

文章编号: 1000-0550 (2005) 04-0734-06

塔里木盆地塔中隆起志留系油气聚集控制因素

胡剑风^{1,2} 吕修祥^{1,3} 赵风云^{1,3} 陈元壮^{1,3}

1(中国石油大学 北京昌平 102249) 2(中国石油塔里木油田分公司 新疆库尔勒 841000)

3(中国石油大学油气成藏机理教育部重点实验室 北京昌平 102249)

摘要 塔中隆起志留系中沥青及可动油气显示十分丰富。油气聚集的基本特征是多油气源、多成藏期、多油气藏类型、多油气产状。纵向上志留系油气分布受盖层控制,沥青和稠油分布在塔塔埃尔塔格组下段红色泥岩段以下,而现今可动油则集中分布在柯坪塔格组上二亚段灰色泥岩之下。平面上,志留系油气聚集受构造背景控制,继承性发育的古隆起决定各个时期油气运移指向,塔中地区油气基本上是自北西向南东方向运移。潮坪相沉积决定了薄砂层单个砂体规模不大,一系列砂体靠断层沟通。塔中地区志留系形成了油气丰度不高、在空间上叠置连片、大面积分布、受多种圈闭类型控制的油气聚集特征。

关键词 塔中隆起 志留系 油气聚集特征 控制因素

第一作者简介 胡剑风 男 1968年出生 在读博士 高级工程师 石油地质

中图分类号 P618.130.2 TE122.2 文献标识码 A

1 前言

塔中隆起钻遇志留系的井有 55 口,其中 7 口井获得工业油气流,7 口井获得低产油流,大部分井在志留系中见到沥青或稠油。2003 年对钻井过程中有良好油气显示或获得低产油流的井进行老井复查,经过加沙压裂井 2 口(塔中 12、塔中 50)获得工业油流。所有志留系的出油井、油气显示井都分布在隆起北坡(图 1)。已发现塔中 11、塔中 47、塔中 12 和塔中 169 等四个油气藏。

从 1994 年对塔中隆起志留系重点投入勘探以来,针对其复杂成藏条件开展了大量的研究工作。

(1)关于沥青砂岩的成因,可以概括为两种观点,一类观点是大型油藏形成之后被破坏^[1, 2],另一类观点是油气在运移过程中被氧化^[3, 4]。(2)关于油气源,油源对比结果显示志留系曾经捕获到寒武系和中上奥陶统两套源岩的油气^[5, 6]。(3)关于成藏期,流体包裹体测温结合埋藏史分析,认为目前发现的可动油经历了两期充注^[7, 8, 9]。(4)针对优质储层发育的沉积相、储层评价及其分布预测开展了大量的研究^[10, 11, 12],基本明确了志留系的沉积以潮坪环境为主体。

塔中隆起志留系油气显示大面积分布,但始终没有发现大油田。多套烃源岩的贡献、多期油气成藏过程,以及地质历史时期的破坏和改造使油气聚集与分布十分复杂。不同时期形成的沥青、稠油、正常油共存,探井见油气显示而无法获得油气流是经常遇到的事。油气聚集受哪些关键因素控制以及大面积显示的可动油在空间上是否连片聚集,是该区油气勘探十分关注的问题。

2 地质背景

塔中隆起经历了多期隆升剥蚀过程。早奥陶世末期塔中隆起已具雏形,志留系在隆起背景上超覆沉积。志留纪末期隆升活动加剧,使志留系及中上奥陶统被部分剥蚀。塔中 10、11、12、14、30、31、32 等井志留系下伏地层为中上奥陶统泥岩,而塔中 16、17、18、37 等井志留系下伏地层为下奥陶统碳酸盐岩。塔中 10、20、201、37、18 井志留系上覆地层为泥盆系,塔中 4、6、11、12、16、17 井志留系上覆地层为石炭系,塔中隆起的志留系具有底超顶剥的特点。

