

文章编号:0258-7106(2005)05-0537-06

微裂隙内流体包裹体在油气运移及成藏研究中的应用*

——以高邮凹陷为例

谈彩萍¹,倪 培²,刘翠荣³

(1 中国石化石油勘探开发研究院无锡实验地质研究所,江苏 无锡 214151; 2 南京大学地球科学系,江苏 南京 210093;
3 中国石化石油勘探开发研究院,北京 100083)

摘 要 文章尝试利用砂岩颗粒中的微裂隙穿插关系及测定微裂隙内充填物中的盐水包裹体的均一温度来确定包裹体的形成期次;结合构造发育史、烃源岩演化史和古地温梯度恢复各期包裹体形成时的埋藏深度及时间;最后通过观测各期流体包裹体中是否含有烃类及烃类包裹体的发育程度来确定油气运移期次及主次关系、运移时间。发现油气运移、成藏时间主要发生在烃源岩大量生烃后的第一次构造运动时间段内。

关键词 地质学;微裂隙;流体包裹体;均一温度;油气运移;成藏期次及时间

中图分类号: P618.13

文献标识码: A

油气运移和聚集成藏的时间以及油气成藏期次的确定不仅是油气运移、成藏研究的关键环节,也是揭示油气成藏过程、建立成藏模式的重要途径。因此,确定含油气盆地内的油气运移、成藏期次和时间一直是石油地质学家长期着重研究的课题。以往的研究侧重于从盆地或凹陷构造演化、烃源岩生排烃等各个不同的侧面间接地来研究油气的运移时间、聚集成藏期次,近年来,利用流体包裹体的均一温度、成分、分布等直接信息来研究油气运移、成藏期次、时间成为趋势(赵靖舟,2002;肖贤明等,2002;陈荣林等,1991)。目前,由于在测试流体包裹体均一温度之前未能有效的区分不同期次、均一相捕获及非均一相捕获的流体包裹体,仅根据成岩矿物序次确定流体包裹体的期次,有较大的人为性。本文尝试利用砂岩颗粒中的微裂隙穿插关系,测定微裂隙内胶结物中的盐水包裹体的均一温度来确定包裹体的形成期次;结合构造发育史、烃源岩演化史、古地温梯度恢复各期包裹体形成时的埋藏深度及时间;最后通过观测各期流体包裹体中是否含有烃类包裹体、烃类包裹体的发育程度来确定油气运移期次及主次关系、运移时间。

1 研究区构造演化及储集层、烃源岩发育特征

苏北盆地北部和南部分别与鲁苏隆起、苏南隆起相邻,西以郯庐断裂为界,东临南黄海,它是一个自上白垩统以来形成的断陷盆地。它以江苏仪征小河口上白垩统泰州组与赤山组间角度不整合关系命名的“仪征上升”运动开始。盆地内在下第三系始新统戴南组和古新统阜宁组之间及上、下第三系之间有二期明显的不整合,分别为吴堡运动和三垛运动的反映^①(练铭祥等,2001),还经历了一次第四纪以来的新构造运动(何才华,2003;范迪富等,2002)(表1)。盆地宏观轮廓受一系列 NE 向、EW 向断裂控制,并由其划分出相间而列的箕状断陷与单断凸起。除曲塘凹陷情况相反外,其他的箕状凹陷均因边界断裂北倾而南深北浅、南陡北缓、南断北超。这是由于盆地基底内部存在一系列北东走向从北往南逆冲的断裂,在盆地拉张形成过程中,这一系列逆冲块体沿其原有的北倾陡立面下滑而形成。

高邮凹陷位于苏北盆地东台拗陷中部,是晚白

* 本文得到中石化东部老油区油气勘探潜力研究(P00039)项目资助

第一作者简介 谈彩萍,女,1962年生,高工,从事石油地质研究工作。

收稿日期 2004-11-15;改回日期 2005-03-24。张绮玲编辑。

① 郑肇信,等.1987.苏北盆地新生界油气普查勘探阶段性总结报告(科研报告)。

表 1 苏北盆地构造演化及地层综合表

Table 1 Composite stratigraphic table showing structural evolution of North Jiangsu basin

