

渤中坳陷油气成藏规律

李荣西^{1,2}, 李金宝², 李秀芬³

(1. 中国科学院 地球化学研究所, 贵州 贵阳 550002; 2. 长安大学 地球科学与
国土资源学院, 陕西 西安 710054; 3. 中国海洋石油局 渤海公司, 天津 300452)

[摘要] 渤海坳陷下第三系砂岩普遍含有两类油气包裹体, 即原生油气包裹体和次生油气包裹体, 它们分别记录了本区两次油气运移、聚集成藏过程。次生油气包裹体个体大、分布广、含量明显高于原生油气包裹体, 其主要充填分布在次生溶蚀孔隙和裂隙中。均一温度测量、包裹体成分和生物标志化合物分析结果综合表明, 次生油气包裹体记录的第二次油气运移是区内最主要的一次油气聚集成藏过程, 其油气来源于下第三系湖相泥质烃源岩。本区次生溶蚀孔隙是在早第三纪晚期构造抬升过程中, 由大气淡水淋滤作用形成的。结合地质演化特征分析认为, 渤中坳陷目前油气勘探的重点应是浅部下第三系地层, 而不是深部其他地层。早第三纪晚期构造运动、沉积间断和次生溶蚀孔隙特征研究, 以及与之相关储层预测是本区油气勘探获得突破的关键所在。

[关键词] 油气包裹体; 油气运移; 油气成藏; 渤中坳陷

[中图分类号] P618.130.27 [文献标识码] A [文章编号] 1007-9955(2001)01-0006-05

[作者简介] 李荣西(1967-), 男, 讲师, 博士后, 主要从事石油地质与勘探的研究工作。

渤中坳陷是渤海湾盆地海域面积最大的坳陷, 发育有巨厚的中、新生代河湖相沉积岩系, 具有良好的生、储、盖条件和有利的断陷成藏条件, 是渤海湾盆地油气勘探潜力最大的坳陷之一。从已发现的油气藏看, 其含油气层在时代上从前寒武纪老地层到上第三系明化镇组, 共 20 多个含油气层, 在岩性上几乎包括了沉积岩、岩浆岩和变质岩三大岩石类型。显示了本区油气运移、成藏特征的复杂性和多样性。沉积岩中的油气包裹体记录了有关油气运移、聚集、成藏整个过程的大量信息, 通过对其研究, 可以重建油气运移的历史, 探讨油气运移、聚集成藏规律^[1,2]。笔者即在油气包裹体研究基础之上, 结合地质演化特征, 对本区油气运移和成藏规律进行了分析讨论, 从而为油气勘探提供新的依据。

研究的样品主要采自于渤中坳陷石臼砣凸起、沙垒田凸起和渤南凸起的第三系、中生界、古生界和盆地基底。经显微镜下观察统计, 发现油气包裹体主要集中分布于石臼砣凸起的东二段(Ed_2)、沙垒

田凸起的东三段(Ed_3)和沙河街组(Es)、渤南凸起的东营组(Ed)和沙河街组(Es), 而其他地层分布很少。大量研究表明, 油气包裹体的分布和含量与油气运移和聚集趋势是一致的, 即沿油气运移路线、方向或距油气藏愈近, 油气包裹体的含量愈高^[3,4]。由此可知, 渤中坳陷油气运移、聚集的主要层位是东营组和沙河街组。

1 成岩作用与油气包裹体期次

成岩作用研究表明, 本区早第三纪沉积岩经历的成岩作用主要有压实作用、胶结作用、溶蚀作用和交代作用等。压实作用为早期最主要的成岩作用, 胶结作用贯穿于整个成岩过程中, 其主要为硅质胶结和石英次生加大, 之后出现了钙质胶结。溶蚀作用是本区最重要的一次区域性的成岩事件, 其形成的的大量次生孔隙和裂隙是本区最重要的储集空间。一般认为砂岩溶蚀孔隙是由有机酸作用形成的, 但在渤海海域, 即使埋深达 3 500 m 时, 有机酸含量也很低, 分析认为其不足以形成大量的次生孔隙^[5]。

