

文章编号: 0253-9985(2007)02-0159-07

利用流体包裹体分析和计算油气的 充注史和古流体势

——以鄂尔多斯盆地榆林地区上古生界为例

单秀琴^{1,2}, 李 剑¹, 胡国艺¹, 陈红汉³, 罗 霞¹, 高嘉玉¹

(1. 中国石油天然气股份有限公司 勘探开发科学研究院 廊坊分院, 河北 廊坊 065007;

2. 中国石油天然气股份有限公司 勘探开发科学研究院, 北京 100083

3. 中国地质大学, 湖北 武汉 430074)

摘要: 通过包裹体测温、荧光光谱分析及流体势分析, 结合区域地质资料, 认为鄂尔多斯盆地榆林地区上古生界油气具有多期连续性充注特征。从晚三叠世中期到早白垩世末期, 油气不断注入, 烃类组分随埋深由低成熟到高成熟, 虽可划分为 6 期, 但应为连续充注的一期成藏, 其中早侏罗世中期—中侏罗世末期和中侏罗世末期—早白垩世末期是两个大规模天然气充注时期。用 VTFLNC PVT 模拟软件计算包裹体流体势结果显示, 榆 32 井是长期的低势区, 榆 43-8 井和榆 25 井等流体势较高。

关键词: 油气充注; 古流体势; 包裹体; 榆林地区; 鄂尔多斯盆地

中图分类号: TE122.3

文献标识码: A

Analysis and calculation of hydrocarbon accumulation history and paleocurrent potential by studying fluid inclusions

——An example from the Upper Paleozoic in Yulin, Ordos basin

Shan Xiuqin^{1,2}, Li Jian¹, Hu Guoyi¹, Chen Honghan³, Luo Xia¹, Gao Jiayu¹

(1. Langfang Branch of Petrochina Exploration & Development Research Institute, Langfang, Hebei 065007;

2. Petrochina Exploration & Development Research Institute, Beijing, 100083

3. China University of Geosciences, Wuhan, Hubei 430074)

Abstract Research on fluid inclusion temperature, fluorescent spectroscopy, current potential analysis and regional geological data indicates that the Upper Paleozoic pools are characterized by multistage but continuous charging in Yulin, Ordos basin. From the middle Late Triassic to the end of the Early Cretaceous, hydrocarbons were continuously inputting into the reservoirs and their maturity evolved from low to high along with increasing burial depth. The charging is actually a continuous one-stage process, though it can be divided into 6 stages, of which the middle Early Jurassic-end of Middle Jurassic and the end of Middle Jurassic-end of Early Jurassic are two large scale gas charging stages. The calculated fluid inclusion potentials with PVT simulation software of VTFLNC indicate that paleocurrent potential is low in well Yu32 and high in well Yu43-8 and Yu25.

Key words hydrocarbon charging; paleocurrent potential; fluid inclusion; Yulin area; Ordos basin

榆林地区位于鄂尔多斯盆地中部, 是油气勘探的重点地区。随着西气东输工程的推进, 榆林

收稿日期: 2007-02-15

第一作者简介: 单秀琴(1964—), 女, 高级工程师, 油气包裹体研究

基金项目: 国家重点基础研究发展规划(973)项目(2001CB209103)

