

塔中西北部奥陶系储层沥青特征及成因探讨

马中远, 张黎, 朱秀香, 黄苇
(中国石化西北油田分公司勘探开发研究院)

摘要 通过岩心、薄片等资料的研究表明,塔里木盆地塔中卡塔克1区块—顺西区块奥陶系储层中的沥青主要分布于孔隙(粒内、粒间、晶间、晶内)和裂隙中,其次分布于缝合线中。根据沥青的荧光颜色,可将其分为油质沥青、胶质沥青、沥青质沥青和碳质沥青等四种类型,其中油质沥青和碳质沥青分布最为普遍。储层沥青的形成期次可大致区分出早期不发荧光和晚期发荧光两期,两期之间的切割或包裹关系较为明显。沥青反射率高的碳质沥青可能是早期沥青历经长期热演化或遭受热事件的产物,沥青反射率低的发荧光沥青可能是晚期油气充注后的产物。

关键词 塔里木盆地; 奥陶系; 碳酸盐岩储层; 沥青反射率; 镜质组反射率; 沥青成因

中图分类号: TE135.6

文献标识码: A

1 地质背景

塔里木盆地中央隆起区(塔中)奥陶系碳酸盐岩一直是该区重点勘探层系之一,其中,上奥陶统良里塔格组(O_3l)和中下奥陶统鹰山组(O_{1-2ys})勘探成果丰硕^[1-4]。中石化塔中探区在卡塔克1区块的中1井、中12CX井和顺托果勒西区块的顺7井、顺西1井均获得了工业油气流的突破(图1)。然而针对中1—中12CX井区部署的评价井多见高产水层,顺7井和顺西1井测试过程后期也见水,这表明该区油气水矛盾突出,恢复油气成藏过程难度大,因此利用油气水之外的信息来辅助油气成藏过程的重建是十分必要的。

值得引起关注的是,塔中西北部地区奥陶系碳酸盐岩储层中沥青十分发育。沥青是记录油气成藏过程的重要物质。本文旨在利用岩心、薄片等资料,对卡塔克1区块和顺托果勒西区块奥陶系碳酸盐岩储层沥青的赋存状态、组分、沥青反射率、形成期次等基本特征进行分析,探讨沥青成因,为该区油气成藏过程的研究以及下步的勘探部署提供参考信息。

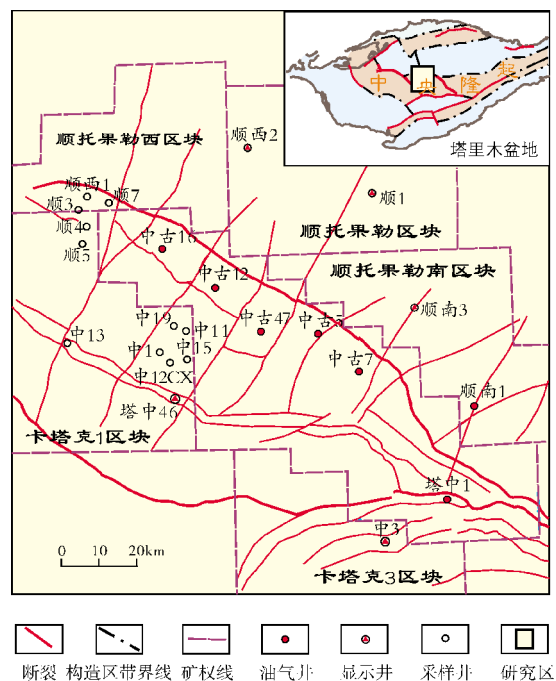


图1 研究区位置及井位图

收稿日期: 2014-04-08; 改回日期: 2014-06-25

本文受国家科技重大专项专题“塔里木盆地中央隆起区海相碳酸盐岩层系油气成藏主控因素与勘探突破目标评价”(编号: 2011ZX05005-004)资助

马中远: 1986年生, 工程师。2011年中国石油大学(北京)毕业, 获硕士学位。现从事石油地质综合研究。通讯地址: 830011 新疆乌鲁木齐市长春南路466号; E-mail: 357957993@qq.com

