

刘世豪,林小云,刘建. 济源凹陷中生界流体包裹体特征与油气成藏期次[J].海洋地质前沿,2020,36(4):55-60.

## 济源凹陷中生界流体包裹体特征 与油气成藏期次

刘世豪<sup>1,2,3</sup>,林小云<sup>1,2,3</sup>,刘建<sup>1,2,3\*</sup>

(1 长江大学非常规油气湖北省协同创新中心,武汉 430100;2 长江大学油气资源与勘探技术教育部重点实验室,武汉 430100;3 长江大学地球科学学院,武汉 430100)

**摘要:**济源凹陷是以华北古生界地台为基底,经过复杂构造演化形成的中—新生代叠合盆地。其成藏体系复杂,可能经历多期油气充注、破坏及改造,而中生界油气成藏时期尚未盖棺定论。储层中流体包裹体保留了许多重要信息,如温度、压力、流体成分、古环境特征等,在鉴别烃源岩热演化阶段和油气的生成、油气充注期次的划分、流体古压力恢复、油气成藏过程剖析中发挥重要作用。为了解济源凹陷中生界油气成藏时期,在下侏罗统鞍腰组 and 上三叠统谭庄组两套主要烃源岩的热演化研究基础之上,运用流体包裹体系统分析方法以及均一温度-埋藏史间接投影定年法,分析了济源凹陷中生界流体包裹体特征,进而对油气成藏期次进行划分。研究结果表明:济源凹陷中生界储层捕获了 7 种赋存状态的烃类包裹体,包括蓝绿色、黄绿色和蓝色 3 种不同荧光颜色的油包裹体以及纯气相包裹体;根据包裹体颜色、均一温度测定及宿主矿物产状、成岩次序等特征,认为至少发生过 3 期油充注(163 Ma、101~95 Ma 和 27~23.8 Ma)和 1 期天然气充注(119~115 Ma)。

**关键词:**流体包裹体;均一温度;成藏期次;中生界;济源凹陷

**中图分类号:**P618.13      **文献标识码:**A      **DOI:**10.16028/j.1009-2722.2019.151

### 0 引言

济源凹陷位于南华北盆地西北边缘<sup>[1]</sup>,是在华北古生界地台基底之上发育起来并经历复杂构造演化形成的中—新生代叠合盆地<sup>[1,2]</sup>。早期,济源凹陷属于克拉通盆地,后因地壳活动加剧,由克拉通内部压陷盆地转换成张性断陷盆地<sup>[3,4]</sup>。从三叠纪到第四纪经历了拗陷—压陷—断陷—拉

张断陷—拗陷几个演化阶段<sup>[4]</sup>。在构造格局上具有“南北成带、东西分块”的特征。在南北方向上呈“两凹一隆”分布格局,分别为北部泌阳凹陷、南部温县次凹以及中央隆起<sup>[5]</sup>。

济源凹陷中生界主要发育下侏罗统鞍腰组和上三叠统谭庄组 2 套烃源岩。根据济源凹陷济参 1 井热史模拟,谭庄组与鞍腰组有 2 个生烃期,分别是中侏罗世末 165~156 Ma 和早白垩世 115~96 Ma。早白垩世二次生烃期后,因地层抬升而生烃停滞,现今 2 套烃源岩都处于高成熟阶段<sup>[1]</sup>。由于经历了多期复杂的构造运动,油气成藏体系复杂,可能经历了多期的充注、破坏及改造。本文在济源凹陷烃源岩热演化研究的基础上,运用流体包裹体系统分析方法以及均一温度-埋藏史间接投影定年法,对济源凹陷中生界油气充注时间进行划分。

收稿日期:2019-07-02

资助项目:“全国油气资源战略选区调查与评价”专项课题(XQ-2007-02-3-3)

