莫索湾地区侏罗系油气成藏主控因素分析 *

吴 孔 友
（中国石油大学·华东）

吴孔友.莫索湾地区侏罗系油气成藏主控因素分析.天然气工业,2007,27(3):36-39.

摘　要　准噶尔盆地腹部莫索湾地区具有良好的油气成藏条件,目前已在侏罗系发现了大量油气。依据物化特征可将侏罗系原油分为Ⅰ、Ⅱ、Ⅲ类。Ⅰ类原油密度低,成熟度高,生物降解程度弱;Ⅲ类原油密度高,黏度大,生物降解严重;Ⅱ类原油密度中等,成分复杂,具混源特点。断裂性质对研究区的油气成藏具重要影响,莫索湾凸起断裂属张扭性质,断距小,封闭性差,未能有效封堵油气;而莫北凸起断裂以伸展为主,断距大,逆牵引构造明显,封闭性好,控油作用强。异常压力分析表明该区超压发育,封隔层位于侏罗系三工河组三段,实测压力系数大于1.96,由于地层压力过高,八道湾组难以形成规模油气聚集。流体包裹体均一温度证实侏罗系油气藏有三次充注事件,第一次成藏的油气遭受生物降解,第二、三次成藏保存条件较好。总之,多旋回的构造运动、不同的断层性质和封闭强度、过高的异常压力及多期的成藏过程是控制莫索湾地区侏罗系油气成藏的主要因素。

主题词　准噶尔盆地　莫索湾地区　侏罗纪　油气藏形成　断裂　特征　异常压力　控制

莫索湾地区位于准噶尔盆地腹部新疆昌吉回族自治州玛纳斯县境内,包括莫索湾凸起和莫北凸起两个构造单元,勘探面积近 7000 km^2,是一个典型的被生油凹陷所环绕的凹中凸。其东邻东道海子凹陷,西连盆 1 井西凹陷,西南为沙湾凹陷,东南是阜康凹陷,北接滴南凸起,是石炭系、二叠系及侏罗系烃源岩生成油气的有利指向区,有良好的勘探前景[1,2]。目前该区已在莫北凸起西坡和盆 5 井区(被称为“东环带”)侏罗系三工河组找到了大量油气聚集,而莫索湾凸起主体部位尽管油气显示活跃[3],累计层段厚度达 1000 m(盆参 2 井),却未能获得工业油流。同时油气物化特征分析该区侏罗系至少有三类原油,成藏期次分析也证实有三期成藏,并在总离子流图峰形完整的原油内发现 25-降霍烷和 25、30-二降霍烷。以上特征显示该区侏罗系油气成藏过程复杂[4],因而开展成藏机理研究,揭示成藏的主控因素,对下一步油气勘探具有重要指导意义。

一、原油基本特征

1.原油物性特征

受运移、储层物性和保存条件等的影响,莫索湾地区侏罗系油气分布极为复杂,不同层组和构造位置具有不同的物性特征[5]。原油密度最小为 0.71 g/cm^3,最大为 0.92 g/cm^3,并且当原油密度大于 0.87 g/cm^3 时,原油密度与含蜡量、凝固点之间呈反比关系;当原油密度小于 0.87 g/cm^3 而大于 0.8 g/cm^3 时,原油密度与含蜡量、凝固点之间呈正比关系且凝固点大于零;当原油密度小于 0.8 g/cm^3 时,凝固点小于零(图 1)。因此将侏罗系原油分为三类:Ⅰ类原油、Ⅱ类原油和Ⅲ类原油(表 1)。Ⅰ类原油主要分布于盆 1 井西凹陷东环带 $J_1s_2^1$ 砂层组内及盆参 2 井区封隔层以下(J_1s_3 以下)层位;Ⅱ类原油主要分布于东环带 $J_1s_2^2$ 砂层组内;Ⅲ类原油主要分布于盆参 2 井和芳 2 井区。

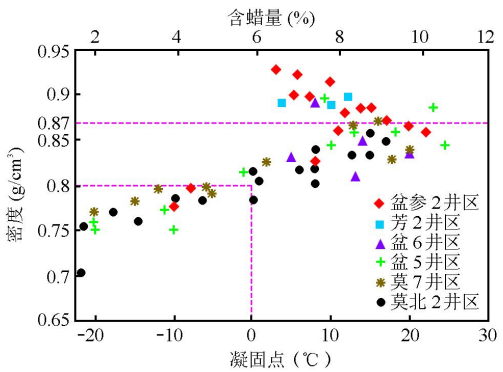


图 1　莫索湾地区原油密度与凝固点、含蜡量关系图

* 本文系中石油重大科技攻关项目(960007-01)部分成果。

作者简介:吴孔友,1971 年生,博士;1995 年毕业于原石油大学勘探系,现从事地质构造与油气成藏研究。地址:(257061)山东省东营市北二路 271 号中国石油大学(华东)地球资源与信息学院。电话:(0546)8396864。E-mail:wukongyou@163.com

