

文章编号: 1000 0747(2006) 03 0351 05

松辽盆地长春岭背斜带成藏过程

魏兆胜^{1,2}, 苗洪波², 王艳清³, 李建臣², 王懋杰², 昝²

(1. 中国石油大学(北京); 2. 中国石油吉林油田公司; 3. 中国石油勘探开发研究院杭州分院)

基金项目: 中国石油重大科技攻关项目“岩性地层油气藏形成理论与勘探实践”(040112 1)

摘要: 松辽盆地东南隆起区长春岭背斜带发现了大规模的油气田。对于该背斜带的成藏过程, 前人认为来自深层的天然气首先占据了构造高部位的储集层, 来自上部烃源岩的原油只能聚集于构造低部位。通过对油气藏的成藏过程研究, 认为来自上部青一段烃源岩的油气以超压为运移动力, 以断层为运移通道, 首先占据了构造, 在盆地演化进入挤压萎缩阶段时, 长春岭背斜带的构造已形成, 深层天然气沿着同生断裂向上运移进入构造, 原油被驱到构造低部位, 原油具有明显的气洗现象。由于深层气源充足, 且油气藏曾经多次遭受破坏, 古气藏逐渐被深层气置换, 所以混合气中原油伴生气的比例很少。正是由于这样聚集过程, 形成了构造的高部位是气藏、低部位形成油环的油气分布规律。图5表2参15

关键词: 松辽盆地; 成藏过程; 气洗作用; 油气源对比

中图分类号: TE357.9

文献标识码: A

Reservoir formation process in the Changchunling anticline of Songliao Basin

WEI Zhao sheng^{1,2}, MIAO Hong bo², WANG Yan qing³, LI Jian chen², WANG Mao jie², DING Ye²

(1. China University of Petroleum, Beijing 102249, China; 2. PetroChina Jilin Oilfield Company, Jilin 138000, China;

3. Hangzhou Branch of Research Institute of Petroleum Exploration and Development, PetroChina, Zhejiang 310023, China)

Abstract: A group of oil and gas pools have been found in the Changchunling anticline, southeastern Songliao Basin. Predecessors thought that gas from deep formation occupied upper zone of the structure, and oil from upper source rock only filled the down zone of the structure. Through researching the reservoir formation, the paper indicates that oil and gas from the K₁qn₁ section source rock migrated downward with abnormal pressure and passed through fault to the structure. When the basin evolution was in the extruding shrivel period, the Changchunling anticline had taken shape. Gas in deep formation passed through fault, migrated upward and accumulated in the structure. Then oil was expelled to the down zone of the structure, the oil displayed a "gas washing" character. Because the gas in deep formation was abundant and several destruction of the reservoir caused original gas reservoir to be substituted by the gas in deep formation, the mixed gas was with little associated gas. It is such a process that leads to gas reservoir locating at the upper of the structure and oil ring appearing in the down of the structure.

Key words: Songliao Basin; reservoir formation; gas washing; oil/gas source correlation

0 引言

松辽盆地东南隆起区长春岭背斜带油气勘探始于20世纪50年代, 1994年以前以天然气勘探为主, 先后发现了长春岭、三站、四站、五站、涝洲、太平庄等气田, 提交天然气探明储量近100亿m³; 21世纪初期在构造低部位发现了规模较大的油藏。

长春岭背斜带的气藏位于构造高部位, 油藏位于低部位, 似乎是传统的成藏模式。由于同一油气藏的油、气来源不同, 有人提出, 来自深层的天然气首先占据了构造高部位的储集层, 来自上部烃源岩的原油只能聚集于构造低部位。但在勘探开发实践中, 逐渐发

现了解释不通的现象: 位于构造高部位气藏的储集层中具有一定的含油饱和度; 天然气开发井中有时会高产原油; 油藏的气顶是来自深层的煤型气, 并非原油伴生气。本文通过对油气成藏过程的研究, 阐明这些难以解释的现象的成因。

