

文章编号: 1000-0550(2000)03-0475-05

塔里木盆地志留系沥青砂岩的形成期次及演化^①

刘洛夫¹ 赵建章² 张水昌³ 方家虎⁴ 肖中尧⁵

1 (石油大学 盆地与油藏研究中心 北京 102249)

2 (中国石油天然气集团公司 地球物理勘探局研究院 河北涿州 072751)

3 (中国石油天然气集团公司 勘探开发科学研究院实验中心 北京 100083)

4 (中国矿业大学(北京校区) 北京 100083)

5 (塔里木石油勘探开发指挥部 勘探研究中心 新疆库尔勒 841000)

摘要 从志留纪起,塔里木盆地下古生界烃源岩经历了三期生、排烃。下古生界源岩的生烃期和志留系的圈闭形成期控制了志留系沥青砂岩的形成期次及演化。志留系早期沥青砂岩形成后,经历了后期多次的构造沉积事件和三次烃类注入、混染,改变了志留系古油藏沥青形成时的原始产状。志留系沥青砂岩的三次注入分别是:第一次是晚加里东注入期;第二次是晚海西—印支注入期;第三次是燕山—喜山注入期。志留系砂岩中沥青、稠油或其它油气显示是这三期作用的综合结果。

关键词 塔里木盆地 志留系 沥青砂岩 形成期次及演化 油气成藏

第一作者简介 刘洛夫 男 1958年出生 教授 有机地球化学

中图分类号 P593 **文献标识码** A

塔里木盆地位于我国西北部新疆维吾尔自治区南部,面积56万km²,是一大型的复合型含油气盆地。近年来的勘探实践证明,该盆地蕴藏着丰富的油气资源,天然气的资源量尤为重要。塔里木盆地有一独特的石油地质现象:在志留系下砂岩段广泛分布各种形态各种产状的沥青砂岩,该套沥青砂包括干沥青、软沥青以及稠油。现已查明,志留系砂岩中沥青或油气的源岩是下古生界^[1],因此,下古生界源岩的成烃期次和志留系圈闭的形成期次控制着志留系沥青砂岩的形成期次及演化。志留系早期沥青砂岩形成后,经历了后期多次的地质事件,后期多次烃类注入、混杂,改变了志留系古油藏沥青形成时的原始产状。实际上,现今志留系沥青砂的地球化学参数是多期地质作用的综合结果。由此可见,志留系沥青砂岩的形成期次及演化研究对整个盆地的油气成藏期具有重要研究意义。

1 下古生界源岩的主要生排烃期

塔里木盆地下古生界源岩,一般是指寒武—下奥陶统生油岩和中上奥陶统生油岩,寒武—下奥陶统生油岩主要分布于满加尔凹陷东部,是一套欠补偿的盆地相页岩、泥岩和广海陆棚的灰岩、泥灰岩;中上奥陶统生油岩主要为台地或局限台地边缘相灰岩、泥灰岩。

与塔里木盆地井下志留系沥青砂岩有关的下古生

界的源岩主要分布在满加尔凹陷区。源岩生烃主要取决于埋深及温度。自志留纪沉积开始到第三纪,满加尔凹陷区的下古生界源岩经历了三个深埋—抬升旋回:第一个旋回是随着志留系的沉积,下古生界源岩进一步埋深和温度升高,大量生成油气,随着志留纪末晚加里东运动的抬升和地层剥蚀,下古生代地层温度降低,生烃作用趋于停止;第二个旋回是随着上古生界和三叠系的沉积,下古生界源岩再一次埋深和温度升高,又开始大量生成油气,在三叠纪末到侏罗纪早期的印支运动时,满加尔凹陷再度抬升和遭受剥蚀,下古生代地层的温度降低,生烃作用又趋于停止。由于这两个旋回的沉积都以满加尔凹陷为中心,塔中和塔北为相对隆起区,因此这两期生烃作用强度都以满加尔凹陷为中心;第三个旋回是晚侏罗世—第三纪,随着白垩系、第三系大范围沉积,下古生界源岩再度埋深和温度升高。由于沉积范围大,满加尔凹陷及塔中、塔北地区的下古生界均大量生烃。由于这期沉积是以库车前陆盆地为中心,侏罗系、白垩系和第三系均为北厚南薄,因此这期沉降塔北地区下古生界源岩埋深增加的幅度最大。

