

文章编号: 1001-6112(2008)04-0357-06

塔里木盆地孔雀1井志留系含气储层成藏期次研究

肖 晖, 任战利, 崔军平

(西北大学 大陆动力学国家重点实验室, 西安 710069)

摘要:近年来,塔里木盆地东北缘烃源岩高一过成熟区油气勘探获得重要发现,已在几口井中获得工业气流或油气显示,位于孔雀河斜坡维马克—开屏构造带上的孔雀1气藏是其中一个代表性的气藏。通过流体包裹体实验法,探讨了孔雀1井志留系含气储层的成藏期次。实验结果表明,孔雀1气藏历史上主要有2期成藏过程:第一期为加里东晚期沉积埋藏阶段古油藏形成时期(380~365 Ma);第二期为构造抬升阶段,源于古油藏热裂解成因的天然气成藏期(325~315 Ma)。对比英南2气藏的成藏时间可以看出,孔雀1气藏形成时间较早,早先建立起的孔雀河地区晚期成藏特点不具有普遍性,不同构造带具有不同的成藏历史特征。对孔雀河地区成藏历史取得的新认识,对该地区下一步油气勘探具有重要的指导意义。

关键词:流体包裹体实验;成藏期次;孔雀1井;志留系;孔雀河斜坡;塔里木盆地

中图分类号:TE122.31

文献标识码:A

STUDIES OF ACCUMULATION STAGES OF SILURIAN GAS-BEARING RESERVOIRS IN WELL KONGQUE 1 IN THE TARIM BASIN

Xiao Hui, Ren Zhanli, Cui Junping

(State Key Laboratory of Continental Dynamics, Northwest University, Xi'an, Shaanxi 710069, China)

Abstract: Oil and gas explorations in the northeast of Tarim Basin are quite successful recently with several commercial gas accumulations discovered in high and over-matured source region. The Kongque 1 (Kq 1) Gas Field, situated in the Weimake-Kaiping Structural Belt of the Kongquehe Slope, is a representative gas accumulation. With applications of organic inclusions, accumulation stages of Silurian gas-bearing reservoirs in Well Kq 1 are determined. According to experiment results, charge history of Well Kq 1 can be divided into 2 stages. The first stage is the formation time of palaeo-petroleum reservoir in depositional phase of late-Caledonian movement (350—365 Ma). The second stage is the gas formation time during tectonic uplifting stage (325—315 Ma). Gas is thermal cracked gas derived from palaeo-petroleum reservoirs. Compared with accumulation time of Well Yingnan 2, formation time of Well Kq 1 is earlier. Late period accumulation characters in the Kongquehe area is not general. Different tectonic belts have different oil-and-gas accumulation histories. New cognitions about formation stages of oil-and-gas are important for further explorations in the Kongquehe area.

Key words: fluid inclusion experiment; Well Kq 1; formation stages; Silurian; the Kongquehe Slope; the Tarim Basin

孔雀1井位于塔里木盆地东北缘,构造位置上处于孔雀河斜坡构造带。该构造带北接库鲁克塔格隆起,南临满加尔凹陷—英吉苏凹陷,面积30 966.3 km²。近几年来,随着英南2井在侏罗系首获商业油气藏,孔雀1井在志留系首次突破,于2 781.49~2 811.75 m井段中途测试获日产天然气3 941 m³,显示了该地区广阔的油气勘探前景。前人以英南2井为代表,认为孔雀河地区油气成藏历史具有多期

生排烃、多期成藏、多期调整、晚期成藏的特点^[1~3]。此次研究借助流体包裹体技术^[4~13],分析了孔雀1井志留系含气储层中的流体包裹体,对孔雀河斜坡油气成藏历史进行了研究,得出了一些不同的认识。

