

文章编号: 1001-6112(2007)05-0482-04

# 塔里木盆地英吉苏凹陷天然气成藏主控因素分析

时保宏<sup>1</sup>, 张艳<sup>2</sup>, 赵靖舟<sup>1</sup>, 王清华<sup>3</sup>

(1. 西安石油大学 油气资源学院, 西安 710065; 2. 中国石油 长庆油田分公司 勘探开发研究院, 西安 710021; 3. 中国石油 塔里木油田分公司 勘探开发研究院, 新疆 库尔勒 841000)

**摘要:**通过对塔里木盆地东部英吉苏凹陷的构造背景、油源条件、储盖层条件、聚集和保存条件的分析,探讨了英吉苏凹陷天然气成藏的地质条件和成藏主控因素。认为英吉苏凹陷具备形成油气藏的地质条件,同时烃源岩特定的演化特征决定了该地区中生界构造主要以富气为主。英吉苏地区独特的构造环境和成藏特征,使得中生界构造的主要油气源为下伏的古生界古油(气)藏,所以活动时间长、沟通古油(气)藏与中生界构造的断裂成为中生界构造能否达到工业聚集的关键控制因素。另外,有效盖层和古隆起背景也是该区能否形成天然气藏的主要控制因素。

**关键词:**天然气; 油气成藏条件; 油气成藏主控因素; 英吉苏凹陷; 塔里木盆地

**中图分类号:** TE122.3

**文献标识码:** A

## THE STUDY OF MAIN CONTROL FACTORS OF GAS ACCUMULATION IN THE YINGJISU SAG OF TARIM BASIN

Shi Baohong<sup>1</sup>, Zhang Yan<sup>2</sup>, Zhao Jingzhou<sup>1</sup>, Wang Qinghua<sup>3</sup>

(1. Xi'an Shiyou University, Xi'an, Shaanxi 710065, China; 2. Institute of Exploration and Development, Changqing Oil and Gas Branch Company, CNPC, Xi'an, Shaanxi 710021, China; 3. Institute of Exploration and Development, Tarim Oil and Gas Branch Company, CNPC, Korla, Xinjiang 841000, China)

**Abstract:** Through the studying of the structure background, source rocks, reservoirs and seals and preservation in the Yingjisu Sag in the east of Tarim Basin, the geologic conditions and main control factors of the accumulation are discussed. There are favorable conditions for accumulation in the Yingjisu Sag. Because of the evolvement characteristics of source rocks, the traps in Mesozoic groups accumulate mainly gas. It is the particular history of tectonic evolution and characteristics of accumulation that determine faults from Palaeozoic to Mesozoic are the crucial control of Mesozoic groups accumulation. Meanwhile, effective caprocks and paleouplifts are also the main controls.

**Key words:** natural gas; condition of reservoir formation; main control factors of hydrocarbon accumulation; the Yingjisu Sag; the Tarim Basin

英吉苏凹陷位于塔里木盆地东部,是塔里木盆地研究程度较低的地区之一。2001年塔里木油田分公司钻探的英南2井在侏罗系喜获工业气流,是盆地东部油气勘探的首次重大发现;2002年钻探的龙口1井和2003年钻探的满东1井也分别获得了油气显示和工业气流,预示着塔东地区有着良好的天然气成藏地质条件和勘探潜力。

## 1 天然气成藏地质条件

### 1.1 烃源岩

英吉苏凹陷是在古生代构造背景之上发育起

来的叠合盆地<sup>[1]</sup>,震旦纪—早古生代盆地的性质为大陆边缘裂(断)陷盆地,沉积了巨厚(最大残余厚度约12 000 m)的古生界地层。其中寒武、奥陶系地层中发育了大量深灰色、灰色泥灰岩和灰岩,良好的生油气岩。中生代以来,盆地表现为一冲断前陆盆地,是塔里木盆地侏罗纪3大沉降中心之一<sup>[2,3]</sup>,沉积了较厚的含煤中、下侏罗统地层。多生烃灶与多套烃源岩层系在一个负向地质单元内集中发育,是塔里木叠合盆地重要的石油地质特点之一<sup>[4,5]</sup>。英吉苏凹陷也同样具有这一特征,发育寒武—奥陶系和侏罗系两套主要烃源岩。