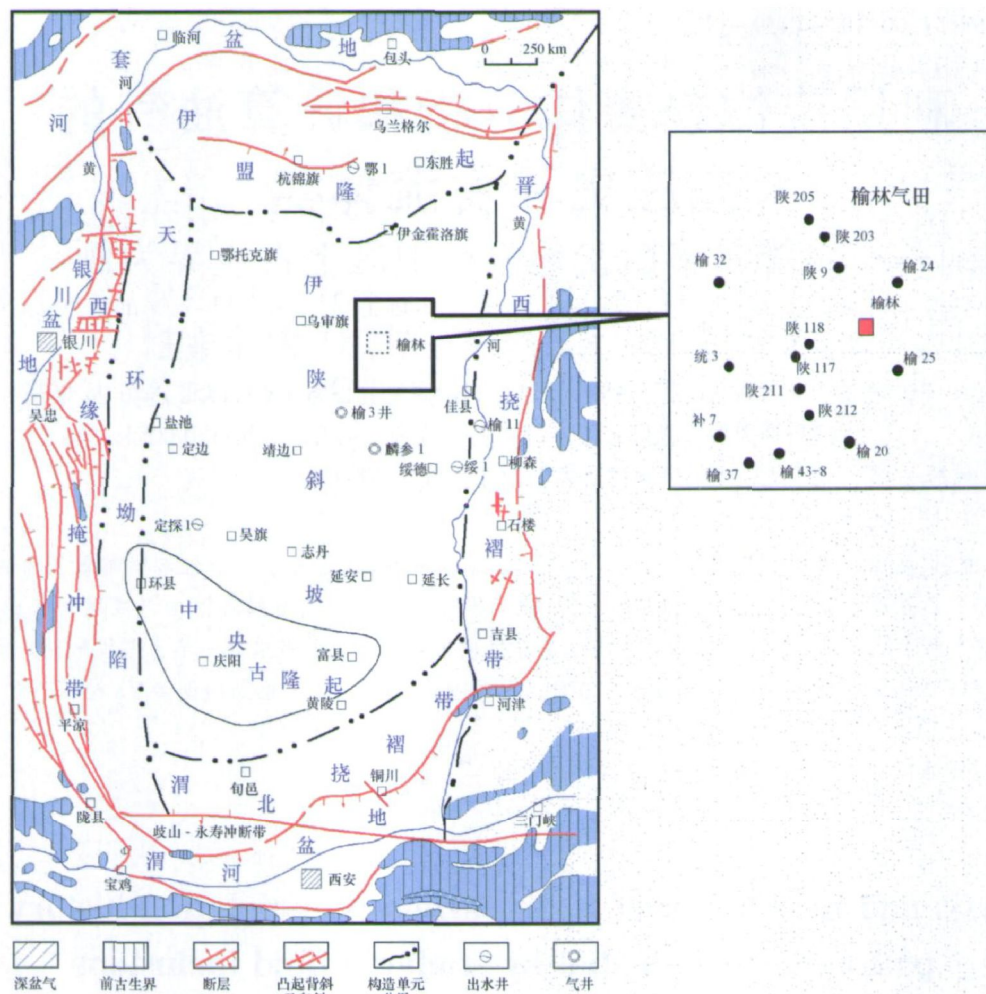
图 1 鄂尔多斯盆地古生界构造区划^[1]

Fig. 1 Geotectonic map of the Palaeozoic in Ordos basin

地区的勘探显得越来越重要。因此,研究榆林地区(图 1)^[1]油气充注史,探寻油气成藏规律具有重要的勘探与经济价值。

1 利用油气包裹体分析油气成藏期的讨论

油气藏的形成是一个聚、散的动态平衡过程,在此过程中既有运移充注,也有运移散失,只有当充注量大于散失量时油气藏才逐渐形成。流体包裹体记录了油气运聚各个阶段地层中的含油气状况,利用其分析油气成藏期是一种直接有效的手段之一^[2~5],但在应用中仍存在一些模糊概念或有分歧的观点。李明诚等^[6]认为油气充注期不等于成藏期;一个油气藏是由多次充注而形成的,在时间上充注期是整个成藏期的一部分;利用与烃伴生盐水包裹体的均一温度分析成藏期时,不能

把均一温度直方柱的高、低差异直观地解释为不同的成藏期。

李明诚等^[6]将与烃伴生盐水包裹体的均一温度直方图分为连续分布的均一温度直方图和非连续分布的均一温度直方图两种类型,认为在样品数量足够多的前提下,连续分布的均一温度直方图可理解为连续充注一期成藏,而非连续的均一温度分布一般可理解为多期成藏。直方柱的高、低差异,反映了油气的幕式充注和强度。

在连续充注一期成藏的类型中,可以是单源连续充注一期成藏和多源连续充注一期成藏。此外,也不能依据包裹体中烃类组分的成熟度和相态划分成藏期次。在均一温度呈连续分布的情况下,包裹体中烃类的组分和相态由低成熟到高成熟和由液相到气相的变化,正是烃源岩随埋深正常演化的结果,也是烃类连续充注一期成藏的反映。

