

黄河口凹陷流体包裹体成藏年代和充注期次研究

胡雄¹, 梁为¹, 李洋冰², 朱学光¹, 黄伟强¹, 侯△靖¹, 徐博瑞¹

1. 中联煤层气国家工程研究中心有限责任公司, 北京 100095;
2. 中海油能源发展股份有限公司采油工程研究院, 天津 300452

摘要: 流体包裹体技术已被证实在含油气盆地的成藏年代和运移期次的研究中是一个有效的手段。关于包裹体在成藏期次方面的研究已有许多, 但系统介绍包裹体技术在油气勘探中的应用研究则少见。为推动该方法在油气勘探中的应用, 本文从样品制备、分析仪器、流体包裹体镜下特征、均一温度等方面系统介绍了利用流体包裹体确定油气成藏年代与充注期次的方法, 以及该方法在黄河口凹陷油气勘查中的应用研究成果: 确定了该凹陷普遍发育较低成熟液态烃包裹体、成熟气液态烃包裹体、较高成熟气液态烃包裹体和气态包裹体 3 类包裹体, 确定了黄河口地区沙河街组油气充注至少有 3 期: 第 1 期、第 2 期油气于明化镇组沉积时期开始注入储层(10~5 Ma), 第 3 期较高成熟油及伴生气于第四纪开始注入储层(小于 3 Ma); 利用包裹体均一温度还确定了位于黄河口凹陷与渤中凹陷交界的 BZ25 构造第 1 期油气来源于渤中凹陷。

关键词: 成藏年代; 流体包裹体; 埋藏史; 均一温度; 明化镇组; 沙河街组

中图分类号: P594⁺.1 **文献标志码:** A **文章编号:** 1007-2802(2014)06-0868-06 **doi:** 10.3969/j.issn.1007-2802.2014.06.016

Research on the Age of Hydrocarbon Accumulation and Filling History of Fluid Inclusions in Huanghekou Depression

HU Xiong¹, LIANG Wei¹, LI Yang-bing², ZHU Xue-guang¹, HUANG Wei-qiang¹,
HOU Si-jing¹, XU Bo-rui¹

1. China United Coalbed Methane National Engineering Research Center Co., Ltd, Beijing 100095, China;
2. CNOOC Energy Development Co., LTD. Tech. Support Drilling Engineering Institute, Tianjin 300452, China

Abstract: On the basis of introducing perspectives of sample preparation, testing instrument, microscopic identification features of fluid inclusions, homogenization temperature, and so on, this paper discussed how to determine the age of hydrocarbon accumulation and the filling period, and then determined three types of fluid inclusions in the Huanghekou depression, that is, low mature liquid hydrocarbon fluid inclusions, mature gas hydrocarbon fluid inclusions, high mature gas/liquid hydrocarbon and gas hydrocarbon fluid inclusions. According to the microscopic characteristics of fluid inclusions, homogenization temperature, thermal evolution history and burial history, the age of hydrocarbon accumulation and filling history in the Huanghekou depression were estimated to deepen the understanding of its oil-gas accumulation history. This study suggested that there were at least three stages of hydrocarbon charge for traps in the Huanghekou depression: in the first and second phases, the oil/gas was filled into traps during the period of the Minghuazheng sedimentary formation (10—5 Ma); in the third phase, the high mature oil and the associated gas began to filled reservoir during the Quaternary (less than 3 Ma). It is concluded that petroleum migration and accumulation for the Huanghekou depression could have been completed in a short time of only several million years. This study confirmed that the first phase of oil and gas came from the Bozhong depression in bz25 structure according to the homogenization temperature of fluid inclusions.

Key words: age of hydrocarbon accumulation; fluid inclusions; burial history; homogenization temperature; Minghuazhen Formation; Shahejie formation

收稿日期: 2013-10-23 收到, 2014-01-17 改回

第一作者简介: 胡雄(1972—), 男, 工程师, 硕士, 研究方向: 渗流力学、油气成藏、地球化学。E-mail: hux@nccbm.com.cn.

