

# 鄂尔多斯盆地南部直罗油田长8油层 油气沸腾包裹体群研究

王志辉<sup>1,2</sup>, 黄伟<sup>2</sup>

(1 西安石油大学 油气资源学院, 陕西 西安 710065;

2 陕西延长石油(集团)有限责任公司延长油田股份有限公司 直罗采油厂, 陕西 富县 727500)

**摘要:** 运用激光拉曼光谱、包裹体充填度测定等方法对鄂尔多斯盆地直罗油田富南3井、6井长8油层裂缝岩芯充填物中包裹体群进行分析,发现富南3井、6井与英旺油田英16井长8油层中油气沸腾包裹体群完全相同,密集分布的气泡不停晃动,证实油气沸腾包裹体群不是孤立的、偶然的地质现象。富南3井、6井和英16井长8油层裂缝岩芯的原始裂缝性质为滑动—剪切裂缝和剪切裂缝,在区域构造的作用下,反复发生拉张—挤压交替活动;在拉张发生的瞬间,与裂缝沟通的油层里的原油发生减压沸腾,原油中的轻质馏分和其他流体进入裂缝空间;在随后的挤压发生时,裂缝基本封闭,一部分流体返回原来的油层,一部分被挤到别的裂隙空间形成新的油藏;残留在裂缝里的碳酸钙,在较高的地层压力下逐渐结晶,并把残留的轻质馏分包裹,形成油气包裹体;这些油气包裹体形成压力较高,又包裹着成分类似液化气的轻质馏分,在常温常压下就处于沸腾状态;这样的过程反复进行,在裂缝充填物中形成了沿着晶体生长线以及成片、成带分布的油气沸腾包裹体群。上述油气沸腾包裹体群的形成过程就是油气的地震泵运移机制,丰富了油气运移地震泵地质模型。

**关键词:** 鄂尔多斯盆地; 油气沸腾包裹体群; 剪切裂缝; 剪切—滑动裂缝; 油气运移; 地震泵地质模型

**中图分类号:** TE122.1<sup>+</sup>2; P618.130.1; P575 **文献标志码:** A **文章编号:** 1672-6561(2011)02-0146-06

## Study on Oil/ gas Boiling Inclusion Group of Chang-8 Oil-bearing Bed in Zhiluo Oilfield, the Southern of Ordos Basin

WANG Zhi-hui<sup>1,2</sup>, HUANG Wei<sup>2</sup>

(1. School of Oil and Gas Resources, Xi'an Shiyou University, Xi'an 710065, Shaanxi, China; 2. Zhiluo Oil Production Plant, Yanchang Oilfield Company Limited, Shaanxi Yanchang Petroleum (Group) Company Limited, Fuxian 727500, Shaanxi, China)

**Abstract:** By the means of laser Raman spectroscopy and filling degree of inclusion, the inclusion groups of fillings of Chang-8 oil-bearing beds from wells Funan3 and Funan6 in Zhiluo Oilfield, the southern of Ordos Basin were studied. The results showed that the oil/ gas boiling inclusion groups of Chang-8 oil-bearing beds from wells Funan3 and Funan6 were exactly the same to that from well Ying16 in Yingwang Oilfield, and a lot of bubbles moved constantly; the geological phenomenon for oil/ gas boiling inclusion groups were not isolated and occasional. The characteristics of incipient fracture core of Chang-8 oil-bearing beds from wells Funan3, Funan6 and Ying16 were shear-slip and shear fractures, and tensile-bearing stress was alternately active under the action of regional structure; decompression boiling of oil in the oil-bearing bed happened in an instant when tensile stress was active, light cut fraction and other fluids flowed into fracture because of the connection of fracture and oil-bearing bed; fracture closed on the whole while the bearing stress was active, a part of fluid returned to the original oil-bearing bed, and another was overflowed onto other fracture so that new oil reservoir formed; calcium carbonate, which remained in the original fracture, crystallized gradually under the high strata pressure and wrapped the rudimental light cut fraction, so that the oil/ gas inclusion groups formed; the formation pressure of the inclusion was high, and the inclusion included light cut fraction, so that the inclusion was in a state of boiling at normal temperatures and pressures; the above process happened again and again, and the oil/ gas boiling inclusion groups, which distributed

收稿日期: 2010-12-17

基金项目: 陕西延长石油(集团)有限责任公司延长油田股份有限公司项目

作者简介: 王志辉(1973-),男,陕西富县人,工程师,工学硕士研究生,从事油田勘探开发生产管理研究。E-mail: wz\_h3568168@163.com

along the line of crystal growth, formed lamellar and ribbon in the fillings of fractures. The formation processes of oil/gas boiling inclusion groups were the migration mechanism of seismic pumping and enriched the geological model of seismic pumping.

