

文章编号: 0253-9985(2011)03-0430-10

松辽盆地基底石炭-二叠系热演化史

任战利¹, 萧德铭², 迟元林², 任延广², 梁宇^{1,2}

(1 西北大学 大陆动力学国家重点实验室, 陕西 西安 710069)

(2 中国石油 大庆油田有限责任公司, 黑龙江 大庆 163453)

摘要: 松辽盆地北部石炭-二叠系镜质体反射率值普遍较高, 普遍大于 3.0%, 不同构造单元石炭-二叠系镜质体反射率值差异较大。松辽盆地深层石炭-二叠系基底镜质体反射率-深度关系曲线分为两种类型, 表明松辽盆地深层石炭-二叠系基底有不同的热演化过程。一种是两段型, 镜质体反射率-深度曲线在石炭-二叠系顶部不整合面上、下镜质体反射率值发生突变, 不整合面之下石炭-二叠系镜质体反射率值及古地温明显高于上覆地层, 表明石炭-二叠系最大古地温是在早白垩世登娄库组沉积之前达到的, 白垩纪以来沉积地层厚度对石炭-二叠系古地温提高及热演化程度没有影响。另一种为似线型, 石炭-二叠系顶部不整合面上、下镜质体反射率值及古地温连续变化, 表明石炭-二叠系最大古地温是在晚白垩世-渐新世之前达到的, 白垩纪以来沉积的地层厚度对石炭-二叠系古地温及热演化程度的提高有贡献。在综合分析有机质镜质体反射率、包裹体测温、裂变径迹年龄等多种参数的基础上, 对松辽盆地基底石炭-二叠系热演化史进行了恢复, 并分析了热演化史与油气生成的关系。

关键词: 裂变径迹; 古地温; 构造-热事件; 热演化史; 石炭-二叠系; 松辽盆地

中图分类号: TE121.1 **文献标识码:** A

Restoration of thermal history of the Permian-Carboniferous basement in the Songliao Basin

Ren Zhanli¹, Xiao Deming², Chi Yuanlin², Ren Yanguang² and Liang Yu^{1,2}

(1. State Key Laboratory of Continental Dynamics Northwest University, Xi'an, Shaanxi 710069 China)

(2. PetroChina Daqing Oilfield Company, Daqing Heilongjiang 163453 China)

Abstract Vitrinite reflectance of the Permian-Carboniferous in the north of Songliao Basin is generally high, usually more than 3.0%, and varies greatly in different tectonic units. The curve of vitrinite reflectance (R_o)-depth (H) of the Permian-Carboniferous basement in Songliao Basin has two types, which means that they have different thermal history. One is a two-section type. Vitrinite reflectance values change abruptly across the unconformity on top of the Permian-Carboniferous. The R_o values and paleotemperature of the Permian-Carboniferous strata under the unconformity are obviously higher than that of the overlying strata, indicating that the maximum paleotemperature of Permian-Carboniferous strata had been reached before the deposition of the Early Cretaceous Dengluku Formation. The sedimentary strata deposited since the Cretaceous have no influences on the improvement of the Permian-Carboniferous paleotemperature and thermal maturity. The other is a pseudo-linear type. The R_o values and paleotemperature vary successively across the unconformity on top of the Permian-Carboniferous strata, which shows that maximum paleotemperature of the Permian-Carboniferous strata had been reached between the Late Cretaceous and Oligocene. The sedimentary strata since the Cretaceous contribute to the improvement of Permian-Carboniferous paleotemperature and thermal maturity. Based on comprehensive analysis on vitrinite reflectance, fluid inclusion, fission-track age and so on, paleotemperature and thermal history of Songliao Basin is restored, and the relation between basin thermal history and hydrocarbon generation is analyzed.

收稿日期: 2010-09-01; 修订日期: 2011-04-01

第一作者简介: 任战利 (1961-), 男, 博士, 研究员, 博士生导师, 盆地分析与油气地质。

基金项目: 高等学校全国优秀博士学位论文作者专项资金资助项目 (200347)。

Key words fission-track, paleotemperature, tectonic-thermal event, thermal history, Permian-Carboniferous Songliao Basin

松辽盆地基底及周边地区广泛分布石炭-二叠系, 这套地层厚度大, 分布范围广, 岩性主要包括泥板岩、板岩、千枚状板岩和碳酸盐岩等。松辽盆地近年在盆地深层发现了大气田^[1], 在盆地深层基岩风化壳、基岩裂缝和上部储层中发现的天然气, 部分可能来源于石炭-二叠系, 石炭-二叠系可能是一套有效的烃源岩。因此对盆地深层及基底石炭-二叠系的研究日益引起人们的重视, 不同学者对石炭-二叠系岩相古地理、石炭-二叠系残余有机质的地球化学特征等进行了研究^[2-12]。

松辽盆地基底石炭-二叠系热演化程度差异大, 有的已达浅变质阶段, 这套地层记录了石炭-二叠纪以来的热演化信息, 加强松辽盆地深层及基底石炭-二叠系的热演化史的研究, 不仅能确定油气分布范围、深部天然气的生成时间及运移时间, 而且可为松辽盆地深层天然气勘探提供重要的依据^[10]。

自 20 世纪 80 年代以来, 松辽盆地热演化史研究已积累了大量的古温标数据 (如 R_m 、粘土矿物等) 及一定量的岩石热物理性质和大地热流数据, 对盆地现今地温场分布特征及古地温演化趋势研究取得了一些新的成果^[13-21]。以上研究为松辽盆地热演化史研究提供了十分宝贵的资料, 而且为松辽盆地热演化史深入研究打下基础。但以往研究集中在中浅层, 而对盆地深层, 特别是基底石炭-二叠系热演化史的研究就显得较为薄弱^[6-10]。

本文根据有机质镜质体反射率、包裹体测温、裂变径迹等多种参数的分析, 对松辽盆地基底石炭-二叠系热演化史进行了恢复, 并分析了热演化史与油气的关系。

1 盆地现今地温场特征

1.1 深部地热背景

松辽盆地地壳厚度较薄, 莫霍面埋深在 29~33 km 之间。莫霍面深度基本呈东北向展布, 从中间向东两侧逐渐变深, 最浅的位置在明水-安达-长岭一线, 莫霍面最浅处深度小于 29 km。莫霍面埋藏深度及分布直接控制了盆地现今地温场的分布。