包裹体技术被广泛应用于成岩成矿作用研究和油气勘探,在油气勘探中已成为含油气盆地的成藏年代和运移期次研究的有效手段(施继锡等,1987; Karlsen *et al.*, 1993),利用包裹体丰度确定油气水界面、识别油层等技术也得到了充分地应用(Oxto-by *et al.*, 1995)。关于包裹体成藏期次的研究,已有许多成果(陈斌等,2006;孙和风等,2011),但在油气勘探应用方面系统介绍从包裹体样品制备到镜下特征的观察再到均一温度数据的应用的文献相对较少。

黄河口凹陷是一个油气资源非常丰富的凹陷,该凹陷及其周边已经发现大量油气田和含油气构造,有探井 40 余口,在沙四段、沙三段、沙二段、沙一段、东营组、馆陶组、明化镇组均有油气显示,特别是沙河街组及明化镇组有较好的油气藏发现,勘探前景十分广阔。因此,研究该区域的油气成藏规律具有重要意义。本文以该凹陷为例,系统介绍利用包

裹体确定成藏年代和运移期次的方法,并确定黄河口凹陷油气充注期次及成藏史,同时利用包裹体数据研究黄河口凹陷 BZ25 构造油气来源问题。

1 地质概况

黄河口凹陷位于济阳拗陷东北部,渤中拗陷的南部,夹持在渤南、垦东两个凸起之间(图 1)。凹陷面积约 2570 km²。黄河口凹陷也主要发育沙三段、沙一段和东三段 3 套主力烃源岩。其中,沙三段、东三段源岩厚度较大,平均 300 m 左右,沙一段源岩厚度接近 100 m;沙河街组有机质类型以 II 1 型为主,东三段源岩以 II 2 型为主,这 3 套源岩均为好烃源岩。BZ25、BZ33、BZ34 构造分别位于该区域的西部、中部、东部。BZ25、BZ34 是该区域主要的两个含油气构造。BZ25 构造北部为渤中凹陷,因此油气来源及油气充注期次相对较复杂。