**Key words:** Ordos Basin; oil/gas boiling inclusion group; shear fracture; shear-slip fracture; oil/gas migration; geological model of seismic pumping

## 0 引言

在鄂尔多斯盆地南部直罗油田富南3井和6井裂缝岩芯发现之前,仅在鄂尔多斯盆地英旺油田英16井一块岩芯中发现油气沸腾包裹体群<sup>[1]</sup>。通过与英16井及其他裂缝充填物中油气包裹体的对比研究,富南3井和6井岩芯裂缝充填物中存在着和英16井完全相同的油气沸腾包裹体群,由此证实油气沸腾包裹体群已经不是孤立的、偶然的地质现象。

有关沸腾包裹体的研究,主要是针对在岩浆热液成矿作用过程中,与所发生的减压沸腾作用有关而形成的包裹体系<sup>[2-3]</sup>。针对热液流体运移建立的地震泵机制已被广泛用来解释油气运移和成藏<sup>[4-7]</sup>。与油气田有关的减压沸腾作用、油气沸腾包裹体及地震泵运移机制的研究虽然不少,但是都没有在常温常压下不停运动(沸腾)着的包裹体群和地震泵运移机制实体地质模型及二者之间密切相关的描述<sup>[8-10]</sup>。

直罗油田北邻的下寺湾油田在勘探开发过程中,发现不少裂缝高产井。研究证实这些高产裂缝井的低碳烃特低凝原油是相邻油层中的正常原油在相对低温的状态下,发生减压沸腾运移到张性裂缝中形成的,从而建立了下寺湾式岩性封闭裂缝油藏<sup>[11-12]</sup>。同时还用英16井裂缝及其中的沸腾包裹体群建立的油气运移地震泵机制,解释下寺湾式岩性封闭裂缝油藏成藏模式。近年来,直罗油田也发现了不少裂缝油藏的苗头,深入研究该区油层裂缝的性质、分布及其充填物中的油气沸腾包裹体群,不仅对油气运移、成藏研究具有理论意义,对今后直罗油田的勘探开发也将起到积极的指导作用。

## 1 裂缝岩芯的特征及性质

富南3井和6井分别位于延安市富县城区西南和北西西方向(图1),与本文密切相关的英16井位于宜川县英旺镇东北(图1)。研究区地质构造位置属于鄂尔多斯盆地陕北斜坡,是一个地层倾角不到 $1^{\circ}$ 的西倾单斜<sup>[13]</sup>。富县城区是三叠系上统延长组与侏罗系界线出露的地方,富县城北大申号水库旁,以紫红色泥岩为特征的一套岩层是侏罗系底部—富县组(细富县)的建组剖面<sup>[14]</sup>。

