

松辽盆地肇源地区石炭系—二叠系热演化史研究

逯晓喻¹, 黄志龙¹, 王 斌¹, 唐振兴², 贺君玲², 崔 洋², 佟 玲³

(1. 中国石油大学(北京)油气资源与探测国家重点实验室, 北京 102249;

2. 中国石油吉林油田分公司, 吉林 松原 138000;

3. 中国石油吉林油田分公司松原采气厂, 吉林 松原 138000)

摘要:松辽盆地肇源地区镜质体反射率(R_o)—深度(H)曲线在石炭系—二叠系顶部不整合面呈连续变化,表明石炭系—二叠系为后期深埋藏。通过 Suggate 标准图版确定研究区最大古地温梯度为石炭系—二叠系早白垩世抬升剥蚀前的古地温梯度。结合流体包裹体发育部位和均一温度可知石炭系—二叠系地层存在 2 期充注。研究表明,肇源地区石炭系—二叠系烃源岩后期深埋藏存在二次生烃,为二次生气有利区。

关键词:石炭系—二叠系;古地温;镜质体反射率;流体包裹体;肇源地区

中图分类号: TE122.1

文献标志码: A

文章编号: 1672-1926(2013)03-0548-07

引用格式: Lu Xiaoyu, Huang Zhilong, Wang Bin, *et al.* Research of Carboniferous-Permian thermal history in Zhaoyuan area of Songliao Basin[J]. Natural Gas Geoscience, 2013, 24(3): 548-554. [逯晓喻, 黄志龙, 王斌, 等. 松辽盆地肇源地区石炭系—二叠系热演化史研究[J]. 天然气地球科学, 2013, 24(3): 548-554.]

0 引言

松辽盆地已进入勘探成熟阶段,中浅层油气勘探已达到较高程度,深层油气成为目前油气勘探的新领域之一^[1-2]。近年来的勘探实践和研究认为,松辽盆地深层天然气仍有巨大潜力,因此松辽盆地深部地质是一个新的研究领域。松辽盆地内石炭系—二叠系的研究尚处于起步阶段,研究程度较低,根据目前已掌控的资料分析,认识到松辽盆地上古生界埋藏深度大、热演化程度高、受多期构造运动改造影响,多期生烃、多期成藏,研究及勘探难度大^[3]。

松辽盆地石炭系—二叠系主要分布在西部断陷和东部断陷区,肇源地区即位于盆地东部断陷区。肇源地区石炭系—二叠系埋深较大,本文主要从镜质体反射率(R_o)、流体包裹体、源岩热模拟实验以及单井埋藏史恢复着手,对肇源地区石炭系—二叠系古地温及剥蚀厚度进行研究,为该区深层油气勘

探提供参考。

1 地质概况

肇源地区位于松辽盆地东北部(图 1),横跨松辽盆地北区深层构造单元中央断隆区和东南断陷区 2 个一级构造单元,主要包括三肇地区和朝阳沟阶地 2 个二级构造带。

研究区内上古生界保存完整,上二叠统林西组暗色泥岩较为发育。目前,该区尚无井钻穿石炭系—二叠系,钻遇二叠系的代表井位有四深 1 井、昌 102 井和朝深 6 井等 12 口探井。其中,四深 1 井钻遇二叠系林西组厚度最大为 1 289.5m,且在林西组见到 8 层 54m 气测异常显示,预示着该区石炭系—二叠系可能存在原生气藏。

2 构造演化与后期改造

肇源地区石炭系—二叠系原始展布方向为

收稿日期:2012-11-22;修回日期:2013-03-04.

基金项目:全国油气资源战略选区调查与评价国家专项(编号:2009GYXQ12-02)资助.

作者简介:逯晓喻(1985-),女,山西阳泉人,博士研究生,主要从事油藏地球化学和油气藏形成机理与分布规律研究.

E-mail: luxiaoyu33@163.com.

NEE 向,现今为 NNE 向展布,是由于后期遭受中生代改造的结果^[4]。肇源地区石炭纪—二叠纪地层受华力西运动作用影响经历了区域隆升遭遇剥蚀,广泛缺失三叠系及下侏罗统^[5-6]。目前石炭系—二叠系之上揭示的地层主要为上侏罗统和白垩系。其中,部分地区上侏罗统发育火石岭组;白垩系分为上

白垩统、下白垩统,下白垩统自下而上划分为沙河子组、营城组、登娄库组和泉头组,上白垩统主要包括青山口组、姚家组、嫩江组、四方台组和明水组。嫩江组沉积末期和明水组沉积末期的构造运动造成上、下地层之间区域性的角度不整合,新生代以来沉积厚度较小^[7]。