1 研究区概况

长春岭背斜带主要勘探目的层为扶杨油层, 属于三角洲前缘相带砂体, 沉积微相类型主要有水下分流河道、薄层席状砂、分流间湾, 河口坝微相砂体在本区不发育。本区构造幅度差异较大, 最高部位勘探目的层的海拔高于-500m, 最低处勘探目的层的海拔低于

-1200m, 总体形态呈马鞍型, 基本构造特征为背斜带的北坡比南坡缓, 长轴背斜的走向为北东向。

2 同一构造的油气藏中油、气不同源

2.1 油源主要来自王府凹陷的青一段

2.1.1 油源主要来自青一段, 并非深层烃源岩

根据本区的地质条件分析, 与扶杨油层原油相关的油源只能有两个: 一是扶杨油层的上覆地层青一段, 二是其下部深层的断陷期烃源岩(营城组、沙河子组)。然而二者的有机质类型和成熟度存在明显差异: 整个松辽盆地断陷期地层以煤系地层为主, 烃源岩有机质类型以Ⅱ型为主, 现今处于成熟—过成熟阶段; 而中浅层青一段沉积时期全盆地都以湖相沉积为主, 其烃源岩有机质类型以Ⅱ—I型为主, 现今处于低成熟—成熟阶段, 生气量不大, 以生油为主。

从地化指标特征以及饱和烃色谱质谱资料对比来看, 本区扶杨油层的原油与王府凹陷的青一段暗色泥岩具有亲缘关系。图1中的深层原油样品来自东南隆起区, 是深层断陷煤系地层的生烃产物, 由于母质类型差, 所以全油碳同位素普遍偏重, 而且深层原油的碳同位素与密度呈正比关系, 相关性较好; 中浅层原油的烃源岩(青山口组暗色泥岩)有机质类型好, 所以全油碳同位素偏轻, 但其全油碳同位素与密度没有正比关系。本区的2个原油样品与中浅层原油样品相似, 由此可见本区原油与青一段烃源岩密切相关。

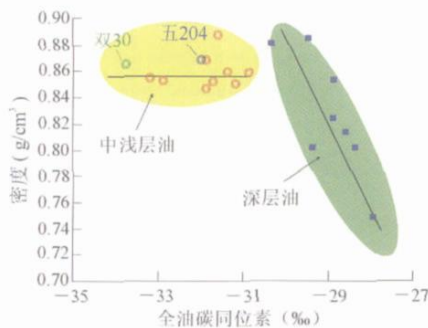


图1 原油密度与全油碳同位素交会图

2.1.2 油源来自王府凹陷, 并非来自三肇凹陷

长春岭背斜带东西两侧各有一个生油凹陷(王府凹陷, 三肇凹陷)。经过地化研究和地质分析认为, 本区的原油主要来自王府凹陷。由图2可见, 本区原油自成体系, 地化特征与朝阳沟油田朝63井、朝39井来自三肇凹陷的原油明显不同。

从地质条件分析, 三肇凹陷的原油不具备运移到本区的条件。本区扶杨油层的物源主要来自南部的长春—怀德三角洲沉积体系, 在本区主要发育水下分流

河道微相砂体和河道间湾沉积, 长条形砂体呈南西北东方向, 砂体在东西方向不连续, 砂体间发育河道间淤泥相, 油气很难由三肇凹陷运移至本区。

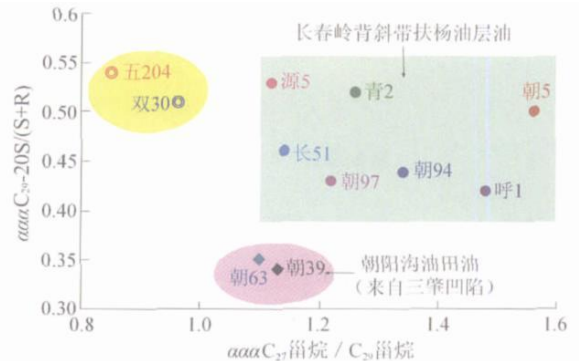


图2 原油成熟度与母质类型交会图

2.2 气源的探讨及天然气的成因类型划分

以前的研究认为本区的天然气来自深层断陷内部的烃源岩。本次研究认为, 泉三段以下气藏的气源主要来自深层, 但扶余油层的气源有两个: 主要气源是深层断陷期的烃源岩; 次要气源是中浅层的青一段烃源岩, 属于原油伴生气。

