

东濮凹陷杜桥白地区天然气藏的成藏期次

任战利^{1,2}, 冯建辉^{3,4}, 崔军平^{1,2}, 任来义⁴

(1. 西北大学大陆动力学教育部重点实验室, 陕西西安 710069; 2. 西北大学地质系, 陕西西安 710069;

3. 中国科学院广州地球化学研究所, 广东广州 510640; 4. 中石化股份公司中原油田分公司, 河南濮阳 457001)

摘要: 储层自生伊利石同位素年龄、油气藏饱和压力及流体包裹体均一温度等的测试结果表明: 东濮凹陷杜桥白地区天然气成藏主要分为两大阶段。第一阶段大约在 30.4~18.4 Ma 间, 相当于东营-馆陶组沉积早期, 是天然气藏最为主要的形成时期。此阶段大部分对应于 27~17 Ma 的剥蚀期, 因地层剥蚀压力减小, 有利于天然气成藏。第二阶段为 2 Ma 以来(相当于第四纪)。这一阶段一方面是已形成气藏的调整, 另一方面是二次生成天然气的继续注入。杜桥白地区天然气藏形成期总体上具有层位越新、成藏时期越晚, 层位越老、成藏时期越早的特点。相比而言, 杜寨地区天然气成藏较早, 桥口-白庙地区成藏相对较晚。

关键词: 伊利石测年; 包裹体; 天然气藏; 形成期次; 东濮凹陷

第一作者简介: 任战利, 男, 41 岁, 研究员(博士生导师、博士后), 油气地质与勘探、盆地热史与油气成藏

中图分类号: TE121.1 文献标识码: A

油气成藏期次是油气勘探地质评价目标的一个十分关键的问题, 传统的研究方法^[1~3]大致有构造演化分析法、圈闭形成法、烃源岩主排烃法等, 其理论基础是盆地分析、油气运聚机理及生排烃理论, 方法虽简单、快捷, 但不能对油气藏形成期次进行更为细致的刻画。随着地质历史的演化及构造运动的发生, 油气藏会遭到改造和破坏并在岩层中留下一些“痕迹”, 应用一些新的方法对其进行研究和测定, 就可以确定油气成藏期^[4~7]。

1 方法

考虑到本地区油气藏形成历史的复杂性, 主要采用自生伊利石测年新方法, 并结合饱和压力法及包裹体均一温度法来确定油气藏成藏时期。

1.1 自生伊利石测年法

1.1.1 原理

砂岩储集层中自生伊利石是烃类在充填富钾的水介质储层前最晚形成的自生矿物, 油气进入储层后, 其形成过程便会停止^[6,7]。因此, 可利用伊利石的年龄来判断储层中油气藏形成年龄。伊利石同位素年龄给出了油气藏形成期的最大地质年

龄。从国外油气盆地和国内成岩作用与油气藏关系研究结果来看, 油气藏形成时间略滞后于伊利石同位素年龄或基本同步^[8~9]。

1.1.2 测试结果

通过实验确定 < 0.1 μm 粒级的丝发状的自生伊利石为同位素测年的对象。本次实验对 20 个样品进行了伊利石测年分析*, 测年结果表明, 杜桥白地区伊利石年龄有 3 个峰值区(图 1): 一个为始新世(E₂), 即 43~38 Ma, 第二个为渐新世(E₃), 即 31.4~25.4 Ma, 第三个为中新世(N₁), 即 24~18.4 Ma。其中, E₃ 和 N₁ 峰值最大, 为最主要年龄分布区。

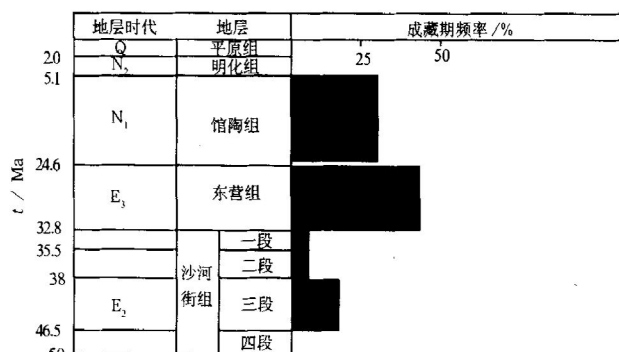


图 1 杜桥白地区伊利石测年确定的
油气成藏期频率图

Fig. 1 Frequency diagram for the formation stage of oil gas reservoirs dated by illite in Duqiaobai area