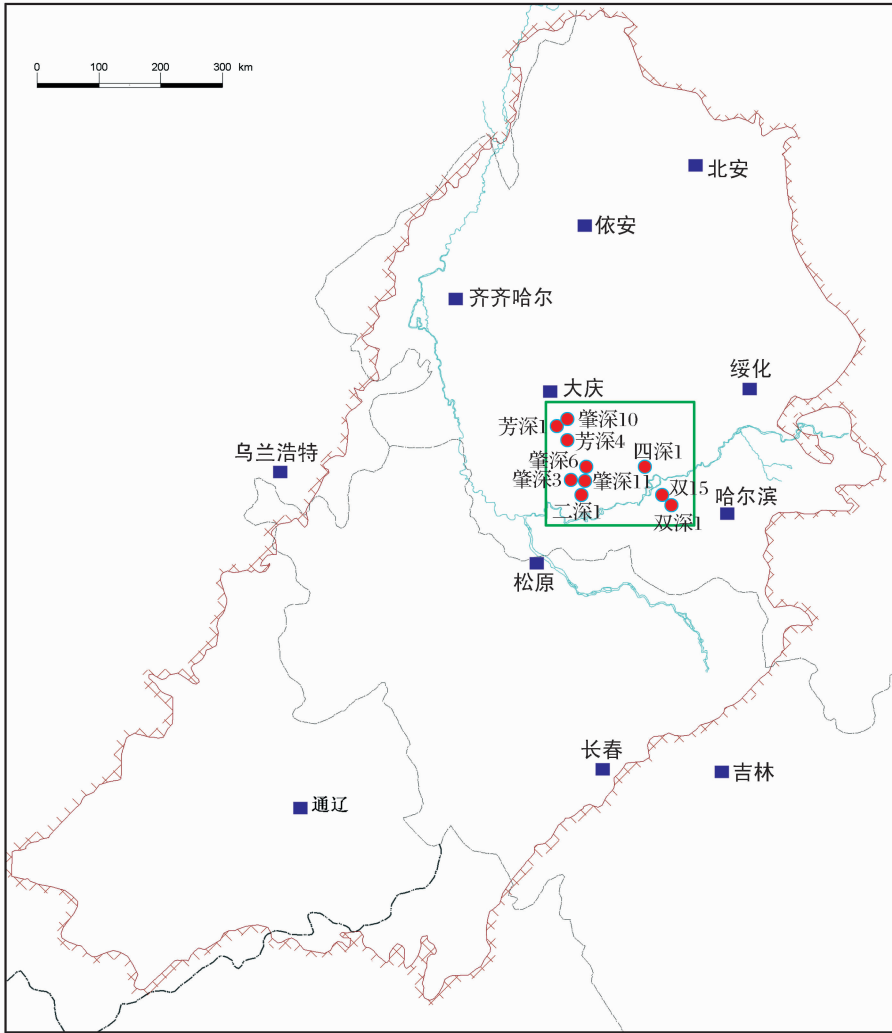


图 1 研究区位置

肇源地区石炭系—二叠系源岩有机碳含量较高。在三叠纪期间长期暴露于地表遭受剥蚀,在此之前生成的烃类很难保存,能否发生二次生烃,主要取决于后期上覆地层的沉积^[8]。从早三叠世开始,一直到晚侏罗世,石炭纪—二叠纪地层经历了挤压、褶皱、抬升和剥蚀阶段。从早白垩世至晚白垩世为断陷改造阶段^[9-11],松辽盆地东部的抬升剥蚀始于嫩江末期(约为 77Ma),且抬升剥蚀作用持续到了始新世^[12]。古近纪以来,地温逐渐降低,后期沉积

的古近纪、新近纪地层厚度较薄^[13],部分地区缺失古近纪、新近纪地层。

3 最高古地温梯度与剥蚀厚度分析

镜质体反射率可以看作最高温度指示剂。在地质条件下,最高温度持续的时间一般足够长,使得时间因素可以忽略不计^[14]。肇源地区二叠系镜质体反射率 R_0 值可达 2.1%~7.6%,普遍进入过成熟阶段,部分达到浅变质阶段^[15-17]。一般情况下,在下

覆地层热演化程度相对低的情况下,剥蚀后的地层随着上覆地层沉积厚度的增加,剥蚀面上、下的 R_o 差值越来越小,直至具有相同的变化趋势。肇源地区二叠系现今热演化程度范围较宽,大部分仍具有生烃能力。剥蚀面上、下的 R_o 值是以渐变为主,推测在二叠纪末期的热演化程度远低于现今热演化程度,随着后期中生代地层的沉积和埋深的增加,二者之间的 R_o 差值逐渐缩小直至相当。石炭系—二叠系与上覆地层呈不整合接触,由图 2 可以看出肇源地区深度约 3 500m 处的不整合面上、下 R_o 值连续变化,间断不明显,说明 R_o 值是由于埋深 H 的增大而发生变化,表明不整合面上、下古地温呈近似连续变化,且在较晚的地质时期达到。