2 储层沥青发育特征

2.1 沥青纵横向分布特征

从塔中西北部的卡塔克1区块—顺托果勒西区块(顺西区块)奥陶系10余口井的岩心观察来看,储层沥青分布较为广泛,上奥陶统良里塔格组和中下奥陶统鹰山组均有分布,且与主力产层有一定关联。顺西区块的良里塔格组储层发育,油气显示丰富,并可见大量沥青的存在,卡塔克1区块的鹰山组也存在类似的分布特征。从平面分布来看,在卡塔克1区块—顺西区块,口口钻井在奥陶系见到沥青;在顺西区块的顺西1井—顺7井一带,不同类型沥青的分布最为普遍;在卡塔克1区块的中1井—中12CX井井区、中19井—中11井井区,不同荧光颜色或不同沥青反射率的沥青也较为丰富。总体分析来看,沥青的分布与油气相对富集区有一定的对应关系,即沥青的相对富集区往往位于油气显示活跃区。但值得注意的是,由于取心段一般位于主要目的层或油气显示段,

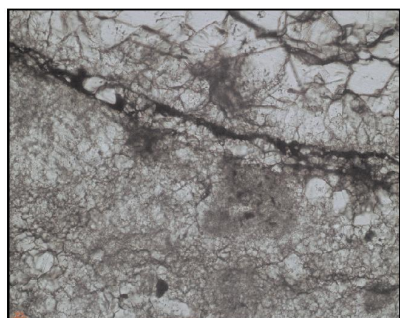
而且钻井分布也不均匀,受这些因素的影响,上述沥青纵横向分布特征的认识也可能存在着局限性。

2.2 沥青赋存状态

卡塔克1区块—顺西区块奥陶系储层中沥青赋存状态多样。储层沥青主要分布于孔隙(包括粒内、粒间、晶间、晶内)和裂隙之中,缝合线中也有见到,常见沥青以充填状、浸染状的形式出现。顺西区块的顺3井在裂缝(图2a,2b)和孔隙(图2c)中均可见到沥青充填,透射光下沥青为褐黑色,荧光下为黑色,不发光;卡塔克1区块的中15井在良里塔格组含生物碎屑、藻屑泥晶灰岩中均可观察到大量沥青的存在,方解石晶间孔及裂隙中检测到大量黑褐色沥青,荧光下不发光(图2d—2f)。

2.3 沥青荧光特征

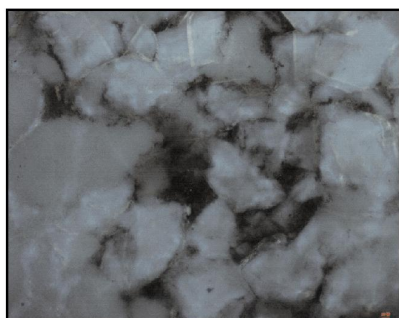
利用荧光薄片中心沥青的荧光颜色信息可判别沥青有机组分基本特征^[5-6]。因此根据在荧光显微镜下的发光颜色,把储层沥青大致区分为油质沥



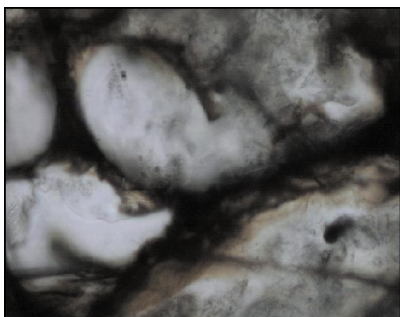
(a) 沥青充填裂缝之中。顺3井6441.47m, 上奥陶统良里塔格组。透射光, $\times 20$



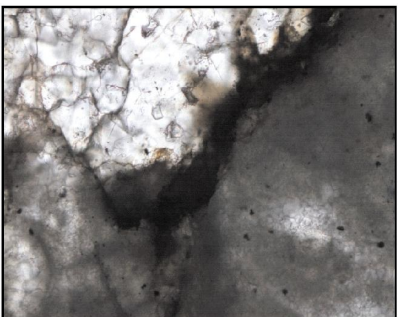
(b) 沥青充填裂缝之中。顺3井6441.47m, 上奥陶统良里塔格组。荧光, $\times 20$



