

doi:10.3799/dqkx.2016.096

库车前陆盆地羊塔克地区流体包裹体特征及油气成藏过程

刘建良^{1,2}, 姜振学³, 刘可禹⁴, 桂丽黎^{1,2}

1. 中国石油勘探开发研究院, 北京 100083

2. 中国石油天然气集团公司盆地构造与油气成藏重点实验室, 北京 100083

3. 中国石油大学非常规天然气研究院, 北京 102249

4. 中国石油大学地球科学与技术学院, 山东青岛 266580

摘要:库车前陆盆地羊塔克地区油气资源丰富, 明确油气充注历史和成藏演化过程对下一步油气勘探具有重要意义。利用流体包裹体岩相学观察、显微测温分析、定量颗粒荧光分析, 并结合库车前陆盆地烃源岩热演化史以及构造演化史, 分析了库车前陆盆地羊塔克地区的油气成藏过程。结果表明, 羊塔克地区油气具有“晚期成藏, 后期改造”的特征。库车坳陷中侏罗统恰克马克组烃源岩在 15 Ma 左右成熟($R_o > 0.5\%$), 生成的成熟原油最早是在新近纪库车早期, 约 4.0 Ma 时期, 充注到羊塔克构造带, 形成少量黄色荧光油包裹体, 但大量充注是在约 3.5 Ma 时期。库车坳陷中下侏罗统煤系源岩是在约 26 Ma 时达到成熟, 生成的天然气在约 3.5 Ma, 开始大规模的向羊塔克构造带充注。天然气充注后对早期少量原油进行气洗, 形成发蓝色荧光的、气液比不一的油气包裹体。油气充注后, 在羊塔 1 地区形成残余油气藏, 油水界面位于 5 390.75 m 处。新近纪库车晚期(3.0~1.8 Ma), 受喜山晚期构造运动影响, 羊塔克地区油气藏发生调整改造, 羊塔 1 地区白垩系的残余油气水界面向上迁移至现今的 5 379.70 m 处。

关键词:库车前陆盆地; 羊塔克地区; 流体包裹体; 定量荧光; 成藏过程; 油气地质。

中图分类号: P618.13

文章编号: 1000-2383(2016)07-1188-10

收稿日期: 2015-10-30

Fluid Inclusion Characteristics and Hydrocarbon Accumulation Process of Yangtake Area, Kuqa Foreland Basin

Liu Jianliang^{1,2}, Jiang Zhenxue³, Liu Keyu⁴, Gui Lili^{1,2}

1. Research Institute of Petroleum Exploration & Development, Beijing 100083, China

2. Key Laboratory of Basin Structure and Hydrocarbon Accumulation, China National Petroleum Corporation, Beijing 100083, China

3. Institute of Unconventional Natural Gas Research, China University of Petroleum, Beijing 102249, China

4. School of Geoscience and Technology, China University of Petroleum, Qingdao 266580, China

Abstract: There are abundant oil and gas resources in the Yangtake area, Kuqa foreland basin, and it is significant for oil and gas exploration to study the hydrocarbon charge history and accumulation process in this area. Hydrocarbon accumulation process of the Yangtake area in the Kuqa foreland basin was investigated using an integrated fluid inclusion petrography, microthermometry, quantitative grain fluorescence analysis in combination with source rock thermal evolution and tectonic evolution in the Kuqa foreland basin in this study. The results indicate that hydrocarbon accumulated in the Yangtake area at the Late Neogene and experienced adjustment after the initial accumulation. The Middle Jurassic Qiakemake source rock in the Kuqa depression reached maturity ($R_o > 0.5\%$) at about 15 Ma, and initially charged into the Yangtake area at Late Neogene Kuqa period (around 4.0 Ma). Low abundance oil inclusions with yellow fluorescence were formed at that time. Oil was mainly charged into the study area at around 3.5 Ma. The Middle to Lower Jurassic coaly source rock reached maturity at about 26 Ma, while large amount of natural gas was charged into the Yangtake tectonic belt until at about 3.5 Ma. Natural gas washed early charged

基金项目:国家科技重大专项课题项目(No.2016ZX05003-002);中国石油股份有限公司项目(No. 2011A-0207)。

作者简介:刘建良(1988—),男,博士研究生,主要从事油气地质方面研究.E-mail: 51liujianliang@163.com

引用格式:刘建良,姜振学,刘可禹,等,2016.库车前陆盆地羊塔克地区流体包裹体特征及油气成藏过程.地球科学,41(7):1188-1197.

oil, and formed near blue fluorescence oil inclusions with various gas-liquid ratios. During the mutual interacting between oil and gas, the oil-water contact was once at 5 390.75 m in the Yangta-1 area. With the strengthening of the Himalayan orogeny, the Yangta-1 condensate gas reservoir was adjusted and the gas-water contact was shifted to its current depth of 5 379.70 m in the late deposition of the Kuqa Member.

Key words: Kuqa foreland basin; Yangtake area; fluid inclusion; quantitative fluorescence; accumulation process; petroleum geology.

流体包裹体是矿物结晶生长过程中所捕获的成岩成矿流体组分,是封存于矿物晶穴或裂隙中的原始流体,其包含了油气运移和充注时的流体温度、压力和成分等信息(Parnell, 2010).利用流体包裹体可以明确油气化学组分和成熟度(张鼐, 2001)、恢复储集层古地温和古压力(Burruss, 1989; Swarbrick, 1994)、划分油气充注期次以及研究油气成藏过程(王红军和蔡迎春, 2000; 潘立银等, 2006).流体包裹体分析应首先进行包裹体岩相学观察,并借助紫外—可见光和荧光光谱划分包裹体组合,再选择包裹体组合内的盐水包裹体和油包裹体开展显微荧光光谱、显微测温研究,最后根据均一温度、冰点温度并结合PVT(全称为pressure-volume-temperature)模拟分析油气充注史(刘可禹等, 2013; 李峰等, 2015).

羊塔克地区位于库车前陆盆地南部斜坡带西缘

(图1a),前人对该地区油气成藏过程研究较少,而且主要通过成藏地质条件与烃源岩主生烃期的匹配来定性判断油气成藏时期,再结合构造运动分析油气的成藏过程(李小地, 1999; 吕修祥和金之钧, 2000; 赵孟军等, 2005),没有对成藏时期进行定量判断,也没有从流体包裹体特征方面具体分析油气充注及其相互作用过程.本文通过羊塔克地区流体包裹体岩相学观察、显微测温、定量颗粒荧光分析,并结合羊塔克地区构造活动史、油气源对比以及库车前陆盆地烃源岩热演化史,综合分析了羊塔克地区的油气成藏过程.