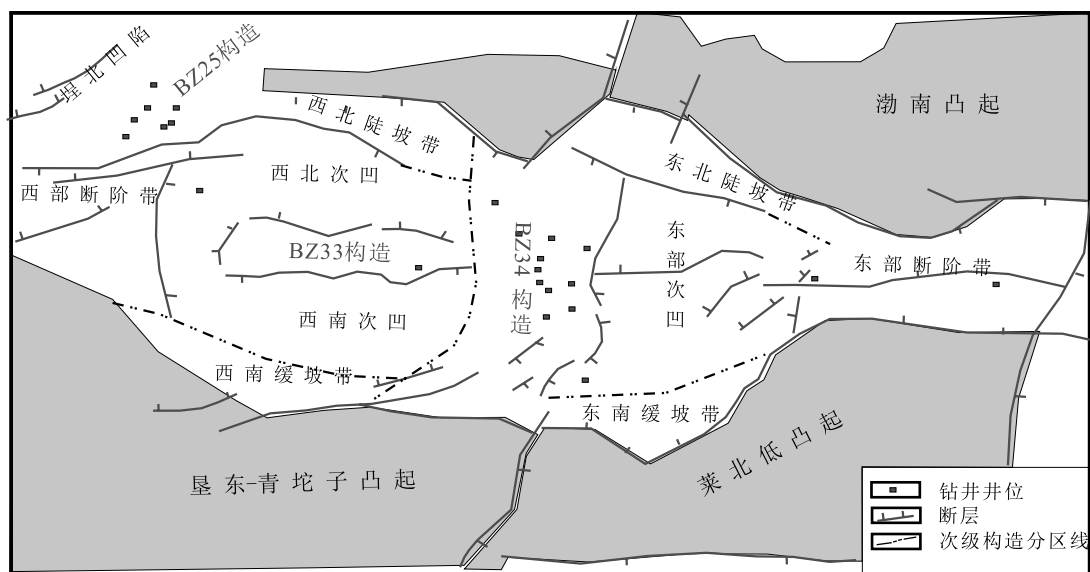


图 1 黄河口凹陷构造示意图

Fig. 1 Schematic diagram of the Huanghekou depression structure

2 确定成藏年代和运移期次的方法

研究油气成藏与期次的包裹体主要是指成岩包裹体(非继承包裹体),即成岩过程中捕获于成岩自生矿物(胶结物、交代矿物、重结晶矿物、裂隙充填矿物和次生加大矿物等)中的包裹体。样品一般选择井壁取芯样品或岩芯样品,对于碎屑样品及含泥质多的样品可通过反复清洗并富集其中的石英矿物后再进行样品制备。选择石英矿物主要是包裹体在石英矿物中发育程度较高,保存相对较好。

通常用于测温的包裹体是与烃类包裹体伴生

的盐水包裹体。选择合适的包裹体进行测温是确定包裹体的形成时间的关键。求油气充注时间一般有两种方法:一是利用包裹体的均一温度,并根据公式 油气注入深度=(包裹体均一温度-古地表温度)/古地温梯度,来确定包裹体形成时的深度,然后结合埋藏史再将油气充注时的深度换算成油气充注时的时间;另一种方法则是在时间-温度埋藏史图上,根据不同期次流体包裹体均一温度与不同时期储层的温度对比,判断油气充注的时间。

沉积岩中与成岩演化和油气形成有关的包裹体发育于成岩自生矿物中,而自生矿物的形成时间

不易确定,一般只清楚自生矿物的相对先后序次(刘德良等,2005),因此,选择均一捕获的包裹体进行测温非常重要。在进行包裹体测温时,首先判断盐水包裹体在宿主自生矿物中的位置、分布、伴生的烃类包裹体的类型、特征。只有选择合适的包裹体进行测温,再根据包裹体的类型、特征、盐度等信息,才能准确判定包裹体的形成时间,进而确定自生矿物和油气的充注时间与油气充注期次。仅仅依靠包裹体均一温度进行油气充注期次划分的方法是不严谨的。

3 样品与实验分析条件

黄河口地区明化镇组与沙河街组是黄河口凹陷 2 套主要勘探目的层,本次研究的样品取自黄河口凹陷的 BZ25 构造、BZ33 构造、BZ34 构造带的明化镇组与沙河街组砂岩储层。样品由北京核工业研究院及中海油能源发展采油工程研究院共同检测。

3.1 样品

所研究样品采自黄河口凹陷 BZ33、BZ34、BZ25 构造明化镇组、馆陶组、东营组和沙河街组砂岩样品,共计 88 块(表 1)。

表 1 黄河口凹陷包裹体样品清单

Table 1 The list of fluid inclusion samples from the Huanghekou depression

井号	层位	井段(m)		数量(个)
BZ25-1-X ₁	明化镇组下段	1760	1910	8
	馆陶组	1970	2780	5
	东营组	2830	2860	3
	沙河街组二段	3335	3380	6
	沙河街组三段	3660	3860	5
BZ25-1-X ₂	明化镇组下段	1440	1670	4
	沙河街组二段	3395	3410	2
	沙河街组三段	3500	3720	8
BZ33-1-X	明化镇组上段	810	910	4
	明化镇组下段	1240	2085	4
	沙河街组一段	3585	3650	5
	沙河街组二段	3705	3765	6
BZ34-1-X	明化镇组下段	1315	2050	15
BZ34-4-X	明化镇组上段	630	1130	3
	明化镇组下段	1170	1860	5
	沙河街组一段	3255	3295	2
	沙河街组二段	3445	3490	2
	沙河街组三段	3225	3235	1

3.2 实验分析条件

将砂岩样品制成厚 0.05~0.2 mm 双面抛光的包裹体薄片,然后用 AxioSkop40A POL 荧光、偏光显微镜详细鉴定包裹体特征、类型、产状等。在镜下鉴定的基础上用细钢笔圈选目标包裹体后将包裹体

