

东营凹陷牛庄砂岩透镜体油气藏微观充注机理

郝雪峰¹, 陈红汉², 高秋丽², 宋国奇¹

1. 胜利油田股份有限公司地质科学研究院, 山东东营 257015

2. 中国地质大学(武汉)资源学院, 湖北武汉 430074

摘要: 对牛庄油田牛103井、牛105井、牛106井、牛107井和史11井共计36块流体包裹体样品进行了系统而深入的研究, 系统获取了牛34-C砂体、牛106-D砂体和史10-C砂体的GOI(quartz grains containing oil inclusions, 石英颗粒含油包裹体丰度)数据。运用GOI分析技术和荧光观测技术, 结合试油成果数据, 分析了牛庄油田岩性油气藏的油气微观充注历史。结果表明: 早期充注于史10-C砂体、牛106-D砂体中的早期成熟油气藏, 可能遭受晚期充注高成熟油气的驱替, 并有可能在浅层形成次生油气藏, 而现今赋存于这些岩性油气藏的油气主要为晚期充注的产物; 牛34-C砂体中的油藏为两期油气充注共同作用结果。上述认识对揭示牛庄地区隐蔽油气藏成藏机理具有参考意义。

关键词: 砂岩透镜体油气藏; 微观充注机理; GOI技术; 东营凹陷。

中图分类号: P618.13

文章编号: 1000-2383(2006)02-0182-09

收稿日期: 2005-08-05

Micro-charging Processes of Hydrocarbon in the Niuzhuang Lentoid Sandy Reservoirs, Dongying Depression

HAO Xue-feng¹, CHEN Hong-han², GAO Qiu-li², SONG Guo-qi¹

1. The Research Institute of Geological Science, Shengli Oil Limited Company, Dongying 257015, China

2. Faculty of Earth Resources, China University of Geosciences, Wuhan 430074, China

Abstract: In this study, thirty six fluid inclusion samples have been systemically measured, selected from five wells in Niuzhuang oilfield in Dongying depression. The fluorescence colors of oil inclusions and GOI (quartz grains containing oil inclusions) data have also been obtained for three sand bodies, titled Niu 34-C, Niu 106-D and Shi 10-C. By the integration of these data with the DST data, the micro-charging histories of hydrocarbon in the lithologic reservoirs of Niuzhuang oilfield have been described. The results indicate that the reservoirs were mainly charged by the second order of higher mature hydrocarbon; the first charging mature oils of Shi 10-C and Niu 106-D sandy bodies were possibly swept by the second order, which would have formed the secondary oil reservoirs in the upper reservoir; the Shi 34-C sandy body reservoir was jointly charged by the early maturity and later high maturity oils. These results will be useful as a reference for revealing the hydrocarbon migration and accumulation of some other subtle reservoirs.

Key words: sandy lentoid reservoirs; micro-charging processes; technique of grain oil index; Dongying depression.

0 前言

砂岩透镜体油气藏属于一种特殊的岩性隐蔽油气藏(Halbouty, 1970; 胡见义, 1986; 沈守文等, 2000), 已成为我国东部中高勘探程度盆地, 特别是

渤海湾盆地新增油气储量的一种主要类型(李丕龙等, 2003a, 2003b; 庞雄奇等, 2004)。多年来, 许多研究者从岩性油气藏油气充满度和分布及其控制因素(曾溅辉等, 2002; 隋凤贵, 2003; 张善文等, 2004)、成藏动力和阻力(陈冬霞等, 2004; 万晓龙等, 2004b)、

基金项目: 国家面上基金项目(No. 40238060); 国家重点自然科学基金项目(No. 40372068)。

作者简介: 郝雪峰(1971—), 男, 中国地质大学(北京)在读博士研究生, 主要从事石油地质综合研究, 现在胜利油田股份有限公司地质科学研究院从事油气勘探研究工作。

异常超压与充满度关系(隋凤贵, 2003; 万晓龙等, 2004a)、透镜体砂岩成藏模拟实验(姜振学等, 2003; 邱楠生等, 2003)和流体包裹体检测(邱楠生等, 2004)等诸多方面进行了深入的探讨, 并总结出指导隐蔽油气藏勘探的“断坡控砂、复式输导、相势控藏”三大核心理论(李丕龙等, 2004a)。然而, 上述有关研究主要是从岩性油气藏“间接”指标来开展工作的, 不仅使得一些认识停留在定性层次上, 而且也缺乏直接依据和难以排除成藏机理控制因素的多解性(李丕龙等, 2004b)。随着流体包裹体系统分析技术和理论不断发展(Ramsay, 1980; Zhang *et al.*, 1990; Goldstein and Reynolds, 1994; 刘德汉, 1995; Eadington *et al.*, 1996; Pironon *et al.*, 1998; Parnell *et al.*, 2001; Thiéry *et al.*, 2000; Lisk *et al.*, 2003; George *et al.*, 2004; 卢焕章等, 2004), 运用“双通道微束荧光光谱分析仪+显微冷热台”, 可以定性一定量观测岩性油气藏充注过程中捕获的各期次烃类包裹体(Burruss, 1991; Karlsen *et al.*, 1993; 陈红汉等, 2003; Liu and Eadington, 2003; 朱光有等, 2004), 从而为“直接”研究透镜体型岩性油气藏充注机理奠定了基础。

本文以济阳拗陷东营凹陷牛庄地区的砂岩透镜体油气藏为例, 主要运用流体包裹体双通道微束荧光光谱分析和油流体包裹体丰度 GOI 分析, 并结合显微测温资料, 综合分析该油气藏的微观充注机理和演化历史。所获认识对三角洲前缘滑塌浊积砂、深水扇等相关岩性油气藏成藏条件评价具有参考意义。

1 有机流体包裹体研究方法

流体包裹体是地质历史时期的流体被成岩矿物和颗粒裂纹所捕获、且赋存于储层中的微型古流体样品。流体(油、气、水)包裹体记录了油气运聚成藏复杂信息, 并已广泛应用于含油气系统和成藏动力学研究各个分支领域, 但过去有机流体包裹体研究相对薄弱, 主要原因之一是缺乏检测单烃类包裹体的有效手段(卢焕章等, 2004)。近来发展的双通道微束荧光光谱分析仪为研究不同成因的有机流体包裹体提供了可能。