* 任战利, 崔军平. 东濮凹陷杜桥白地区深层油气藏形成机理及控制因素研究. 2001

收稿日期: 2002-04-01

杜寨地区油气分两次注入储层: 早期为 43~38 Ma, 相当于沙河街组三段沉积时期, 晚期为

25.4 Ma, 即东营组沉积时期。晚期的峰值较大, 是主要时期。

桥口地区油气分3次注入储层: 第一次为37.8 Ma左右, 相当于沙河街组二段沉积时期; 第二次为30.4~25.4 Ma, 相当于东营组沉积时期; 第三次为24.4~18.4 Ma, 相当于馆陶组沉积时期。后两期的峰值最大, 为主要的油气成藏时期。

白庙地区主要有两期: 一次为28~25 Ma, 相当于东营组沉积时期; 另一次为23.4~20.4 Ma, 相当于馆陶组沉积时期。

上述3个地区天然气注入时期主要为东营组及馆陶组沉积时期, 相比而言, 杜寨地区天然气注入储层较早。

1.2 饱和压力法

1.2.1 原理

几乎所有油气藏或多或少都含有天然气, 且很多油藏都被气体饱和或接近饱和, 所以, 可以认为在油气运移和聚集过程中, 天然气是以溶解状态饱

含在油气中的。饱含天然气的石油在沿储集层运移过程中, 遇到合适的圈闭便合聚集起来形成油气藏, 此时油气藏的地层压力与饱和压力相等, 故由油气藏的饱和压力可以推算出油气藏的埋藏深度, 并判断出相当深度的地质时代, 从而确定油气藏的形成时限^[4]。

1.2.2 测试结果

根据桥口地区11口井的饱和压力资料, 利用新的分层恢复埋藏史, 从而计算油藏形成期次(表1)。从计算结果来看, 桥口地区油气藏形成时期主要为渐新世东营组沉积时期。

1.3 包裹体均一温度法

在杜桥白地区23块样中选取10块包体发育较好的样品, 进行了包裹体测温。从所测包裹体均一温度与深度及现今地温关系来看, 包裹体均一温度随深度增加而增高, 早、中期包裹体均一温度普遍小于现今地温, 晚期包裹体均一温度接近或高于现今地温。

表1 桥口地区饱和压力法确定的油气藏形成时期表

Table 1 The formation stage of natural gas reservoirs determined by saturation pressure in Qiaokou area

井名	层位	井段/m	取样深度/m	饱和压力/MPa	深度/m	成藏时期
桥29-1井	S ₂ 下	2 616.2~2 576	2 100	7.55	769.87	E ₃ d
桥29-2井	S ₃ ¹	2 875.4~2 938.6	2 700	17.13	17 46.75	E ₃ d
桥29-8井	S ₂ 下	2 593.4~2 599.6	2 200	9.81	1 000.33	E ₃ d
桥29-15井	S ₂ 下	2 490~2 560.4	2 350	10.87	1 108.41	E ₃ d
桥18井	S ₂ 下	2 657.4~2 654.4	2 400	12.75	1 300.12	E ₃ d
桥21-2井	S ₃ -1	2 915.4~2 930.6	2 400	16.27	1 659.05	E ₃ d
桥21-7井	S ₃ ¹	2 807.6~2 933.1	2 400	18.79	1 916.02	E ₃ d
桥27井	S ₂ 下	2 542.2~2 537.4	2 400	14.72	1 501.00	E ₃ d
桥7-4井	S ₃ ¹	2 954~2 991.3	2 400	12.94	1 319.49	E ₃ d
桥55井	S ₃ ²	3 198.9~3 290.9	3 000	19.34	1 972.10	E ₃ d
桥55井	S ₃ ²	3 290.9~3 298.9	3 000	19.34	1 972.10	E ₃ d