1 研究区概况

库车前陆盆地位于塔里木盆地北部,经历了晚二叠世至三叠纪前陆盆地、侏罗纪陆内坳陷盆地和

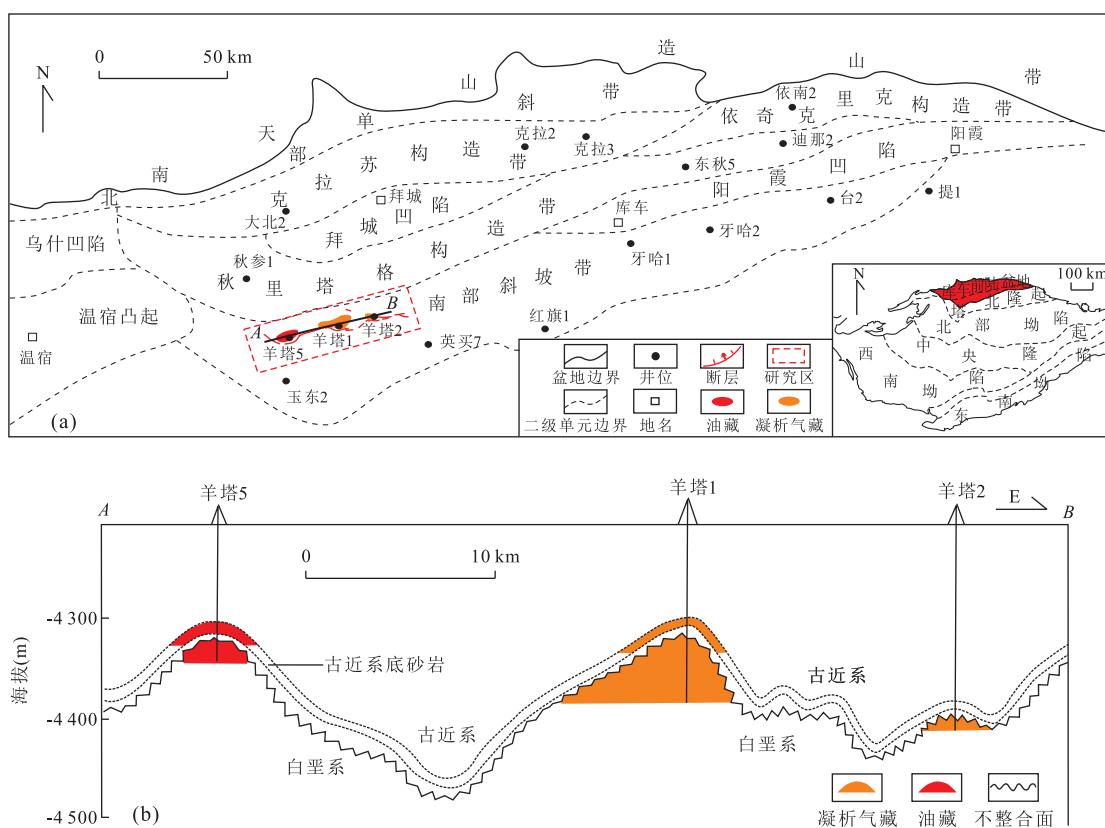


图1 库车前陆盆地羊塔克构造带位置(a)及油气藏剖面(b)

Fig.1 Location (a) and oil and gas reservoir cross section (b) of the Yangtake structural belt, Kuqa foreland basin

新近纪再生前陆盆地 3 个主要演化阶段(魏国齐等, 2000; Jia *et al.*, 2002), 自北向南形成了“四带三凹”的构造格局, 即北部单斜带、克拉苏—依奇克里克构造带、秋里塔格构造带、南部斜坡带以及拜城凹陷、阳霞凹陷和乌什凹陷(赵文智等, 2005)。研究区位于库车前陆盆地南部斜坡带西部, 是在古生代残余古隆起基础上发育起来的中、新生代碎屑岩地层, 受区域构造运动影响, 形成羊塔克断裂构造带, 整体呈 NEE 向展布(图 1a)。

羊塔克构造带由沿南倾正断层上升盘分布的 3 个反向屋脊断鼻圈闭组成, 自西向东分别为羊塔 5 号、羊塔 1 号和羊塔 2 号断鼻(图 1a)。羊塔克地区整体缺失三叠系、侏罗系地层, 烃源岩主要为北部库车坳陷的三叠系和侏罗系, 具有分布广、厚度大、有机质丰度高、成熟度高的特点(赵孟军和张宝民, 2002); 储集层发育在白垩系和古近系底部砂岩中, 以岩屑细砂岩为主, 储集空间以原生粒间孔和次生的粒内溶孔为主, 且白垩系储层物性和非均质性比古近系底砂岩好; 盖层为古近系的泥岩、膏泥岩和盐岩层, 形成了白垩系储集层与古近系底部泥岩层以及古近系底砂岩与上覆厚层膏泥岩、盐岩两套储盖组合。

按流体性质及边底水条件, 羊塔克地区油气藏可分为边水层状凝析气藏、边水层状挥发性油藏、底水块状凝析气藏和底水块状挥发性油藏 4 种类型(图 1b), 且均为常压油气藏。原油密度分布在 $0.77\sim0.84 \text{ g/cm}^3$ 之间, 粘度为 $1.1\sim5.5 \text{ mPa}\cdot\text{s}$, 属于正常原油—凝析油; 含蜡量较高, 分布在 $9\%\sim29\%$ 之间; 成熟度为 $0.775\%\sim0.846\%$, 表现为成熟原油的特征。油源对比结果显示, 原油主要来源于中侏罗统的恰克马克组(梁狄刚等, 2004; 包建平等, 2007a)。天然气中烃类含量高, 为 $95\%\sim99\%$; 甲烷含量分布在 $78\%\sim92\%$ 之间, 干燥系数为 $0.82\sim0.93$, 属于湿气。 $\delta^{13}\text{C}_2$ 分布在 $-22.85\%\sim-24.20\%$ 之间, 利用戴金星等(1985)建立的天然气类型判别标准, 认为天然气为煤型气。根据包建平等(2007b)建立起的针对库车前陆盆地不同类型烃源岩与煤型气成熟度关系的公式, 计算得到的天然气成熟度为 $0.95\%\sim1.07\%$, 属于成熟气。气源分析认为天然气来源于中下侏罗统的煤系源岩(梁狄刚等, 2002)。

2 样品与实验

本文选取羊塔 1 井和羊塔 5 井白垩系和古近系底砂岩储集层共计 19 块样品进行了流体包裹体的

岩相学观察。利用 ZEISS Imager A1m 多功能显微镜, 首先对油气包裹体丰度进行了观察, 进而对油气包裹体组合进行了划分, 然后对包裹体发育的颜色、大小、产状以及气液比进行了详细的观察及描述。挑选出羊塔 5 井中 6 个白垩系的岩石样品, 利用 LINKAM 液氮型冷热台 MDSG 600, 对不同包裹体组合中的烃类及盐水包裹体进行了显微测温。

笔者选取羊塔 1 井白垩系 16 块岩石样品, 进行定量颗粒荧光分析。定量颗粒荧光技术(QGF、QGF-E)是通过检测储层岩石颗粒及其二氯甲烷抽提溶液的荧光响应, 来评价油气的特性及识别古油层和残余油层(Liu *et al.*, 2003, 2007; Liu and Eadington, 2005)。QGF 可以作为识别古油水界面的标志, 油层的 QGF 指数(QGF Index)比水层样品的高; QGF-E 的分析结果可以用于判识残余油气藏的存在, 一般的油层中 QGF-E 荧光强度普遍大于 40 光学计数(pc), 而水层样品的荧光强度大都小于 20 pc(Liu *et al.*, 2003, 2007)。在解释油水界面时, 还要因地区而异, 人们需要综合考虑油藏 QGF 指数和 QGF-E 光谱特征、整体强度和强度随深度变化的趋势, 通常油水界面附近存在一个 QGF-E 强度突然增加的拐点(Liu *et al.*, 2003, 2007; 桂丽黎等, 2015)。定量颗粒荧光实验的操作步骤为: 首先将岩石样品经过一系列严格的前处理(Liu and Eadington, 2005), 然后利用 Agilent 公司的 Varian Cary-Eclipse 荧光光度计, 对二氯甲烷萃取的吸附烃进行 QGF-E 分析以及对岩石颗粒进行 QGF 分析。