松辽盆地深部为明显的地幔隆起区, 这是松

辽盆地地温梯度和大地热流值高的深部背景。根据大地热流测试结果, 在盆地中部为高热流区, 盆地其他地区热流值较低^[13]。松辽盆地大地热流值平均为 70 mW / m², 地温场具有中部高边部低, 呈环状分布的特点。莫霍面隆起、上地幔上隆及壳内高导层的存在是松辽盆地地温梯度及大地热流值高的深部原因^[13]。

1.2 现今地温分布特点及其随深度变化特征

松辽盆地平均地温梯度为 38℃ / km, 盆地中部和东部地区 30 口井的地温梯度变化在 30~61℃ / km 之间, 平均 42℃ / km, 地温梯度总体上是盆地中央地温梯度高, 向外依次降低, 大致呈一环状分布。以 35℃ / km 的地温梯度等值线包括了盆地中央拗陷的全部及沿南北方向或北北东方向的延长地带与盆地的中央隆起带大致相符。松辽盆地大庆长垣 40 多口井实测地温值研究表明地温梯度约为 40℃ / km (图 1)。

在松辽盆地中央 2 000 m 埋深盆地中央地层温度可达 90℃ 以上, 3 000 m 埋深盆地中央地层温度可达 120℃ 以上, 最高可达 150℃ 以上。

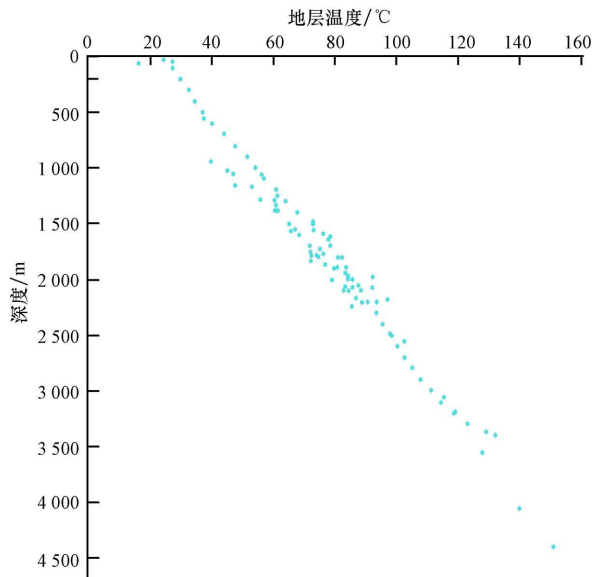


图 1 松辽盆地中央拗陷区大庆长垣地层温度与深度关系
Fig. 1 Formation temperature vs. depth of Daqing Changyuan in the central depression area of Songliao Basin

2 石炭-二叠系烃源岩热演化程度及分布

松辽盆地西缘龙江地区石炭-二叠系烃源岩镜质体反射率(R_o)可达 2.64%~3.04%,东缘阿城地区石炭-二叠系烃源岩 R_o 可达 2.02%~4.93%。盆地内部石炭-二叠系烃源岩热演化程度更高, R_o 已达 2.05%~7.60%,已普遍进入过成熟阶段,达到浅变质阶段。但热演化程度分布极不均匀,不同地区、不同构造部位,因其构造-热演化史不同,石炭-二叠系热演化程度差别较大(图 2)^[10]。在盆地内部断陷内和隆起区石炭-二叠系埋藏深度最大相差可达 5 000 m 以上,因而其热演化程度相差也较大,在盆地边缘与盆地内部其热演化程度差别大。在盆地边缘露头区,石炭-二叠系烃源岩未受白垩纪以来盆地叠加、火成岩

及断裂活动影响的地区,烃源岩成熟度相对较低, R_o 一般不会高于 2.5%。

在盆地内的西部斜坡、明水阶地、黑鱼泡凹陷、朝阳沟阶地基底石炭-二叠系与上覆白垩系 R_o 不连续, R_o 存在明显的间断。石炭-二叠系顶面 R_o 明显高于上覆白垩系 R_o 值(图 3)。明水阶地双深 4 井石炭-二叠系 R_o 仅为 2.37%;西部斜坡杜 101 井石炭-二叠系 R_o 为 5.56%,黑鱼泡凹陷鱼深 1 井石炭-二叠系 R_o 为 3.87%;朝阳沟阶地四深 1 井石炭-二叠系烃源岩成熟度 R_o 较高,最高已达 7.60%。而在盆地内的宾县王凹陷庄深 1 井石炭-二叠系 R_o 仅为 2.05%,石炭-二叠系与上覆白垩系 R_o 连续变化,不存在 R_o 间断。在长春岭背斜带、三肇凹陷、大庆长垣、古龙凹陷缺乏基底石炭-二叠系烃源岩成熟度 R_o 资料,从 R_o - H 关系判断石炭-二叠系与上覆白垩系 R_o 主要应为连续变化(图 4)。

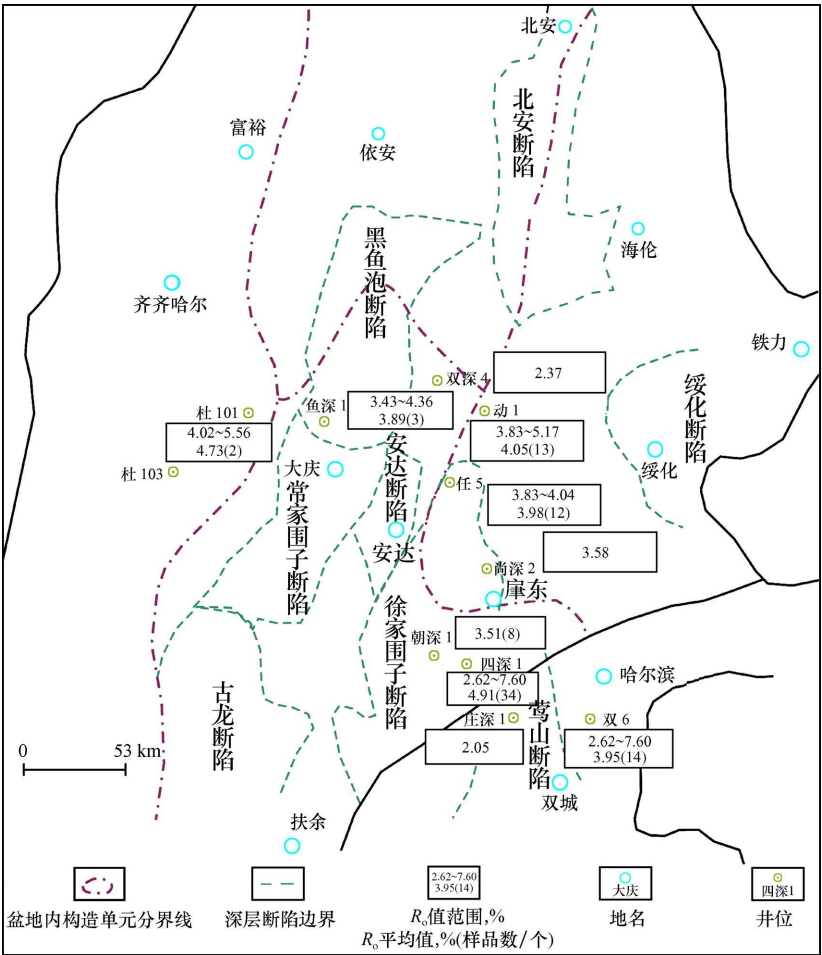


图 2 松辽盆地北部基底石炭-二叠系热演化程度分布

Fig 2 Thermal maturity distribution of the Permian-Carboniferous in northern Songliao Basin