1.1 有机流体包裹体荧光分析

含芳环的有机流体(油)包裹体在紫外光照射下表现出的荧光行为, 是区别其与一般盐水包裹体的最迅速而有效的方法(Burruss, 1991; Goldstein,

2001); 运用冷冻冰点法也可粗略判别不发荧光的油包裹体(Gordon and Martin, 1996)。有机流体包裹体的荧光特征反映了其内有机质(石油)的成分特征及热演化程度: 当其中有机质芳烃成分越高时, 其荧光光谱主峰向长波方向偏移, 即“红移”, 反之则“蓝移”。而有机流体包裹体形成温度越高, 其中石油热演化程度越高, 石油因裂解导致芳烃成分减少, 低分子量成分增加, 由此造成荧光光谱向短波方向偏移, 即“蓝移”。由此可见, 有机流体包裹体的荧光颜色及其对应的波长由红色(630~750 nm)→橙色(590~630 nm)→黄色(570~590 nm)→绿色(490~570 nm)→蓝白色(<490 nm)→无色的变化, 反映了有机质从低成熟向高成熟演化(Burruss, 1991; Chen, 1997); 运用双通道微束荧光光谱分析仪可定量获取不同成熟度的油包裹体荧光颜色和光谱。

1.2 石英颗粒(含)油包裹体丰度(GOI)分析

利用石英颗粒含油包裹体丰度 GOI (quartz grains containing oil inclusions)来识别古油气界面的原理是: 当原油在非均质输导层或储层中运移时, 如果没有阻挡层, 地层毛细管阻力与油柱浮力的合力将使原油沿最大的空隙喉道网运移。在这种情况下, 地层内只有少量空隙与原油接触。实际资料表明, 当原油在非均质输导层中运移时, 其含油饱和度很少超过 1%~2%, 结果只有少量矿物能截获原油并形成含油包裹体; 当圈闭中原油持续注入, 储集层油柱升高、压力增大时, 原油能克服毛细管压力进入更小的空隙喉道, 使储集层相应的含油饱和度增高, 可达到 40%~90%。在储集层处于高含油饱和度且有稳定油柱的情况下, 大部分空隙与原油接触, 这样, 可使大量成岩矿物或颗粒裂纹中发育含油包裹体(王显东等, 2003)。

Eadington *et al.* (1996) 首先提出用石英颗粒含油包裹体丰度(GOI)来描述油包裹体出现频率及砂岩储层古油饱和度:

$$GOI = \frac{\text{含有油包裹体的矿物颗粒数}}{\text{总矿物颗粒数}} \times 100\% \quad (1)$$

根据 Eadington *et al.* (1996) 和 Lisk *et al.* (2003) 对澳大利亚沉积盆地中油田的一系列研究结果表明, 水层样品 GOI 数据和油层样品 GOI 数据存在数量级的差别: 把 GOI 数值 5% 作为经验油柱门限值, 而低于 1% 作为油气运移路径的指示(图 1)。如此, 沿油气藏剖面系统取样, 研究样品内油包裹体的丰度状况, 可以确定所研究样品是处于油气

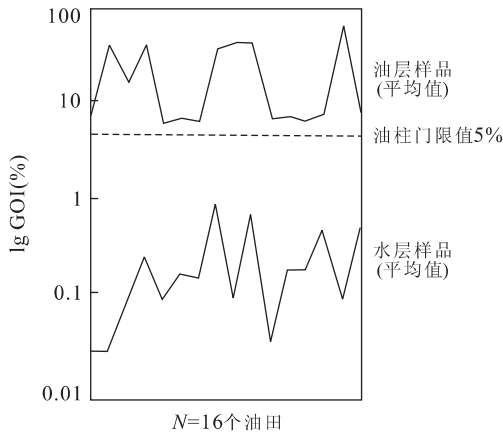


图 1 澳大利亚 16 个油田的石油包裹体丰度(GOI)统计分布确定的油柱门限(Eadington *et al.*, 1996; Lisk *et al.*, 2003)

Fig. 1 Threshold value of oil column determined by statistical GOI distribution from 16 oilfields in Australia

的运移通道中还是古油层内。

GOI 参数具体获取程序: 先将样品制成流体包裹体双面抛光薄片, 利用 OLYMPUS 显微镜及荧光激发系统, 在 20 倍长焦工作物镜下对测试薄片随机选取 50 个小区域, 并统计每个小区域内含油包裹体

颗粒数和总颗粒数, 利用式(1)计算每个小区域的 GOI 值, 然后求取 50 个小区域的 GOI 平均值, 作为该测试样品的 GOI 值的代表。

2 地质概况

牛庄油田构造上位于东营凹陷中央背斜断裂带以南的牛庄—六户洼陷(图 2), 是一个地质储量近亿吨的大型油田。油田发育在济阳拗陷东营三角洲前缘斜坡带上, 由一系列透镜状岩性油气藏组成, 目前已发现 145 个砂体, 砂体类型主要有 4 种: (1) 三角洲前缘席状砂岩体; (2) 滑塌浊积砂岩体; (3) 深水水下扇砂岩体; (4) 水下冲积扇砂岩体(李丕龙等, 2004)。在这些砂体中, 含油砂体有 45 个, 多数具有体积小、埋藏深、物性差的特点。牛 34—C 砂体、牛 106—D 砂体、史 10—C 砂体是含油砂体中 3 个比较有代表性的砂体。

滑塌浊积岩体是牛庄油田的主要储集类型, 大多分布于沙三下、沙三中亚段的地层中, 其特点是: 几何形态呈透镜体, 分布面积有限, 厚度较薄。岩性粒度细, 以粉—细砂岩为主, 夹于大套泥岩中。砂体