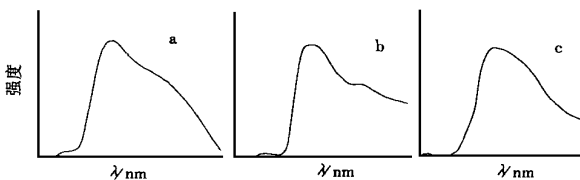
结合盆地沉积和构造演化历史、孔隙特征和包体测温结果综合分析表明, 本区次生孔隙是在构造隆升过程中因大气淡水淋滤作用形成的一种溶蚀孔隙, 它是本区油气运移的主要通道和储集成藏空间。在成岩作用晚期出现了方解石交代石英胶结物等硅质成分现象。

显微镜下观察表明, 本区早第三纪地层中有两种油气包裹体, 分别代表了两次油气运、聚过程。第一种油气包裹体主要分布在早期石英胶结物和次生加大边中, 属原生油气包裹体, 其与成岩作用同时形成, 代表了早期一次油气运移。其特征是呈近圆形、椭圆形随机分布, 多为气液二相油气包裹体, 一般小于 $10 \mu\text{m}$ 左右, 气/液比约为 $5\% \sim 10\%$, 大多呈淡黄色。第二种油气包裹体主要分布在石英、长石等次生溶蚀孔隙和裂隙中, 呈蜂窝状、长条状、不规则状等, 一般较大, 多在 $20 \sim 40 \mu\text{m}$, 大多为含盐水油气包裹体, 少数为纯液态油包裹体, 呈非常浅的黄色或无色。次生油气包裹体个体大, 分布广泛, 含量明显高于原生油气包裹体, 这说明其代表的第二次油气运移是本区重要的一次油气运移成藏过程。

2 油气包裹体形成温度及油气热演化

分别应用包裹体测温方法和荧光光谱方法来确定包裹体形成温度和其内油气有机质热演化程度。理论上讲, 只有均一相流体的均一温度(经压力校正)才能准确反映流体包裹体形成时的环境温度。研究表明, 油气包裹体因含有有机质, 其均一温度常比同期盐水包裹体的均一温度低^[6], 为此, 研究特选择了与油气包裹体同期的盐水包裹体进行均一温度测量。与早期原生油气包裹体同期的盐水包裹体均一温度主要集中在 $112 \sim 138 \text{ }^\circ\text{C}$ 之间(8 个包体平均 $126 \text{ }^\circ\text{C}$), 而分布在溶孔孔隙和裂隙中与晚期次生油气包裹体共生的同期盐水包裹体均一温度主要分布在 $90 \sim 117 \text{ }^\circ\text{C}$ 之间(11 个包体平均 $103 \text{ }^\circ\text{C}$), 后者明显低于前者, 说明晚期次生油气包裹体形成于较低的温度条件下, 这与前面分析的次生溶蚀孔隙形成于构造抬升条件下相吻合。

油气包裹体荧光特征反映了其内有机质(油气)成分特征和热演化程度^[7,8]。在荧光显微镜下, 两类油气包裹体均发亮黄色荧光, 二者荧光光谱(图 1)基本相似, 都呈左倾的单峰, 荧光参数(λ_{max} 和 Q 值)均较小, 原生油气包裹体 $\lambda_{\text{max}} = 555 \text{ nm}$,



