

# 塔里木盆地寒武系盐下领域勘探关键问题与攻关方向

吕海涛<sup>1,2</sup>, 耿 锋<sup>1,2,3</sup>, 尚 凯<sup>1,2</sup>

[1. 中国石化 深部地质与资源重点实验室, 北京 102206; 2. 中国石化 西北油田分公司, 新疆 乌鲁木齐 830011;  
3. 中国矿业大学(北京) 地球科学与测绘工程学院, 北京 100083]

**摘要:**寒武系盐下是塔里木盆地目前勘探潜力最大的战略接替领域,但是多年来一直未获得实质性突破,该领域仍然存在一些关键问题需要继续攻关解决。通过总结回顾塔里木盆地寒武系重点探井取得的成果,研究了寒武系盐下领域成藏条件,指出了有利勘探区带和下步工作方向。研究认为,塔里木盆地寒武系盐下领域具备良好烃源岩、储层和盖层等基本成藏地质条件,但在不同区带,成藏要素配置存在差异。综合来看,寒武系盐下领域存在“原地烃源岩、垂向运聚成藏”和“异地烃源岩、侧向运聚成藏”两种成藏模式。指出了面向满加尔方向的塔中隆起区、面向麦盖提斜坡区的色力布亚-海米罗斯-玛扎塔格构造带和塔北隆起阿克库勒凸起是下步勘探的重点区带,并逐一提出重点研究攻关方向。

**关键词:**成藏模式;油气勘探;盐下;寒武系;塔里木盆地

**中图分类号:**TE132.1 **文献标识码:**A

## Key factors and directions of exploration in the Cambrian pre-salt sequence, Tarim Basin

Lyu Haitao<sup>1,2</sup>, Geng Feng<sup>1,2,3</sup>, Shang Kai<sup>1,2</sup>

[1. Key Laboratory of Deep Geology and Resources, SINOPEC, Beijing 102206, China; 2. Northwest Branch Company, SINOPEC, Urumqi, Xinjiang 830011, China; 3. College of Geoscience and Surveying Engineering, China University of Mining and Technology (Beijing), Beijing 100083, China]

**Abstract:** The Cambrian pre-salt sequence has been an important strategic successor play for oil and gas exploration with the greatest exploration potential in the Tarim Basin. However, no significant discoveries have been made for the past many years, with some key problems yet to be solved. Based on the summary and review of the achievements of key exploration wells in the Cambrian in the Tarim Basin, the conditions of hydrocarbon accumulation in the Cambrian pre-salt sequence are recognized, while pointing out the play fairways for exploration and the directions for research in the near future. The study shows that the Cambrian pre-salt sequence in the Tarim Basin is of better geological conditions for hydrocarbon accumulation such as source rocks, reservoirs and cap rocks, but there are differences in the configuration of play elements in different zones. Generally speaking, there are two hydrocarbon accumulation patterns in the pre-salt sequence, namely the “accumulation via vertical migration of hydrocarbons from indigenous source rocks” and the “accumulation via lateral migration of hydrocarbons from allochthonous source rocks”. It is pointed out that the Tazhong Uplift facing Manjiaer Sag, the Selibuya-Haimiluosi-Mazhatage structural belt facing Maigaiti Slope and the Akekule Salient of Tabei Uplift are the key areas for further exploration, and the key research directions are put forward respectively.

**Key words:** accumulation pattern, petroleum exploration, pre-salt sequence, Cambrian, Tarim Basin

收稿日期:2022-01-14;修订日期:2022-06-28。

第一作者简介:吕海涛(1977—),男,博士、研究员,石油地质。E-mail: lvht.xbsj@sinopec.com。

通讯作者简介:耿锋(1983—),男,博士研究生、副研究员,石油地质。E-mail: dif.xbsj@sinopec.com。

基金项目:中国石化科技部项目(P21048-1);中国石化西北油田分公司项目(KJ202009)。

引用格式: 吕海涛, 耿锋, 尚凯. 塔里木盆地寒武系盐下领域勘探关键问题与攻关方向[J]. 石油与天然气地质, 2022, 43(5): 1049–1058. DOI: 10.11743/ogg20220504.

Lyu Haitao, Geng Feng, Shang Kai. Key factors and directions of exploration in the Cambrian pre-salt sequence, Tarim Basin[J]. Oil & Gas Geology, 2022, 43(5): 1049–1058. DOI: 10.11743/ogg20220504.

## 1 勘探概况

塔里木盆地台盆区寒武系是一套重要的含油气层系<sup>[1-5]</sup>, 自1984年SC2井在塔北海相碳酸盐岩取得油气勘探突破以来, 已对寒武系部署近50口探井<sup>[6-8]</sup>。根据钻探的主要地质目标, 可大致分为4个勘探领域(图1; 表1): ①前震旦系—奥陶系碳酸盐岩潜山领域, 集中分布在塔北的雅克拉断凸—沙西凸起地区, 先后发现了雅克拉气藏、桥古气藏、YM32油气藏和牙哈气藏<sup>[9-12]</sup>。这一领域未能取得较大油气发现的主要原因是潜山型圈闭规模小。②中—上寒武统台缘领域, 主要分布在西满加尔地区, 以TS1井、CHT1井及ML1井为代表<sup>[13-16]</sup>, 目前为止尚未取得油气勘探突破, 失利的主要原因是缺少区域性优质盖层。③中寒武统盐下领域, 主要分布在巴楚隆起、卡塔克隆起和沙雅隆起的阿克库勒凸起, 取得了以ZS1井、KT1井及LT1井为代表

的重要油气发现<sup>[17-18]</sup>, 展现了良好的勘探潜力。但这一领域失利井也较多, 失利原因复杂多样。④孔雀河斜坡区的页岩气领域, 以K1井为代表, 因保存条件不好、含气量低而失利。

本文简要回顾塔里木盆地寒武系勘探历程, 通过对以下几口具有里程碑意义的探井进行总结, 剖析寒武系盐下成藏地质条件, 以期对盆地下一步的勘探工作提供借鉴。

1) XH1井是塔里木盆地台盆区首口可与柯坪露头区玉尔吐斯组烃源岩对比的探井。以此为起点, 开始了以玉尔吐斯组为主力烃源岩的研究热潮, 逐步形成了以台地相区玉尔吐斯组为主力烃源岩的勘探思路<sup>[19]</sup>, 支撑了塔河—哈拉哈塘地区、顺北地区的勘探部署和油气发现。