在样品数量足够多的情况下, 如果在与烃伴生盐水包裹体的均一温度直方图上有两个不连续的峰群 (温度段) 或明显有两个峰群中间为极低频数的直方柱所连接, 一般可认为有两期成藏。这种情况按油源可进一步分为单源不连续充注两期成藏和双源不连续充注两期成藏。前者主要是由同一源岩后期二次生烃又充注所形成; 后者主要是两套不同时代的烃源岩在不同时期先后充注的结果。

2 流体包裹体岩相学与荧光观察

本次采集榆林地区上古生界 24 口井 33 块样品, 对这些样品进行详细的荧光观察, 并对检测到的发荧光油气包裹体进行荧光光谱测定 (图 2、图 3)。分析样品均为砂岩。在这些样品的穿石英颗粒裂纹、石英颗粒内裂纹、石英颗粒次生加大边及方解石胶结物中, 观察到大量不发荧光和发微弱白色荧光的纯气相包裹体和少量发蓝白色荧光的

凝析油包裹体, 表明该区发生过大规模不发荧光和发微弱白色荧光的天然气运移, 而只发生过少量的油运移。

3 流体包裹体均一温度分析

选取 24 口井 33 块样品做成岩流体包裹体的显微测温、测盐分析。使用仪器是英国 Linkam 公司的 THMS 600G 自动冷热台, 测定误差 $\pm 0.1\text{ }^{\circ}\text{C}$; 显微镜为日本产的 Olympus。在成岩流体包裹体测定时的原则是: 1) 为避免包裹体后期形变对测试的影响, 选择个体较小、气液比较小的包裹体进行测试; 2) 优选最能反映成岩环境的石英颗粒次生加大边中的流体包裹体; 3) 每块样品均尽量测试成岩期各种产状的包裹体数据。

检测分析结果表明, 烃类包裹体主要赋存于石英颗粒裂纹中, 部分赋存于石英加大边和方解石胶结物内; 总体上可以分为 6 期充注 (图 4—图 6), 但各期之间并无明显间断, 呈现出连续分布。



图 2 榆 32 井石英颗粒内裂纹中见发蓝白色荧光的油包裹体

Fig. 2 Oil inclusions with blue-white fluorescence in cracks within quartz grains from Well Yu 32

a. 偏光, 100 倍; b. 荧光, 100 倍

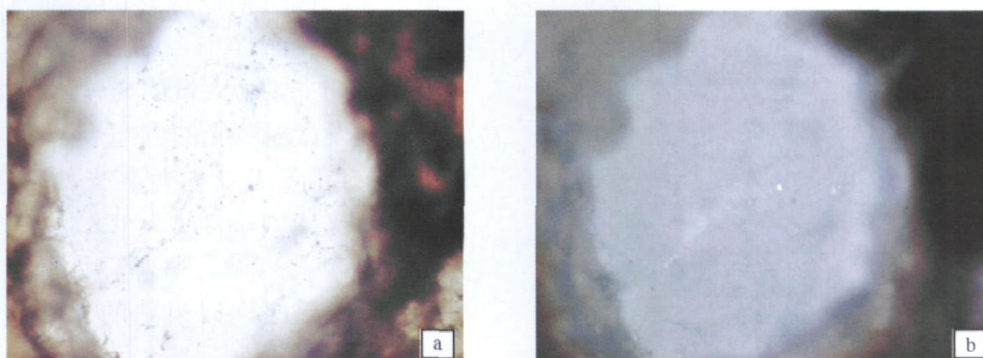


图 3 榆 5 井穿石英颗粒裂纹中发微弱白色荧光的纯气相包裹体

Fig. 3 Pure gas inclusions with faint fluorescence in crack crossing quartz grains from Well Yu 5

a. 偏光, 50 倍; b. 荧光, 50 倍

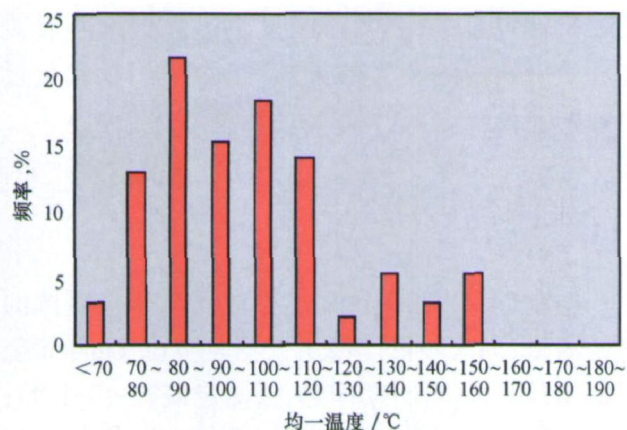


图 4 油气包裹体均一温度统计直方图

Fig. 4 Histogram showing the homogenization temperature distribution of oil inclusions