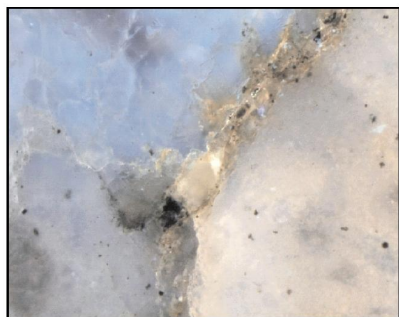
(c) 黑褐色沥青充填孔隙之中。顺3井6932.31m, 中下奥陶统鹰山组。荧光, $\times 10$



(d) 方解石晶间孔及裂隙中检测到大量黑褐色沥青。中15井5156.62m, 上奥陶统良里塔格组。透射光, $\times 50$



(e) 方解石晶间孔及裂隙中检测到大量黑褐色沥青。中15井5444.38m, 上奥陶统良里塔格组。透射光, $\times 60$



(f) 方解石晶间孔及裂隙中检测到大量黑褐色沥青。中15井5444.38m, 上奥陶统良里塔格组。荧光, $\times 60$

图2 塔中西北部奥陶系储层中沥青的赋存状态

青、胶质沥青、沥青质沥青和碳质沥青等四种类型,其中以油质沥青和碳质沥青最为普遍,其次为胶质沥青和沥青质沥青。油质沥青以发黄色、暗黄色光为主,发光强度为中暗,少量发绿色、暗绿色光,发光强

度不等(图3a,3b);胶质沥青以橙色、棕橙色为主,发光强度中等(图3c,3d);沥青质沥青以褐色、棕褐色、橙棕色为主,发光强度弱(图3e);碳质沥青不发光(图3f)。

