

柴西南尕斯地区不同期次油气充注对 现今油藏的贡献

桂丽黎^{1,2}, 刘可禹^{1,2,3}, 王喻雄⁴, 陈小磊⁵, 袁莉⁶, 孟庆洋^{1,2}, 李秀丽^{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. 中国石油大学地球科学与技术学院, 山东青岛 266580; 4. 中国石油尼罗河公司, 北京 100034;
5. 胜利油田胜利采油厂地质研究所, 山东东营 257000; 6. 中国石油青海油田公司勘探开发研究院, 甘肃敦煌 736202)

摘要: 尕斯库勒第三系油藏是柴达木盆地西南部(柴西南)的主力油藏。从储层成岩序列、流体包裹体等方面分析研究区油气充注期次,并通过荧光光谱和傅里叶红外光谱技术、定量荧光及原油特征等分析柴西南地区储层原油和包裹体的光谱特征及参数,探讨不同期次油气充注对现今油藏形成的贡献程度。结果表明:尕斯 E₃¹ 储层经历碱性—酸性—碱性—弱酸性—碱性的流体演化过程,并发育早期黄色荧光气液烃包裹体和后期蓝色荧光气液烃及伴生气烃包裹体,代表该区经历了 28 Ma 和 8 Ma 两期油气成藏阶段;尕斯 E₃¹ 油藏是在古油藏布局的基础上沿后期构造产生的断层输导体系向上调整而形成,是柴西地区油气早成藏,晚期调整,并较好保存的典型代表。

关键词: 成岩序列; 包裹体特征; 光谱分析; 油藏演化; 尕斯 E₃¹ 油藏; 柴西南

中图分类号: TE 122.1 **文献标志码:** A

引用格式: 桂丽黎,刘可禹,王喻雄,等. 柴西南尕斯地区不同期次油气充注对现今油藏的贡献[J]. 中国石油大学学报(自然科学版),2016,40(2):43-51.

GUI Lili, LIU Keyu, WANG Yuxiong, et al. Estimation of relative contributions of different hydrocarbon charges to Gasi Oilfield accumulations, Southwestern Qaidam Basin[J]. Journal of China University of Petroleum (Edition of Natural Science), 2016, 40(2): 43-51.

Estimation of relative contributions of different hydrocarbon charges to Gasi Oilfield accumulations, Southwestern Qaidam Basin

GUI Lili^{1,2}, LIU Keyu^{1,2,3}, WANG Yuxiong⁴, CHEN Xiaolei⁵,
YUAN Li⁶, MENG Qingyang^{1,2}, LI Xiuli^{1,2}

(1. PetroChina Exploration and Development Research Institute, Beijing 100083, China;

2. Key Laboratory of Basin Structure and Petroleum Accumulation, CNPC, Beijing 100083, China;

3. School of Geosciences in China University of Petroleum, Qingdao 266580, China;

4. CNPC Nile Company, Beijing 100034, China;

5. Geological Institute of Shengli Oil Production Plant, Shengli Oilfield, SINOPEC, Dongying 257000, China;

6. PetroChina Exploration and Development Research Institute, Qinghai Oilfield, Dunhuang 736202, China)

Abstract: The Gasi E₃¹ Oilfield, Southwestern Qaidam Basin, is an important petroleum exploration region in the basin. The hydrocarbon charge history of the Gasi Oilfield in the Qaidam Basin, Western China was investigated using a suite of fluid inclusion techniques, including fluid inclusion petrography, fluorescence spectroscopy, FT-IR spectroscopy and microthermometry. The study was facilitated by a detailed reservoir diagenesis investigation using optical microscopy, cathodoluminescence

收稿日期:2015-07-05

基金项目:国家重大科技专项(2011ZX05003);中国石油天然气股份有限公司科学研究与技术开发项目(2011B-04,2011A-0207)

作者简介:桂丽黎(1986-),女,工程师,博士研究生,研究方向为含油气系统定量分析。E-mail:gll@petrochina.com.cn。

通讯作者:刘可禹(1963-),男,教授级高工,博士生导师,研究方向为沉积学、层序地层学模拟、岩石物理、油气运移及充注史分析、提高采收率。E-mail:keyu_liu@petrochina.com.cn。

microscopy, SEM and XRD. The results show that the reservoir fluids evolved from alkali to acidic, and then alkalic. There were two episodes of oil charge in $N_1 \sim N_2^2$, as reflected by three types of hydrocarbon inclusions, occurring around 28 Ma and 8 Ma, respectively. The current accumulations in the oilfield are of similar maturity and API gravity with the current oil accumulation derived from upward migration of palaeo-oil reservoirs in the depth.