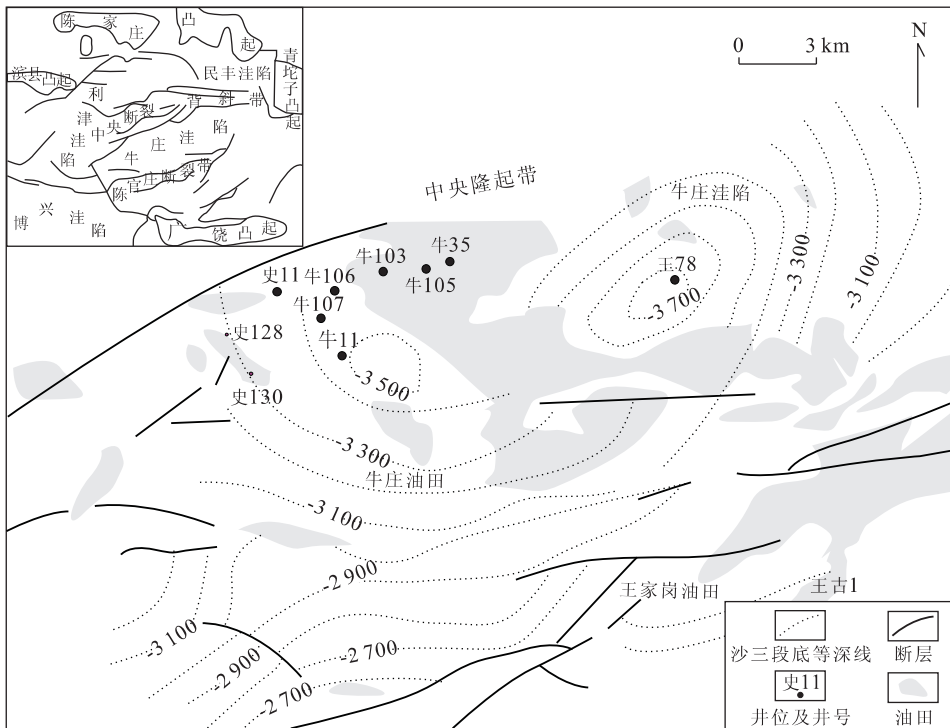


图 2 东营凹陷牛庄油田位置、沙三段底面(T6)等深线及研究区井位图

Fig. 2 Location of Niuzhuang oilfield and the researched wells and contours of the low surface (T6) of the third member of Shahejie Formation in Dongying depression

沉积构造主要有准同生变形构造、前积层理、递变层理以及递变层理底部的冲刷面和铸模构造,在砂岩底部的泥岩中有时可以看到砂球、砂枕、火焰状构造,砂岩中还常见泥砾和撕裂屑,这些特征反映了沉积物滑动再沉积的特点。牛庄油田滑塌浊积岩体是牛庄三角洲由东向西推进的结果。在沙三下、三中沉积时期,由于牛庄三角洲的推进速度比较快,致使前缘相砂体不稳定,极易在三角洲前缘斜坡上产生滑塌,形成滑塌浊积岩体(李丕龙等,2004b)。牛 34-C 砂体、牛 106-D 砂体、史 10-C 砂体均是在这种成因机制下形成的。这种砂体最易形成透镜状岩性油藏,油藏的含油气性较好。牛庄油田孤立砂体和断层侧向沟通砂体油气充满度 29.02%~90.11%,其中沙三段砂岩透镜体油藏充满度最高,平均达 59%(曾溅辉等,2002;张俊等,2003;高永进等,2004)。

牛 34-C 砂体:井段 3 243~3 248.6 m,岩性为粉砂岩,层位上属沙三下第二砂层组。牛 103、105 井相当层位钻遇该砂体。据牛 105 井岩样薄片鉴定资料分析,石英含量 41%,长石 35%,岩屑 24%。

牛 106-D 砂体:井段 3 201.6~3 210.6 m,岩性为粉细砂岩,层位上属于沙三中第六砂层组。牛 107 井相当层位钻遇该砂体。

史 10-C 砂体:井段 3 165.0~3 180.8 m,岩性为粉细砂岩,层位上属于沙三中第四砂层组。牛 106、牛 107 和史 11 井相当层位钻遇该砂体。史 11 井岩样鉴定资料显示石英含量为 40%~45%,长石 35%,岩屑 22%~25%。

3 砂岩透镜体油包裹体特征

本文选取牛庄油田牛 103 井、牛 105 井、牛 106 井和牛 107 井等共 4 口井的 31 块流体包裹体样品,在显微测温的基础之上进行了双通道微束荧光观测和 GOI 测定,测试结果列于表 1。

3.1 油包裹体荧光观察结果

研究区内油包裹体主要发育于石英加大边、方解石胶结物、穿石英颗粒裂纹及石英颗粒内裂纹中。从油包裹体所发荧光颜色看,研究区发育两期油气充注,这与烃类流体包裹体均一温度法获得的结果相吻合(曾溅辉等,2002),既发黄色和蓝白色荧光油包裹体两期油包裹体,而且以发黄色荧光低熟油包裹体为主,仅见少量发白—蓝白色成熟度相对较高的油包裹体,并且这类高成熟度油包裹体主要发育

表 1 牛庄油田流体包裹体样品荧光观测及 GOI 测试结果
Table 1 Fluorescence observations and measuring GOI data of oil inclusions for the fluid inclusion samples of Niuzhuang oilfield

