

天然气地质学

松辽盆地南部长岭断陷 CO₂ 成因与成藏期研究

米敬奎¹, 张水昌¹, 陶士振¹, 刘 婷¹, 罗 霞²

(1. 中国石油勘探开发研究院, 北京 100083; 2. 中国石油勘探开发研究院廊坊分院, 河北 廊坊 065007)

摘要:长岭断陷是松辽盆地最主要高含油气区域, 目前发现的天然气控制储量超过 2 000 亿 m³。从长岭断陷高含天然气的地球化学特征入手, 通过对储层包裹体中气体的组成和碳同位素的分析, 并结合区域地质和构造历史的研究指出: 长岭断陷的 CO₂ 为无机慢源成因, 目前已知的 CO₂ 气藏成藏时间是在新生代晚期, 而不可能是营城组火山岩在后期缓慢脱气形成; 储层中不发育包裹体的原因有 2 个, 一是 CO₂ 的充注速度快, 包裹体来不及生长, 二是在 CO₂ 充注以前, 储层已经被烃类气体所饱和, 缺水的储层地质环境, 不适宜包裹体的形成。

关键词:松辽盆地; 长岭断陷; CO₂ 成因; 成藏时间; 包裹体; 气体同位素

中图分类号: TE132.3

文献标识码: A

文章编号: 1672-1926(2008)04-0452-05

长岭断陷位于松辽盆地的南部, 是一个发育在海西期褶皱基底之上, 以火山岩—陆相沉积为主的断陷盆地(图 1)。长岭断陷是松辽盆地南部主要的含油气区域, 主要的含油气层位为白垩系。松辽盆地内白垩系从上到下共分为明水、四方台、嫩江、姚家、青山口、泉头、登娄库、营城和沙河子共 9 个组。从层位上讲, 泉头组二段以下(包括泉二段)为深层, 其上为浅层。近几年来, 随着松辽盆地深层天然气勘探的重大突破, 深层天然气已经成为整个松辽盆地天然气勘探的重要领域。但在盆地南部的长岭断陷内, 除了烃类气体以外, 还发现了大量的 CO₂ 气体。CO₂ 气藏主要分布在红岗、乾安和长岭 3 个区域, 其中, 在红岗和乾安 2 个区域发现的 CO₂ 主要分布在浅层的泉三段、泉四段以及青山口组的砂岩中。2006 年在长岭断陷深层的几口探井中发现了大量的 CO₂, 其中长深 2 井、长深 4 井、长深 6 井、长深 7 井营城组火山岩储层中 CO₂ 含量达 98%。就是在以烃类气体为主的长深 1 区块, CO₂ 的含量也高达 20%~30%。大量 CO₂ 的发现对下一步长岭断陷乃至整个松辽盆地烃类气体的勘探和开发都带来了很大的困难。本文欲通过对长岭断陷 CO₂ 成因与成藏期的研究, 以期为进一步在该区域乃至整