薄片用玻璃刀切成小块,再将包含目标包裹体的小块放在 THMSG600 冷热台上进行均一温度与冰点的测定。THMSG600 冷热台的温度控制范围为: -196 ~ 600℃,冷冻/加热速率从 0.01 ~ 130℃/min。为方便测试,与冷热台配套的显微镜配备有长焦距物镜。

4 流体包裹体类型及特征

随着沉积物埋深的增大,有机质不断向烃类转化,其伴生的有机包裹体的颜色、类型以及相组分等特征也要发生规律性的变化(施继锡和余孝颖,1996)。按碳氢化合物物理相态对包裹体进行分类(卢焕章等,2004),把黄河口凹陷地区的有机包裹体分为 3 类:①较低成熟液态烃包裹体,该类包裹体单偏光下呈褐色,荧光下呈红黑色→褐色,其成熟度相对较低(图 2A1、2A2)。②成熟气液态烃包裹体,该类包裹体单偏光下呈浅黄或灰白色,荧光下呈黄白色,其成熟度相对较高(图 2B1、2B2)。③较高成熟气液态烃包裹体和气烃包裹体,该类包裹体单偏光下呈灰色或白色,荧光下呈蓝白色,其成熟度较高(图 2C1、2C2)。

在对黄河口凹陷的 80 余张包裹体薄片,1058 张包裹体照片分析后得出该区域的样品随着成熟度的增高,油质变轻,包裹体荧光颜色的变化序列为褐色→黄色→黄绿色→黄白色→蓝白色,有机包裹体颜色(单偏光)的变化序列为红黑色→褐色→褐黄色→浅黄色→灰色→无色。

5 成藏期次的划分

油气成藏期次的确定主要是在参考包裹体类型、特征、盐度等基础上并结合包裹体的均一温度以及研究区热演化史、埋藏史来确定(张金亮,1998;卢焕章和郭迪江,2000)。应用储层流体包裹体均一化温度、埋藏史与热演化史的分析资料推测成藏时限,这是目前成藏期分析最常用的方法(王飞宇等,2002)。本次热演化史、埋藏史的模拟采用 Petro-Mod Express 含油气系统模拟软件完成。由于研究区埋深小于 1300 m 的样品包裹体的均一温度高于最大埋深时储层的温度,均一温度与现今储层温度相差较大(表 2),究其原因一些学者认为可能是当温度较高的烃类流体注入温度与压力均较低的储层时,气相出溶,易形成不均一捕获的流体包裹体,从而导致所测得的均一温度普遍偏高(孙玉梅等,2002)。因此本次油气成藏期次的确定主要利用沙河街组的包裹体数据进行划分。从黄河口凹陷 3 个