Keywords: diagenetic sequence; fluid inclusions; spectrographic method; hydrocarbon charge history; Gasi E_3^1 Oilfield; Southwestern Qaidam Basin

烃类包裹体是油气运移路径上储层成岩过程中捕获的油气^[1],是研究油气演化的重要手段,常用来分析古油藏的温度和压力等信息^[2],用来确定油气运移^[3]、聚集^[4]以及成藏时间^[5-6]。烃包裹体分析手段包括显微观察^[7]、岩石学^[8]、光谱学^[9-11]以及分析地球化学^[12]和定量荧光(QFT)^[13-15]等技术。丰度较高的烃包裹体可提取油分子,通过气相色谱-质谱分析(MCI)分析其饱和烃的特征^[12],判断其烃源岩以及热成熟度等信息^[16]。前人对油气包裹体的分析大多仅限于包裹体本身的特征、油气充注期次的判断以及群包裹体成分分析,对油气成藏演化过程的分析存在一些争议^[17]。在成藏研究过程中须尽量避免单一肉眼观察来判断油气包裹体的性质及期次,应当基于进行岩矿学和成岩作用的研究^[18]。由于油气包裹体的体积小、油气含量低、期次复杂,单体包裹体成分提取困难,所以不同期次油气包裹体特征与原油之间的关系有待于进一步研究。笔者基于中国石油勘探开发研究院油气成藏年代学实验室设备支持,系统分析柴达木盆地西部尕

斯 E_3^1 油藏的原油特征、成岩作用、流体包裹体特征,综合分析尕斯地区油气成藏过程,并通过荧光光谱和傅里叶红外光谱技术分析柴西南地区储层原油和包裹体的光谱特征及参数,探讨不同期次油气充注对现今油藏形成的贡献程度。

1 地质背景

柴达木盆地是中国西部大型叠合含油气盆地,地处青藏高原北部^[19]。柴达木盆地西部是全盆地石油生产的主战场,经过 50 多年的勘探,已经发现了尕斯库勒、油砂山、乌南、南翼山、红柳泉、昆北等多个油气田^[20](图 1,据青海油田)。古新统一始新统为一套充填式的冲积-河流相红色碎屑岩,早渐新统为三角洲-滨浅湖沉积,构成柴达木盆地西部主要储集层;晚渐新统一早中新统为深湖-半深湖相暗色岩层,是柴达木盆地西部主力生油层;晚中新统由河流-三角洲沉积构成,是柴达木盆地西部较好的储集层。早-中上新统为三角洲-浅湖沉积的产物,而晚上新统为河流-三角洲沉积的产物^[21]。

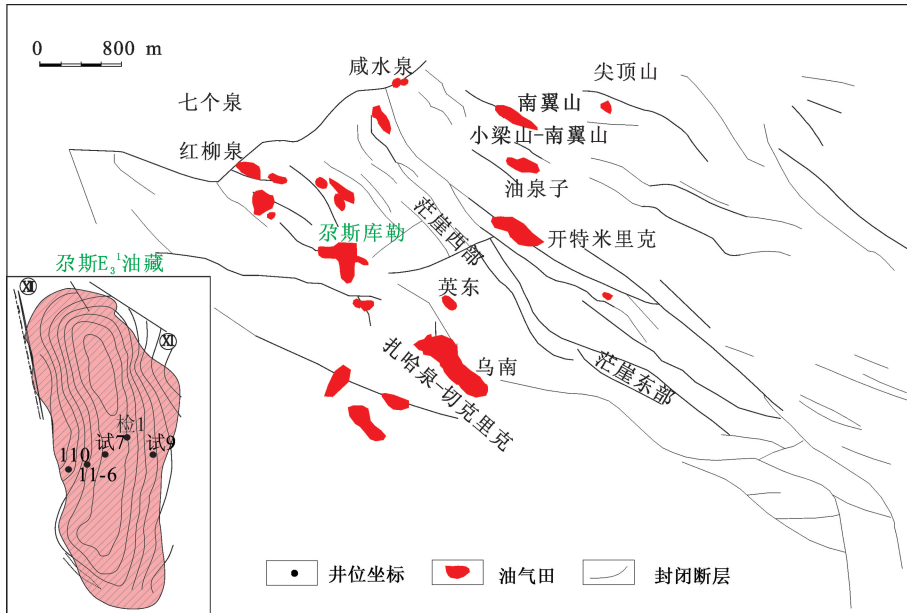


图 1 尕斯油田构造位置
Fig. 1 Simplified geological map of Gasi Oilfield

尕斯库勒油田是柴西南一继承性发育的同沉积背斜,具有良好的生储盖组合^[22],油藏自上而下分为 $N_1-N_2^1$ 油藏、 E_3^2 油藏、 E_3^1 油藏^[23],储层原油主要为未熟—低熟原油^[24-25]。尕斯 E_3^1 油藏储层的单层厚度一般小于10 m,储层深度主要分布在3200~3800 m,主要受构造因素控制^[26-27],储层岩性主要为细砂岩、粉砂岩、中砂岩,孔隙度为1.5%~23%,渗透率为 $(0.1\sim 500)\times 10^{-3}\mu\text{m}^2$ ^[28]。

2 方法

近年来引入了很多包裹体鉴定新的技术方法。如紫外荧光光谱^[10]和傅里叶红外光谱(FT-IR)^[11]技术可以测定烃类包裹体的成分特征,确定其演化程度;酸性流体进入孔隙中可以留下一些岩石学证据,可用来判断油气成藏期次^[8];定量荧光技术可系统地识别储层含油气性^[13-15]、油气运移途径和古今油水界面^[15]。

本次样品采自柴西南尕斯地区跃检1井两套巨厚泥岩夹的岩屑长石细砂—粉砂岩,取样深度为3228.91~3247.66 m,共取样15块,油样4瓶,柴西南尕斯地区岩心样品分布及岩性见表1。通过显微镜观察、扫描电镜、X衍射等技术确定岩石组成及成岩序列;荧光显微镜观察、显微荧光光谱、傅里叶红外技术以及冷热台测温研究包裹体的成分和期次;颗粒荧光技术研究油气水界面变迁。并采用显微光度计技术和傅里叶红外技术测定了包裹体及原油的显微光谱特征,建立了不同期次包裹体与原油成熟度的特征对比关系。

