

# 塔里木盆地寒武统玉尔吐斯组 烃源岩热演化模拟分析

郑见超, 李斌, 刘羿伶, 肖鹏程, 李琪琪  
(西南石油大学地球科学与技术学院, 四川 成都 610500)

**摘要:**玉尔吐斯组烃源岩作为塔里木盆地重要的烃源岩之一,其热演化史至今仍缺乏较为客观的认识,从而影响下一步勘探方向的选择。在钻井资料和分析测试基础上,运用盆地模拟技术中的Easy%R<sub>o</sub>模型,对盆地不同构造单元的玉尔吐斯组烃源岩进行热演化史及热演化差异性分析,提出有利的勘探区,对下一步深层碳酸盐岩油气藏勘探具有重要意义。研究表明:玉尔吐斯组烃源岩的热演化受构造运动和热液活动的双重控制,具有多期、动态差异的特征;在环满地区以及塘沽巴斯坳陷区,玉尔吐斯组烃源岩在奥陶世先后进入生烃门限,其中孔雀河斜坡和古城墟隆起东段在志留世进入生烃停滞阶段;顺托果勒底隆起西部和满西地区受热液活动的影响,分别在中二叠世初期和早石炭世初期进入生烃枯竭阶段且枯竭范围逐渐扩大;麦盖提斜坡东部地区的热演化进程明显晚于盆地其他地区,现今处于晚成熟阶段;沙雅隆起西部、顺托果勒低隆起西部、麦盖提斜坡东部以及塘沽巴斯坳陷西部斜坡带均为有利勘探区。

**关键词:**塔里木;玉尔吐斯组;热演化模拟;有利区带

**中图分类号:**TE122

**文献标识码:**A

## Study on thermal evolution modeling of lower Cambrian Yuertusi source rock, Tarim Basin

Zheng Jianchao, Li Bin, Liu Yiling, Xiao Pengcheng and Li Qiqi

(School of Geoscience and Technology, Southwest Petroleum University, Chengdu, Sichuan 610500, China)

**Abstract:** As one of the important source rocks in Tarim basin, Yuertusi source rock, whose thermal evolution history is still lacking of objective knowledge which restricting the choice of exploration direction. On the basis of drilling data and analysis test, the Easy%R<sub>o</sub> model of basin modeling technology was used to analyze the thermal evolution history and its dissimilarity of Yuertusi source rock in different tectonic units, and the favorable exploration areas were raised, that was important to the further deep carbonate reservoir exploration. The results showed that the source rocks with multiphase and differences dynamic characteristics in thermal evolution were controlled by tectonic movement and hydrothermal activity. The source rock in the ring with depression of Manjiaer and Tanggubasi entered the hydrocarbon generation threshold successively in Ordovician, but the source rock in the Kongquehe slope and eastern Guchengxu uplift entered the stagnation of hydrocarbon generation in Silurian. The Shunxi to Manxi area entered the stage of hydrocarbon generation dried up in Permian and Carboniferous and the range of depletion has gradually expanded. The thermal evolution process of the source rock in the eastern Maigaiti slope significantly was later than that of other areas; it was still in the late mature stage today. The predicted favorable zones were west Shaya uplift, west lower uplift of Shuntuoguole, east Maigaiti slope and west Tanggubasi depression slope.

**Key words:** Tarim, Yuertusi formation, thermal evolution modeling, exploration favorable area

近年来,在塔里木盆地周缘的阿克苏地区(有机碳含量大于2%)、昆盖阔坦地区(厚32 m,有机碳含量1.16%~16.50%)<sup>[1]</sup>、柯坪地区(厚9 m,有机碳含

量13.89%~22.39%)、巴楚地区(有机碳含量高达9.67%)<sup>[2]</sup>的野外露头剖面发现了玉尔吐斯组优质烃源岩以及2013年塔中地区中深1井在寒武系盐下白

