $N_2$  含量与塔北北部主要由气源岩形成的天然气的  $N_2$  含量也不吻合。这就充分显示,满东地区英南 2、满东 1、孔雀 1 井天然气应该主要是原油裂解成因,而不是由高—过成熟演化阶段的泥质岩或碳酸盐岩源岩中的含氮化合物有机质形成的。

### 1.2.2 天然气碳同位素特征证据

碳同位素组成特征是划分天然气类型、判别气源的重要依据<sup>[6,7]</sup>。满东地区天然气碳同位素组成主要表现为  $\delta^{13}C_1 < \delta^{13}C_2 < \delta^{13}C_3 < \delta^{13}C_4$ <sup>[8]</sup>,呈正碳分布序列,总体显示为高一过成熟的海相腐泥型气。根据 Rooney 等<sup>[9]</sup>建立的海相天然气形成温度模版,对满东地区天然气温度进行计算,各井天然气形成温度均大于 170 °C,应属于原油裂解气。

Prinzhofer 等<sup>[10]</sup>、陈世加等<sup>[11]</sup>曾利用  $(\delta^{13}C_2 - \delta^{13}C_3)$  与  $\ln(C_2/C_3)$  图版进行天然气成因判别。为了较为准确地判别塔里木盆地海相天然气的成因,采用源自寒武系—中下奥陶统烃源岩的顺 1 井志留系沥青砂岩与塔河奥陶系 TK606 井重质油,开展热模拟实验,并检测不同热模拟温度点下热裂解的天然气组分及其碳同位素值,建立原油裂解气成因判别图版(图 2)。图中虚线反映了顺 1 井沥青砂岩与塔河 TK606 井重质油热模拟实验中热裂解

气的碳同位素  $(\delta^{13}C_2 - \delta^{13}C_3)$  值与组分  $\ln(C_2/C_3)$  值的关系,满东地区主要的天然气碳同位素特征与其具有良好的可比性,说明满东地区天然气主要为古油藏中的原油或其破坏后产物的裂解气。

综上所述,满东地区天然气的地球化学证据显示,其主要来源为原油裂解气。古油藏作为“再生烃源”,在满东地区天然气成藏过程中起到了至关重要的“中转站”作用。地质历史中已经形成的烃类聚集,能够成为后期油气成藏的有效烃源。

## 2 成藏事件和成藏模式

满东地区自塔里木运动基底形成以来,沉积盖层虽经历了多次构造运动改造,但在整个地质历史中,对油气成藏具有重要意义的是早期的下古生界古隆起发育、中期的古隆起隆升剥蚀及晚期的上构造层褶皱断裂发育、圈闭形成 3 期重要事件<sup>[8,12~14]</sup>。据此,可将满东地区油气藏的形成划分为 3 期油气充注、3 大发展阶段(图 3)。

### 2.1 中加里东期

寒武纪—早中奥陶世时期,满东地区下古生界主要为欠补偿盆地相区—盆地边缘、台缘斜坡相区沉积,发育中下寒武统、上寒武—下奥陶统、中奥陶统黑土凹组优质烃源岩,中奥陶统上、下部还广泛分布有砂泥岩互层的海底扇沉积。

中晚奥陶世,强烈的中加里东运动使古城墟地区由盆地反转隆升,开始发育古隆起,同期受加里东中期 II 幕运动影响,孔雀河斜坡区也发生隆升,开始形成一些鼻状隆起。受南北向挤压应力作用,在两古隆起及满加尔坳陷的古斜坡区形成由断层牵引造成的背斜构造。

中上奥陶统的快速沉积,使得满东地区烃源岩快速生烃演化并处于不同生烃阶段。除古隆起、古斜坡区具有自生自储能力外,坳陷区生成的油气运聚于古隆起及古斜坡区的背斜构造中,形成第一期古油藏,如塔东 2 井寒武系古油气藏。此外,油气还可通过断裂向上运移至中上奥陶统以海底扇砂泥岩互层的碎屑岩储层中。

晚奥陶世末,由于中上奥陶统的持续快速沉积,坳陷区的寒武系烃源岩已进入生干气阶段,生成的大量天然气对古斜坡区已形成的寒武系古油气藏进行气侵,同时受高温热蚀变作用,寒武系古油气藏逐渐演变为气藏。