2) TS1井是台地相区针对中寒武统台缘领域的第一口探井, 完钻井深8 408 m。TS1井虽然未能实现油气突破, 但取得了两点极其重要的地质认识: 一是在埋

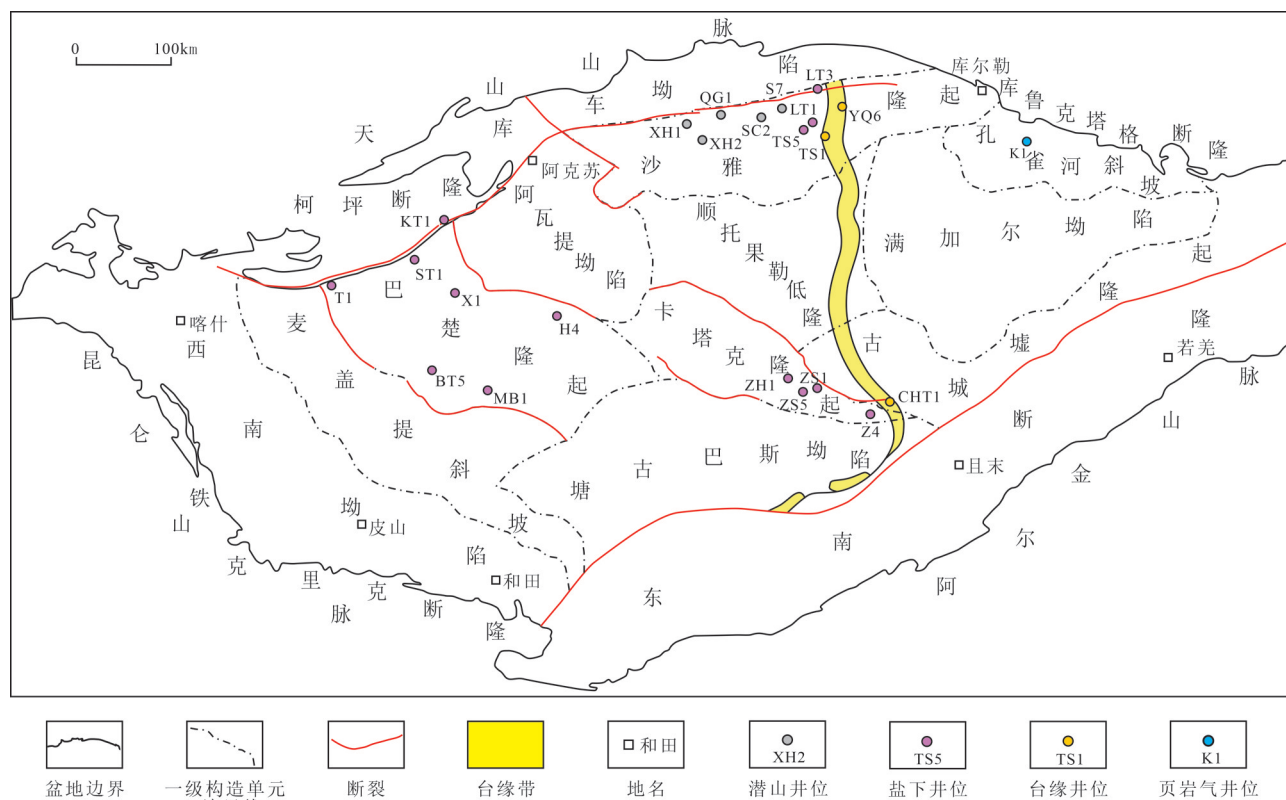


图1 塔里木盆地寒武系不同勘探领域钻井分布

Fig. 1 Distribution of exploratory wells targeting the Cambrian of diverse fields in the Tarim Basin

表 1 塔里木盆地寒武系重点钻井情况统计

Table 1 Statistics of the key exploratory wells targeting the Cambrian in the Tarim Basin

| 领域  | 井号   | 构造单元  | 目的层          | 钻探结果     |
|-----|------|-------|--------------|----------|
| 潜山  | QG1  | 沙雅隆起  | 肖尔布拉克组       | 油气井      |
| 潜山  | XH2  | 沙雅隆起  | 下丘里塔格群       | 侧向封挡差,失利 |
| 潜山  | S7   | 沙雅隆起  | 阿瓦塔格组        | 油气井      |
| 潜山  | YH5  | 沙雅隆起  | 阿瓦塔格组        | 油气井      |
| 潜山  | YM32 | 沙雅隆起  | 下丘里塔格群       | 油气井      |
| 台缘  | TS1  | 沙雅隆起  | 阿瓦塔格组        | 盖层发育差,失利 |
| 台缘  | YQ6  | 沙雅隆起  | 下丘里塔格群       | 盖层发育差,失利 |
| 台缘  | XIH1 | 沙雅隆起  | 肖尔布拉克组       | 储层不发育,失利 |
| 台缘  | CHT1 | 古城墟隆起 | 下丘里塔格群       | 盖层发育差,失利 |
| 台缘  | CHT2 | 古城墟隆起 | 下丘里塔格群       | 盖层发育差,失利 |
| 台缘  | ML1  | 塔东隆起  | 突尔沙克塔格组      | 储层发育差    |
| 盐下  | BT5  | 巴楚隆起  | 肖尔布拉克组       | 原地烃源岩不发育 |
| 盐下  | MB1  | 巴楚隆起  | 肖尔布拉克组       | 原地烃源岩不发育 |
| 盐下  | X1   | 巴楚隆起  | 肖尔布拉克组       | 原地烃源岩不发育 |
| 盐下  | T1   | 巴楚隆起  | 肖尔布拉克组       | 圈闭不落实    |
| 盐下  | H4   | 巴楚隆起  | 肖尔布拉克组       | 原地烃源岩不发育 |
| 盐下  | F1   | 巴楚隆起  | 肖尔布拉克组       | 原地烃源岩不发育 |
| 盐下  | ST1  | 巴楚隆起  | 肖尔布拉克组       | 原地烃源岩不发育 |
| 盐下  | CT1  | 巴楚隆起  | 肖尔布拉克组       | 原地烃源岩不发育 |
| 盐下  | LT1  | 沙雅隆起  | 肖尔布拉克组       | 油气井      |
| 盐下  | KT1  | 柯坪断隆  | 吾松格组、肖尔布拉克组  | 油气井      |
| 盐下  | Z4   | 卡塔克隆起 | 肖尔布拉克组       | 储层发育差    |
| 盐下  | ZH1  | 卡塔克隆起 | 肖尔布拉克组       | 保存条件差    |
| 盐下  | ZS1  | 卡塔克隆起 | 肖尔布拉克组       | 油气井      |
| 盐下  | ZS5  | 卡塔克隆起 | 肖尔布拉克组、阿瓦塔格组 | 油气井      |
| 页岩气 | K1   | 孔雀河斜坡 | 西山布拉克组、西大山组  | 保存条件差    |

深大于 8 000 m 的超深层,仍然发育良好的碳酸盐岩储层;二是在大于 160 ℃的地层温度条件下,仍保存有液态烃<sup>[20]</sup>。这些认识为塔里木盆地超深层勘探提供了理论指导。

3) ZS1 井是塔里木盆地首口在寒武系盐下肖尔布拉克组及阿瓦塔格组盐间白云岩地层中获工业油气流的探井,表明寒武系盐下白云岩储层具有富集规模油气资源的地质条件和良好的勘探潜力<sup>[17]</sup>。

4) LT1 井是针对塔北地区盐下储层肖尔布拉克组“进积体”进行钻探并获得工业油气流的探井,在肖尔布拉克组白云岩段 7 940 ~ 8 260 m 深度试获油气流<sup>[18]</sup>。LT1 井的钻探成功,对于聚焦肖尔布拉克组白云岩开展勘探具有重要指导意义。

5) KT1 井(北京京能油气资源开发有限公司)是柯坪露头区首口获得高产油气流的钻井<sup>[21]</sup>,其带来的最直接启示是:即便在复杂构造带,中寒武统膏盐岩也能为油气成藏提供良好的封盖条件,为台盆区走滑断裂发育区超深层碳酸盐岩的勘探部署提供指导。

2 成藏条件

经过多年的勘探实践和众多学者的研究攻关,对寒武系油气成藏基本条件,尤其是烃源岩、储层和膏盐岩盖层与保存<sup>[22-25]</sup>等方面的研究取得了丰富的成果。

2.1 烃源岩

随着揭示寒武系钻井的增多,对中-下寒武统烃源岩,尤其是对玉尔吐斯组烃源岩的研究不断深入,取得的主要进展包括以下两个方面。

1) 早寒武世初期海侵背景下,沉积形成的泥质岩为台盆区海相主力烃源岩。

这套沉积体系大致可划分为 4 个相区。东部地区,大体以中寒武统台缘带分布为界,中-下寒武统台地相区的玉尔吐斯组为深水陆棚相沉积,中-下寒武统斜坡-盆地相区的西山布拉克组为深海盆地相沉积,二者在沉积序列上可以大致对比。深水陆棚相区