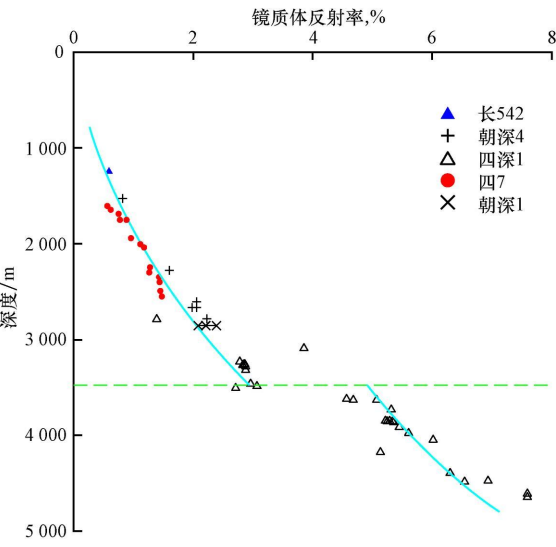


图 3 松辽盆地中央拗陷区朝阳沟阶地
镜质体反射率与深度关系

Fig. 3 Vitrinite reflectance vs depth in Chaoyanggou terrace of the central depression area in Songliao Basin

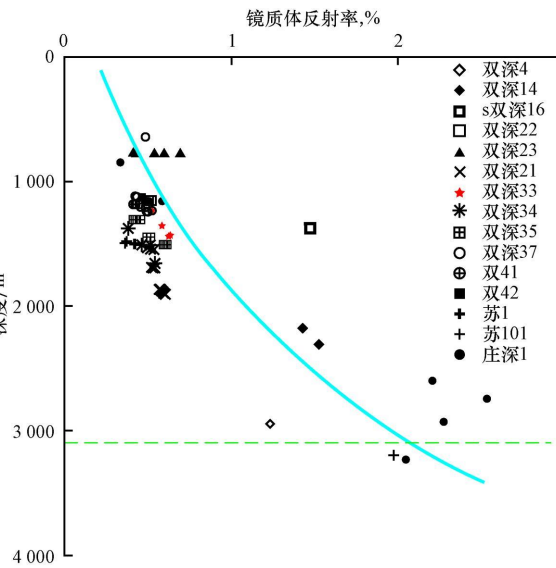


图 4 松辽盆地东南隆起区宾县王府凹陷
镜质体反射率与深度关系

Fig. 4 Vitrinite reflectance vs depth in Binxian-Wangfu depression of the Southeast uplift area in Songliao Basin

3 最大古地温恢复及形成时期分析

3.1 白垩纪古地温恢复及冷却事件的确定

现今地温场是古地温场演化的最后一幕, 是

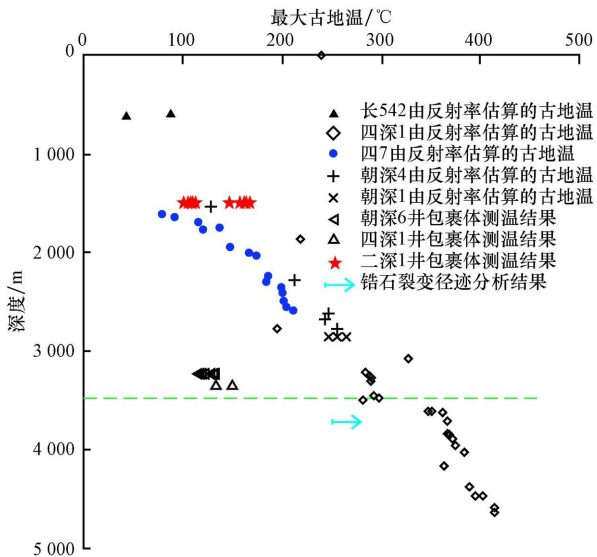


图 5 松辽盆地中央拗陷区朝阳沟阶地古地温与深度关系

Fig. 5 Paleotemperature vs depth in Chaoyanggou terrace of the central depression area in Songliao Basin

盆地古地温恢复的基础。利用 20 世纪 80 年代以来已积累起来的大量地层测温资料, 对松辽盆地现今地温场与古地温对比做进一步的分析。

我们测试了四深 1 井、杜 101 井、鱼深 1 井、达深 1 井、肇深 5 井等 12 口井的包裹体测温样品 12 块, 分析测试锆石裂变径迹 6 块。其中锆石裂变径迹分析在松辽盆地是首次应用^①。由镜质体反射率、包裹体测温、锆石裂变径迹、磷灰石裂变径迹、粘土矿物转变等资料综合判定松辽盆地白垩系的古地温高于今地温, 且随深度的增大古地温与现今地温的差值逐渐增大。萨 5 井、肇 12 井位于松辽盆地中央拗陷区, 从古今地温对比来看, 古地温明显高于今地温, 恢复的古地温梯度值在 42.6~72.5 °C /km 之间, 明显高于现今地温梯度值 31.0 °C /km。三肇凹陷肇 12 井的古地温梯度约为 42.6 °C /km, 明显高于现今地温梯度值 31.0 °C /km。三肇凹陷肇 12 井实测热导率为 2.228 W / (m · °C), 则古大地热流值为 94.91 mW / m² [19-21]。

朝阳沟凹陷多种古温标恢复的古地温表明白垩系与基底石炭-二叠系之间为古地温间断, 石炭-二叠系经历的最高古地温在 300 °C 以上 (图 5)。

从以上计算结果来看, 松辽盆地古地温梯度远高于现今地温梯度 38.0 °C /km。如果热导率按肇 12 井实测的热导率 2.228 W / (m · °C) 计