a 为原生油气包裹体; b 为次生含盐水油气包裹体; c 为次生纯液态烃(油气)包裹体

图 1 油气包裹体荧光光谱

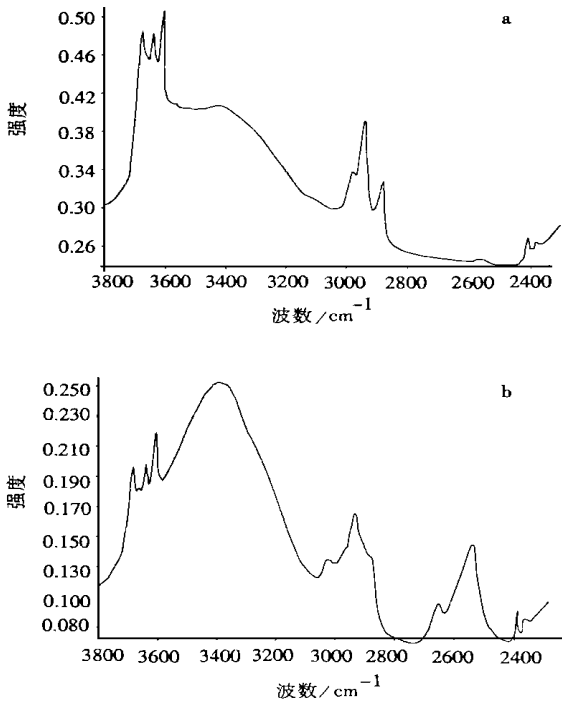
$Q(650/550) = 0.559$, 次生油气包裹体 $\lambda_{\text{max}} = 545 \text{ nm}$, $Q(650/550) = 0.585$ 。荧光特征(单峰、低 λ_{max} 值、低 Q 值)反映出两类包裹体内有机质热演化程度较低。据包裹体荧光研究资料^[9], 以上荧光特征反映出包裹体内油气热演化程度处于成熟阶段, 对应的镜质体反射率(R_o)约在 $0.6\% \sim 0.8\%$ 左右, 本区新生界第三系烃源岩热演化普遍达到成熟阶段($R_o = 0.6\% \sim 1.2\%$), 而前第三纪地层热演化普遍达高、过成熟阶段(R_o 一般大于 1.2%)^[5], 由此可推测包裹体内油气有可能来源于第三系烃源岩。

3 油气包裹体成分分析

3.1 油气包裹体显微傅立叶红外光谱分析

分析所用的仪器为 Niclet 750 IR PLAN 显微傅立叶红外光谱仪, 其安装有 NIC PLAN 显微镜。实验条件为扫描 512 次, 分辨率 8 cm^{-1} , 采用透射式, 外红外物镜为 35 倍。样品准备和预处理方法同文献[8], 分析结果减去背景和介质的吸收光谱, 并经 Kramers-kroning 变换, 以消除样品表面镜面反射造成的光谱失真。光谱峰的归属与鉴定参考 Painter P.C 等和 Wang S.H. 的有关资料^[14,15]。

图 2 为油气包裹体显微傅立叶红外光谱(Micro-FT. IR), 从中可以看出两类包裹体在 $2800 \sim 3000 \text{ cm}^{-1}$ 之间的脂肪烃吸收峰很明显, 其次在 3400 cm^{-1} 附近有一特征明显的 H_2O 的吸收峰。比较之下, 次生油气包裹体 H_2O 的吸收峰较强, 说明水含量较高, 这与次生油气包裹体含盐水有关。两类油气包裹体在 3650 cm^{-1} 附近有吸收峰, 此为醇、酚等有机结构中羟基的($-\text{OH}$)伸缩振动, 说明它们含有此类化合物。应用红外光谱分谱技术, 采用计算机曲线拟合方法, 可以确定出油气包裹体中脂肪烃最大烷基碳原子数(即烷基碳链长度)^[8,9]。据研究, 对于自然界矿物有机包裹体, 其 X 系数值介于 X_{inc} 和 X_{std} 之间, 当红外光谱变形较强时 X 值接



a 为原生气包裹体; b 为次生气包裹体

图 2 油气包裹体 Micro-FT-IR 光谱

近于 X_{inc} , 无变形时 X 接近于 $X_{std}^{[9]}$ 。由于油气包裹体红外光谱变形很弱, 故其内油气有机质烷基烃碳原子数应接近于 X_{std} , 经计算, 次生气包裹体烷基烃碳原子数为 20, 原生气包裹体烷基烃碳原子数为 27(表 1)。