作者简介:刘世豪(1995—),男,在读硕士,主要从事油气地质与勘探研究工作.E-mail:578327329@qq.com

\* 通讯作者:刘建(1965—),男,博士,高级工程师,主要从事石油地质方面的教学与研究。E-mail:wh41832@hotmail.com

## 1 流体包裹体分析

### 1.1 包裹体岩相学分析

储层中的流体包裹体是指矿物在结晶生长过程中因晶格缺陷而被捕获在矿物晶格内,至今仍与宿主矿物有着相的界限,且以封闭状态存在于矿物中的古流体。流体包裹体保留了许多重要信息,如温度、压力、流体成分、古环境特征等,在鉴别烃源岩热演化阶段和油气的生成、油气充注期次的划分、流体古压力恢复、油气成藏过程剖析中发挥重要作用。本次研究在郭1井、源1井、邓6井以及承留镇剖面(图1)采集了13块样品进行流体包裹体系统分析,层位主要分布在 $J_2m$ 、 $T_2y$ 、 $P_2ss$ 、 $T_3c$ 、 $E_3z$ 、 $J_1a$ 和 $T_3t$ ,样品的岩性主要为砂岩及粉砂岩。透射光和荧光薄片显微下观察,可见纯油单相包裹体、气液两相包裹体、油+气+盐水三相包裹体、纯水液相包裹体、含烃盐水包裹体、含 $CO_2$ 的水溶液包裹体以及纯气相7种包裹体,并以气液两相包裹体、纯水液相包裹体和含烃盐水包裹体较为多见。包裹体的形态多样,椭圆

形为主,大小主要介于 $5\sim 10\ \mu m$ ,主要分布在石英愈合裂纹、穿石英颗粒裂纹以及石英次生加大边中(图2)。

石油在紫外光的激发下会散发出荧光色,这主要与其中含有的芳香烃共轭 $\pi$ 键以及 $C=O$ 官能团相关<sup>[6]</sup>,并且性质不同的石油的荧光颜色与荧光光谱各自不同<sup>[7]</sup>。烃类包裹体荧光颜色的不同通常指示所捕获油气的组分以及成熟度的差异,包裹体的荧光颜色由“蓝→绿→黄→橙→红”的变化规律指示了烃类成熟度的降低。同源不同期次的石油成熟度也会不同,利用油包裹体的荧光特征可识别油气充注幕次。

包裹体显微荧光观察结果表明,济源凹陷中生界储层捕获了蓝绿色、黄绿色和蓝色3种不同荧光颜色的油包裹体以及纯气相包裹体(图2)。同时,在显微镜下观察流体包裹体薄片可见少量沥青充填于裂缝、微裂缝中,说明早期有一定的油气充注,在此期间捕获了一定的油包裹体,后期可能遭到降解破坏而形成残留的沥青<sup>[8]</sup>。综合分析研究区包裹体颜色及宿主矿物产状、成岩次序等特征,认为济源凹陷中生界可能发生过3期油和1期天然气充注。