玉尔吐斯组是优质烃源岩,先后被XH1井、LT1井和TS5井证实;这套烃源岩也是整个碳酸盐台地相区海相油气藏的主力烃源岩。在中央隆起区,与玉尔吐斯组等时沉积的是一套潮坪相陆源碎屑岩为主的沉积地层,已经多口钻井证实,基本得到了公认(图2)。根据水动力条件及地震相位结构特征的变化,潮坪相到盆地相之间的相带类型可划分为浅水陆棚相和深水陆棚相。浅水陆棚相区钻井资料不足,但通过区域对比分析,推测其生烃指标较差,这可能是吐木休克构造带寒武系盐下领域钻探失利的主要原因。

2) 塔西南地区下寒武统可能发育与盆地北部区域类似的烃源岩层。

由于缺少钻井资料,对于塔西南地区寒武系沉积

结构的研究,主要是基于少数几条区域二维地震剖面的结构特征。2008年以来,随着地震资料数量的增多和品质的提升,越来越多的学者认为中-下寒武统向南因水深加大而出现沉积相突变,使地层厚度减薄。但与此同时,对于古隆起分布范围的认识仍存在较大分歧,需要在今后的研究中逐步统一。

## 2.2 储层

在盆地中南部地区,寒武系盐下肖尔布拉克组以白云岩为主,但在盆地北部地区,受沉积环境变化的影响,肖尔布拉克组以灰岩为主,仅局部发育少部分白云岩。除岩性存在变化外,碳酸盐岩地层的厚度也存在较大差异,北部地区显著大于南部,TS5井肖尔布拉克

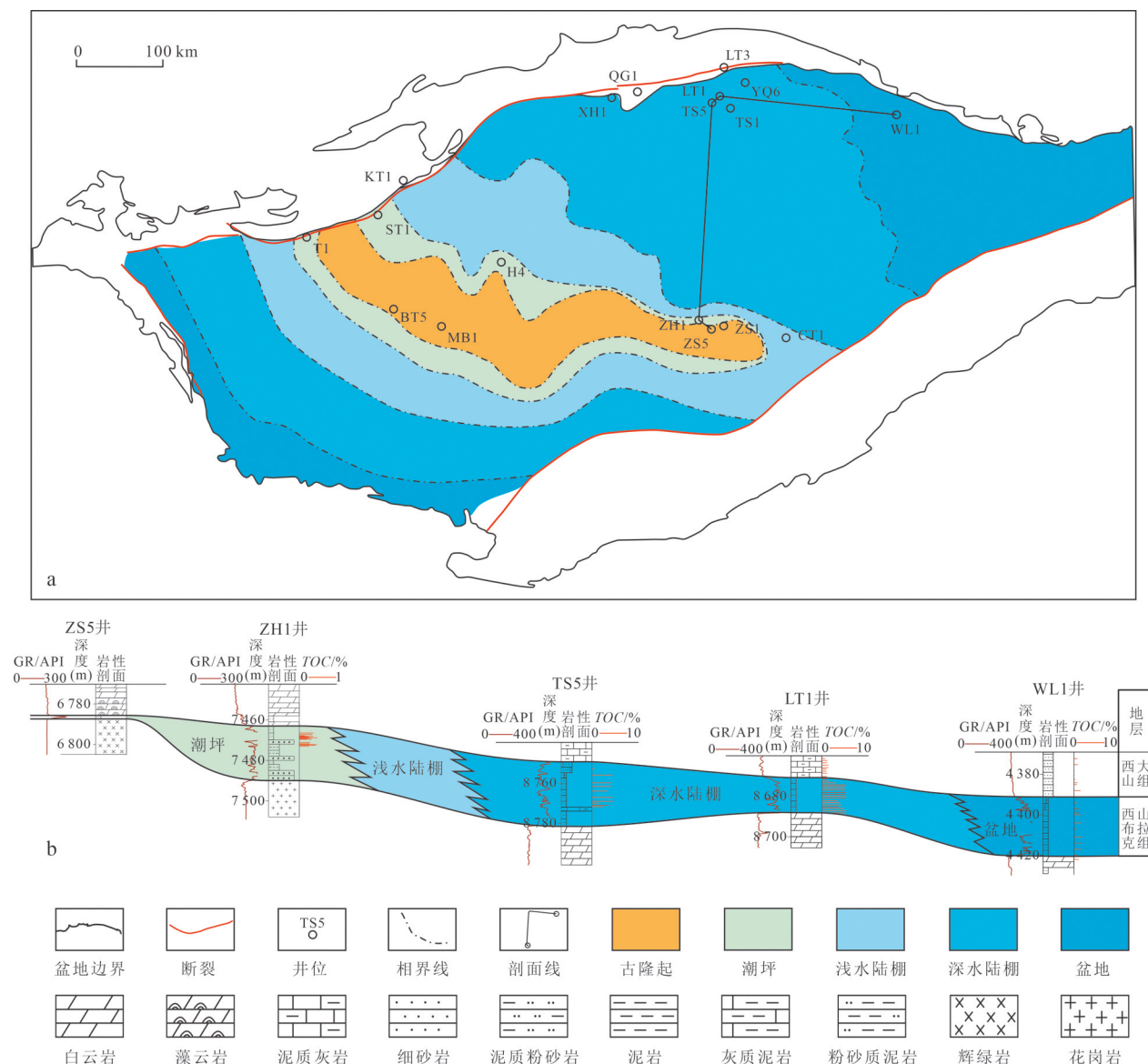


图2 塔里木盆地早寒武世初期烃源岩发育模式及分布预测

Fig. 2 Development mode and distribution prediction of source rocks in the Early Cambrian, Tarim Basin

a. 烃源岩分布预测; b. 烃源岩发育模式

组厚 478 m,而南部肖尔布拉克组厚度一般为 70~200 m。

肖尔布拉克组储集空间类型多样,既有颗粒碳酸盐岩粒间(溶)孔和白云岩晶间孔,也发育厘米级的孔洞。另外,各种尺度的构造裂缝也是有效的储集空间类型。但到目前为止,盐下肖尔布拉克组分米级及以上的洞穴型储集空间鲜见。

从目前来看,已揭示出的规模储层主要发育在白云岩段,以裂缝-孔洞型为主,测井解释多为Ⅱ类储层(孔隙度 2%~5%)。Ⅰ类储层(孔隙度>5%)发育程度普遍不高,主要表现为小孔洞或孔隙密集发育,而且Ⅰ类储层单层厚度小,一般不超过 10 m(图 3)。从区域对比来看,Ⅰ类和Ⅱ类储层主要发育在肖尔布拉克组顶面,研究认为主要与海平面短暂下降暴露有关。

受礁滩相控制的储层在肖尔布拉克组发育程度不高。从目前研究成果来看,在柯坪露头区有一定的分布,但与生物丘滩、高能相带相关的原始粒间孔等普遍不发育,所见多为次生溶蚀改造溶蚀孔隙、孔洞。高能相带区钻井尚未见到沉积相控制的规模储层,如 TS5 井、LT1 井等。

### 2.3 区域盖层与保存条件

对肖尔布拉克组而言,最主要的区域盖层是下寒武统吾松格尔组和中寒武统阿瓦塔格组含膏盐岩地层,主要分布在巴楚隆起、塔中隆起及阿瓦提断陷地区,面积约  $23 \times 10^4 \text{ km}^2$ (图 4)。其次是中寒武统阿瓦