需要指出的是,虽然这三期生烃都是笼统指下古生界源岩,但不同时期在层位上和平面上又有所不同。晚加里东期,源岩层位主要是寒武系和下奥陶统的下

① “九五”国家重点科技攻关项目“塔里木盆地石油天然气勘探”(96—111)之子专题“塔里木盆地志留系沥青砂岩成因作为烃源岩的可能性”(子专题编号96—111—01—03—04)的部分成果

部层系,地区主要是加满加尔凹陷东部。晚海西—印支期,源岩层位是寒武系到下奥陶统的上部,以及部分中上奥陶统,地区主要是满加尔凹陷西部。最后一期源岩层是部分寒武系、下奥陶统和中上奥陶统,地区主要是阿瓦提—满加尔过渡带和塔北、塔中地区。

下古生界源岩这三期生烃是上覆志留系砂岩烃类注入的基础,从根本上制约了志留系烃类的注入。

2 志留系砂岩中沥青的形成时期及演化

志留系砂岩有三期烃类注入:第一次是晚加里东注入期,第二次是晚海西—印支注入期,第三次是燕山—喜山注入期。志留系砂岩中沥青、稠油或其它油气显示是这三期作用的综合结果。

2.1 志留系干沥青形成时期

志留系干沥青是第一期油气注入形成了油藏之后,在上古生界沉积前,古油藏抬升至地表或近地表,遭受表生—浅层氧化作用而形成的沥青,这时志留系尚处于早成岩阶段的后期。

(1) 从塔中 37 井和哈 1 井志留系的岩心可以看出,沥青的分布明显受控于钙质斑块,而这些钙质斑块是早成岩阶段的产物。在薄片下,沥青分布在粒状无铁方解石溶蚀孔及粒间孔边缘,或呈全充填状态或分布在石英自生加大颗粒的剩余孔隙中。而与铁方解石(或铁白云石)没有这种产状关系。有些铁白云石晶体

含沥青或沥青呈斑状污染,表明这种沥青形成于早成岩阶段之后,晚成岩阶段之前。从表 1 可以看出,无铁方解石胶结和溶蚀作用发生在成岩作用的准同生期的早成岩期,相当于志留系沉积末期,其深部蒙脱石向伊蒙混层转化,水介质偏碱性,硅酸盐岩矿物溶解,生成部分石英次生加大边。随着油气运移前酸性水进入,溶解作用增强,碳酸盐及硅酸盐矿物大量溶蚀再沉淀,形成斑钙砂岩及石英加大边。铁方解石或铁白云石的胶结—溶蚀作用发生在晚成岩期,相当于石炭—二叠系沉积后,随着油气的再次进入,硅酸盐矿物及碳酸盐胶结物溶解,孔隙水中含有丰富的 Fe^{2+} 、 Al^{3+} 、 S^{2-} 离子,于是黄铁矿、含铁方解石析出,并可见自形铁白云石析出。

(2) 志留系沥青砂岩分布与物性及盖层关系明显,也说明古油藏形成时,志留系砂泥岩已经过一定的成岩作用。

(3) 塔里木盆地泥盆系克兹尔塔格组是一套以砂岩为主的地层,并以角度不整合在志留系上。截止到目前,在所有钻遇泥盆系的井中,均未发现沥青。哈 1 井在志留系为大套沥青砂岩(哈 1 井纯沥青砂岩为 150 余米),而上覆层泥盆系一点沥青也没有,沥青砂岩分布只能解释为志留系沥青砂岩形成于泥盆系沉积之前。

2.2 塔中志留系稠油(重质油或软沥青)形成时期

塔中志留系稠油(重质油或软沥青)主要是第二期

表 1 塔中北部斜坡志留系成岩作用对储集性能的影响(据杨海军^①,略有修改)