个松辽盆地深层寻找烃类气体时能有效地避开高含 CO₂ 区域起到一定的指导作用。

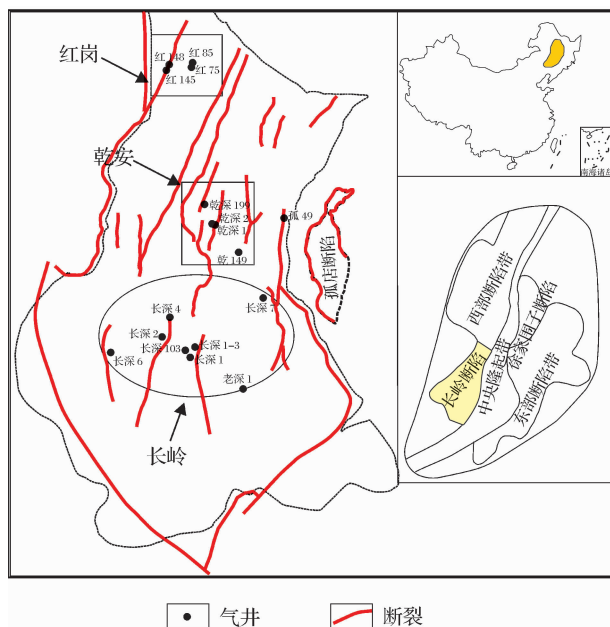


图 1 研究区位置

1 长岭断陷 CO₂ 的成因

国内外的许多研究成果表明: 利用 CO₂ 碳同位

素组成和 CO₂ 含量可以很好地判识 CO₂ 的成因^[1-4]。当 $\delta^{13}\text{C}_{\text{CO}_2} > -8\text{‰}$ 时,CO₂ 为无机成因,且 CO₂ 的含量一般大于 60%;而当 $\delta^{13}\text{C}_{\text{CO}_2} < -10\text{‰}$ 时,CO₂ 为有机成因,且 CO₂ 的含量一般小于 20%;当 $\delta^{13}\text{C}_{\text{CO}_2}$ 介于 $-8\text{‰} \sim -10\text{‰}$ 之间时,CO₂ 则可能是混合成因。表 1 是松辽盆地长岭断陷代表井中天然气的地球化学特征。气体的组成和 CO₂ 的碳同位素特征表明长岭断陷中高含量的 CO₂ 是无机成因。

无机成因 CO₂ 又可以分成 2 种:①碳酸盐岩热分解形成的 CO₂;②幔源 CO₂。无机幔源 CO₂ 的碳同位素值为 $-6\text{‰} \pm 2\text{‰}$,而碳酸盐岩热分解形成

CO₂ 的碳同位素值为 $0 \pm 3\text{‰}$ ^[1-2],由于这 2 种成因 CO₂ 的碳同位素值相互重叠,利用 CO₂ 的碳同位素不能区分这 2 种无机成因的 CO₂,但利用与 CO₂ 伴生的稀有气体——氦的同位素可以区分这 2 种成因的 CO₂,碳酸盐岩热分解成因中伴生的氦表现出壳源氦的同位素特征, $R/R_a < 0.1$ (其中 R 为样品 $^3\text{He}/^4\text{He}$, R_a 为标准大气中的 $^3\text{He}/^4\text{He} = 1.4 \times 10^{-6}$),我国莺歌海盆地的 CO₂ 就是典型的碳酸盐热分解成因^[3]。而幔源氦的同位素非常重, $R/R_a > 1$ ^[4-6]。长岭断陷气体中 R/R_a 值均大于 1(表 1)。从图 2、图 3 可以看出:松辽盆地(包括长岭断陷)中高含量的 CO₂ 应是无机幔源成因。

表 1 长岭断陷代表井气体的地球化学特征

井号	层位	井深(m)	各组分含量(%)						碳同位素(‰)					R/Ra
			CH ₄	C ₂ H ₆	C ₃ H ₈	C ₄ H ₁₀	N ₂	CO ₂	CH ₄	C ₂ H ₆	C ₃ H ₈	C ₄ H ₁₀	CO ₂	
红 75-5-21	扶余	2 365.0~2 371.0	52.82	6.02	3.409		5.256	30.68	-42.1	-34.3	-31.2	-29.5	-8.0	
红 152	高台子	2 365~2 370							-51.1	-36.4	-32.3		-0.6	
乾深 2	泉 4 段	2 115~2 015	10.59	1.12	0	0.24	5.97	82.09	-35.7	-28.6	-27.5	-26.6		
乾深 11	泉 4 段	741.4~1 589.8	2.18	0.57	0.17		1.31	95.73	-30.3	-22.5	-22.1		-5.3	
乾 198	泉 4 段	2 265.6~2 268.8	2.64	0.66	0.51		0.4	95.61	-47.4	-37.6	-32.4	-29.4	-4.9	
乾 200	泉 4 段	1 350.2~2 023.6							-29.8	-23.9	-23.7	-20.7	-5.8	
乾 201	泉 4 段	1 327.6~2 007.5							-29.9	-23.9	-23.6	-20.5	-5.8	
乾 199	泉 4 段	2 268.4~2 264.4	16.85	3.23	2.14	0.98	5.58	70.4	-47.8	-37.2	-31.7	-29.7	-4.5	
长深 1	营城组	3 753.0	77.85	0.71	0.06		4.88	16.50	-20.8	-20.7			-5.3	2.06
长深 1-1	营城组	3 739.0	22.00	0.96	0.00		7.42	69.62	-22.2	-26.9	-27.0		-7.5	2.08
长深 1-2	营城组	3 838.0	18.56	0.44	0.00	0.00	3.18	77.81	-29.9	-23.8	-23.6	-20.4	-5.8	1.9
长深 2	登娄库组	3 725~3 730	4.18	0.44	0.00	0.00	1.40	93.98	-19.3	-24.6	-24.2		-6.7	
长深 2	营城组	3 791.6~3 809.0	0.90	0.00	0.00	0.00	0.57	98.53	-16.8				-6.6	4.56
长深 4	营城组	4 313~4 320	0.81	0.07	0.01	0.00	0.65	98.46						
长深 6	营城组	3 724~3 733	0.41	0.00	0.00	0.00	0.90	98.69	-25.1	-29.6	-30.6	-29.3	-6.3	3.87
长深 7*	营城组	3 557~3 563	0.45					99.45						