① 任战利. 松辽盆地北部深层石炭-二叠系热演化史与油气成藏期次研究. 大庆油田博士后工作站出站报告, 2002

算,则松辽盆地古大地热流值可达 $94.91 \sim 106.94 (\text{mW}/\text{m}^2)$ 甚至更高,远高于现今的大地热流值 $70 (\text{mW}/\text{m}^2)$, 因此松辽盆地热流值自白垩纪以来是逐渐降低^[19-21]。

从地层接触关系来看,中白垩世嫩江组末期与晚白垩世四方台组之间的构造运动及晚白垩世明水组末期与古近纪之间的构造运动都是十分重要的构造运动,造成了上、下地层之间区域性的角度不整合,特别是白垩纪与新生代之间的构造运动造成了盆地的隆升及剥蚀,新生代以来沉积厚度较小。

从磷灰石裂变径迹分析资料可以看出,松辽盆地 $1\,000 \sim 1\,600 \text{ m}$ 为退火带, $1\,600 \text{ m}$ 以下已进入了冷却带,记录的冷却年龄最大为 37.2 Ma , 这说明松辽盆地在 37.2 Ma 以前达到最大古地温, 37.2 Ma 以来为抬升冷却过程。由磷灰石裂变径迹分析资料结合地层接触关系可以判定松辽盆地 37.2 Ma 以来发生了一次冷却事件^{[17] ①}。

松辽盆地缺失古新世至早、渐新世的地层,中、晚渐新世依安组年龄为 34 Ma 小于记录的冷却年龄 37.2 Ma , 由此判断松辽盆地最大古地温很可能是在白垩纪晚期达到的。新生代以来,地温是逐渐降低的,虽然沉积了新生界,由于沉积厚度小,现今地温仅在浅部接近古地温,随着深度增大,古地温与现今地温差值也逐渐增大。因此对烃源岩热演化程度起控制作用的是古地温。

根据盆地构造发展史,松辽盆地早白垩世火石岭组—登娄库组为断陷发育阶段,火石岭组及营城组沉积时火成岩活动,经过登娄库组三、四段的过渡,到早白垩世泉头组转化为大型拗陷盆地,晚白垩世盆地处于萎缩阶段。以上恢复的松辽盆地古地温梯度代表了早白垩世晚期—晚白垩世热沉降拗陷阶段的古地温场特征,早白垩世拉张断陷段古地温梯度可能更高,地壳厚度也可能更薄。

综上所述,可以看出松辽盆地古地温高于现今地温,古地温梯度及古大地热流代表值在晚白垩世为 $42.6 \sim 48.0^\circ\text{C}/\text{km}$ 及 $94.91 \sim 106.94 \text{ mW}/\text{m}^2$, 古近纪以来降低到现今的 $38.0^\circ\text{C}/\text{km}$ 。松辽盆地古地温梯度高及大地热流值的确定表明松辽盆地曾有过更高的地温场背景。古地温恢复表明松辽盆地白垩系烃源岩热演化程度主要受古地温场控制,最大古地温是在晚白垩世明水组末—渐新世

达到的,新生代以来发生抬升剥蚀和大地热流值衰减、降温使生烃作用减弱或停止^[10-19]。

3.2 基底石炭—二叠纪地层的古地温恢复及演化史

松辽盆地白垩纪以来的古地温演化过程已比较清楚,而基底石炭—二叠系的古地温演化过程研究较为薄弱,镜质体反射率与深度的关系提供了盆地基底石炭—二叠系古地温演化的大量信息。

松辽盆地镜质体反射率 (R_o)—埋深 (H) 曲线可划分为两种类型,为似线型变化及两段型, R_o — H 曲线不同类型表明了不同的古地温演化过程^①。

1) 似线型变化曲线,松辽盆地宾县王府凹陷、长春岭背斜带、三肇凹陷、大庆长垣、古龙凹陷 R_o — H 曲线为似线型、石炭—二叠系与上覆地层为不整合接触,在不整合面上、下 R_o 值为连续变化 (图 4), 表明不整合面上、下古地温为连续变化。石炭—二叠系顶部不整合面上、下古地温连续变化,不存在古地温突变,石炭—二叠系顶部古地温已大于 220°C 。2) 两段型变化曲线,松辽盆地朝阳沟阶地、西部斜坡、明水阶地、黑鱼泡凹陷 R_o — H 曲线属此类。在石炭—二叠系顶部不整合面上、下 R_o 值明显错断, R_o 值在不整合面上、下存在较大差异。如在朝阳沟阶地石炭—二叠系顶部不整合面上、下 R_o 差值达到 1.61% (图 3), 不整合面下石炭—二叠系顶部锆石裂变径迹年龄小于地层年龄,锆石已发生退火,表明古地温大于 250°C (图 5); 在黑鱼泡凹陷、西部斜坡不整合面上、下 R_o 存在很大差异,不整合面下 R_o 值已达 4.00% 以上。多种古地温研究方法进行的古地温恢复也表明,不整合面上、下存在古地温突变,石炭—二叠系的古地温远高于其上伏地层的古地温,古地温已达 300°C 以上。在黑鱼泡凹陷、西部斜坡的杜 101 井、鱼深 1 井如此高的古地温不可能在正常地温场和正常埋深的情况下达到,可能是受深大断裂或岩浆活动引起的变质作用的控制,鱼深 1 井基底钻遇安山岩就是证据。古地温间断面的存在表明不整合面上、下具有不连续的古地温变化,表明在上覆白垩纪沉积前下伏石炭—二叠系已达到最大古地温值。

两段型变化曲线古地温演化过程为上覆白垩纪地层沉积前下伏石炭—二叠系已达到最大古地温值,白垩纪以来的沉积的地层厚度没有使石炭—

① 任战利. 松辽盆地北部深层石炭—二叠系热演化史与油气成藏期次研究. 2002

二叠系的古地温超过白垩纪前曾经经历过的最高古地温; 似线型变化曲线古地温演化过程为白垩纪以来沉积的地层厚度使石炭-二叠系经历的古地温超过了白垩纪前曾经经历过的最高古地温, 白垩纪以来沉积的地层厚度提高了石炭-二叠系的古地温及热演化程度。