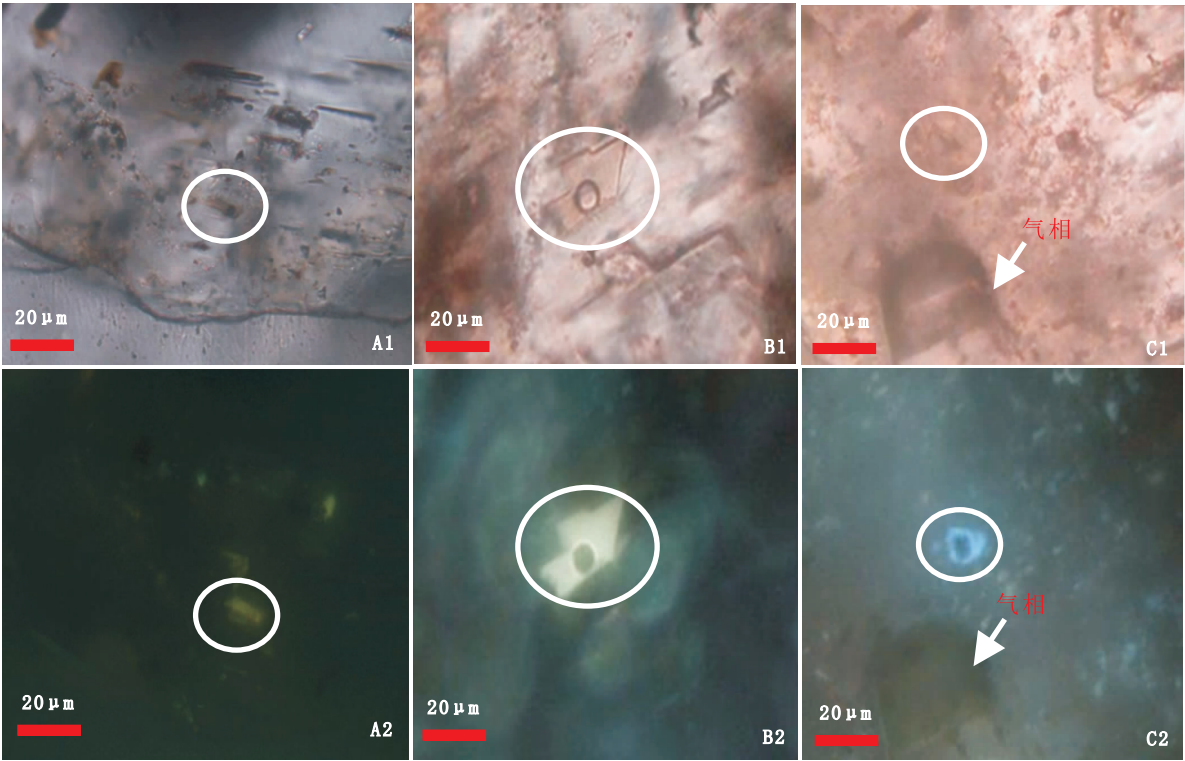


图 2 黄河口凹陷包裹体单偏光及荧光图片

Fig. 2 Polarized light and fluorescence images of fluid inclusions in the Huanghekou depression

主要含油气构造的明化镇组、沙河街组包裹体均一温度与油气注入时的深度(表 3)推算,黄河口凹陷主要有 3 期包裹体,均一温度主要分布在 100~120℃、120~130℃、高于 130℃ 3 个区间,这表明黄河口凹陷至少有 3 期油气充注。根据包裹体的均一温度数据可知(图 3),BZ25 构造沙河街组有 1 期 85~91℃的包裹体,其均一温度明显低于 BZ33 构造、BZ34 构造的第 1 期包裹体均一温度 100~120℃,这表明该构造可能有来自其他凹陷的油气充注,结合区域构造史可知 BZ25 构造位于渤中凹陷与黄河口凹陷的交界处,加之渤中凹陷早于黄河口凹陷进入生烃期,因此 85~91℃这一期包裹体代表了该构造第 1 期油气充注来源于渤中凹陷而不是黄河口凹陷。

表 2 黄河口凹陷实测储层温度与包裹体均一温度
Table 2 Reservoir temperature and the fluid inclusions homogenization temperature in the Huanghekou depression

井号	深度(m)	包裹体测温(℃)	储层温度(℃)
BZ33	810	79~99	29.2
BZ33	900	55~132	32.5
BZ33	1240	65~75	44.7
BZ33	1675	73~91	60.4
BZ33	1830	78~83	66.0
BZ33	2085	88~95	75.2
BZ33	3585	120~125	130
BZ33	3765	137~148	135.3
BZ25	1750~1771	65~106	75.4
BZ25	3323~3339	100~119	127.1