2.2.1 气源讨论

统计松辽盆地的天然气甲烷碳同位素(见表1), 发现来自深层断陷的煤型气碳同位素较重, 分布区间为-36.72‰~-13.84‰, 平均值为-28.02‰; 来自中浅层烃源岩的油型气的碳同位素则较轻, 分布区间为-76.65‰~-36.54‰, 平均值为-49.16‰。

表1 松辽盆地甲烷碳同位素值统计表

地区	层位	甲烷碳同位素(‰)			样品数
		最小值	最大值	平均值	
全盆地	深层	-36.72	-13.84	-28.02	116
	中浅层	-76.65	-36.54	-49.16	37
长春岭背斜带	泉三段	-37.96	-26.41	-30.23	30
	泉四段	-64.58	-27.82	-38.69	37

对研究区天然气的甲烷碳同位素统计结果表明, 其分布区间较宽(-64.58‰~-26.41‰), 泉三段以下储集层中的天然气甲烷碳同位素偏重, 与盆地深层煤型气特征相似, 所以可确认是来自下部深层断陷的煤成气; 泉四段储集层中3种类型天然气都存在, 是上下气源交会区, 甲烷碳同位素分布区间宽, 明显存在2个气源, 一是深层断陷生成的煤型气, 沿断层上运聚集于扶杨油层, 另一个是上覆青一段烃源岩, 属于原油伴生气。

2.2.2 天然气地球化学特征及类型的划分

本区天然气可划分为3类^[1]: ①来自深层气源的煤型气, 甲烷碳同位素分布为-33.57‰~-26.5‰;

②来自中浅层气源的天然气, 甲烷的碳同位素分布区间为 $-64.58\% \sim -48.86\%$; ③混合气, 甲烷碳同位素分布区间为 $-40.17\% \sim -34.02\%$ 。混合气的下限与浅层气间隔较大, 即缺乏甲烷碳同位素值为 $-48.86\% \sim -40.17\%$ 的样品, 但其上限与深层气的下限间隔不大, 出现这种现象的原因是混合气中深层气的成分较多。甲烷、乙烷、丙烷、丁烷的碳同位素是依次偏重的, 然而本区的天然气碳同位素反转现象普遍。

来自中浅层低熟气的甲烷碳同位素非常轻, 具有生物气的特征^[2, 3]。但本次研究认为, 甲烷碳同位素较轻的天然气是原油伴生气, 由于其母质类型好、成熟度偏低以及运移扩散作用的影响, 导致甲烷碳同位素偏轻。Fuex 等认为^[4], 运移扩散作用对甲烷碳同位素的影响不大, 但这是在扩散后压力均衡的条件下的实验结果, 如果气藏曾经遭受破坏, 压力降低, 那么运移扩散作用对甲烷碳同位素的影响将一般大于 -5% ^[5, 9]。如图3所示, 碳同位素偏轻的中浅层气源气的碳同位素值与运移指标(异己烷/正己烷)有相关性, 而以断层为运移通道的深层煤型气与运移指标无相关性, 表明来自青一段油源的伴生气经历了一定的非平衡扩散作用, 导致甲烷碳同位素发生变化。