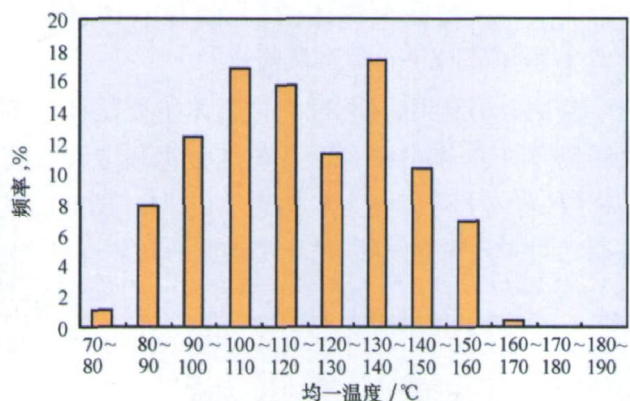


图 5 含烃气盐水包裹体均一温度统计直方图

Fig. 5 Histogram showing the homogenization temperature distribution of hydrocarbon-bearing saline inclusions

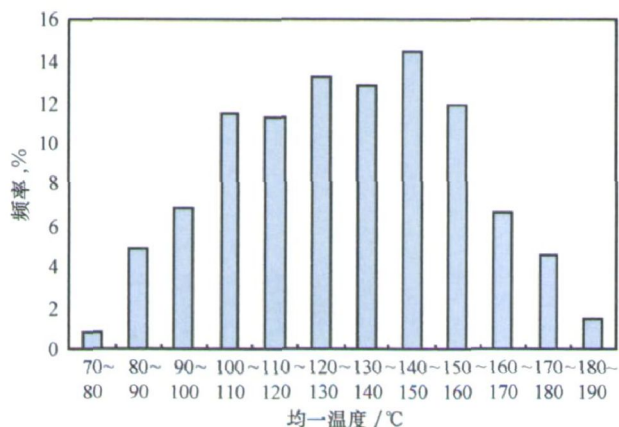


图 6 盐水包裹体均一温度统计直方图

Fig. 6 Histogram showing the homogenization temperature distribution of saline inclusions

检测到有 6 期石油包裹体充注, 均一温度分别为: 1) 58 °C; 2) 80~88 °C; 3) 106~108 °C; 4) 111 °C; 5) 130~133 °C; 和 6) 150~154 °C (图 4)。检测到有 6 期含烃包裹体充注, 均一温度分别为:

1) 80~94 °C; 2) 95~108 °C; 3) 110~124 °C; 4) 124~155 °C; 5) 136~155 °C; 和 6) 142~159 °C (图 5)。检测到有 6 期与烃类伴生的盐水包裹体充注, 均一温度分别为: 1) 65~102 °C; 2) 99~115 °C; 3) 119~130 °C; 4) 128~145 °C; 5) 146~161 °C; 和 6) 161~185 °C (图 6)

由此可见, 天然气充注有两个高峰期, 分别在第二期—第三期和第四期—第六期。

4 成藏期分析

根据包裹体荧光观察与温度测试, 综合该区埋藏史, 将油气充注期分为 6 个阶段 (图 7)。

第一期以与盐水包裹体伴生的不发荧光和发微弱荧光的纯气相包裹体和含烃盐水包裹体为主, 有少量发深黄色荧光的油包裹体。这个时期, 已有低成熟的天然气和少量油注入上古生界地层。其同生盐水包裹体均一温度为 65~102 °C, 形成时间大约为 190~220 Ma 相当于晚三叠世中期—早侏罗世中期。