砂体	井号	井深(m)	岩性	层位	GOI(%)	
牛 34-C	牛 103	3 296.5	油浸粉砂岩	Es _{3-x}	0.07	
		3 297.0	油浸粉砂岩	Es _{3-x}	0.00	
		3 298.0	油斑泥质砂岩	Es _{3-x}	0.03	
	牛 105	3 251.0	油浸粉砂岩	Es _{3-x}	4.91	
		3 251.5	油浸粉砂岩	Es _{3-x}	6.98	
		3 252.0	油浸粉砂岩	Es _{3-x}	8.48	
		3 252.5	油浸粉砂岩	Es _{3-x}	7.67	
		3 253.0	油浸粉细砂岩	Es _{3-x}	6.37	
		3 253.5	油浸粉细砂岩	Es _{3-x}	5.49	
		3 254.0	油浸粉细砂岩	Es _{3-x}	6.13	
史 10-C	牛 106	3 255.0	油浸粉细砂岩	Es _{3-x}	3.36	
		3 255.5	油浸粉细砂岩	Es _{3-x}	1.14	
		3 256.0	油浸粉细砂岩	Es _{3-x}	13.27	
		3 257.0	油浸粉细砂岩	Es _{3-x}	0.48	
		3 257.5	油浸粉细砂岩	Es _{3-x}	0.12	
		史 11	3 129.5	粉砂岩	Es _{3-z}	1.567
			3 132.8	油斑细砂岩	Es _{3-z}	0.000
	3 133.5		油斑细砂岩	Es _{3-z}	0.395	
	牛 107	3 134.5	油斑细砂岩	Es _{3-z}	0.000	
		3 135.5	油斑细砂岩	Es _{3-z}	0.000	
3 135.0		油浸粉细砂岩	Es _{3-z}	0.000		
牛 106-D	牛 106	3 135.0	油浸粉细砂岩	Es _{3-z}	0.000	
		3 135.0	油浸粉细砂岩	Es _{3-z}	0.000	
	牛 107	3 180.9	粉砂岩	Es _{3-z}	0.000	
		3 182.5	粉砂岩	Es _{3-z}	0.130	
	牛 106	3 202.5	含油粉细砂岩	Es _{3-z}	0.59	
		3 203.0	含油粉细砂岩	Es _{3-z}	6.00	
		3 203.5	含油粉细砂岩	Es _{3-z}	8.42	
		3 204.0	含油粉细砂岩	Es _{3-z}	0.00	
		3 204.5	含油粉细砂岩	Es _{3-z}	2.90	
		3 205.0	含油粉细砂岩	Es _{3-z}	1.67	
3 205.9		含油粉细砂岩	Es _{3-z}	0.90		
牛 107		3 269.5	油浸粉砂岩	Es _{3-z}	1.56	
	3 273.0	油斑粉砂岩	Es _{3-z}	0.95		
	3 275.0	油浸粉砂岩	Es _{3-z}	2.85		
	3 276.5	油浸粉砂岩	Es _{3-z}	4.02		
3 284.0	粉砂岩	Es _{3-z}	0.00			

注:GOI(%),油包裹体丰度。

于石英加大边中(表 1)。

史 10-C 砂体取于牛 106 井的样品未见任何油包裹体;取于牛 107 井的样品仅在 3 182.5 m 处石英颗粒内裂纹及穿石英颗粒裂纹中检测到发白色荧光,相对高成熟度油包裹体;取于该砂体上倾部位的史 11 井的样品见发黄色、白色—蓝白色荧光油包裹体,而且见发极淡荧光的纯气态烃包裹体(图 3I)。

牛 106-D 砂体取于牛 106 井的包裹体样品穿石英颗粒裂纹、石英加大边及石英颗粒内裂纹中见

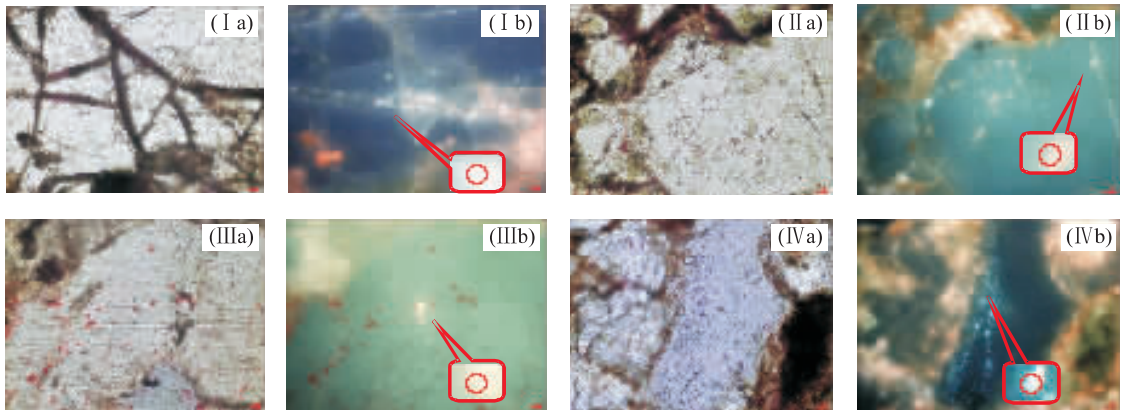


图 3 不同砂岩透镜体油气藏中烃类包裹体透射光、荧光照片

Fig. 3 Photos of hydrocarbon inclusions both under transmission light and fluorescent light

(I) 史 10-C 砂体, 史 11 井, 3 129.5 m. 穿石英颗粒裂纹中见发蓝白色荧光油包裹体, 光谱主峰 502 nm (I a 为可见光照片, I b 为荧光照片); (II) 牛 106-D 砂体, 牛 106 井, 3 204.5 m. 穿石英颗粒裂纹中检测到发黄色荧光油包裹体, 光谱主峰 505 nm (II a 为可见光照片, II b 为荧光照片); (III) 牛 106-D 砂体, 牛 107 井, 3 275 m. 石英颗粒内裂纹中见发黄色荧光油包裹体, 光谱主峰 504 nm (III a 为可见光照片, III b 为荧光照片); (IV) 牛 34-C 砂体, 牛 105 井, 3 254 m. 穿石英颗粒裂纹中检测到发蓝白色荧光油包裹体, 光谱主峰 502 nm (IV a 为可见光照片, IV b 为荧光照片)

发黄色荧光油包裹体; 仅在石英加大边中见少量细小发蓝白色荧光油包裹体; 取于牛 107 井的流体包裹体样品仅在 3 276.5 m 处穿石英颗粒裂纹中见发白色荧光油包裹体, 其余样品均只检测到发黄色荧光低成熟度油包裹体 (图 3 II, 3 III)。