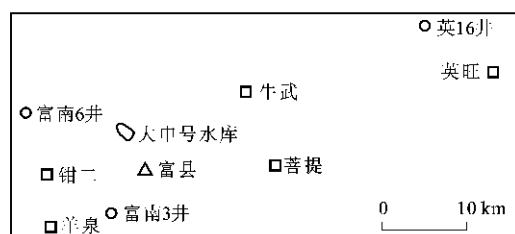


图1 富南3井、6井及英16井位置

Fig. 1 Position of Wells Funan3, Funan6 and Ying16

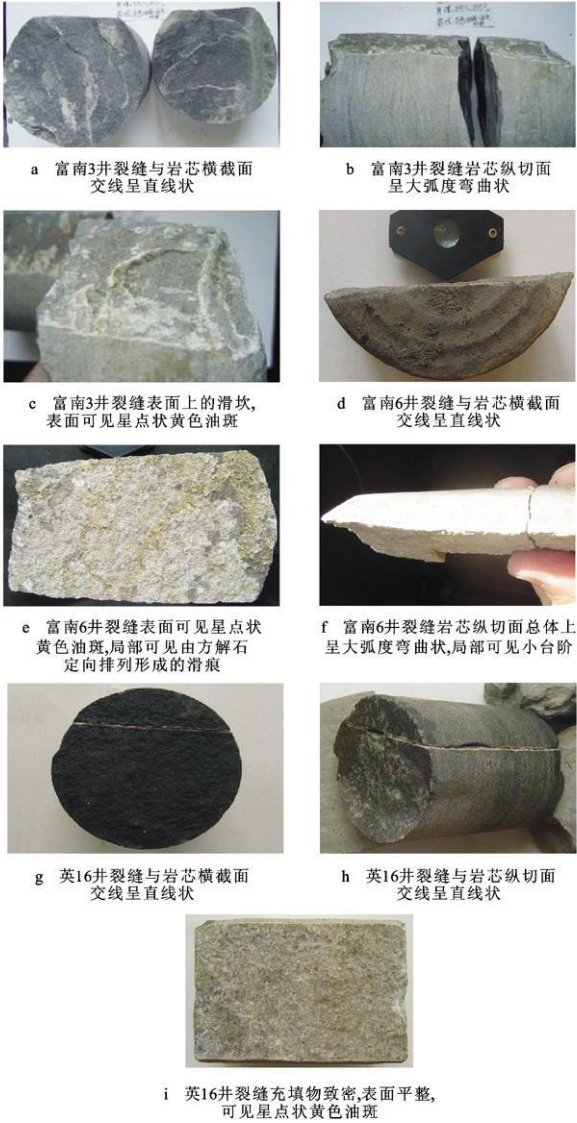
富南3井裂缝岩芯位于井深835.11 m至835.21 m处,富南6井裂缝岩芯位于井深1274.43 m至1274.58 m处,所属层位都是三叠系上统延长组( $T_3y$ )长8油层。

富南3井、6井和英16井裂缝岩芯的岩性均为灰色粗粉—细粒长石砂岩。裂缝面直立或近于直立(图2b、f、h)。裂缝面与岩芯横断面交切均成一直线,和英16井岩芯相似(图2a、d、g)。富南3井、6井裂缝面和英16井相比,纵向上并不平直(图2b、f、h),在富南3井裂缝面上可以看到顺着裂缝面分布的小断坎(图2c),在富南6井裂缝面上可以看到几处由充填结晶的方解石定向排列所显示出的滑动痕迹(图2e),滑动痕迹长约5 mm,在实体显微镜下十分清晰(图3)。这些滑动痕迹的滑动方向基本平行,与岩芯长轴方向成大约 $30^{\circ}$ 的夹角。这3口井裂缝岩芯裂缝面上都有方解石充填物,充填物表面都可以看到星点状淡黄色油迹(图2c、e、i)。

从上述3口井岩芯裂缝表面特征分析对比可以看出,英16井的原始裂缝是垂直纯剪切裂缝,裂缝面平直,充填物厚度均匀致密;富南3井的原始裂缝是在一组垂向剪切力作用下,发生近于垂向的滑动形成的剪切—滑动裂缝,顺滑动方向产生的断坎之下充填物相对较厚;富南6井的原始裂缝也是在一组垂向剪切力作用下形成的,不过后期引起沿裂缝面滑动的力,与铅垂线成 $30^{\circ}$ 夹角,也是剪切—滑动裂缝。

## 2 裂缝充填物中包裹体群

在富南3井、6井裂缝岩芯充填物包裹体薄片,笔者发现了成带、成群、沿着晶体生长线分布的油气包裹体群(图4),包裹体内的气泡在常温常压



注: 据文献 [1]。

图 2 富南 3 井、6 井与英 16 井裂缝岩芯对比  
Fig. 2 Contrast of Fracture Core in Wells Funan3, Funan6 and Ying16