表 1　莫索湾地区原油类型划分表

类型	密度 (g/cm³)	凝固点 (℃)	相对密度与含蜡量、凝固点关系	黏度 (mPa·s)
Ⅰ	＜0.80	＜0	正比	＜2
Ⅱ	0.80～0.87	＞0	正比	2～20
Ⅲ	＞0.87	＞0	反比	＞20

2.原油地化特征

据地化分析,研究区原油普遍存在 25-降霍烷,遭受过较严重的生物降解作用[1,2]。而质量色谱总离子流图除部分井如芳 2 井的西山窑组上部(J_2x_1)和盆参 2 井三工河组的中部(J_1s_2)等层位峰形不完整外,其余层位,尤其是高压层内各层原油峰形均较完整(图 2)。同时,气相色谱分析显示,几乎所有样品均存在正构烷烃和无环异戊二烯烷烃类。这些分析结果显示莫索湾地区侏罗系原油经历了复杂的成藏过程,早期成藏的原油遭受过较严重的生物降解作用[1,2],又被后期保存较好的原油混入[4]。总体上Ⅰ类原油成熟度高,生物降解程度弱,总离子流图峰形较完整;Ⅲ类原油生物降解严重,总离子流图上轻组分缺失;Ⅱ类原油成分复杂,具有多期混源特征。

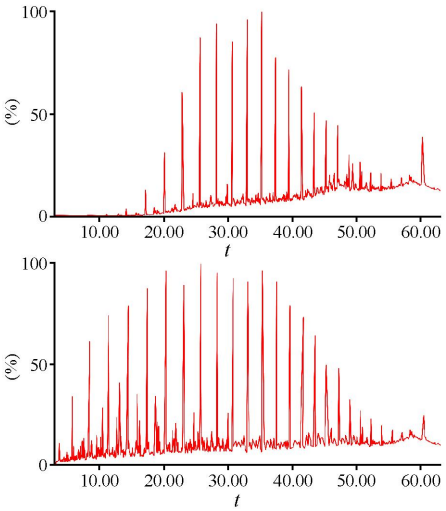


图 2　盆参 2 井侏罗系饱和烃质量色谱总离子流图

二、断裂特征及其控油作用

1.断裂基本特征

该区发育的断裂纵向上以三叠系为界可分为深、浅两套断裂系统[6-9],深层断裂系统主要发育在石炭系至二叠系,全部为逆断层。浅层断裂系统主要发育在侏罗系,为张性或张扭性断层,规模小于深层断裂系统。位于莫索湾凸起(包括莫 7 井区)上的浅部正断层走向主要集中于北东向和北西向,两组断裂在平面上组合近似“X”型,显示以走滑活动为主的构造特征[7-9],而且在芳 2 井区,垂直于浅部断裂走向的剖面上,可解释出明显的负花状构造[8,9]。莫北凸起上的浅层断裂,尤其是起控油作用的断裂,走向近南北向,与区域最大主应力近平行,处于凸起与凹陷(盆 1 井西凹陷)接触部位,以伸展活动为主。

2.断裂对油气成藏的控油作用

莫索湾凸起与莫北凸起浅部断裂系统构造属性与组合样式不同,其控油作用也存在一定的差异。莫索湾凸起浅层断裂即为正断层,又具有走滑性质,属张扭性断裂系统,在平面上局部密集分布。由于该断裂系统断距小,断面陡,牵引或逆牵引构造不发育,岩性配置不当(砂体未能被完全错开),断层封闭性较差,断层很难对油气形成侧向封堵,这也是莫索湾凸起侏罗系断块或断鼻圈闭至今未能见到工业性油气流的主要原因[8,9]。而莫北凸起侏罗系发育的断裂,断距大,逆牵引构造明显,断层封闭性好,且靠近生烃中心,因此在断裂的下降盘发现了大量油气[8]。另外,研究区深、浅断裂系统在剖面上组合成“Y”字型、“＜”型、“＞”型和“花”状结构,为油气垂向运移提供了良好的通道[6-9]。