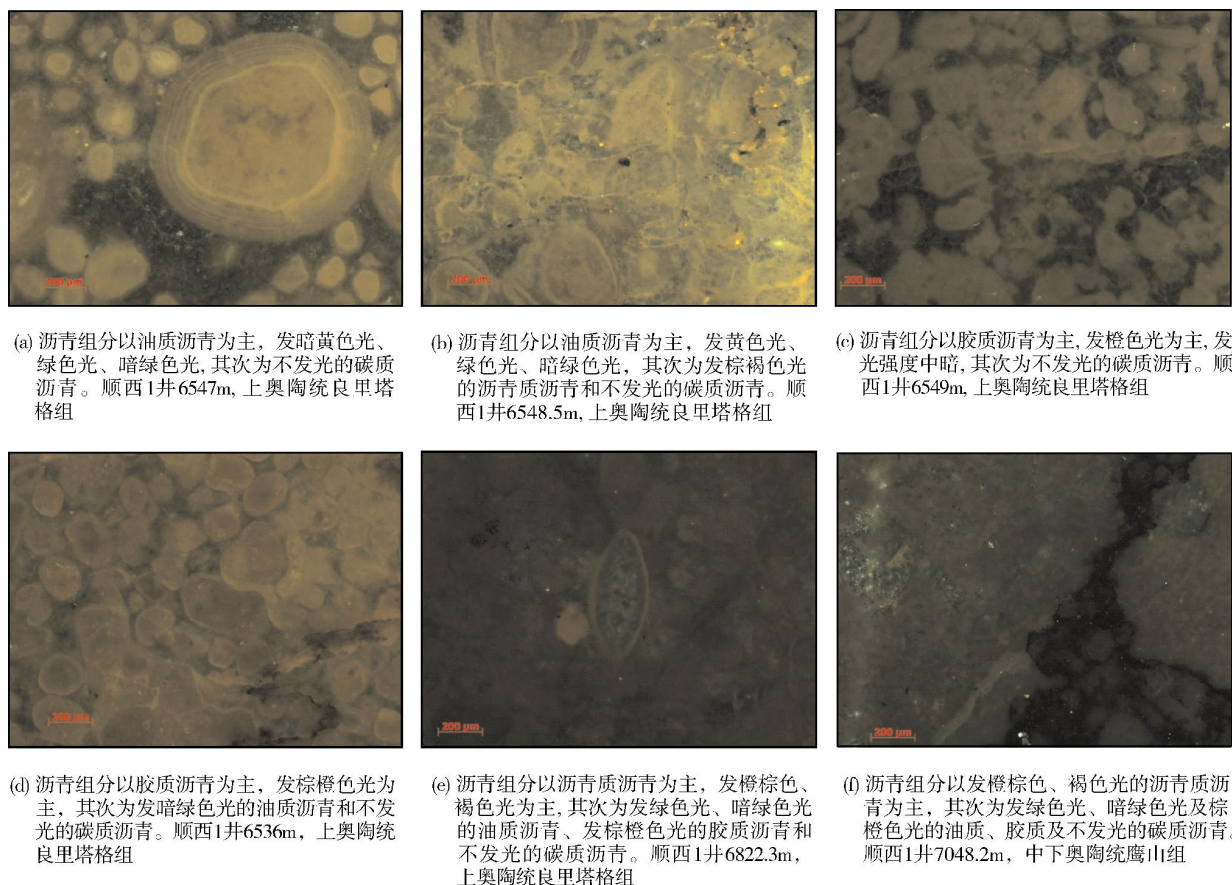


图3 塔中西北部奥陶系储层沥青的四种类型及其荧光特征

2.4 沥青形成期次

本次选取10余口典型井对奥陶系储层沥青在裂缝及孔隙中的充填或浸染产状的切割、包裹关系来进行形成先后次序的初步确定,再依据沥青的荧光颜色和沥青反射率的测定来判定沥青形成期次。

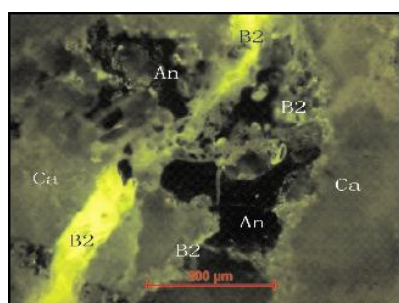
从荧光薄片的观察来看,发荧光的沥青脉切割不发荧光的碳质沥青脉的现象比较明显,顺7井裂隙及孔隙中充填早期碳质沥青,晚期沥青脉切割早期碳质沥青,晚期沥青无论脉状或粒状,均具强荧光(图4a);顺7井不规则裂隙中充填深黑色碳质沥青,无荧光显示,碳质沥青脉中心部分见平行延伸的微裂隙,其中充填晚期沥青;微裂隙和孔隙壁上也见晚

期沥青充填(图4b);中15井鹰山组白云石化细晶—泥晶灰岩孔洞中充填两期沥青,早期充填的碳质沥青破碎,晚期沥青为黄绿色强荧光显示,切穿及包裹早期碳质沥青(图4c),两期沥青形成先后次序明显。

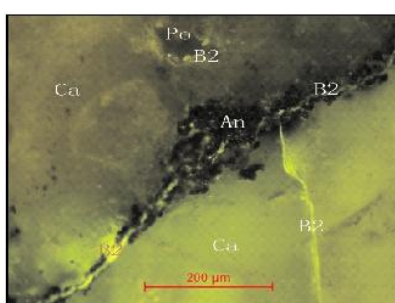
荧光薄片可观察到一类孤立存在的不发荧光的碳质沥青,如:顺7井泥晶—微晶灰岩裂隙中充填方解石脉和碳质沥青脉,脉体中碳质沥青完全无荧光显示(图4d);中11井白云石化亮晶砂屑灰岩中白云石斑晶零散分布于细晶方解石之间,裂隙中充填碳质沥青,无荧光显示(图4e)。另一类为孤立存在的发荧光的沥青,如:中15井裂隙中充填显示亮黄色强荧光的晚期沥青脉(图4f,4g);中19井白云石晶体孔洞中充填发荧光沥青,沥青中见气孔(图4h);中