界	系	统	组	段	代号	最大厚度 /m	距今年龄 /Ma	主要构造 运动	主要生、 储层
新 生 界	第四系	全-更新统	东台组		Qd	317	2	新构造 运动	储层
	上第三系	上-中新统	盐城组	二	Ny ²	1038	11.3		
				一	Ny ¹	1149	24.6		
	下 第 三 系	渐新统					38	三垛运动	
		始 新 统	三垛组	二	E ₂ s ²	484	45		
				一	E ₂ s ¹	676	50.5		
			戴南组	二	E ₂ d ¹	1002	53		
				一	E ₂ d ¹	696	54.9		
		古 新 统	阜宁组	四	E ₁ f ⁴	548	56	吴堡运动	
				三	E ₁ f ³	507	58		
				二	E ₁ f ²	342	60.2		
				一	E ₁ f ¹	1108	65		
中 生 界	白 垩 系	上 统	泰州组	二	K ₂ t ²	209	75	烃源岩	
				一	K ₂ t ¹	140	83	储层	

垩纪末发育起来的断陷。西北接菱塘桥低凸起,南与通扬隆起相隔,面积约 4 500 km²。凹陷内下第三系和白垩系泰州组最大厚度达 7 000 m。西部受仪征运动期活动强烈的走向 NEE、倾向 NNW、以拉张为主的真武断层及其引生的吴堡运动期发育起来的补偿式调节性反向正断层汉留断层控制,为双断地堑式断陷结构,由南往北断阶、深凹、斜坡十分清楚,并呈 NNE 向展布;东部受吴堡运动发育起来的走向 NE、倾向 NW、以走滑为主的吴堡断层控制,为单断单斜式断陷结构,并呈 NE 向展布。高邮凹陷的油气藏按生储盖组合划分,可分为以阜宁组四段为烃源,三垛组二段为盖层,三垛组一段及戴南组为储层的上组合(E₂s、E₂d-E₁f⁴)油气藏;以阜宁组二段为烃源,阜宁组四段为盖层,阜宁组三段和阜宁组一段为主要储层的中组合(E₁f⁴-E₁f¹)油气藏;以泰州组二段为烃源,阜宁组二段为盖层,阜宁组一段和泰州组二段为储层的下组合(E₁f²-K₂t)油气藏(仅发现含油显示)及以阜宁组二和四段为烃源,三垛组、戴南组、阜宁组、泰州组和陆相中生界等为储层的多源多层系油气藏。

2 主要烃源岩的生排烃史

表 1 反映出苏北盆地发育三套主要烃源岩,分

别为泰州组二段、阜宁组二段及阜宁组四段。主要储集层段有三垛组、戴南组、阜宁组三段及阜宁组一段。本次在高邮凹陷沉积中心选取了地层发育较齐全,能代表本区沉积、演化史的典型井-花 2 井,利用 BASIN-MOD 盆地模拟系统,采用瞬变热流模型恢复其热史和主要烃源岩的生排烃史(表 2、图 1)。

表 2 和图 1 显示出:高邮凹陷下第三系阜宁组二段烃源岩具有两个生烃高峰,第一次约为 40 Ma 左右,第二次约为 10 Ma 左右,且第二次较第一次的生烃速率和生烃量小一些;阜宁组四段烃源岩仅有一个生烃高峰,时间从 0.88 Ma 始。

表 2 高邮凹陷下第三系主力烃源岩生烃高峰及生烃速率表
Table 2 Hydrocarbon-generating peaks and rates of the Lower Tertiary major source rocks in Gaoyou depression

区带	典型井	烃源岩层	生烃高峰	生烃速率
			/ Ma	/(mg·g ⁻¹)/ Ma
深凹带	花 2 井	阜四段顶	0.88 ~ 0.0	6.04
		阜四段底	0.88 ~ 0.0	11.59
		阜二段顶	12.62 ~ 11.27	10.21
		阜二段底	41.99 ~ 40.3	20.81