3 流体包裹体特征

3.1 流体包裹体丰度

油气包裹体丰度(grains containing oil inclusion, GOI)技术广泛应用于碎屑岩, 通过计算一个岩石薄片上含油气包裹体的颗粒数与总的颗粒数的比值, 来定量确定油包裹体的丰度, 比值越大, 油气包裹体丰度越高。通过对包裹体镜下观察, 发现羊塔克地区油气包裹体整体不发育, 只在个别的颗粒上可见油包裹体。GOI 测定结果同样显示(图 2), 19 块岩石样品中, 有 15 块的 GOI 值小于 3.0%, 占整体的 78.9%, 羊塔 5 井的油包裹体丰度相对较高, 最大值也只为 7.3%, 整体表现为油包裹体不发育。

3.2 流体包裹体岩相学特征

流体包裹体组合(fluid inclusion assemblage, FIA)是指通过岩相学方法能够分辨、代表最细分的

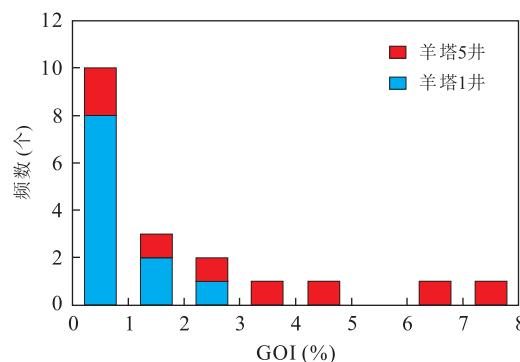


图2 库车前陆盆地羊塔克地区油气包裹体丰度

Fig.2 GOI of the Yangtake area, Kuqa foreland basin

包裹体捕获事件的一组包裹体(Goldstein, 2001; 池国祥和卢焕章, 2008)。在确定包裹体组合时应对包裹体发育的产状、荧光颜色、室温下气泡大小、相态及变化进行分析,准确划分包裹体组合是显微测温和成藏期次研究的基础(刘可禹等,2013)。

根据包裹体的荧光特征,将羊塔克地区油气包裹体划分为两组,为近黄色荧光的油气包裹体组合以及近蓝色荧光的油气包裹体组合。近黄色荧光包裹体组合具有以下特征(图3a,3c,3e):荧光颜色以浅黄色和黄绿色为主,偶尔可见黄色荧光油气包裹体;主要发育在石英颗粒裂纹的愈合缝内和穿石英颗粒裂纹处,还可见颗粒表面群体状分布,这种群体状包裹体表面可能为石英颗粒的裂缝面;包裹体一般较小,大都分

布在10 μm以下;气液比也一般较小,分布在10%以下,偶尔可见气液比较大的油气包裹体。近蓝色荧光包裹体组合的岩相学特征如下(图3b,3d,3f):荧光颜色以蓝色和蓝白色为主;主要发育在穿石英颗粒裂纹处,偶尔可见石英次生加大边处发育的烃类及伴生盐水包裹体;包裹体大小一般较小,大多数分布在10 μm以下;多数包裹体的气液比分布在10%以下,偶尔可见大气泡油气包裹体。

对包裹体的发育特征进一步观察发现,羊塔克地区很多岩石颗粒上的同一条裂纹内发育不同荧光颜色的油气包裹体,如黄白色、黄绿色荧光油气包裹体与蓝白色荧光油气包裹体共同存在于同一条裂纹里(图3g,3h)。

3.3 包裹体均一温度

对羊塔5井白垩系不同包裹体组合的烃类包裹体和其伴生的盐水包裹体进行了显微测温,对22个烃类包裹体和39个盐水包裹体的均一温度进行了测定。包裹体均一温度测定结果显示(图4),近黄色荧光包裹体组合中烃类包裹体均一温度分布范围较宽,在60~130 °C之间,其主峰为80~100 °C,与其伴生的盐水包裹体的均一温度同样分布较宽,分布在96~133 °C之间,最小温度为96 °C,但温度主要分布在115~133 °C;近蓝色荧光包裹体组合中烃类包裹体均一温度主要分布在100~140 °C之间,与其伴生的盐水包裹体均一温度为115~135 °C,最小温度为115 °C。

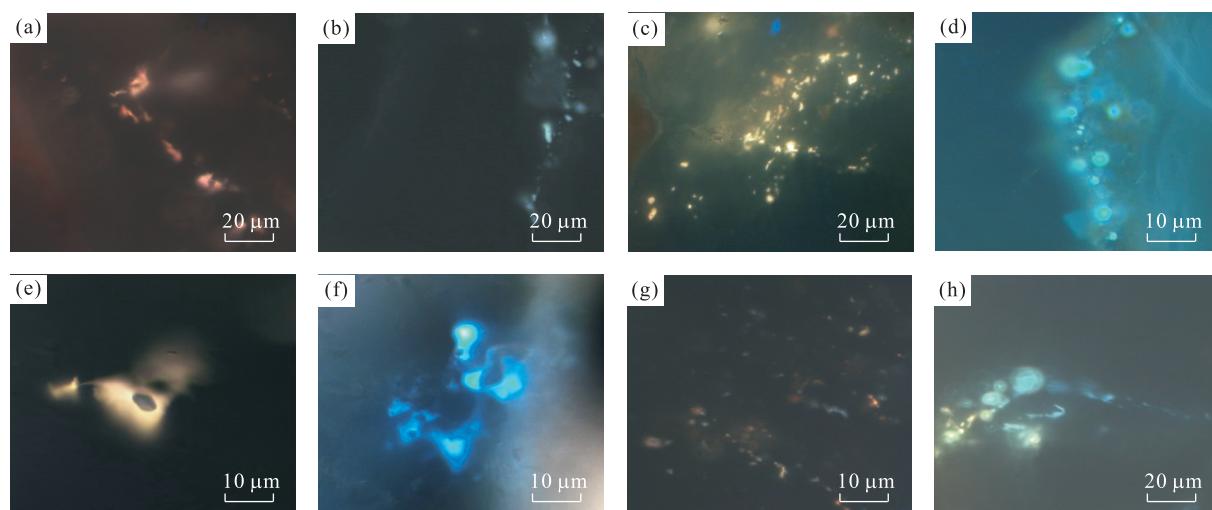


图3 库车前陆盆地羊塔克地区油气包裹体显微荧光照片

Fig.3 Fluorescence photomicrograph of hydrocarbon inclusions from the Yangtake area, Kuqa foreland basin

a.YT-1井,5 285.1 m,石英愈合缝中黄白色荧光油气包裹体;b.YT-5井,5 344.1 m,石英愈合缝中蓝白色荧光油气包裹体;c.YT-5,5 338.0 m,群体状黄绿色荧光油气包裹体;d.YT-5井,5 333.6 m,石英次生加大边中蓝白色荧光油气包裹体;e.YT-5井,5 312.8 m,零星状黄白色荧光油气包裹体;f.YT-5井,5 312.8 m,零星状蓝色荧光油气包裹体;g.YT-5井,5 344.1 m,石英裂纹中黄白色和蓝白色荧光油气包裹体共存;h.YT-5井,5 335.0 m,穿石英颗粒裂纹的黄绿色与蓝白色荧光共存的油气包裹体