收稿日期:2006-09-29;修订日期:2007-08-01。

作者简介:时保宏(1971—),男(汉族),河南固始人,博士生,主要从事油气成藏地质学及天然气地球化学方面的研究工作。

基金项目:国家“十五”重点攻关项目(2001BA605A-02-01-06)。

塔东1、2井与库南1井钻遇寒武—奥陶系烃源岩。同时油气源对比证实,英南2井、龙口1井和满东1井中的天然气均来自寒武系烃源岩<sup>[6]</sup>,华英参1井油气地球化学特征具陆相和海相双重特征<sup>[7]</sup>,这些都表明英吉苏凹陷古生界海相烃源岩及其生烃历史的存在。

据塔东2井岩心及其它录井、测井资料和化验分析资料,寒武系主要为黑灰色泥灰岩,钙质泥岩夹泥岩及浅灰色粉砂屑泥晶灰岩和下部的黑色硅质、钙质磷质泥岩;碳酸盐岩 TOC 平均值为 1.14%,泥岩 TOC 平均达 1.93%,总体上达到好—较好烃源岩标准,是该地区的主要生烃层系。寒武—奥陶系源岩全岩和干酪根镜检、有机显微组分等特征反映其有机质类型主体为 I 型或 II 型。据烃源岩平面分布分析,塔东地区寒武—奥陶系烃源岩在英吉苏地区分布较厚,埋藏相对也较深,推测其烃源岩的成熟度应较高,多处于过—高成熟阶段<sup>[8]</sup>。

侏罗系沉积厚度一般为 500~2 000 m,其中烃源岩约为 50~120 m,平面展布面积可达 4 500 km<sup>2</sup>。烃源岩岩性主要为煤、碳质泥岩及暗色泥岩,各类烃源岩干酪根的 H/C 原子比在 0.57~0.93,O/C 原子比为 0.003~0.57,主要表现为 III 型有机质的特点<sup>[9]</sup>。热演化史研究表明,英吉苏凹陷中下侏罗统烃源岩的成熟度普遍较低,烃源岩 R<sub>o</sub> 值主要处于 0.5%~0.7% 的范围,烃源岩多处于低成熟—成熟阶段。

### 1.2 储盖层

英吉苏凹陷的储盖组合非常发育,钻井资料证实,塔东地区发育 6 套储盖组合。其中,中生界发育了 4 套储盖组合,即白垩系下砂岩段与上覆中泥岩段储盖组合、侏罗系上煤层段与下伏砂岩段储盖组合、侏罗系下煤层段与下伏砂岩段储盖组合、侏罗系下部厚层砂岩与致密砂岩盖层非常规储盖组合。下古生界发育了 2 套储盖组合,即志留系致密层段与下伏砂岩段非常规储盖组合和震旦系—寒武系碳酸盐岩与上覆奥陶系泥岩储盖组合。

### 1.3 构造圈闭

英吉苏凹陷主要构造活动期为燕山和印支期,大型构造非常发育,频繁的构造活动形成了一系列的构造圈闭,而且主要为完整的背斜,面积大、幅度高;圈闭类型主要为背斜圈闭、断背斜圈闭以及断鼻圈闭。同时,断裂活动沟通了源岩和圈闭,为油气垂向运移提供通道。构造主要形成于燕山和印支期,古生界古油藏的调整和原油裂解气的大量形

成以及侏罗系烃源岩喜山期开始生烃,为油气聚集提供了充足的油气源。白垩纪以后,本区构造趋于稳定,几乎没有大的构造运动,因而有利于油气藏的保存。

从构造背景、油源条件、储盖层条件、聚集和保存条件可以看出,英吉苏凹陷具备形成油气藏的地质条件,同时烃源岩特定的演化特征,决定了该地区中生界构造主要以富气为主。

## 2 天然气成藏主控因素分析

由于寒武—奥陶系烃源岩现今处于高一过成熟阶段和侏罗系煤系烃源岩大多处于未熟—低熟阶段,使得英吉苏地区烃类以气为主。英南 2 井和满东 1 井的勘探成果也证实了这一点。

