

文章编号: 1009-3850(2003)02-0062-05

松辽盆地石炭-二叠系烃源岩研究

余和中^{1,2}, 蔡希源³, 韩守华², 徐云俊²

(1. 中国地质大学, 北京 100083; 2. 杭州石油地质研究所, 浙江 杭州 310002; 3. 中国石油化工集团总公司, 北京 100083)

摘要: 松辽盆地石炭-二叠系是烃源岩, 沉积埋藏史可划分出持续深埋型、平衡埋藏型和短暂浅埋型3种类型。早白垩世晚期, 石炭-二叠系烃源岩地温又一次达到并超过 90℃, 开始第二期生烃, 油、气共生。这一时期, 有效供烃区位于盆地东南部农安地区、西北部黑鱼泡地区, 生气强度超过了生油强度。通过对石炭-二叠系沉积埋藏史、有机质热演化史和生烃史研究, 无论对于深层找气, 还是对盆地中生代地层的油气勘探都具有十分重要的地质意义。

关键词: 松辽盆地; 石炭-二叠系; 烃源岩; 沉积埋藏史; 有机质热演化史; 生烃史

中图分类号: TE122.1

文献标识码: A

1 沉积演化及地层

根据松辽盆地周边地区构造、沉积和古地理特征, 结合盆地内钻井及地球物理资料, 认为松辽盆地经过早华力西旋回之后, 东北地区的古亚洲域洋壳基本全部消失; 由于佳木斯地块与松嫩地块在早泥盆世完成拼接, 额尔古纳地块与松嫩地块于晚泥盆世—早石炭世完成拼接。二叠纪时期该区的构造演化已发展到一个新的演化阶段。石炭纪中期大洋已基本退出该地区, 后期的伸展和沉降引发大规模的海侵, 形成一些浅海相或海陆交互相沉积组合^[1]。松辽盆地石炭纪属于滨浅海环境, 由北往南海水加深; 早二叠世为浅海—深浅海环境, 由东向西海水变深; 而晚二叠世为陆相或海陆交互相环境, 湖水向南变深^[2]。印支期强烈的构造运动使裂陷槽(及洋盆)关闭隆升, 并具有西早东晚的特征。至此, 东北地区结束了古亚洲构造域的演化历史, 取而代之的是滨太平洋大陆边缘构造作用逐渐强化。

早古生代, 中朝板块和西伯利亚板块拼合形成的复杂构造带, 构成了松辽盆地原始基底。在这个基底上发育了石炭-二叠系沉积, 局部地区接受了少

量中下三叠统沉积。之后, 晚三叠世—早中侏罗世, 印支末期的抬升运动, 导致前期沉积的地层被剥蚀。晚侏罗世—早白垩世早期, 盆地处于裂谷期, 沉积了火石岭组、沙河子组、营城组, 厚度一般为1000~3000m。早白垩世晚期—晚白垩世早期为热沉降断拗陷期, 沉积了登娄库组、泉头组、青山口组、姚家组、嫩江组, 厚度一般为3000~6000m, 构成了盆地沉积盖层的主体。晚白垩世早期—新近纪盆地萎缩, 沉积四方台组、明水组、依安组、大安组、泰康组, 厚度较小, 一般为数百米。

通过对松辽盆地周边地区开展石油地质调查, 实测地层剖面, 采集样品进行实验分析和室内研究, 初步查明了石炭-二叠系烃源岩的分布特征。松辽盆地东部出露有红山组、土门岭组(伊春、滨东地区)、杨家沟组、范家屯组(九台-长春地区)、磨盘山组、鹿圈屯组(盘石-桦甸地区)等多套烃源岩, 松辽盆地西部出露有林西组、哲斯组(索伦-蘑菇气地区)等多套烃源岩。从岩性上看, 泥质烃源岩与碳酸盐岩烃源岩均有。其中, 二叠系以泥质烃源岩为主, 在盆地周边地区大面积分布; 石炭系以碳酸盐岩为主, 在盆地周边地区局部分布, 主要分布于盘石-桦甸地