塔格组及下寒武统吾松格尔组开阔台地相区的泥质白云岩地层,主要分布在塔北地区。

根据张仲培等<sup>[24]</sup>对巴楚隆起区的研究,寒武系膏盐岩封盖性能好,在加里东晚期即具备封闭油气的能力,到海西晚期已具备封闭干气的能力。KT1 井(京能公司)也间接证实了这一认识。

塔北、塔中及顺北地区出现了新情况,不但在这套区域盖层之下发现了油气藏,如 ZS1 井油气藏、LT1 井油气藏,而且在其上奥陶统,同样发现了多个主要来源于玉尔吐斯组烃源岩的大型油气田(藏),如塔河油气田、塔中油气田和顺北油气田等。尤其是发现了以顺北为代表的中-下奥陶统碳酸盐岩断控型油气藏之后,就要求我们要更加辩证、动态地评价肖尔布拉克组的保存条件。目前主要有两种认识:一是油气主要顺断裂带在上覆的储-盖组合中成藏,深部富集成藏的资源规模不大,因此在塔河和塔中地区寒武系盐下领域勘探潜力不佳;二是寒武系烃源岩生成的油气优先富集在肖尔布拉克组储层中,具有“近水楼台”的优势,尤其是印支期以来,随着断裂活动变弱以及因埋深持续加大导致的烃源岩演化程度增高,更有利于近源的肖尔布拉克组成藏。

## 3 成藏模式

基于对上述勘探实践和成藏条件的综合分析,本文认为适合寒武系盐下领域勘探的基本成藏理论是

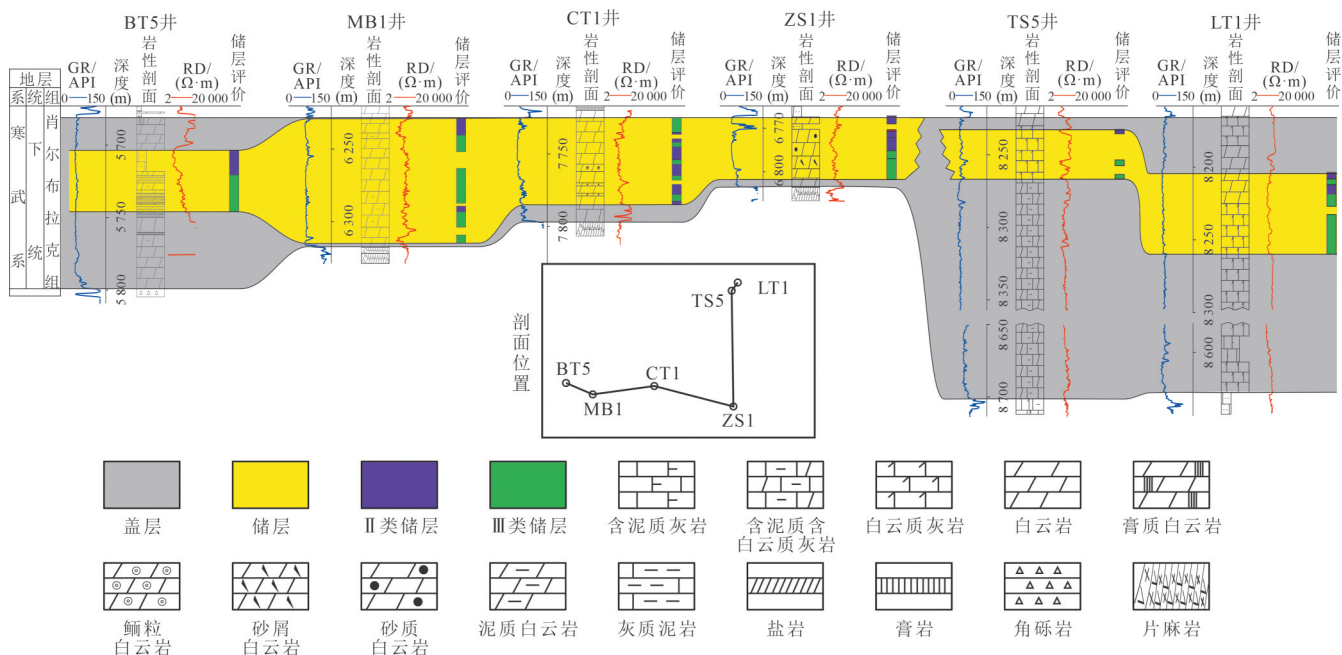


图3 塔里木盆地寒武系肖尔布拉克组储层对比

Fig. 3 Cross-well correlation of the reservoir in the Cambrian Xiaerbulake Formation, Tarim Basin

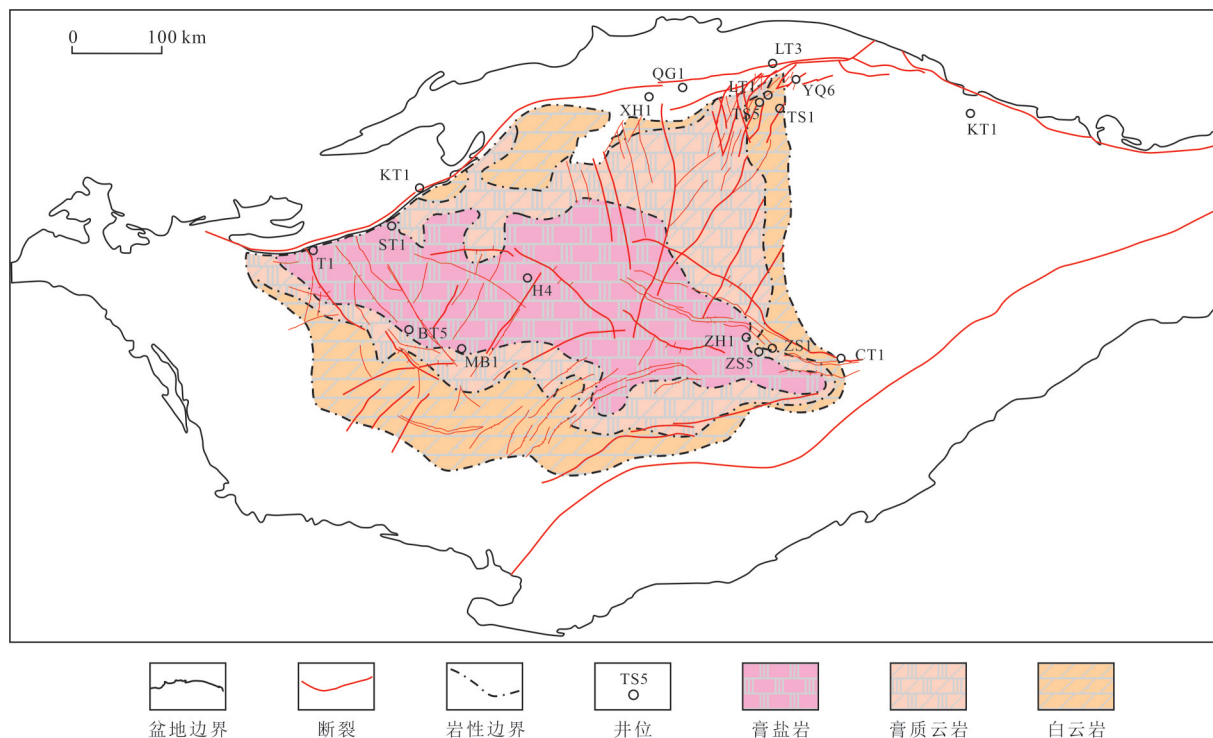


图4 塔里木盆地寒武系区域盖层岩相分布与断裂纲要叠合图

Fig. 4 Lithofacies map of the regional Cambrian cap rock in the Tarim Basin with faults outlined