牛 34-C 砂体取于牛 103 井的样品穿石英颗粒裂纹中见发黄色和蓝白色荧光油包裹体; 取于牛 105 井的样品在石英颗粒内裂纹、穿石英颗粒裂纹、方解石胶结物、石英次生加大边中见发黄色荧光油包裹体; 石英次生加大边及石英颗粒内裂纹中见少量发蓝白色荧光油包裹体 (图 3 IV)。

3.2 油包裹体 GOI 分析

(1) 牛 34-C 砂体: 试油结果证明该砂体为油层。牛 105 井中取于该砂体的样品, 荧光观测见大量发黄色荧光油包裹体, 仅见少量发蓝白色荧光油包裹体。该取样点 GOI 测试值最高达 13.27%, 油层样品 GOI 值大部分大于 5%。根据荧光观察结果及 GOI 测试值分析, 早期成熟度油充注, 油水界面位置大约在 3 254 m 处; 晚期高成熟油气充注, 导致油水界面下移到 3 256 m 处。牛 103 井中取自该砂体的样品, 荧光观测见少量黄色和蓝白色荧光油包裹体, GOI 值极低 ($<0.1\%$), 该处 GOI 值低可能是由于早期成熟度油充注, 油水界面未达到该处, 而晚期高成熟油气充注, 尚未形成大量油包裹体 (图 4)。

(2) 史 10-C 砂体: 取自于牛 106 井中的样品未检测到油包裹体, 而取自于牛 107 井中该砂体的

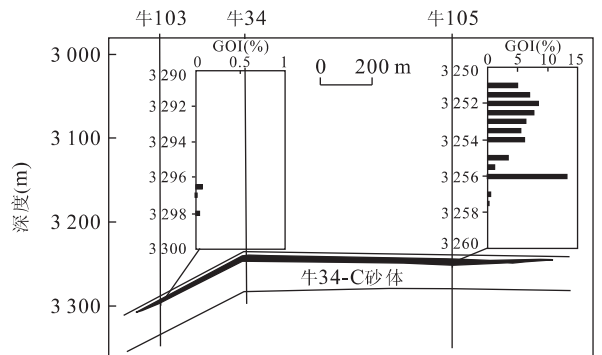


图 4 牛 103 井—牛 105 井显示的牛 34-C 砂体油藏及 GOI 剖面

Fig. 4 Section among Niu 103-Niu 34-Niu 105 wells showing the reservoir and GOI distributions of Niu 34-C sandstone lentoid trap

样品, 仅一块见到发白色荧光油包裹体, GOI 值仅为 0.13%。该砂体上倾部位的史 10 井薄片观察见少量发黄色荧光和蓝白色荧光油包裹体和纯气态烃包裹体。薄片镜下观察见多期裂缝发育 (图 3 I)。现今该井该砂体处试油解释为油水同层, 据此认为要么是早期充注于该砂体的成熟度油气可能被后期高成熟油气驱替, 在浅部成藏; 要么是早期根本就没有多少成熟油充注, 现今的油水同层主要为晚期高成熟油充注 (图 5)。

(3) 牛 106-D 砂体: 取自于牛 106 井的样品荧光观察以发黄色荧光的成熟油包裹体为主, 仅见少

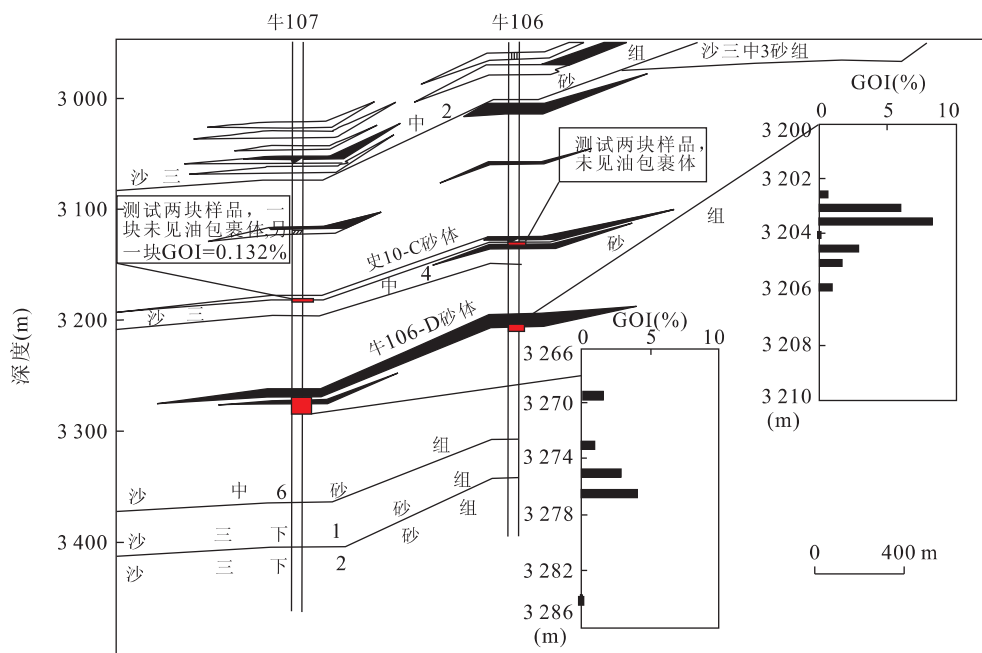


图 5 牛 107 井—牛 106 井显示的史 10—C 砂体和牛 106—D 砂体油藏和 GOI 剖面

Fig. 5 Section between Niu 107-Niu 34 and Niu 106 wells showing the reservoir and GOI distributions of Shi 10-C and Niu 106-D sandstone lentoid traps

量发育于石英次生加大边中的蓝白色荧光油包裹体,其中 2 块样品 GOI 值大于 5%,而试油结果指示该层位为低产油层,低产油层的 GOI 高值指示该层油气充满度曾经较高;而同为取自该砂体的处于砂体下倾部位的牛 107 井的样品,荧光观察不但见发黄色荧光油包裹体,并见一些发蓝白色荧光油包裹体,但所有样品 GOI 值均小于 5%,油层 GOI 值低指示晚期成藏。据此推断,牛 106—D 砂体早期充注成熟的油气已遭驱替,现产出油气主要为晚期充注于该砂体的高成熟油气。由于早期充注的成熟油气已遭驱替,在该砂体上部可能形成次生油藏(图 5)。