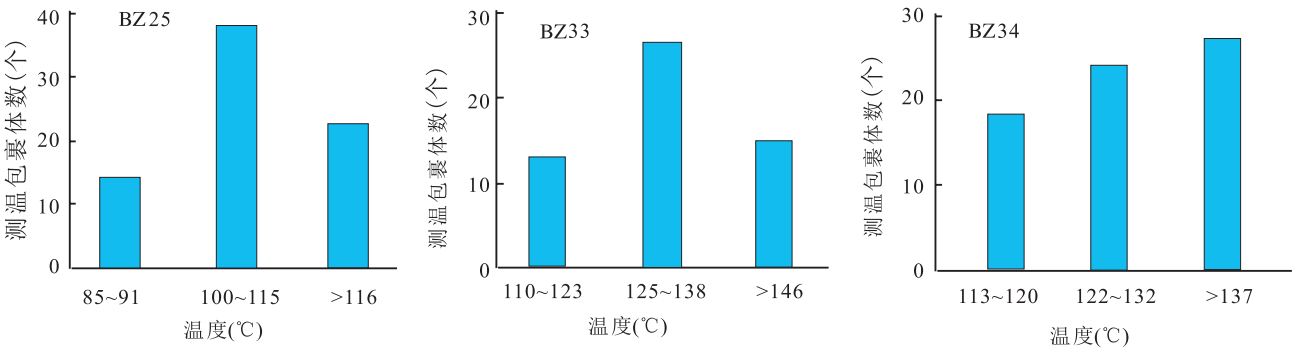


图 3 黄河口凹陷包裹体均一温度分布图

Fig. 3 Distributions of fluid inclusions homogenization temperature in the Huanghekou depression

表 3 黄河口凹陷油气充注时间推断
Table 3 Oil and gas filling time of Huanghekon depression

构造	层位	包裹体特征	期次	均一温度(℃)	注入时深度(m)	充注时期(Ma)
BZ25	明化镇组	褐色液态烃	早期	65~80	1552~2069	9
		褐色气液态烃	晚期	90~100	2414~2759	<3
		深褐色—褐色液态烃	早期	85~91	2241~2448	10
	沙二段	褐色气液态烃	中期	100~115	2759~3276	5
		浅黄色—无色气液态烃	晚期	116~135	>3310	<3
BZ33	明化镇组	褐色液态烃	早期	65~78	不确定	9
		褐色气液态烃+气烃	晚期	80~98	不确定	<3
		深褐色—褐色液态烃	早期	110~123	2179~2252	9
	沙二段	褐色气液态烃	中期	125~138	2542~2857	5~6
		浅黄色—无色气液态烃	晚期	>146	>3051	<3
BZ34	明化镇组	褐色液态烃	早期	60~78	不确定	9
		褐色气液态烃+气烃	晚期	80~119	不确定	<3
		深褐色—褐色液态烃	早期	108~120	2378~2703	9
	沙二段	褐色气液态烃	中期	122~132	2757~3027	5~6
		浅黄色—无色气液态烃	晚期	>135	>3216	<3

6 利用流体包裹体确定油气充注史

黄河口凹陷是一个富烃凹陷,发育有 3 套烃源岩:东三段烃源岩、沙一段烃源岩、沙三段烃源岩。通过埋藏史的恢复与包裹体的研究表明,这 3 套烃源岩在进入 12 Ma 以来,由于地层的快速埋深,烃

源岩以较高的熟化速率达到成熟—高成熟阶段,黄河口凹陷 3 期的油气充注也发生在此时期。而第 3 期油气因烃源岩进入成熟阶段,镜质体反射率 R_o 接近 1.0%,该期的油气充注对整个黄河口凹陷的油气藏的形成贡献最大(图 4)。