表1 柴西南尕斯地区岩心样品分布

Table 1 Summary of samples analysed in Gasi area

样品编号	深度 H/m	层位	岩性
yj1-1	3228.91	E_3^1	灰色长石岩屑细砂岩
yj1-2	3232.36	E_3^1	灰色长石岩屑细砂岩
yj1-3	3232.44	E_3^1	灰色岩屑长石砂质粉砂岩
yj1-4	3234.21	E_3^1	深灰色岩屑长石砂质粉砂岩
yj1-5	3237.11	E_3^1	深灰色长石岩屑砂质粉砂岩
yj1-6	3237.36	E_3^1	深灰色岩屑长石细砂岩
yj1-7	3241.81	E_3^1	深灰色岩屑长石砂质粉砂岩
yj1-8	3242.66	E_3^1	深灰色长石岩屑砂质粉砂岩
yj1-9	3246.10	E_3^1	深灰色岩屑长石细砂岩
yj1-10	3246.16	E_3^1	深灰色岩屑长石砂质粉砂岩
yj1-11	3246.71	E_3^1	深灰色长石岩屑砂质粉砂岩
yj1-12	3247.06	E_3^1	深灰色长石岩屑细砂岩
yj1-13	3247.10	E_3^1	深灰色岩屑长石砂质粉砂岩
yj1-14	3247.26	E_3^1	深灰色砂长石岩屑细砂岩
yj1-15	3247.66	E_3^1	深灰色长石岩屑细砂岩

3 结果与讨论

3.1 油气充注的古流体证据

3.1.1 岩石学证据

柴西南尕斯地区 E_3^1 储层样品为长石岩屑砂岩和岩屑长石砂岩。研究区发育两期方解石,早期以泥晶的方式充填孔隙,并且交代石英、长石等碎屑颗粒(图2(a))。酸性流体充注引起的长石溶蚀现象在研究区内普遍发育(图2(b)),并且与石英次生加大边一起产出(图2(c)),说明两者很可能为同期形成的自生产物。随着埋藏深度和成岩作用的进行,成岩流体环境逐渐过渡到碱性条件,导致早期形成的泥晶方解石发生重结晶作用形成亮晶方解石,且交代早期方解石(图2(a))和石英次生加大(图2(c)),说明亮晶方解石形成晚于次生石英加大。此外,见长石次生加大边的溶蚀现象(图2(d)),和局部发育微晶石英,为研究区第二次酸性流体充注的证据。通常情况下认为,铁白云石(图2(e))是晚期成岩作用产物,见硬石膏交代方解石和铁白云石,说明硬石膏是最晚形成的成岩作用产物。如图2显示,研究区自生矿物的发育顺序依次为早期方解石→伊利石→次生石英→次生长石→晚期方解石→白云石→绿泥石→硬石膏。流体演化经历的碱性—酸性—碱性—弱酸性—碱性的过程,代表了两期酸性流体(油气)的充注。早期油气充注规模较大致使流体从碱性到酸性,后期油气充注较小只使局部流体变为弱酸性。

3.1.2 烃类包裹体证据

结合荧光颜色、产状及气液比等特征将研究区烃包裹体分为黄色荧光气液烃包裹体、蓝色荧光气液烃包裹体和气烃包裹体3类(图3)。

见黄色荧光气液烃发育止于石英加大缝合线(图3(a)),气液比较小(图3(a),(c))发育范围较大,丰度较高。蓝色荧光气液烃包裹体穿切石英次生加大(图3(b)),气液比较大(图3(d)),发育范围较小,丰度随埋深增加而减小。黄色荧光烃包裹体发育早于石英次生加大且代表的油气充注强度较大,而蓝色荧光烃包裹体发育晚于石英次生加大且代表的油气充注强度较低。蓝色包裹体的气液比变化较大,并且见凝析气包裹体和气包裹体(图3(e)),在个别石英颗粒中见一两个气烃包裹体的发育,说明蓝色荧光包裹体与气烃包裹体伴生。

烃类包裹体伴生的盐水包裹体的最低均一温度结合埋藏史曲线可以反演包裹体捕获的时间。如图4所示,早期黄色荧光气液烃包裹体的均一温度范围是67.5~94.3℃,后期蓝色荧光气液烃包裹体均一温度范围是101.5~121℃。黄色和蓝色荧光气液烃包裹体伴生的盐水包裹体的最低均一温度分别为73.5和104.7℃,对应地质时间为28和8 Ma。综上所述,包裹体形成顺序依次为:早期黄色荧光气液烃包裹体,后期蓝色荧光气液烃包裹体和伴生气液烃包裹体,代表了存在28和8 Ma两期油气成藏过程。