Table 1 Effect of diagenesis of the Silurian on reservoir property in the northern slope of Tazhong Tarim basin

成岩作用	成岩阶段				
	准同生期	早成岩期	晚成岩期	建设性	破坏性
机械压实	✓	✓	✓		▲
粘土薄膜	✓	✓		○	
无铁方解石胶结	✓	✓		○	●
铁方解石胶结			✓		●
铁白云石胶结		✓	✓		●
石英次生加大		✓	✓		▲
无铁方解石溶解			✓	●	
铁白云石溶解		✓	✓	○	
硅酸盐溶解		✓	✓	○	
伊利石、高岭石		✓	✓		▲
黄铁矿析出			✓		○

● 影响大 ▲影响较大 ○有影响

① 杨海军 塔里木盆地塔中北斜坡志留系综合评价 塔里木石油勘探开发指挥部勘探研究中心 1995

油气注入时, 志留系储层对油气分异和对早期沥青溶解的结果, 它和上覆东河砂岩中油气藏形成同期。

(1) 油质沥青与胶质—沥青质沥青共存是两期注入的必然结果

偏光显微镜下对塔中地区沥青砂岩薄片观察, 发现沥青以油质沥青和胶质—沥青质沥青两种形式共存。同一样品中, 两者呈彼此消长关系。在胶质—沥青质沥青含量高的部位, 油质沥青含量相对较低, 而在油质沥青含量高的部位, 胶质—沥青质沥青含量相对较低。在油质沥青与胶质—沥青质沥青共存处, 胶质—沥青质占据孔隙空间的主体部位, 油质沥青则主要分布在胶质—沥青质沥青的周围或粒间、粒内微裂隙中。这表明该砂岩储集空间中至少有两期烃类注入, 早期以胶质—沥青质沥青为代表, 晚期以油质沥青为代表。

(2) 第二期油气注入对早期沥青的影响程度具有明显的差异性

塔中 10 井与塔中 11 井、塔中 33 井与塔中 31 井是两个典型例子。塔中 10 井和塔中 11 井在晚加里东期为同一古油藏, 后因抬升至地表或浅层而遭受破坏。由于塔中 11 井位于构造高部位, 地层剥蚀量大, 因此古油层破坏强度本应比塔中 10 井强, 沥青砂岩的饱和烃含量应较低。但事实正相反, 塔中 11 井沥青砂岩的饱和烃反比塔中 10 井沥青砂岩的含量高。塔中 10 井沥青砂岩总烃含量均小于 40%, 其中饱和烃含量不足 20%, 而塔中 11 井总烃含量高, 饱和烃含量普遍大于 40%, 这是因为塔中 11 井从海西—印支期至今一直处于构造高部位, 第二次油气注入程度高而造成的, 这同时也说明了第二次油气注入对早期沥青砂岩有影响。塔中 31 井和塔中 33 井是另一个例子, 塔中 31 井志留

系沥青砂岩 4 个样品总烃含量平均为 71.92%, 饱和烃为 60.47%; 而塔中 33 井志留系沥青砂岩 3 个样品总烃含量平均为 58.22%, 饱和烃为 47.55%, 这可能是塔中 31 井距塔中 I 号断层(油源断层)近, 第二次油气注入强烈, 而塔中 33 井距塔中 I 号断层远, 第二次油气注入弱而引起的差异, 这也说明了第二次油气注入对志留系早期沥青砂岩有影响。

(3) 塔中志留系沥青砂岩的轻烃特征与上覆东河砂岩中正常原油轻烃特征的相似性, 表明了它们在注入时间上的一致性。

A Mango 1990 年统计了世界各地 2000 多个原油样品中的 K 值(2-甲基已烷+2, 3-二甲基戊烷/3-甲基已烷+2, 4-二甲基戊烷), 发现它们表现出惊人的不变性, 即同源同期注入的原油的 K 值是不变的^[2]。通过对塔中北坡东河砂岩、志留系沥青砂岩和奥陶系灰岩原油的 K 值分析(表 2), 可以看出, 同一井中东河砂岩原油的 K 值和志留系沥青砂岩原油的 K 值极为相似, 不同井间各层位的 K 值也基本相同, 反映了它们为同源同期注入的结果。这也说明了志留系沥青砂岩中的稠油、重质油或其它正常原油, 和上覆东河砂岩中的原油一样, 都是第二期油气注入的结果。