第二期以与盐水包裹体伴生的不发荧光和发微弱荧光的纯气相包裹体和含烃盐水包裹体为主, 有少量发蓝色荧光的油包裹体。其同生盐水包裹体均一温度为 99~115 °C, 形成时间大约为 160~190 Ma 相当于早侏罗世中期—中侏罗世中期。该时期有低成熟的天然气和少量油充注。

第三期主要为大量的与盐水包裹体共生的不发荧光和发微弱荧光的气态烃包裹体和含烃盐水包裹体, 有少量发蓝白色荧光的油包裹体。其同生盐水包裹体均一温度为 119~130 °C, 形成时间大约为 137~160 Ma 相当于中侏罗世中期—中侏罗世末期。该时期以成熟的天然气充注为主, 伴有少量的成熟油。

第四期主要为大量的与盐水包裹体共生的不发荧光和发微弱荧光的气态烃包裹体和含烃盐水包裹体, 有少量发蓝白色荧光的油包裹体。其同生盐水包裹体均一温度为 128~145 °C, 形成时间大约为 113~137 Ma 相当于中侏罗世末期—早白垩世早期。该时期以成熟的天然气充注为主, 伴有少量的高成熟油。

第五期主要为大量的与盐水包裹体共生的不发荧光和发微弱荧光的纯气态烃包裹体和含烃盐水包裹体, 有少量发蓝白色荧光的凝析油包裹体。

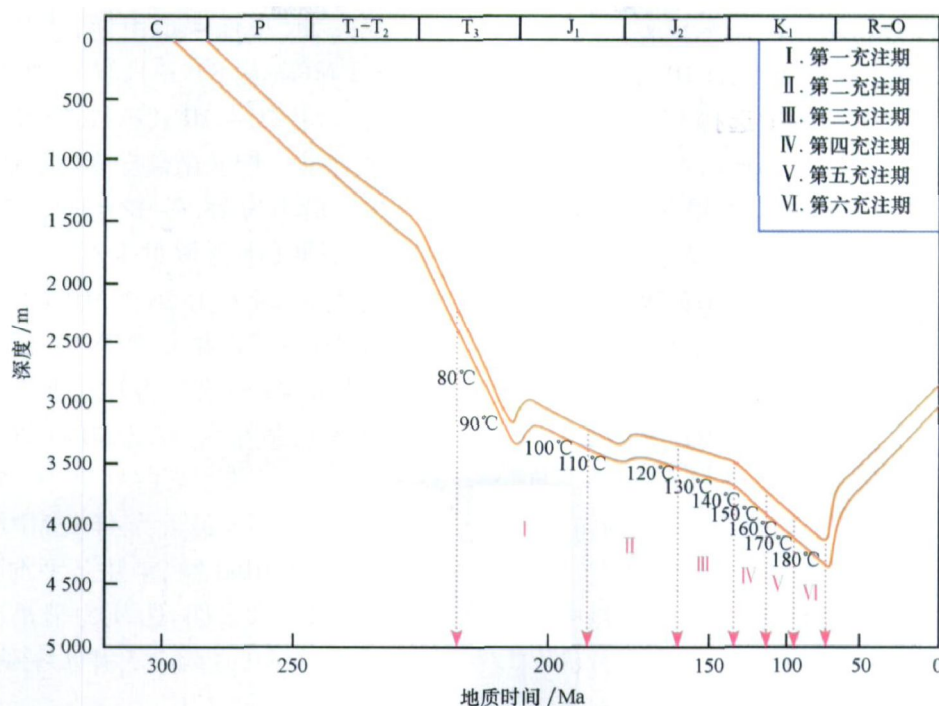


图 7 榆林地区上古生界油气成藏时期确定

Fig. 7 Timing of hydrocarbon accumulation in the Upper Paleozoic in Yulin area

其同生盐水包裹体均一温度为 $146 \sim 161\text{ }^{\circ}\text{C}$, 形成时间大约为 $98 \sim 113\text{ Ma}$ 相当于早白垩世中早期—早白垩世中晚期。该时期以高成熟的天然气甚至裂解气充注为主。