11 井裂缝中见发黄绿色强荧光沥青, 切割白云石晶体, 边界清晰(图 4i)。尽管孤立存在的沥青难以从切割关系上判断其先后形成次序, 但从沥青反射率来看, 不发荧光的沥青至少应不晚于发荧光沥青的形成期。

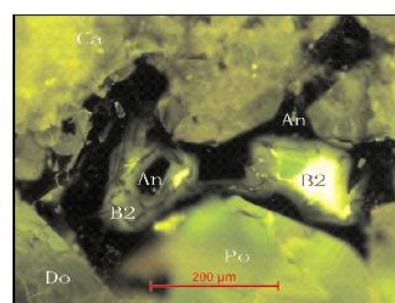
综合分析来看, 发荧光的沥青脉往往切割不发荧光的沥青脉; 从沥青反射率的测定数据来看(表 1), 发荧光沥青的沥青反射率值一般低于不发荧光沥青的沥青反射率值。这两者均表明发荧光沥青的形成期应晚于不发荧光沥青的形成期。



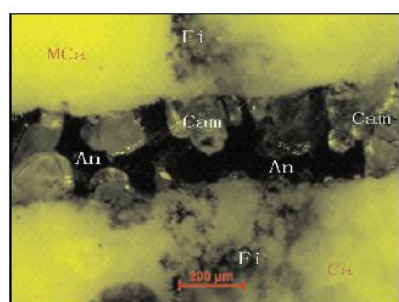
(a) 裂隙及孔洞中早期充填碳质沥青, 无荧光, $R_{B2}=1.018\%$; 晚期沥青脉切割早期碳质沥青, 具强荧光, $R_{An}=0.181\%$ 。顺 7 井 6872.6m, 中下奥陶统鹰山组



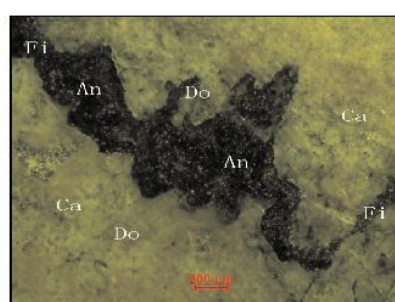
(b) 不规则裂隙中充填深黑色碳质沥青, 碳质沥青脉中心部分见平行延伸的微裂隙, 其中充填晚期沥青; 微裂隙和孔洞壁上也见晚期沥青充填。顺 7 井 6878.8m, 中下奥陶统鹰山组



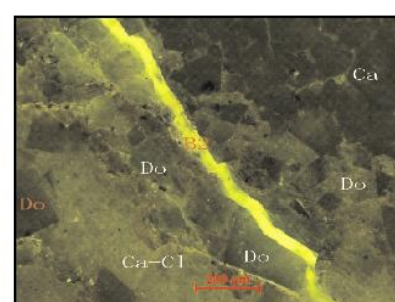
(c) 孔洞中充填两期沥青, 早期充填的碳质沥青破碎, $R_{B2}=0.917\%$; 晚期沥青为黄绿色强荧光, 切穿及包裹早期碳质沥青, $R_{An}=0.196\%$ 。中 15 井 5571.15m, 中下奥陶统鹰山组



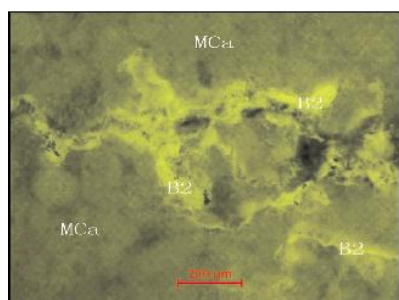
(d) 裂隙中充填方解石脉和碳质沥青脉, 脉体中碳质沥青无荧光显示, $R_{B2}=0.851\%$; 垂向裂隙形成更早, 未充填碳质沥青。顺 7 井 6603.8m, 上奥陶统良里塔格组