应用包裹体测温法判定油气藏形成时期, 精确恢复埋藏史及热史十分重要, 尤其是盆地热史, 甚至可以直接用于判断油气藏形成期次^[10~14]。

1.3.1 杜寨地区

杜寨构造深12井4 808.69 m井段的含气粉砂岩(Es₃)中发育3期油气包裹体。早期, 油气包裹体发育程度低, 赋存于碎屑矿物中, 属次生包裹体, 呈黑褐色及灰褐色, 均为液烃包裹体。同期次的碎屑石英中含烃盐水包体均一温度为137~

145℃, 平均为142℃。中期, 油气包裹体发育, 赋存于碎屑矿物中的属次生包裹体, 赋存于加大石英矿物中的属原生包裹体。液烃呈灰褐黄色, 结丝网状、斑点状的沥青附于包裹体壁上, 显弱黄色、褐黄色荧光或显荧光。液烃包裹体占30%左右, 气液烃包裹体占70%左右。同期次的碎屑石英中含烃盐水包裹体均一温度为150~154℃, 平均为152℃。晚期, 包裹体发育, 赋存于碎屑矿物中及胶结物中, 液烃呈无色显蓝色荧光, 气烃呈灰色或显

弱荧光。液烃包裹体占5%左右,气液烃包裹体占65%左右,气烃包裹体占30%左右。与前两期包裹体类型相比,晚期包裹体出现气烃包裹体,同期次的碎屑石英裂隙中的含烃盐水包裹体均一温度为171~174℃,平均为173℃。

从成岩作用分析,这3期包裹体均形成较晚,中、晚期包裹体均一温度高于150℃,是天然气主要运移成藏期形成的。杜寨地区濮深12井所测包裹体层位为 E_{s3}^3 段,中期均一温度为152℃,东濮凹陷古地温梯度为每百米3.0~4.2℃,结合埋藏图及包裹体均一温度分析,濮深12井 E_{s3}^3 段(4808.69 m)天然气藏注入时期约为28~20 Ma;晚期包裹体均一温度平均值达173℃,东濮凹陷杜寨地区东营组沉积末剥蚀厚度小于再沉积厚度且今地温高于古地温,天然气注入时期应为2 Ma以来。

1.3.2 白庙地区

白庙地区白11井所采样品中,B11-1为含油粉砂岩,B11-2为含气粉砂岩。包裹体形成期共分3期:早期赋存于碎屑石英中,均属液态包裹体;中期赋存于碎屑矿物中,液烃呈灰褐黄色,气烃呈灰黑或深灰色,同期含烃盐水包裹体均一温度为122~126℃,平均124℃;晚期赋存于碎屑矿物及胶结物中,液烃、气液烃及气烃3种包裹体均有,在白11井B11-2样品中,气烃包裹体占40%。同期次的碎屑石英中次生含烃盐水包裹体均一温度为135~141℃,平均为138.5℃。

从包裹体均一温度与深度关系来看,白庙地区晚期包裹体均一温度明显高于现今地层温度,中期包裹体均一温度与现今地层温度接近。从埋藏史及古地温演化与均一温度的关系判定,天然气于27~20 Ma注入储层。晚期包裹体均一温度138.5℃高于现今地层温度。因此可以判定天然气来自于邻区更深部位,天然气第二次注入时期应为2 Ma以来。

白庙地层其余井层位较浅,白10井(3070 m, E_{s3}^1)、白9井(3443.3 m, E_{s3}^2)、白52井(3201.2 m, E_{s3}^1),所有样品均见3期包裹体,其中早、中期包裹体主要为液烃及气液烃包裹体,缺乏气烃包裹体,同期形成的含烃盐水包裹体均一温度普遍较低。该期包裹体的形成时期应为油注入时期。而晚期包裹体见3种形式包裹体,分别为液烃、气液烃、气烃包裹体,气烃包裹体最高达30%,同期形成的含

烃盐水包裹体均一温度为112~127℃,平均为120℃。晚期包裹体形成时期应代表了油气注入时期。由埋藏史图及古地温判定,油气注入为25~20 Ma及2 Ma以来。

1.3.3 桥口地区

构造东翼李屯反向屋脊断块区桥24井(井深4072 m,层位 E_{s3}^3)、桥25井(井深4696.2 m,层位 E_{s3}^4)两口井两块样品均见3期包裹体。