* 据气测数据

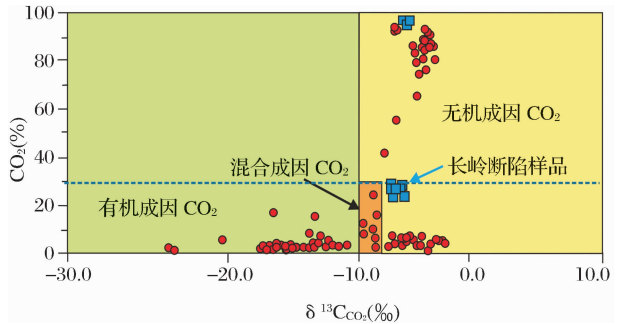


图 2 松辽盆地 CO₂ 含量与其碳同位素的关系

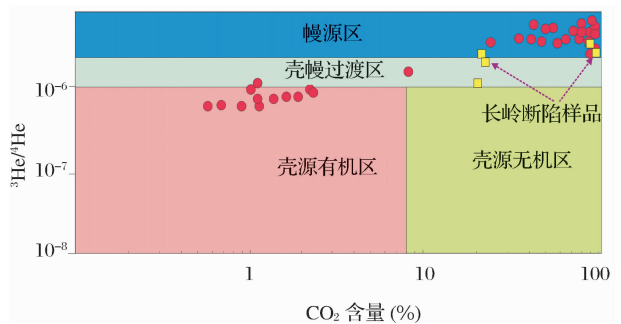


图 3 松辽盆地 CO₂ 含量与氦同位素的关系

2 包裹体中气体的成分与碳同位素特征

气藏形成以后会受到各种后期作用(如散失、水洗、混合等)的影响,气体性质会发生很大的变

化,包裹体中包含着成藏时期最原始气体,包裹体中气体的地球化学特征能更准确地反映气体的成藏信息。

油气成藏期次研究中最常用的方法是利用包裹

体的均一温度结合盆地的埋藏史和热史来确定气体的充注时间。一般来讲,任何一次油气成藏过程都会在储层中留下一些成藏的原始遗迹——流体包裹体。在CO₂气藏储层中应该有非常丰富的CO₂包裹体,但对长岭断陷高含CO₂气藏储层流体包裹体的研究结果并非如此,在含CO₂气藏储层中没有发

现CO₂包裹体。储层包裹体的主要成分是烃类气体,CO₂的含量非常低(图4),多数样品通过激光拉曼根本检测不到CO₂,这与储层气体的组成有很大的差别。不仅松辽盆地南部的长岭断陷如此,盆地北部的徐家围子断陷中一些高含CO₂气井储层中的包裹体也显示出如此的特征。