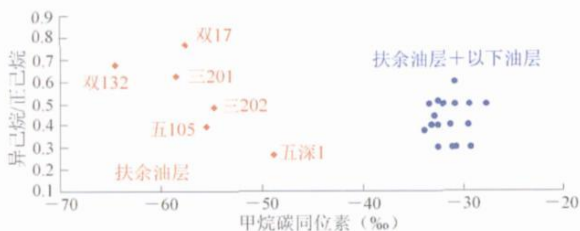


图3 甲烷碳同位素与异己烷/正己烷交会图

3 扶余油层的油藏形成时间早于气藏

3.1 青一段烃源岩生烃时间

温度是烃源岩生烃的关键。在松辽盆地演化过程中, 有3次大规模的热事件, 而且每次热事件都与大的构造事件有关。第一、第二次热事件对深层断陷的烃源岩有较大影响; 第三次热事件发生在嫩江组沉积期末—明水组沉积期末, 对青山口组烃源岩有巨大影响, 此时盆地开始萎缩, 构造应力场由拉张变为挤压, 东南隆起开始抬起, 地层由平板状变为向斜或褶皱, 遭受剥蚀, 伴有断裂产生。文献[7, 8]分别做了构造变形对有机质演化的影响研究, 结果认为构造变形可促使有机质成熟度提高。根据盆地模拟结果, 油气主要生成的地质时期是明水组沉积以后, 即第三纪初期, 该时期发生的构造事件中形成大量褶皱、断裂, 从而导致有机质

的成熟度提高, 达到大量生烃阶段。本时期生成的包裹体含烃量较高^[9], 说明该期是油气大量充注时期。

3.2 成藏时间探讨

前人认为来自深层气源的天然气首先占据长春岭背斜带的构造, 形成气藏, 青一段的原油只能占据构造低部位。但是这一观点难以解释一些地质现象, 如在构造高部位存在纯原油伴生气, 有的油藏气顶气是来自深层的煤型气, 位于构造高部位的气储集层中有一定的含油饱和度, 如三5井, 产气层的岩心含油饱和度达到22%。

本次研究认为, 青一段烃源岩生成的油气首先占据长春岭背斜带的扶余油层, 后来被来自深层的天然气驱动到构造低部位, 形成气顶, 有的气顶气是来自深层的煤型气, 在这同时发生了气洗作用。构造高部位存在的原油伴生气气藏是后期的深层气难以注入或没有断层连通情况下残存的原油伴生气藏。

证据如下:

①从成藏机制分析, 来自青一段的油气先占据构造。油气大规模初次运移一般发生在主要生油期^[10], 青一段生成的油气向扶余油层排泄发生在本区遭受剥蚀作用之前, 因为在剥蚀作用发生后, 青一段埋藏变浅, 停止生烃, 排烃的动力减弱, 所以剥蚀之前青一段烃源岩生烃作用最强, 排烃作用也最强。由于青山口组沉积早期的伸展裂隙作用^[11], 导致T₂地震界面小断层较多, 再加上青一段存在超压, 青一段生成的油气以超压为运移动力、以断层为运移通道向下运移^[12, 13], 先占据了长春岭背斜带构造的扶余油层。在构造定型时, 由于断裂进一步活动, 在断层的沟通下, 大量深层气向上运移, 储集于扶余油层中形成气藏。深层气的压力应该是很大的, 此时上部青一段生成的油气难以向下运移, 不可能聚集成藏, 所以, 扶余油层油藏的形成只能在气藏形成之前。

②存在油藏的气顶气来自深层的煤型气的现象。通过小层对比和油藏剖面分析, 发现油藏的气顶中天然气的甲烷碳同位素组成明显不同, 说明既有来自青一段的原油伴生气, 又有来自深层的煤型气。如图4所示, 三5井的气层明显是油层的气顶, 但其气顶气的甲烷碳同位素偏重(达 -29.25%), 明显是深层煤型气。油藏的气顶不是原油伴生气, 而是他源的煤型气, 这进一步证明了气驱油过程的存在。

③气储集层具有一定的含油饱和度。钻井资料证实, 在构造高部位的气藏中, 气储集层中有一定的含油饱和度, 这是油层的油被深层气驱替后残余的束缚油, 即青一段烃源岩生成的油气首先占据扶余油层, 后来

