

东营凹陷牛庄洼陷地层流体演化与油气成藏

解玉宝

(中国石化胜利油田分公司 地质科学研究院, 山东 东营 257015)

摘要:含油气盆地中地层流体的活动对油气的生成、运移、聚集和散失均具有重要的控制作用,因此地层流体演化与油气成藏过程密切相关。在分析东营凹陷牛庄洼陷地层流体分布特征的基础上,以盆地流体动力学为指导,首先通过流体包裹体的岩相学观察,划分出3种与流体活动相关的包裹体类型;进而通过包裹体均一温度和盐度测试,结合牛庄洼陷埋藏热演化史,明确了牛庄洼陷地层流体活动主要分为3个期次:东营组沉积末期、馆陶组沉积时期和明化镇组沉积时期—第四纪;在此基础上,利用包裹体盐度测试资料,恢复了3个期次的古流体矿化度,并利用流体包裹体甲烷含量算法恢复了地层流体主要活动时期的古流体压力。牛庄洼陷沙三段古流体矿化度具有在东营组沉积末期明显增大,至馆陶组沉积中期显著减小的特点;古流体压力在东营组沉积末期显著减小,至馆陶组沉积时期明显增大。最终结合研究区的油气成藏过程,建立了地层流体活动与油气成藏的动态作用模式。

关键词:地层流体 活动期次 古流体矿化度 古流体压力 牛庄洼陷

中图分类号: TE134

文献标识码: A

文章编号: 1009-9603(2013)02-0011-04

含油气盆地中地层流体与油气藏的形成具有成因和伴生关系,地层流体的活动对油气的生成、运移、聚集和散失均具有重要的控制作用^[1-8]。虽然许多学者^[9-15]从地层流体角度对油气运移方向和油气成藏机理进行了研究,但对于油气运聚过程中地层流体与油气的关系以及二者之间的相互作用机理还缺乏系统的研究。为此,笔者利用流体包裹体分析技术,以东营凹陷牛庄洼陷为例,对其地层流体活动期次进行划分,以恢复不同活动时期的古流体矿化度和古流体压力,并对地层流体的活动演化过程及其与油气成藏的动态作用模式进行了探讨。

1 地质概况

牛庄洼陷位于东营凹陷南坡,北以中央隆起带与利津洼陷相隔,南以缓坡带与王家岗—八面河构造带相连。从地层流体的成因类型来看,研究区洼陷区的沙四段和沙三段以沉积埋藏水为主,可分为沙四段高矿化度的盐湖相沉积埋藏水和沙三段低矿化度的淡水湖相沉积埋藏水,沙二段—东营组为混合水,馆陶组以上为溶滤渗入水。研究区的油气主要分布于沙三段,以岩性油气藏为主;油源对比结果表明,沙三段岩性油气藏为来源于沙四段与沙三段烃源岩的混源油气。通过对研究区地层流体

演化模式进行研究,结合油气成藏过程分析,可以明确地层流体活动与油气成藏的动态作用模式。

2 地层流体活动期次

流体包裹体均一温度测试法是确定地层流体活动期次的主要方法,其对于连续沉积的简单构造盆地具有一定效果,但对于复杂地质背景的沉积盆地则效果较差。究其原因:①当沉积盆地抬升之后,由于埋深减小,在地热梯度不变的情况下,流体被捕获的均一温度可能降低,晚期流体包裹体的均一温度可能低于早期流体包裹体的均一温度;对于东营凹陷,喜马拉雅运动东营幕的构造活动使油气从烃源岩排出,形成第1期油气运聚,并且造成东营组沉积后的区域性隆起和广泛剥蚀,此时沙四段烃源岩的埋深未增加,反而由于盖层的剥蚀减薄而抬升变浅,导致第1个成油期的中断。②在沉积盆地的沉积过程中,随着埋深的增加,如果地热梯度降低可能造成不同期次的流体包裹体具有相似的均一温度。③如果不同期次不同成分的流体具有相似的温度区间,仅根据其均一温度也难以进行区分。因此,科学、准确地确定流体包裹体期次的方法是对流体包裹体进行细致的镜下岩相学划分,定性分析流体包裹体捕获时期,然后通过包裹体温度