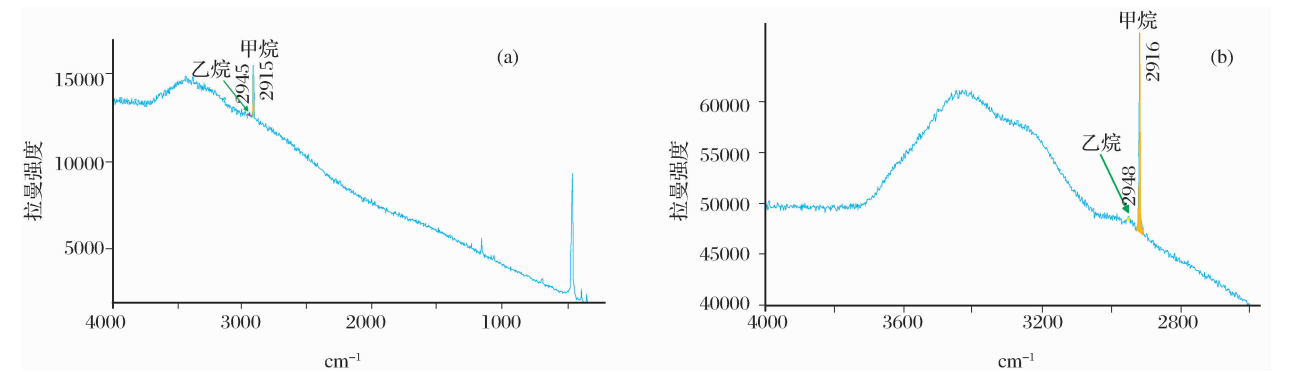


图4 代表井储层流体包裹体的激光拉曼光谱特征
(a) 长深1井,3 575 m;(b) 长深1-2井,3 502.5 m

本次研究对储层包裹体中气体的碳同位素进行了分析,包裹体中气体碳同位素的分析方法作者^[7]曾进行过详细的介绍,这里不再赘述。

本研究对松辽盆地的长岭断陷及徐家围子断陷代表井不同产状的储层包裹体中气体碳同位素进行了分析(表2)。结果表明:包裹体中烃类气体的碳同位素与气藏中的烃类气体的碳同位素一致;

而包裹体中CO₂的碳同位素与气藏中的CO₂的碳同位素值有非常大的差异。气井中高含量CO₂的碳同位素值都大于-8‰,显示出无机成因的特征。而对于包裹体来说,不论其产状如何以及其所在层位中CO₂含量高低,包裹体中气体CO₂的碳同位素值都小于-10‰(表2),显示出有机成因的特征。

表2 松辽盆地代表井储层包裹体中气体的碳同位素特征

井号	深度(m)	层位	包裹体产状	天然气碳同位素(‰)		
				C ₁	C ₂	CO ₂
老深1	3 651.8	营城组	火山岩中的方解石脉中			-14.0
老深1	2 574	登娄库组	砂岩中的石英颗粒中	-28.6		-15.6
长深1-1	3 728	营城组	火山角砾岩长英质颗粒中	-24.5		-14.7
长深1	3 574.7	营城组	火山岩石英颗粒中	-22.9		-12.7
长深1-2	3 502.1	登娄库组	砂岩中的石英颗粒中	-22.8		-14.7
长深103	3 724.9	营城组	火山岩中的方解石脉中	-24.6	-27.8	-16.5
长深103	3 731.8	营城组	火山岩中的方解石脉中	-24.2	-27.0	-18.9
芳深7		登娄库组	砂岩中的石英颗粒中	-24.3		-21.7

3 CO₂成藏期讨论

激光拉曼分析以及包裹体中CO₂的碳同位素分析表明:包裹体中包含的气体CO₂与储层中的CO₂不同源,包裹体中包含的CO₂为有机成因,而气藏中的高含量的CO₂为无机成因。这也说明包裹体中以烃类气体为主的天然气与CO₂不是同时进入储层的。

高含CO₂的气藏储层中不发育CO₂包裹体的特征也表明CO₂气体注入储层存在2种可能:①CO₂的充注速度非常快,CO₂包裹体来不及生长;②在CO₂注入储层前,储层已经被烃类气体所饱和,在无水条件下,自生矿物不能生长,包含于其中的包裹体也就不能形成。