被来自深层的天然气驱到构造低部位。

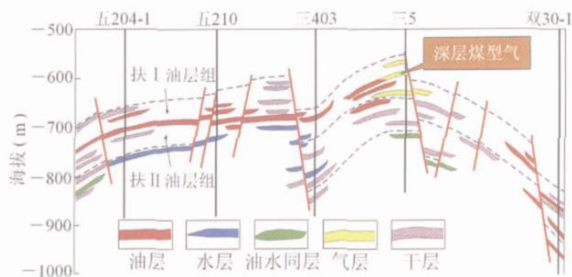


图4 临江油田双30 五204 区块油藏剖面图

④原油具有经历气洗作用的特征是气驱油过程有利证据。文献[14]通过PVT分馏实验模拟了油藏形成中气洗分馏作用,认为气洗作用对原油的影响较大,使原油的正庚烷、石蜡指数、 P_r/Ph 、重排胆甾烷/胆甾烷、甾烷 C_{27}/C_{29} 等的值明显下降,而天然气本身的碳同位素基本没有变化。本区原油也有相似特征,由于受资料限制,仅仅收集到部分地化资料(见表2), P_r/Ph 值较低,甾烷 C_{27}/C_{29} 值较低,而松辽盆地其他地区的扶余油层原油的 P_r/Ph 、甾烷 C_{27}/C_{29} 等指标的值较高(一般都大于1)。

表2 原油地化参数对比表

地区	井号	层位	$\frac{\alpha\alpha C_{29}}{20S/(S+R)}$	$\frac{C_{29}\text{甾烷}}{\beta\beta/(\beta\beta+\alpha\alpha)}$	$\frac{\text{甾烷}}{\alpha\alpha C_{27}/C_{29}}$	P_r/Ph
王府	双30	F, Y ₁	0.51	0.45	0.96	0.44
凹陷	五204	F, Y ₁	0.54	0.46	0.85	1.05
朝阳沟油田		F, Y ₁	0.43	0.39	1.30	1.26
三肇凹陷		F, Y ₁	0.53	0.38	1.13	

4 油气藏存在动态的平衡过程

天然气藏的破坏与保存是复杂的动态历史过程,当向圈闭供气的速率大于或等于圈闭中的天然气散失速率,天然气藏将被保存下来;供气的速率小于或等于圈闭中的天然气散失速率,天然气藏将被破坏。断裂对气藏的破坏本质上是断裂的产生或重新活动导致天然气的散失速率大于供气速率。

4.1 油气藏曾经遭受多次破坏,导致油气层压力偏低

本区背斜在隆起之后遭受剥蚀,构造高点最大剥蚀量为1200~1500m。地层抬升后,可能保持原深度的压力,造成地层“超压”,而且由于深层气源充足,深层气的压力较大,运移至上部储集层时,也会造成上部储集层形成超压气藏,因此,本区的油气藏在没有遭受破坏的情况下,应该具有超压现象^[15]。然而本区的油气层压力梯度普遍较低(压力系数为0.7~0.8),所以分析认为剥蚀过程造成油气散失,使储集层压力降低。

本区断裂十分发育,沟通了不同期次的河道砂体,使青一段生成的油气向下运移成为可能,规模较大的同生断层是深层气向上运移的通道,而断穿T₁-T₂地震界面的“通天”断层是油气散失、压力排泄的主要通道,如图5所示,在遭受剥蚀作用强烈的构造高部位存在两条“通天”断层。