4 砂岩透镜体岩性油气藏微观充注机理探讨

地层测试成果表明,牛庄油田各油气藏原油具有低密度、低粘度和高凝固点的特点。牛 34—C 砂体原油为含天然气的凝固点(37℃),含硫 0.36% 原油,原油比重为 0.870 g/cm³、粘度 33.75;牛 106—D 砂体原油为含天然气的高凝固点(40℃)、低含硫(0.13%)原油,原油比重为 0.881 g/cm³、粘度 46.3,地层水类型为 NaHCO₃ 型;史 10—C 砂体原油凝固点 36℃,含硫 0.345%,

原油比重为 0.887 g/cm³、粘度 40.0,地层水类型为 CaCl₂ 型。这些特征反映的都是其现今的状态。然而,现今状态是历史演化的最终结果。

前人研究认为,东营凹陷砂岩透镜体油气藏成藏主控因素取决于:(1)运移条件(与生烃中心距离、切割砂体的断层数量、剩余压力);(2)岩性圈闭的物性(平均孔隙度和平均渗透率);(3)岩性圈闭的几何特征(岩性圈闭厚度和面积)(曾溅辉等,2002),并认为,随着埋深增加,岩性油气藏充满度也增大;随着砂岩物性(孔隙度一般要大于 12%)变好,岩性油气藏充满度也增大;随着地层压力系数(过剩压力)的增加,砂体含油气性也明显增大(曾溅辉等,2002;万晓龙等,2004)。从而概括为“相势控藏”理论(李丕龙等,2003,2004)。但是,这些认识主要局限于这些砂岩透镜体油气藏的宏观、现今状态的间接描述,缺乏微观上、直观充注的动态了解。

根据上文研究,笔者发现这 3 个砂体都表现出 2 个共同特征:一是这些砂岩透镜体岩性圈闭均发生了 2 期油充注,早期为发黄色荧光成熟油充注,晚期为发蓝白色荧光、并伴有白色荧光纯气相的较高成熟度油气充注;二是砂体上倾部位样品的 GOI 值高于下倾部位。这说明这些透镜体砂岩油气藏充满度没有达到 100%;同时定量证实了前人的宏观认

识:牛庄油田砂岩透镜体油气藏充满度介于 26.8%~94.11%之间,沙三段透镜体油气藏充满度最高,但平均也只有 59%(曾溅辉等,2002;张善文等,2004;万晓龙等,2004;张俊等,2003;高永进等,2004)。

它们的不同在于:(1)牛 34-C 砂体 GOI 最高达 13.27%,早期充注的成熟油得以保存,晚期充注高成熟与之混合;只不过第二期油/水界面比第一期油/水界面下移,反映其油气动态充注并使得该岩性圈闭充满度增加的过程;(2)史 10-C 砂体 GOI 很低,只有 0.13%,且主要为晚期高成熟油充注;但在砂体上部也见到早期成熟油和晚期高成熟油两期充注。这说明该砂岩透镜体圈闭要么早期成熟油充满度就很低,要么早期充注成熟油被破坏而在更浅部位成藏;(3)牛 106-D 砂体 GOI 普遍大于 5%,上部为早期充注且充满度较高的古油层,下部主要为晚期充注高成熟度油气;GOI 分布与试油结果(低产油层)对比推测性认为,早期充注的成熟油可能遭到后期充注高成熟度油气的驱替,并可能在更浅的部位成藏。

5 结论

通过上述研究笔者认为,运用双通道微束荧光光谱分析仪对砂岩透镜体油气藏中烃类流体包裹体系定性观测和定量 GOI 测定,并结合试油成果分析,能够帮助人们了解这类隐蔽油气藏的微观充注机理,直观揭示其充注过程。归纳起来,获得的认识如下:(1)牛庄油田牛 34-C、史 10-C 和牛 106-D 三个砂岩透镜体油气藏是 2 期油气充注的结果,并均表现出上倾方向砂体充满度高于下倾方向;(2)根据 GOI 分析和试油数据对比认为,这 3 个透镜体油气藏以晚期高成熟油充注成藏为主;早期充注成熟油在不同的砂体的“保留”特征并非一致,其中,早期充注于史 10-C 砂体和牛 106-D 砂体中的成熟油可能遭到晚期充注高成熟油气的驱替,有可能在更浅的部位再次聚集成藏,形成所谓的次生油气藏;而牛 34-C 砂体中的油藏为 2 期油气充注混合的结果,说明其盖层条件比较好;(3)本文揭示的不同砂岩透镜体油气充注过程还表明,造成这类隐蔽油气藏充满度的差异还与其各期次充注油气的驱替和盖层保存条件有关。