塔中北斜坡志留系为潮坪沉积体系^[13]。剖面上自下而上分为依木干它乌组、塔塔埃尔塔格组和柯坪塔格组(图 2)。

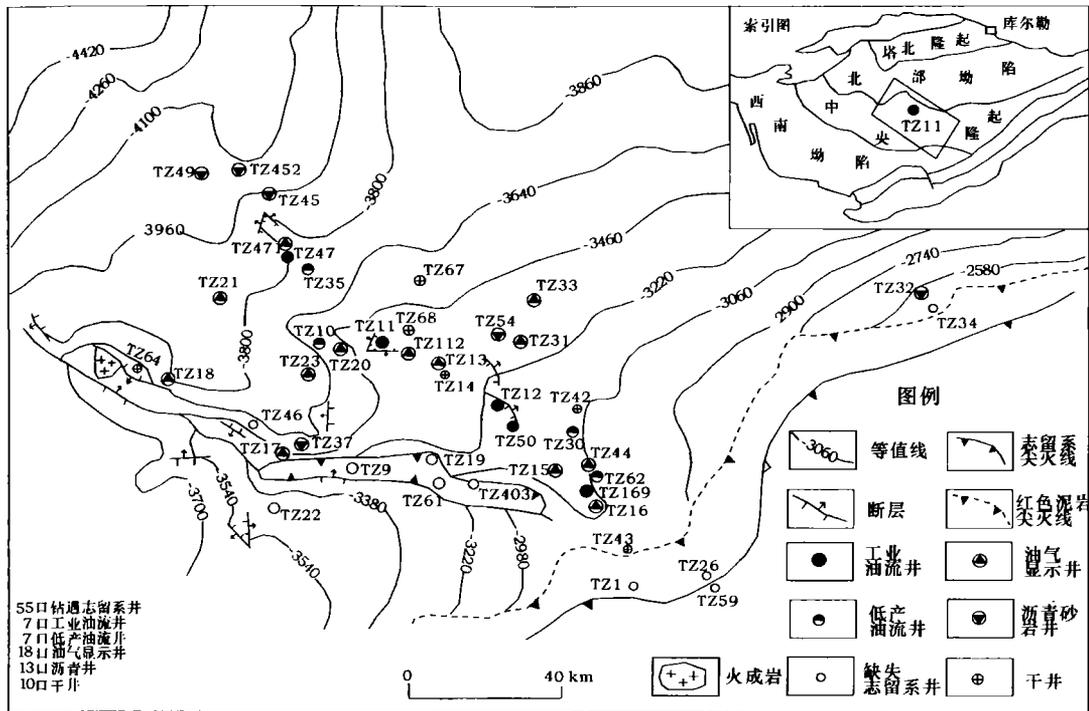


图 1 塔中隆起志留系顶面构造及烃类显示分布图

Fig 1 Upper surface structures and hydrocarbon show distributions of the Silurian in Tazhong area

塔塔埃尔塔格组包括上段的砂岩段和下段的红色泥岩段,下段的红色泥岩厚度 70 m 左右,分布广泛。志留系中的沥青及稠油显示基本上都集中在红色泥岩段之下的砂岩储层中。

柯坪塔格组上段(又称沥青砂岩段)可进一步划分为上一亚段(上沥青砂岩段)、上二亚段(灰色泥岩段)和上三亚段(下沥青砂岩段)。上一、上三两个亚段为沥青及含油气层,储层岩性以粉—细砂岩为主,单层砂层较薄,具有分布广泛、连续性差的特征。

3 油气聚集特征

志留系油气显示丰富多样,包括不同原油性质(轻质油、正常油、重质油)的工业油流、沥青砂(干、软)、油砂。沥青、稠油和轻质油共存的事实表明,志留系油气的是多源多期的。