B 同一口井中东河砂岩、志留系沥青砂岩和奥陶系灰岩的原油中庚烷值的一致性, 也反映了这些原油为同源同期。这当然也同时反映了第二期油气注入时对沥青砂岩的再次注入。表 2 给出了塔中北斜坡各井原油庚烷值的分布特征。从表中可以清楚地看到, 同一口井不同地质层位原油的庚烷值是一致的。

塔北的哈 1 井区、跃南 1 井区和羊屋 2 井区, 由于在晚海西—印支期处于区域构造的低部位, 因此第二期烃类注入的影响不明显。

表 2 塔中北斜坡各井原油 K 值和庚烷值分布(据张敏等^①)

Table 2 Light hydrocarbon parameters (K and H values) of oils from wells in the northern slope of Tazhong Tarim basin

		塔中 35 井	塔中 10 井	塔中 11 井	塔中 12 井	塔中 30 井	塔中 16 井	塔中 161 井	塔中 24 井
K 值	东河砂岩	1.10	1.13				1.13	1.13	1.13
	志留系沥青砂	1.10	1.14	1.13	1.15		1.10	0.93	
	奥陶系灰岩				1.10	1.11	1.10		1.13
H 值	东河砂岩	34.23	37.64				38.53	38.26	41.18
	志留系沥青砂	34.14	27.84	35.67	35.62		38.15	39.68	
	奥陶系灰岩				36.10	36.75	37.29		43.59

① 张敏 梅博文, 张俊. 塔中北斜坡运移地球化学研究. “九五”国家重点科技攻关二级专题“塔里木盆地运移地球化学”(编号: 96-111-01 03 06)成果 江汉石油学院 1997

2.3 后期烃类注入对志留系沥青砂的影响

第三期烃类注入对志留系沥青砂岩的影响主要是发生“蒸发分馏”作用,使正常原油变稠,稠油变为软沥青。

表 3 塔中 11 井志留系沥青砂和油砂
油气包裹体分布及均一温度

Table 3 Oil inclusion distribution and homogenization temperature of the Silurian asphalt sands and oil sands in TZ11 well of Tarim basin

井深/m	油气包裹体分布	油气包裹体均一温度/℃
4314	未见油气包裹体	
4409.4	未见油气包裹体	
4419.2	有油气包裹体	62, 64, 65, 63, 5
4423.7	有油气包裹体	72, 74, 103
4428.6	有油气包裹体	62, 66, 68
4433	有油气包裹体	125, 135, 155, 188, > 200
4447.5	有油气包裹体	67, 69, 155, > 150
4461.8	未见油气包裹体	

青,软沥青变为干沥青

在燕山—喜山期,下古生界源岩再度埋藏,地层温度升高,使下古生界源岩再度大量生烃。这时候生成的油气,由于成熟度高,主要为轻质石蜡烃。这种轻烃类对志留系沥青砂岩进行第三期注入,形成一些蒸发分馏沥青,如塔中 11 井在 4 301 ~ 4 307 m 轻质油与干沥青共存。这种作用一般比较局限,但在上覆层东河砂岩油藏中十分明显,如塔中 101 ~ 16 井的凝析油气

藏。

志留系沥青砂岩有机包裹体均一化温度分析也表明,志留系沥青砂岩三期烃类注入的综合结果。

通过对塔中北坡塔中 11 井 4 417 ~ 4 463 m 井段的沥青砂岩有机包裹体分析(表 3)发现,这些沥青砂岩和油砂含有丰富的有机包裹体,包裹体均一化温度为三组:第一组为 62 °C ~ 74 °C,平均为 66.59 °C。假设塔中地区古地表温度为 15 °C,平均古地温梯度为 3 °C/100 m,那么第二期油气运移时储层所处的深度应为 1 566 ~ 1 966 m,相当于二叠纪—三叠纪末时志留系下砂岩段的埋深,这时烃类运移以正常原油为主。第二组均一化温度集中分布于 100 °C ~ 135 °C 之间,相当于志留系下砂岩段现今的地层温度,代表了第三期油气运移,这时的烃类以轻质油为主。第三组温度大于 150 °C,这实质上为非均一化温度。需要指出的是,志留纪末期的第一期烃类注入,由于埋藏浅,没有形成有机包裹体。通过上述均一化温度分析,也可知志留系沥青砂岩有三期烃类注入。