“源-盖控烃”<sup>[25]</sup>“(古)构造控聚”和“储层控富”3个方面,主要有“原地烃源岩、垂向运聚成藏”和“异地烃源岩、侧向运聚成藏”2种模式。

### 3.1 原地烃源岩、垂向运聚成藏模式

这一成藏模式主要发育于塔北地区,以LT1井为代表(图5)。烃源岩为本地深水陆棚相玉尔吐斯组,另外还可能发育前寒武系烃源岩<sup>[26]</sup>。区域盖层主要为下寒武统吾松格尔组泥质白云岩。储层主要为肖尔布拉克组白云岩裂缝-孔洞型储层。但在塔北地区,该成藏模式却面临3个具体的地质问题。

#### 3.1.1 储层规模及预测

LT1井肖尔布拉克组储层主要发育在顶部厚度不大的白云岩段,巨厚的灰岩地层中储层并不发育。与之相距不远的TS5井,尽管更加靠近断裂带,不但储层不发育,甚至在肖尔布拉克顶部连白云岩都欠发育。因此,如何准确预测规模储集体,将是这一区带能否取得规模油气发现的首要问题。

#### 3.1.2 烃源岩热演化

从LT1井、TS5井玉尔吐斯组烃源岩镜质体反射率( $R_o=1.5\% \sim 1.7\%$ )来分析,本地应发育一定规模的轻质-凝析油气资源,但实际情况却是油气成熟度低于下

伏烃源岩的热演化程度,不但上覆奥陶系以中-重质油藏为主,仅零星见到轻质油气藏,而且LT1井肖尔布拉克组主要以油为主,本地玉尔吐斯组烃源岩晚期生烃潜力评价和晚期油气富集规律需要进一步深入研究。

#### 3.1.3 大断裂封闭性

塔北地区普遍发育从基底到中浅层的走滑断裂,且于印支期—燕山期尚有不同程度的活动。受这些断裂对油气运移的控制,不但在奥陶系碳酸盐岩中发现了大型油气藏,而且在石炭系、三叠系,甚至是白垩系都发现了来自同一源岩的油气藏。因此,对于寒武系盐下成藏而言,断裂在对碳酸盐岩储层发育起到主控作用的同时,又对上覆盖层的连续性起到致命的破坏作用,这就给该领域油气成藏评价带来了更大的不确定性,使得勘探风险进一步增大。

### 3.2 异地烃源岩、侧向运聚成藏模式

该成藏模式主要发育于塔中和巴楚地区。以ZS1井为代表(图6),该地缺失烃源岩,或者玉尔吐斯组烃源岩发育较差,规模成藏需要外部烃源岩侧向供给;肖尔布拉克组白云岩储层较发育;吾松格尔组和阿瓦塔格组巨厚膏盐岩为肖尔布拉克组提供了极佳的盖层条件<sup>[27]</sup>。但在塔中和巴楚地区,这一成藏模式也同样面临着3个具体的地质问题。

