

塔里木盆地塔中地区志留系油气成藏模式

段中钰¹, 庞宏¹, 蒲青山², 马永琴²

1. 中国石油大学(北京);油气资源与探测国家重点实验室,北京 102249

2. 中国石油天然气集团公司东方地球物理勘探有限责任公司国际勘探事业部,河北涿州 072751

摘要 塔里木盆地塔中地区志留系油气显示丰富,成藏条件复杂,研究其油气成藏模式对推动塔中油气勘探有重大现实意义。本文主要对志留系沥青砂和可动油气的分布特征及成因机制进行分析,总结其成藏模式。研究结果表明:塔中地区志留系可动油气主要来自寒武系和奥陶系的混源,可动油气主要存在晚海西期和喜山期两期成藏,运移以垂向运移为主,侧向有限运移;塔中地区志留系沥青砂岩主要来源于寒武—下奥陶统烃源岩,沥青砂岩为油气边运移边破坏的产物;塔中志留系油气为两期成藏、两期改造的多点垂向输导,有限侧向输导成藏演化模式。

关键词 志留系;油气藏;调整改造;有限侧向输导;成藏模式

中图分类号 P618.13

文献标识码 A

doi 10.3981/j.issn.1000-7857.2011.23.004

Hydrocarbon Accumulation Model of Silurian Strata of Oil-gas Reservoir in Tazhong Area, Tarim Basin

DUAN Zhongyu¹, PANG Hong¹, PU Qingshan², MA Yongqin²

1. State Key Laboratory of Petroleum Resource and Prospecting, China University of Petroleum, Beijing 102249, China

2. International Exploration Division, Bureau of Geophysical Prospecting, China National Petroleum Company, Zhuozhou 072751, Hebei Province, China

Abstract There are a lot of asphaltic sandstones that is widely distributed in Tazhong Area, Tarim Basin; however the condition of hydrocarbon accumulation is complex. It is of great practical significance to study the hydrocarbon accumulation model of Silurian strata in order to accelerate the process of oil and gas exploration in the Tazhong Area. The distribution and genesis mechanism of asphaltic sandstones and movable oil of Silurian have been analyzed, and the hydrocarbon accumulation model have further been summarized. The results show that (1) the movable oil of Silurian strata in Tazhong Area is from the mixed-source rocks of the Cambrian and Ordovician; there are two stages of hydrocarbon accumulation, that is, Hercynian and late Himalayan, Vertical and limited lateral migration are the mainly patterns; (2) The asphaltic sandstone is from the mixed-source rocks of Cambrian and Lower Ordovician; It formed out of the destruction causes by the process of previous hydrocarbon migration; (3) The hydrocarbon accumulation model of Silurian strata is two stages of hydrocarbon accumulation, two stages of hydrocarbon adjustment, multi-point vertical migration, and limited lateral migration.

Keywords Silurian; oil-gas reservoir; adjustment and reconstruction; limited lateral migration; hydrocarbon accumulation model

0 引言

塔中古隆起位于塔里木盆地中部,勘探面积约 $2.2 \times 10^4 \text{ km}^2$ 。目前钻遇志留系的井有 100 多口,其中 7 口井获得工业油气流,7 口井获得低产,大部分井在志留系中可见沥青或

稠油。1994 年上钻了塔中 11 井,在志留系首次获得工业油流,同年上交控制储量 $324 \times 10^4 \text{ t}$ 。随后一直针对志留系构造找油的思想,上钻了一大批井,均纷纷失利。2001—2003 年,通过三维的重新部署,塔中 47 井喜获工业油流。通过老井复查,

收稿日期:2011-03-15;修回日期:2011-07-30

基金项目:国家重点基础研究发展计划(973 计划)项目(2007CB209601)

作者简介:段中钰,博士研究生,研究方向为地震解释、油气检测与油藏描述,电子信箱:zongyudian@126.com

塔中 12 井、塔中 50 井获工业油流,为构造-岩性油藏。截至 2003 年,塔中志留系共发现 5 个油藏:塔中 47、塔中 11、塔中 12、塔中 50、塔中 16(图 1)。志留系的勘探思想由原来的构造控油转变为大面积岩性控油,从原来认为的大场面早已破坏殆尽变为大有潜力。