收稿日期: 2003-02-14

第一作者简介: 余和中, 39岁, 博士研究生, 高级工程师, 从事石油地质研究。

区、内蒙古敖汉旗。

2 盆地模拟

松辽盆地内部石炭-二叠系勘探程度低, 钻遇石炭-二叠系钻井较少, 有关的有机地化分析资料更少, 给研究工作带来许多困难。笔者以盆地模拟为手段, 在平面上建立若干个一维盆模虚拟点, 通过一维拟三维的方法, 模拟、恢复盆地内部石炭-二叠系烃源岩的沉积埋藏史、有机质热演化史和生烃史。在一维盆模虚拟点的选取、建立过程中, 主要考虑盆地周缘地层分布、区域地质特征, 选择钻遇基底的深井钻井地层剖面、深部地质-地球物理综合解释剖面。

1. 地温梯度

古地温梯度的选取主要考虑大地构造背景、沉积盆地类型、构造与岩浆活动强度, 现今地温梯度依据钻井实测值, 古地温梯度参考前人通过包裹体测温、磷灰石裂变径迹分析等手段得到^[3], 同时也考虑了与取样实测 R° 的拟合程度而综合确定。具体取值见表 1。

表 1 松辽盆地模拟古地温梯度参数

Table 1 The parameters for the paleogeothermal gradients based on the basin simulation of the Songliao Basin

| 地质时代 | 起始时间/ Ma | 地温梯度/ $^\circ\text{C}\cdot 100\text{m}^{-1}$ |
|--------|----------|--|
| 现今 | 0 | 3.0 |
| 新近纪 | 23 | 3.1 |
| 古近纪 | 65 | 3.5 |
| 晚白垩世 | 97 | 4.5 |
| 早白垩世 | 145 | 4.7 |
| 侏罗纪 | 208 | 4.9 |
| 三叠纪 | 245 | 3.5 |
| 石炭-二叠纪 | 362 | 3.3 |

2. 埋藏史及剥蚀史

埋藏史及剥蚀史主要根据区域地质演化背景、构造运动分析等综合确定。剥蚀量主要依据区域沉积厚度、不整合分析、构造演化史分析、 R° 反演、密度-速度法、裂变径迹法及沉积旋回法等综合确定^[4], 主要有印支期(晚三叠世—早中侏罗世)、早喜马拉雅期(古近纪) 两期。

东南隆起的剥蚀厚度主要采用美国 ARCO 公司的成果。认为梨树地区侏罗系顶部无剥蚀, 其青山口组以上平均剥蚀量为 1000m 左右, 德惠、长春、王府断陷的侏罗系顶部剥蚀量为 300 余米, 其青山口组顶部平均剥蚀量为 800 余米, 榆树、榆树东断陷的剥蚀量估计与德惠、王府剥蚀量相当。

其它断陷主要用 Easy- R° 法交互模拟求得(以

标准 R° 曲线与实测 R° 曲线对比, 结合地温梯度, 以不同的剥蚀厚度交互模拟求得剥蚀厚度)。经过交互模拟, 求得洮南断陷侏罗系顶部剥蚀厚度为 1200m 以上, 其上覆地层仅存在沉积间断现象, 无大量剥蚀事件。双辽断陷地表的剥蚀量约为 700m 左右, 侏罗系顶部剥蚀约为 300m。据双 5 井与双 7 井分析(双 5 井具有四方台组、明水组; 双 7 井仅残存嫩江组二段), 双 7 井地层顶部有 600m 以上的剥蚀。两种方法得到的剥蚀量基本符合。

根据地震资料与地质背景, 英台与长岭断陷可视为无剥蚀或剥蚀量极小。

DOW(1977) 发现镜质体反射率在经过不整合面时, 其变化常常是不连续的, 而连续沉积的地层 R° 的对数与深度呈线性关系, 这样可以用图解的方式来恢复剥蚀量。四深 1 井由 DOW 方法恢复的剥蚀量(J/C-P) 为 724.9m。

3. 镜质体反射率

实测镜质体反射率数据是限定盆地模拟的主要参数, 在初步确定了其它参数之后将盆模的烃源岩热演化程度结果——模拟 R° 值与实测 R° 值^[5] 进行拟合, 不断修正各项参数直至达到模拟 R° 值与实测 R° 值的最佳吻合, 从而得到盆模的最佳结果。