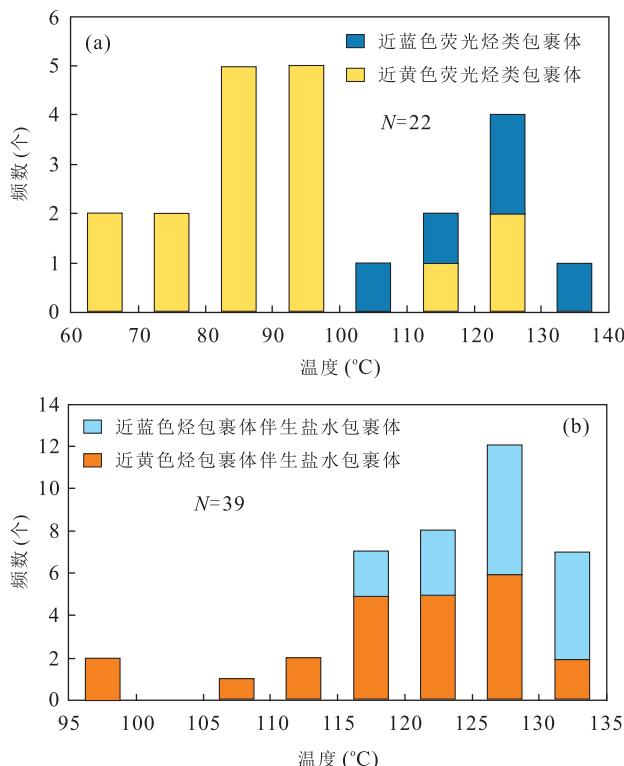


图 4 库车前陆盆地羊塔克地区白垩系储层流体包裹体均一温度直方图

Fig. 4 Histogram of the fluid inclusion homogenization temperature of the Cretaceous reservoir in the Yangtze area, Kuqa foreland basin

a. 烃类包裹体; b. 盐水包裹体

4 油气充注时期的确定

4.1 1D 盆地模拟确定油气充注时期

羊塔克地区原油来源于北部库车前陆盆地中侏罗统恰克马克组(梁狄刚等, 2004; 包建平等, 2007a), 天然气来源于中下侏罗统煤系源岩(梁狄刚等, 2002). 本文选取了位于库车前陆盆地克拉苏构造带上的大北 1 井, 对该井烃源岩的热成熟度史进行了模拟, 再结合羊塔克地区现今原油及天然气的成熟度, 确定油气充注时期.

本文利用斯伦贝谢公司的 PetroMod 软件对大北 1 井进行了地史、热史及成熟度史模拟(图 5 和图 6). 地史模型的准确建立和热史参数的准确输入是烃源岩热成熟度史模拟的基础. 大北 1 井只钻到白垩系, 未钻遇下部的侏罗系和三叠系, 因此, 本文综合利用单井分层数据以及侏罗系和三叠系地层等厚图(梁狄刚等, 2004), 并结合前人的剥蚀厚度研究成果(施立志, 2004), 建立了大北 1 井地史模型和热史模型. 利用该井试油报告中实测地层温度对热史模型进行验证, 结果显示, 模拟值与实测值匹配度较高(图 5a), 说明热史模拟结果较为合理. 大北 1 地区分别在侏罗纪末期、白垩纪末期以及新近纪末期遭受了 3 次地层抬升、剥蚀事件, 并在新近纪末期库车期达到了最大埋深 9 485 m, 对应的最大地温为 240 °C

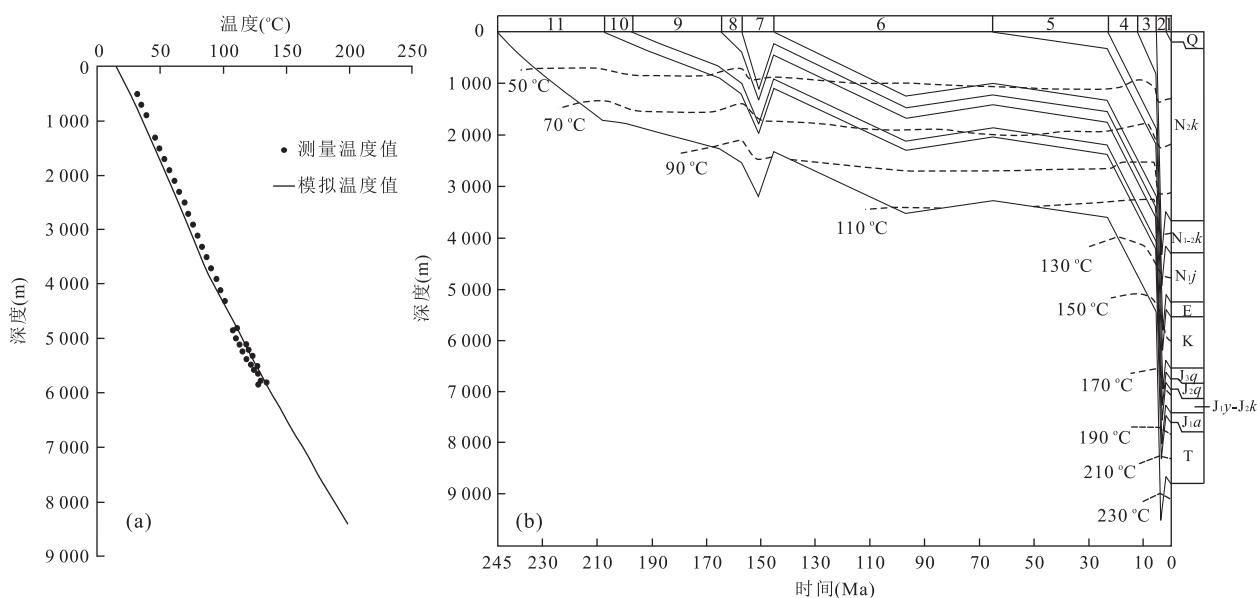


图 5 库车前陆盆地大北 1 井热史结果校验(a)及埋藏史和热史模拟结果(b)

Fig. 5 (a) Modeled burial history and corresponding thermal evolution of the Dabai-1 well, Kuqa foreland basin, and (b) the calibration of the thermal modeled result

1.Q; 2.N₂k; 3.N₁₋₂k; 4.N₁j; 5.E; 6.K; 7.J₃q; 8.J₂q; 9.J_{1y}-J_{2kz}; 10.J₁a; 11.T