4 构造-热事件及热史模型

4.1 构造-热事件确定

4.1.1 松辽盆地火成岩研究提供的信息

松辽盆地内部及其周缘地区火山岩分布及活动时期分析表明, 海西期、印支期及燕山期都有岩浆侵入和喷发, 火成岩活动会对石炭-二叠系的热演化程度产生影响。其中燕山中期火山旋回表现为东北地区中新生代以来最为强烈的一次火山活动, 该期的火山岩遍及全区。同位素年龄值为 160~97 Ma。在松辽盆地内部深层断陷中火石岭组、营城组普遍存在该期的火山岩分布^[22-24]。燕山中期岩浆活动应是一期重要的热事件, 在岩浆侵入体附近多会造成地层岩石发生热变质作用^[24]。

由松辽盆地的火成岩分布、活动和构造运动期次分析可以看出松辽盆地石炭-二叠纪地层沉积以来火山岩主要集中在断陷期营城组和火石岭组, 营城组火山岩同位素年龄主要集中在 110~135 Ma, 火石岭组火山岩同位素年龄为 140~160 Ma^[25-28]。火成岩年龄结果表明 110~135 Ma 及 140~160 Ma 存在两期构造-热事件。这两期构造热事件有大量的火成岩形成, 火成岩的形成对石炭-二叠系热演化程度的提高有重要影响, 一方面火山喷发形成的火山岩可使与其接触的石炭-

二叠系热演化程度提高, 另一方面在盆地基底形成的火成岩体可使区域热背景值升高, 从而提高石炭-二叠系的热演化程度。

4.1.2 锆石裂变径迹记录的构造-热事件

根据松辽盆地内部不同层位样品锆石裂变径迹年龄, 三肇凹陷内肇深 5 井火石岭组样品的锆石裂变径迹年龄为 65~152 Ma 之间, 集中在 80~100, 120~130, 140~160 Ma 段 (图 6)。锆石裂变径迹年龄小于火石岭组地层年龄。因此, 火石岭组地层样品已退火, 表明火石岭组地层经受过高于 200℃ 的古地温, 120~130, 140~160 Ma 反映了热事件的年龄^[29]。

朝阳沟阶地内四深 1 井石炭-二叠纪地层样品的锆石裂变径迹年龄为 78~227 Ma 之间, 集中在 90~130, 140~150, 180~190 Ma 3 个年龄段, 主要为 90~110 Ma (图 6)。石炭-二叠系年龄在 248~360 Ma 之间, 锆石裂变径迹年龄远小于石炭-二叠系地层年龄, 表明石炭-二叠系样品已完全退火, 经受过远高于 250℃ 的古地温^[29]。西部斜坡的杜 101 井石炭-二叠系样品的锆石裂变径迹年龄为在 81~164 Ma 之间, 年龄主要集中在 100~110, 120~130, 160~170 Ma (图 6)。锆石裂变径迹年龄远小于石炭-二叠纪地层年龄, 表明石炭-二叠系样品已完全退火, 经受过远高于 250℃ 的古地温。四深 1 井、杜 101 井缺失白垩系火石岭组、营城组, 石炭-二叠纪地层与上覆白垩系热演化程度不连续, 石炭-二叠纪地层热演化程度明显高于上覆白垩系热演化程度。四深 1 井、杜 101 井石炭-二叠纪地层已完全退火, 其锆石裂变径迹年龄应记录了构造-热事件发生的时间^[29]。从锆石裂变径迹年龄主要分布在 90~130, 140~

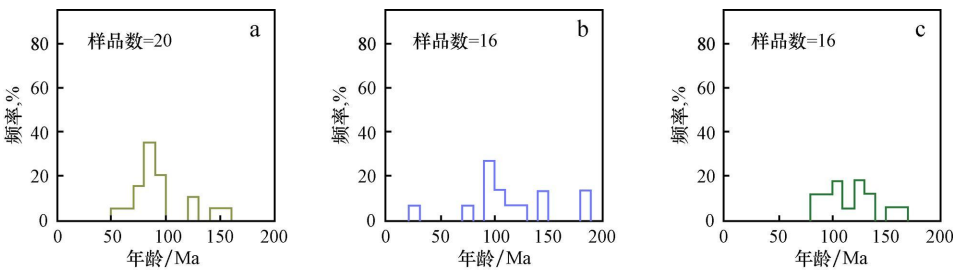


图 6 松辽盆地不同构造单元钻井锆石裂变径迹年龄频率分布

Fig. 6 Frequency distribution of zircon fission track age from drilling in different tectonic units of Songliao Basin
a. 中央坳陷区三肇凹陷肇深 5 井; b. 中央坳陷区朝阳沟阶地四深 1 井; c. 西部斜坡区杜 101 井

16Q 180~ 190 Ma 3 个年龄段来看,前两个年龄段正好与燕山中期强烈的构造运动及岩浆活动时期相一致,表明燕山中期约 140~ 160 Ma(相当于火石岭组沉积时期)及 110~ 130 Ma(相当于营城组沉积时期)是两次重要的构造-热事件发生的时间。两次构造-热事件对石炭-二叠纪地层的成熟度及变质程度有重要的影响;而 180~ 190 Ma 为燕山早期,岩浆活动较弱,对石炭-二叠纪地层热演化程度的影响较小,这从锆石裂变径迹年龄分布图上这组年龄表现不明显可以得到证明。

综上所述,可以看出松辽盆地内部发生过两次重要的构造-热事件,分别在燕山中期约 140~ 160 Ma(相当于火石岭组沉积时期)及 110~ 130 Ma(相当于营城组沉积时期)。其中 110~ 130 Ma 的构造-热事件更为重要。

4.2 松辽盆地基底和盖层热史模型

4.2.1 松辽盆地基底热史模型

松辽盆地基底石炭-二叠系的古地温演化过程研究较为薄弱, R_o-H 的关系提供了盆地基底石炭-二叠系古地温演化的大量信息。两种不同类型的 R_o-H 曲线表明松辽盆地石炭-二叠系古地温有两种不同的演化过程。

第一种两段型变化曲线,古地温演化过程为白垩纪登娄库组沉积前石炭-二叠系达到最大古

地温,为增温过程,其中发生的构造-热事件对石炭-二叠系热演化程度有重要影响,石炭-二叠系 R_o 值可达 2.05%~ 5.56%,白垩纪登娄库组沉积以来的沉降增温未超过白垩纪前石炭-二叠系达到最大古地温,白垩纪登娄库组沉积以来为冷却过程(图 7)。松辽盆地朝阳沟阶地、西部斜坡、明水阶地、黑鱼泡凹陷等属于此类。