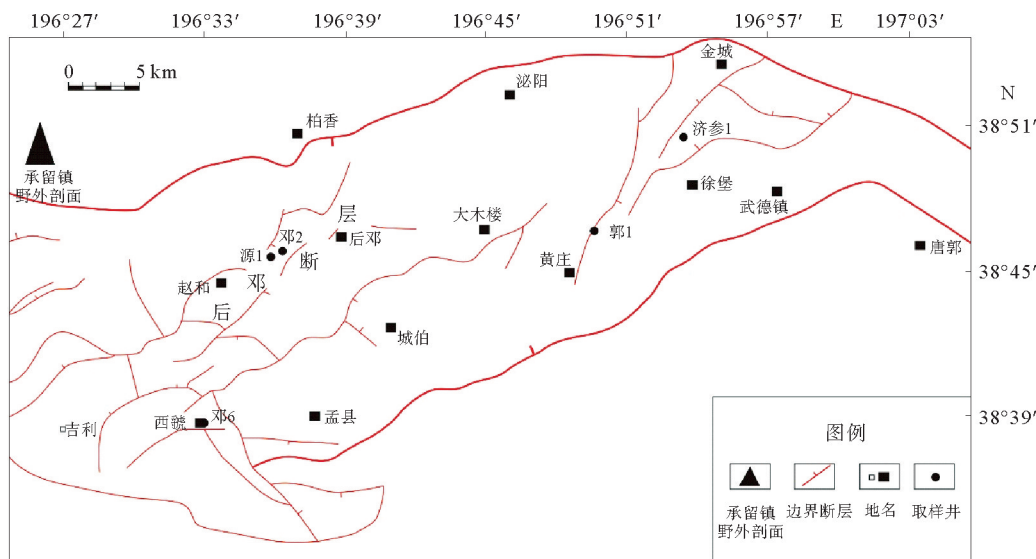


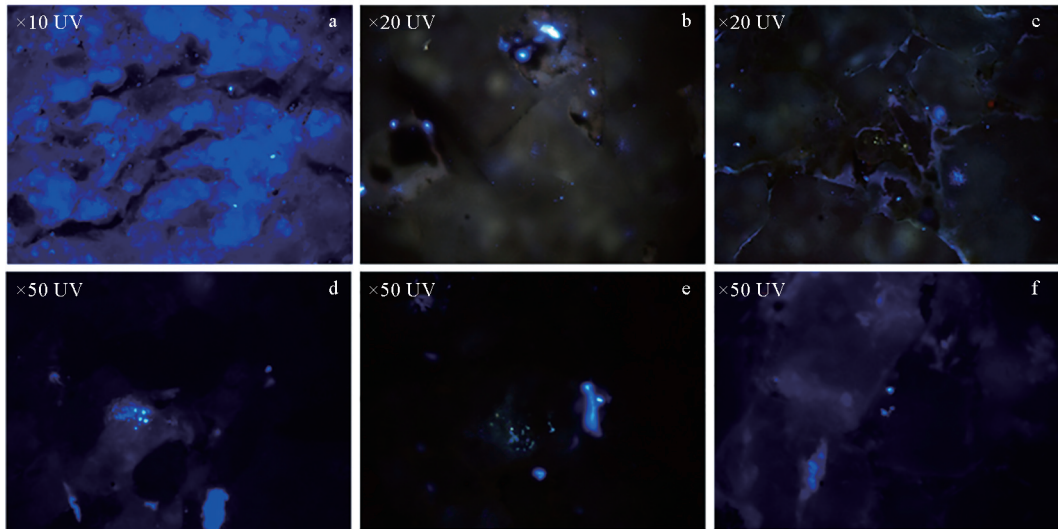
图1 济源凹陷流体包裹体样品采样位置分布

Fig.1 Locations map of fluid inclusion samples in Jiyuan Sag

### 1.2 包裹体微束荧光光谱分析

仅依靠肉眼在镜下观察包裹体荧光颜色来判

断烃类成熟度,并据此划分成藏期次,不可避免存在人为主观误差,因此,本次研究在观察油包裹体荧光颜色的基础上,还对各期次油包裹体进行了



(a)G1J2m-24, 井深 3 968. 46 m, 微裂缝中见少量沥青;(b)Y1P2ss-50, 井深 4 429. 71 m, 穿石英颗粒裂纹中检测到大量纯气相包裹体;(c)承留镇剖面, J<sub>2</sub>m, 砂岩, 石英颗粒内裂纹中检测到大量发蓝绿色荧光油包裹体;(d)承留镇剖面, T<sub>3</sub>t, 砂岩, 石英颗粒内裂纹中检测到大量发黄绿色荧光油包裹体;(e)承留镇剖面, T<sub>3</sub>t, 砂岩, 穿石英颗粒裂纹中检测到大量发蓝色荧光单一液相、气液两相及富气相油包裹体;(f)D2E3Z-87, 砂岩, 石英次生加大边中检测到大量发黄绿色荧光油包裹体。

图 2 济源凹陷中生界流体包裹体显微荧光特征

Fig.2 The microscopic photographs of the fluid inclusions in the Mesozoic of Jiyuan Sag

微束荧光光谱定量分析。利用荧光光谱图主峰波长  $\lambda_{max}$ 、最大荧光强度  $I_{max}$ 、红绿商  $Q$  等参数综合分析油气的充注史已经是评价油包裹体成熟度和油气充注期次的有效方法之一<sup>[9]</sup>。显微荧光光谱图中,最大荧光强度所对应的发射波长为主峰波长  $\lambda_{max}$ ,它会随着油包裹体成熟度的增加而减小,即荧光“蓝移”;相反,  $\lambda_{max}$  会随着油包裹体成熟度减小而增大,即荧光“红移”<sup>[6,8-9]</sup>。红绿商  $Q$  值定义为荧光颜色中红色部分与绿色部分比值,用以定量描述荧光光谱形态和结构<sup>[10]</sup>。 $Q$  值与  $\lambda_{max}$  的关系可较好反映油包裹体的成熟度。但是在相同波长下可能存在  $Q$  值不够收敛的缺点<sup>[8]</sup>,因

此,提出了更常用、更全面表征有机包裹体组分和成熟度的  $Q_{F535}$ 。 $Q_{F535}$  定义波长 720 nm、535 nm 限定面积与波长 535 nm、420 nm 限定面积之比。 $Q_{F535}$  越大,包裹体中含有大分子组分越多,反映成熟度越低;反之,成熟度越小。