References

- Burruss, R. C., 1991. Practical aspects of fluorescence microscopy of petroleum inclusions. *Luminescence Microscopy: Quantitative and Qualitative Aspects*, 1-7.
- Chen, D. X., Pang, X. Q., Qiu, N. S., et al., 2004. Accumulation and filling mechanism of lenticular sandbody reservoirs. *Earth Science—Journal of China University of Geosciences*, 29(4): 483-488 (in Chinese with English abstract).
- Chen, H. H., Li, C. Q., Zhang, X. M., et al., 2003. Using fluid inclusion to determine hydrocarbon charging orders and times in the Tahe oil field, Tarim basin, China. *Earth Science Frontiers*, 10(1): 5 (in Chinese with English abstract).
- Chen, H. H., Zhang, Q. M., Shi, J. X., 1997. Evidence of fluid inclusion for thermal fluid-bearing hydrocarbon movements in Qiongdongnan basin, South China Sea. *Science in China (Series D)*, 40(6): 648-655.
- Eadington, P. J., Lisk, M., Krieger, F. W., 1996. Identify oil well sites. *United States Patent Application*, 5: 543-616.
- Gao, Y. J., Qiu, G. Q., Chen, D. X., et al., 2004. Oil-gas shows in lithologic reservoirs in Niuzhuang sag and their main controlling factors. *Oil & Gas Geology*, 25(3): 284-299 (in Chinese with English abstract).
- George, S. C., Lisk, M., Eadington, P. J., 2004. Fluid inclusion evidence for an early, marine-sourced oil charge prior to gas-condensate migration, Bayu-1, Timor Sea, Australia. *Marine and Petroleum Geology*, 21: 1107-1128.
- Goldstein, R. H., 2001. Fluid inclusions in sedimentary diagenetic systems. *Lithos*, 55: 159-193.
- Goldstein, R., Reynolds, T. J., 1994. Systematics of fluid inclusions in diagenetic minerals. SEPM Short Course 31, Printed in USA.
- Gordon, M., Martin, J., 1996. Petroleum fluid inclusion research. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 57: 4513-4519.
- Halbouty, M. T., 1970. Geology of petroleum fields. AAPG Memoir 14, USA, Oklahoma.
- Hu, J. Y., 1986. Nonstructural oil-gas reservoir. Petroleum Industry Press, Beijing (in Chinese).
- Jiang, Z. X., Chen, D. M., Miao, S., et al., 2003. Model test and mechanism interpretation of the petroleum accumulation of lenticular sandstone in Jiyang depression. *Oil & Gas Geology*, 24(3): 223-227 (in Chinese with English abstract).

- Karlsen, D., Nedkvitne, T., Larter, T., et al., 1993. Hydrocarbon composition of authigenic inclusions; Applications to elucidation of petroleum reservoir filling history. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 57:3641—3659.
- Li, P. L., Ji, Z. J., Zhang, S. W., et al., 2003a. The present research status and progress of petroleum exploration in the Jiyang depression. *Petroleum Exploration and Development*, 30(3): 1—4 (in Chinese with English abstract).
- Li, P. L., Pang, X. Q., Chen, D. X., et al., 2004a. Formation mechanism and model for sand lens reservoirs in the Jiyang gub-basin, East China. *Science in China (Ser. D Earth Sciences)*, 47 (Supp. I): 167—176 (in Chinese with English abstract).
- Li, P. L., Zhang, S. W., Song, G. Q., et al., 2003b. Exploration potential of nonstructural pools in the matured acreage of Jiyang district. *Acta Petrolei Sinica*, 24(5): 10—15 (in Chinese with English abstract).
- Li, P. L., Zhang, S. W., Song, G. Q., et al., 2004b. Forming mechanism of subtle oil pools in fault basins—Taking the Jiyang depression of the Bohaiwan basin as an example. *Petroleum Geology & Experiment*, 26(1): 3—10 (in Chinese with English abstract).
- Lisk, M., Eadington, P. J., O'Brien, G. W., 2003. Timing of oil migration using new methods for mapping hydrocarbon charge. *GEOFLUIDS II '97 Extended Abstract*, 26—29.
- Liu, D. H., 1995. Fluid inclusion studies—An effective means for basin fluid investigation. *Earth Science Frontiers*, 2(3—4): 149—154 (in Chinese with English abstract).
- Liu, K. Y., Eadington, P. A., 2003. New method for identifying secondary oil migration pathways. *Journal of Geochemical Exploration*, 78—79: 389—394.
- Lu, H. Z., Fan, H. R., Ni, P., et al., 2004. Fluid inclusions. Science Press, Beijing (in Chinese).
- Pang, X. Q., Chen, D. M., Li, P. L., 2004. Prediction and its preliminary application in predicting resource potentials of subtle oil/gas reservoirs. *Oil & Gas Geology*, 25(4): 370—376 (in Chinese with English abstract).
- Parnell, J., Middleton, D., Chen, H. H., et al., 2001. The use of integrated fluid studies in constraining oil charge history and reservoir compartmentation: Examples from the Jeanne d'Arc basin, offshore Newfoundland. *Marine and Petroleum Geology*, 18: 535—549.
- Pironon, J., Canals, M., Dubessy, J., et al., 1998. Volumetric reconstruction of individual fluid inclusions by confocal scanning laser microscopy. *European Journal of Mineralogy*, 10: 1143—1150.
- Qiu, N. S., Jin, Z. J., Hu, W. X., 2000. Study on the hydrocarbon charge history in Dongying depression by evidence from fluid inclusions. *Journal of the University of Petroleum, China (Edition of Natural Science)*, 24(4): 95—103 (in Chinese with English abstract).
- Qiu, N. S., Wan, X. L., Jin, Z. J., et al., 2003. Controlling model of permeability difference on the hydrocarbon accumulation of sand lens reservoirs. *Petroleum Exploration and Development*, 30(3): 48—52 (in Chinese with English abstract).
- Ramsay, J. G., 1980. The crack-seal mechanism of rock deformation. *Nature*, 284(13): 135—139.
- Shen, S. W., Peng, D. J., Yan, Q. B., et al., 2000. Classification and exploration methods of subtle trap reservoirs. *Acta Petrolei Sinica*, 21(1): 16—22 (in Chinese with English abstract).
- Sui, F. G., 2003. Characteristics of reservoiring dynamic on the sand-conglomerate fanbodies in the steep-slope belt of continental fault basin; A case study on Dongying depression. *Oil & Gas Geology*, 24(4): 335—340 (in Chinese with English abstract).
- Thiéry, R., Pironon, J., Walgenwitz, F., et al., 2000. Petroleum Inclusion Thermodynamic; A new modeling tool for the characterization of hydrocarbon fluid inclusions from volumetric and microthermometric measurements. In: Pueyo, J. J., ed., *Journal of Geochemical Exploration, Geofluids III*, 69—70: 701—704.
- Wan, X. L., Qiu, N. S., Shi, S., et al., 2004a. Mechanism of fullness degree of lithologic reservoirs in overpressure system in Dongying sag. *Journal of Jilin University (Earth Science Edition)*, 34(3): 372—376 (in Chinese with English abstract).
- Wan, X. L., Qiu, N. S., Zhang, S. W., et al., 2004b. Microscopic factors of controlling formation of lithologic reservoirs; Case study of Niu-35 sandstone body in Dongying depression. *Natural Gas Geosciences*, 15(3): 261—265 (in Chinese with English abstract).
- Wang, X. D., Jiang, Z. X., Pang, X. Q., 2003. Summarization of the paleohydrocarbon-water contact restoring methods. *Advance in Earth Sciences*, 18(3): 412—419 (in Chinese with English abstract).
- Zeng, J. H., Zhang, S. W., Qiu, N. S., et al., 2002. Degree of oil-gas charged in lens-shaped sand body in Jiyang depression and its main controlling factors. *Earth Science—Journal of China University of Geosciences*, 27(6): 729—732 (in Chinese with English abstract).