第二种似线型变化曲线,古地温演化过程为白垩纪登娄库组沉积前为增温过程,在白垩纪登娄库组沉积以前松辽盆地基底石炭-二叠系烃源岩 R_o 约为 2.05%,达到过成熟干气阶段。白垩纪登娄库组沉积以来的沉降增温已超过白垩纪登娄库组沉积前石炭-二叠系达到的最大古地温值,白垩纪登娄库组沉积以来为持续升温过程。基底石炭-二叠系烃源岩热演化程度不断提高, R_o 大于 3.50%,具有二次生烃过程。松辽盆地宾县王府凹陷、长春岭背斜带、三肇凹陷、大庆长垣、古龙凹陷等属于此类。

以上两种模型十分重要,它是进行生烃史分析和进行不同区块天然气远景评价的重要基础,应用此模型可以对不同区块是否存在二次生烃直接进行判定。

4.2.2 松辽盆地盖层热史模型

松辽盆地白垩纪以来为裂谷盆地,盆地的演化可划分为断陷期、拗陷期和反转期。

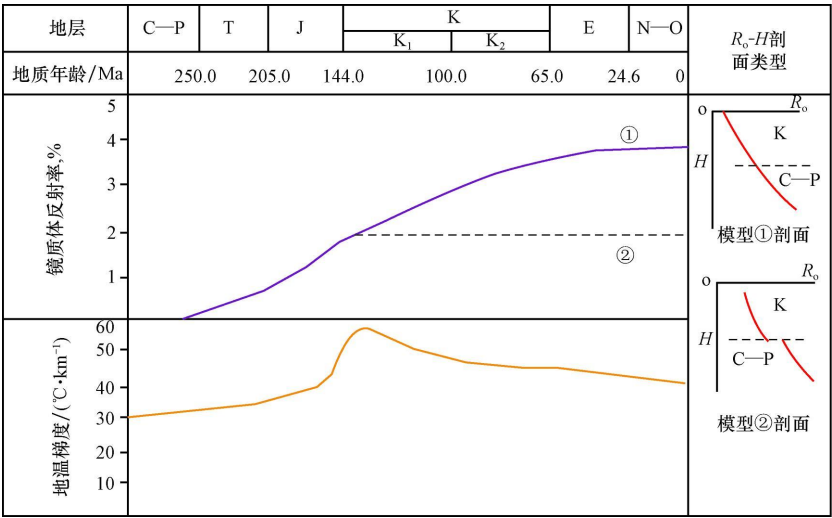


图 7 松辽盆地不同区块基底石炭-二叠系热演化史模型对比

Fig 7 Comparison of thermal evolution models of the Permian-Carboniferous basement in different blocks in Songliao Basin

①持续增温型; ②早期增温-晚期降温型

松辽盆地构造演化史及热史恢复表明, 松辽盆地自早白垩世以来热流值及地温梯度是逐渐降低的, 最大古地温是在白垩纪晚期新生代渐新世达到的。新生代以来, 地温是逐渐降低的。

松辽盆地中、新生代以来岩石圈经历了先减薄后增生的过程, 中生代 120 Ma 左右岩石圈最薄, 古地温梯度高, 此时也是构造热事件发生的主要时期, 早白垩世晚期以来岩石圈为主要增生期, 岩石圈逐渐加厚, 古地温梯度逐渐减小。

应用 Lerch(1984)提出的用镜质体反射率确定古热流的方法对松辽盆地的热流史进行研究, 表明松辽盆地古热流大于今热流, 盆地是逐渐变冷的^[20-30]。松辽盆地 R_o-H 曲线整体表现抛物线形状, 随着埋深加大, R_o-H 曲线斜率增大, 也表明自早白垩世以来大地热流值是逐渐衰减的, 大地热流与地幔热流具有相同的演化趋势^[31]。

5 热演化史与油气生成关系

5.1 一次生烃地区

松辽盆地不同构造单元石炭-二叠系古地温演化过程的不同导致不同区块生烃过程出现明显的差异, 在 R_o-H 曲线为两段型的朝阳沟阶地、西部斜坡、明水阶地、黑鱼泡凹陷, 对石炭-二叠系天然气生成成藏起决定控制作用的是早白垩世早期的古地温, 天然气生成只有一大阶段, 且应在早白垩世早期或早白垩世之前。四深 1 井石炭-二叠系锆石裂变径迹年龄反映的构造热事件在早白垩世早期, 石炭-二叠系含气储层的伊利石测年确定的天然气注入时期为 144~131 Ma, 早白垩世以来没有二次生气期^[10]。

5.2 二次生烃地区

在 R_o-H 曲线为似线型的宾县王府凹陷、长春岭背斜带、三肇凹陷、大庆长垣、古龙凹陷等构造单元, 有二次生气过程, 对石炭-二叠系找气更为有利。

一次是白垩纪以前, 另一次是白垩纪以来。白垩纪以来为持续升温过程, 基底石炭-二叠系烃源岩热演化程度不断提高, R_o 可大于 3.50%, 可持续生气^[10]。

从松辽盆地内白垩系的热演化史模拟来看,

约在距今 90~65 Ma 白垩系底部温度可达 150~200°C, R_o 达 2.0% 以上。不同地区白垩系埋深及地温梯度不同, 白垩系底部 R_o 最大可达 4.00% 以上。以此判定位于白垩系以下的石炭-二叠系在距今 90~65 Ma 是二次成气的主要阶段, 此时石炭-二叠系地温可达 200°C 以上。明水组沉积以后盆地整体抬升剥蚀, 温度降低, 为一冷却过程, 生气强度减缓^[16-19]。因此石炭-二叠系应有二次天然气生成期及成藏期, 一期在早白垩世早期或早白垩世之前; 另一期在晚白垩世与渐新世之间。达深 1 朝深 6 宋深 2 宋深 1 井沙河子、营城、登娄库组含气储层伊利石测年确定的天然气成藏期为 47.3~30.8 Ma^[10], 代表了后一期天然气注入时期, 该时期也是盆地中浅层油藏的成藏时期^[32-33]。

综合分析石炭-二叠系厚度、埋藏深度、有机质丰度及成藏过程, 可以看出石炭-二叠系二次生气有利区在徐家围子凹陷、莺山凹陷、大庆长垣西部及黑鱼泡凹陷南部, 成藏有利地区为: 1) 大庆长垣西部与徐家围子凹陷深埋区之间隆起带及深埋区周围的隆起区; 2) 徐家围子与莺山凹陷埋深区之间隆起带及深埋区周围的隆起区。这些地区也是深层白垩系烃源岩生成天然气运移的指向区。

6 结论

1) 松辽盆地 R_o-H 曲线整体表现抛物线形状, 表明自早白垩世以来大地热流值是逐渐减小的。古地温恢复表明松辽盆地白垩系烃源岩热演化程度主要受古地温场控制, 最大古地温是在晚白垩世明水组末-渐新世达到的, 新生代以来发生抬升剥蚀和大地热流值衰减、降温使生烃作用减弱或停止。