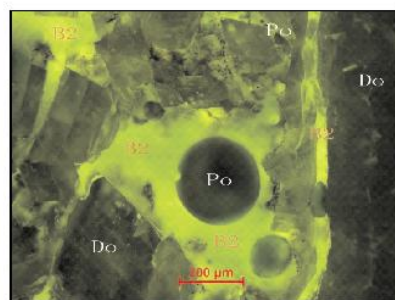
(e) 裂隙中充填碳质沥青, $R_{An}=1.293\%$ 。中 11 井 5641.0m, 中下奥陶统鹰山组



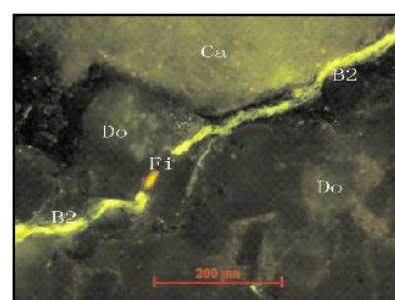
(f) 裂隙中充填晚期沥青脉, 显示亮黄色强荧光, 脉体切割白云石晶体, $R_{B2}=0.199\%$ 。中 15 井 5578.51m, 中下奥陶统鹰山组



(g) 方解石脉中充填晚期沥青, 形态不规则, 但荧光显著, $R_{B2}=0.196\%$ 。中 15 井 5480.27m, 中下奥陶统鹰山组



(h) 脉体中白云石晶体孔洞中充填晚期沥青, 沥青中见气孔; 白云石裂缝和晶间孔、溶孔中也充填晚期沥青, $R_{B2}=0.203\%$ 。中 19 井 5532.82m, 中下奥陶统鹰山组



(i) 裂缝中见晚期发黄绿色强荧光沥青, 切割白云石晶体, 边界清晰。中 11 井 5636.8m, 中下奥陶统鹰山组

图 4 塔中西北部奥陶系储层沥青形成期次的荧光显微特征

R_{B1} 早期沥青反射率; R_{B2} 晚期沥青反射率; Ca 方解石; Cam 方解石脉; MCa 泥晶方解石; Do 白云石; An 碳质沥青; B2 晚期沥青脉; Fi 微裂隙; Po 孔洞或气孔

表 1 塔中西北部奥陶系储层沥青反射率测定表

井号	井深 (m)	层位	早期沥青				晚期沥青			
			R_{b1} (%)	测点数	标准误差	R_{o1}^* (%)	R_{b2} (%)	测点数	标准误差	R_{o2}^* (%)
顺 7	6530.9	良里塔格组	—	—	—	—	0.184	10	0.011	0.51
	6598.2	良里塔格组	—	—	—	—	0.182	10	0.013	0.51
	6600.0	良里塔格组	—	—	—	—	0.184	10	0.009	0.51
	6603.8	良里塔格组	0.784	23	0.083	0.88	0.178	10	0.025	0.51
	6604.3	良里塔格组	0.830	28	0.064	0.91	0.148	10	0.024	0.49
	6844.2	鹰山组	—	—	—	—	0.185	10	0.006	0.51
	6872.6	鹰山组	1.018	28	0.023	1.03	0.181	10	0.018	0.51
	6875.3	鹰山组	—	—	—	—	0.186	10	0.013	0.51
	6878.8	鹰山组	0.970	40	0.059	1.00	0.178	10	0.019	0.51
	6881.6	鹰山组	—	—	—	—	0.186	10	0.012	0.51
中 15	5480.3	鹰山组	1.093	13	0.053	1.08	0.196	10	0.018	0.52
	5566.7	鹰山组	—	—	—	—	0.192	10	0.013	0.52
	5570.5	鹰山组	1.080	13	0.111	1.07	0.196	10	0.016	0.52
	5571.2	鹰山组	0.917	29	0.162	0.97	0.196	10	0.016	0.52
	5574.2	鹰山组	1.022	10	0.026	1.03	0.190	10	0.016	0.52
	5574.6	鹰山组	0.829	13	0.083	0.91	0.177	10	0.012	0.51
	5578.5	鹰山组	0.915	20	0.061	0.97	0.199	10	0.013	0.52
中 19	5532.8	鹰山组	2.168	10	0.049	1.74	0.203	10	0.009	0.53
	5613.7	鹰山组	2.210	21	0.044	1.77	0.201	10	0.013	0.52
中 11	5636.8	鹰山组	1.219	13	0.038	1.15	0.192	10	0.015	0.52
	5641.0	鹰山组	1.293	36	0.066	1.20	0.182	10	0.019	0.51