### 2.2 晚加里东期—印支期

晚加里东期,随着周缘板块闭合作用增强,古城墟隆起整体隆升,志留系、奥陶系遭受剥蚀;强烈

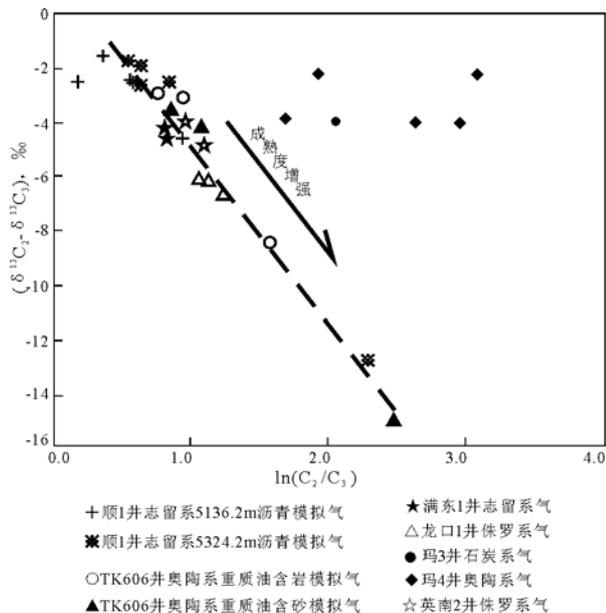


图 2 塔里木盆地满东地区碳同位素特征天然气成因判别

Fig. 2 Genetic types of natural gas from the east of Manjiaer region, the Tarim Basin

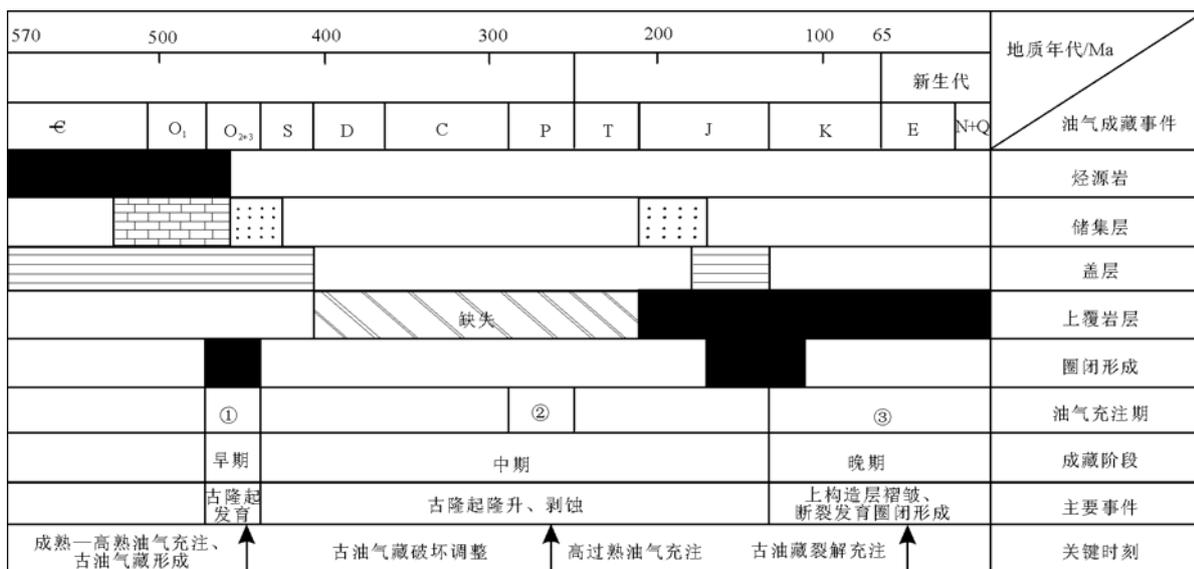


图3 塔里木盆地满东地区油气成藏事件

Fig. 3 Hydrocarbon accumulation events in the east of Manjiaer region, the Tarim Basin

的海西早期运动使得古城墟隆起进一步整体隆升并遭受强烈剥蚀；晚海西期—印支期，古城墟隆起持续隆升，满东地区石炭、二叠、三叠系大面积缺失，直到印支期后古城墟隆起最终定型。

受古城墟隆起隆升剥蚀影响，塔东2井寒武系古油气藏发生破坏及调整，晚加里东期—早海西期，塔东2号构造得到加强，并有一定油气散失。晚海西期—印支期，伴随古城墟隆起持续隆起、上覆地层强烈剥蚀和区域挤压作用，塔东2号构造带的构造高点发生转移，油气藏发生调整并在该过程中大量轻质组分散失及遭受生物降解形成重质油，印支期后随古城墟隆起的最终定型而成为残余油的古油藏<sup>[8]</sup>(图4)。