2) 松辽盆地基底石炭-二叠系经历过两次重要的构造-热事件, 分别在燕山中期约 140~160 及 110~130 Ma。

3) 松辽盆地深层石炭-二叠系基底 R_o-H 关系曲线分为两种类型, 一种是两段型, 另一种为似线型。不同类型的曲线表明松辽盆地深层石炭-二叠系基底经历了不同的热演化史及生烃过程。两段型天然气生成过程只有一大阶段, 且在早白垩世早期或白垩纪之前。似线型石炭-二叠系有二次天然气生成期, 一期在早白垩世早期或白垩

纪之前;另一期在晚白垩世与渐新世之间。

4) 综合分析石炭-二叠系厚度、埋藏深度、有机质丰度及生烃过程,认为松辽盆地徐家围子凹陷、莺山凹陷、大庆长垣西部及黑鱼泡凹陷南部是石炭-二叠系二次生气有利区。

参 考 文 献

[1] 齐井顺. 松辽盆地北部深层火山岩天然气勘探实践 [J]. 石油与天然气地质, 2007, 28(5): 590- 596
Q i Jingshun. Natural gas exploration in deep volcanic rocks in the northern Songliao Basin [J]. Oil & Gas Geology, 2007, 28(5): 590- 596

[2] 冯子辉, 刘伟. 徐家围子断陷深层天然气的成因类型研究 [J]. 天然气工业, 2006, 26(6): 18- 20
Feng Zihui Liu Wei. A study of genetic type of deep gas in Xujiaweizi fault depression [J]. Natural Gas Industry, 2006, 26(6): 18- 20

[3] 谢忱, 胡纯心. 松辽盆地长岭断陷南部天然气成藏与富集特征 [J]. 石油与天然气地质, 2010, 31(3): 381- 385.
Xie Chen Hu Chunxin. Gas accumulations and distribution features in the south of the Changling fault depression in the Songliao Basin [J]. Oil & Gas Geology, 2010, 31(3): 381- 385

[4] 杨春, 罗霞, 李剑, 等. 松辽盆地北部基底浅变质岩热模拟实验及其气态产物地球化学特征 [J]. 中国科学 (D 辑), 2007, 37(增刊 II): 118- 124
Yang Chun, Luo Xia, Li Jian, et al. Grade metamorphic basement and the gaseous products thermal simulation experiment Geochemistry in the northern Songliao Basin [J]. Science in China (Series D), 2007, 37(S II): 118- 124 (in Chinese).

[5] 付丽, 霍秋立, 张居和, 等. 徐家围子断陷深层混源天然气源岩贡献率计算方法 [J]. 大庆石油学院学报, 2007, 31(6): 4- 7
Fu Li, Huo Qiuli, Zhang Juhe, et al. Contribution ratio of source rock to source-mixed gas reservoir in Xujiaweizi depression [J]. Journal of Daqing Petroleum Institute, 2007, 31(6): 4- 7

[6] 李景坤, 宋兰斌, 刘伟. 松辽盆地北部石炭-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
Li Jingkun Song Lanbin Liu Wei. Pseudo-vitrinite reflectance recovery in Permian-Carboniferous Formation in north Songliao Basin [J]. Petroleum Geology & Oilfield Development in Daqing, 2007, 26(3): 32- 38.

[7] 刘晓艳, 杜鸿烈, 陈章明, 等. 松辽盆地边缘石炭-二叠系地表石油显示及其地质意义 [J]. 地球化学, 2001, 30(4): 390- 394.
Liu Xiaoyan, Du Honglie, Chen Zhangming, et al. Show of petroleum of C-P systems on the earth's surface at the edge of Songliao basin and its geological significance [J]. Geochimica

2001, 30(4): 390- 394.

[8] 冯子辉, 孙春林, 刘伟, 等. 松辽盆地基底浅变质岩的有机地球化学特征 [J]. 地球化学, 2005, 34(1): 73- 78
Feng Zihui Sun Chunlin Liu Wei et al. Organic geochemistry of epimetamorphic rock in basement of the Songliao Basin [J]. Geochimica, 2005, 34(1): 73- 78

[9] 余和中, 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.
Yu Hezhong, Cai Xiyuan, Han Shouhua, et al. Distribution of the carboniferous-permian and its tectonic characteristic in Songliao basin [J]. Geotectonic et Metallogenia, 2003, 27(3): 277- 281

[10] 任战利, 萧德铭, 迟元林. 松辽盆地基底石炭-二叠系烃源岩生气期研究 [J]. 自然科学进展, 2006, 16(8): 974- 979
Ren Zhanli, Xiao Deming, Chi Yuanlin. Basal Carboniferous Basin-Permian source rocks of the study [J]. Progress in Natural Science, 2006, 16(8): 974- 979

[11] 李景坤, 刘伟, 宋兰斌. 徐家围子断陷深层烃源岩生烃条件研究 [J]. 天然气工业, 2006, 26(6): 21- 24
Li Jingkun Liu Wei Song Lanbin. A study of hydrocarbon generation conditions of deep source rockstar in Xujiaweizi fault depression of the Songliao basin [J]. Natural Gas Industry, 2006, 26(6): 21- 24

[12] 余和中, 蔡希源, 韩守华, 等. 松辽盆地石炭-二叠系烃源岩研究 [J]. 沉积与特提斯地质, 2003, 23(2): 62- 66
Yu Hezhong, Cai Xiyuan, Han Shouhua, et al. The Carboniferous-Permian source rocks in the Songliao Basin [J]. Sedimentary Geology and Tethyan Geology, 2003, 23(2): 62- 66

[13] 吴乾蕃, 谢毅真. 松辽盆地大地热流 [J]. 地震地质, 1985, 7(2): 59- 64.
Wu Qianfan, Xie Yizhen. Geothermal heat flow in the Songhuajiang-Liaoning Basin [J]. Seismology and Geology, 1985, 7(2): 59- 64.

[14] 王钧, 黄尚瑶, 黄歌山, 等. 中国地温分布的基本特征 [M]. 北京: 地震出版社, 1990
Wang Jun, Huang Shangyao, Huang Geshan, et al. Basic distribution characteristic of geotemperate field in China [M]. Beijing Earthquake Press, 1990

[15] 杨万里, 高瑞祺, 郭庆福, 等. 松辽盆地陆相油气生成、运移和聚集 [M]. 黑龙江哈尔滨: 黑龙江科学技术出版社, 1985
Yang Wanli, Gao Ruiqi, Guo Qingfu, et al. Hydrocarbon generation, migration and accumulation in the Songliao Basin [M]. Heilongjiang Harbin: Heilongjiang Science and Technology Press, 1985.