从显微荧光光谱图看出,具有同种颜色的荧光光谱形态相似,同种荧光色包裹体因个体大小不同使得荧光强度而不同;因成熟度差异,主峰波长各自不同,蓝色荧光油包裹体主峰波长  $\lambda_{max}$  约为 458 nm,蓝绿色荧光油包裹体主峰波长  $\lambda_{max}$  为 492~503 nm,黄绿色荧光油包裹体主峰波长  $\lambda_{max}$  为 514~545 nm(图 3)。

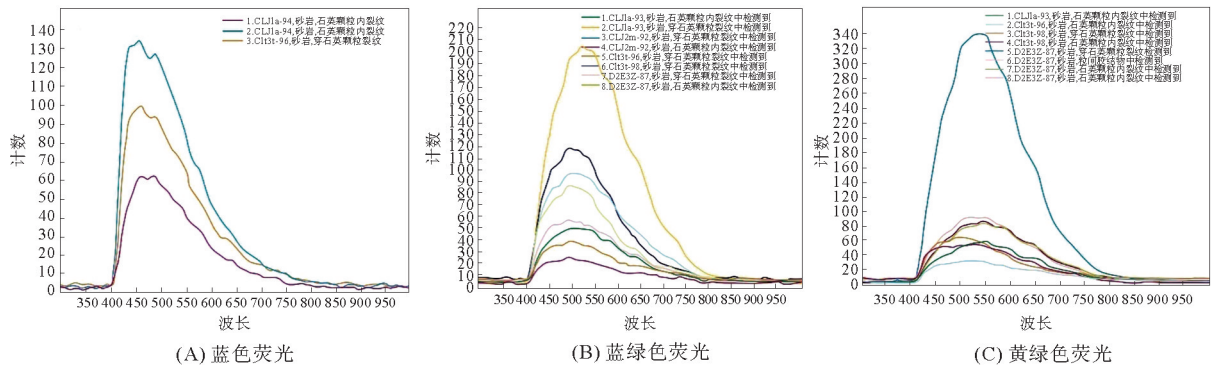


图 3 济源凹陷油包裹体显微荧光光谱

Fig.3 Representative micro-beam fluorescence spectra of petroleum inclusions in Jiyuan Sag

这3种不同的曲线形态特征暗示了油气成分及成熟度差异,结合 $Q_{F535}-\lambda_{max}$ 关系图(图4),表明油气具有3个大的充注期:早期形成的包裹体荧光光谱主峰波长较大,成熟度较小,表现近黄绿色荧光特点;随着成熟度增加,“蓝移”出现,主峰波长逐渐变小,表现由黄绿色荧光到蓝色荧光的特点。其中黄绿色和蓝绿色荧光颜色光谱部分有较好的相似性,表明二者可能具有一定亲缘关系。

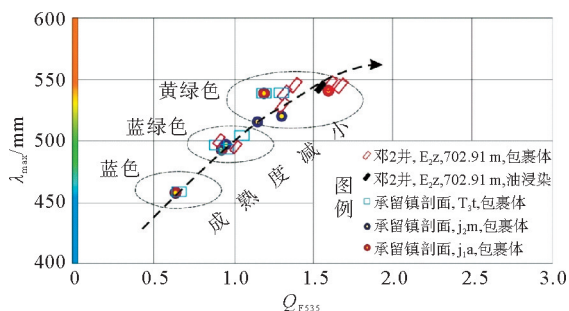


图4 济源凹陷油包裹体 $Q_{F535}$ -光谱主峰波长关系图

Fig.4  $Q_{F535}$ -main peak value of petroleum inclusions in Jiyuan Sag

## 2 流体包裹体显微测温

传统认为油包裹体的荧光颜色与成熟度的对应关系仍然成立<sup>[11-12]</sup>。但均一捕获时,油包裹体与同期盐水包裹体的等容线不同,并且早期捕获的油包裹体随温度或深度增加,热裂解作用会导致烃类包裹体均一温度降低,捕获后发生热裂解的油包裹体成熟度并不能代表被捕获时油的成熟度,因此,同期盐水包裹体与油包裹体的均一温度出现差值<sup>[11]</sup>。Goldstein<sup>[13]</sup>提出烃类包裹体在捕获后发生的化学变化会造成均一温度的改变,但盐水包裹体变化相对小一些。因此,与油包裹体同期的盐水包裹体可更好地反演古流体被捕获时的温度<sup>[14]</sup>。本研究使用英国 Linkam 公司 THMSG600 型自动冷热台,测定研究区 13 块流体包裹体的均一温度,主要测定穿石英颗粒裂纹和石英颗粒内裂纹中包裹体。测得的油包裹体和同期盐水包裹体的均一温度主要集中在 65~195 °C;盐水包裹体的均一温度集中在 85~180 °C;含烃盐水包裹体的均一温度分布在 90~125 °C,并且油包裹体较同期的盐水包裹体在每个温度段