收稿日期:2018-03-14。

第一作者简介:郑见超(1986—),男,硕士,油气成藏方向的研究。

基金项目:四川省教育厅青年基金“深层页岩储集物性研究”(15ZA0047)。

云岩测试获得工业油气流<sup>[3-4]</sup>,均证实了塔里木盆地寒武统玉尔吐斯组烃源岩具有良好的生烃能力<sup>[5]</sup>,表明在深层油气勘探进程中玉尔吐斯组很可能作为盆地最有利的海相烃源岩,同时上覆的中下寒武统台缘礁滩储集层物性好、规模大,具有巨大的资源潜力。然而,目前玉尔吐斯组烃源岩热演化过程及与生成油气的关系依然不明确,严重制约着勘探的发展进程。因此,从热史模拟出发,基于埋藏史恢复,借用Easy% $R_o$ 模型<sup>[6-7]</sup>,针对不同构造单元玉尔吐斯组烃源岩热演化史进行深入分析,从而实现有利勘探区的预测,并为下一步深层碳酸盐岩油气藏勘探工作提供重要依据。

## 1 区域地质概况

塔里木盆地是我国西部造山带环绕的大型陆内叠合盆地。在早寒武世盆地整体发生不均衡抬升,随后受动力系统变化影响,沉积格局由“南北分异”转变为“东盆西台”<sup>[8]</sup>。早寒武世盆地主要发育有广泛的浅水—深水斜坡陆棚相、深水盆地相,这些相带内沉积了丰富的烃源岩。现场研究表明,下寒武统玉尔吐斯组烃源岩以深水斜坡陆棚相最为发育,最大厚度可达35 m,而在中央隆起带的方1、和4、同1、巴探5、玛北1、中深1、塔参1等井的钻井资料均未发现该套烃源岩<sup>[9]</sup>。通过全盆岩相古地理分析,结合钻

井资料研究后证实,除巴楚—塔中的中央隆起区缺失外,其余地区均广泛发育厚度不等的玉尔吐斯组烃源岩(图1)。

## 2 Easy% $R_o$ 热史模拟原理

热史模拟的目的是解决目标烃源层在各个地质时期的温度及成熟度,其中镜质体反射率为最经典最常用的地球化学指标。热史恢复方法多样,有温度计法、Karweil图解法、Hood法等。研究发现,Easy% $R_o$ 化学动力模型(1)对于中、高热演化程度的烃源岩更为精确<sup>[10]</sup>:

$$R_o = \exp(-1.6 + 3.7F_k), (k=1,2,3,\dots \text{直到现在}) \quad (1)$$

式中: $R_o$ 为镜质组反射率,%; $F_k$ 为该井地层底界的第 $k$ 个埋藏点的化学反应程度,其值范围为0~0.85。

## 3 模拟参数分析

本次研究分别选取不同构造单元的9口探井进行模拟,具体为:孔雀河斜坡—尉犁1井(YL1)、沙雅隆起中东部—于奇6井(YQ6)和西部—星火1井(XH1)、顺托果勒低隆起—西部阿满1井(Aman1)、满加尔坳陷西部—满参1井(Mancan1)、古城墟隆起东部—塔东1井(TD1)、塘沽巴斯坳陷西北缘—塘参1井(Tangcan1)、麦盖提斜坡东部玛南构造带—玉北