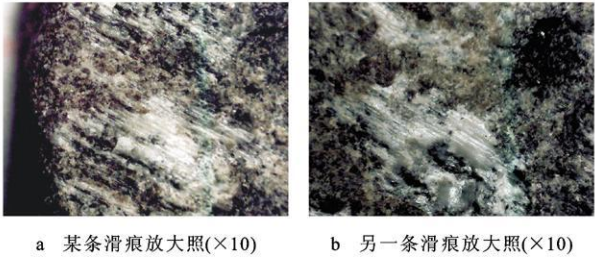


图 3 富南 6 井裂缝面上的滑痕放大照  
Fig. 3 Photos of Slide Mark of Fracture Face in Well Funan6

下不停地晃动沸腾着, 其运动状态、分布特征和英 16 井油气沸腾包裹体群完全相同。

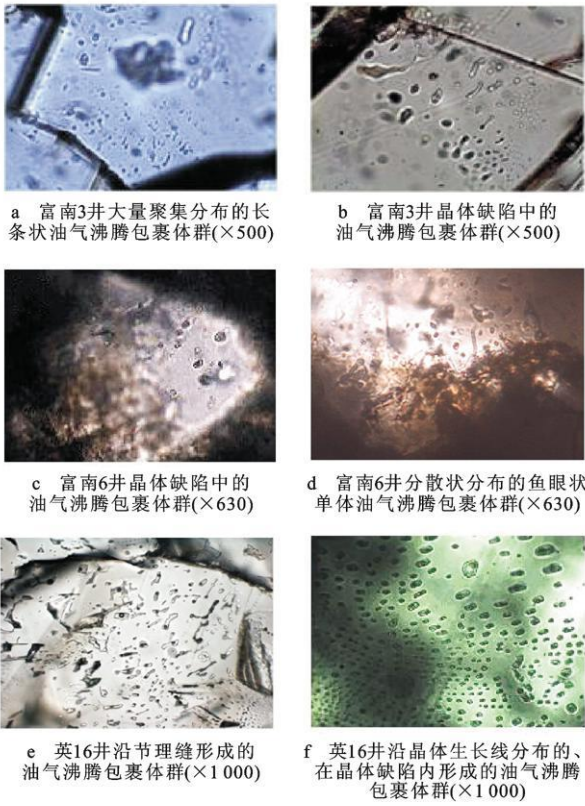


图 4 富南 3 井、6 井和英 16 井的油气沸腾包裹体群  
Fig. 4 Oil/gas Boiling Inclusion Groups in Wells Funan3, Funan6 and Ying16

结合长安大学地质构造研究所提供的英 16 井包裹体薄片, 笔者对这 3 口井的薄片进行了激光拉曼光谱分析(表 1)。同时, 为了方便比较, 对样品英 16-1、柴 70、桦 3-1 和桦 3-2 的分析结果进行处理, 结果见表 1。

这 3 口井裂缝充填物中包裹体都沿着晶体生长线, 成带、成群密集分布(图 5)。在富南 3 井的薄片中最多可以见到 20 条包裹体带成片分布(图 5a); 英 16 井有近 40 条包裹体带成片分布(图 5b)。

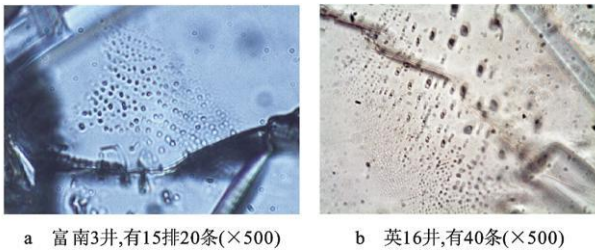


图 5 富南 3 井、英 16 井沿晶体生长线分布的油气沸腾包裹体群  
Fig. 5 Oil/gas Boiling Inclusion Groups Along the Line of Crystal Growth in Wells Funan3 and Ying16