2003 年以后,志留系的油气勘探一直未获得突破,虽然

在志留系发现了大面积的沥青砂,但并未发现大的油气田,这一直使勘探专家感到困惑,也是近 20 年来一直勘探和研究动力。但是多期生排烃、多期构造变动、多期成藏、破坏、调整、改造甚至再富集^[1-13]使得油气聚集规律更复杂,研究塔中地区志留系油气藏成藏模式对指导志留系下一步的勘探工作有重大现实意义。

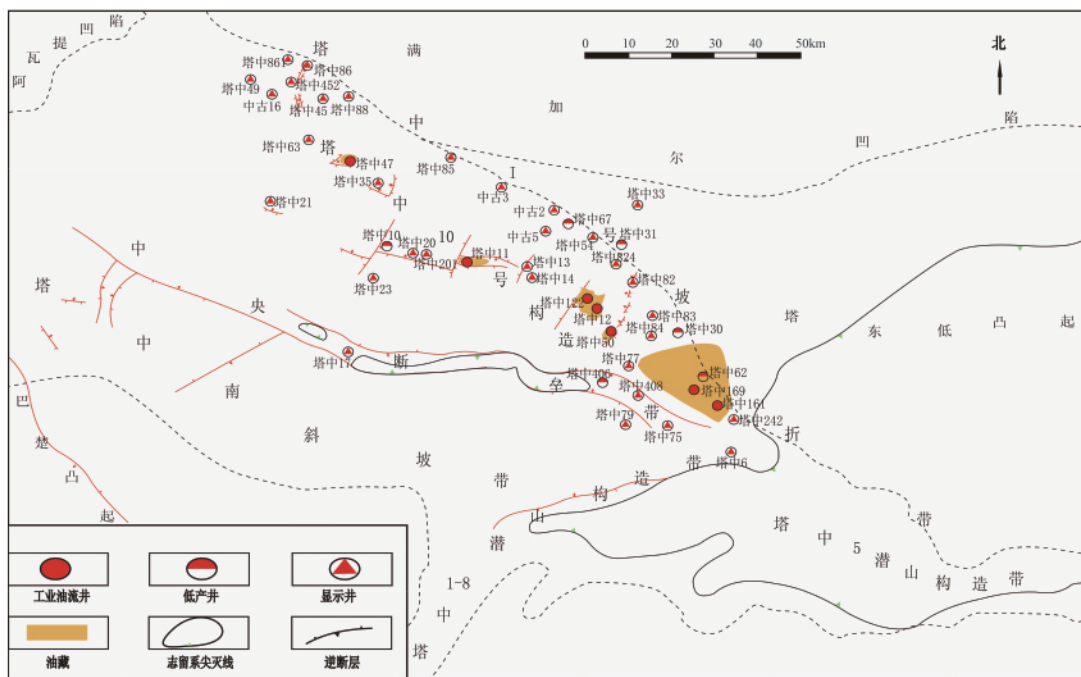


图 1 塔里木盆地塔中地区志留系油气藏分布平面示意

Fig. 1 Distribution of hydrocarbon reservoirs of Silurian in Tazhong Area, Tarim Basin

1 志留系沥青砂和可动油气分布特征

塔中地区志留系油气显示丰富多样,包括不同原有性质的工业油流、沥青砂、各种含油级别的油砂。平面上,志留系沥青砂在塔中整体均有分布,但厚度分布不均一(图 2),厚度较大的区域主要分布在塔中 45 井区—塔中 47 井区断裂附近(厚度最大 94.5m)、塔中 10 井区—塔中 40 井区断裂附近(厚度最大 57.5m)、塔中 11 井区断裂附近(厚度最大 101.5m)、塔中 50 井区—塔中 16 井区断裂附近(厚度大于 48.5m,由于东部后期的抬升剥蚀,现今的厚度不能反映早期沥青砂的厚度)。现今发现的可动油藏分布特征与早期形成的沥青砂厚度分布特征有很好的-致性,均靠近上述的断裂分布(图 1)。剖面上,志留系可动油受区域盖层控制,主要分布在红色泥岩段之下。