3.1 多油气源

地球化学研究已经证实,塔里木盆地存在寒武系和中上奥陶统两套优质海相烃源岩。黎茂稳等(1999)在大量的 GC/MS 和 GC/MS/MS 分析基础上,认为塔里木盆地寒武系烃源岩和原油具有高的甲藻甾烷、4-甲基甾烷、 C_{26-24} 降胆甾烷、 C_{28} 甾烷、伽玛蜡烷和低的重排甾烷,而中上奥陶统烃源岩和原油则相

反。

本文对塔中 11 井(4 301 ~ 4 307 m 轻质油、4 417 ~ 4 435 m 重质油)、塔中 16 井、塔中 30 井以及塔中 50 井五个志留系油样进行 GC/MS 和 GC/MS/MS 测试,对比上述生物标志物参数,塔中 11 井轻质油来源于寒武系烃源岩。塔中 11 井重质油以及塔中 16 井、塔中 30 井、塔中 50 井等的稠油具有典型的中上奥陶统的特征生物标志化合物,来源于中上奥陶统烃源岩。其它原油是寒武系与中上奥陶统烃源岩的混源油。

3.2 多成藏期

钻探结果揭示,塔中地区志留系具有多种类型的油气产状,塔中 11 井沥青、稠油、轻质油在志留系砂岩中共存,塔中 47 井即有轻质油,也有稠油和沥青。这些现象说明塔中地区志留系油气不可能是一期聚集的结果,而是经历了多期成藏过程。

塔中 11 井沥青砂岩和油砂含有丰富的有机包裹体,有机包裹体分析结果显示,包裹体均一化温度为三组,62 ~ 74 , 100 ~ 135 , 大于 150 。塔中 47 井志留系包裹体多数是沿缝合线呈串珠状分布,包裹体均一化温度有三组: 100 ~ 120 、 120 ~ 140 、 160 ~ 210 。可动油的形成对应于前两个温度段,第三组为非均一化温度,没有发现沥青砂对应的原油形成时