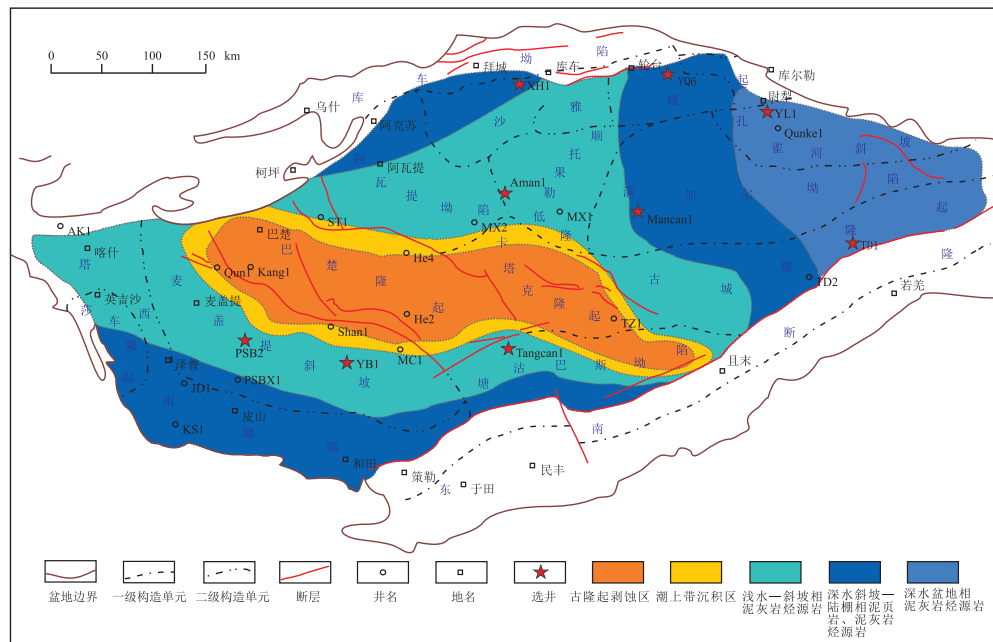


图1 塔里木盆地玉尔吐斯组分布(据西北局研究院,2014年改)

Fig. 1 Distribution of Yurtusi Formation in Tarim Basin

1井(YB1)及西部一皮山北2井(PSB2)。

### 3.1 地层岩性特征

地层岩性组成及其参数的正确选取,是合理进行地层压实校正和客观恢复沉降埋藏史的关键<sup>[11]</sup>。以单井岩性、测井资料为基础,计算各个地层岩性及其百分比含量,混合岩性则根据计算结果按比例用标准岩性混合得到,其热导率、压实系数等则根据模型默认。

### 3.2 剥蚀量恢复

塔里木盆地历史上经历多期抬升事件,形成了9个主要地层不整合界面:白垩系底界面( $T_4^0$ )、三叠系底界面( $T_5^0$ )、石炭系底部不整合面( $T_7^0$ )、上泥盆统底不整合面( $T_6^0$ )、志留系底不整合面( $T_7^0$ )、上奥陶统底不整合面( $T_7^2$ )、中奥陶统底不整合面( $T_7^4$ )、上寒武统底不整合面( $T_8^1$ )。在进行剥蚀量恢复过程中,以实测镜质体反射率( $R_o$ )及区域等效镜质体反射率( $VR_o$ )为约束的条件下反演计算,综合确定各井的剥蚀量(表1),其中钻达寒武系地层的井采用钻井岩性、岩心岩屑、测井曲线与地震响应进行分层,未钻至寒武系地层的井则采用古构造和古厚度进行分层。

表1 单井地层界面剥蚀厚度

Table 1 Thickness of denudation of single-well stratigraphic interface

| 井名      | 地质年代  |     |     |       |     |       |                  |                  |
|---------|-------|-----|-----|-------|-----|-------|------------------|------------------|
|         | K     | J   | T   | P     | C   | S     | O <sub>2-3</sub> | Є <sub>2-3</sub> |
| YL1     | 120   |     | 400 | 50    | 270 | 1 190 | 470              |                  |
| YQ6     | 200   | 85  | 510 | 110   | 250 | 820   | 400              |                  |
| XH1     | 1 450 |     | 600 | 160   | 430 | 1 230 | 620              | 580              |
| Aman1   | 300   |     | 365 | 1 250 |     | 350   | 720              |                  |
| Mancan1 | 130   | 95  | 350 | 1 520 |     |       |                  |                  |
| TD1     | 125   | 115 | 260 | 65    | 385 | 1 050 | 555              |                  |
| Tangan1 | 155   |     | 225 | 750   |     | 110   |                  |                  |
| YB1     | 230   |     | 85  | 550   |     | 125   | 605              |                  |
| PSB2    | 220   |     | 5   |       |     | 1 020 | 950              |                  |

### 3.3 边界条件参数

古水深分析对于再造古环境、盆地构造和演化具有重要意义。研究主要根据塔里木盆地沉积史及其海平面的升降趋势对不同区域的古水深进行标定(表2)。

地表温度分为现今温度和古地表温度。塔里木盆地现今地表温度通常取值18℃,而古地表温度则采用 wygrala(1989)模型,并用古水深约束。

表2 塔里木盆地各地质时期古水深  
Table 2 Ancient water depth of Tarim basin in each geological periods

| 地质年代               | 主要沉积环境               | 古水深/m  |
|--------------------|----------------------|--------|
| T-Q                | 半深湖、滨浅湖、河流           | 0~45   |
| S-P                | 滨浅海、滨海平原、滨岸潮坪、河流—三角洲 | 0~130  |
| O <sub>2-3</sub>   | 半深海盆地、浅海开阔台地         | 0~500  |
| Є-O <sub>1-2</sub> | 深海盆地、浅海局限台地          | 10~930 |