参 考 文 献

- 1 Liu Luofu. Distribution and significance of carbazole compounds in Palaeozoic Oils from the Tazhong Uplift, Tarim[J]. Acta Geologica Sinica(English Edition), 1998, 72, (1): 87 ~ 93
- 2 Mango F. The origin of light hydrocarbon in petroleum; a kinetic test of the steady state catalytic hypothesis[J]. Geochim. Cosmochim. Acta 1990, 58: 895 ~ 901

Hydrocarbon Filling Ages and Evolution of the Silurian Asphalt Sandstones in Tarim Basin

LIU Luo-fu¹ ZHAO Jian-zhang² ZHANG Shui-chang³
FANG Jia-hu⁴ XIAO Zhong-yao⁵

1 (University of Petroleum, Changping Beijing 102249)

2 (Research Institute of the Bureau of Geophysical Prospecting the CNPC, Zhuozhou Hebei 072751)

3 (The Research Institute for Petroleum Exploration and Development the CNPC Beijing 100083)

4 (China University of Mining Technology, Beijing 100083)

5 (The Institute of Petroleum Exploration and Development, Korla Xinjiang 841000)

Abstract

From the Silurian period, there have been three times of hydrocarbon generation and expulsion for the lower Paleozoic source rocks in Tarim basin, and the hydrocarbon generation ages of the lower Paleozoic and the trap formation ages of the Silurian together controlled the filling ages and evolution of the Silurian asphalt sandstones. After being formed in early of the Silurian, the Silurian asphalt sandstones underwent several sedimentary and tectonic events and three times of hydrocarbon filling and mixing and these made the original distribution and occurrence

of asphalt in the Silurian paleo-oil reservoirs complicated. The three times of hydrocarbon filling to the Silurian asphalt sandstones are as follows: the first time of filling took place in the late Caledonian, the second from the late Hercynian to Indosinian, and the third from the Yanshanian to Himalayan. Therefore, the mixture of asphalt, heavy oil, and normal oil and gas shows that the Silurian asphalt sandstones are the result of the three times of hydrocarbon filling.

Key words Tarim basin Silurian asphalt sandstone filling age evolution hydrocarbon accumulation

(Continued from page 468)

Quantitative Study on Sealing Ability of Ultra-Pressure Caprock

LU Yan-fang FU Guang ZHANG Fa-qiang FU Xiao-fei WANG Xing-tao

(Exploration Department of Daqing Petroleum Institute Anda 151400)

Abstract

According to theory of low-velocity seepage and the true information of ultra-pressure caprock of the first section in Nenjiang group in Songliao Basin, the essence factor forming ultra-pressure in caprock is discussed in this paper, it is adsorption resistance of capillary for water in caprock. It has been confirmed that the sealing ability of the ultra-pressure of caprock is equal to twice as much as ultra-pressure value of fluid in the pore of caprock, the total sealing ability of ultra-pressure caprock is equal to the sum of displacement pressure and twice ultra-pressure value of caprock. The forming time of ultra-pressure caprock, effectiveness of ultra-pressure caprock for sealing hydrocarbon and evaluating method are researched, and take the regional caprock of the first section in Nenjiang group to the east of Daqing placantiline in Songliao Basin as example, the effectiveness that the ultra-pressure caprock seals the oil and gas coming from the source rock of Qingshankou group is studied, the significance of ultra-pressure caprock for to protect hydrocarbons is generally discussed.

Key words caprock seal displacement pressure adsorption resistance ultra-pressure caprock