1 地质背景及样品情况

构造演化历史表明,孔雀河地区是在早古生代

收稿日期:2007-08-02;修订日期:2008-05-30。

作者简介:肖 晖(1980—),男,博士生,主要从事石油地质研究。E-mail: xiaohui_4787@163.com。

基金项目:长江学者和创新团队发展计划项目(IRT0599)和高等学校全国优秀博士学位论文作者专项资金资助项目(200347)。

洋盆及被动大陆边缘基础上发展起来的,经历了晚古生代、中生代多期构造运动的叠加。研究区主要发育寒武系一下奥陶统和侏罗系 2 套烃源岩,在古生界地层中形成多套油气组合。寒武系一下奥陶统烃源岩主要以暗色泥岩和泥晶灰岩为主,有机质类型为 I, II 型,有机质丰度较高,综合评价为一套优质烃源岩。从热演化程度来看,该地区寒武系一下奥陶统烃源岩已进入高成熟—过成熟演化阶段^[1,2]。

孔雀 1 井位于孔雀河斜坡维马克—开屏构造带,由老到新钻遇奥陶系、志留系、侏罗系、白垩系、第三系和第四系地层。本次研究共采包裹体样品 5 块,集中在志留系土什布拉克组中、下段 2 600~3 000 m 之间(图 1),岩性主要为细砂岩,个别为粉砂岩。

2 志留系含气储层成岩作用特征

孔雀河斜坡地区下志留统岩性主要为砂岩、含

砾砂岩夹薄层粉砂质泥岩。在前人对本区成岩作用研究的基础上^[14],结合本次包裹体镜下岩相学特征,推断目前志留系含气储层处于晚成岩阶段的成熟期,其主要成岩作用如下:

2.1 压实作用

在早成岩的浅埋藏阶段,成岩作用主要以机械压实为主,压实作用强烈,骨架颗粒呈线接触—凹凸接触。

2.2 溶蚀作用和早期裂隙作用

在石英、长石颗粒的边缘溶蚀成港湾状,与胶结物直接接触并逐渐为胶结物所交代(图版 A),并且在颗粒加大边底部常见沥青环带(图版 B),表明溶蚀作用发生时曾发生过油气运移。形成的溶蚀孔中充填有这些烃类,后期由于温度升高发生热蚀变作用,有机物缩聚成为沥青质。早期裂隙作用与埋藏溶蚀作用基本同步进行,早期裂隙的特征为没有穿过石英次生加大边。因后期成岩作用影响,早期裂隙愈合,其中分布着沥青或串珠状的油气包裹体,它们与埋藏溶蚀孔隙中的油气包裹体均属于早期烃类包裹体。

2.3 石英次生加大作用

石英等碎屑颗粒次生加大作用非常发育,个别样品中可见到 4 期以上的加大作用(图版 C),碎屑颗粒次生加大边底部分布有较多的沥青或油气包裹体。石英加大边中发育有早期油气包裹体(图版 D)。此外在长石碎屑颗粒基础上,次生加大形成了积壳状的生长环带。

2.4 晚期胶结作用和晚期裂隙作用

晚期胶结作用表现为硅质胶结物、亮晶方解石、白云石、石膏等矿物胶结。晚期亮晶方解石交代早期微—细晶方解石(图版 A),晚期胶结物中见油气包裹体分布(图版 E)。晚期裂隙的特点是切穿了整个碎屑颗粒及其加大边,其中分布有晚期油气包裹体和沥青侵染物(图版 D, F, G)。

根据成岩作用过程中胶结物和自生矿物的类型和沉淀顺序的不同,及其与晚期裂隙的发育关系,建立起孔雀河斜坡志留系储层胶结物和自生矿物的生成次序为:微—细晶方解石—石英次生加大—晚期裂隙填充方解石—自生石英(图版 F)。