三、异常压力与油气分布

1.异常压力基本特征

莫索湾地区异常超压发育[2,5,10],多口井先后钻遇高压层。盆参 2 井钻井过程中于 4485 m 处钻遇高压层(实测压力系数为 1.4),钻至 4510.89 m 处泥浆密度为 1.4 g/cm³,发生气浸,密度提高至 1.50 g/cm³ 恢复正常,钻至侏罗系八道湾组时泥浆密度虽高达 1.70～2.04,仍为负压钻进,未造成油气层严重污染[5],井深 5123 m 处,实测压力系数已高达 2.093,该井异常高压出现在 4485 m,对应侏罗系三工河组三段上部($J_1s_3^1$)。盆 4 井全井基本上实现近平衡钻进,在 4266～4486 m 处使用泥浆密度为 1.16～1.20 g/cm³,4486～4514 m 处使用泥浆密度为 1.28～1.38 g/cm³,4514～4783 m 处泥浆密度已高达 1.75～1.83 g/cm³,该井异常高压出现在 4514 m 处,对应三工河组三段下部($J_1s_3^3$)。莫北 5 井 3996～4006 m 处实测压力系数为 1.13,4397～4405 m 处压力系数已高达 1.52,该井异常高压出现在 4140 m 处,对应层位为三工河组三段中部($J_1s_3^2$)。因此,尽管探井所处的构造位置不同,异常压力出现的深度也有所差异,但地质层位上,封隔层主要位于三工河组三段(图 3),岩性为深灰色粉砂质泥岩与浅褐、

灰色细砂岩，方解石（含量大于 20% ）胶结[2,10]。

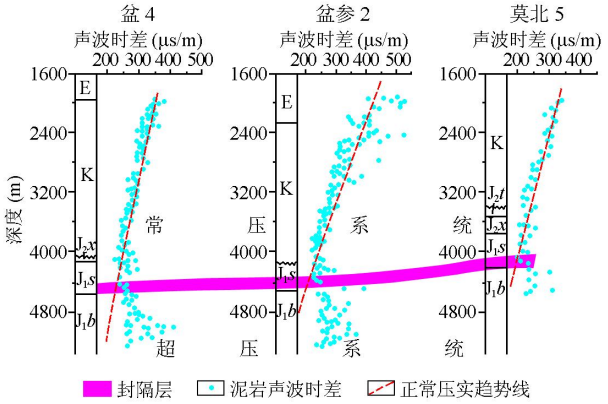


图 3　莫索湾地区异常压力分布井间对比图

2.异常压力对油气成藏的控制作用

超压一方面减缓压实作用而有效保护原生孔隙并为区域油气运聚提供动力来源，同时封隔层对油、气起重要封隔和保存作用[10,11]。莫索湾地区封隔层上、下原油性质差异较大，封隔层以上原油密度高、黏度大、生物降解严重、缺失轻组分；封隔层以下原油密度低、黏度小、生物降解弱、组分较全（见图 2）。例如盆 4 井封隔层以上原油密度平均为 0.8891 g/cm^3，黏度为 45.9 mPa·s，封隔层以下原油密度平均为 0.8254 g/cm^3，黏度为 4.36 mPa·s；盆参 2 井同样来自于二叠系乌尔禾组的原油，在三工河组 $\sum C_{21}^- / \sum C_{22}^+$ 为 0.71，而八道湾组 $\sum C_{21}^- / \sum C_{22}^+$ 为 2.12。另一方面，如果压力过高，又对油气成藏起破坏作用。B.E.Law，C.W.Spencer（1998）总结超压与油气关系时认为压力梯度超过 19.6 kPa/m 或压力系数大于 1.96 的储层几乎不会有产油气潜力[12]。据 Leach 总结，这时地层压力已超过了多数岩石的破裂强度，因此，原先圈闭在这些高压储层中的油气可以通过压力产生的裂缝而散失，聚集在超压顶面附近[13]。莫索湾地区超压系统的压力系数已达到或超过 1.96，并且在对盆参 2 井、盆 4 井和莫 2 井岩心观察中发现，高压层段泥岩微裂缝发育，且裂缝中含油，显示油气曾突破封隔层进行幕式排放[10]。这正是莫索湾地区油气主要聚集在三工河组二段（J_1s_2），而八道湾组普遍含油但又难成规模的主要控制因素之一（图 4）。