3 流体包裹体的形成期次

为研究高邮凹陷油气运移、成藏期次及时间,笔

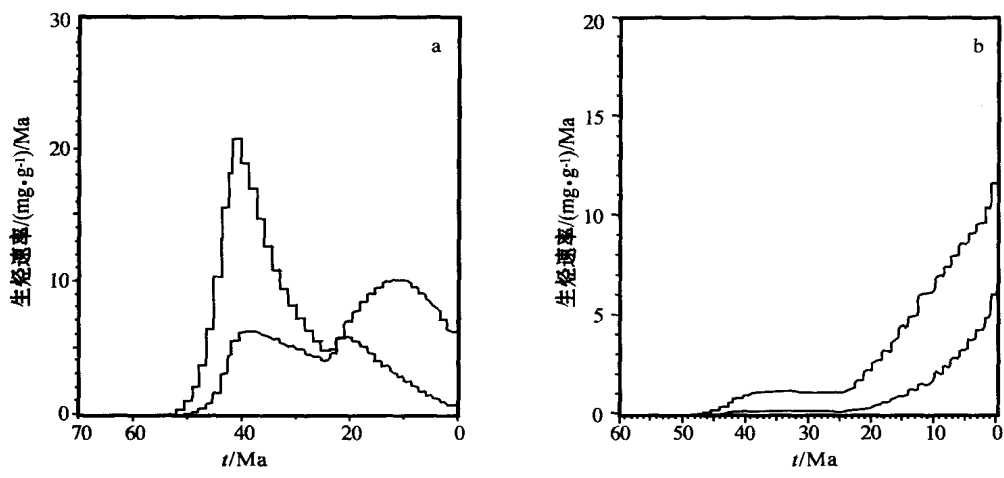


图 1 高邮凹陷花 2 井主要烃源岩 $E_1 f^2$ (a) 和 $E_1 f^4$ (b) 的生烃史

Fig.1 Hydrocarbon-generating history of major source rocks $E_1 f^2$ (a) and $E_1 f^4$ (b) in well Hua-2, Gaoyou Depression

者选取了从深凹至斜坡的苏 136 井、苏 122 井、苏 163 井、苏 143 井 4 口钻井(图 2),分别采集了储集层较发育的阜宁组三段和戴南组的细砂岩样品 20 块进行流体包裹体研究,其中苏 136 井、苏 122 井、苏 143 井 3 口井获得了分析结果。

对阜宁组三段砂岩薄片的镜下观察表明,阜宁组三段砂岩颗粒中发育三期微裂隙(图 3),与前述的阜宁组三段地层经历了吴堡运动、三垛运动及新构造运动三次构造运动相对应,即一次构造运动产生一期微裂隙,地层经历了 3 期构造运动就存在 3 期微裂隙。早期微裂隙较窄,并被中、晚期微裂隙切割成 2 段,段与段之间有错位,其内胶结物中的流体包裹体较小;中期微裂隙切割早期微裂隙,同时又被晚期微裂隙切割成 2 段,段与段之间亦有错位,中期微裂隙宽度最大,其内胶结物中的流体包裹体亦最大;晚期微裂隙切割早期及中期微裂隙,其宽度居中,其

内胶结物中的流体包裹体大小亦居中。3 期微裂隙内胶结物中的盐水包裹体均一温度测定,表明它们分别为早、中、晚 3 期流体包裹体,其均一温度明显的分为 3 组(表 3)。苏 122 井火成岩发育,均一温度偏高。

对戴南砂岩薄片的镜下观察表明,戴南组砂岩颗粒中发育 2 期微裂隙(图 4),与前述的戴南组地层

表 3 高邮凹陷阜宁组三段流体包裹体均一温度表

Table 3 Homogenization temperatures of fluid inclusions in the 3rd Member of Funing Formation, Gaoyou depression

井号	层位	深度/m	流体包裹体均一温度/℃		
			早期	中期	晚期
苏 136	$E_1 f^3$	3631.74	101 ~ 109	116 ~ 133	140 ~ 158
苏 122	$E_1 f^3$	2503.73	108 ~ 127	148	175 ~ 185
苏 143	$E_1 f^3$	2089.2	88 ~ 98	112 ~ 145	154 ~ 162