石炭-二叠纪地层沉积之后, 普遍受到过抬升和剥蚀, 使有机质遭受氧化, 这样一来, 其元素的组成比例、最高热解峰温、生烃转化率及镜质体反射率均发生了较大的变化, 常规判识有机质演化程度的指标已失去意义。有机质遭受氧化后, 导致有机质贫烃, H/C 原子比较低。另外, 这些遭受氧化的有机质稳定性较低, 随着演化程度的加深, 干酪根中的氧原子快速失去, O/C 原子比迅速减小, 向原点逼近, 从而显示较高的成熟度。氧化作用导致含氢量减少, 镜质体反射率发生异常增大。

4. 构造变形及岩浆活动对烃源岩有机质热演化程度的影响

由于石炭-二叠系时代相对较老, 构造变形包括断裂变形、褶皱变形较强, 构造活动促进了有机质的热演化, 构造变形强的部位如褶皱的轴部, 有机质热演化的程度高。石炭-二叠系沉积后, 岩浆活动较强, 而有岩浆活动的地区或层段, 有机质热演化的程度自然高。

3 沉积埋藏史

现今的石炭-二叠系埋藏深度由南往北逐渐变浅, 主要受控于中生代的沉积。根据后期抬升与沉

降的情况,其沉积埋藏史可划分出以下3种类型。

1. 持续深埋型

这种类型主要分布于东南部农安区块、中部三肇地区(图1)。石炭-二叠纪地层沉积后,经过印支运动,部分抬升被剥蚀。晚侏罗世—晚白垩世,盆地沉降接受沉积,先后沉积火石岭组、沙河子组、营城组、登娄库组、泉头组、青山口组、姚家组、嫩江组,在钻井剖面上可以完整见到。地层累计沉积厚度3000~6000m。四深1井钻遇的中生代地层,厚度累计为3791m,沉积速率为41.2m/Ma,是松辽盆地接受地层沉积厚度最大、沉积速率最快的时期。由于该期地层沉积厚度大,造成石炭-二叠系抬升剥蚀后继续深埋,大大超过了其原始沉积时的深度,后期沉降大于前期抬升量,导致石炭-二叠系再次成熟,形成二次生烃。

2. 平衡埋藏型

这种类型主要分布于西北部黑鱼泡区块(图2)。石炭-二叠纪地层沉积后,经过印支运动,部分抬升被剥蚀。晚侏罗世—晚白垩世盆地沉降也接受沉积,从火石岭组到嫩江组,发育齐全。只是地层累计沉积厚度比前一类型略小,一般为2500m左右。杜101井钻遇的中生代地层,厚度累计为1743m,沉积速率为18.9m/Ma。由于该期地层沉积厚度略小,造成石炭-二叠系继续埋藏的深度,与其原始沉积时的深度大致相当,后期沉降与前期抬升量相近,也能使石炭-二叠系再次成熟,形成二次生烃,但是烃产率要较前一类型低。

3. 短暂浅埋型

这种类型主要分布于盆地东北部滨北区块(图3)。晚侏罗世—晚白垩世不是连续沉积,仅沉积了火石岭组、沙河子组、营城组、登娄库组、泉头组,晚白垩世未接受沉积,地层累计厚度只有1000m左右。拜4井钻遇的中生代地层,厚度累计为1003m,沉积速率为16.5m/Ma。由于该期地层沉积厚度太小,造成石炭-二叠系继续埋藏的深度,不能超过其原始沉积时的深度,后期沉降小于前期抬升量,不能形成二次生烃。

4 烃源岩热演化史

烃源岩热演化史主要由烃源岩沉积埋藏史和盆地地热史决定,受这两个因素控制。

该套烃源岩的热演化进程,从烃源岩等厚图可以看出(图4)。石炭-二叠系是相对稳定的沉积,古热流较低;在三叠纪末,烃源岩埋深一般为2000~3000m,地温一般为90~120℃,基本处于油气成熟期, R° 为0.6%~1.3%。肇源-四站地区石炭-二叠系沉积厚度较大,埋深超过4000m,地温达到160℃, R° 大于1.3%,烃源岩已进入高成熟期,生成凝析气;随后的晚三叠世末—早中侏罗世的剧烈抬升,导致这一生烃过程中断;到白垩纪末,沉积巨厚的上侏罗统、下白垩统和上白垩统古热流相对较高,烃源岩再次埋深超过4000m,地温达到130~210℃,大部分地区 R° 大于2.0%,达到过成熟阶段,形成二次生烃,但以生成干气为主,东北部滨北区块由于未接受晚白垩世沉积,热演化程度相对较低,地温达到100~140℃, R° 为1.3%~2.0%,处于高成熟期,生