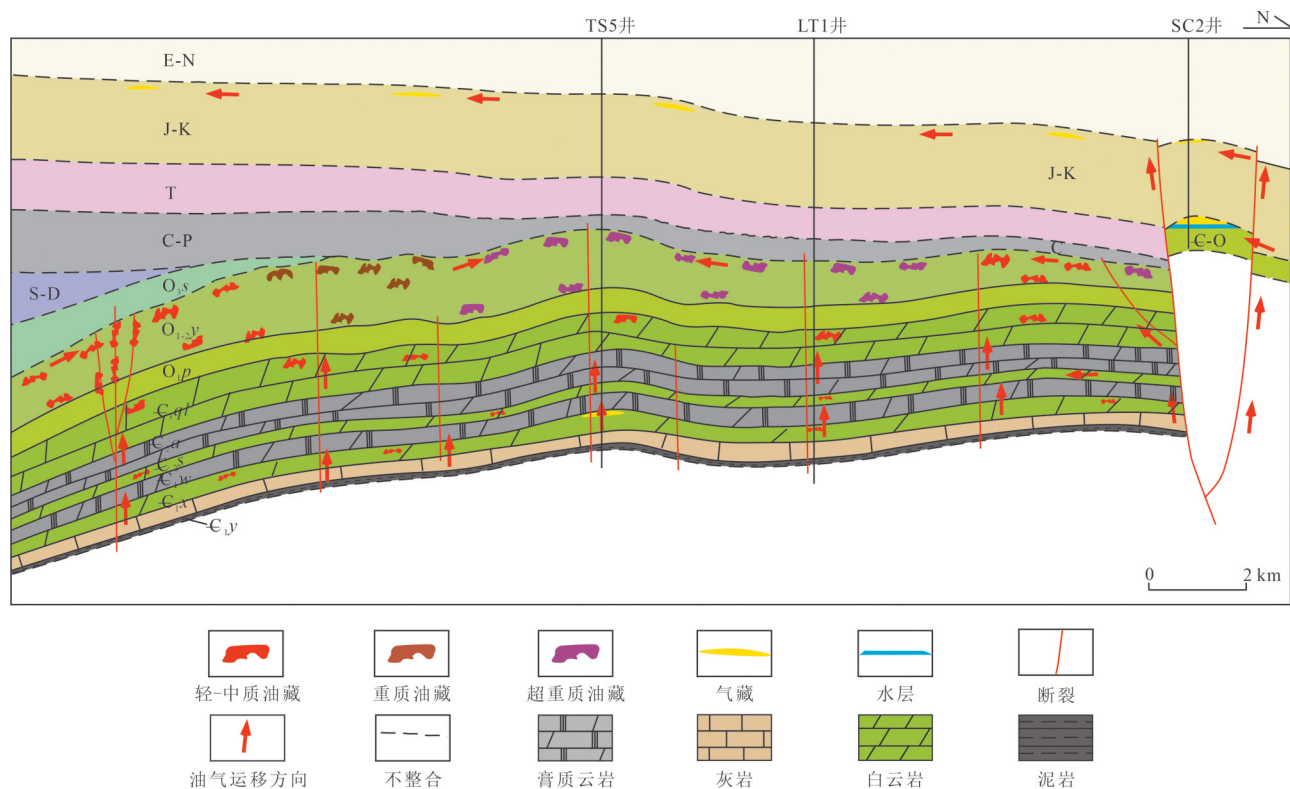


图5 塔北地区油气成藏模式

Fig. 5 Hydrocarbon accumulation patterns in Tabei area

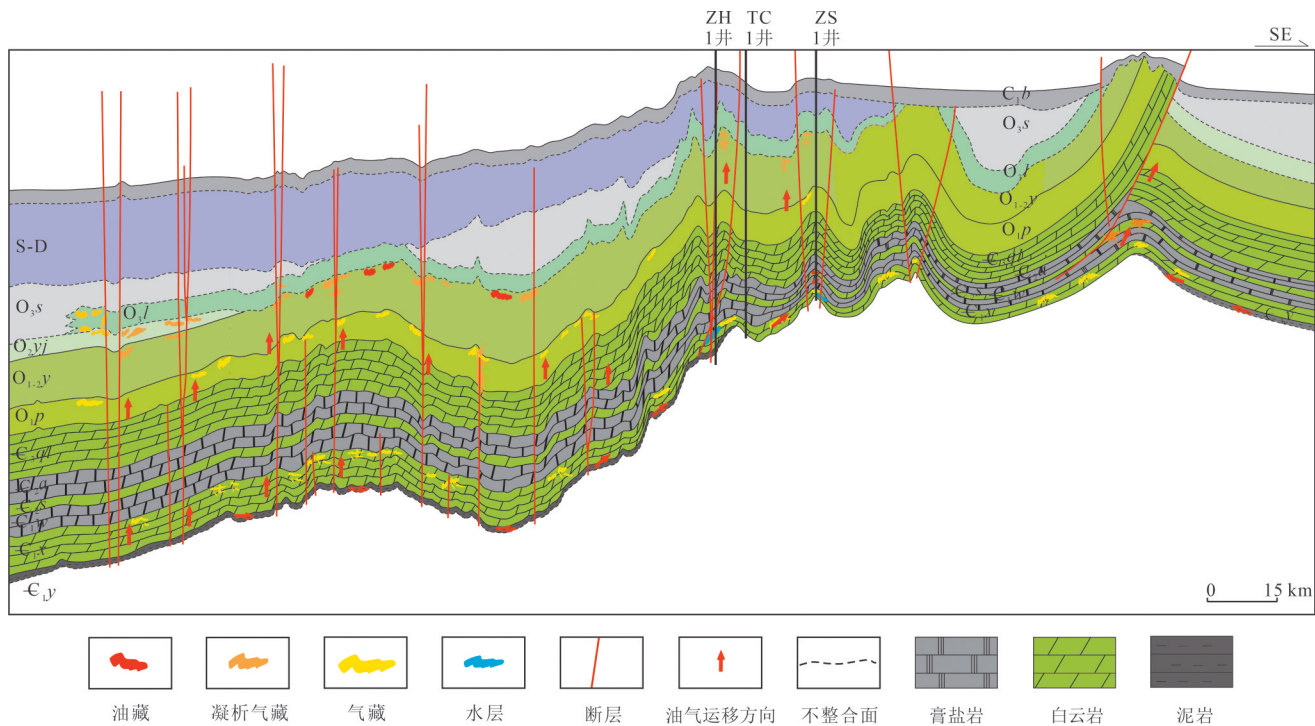


图6 塔中地区油气成藏模式

Fig. 6 Hydrocarbon accumulation patterns in Tazhong area

### 3.2.1 运移效率

尽管从构造背景来看,塔中和巴楚都属于隆起区,

是油气运聚的指向区,但是由于侧向烃源岩区普遍发育着深切基底的大断裂,而且在其上覆奥陶系见到了大规模油气藏,如顺北油气田、塔中油气田及和田河气

田等,油气最终运聚到隆起区寒武系盐下圈闭内的规模和效率有可能会受到影响。

### 3.2.2 圈闭可靠性

巨厚的寒武系膏盐岩为油气成藏提供优良盖层的同时,也为圈闭落实和储层预测提出了严苛的技术挑战。由于叠加了多期构造运动,吾松格尔组膏盐岩发生了严重的蠕变,肖尔布拉克组也发生了复杂的变形,这就使得准确落实构造圈闭变得很困难。另外,中-下寒武统巨厚膏盐岩对地震波的屏蔽作用,也使得利用地震资料开展碳酸盐岩储层预测的精度不能满足落实岩性圈闭的需要。目前认为,圈闭可靠性仍然是该领域勘探失利的最主要原因。

### 3.2.3 储层厚度

从实钻结果来看,虽然塔中和巴楚地区肖尔布拉克组储集空间类型多样,物性也相对较好,但是储层厚度普遍不大,Ⅱ类及以上级别的储层厚度一般在15~50 m,储/地比一般为30%~50%。另外,在塔中地区,尽管肖尔布拉克组整体为白云岩,但地层厚度并不大。因而,如果没有规模储层,即便能够发现油气层,也很难获得良好的经济效益。

## 4 有利区带与攻关方向

根据上述有关烃源岩、储层、盖层和保存条件的认识以及不同区带的成藏模式,优选出寒武系盐下3个有利勘探区。塔中和塔北地区最为有利,以Ⅰ类和Ⅱ类区为主,其次为面向麦盖提斜坡区的色力布亚-海米罗斯-玛扎塔格构造带(图7)。

### 4.1 面向满加尔方向的塔中隆起区

面向满加尔方向的塔中隆起区可能是塔里木盆地寒武系盐下领域勘探最为有利的地区(图7)。前期部署的ZS1井和ZS5井已经获得油气发现<sup>[17]</sup>,ZH1井和ZH2井揭示了物性较好的白云岩储层<sup>[28-29]</sup>。隆起区大型构造-岩性复合圈闭,也是下步勘探部署的重点方向。

同时在未来的勘探中,要不断提高圈闭落实程度和储层预测精度,探索成藏过程模拟。

### 4.2 面向麦盖提斜坡区的色力布亚-海米罗斯-玛扎塔格构造带

该构造带可能是塔西南地区寒武系盐下领域勘探较有利的地区之一。目前研究表明,麦盖提斜坡区发

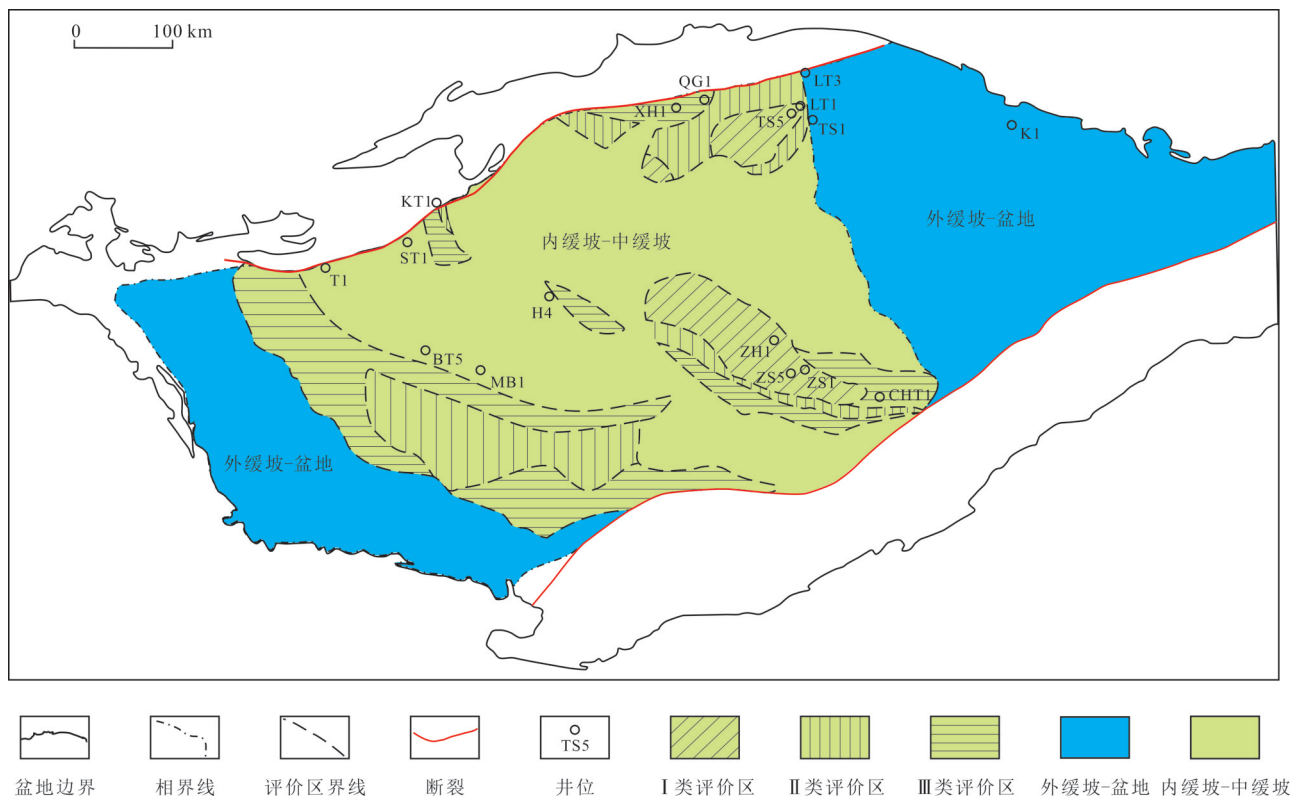


图7 塔里木盆地寒武系盐下领域油气区带分布

Fig. 7 Distribution of play fairways in the Cambrian pre-salt sequence, Tarim Basin