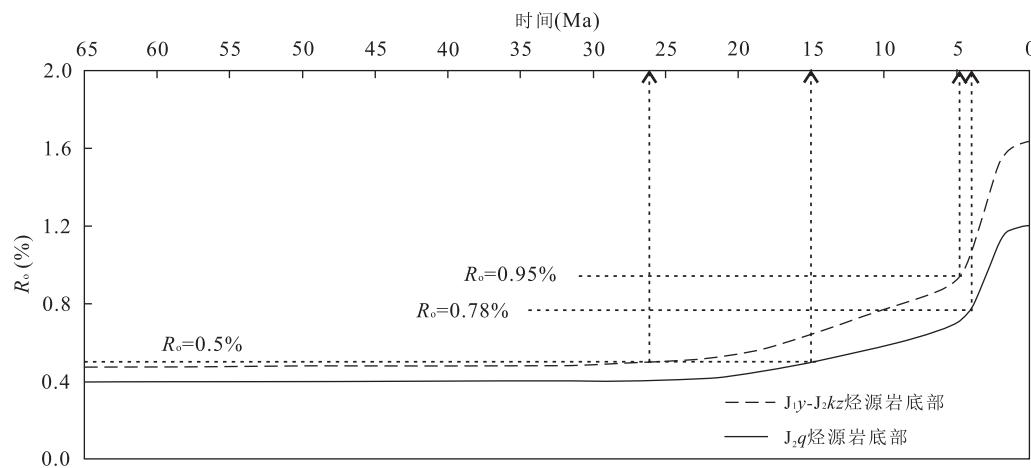


图 6 库车前陆盆地大北 1 井烃源岩热成熟度史

Fig.6 Source rocks maturity history of the Dabei-1 well, Kuqa foreland basin

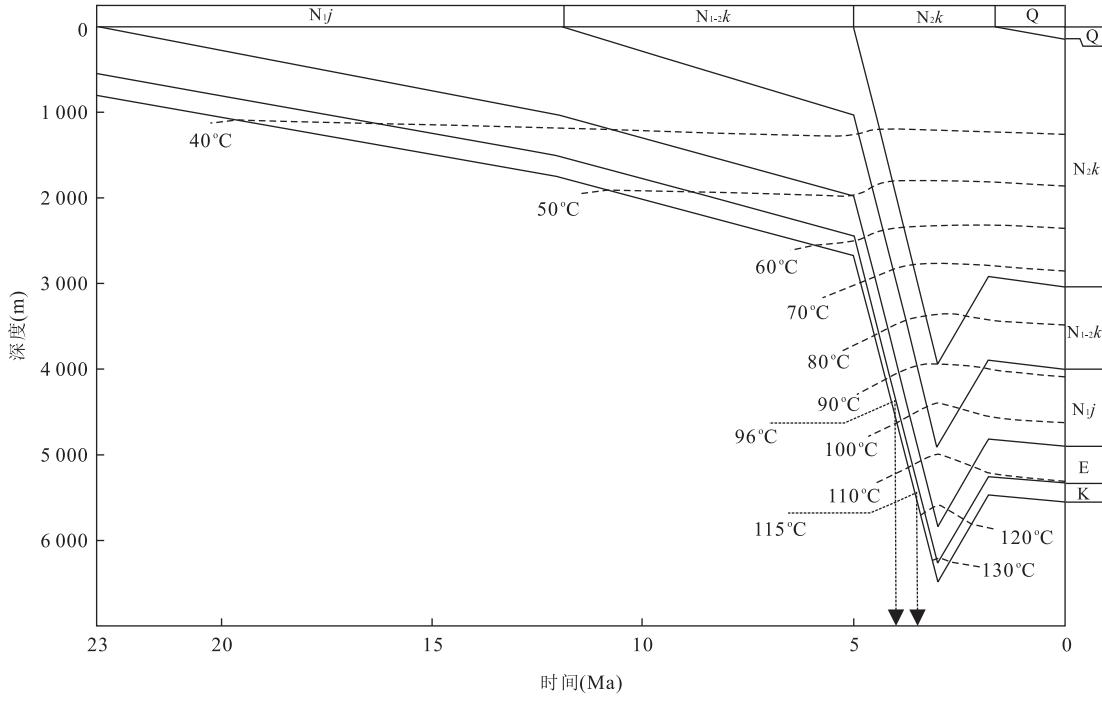


图 7 库车前陆盆地羊塔克地区羊塔 5 井埋藏史和热史

Fig.7 Burial and thermal history of the Yangta-5 well in the Yangtake area, Kuqa foreland basin

左右(图 5b).

由于羊塔克地区现今原油和天然气的成熟度 R_o 分别为 $0.775\% \sim 0.846\%$ 和 $0.950\% \sim 1.070\%$ ，且分别来源于盆地北部的中侏罗统恰克马克组 (J_{2q}) 和中下侏罗统 ($J_{1y}-J_{2kz}$) 煤系源岩，因此，分别将两套烃源岩在热演化过程中成熟度 R_o 达到 0.78% 和 0.95% 的时刻，作为原油和天然气向羊塔克地区充注的最早时刻。烃源岩成熟度演化史表明(图 6)， $J_{1y}-J_{2kz}$ 和 J_{2q} 烃源岩分别在 26 Ma 和 15 Ma 时， R_o 达到了 0.50% ，开始进入生烃阶段。随

着烃源岩的埋深，两套源岩分别在约 5 Ma 和 4 Ma 时，热成熟度分别达到 0.95% 和 0.78% ，对应羊塔克地区现今天然气和原油的最小成熟度。由烃源岩热演化史表明，天然气和原油最早分别在 5 Ma 和 4 Ma 时充注到羊塔克地区的。

4.2 包裹体均一温度确定油气充注时期

利用与烃类包裹体相伴生的盐水包裹体的均一温度并结合单井的热史图，同样可以定量地确定油气充注时期(Nedkvitne *et al.*, 1993; Guo *et al.*, 2012)。由于包裹体在被捕获后，可能会在后期地层

埋藏过程中随着温度和压力的变化而发生变化,如再平衡、拉伸变形或泄露,从而导致所测的均一温度较原始值要高,因此,常利用与烃类包裹体伴生的盐水包裹体的最小均一温度,来确定油气的充注时间(Bourdet *et al.*, 2008)。包裹体测温结果表明,与近黄色荧光烃类包裹体伴生的盐水包裹体均一温度分布在 96~133 °C 之间,且主要分布在 115~135 °C,与近蓝色荧光烃类包裹体伴生的盐水包裹体的最小均一温度为 115 °C。分别将这两类包裹体的最小均一温度值投点到羊塔 5 井热史图(图 7)上,可以确定,近黄色荧光包裹体是在约 4.0 Ma 时开始形成,但大量形成是从 3.5 Ma 左右开始;而近蓝色荧光包裹体也是在 3.5 Ma 左右形成,说明两种类型包裹体基本是在同一时期形成。

杨海军和朱光有(2013)将塔里木盆地凝析气藏的成因类型划分为原生凝析气藏和次生凝析气藏,其中,原生凝析气藏是指烃源岩在高成熟演化阶段(R_o 为 1.2%~2.0%)所形成的凝析气藏(如迪那 2 凝析气田);次生凝析气藏是由于晚期干气对早期油藏混合改造,发生反凝析作用形成的(如牙哈凝析气田)。羊塔克地区现今凝析气藏中的天然气成熟度 R_o 基本小于 1.2%,说明凝析气的成因并非是烃源岩在高成熟演化阶段形成的,而是由于大量天然气对原油气洗的过程中,发生反凝析作用,而形成的次生凝析气。在气洗过程中,原油中的轻质组分溶解到天然气中,被捕获后,形成看似成熟度较高的蓝色荧

光油包裹体。因此,蓝色荧光的油包裹体是在大量天然气充注时形成的,可以利用其形成时期,来近似代表天然气的充注时期。所以,羊塔克地区有两期油气充注,第 1 期是原油在约 4.0 Ma 时期开始充注,并在 3.5 Ma 时大量充注;第 2 期为天然气在约 3.5 Ma 时大量充注。