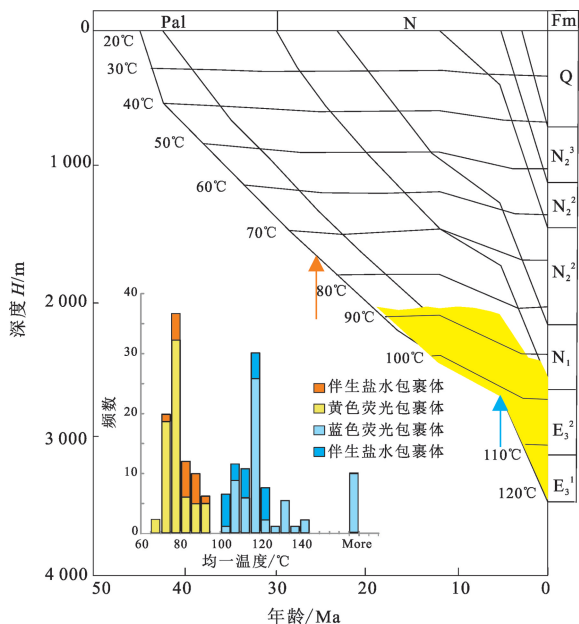


图4 包裹体捕获充注期次

Fig. 4 Hydrocarbon charge timing determined from basin modelling and fluid inclusion homogenization temperatures in the Gasi area

3.2 继承-改造的成藏过程

3.2.1 油气水界面变迁

定量荧光技术主要包括了定量颗粒荧光技术(QGF)、包裹体定量颗粒荧光 QGF^+ 、粒间萃取物定量荧光技术(QGF-E)和三维全扫描定量荧光(TSF)技术^[13-15]。QGF方法是通过测量石英颗粒中烃类物质被紫外激发光激发发出的荧光强度探测古油层的技术。QGF光谱随着油气组分由轻至重会向长波方向偏移,QGF指数(Index)可以作为识别古油水界面的标志,油层样品的QGF指数比水层样品的高。QGF-E与通常的岩石提取不同,它分析的是吸附于矿物表面的吸附能力很强的芳香烃和极性化合物的可溶有机物的提取物。QGF-E可识别现今

(残余)油层,油层的荧光强度普遍大于40 pc,而水层样品的荧光强度大多数情况下小于20 pc。解释油水界面还要因地区而异,通常油水界面附近存在一个QGF Index和QGF-E强度突然增加的拐点^[15]。跃检1井的QGF Index的范围是2.9~5.2,在埋深3241.6和3232.4 m处,其QGF Index大于4。在埋深3232.4和3241.6 m之下油层Index值有明显降低的趋势。QGF-E强度的范围是184.3~1964.6 pc,在3245~3247,3241.6和3232.4 m这3处油气最为富集,QGF-E强度在这些深度下面明显降低。

QGF-E参数及光谱特征及测井曲线特征(图5)中可以看到油气在后期演化过程中发生了上调的作用。深度3250 m以下为泥质,并且QGF Index的范围仍然大于5,说明该深度油气充注强度较大,未发生油水界面的分异。QGF-E强度在深度约3247.1 m产生了明显的变化,为现今油水界面的分界线。说明研究区的古油藏和现今油藏在向上运移的过程中在3247.1 m深度处产生了分异的现象,油水界面出现。现今油藏在保持古油藏布局的基础上,后期发生了向上运移作用,油水界面上调。

3.2.2 主要供烃期

荧光的颜色与强度主要与有机组成的分子结构类型有关,有机包裹体和原油的荧光特征反映了其内有机质的成分特征及其热演化过程,与成熟度有关,随成熟度升高,光谱发生蓝移^[9]。FTIR可通过半定量的 CH_2/CH_3 的基团比值计算烃类的成分特征, CH_2/CH_3 越低,其演化程度越高^[11]。本文中通过傅里叶红外技术和荧光光谱技术建立不同期次包裹体与原油成分成熟度特征的对比。

从荧光包裹体的光谱的分析结果(图6(a))可以看出黄色包裹体表现相对红移的特征,其中原油的荧光光谱和黄色包裹体的波峰分布范围约为480~550 nm,主要集中在530 nm;蓝色包裹体波峰分布范围为465~550 nm,主要分布范围为465~495 nm。同时,红外光谱(图6(b))显示黄色荧光气液烃包裹体的甲基强度较低,其 CH_2/CH_3 值约为2.5,代表低成熟的油气特征;蓝色荧光气液烃包裹体的甲基的含量较高,其 CH_2/CH_3 的值约为1,代表了较高成熟度的油气特征。说明黄色荧光气液烃包裹体和原油特征相似,而蓝色包裹体的成熟度高于黄色包裹体和原油,说明早期低熟原油充注是现今油藏的主要贡献者。