表 1 富南 3 井、富南 6 井、英 16 井、桦 3 井、柴 70 井包裹体激光拉曼光谱分析结果

Tab. 1 Laser Raman Spectroscopy Results of Inclusions in Wells Funan3, Funan6, Ying16, Hua3 and Chai70												
样品	富南 6-1	富南 6-2	富南 6-3	富南 6-4	富南 3-1	富南 3-2	富南 3-3	英 16-2	英 16-1	柴 70	桦 3-1	桦 3-2
CH <sub>4</sub>	3.60	8.47	4.48	3.65	2.05	0.60	1.80	4.51	10.15	2.20	5.55	6.40
C <sub>2</sub> H <sub>2</sub>	3.37	3.18	1.64	3.04	2.08	0.79	0.27	1.61		0.90	1.75	
C <sub>2</sub> H <sub>4</sub>	4.53	15.46	4.63	9.33	2.31	3.09	1.97	5.46		5.10	1.80	5.50
C <sub>2</sub> H <sub>6</sub>	5.05	5.72	5.90	13.08	1.921	1.62	1.82	4.36	4.30			
C <sub>3</sub> H <sub>3</sub>	1.22	1.27	6.28	5.27	0.76	0.66	0.48	6.04				
C <sub>3</sub> H <sub>6</sub>									8.55		2.10	1.75
C <sub>3</sub> H <sub>8</sub>	2.56	4.55	2.54	3.85	1.53	2.84	2.17	4.00	5.35	2.40	3.75	2.30
C <sub>4</sub> H <sub>6</sub>	8.60	4.66	5.38	2.43	0.54	0.83	1.83	7.50		0.60	1.55	0.85
C <sub>4</sub> H <sub>8</sub>												0.50
C <sub>6</sub> H <sub>6</sub>	0.64	4.02	2.84	5.68	2.70	0.45	1.04	5.69		2.90	1.45	3.30
SO <sub>2</sub>	0.35	4.87	1.49	2.64	0.23	0.07	0.29	6.32				
CO <sub>2</sub>	2.02	5.10	2.87	1.89	1.37	0.15	0.37	4.44	21.95	33.85	13.35	38.30
N <sub>2</sub>	3.38	2.75	4.19	2.84	0.41	2.03	2.38	4.00		7.65	4.20	
H <sub>2</sub> S	0.96	1.82	3.23	3.63	1.41	1.89	0.83	2.45		3.20	2.60	2.15
CO									15.95		22.55	
H <sub>2</sub>											2.10	0.65
H <sub>2</sub> O	64.72	38.12	54.51	42.67	82.68	84.97	84.75	43.63	33.65	41.20	37.25	38.30

注: 表中样品质量分数/%; 样品柴 70 来自下寺湾油田柴 70 井; 样品桦 3-1 和桦 3-2 来自下寺湾油田桦 3 井。

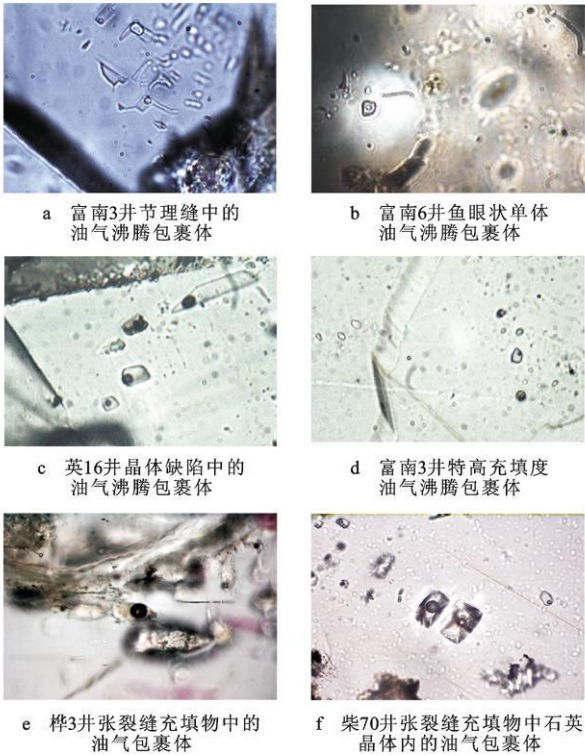
包裹体充填度高是这 3 口井岩芯裂缝充填物中包裹体的另一个共同特征(图 6)。通过镜下测量和广泛目测, 其充填度普遍高于 90%。富南 3 井解理缝中