5 油气成藏过程分析

5.1 油(气)水界面变迁

QGF 实验结果显示(图 8),QGF Index 分布在 2.4~6.8 之间,且以 2~4 为主,荧光强度较低,大部分小于 6 pc, QGF 光谱峰的位置集中在 390~400 nm,说明油包裹体的丰度较低,只在个别样品点发育油包裹体,该结果与包裹体岩相观察结果一致。QGF-E 实验结果显示(图 8),QGF-E 强度分布在 19.5~1 086.6 pc 之间,光谱峰值主要集中在 360~370 nm 之间。大部分样品点的 QGF-E 强度大于 40 pc,显示为残余油层的特征,只有在 5 327.80 m、5 337.50 m、5 347.20 m 和 5 396.00 m 处的值小于 40 pc。GR 曲线显示,该套地层主体为大套砂岩地层,中间含有一些泥岩夹层,而 QGF-E 强度小于 40 pc 的 4 个点刚好位于泥岩夹层内,油气不易充注进去。在泥岩夹层之间的砂岩地层中,自下而上,QGF-E 强度具有依次递增的趋势,表明油气是先将砂岩上部充满后,进而向下聚集的,砂岩上部含

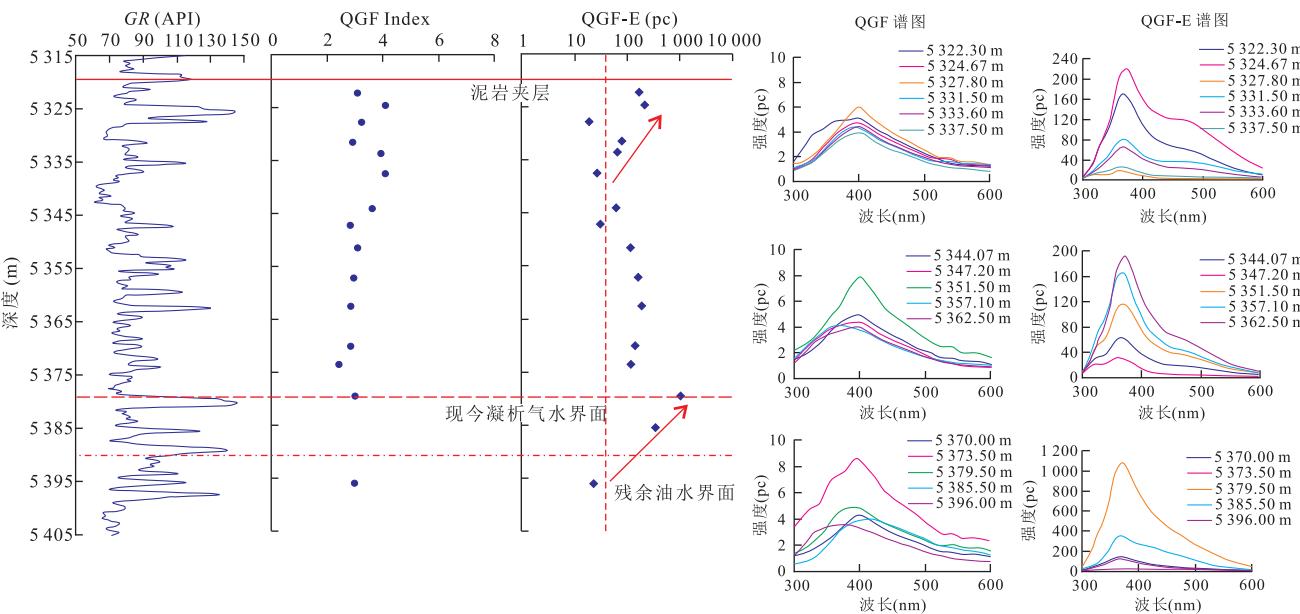


图 8 库车前陆盆地羊塔 1 井 QGF、QGF-E 剖面及谱图

Fig.8 QGF and QGF-E parameter depth profile and the spectra of the Yangtao-1 well, Kuqa foreland basin

油饱和度大于下部。由于 5 385.50 m 及其以上样品点的 QGF-E 强度整体大于 40 pc, 说明残余油水界面在 5 385.50 m 之下, 然而, 该点以下只有一个样品点, 且 QGF-E 强度值为 23 pc, 认为残余油水界面位于两点之间, 本文取两测点中间的深度值 5 390.75 m 作为残余油水界面。通过查看塔里木油田羊塔克地区储量报告, 发现现今的羊塔 1 井白垩系为凝析气藏, 气水界面为 5 379.70 m, 比残余油水界面高, 说明羊塔克地区在油气充注之后又发生了泄漏, 导致凝析气水界面向上迁移 10 m 左右。

5.2 羊塔克地区油气成藏过程

喜山运动是库车前陆盆地构造及圈闭形成的主要动力, 对库车前陆盆地油气成藏和分布起重要作用(鲁雪松等, 2013)。羊塔克断裂构造带形成于喜山运动中期(古近纪末), 是由于库车前陆盆地沉降加剧, 使该区地层产状逐渐北倾, 张性断裂构造带于此时形成(李小地, 1999; 吕修祥和金之钧, 2000)。到了新近系库车组沉积末期, 由于喜山运动加强, 天山和昆仑山产生强烈挤压缩短, 大幅度隆升, 并向塔里木盆地逆冲推覆(贾承造等, 2004), 造成羊塔克地区地层抬升剥蚀并与第四系形成角度不整合接触。

烃源岩生烃史研究表明, 库车前陆盆地中下侏罗统煤系源岩在新近纪末期达到生气高峰(赵孟军和卢双舫, 2003), 中侏罗统恰克马克组源岩也在新近系库车组沉积以来达到生油高峰(梁狄刚等, 2004)。

通过羊塔克地区流体包裹体岩相学观察、均一温度测定、定量颗粒荧光分析并结合羊塔克地区构造活动、油气源对比以及库车坳陷烃源岩热演化过程, 分析认为羊塔克地区油气具有“晚期成藏, 后期改造”的特征:

新近系库车组沉积早、中期(5.0~3.0 Ma), 受喜山期构造运动影响, 库车前陆盆地快速沉降, 侏罗系烃源岩快速埋藏并达到生油气高峰。在 4.0 Ma 时, 有少量侏罗系恰克马克组的原油向羊塔克构造带充注, 大量充注是在 3.5 Ma 左右; 同样在 3.5 Ma 左右, 来自中下侏罗统成熟阶段的煤型气开始向羊塔克构造带大量充注。油气在进入构造带后发生相互作用, 天然气对原油进行“气洗”, 流体包裹体很好的记录了这一过程。发黄色荧光的烃包裹体为未遭受气洗的成熟原油; 发黄白色、黄绿色荧光的烃包裹体为遭受一定程度气洗的原油, 即天然气溶解到原油中, 使原油成分变轻; 而发蓝色荧光的烃包裹体为遭受气洗程度更为强烈的原油, 原油中轻质组分更高。在同一条石英颗粒裂纹中, 同时发育近黄色和近

蓝色荧光油包裹体的现象, 也显示了原油遭受不同程度气洗的过程。羊塔 1 地区残余油水界面位于 5 390.75 m 处, 说明原油和天然气相互作用过程中, 形成残余油气藏, 油水界面位于 5 390.75 m 处, 进一步作用可能形成凝析气藏。新近系库车组沉积晚期(3.0~1.8 Ma), 喜山晚期构造运动加强, 羊塔克地区地层抬升、剥蚀, 油气藏发生调整改造, 羊塔 1 地区白垩系凝析气藏的气水界面向上迁移约 10 m, 到达现今的 5 379.70 m 处。