桥24井 E_{s3}^3 段,早期包裹体均为液烃包裹体。中期油气包裹体赋存于碎屑矿物中,属次生包裹体,液烃包裹体占40%左右,气液烃包裹体占60%左右。同期次的含烃盐水包裹体均一温度为128~134℃,平均为131℃。晚期油气包裹体发育程度极高,赋存于碎屑矿物及胶结物之中,液烃包裹体占10%左右,气液烃包裹体占70%左右,气烃包裹体占20%左右。同期次含烃盐水包裹体均一温度为148~153℃,平均为150℃。

桥25井 E_{s3}^4 段,早期均为液烃包裹体,赋存于碎屑矿物中,均一温度为134~139℃,平均136℃。中期油气包裹体发育,赋存于碎屑矿物及胶结物中。液烃包裹体占20%左右,气液烃包裹体约占60%,气烃包裹体约占10%。同期次分布于碎屑石英中的次生含烃盐水包裹体均一温度为149~154℃,平均151℃。晚期油气包裹体较为发育,气液烃包裹体约占30%,气烃包裹体约占70%。同期次发育的含烃盐水包裹体均一温度为168~173℃,平均为170℃。

从以上包裹体分析来看,中、晚期包裹体均一温度高,特别是 E_{s3}^4 大于150℃,出现了气烃包裹体,随着深度加深, E_{s3}^4 层段晚期包裹体中气烃包裹体增加,占到包裹体的70%。上述结果表明中、晚期油气包裹体形成时期代表了天然气两次注入时期。从现今地温与包体测温结果来看,晚期包裹体均一温度与现今地层温度接近,表明晚期包体形成较晚。根据埋藏史图与地温演化的关系图判定, E_{s3}^3 和 E_{s3}^4 段天然气注入时期有两期,一期为25~20 Ma,另一期为2 Ma以来。

杜桥白地区油气包裹体测温分析表明,杜桥白地区深层 E_{s3}^3 、 E_{s3}^4 层段中,晚期含烃盐水包裹体均一温度普遍大于150℃,且集中在150~160℃及170~180℃两个区段,结合埋藏史及热史判断天然气注入储层时期主要分为两个大的时期,早期为28~20 Ma,晚期为2 Ma以来,早期相当于东营晚

期-馆陶早期,晚期相当于第四纪以来。杜寨、桥口、白庙地区相比而言,杜寨地区天然气注入时期较白庙、桥口地区稍早。从包裹体测温结果来看,白庙地区晚期包裹体均一温度均高于现今地层温度,表明白庙地区晚期成藏的油气主要由邻区运移而来,并非本区生成的,更进一步证实了白庙地区油气特别是天然气来自前梨园洼陷更深部位的结论。

2 形成期次及其变化规律

上述3种方法确定的油气藏形成时期有一定差异,伊利石测年法确定的是油气藏形成的最早时期,因此测定结果相对早一些,但对于油气藏形成后天然气再继续注入的时期却不好确定;饱和压力法确定的油气成藏期较晚;包裹体测温法可根据不同时期形成的油气包裹体确定天然气不同注入时期,特别是晚期形成的油气包裹体。

综合3种方法分析可以看出,杜桥白地区天然气藏形成时期主要分为两个大的形成阶段:第一阶段大约在30.4~18.4 Ma间,相当于东营期-馆陶期早期。按照中原油田研究结果,东营组与馆陶组之间剥蚀期在27~17 Ma,第一阶段天然气成藏时期年龄绝大部分都落入了剥蚀期年龄段,少部分落入了东营组沉积时期,这说明东营组沉积时期及以后的剥蚀期,是天然气藏的最主要形成时期。这主要是因为抬升剥蚀造成地层压力下降,有利于天然

气成藏。第二阶段为第四纪以来,一方面,前梨园洼陷及葛岗集洼陷继续生气,生成的天然气向杜寨、桥口、白庙构造运移,聚集成藏;另一方面,第一阶段形成的气藏重新调整。第二阶段白庙地区与杜寨、桥口地区天然气藏的区别在于白庙地区馆陶组沉积以来为欠补偿状态,白庙地区本身无二次生气过程。第二阶段成藏的天然气主要来源于前梨园洼陷及葛岗集洼陷二次生成的天然气。杜寨、桥口地区馆陶组沉积以来为超补偿状态,本身也可二次生气。东濮凹陷埋藏史、构造演化史、成烃演化史研究表明下第三系生油层具有两次成气期,第一次主要为东营期,第二次为馆陶期-第四纪。天然气两大成藏期与两次生气期基本一致。