育下寒武统烃源岩和中寒武统膏盐岩。BT5井、MB1井等实钻证实,肖尔布拉克组发育白云岩储层。

同时在未来的勘探中,要进一步提高圈闭的落实程度,探索成藏过程模拟。

### 4.3 面向塔北地区的阿克库勒凸起

LT1井的油气勘探突破表明,阿克库勒凸起寒武系盐下具有油气成藏条件,但随后TS5井、LT3井的实钻情况<sup>[7]</sup>却警示了此领域成藏的复杂性。

该区寒武系盐下面临的主要地质风险是岩相分布预测的可靠性、断裂破坏作用和晚期油气充注规模,建议加强沉积相带类型与白云岩成因研究,以及灰岩规模储层类型与预测研究,同时强化断层封闭性和烃源岩生烃史研究。

## 5 结论

1) 塔里木盆地寒武系盐下领域发育较好烃源岩、储集层及盖层条件,但在不同区带,三者的配置关系存在明显差异,这可能是目前该领域勘探仅取得点上突破、未能在面上展开的主要原因。尽管如此,仍要对寒武系盐下领域给予高度重视,因为这是继奥陶系碳酸盐岩领域之后最有可能发现大油气藏的领域。与此同时,要谨慎展开探井部署,要通过扎实的基础研究和技术攻关来解决重点区带的勘探难题,尽可能降低勘探风险,提高钻井成功率。

2) 针对这个领域,要实现高质量勘探部署和导向意义的油气发现,需要做好三方面工作:一是要进一步做好各项基础研究,降低部署决策风险,提高勘探成功率,实现寒武系盐下领域从有利区到成藏区的跨越;二是落实找准“甜点区”,实现寒武系盐下领域从油气发现到高产稳产的跨越;三是降低勘探成本,尤其是钻井成本,实现寒武系盐下领域从资源发现到经济效益开发的跨越。

### 参 考 文 献

- [1] 马永生,黎茂稳,蔡勋育,等. 中国海相深层油气富集机理与勘探开发: 研究现状、关键技术瓶颈与基础科学问题[J]. 石油与天然气地质, 2020, 41(4): 655-672, 683.  
Ma Yongsheng, Li Maowen, Cai Xunyu, et al. Mechanisms and exploitation of deep marine petroleum accumulations in China: Advances, technological bottlenecks and basic scientific problems [J]. Oil & Gas Geology, 2020, 41(4): 655-672, 683.
- [2] 马永生,何登发,蔡勋育,等. 中国海相碳酸盐岩的分布及油气地质基础问题[J]. 岩石学报, 2017, 33(4): 1007-1020.  
Ma Yongsheng, He Dengfa, Cai Xunyu, et al. Distribution and fundamental science questions for petroleum geology of marine carbonate in China [J]. Acta Petrologica Sinica, 2017, 33(4): 1007-1020.
- [3] 何登发,马永生,蔡勋育,等. 中国西部海相盆地地质结构控制油气分布的比较研究[J]. 岩石学报, 2017, 33(4): 1037-1057.  
He Dengfa, Ma Yongsheng, Cai Xunyu, et al. Comparison study on controls of geologic structural framework upon hydrocarbon distribution of marine basins in western China [J]. Acta Petrologica Sinica, 2017, 33(4): 1037-1057.
- [4] 杨学文,田军,王清华,等. 塔里木盆地超深层油气地质认识与有利勘探领域[J]. 中国石油勘探, 2021, 26(4): 17-28.  
Yang Xuewen, Tian Jun, Wang Qinghua, et al. Geological understanding and favorable exploration fields of ultra-deep formations in Tarim Basin [J]. China Petroleum Exploration, 2021, 26(4): 17-28.
- [5] 郑见超,李斌,袁倩,等. 塔里木盆地巴楚-塔北地区深层寒武系油气成藏过程与勘探方向[J]. 石油与天然气地质, 2022, 43(1): 79-91.  
Zheng Jianchao, Li Bin, Yuan Qian, et al. Hydrocarbon accumulation process and exploration direction of the deep Cambrian in Bachu-Tabei area, Tarim Basin [J]. Oil & Gas Geology, 2022, 43(1): 79-91.
- [6] 漆立新,云露. 塔里木盆地碳酸盐岩成藏模式与勘探实践[J]. 石油实验地质, 2020, 42(5): 867-876.  
Qi Lixin, Yun Lu. Carbonate reservoir forming model and exploration in Tarim Basin [J]. Petroleum Geology & Experiment, 2020, 42(5): 867-876.
- [7] 魏国齐,朱永进,郑剑锋,等. 塔里木盆地寒武系盐下构造-岩相古地理、规模源储分布与勘探区带评价[J]. 石油勘探与开发, 2021, 48(6): 1-13.  
Wei Guoqi, Zhu Yongjin, Zheng Jianfeng, et al. Tectonic lithofacies paleogeography, large-scale source-reservoir distribution and exploration zones of Cambrian subsalt formation, Tarim Basin, NW China [J]. Petroleum Exploration and Development, 2021, 48(6): 1-13.
- [8] 杨海军,陈永权,潘文庆,等. 塔里木盆地南华纪-中寒武世构造沉积演化及其盐下勘探选区意义[J]. 中国石油勘探, 2021, 26(4): 84-98.  
Yang Haijun, Chen Yongquan, Pan Wenqing, et al. Study on tectonic and sedimentary evolution during the Nanhua-Middle Cambrian and its significance for subsalt exploration, Tarim Basin [J]. China Petroleum Exploration, 2021, 26(4): 84-98.
- [9] 韩强,黄太柱,耿锋,等. 塔里木盆地北部雅克拉地区海相油气成藏特征与运聚过程[J]. 石油实验地质, 2019, 41(5): 648-656.  
Han Qiang, Huang Taizhu, Geng Feng, et al. Marine oil and gas accumulation in Yakela area, northern Tarim Basin [J]. Petroleum Geology & Experiment, 2019, 41(5): 648-656.
- [10] 韩强,李宗杰,杨子川,等. 塔里木盆地三道桥地区油气成藏特征[J]. 油气地质与采收率, 2015, 22(6): 14-20.  
Han Qiang, Li Zongjie, Yang Zichuan, et al. Characteristics of hydrocarbon accumulation in the Sandaoqiao area of Tarim Basin [J]. Petroleum Geology and Recovery Efficiency, 2015, 22(6): 14-20.
- [11] 张德民,鲍志东,郝雁,等. 塔里木盆地牙哈-英买力寒武系潜山区优质储层形成模式[J]. 天然气地球科学, 2016, 27(10): 1797-1807.  
Zhang Demin, Bao Zhidong, Hao Yan, et al. Formation model of high-quality reservoirs within Cambrian buried hill in Yaha-Yingmaili area, Tarim Basin [J]. Natural Gas Geoscience, 2016, 27(10): 1797-1807.