第六期主要为大量的与盐水包裹体共生的不发荧光和发微弱荧光的纯气态烃包裹体、含烃盐水包裹体和沥青包裹体, 有少量发蓝白色荧光的凝析油包裹体。其同生盐水包裹体均一温度为 $161 \sim 185\text{ }^{\circ}\text{C}$, 形成时间大约为 $72 \sim 98\text{ Ma}$ 相当于早白垩世中晚期—早白垩世末期。该时期以高成熟的天然气和油裂解气充注为主。

虽然可分为 6 期油气充注, 但从包裹体均一温度直方图 (图 4—图 6) 可见, 该区的油气充注是一个连续过程, 烃类组分随埋藏加深由低成熟到高成熟。所以笔者认为, 本区上古生界天然气成藏属于烃类连续充注一期成藏, 其中早侏罗世中期—中侏罗世末期和中侏罗世末期—早白垩世末期是两个大规模天然气充注时期。

5 古流体势计算

油气生成以后会在一定驱动力下随着地层水的流动缓慢运移, 在适当条件下聚集成藏。据流体动力学研究, 这种驱动力为流体势梯度, 流体总是从高势区向低势区运移。在流速缓慢的情况

下, 地层中某一点的流体势等于该点的压能与相对某基准面的位能之和^[7], 用 Hubbert^[8] 方程表示为 $\Phi = P / \rho + gZ$ 。式中 Φ 为流体势, P 为地层压力, ρ 为流体密度, g 为重力加速度, Z 为该点高程。若式中参数取现今地下值, 则所求出的是现今流体势。然而, 现今储层中的流体势大小并不能指示地史过程中的油气运移方向。只有求取油气运聚成藏时期的古流体势, 才能真正反映出成藏时期的油气运移和充注方向, 从而真正指出有利油气运聚区带。流体包裹体是研究古流体势的一种较为直接、可靠的方法。

古流体势计算的关键是求取古流体压力。流体包裹体捕获时的压力代表了古地层压力。目前, 利用流体包裹体估算古压力的方法主要有 3 种: CO_2 容度法、盐度—温度法与 PVT 模拟法。3 种方法各有其优缺点及特定条件, 本次采用的是第 3 种方法。

5.1 古地层压力求取

利用美国 CALSEP 公司开发的运用流体包裹体模拟其捕获最小压力的方法^[9]——“共生盐水包裹体均一温度与 (含) 烃类流体包裹体等容线交汇法”以及相应的 PVT 模拟软件——VTFLNC, 对工区古地层压力进行了模拟计算。模拟流体包裹体的最小捕获压力, 需要知道盐水包裹体的均一

温度以及与其共生的同期含烃盐水包裹体或烃类包裹体的均一温度、气液比和流体相的组成。测定流体包裹体的气液比时尽量选择较小的流体包裹体进行测定(主要是 2~8 μm),可近似看作球体;运用带 100 倍 8 mm 长焦工作镜头的 Olympus 显微镜测定常温、常压条件下的流体包裹体气、液直径,计算其半径立方比;运用真空研磨仪外接四极质谱仪获得其群体包裹体的化学成分,作为测定包裹体的“平均成分”。

将各期次盐水包裹体的均一温度及其共生的同期含烃盐水包裹体或烃类包裹体的均一温度、气液比和化学组成输入 VTFLNC 软件,即可求取各期次流体包裹体的最小捕获压力(图 8)。根据最小捕获压力求出同一基准面(山西组二段底面)的古流体(水)压力值^[10](表 1)。

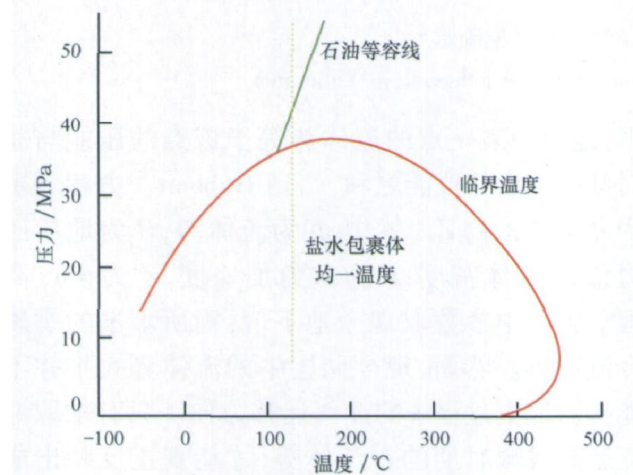


图 8 古流体压力模拟

Fig. 8 Modeling of paleocurrent pressure

表 1 榆林地区山西组二段底面古流体压力

Table 1 Paleocurrent pressure at the base of the second member of Sanxi Formation in Yulin area (MPa)