大地热流值是地温梯度与岩石热导率的乘积。根据不同区域的构造背景,运用 PetroMod 软件中 Easy% $R_o$ 模型模拟计算,标定了单井不同时期的大地热流值,即寒武—奥陶世为34~44 mW/m<sup>2</sup>,志留—泥盆世为40~56 mW/m<sup>2</sup>,石炭世—二叠世为41~78 mW/m<sup>2</sup>,三叠世—白垩世为39~76 mW/m<sup>2</sup>,新生代为35~65 mW/m<sup>2</sup>,现今为34~55 mW/m<sup>2</sup>。热流值演化趋势具有早古生代低,晚古生代—中生代高,现今低的趋势,与前人的研究结果基本一致<sup>[11-14]</sup>。

### 3.4 成熟史模型选取、评价标准与模拟效果评价

基于 Easy% $R_o$ 模型对中高演化程度的烃源岩模拟较为精确,因此选用该模型对有机质成熟度进行模拟。本次研究采用有机质成熟度的评价标准分为<sup>[15-16]</sup>: $R_o$ 小于0.5%为未成熟阶段,0.5%~0.7%为低成熟阶段,0.7%~1.0%为成熟阶段,1.0%~1.3%为晚成熟阶段,1.3%~2.0%为生湿气阶段,2.0%~4.0%为生干气阶段,4.0%~5.0%为生烃枯竭阶段。

根据单井实测 $R_o$ 和不同地质时期的区域等效镜质体反射率( $VR_o$ )与模拟 $R_o$ 值进行拟合。从结果来看,拟合程度较高,模拟结果接近实际(图2)。

## 4 模拟结果分析

以塔里木盆地满加尔坳陷西部的满参1井(Mancan1)和麦盖提斜坡东部玛南构造带玉北1井(YB1)为例:

1) 以满参1井为代表的满加尔坳陷西部地区,模拟结果显示(图3):玉尔吐斯组烃源岩在中奥陶世初期进入生烃门限( $R_o=0.5%$ );晚奥陶世初期进入成熟阶段( $R_o=0.7%$ );早志留世初期进入晚成熟阶段( $R_o=1.0%$ );早志留世中期进入生湿气阶段( $R_o=1.3%$ );晚志留纪初期进入生干气阶段( $R_o=2.0%$ );早石炭世初期进入生烃枯竭阶段( $R_o=4.0%$ )。