- [12] 韩剑发, 苏洲, 刘永福, 等. 塔里木盆地牙哈断块潜山带控储控藏机理与油气勘探潜力[J]. 石油学报, 2018, 39(10): 1081-1091.  
Han Jianfa, Su Zhou, Liu Yongfu, et al. Reservoir controlling mechanism and hydrocarbon exploration potential of buried-hill belt in Yaha fault block, Tarim Basin [J]. Acta Petrolei Sinica, 2018, 39(10): 1081-1091.
- [13] 倪新锋, 沈安江, 陈永权, 等. 塔里木盆地寒武系碳酸盐岩台地类型、台缘分段特征及勘探启示[J]. 天然气地球科学, 2015, 26(7): 1245-1255.  
Ni Xinfeng, Shen Anjiang, Chen Yongquan, et al. Cambrian carbonate platform types, platform margin segmentation characteristics and exploration enlightenment in Tarim Basin [J]. Natural Gas Geoscience, 2015, 26(7): 1245-1255.
- [14] 闫博, 张友, 朱可丹, 等. 塔里木盆地古城地区寒武系丘滩体储层特征与控制因素[J]. 天然气地球科学, 2021, 32(10): 1463-1473.  
Yan Bo, Zhang You, Zhu Kedan, et al. Reservoir characteristics and controlling factors of Cambrian mound-beach in Gucheng area, Tarim Basin [J]. Natural Gas Geoscience, 2021, 32(10): 1463-1473.
- [15] 郭春涛, 宋海强, 梁洁, 等. 塔东地区米兰1井寒武系白云岩成因及其对储层的影响[J]. 石油与天然气地质, 2020, 41(5): 953-964.  
Guo Chuntao, Song Haiqiang, Liang Jie, et al. Origin of Cambrian dolomite from Well Milan 1 in Tadong area and its significance to dolomite reservoirs [J]. Oil & Gas Geology, 2020, 41(5): 953-964.
- [16] 任延广, 张君龙, 齐景顺, 等. 塔东地区寒武-奥陶系碳酸盐岩沉积特征及演化规律[J]. 大庆石油地质与开发, 2015, 33(5): 103-110.  
Ren Yanguang, Zhang Junlong, Qi Jingshun, et al. Sedimentary characteristics and evolution laws of Cambrian-Ordovician carbonate rocks in Tadong area [J]. Petroleum Geology & Oilfield Development in Daqing, 2015, 33(5): 103-110.
- [17] 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.  
Wang Zhaoming, Xie Huiwen, Chen Yongquan, et al. Discovery and exploration of Cambrian subsalt dolomite original hydrocarbon reservoir at Zhongshen-1 Well in Tarim Basin [J]. China Petroleum Exploration, 2014, 19(2): 1-13.
- [18] 杨海军, 陈永权, 田军, 等. 塔里木盆地轮探1井超深层油气勘探重大发现与意义[J]. 中国石油勘探, 2020, 25(2): 62-72.  
Yang Haijun, Chen Yongquan, Tian Jun, et al. Great discovery and its significance of ultra-deep oil and gas exploration in well Luntan-1 of the Tarim Basin [J]. China Petroleum Exploration, 2020, 25(2): 62-72.
- [19] 漆立新. 塔里木盆地地下古生界碳酸盐岩大油气田勘探实践与展望[J]. 石油与天然气地质, 2014, 35(6): 771-779.  
Qi Lixin. Exploration practice and prospects of giant carbonate field in the Lower Paleozoic of Tarim Basin [J]. Oil & Gas Geology, 2014, 35(6): 771-779.
- [20] 云露, 翟晓先. 塔里木盆地塔深1井寒武系储层与成藏特征探讨[J]. 石油与天然气地质, 2008, 29(6): 726-732.  
Yun Lu, Zhai Xiaoxian. Discussion on characteristics of the Cambrian reservoirs and hydrocarbon accumulation in well Tashen-1 in Tarim Basin [J]. Oil & Gas Geology, 2008, 29(6): 726-732.
- [21] 白莹, 徐安娜, 刘伟, 等. 塔里木盆地西北部中下寒武统混积岩沉积特征[J]. 天然气工业, 2019, 39(12): 46-57.  
Bai Ying, Xu Anna, Liu Wei, et al. Sedimentary characteristics of middle and lower Cambrian migmatite in northwestern Tarim Basin [J]. Natural Gas Industry, 2019, 39(12): 46-57.
- [22] 朱传玲, 闫华, 云露, 等. 塔里木盆地沙雅隆起星火1井寒武系烃源岩特征[J]. 石油实验地质, 2014, 36(5): 626-632.  
Zhu Chuanling, Yan Hua, Yun Lu, et al. Characteristics of Cambrian source rocks in well XH1, Shaya Uplift, Tarim Basin [J]. Oil & Gas Geology, 2014, 36(5): 626-632.
- [23] 程丽娟, 李忠, 刘嘉庆, 等. 塔里木盆地巴楚-塔中地区寒武系盐下白云岩储层成岩作用及物性特征[J]. 石油与天然气地质, 2020, 41(2): 316-327.  
Cheng Lijuan, Li Zhong, Liu Jiaqing, et al. Diagenesis and physical properties of subsalt dolomite reservoirs of the Cambrian, Bachu-Tazhong areas, Tarim Basin [J]. Oil & Gas Geology, 2020, 41(2): 316-327.
- [24] 张仲培, 王毅, 李建交, 等. 塔里木盆地巴-麦地区古生界油气盖层动态演化评价[J]. 石油与天然气地质, 2014, 35(6): 839-852.  
Zhang Zhongpei, Wang Yi, Li Jianjiao, et al. Dynamic evolution assessment of the Paleozoic hydrocarbon cap rocks in Bachu-Magati area, Tarim Basin [J]. Oil & Gas Geology, 2014, 35(6): 839-852.
- [25] 金之钧. 从源-盖控烃看塔里木台盆地油气分布规律[J]. 石油与天然气地质, 2014, 35(6): 763-770.  
Jin Zhijun. A study on the distribution of oil and gas reservoirs controlled by source-cap rock assemblage in unmodified foreland region of Tarim Basin [J]. Oil & Gas Geology, 2014, 35(6): 763-770.
- [26] 朱光有, 曹颖辉, 闫磊, 等. 塔里木盆地8000m以深超深层海相油气勘探潜力与方向[J]. 天然气地球科学, 2018, 29(6): 755-772.  
Zhu Guangyou, Cao Yinhui, Yan Lei, et al. Petroleum exploration potential and favorable areas of ultra-deep marine strata deeper than 8000 meters in Tarim Basin [J]. Natural Gas Geoscience, 2018, 29(6): 755-772.
- [27] 林潼, 王铜山, 潘文庆, 等. 埋藏过程中膏岩封闭有效性演化特征—以塔里木盆地寒武系深层膏岩盖层为例[J]. 石油与天然气地质, 2021, 42(6): 1354-1364.  
Lin Tong, Wang Tongshan, Pan Wenqing, et al. Evaluation of sealing effectiveness of gypsolyte during burial: A case study of the gypsolyte caprock in deep Cambrian, Tarim Basin [J]. Oil & Gas Geology, 2021, 42(6): 1354-1364.
- [28] 易士威, 李明鹏, 郭绪杰, 等. 塔里木盆地寒武系盐下勘探领域的重大突破方向[J]. 石油学报, 2019, 40(11): 1281-1294.  
Yi Shiwei, Li Mingpeng, Guo Xujie, et al. Breakthrough direction of Cambrian pre-salt exploration fields in Tarim Basin [J]. Acta Petrolei Sinica, 2019, 40(11): 1281-1294.
- [29] 杨学文, 田军, 王清华, 等. 塔里木盆地超深层油气地质认识与有利勘探领域[J]. 中国石油勘探, 2021, 26(4): 17-28.  
Yang Xuewen, Tian Jun, Wang Qinghua, et al. Geological understanding and favorable exploration fields of ultra-deep formations in Tarim Basin [J]. China Petroleum Exploration, 2021, 26(4): 17-28.

(编辑 张 晟)