井号	第一期	第二期	第三期	第四期	第五期	第六期
榆 20	22.4		31.1	40.4		
榆 24	20.9	32.1	35.8		41.0	
榆 25			36.1	38.0		
榆 32	21.7	30.0	35.7	37.3	40.5	45.6
榆 37	27.2		30.9		41.0	45.8
榆 43-8					40.2	47.7
陕 9		28.7		37.6		
陕 117	24.1	34.4			40.3	
陕 118			35.0			44.2
陕 205						44.0
陕 211		30.4				
陕 212				39.4		
台 1	24.4	30.9		38.7	40.7	
统 3		31.0	33.0			
补 7			34.5			

第一期(早侏罗世中期)古压力值较低,最大为 27.2 MPa(榆 37 井),最小为 20.9 MPa(榆 24 井),平均为 23.4 MPa 第二期(中侏罗世中期)古压力值比前一期次增高较多,最大为 34.4 MPa(陕 117 井),最小为 28.7 MPa(陕 9 井),平均为 31.1 MPa 第三期(中侏罗世末期)古压力值与前一期次变化不大,最大为 36.1 MPa(榆 25 井),最小为 30.9 MPa(榆 37 井),平均为 34.0 MPa 第四期(早白垩世早-中期)古压力值最大为 40.4 MPa(榆 20 井),最小为 37.3 MPa(榆 37 井),平均为 38.6 MPa 第五期(早白垩世中-晚期)各井区古压力值比较均衡,最大为 41.0 MPa(榆 43-8 井),最小为 40.2 MPa(榆 24 井),平均为 41.1 MPa 第六期(早白垩世末期)古压力值最大为 47.7 MPa 最小为 44.0 MPa(陕 205 井),平均为 45.5 MPa

5.2 古流体势分析

前已述及,古流体势是古地层压力、古流体密度和古高程的函数。古流体密度采用刘斌^[11]的盐水溶液流体密度式来计算,它决定于包裹体的盐度与均一温度。本次测得的盐水包裹体盐度(NaCl 的重量百分数)为 0.53%~22.90%,相应计算出的流体密度为 0.930%~1.107 kg/m³。古高程即为古基准面(这里指山西组二段底面)的古埋藏深度,为捕获深度减去现在埋深与现在山西组二段底面深度之和。捕获深度是根据盐水包裹体的平均均一温度和区域埋深曲线所得;本次求得的古高程在 3 000~4 120 m。这样就可求得榆林地区山西组二段底面的古流体(水)势(表 2)。由于检测数据所限,流体势计算结果不全,但对该区地史过程中的油气运移大方向仍具有一定参考价值。

各井区在各个地质时期流体势有所不同。第一期(早侏罗世中期)榆 32 井流体势最低,榆 24 井和榆 20 井流体势也较低,榆 37 井流体势最高;第二期(中侏罗世中期)流体势低点为陕 9 井和陕 211 井,榆 24 井升为最高;第三期(中侏罗世末期)流体势低点在榆 20 井,高点在榆 25 井;第四期(早白垩世早-中期)流体势低点为榆 32 井,高点为台 1 井和榆 20 井;第五期(早白垩世中-晚期)各井区流体势差别不大,陕 117 和榆 43-8 井较低,榆 37 井和榆 24 井较高;第六期(早白垩世末期)榆 43-8 井流体势最高,陕 205 井区最低。

表 2 榆林地区上古生界古流体(水)势

Table 2 Paleocurrent potential of the Uppper Paleozoic in Yulin area

m²/s²

井号	第一期	第二期	第三期	第四期	第五期	第六期
榆 20	- 8 856. 79		- 4 455. 10	4 960. 79		
榆 24	- 8 470. 86	884. 93	457. 28		5 822. 27	
榆 25			4 288. 49	4161. 17		
榆 32	- 1 0049. 56	- 2 248. 96	1 888. 01	2 458. 71	5 110. 38	8 553. 53
榆 37	- 3 885. 87		- 2 224. 00		5 969. 27	8 763. 83
榆 43- 8					4 608. 24	10 585. 54
陕 9		- 4 021. 74		3 499. 16		
陕 117	- 6 502. 13	- 1 218. 47			4 541. 26	
陕 118						
陕 205						7 466. 33
陕 211		- 3 949. 34			5 658. 16	
陕 212				3 876. 90		
台 1	- 5 818. 67	- 364. 46		5 897. 78	5 255. 11	
统 3		- 1 597. 93	- 2 743. 48			
补 7			2026. 83			