晚加里东期—印支期，龙口英南古斜坡区的古油气藏同样发生破坏和调整，并在晚海西期有一次高一过熟油气充注。

晚加里东期—早海西期，塔里木盆地发生东西向掀斜，区域上呈西低东高格局。受其及古城墟隆起隆升影响，整个满东地区烃源岩生烃演化停滞处于无效生烃状态。晚海西期，受热事件控制，烃源岩生烃能力复活，斜坡区的烃源岩进入生干气阶段，对寒武—奥陶系已形成的油气藏再次充注；坳陷区的烃源岩演化超过了  $R_o > 4.0\%$  的生烃死亡线。

晚海西期—印支期，满东地区持续抬升，斜坡区的烃源岩演化也超过了死亡线变为无效，并就此结束生烃演化历史。晚加里东期—印支期，由于断裂长期活动，古斜坡区寒武系气藏的天然气向上运移，进入奥陶系油气藏。除由下奥陶统灰岩、中奥

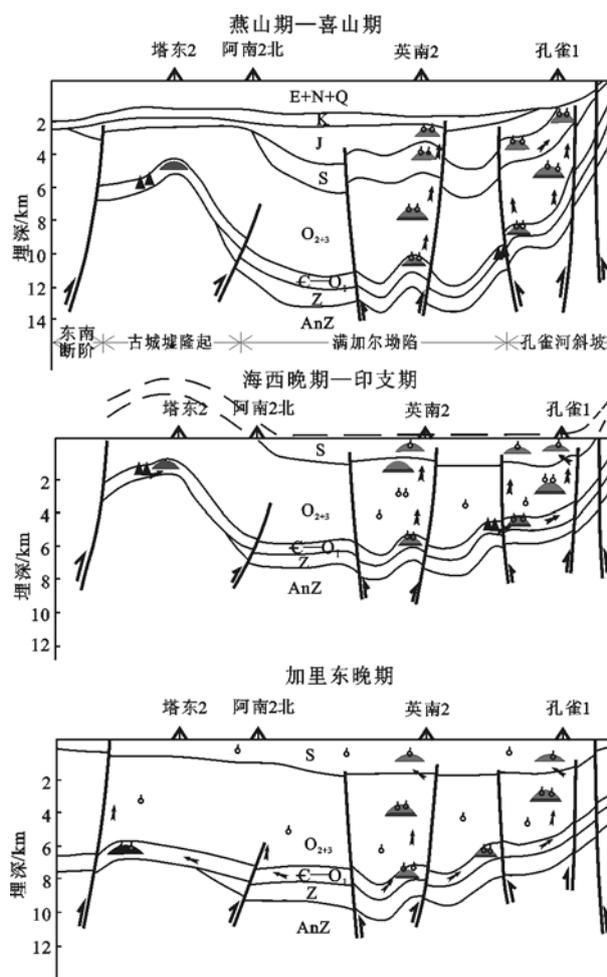


图4 塔里木盆地满东地区油气成藏模式

Fig. 4 Hydrocarbon accumulation mode in the east of Manjiaer region, the Tarim Basin

陶统上、下部海底扇沉积的碎屑岩油气藏有一定的

储盖能力外,大部分中上奥陶统地层无明显储盖组合,为类似“千层饼”的砂泥岩互层,因此运移的油气可以分布在整个中上奥陶统,局部聚集的油气可形成油气藏,而大部分油气则以分散有机质的形式,赋存于中上奥陶统地层中,并可继续向上运移至志留系,遭受破坏(图4)。

上述成藏特征显示,从晚加里东期至印支期,乃至中加里东期,深部油气藏的形成与调整导致了满东地区特殊的成藏模式,具有一定规模的古油气藏和分布较为广泛的分散有机质构成了该地区晚期成藏的重要“再生烃源”,为后期油气成藏建立了“中转站”。

### 2.3 晚燕山期—喜山期

晚燕山期,满东地区志留系、中生界上构造层圈闭形成,并因下白垩统红色泥岩区域盖层的形成而最终定型。同时受南北向挤压应力作用,形成强烈褶断变形,不仅使原来的褶皱和断裂得到很大程度的加强和改造,同时又产生一大批新的褶皱和断裂,形成一系列北西向和北东向断裂—背斜构造带,如维马克—开屏、龙口和英南背斜构造带等。