形成的油气沸腾包裹体(图 6a)、富南 6 井鱼眼状单体油气沸腾包裹体(图 6b)、英 16 井晶体缺陷中形成的油气沸腾包裹体(图 6c)充填度都高于 95%。富南 3 井特高充填度油气沸腾包裹体内的气泡几乎就是一个黑点(图 6d)。采自张性裂缝充填物中的油气包裹体充填度一般不高于 70%(图 6e、f)。

3 富南 3 井和 6 井油气沸腾包裹体群成因及地质意义

综合分析表明, 只有样品英 16-1 的分析结果中没有 C<sub>3</sub> 以上的烃类。显然, 通过成分差异来解释这 3 口井包裹体气泡处于沸腾状态的原因是不合适的。但是, 表 1 中无论哪一种包裹体都含有 C<sub>4</sub> 以下的烃类, 这些烃类是液化气的主要组分。其中, 丙烷的沸点是-42.1℃, 丁烷的沸点是-0.5℃, 甲烷、乙烷的沸点分别为-161.6℃和-88.6℃。因此, 在高压下液化注入高压容器的液化气, 在常温常压下就处于沸腾状态<sup>[15]</sup>。这 3 口井裂缝岩芯中的油气包裹体是把相当于液化气成分的低碳烃在地层压力下封装到包裹体内形成的, 因此在常温常压下处于沸腾状态。

根据 CO<sub>2</sub>-CH<sub>4</sub> 体系在低温环境下的相关关系(即升压降沸原理)可以推断, 在 80 个大气压下及在 0℃附近, 最轻的甲烷也处于完全液化状态, 并和所有的烃类融合在一起<sup>[2]</sup>。只有在打开油层的瞬间, 才会发生减压沸腾, 其中的轻质成分首先气化, 并携带出大量原油, 这就是溶解气驱动油藏初期高产的



注: 据文献[11-12]。

图 6 富南 3 井、富南 6 井、英 16 井、桦 3 井和柴 70 井包裹体充填度对比

Fig. 6 Contrast of Filling Degree of Inclusion in Wells Funan3, Funan6, Ying16, Hua3 and Chai70

基本原理。如果在保持油层压力的条件下, 裂缝瞬间张开又挤压封闭时, 减压沸腾作用只能分离出低碳烃原油, 这就是下寺湾式裂缝封闭油藏原油为低碳烃特低凝原油的根本原因。不过, 解释包裹体气泡处于沸腾状态关键是形成油气沸腾包裹体的环境要保持油气层原始环境下的压力。

对于像英 16 井一样的纯剪切性的裂缝形成初期, 不会产生自由空间; 在富南 3 井、6 井剪切—滑动裂缝形成初期, 也只有在滑坎处会产生微小的自由空间, 但是由于滑动面的封闭, 一般也不会形成充填物。在垂直或近于垂直剪切、滑动面的拉张力作用下, 只有原始的剪切、滑动面张开, 才能产生一定的自由空间。自由空间就是一个负压空间, 与裂缝沟通的油气层中的油气在自由空间产生的同时, 发生减压沸腾。由于裂缝面的良好封闭性及张、合的迅速交替, 在张开的瞬间只有油气中的相对轻质组分和岩石中的其他流体一起进入自由空间。在接下来的重新封闭时, 进入自由空间的流体一部分被挤回原来的油层, 一部分被挤入与之沟通的其他孔隙或裂缝空间, 形成新的油藏。残存下来的流体在重新封闭的环境中, 碳酸钙逐渐结晶, 并包裹了其中的轻质油气和其他流体, 形成油气包裹体。因此, 这样环境下形成的油气包裹体, 充填度极高, 在常温常压下就处于沸腾状态。

英 16 井以及富南 3 井、6 井油气沸腾包裹体形成过程中, 保持较高的环境压力, 这可以由英 16 井中发现的现象(图 7)得到印证。图 7 中显示一条清晰的方解石边缘裂缝, 裂缝中仍然存在着气泡不停晃动的沸腾包裹体。这说明随着裂缝充填物晶体的生长, 裂缝空间越来越小, 当裂缝空间基本充满之后, 反复施加的挤压力会使充填物产生挤压裂缝, 裂缝中还会有油气沸腾包裹体产生。方解石—大理石的剪切破裂压力最低为 70 MPa, 因此在英 16 井以及富南 3 井、6