* 换算公式: $R_o = 0.618R_b + 0.4$ 。其中: R_o ——镜质组反射率; R_b ——沥青反射率

3 沥青成因探讨

沥青主要是由油气运移或油气藏破坏所形成的^[7-9],其中,氧化作用、生物降解作用和水洗作用是常见的成因类型;沥青是一种记录油气成藏过程的关键物质信息,因此,沥青成因是与具体地质条件下的油气成藏过程相匹配的。针对塔中而言,奥陶系油气藏大致经历了三期主要的成藏过程,即加里东晚期—海西早期、海西晚期和喜马拉雅期^[1-2,10-11]。加里东晚期—海西早期是塔中地区大规模油气成藏期,但是由于该时期剧烈的构造活动使得大量油气藏遭受破坏而未能保存下来,这在塔中地区广泛发育志留系沥青砂岩得以证实;海西晚期为奥陶系油气藏主要的形成时期之一,大量成熟油气充注成藏;喜马拉雅期为大量高成熟凝析油气充注成藏期,也是奥陶系油气藏主要的成藏期之一。此外,塔中地区发生了多次区域热事件,特别是早二叠世晚期发生了大规模的火山活动^[12-13],造成的热异常对古油气

藏的破坏也可形成沥青。

本文仅从沥青热演化程度的角度来进行探讨。从卡塔克1区块—顺西区块奥陶系储层沥青反射率测定数据(表1)来看,早期碳质沥青和晚期发荧光沥青的差别是显而易见的。通过沥青反射率和镜质组反射率的换算可知,晚期沥青换算的 R_{o2} 介于0.49%~0.53%,处于低熟—成熟热演化阶段;早期沥青 R_{o1} 介于0.88%~1.77%,均值为1.12%,分布范围宽,处于成熟—高成熟热演化阶段。结合区域地质特征,进一步分析认为早期碳质沥青可能存在两种成因,一是在加里东晚期—海西早期和海西晚期,由于剧烈构造活动,使得古油藏原油经历了运移、调整和破坏过程,形成的低演化程度沥青充填或浸染在储层之中,再历经长期埋藏增温(现今研究区内奥陶系良里塔格组和鹰山组的地层温度大致在120~160℃之间),从而使早期低演化程度沥青演化为现今高演化程度的沥青。另一种成因可能是由于研究区内火山岩较为发育,尤其是早二叠世晚期的强烈火山活动引起的区

域热事件,对早期油气藏的严重破坏,可形成高演化程度的碳质沥青或焦沥青^[14]。对于晚期低沥青反射率的发荧光沥青(图 4g)往往大面积分布,这可能是喜马拉雅期大量凝析油气充注后的产物,这与塔中地区奥陶系油气主要成藏期^[10-11]也具有 consistency。

4 结 论

(1)塔中卡塔克 1 区块—顺托果勒西区块奥陶系储层沥青主要分布于孔隙(粒内、粒间、晶间、晶内)和裂隙之中,其次分布于缝合线中;根据沥青的荧光颜色可将其分为油质沥青、胶质沥青、沥青质沥青和碳质沥青等四种类型,其中油质沥青和碳质沥青分布最为普遍,其次为胶质沥青和沥青质沥青。

(2)研究区内奥陶系储层沥青可大致区分为早期不发荧光和晚期发荧光两期,后者切割或包裹前者的关系较为明显,其中,高沥青反射率的碳质沥青可能是早期沥青历经长期热演化或遭受热事件的产物,低沥青反射率的发荧光沥青可能是晚期油气充注后的产物。