3 流体包裹体实验

3.1 油气包裹体期次划分

本次研究的流体包裹体主要是细砂岩、粉砂岩中自生矿物、胶结物中的原生包裹体和沿裂隙分布的次生包裹体。在偏光和紫外荧光显微镜下观察,

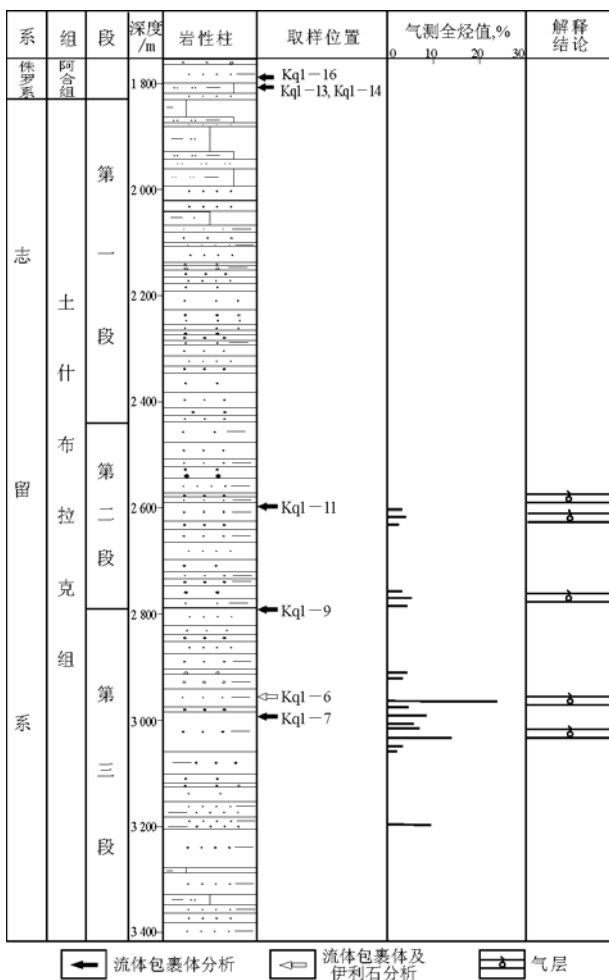
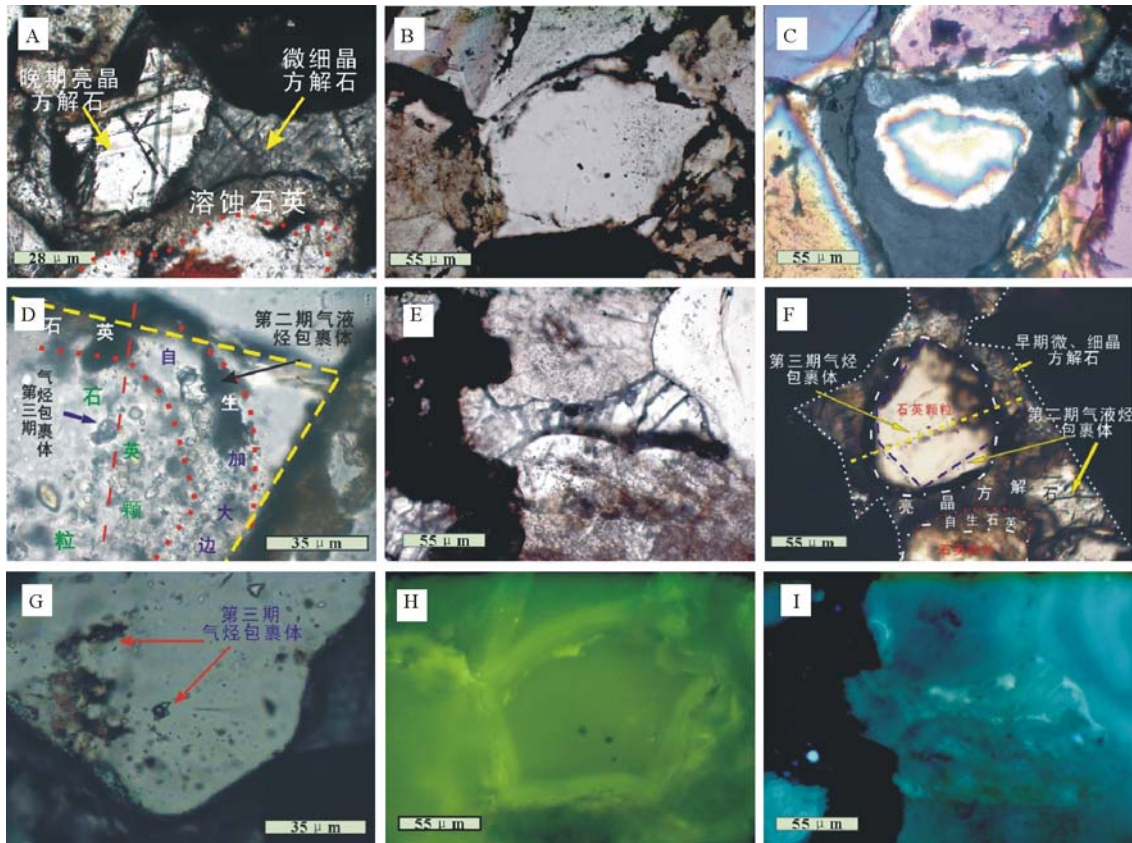