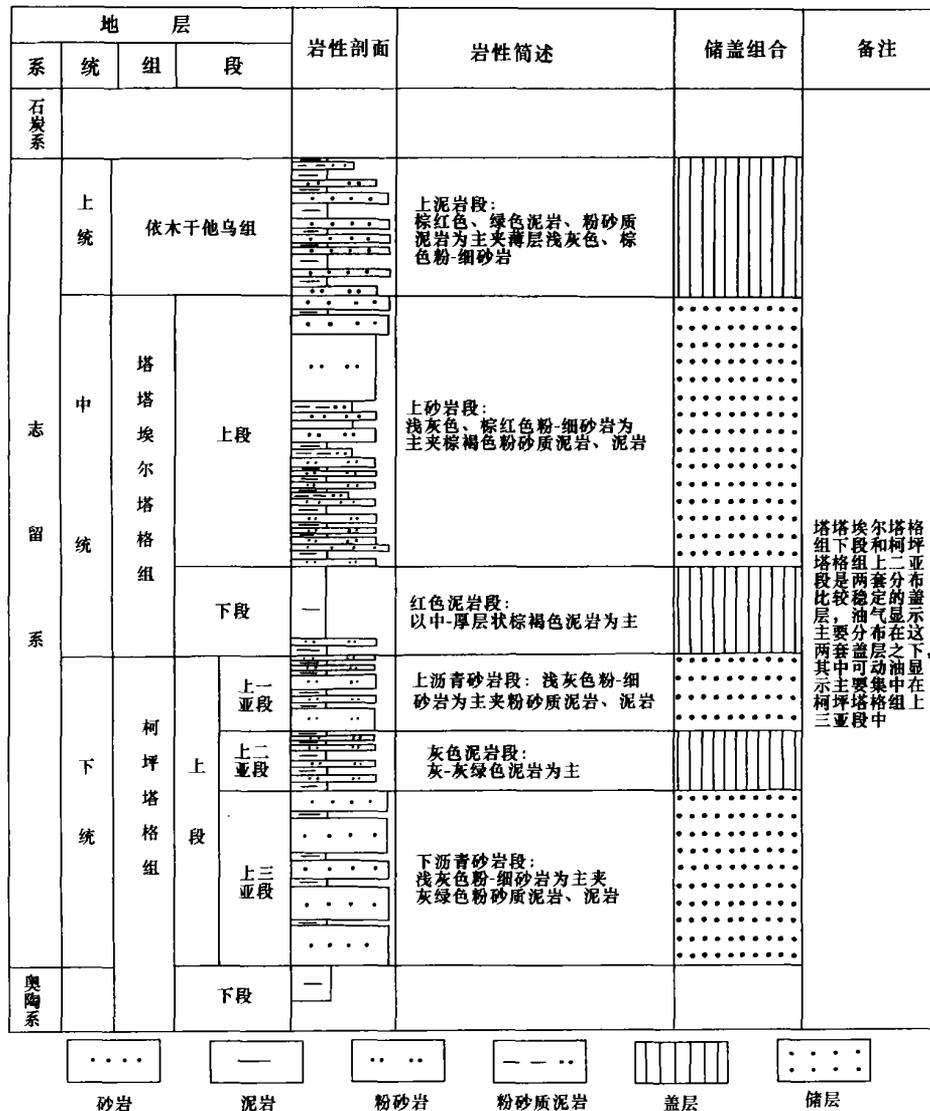


图 2 塔中隆起志留系地层分段及储盖组合图

Fig 2 Division of stratigraphy and reservoir-cap rock combinations of the Silurian in Tazhong area

留下的痕迹。

综合烃源岩热演化史、流体包裹体分析结果,认为塔中隆起志留系经历过三期油气注入。第一期是加里东晚期(志留纪末期),寒武系源岩成熟排烃,在塔中隆起形成大规模油气聚集,强烈的构造抬升使油气藏受到破坏,沥青形成于此阶段。第二期是海西晚期(二叠纪),包裹体与埋藏史的综合分析显示这期油气充注自 240 Ma 开始。第三期是燕山—喜山期(主要在第三纪),包裹体与埋藏史的综合分析显示以中上奥陶统油气为主体的这期充注自 40 Ma 开始。

3.3 多油藏类型

塔中隆起目前所发现的油气藏有三种类型。

(1) 背斜油气藏。志留—泥盆系沉积之后,在强烈挤压背景下产生隆升剥蚀,在塔中隆起形成一系列近东西向展布的断裂构造带^[14],志留系的背斜构造就是在这种背景下形成的。目前在塔中隆起所发现的志留系背斜都具有古构造背景,如塔中 11 号构造。

(2) 地层岩性油气藏。从满加尔凹陷向塔中隆起志留系上超的沉积背景决定了在塔中隆起北坡具备形成地层岩性圈闭的条件。塔中 169 井和 162 井的钻探结果证实了地层岩性油气藏的存在。单层砂体薄、连通性差,主要是由潮坪相沉积所决定的。

(3) 火山岩遮挡油气藏。早二叠世晚期,塔里木盆地发生了一次比较强烈的火山活动,在塔中隆起主

要发生在西部。岩浆沿基底大断裂侵入到古地表(下二叠统顶部),岩浆上拱分割已经存在的背斜构造,如塔中 47 古背斜被分为三个小圈闭。

4 油气聚集控制因素

4.1 保存条件是制约油气聚集与分布的关键

宏观的、微观的关于志留系沥青砂岩的成因有多种解释,如微生物硫酸盐还原作用、生物降解及气洗、大气淡水淋滤作用等^[2, 15]。从油气成藏与被破坏的时间关系考虑,可以将沥青成因分为两类,即成藏之后被破坏和成藏过程中被破坏^[16]。无论那种观点,大面积分布的沥青都处在塔塔埃尔塔格组下段红色泥岩之下的砂岩储集岩中。