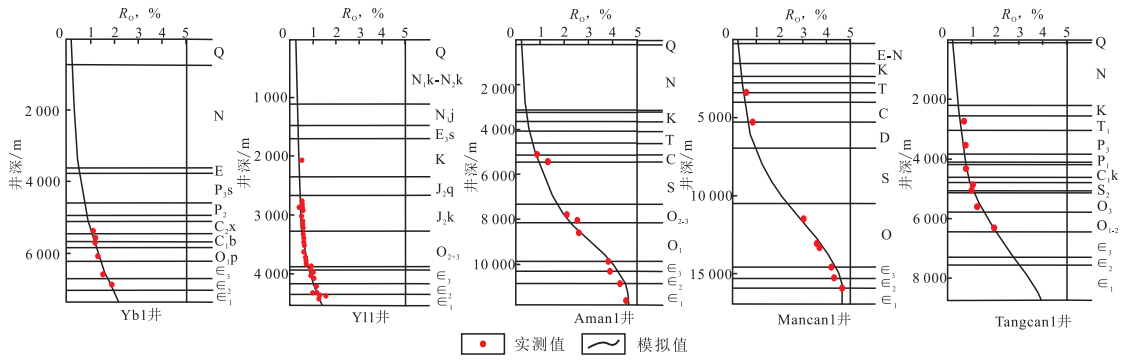


图2 单井  $R_o$  与模拟值拟合

Fig. 2 Fitting of single well  $R_o$  with simulated values

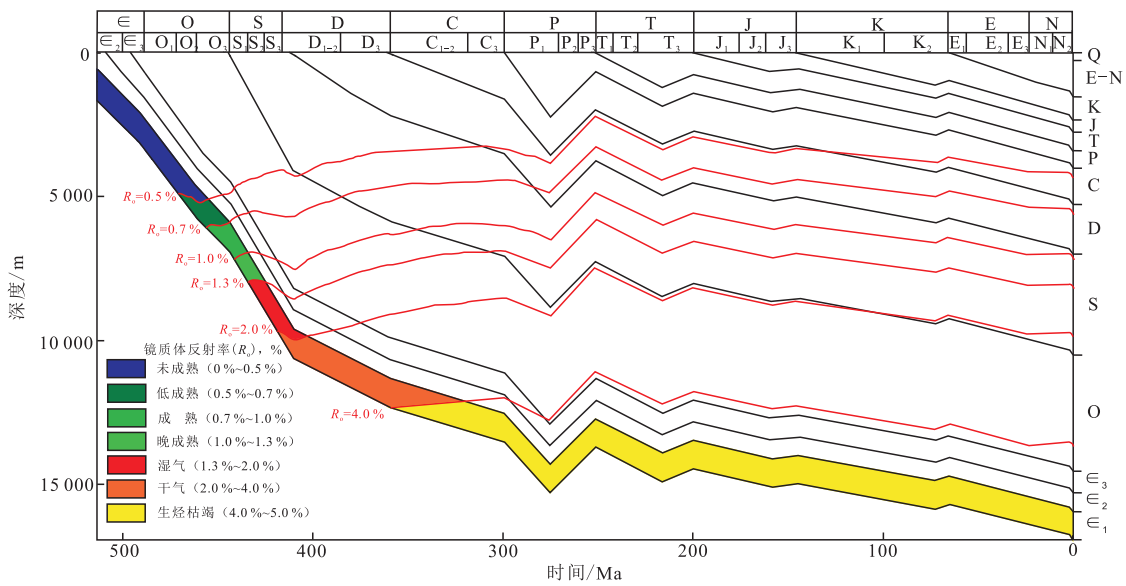


图3 满加尔坳陷西部的满参1井(Mancan1)生烃史及地层成熟度划分

Fig. 3 Hydrocarbon generation history and stratigraphic maturity division of well Mancan1

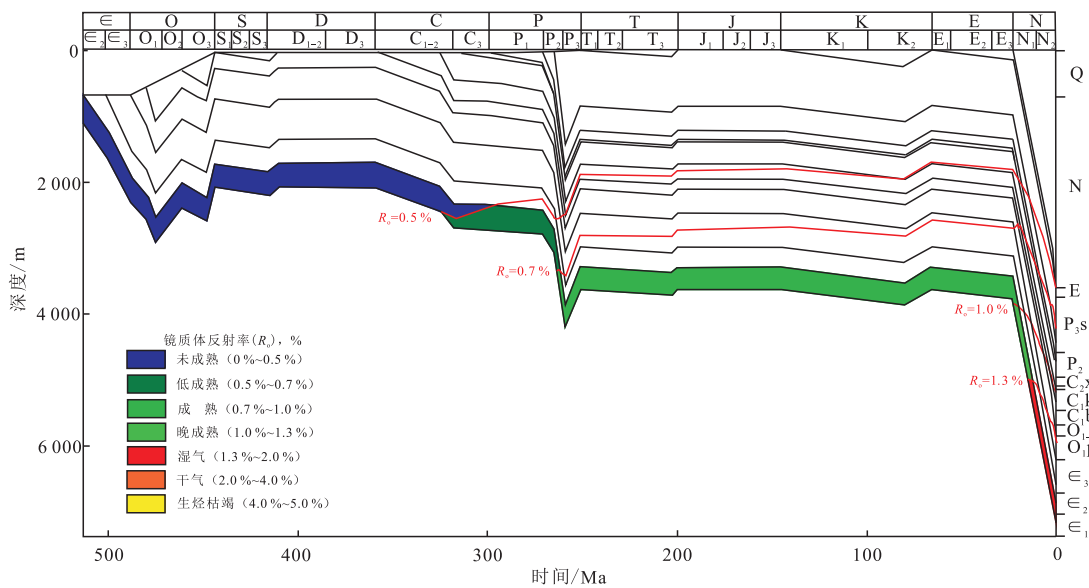


图4 麦盖提斜坡东部玛南构造带玉北1井(YB1)生烃史及地层成熟度划分

Fig. 4 Hydrocarbon generation history and stratigraphic maturity division of well YB1