2 可动油气成因机制

2.1 油气来源

梁狄刚等^[1]在塔里木盆地厚达 5—7km 的海相寒武、奥陶系中识别出中、下寒武统和中、上奥陶统两套工业烃源岩,在大量的气相色谱-质谱联用仪(GC-MS)和气相色谱-质谱/质

谱(GC-MS/MS)分析基础上,认为台盆区寒武系、下奥陶统烃源岩和原油具有高的甲藻甾烷、4-甲基甾烷、降胆甾烷、 C_{28} -甾烷、伽马蜡烷和低的重排甾烷,而中、上奥陶统烃源岩和原油则相反。油源对比分析结果表明可动油主要是中、下寒武统和中、上奥陶统的混源。李素梅等^[14]运用芳香烃、饱和烃、正构烷烃、藿烷、甾烷、成熟度及相关地化参数对塔中志留系原油及沥青砂进行综合分析,结果表明,多数志留系原油来源与成因相似,具有早期遭受生物降解次生改造,后期充注轻质原油的多期混源特征。

2.2 油气来期

采用流体包裹体反演法和烃源岩在不同地质时期排烃特征的正演法相结合进行分析^[13],结果表明,塔中志留系可动油气成藏主要有晚海西期和喜山期两期。

2.3 油气来路

油气的运移总是沿最有利的构造路径(如鼻状构造)运移^[15],且晚期生成的油气倾向于沿早期油气运移的路径进行运移(塔中地区志留系沥青砂和发现可动油气的分布特征的一致性也可以说明晚期生成的油气更倾向于沿早期油气运移路径进行运移),导致油气只沿输导层上部渗透性好的有

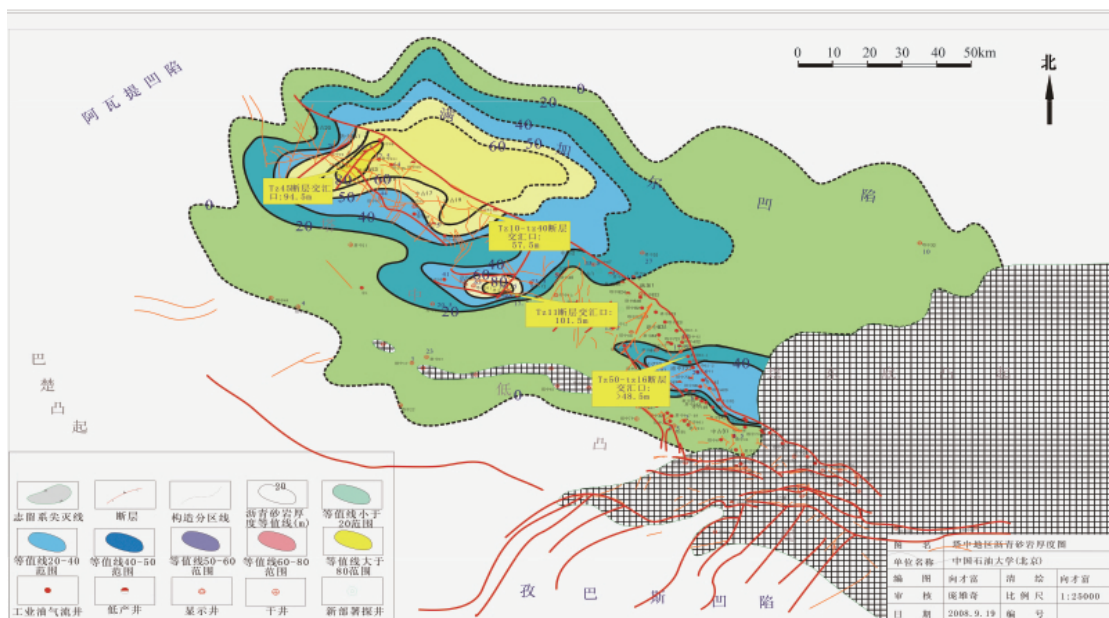


图2 塔里木盆地塔中地区志留系沥青砂厚度分布平面示意

Fig. 2 Distribution of asphalt sands thickness of Silurian in Tazhong Area, Tarim Basin

限空间运移,而不是通常所认为的覆盖整个输导层^[10]。基于此理论,通过对塔中志留系油气地化和地质特征的综合分析,塔中地区志留系油气运移以垂向为主,侧向有限运移。