塔中地区志留系可动油产层主要集中在柯坪塔格组上二亚段灰色泥岩之下的柯坪塔格组上三亚段的砂岩储集岩中。柯坪塔格组上二亚段的灰色泥岩厚度一般 20~30 m,尤其是在塔中地区北坡分布比较稳定。对塔中隆起目前所发现的志留系可动油来说,这套泥岩是一套优质盖层。目前所发现的塔中 11、塔中 47、塔中 12 以及塔中 169 等四个油藏都是第二期或第三期聚集成藏的,柯坪塔格组上二亚段的灰色泥岩经过了充分的成岩过程,具有良好的封闭性能。而志留系沥青多集中在塔塔埃尔塔格组下段红色泥岩段之下,说明志留系第一期成藏时柯坪塔格组上二亚段的灰色泥岩还很容易被油气穿过。

4.2 继承性构造背景是油气运移指向

塔中隆起始于奥陶纪,是一个继承性的古隆起^[14],志留系底界是一个规模巨大的区域不整合面,

在塔中隆起北坡志留系地层超覆十分显著。古隆起背景控制了几期油气运移的格局。以满加尔凹陷为生烃灶,塔中隆起一直是油气运移的指向^[17]。研究表明,塔中志留系古油藏的油气主要来源于满加尔凹陷的中、下寒武统烃源岩,向西南—南的方向首先进入塔中志留系,然后沿不整合面或顺储层从北西向南东和从北东向南西两个方向向志留系在塔中地区的尖灭线附近运移^[18]。原油含氮化合物分析证实,在塔中地区有一条由北西向南东的油气运移路线^[19]。

对塔中隆起 9 口井(塔中 11、15、30、31、32、44、47、67) 21 个含沥青岩样和 9 口井(塔中 11、16、30、35、47、50、111、117、161) 16 个油样进行了含氮化合物分析,三甲基咪唑(A)/三甲基咪唑(C)等几项指标的变化趋势反映了古油藏和今油藏油气由北西向南东运移的共同规律,这一结果的出现最根本的控制因素在于塔中隆起是一个继承性发育的古隆起,而满加尔凹陷以及塔中北坡是烃源岩分布区。

4.3 油气运移输导体系控制砂体含油性

以志留系为目的层,以寒武系和中上奥陶统为源岩层,输导体系类型有断裂、不整合面、火山刺穿体和优质砂体。断裂是志留系最主要的疏导体系类型,在油气垂向运移过程中起到了重要的作用,优质的砂体只有被断层沟通后才能充注油气。塔中隆起志留系油气主要分布在断层附近,即使是岩性油气藏,油气也是先通过断层进入砂体,再通过砂体进行侧向运移而成藏(图 3)。另外塔中隆起志留系还有一种输导体系—火山刺穿体,火山体从基底向上刺穿源岩层和储集层,油气沿火山体壁向上运移,在孔渗性比较好