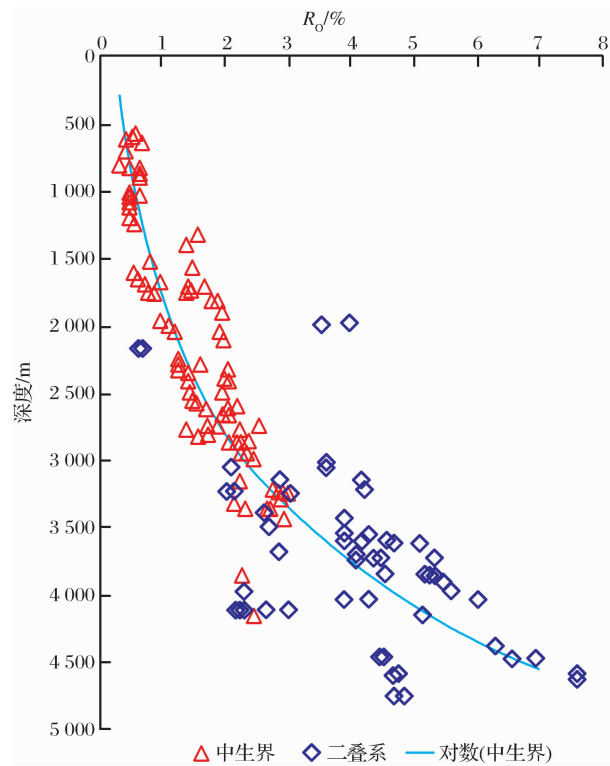


图 2 肇源地区镜质体反射率与深度关系

在无特殊的热事件(如火山活动)存在的前提下,镜质体反射率(R_o)赋值虽然取决于该地层达到的最高古地温,但是某一地层的 R_o 值随深度变化的趋势即镜质体反射率梯度 ΔR 值却是由地层所经历的最大古地温梯度决定的。其中, ΔR 值为:

$$\Delta R = \frac{R_{H_2} - R_{H_1}}{H_2 - H_1} \quad (1)$$

式(1)中: H_2 和 H_1 分别为同一地层的样品埋深,且 $H_2 > H_1$; R_{H_2} 和 R_{H_1} 分别为埋深 H_2 和 H_1 样品对应的镜质体反射率值。

地温梯度 G 与大地热流值 q 和岩石热导率 K 的

关系为:

$$G = -\frac{q}{K} \quad (2)$$

式(2)中:某一地层的岩石热导率 K 为常数;地温梯度 G 与大地热流值 q (mW/m^2)呈线性关系。

据文献[11]报道, Suggate 研究了全世界很多沉积盆地 R_o 值与深度关系后提出一个新的观点,认为镜质体反射率与深度的关系应该用双算术坐标来描述,而不是常用的半对数坐标。Suggate 还做出了埋藏深度、镜质体反射率和地温梯度之间关系的标准图版。根据 Suggate 标准图版确定肇源地区地层最高古地温梯度为 $60^\circ\text{C}/\text{km}$ (图 3)。由于松辽盆地地幔热流值在早白垩世前达到最大值为 $67\text{mW}/\text{m}^2$ [18-19],推测石炭纪—二叠纪地层在早白垩世前达到最大古地温梯度 $60^\circ\text{C}/\text{km}$ 。