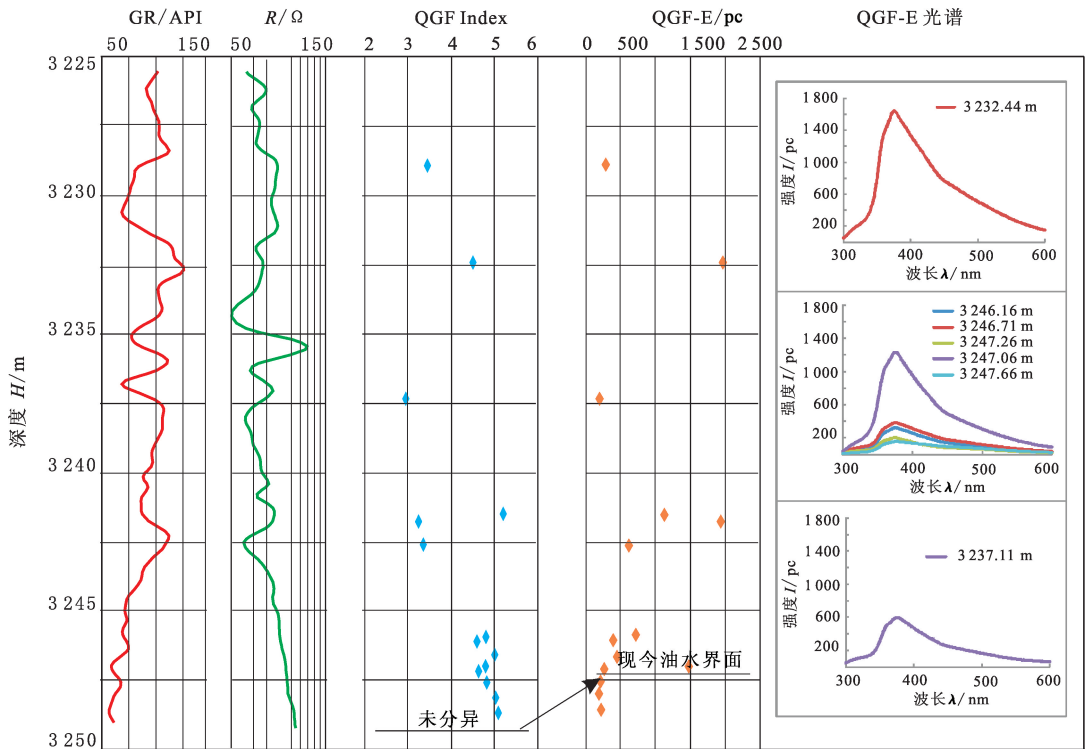


图5 跃检1井 QGF-E 参数及光谱特征及测井曲线特征

Fig. 5 QGF-E depth profile and spectra in well Yuejian1 with Gamma ray and resistivity logs

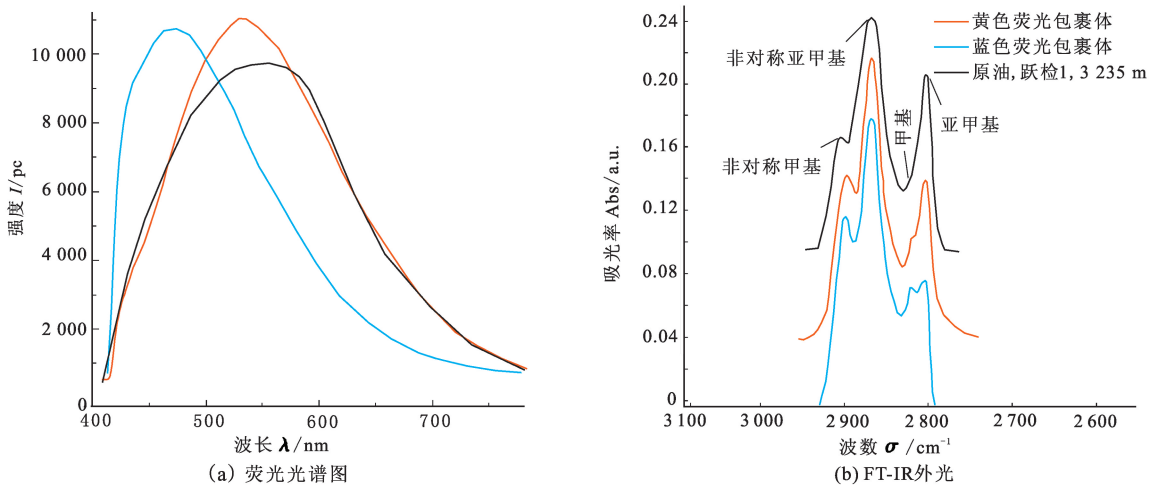


图6 烃包裹体及原油显微光谱特征

Fig. 6 UV fluorescence & FT-IR spectra of hydrocarbon inclusions and oil

3.2.3 低熟原油后期分馏

地化分析结果显示研究区原油及抽提物的组分相近,其饱和烃的含量为 49.11% ~ 53.45%,芳烃的含量为 2.8% ~ 12.62%,非烃+沥青的含量为 31.71% ~ 56.13%。饱和烃气相色谱显示(图 7(a)),原油呈中等碳数范围,原油轻/重组分为 0.75 ~ 1.11,在 $nC_{18} \sim nC_{28}$ 具有偶碳优势,植烷含量明显高于姥姣烷,Pr/Ph 值为 0.27 ~ 0.51(图 7(a));M/Z191 质量色谱显示(图 7(b)),伽马蜡烷

以及 C_{30} 藿烷含量较高。全油气相色谱图中(低)伽玛蜡烷、正构烷烃的偶碳优势相对较弱,原油主峰碳数均 nC_{20} , Pr/Ph 为 0.29 ~ 0.32, $\delta^{13}C$ 主要集中在 $-26\text{‰} \sim -25.6\text{‰}$,结合伽马蜡烷参数,推测其烃源岩可能形成于咸化湖盆还原环境。生物标志化合物参数显示原油差异不明显,均为低成熟特征。

柴达木西部地区原油主要为未熟—低熟原油^[24-25],并未达到较高成熟度。结合原油的光谱和地化分析明确杂斯地区原油也均为低熟特征。蓝色

荧光气液烃包裹体代表了较高成熟度的油气特征,与现今油气低熟特征不符,说明蓝色荧光包裹体代表的高熟原油充注可能不存在。

蓝色油气包裹体与气包裹体的发育可能是一个同时或者连续的过程,部分蓝色荧光包裹体可能是不均一捕获的产物。其证据包括:①蓝色荧光气液烃包裹体的气液比变化较大;②蓝色荧光气液烃气