- Zhang, J., Pang, X. Q., Chen, D. X., et al., 2003. Petroleum accumulation mechanism and its main controlling factors of sand lens in Niuzhang subsag. *Oil & Gas Geology*, 24(3): 233—237 (in Chinese with English abstract).
- Zhang, J. X., Wong, T. F., Davis, D. M., 1990. Micromechanics of pressure-induced grain crushing in porous rocks. *Journal of Geophysical Research*, 95(B1): 341—352.
- Zhang, S. W., Zeng, J. H., Xiao, H. Q., et al., 2004. Oil-gas filling degree and distribution characteristics of the lithological oil-gas reservoir in the Jiyang depression. *Geological Review*, 50(4): 365—369 (in Chinese with English abstract).
- Zhu, G. Y., Jin, Q., Dai, J. X., et al., 2004. A study on periods of hydrocarbon accumulation and distribution pattern of oil and gas pools in Dongying depression. *Oil & Gas Geology*, 25(2): 209—215 (in Chinese with English abstract).
- 附中文参考文献**
- 陈冬霞, 庞雄奇, 邱楠生, 等, 2004. 砂岩透镜体成藏机理. *地球科学——中国地质大学学报*, 29(4): 483—488.
- 陈红汉, 李纯泉, 张希明, 等, 2003. 运用流体包裹体确定塔河油田成藏期次及主成藏期. *地学前缘*, 10(1): 5.
- 高永进, 邱桂强, 陈冬霞, 等, 2004. 牛庄洼陷岩性油藏含油气性及主控因素. *石油与天然气地质*, 25(3): 284—299.
- 胡见义, 1986. 非构造油气藏. 北京: 石油工业出版社.
- 姜振学, 陈冬梅, 苗胜, 等, 2003. 济阳拗陷透镜状砂岩成藏模拟实验. *石油与天然气地质*, 24(3): 223—227.
- 李丕龙, 金之钧, 张善文, 等, 2003a. 济阳拗陷油气勘探现状 & 主要研究进展. *石油勘探与开发*, 30(3): 1—4.
- 李丕龙, 庞雄奇, 陈冬霞, 等, 2004a. 济阳拗陷砂岩透镜体油藏成因机理与模式. *中国科学(D辑)*, 34(增刊 I): 143—151.
- 李丕龙, 张善文, 宋国奇, 等, 2003b. 济阳成熟探区非构造油气藏深化勘探. *石油学报*, 24(5): 10—15.
- 李丕龙, 张善文, 宋国奇, 等, 2004b. 断陷盆地隐蔽油气藏形成机制——以渤海湾盆地济阳拗陷为例. *石油实验地质*, 26(1): 3—10.
- 刘德汉, 1995. 包裹体研究——盆地流体追踪的有利工具. *地学前缘*, 2(3—4): 149—154.
- 卢焕章, 范宏瑞, 倪培, 2004. 流体包裹体. 北京: 科学出版社, 370—394.
- 庞雄奇, 陈冬梅, 李丕龙, 等, 2004. 隐蔽油气藏资源潜力预测方法探讨与初步应用. *石油与天然气地质*, 25(4): 370—376.
- 邱楠生, 金之钧, 胡文瑄, 2004. 东营凹陷油气充注历史的流体包裹体分析. *石油大学学报(自然科学版)*, 24(4): 95—103.
- 邱楠生, 万晓龙, 金之钧, 等, 2003. 渗透率级差对透镜状砂体成藏的控制模式. *石油勘探与开发*, 30(3): 48—52.
- 沈守文, 彭大钧, 颜其彬, 等, 2000. 试论隐蔽油气藏的分类及勘探思路. *石油学报*, 21(1): 16—21.
- 隋凤贵, 2003. 断陷湖盆陡坡带砂砾岩扇体成藏动力学特征——以东营凹陷为例. *石油与天然气地质*, 24(4): 335—340.
- 万晓龙, 邱楠生, 石硕, 等, 2004a. 东营凹陷超压体系中的岩性油气藏充满度机理. *吉林大学学报(地球科学版)*, 34(3): 372—376.
- 万晓龙, 邱楠生, 张善文, 等, 2004b. 岩性油气藏成藏的微观控制因素探讨——以东营凹陷牛 35 砂体为例. *天然气地球科学*, 15(3): 261—265.
- 王显东, 姜振学, 庞雄奇, 2003. 古油气水界面恢复方法综述. *地球科学进展*, 18(3): 412—419.
- 曾溅辉, 张善文, 邱楠生, 等, 2002. 济阳拗陷砂岩透镜体油气藏充满度大小及其主控因素. *地球科学——中国地质大学学报*, 27(6): 729—732.
- 张俊, 庞雄奇, 陈冬霞, 等, 2003. 牛庄洼陷砂岩透镜体成藏特征及主控因素. *石油与天然气地质*, 24(3): 233—237.
- 张善文, 曾溅辉, 肖焕钦, 等, 2004. 济阳拗陷岩性油气藏充满度大小及分布特征. *地质论评*, 50(4): 365—369.
- 朱光有, 金强, 戴金星, 等, 2004. 东营凹陷油气成藏期次及分布规律研究. *石油勘探与开发*, 25(2): 209—215.