2) 以玉北1井代表的麦盖提斜坡东部地区,模拟结果显示(图4):玉尔吐斯组烃源岩在早石炭世末期进入生烃门限( $R_o=0.5\%$ );中二叠世中期进入成熟阶段( $R_o=0.7\%$ );早中新世初期进入晚成熟阶段( $R_o=1.0\%$ );早中新世中期进入生湿气阶段( $R_o=1.3\%$ )。

## 5 讨论

对塔里木盆地上述9口井烃源岩生烃史模拟结果统计分析发现,不同构造单元的玉尔吐斯组烃源岩进入不同生烃门限存在较为明显的差异(表3)。

1) 环满地区和塘沽巴斯地区烃源岩相对于麦盖提斜坡东部和沙雅隆起西部地区进入生烃门限较早,大部分在奥陶世进入生烃门限。

在沙雅隆起区,由于晚奥陶世末期隆起为西高东低,沉积地层向隆起西侧上超,同时原来在西部沉积的寒武一中、下奥陶统地层遭受强烈剥蚀<sup>[17]</sup>,使沙雅隆起中东部玉尔吐斯组烃源岩生烃时间较西部早。中新世以来沉积稳定,山前地带活动强烈,隆起西部的前陆拗陷快速充填补齐,使该地区的玉尔吐斯组烃源岩热演化加快。现今沙雅地区玉尔吐斯组烃源岩均处于生干气阶段。

顺托果勒低隆起西部及满加尔拗陷西部等地区,主要在奥陶世开始生油,快速热演化并分别在石炭—二叠世均进入生烃枯竭阶段。这是由于晚奥陶世巨厚的混积陆棚地层快速沉积、志留纪末期台盆区巨厚的碎屑岩沉积覆盖以及泥盆世继承性沉积所致,而二叠系的火山热液活动带来的异常热源<sup>[18]</sup>,加速了烃源岩的热演化进程,进入生烃枯竭阶段。

孔雀河斜坡和古城墟隆起东部等地区,虽然在奥陶世中末期进入生烃门限,但现今热演化程度并

不高。这是由于孔雀河斜坡地区的烃源岩在上覆巨厚的中上奥陶统及志留系地层沉积下大幅度沉降深埋,其最大埋藏期位于志留世末。虽然在侏罗世后再次埋深,但因中生界低温场( $2.8\text{ }^\circ\text{C}/100\text{ m}$ ),同时埋藏深度小,导致现今地温仅 $80\sim 100\text{ }^\circ\text{C}$ ,远低于加里东末期的古地温,不具备二次生烃条件。古城墟隆起东部地区在奥陶世初期随满加尔拗陷的快速沉积,玉尔吐斯组烃源岩开始进入生烃门限,但是由于埋深浅,只有底部的少量烃源岩开始生排烃。晚奥陶世后,古城墟隆起东部整体台阶式逆冲,拗陷反转成隆,古城墟隆起雏形基本形成<sup>[19]</sup>。在早志留世初志留系地层围绕隆起周缘呈上超沉积,使得烃源岩进一步热演化,后又遭受剥蚀。在随后的地质时期,古城墟隆起东段主要表现为不断隆升,也不具备生烃条件。

2) 塘沽巴斯拗陷地区在早奥陶世初期开始生油,随后受早海西运动影响,塘沽巴斯拗陷整体抬升,泥盆系及志留系上部地层遭受剥蚀,形成一个大的前石炭纪区域不整合面。但后期构造运动对该区影响较小,同时由于早二叠世末期火山活动强烈,形成火山喷发岩建造,热流值明显上升<sup>[20]</sup>,玉尔吐斯组烃源岩进入生湿气阶段。

3) 麦盖提斜坡东部地区生烃时间较西部晚,东部主要于早石炭世末期开始生油,西部主要于晚奥陶世初期开始生油。由于加里东晚期—海西早期东部隆升、西部沉降,在海西期后构造变形及改造由东部转向西部所致<sup>[21]</sup>。