### 2.1 沟通古生界和中生界的断裂

断裂对油气成藏具有重要的控制作用<sup>[10~15]</sup>,对于英吉苏凹陷的天然气成藏尤其重要。

对中生界构造的油气成藏而言,英吉苏凹陷独特的构造背景和构造演化历史,造就了寒武—奥陶系烃源岩和侏罗系煤系烃源岩都存在一定的“缺憾”。据沉积史和烃源岩埋藏史分析,寒武—奥陶系海相烃源岩于中奥陶世开始生油,志留期末(加里东末期)已结束生烃,现今这套优质烃源岩基本处于高一过成熟阶段<sup>[8]</sup>,对中生代以来的构造不能直接供烃。而侏罗系烃源岩目前仅处于未熟—低熟阶段<sup>[9]</sup>,不可能为中生代以来的构造大量供烃。

但英南 2 气藏、满东 1 气藏及龙口 1 井天然气主要来自海相烃源岩<sup>[6,16]</sup>的勘探事实证明,寒武—奥陶系海相烃源岩仍是英吉苏凹陷乃至塔东地区油气的主要原始来源。这套烃源岩在其生烃高峰期,由于加里东期的构造运动,也形成了古构造。圈闭的形成与寒武系烃源岩油气生成在时间上基本同步,加里东期成藏配置关系良好,从而有利于形成古油藏,塔东 2 残余古油藏就是很好的证明。

形成于加里东期的寒武系、奥陶系以及志留系中的古油藏,为后期油气的再转移、富集提供了物质基础,成为后期中生界构造的主要油气来源。在古油藏中的油气再转移、富集的过程中,油气主要是垂向运移,使得活动时期长、沟通寒武系古油藏和侏罗系圈闭的断裂成为中生界构造能否聚集到工业油气藏的关键。

英南 2 气藏的形成即证明了此点(图 1)。该气藏为一后期调整形成的次生气藏,它是早期(中、晚奥陶世)在寒武—奥陶系储层中形成的古油藏于后期(加里东晚—末期)发生裂解或受到气侵作用

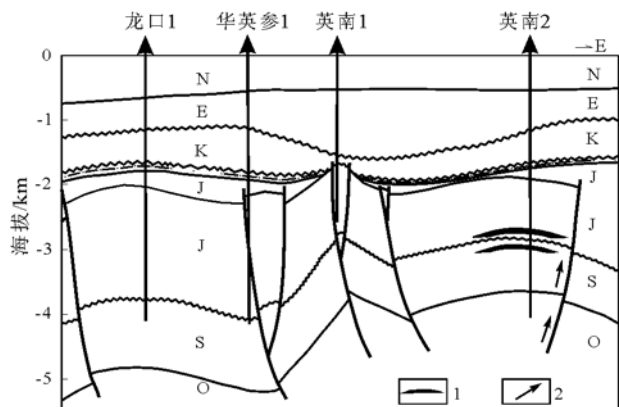


图 1 塔里木盆地英吉苏凹陷东西向油藏剖面  
1. 已发现凝析气藏; 2. 油气运移方向  
Fig. 1 The EW-trending reservoir section map of the Yingjisu Sag, the Tarim Basin

而首先演变为凝析气藏或湿气藏,喜山晚期由于寒武系和下奥陶统烃源岩继续大量生成干气,古油气藏中的油气及生成的干气在断层的活动下向上转移,从而在侏罗系形成英南 2 次生气藏。可以看出,在整个英南 2 气藏的形成过程中,断裂在古油气藏的多次调整过程中都起着重要的通道作用。相反,龙口 1 井因为没有沟通侏罗系圈闭和寒武系古油气藏的断裂,且其下部断开寒武系和奥陶系的断裂活动停止时间较早<sup>[17]</sup>,寒武系古油气藏的油气以及后期生成的油气,在后期的构造及气侵过程中,没能向上大量转移到侏罗系聚集。