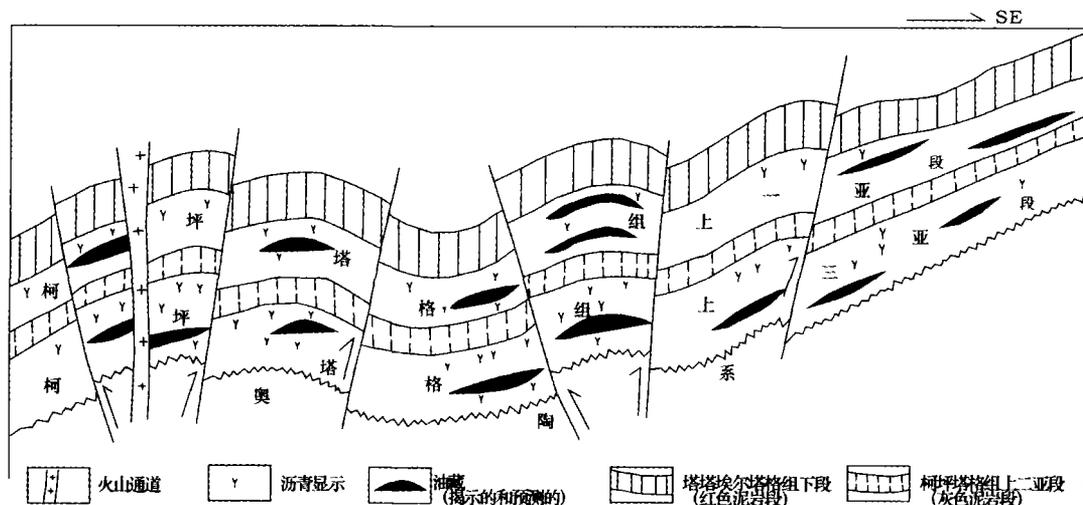


图 3 塔中隆起志留系油气聚集综合模式图

Fig 3 Comprehensive model of the Silurian hydrocarbon accumulation in Tazhong area

的砂体中聚集成藏(如塔中 47 井)。总体上看,输导体系是连通源岩与砂体的纽带,地震剖面揭示高角度断层十分发育,这也是塔中隆起优质砂体普遍见沥青和油气显示的重要原因。

4.4 薄砂体连通性控制油气横向连片

钻探结果和野外露头观察证实,塔中隆起志留系柯坪塔格组上段为一套潮坪相的砂泥岩薄互层沉积,砂岩厚度薄。单层砂体厚度一般为 2~8 m,横向变化比较快,分布不稳定且连通性比较差,常常分叉、合并、减薄或尖灭。岩心观察发现沥青及稠油都顺层分布,表明在砂岩体中,油气的侧向运移具有选择性——油气沿优势通道运移^[20]。孔隙度和渗透率比较高的砂体在油气运移的过程中不仅起到运移通道的作用,还可以作为油气的储集空间。而孔隙度和渗透率比较低的砂体中则没有油气留驻的痕迹。砂体的连通性及展布控制了油气的横向连片和展布,塔中隆起志留系砂岩以潮坪相沉积为主的特点,决定了志留系油气在单层砂体中难以横向连片。但是,在纵向上薄砂层往往是叠置发育,大量交错的薄砂层在空间上构成大面积分布。

5 结论

塔中隆起志留系经历了两套烃源岩的三期油气充注过程,现今志留系的可动油主要是中上奥陶统源岩第三期充注的结果。塔塔埃尔塔格组下段和柯坪塔格组上二亚段在纵向上控制了油气的分布,后者是志留系目前产油气层的重要盖层。

塔中隆起继承性发育的构造背景是油气运移的长期指向,油气垂向运移进入志留系薄砂层的输导体系包括断层、火山通道,当与砂体沟通时油气在构造圈闭或砂体尖灭地层岩性圈闭中聚集。潮坪相砂体横向变化快的特点导致单个薄层砂体含油很难横向连片,但垂向上可以叠置连片。塔中隆起志留系的油气聚集具有大面积、低丰度、薄油层、断层沟通、叠置连片的特点。

参考文献 (References)