收稿日期:2013-01-15。

作者简介:解玉宝,男,工程师,硕士,从事油气勘探综合研究。联系电话:(0546)8715741, E-mail:179510947@qq.com。

基金项目:国家科技重大专项“渤海湾盆地精细勘探关键技术”(2011ZX05006)。

和盐度的测试,对其流体活动期次进行定量划分。

2.1 流体包裹体岩相学划分

通过分析成岩作用期间与地层流体活动相关的包裹体类型,可以定性分析流体包裹体的捕获时期。牛庄洼陷的包裹体类型丰富,其中与成岩期流体活动相关的主要有3种类型。第1种为成岩作用早期或晚期,在挤压作用下所捕获的包裹体,主

要分布于石英颗粒的微裂隙中(图1a);第2种为成岩过程中石英颗粒的次生加大边所捕获的包裹体,其形成于成岩作用晚期,沿石英颗粒边缘生长,捕获于石英颗粒的次生加大边中(图1b);第3种为多期变形期间微裂隙所捕获的次生包裹体,其形成于成岩作用末期,主要沿穿插于多个石英颗粒间的较大裂隙分布(图1c)。

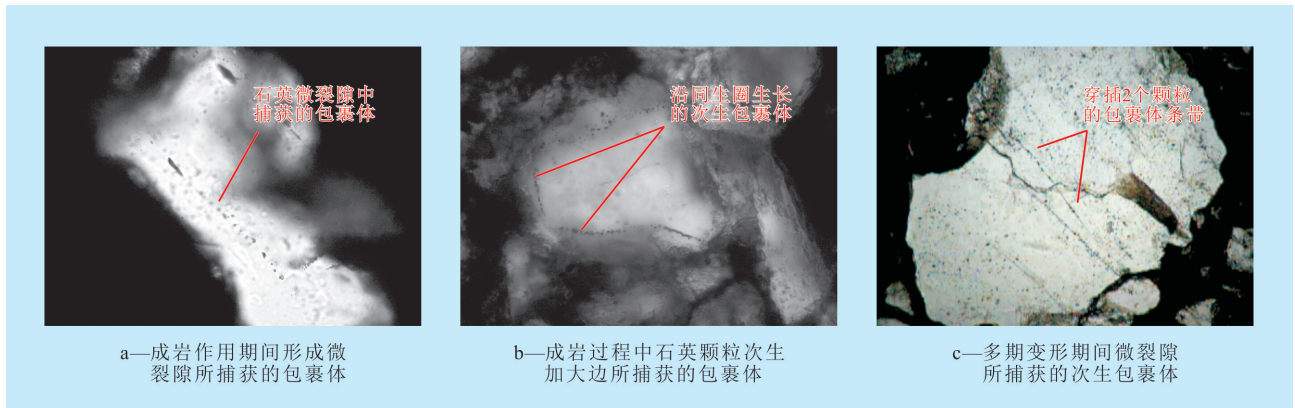


图1 成岩作用期间与流体活动相关的包裹体类型

2.2 古流体活动期次

在流体包裹体岩相学观察的基础上,进一步进行包裹体显微测温测试。首先通过升温或冷冻,在详细观察和辨认包裹体中含流体的各种物相(固相、气相和液相)的基础上测量各种瞬间相变化的温度,即均一法测温和冷冻法测量包裹体盐度^[16-19];然后将温度和盐度相似的包裹体归入1个期次。先前对研究区的测温学研究仅限于均一温度测定,未对样品包裹体进行细致的岩相学观察,据此确定的流体包裹体捕获期次具有一定误差,而在流体包裹体岩相学观察基础上的均一温度测定,则可有效地避免该误差。

牛庄洼陷包裹体的温度和盐度测试数据表明,其均一温度可划分为85~110,110~120℃和大于125℃共3个区间,反映出其对应的古流体活动主要分为3个期次。结合研究区的埋藏热演化史,可确定3期古流体活动时期分别为东营组沉积末期、馆陶组沉积时期和明化镇组沉积时期—第四纪。前人对成藏期次的研究成果^[20-21]也表明,牛庄洼陷发育3期油气充注,且3期油气充注的时间与古流体活动时期大致相当,反映出作为油气的载体,地层流体活动与油气成藏在时间上具有明显的一致性。