的频数更小(图5)。油包裹体的平均均一温度为 61.6~154.9 °C,共生的盐水包裹体的平均均一温度为 81.7~169.5 °C(表1)。由均一温度分析可知,该区发育 4 幕热流体活动,同时伴随有至少 3 幕油充注以及 1 幕天然气充注。检测到大量高温(>180 °C)油包裹体(图5),表明后期可能遭受过高温破坏作用。

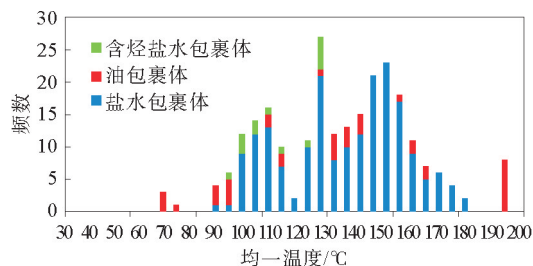


图5 济源凹陷流体包裹体均一温度分布直方图

Fig.5 Histogram showing the distribution of homogenization of fluid inclusions samples in Jiyuan Sag

## 3 油气充注期次与时期

仅依靠油包裹体的荧光颜色无法准确划分油气充注期次,在单井埋藏史和热史模拟的基础上,将各期次同期盐水包裹体的平均均一温度值“投影”到标有等温线的埋藏史图中,时间轴上对应年龄为油气充注年龄<sup>[6,8,12,15-16]</sup>。将各井由均一温度-埋藏史投影法获得的不同幕次充注年龄标注到同一时间轴上,可消除埋深造成的差异影响<sup>[8,15-17]</sup>。以邓2井为例,取自 $E_2z$ 样品的油包裹体均一温度为 125.2~135.3 °C,平均均一温度为 129.9 °C(表1),表明研究区至少出现过 1 幕油充注;同时检测到 1 幕>180 °C 的高温油包裹体(图6),表明研究区早期的原油充注遭受破坏,这种破坏可能由于非均一捕获<sup>[18-19]</sup>或后期次生变化<sup>[19]</sup>造成。将 125.2~135.3 °C 投影到埋藏史图中,得到充注时间 24.5~23.8 Ma。同样的方法,源1井样品的均一温度通过投影法得到 $T_2y$ 油气充注时间为 101~95 Ma;承留镇剖面 $J_2m$ 层位两幕油充注时间分别为 100 Ma、25 Ma, $J_1a$ 发生的 2 幕油充注时间分别为 98~96 Ma、26~25 Ma, $T_3t$ 层位 3 幕油充注时间分别为 163 Ma、101~95 Ma、27~26 Ma。另外,本次研究发现冰点>0(介于

0~10℃)均一温度偏高的盐水包裹体(源 1 井),与天然气运聚成藏有关,其均一温度可以代表天然气成藏的温度<sup>[15]</sup>,据此得到源 1 井 P<sub>2</sub>ss 发生的 2 幕天然气成藏时间分别为 119~118 Ma 和 117~115 Ma。

表 1 利用与油包裹体同期盐水包裹体均一温度确定油气充注时间表

Table 1 Infilling time determined by oil inclusion and aqueous fluid inclusions

井号(剖面)	层位	油包裹体 平均均一 温度/℃	同期盐水/含烃 盐水包裹体平 均均一温度/℃	时间/ Ma
			103.0	
源 1 井	T <sub>2</sub> y	83.8	128.8	101~95
			169.5	
源 1 井	P <sub>2</sub> ss		126.9/92.0	119~118
			150.8/122.1	117~115
邓 2 井	E <sub>2</sub> z	129.9	131.3	24.5~23.8
			148.9	
		61.6	100.9	
承留镇剖面	J <sub>2</sub> m	132.0	135.3	100
		154.9	149.5	25
		84.5	97.8	
承留镇剖面	J <sub>1</sub> a	127.9	120.3	98~96
			146.0	28~25
		65.4	81.7	163
承留镇剖面	T <sub>3</sub> t	87.1	101.3	101~95
		104.5	122.0	27~26
			150.5	