参 考 文 献

- [1] 吴茂炳,王新民,陈启林,等. 塔中地区油气勘探成果及勘探方向[J]. 新疆石油地质, 2002, 23(2): 95-97.
- [2] 赵宗举,贾承造,周新源,等. 塔里木盆地塔中地区奥陶系油气成藏主控因素及勘探选区[J]. 中国石油勘探, 2006, 11(4): 6-15.
- [3] 马中远,黄苇,蒋海军,等. 塔中西北部奥陶系异常压力成因及地质意义[J]. 西安石油大学学报:自然科学版, 2013, 28(2): 30-34.
- [4] 李慧莉,钱一雄,沙旭光,等. 塔里木盆地卡塔克隆起西北倾没端良里塔格组碳酸盐岩储层发育特征与影响因素[J]. 石油与天然气地质, 2010, 31(1): 69-75.
- [5] 孙龙德,李曰俊,江同文,等. 塔里木盆地塔中低凸起: 一个典型的复式油气聚集区[J]. 地质科学, 2007, 42(3): 602-620.
- [6] 唐友军,王铁冠,钱一雄. 卡塔克隆起中 1 井储层沥青地球化学特征与成因[J]. 沉积学报, 2007, 25(4): 640-645.
- [7] 刘洛夫,赵建章,张水昌,等. 塔里木盆地志留系沥青砂岩的成因类型及特征[J]. 石油学报, 2000, 21(6): 12-17.
- [8] 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[J]. 现代地质, 1999, 13(2): 169-175.
- [9] 马安来,张水昌,张大江,等. 塔里木盆地塔东 2 井稠油地球化学研究[J]. 地质科技情报, 2004, 23(4): 59-63.
- [10] 张鼎,赵瑞华,张蒂嘉,等. 塔中 I 号带奥陶系烃包裹体荧光特征与成藏期[J]. 石油与天然气地质, 2010, 31(1): 63-68, 75.
- [11] 周新源,王招明,杨海军,等. 塔中奥陶系大型凝析气田的勘探与发现[J]. 海相油气地质, 2006, 11(1): 45-51.
- [12] 罗凤芝. 塔里木盆地塔中地区火成岩特征及预测技术研究[D]. 中国地质大学(北京), 2006, 28-29.
- [13] 袁衡,张新艳,彭鑫岭. 塔里木盆地塔中地区火成岩对油气勘探的影响[J]. 断块油气田, 2003, 10(1): 5-8.
- [14] 马中远,任丽丹,黄苇,等. 塔里木盆地塔中地区火成岩的基本特征[J]. 特种油气藏, 2013, 20(3): 64-67.

编辑:黄革萍

Characteristics and Genesis of Bitumen in Ordovician Reservoirs in Central Tarim Basin

Ma Zhongyuan, Zhang Li, Zhu Xiuxiang, Huang Wei

Abstract: It is known that an amount of bitumen is distributed in Ordovician reservoirs in the northwest of central Tarim Basin. The analysis of the drilling cores and thin-sections from Katake-1 area to Shunxi area shows that the reservoir bitumen commonly exists within various pores (such as intragranular, intergranular, intracrystal and intercrystal pores) and fissures, as well as sutures. According to the fluorescent color, the reservoir bitumen can be divided into 4 kinds, oily bitumen, gel-bitumen, residual bituminous bitumen and carbonaceous bitumen, in which the oily bitumen and carbonaceous bitumen are common. The Ordovician bitumen probably formed during two periods, the early-forming one without fluorescence and the late-forming one with fluorescence, depended on the evident cross-cutting or packing between the two periods. It is believed that the carbonaceous bitumen with high R_b values probably is the product that derives from the early-forming bitumen that suffered from long term thermal evolution, and the fluorescent carbonaceous bitumen with low R_b values probably is the late product after hydrocarbon charging in the reservoir.

Key words: Tarim Basin; Ordovician; Carbonate reservoir; Reservoir bitumen; Bitumen genesis; Bitumen reflectance
Ma Zhongyuan: male, Petroleum Geology Engineer. Add: Research Institute of Petroleum Exploration & Development of SINOPEC Northwest Branch Company, 466 Changchun Nan Rd., Urumqi, Xinjiang, 830011, China