## 6 有利区带预测

从储盖方面分析,环满地区广泛发育奥陶系岩溶缝洞型储层和志留系碎屑岩储集体,同时存在石

表3 塔里木盆地不同构造单元玉尔吐斯组烃源岩成熟度史

Table 3 History of maturity of source rocks in the Yuertusi formation of different structural unit in Tarim basin

| 构造位置      | 成熟时期           |                |         |         |         |         |
|-----------|----------------|----------------|---------|---------|---------|---------|
|           | 生烃门限           | 成熟门限           | 晚成熟门限   | 湿气门限    | 干气门限    | 生烃枯竭限   |
| 孔雀河斜坡     | $O^1_2$        | $O^3_2$        | $O^1_3$ | $S^1_2$ |         |         |
| 沙雅隆起中东部   | $\epsilon^2_2$ | $\epsilon^3_2$ | $O^3_1$ | $O^2_2$ | $S^2_2$ |         |
| 沙雅隆起西部    | $N^1_1$        | $N^1_1$        | $N^2_1$ | $N^3_1$ | $N^2_2$ |         |
| 顺托果勒低隆西部  | $O^2_1$        | $O^1_2$        | $S^1_1$ | $D^1_1$ | $C^2_1$ | $P^1_2$ |
| 满加尔拗陷西部   | $O^1_2$        | $O^1_3$        | $S^1_1$ | $S^2_1$ | $S^1_3$ | $C^1_1$ |
| 古城墟隆起东部   | $O^1_3$        | $S^1_1$        |         |         |         |         |
| 塘沽巴斯拗陷西北缘 | $O^2_1$        | $O^1_3$        | $S^1_2$ | $C^1_2$ | $P^3_1$ |         |
| 麦盖提斜坡东部   | $C^3_1$        | $P^2_2$        | $N^2_1$ |         |         |         |
| 麦盖提斜坡西部   | $O^1_3$        | $S^1_1$        | $P^1_1$ | $P^1_3$ | $N^1_1$ |         |

炭系巴楚组膏、泥岩段与志留系塔塔埃尔塔格组红色泥岩段2套优质区域性盖层。由于古城墟隆起东段自加里东中晚期到印支期持续遭受剥蚀,区域盖层条件不理想,沙雅隆起西部在早新近世初期进入生油窗,顺托果勒低隆起西部在早石炭世中期进入生干气阶段,分析认为沙雅隆起西部、顺托果勒低隆起西部是有利勘探区。

塔西南地区以奥陶系鹰山组为主要储层,揭示的储盖组合主要是石炭系和奥陶系储盖组合及奥陶系内部储盖组合。盖层岩性类型主要为泥岩,膏盐岩和致密碳酸盐岩,区域盖层包括中下寒武统膏盐岩、石炭系巴楚组泥岩、卡拉沙依组膏泥岩及古近系膏盐岩。介于麦盖提斜坡东部地区的玉尔吐斯组烃源岩在早新近世中期进入晚成熟阶段,因此认为该地区为有利勘探区。

塘沽巴斯坳陷地区的储盖组合为东河砂岩与巴楚组下泥岩段、卡拉沙依组砂泥岩下奥陶统白云岩、灰岩与下奥陶统致密灰岩或中上奥陶统泥岩。推测坳陷主体烃源岩演化程度更高,结合热史分析认为有利勘探区为坳陷西部斜坡带。

## 7 结论

1) 玉尔吐斯组烃源岩的热演化受构造运动和热液活动的双重控制,具有多期、动态差异的特征。在环满地区以及塘沽巴斯坳陷区均在奥陶世先后进入生烃门限,其中孔雀河斜坡和古城墟隆起东段在志留世进入生烃停滞阶段。顺托果勒低隆起西部和满西地区受热液活动的影响,分别在中二叠世初期和早石炭世初期进入生烃枯竭阶段且枯竭范围逐渐扩大,推测坳陷主体进入生烃枯竭阶段相对更早。麦盖提斜坡东部地区热演化进程明显晚于盆地其他地区,现今仍处于晚成熟阶段。

2) 在明确不同构造单元玉尔吐斯组烃源岩的成熟期次和差异性演化的基础上,以含油气系统为依据,提出沙雅隆起西部、顺托果勒低隆起至满西一带、麦盖提斜坡东部地区以及塘沽巴斯坳陷西部斜坡带为有利勘探区,是下一步深层碳酸盐岩油气研究的重点。

### 参考文献

[1] 朱光有,陈斐然,陈志勇,等.塔里木盆地寒武系玉尔吐斯组优质烃源岩的发现及其基本特征[J].天然气地球科学,2016,27(1):8-21.