由于目前CO₂气藏储层中缺乏CO₂包裹体,所以很难准确确定CO₂的充注时间,但是可以通过综

合分析的方法确定 CO₂ 气藏的形成时间。

松辽盆地高含量的 CO₂ 既然是无机幔源成因的,那么这些无机成因 CO₂ 的注入一定和区域构造运动和火山活动有关。松辽盆地目前发现的侏罗系以上的火山岩有 2 期:晚白垩世火成岩(100~73.5 Ma),松辽盆地广泛发育的营城组的火山岩就属于这期火山岩;新生代晚期的火山岩(31~0 Ma),这一期的火山岩在盆地的周边有广泛的发育,伊通地区以及五大连池的火山岩形成于这期火山活动。其中五大连池火山岩的最晚形成时间在 280 a 前。而在长岭地区乾 124 井也有第三系火山岩存在。

从岩性特征上讲,目前天然气的主要储层——营城组火山岩主要是喷出相。在营城组火山岩喷发过程中,由于其上部缺乏盖层,火山活动所喷出的大量 CO₂ 是不能聚集成藏的。

有人^[8-9]认为松辽盆地的 CO₂ 是营城组的火山岩在后期脱气作用中产生的。从模拟实验与地质历史的演化均可以证明:CO₂ 不可能是营城组的火山岩脱气作用形成的。图 5 是大庆油田研究院冉清昌

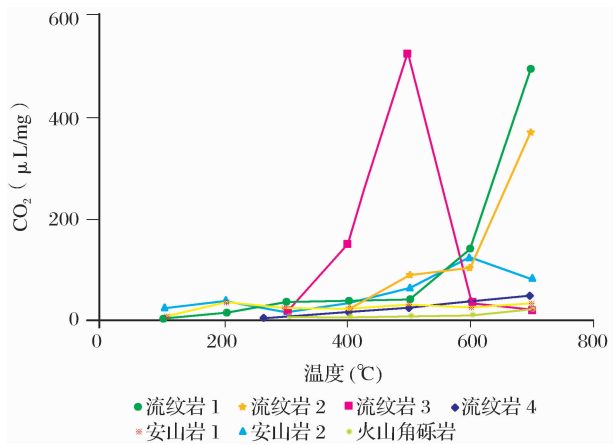


图 5 松辽盆地不同类型火山岩脱出的 CO₂ 与温度关系

博士(2007)对松辽盆地不同火山岩中 CO₂ 的脱气实验结果,从模拟实验结果可以看出:火山岩的大量脱气是在 400℃ 以后。火山岩后期要大量脱气,只有在压力降低或温度升高的情况下才能发生。但是,地质历史中都不存在这种条件。图 6 是长深 1 井的埋藏史与热史,长深 1 井中烃类气体的充注发生在 80~90 Ma,营城组的火山岩在地质历史的最高温度不可能超过 200℃,而且营城组火山岩在其形成后基本上一直处于深埋作用阶段,压力不可能降低,所以,松辽盆地目前成藏的 CO₂ 不可能是营城组火山岩后期脱气形成的,应该是晚期(古近纪以后)火山活动所伴生的 CO₂ 聚集形成的。从区域构造上讲,松辽盆地位于我国东部深大断裂带,在局

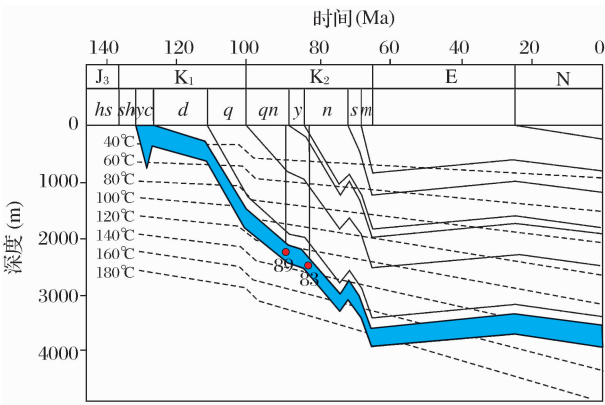


图 6 长深 1 井热史(据吉林油田,2005)