杜桥白地区深层天然气成藏期分为两大阶段,其中东营-馆陶组早期最为重要,且伊利石测年法主要确定的是这一成藏期次,以下主要以伊利石测年结果来分析第一阶段成藏期分布规律。从杜桥白地区天然气成藏期分析结果来看,纵向上层位越新,成藏时期越新(晚),层位越老,成藏时期越老(早)(图2)。如白庙地区 Es_3^4 和 Es_3^3 段气藏主要成藏期为38~25 Ma,而 Es_3^2 和 Es_3^1 段气藏主要成藏期在25.0~20.4 Ma。但也有例外,如白庙的白14井 $Es_2^下$ 段成藏期为25 Ma,比白9井 Es_3^2 段油型气成藏期20.4 Ma早。白14井为混合气,可能与煤成气沿深断裂上来^[15],较早进入 $Es_2^下$ 成藏有关(图3)。

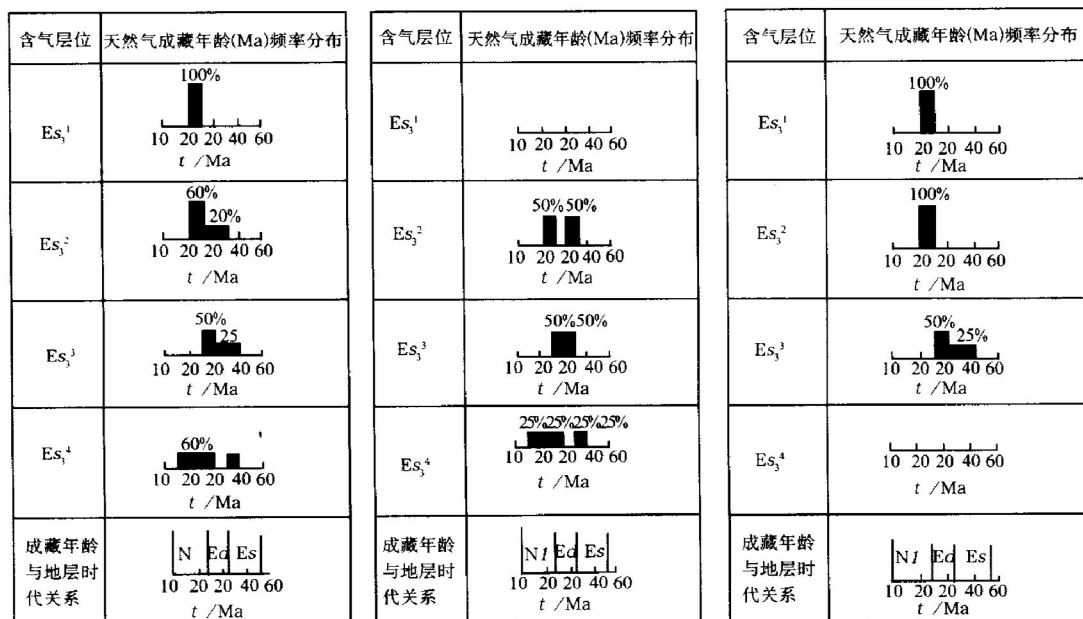


图2 杜桥白地区天然气成藏时期与层位关系图

Fig. 2 Relationship between the formation stages and layers of natural gas reservoirs in Duqiaobai area

石炭-二叠系烃源岩在东营组沉积时期具有二次成气过程,形成的煤成气本身可通过兰聊深断裂快速运移至浅部 $Es_2^{\text{下}}$ 成藏,东营组沉积时期构造运动也较为强烈^[16]。

