

东海陆架盆地西湖凹陷油气成藏动力学^{*}

叶加仁¹ 顾惠荣² 贾健谊²

(1.中国地质大学·武汉 2.中国石化上海海洋油气分公司)

叶加仁等.东海陆架盆地西湖凹陷油气成藏动力学.天然气工业,2005;25(12):5~8

摘要 采用静态描述与动态模拟相结合的方法,对西湖凹陷的流体动力场、生排烃史、油气运聚及成藏机制等油气成藏动力学特征进行了系统研究。研究表明,西湖凹陷不同构造单元具有各异的地下地温场和压力场特征;始新统平湖组具有厚度大、分布广、有机质丰度高、热成熟度高和生排烃强度大等特点,是凹陷内最重要的烃源岩层系;西湖凹陷曾发生2期重要的油气充注过程,其中第一期主要充注液态烃,第二期主要充注气态烃,渗透性砂岩层、断层及不整合面组成了凹陷内纵横向相互连通、有利于油气运聚的流体输导系统;西湖凹陷的油气成藏具有多期成藏、垂向运聚、近源成藏等特点,油气富集受多种因素的联合控制。

关键词 流体 动力场 生油层 排烃 油气藏形成 动力学 流体流动 西湖凹陷

西湖凹陷位于东海陆架盆地的东北部,面积约 $4.6 \times 10^4 \text{ km}^2$,是盆地油气勘探的重点凹陷;凹陷的油气勘探工作始于20世纪70年代初期,迄今为止已在凹陷内完成探井30余口,发现了8个油气田和4个含油气构造。

一、温压场及生排烃史

1.地温场

综合钻井测温资料,西湖凹陷现今平均地温梯度约为 $3.40 \text{ }^\circ\text{C}/100\text{m}$,但不同埋深段和不同构造单元具有各异的地温场特征(图1)。

基于流体包裹体、镜质体反射率和磷灰石裂变痕迹等资料^[1~5]推断出西湖凹陷的古地温梯度高于今地温梯度,有利于有机质成熟与烃类生成作用。

2.压力场

西湖凹陷的泥岩段与储层(砂岩)段具有不同的压力特征。根据声波时差资料,大致以平湖组顶为界,之上的泥岩为正常压实,处于正常压力状态,而平湖组及其以下地层的泥岩则普遍出现欠压实,处于异常高压状态。储层段的压力分布状况较为复杂。根据钻井试油压力成果,保俶斜坡带的深部储层(平湖组中段及其以下层位)发育异常高压(图2a);浙东中央背斜带内各钻井储层段的压力系数均

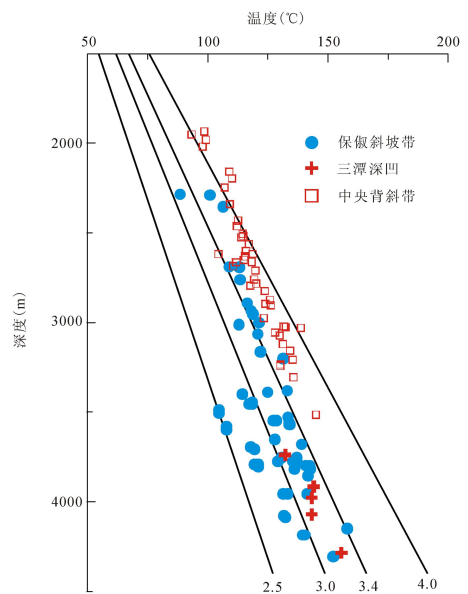


图1 西湖凹陷温度—深度关系

为1.0左右(图2b),属正常压力系统。

3.生排烃史

(1)本次研究采用岩石热模拟实验法定量恢复了西湖凹陷主要烃源岩的生烃历史。模拟计算结果表明,平湖组源岩的生烃强度最高(10.58 kg/m^3),为凹陷主要的生烃岩系;古新统源岩的生烃强度次

^{*} 本文系国家自然科学基金资助项目(40172051)部分成果。

作者简介:叶加仁,1966年生,教授;1996年毕业于中国地质大学(武汉)研究生院,获数学地质专业博士学位,现主要从事油气地质与数学地质的教学与研究。地址:(430074)湖北省武汉市洪山区鲁磨路388号中国地质大学资源学院。电话:(027)62156073。E-mail:jryd@cug.edu.cn