(1) 从志留系原油密度的分布特征来看,原油密度总体较高,沿构造带呈无规律变化。但是从单个井区的分布情况来看(塔中45井区—塔中47井区、塔中11井区、塔中12井区、塔中50井区—塔中16井区),原油密度的变化有很好的规律,随埋藏深度变浅原油密度逐渐降低(图3)。这种原油密度在各个区带的变化规律与志留系沥青砂厚度分布在各个区带变化规律相吻合,且与目前油气分布特征相吻合,这种吻合并不是偶然的,说明油气侧向上是有限运移。

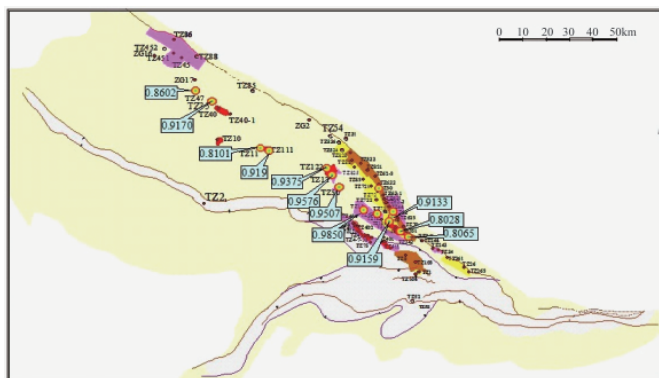


图3 塔里木盆地塔中地区志留系原油密度分布平面示意(单位: g/cm³)

Fig. 3 Distribution of oil density of Silurian in Tazhong Area, Tarim Basin (unit: g/cm³)

(2) 从志留系沥青砂岩空间分布的特征来看,表现在北东向断层与北系向断层交汇部位沥青砂厚度特别大(图2),随着远离断层交汇,沥青砂厚度逐渐变小,如果是大规模侧向运移,不会形成这种沥青砂的分布格局。

(3) 从塔中10号构造带志留系、石炭系和奥陶系3个层系原油地化特征来看,其原油物性、族组成生物标志物组成与分布较为相似,成熟度较为接近,应为相同/相似成因原油。李宇平等^[11]通过含氮化合物和饱和烃、芳香烃成熟度参数对塔中地区断裂附近的志留系油藏运移示踪研究结果也证实油气以垂向运移为主。值得提出的是,对塔中11井3个不同采集时间、相同层段的志留系原油作分析测试,发现原油性质表现出了一定差异,且有一定变化规律,即从寒武系一下奥陶统特征较明显变为逐渐与中、上奥陶系成因原油特征相近(图4)。这与油气开发过程中古油藏的破坏而与其他油气层混合有关,从另一方面证实塔中志留系与下部层系油气是相通的。充分说明油气运移以沿断层垂向运移为主。