6 结论

(1) 羊塔克地区油气包裹体丰度较低, 根据其荧光颜色, 可以划分为近黄色荧光和近蓝色荧光两类包裹体组合; 对两类包裹体的均一温度进行了测试, 其中与近黄色荧光烃包裹体伴生的盐水包裹体均一温度为 96~133 °C, 且以 115~135 °C 为主, 与近蓝色荧光烃包裹体伴生的盐水包裹体均一温度为 115~135 °C。

(2) 羊塔克地区有两期油气充注, 第 1 期为原油充注, 是在约 4.0 Ma 时期开始充注, 并在 3.5 Ma 时大量充注; 第 2 期为天然气在约 3.5 Ma 时大量充注。

(3) 羊塔克地区油气成藏具有“晚期成藏, 后期改造”的特征。在 4.0 Ma 左右, 来自库车坳陷中侏罗统恰克马克组的成熟原油, 充注到羊塔克构造带, 形成少量黄色荧光油包裹体, 但大量充注是在约 3.5 Ma 时期; 同样在 3.5 Ma 时, 来自中下侏罗统煤系源岩的成熟天然气开始大规模向羊塔克地区充注。天然气充注后对早期少量原油进行气洗, 形成发蓝色荧光的、气液比不一的油气包裹体。油气充注后, 在羊塔 1 地区形成残余油气藏, 油水界面位于 5 390.75 m 处。到了新近纪库车晚期(3.0~1.8 Ma), 受喜山晚期构造运动影响, 羊塔克地区油气藏发生调整改造, 其中羊塔 1 地区白垩系的残余油气水界面向上迁移, 到达现今的 5 379.70 m 处。

References

- Bao, J.P., Zhu, C.S., Zhang, Q.C., et al., 2007a. Geochemical Characteristics of Crude Oil from Frontal Uplift in Kuqa Depression. *Journal of Oil and Gas Technology*, 29 (4): 40~44 (in Chinese with English abstract).
- Bao, J.P., Zhu, C.S., Zhang, Q.C., et al., 2007b. Geochemical Characteristics of Natural Gas from Different Structural Units of the Kuqa Depression, the Tarim Basin. *Oil & Gas Geology*,

- 28(5):664—668 (in Chinese with English abstract).
- Bourdet, J., Pironon, J., Levresse, G., et al., 2008. Petroleum Type Determination through Homogenization Temperature and Vapor Volume Fraction Measurements in Fluid Inclusions. *Geofluids*, 8(1): 46—59. doi: 10.1111/j.1468—8123.2007.00204.x
- Burruss, R. C., 1989. Paleotemperatures from Fluid Inclusions: Advances in Theory and Technique. In: Naeser, N. D., McCulloh, T. H., eds, Thermal History of Sedimentary Basins: Methods and Case Histories. Springer, New York, 119—131. doi: 10.1007/978—1—4612—3492—0_7
- Chi, G. Y., Lu, H. Z., 2008. Validation and Representation of Fluid Inclusion Microthermometric Data Using the Fluid Inclusion Assemblage (FIA) Concept. *Acta Petrologica Sinica*, 24(9): 1945—1953 (in Chinese with English abstract).
- Dai, J. X., Qi, H. F., Song, Y., 1985. On the Indicators for Identifying Gas from Oil and Gas Coal Measure. *Acta Petrolei Sinica*, 6(2): 31—38 (in Chinese with English abstract).
- Goldstein, R. H., 2001. Fluid Inclusions in Sedimentary and Diagenetic Systems. *Lithos*, 55(1—4): 159—193. doi: 10.1016/S0024—4937(00)00044—X
- Gui, L. L., Liu, K. Y., Liu, S. B., et al., 2015. Hydrocarbon Charge History of Yingdong Oilfield, Western Qaidam Basin. *Earth Science*, 40(5): 890—899 (in Chinese with English abstract).
- Guo, X. W., Liu, K. Y., He, S., et al., 2012. Petroleum Generation and Charge History of the Northern Dongying Depression, Bohai Bay Basin, China: Insight from Integrated Fluid Inclusion Analysis and Basin Modeling. *Marine and Petroleum Geology*, 32(1): 21—35. doi: 10.1016/j.marpetgeo.2011.12.007
- Jia, C. Z., Gu, J. Y., Zhang, G. Y., 2002. Geological Constraints of Giant and Medium-Sized Gas Fields in Kuqa Depression. *Chinese Science Bulletin*, 47(1): 47—54. doi: 10.1007/BF02902818
- Jia, C. Z., He, D. F., Lu, J. M., 2004. Episodes and Geodynamic Setting of Himalayan Movement in China. *Oil & Gas Geology*, 25(2): 121—125 (in Chinese with English abstract).
- Li, F., Jiang, Z. X., Li, Z., et al., 2015. Enriched Mechanism of Natural Gas of Lower Jurassic in Dibei Area, Kuqa Depression. *Earth Science*, 40(9): 1538—1548 (in Chinese with English abstract).
- Li, X. D., 1999. Geological Characters and Forming History of Yangtak Oil Field. *Petroleum Exploration and Development*, 26(6): 30—32 (in Chinese with English abstract).
- Liang, D. G., Chen, J. P., Zhang, B. M., 2004. The Generation of Continental Hydrocarbon in Kuqa Depression, Tarim Basin. Petroleum Industry Press, Beijing (in Chinese).
- Liang, D. G., Zhang, S. C., Zhao, M. J., et al., 2002. Hydrocarbon Sources and Stages of Reservoir Formation in Kuqa Depression, Tarim Basin. *Chinese Science Bulletin*, 47(1): 56—63 (in Chinese).
- Liu, K. Y., Bourdet, J., Zhang, B. S., et al., 2013. Hydrocarbon Charge History of the Tazhong Ordovician Reservoirs, Tarim Basin as Revealed from an Integrated Fluid Inclusion Study. *Petroleum Exploration and Development*, 40(2): 171—180 (in Chinese with English abstract).
- Liu, K. Y., Eadington, P., 2005. Quantitative Fluorescence Techniques for Detecting Residual Oils and Reconstructing Hydrocarbon Charge History. *Organic Geochemistry*, 36(7): 1023—1036. doi: 10.1016/j.orggeochem.2005.02.008
- Liu, K. Y., Eadington, P., Coghlan, D., 2003. Fluorescence Evidence of Polar Hydrocarbon Interaction on Mineral Surfaces and Implications to Alteration of Reservoir Wettability. *Journal of Petroleum Science and Engineering*, 39(3—4): 275—285. doi: 10.1016/S0920—4105(03)00068—8
- Liu, K. Y., Eadington, P., Middleton, H., et al., 2007. Applying Quantitative Fluorescence Techniques to Investigate Petroleum Charge History of Sedimentary Basins in Australia and Papuan New Guinea. *Journal of Petroleum Science and Engineering*, 57(1): 139—151. doi: 10.1016/j.petrol.2005.11.019
- Lu, X. S., Liu, K. Y., Zhuo, Q. G., et al., 2013. Palaeo-Fluid Evidence for the Multi-Stage Hydrocarbon Charges in Kela-2 Gas Field, Kuqa Foreland Basin, Tarim Basin. *Petroleum Exploration and Development*, 39(5): 537—544 (in Chinese with English abstract).
- Lü, X. X., Jin, Z. J., 2000. Analysis on Reservoir Formation Process in Yangtak Structural Belt of Taibei Uplift. *Journal of the University of Petroleum, China*, 24(1): 48—52 (in Chinese with English abstract).
- Nedkvitne, T., Karlsen, D. A., Bjørlykke, K., et al., 1993. Relationship between Reservoir Diagenetic Evolution and Petroleum Emplacement in the Ula Field, North Sea. *Marine and Petroleum Geology*, 10(3): 255—270.
- Pan, L. Y., Ni, P., Ou, G. X., et al., 2006. Application of Organic Inclusion Study in Petroleum Geology—Conception, Classification, Formation Mechanism and Significance. *Bulletin of Mineralogy, Petrology and Geochemistry*, 25(1): 19—28 (in Chinese with English abstract).
- Parnell, J., 2010. Potential of Palaeofluid Analysis for Understanding Oil Charge History. *Geofluids*, 10(1): 73—82. doi: 10.1111/j.1468—8123.2009.00268.x