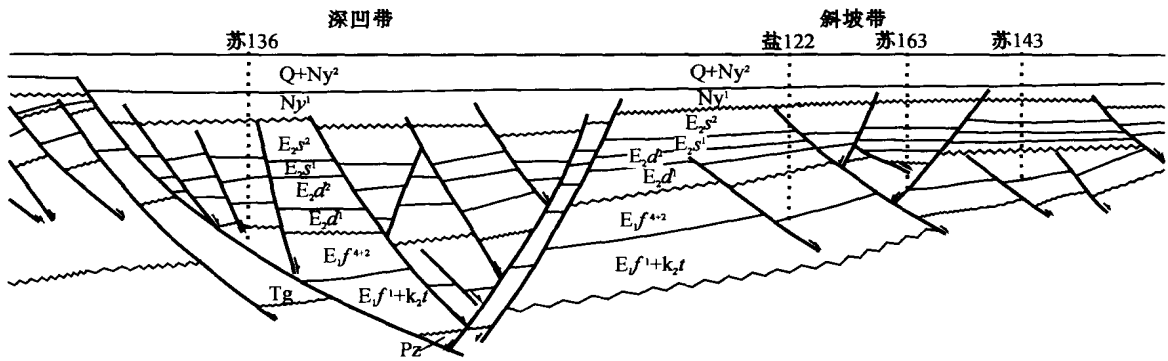


图 2 高邮凹陷包裹体采样井位置分布示意图

Fig.2 Locations of inclusion sampling wells in Gaoyou depression

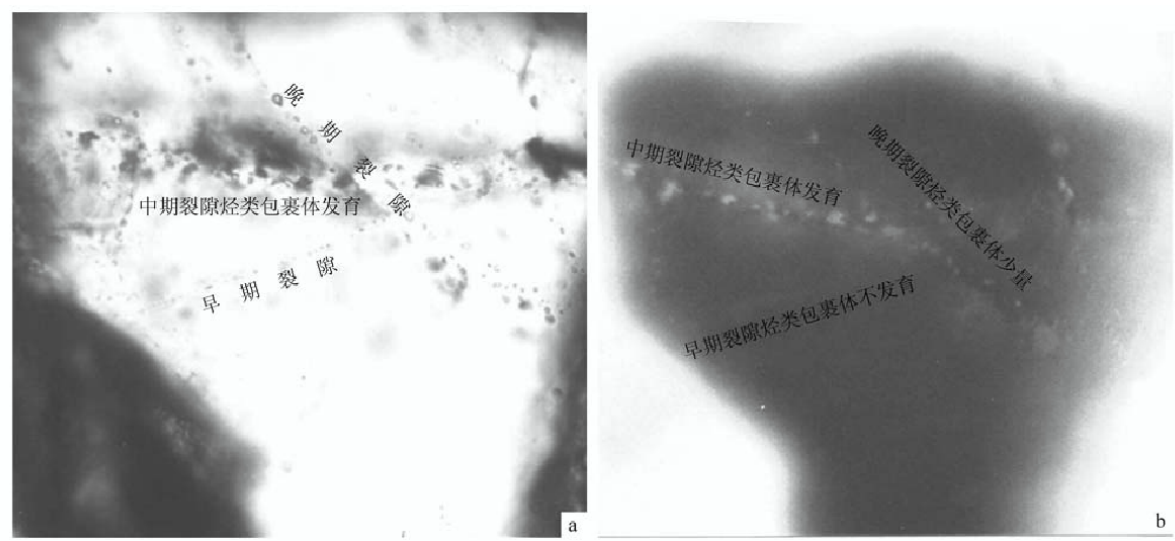


图 3 高邮凹陷阜宁组三段流体包裹体透射光(a)和荧光(b)照片

Fig.3 Transmitted light (a) and fluorescence (b) photographs of fluid inclusions in the 3rd Member of Funing Formation, Gaoyou depression