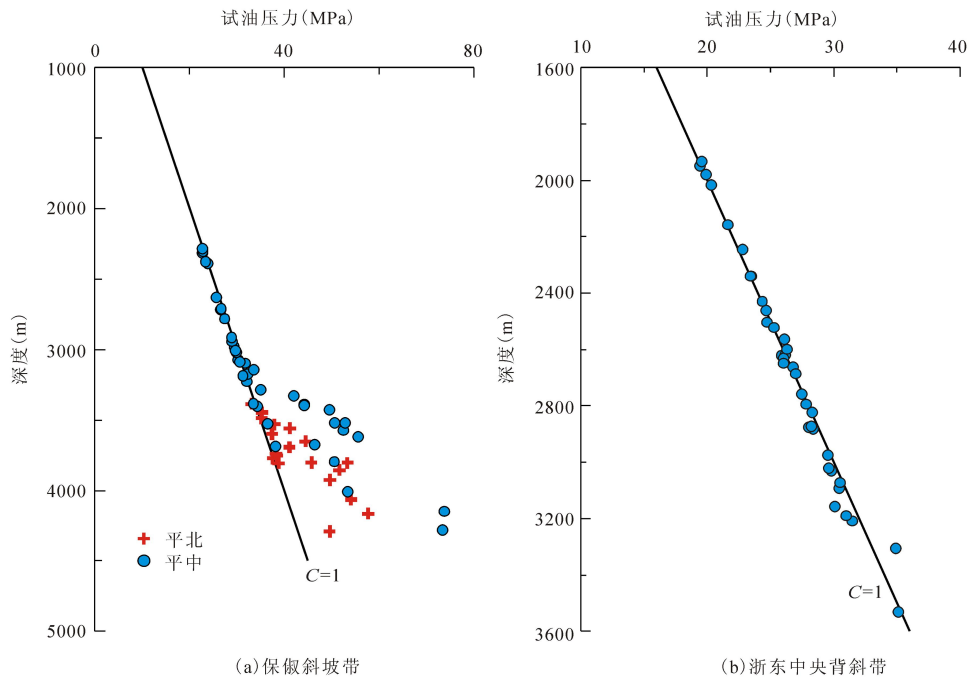


图2 西湖凹陷储层试油压力—深度关系图

之(8.88 kg/m^3),花港组源岩的生烃强度相对较小(7.00 kg/m^3)。在成烃历史上,平湖组源岩在渐新世中期进入油窗,于中新世晚期进入气窗,现今处于高成熟阶段;古新统源岩在始新世中期进入油窗,于中渐新世进入气窗,现今为过成熟阶段;花港组源岩于中中新世进入油窗,现今仍处于生油窗范围之内。

(2)在生烃史模拟的基础上,根据西湖凹陷的实际地质情况和排烃研究的相关成果^[6~8],选用“含烃饱和度与破裂压力双因素联合控制下的微裂缝排烃”模式^[9],应用数值模拟技术,模拟计算了凹陷主要烃源岩层系的排烃历史。研究认为,在层位上,始新统平湖组源岩的累计排烃强度最高(6.97 kg/m^3),为凹陷的主要排烃层位;古新统源岩次之(5.53 kg/m^3),渐新统花港组源岩最小(4.95 kg/m^3)。在排烃历史上,单位时间排烃强度曲线表现为“多峰型”,烃类排出具阶段性、多期次幕式排烃的特点;不同源岩的排烃历史有所差异,其中古新统源岩的排烃期距今 $38\sim 14 \text{ Ma}$,并于距今 28 Ma 达到排烃高峰;平湖组源岩的排烃期距今 $28\sim 8 \text{ Ma}$,排烃高峰出现在距今 18 Ma ;花港组源岩排烃始于距今 18 Ma ,一直延续至今。

二、油气运聚

1. 输导系统

(1)砂岩层。西湖凹陷第三系为一套巨厚的砂

泥岩剖面,砂岩具有层数多、分布广、邻近烃源岩等特点,构成了凹陷油气横向输导的基本通道。统计分析表明,始新统平湖组砂质岩占其总厚度的 $17.8\%\sim 59.9\%$,渐新统花港组为 $38.5\%\sim 82.1\%$,中新统龙井组为 $33.6\%\sim 87.6\%$,中新统玉泉组为 $39.2\%\sim 79.9\%$,各组均具有较高的砂质岩比例。

(2)断层。与区域构造演化的断陷、拗陷和沉降阶段相对应,西湖凹陷分别发育了拉张性正断层、挤压性逆断层和剪切平移断层。不同性质的断层在凹陷油气运移、聚集过程中所起的作用不一样,其中在断陷阶段发育的NE—NNE向正断层对古新统与始新统源岩生成的油气向上运聚成藏起了重要的输导作用,是凹陷油气纵向运移的主要通道。