3.2 油气包裹体 GC/MS 分析

表 1 油气包裹体 Micro-FT-IR 光谱定量分析结果

分析号	包裹体类型	主峰/ cm^{-1}	区间/ cm^{-1}	峰的归属	面积	$\frac{\text{AREA}[\text{CH}_2]}{\text{AREA}[\text{CH}_3]}$ ①	X 系数②	
							X_{inc}	X_{std}
C015	原生气包裹体	2 953	3 000~2 947	νCH_3	0.258 0	7.2	69	27
		2 925	2 947~2 880	νCH_2	1.827 0			
		2 872	2 872~2 862	νCH_3	0.012 0			
		2 852	2 862~2 800	νCH_2	0.087 2			
C016	次生气包裹体	2 959	2 986~2 947	νCH_3	0.083 0	4.8	62	20
		2 927	2 947~2 878	νCH_2	0.400 0			
		2 873	2 878~2 861	νCH_3	0.009 0			
		2 856	2 861~2 820	νCH_2	0.097 0			

① 峰面积之比; ② X 系数为烷基碳原子数, X_{inc} 为包裹体有机质烷基碳原子数, X_{std} 为标准有机质烷基碳原子数

表 2 用于 GC/MS 分析的砂岩油气包裹体样品特征

井号	样深/m	岩性	油气包裹体特征				
			形态大小/ μm	(气/液比)/%	均一温度/ $^{\circ}\text{C}$	荧光颜色	寄主矿物
CFD18	3253.35	石英砂岩	不规则状, 多在 10~80	< 10	102~115, 平均 108(5 个包体)	亮黄色	石英

选用油气包裹体含量丰富, 且主要以次生气包裹体为主的石英砂岩样用于 GC/MS 联测分析。样品特征如表 2 所示。

分析时将石英砂岩粉碎过筛, 使石英颗粒基本解离(40~80 目), 用苯-甲醇混合溶液反复清洗, 烘干后采用热爆法打开包裹体。用于分析的色谱仪为 HP5890GC, 质谱仪为 FINNINGAN-MAT SSQ710。

表 3 为用 GC 检测分析得出的油气包裹体气态烃组成特征(最大热爆温度 300°C), 该砂岩样包裹体中总气态烃含量为 $1.701 \text{ m}^3/\text{t}$ 岩石, 其中以甲烷(C_1)岩石含量最高为 $1.049 6 \text{ m}^3/\text{t}$, 占总气态烃的 61.72%, 当然这与热爆法打开油气包裹体过程中使其中一些重烃裂解有关。

图 3 为油气包裹体萘烷($m/z191$)和甾烷($m/z17$)质量色谱图, 可以看出萘烷化合物中三环萘烷含量较高, 其与五环萘烷含量相当, 以 C_{23} 为主峰, 并含有 γ -蜡烷(C 峰)。但五环萘烷以藿烷为主, 四环萘烷(C_{24} , A 峰)含量较高, 并有 C_{30} 重排藿烷(B 峰)。甾烷化合物中, C_{27} 、 C_{28} 、 C_{29} 的 $\alpha\alpha\text{R}$ 构型化合物呈“V”字型分布, 重排甾烷含量丰富。甾烷 C_{27} 、 C_{28} 、 C_{29} 中以 C_{29} 含量最高。油气包裹体的以上生物标志化合物特征与本区第三系油气生物标志化合物基本特征相类似^①, 它们反映了以湖相烃源岩为源岩、以水生生物和藻类为主要生油母质, 同时还有陆生母质的源岩有机质特征。结合前述油气包裹

① 中国海洋石油渤海石油研究院. 渤海重点探区下第三系. 科研报告, 1996.