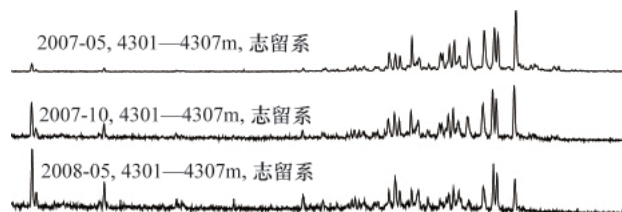


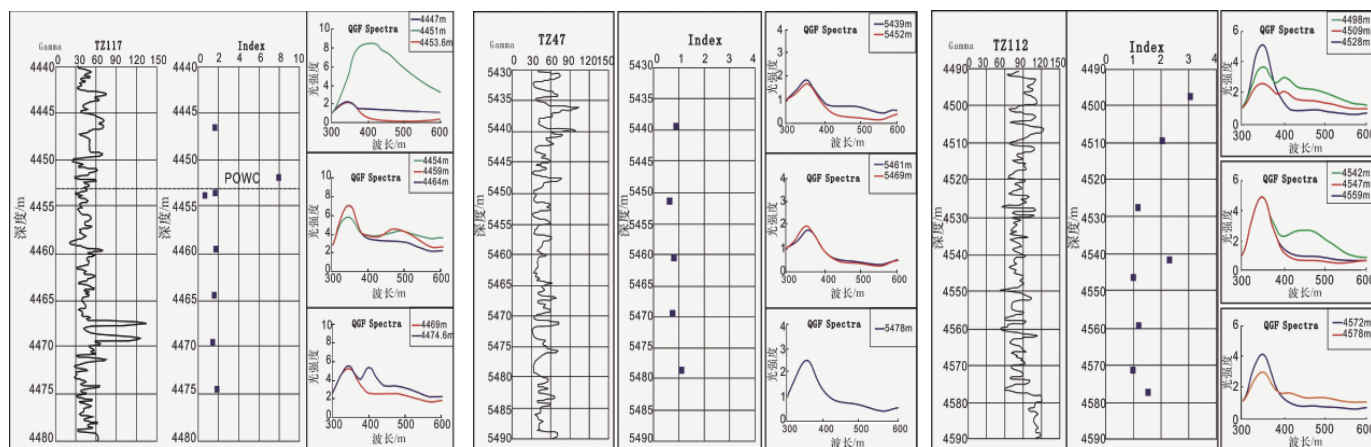
图4 塔中11井区不同采集时间志留系原油特征

Fig. 4 Biochemical features of Crude oil samples picked in different time in well TZ11 zone

3 志留系沥青砂的成因机制

塔中地区志留系沥青砂岩主要来源于寒武—下奥陶统烃源岩,存在早加里东期一期成藏,这已是国内外学者的共识。存在争议之处在于志留系沥青砂到底是志留系油气藏形成后大规模破坏的产物^[2,3],还是油气边运移边破坏的产物^[12-13]。通过对志留系定量颗粒荧光(QGF)分析,认为志留系沥青砂岩属于油气边运移边破坏的产物。QGF 主要用来证明油气藏调整改造过程中油水界面的变化^[17-21],塔中志留系存在系统的 QGF 数据,但是所有的数据表明,塔中 47—塔中 112 井区不存在大规模油水界面调整的证据(图 5),最大的油水界面调

整来自于塔中 117 井上 3 亚段,调整幅度大概为 1m(4453—4451.9m)。志留系末期的构造活动特征可以概括为:(1)大规模的侧向挤压导致了塔中地区东西向构造的调整,东部抬升剥蚀量约 2km;(2)塔中 10 号构造带北东向断层发生右旋走滑活动,形成了塔中地区的基本构造格架,这同样是受该时期侧向挤压的影响。如果志留纪末期形成大规模油气藏,志留纪末期的构造活动特征及所造成的大规模的油气调整改造不可能不造成油水界面的调整。由此可见,塔中地区志留系中从未形成过大规模的油气藏,所有的沥青砂岩是油气边运移边破坏形成的产物。



(a) 塔中 117 井上亚段,4453—4451.9m

(b) 塔中 47 井上亚段,4980.4m

(c) 塔中 112 井上亚段

(a) Upper sub-member of well TZ117,
4453—4451.9m

(b) Upper sub-member of well TZ47, 4980.4m

(c) Upper sub-member of well TZ112

图 5 塔中地区志留系油气藏调整改造 QGF 分析

Fig. 5 QGF analysis on the hydrocarbon reservoirs of Silurian in Tazhong Area

4 多点垂向输导、有限侧向输导成藏演化模式

通过对塔中地区志留系可动油气和沥青砂成因机制的分析,结合构造演化,可以将塔中志留系分为两期成藏、两期改造的多点垂向输导,有限侧向输导成藏演化模式。

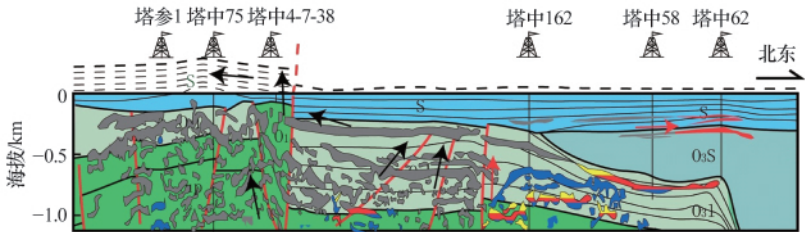
志留纪末期(晚加里东)——第一期改造(破坏)(图 6(a))。在志留系构造活动之前,塔中地区的总体构造为西高东低,在寒武系—奥陶统聚集了大量古油藏,志留纪时期,多次的抬升剥蚀使下部古油藏沿北东向与北西向交汇断层向上调整,此时构造活动频繁期使运移到志留系地表的油气不易保存,形成了大量沥青砂。此时构造格局为西高东低,使西部沥青砂的分布厚度大于东部。而志留系末期构造活动之后,塔中地区形成了与现今大致相似的东高西低的构造格局。志留纪末期东部强烈抬升形成的构造高差导致油气的向东运移破坏。在油气不断稠化过程中,可能会形成沥青的侧向封堵,从而在局部形成沥青侧向封堵的油气,如塔中 62 井。