(3)不整合面。西湖凹陷发育 T_6^0 、 T_4^0 、 T_3^0 、 T_2^0 及 T_g 等区域不整合面及 T_2^1 、 T_3^1 等局部不整合面,其在不同时期可成为油气运移的通道。由于不整合面通常受到风化、地表水淋滤和地下水溶蚀等作用的改造,从而改善其岩石物性,提高了岩石的孔隙度与渗透性,使之成为有利的油气运移通道。

2. 运聚期次

储层中的流体包裹体记录了流体充注储层时的组成、性质及物理化学条件,为含油气盆地油气成藏动力学研究提供了有效途径与手段^[10~13]。西湖凹陷平湖油气田下第三系储层包裹体测试结果表明,不同储层段的包裹体均一温度分布特征不尽一致,

其中花港组储层的包裹体均一温度分布呈单峰型,集中值为 110~115 °C,且具正态分布特征;平湖组上段和中段储层内的包裹体均一温度分布范围较宽,为 105~145 °C,并呈双峰型,可分为两组:第一组的温度范围与花港组包裹体的相近;第二组的温度峰值分布在 130~135 °C;平湖组下段储层包裹体的均一温度分布呈单峰型,主要分布在 130~140 °C,与平湖组上段和中段的第 2 组相近。这说明平湖油气田曾发生 2 期油气充注过程,其中第一期充注发生时间相对较早,为烃源岩达到一定埋深后,处于成熟阶段,生成石油并排出,主要充注液态烃;第二期充注发生的时间相对较晚,为烃源岩处于高成熟阶段,生成天然气并排出,主要充注气态烃;第一期油气充注主要发生于平湖组中段、上段和花港组,而第二期油气充注则主要发生于平湖组内。

三、成藏机制

1. 多期成藏

根据原油芳烃成熟度参数计算,西湖凹陷原油的成熟度主要相当于 R_o 值为 0.6%~1.1%^[14],为烃源岩处于成熟演化阶段的产物,而天然气的演化程度则较高,根据碳同位素与 R_o 关系折算的天然气成熟度相当于 R_o 为 1.30%~1.95%^[15],为烃源岩处于高熟阶段的产物。平湖油气田原油的成熟度和密度在纵向上出现倒转现象,揭示出后期充注的天然气对早期形成油藏的改造作用。此外,如前所述,平湖油气田储层流体包裹体均一温度分布多呈双峰型。这些均反映出凹陷油气具有多期成藏的特征。

2. 垂向运聚

(1) 西湖凹陷目前勘探发现的油气主要分布于保俶斜坡带和浙东中央背斜带,其中保俶斜坡带油藏主要赋存于渐新统花港组,气藏则主要产于始新统平湖组;浙东中央背斜带气藏主要赋存于渐新统花港组。油—气—岩分析与对比表明,西湖凹陷油气主要来源于始新统平湖组^[14,15];保俶斜坡带平湖组烃源岩目前主要处于生油窗内,尚未进入成气带。显然,凹陷油气生成层位与产出层位的差异揭示着垂向运聚在凹陷油气藏形成过程中的重要性。

(2) 垂向运聚特征也表现在同一油气藏内不同产层地球化学参数的规律性变化上,如:自始新统平湖组到渐新统花港组,再到上部的中新统龙井组储层,天然气中 N_2 含量不断增多,比值 N_2/C_2H_6 和 N_2/C_3H_8 也不断加大^[15];从井段 3031.5~3039.0 m 到 2512.5~2519.0 m,断桥 1 井天然气藏的

$^{40}Ar/^{36}Ar$ 值由 327.3 减少到 301.5, δ^3C_1 值由 -36.09‰ 减少为 -38.22‰^[16];由深至浅,残雪、断桥、宝云亭和天外天等油气藏中的凝析油含量、重烃含量及天然气相对密度不断增加,而气/油比和甲烷含量却逐渐减少^[16]。断陷期形成的拉张性正断层是西湖凹陷油气垂向运聚的主要通道。

3. 近源成藏

受烃源岩性质的控制,西湖凹陷不同油气田的流体性质存在着较大的差别,反映出近源成藏的特征。例如,平湖油气田与残雪油气田原油的海松烷/ nC_{21} 值存在着较大差异^[17],其中平湖油气田原油的海松烷/ nC_{21} 值大于 1,而残雪油气田原油的海松烷/ nC_{21} 值则小于 1,这种差异反映了烃源岩对油气性质的控制作用。研究表明^[17],原油中海松烷/ nC_{21} 值的大小取决于烃源岩中树脂体丰度的高低,而树脂体主要来源于壳质组。在显微组成上,平湖地区平湖组烃源岩的壳质组含量较高,其中泥岩为 17.1%,煤为 12.9%;而残雪地区平湖组烃源岩的壳质组含量则低得多,其中泥岩为 12.7%,煤为 5.1%,且平湖地区煤的含量高于残雪地区,由此揭示平湖油气田油气主要来自于平湖地区源岩,残雪油气田油气则主要来自残雪地区源岩,并导致平湖油气田原油的海松烷/ nC_{21} 值大于残雪油气田。