图 1 塔里木盆地孔雀 1 井采样位置剖面
Fig. 1 Diagram of sample sites in Well Kongque 1, the Tarim Basin



图版 油气包裹体显微镜下特征

A. 2 592.8 m, 石英颗粒边缘的溶蚀作用及颗粒间发育的早、晚 2 期方解石胶结物; B. 2 800 m, 石英自生加大作用, 以及在加大边底部颗粒间分布的沥青; C. 2 592.8 m, 多期次的石英自生加大作用, 正交偏光下; D. 2 955 m, 石英加大边中发育的气液烃包裹体(第二期), 沿切穿石英颗粒及其加大边分布的气烃包裹体(第三期); E. 2 952 m, 晚期亮晶方解石中发育的气液烃包裹体; F. 2 592.8 m, 不同期次油气包裹体的岩相学划分; G. 2 592.8 m, 沿晚期裂隙发育的气烃包裹体(第三期); H. 视域同 B, 早期液烃包裹体显示浅黄色荧光, UV 激发; I. 视域同 E, 晚期气液烃包裹体显示黄白色荧光, UV 激发

Plate Characteristics of petroleum inclusions under microscope

油气包裹体类型主要有含烃盐水包裹体、液烃包裹体、含气液烃包裹体和气烃包裹体, 各种类型的包裹体发育程度不同, 且对应于不同的成岩矿物。根据成岩作用及有机包裹体类型、相态、荧光特征、气液比、形态等, 将志留系含气储层油气包裹体划分为 3 期(表 1)。

早期油气包裹体形成于沉积埋藏阶段, 主要分布在未切穿石英颗粒的早期微裂隙和溶蚀孔隙中,

以盐水、含烃盐水包裹体为主, 形状较规则, 大小一般为 3~6 μm, 气液比 10%~15%。中期油气包裹体为石英加大边中普遍发育的褐色液烃包裹体, 荧光下(蓝光激发, 下同)显示浅黄色荧光(图版 H), 其次发育粉红色气液烃包裹体(图版 D), 形状为椭圆形、似圆形, 气液比 15%~25%。晚期烃类包裹体多赋存于亮晶方解石胶结物中, 以含气液烃包裹体为主, 透射光下呈浅黄—灰色, 荧光下呈现

表 1 塔里木盆地孔雀 1 井志留系含气储层有机包裹体特征

Table 1 Diagenesis and distribution of hydrocarbon inclusions in Kq 1 gas-bearing reservoir, the Tarim Basin

期次	宿主矿物	包体类型	有机包裹体相态	气液比, %	发育程度 GOI, %	荧光特征	形态特征
早	石英裂隙	次生	含烃盐水	10~15			他形
中	石英加大边	原生	液烃 含气液烃	15~25	20~30	浅黄色	椭圆形
晚	亮晶方解石 石英裂隙	原生 次生	含气液烃 气烃	20~30 >60	0.5 <0.5	浅黄绿色 无色	圆形

强的黄白色(图版 I);晚期石油包裹体还包括成群分布在石英愈合微裂隙中的、形成于石英次生加大之后的气烃包裹体(图版 G),气液比大于 60%,荧光下不发光,透射光下呈无色或淡粉红色,个体相对于其他烃类包裹体较大,主要为 5~8 μm,形状多为椭圆形、次圆形。