三叠系沉积前(海西期)——第一期成藏(图 6(b))。满加

尔凹陷寒武系—奥陶系烃源岩达到大规模生气阶段,同时中、上奥陶统烃源岩也达到了大规模生油阶段,形成的油气向塔中古隆起运移聚集,在寒武系—奥陶系聚集大量油气,然后沿着断层向上运移到志留系,横向上进行侧向有限运移。油气在成藏要素匹配较好的地区保存下来。

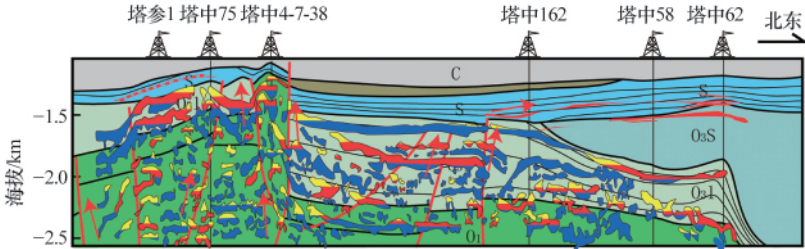
第三系沉积前(印支—燕山期)——第二期改造(调整)(图 6(c))。三叠纪以后,由于局部的构造运动,使大部分在海西期形成的混源油气藏局部调整,其结果导致志留系沥青、稠油和正常油多相态油气并存。

现今(喜山期)——第二期成藏(图 6(d))。中、上奥陶统烃源岩大规模生油,同时随着埋藏深度的增大,下覆奥陶系和寒武系海西期残留的古油藏大量裂解形成天然气,油裂解气在构造活动强的地区沿断裂向上转移再分配,形成气侵凝析气藏(塔中 11 井上 1 亚段凝析气藏),在断裂活动弱的地区,裂解气运移的通道受到一定程度的抑制,天然气运移数量少,气侵程度低,碎屑岩以油藏的形式被保存。



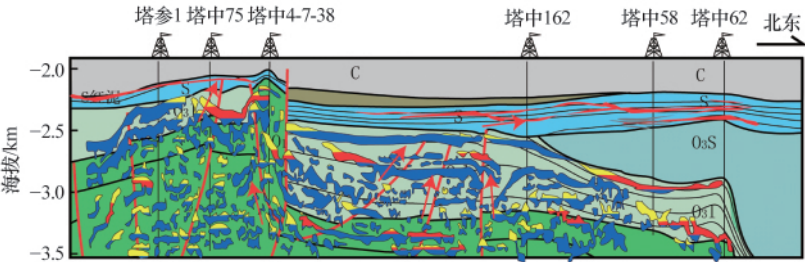
(a) 晚加里东期志留系油气藏第一期改造模式

(a) Transformation model of Silurian hydrocarbon reservoirs at first stage in Late Caledonian epoch



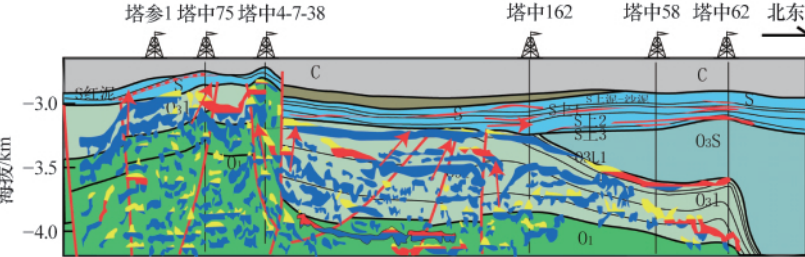
(b) 海西期志留系油气藏第一期成藏模式

(b) Accumulation model of Silurian hydrocarbon reservoirs at first stage in Hercynian epoch