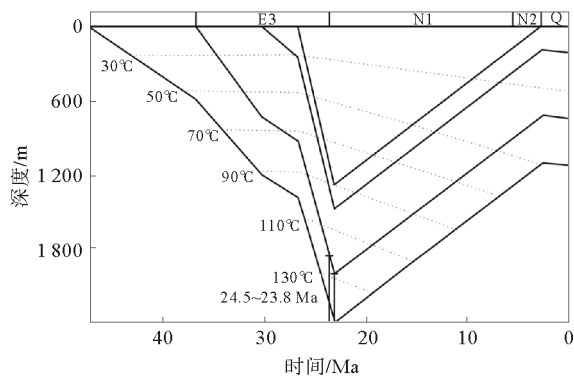


图 6 盐水包裹体均一温度-埋藏史投影法确定油气充注时间(邓 2 井 E<sub>2</sub>z)

Fig.6 Infilling time determined by fluid inclusion homogenization temperature-burial history projection method (Deng 2 well, E<sub>2</sub>z)

## 4 结论

(1)流体包裹体分析系统揭示了济源凹陷中生界发育 7 种赋存状态的烃类包裹体,常见气液两相包裹体、纯水液相包裹体和含烃盐水包裹体;油包裹体荧光颜色有黄绿色、蓝绿色和蓝色 3 种,至少发生过 3 幕油气充注;发黄绿色和蓝绿色的油包裹体荧光光谱有较好的相似性,表明二者可能具有一定亲缘关系。样品中检测到的残留固态沥青表明早期充注油藏遭受过破坏。

(2)济源凹陷中生界 3 期油充注分别为:第 1 期以承留镇剖面油页岩附近 T<sub>3</sub>t 砂岩中捕获的发黄绿色荧光的油包裹体为代表,其成藏时间约为 163 Ma,油气可能已经被破坏;第 2 期以源 1 井 T<sub>2</sub>y、承留镇剖面 J<sub>2</sub>m、J<sub>1</sub>a 和 T<sub>3</sub>t 地层中捕获的发蓝绿色荧光油包裹体为代表,其成藏时间为 101~95 Ma;第 3 期以邓 2 井 E<sub>3</sub>z、承留镇剖面 J<sub>2</sub>m、J<sub>1</sub>a 和 T<sub>3</sub>t 地层中捕获的发蓝色荧光油包裹体为代表,其成藏时间为 27~23.8 Ma。另外,在源 1 井检测到(P<sub>2</sub>ss)的纯气相包裹体,代表存在天然气充注(含烃盐水包裹体),其成藏时间为 119~115 Ma。

### 参考文献:

- [1] 刘建,陈哲,金成林,等.济源凹陷中生界烃源岩热演化研究[J].长江大学学报,2014,11(10):54-56.
- [2] 卢新莉.济源凹陷中、新生界盆地恢复[J].内蒙古石油化工,2012(13):144-146.
- [3] 闫发堂,姚合法.南华北盆地济源凹陷古地温及热演化史恢复[J].油气地质与采收率,2006,13(5):28-32.
- [4] 张功成.济源凹陷盆地结构构造特征与油气勘探前景[J].断块油气田,1997,4(5):5-11.
- [5] 潘橙雨.济源凹陷及邻区中-新生代盆-山构造演化[D].北京:中国地质大学,2013.
- [6] 罗泉,姜振学,李卓,等.英买力地区中生界-新生界油气藏石油包裹体特征及成藏期次[J].石油学报,2015,36(1):60-66.
- [7] 熊万林,陈红汉,云露,等.塔中隆起北坡顺托果勒区块志留系储层油气充注历史——以顺 9 井流体包裹体分析为例[J].石油学报,2013,34(2):239-246.
- [8] 斯尚华,陈红汉,丰勇,等.塔里木盆地沙雅隆起下白垩统双源三幕油气充注成藏的流体包裹体证据[J].石油学报,2013,34(1):12-21.
- [9] 方欣欣,甘华军,姜华,等.利用石油包裹体微束荧光光谱