3.2 石油包裹体丰度特征

储集层中油包裹体丰度反映了地质历史中古含油饱和度^[15],通过对运移通道和储集层中的残留烃类进行分析,可以识别油气的运移途径和地质历史中的古油气层^[16,17]。目前常用的技术有残留烃数量分析,即油包裹体丰度(含油包裹体颗粒指数 GOI),具体原理及方法见文献^[16],此处不再详细论述。采用显微岩石学和荧光扫描鉴定法进行 GOI 分析,结果表明早期成岩阶段自生石英加大边捕获的油包裹体丰度较大,Kq1—9 号样 GOI 指数 28%左右;晚期切穿石英颗粒及在加大边裂隙中发育的石油包裹体丰度较低,对 4 块样品均进行了统计,GOI 指数均小于 0.5%。

油层的 GOI 值大于 5%,运移通道的 GOI 值多为 1%~5%,水层的 GOI 值小于 1%^[16]。据此判断,在成岩石英/长石次生加大早—中期发育阶段,曾经存在过古油藏。石英次生加大边尘埃线内侧分布有大量灰褐色有机质沥青,砂岩粒间孔隙内分布有深褐色沥青,显示较弱的黄褐色荧光(图版 H),都证明该层段在早成岩晚期为古油藏。

3.3 油气包裹体均一温度

在以上研究的基础上,对与油气包裹体共生的不同期次的盐水包裹体或含烃盐水包裹体进行均一温度测定,本次圈定的用于测温的包裹体其大小一般为 4~8 μm,气液比大于 10%,形状规则,多为似圆形、椭圆形,从而避免了包裹体的不均一捕获和包裹体测温时的成分泄漏^[16],保证了选用包裹体的可靠性。均一温度测定是 LinkamTHMS 600 型冷热台上进行,均一法测温精度为 ±1 °C。从不同宿主矿物包裹体均一温度分布统计(图 2)可以看出:自生石英加大边内包裹体均一温度多集中在 108~115 °C;方解石中包裹体均一温度多集中在 132~146 °C。石英碎屑中的包裹体均一温度分布范围较广,主要可分为 2 个区段:75~98 °C 和 163~172 °C。同时,对气液两相盐水包裹体盐度进行了测定,从均一温度和盐度分布的关系来看(图 2),具有一定的规律性:均一温度分布在 75~108 °C 的包裹体,盐度 [ω(NaCl)] 多分布在 4%~8% 之间,表明在该成岩阶段地层中的流体性质差别不

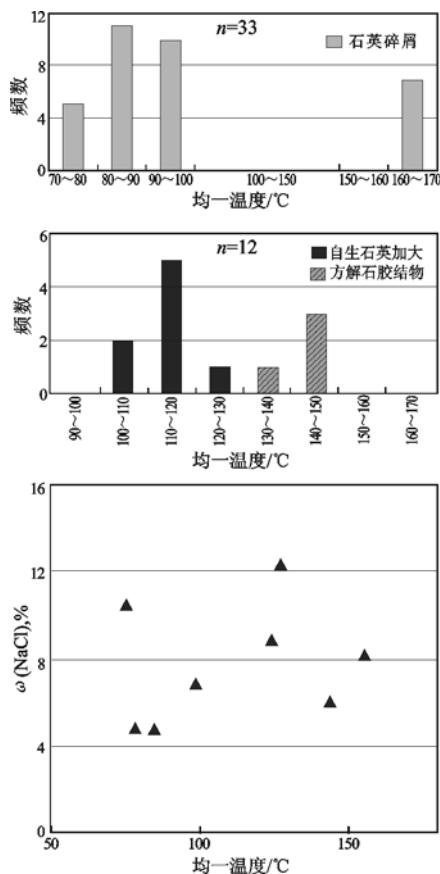


图 2 塔里木盆地孔雀 1 井含气储层包裹体均一温度及盐度分布

Fig. 2 Homogenization temperature and salinity distribution of fluid inclusions from gas-bearing reservoir of Well Kq 1, the Tarim Basin