[16] 周庆华, 冯子辉, 门广田. 松辽盆地北部徐家围子断陷现今地温特征及其与天然气生成关系研究 [J]. 中国科学, 2007, 37(增刊 II): 177- 188.
Zhou Qinghua, Feng Zihui, Men Guangtian. Present thermal characteristics and its affect on natural gas generation in Xujiaweizi fault depression of the northern Songliao basin [J]. Sci

ence in China (Series D), 2007, 37(S II): 177– 188(in Chinese).

[17] 杨峰平, 陈发景, 王玉华, 等. 松辽盆地中央坳陷磷灰石裂变径迹分析 [J]. 石油勘探与开发, 1995 22(6): 20– 25.
Yang Fengping Chen Fajing Wang Yuhua et al Apatite fission track analysis in the central depression, Songliao basin [J]. Petroleum Exploration and Development 1995 22(6): 20– 25.

[18] 邢顺全, 姜洪启. 松辽盆地陆相砂岩储集层性质与成岩作用 [M]. 黑龙江 哈尔滨: 黑龙江科学技术出版社, 1993.
Xing Shunquan, Jiang Hongqi Properties and diagenesis of non-marine sandstone reservoir in Songliao basin [M]. Hei Longjiang Harbin Heilongjiang Science and Technology Press 1993

[19] 任战利. 中国北方沉积盆地构造热演化史研究 [M]. 北京: 石油工业出版社, 1999.
Ren Zhanli Research on tectonic- thermal evolution history in sedimentary basins of north China [M]. Beijing Petroleum Industry Press 1999.

[20] 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– 14
Ren Zhanli Xiao Deming Chi Yuanlin Restoration of the palaeoethem in Songliao basin [J]. Petroleum Geology & Oilfield Development in Daqing 2001, 20(1): 13– 14.

[21] 任战利, 赵重远. 中生代晚期中国北方沉积盆地古地温梯度及对比 [J]. 石油勘探与开发, 2001, 28(6): 1– 4
Ren Zhanli Zhao Zhongyuan. Comparison of paleogeothermal gradient in sedimentary basins of north China in late Mesozoic Era [J]. Petroleum Exploration and Development 2001, 28(6): 1– 4.

[22] 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
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

[23] 周建波, 张兴洲, 马志红, 等. 中国东北地区的构造格局与盆地演化 [J]. 石油与天然气地质, 2009 30(5): 530.
Zhou Jianbo Zhang Xingzhou Ma Zhihong et al Tectonic framework and basin evolution in Northeast China [J]. Oil & Gas Geology, 2009, 30(5): 530

[24] 孙粉锦, 罗霞, 齐景顺, 等. 火山岩体对火山岩气藏的控制作用——以松辽盆地深层徐家围子断陷兴城和升平火山岩气藏为例 [J]. 石油与天然气地质, 2010 31(2): 180– 186.
Sun Fenjin, Luo Xia Qi Jinshun et al Controlling effects of volcanic rocks upon gas pool—taking two volcanic gas reservoirs in the Songliao Basin as examples [J]. Oil & Gas Geology, 2010 31(2): 180– 186

[25] 许文良, 王冬艳, 王嗣敏. 中国东部中生代火山作用的 PT-t 模型与岩石圈演化 [J]. 长春科技大学学报, 2000, 30(4): 329– 335
Xu Wenliang Wang Dongyan Wang Simin PT-t Model of mesozoic and cenozoic volcanisms and lithospheric evolution in eastern China [J]. Journal of Changchun University of Science and Technology 2000, 30(4): 329– 335.

[26] 丁日新, 舒萍, 纪学雁, 等. 松辽盆地庆深气田储层火山岩锆石 U– Pb 同位素年龄及其地质意义 [J]. 吉林大学学报 (地球科学版), 2007, 37(3): 525– 530.
Ding Rixin, Shu Ping, Ji Xueyan, et al SHRMP Zircon U–Pb age and geological meaning of reservoir volcanic rocks in Qingshen gas field of the Songliao Basin NE China [J]. Journal of Jilin University (Earth Science Edition), 2007, 37(3): 525– 530

[27] 章凤奇, 庞彦明, 杨树锋, 等. 松辽盆地北部断陷区营城组火山岩锆石 SHRMP 年代学、地球化学及其意义 [J]. 地质学报, 2007 81(9): 1248– 1258
Zhang Fengqi Pang Yanming Yang Shufeng et al Geochronology of Zircon SHRMP, geochemistry and Its implication of the volcanic rocks from Yingcheng Formation in depression area, north of Songliao Basin [J]. Acta Geologica Sinica 2007 81(9): 1248– 1258

[28] 吴福元, 孙德有. 中国东部中生代岩浆作用与岩石圈减薄 [J]. 长春科技大学学报, 1999, 29(4): 313– 318
Wu Fuyuan Sun Deyou The mesozoic magmatism and lithospheric thinning in eastern China [J]. Journal of Changchun University of Science and Technology, 1999 29(4): 313– 318.

[29] Carter A, Moss S J Combined detrital zircon fission-track and U–Pb dating: a new approach to understanding hinterland evolution [J]. Geology, 1999 27(3), 235– 238.

[30] Lerche I yazar R F Determination of paleoheat flux from vitrinite reflectance [J]. AAPG Bulletin, 1984 68 1704– 1717

[31] 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
Li Zhan. Evolutionary features of mantle heat flux in Songliao Basin [J]. Geotectonic et Metallogenia, 1995 19(2): 104– 112.

[32] 辛仁臣, 田春志, 窦同君. 油藏成藏年代学分析 [J]. 地学前缘, 2000(3): 48– 53
Xin Renchen Tian Chunzhi Dou Tongjun Study of oil-pool-forming chronology— a case study on Daqing oilfield [J]. Earth Science Frontiers 2000(3): 48– 53.

[33] 林景晔, 林铁锋, 朱德丰, 等. 喜马拉雅运动与松辽盆地北部油气成藏的关系 [J]. 石油与天然气地质, 2004 25(2): 222– 225
Lin Jingye Lin Tiefeng Zhu Defeng et al Relationship between Himalayan movement and hydrocarbon accumulation in northern Songliao basin [J]. Oil & Gas Geology, 2004 25(2): 222– 225