藏时期的古流体矿化度进行恢复。研究区东营组沉积末期古流体矿化度的最小值为42 g/L,最大值为143 g/L,且高值区的分布范围较大,在洼陷区及北部中央隆起带的古流体矿化度均普遍高于80 g/L(图2);根据地层流体成因类型的划分标准,研究区古流体矿化度高于80 g/L的地层流体为沙四段高矿化度混入水;在东营组沉积末期,沙四段高矿化度沉积埋藏水沿断层和裂缝向上穿层至沙三段储层,导致古流体矿化度明显增大。至馆陶组沉积时期,研究区地层流体以沉积埋藏水为主;沙三段低矿化度沉积埋藏水的离心流作用导致地层流体淡化,古流体矿化度减小,为32~59 g/L。至明化镇组沉积时期—第四纪,其古流体矿化度由于埋藏作用呈增大趋势,最高值达114 g/L,且分布特征与现今地层

3 古流体矿化度恢复

通过冷冻法包裹体盐度测试,对牛庄洼陷各成

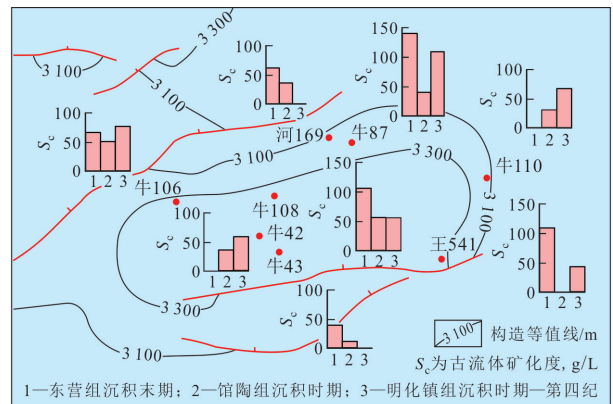


图2 牛庄洼陷古流体矿化度分布

流体相似;局部地区矿化度的明显增高可能是受深部高矿化度地层流体混入的影响,但仍以沙三段低矿化度沉积埋藏水为主。

4 古流体压力恢复

对含油气盆地评价的关键指标是重建盆地的温度—压力变化^[22],而盆地的温度—压力变化可以通过检测成岩阶段流体包裹体的组分含量来实现重建^[23]。

利用油气包裹体热动力学模拟技术可以有效恢复盆地的古流体压力,但对于研究地层流体的流体包裹体来说,则很难利用该方法获得盆地不同沉积时期的古流体压力,为此笔者尝试采用流体包裹体甲烷含量算法来恢复不同沉积时期盆地的古流体压力。甲烷在含油气盆地中广泛存在,其在生油窗阶段即可溶解于水,并最终形成分离的气相。在流体包裹体溶解的少量烃类中,甲烷是主要成分,由于甲烷比其他烃类更轻、更易溶解,且其含量受盆地温度—压力条件控制,因此,依据 $\text{CH}_4\text{—H}_2\text{O}$ 体系流体包裹体中的甲烷含量,即可通过相应的经验等值线图来确定出不同古地温条件下的古流体压力 Duan 方程^[24]。如根据 Duan 方程^[24],在 100 °C 下水溶液包裹体中若含有 0.1 mol 的甲烷,则包裹体水溶液的气体压力约为 15 MPa;但如果通过显微测温检测不到甲烷,则会导致对包裹体压力计算的误差。因此,目前相对准确的方法是通过拉曼光谱检测来分析 $\text{CH}_4\text{—H}_2\text{O}$ 体系中较低的甲烷含量(其值为 0.01 ~ 2 mol/kg),然后根据捕获流体包裹体砂岩储层的埋深及古地温梯度的演化获得具有甲烷含量的包裹体捕获时期的古温度,进而利用 Duan 方程^[24]计算 $\text{CH}_4\text{—H}_2\text{O}$ 体系的压力—温度图的投影求得包裹体的内部压力。

通过拉曼显微探针在牛庄洼陷样品中分别检测到水溶液包裹体中水和甲烷的拉曼光谱,根据甲烷和水的拉曼峰的峰面积比来计算水溶液中的甲烷含量,其计算式为

$$C = 38A - 566A^2 \quad (1)$$

$$R^2 = 0.991$$

式中: C 为甲烷含量, mol/kg; A 为甲烷和水的拉曼峰的峰面积比。

将牛庄洼陷水溶液包裹体中甲烷和水的拉曼峰的峰面积比代入式(1),即可求出包裹体中的甲烷含量,进而根据 Duan 方程中甲烷含量与包裹体压力的关系恢复地层的古流体压力。