四、结 论

(1) 西湖凹陷不同构造单元具有各异的温压场特征。浙东中央背斜带具有较高的地温梯度,储层处于正常压力系统;保俶斜坡带地温梯度相对较低,平湖组储层处于异常超压系统,花港组及其以上储层则多为常压系统。

(2) 油气生排烃史模拟表明,始新统平湖组具有较高的生烃和排烃强度,是凹陷内最重要的烃源岩层系;古新统为次要的烃源岩。

(3) 相互连通的渗透性砂岩层、断层及不整合面组成了西湖凹陷内有利于油气运聚的流体输导系统;西湖凹陷曾发生二期重要的油气充注过程,其中第一期充注液态烃,第二期主要充注气态烃。

(4) 西湖凹陷的油气成藏具有多期成藏、垂向运聚、近源成藏等显著特征。

参 考 文 献

- 1 郝芳,邹华耀,姜建群. 油气成藏动力学及其研究进展. 地质学前沿, 2000; 7(3): 11~21
- 2 张厚福,方朝亮. 盆地油气成藏动力学初探——21 世纪

- 油气地质勘探新理论探索.石油学报,2002;23(4):7~12
- 3 杨甲明,龚再升,吴景富等.油气成藏动力学研究系统概要(上).中国海上油气(地质),2002;16(2):92~97
- 4 姜亮,周新华,金强.用磷灰石裂变径迹研究西湖凹陷的古地温.石油大学学报(自然科学版),2001;25(1):30~33
- 5 周瑾.西湖凹陷中央背斜带两种热体制下烃源岩的热演化.中国海上油气(地质),2003;17(1):64~68
- 6 Waples D W. Modeling of sedimentary basins and petroleum systems. In: Magoon L B, Dow W G eds, The Petroleum System—from Source to Trap. AAPG Memoir, 1994;60:307—322
- 7 Mann U, Hantschel T, Schaefer R G *et al.* Petroleum migration: mechanism, pathways, efficiencies and numerical simulations. In: Welte D H, Horsfield B, Baker D R eds, Petroleum and Basin Evolution: Insight from Petroleum Geochemistry, Geology and Basin Modeling. Berlin Heidelberg:Springer-Verlag,1997:403—520
- 8 Okui A, Siebert R M, Matsubayashi H. Simulation of oil expulsion by 1-D and 2-D basin modelling—saturation threshold and relative permeabilities of source rocks. In: Düppenbecker S J, Illiffe J E eds, Basin Modelling: Practice and Progress. Geological Society, London, Special Publications,1998;(141):45—72
- 9 Ye J R, Zhao P D, Lu M D. Petroleum geological dynamics of Lower Paleozoic in the Ordos Basin, Northwest China. Science in China (Series D), 2000;43(4):401—411
- 10 Eadington P J, Hamilton P J, Bai G P. Fluid history analysis: a new concept for prospect evaluation. The APEA Journal, 1991;31(1):282—294
- 11 Karlsen D A, Nedkvitne T, Larter S R *et al.* Hydrocarbon composition of authigenic inclusions: application to elucidation of petroleum reservoir filling history. Geochimica et Cosmochimica Acta, 1993;57(15):3641—3659
- 12 Nedkvitne T, Karlsen D A, Bjorlykke K *et al.* Relationship between reservoir diagenetic evolution and petroleum emplacement in the Ula Field, North Sea. Marine and Petroleum Geology, 1993;10(3):255—270
- 13 高先志,陈发景.应用流体包裹体研究油气成藏期次——以柴达木盆地南八仙油田第三系储层为例.地学前缘,2000;7(4):548~554
- 14 贾健谊,须雪豪,孙伯强.东海西湖凹陷原油与天然气的地球化学特征.海洋石油,2000;(2):1~7
- 15 叶军,郭迪孝.东海西湖凹陷天然气地化特征.石油实验地质,1996;18(2):174~181
- 16 陈晓东.西湖凹陷黄岩7-1及14-1油气藏特征及成藏模式.中国海上油气(地质),2003;17(1):57~63
- 17 傅宁,李友川,陈桂华等.东海西湖凹陷油气“蒸发分馏”成藏机制.石油勘探与开发,2003;30(2):39~42

(收稿日期 2005-08-19 编辑 黄君权)