表 3 油气包裹体气态烃组成特征

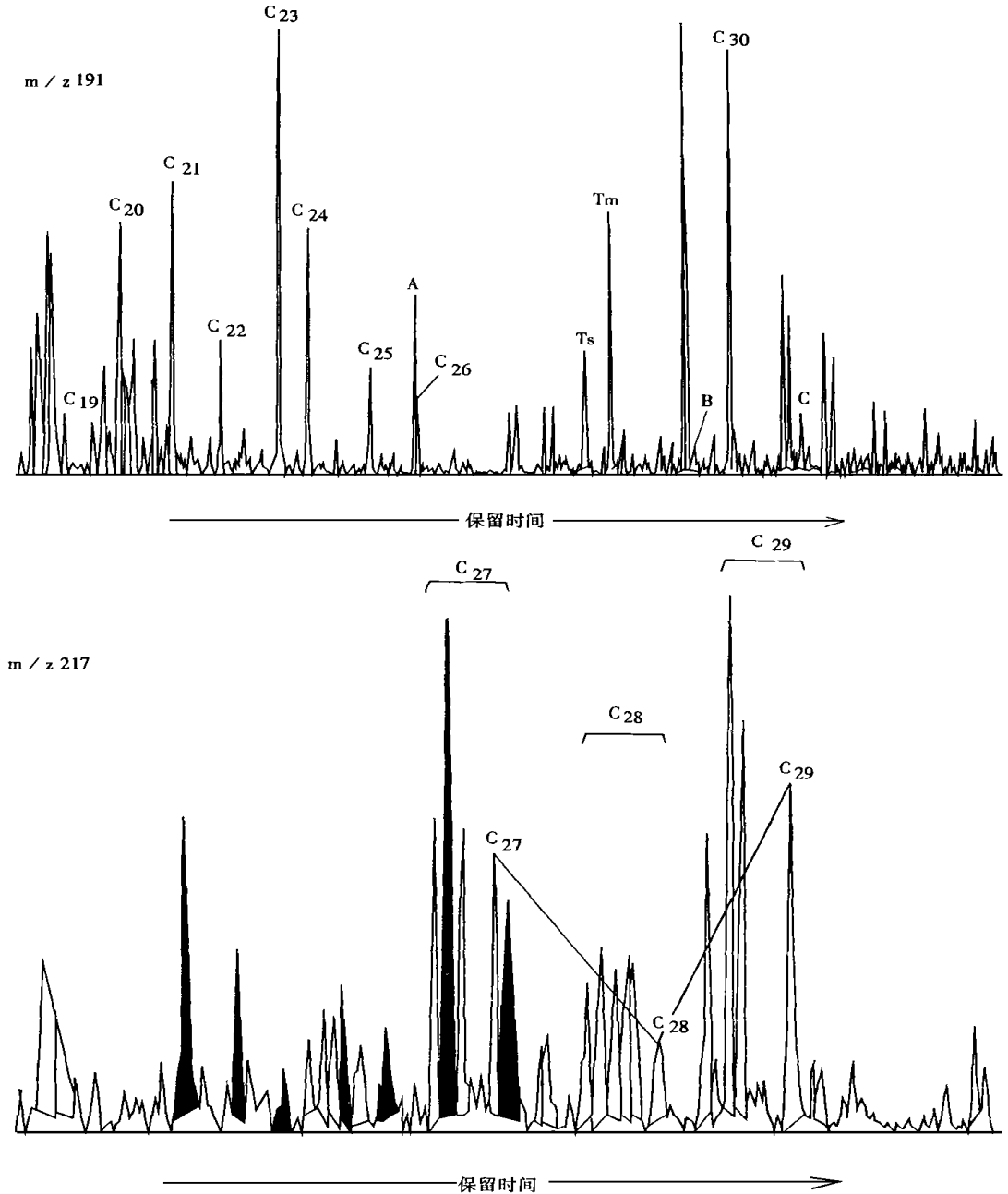
气态烃成分	岩石含气量/($\text{m}^3 \cdot \text{t}^{-1}$)	相对含量/%
C ₁	1.049 6	61.72
C ₂	0.300 00	17.65
C ₃	0.163 3	9.6
C ₄	0.123 4	7.25
C ₅	0.064 5	3.88
C ₁ ~C ₅	1.701	