大;而均一温度分布在 132~150 °C 以上的包裹体,盐度分布比较离散,多在 5.8%~12.2% 之间,反映为多期流体充注的结果。

4 油气成藏时间确定

孔雀 1 井天然气从成分上看属于湿气,油源对比可知,志留系天然气源于寒武系一下奥陶统海相碳酸盐岩,成因类型上为过成熟裂解油型气,与孔雀河地区发现的侏罗系商业气藏成因相似^[1]。寒武系一下奥陶统烃源岩有机质丰度较高,为一套优质烃源岩。寒武系烃源岩 R_o 值尉犁 1 井为 1.68%~3.11%,塔东 1 井为 2.67%~2.75%,处于高一过成熟阶段,高于湿气演化阶段,所以孔雀 1 井湿气形成时间较早。对气藏形成时间的确定,有助于了解孔雀河地区油气藏的形成和演化历史,进而评价该地区的油气勘探潜力。

孔雀 1 井埋藏史特征有三:1)奥陶纪—泥盆纪快速埋藏,最大埋深发生在志留纪末—晚泥盆世,烃源岩埋深大于 9 000~10 000 m(图 3)。对该井

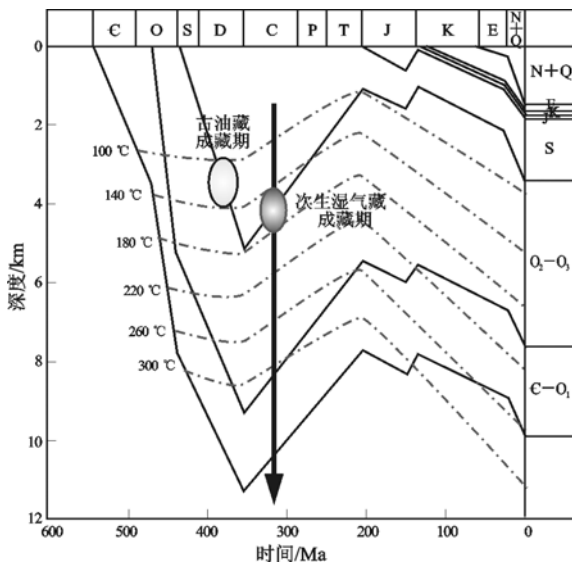


图3 塔里木盆地孔雀1井埋藏热演化史

Fig. 3 Diagram of burial-thermal evolution history of Well Kq1, the Tarim Basin

志留系含气储层段泥岩中平均粒径小于 $0.2 \mu\text{m}$ 的自生伊利石测定的 K—Ar 年龄为距今 392~383 Ma, 而志留系上段非含气段自生伊利石年龄为 364~358 Ma, 说明泥盆纪末已达到最大埋深; 2) 泥盆纪末—三叠纪持续隆升, 推测志留系和泥盆系剥蚀厚度约为 4 000 m; 3) 侏罗纪虽有抬升剥蚀, 但剥蚀量远小于前期。从群克 1 井 R₁ 随深度剖面图上可以看到, 奥陶系顶面不整合处 R₁ 值发生明显错断, 不整合之上 R₁ 值远小于不整合面以下 R₁ 值, 说明和尉犁 1 井相邻的孔雀 1 井其埋藏类型为欠补偿。

孔雀 1 井埋藏热演化史表明(图 3), 寒武系烃源岩在加里东期末—早海西期达到最大古地温, 推算高达 300 °C 以上。加里东末期, 下奥陶统和寒武系烃源岩经历了快速生烃过程, 由于奥陶系—泥盆系地层快速沉积(厚于 9 000 m), 寒武系烃源岩在晚奥陶世快速经历了生油窗和生凝析油—湿气阶段, 开始进入生干气阶段。这是孔雀河斜坡乃至塔东地区地质历史和地层格架决定的一大生烃特色^[15]。由于孔雀 1 井埋藏史为欠补偿型, 奥陶系与侏罗系之间存在明显的镜质体反射率间断, 反映这一地区上覆中、新生界地层厚度不足以使奥陶系—寒武系的成熟度进一步增高。