白庙地区天然气成藏期总体上具有北早、南晚,西早、东晚的特点,以杜寨断裂为界分为两大成藏区块。杜寨断裂以西成藏早, Es_3^3 段成藏期为 38.0~ 31 Ma。杜寨断裂以东成藏晚, Es_3^4 和 Es_3^3 段成藏期为 28~ 25.4 Ma, Es_3^2 和 Es_3^1 成藏期为 25~ 20.4Ma, $Es_2^{\text{下}}$ 段成藏期为 25 Ma。杜寨断层是前梨园洼陷生成的天然气向白庙构造运移的主通道,白

庙地区次级断裂是天然气运移的次级通道。

从平面上看杜寨地区天然气成藏最早, Es_3^3 段为 43.0~ 25.4 Ma, 桥口、白庙地区天然气成藏较晚, 桥口 Es_3^4 和 Es_3^3 段为 37.8~ 18.4 Ma; 白庙地区 Es_3^4 和 Es_3^3 段为 38~ 25.4 Ma。天然气成藏时期分布具有杜寨早, 白庙、桥口晚的规律。前梨园洼陷的天然气首先沿杜寨断层主通道向白庙地区运移, 再沿白庙构造次级断层运移成藏。桥口构造东翼地垒断块区天然气来自前梨园洼陷, 桥口构造东翼李家屯反向屋脊断块区天然气来自葛岗集洼陷。

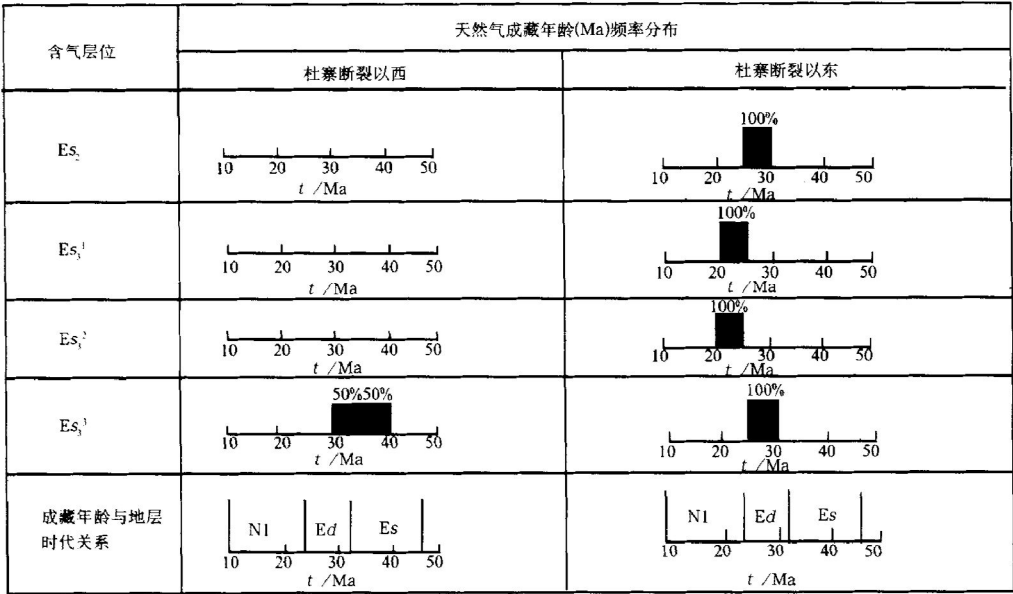


图 3 白庙地区油气藏形成年龄与层位关系图

Fig. 3 Relationship between the formation stages and layers of natural gas reservoirs in Baimiao area

3 结论

(1) 多种方法分析表明, 杜桥白地区天然气藏主要形成时期分为两个大的阶段: 第一阶段大约在 30.4~ 18.4 Ma 间, 相当于东营组-馆陶组早期; 第二阶段为第四纪以来。

(2) 除靠近兰聊断裂带的白庙地区外, 杜桥白地区深层层位越新, 天然气成藏时期越新(晚), 层位越老, 成藏时期越老(早)。

致谢: 感谢中原油田分公司勘探开发科学研究院领导及各科室的大力支持!