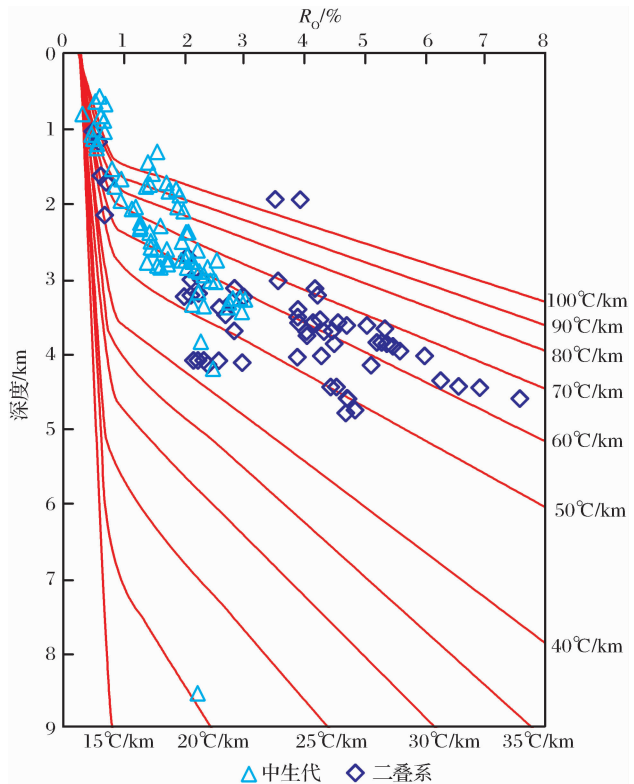


图 3 R_o 与埋深、古地温梯度标准化关系曲线

在确定了石炭纪—二叠纪地层在早白垩世前的最大古地温梯度后,我们利用流体包裹体研究肇源地区石炭纪—二叠纪地层的古地温变化。流体包裹体研究和应用是目前地球科学研究中最活跃的领域之一[20-21]。流体包裹体记载了地层所经历的整个受热地质历史中所有的温度型系,因此捕获的包裹体的均一温度与地温梯度和埋藏深度呈良好的对应关系。目前利用流体包裹体计算地层剥蚀度在国内才刚刚起步[22-23]。

岩石中包裹体具有多期性,有多组地温^[22]。每个均一温度均对应地质作用过程中的某一刻古地温^[24-25]。通过在显微镜下观察肇源地区石炭系—二叠系中的流体包裹体,主要存在以下几种类型:液相包裹体、气相包裹体、气液两相包裹体、有机烃类包裹体以及沥青质体包裹体等(图4)。从包裹体发育

部位和均一温度可以看出主要经历了2期充注(图4,表1)。结合该区构造演化过程和原生、次生流体包裹体类型,说明该区石炭系—二叠系烃源岩在晚二叠世抬升遭受剥蚀之前存在生烃过程,白垩系登娄库组沉积以来由于上覆地层沉积厚度不断增大,石炭系—二叠系烃源岩沉降增温发生二次生烃过程。

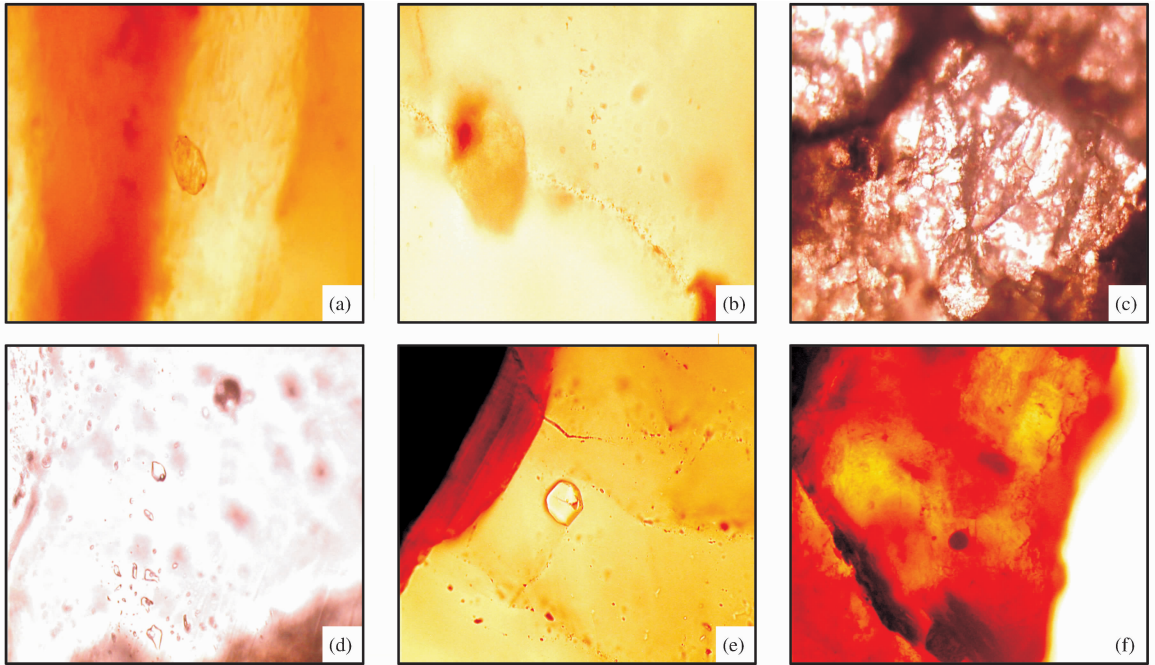


图4 肇源地区石炭系—二叠系流体包裹体特征

(a)芳深1井,3 106m,砂岩中原生含烃类包裹体,莱卡显微镜,单偏光,500倍,10×8 μ m;(b)芳深1井,3 106m,砂岩中石英加大边中的次生气液两相包裹体群,最大为5 μ m,莱卡显微镜,单偏光,500倍;(c)四深1井,4 030~4 033m,粉砂质泥岩石英颗粒中小于0.5 μ m的含烃类包裹体,莱卡显微镜,单偏光,200倍;(d)四深1井,4 030~4 033m,粉砂质泥岩石中的次生和原生气液两相体包裹体群,最大为5 μ m,莱卡显微镜,单偏光,500倍;(e)昌403井,3 247.5m,原生单一液相包裹体,莱卡显微镜,单偏光,500倍;(f)昌403井,3 247.5m,发暗红色荧光的沥青质体包裹体,莱卡显微镜,单偏光,500倍