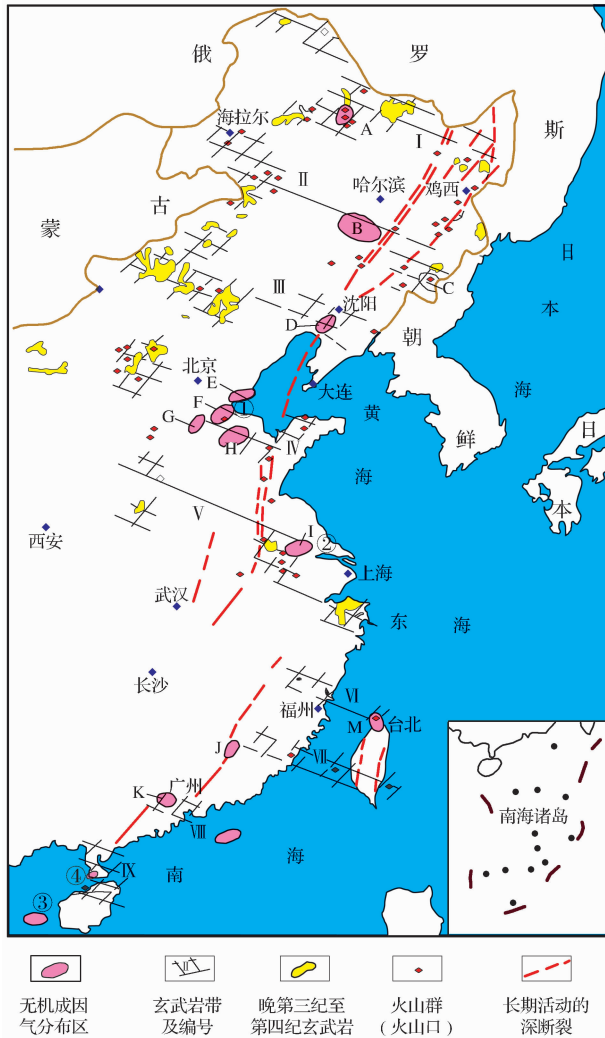


图 7 我国东部典型的二氧化碳气藏成藏时间

- ① 渤海湾盆地济阳坳陷 CO₂ 气藏成藏于新近纪^[11];
- ② 苏北盆地黄桥 CO₂ 气藏成藏于 30 Ma^[14];
- ③ 莺琼盆地东方 1-1 CO₂ 气藏成藏于 5 Ma^[15];
- ④ 海南地区福山凹陷 CO₂ 气藏成藏于新生纪晚期^[13]

部地区可能并没有发现晚期的火山岩,如在长岭断陷并不发育古近纪以后形成的火山岩,但是火山活

动所携带的 CO_2 可以沿深大断裂向上运移,在营城组、登娄库组聚集形成 CO_2 气藏。

同时 CO_2 在水中的溶解度是甲烷溶解度的 34 倍,早期的火山活动即使是有部分 CO_2 聚集成藏,也不可能被很好地保存。

另外,与松辽盆地同处在我国东部深大断裂带的几个著名 CO_2 气藏(包括渤海湾盆地、苏北盆地、莺歌海盆地)的成藏时间也非常晚(图 7)^[10-15]。所以,从区域地质的观点讲,松辽盆地的 CO_2 应该是在晚新生代以后成藏。这一观点与我们对松辽盆地 CO_2 气藏储层包裹体的分析结果也是一致的。

4 结论

(1)松辽盆地高含量的 CO_2 为无机慢源成因。

(2)储层包裹体成分以及 CO_2 碳同位素与气藏中气体的地球化学特征有很大的差别,说明气藏中的 CO_2 与包裹体中的 CO_2 不是同源的。

(3)松辽盆地(长岭断陷)的 CO_2 气藏形成于晚新生代以后。

参考文献:

- [1] 戴金星.天然气地质和地球化学论文集[M].北京:石油工业出版社,2005.
- [2] 戴金星,宋岩,戴春森,等.中国东部无机成因气及其气藏形成条件[M].北京:科学出版社,1995.
- [3] 何家雄,夏斌,刘宝明,等.中国东部陆上和海域 CO_2 成因及

运聚规律与控制因素分析[J].中国地质,2005,32(4):663-673.