总体看来,从晚三叠世中期到早白垩世末期,榆 32井区流体势均较低,一直是油气运移的有利指向区;榆 20井和榆 24井前期流体势较低,有利于油气充注,而后期变得较高,则油气又向其他低势方向运移;榆 37井和榆 25井流体势一直较高,对油气聚集不太有利。早白垩世末期,油气由榆 43- 8井区向其他方向运移。

6 小结

对一个油气藏来说,往往经历不断的油气充注与散失过程^[12]。古老油气藏(田)要保存至今可能有两种情况:一是,要不断有烃源(包括二次生烃或新生烃)的补给和充注;二是,要具备各种晚期成藏的条件,诸如烃源岩晚成熟、圈闭构造晚定型以及次生油气藏的形成等等。在存在充足的烃源岩供给和良好的输导系统的条件下,沉积盆地的油气总是力求从高势区向低势区运移,并在低势区合适的圈闭中聚集成藏。当运移达到势平衡或构造作用使原来的势能重新分配时,油气又会寻找新的运移通道、向新的低势区运移。不同成岩期捕获的油气包裹体代表了相应时期地层流体的含油气状况,在一定程度上反映了当时油气充注的强度。本次分析表明,鄂尔多斯盆地榆林地区上古生界属于多期充注的连续成藏过程,早侏罗世中期—中侏罗世末期和中侏罗世末期—早白垩世末期是两个大规模天然气充注时期,不同

时期流体势走向不尽相同。

致谢:在完稿过程中,得到了李明诚教授的热情指导,在此表示衷心感谢!

参 考 文 献

- 1 杨俊杰,裴锡古. 中国天然气地质学(第四卷): 鄂尔多斯盆地[M], 北京: 石油工业出版社, 1996 1~ 80
- 2 陈孔全,徐言岗,张文淮. 松辽盆地南部有机包裹体特征及石油地质意义[J]. 石油与天然气地质, 1995, 16(2): 138~ 146
- 3 蒋有录,刘华,张乐,等. 东营凹陷油气成藏期分析[J]. 石油与天然气地质, 2003, 24(3): 215~ 218
- 4 侯建国,任丽华,董春梅. 有机包裹体技术在油气运移与聚集中的应用研究[J]. 石油实验地质, 2005, 27(4): 409~ 413
- 5 廖仕孟,王强,徐志明,等. 流体包裹体分子组成分析技术应用中存在的问题[J]. 天然气地球科学, 2006, 17(2): 170~ 172
- 6 李明诚,单秀琴,马成华,等. 油气成藏期探讨[J]. 新疆石油地质, 2005, 26(5): 587~ 591
- 7 李明诚. 石油与天然气运移[M]. (第三版). 北京: 石油工业出版社, 2004 1~ 40
- 8 Hubbert M K. Entrapment of petroleum under hydrodynamic conditions[J]. AAPG Bulletin, 1953, 37(8): 1 954~ 2 026
- 9 陈红汉,董良伟,张树林,等. 流体包裹体在古压力模拟中的应用[J]. 石油与天然气地质, 2002, 23(3): 207~ 211
- 10 单秀琴,胡国艺,高嘉玉. 鄂尔多斯盆地中部奥陶系方解石脉中包裹体流体势研究[J]. 岩石学报, 2003, 19(2): 55~ 58
- 11 刘斌. NaCl-H₂O 溶液包裹体的密度式和等容式及其应用[J]. 矿物学报, 1987, 7(4): 345~ 352
- 12 Macgregor D C. Factors controlling the destruction or preservation of giant light oil field[J]. Petroleum Geoscience, 1996 (2): 197~ 217

(编辑 李 军)