图 7 英 16 井方解石微裂缝中的油气沸腾包裹体

Fig. 7 Oil/gas Boiling Inclusion in the Micro Fracture of Calcite of Well Ying16

井裂缝中的挤压力至少可以达到 70 MPa 以上。

从相反的角度看, 本文所列举的桦 3 井、柴 70 井的裂缝充填物(图 8)中的包裹体, 虽然其成分和英 16 井、富南 3 井、6 井油气沸腾包裹体成分没有差异(表 1), 但是, 它们都是在张裂缝环境中形成的, 空间状态相对开放, 充填物相对不饱满, 特别是桦 3 井张裂缝岩芯就是下寺湾油田高产裂缝发育带采到的<sup>[11-12]</sup>, 其张裂缝充填物表面具有孔洞和结晶良好的黄铁矿细小晶体(图 8a)。柴 70 井张裂缝充填物表面具有结晶良好的石英晶体(图 8b)。像这样的张裂缝在形成初期不可能保持相对较高的成包压力环境, 而且, 张裂缝一旦形成, 很难重新闭合或者完全闭合, 其中充填物内形成的包裹体充填度低, 在常温常压下就不会沸腾。



a 桦3井张裂缝充填物表面具大小不一的孔洞和结晶良好的黄铁矿



b 柴70井张裂缝充填物表面具结晶良好的石英晶体

注: 据文献<sup>[11-12]</sup>。

图 8 桦 3 井和柴 70 井张性裂缝充填物表面

Fig. 8 Surface of Tensile Fracture Fillings in Wells Hua3 and Chai70

在上述油气包裹体形成过程中, 当张应力转换成压应力时, 进入裂缝空间的流体一部分会回到原来的空间, 一部分会进入另外的孔隙空间, 这样进出过程的反复发生, 就构成了完整的地震泵油气运移机制。富南 3 井、6 井和英 16 井同样成为油气运移地震泵地质模型。唯一不同的是, 3 口井岩芯裂缝的原始状态有一定的差别。在沸腾包裹体形成过程中, 在地震泵机制的解释中, 都要求有拉张—挤压力的反复交替, 在挤压力作用时, 要求裂缝面必须封闭或大部分封闭。对于英 16 井而言, 纯剪切型十分平直的裂缝面形成良好的封闭容易理解, 对于富南 3 井、6 井而言, 裂缝面有明显的顺向滑坎或划痕, 加之横截面的平直都说明裂缝具有剪切—滑动性质, 形成具有滑动

性质的裂缝面,在后期垂直于裂缝面的挤压—拉张力反复作用过程中,也能够起到良好封闭作用,使地震泵运移机制能够成立,从而丰富地震泵油气运移地质模型,扩大地震泵运移机制的应用范围。这就是富南3井、6井油气沸腾包裹体群发现的特殊地质意义。

地壳波浪状镶嵌构造观点认为“物质运动均采用波浪形式”<sup>[19]</sup>,因此,任何一种引起地壳构造运动的力都是波浪式的。前已述及,笔者所描述的3个裂缝标本,其原始状态具有剪切或滑动—剪切性质,如果没有拉张—挤压力的交替发生,既不可能有充填物生成,更不可能有裂缝充填物中沸腾包裹体的生成,因此,所看到的每一条沿着晶体生长线形成的油气沸腾包裹体带,至少记录了一次拉张—挤压力的交替,几条、几十条油气沸腾包裹体带显然是波动式区域构造力的忠实记录。因此,富南3井、6井和英16井裂缝岩芯一样,再次为这一地质构造观点提供了波动力的忠实记录,具有重要的理论研究价值和科学意义。

## 4 结语

(1)在直罗油田富南3井、6井长8油层裂缝岩芯充填物中,发现与英旺油田英16井同一层位产生的、相同的油气沸腾包裹体群,使其不再是孤立的、偶然的地质现象,从而确立这一地质现象的科学研究价值。