包裹体伴生;③测温时常不均一;④不存在高熟油充注;⑤根据柴西地区 C_{21}^-/C_{22}^+ 随深度变化的趋势图认为随深度减小,原油轻质组分增多,原油经历了从深层到浅层向上运移的作用^[29]。综上所述,研究区原油可能在运移至浅层时发生分馏和脱气的现象,蓝色荧光包裹体和气包裹体是低成熟原油分馏和脱气产物。

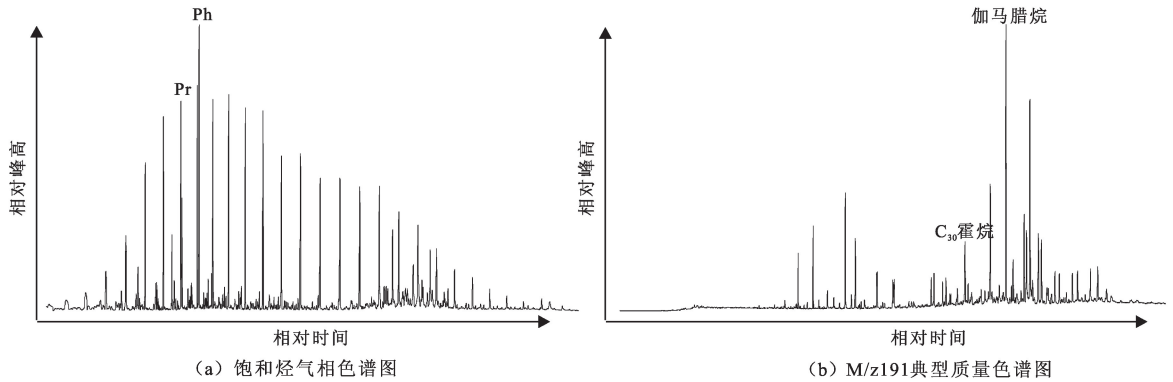


图7 饱和烃气相色谱图及 M/z191 典型质量色谱图(跃检1井,3241.81 m)

Fig.7 Gas chromatogram of saturated hydrocarbon and M/z191 typical mass chromatogram (well Yujian1, 3241.81 m)

4 尕斯 E_3^1 油藏成藏模式

尕斯 E_3^1 油藏流体演化经历碱性—酸性—碱性—弱酸性—碱性的过程,并发育早期黄色荧光气液烃包裹体和后期蓝色荧光气液烃及伴生气烃包裹体,代表该区经历了两期油气成藏阶段(图8),对应地质时期应为 N_1 末期及 N_2^2 以来,以早期油气充注为主。定量荧光分析表明该区主要为继承—改造的成藏过程。

柴东木盆地西南部古近系和新近系经历了 43.8 ~ 22 Ma(始新世中期到中新世早期)和 14.9 ~ 0 Ma(中新世中期到现今)两次大规模的构造演化运动^[27]。在基岩隆起的背景上,尕斯库勒地区圈闭在渐新世开始发育, N_1 末期定型。晚期喜山($N_2^2 \sim Q_{1+2}$)运动导致原始圈闭受到改造和破坏,其浅部被油砂山断裂的上盘所叠合,形成新的圈闭。柴西的主力烃源岩层位是 N_2^1 和 E_3^2 , E_3 烃源岩在 N_1 时期开始排烃^[24-25]。

结合构造演化历史说明该区油气成藏主要经历以下两个阶段(图8):①上干柴沟组沉积末期(N_1 末期)圈闭雏形发育,烃源岩开始排烃,黄色荧光气液烃代表的早期低熟油气开始聚集;在 N_2^1 烃源岩开始大量排烃类,早期圈闭定型,早期原油大量聚集,古油藏发育。②晚期喜山运动($N_2^2 \sim Q_{1+2}$)形成

大量的断裂和裂缝,古油藏原油沿着断裂和裂缝向构造高部位运移形成新的油气藏,此时伴生异常压力释放,低熟原油向上运移的过程中发生分馏和脱气的现象。

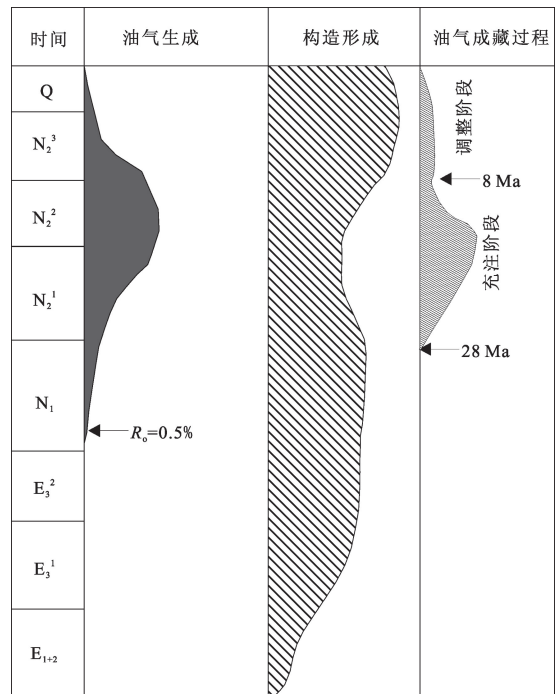


图8 尕斯地区油气演化过程模式

Fig.8 Oil and gas accumulation model of Gasi Oilfield

尕斯 E_3^1 油藏经历了 N_1 (上柴干沟组)开始的

低成熟的原油充注和 N_2^2 (上油砂山组) 至今的油气调整的成藏阶段, 具有继承-改造的特征。后期构造运动活动的强弱和盖层的封闭条件直接影响了古油藏的改造程度, 下一步油气勘探的重点应该是深层或者构造的高部位。