(c) 印支—燕山期志留系油气藏第二期改造模式

(c) Transformation model of Silurian hydrocarbon reservoirs at second stage in Indo-Chinese-Yanshan epoch



(d) 喜山期志留系油气藏第二期成藏模式

(d) Accumulation model of Silurian hydrocarbon reservoirs at second stage in Himalayan epoch

图 6 塔中地区志留系多点垂向输导、有限侧向输导成藏演化模式

Fig. 6 Evolution model of hydrocarbon migration along multi-points in vertical direction, limited migration in lateral direction of Silurian in Tazhong Area

5 结论

- (1) 塔中地区志留系可动油气主要来自寒武系和奥陶系的混源；可动油气主要存在晚海西期和喜山期 2 期成藏；可动油气运移以垂向运移为主，侧向有限运移。
- (2) 塔中地区志留系沥青砂岩主要来源于寒武一下奥陶统烃源岩；沥青砂岩为油气边运移边破坏的产物。
- (3) 塔中志留系油气为两期成藏、两期改造的多点垂向输导，有限侧向输导成藏演化模式。

参考文献 (References)

[1] 梁狄刚, 张水昌, 张宝民, 等. 从塔里木盆地看中国海相生油问题[J]. 地学前缘, 2000, 7(4): 534-547.
Liang Digang, Zhang Shuichang, Zhang Baomin, et al. Earth Science Frontiers, 2000, 7(4): 534-547.

[2] 张俊, 庞雄奇, 刘洛夫, 等. 塔里木盆地志留系沥青砂岩的分布特征与石油地质意义[J]. 中国科学: D 辑, 2004, 34(S1): 169-176.
Zhang Jun, Pang Xiongqi, Liu Luofu, et al. Science in China: Series D, 2004, 34(S1): 169-176.