四、油气成藏期次与成藏过程

1.油气成藏期次

20世纪80年代以来，储层流体包裹体分析技术

地层	莫索湾凸起				莫北凸起						
	盆参 2	盆 4	盆 5	莫 101	莫 7	莫 8	莫 11	莫北 2	莫北 3	莫北 11	莫北 5
K_1tg	■	Δ	Δ	Δ	Δ		Δ	Δ		Δ	
J_2x			Δ					■		Δ	
$J_1s_2^1$	Δ			◘	♂	♂	♂	◘		♂	Δ
$J_1s_2^2$	Δ	Δ	◘	◘	◘	◘	◘	◘	■	■	◘
J_1s_3	Δ	Δ						Δ		Δ	Δ
J_1b_1	Δ	Δ						Δ			Δ
J_1b_3	Δ	Δ						Δ			Δ

■ 油藏　◘ 油气藏　♂ 气藏　Δ 油气显示藏　超压封隔层

图 4　莫索湾地区油气藏与油气显示地层分布示意图

引入到研究油气的充注历史[14]，应用储层中包裹体均一温度，结合沉积构造演化史，从而确定油气藏形成时间[15]。莫索湾地区盆 6 井、莫 8 井、芳 2 井等 6 口井侏罗系共取样 30 块，其中 25 块样品发现流体包裹体。这些包裹体包括纯油相、油气两相以及同期盐水包裹体等，它们产于胶结物、自生矿物或石英次生加大边以及碎屑矿物（石英、长石等）的裂缝中。发育在石英愈合裂缝中的包裹体呈串珠状分布，单个包裹体呈椭圆形，直径在 1～4 μm 之间；发育在胶结物和石英加大边中的包裹体较大，多呈圆形，直径介于 2～10 μm。在荧光显微镜下，包裹体呈无色、橙色、蓝色、灰黑色等，颜色的差异性显示它们形成期次的不同[16]。通过对有机包裹体伴生的盐水包裹体均一温度测定，均一温度明显分为三组（表 2），证实该区油气至少发生过三次成藏事件。结合埋藏史—热史分析[17]，第一次成藏发生在中侏罗世晚期（168 Ma 左右），第二次成藏发生在早白垩世末期（115 Ma 左右），第三次成藏发生在第三纪晚期（3 Ma 左右）。

表 2　莫索湾地区流体包裹体均一温度分析数据表

井号	样品层位	均一温度（℃）		
		第一组	第二组	第三组
盆 6	侏罗系	55.3	70.8	101.6～112.3
盆 4	侏罗系	53～64	75～89	100～130
莫 8	侏罗系	56.5～60.9	90.1	107.6～123.2
莫 1	侏罗系	57.2～64.7	72～88.9	111.1～128.3
芳 2	侏罗系	54.7～64.7	75.8～93.9	102.6～120.7
盆参 2	侏罗系		75～95	105～120

2.油气成藏过程分析

第一次成藏时期，受燕山早期运动影响，准噶尔盆地腹部地区形成张扭性应力场[18]，基底上拱使盖

层形成巨型莫索湾背斜的同时,也形成了大量的具走滑性质的张扭性断层。油气沿深部断裂、不整合和侏罗系内部断层、连通砂体运移至浅层,一部分沿两侧储层进行分流,一部分油气散失至地表[6,19]。由于断层封闭性差,进入储层中的油气一部分再次沿断层散失,剩余的遭受氧化和生物降解。

第二次成藏期,侏罗系之上沉积了较厚的早白垩世地层,盖层较厚,断层封闭性增强,油藏得到较好的保存[20]。原油物性中等,表现为密度、黏度、凝固点和含蜡量均为中等,为Ⅱ类原油,莫 8 井 4263～4268 m 处产的原油就是该期成藏的结果。

第三次成藏期,烃源岩热演化处于高成熟至过成熟阶段,生成的高成熟凝析油气沿输导体系运移至侏罗系和白垩系吐谷鲁群。由于该期油气为Ⅰ类原油,密度和黏度低,可以进入低渗储层(如莫 3 井的 4355～4359 m 处原油),同时也可部分进入被早期高密度遭受生物降解原油充注的储层,造成不同成熟度和不同期次的原油混合。这也是莫索湾地区已试油层位普遍有生物降解现象,而在总离子流质量色谱图上峰形完整的主要原因。新近纪至第四纪,受喜马拉雅运动的影响,准噶尔盆地南缘形成近东西向的再生前陆盆地[21]。该区处于前陆斜坡位置,基底由北西向南东大规模掀斜,早期形成的莫索湾大背斜溢出点抬高,闭合度减小,莫索湾凸起侏罗系及以上地层几乎成单斜形态,导致油气大量散失。