参 考 文 献

1 朱家蔚, 袁政文, 王生朗. 前梨园洼陷杜寨超压致密气藏储集层特征及富集因素. 见:《天然气地质研究论文集》编委会编. 天然

气地质研究所文集[C]. 北京: 石油工业出版社, 1989

2 许化政. 白庙气田天然气分布的控制因素[J]. 天然气工业, 1990, 10(2): 12~ 16

3 寿建峰. 桥口、白庙地区油气分布与成藏模式[J]. 天然气工业, 1994, 14(1): 14~ 17

4 李明诚. 石油与天然气运移[M]. 北京: 石油工业出版社, 1994

5 郝芳, 邹华耀, 姜建群. 油气成藏动力学及其研究进展[J]. 地学前缘, 2000, 7(3): 11~ 17

6 Hamilton P J, Kelly S, Fallick A E. K- Ar dating of illite in hydrocarbon reservoirs[J]. Clay Miner, 1989, 24: 215~ 231.

7 Liewig N, Clauer N, Sommer F. Rb- Sr and K- Ar dating of clay diagenesis in Jurassic sandstone oil reservoir, North Sea[J]. AAPG Bull, 1987, 71: 1 467~ 1 474

8 马团校, 任战利. 伊利石 K- Ar 定年法确定油气成藏期研究进展[J]. 西北地质科学, 1998, 19(2): 61~ 64

9 王飞宇, 何萍, 张水昌, 等. 利用自生伊利石 K- Ar 定年分析烃类进入储层的时间[J]. 地质论评, 1997, 43(5): 540~ 545

10 任战利. 中国北方沉积盆地构造热演化史[M]. 北京: 石油工业

出版社, 1999

- 11 任战利. 中国北方沉积盆地热演化史与油气关系研究[J]. 地球学报, 1999, 20(增刊): 489~494
- 12 王立志, 冯石, 王世成. 用磷灰石裂变径迹法分析研究东濮凹陷白庙地区的热历史[J]. 石油勘探与开发, 1994, 21(5): 38~43
- 13 任战利. 中国北方沉积盆地热演化史的对比[J]. 石油与天然气地质, 2000, 21(1): 33~37
- 14 任战利, 赵重远. 中生代晚期中国北方沉积盆地地热梯度恢复及对比[J]. 石油勘探与开发, 2001, 28(6): 1~4
- 15 朱家蔚, 徐永昌, 申建中, 等. 东濮凹陷天然气氦同位素特征及煤成气判识[J]. 科学通报, 1984, (1): 41~44
- 16 许化政. 东濮凹陷煤系有机质地化特征及生烃演化模式[J]. 石油实验地质, 1987, 9(2): 87~97

FORMATION STAGES OF NATURAL GAS RESERVOIRS IN DUQIAOBAI AREA OF DONGPU DEPRESSION

Ren Zhanli^{1,2} Feng Jianhui^{3,4} Cui Junping^{1,2} Ren Laiyi⁴

(1. *The Key Laboratory of Continental Dynamics, the Ministry of Education, Northwest University, Xi'an, Shaanxi*; 2. *Department of Geology, Northwest University, Xi'an, Shaanxi*; 3. *Institute of Geochemistry, the Chinese Academy of Sciences, Guangdong*; 4. *Zhongyuan Oil field Branch Company Ltd. SINOPEC, Nanyang, Henan*)

Abstract: The results of isotope dating of illite in hydrocarbon reservoirs and testing results of saturation pressure and homogenization temperature of fluid inclusion indicate that natural gas reservoirs in Duoqiaobai area of Dongpu depression can be mainly divided into two mega- stages; The first stage is about 30.4–18.4Ma corresponding to the early sedimentary stage of Dongying–Guantao Formation, the chief formation stage of natural gas reservoirs. The most of this stage is in correspondence with the erosion stage of 27–17Ma which is favorable for the formation of natural gas reservoirs due to the reduction of erosion stratum pressure. The second stage is equivalent to the Quaternary (since 2Ma), this stage is on one hand for adjustment of the formed natural gas reservoirs, on the other hand for continuously injection of the secondary crop gas. The characteristics of formation of natural gas reservoirs in Duqiaobai area of Dongpu depression is in general with the newer of layer, the later of gas reservoirs forming and the older of layer, the earlier of gas reservoirs forming. The formation stage of natural gas reservoirs in Duqiaobai area is earlier in comparison with that in Qiaokou and Baimiao area.

Key words: dating of illite; inclusion; natural gas reservoir; formation stage; Dongpu depression