体中有机质热演化程度研究结果,综合分析认为本区油气包裹体记录了来自于下第三系湖相泥质烃源

岩的油气运聚成藏过程。

4 渤中坳陷油气运移规律和油气勘探方向分析

和整个渤海湾盆地一样,渤中坳陷自新生代以来,进入了一个较长期的快速沉降阶段。早第三纪的裂陷阶段,是其发育的鼎盛时期,主要表现为拉张断裂的形成和裂陷快速沉降、接受沉积。直到早第

图 3 油气包裹体萘烷(m/z 191)、甾烷(m/z 217)质谱图

- [8] INDUCTIVELY COUPLED PLASMA—MASS SPECTROM- [9] , . ICP—MS 质谱仪的性能[J].
ETER PRINCIPLES. SOAL Sales Manual[M]. Finnigan MAT , 1998, 4(2): 69.
Ltd., 1994.

THE INFLUENCE OF FLUCTUATION OF INTERNAL STANDARD INTENSIFY ON THE ELEMENT ANALYSIS DURING THE ICP—MS MEASUREMENT

CAO Jun-ji, ZHANG Xiao-ye, WANG Dan

(*State Key Laboratory of Loess and Quaternary Geology,
Institute of Earth Environment, CAS, Xi'an 710054, China*)

Abstract: During the ICP—MS measurement, the errors of the element analysis go beyond the permit scope due to the fluctuating of the internal standard intensity resulted from the instrument fluctuation. From the fact of SOLA ICP—MS measurement, the authors conducted researches about the influence of element analysis caused by the fluctuation of the internal standard intensity. It was found that through increasing or reducing the input voltage of the ICP—MS, we could maintain the stable intensity of the internal standard in order to obtain accurate testing results.

Key Words: ICP—MS; the intensity of internal standard; element analysis

(10 页)

FORECASTING TO RESERVOIR FORMATION IN BOZHONG DEPRESSION OF BOHAIWAN BASIN

LI Rong-xi^{1,2}, LI Jin-bao², LI Xiu-fen³

(*1. Institute of Geochemistry, CAS, Guiyang 550002, China; 2. School of
Earth Sciences and Resources Management, Chang'an University, Xi'an
710054, China; 3. China of fshore Oil Bohai Company, Tianjin 300452, China*)

Abstract: Two types of oil-gas inclusions—the primary and the secondary, were recognized in the Tertiary clastic rocks in Bozhong Depression of the Bohaiwan Basin in Northeastern coastal area of China. These oil-gas inclusions recorded two stages of oil migration and accumulation in the region. It is found that the secondary solution pores and fractures filled with abundant secondary oil-gas inclusions are dissolution pores formed by the eluviation due to the uplift of the region at the end of the early Tertiary. Data from temperature measurements and analysis to compositions together with biomarks of the oil-gas inclusions indicate that the oil trapped in secondary porosity and fractures originated from the lower Tertiary lacustrine source rocks and the oil accumulations were controlled by the Tertiary tectonics and diagenesis. It is proposed that targets for oil exploration in the region should focus on the Tertiary sediments rather than the Pre-Tertiary depositions. Tectonics—sedimentary discontinuity between lower and upper Tertiary and reservoir prediction are the key subjects for oil prospecting in the region.

Key words: oil-gas inclusion; migration; accumulation; Bozhong depression