(2)富南3井、6井和英16井长8油层裂缝岩芯的原始裂缝性质为滑动—剪切和剪切裂缝,在区域构造力的作用下,反复发生拉张—挤压交替活动。在拉张发生的瞬间,与裂缝沟通的油层里的原油发生减压沸腾,原油中的轻质馏分和其他流体进入裂缝空间。在随后的挤压发生时,裂缝基本封闭,一部分流体返回原来的油层,一部分被挤到别的孔隙空间,形成新的油藏。残留在裂缝里的流体中碳酸钙在较高的地层压力下逐渐结晶,并把残留的轻质馏分包裹,形成油气包裹体。这些油气包裹体形成压力较高,又包裹着成分类似液化气的轻质馏分,在常温常压下就处于沸腾状态。这样的过程反复进行,在裂缝充填物中形成了沿着晶体生长线、成片、成带分布的油气沸腾包裹体群。上述油气沸腾包裹体群的形成过程就是油气的地震泵运移机制。英16井和富南3井、6井裂缝岩芯都构成为真实的地震泵地质模型。由于裂缝原始状态的差异,构成了纯剪

切型、剪切—滑动型两类地震泵实体地质模型,开拓了地震泵机制的研究思路。

(3)继续深入研究本区油层裂缝的性质、分布及其充填物中的油气沸腾包裹体群,不仅对油气运移、成藏研究具有重要的理论意义,对今后油田勘探开发必将起到积极的指导作用。

## 参考文献:

- [1] Xie G C, Zheng Z W, Li R X, et al. The Oil/gas Boiling Inclusion and Its Geological Significance[C] //Committee of the 33<sup>rd</sup> International Geological Congress. Proceedings of the 33<sup>rd</sup> International Geological Congress. Oslo: International Geological Congress, 2008: 328.
- [2] Shepherd T J, Rankin A H, Alderton D H M. 流体包裹体研究实践指南[M]. 张恩世, 张文怀, 高怀忠, 译. 武汉: 中国地质大学出版社, 1990.
- [3] 卢焕章, 范宏瑞, 倪培, 等. 流体包裹体[M]. 北京: 科学出版社, 2004.
- [4] Sibson R H, Moore J M M, Rankin A H. Seismic Pumping: a Hydrothermal Fluid Transport Mechanism[J]. Journal of the Geological Society, 1975, 131(6): 653-659.
- [5] 邱领军, 张东阳, 王宏科. 鄂尔多斯盆地喜山期构造运动与油气成藏[J]. 石油学报, 2003, 24(2): 34-37.
- [6] 王朋岩, 赵荣. 松辽盆地西斜坡构造运动强度与油气运移[J]. 天然气工业, 2006, 26(7): 8-10.
- [7] 孙永河, 付晓飞, 吕延防, 等. 地震泵抽吸作用与油气运聚成藏物理模拟[J]. 吉林大学学报: 地球科学版, 2007, 37(1): 98-104.
- [8] 邱楠生, 康永尚, 樊洪海, 等. 柴达木盆地西部地区第三系温度压力和油气分布相互关系探讨[J]. 地球物理学报, 1999, 42(6): 826-833.
- [9] 阎福礼, 贾东, 卢华复, 等. 东营凹陷油气运移的地震泵作用[J]. 石油与天然气地质, 1999, 20(4): 295-298.
- [10] 邱楠生, 张善文, 金之钧. 东营凹陷油气流体运移模式探讨——来自沸腾包裹体的证据[J]. 石油实验地质, 2001, 23(4): 403-407.
- [11] 下寺湾采油厂. 下寺湾油田裂缝高产井分布规律研究及其靶区优选[R]. 延安: 陕西延长石油(集团)有限责任公司延长油田股份有限公司, 2008.
- [12] 高振东. 下寺湾式岩性封闭裂缝油藏的建立[J]. 地球科学与环境学报, 2008, 30(3): 265-270.
- [13] 长庆油田石油地质志编写组. 中国石油地质志卷十二: 长庆油田[M]. 北京: 石油工业出版社, 1992.
- [14] 陕西省地质矿产局. 全国地层多重新划分对比研究 61: 陕西省岩石地层[M]. 武汉: 中国地质大学出版社, 1998.
- [15] 王新辉. 液化气船货物压力的控制[J]. 天津航海, 2000(2): 3-4.
- [16] 王战, 吴文奎, 谢广成, 等. 中国地壳的镶嵌构造与波浪运动[M]. 北京: 地质出版社, 1996.