燕山晚期—喜山期,早期富集在寒武系、中上奥陶统油气藏内的油气,为晚期油气运聚成藏提供充足的气源。喜山早期,满东地区处于快速沉降阶段,有利于深部古油气藏内原油形成裂解气。原油裂解气或部分原生天然气经深大断裂向上运移调整,辅以区域性不整合面、砂体的侧向输导,最终富集在上覆志留—侏罗系圈闭之中,形成天然气藏,如英南2、满东1、孔雀1井等(图4)。

发育有沟通寒武—奥陶系的深大断裂的北西、北东向断裂—背斜构造带,是该期有利的成藏运聚区带,一方面深大断裂可以作为深部古油气藏油气向上运移的通道,另一方面北西向、北东向构造带圈闭发育相对完整,有利于油气藏保存。

## 3 认识和建议

满东地区油气成藏的物质基础除下古生界欠补偿盆地相—盆地边缘、台缘斜坡相的寒武系—中下奥陶统干酪根型烃源岩外,还有以古油藏形式为主的“再生烃源”。已知气藏的天然气组分、碳同位素组成特征都表明,满东地区天然气主要是由古油藏原油裂解形成的。

满东地区油气藏的形成存在3期油气充注、3大发展阶段:早期伴随古隆起的发育,古油气藏形成;中期随着古隆起的隆升、剥蚀,古油藏破坏并发生调整;晚期由于上构造层褶皱断裂发育及圈闭

形成,深埋古油藏内的原油裂解成气,并沿断裂向上运移至构造层的志留—侏罗系圈闭之中聚集。晚燕山期—喜山期可能是满东地区最具有有效规模的成藏期,并以形成气藏为主。

目前,满东地区油气勘探及地质认识程度相对较低,笔者对其油气成藏特征的分析也较为肤浅。在某种程度上,英东2井寒武系白云岩储层钻探的失利也佐证了笔者的认识。该区油气勘探目的层立足于上构造层的志留系、侏罗系和上奥陶统海底浊积扇砂体,上构造层发育的一系列断裂—背斜构造带是勘探的有利地区,圈闭的完整性、直接盖层的有效性以及沟通深部断裂的发育程度是勘探成功与否的关键因素。

### 参考文献:

- 戴金星. 中国天然气地质学(卷一)[M]. 北京:石油工业出版社,1992
- Litke R, Krooss B M, Idic E, et al. Molecular nitrogen in natural gas accumulations: generation from sedimentary organic matter at higher temperatures [J]. AAPG Bulletin, 1995, 79(3):410~430
- Krooss B M, Muller B. Generation of nitrogen and methane from sedimentary organic matter: implication on the dynamics of natural gas accumulations [J]. Chemical Geology, 1995, 126(3-4):291~318
- 郭建军,陈践发,朱雷等. 塔里木盆地塔中天然气的地球化学特征及成因[J]. 石油实验地质,2007,29(6):577~582
- 陈世加,赵孟军. 塔里木盆地中高氮天然气的成因及其与天然气聚集的关系[J]. 沉积学报,2000,18(4):615~618,623
- 谈迎,刘德良,李振生. 松辽盆地北部二氧化碳气藏成因地球化学研究[J]. 石油实验地质,2006,28(5):480~483
- 翟晓先,顾忆,钱一雄等. 塔里木盆地塔深1井寒武系油气地球化学特征[J]. 石油实验地质,2007,29(4):329~333
- 邵志兵,李慧莉,张克银. 塔里木盆地孔雀河斜坡区油气成藏初步分析[J]. 中国西部油气地质,2005,1(2):149~152
- Rooney M A, Claypool G E, Chung H M. Modeling thermogenic gas generation using carbon isotope ratios of natural gas hydrocarbons[J]. Chemical Geology,1995,126(3-4):219~232
- Prinzhofer A A, Huc A Y. Genetic and post-genetic molecular and isotopic fractionations in natural gases[J]. Chemical Geology,1995,126(3-4):281~290
- 陈世加,马力宁. 干酪根裂解气和原油裂解气的成因判别方法[J]. 石油实验地质,2002,24(4):364~366
- 孙玉善,金英爱,顾乔元. 塔东2井古油藏成藏期分析[J]. 石油勘探与开发,2003,30(5):31~33
- 杨铭,汤达祯,邢卫新等. 塔里木盆地孔雀河古斜坡成藏条件新认识[J]. 石油实验地质,2007,29(3):275~279
- 时保宏,张艳,赵靖舟等. 塔里木盆地英吉苏凹陷天然气成藏主控因素分析[J]. 石油实验地质,2007,29(5):482~485