- 判别塔北碳酸盐岩油气藏油气充注期次[J].地球科学(中国地质大学学报),2012,37(3):580-586.
- [10] 李纯泉,陈红汉,刘惠民.利用油包裹体微束荧光光谱判识油气充注期次[J].地球科学(中国地质大学学报),2010,35(4):657-662.
- [11] 赵艳军,陈红汉.油包裹体荧光颜色及其成熟度关系[J].地球科学(中国地质大学学报),2008,33(1):91-96.
- [12] 丰勇,陈红汉,叶加仁,等.伊通盆地岔路河断陷油气成藏过程[J].地球科学(中国地质大学学报),2009,34(3):502-510.
- [13] Goldstein R H. Fluid inclusions in sedimentary and diagenetic systems[J].Lithos,2001,55(1/4):159-193.
- [14] 赵艳军,刘成林,张华,等.渤海湾盆地东鹿凹陷沙一段石盐岩中流体包裹体特征及其地质意义[J].地球科学(中国地质大学学报),2014,39(10):1455-1463.
- [15] 陈红汉,吴悠,丰勇,等.塔河油田奥陶系油气成藏期次及年代学[J].石油与天然气地质,2014,35(6):806-819.
- [16] 吕海涛,陈红汉,唐大卿,等.石油与天然气地质,2009,30(3):300-309.
- [17] 刘建,任莹,王丹蕾,等.蠡县斜坡北段储层流体包裹体特征及成藏时期[J].地质科技情报,2016,35(1):53-58.
- [18] 周勇水,邱楠生,宋鑫颖.准噶尔盆地腹部非均一捕获包裹体研究[J].现代地质,2013,27(5):1202-1209.
- [19] 苏奥,陈红汉,雷川,等.流体包裹体PVT<sub>x</sub>模拟研究油气充注期次和古压力恢复:以西湖凹陷平湖构造带为例[J].地质科技情报,2014,33(6):137-142.

## CHARACTERISTICS OF FLUID INCLUSIONS AND HYDROCARBON ACCUMULATION PHASES OF THE MESOZOIC IN THE JIYUAN SAG

LIU Shihao<sup>1,2,3</sup>, LIN Xiaoyun<sup>1,2,3</sup>, LIU Jian<sup>1,2,3\*</sup>

(1 Hubei Collaborative Innovation Center for Unconventional Oil/Gas, Yangtze University, Wuhan 430100, China;

2 Key Laboratory of Oil and Gas Resources & Exploration Technologies, Yangtze University, Ministry of Education,

Wuhan 430100, China; 3 College of Geosciences, Yangtze University, Wuhan 430100, China)

**Abstract:** The Jiyuan Sag is a Mesozoic-Cenozoic superimposed basin, formed on the basis of the Paleozoic platform of North China by complex tectonic movement. The sag is characterized by complicated hydrocarbon accumulation systems, after multi-stages of charging, destruction and transformation of hydrocarbons. So far the Mesozoic hydrocarbon accumulation phases in the sag have still remained unclear. Fluid reservoir inclusions, as an effective tool, may provide various information related to hydrocarbon accumulation, such as temperature, pressure, fluid composition and paleoenvironmental characteristics, etc., and are commonly used for definition of thermal evolution stages of source rocks and division of hydrocarbon generation and charging stages, the restoration of fluid paleopressure, as well as the analysis of hydrocarbon accumulation process. In this paper, fluid inclusions are used to study the hydrocarbon accumulation phases for the thermal evolution of the two set of major source rocks, the Lower Jurassic Anyao Formation and the Upper Triassic Tanzhuang Formation, in the sag. Systematic analysis method and the indirect projection dating method for homogenization temperature-burial history were used to analyze the characteristics of fluid inclusions for dividing the hydrocarbon accumulation phases. The results suggest that there are 7 kinds of hydrocarbon inclusions in the Mesozoic reservoirs of the Jiyuan Sag, including oil inclusions with three kinds of fluorescence colors in blue-green, yellow-green and blue respectively, and pure gas-phase inclusions; According to the fluorescence color and homogenization temperature of inclusions, host mineral occurrence and its diagenetic sequence in addition to other characteristics, it is considered that at least 3 phases of oil charging (163 Ma, 101~95 Ma and 27~23.8 Ma) and 1-period of gas charging (119~115 Ma) have occurred in the sag.

**Key words:** fluid inclusion; homogenization temperature; hydrocarbon accumulation phases; Mesozoic; Jiyuan Sag