五、结　论

(1)莫索湾地区侏罗系原油依据物性特征可分为Ⅰ、Ⅱ、Ⅲ类。Ⅰ类原油成熟度高,生物降解程度弱;Ⅲ类原油生物降解严重,总离子流图上轻组分缺失;Ⅱ类原油成分复杂,具有多期混源特征。其中Ⅰ、Ⅱ类原油主要分布于盆 1 井西凹陷东环带,Ⅲ类原油主要分布于莫索湾凸起主体部位的盆参 2 井区。

(2)莫北凸起和莫索湾凸起侏罗系断裂性质、剖面形态、规模和封闭性存在一定的差异,导致其控油作用也存在很大不同。油气主要集中聚集在莫北凸起西坡,处于断裂的下降盘。由于断层断距较小,薄层砂体的封闭性要好于厚层砂体的封闭性。

(3)该区异常超压发育,封隔层受地质层位控制,位于三工河组三段。由于压力系数过大,超压容易突破封隔层进行幕式排烃,八道湾组难以形成规模聚集,油气主要位于超压顶面三工河组中段。

(4)原油特征差异和流体包裹体均一温度分析证实侏罗系有三次成藏事件,第一次成藏油气保存条件差,遭受生物降解,后两次成藏油气保存较好。

(5)多旋回的构造运动、不同的断层性质和封闭强度、过高的异常压力及多期的成藏过程是导致侏罗系油气性质和空间分布复杂的主控因素。

参 考 文 献

[1]夏显佰,陈布科,王鑫,等.准噶尔盆地马桥凸起区 J_1s 沉积物源分析[J].江汉石油学院学报,2003,25(3):13-14.

[2]刘得光.准噶尔盆地马桥凸起异常高压成因及油气成藏模式[J].石油勘探与开发,1998,25(1):21-24.

[3]王绪龙,刘得光.准噶尔盆地腹部马桥凸起侏罗系原油油源分析[J].新疆石油地质,1995,16(1):33-37.

[4]潘长春,傅家谟,盛国英,等.准噶尔盆地腹部油气藏油源的确定及其意义[J].石油学报,1999,20(5):27-32.

[5]吴晓智,李策.准噶尔盆地莫索湾地区异常地层压力与油气聚集[J].新疆石油地质,1994,15(3):208-213.

[6]丁文龙,金之钧,张义杰.新疆准噶尔盆地断裂控油气作用机理研究[J].地学前缘(中国地质大学,北京),2002,9(3):421.

[7]李振宏,汤良杰,丁文龙.准噶尔盆地腹部地区断裂特征分析[J].石油勘探与开发,2002,29(1):40-45.

[8]吴孔友,查 明.准噶尔盆地莫索湾地区断层控油作用[J].地质力学学报,2005,11(1):60-66.

[9]衣怀峰,吴孔友.准噶尔盆地莫索湾地区构造特征及其演化[J].油气地质与采收率,2005,12(4):1-4.

[10]查明,曲江秀,张卫海.异常高压与油气成藏机理[J].石油勘探与开发,2002,29(1):19-23.

[11]KINGJI MAGARA. Pressure sealing: An important agent for hydrocarbon entrapment[J]. Journal of petroleum Science and Engineering,1993,9:67-80.

[12]张启明,董伟良.中国含油气盆地中的超压体系[J].石油学报,2000,21(6):1-11.

[13]刘福宁.琼东南盆地地压场与油气运移[J].中国海上油气(地质),1994,8(6):363-376.

[14]KARLSEN D A,NEDKVITNE T,LARTER S R,et al. Hydrocarbon composition of authigenic inclusions: application to elucidation of petroleum reservoir filling history[J]. Geochim Cosmochim Acta,1993,57:3641-3659.

[15]肖贤明,刘组发,刘德汉.应用储层流体包裹体信息研究天然气气藏的成藏时间[J].科学通报,2002,47(12):957-960.

[16]高先志,陈发景.柴达木盆地北缘西段油气成藏机理研究[J].地球科学—中国地质大学学报,2002,27(6):757-762.

[17]廖健德,王绪龙,向宝力,等.准噶尔盆地莫索湾地区油气成藏分析[J].天然气工业,2004,24(9):15-18.

[18]宋岩.准噶尔盆地天然气聚集区带地质特征[M].北京:

石油工业出版社,1995.
[19]谭明友,张云银,宋传春.准噶尔盆地油气幕式成藏规律探讨[J].石油勘探与开发,2004,31(1):28-31.
[20]宋岩,王喜双,房德权.准噶尔盆地含油气系统的形成与演化[J].石油学报,2000,21(4):20-25.
[21]张功成,陈新发,刘楼军.准噶尔盆地结构构造与油气田分布[J].石油学报,1999,20(1):13-18.

(修改回稿日期　2007-01-11　编辑　**黄君权**)