- 刘大锰, 金奎励, 王凌志. 塔里木盆地志留系沥青砂岩的特性及其成因. 现代地质, 1999, 13(2): 169~175 [Liu Dameng, Jin Kuili, Wang Lingzhi. Characteristics and genesis of Silurian bituminous sandstones in the Tarim Basin. Geoscience, 1999, 13(2): 169~175]
- 刘洛夫, 赵建章, 张水昌, 等. 塔里木盆地志留系沥青砂岩的形成期次及演化. 沉积学报, 2000, 18(3): 475~479 [Liu Luofu, Zhao Jianzhang, Zhang Shuichang, et al. Hydrocarbon filling ages and evolution of the Silurian asphalt sandstones in Tarim Basin. Acta Sedimentologica Sinica, 2000, 18(3): 475~479]
- 吕修祥. 塔里木盆地塔中低凸起志留系油气成藏机理初探. 石油实验地质, 1997, 19(4): 328~331 [Lu Xiuxiang. Preliminary investigation on the formation mechanism of Silurian reservoir in Tazhong low-uplift of Tarim Basin. Experimental Petroleum Geology, 1997, 19(4): 328~331]
- Lu Xiuxiang, Zhang Yiwei, Jin Zhijun. Genesis of the Silurian asphalt sandstones in Tazhong Uplift of Tarim Basin, NW China. Scientia Geologica Sinica, 1997, 6(4): 449~455
- 张水昌, Moldowan J M, Maowen Li, 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. 中国科学 (D 辑), 2001, 31(4): 299~304 [Zhang Shuichang, Moldowan J M, Maowen Li, et al. Abnormal distribution of molecular fossils on the Strata of Cambrian-PostCambrian and their biology meaning. Science in China (Series D), 2001, 31(4): 299~304]
- 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. 中国科学 (D 辑), 2001, 31(2): 97~102 [Wang Feiyu, Bian Lizeng, Zhang Shuichang, et al. Two kinds of hydrocarbon-generating parent material of the Ordovician marine source rocks, Tarim Basin. Science in China (Series D), 2001, 31(2): 97~102]
- 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. 沉积学报, 1997, 15(2): 150~154 [Xiao Zhongyao, Zhang Shuichang, Zhao Mengjun, et al. A brief analysis on forming periods of Silurian pools in the Tazhong A well. Acta Sedimentologica Sinica, 1997, 15(2): 150~154]
- 刘洛夫, 赵建章, 张水昌, 等. 塔里木盆地志留系沉积构造及沥青砂岩的特征. 石油学报, 2001, 22(6): 11~17 [Liu Luofu, Zhao Jianzhang, Zhang Shuichang, et al. The depositional and structural settings and the bituminous sandstone distribution characters of the Silurian in Tarim basin. Acta Petrolei Sinica, 2001, 22(6): 11~17]
- 李宇平, 王勇, 孙玉善, 等. 塔里木盆地中部地区志留系油藏两期成藏特征. 地质科学, 2002, 37(增刊): 45~50 [Li Yuping, Wang Yong, Sun Yushan, et al. Two accumulation stages of the Silurian hydrocarbon reservoirs in central area of the Tarim Basin. Chinese Journal of Geology, 2002, 37(Suppl): 45~50]
- 刘邵平, 钟广华, 刘学锋, 等. 塔中志留系碎屑岩储层特征及评价. 江汉石油学院学报, 1996, 18(4): 21~25 [Liu Shaoping, Zhong Guangfa, Liu Xuefeng, et al. Characteristics and evaluation of Silurian sandstone reservoir in Tazhong area, Tarim basin. Journal of Jianghan Petroleum Institute, 1996, 18(4): 21~25]
- 侯会军, 王伟华, 朱筱敏. 塔里木盆地塔中地区志留系沉积模式探讨. 沉积学报, 1997, 15(3): 41~47 [Hou Huijun, Wang Weihua, Zhu Xiaomin. Study of depositional model of Silurian system in Tazhong area, Tarim Basin. Acta Sedimentologica Sinica, 1997, 15(3): 41~47]
- 朱筱敏, 王贵文, 谢庆宾. 塔里木盆地志留系沉积体系及分布特征. 石油大学学报 (自然科学版), 2002, 26(3): 5~11 [Zhu Xiaomin, Wang Guiwen, Xie Qingbin. Characteristics and distribution of depositional systems of Silurian in Tarim Basin. Journal of the Uni-