5 结 论

(1) 流体演化经历碱性—酸性—碱性—弱酸性—碱性的过程, 并发育早期黄色荧光气液烃包裹体和后期蓝色荧光气液烃及伴生气烃包裹体, 代表尕斯库勒地区经历了两个油气成藏阶段。

(2) 两期酸性流体分别为黄色荧光气液烃和蓝色荧光气液烃, 分别代表了 28 Ma 的油气较大规模油气充注和 8 Ma 油气调整改造的过程。现今油藏原油特征和黄色荧光低熟气液烃包裹体相似, 为低成熟稠油, 说明早期低熟油充注为现今油藏的主要贡献者。蓝色荧光包裹体和气包裹体可能是低成熟原油分馏和脱气的产物。

(3) 尕斯 E_3^1 油藏经历了上干柴沟组 (N_1) 的低成熟的原油充注和上油砂山组 (N_2^2) 至今的油气调整的成藏阶段, 是柴西南地区油气早成藏, 晚期调整, 并较好保存的典型代表。

参考文献:

[1] BURRUSS R, CERCONE K, HARRIS P. Fluid inclusion petrography and tectonic-burial history of the Al Ali No. 2 well: evidence for the timing of diagenesis and oil migration, northern Oman Foredeep [J]. *Geology*, 1983, 11 (10): 567-570.

[2] SWARBRICK R E. Reservoir diagenesis and hydrocarbon migration under hydrostatic palaeopressure conditions [J]. *Clay Minerals*, 1994, 29(4): 473-474.

[3] 鲁雪松, 宋岩, 柳少波, 等. 流体包裹体精细分析在塔中志留系油气成藏研究中的应用[J]. *中国石油大学学报(自然科学版)*, 2012, 36(4): 45-50.

LU Xuesong, SONG Yan, LIU Shaobo, et al. Detailed analysis of fluid inclusions and its application in accumulation history research on Silurian reservoirs in Tazhong area, Tarim Basin [J]. *Journal of China University of Petroleum (Edition of Natural Science)*, 2012, 36(4): 45-50.

[4] ISAKSEN C H, POTTORI R J, JENSSEN A I. Correlation of fluid inclusions and reservoir oils to infer trap fill history in the South Viking Graben, North Sea [J]. *Petroleum Geoscience*, 1998, 4(1): 41-55.

[5] MALIMANS R K. The application of fluid inclusions to migration of oil and diagenesis in petroleum reservoirs

[J]. *Applied Geochemistry*, 1987, 2(5): 585-603.

[6] 李静, 查明. 基于流体包裹体的任丘油田雾迷山组成藏期次确定与古压力恢复 [J]. *中国石油大学学报(自然科学版)*, 2010, 34(4): 38-43.

LI Jing, ZHA Ming. Determination of oil accumulation period and building up of paleopressure of Wumishan formation in Renqiu Oilfield by using fluid inclusion [J]. *Journal of China University of Petroleum (Edition of Natural Science)*, 2010, 34(4): 38-43.

[7] LIU K, BOURDET J, ZHANG B, et al. Hydrocarbon charge history of the Tazhong Ordovician reservoirs, Tarim Basin as revealed from an integrated fluid inclusion study [J]. *Petroleum Exploration and Development*, 2013, 40(2): 183-193.

[8] MARCHAND ANN M E, SMALLEY P C, et al. Note on the importance of hydrocarbon fill for reservoir quality prediction in sandstones [J]. *AAPG Bulletin*, 2002, 86 (9): 1561-1571.

[9] PIRONON J, PRADIER B. Ultraviolet-fluorescence alteration of hydrocarbon fluid inclusions [J]. *Organic Geochemistry*, 1992, 18(4): 501-509.

[10] STASIUK L D, SNOWDON L R. Fluorescence microspectrometry of synthetic and natural hydrocarbon fluid inclusions: crude oil chemistry, density and application to petroleum migration [J]. *Applied Geochemistry*, 1997, 12(3): 229-241.

[11] BARRES O, BURNEAU A, DUBESSY J, et al. Application of micro-FT-IR spectroscopy to individual hydrocarbon fluid inclusion analysis [J]. *Applied Spectroscopy*, 1987, 41(6): 1000-1008.

[12] GEORGE S C, KRIEGER F W, EADINGTON P, et al. Geochemical comparison of oil-bearing fluid inclusions and produced oil from the Toro sandstone, Papua New Guinea [J]. *Organic Geochemistry*, 1997, 26(3): 155-173.

[13] LIU K, EADINGTON P, COGHLAN D. Fluorescence evidence of polar hydrocarbon interaction on mineral surfaces and implications to alteration of reservoir wettability [J]. *Journal of Petroleum Science and Engineering*, 2003, 39(3): 275-285.