表1 肇源地区包裹体均一温度分布特征

井号	层位	深度/m	包裹体均一温度/℃
芳深1	C—P	3 106	156、160、165、168、170、175、178、234、238、241、256、258、265、268
肇深3	C—P	2 902	92、97、126、185、189、193、197
肇深3	C—P	2 894~2 899	98、107、113、115、119、125、128、180、187、194、198
四深1	C—P	4 030~4 033	107、114、134、138、130、131、137、197、199、204、206、210
四深1	C—P	3 846~3 847	99、102、115、121、219

利用流体古地温梯度和包裹体均一温度范围计算石炭纪—二叠纪地层古地温和剥蚀厚度时,由于古地表温度较难获得,因此采用现今地表温度代替,肇源地区平均地表温度为20℃。本文研究认为石炭系—二叠系抬升剥蚀前埋藏最深时的古地温即为原生烃类包裹体的均一温度,地层在早白垩世前达到最大古地温梯度60℃/km的前提下,结合石炭

系—二叠系不整合面埋藏深度即可计算出原生流体包裹体形成时的埋藏深度。埋藏深度向上延伸至20℃(即古地表温度)温度外,这一深度即为古地表。不整合面至古地表面的距离即为地层剥蚀厚度。通过计算可知石炭系—二叠系剥蚀厚度范围为1 318~2 591m。考虑到地层压缩作用,剥蚀厚度应稍稍大于计算值。其中,肇源地区西部为中央古隆

起区,剥蚀厚度较大。东部为断陷区,剥蚀厚度相对较小。恢复的剥蚀厚度远远大于现今石炭系—二叠系顶面埋深,进一步验证了上古生界烃源岩后期深埋藏存在二次生烃过程。

4 生烃潜力及单井埋藏史分析

上古生界烃源岩能否作为有效烃源岩,主要取决于其所经历的埋藏史和热演化史,也就是在上覆地层沉积后是否能再次生烃。为了印证以上分析结果,本文对肇源地区上古生界烃源岩进行金管热模拟实验,并对代表井位四深1井进行单井埋藏史恢复。采集肇源地区上古生界烃源岩岩心样品进行生烃热模拟实验。样品为黑色泥岩,镜质体反射率 R_o 值分别为4.5%、3.9%和3.2%。

实验条件为黄金管封闭体系热压实验,50MPa恒压,从室温以 $20^{\circ}\text{C}/\text{h}$ 升温速率升至 600°C 。实验结果显示镜质体反射率 R_o 值为4.5%的黑色泥岩样品(埋深为4643m)未有烃类气体产出;镜质体反射率为3.9%的黑色泥岩样品(埋深为3820m)最终

产烃率仅有 $0.05\text{m}^3/\text{t}_{\text{TOC}}$;镜质体反射率 R_o 值为3.2%的黑色泥岩样品(埋深为3590m)最终产烃率为 $3.35\text{m}^3/\text{t}_{\text{TOC}}$;生烃热模拟实验的结果提供了定量的生烃潜力,同时提供了丰富的相关信息,结合烃源岩定性评价结果,认为肇源地区上古生界部分地区的烃源岩在中生界沉积前,具有比现在大的生烃潜力,并且有生烃贡献。

上古生界烃源岩的镜质体反射率值低于4%时,仍具有生气潜力,但潜力有限。

通过 BasinMod 盆地模拟软件对四深1井埋藏史的恢复结果显示:四深1井上古生界烃源岩早期最大埋深约为4000m,达到高一过成熟演化阶段,中生代发生长期的抬升剥蚀,剥蚀厚度约为2500m,热演化受到抑制,白垩纪开始快速深埋,最大埋深达5000m左右,烃源岩进一步演化(图5)。说明肇源地区属于后期深埋藏,深埋前的有机质丰度可能比现在高,成熟度比现在低,烃源岩可继续演化生烃。2次生烃期分别对应晚二叠世末期和晚白垩世末期。