- [3] 王飞宇, 刘长伟, 朱雷, 等. 塔里木盆地台盆区寒武系烃源岩有机成熟度[J]. 新疆石油地质, 2002, 23(5): 372-375.
Wang Feiyu, Liu Changwei, Zhu Lei, et al. *Xinjiang Petroleum Geology*, 2002, 23(5): 372-375.
- [4] 张水昌, 王飞宇, 张宝民, 等. 塔里木盆地中上奥陶统油源层地球化学研究[J]. 石油学报, 2000, 21(6): 23-28.
Zhang Shuichang, Wang Feiyu, Zhang Baomin, et al. *Acta Petrolei Sinica*, 2000, 21(6): 23-28.
- [5] 刘洛夫, 康永尚. 运用原油吡咯类含氮化合物研究塔里木盆地塔中地区石油的二次运移[J]. 地球化学, 1998, 27(5): 475-482.
Liu Luofu, Kang Yongshang. *Geochimica*, 1998, 27(5): 475-482.
- [6] 肖中尧, 张水昌, 赵孟军, 等. 简析塔中北斜坡 A 井志留系油气藏成藏期[J]. 沉积学报, 1997, 15(2): 150-154.
Xiao Zhongyao, Zhang Shuichang, Zhao Mengjun, et al. *Acta Sedimentologica Sinica*, 1997, 15(2): 150-154.
- [7] 翟光明, 王建君. 对塔中地区石油地质条件的认识[J]. 石油学报, 1999, 20(4): 1-6.
Zhai Guangming, Wang Jianjun. *Acta Petrolei Sinica*, 1999, 20(4): 1-6.
- [8] 王飞宇, 边立增, 张水昌, 等. 塔里木盆地奥陶系海相源岩中两类生烃母质[J]. 中国科学: D 辑, 2001, 31(2): 97-102.
Wang Feiyu, Bian Lizeng, Zhang Shuichang, et al. *Science in China: Series D*, 2001, 31(2): 97-102.
- [9] 张水昌, Moldowan J M, Li M W, 等. 分子化石在寒武—前寒武纪地层中的异常分布及其生物学意义[J]. 中国科学: D 辑, 2001, 31(4): 299-304.
Zhang Shuichang, Moldowan J M, Li M W, et al. *Science in China: Series D*, 2001, 31(4): 299-304.
- [10] 霍红, 刘洛夫, 解启来, 等. 塔中地区志留系原油运移方向研究[J]. 新疆石油地质, 2007, 28(2): 175-178.
Huo Hong, Liu Luofu, Xie Qilai, et al. *Xinjiang Petroleum Geology*, 2007, 28(2): 175-178.
- [11] 李宇平, 陈利新, 王勇, 等. 塔里木盆地塔中志留系油藏运移和聚集成藏的主控地质要素[J]. 科学通报, 2007, 52(S1): 185-191.
Li Yuping, Chen Lixin, Wang Yong, et al. *Scichina*, 2007, 52(S1): 185-191.
- [12] 赵风云, 吕修祥, 杨海军, 等. 塔里木盆地塔中低凸起志留系油气成藏模式初探[J]. 西安石油大学学报: 自然科学版, 2004, 19(4): 54-57.
Zhao Fengyun, Lu Xiuxiang, Yang Haijun, et al. *Journal of Xi'an Shiyou University: Natural Science Edition*, 2004, 19(4): 54-57.
- [13] 吕修祥. 塔里木盆地塔中低凸起志留系油气成藏机理初探[J]. 石油实验地质, 1997, 19(4): 328-331.
Lu Xiuxiang. *Experimental Petroleum Geology*, 1997, 19(4): 328-331.
- [14] 李素梅, 庞雄奇, 杨海军, 等. 塔中 I 号坡折带高熟油气地球化学特征及其意义[J]. 石油与天然气地质, 2008, 29(2): 210-216.
Li Sumei, Pang Xingqi, Yang Haijun, et al. *Oil & Gas Geology*, 2008, 29(2): 210-216.
- [15] Hindle A D. Petroleum migration pathways and charge concentration: A three dimensional model[J]. *AAPG Bulletin*, 1997, 81(9): 1451-1481.
- [16] Miles J A. Secondary migration routes in the Brent sandstones of the Viking Graben and east Shetland Basin: Evidence from oil residues and subsurface pressure data[J]. *AAPG Bulletin*, 1990, 35(9): 168-173.
- [17] Liu K, Coghlan D, Cable T, et al. Quantitative grain fluorescence (QGF) procedure's manual and explanation notes [R]. CSIRO Confidential Report, 2002: 2-60.
- [18] Liu K, Kurusingal J, Coghlan D, et al. Quantitative grain fluorescence (QGF), a technique to detect (palaeo-) oil zones by measuring trace fluorescence from reservoir grainss [R]. CSIRO Petroleum Unre-Stricted Report, 2001: 1-10.
- [19] Liu K, Eadington P J, Coghlan D. Fluorescence evidence of polar hydrocarbon interaction on mineral surface and implications to alteration of reservoir wettability [J]. *Journal of Petroleum Science and Engineering*, 2003, 39(3-4): 275-285.
- [20] Liu K, Eadington P J. A new method for identifying secondary oil migration pathways[J]. *Journal of Geochemical Exploration*, 2003, 78-79 (1-3): 389-394.
- [21] Kempton R H, Liu K, Earl K L, et al. A regional assessment of hydrocarbon migration and accumulation in the Cretaceous and Tertiary of the offshore Otway Basin, Victoria and south Australia: Evidence from GOITM, QGF and QGF-E [R]. CSIRO Petroleum Division, 2003: 6-19.

(责任编辑 刘志远)

·学术动态·

“2011 全国系统与进化植物学研讨会 暨第十届青年学术研讨会”征文



由中国植物学会主办的“2011 全国系统与进化植物学研讨会暨第十届青年学术研讨会”将于 2011 年 10 月 26—28 日在昆明召开。

大会主题为“后植物志时代的系统与进化植物学”。征文范围: 植物分类、标本馆和数据库; 植物生命之树重建; 生物地理学和气候环境变迁; 物种形成和适应性进化; 分子和基因组进化及进化发育生物学; 植物 DNA 条形码; 生物多样性。

全文截止日期: 2011 年 9 月 25 日。

联系电话: 0871-5223388; 传真: 0871-5223388。

电子信箱: chunnayao@mail.kib.ac.cn。