[14] LIU K, EADINGTON P. A new method for identifying secondary oil migration pathways [J]. *Journal of Geochemical Exploration*, 2003, 78: 389-394.

[15] LIU K, EADINGTON P. Quantitative fluorescence techniques for detecting residual oils and reconstructing hydrocarbon charge history [J]. *Organic Geochemistry*, 2005, 36(7): 1023-1036.

[16] GEORGE S C, VOLK H, AHMEND M. Geochemical a-

- analysis techniques and geological applications of oil-bearing fluid inclusions, with some Australian case studies[J]. *Journal of Petroleum Science and Engineering*, 2007, 57(1):119-138.
- [17] BODNAR R J, BETHKE P M. Systematics of stretching of fluid inclusions; I, Fluorite and sphalerite at 1 atmosphere confining pressure[J]. *Economic Geology*, 1984, 79(1):141-161.
- [18] VAN DEN K A M, HEIN U F. Fluid inclusion petrography [J]. *Lithos*, 2001, 55(1):27-47.
- [19] CAI Maotang, FANG Xiaomin, WU Fuli, et al. Pliocene-Pleistocene stepwise drying of Central Asia; evidence from paleomagnetism and sporopollen record of the deep borehole SG-3 in the western Qaidam Basin, NE Tibetan Plateau [J]. *Global and Planetary Change*, 2012, 94:72-81.
- [20] 翟光明, 徐凤银, 李建青. 重新认识柴达木盆地力争油气勘探获得新突破[J]. *石油学报*, 1997, 18(2):1-7.
- ZHAI Guangming, XU Fengyin, LI Jianqing. A reconsideration of Qaidam Basin for a great breakthrough in oil and natural gas exploration [J]. *Acta Petrolei Sinica*, 1997, 18(2):1-7.
- [21] LU Haijian, XIONG Shangfa. Magnetostratigraphy of the Dahonggou section, northern Qaidam Basin and its bearing on Cenozoic tectonic evolution of the Qilian Shan and Altyn Tagh Fault[J]. *Earth and Planetary Science Letters*, 2009, 288(3/4):539-550.
- [22] 段毅, 彭德华, 张辉, 等. 柴达木盆地西部尕斯库勒油田 E_3^1 油藏成藏条件与机制[J]. *沉积学报*, 2005, 23(1):150-155.
- DUAN Yi, PENG Dehua, ZHANG Hui, et al. Oil accumulation conditions and formation mechanism for E_3^1 oil pool in Gasikule Oilfield of Western Qaidam Basin[J]. *Acta Sedimentologica Sinica*, 2005, 23(1):150-155.
- [23] 杨卫国, 董伟, 苟永俊. 尕斯库勒 E_3^1 油藏沉积微相及其对剩余油分布的影响[J]. *内蒙古石油化工*, 2007(9):105-107.
- YANG Weiguo, DONG Wei, GOU Yongjun. The sedimentary microfacies of Gasikule Oilfield E_3^1 oil reservoir and its affect on distribution of residual oil [J]. *Inner Mongolia Petrochemical Industry*, 2007(9):105-107.
- [24] ZHU Yangming, WENG Huanxin, SU Aiguo, et al. Geochemical characteristics of Tertiary saline lacustrine oils in the Western Qaidam Basin, northwest China [J]. *Applied Geochemistry*, 2005, 20(10):1875-1889.
- [25] HUANG Difan, LI Jinchao, ZHANG Dajiang, et al. Maturation sequence of Tertiary crude oils in the Qaidam Basin and its significance in petroleum resource assessment [J]. *Journal of Southeast Asian Earth Sciences*, 1991, 5(1/4):359-366.
- [26] 邹华耀, 胡文艺. 长逆断层与油气生成、运移和聚集: 以柴达木盆地尕斯断陷为例 [J]. *石油与天然气地质*, 1993, 14(3):200-206.
- ZOU Huayao, HU Wenyi. Growth thrusts and oil generation, migration and accumulation: taking Gasi fault-subsidence in Qaidam Basin as an example [J]. *Oil & Gas Geology*, 1993, 14(3):200-206.
- [27] WANG Yadong, ZHENG Jianjing, ZHANG Weilin, et al. Cenozoic uplift of the Tibetan Plateau: evidence from the tectonic-sedimentary evolution of the western Qaidam Basin [J]. *Geoscience Frontiers*, 2012, 3(2):175-187.
- [28] 江波, 司丹, 王兰生, 等. 柴西南地区油气成藏特征及有利储层预测 [J]. *天然气工业*, 2004, 24(9):8-10.
- JIANG Bo, SI Dan, WANG Lansheng, et al. Oil/gas reservioring characteristics and beneficial reservoir body prediction in the southwest part of Chaidam Basin [J]. *Natural Gas Industry*, 2004, 24(9):8-10.
- [29] 桂丽黎, 刘可禹, 柳少波, 等. 柴达木盆地西部南区红柳泉岩性油气藏成藏特征 [J]. *石油学报*, 2015, 36(1):50-59.
- GUI Lili, LIU Keyu, LIU Shaobo, et al. Hydrocarbon charge history of the Hongliuquan Oilfield, Qaidam Basin, western China: insight from an integrated fluid inclusion and spectroscopy and geochemistry analyses [J]. *Acta Petrolei Sinica*, 2015, 36(1):50-59.

(编辑 徐会永)