应用储集层流体包裹体均一化温度、埋藏史与热演化史资料, 可以推算出油气成藏时间^[17, 18]。由于早、中期油气包裹体形成于早成岩阶段沉积埋藏过程中, 对应于早、中期油气包裹体均一温度的时间为 380~365 Ma, 与自生伊利石测年的结果

(前述)匹配较好。根据石英加大边中油包裹体 GOI 统计结果以及石英、长石颗粒加大边底界分布的沥青, 表明当时储层发生过石油的聚集成藏。晚期气烃包裹体形成在晚期亮晶方解石和沿后期切穿石英颗粒及其加大边裂隙中, 油、气、水相态边界清楚, 反映了构造抬升时期捕获的有机包裹体特征, 其均一温度对应时间为 325~315 Ma。该时期油包裹体 GOI 统计结果表明储层成岩历史上未形成天然气藏。

5 孔雀河斜坡成藏模式

加里东运动晚期—海西早期, 受南北向挤压, 塔东乃至孔雀河地区的寒武系—下奥陶统古构造已具雏形^[2]。从过孔雀 1 井的地震剖面可以看出, 受中—晚奥陶世的挤压抬升作用, 古隆起开始形成, 海西期末古生代隆起基本定型。加里东晚期—早海西期, 寒武—奥陶系烃源岩开始大量生气, 进入高成熟—过成熟演化阶段, 并向志留系储层大量充注成藏(380~365 Ma); 同时在中上奥陶统, 早加里东期形成的油藏热成熟度进一步提高, 沿挤压性断裂向上运移成藏。

海西运动晚期, 伴随着寒武系高成熟度天然气的形成, 开始向上部地层运移成藏。但从海西期发育的裂隙及晚期胶结矿物中未发现高成熟度的气烃包裹体。原因可以有二: 一是海西—印支期强烈的抬升剥蚀作用使天然气难以保存; 二是相对于液态烃石油的生成时限, 高成熟度天然气生烃期短, 虽然生烃强度大, 但后续的抬升作用使生烃作用很快停止, 未能向上部储层持续供烃。

海西运动晚期—印支运动期, 塔东地区强烈抬升、广遭剥蚀, 孔雀河地区古生界隆起构造格架基本定型。由于断裂、裂缝大量发育, 轻烃组分大量散失, 导致油质变稠变重。同时, 古油藏进一步热成熟、向上运移, 在志留系储层中聚集湿气(325~315 Ma)。

6 结论

孔雀 1 井气藏形成时间较早, 不同于英南 2 井晚期(喜马拉雅晚期)成藏特征^[1, 2], 预示了孔雀河地区不同构造带具有不同的成藏演化历史。由此可见, 建立在古生界地层剥蚀量恢复基础上的埋藏史研究, 无疑是找出不同成藏演化历史差异的关键。另外中生界地层的沉积厚度也是影响是否存在晚期成藏的因素之一。

孔雀 1 井志留系含气储层可划分为两大成藏

期:一是加里东中晚期沉积埋藏阶段古油藏形成期;二是海西期构造抬升阶段,源于古油藏热裂解成因的湿气成藏期(325~315 Ma)。海西运动晚期—印支期构造抬升,断裂发育,一方面使加里东早期形成的古油藏轻烃组分大量散失,在石英、长石等溶蚀孔隙内及颗粒粒间孔内形成沥青质物质;另一方面相当一部分古油藏已裂解生气,通过断裂向上运移,如果有合适的圈闭存在,应该能发现一定规模的气藏,英南 2 井商业气藏的发现就是这种模式。

鉴于孔雀 1 井气藏形成时间在海西期,这对该地区油气勘探的指导意义在于,除了要加强奥陶系古隆起构造圈闭(塔东 1 井)、侏罗系背斜圈闭(英南 2 井)勘探外,还要加强寻找有利于油气保存、储集相带发育的志留系构造圈闭,如开屏背斜构造带和龙口断背斜构造带。

参考文献:

1 张水昌,赵文智,王飞宇等. 塔里木盆地东部地区古生界原油裂解气成藏历史分析:以英南 2 气藏为例[J]. 天然气地球科学, 2004,15(5):441~451

2 张克银,邵志兵,邹元荣. 塔里木盆地孔雀河地区复式油气系统[J]. 新疆石油地质,2004,25(2):122~124

3 杨 铭,汤达祯,邢卫新等. 塔里木盆地孔雀河古斜坡成藏条件新认识[J]. 石油实验地质,2007,29(3):275~279

4 欧光习,李林强,孙玉梅. 沉积盆地流体包裹体研究的理论与实践[J]. 矿物岩石地球化学通报,2006,25(1):1~11

5 卢焕掌,范宏瑞,倪 培等. 流体包裹体[M]. 北京:科学出版社,2004

6 李荣西,席胜利,邸领军. 鄂尔多斯盆地中部断裂带方解石脉天然气包裹体研究[J]. 石油实验地质,2006,28(5):463~466

7 刘德汉. 包裹体研究:盆地流体追踪的有力工具[J]. 地学前缘,1995,2(3~4):149~154

8 李素梅,庞雄奇,刘可禹等. 一种快速检测油包裹体的新方法[J]. 石油实验地质,2006,28(4):386~390

9 Goldstein R H. Fluid inclusions in sedimentary and diagenetic systems[J]. Lithos, 2001, 55: 159~192

10 高玉巧,欧光习,谭守强等. 歧口凹陷西坡白水头构造沙一段下部油气成藏期次研究[J]. 岩石学报,2003,19(2):359~365

11 Van den Kerkhof A M, Hein U F. Fluid inclusion petrography[J]. Lithos,2001,55:27~47

12 周雯雯,张伏兰. 珠三拗陷有机包裹体应用研究[J]. 岩石学报,2000,16(4):677~686

13 李荣西,席胜利,邸领军. 用储层油气包裹体岩相学确定油气成藏期次:鄂尔多斯盆地陇东油田为例[J]. 石油与天然气地质,2006,27(2):194~217

14 郑 冰,承秋泉,高仁祥. 塔里木盆地东北奥陶—志留系沉积成岩作用[J]. 石油勘探与开发,2006,27(1):85~92

15 王飞宇,师玉雷,曾花森等. 利用油包裹体丰度识别古油藏和限定成藏方式[J]. 矿物岩石地球化学通报,2006,25(1):12~18

16 Hall D, Shentwu W, Sterner M, et al. Using fluid inclusions to explore for oil and gas[J]. Hart's Petroleum Engineer International, 1997,(11):29~34

17 Oxdoby N H, Mitchell A W, Gluyas J G. The filling and emptying of the Ula oilfield: fluid inclusion constrains[A]. In: Cubitt J M, England W A, eds. The geochemistry of reservoirs[G]. Geological Society Special Publication, 1995, 86: 141~157

18 张水昌,王招明,王飞宇等. 塔里木盆地塔东 2 油藏形成历史[J]. 石油勘探与开发,2004,31(6):25~31

19 张忠民,周 瑾,邸兴威. 东海盆地西湖凹陷中央背斜带油气运移期次及成藏[J]. 石油实验地质,2006,28(1):30~33

20 宫 色,彭平安,刘东鹰. 江苏地区句容凹陷油气充注史研究[J]. 石油实验地质,2007,29(5):500~505

(编辑 韩 或)



(上接第 356 页)

9 Huc A Y. Petroleum in the South Atlantic[J]. Oil & Gas Science and Technology, 2004,59(3):243~253

10 Robert P, Yapaudjian L. Early Cretaceous rift sediments of the Gabon—Congo Margin: lithology and organic matter; tec-

tonic and paleogeothermal evolution[J]. Journal of African Earth Sciences and the Middle East, 1990,10 (1): 319~330

11 熊利平,王 骏,殷进垠等. 西非构造演化及其对油气成藏的控制作用[J]. 石油与天然气地质,2005,26(5):641~646

(编辑 李凤丽)