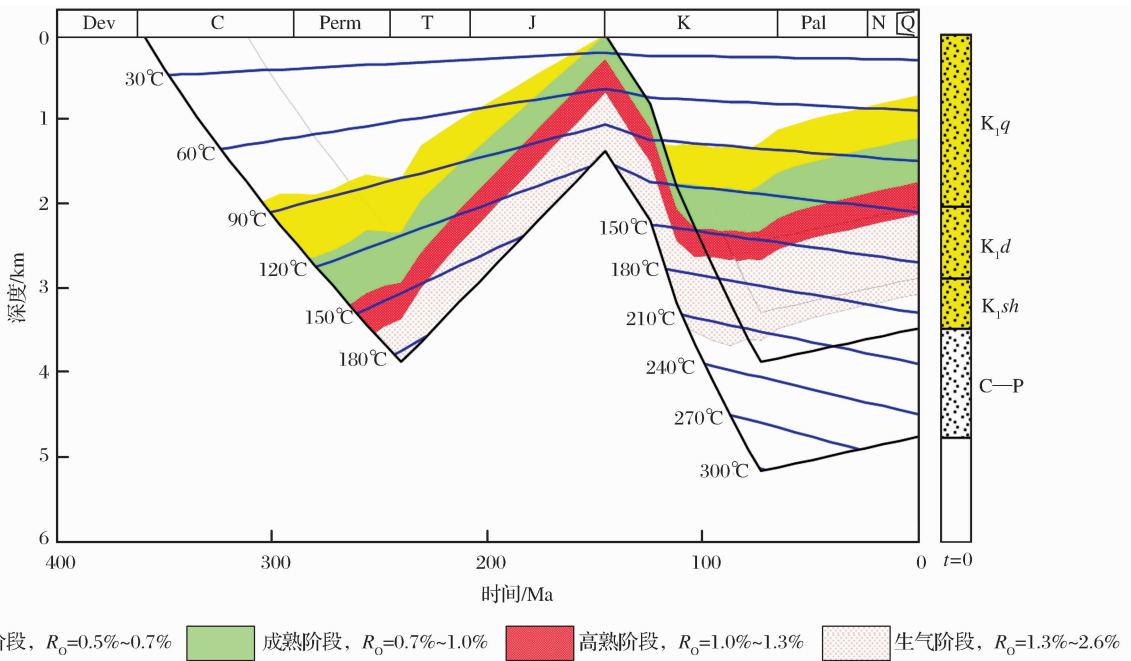


图5 肇源地区四深1井埋藏史

5 结论

(1)肇源地区中生界与二叠系 R_o 值随埋深呈连续变化,无明显间断。说明 R_o 值是由于埋深的增大而发生变化,表明不整合面上、下古地温呈近似连续变化,且在较晚的地质时期达到。

(2)由流体包裹体发育部位和均一温度可知该区石炭系—二叠系主要经历了2期充注。原生包裹体是在石炭系—二叠系抬升剥蚀之前形成的。白垩系登娄库组沉积以来由于上覆地层沉积厚度不断增大,石炭系—二叠系烃源岩沉降增温发生二次生烃过程,形成次生包裹体。

(3)不整合面约处于3 500m,流体包裹体分析和埋藏史恢复研究均表明石炭纪—二叠纪地层剥蚀厚度为2 500m左右,上古生界烃源岩后期深埋藏,结合热模拟实验分析,认为肇源地区上古生界烃源岩存在二次生烃过程。

(4)肇源地区上古生界烃源岩在中生代发生长期的抬升剥蚀,白垩纪开始快速深埋,最大埋深达5 000m。镜质体反射率小于4%时,仍具有一定的生烃潜力。因此,肇源地区为石炭系—二叠系二次生气有利区。

参考文献(References):