通过对比BZ25、BZ33、BZ34埋藏史可以看出,

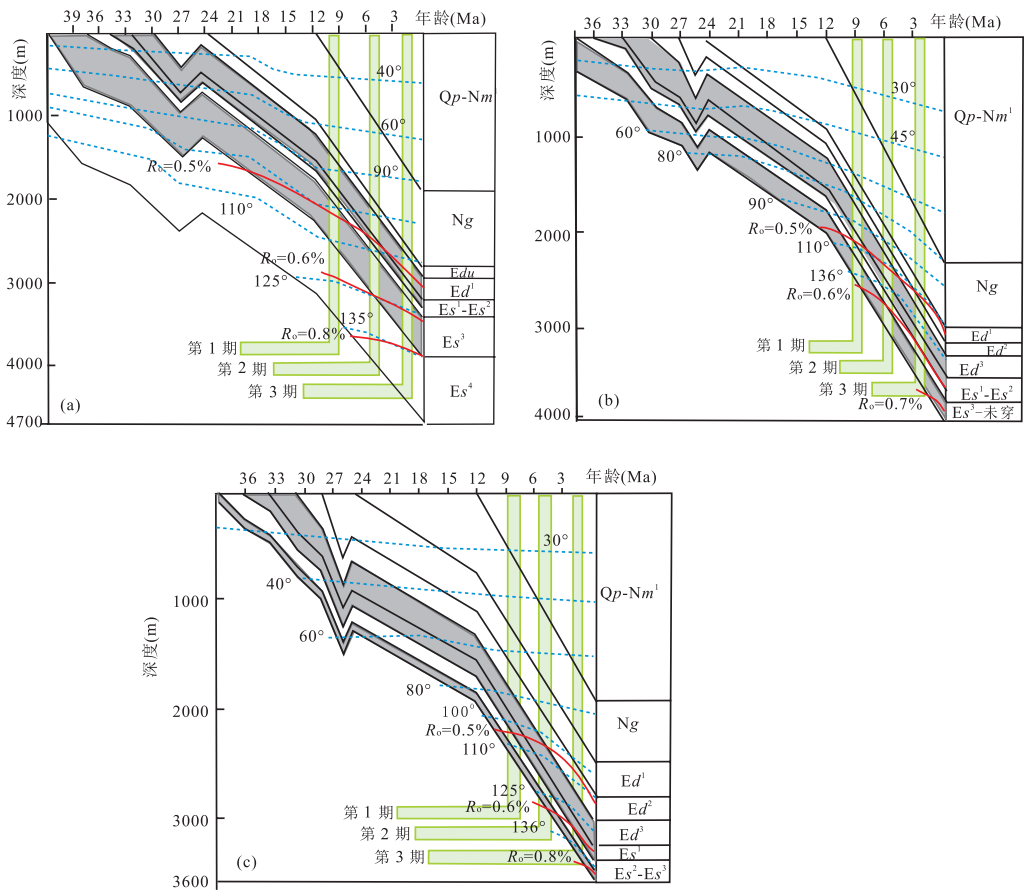


图 4 黄河口凹陷热演化史、埋藏史

Fig. 4 Thermal evolution history and burial history of the Huanghekou depression

馆陶组沉积末期(12 Ma),此时东三段—沙三段烃源岩温度小于 90℃,整个黄河口凹陷烃岩成熟度较低,还没有达到生烃门限。而此时相邻的渤中凹陷烃源岩已经成熟,在距今 10 Ma 时,渤中凹陷斜坡地带的沙三段烃源岩开始进入生油阶段,该期生成的低熟油充注 BZ25 构造,形成了 BZ25 构造第 1 期的低熟的液态烃包裹体(包裹体均一温度为 85~91℃)。而该期油因成熟度低,保存条件差对 BZ25 构造成藏的贡献不大。从明下段沉积以来(12 Ma)黄河口凹陷烃源岩进入快速连续沉降阶段,此时烃源岩已进入生烃高峰期(对应于黄河口凹陷第 3 期的油气充注,充注时间小于 3 Ma),镜质体反射率大于 1.0%,储层中也形成了大量的成熟度较高的气态烃包裹体。此时,黄河口凹陷正处于新构造运动期(5.1 Ma 以来),在近南北向拉张作用背景下,北北东向的主走滑断裂派生出众多新的东西向断裂,部分先期断裂活化,渤海新构造活动较强烈,在整个郯庐断裂带继承性的伸展活动中,形成许多羽状断裂,它们改造了前期圈闭,新构造运动的形成和改造以及晚期走滑伴生断层的共同作用,决定了黄河口凹陷中央构造带现今的构造格局,同时又伴随黄河口凹陷第 3 期的油气充注于是形成了目前黄河口凹陷油气藏的格局。