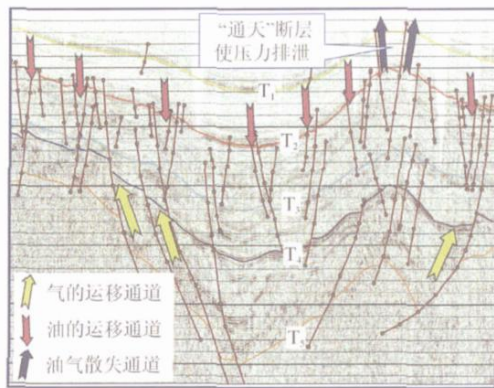


图5 油气藏形成及散失模式图

4.2 气藏的破坏与保存是复杂的动态历史过程

在古油气藏中,来自青一段泥岩的原油伴生气占主导地位,但是深层煤型气的气源充足,受嫩江组沉积期末、明水组沉积期末、四方台组沉积期末、古近纪末期、新近纪末期等多次构造运动的影响,断裂多次活动,致使下部的原生气藏遭到破坏,其中规模较大的同生断裂成为油气的运移通道,将深层煤型气输送到泉头组储集层,煤型气占据构造高部位后,将青一段烃源岩生成的油气驱到构造低部位。在这多次构造运动的过程中,在古气藏散失或泄漏的同时,深层气不断补充,使古气藏中的天然气不断被置换,变为纯深层气源的气藏,或变为以深层气源为主的混合气气藏。有些储集原油伴生气的储集层与深层气源不连通,伴生气气藏得以幸存。

5 研究成果的意义及启示

长春岭背斜带扶杨油层的油气来自王府凹陷青一段泥岩。石油和伴生气首先占据了长春岭背斜构造带的扶杨油层,但被后期深层不断充入的天然气所排挤,主要分布于构造低部位。这种气驱油的过程暗示,在研究区内构造的低部位可以形成油环,目前的勘探成果也表明具有油环存在的可能性。如果确实存在油环,那么研究区内的含油面积将进一步扩大,具有可观的勘探前景。

由于深层气源充足,且油气藏曾经遭受多次破坏,古气藏的气不断被深层气置换,所以混合气中以深层

气为主。在扶余油层中,有些原油伴生气气藏不与深层气源连通,从而得以保存下来。这一成藏过程能够给予的另一个启示就是:在发现原油伴生气气藏的地区,青一段烃源岩具备了向下排烃的可能性,其构造低部位将是油藏发育的有利区。

参考文献:

- [1] 宋岩,徐永昌.天然气成因类型及其鉴别[J].石油勘探与开发,2005,32(4):24-29. (SONG Yan, XU Yong chang. Origin and identification of natural gases[J]. Petroleum Exploration and Development, 2005, 32(4): 24-29.)
- [2] 张水昌,赵文智,李先奇,等.生物气研究新进展与勘探策略[J].石油勘探与开发,2005,32(4):90-96. (ZHANG Shui chang, ZHAO Wen zhi, LI Xian qi, et al. Advances in biogenic gas studies and play strategies[J]. Petroleum Exploration and Development, 2005, 32(4): 90-96.)
- [3] 张英,李剑,胡朝元.中国生物气低熟气藏形成条件与潜力分析[J].石油勘探与开发,2005,32(4):37-41,69. (ZHANG Ying, LI Jian, HU Chao yuan. Reservoir formation and resource potential of biogenic low maturity gases in China[J]. Petroleum Exploration and Development, 2005, 32(4): 37-41, 69.)
- [4] Fuex A N. Experimental evidence against an appreciable isotopic fractionation of methane during migration[A]. Advances in organic geochemistry[C]. Oxford: Pergamon, 1979. 725-732.
- [5] 李剑锋,马军,徐正球.鄂尔多斯盆地长庆气田天然气源及混源比研究[A].有机地球化学新进展[C].北京:石油工业出版社,2002.181-186. (LI Jian feng, MA Jun, XU Zheng qiu. Gas origin and composite origin contrast research at Changqing Gas field in Ordos Basin[A]. Organic Geochemistry Proceeding[C]. Beijing: Petroleum Industry Press, 2002. 181-186.)
- [6] Alain Prinzhofer, Marcio Rocha Mello, Tikae Taki. Geochemical characterization of natural gas: A physical multivariable approach and its applications in maturity and migration estimates[J]. AAPG Bulletin, 2000, 84(8): 1152-1172.
- [7] 周建勋.变形对有机质成熟度影响的试验初步研究[J].石油实验地质,1999,21(3):276-279. (ZHOU Jian xun. Preliminary experimental study about effect of deformation on organic maturity[J]. Experimental Petroleum Geology, 1999, 21(3): 276-279.)
- [8] Mastalerz M, Wilks K R, Bustin R M, et al. The effect of temperature, pressure and strain on carbonization in high volatile bituminous and anthracitic coals[J]. International Journal of Coal Geology, 1993, 20: 315-325.
- [9] 魏志平,毛超林,孙岩,等.松辽盆地南部大情字井地区油气成藏过程分析[J].石油勘探与开发,2002,29(3):11-12,16. (WEI Zhi ping, MAO Chao lin, SUN Yan, et al. Oil and gas accumulation process in Daqingzi region of southern Songliao basin[J]. Petroleum Exploration and Development, 2002, 29(3): 11-12, 16.)
- [10] 陈建平,陈建军,张立平,等.酒西盆地油气形成与勘探方向新认识(三)——油气运移、成藏规律与勘探方向[J].石油勘探与开发,2001,28(3):12-16. (CHEN Jian ping, CHEN Jian jun, ZHANG Li ping, et al. New opinions on oil and gas generation and exploration in Jiuxi basin(III)—Oil and gas migration, pool formation and exploration target[J]. Petroleum Exploration and Development, 2001, 28(3): 12-16.)
- [11] 胡望水.松辽盆地“T₂”断层系及青山口早期伸展裂陷[J].石油勘探与开发,1995,22(2):8-12. (HU Wang shui. “T₂” faults system and early Qingshankou stretched riftting in Songliao Basin[J]. Petroleum Exploration and Development, 1995, 22(2): 8-12.)
- [12] 查明.断陷盆地油气二次运移与聚集[M].北京:地质出版社,1997. (ZHA Ming. Oil and gas secondary migration and accumulation in fault basin[M]. Beijing: Geological Publishing House, 1997.)
- [13] 邹才能,贾承造,赵文智,等.松辽盆地南部岩性地层油气藏成藏动力和分布规律[J].石油勘探与开发,2005,32(4):125-130. (ZOU Cai neng, JIA Cheng zao, ZHAO Wen zhi, et al. Accumulation dynamics and distribution of lithostratigraphic reservoirs in South Songliao Basin[J]. Petroleum Exploration and Development, 2005, 32(4): 125-130.)
- [14] 苏爱国,张水昌,韩德馨,等.PVT分馏实验中甾、萜烷分子的行为[J].石油勘探与开发,2004,31(2):93-95. (SU Ai guo, ZHANG Shui chang, HAN De xing, et al. Behavior of sterane and terpane molecular components in PVT fractionation experiment[J]. Petroleum Exploration and Development, 2004, 31(2): 93-95.)
- [15] 查明,曲江秀,张卫海.异常高压与油气成藏机理[J].石油勘探与开发,2002,29(1):19-23. (ZHA Ming, QU Jiang xiu, ZHANG Wei hai. The relationship between overpressure and reservoir forming mechanism[J]. Petroleum Exploration and Development, 2002, 29(1): 19-23.)

第一作者简介:魏兆胜(1968),男,吉林松原人,学士,中国石油吉林油田公司勘探开发研究院高级工程师,从事石油地质综合研究,现为中国石油大学(北京)博士研究生。地址:吉林省松原市,中国石油吉林油田公司勘探开发研究院,邮政编码:138000。

联系作者:苗洪波,地址:吉林省松原市,中国石油吉林油田公司勘探开发研究院,邮政编码:138000;电话:(0438)6258897。E-mail: mchshbo@163.com

收稿日期:2005-09-20 修回日期:2006-02-21

(编辑、绘图 王孝陵)