综合研究区所有样品的温度和盐度测试结果表明,多数样品仅保存了 1 期或 2 期包裹体。牛庄洼陷 27 号样品(牛 43 井, 3 259 m)保存了第 1 和第 2 期包裹体,且均测到甲烷。根据拉曼光谱检测以及甲烷和水的拉曼峰的峰面积比,计算出第 1 和第 2 期包裹体中的甲烷含量分别约为 0.107 和 0.11 mol/kg,根据包裹体均一温度测试其古地温分别为 109 和 114 °C,而第 3 期流体包裹体中未检测到甲烷。

研究表明,第 1 期流体活动时期的古流体压力约为 17 MPa,古流体压力系数为 0.95,第 2 期流体活动时期的古流体压力约为 22 MPa,古流体压力系数为 1.23,与牛庄洼陷古流体矿化度的演化趋势是一致的。在东营组沉积末期,由于构造抬升发生 1 次泄压,古流体压力较低;至馆陶组沉积时期为第 2 期流体活动时期,古流体压力增大并逐渐发育超压。

5 古流体演化模式及其与油气成藏动态作用模式

通过划分牛庄洼陷地层流体的活动期次,恢复不同成藏时期的古流体矿化度和古流体压力,可以建立牛庄洼陷古流体演化模式,并恢复地层流体活动与油气成藏的动态作用模式。在东营组沉积之前,牛庄洼陷沙四段和沙三段地层流体主要发生浓缩变质作用,随埋深的增大地层流体矿化度增大,地层压力也逐渐增大;在东营组沉积末期,牛庄洼陷沙四段发育超压,沙三段中、下亚段为常压系统,在构造抬升作用下,随着沙四段超压的释放,高矿化度沉积埋藏水携带超压油气沿断层或裂缝穿层至沙三段成藏;至馆陶组沉积时期,研究区沙三段地层压力增大,沙三段沉积埋藏水携带中等成熟度油气随离心流向洼陷边缘运聚;在明化镇组沉积时期—第四纪,其超压范围进一步扩大,超压幅度进一步加强,地层流体携带高成熟度油气随离心流向洼陷边缘运聚,或随超压释放穿层向上覆层位运聚。相应地,牛庄洼陷经历了东营组沉积末期沙四段高矿化度沉积埋藏水携带沙四型油气沿断层或裂缝向沙三段运移,馆陶组沉积时期之后又经历沙三段低矿化度沉积埋藏水携带沙三型油气在离心流作用下继续充注,从而在研究区洼陷区沙三段形成了低矿化度沉积埋藏水背景下的沙四型和混源型油气藏。因此,地层流体的活动过程对油气的运聚具有控制作用,研究区的古流体演化模式反映出地层流体活动与油气成藏的动态作用模式。

6 结论

通过流体包裹体的岩相学观察及包裹体均一温度和盐度测试,明确了牛庄洼陷地层流体活动期次,并分别利用包裹体盐度测试资料及流体包裹体甲烷含量计算法恢复3个期次的古流体矿化度和古流体压力,进而明确了地层流体活动与油气成藏的动态作用模式。结果表明,牛庄洼陷主要有3期流体活动,分别为东营组沉积末期、馆陶组沉积时期和明化镇组沉积时期—第四纪。在东营组沉积末期,由于构造抬升发生1次泄压导致沙四段—沙三段古流体压力降低,同时沙四段高矿化度沉积埋藏水携带沙四型油气沿断层或裂缝向上穿层至沙三段储层,导致古流体矿化度显著增大;至馆陶组沉积时期,古流体压力增大并逐渐发育超压,同时牛庄洼陷沙三段低矿化度的沉积埋藏水携带沙三型油气在离心流作用下继续充注,并导致地层流体淡化,古流体矿化度减小;至明化镇组沉积时期—第四纪,古流体矿化度由于埋藏作用又呈增大趋势。由此在研究区洼陷区沙三段形成了低矿化度沉积埋藏水背景下的沙四型和混源型油气藏。

参考文献:

- [1] 查明. 压实盆地油气运移动力学模型与数值模拟——以东营凹陷为例[J]. 沉积学报, 1997, 15(4): 86-90.
- [2] 陈刚. 沁水盆地向斜型水封气藏形成条件探讨[J]. 石油与天然气地质, 1998, 19(4): 302-306.
- [3] 陈恭洋. 潜江凹陷南部地层水化学特征与油气成藏的关系[J]. 江汉石油学院学报, 2003, 25(3): 15-17.
- [4] 陈建文, 厉玉乐, 孙德君, 等. 油田水动力系统与油气藏的形成[J]. 海洋地质与第四纪地质, 1999, 19(4): 31-38.
- [5] 邓孝, 陈墨香. 莺歌海盆地地层水的化学特征及其石油地质意义[J]. 地质科学, 1994, 29(4): 404-407.
- [6] 康永尚, 邱楠生, 吴文旷, 等. 柴达木盆地西部油气成藏流体动力系统分析[J]. 石油学报, 2000, 21(5): 12-15.
- [7] 李明诚, 李剑, 万玉金, 等. 沉积盆地中的流体[J]. 石油学报, 2001, 22(4): 13-17.
- [8] 李明诚, 孙大明. 地流体、封隔体和含油气系统与油气运移的关系[J]. 石油大学学报: 自然科学版, 2000, 24(4): 29-33.
- [9] 李春光. 论山东东营、惠民盆地油田水与油气聚集关系[J]. 地质论评, 1994, 40(4): 340-346.
- [10] 曾灏辉. 东营凹陷第三系流体物理化学场及其演化特征[J]. 地质论评, 2000, 46(2): 212-219.
- [11] 李晓燕. 东营凹陷地层水成因类型及其与油气运移方向的关系[J]. 油气地质与采收率, 2012, 19(3): 18-21.
- [12] 刘晓峰, 解习农, 姜涛, 等. 东营凹陷流体动力系统研究[J]. 地质科技情报, 2006, 25(1): 55-59.
- [13] 李恒清, 杨少春, 路智勇. 油气充注方式对油藏内油水分布特征的影响——以东营凹陷永8断块油藏为例[J]. 油气地质与采收率, 2012, 19(2): 9-11, 15.
- [14] 孙向阳, 解习农. 东营凹陷地层水化学特征与油气聚集关系[J]. 石油实验地质, 2001, 23(3): 291-296.
- [15] 张守鹏, 张林晔, 王伟庆, 等. 含油气盆地地层水演化过程中含烃酸性流体的浸入效应——以东营凹陷胜坨油田为例[J]. 油气地质与采收率, 2011, 18(4): 10-12, 20.
- [16] 卢焕章, 范宏瑞, 倪培, 等. 流体包裹体[M]. 北京: 科学出版社, 2004.
- [17] 卢焕章, 李秉伦, 沈昆, 等. 包裹体地球化学[M]. 北京: 科学出版社, 1990.
- [18] 倪培, 饶冰, 丁俊英, 等. 人工合成包裹体的实验研究及其在激光拉曼探针测定方面的应用[J]. 岩石学报, 2003, 19(2): 319-326.
- [19] 丁俊英, 倪培, 饶冰. $\text{CaCl}_2\text{—H}_2\text{O}$ 体系人工合成流体包裹体研究[J]. 岩石学报, 2005, 21(5): 1 425-1 428.
- [20] 朱光有, 金强, 戴金星, 等. 东营凹陷油气成藏期次及其分布规律研究[J]. 石油与天然气地质, 2004, 25(2): 209-215.
- [21] 蒋有录, 刘华, 张乐, 等. 东营凹陷油气成藏期分析[J]. 石油与天然气地质, 2003, 24(3): 215-218, 259.
- [22] 张永刚, 许卫平, 王国力, 等. 中国东部陆相断陷盆地油气成藏组合体[M]. 北京: 石油工业出版社, 2006.
- [23] 潘立银, 倪培, 欧光习, 等. 油气包裹体在油气地质研究中的应用——概念、分类、形成机制及研究意义[J]. 矿物岩石地球化学通报, 2006, 25(1): 19-28.
- [24] Duan Zhenhao, Moller N, Weare J H. An equation of state (EOS) for $\text{CH}_4\text{—CO}_2\text{—H}_2\text{O}$ I: Pure systems from 0 to 1 000 °C and from 0 to 8 000 bar [J]. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 1992, 56(7): 2 605-2 617.

编辑 邹澍滢