### 2.2 有效盖层的存在

英吉苏地区独特的构造环境和成藏特征,使得有效盖层的存在成为该区天然气成藏的另一主要控制因素。

英吉苏凹陷烃源岩特定的演化特征,使该地区中生界构造主要以富气为主。由于气比油的活动性强,所以对盖层的要求更高。虽然侏罗系地层中存在 3 个储盖组合,但缺乏优质储盖组合,储集层较好,但盖层相对较差(表 1)。侏罗系中的盖层主要有泥岩、煤岩和致密砂岩,对气而言大多是差一般盖层。所以在英吉苏凹陷内,有效盖层的分布对工业油气藏的聚集和保存至关重要,是今后研究和勘探部署应该关注的重点之一。

另外,寒武—奥陶系烃源岩在巨厚中上奥陶统地层的埋藏作用下,成熟较早。围绕生烃中心的古构造聚集大量的油气,成为古油气藏,成藏期为加里东期。古油气藏经历了海西、燕山构造运动与气侵作用,不断发生调整与改造,形成新的油气藏。在这漫长的调整和改造过程中,没有很好的盖层,就难以保证古油气藏的存在。

### 2.3 古隆起背景

保存在古生界构造中的古油气藏,经后期构造运动的调整,或古油气藏发生裂解,而成为中生界构造的主要油源,是英吉苏凹陷天然气成藏的重要特点。这一独特的成藏地质特征,决定了古生界地层具有的古隆起背景对后期天然气成藏的重要控制

表 1 塔里木盆地英吉苏凹陷储盖组合及评价结果

Table 1 The assessment results of reservoirs and caprocks in the Yingjisu Sag of Tarim Basin

| 评价结果                         | 储盖组合名称                                 |  |                          |
|------------------------------|--|--|--------------------------|
|                              | 侏罗系上煤层段与下伏砂岩段储盖组合                      | 侏罗系下煤层段与下伏砂岩段储盖组合                        | 侏罗系下部厚层砂岩与致密砂岩盖层非常规储盖组合  |
| <b>储层评价</b>                  |  |  |                          |
| 沉积相                          | 扇三角洲前缘水下分流河道                           | 扇三角洲前缘水下分流河道                             | 扇三角洲水下分流河道               |
| 岩性                           | 灰绿色岩屑细砂岩为主                             | 浅灰色、灰绿色粉砂岩、岩屑细砂岩                         | 绿灰色、灰色砾状砂岩、细砂岩、含砾细砂岩、中砂岩 |
| 厚度/m                         | 90~110                                 | 65~130.5                                 | 99                       |
| 孔隙类型                         | 剩余原生粒间孔为主                              | 剩余原生粒间孔为主                                | 剩余原生粒间孔占绝对优势             |
| 孔隙度, %                       | 17.73                                  | 14.1                                     | 13.43                    |
| 渗透率/ $10^{-3} \mu\text{m}^2$ | 49.1                                   | 4.42                                     | 13.15                    |
| 储层类别                         | II <sub>a</sub>                        | II <sub>b</sub> —III                     | II <sub>b</sub> —III     |
| <b>盖层评价</b>                  |  |  |                          |
| 岩性                           | 灰色粉砂质泥岩、泥岩、碳质泥岩夹煤层                     | 泥岩、碳质泥岩夹煤层                               | 厚层致密砂岩                   |
| 厚度/m                         | 单层厚一般 2~5 m, 最大厚度 18 m, 累计厚度 101~125 m | 单层厚一般 3~5 m, 最大厚度 17.5 m, 累计厚度 132~167 m |                          |
| 盖层类别                         | III                                    | III                                      | IV                       |

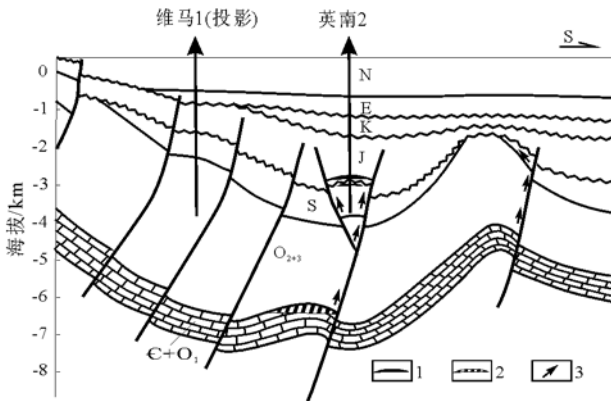


图2 塔里木盆地英吉苏凹陷南北向油藏剖面  
1. 已发现凝析气藏; 2. 预测凝析气藏; 3. 油气运移方向  
Fig. 2 The NS-trending reservoir section map of the Yingjisu Sag, the Tarim Basin