- Shi, L.Z., 2004. Study on the Evolution of Fluid Dynamic and the Evolution History of Fluid in Kuqa Depression (Dissertation). Northwest University, Xi'an, 12—53 (in Chinese with English abstract).
- Swarbrick, R.E., 1994. Reservoir Diagenesis and Hydrocarbon Migration under Hydrostatic Palaeopressure Conditions. *Clay Minerals*, 29(4): 463—473.
- Wang, H.J., Cai, Y.C., 2000. Applications of General Characteristics of Fluid Inclusions to the Study of Oil and Gas Pool Formation. *Petroleum Exploration and Development*, 27(5): 50—52 (in Chinese with English abstract).
- Wei, G.Q., Jia, C.Z., Shi, Y.S., et al., 2000. Tectonic Characteristics and Petroleum Prospects of Cenozoic Compound Rejuvenated Foreland Basins in Tarim. *Acta Geologica Sinica*, 74(2): 123—133 (in Chinese with English abstract).
- Yang, H.J., Zhu, G.Y., 2013. The Condensate Gas Field Geological Characteristics and Its Formation Mechanism in Tarim Basin. *Acta Petrologica Sinica*, 29(9): 3233—3250 (in Chinese with English abstract).
- Zhang, N., 2001. The Characteristics of Organic Inclusions of Kela 2 and Kela 3 Gas Fields and Their Indicative Significance to Oil and Gas Pool-Forming in the Kuqa Depression. *Petroleum Exploration and Development*, 28(4): 57—59 (in Chinese with English abstract).
- Zhao, M.J., Lu, S.F., 2003. Two Periods of Reservoir Forming and Their Significance for Hydrocarbon Distribution in Kuqa Depression. *Acta Petrolei Sinica*, 24(5): 16—20 (in Chinese with English abstract).
- Zhao, M.J., Wang, Z.M., Zhang, S.C., et al., 2005. Accumulation and Features of Natural Gas in the Kuqa Foreland Basin. *Acta Geologica Sinica*, 79(3): 414—422 (in Chinese with English abstract).
- Zhao, M.J., Zhang, B.M., 2002. Source Rocks for a Giant Gas-Accumulation Area in the Kuqa Depression. *Chinese Journal of Geology*, 37(Suppl.): 35—44 (in Chinese with English abstract).
- Zhao, W.Z., Wang, H.J., Shan, J.Z., et al., 2005. Analysis of Highly Efficient Gas Reservoir Process in Kuqa Depression. *Oil & Gas Geology*, 26(6): 703—710 (in Chinese with English abstract).
- 同构造单元天然气地球化学特征.石油与天然气地质, 28(5): 664—668.
- 池国祥, 卢焕章, 2008. 流体包裹体组合对测温数据有效性的制约及数据表达方法. *岩石学报*, 24(9): 1945—1953.
- 戴金星, 戚厚发, 宋岩, 1985. 鉴别煤成气和油型气若干指标的初步探讨. *石油学报*, 6(2): 31—38.
- 桂丽黎, 刘可禹, 柳少波, 等, 2015. 柴达木盆地西部英东地区油气成藏过程. *地球科学*, 40(5): 890—899.
- 贾承造, 何登发, 陆洁民, 2004. 中国喜马拉雅运动的期次及其动力学背景. *石油与天然气地质*, 25(2): 121—125.
- 李峰, 姜振学, 李卓, 等, 2015. 库车坳陷迪北地区下侏罗统天然气富集机制. *地球科学*, 40(9): 1538—1548.
- 李小地, 1999. 塔里木盆地羊塔克油气田的特征及形成历史. *石油勘探与开发*, 26(6): 30—32.
- 梁狄刚, 陈建平, 张宝民, 2004. 塔里木盆地库车坳陷陆相油气的生成. 北京: 石油工业出版社.
- 梁狄刚, 张水昌, 赵孟军, 等, 2002. 库车坳陷的油气成藏期. *科学通报*, 47(增刊): 56—63.
- 刘可禹, Bourdet, J., 张宝收, 等, 2013. 应用流体包裹体研究油气藏——以塔中奥陶系储集层为例. *石油勘探与开发*, 40(2): 171—180.
- 鲁雪松, 刘可禹, 卓勤功, 等, 2012. 库车克拉2气田多期油气充注的古流体证据. *石油勘探与开发*, 39(5): 537—544.
- 吕修祥, 金之钧, 2000. 塔北隆起羊塔克构造带油气成藏分析. *石油大学学报(自然科学版)*, 24(1): 48—52.
- 潘立银, 倪培, 欧光习, 等, 2006. 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. *矿物岩石地球化学通报*, 25(1): 19—28.
- 施立志, 2004. 库车坳陷流体动力演化与流体演变史研究(硕士毕业论文). 西北大学, 西安, 12—53.
- 王红军, 蔡迎春, 2000. 流体包裹体常规特征在油气成藏研究中的应用. *石油勘探与开发*, 27(5): 50—52.
- 魏国齐, 贾承造, 施央申, 等, 2000. 塔里木新生代复合再生前陆盆地构造特征与油气. *地质学报*, 74(2): 123—133.
- 杨海军, 朱光有, 2013. 塔里木盆地凝析气田的地质特征及其形成机制. *岩石学报*, 29(9): 3233—3250.
- 张鼐, 2001. 库车坳陷克拉苏构造带有机包裹体特征及对油气成藏的指示意义. *石油勘探与开发*, 28(4): 57—59.
- 赵孟军, 卢双舫, 2003. 库车坳陷两期成藏及其对油气分布的影响. *石油学报*, 24(5): 16—20.
- 赵孟军, 王招明, 张水昌, 等, 2005. 库车前陆盆地天然气成藏过程及聚集特征. *地质学报*, 79(3): 414—422.
- 赵孟军, 张宝民, 2002. 库车前陆坳陷形成大气区的烃源岩条件. *地质科学*, 37(增刊): 35—44.
- 赵文智, 王红军, 单家增, 等, 2005. 库车坳陷天然气高效成藏过程分析. *石油与天然气地质*, 26(6): 703—710.

附中文参考文献

- 包建平, 朱翠山, 张秋荼, 等, 2007a. 库车坳陷前缘隆起带上原油地球化学特征. *石油天然气学报*, 29(4): 40—44.
- 包建平, 朱翠山, 张秋荼, 等, 2007b. 塔里木盆地库车坳陷不