- [1] Wang Zhihong, Luo Xia, Li Jingkun, *et al.* Effective source rock forecasting in deep layers of northern Songliao Basin[J]. *Natural Gas Geoscience*, 2008, 19(2): 204-209. [王志宏, 罗霞, 李景坤, 等. 松辽盆地北部深层有效烃源岩分布预测[J]. *天然气地球科学*, 2008, 19(2): 204-209.]
- [2] Zou Yanrong, Wei Zhifu, Cai Yulan, *et al.* Abiogenic gas and the deep gas in the Songliao Basin; An overview and consideration[J]. *Natural Gas Geoscience*, 2009, 20(5): 657-663. [邹艳荣, 魏志福, 蔡玉兰, 等. 非生物成因气与松辽盆地深层气: 综述与思考[J]. *天然气地球科学*, 2009, 20(5): 657-663.]
- [3] Zhang Xingzhou, Zhou Jianbo, Chi Xiaoguo, *et al.* Late Paleozoic tectonic-sedimentation and petroleum resources in northeastern China[J]. *Journal of Jilin University: Earth Science Edition*, 2008, 38(5): 719-725. [张兴洲, 周建波, 迟效国, 等. 东北地区晚古生代构造—沉积特征与油气资源[J]. *吉林大学学报: 地球科学版*, 2008, 38(5): 719-725.]
- [4] Yu Hezhong, Cai Xiyuan, Han Shouhua, *et al.* Distribution of the Carboniferous-Permian and its tectonic characteristics in Songliao Basin[J]. *Geotectonica et Metallogenia*, 2003, 27(3): 277-281. [余和, 蔡希源, 韩守华, 等. 松辽盆地石炭—二叠系分布与构造特征[J]. *大地构造与成矿学*, 2003, 27(3): 277-281.]
- [5] Yun Jinbiao, Yin Jinyin, Jin Zhijun. Deep geological feature and dynamic evolution of the Songliao Basin[J]. *Seismology and Geology*, 2003, 25(4): 598-603. [云金表, 殷进根, 金之钧. 松辽盆地深部地质特征及其盆地动力学演化[J]. *地震地质*, 2003, 25(4): 598-603.]
- [6] Zhang Erhua, Jiang Chuanjin, Zhang Yuangao, *et al.* Study on the formation and evolution of deep structure of Xujiaweizi fault depression[J]. *Acta Petrologica Sinica*, 2010, 26(1): 149-157. [张尔华, 姜传金, 张元高, 等. 徐家围子断陷深层结构形成与演化的探讨[J]. *岩石学报*, 2010, 26(1): 149-157.]
- [7] Ren Zhanli, Xiao Deming, Chi Yuanlin, *et al.* Restoration of thermal history of the Permo-Carboniferous basement in the Songliao Basin[J]. *Oil & Gas Geology*, 2011, 32(3): 430-439. [任战利, 萧德铭, 迟元林, 等. 松辽盆地基底石炭系—二叠系热演化史[J]. *石油与天然气地质*, 2011, 32(3): 430-439.]
- [8] Li Jingkun, Song Lanbin, Liu Wei. Paleo-vitrinite reflectance recovery in Permo-Carboniferous Formation in north Songliao Basin[J]. *Petroleum Geology & Oilfield Development in Daqing*, 2007, 26(3): 32-38. [李景坤, 宋兰斌, 刘伟. 松辽盆地北部石炭系—二叠系古镜质体反射率恢复[J]. *大庆石油地质与开发*, 2007, 26(3): 32-38.]
- [9] Ren Zhanli, Cui Junping, Shi Zheng, *et al.* The late Paleozoic tectonic evolution and later transformation in northeast China[J]. *Oil & Gas Geology*, 2010, 31(6): 734-742. [任战利, 崔军平, 史政, 等. 中国东北地区晚古生代构造演化及后期改造[J]. *石油与天然气地质*, 2010, 31(6): 734-742.]
- [10] Li Zitong, Zhao Chunjing. Indosinian movement in northeastern China[J]. *Chinese Journal of Geology*, 1985, 19(3): 211-213. [李子彤, 赵春荆. 东北地区的印支运动[J]. *地球科学*, 1985, 19(3): 211-213.]
- [11] Wang Yu. Orggenic Processes of the Inner Mongolia-Yanshan Area in Eastern China During the End of Late Paleozoic-Mesozoic[D]. Beijing: Chinese Academy of Geological Sciences, 1994. [王瑜. 中国东部内蒙—燕山地区晚古生代晚期—中生代的造山作用过程[D]. 北京: 中国地质科学院, 1994.]
- [12] Xiang Caifu, Feng Zhiqiang, Pang Xiongqi, *et al.* Late thermal history tectonic chronology of Songliao Basin; Evidence from apatite fission track[J]. *Science in China: Series D*, 2007, 37(8): 1024-1031. [向才富, 冯志强, 庞雄奇, 等. 松辽盆地晚期热历史及其构造意义: 磷灰石裂变径迹(AFT)证据[J]. *中国科学: D辑*, 2007, 37(8): 1024-1031.]
- [13] Ren Zhanli, Xiao Deming, Ren Chiyuan. Restoration of gas generation of Permo-Carboniferous source rocks in the basement of the Songliao Basin[J]. *Progress in Natural Science*, 2006, 16(8): 974-979. [任战利, 萧德铭, 任迟元. 松辽盆地基底石炭系—二叠系烃源岩生气期研究[J]. *自然科学进展*, 2006, 16(8): 974-979.]
- [14] Suggate R P, Wang Lan. Relationship between depth, vitrinite reflectance and geothermal gradient[J]. *Offshore Oil*, 1998, 21(1): 25-32. [Suggate R P, 王岚. 埋藏深度、镜质体反射率和地温梯度的关系[J]. *海洋石油*, 1998, 21(1): 25-32.]
- [15] Bi Xianmei, Suo Shutian. A review of very low-grade metamorphism[J]. *Earth Science Frontiers*, 1998, 5(4): 302-306. [毕先梅, 索书田. 极低级变质作用的研究现状[J]. *地学前缘*, 1998, 5(4): 302-306.]
- [16] Yan Shouxun, Tian Qingjiu, Wu Junzhao. Very low-grade metamorphism and its research methods [J]. *Geoscience*, 2002, 16(1): 37-44. [燕守勋, 田庆久, 吴昀昭. 极低级变质作用及其研究方法[J]. *现代地质*, 2002, 16(1): 37-44.]
- [17] Zhang Jijun, Bi Xianmei. Diagenesis and very low-grade metamorphism and significance of oil-gas exploration [J]. *Earth Science Frontiers*, 1999, 6(2): 251-258. [张继军, 毕先梅. 成岩—极低级变质作用及油气勘探意义[J]. *地学前缘*, 1999, 6(2): 251-258.]
- [18] Ren Zhanli, Xiao Deming, Chi Yuanlin. Restoration of the palaeogeotherm in Songliao Basin[J]. *Petroleum Geology & Oilfield Development in Daqing*, 2001, 20(1): 13-15. [任战利,