- [2] 熊冉,周进高,倪新锋,等.塔里木盆地下寒武统玉尔吐斯组烃源岩分布预测及油气勘探的意义[J].天然气工业,2015,35(10):49-56.
- [3] 顾忆,赵永强,贾存善,等.塔里木盆地阿瓦提坳陷油气资源潜力分析[J].石油实验地质,2012,34(3):257-266.
- [4] 王招明,谢会文,陈永权,等.塔里木盆地中深1井寒武系盐下白云岩原生油气藏的发现与勘探意义[J].中国石油勘探,2014,19(2):1-13.
- [5] 赵孟军,曾强,张宝民.塔里木盆地石油地质条件与勘探方向[J].新疆石油地质,2001,22(2):93-96.
- [6] Burnham A K, Sweeney J J. A chemical kinetic model of vitrinite maturation and reflectance[J]. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 1989, 53(10): 2649-2656.
- [7] Sweeney J J, Burnham A K. Evaluation of a simple model of vitrinite reflectance based on chemical kinetics[J]. *AAPG Bulletin*, 1990, 74(10): 1559-1570.
- [8] 吴林,管树巍,任荣,等.前寒武纪沉积盆地发育特征与深层烃源岩分布——以塔里木新元古代盆地与下寒武统烃源岩为例[J].石油勘探与开发,2016,43(6):905-915.
- [9] 潘文庆,陈永权,熊益学,等.塔里木盆地寒武统烃源岩沉积相研究及其油气勘探指导意义[J].天然气地球科学,2015,26(7):1224-1232.
- [10] 魏志彬,张大江,许怀先,等.EASY%R模型在我国西部中生代盆地热史研究中的应用[J].石油勘探与开发,2001,28(2):43-46.
- [11] 田刚,宋立军.鄂尔多斯盆地中元古界烃源岩热演化史模拟[J].石油实验地质,2017,39(4):520-526.
- [12] 李慧莉,邱楠生,金之钧,等.塔里木盆地的热史[J].石油与天然气地质,2005,26(5):613-617.
- [13] 任战利,肖晖,韩伟,等.孔雀河斜坡与库鲁克隆起构造—热演化史研究[J].西北大学学报(自然科学版),2009,39(3):510-516.
- [14] 倪斌,汤良杰,郭颖,等.塔里木盆地玉北地区埋藏史及热史分析[J].现代地质,2017,31(2):357-366.
- [15] 郭泽清,钟建华,刘卫红,等.应用EASY%R法模拟柴达木盆地西部烃源岩成熟史[J].沉积学报,2004,22(1):154-160.
- [16] 阙永泉,郑伦举,承秋泉,等.有机质热解模拟实验残留物镜质体反射率校正研究[J].石油实验地质,2015,37(4):506-511.
- [17] 谢大庆,郑孟林,蒋华山,等.塔里木盆地沙雅隆起形成演化与油气分布规律[J].大地构造与成矿学,2013,37(3):398-409.
- [18] 周波,金之钧,王毅,等.塔里木盆地台盆区火山作用对有机质演化的影响[J].石油学报,2007,28(6):17-20.
- [19] 金仙梅,曹自成,陈建华.塔里木盆地古城墟隆起构造演化及其勘探方向[J].新疆石油地质,2013,34(4):418-420.
- [20] 金之钧,朱东亚,孟庆强,等.塔里木盆地热液流体活动及其对油气运移的影响[J].岩石学报,2013,29(3):1048-1058.
- [21] 张仲培,刘士林,杨子玉,等.塔里木盆地麦盖提斜坡构造演化及油气地质意义[J].石油与天然气地质,2011,32(6):909-919.

(编辑 黄颖)