7 结 论

(1)黄河口凹陷普遍发育:较低成熟液态烃包裹体;成熟气液态烃包裹体;较高成熟气液态烃包裹体和气烃包裹体 3 种类型的包裹体。随着成熟度的增高,油质变轻,包裹体荧光颜色的变化序列为褐色→黄色→黄绿色→黄白色→蓝白色,有机包裹体颜色(单偏光)的变化序列为红黑色→褐色→褐黄色→浅黄色→灰色→无色。

(2)BZ25 构造沙河街组有一期低熟的液态烃包裹体(同期的盐水包裹体测温为 85~91℃),该期包裹体的形成主要是来自渤中凹陷早期油的充注而不是黄河口凹陷早期油的充注。

(3)黄河口地区沙河街组油气充注至少有 3

期:褐色液态烃及黄色、淡黄色、灰色气液态烃于明化镇组沉积时期开始注入储层(10~5 Ma),晚期较高成熟油及伴生气于第四纪开始注入储层(小于 3 Ma)。黄河口地区的烃源岩均是在晚期(明化镇组沉积以来)快速沉积埋藏作用下以很快的熟化速率达到成熟—高成熟阶段并生成大量油气的,该地区的油气藏均为晚期快速充注成藏。

参考文献 (References):

- Karlsen D A, Nedkvitne T, Larter S R, Bjørlykke K. 1993. Hydrocarbon composition of authigenic inclusions: Application to elucidation of petroleum reservoir filling history[J]. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 57: 3641—3659.
- Oxtoby N H, Mitchell A W, Gluyas J G. 1995. The filling and emptying of the Ula oilfield: Fluid inclusion constraints[A]. Cubitt J M, England W A, eds. *The geochemistry of reservoirs* [M]. Geological Society Special Publication, 86: 141—157.
- 陈斌, 邓运华, 郝芳, 邹华耀 胡建武. 2006. 黄河口凹陷 BZ34 断裂带油气晚期快速成藏模式[J]. *石油学报*, 27(1): 37—41.
- 刘德良, 陶士振, 张宝民. 2005. 包裹体在确定成藏的代中的应用及应注意的问题[J]. *天然气地球科学*, 16(1): 16—19.
- 卢焕章, 郭迪江. 2000. 流体包裹体研究的进展和方向[J]. *地质论评*, 46(4): 385—392.
- 卢焕章, 范宏瑞, 倪培, 欧光习, 沈昆, 张文淮. 2004. 流体包裹体 [M]. 北京: 科学出版社, 138—140.
- 孙和风, 周心怀, 彭文绪, 邹华耀, 杨波, 贺电波, 曾萱. 2011. 渤海南部黄河口凹陷晚期成藏特征及富集模式[J]. *石油勘探与开发*, 38(3): 307—313.
- 孙玉梅, 席小应, 黄正吉. 2002. 流体包裹体分析技术在渤中 25-1 油田油气充注史研究中的应用[J]. *中国海上油气(地质)*, 16(4): 238—244.
- 施继锡, 余孝颖. 1996. 碳酸盐岩中包裹体有机质特征与非常规油气评价[J]. *矿物学报*, 16(2): 103—108.
- 施继锡, 李本超, 傅家谟, 刘德汉, 彭平安. 1987. 有机包裹体及其与油气的关系[J]. *中国科学(B辑)*, 3: 318—325.
- 王飞宇, 金之钧, 吕修祥, 肖贤明, 彭平安, 孙永革. 2002. 含油气盆地成藏期分析理论和新方法[J]. *地球科学进展*, 17(5): 754—762.
- 张金亮. 1998. 利用液体包裹体研究油藏注入史[J]. *西安石油学院报*, 13(4): 1—5.