作用。首先,古生界古隆起是寒武—奥陶系烃源岩生烃高峰期形成古油藏的最有利地区;另外,古隆起后期继承性发展,可以形成中生界隆起构造。这样上下叠置的隆起构造,容易被断层沟通,有利于古油气藏的调整再成藏。

所以,古生界地层中能够聚集油气的古隆起或古构造对中生界以来的构造聚集油气起着重要作用。如英南2气藏的形成即是由古生界地层中古油气藏的后期调整而形成的次生气藏(图2)。

### 3 结论

塔里木盆地东部英吉苏凹陷具备形成油气藏的地质条件,烃源岩特定的演化特征决定了该地区中生界构造主要以富气为主。英吉苏地区独特的构造环境和成藏特征,使得中生界构造的主要油气源为下伏的古生界古油(气)藏,所以活动时间长、沟通古油(气)藏与中生界构造的断裂成为中生界构造能否达到工业聚集的关键控制因素。另外,有效盖层和古隆起背景也是该区能否形成天然气气藏的主要控制因素。

### 参考文献:

- 李德伦,段吉业,梁桂香等. 英吉苏凹陷中—新生代背驮式前陆盆地构造特征及成因机制[J]. 世界地质, 2001, 20(3): 242~248
- 李铁军. 塔里木盆地喀什凹陷侏罗系含油气系统研究[J]. 石油实验地质, 2005, 27(1): 39~43
- 李先奇,秦胜飞,戴金星. 塔里木盆地英吉苏凹陷煤成气勘探前景分析[J]. 石油勘探与开发, 1996, 23(3): 6~10
- 贾承造,魏国齐. 塔里木盆地构造特征与含油气性[J]. 科学通报, 2002, 47(增): 1~8
- 何治亮,顾忆,高山林. 中国西部多旋回演化与油气聚集[J]. 石油实验地质, 2005, 27(5): 433~438
- 刘金林,冯兴凯,关辉. 塔东英吉苏地区天然气气源及气藏成藏期分析[J]. 江汉石油学院学报, 2004, 26(2): 48~49
- 梁生正,刘晓,高伟中等. 塔东英吉苏坳陷2号构造三叠系凝析气藏预测[J]. 天然气工业, 2001, 21(1): 23~30
- 刘玉魁,胡剑风,闵磊等. 塔里木盆地英吉苏凹陷成藏机理分析[J]. 天然气工业, 2004, 24(10): 6~9
- 杨瑞财,高伟中,杨彩虹等. 塔里木盆地英吉苏凹陷中生界油气勘探潜力[J]. 新疆石油地质, 2000, 21(3): 184~187
- 罗群,白新华. 断裂控烃理论与实践:断裂活动与油气聚集研究[M]. 武汉:中国地质大学出版社, 1998. 34~94
- 尚尔杰,金之钧,丁文龙等. 断裂控油的物理模拟实验研究:以准噶尔盆地西北缘红车断裂带为例[J]. 石油实验地质, 2005, 27(4): 414~418
- 刘玉魁,胡剑风,郑多明等. 塔里木盆地英吉苏凹陷断层对油气藏的控制作用[J]. 天然气地球科学, 2004, 15(1): 87~90
- Allan U S. A model for the migration and entrapment of hydrocarbons within faulted structures[J]. AAPG Bull, 1989, 73: 803~812
- Doweny M W. Faulting and hydrocarbon entrapment[J]. Geophysics Leading Edge, 1990, (January): 20~22
- 于翠玲,曾澍辉. 断层幕式活动期和间歇期流体运移与油气成藏特征[J]. 石油实验地质, 2005, 27(2): 129~133
- 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
- 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