- [4] 陈传平,何家雄,熊涛.莺歌海盆地浅层 CO_2 可能的岩石化学成因[J].天然气地球科学,2004,15(4):418-421.
- [5] 何家雄,夏斌,阎贫,等.莺—琼盆地多源非生物 CO_2 运聚成藏特征[J].天然气工业,2007,27(4):10-14.
- [6] 何家雄,刘全稳.南海北部大陆架边缘盆地 CO_2 成因和运聚规律的分析及预测[J].天然气地球科学,2004,15(1):12-19.
- [7] 米敬奎,戴金星,张水昌,等.鄂尔多斯盆地上古生界天然气藏储层包裹体中气体成分及同位素研究[J].中国科学,2007,37(增刊II):97-103.
- [8] 刘德良,李振生,孙岩,等.松辽盆地北部火山岩 CO_2 脱气参数及其对 CO_2 资源量估算的意义[J].高校地质学报,2006,12(2):223-227.
- [9] 李振生,刘德良,杨晓勇,等.松辽盆地北部深层 CO_2 源岩及其成矿规律[J].云南地质,2006,25(4):406-407.
- [10] 黄宝家,肖贤明.莺—琼盆地烃源岩特征及成烃演化模式[J].天然气工业,2002,22(11):26-32.
- [11] 邱隆伟,王兴谋.济阳拗陷断裂活动和 CO_2 气藏的关系研究[J].地质科学,2006,41(3):430-440.
- [12] 李趁义,樊太亮,郑和荣.阳信—花沟地区二氧化碳气藏成藏模式[J].石油学报,2004,25(1):35-38.
- [13] 李美俊,卢鸿,王铁冠,等.北部湾盆地福山凹陷岩浆活动与 CO_2 成藏的关系[J].天然气地球科学,2006,17(1):55-59.
- [14] 郭念发,尤孝忠.黄桥 CO_2 气田特征及其勘探远景[J].天然气工业,2000,20(4):14-18.
- [15] 米敬奎,帅燕华.莺歌海盆地二氧化碳气藏气体成因及成藏研究[C]//中国石油勘探开发研究院博士后研究成果论文集.北京:石油工业出版社,2004:282-287.

Genesis and Accumulation Period of the CO_2 in Changling Fault Depression of Songliao Basin, Northeastern China

MI Jing-kui¹, ZHANG Shui-chang¹, TAO Shi-zhen¹, LIU Ting¹, LUO Xia²

(1. Research Institute of Petroleum Exploration & Development, PetroChina, Beijing 100083, China;

2. Langfang Branch, Research Institute of Petroleum Exploration and Development, PetroChina, Langfang 065007, China)

Abstract: Changling fault depression is one of the gas-rich areas in the Songliao basin, north-eastern China. The probable reserve of natural gas is up to $2 \times 10^8 \text{ m}^3$. Geochemical analyses of the gas compositions in the inclusions and the carbon isotope and the study on regional geology and structural history reveal that the CO_2 in this area is mantle-derived origin and could not be from the degassification of volcanic rocks in Yingcheng formation. The accumulation period of CO_2 is in later Cenozoic. There is no CO_2 inclusions grown in reservoir rocks for two reasons. Firstly, the inclusions could not be enclosed by authigenic mineral for fast injection of CO_2 which related with volcanic event. Secondly, the CO_2 inclusion could not be formed without water in the pore space of reservoir, for the space had been full of hydrocarbon gases when CO_2 injected.

Key words: Songliao basin; Changling fault depression; CO_2 genesis; Period of gas pool formation; Isotope of inclusion gases.