- versity of Petroleum, China (Edition of Natural Science), 2002, 26 (3): 5~11]
- 13 王少依,张惠良,寿建峰,等. 塔中隆起北斜坡志留系储层特征及控制因素. 成都理工大学学报(自然科学版), 2004, 31(2): 148~152 [Wang Shaoyi, Zhang Huiliang, Shou Jianfeng, *et al* Characteristics and controlling factors of Silurian reservoir in northern slope of central uplift in Tarim Basin. Journal of Chengdu University of Technology (Science & Technology Edition), 2004, 31(2): 148~152]
 - 14 贾承造. 塔里木盆地构造演化与油气. 北京:石油工业出版社, 1997 [Jia Chengzao. Tectonic Evolution and Oil and Gas of Tarim Basin. Beijing: Petroleum Industry Press, 1997]
 - 15 蔡春芳. 塔里木盆地流体-岩石相互作用研究. 北京:地质出版社, 1997 [Cai Chunfang. Study of Interaction between Fluid and Rock in Tarim Basin. Beijing: Geological Publishing House, 1997]
 - 16 吕修祥,胡素云. 塔里木盆地油气藏形成与分布. 北京:石油工业出版社, 1998 [Lu Xiuxiang, Hu Suyun. Formation and Distribution of Hydrocarbon Pools in Tarim Basin. Beijing: Petroleum Industry Press, 1998]
 - 17 Xiao Xianming, Song Zhiguang, Liu Dehan, *et al* The Tazhong hybrid petroleum system, Tarim Basin, China. Marine and Petroleum Geology, 2000, 17: 1~12
 - 18 陈元壮,刘洛夫,陈利新,等. 塔里木盆地塔中、塔北地区志留系古油藏的油气运移. 地球科学—中国地质大学学报, 2004, 29(4): 473~482 [Chen Yuanzhuang, Liu Luofu, Chen Lixin, *et al* Hydrocarbon migration of Silurian paleo-pools in Tazhong and Tabei areas of Tarim Basin. Earth Science-Journal of China University of Geoscience, 2004, 29(4): 473~482]
 - 19 Liu Luofu, Kang Yongshang. Study on secondary migration of hydrocarbons in Tazhong Area of Tarim Basin in terms of carbazole compounds. Chinese Journal of Geochemistry, 1999, 18(2): 97~103
 - 20 吕修祥. 塔里木盆地不整合面石油运移的实验研究. 石油大学学报(自然科学版), 2000, 21(4): 112~114 [Lu Xiuxiang. Experimental study on losing amount of oil migration along the surface of unconformity in Tarim Basin. Journal of the University of Petroleum, China (Edition of natural Science), 2000, 24(4): 112~114]

Controlling Factors on Petroleum Accumulation in Silurian Reservoir in Tazhong Uplift of Tarim Basin

HU Jian-feng^{1,2} LU Xiu-xiang^{1,3} ZHAO Feng-yun^{1,3} CHEN Yuan-zhuang^{1,3}

1(China University of Petroleum, Beijing 102249) 2(Tarim Oilfield Company, PetroChina, Korle, Xinjiang 841000)

3(Key Laboratory for Petroleum Accumulation Mechanism of Petroleum University, Ministry of Education, Beijing 102249)

Abstract The asphalt, movable oil and gas shows are quite abundant in the Silurian reservoir in the Tazhong uplift. Hydrocarbon accumulations of the Silurian are characterized by multiple sources of oil and gas, multiple stages of reservoir formation, multiple types of pools, and multiple occurrences of oil and gas. Vertically, hydrocarbon distributions of the Silurian are controlled by the cap beds. The asphalt and heavy oil of the Silurian are distributed under the red mudstone of the lower member of Tataaiertage Formation, while the movable oils are distributed under the gray mudstone of the second upper sub-member of Kepingtage Formation. Hydrocarbon accumulations of the Silurian are plainly controlled by structural background, paleo-uplift of inherited development determines the migration directions of hydrocarbon, and hydrocarbon of the Tazhong area basically migrated from northwest to southeast. The single sandstone body formed in tide environment is thin and its scale is small. A series of sandstone body were communicated by faults. The Silurian hydrocarbon accumulation of Tazhong area is characterized by no highness in abundance of hydrocarbon accumulation, coincidence of thin layers with large distributive area, and control of several types of traps.

Key words Tazhong Uplift, Silurian, characteristics of hydrocarbon accumulation, controlling factors