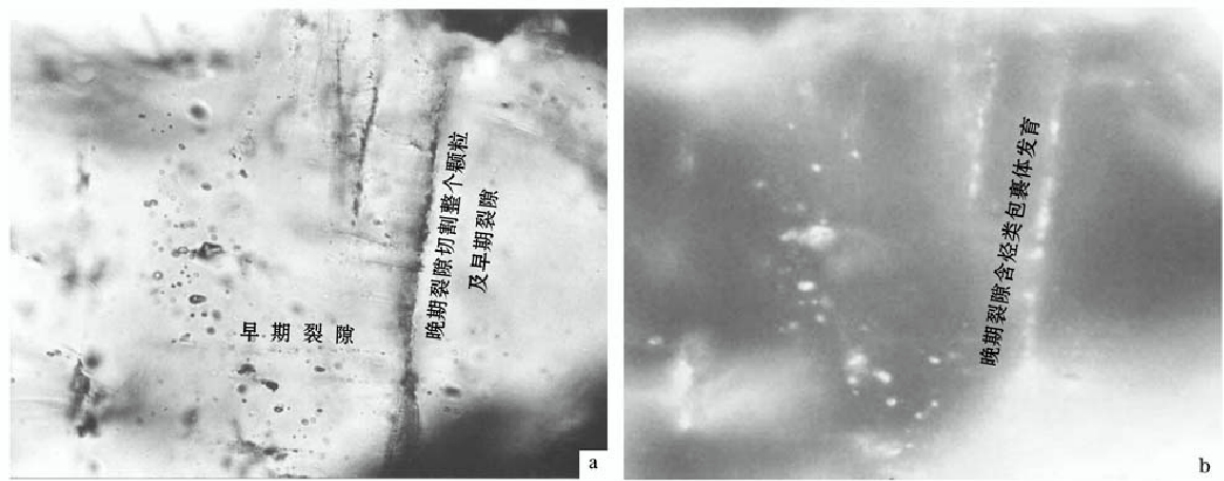


图 4 高邮凹陷戴南组流体包裹体透射光(a)和荧光(b)照片

Fig.3 Transmitted light (a) and fluorescence (b) photographs of fluid inclusions in Dainan Formation, Gaoyou depression

经历了三垛运动及新构造运动二次构造运动相对应,2 期构造运动导致 2 期微裂隙。早期微裂隙短而窄,一端被晚期次生加大边包围,另一端被晚期微裂隙切割,其内胶结物中的流体包裹体较小;晚期微裂隙切割早期微裂隙及整个颗粒,宽度较大,其内胶结物中的流体包裹体亦较大。2 期微裂隙内胶结物中的盐水包裹体均一温度测定,表明它们明显的分为 2 组(表 4)。

表 4 高邮凹陷戴南组流体包裹体均一温度表

Table 4 Homogenization temperatures of fluid inclusions in Dainan Formation, Gaoyou depression

井号	层位	深度/ m	流体包裹体均一温度/ ℃	
			早期	晚期
苏 136	E2dl	2707.6	103 ~ 117	133
苏 122	E2dl	2095.3	125 ~ 145	161 ~ 180

4 烃类包裹体在油气运移、成藏研究中的应用

对苏136井阜宁组三段砂岩颗粒中微裂隙内胶结物中的流体包裹体进行荧光观察(见图3),表明具有荧光显示的有机包裹体主要存在于中期微裂隙内的胶结物中,其次为晚期微裂隙内的胶结物中。根据苏136井阜宁组三段砂岩颗粒中晚期微裂隙内胶结物中的盐水包裹体所测出的均一温度及本区的古地温梯度,笔者计算获得其形成时的埋深为3 239 m,即下盐城组沉积之后;中期微裂隙内的胶结物中盐水包裹体所测出的均一温度及本区的古地温梯度,计算获得包裹体形成时的地层埋深为2 707 m,即三垛组沉积之后。前人对该区阜宁组三段原油进行了油-源对比,认为其油的来源为阜宁组二段烃源岩。前述BASIN-MOD盆地模拟表明阜宁组二段的主要生排烃期为三垛组沉积之后,其次为下盐城组沉积之后。这两点表明阜宁组三段的主要运移、成藏期为三垛组沉积之后,其次为下盐城组沉积之后。即油气的主要运移、成藏时间主要发生在阜宁组二段烃源岩大量生烃后的第一次构造运动(三垛运动)时间段内。

苏136井戴南组砂岩颗粒中微裂隙内胶结物中的流体包裹体荧光观察显示(见图4),其内具有荧光显示的有机包裹体主要存在于晚期微裂隙内的胶结物中,根据苏136井戴南组砂岩颗粒中晚期微裂隙内胶结物中的盐水包裹体所测出的均一温度及本区的古地温梯度,计算获得包裹体形成时的地层埋深为2 891 m,即盐城组沉积之后。前人对该区戴南组及其以上层位的原油进行了油-源对比,认为其油的来源为阜宁组四段。前述BASIN-MOD盆地模拟表明阜宁组四段的主要生排烃期为盐城组沉积之后。这两点表明戴南组及其以上层位的油气主要运移、成藏期为盐城组沉积之后。即油气主要运移、成藏时间主要发生在阜宁组四段烃源岩大量生烃后的第一次构造运动(新构造运动)时间段内。

5 结 论

通过利用砂岩颗粒中的微裂隙穿插关系、测定微裂隙内胶结物中的盐水包裹体的均一温度来确定包裹体的形成期次;结合构造发育史、烃源岩演化

史、古地温梯度恢复各期包裹体形成时的埋藏深度及时间;最后通过观测各期流体包裹体中是否含有烃类包裹体、烃类包裹体的发育程度来确定油气运移期次及主次关系、运移时间的研究。对于第三系断陷盆地,可以得出以下几点结论:

(1) 利用砂岩颗粒中的微裂隙穿插关系及微裂隙内胶结物中的盐水包裹体的均一温度可确定流体包裹体的形成期次;

(2) 微裂隙内胶结物中流体包裹体荧光观察可确定油气运移、成藏期次及主次关系;

(3) 测定与烃类包裹体共生的盐水包裹体的均一温度,结合构造发育史、烃源岩演化史、古地温梯度可恢复烃类包裹体形成时的埋藏深度及时间,即储层中油气运移、成藏发生的埋藏深度及时间。

References

- Chen R L and Li X X. 1991. Study of elastic-coquina diagnosis and fluid enclosure in Daanzhai member of Jurassic, northern Sichuan[J]. Petroleum Geology & Experimental, 13(2): 158 ~ 159 (in Chinese with English abstract).
- Fan D F and Xu X Q. 2002. Properties of neotectonism in Nantong region[J]. Geological Survey of Jiangsu Province, 26(1): 7 ~ 12 (in Chinese with English abstract).
- He C H. 2003. Discuss on the new tectonic movement[J]. Journal of Guizhou Normal University, 21(2): 58 ~ 63 (in Chinese with English abstract).
- Lian M X, Xue B and Yang S L. 2001. Formation mechanism of depressions and rifts in the Cenozoic basin of North Jiangsu Province [J]. Petroleum Geology & Experiment, 23(3): 256 ~ 260 (in Chinese with English abstract).
- Tan C P. 2003. An approach to the determination of paleogeothermal gradient by fluid inclusions[J]. Petroleum Geology & Experiment, 25: 610 ~ 613 (in Chinese with English abstract).
- Xiao X M, Liu Z F, Liu D H, et al. 2002. Determination of natural gas pool forming time by reservoir fluid inclusions study[J]. Chinese Science Bulletin, 47(12): 957 ~ 960 (in Chinese).
- Zhao J Z. 2002. Hydrocarbon inclusion analysis: Application in geochronological study of hydrocarbon accumulation[J]. Geology and Geochemistry, 30(2): 83 ~ 88 (in Chinese with English abstract).

附中文参考文献

- 陈荣林, 李宪翔. 1991. 川北侏罗系大安寨段介屑灰岩成岩作用与流体包裹体研究[J]. 石油实验地质, 13(2): 158 ~ 159.
- 范迪富, 徐雪球. 2002. 南通地区新构造运动特征[J]. 江苏地质, 26(1): 7 ~ 12.
- 何才华. 2003. 论新构造运动[J]. 贵州师范大学学报, 21(2): 58 ~

63.

练铭祥, 薛冰, 杨盛良. 2001. 苏北新生代盆地断陷和拗陷的形成机理[J]. 石油实验地质, 23(3): 256 ~ 260.

谈彩萍. 2003. 利用流体包裹体确定古地温梯度的探讨[J]. 石油实验地质, 25(增刊): 610 ~ 613.

肖贤明, 刘祖发, 刘德汉, 等. 2002. 应用储层流体包裹体信息研究天然气气藏的成藏时间[J]. 科学通报, 47(12): 957 ~ 960.

赵靖舟. 2002. 油气包裹体在成藏年代学研究中的应用实例分析[J]. 地质地球化学, 30(2): 83 ~ 88.

Application of fluid inclusions in microfissures to study of hydrocarbon migration and accumulation: A case study of Gaoyou depression

TAN Cai-ping¹, NI Pei² and LIU Cui-rong³

(1 Wuxi Research Institute of Experimental Geology, SINOPEC, Wuxi 214151, Jiangsu, China; 2 Department of Geosciences, Nanjing University, Nanjing 210093, Jiangsu, China; 3 Research Institute of Petroleum Exploration and production, SINOPEC, Beijing 100083, China)

Abstract

In this paper, the penetrating relationship of microfissures in sandstone grains was used to determine the homogenization temperature of salt-water inclusions in the cement within microfissures and the formation ages of inclusions. Combined with structural development, source-rock evolution and paleogeothermal gradient, this paper restored the burial depth and time for the formation of inclusions of various ages. Based on observing the existence or nonexistence of hydrocarbon inclusions in fluid inclusions of various ages and the development extent of hydrocarbon inclusions, the authors also deal with the ages and time as well as the primary and secondary relations of hydrocarbon migration.

Key words: geology, microfissure, fluid inclusion, homogenization temperature, oil and gas migration, accumulation-forming stage and time