- 萧德铭,迟元林. 松辽盆地古地温恢复[J]. 大庆石油地质与开发, 2001, 20(1): 13-15.]
- [19] Li Zhian. Evolutionary features of mantle heat flux in Songliao Basin[J]. Geotectonica et Metallogenia, 1995, 19(2): 104-112. [李志安. 松辽盆地地幔热流的演化特征[J]. 大地构造与成矿学, 1995, 19(2): 104-112.]
- [20] Sun He, Xiao Yilin. Fluid inclusions; latest development, geological applications and prospect[J]. Advances in Earth Science, 2009, 24(10): 1105-112. [孙贺, 肖益林. 流体包裹体研究: 进展、地质应用及展望[J]. 地球科学进展, 2009, 24(10): 1105-1121.]
- [21] Li Feng, Zhang Li, Li Shujing, *et al.* Application of fluid Inclusions to research on natural gas accumulation in the Upper Triassic of the southern part of west Sichuan[J]. Natural Gas Geoscience, 2009, 20(2): 174-181. [李峰, 张莉, 李树晶, 等. 流体包裹体在川西南部上三叠统天然气成藏研究中的应用[J]. 天然气地球科学, 2009, 20(2): 174-181.]
- [22] Liu Deliang, Tao Shizhen, Zhang Baomin. Application and questions about ascertaining oil-gas pools age with inclusion [J]. Natural Gas Geoscience, 2005, 16(1): 16-20. [刘德良, 陶士振, 张宝民. 包裹体在确定成藏年代中的应用及应注意的问题[J]. 天然气地球科学, 2005, 16(1): 16-20.]
- [23] Wang Minfang, Jiao Yangquan, Huang Chuanyan. Basic study on denuded strata recovery methods[J]. Journal of Chengde Petroleum College, 2005, 7(4): 7-11. [王敏芳, 焦养泉, 黄传炎. 地层剥蚀量恢复方法浅述[J]. 承德石油高等专科学校学报, 2005, 7(4): 7-11.]
- [24] Zhuo Qingong, Song Yan, Ni Pei, *et al.* Experiences on application of fluid Inclusion in research of reservoir[J]. Natural Gas Geoscience, 2011, 22(1): 122-127. [卓勤功, 宋岩, 倪培, 等. 油气藏研究中流体包裹体应用的几点体会[J]. 天然气地球科学, 2011, 22(1): 122-127.]
- [25] Zhao Linbin, Huang Zhilong, Gao gang, *et al.* A new method for estimating the removed thickness of sediment using homogenization temperature of fluid inclusions[J]. Journal of Xi'an Shiyou University: Natural Science Edition, 2006, 21(1): 15-20. [赵立彬, 黄志龙, 高岗, 等. 恢复地层剥蚀厚度的一种新方法——包裹体测温法[J]. 西安石油大学学报: 自然科学版, 2006, 21(1): 15-20.]

Research of Carboniferous-Permian Thermal History in Zhaoyuan Area of Songliao Basin

LU Xiao-yu¹, HUANG Zhi-long¹, WANG Bin¹, TANG Zhen-xing²,
HE Jun-ling², CUI Yang², TONG Ling³

- (1. State Key Laboratory of Petroleum Resource and Prospecting,
China University of Petroleum, Beijing 102249, China;
2. PetroChina Jilin Oil field Company, Songyuan 138000, China;
3. Jilin Oilfield Gas Production Factory, Songyuan 138000, China)

Abstract: The curve of vitrinite reflectance (R_o)-depth (H) is successive across the unconformity on top of Carboniferous-Permian strata in Zhaoyuan area, which means the Carboniferous-Permian buried deep during the later sedimentation. The maximal paleogeothermal gradient of the study area is the Carboniferous-Permian paleogeothermal gradient analyzed by R. P. Suggate standard plate. Based on the occurring positions and homogenization temperatures of fluid inclusions, there are twice hydrocarbon charges. The results show that the Carboniferous-Permian source rocks have a secondary hydrocarbon-generation after later deep burial, and Zhaoyuan area is the favorable area for secondary gas-generation.

Key words: Carboniferous-Permian; Paleogeotherm; Vitrinite reflectance; Fluid inclusion; Zhaoyuan area