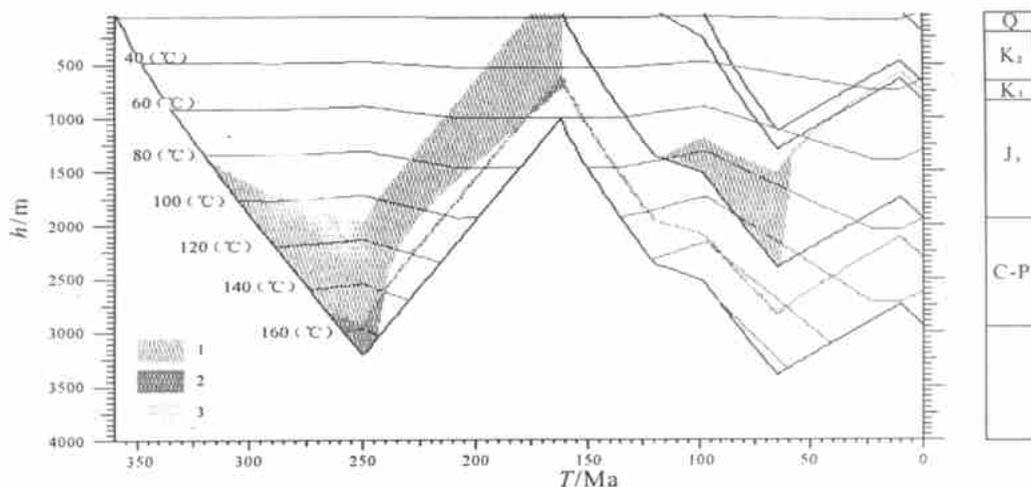


图1 四深1井沉积-埋藏史图

1. 油窗($R^{\circ}=0.5\% \sim 1.27\%$); 2. 气窗($R^{\circ}=1.27\% \sim 2\%$); 3. 未确定($R^{\circ}=2\% \sim 4.5\%$)

Fig. 1 Diagram showing the depositional and burial history of the Si-1 well

1= oil window ($R^{\circ}=0.5\% \text{ to } 1.27\%$); 2= gas window ($R^{\circ}=1.27\% \text{ to } 2\%$); 3= undefined ($R^{\circ}=2\% \text{ to } 4.5\%$)

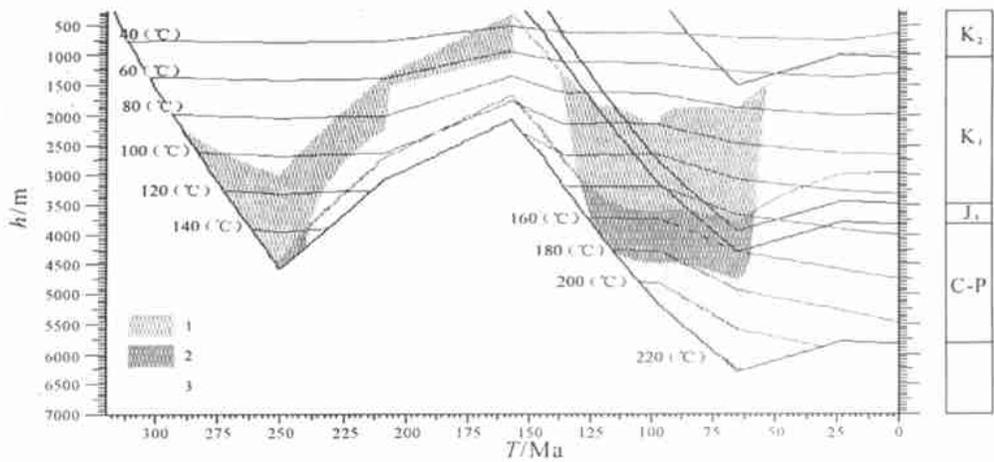


图2 杜101井沉积-埋藏史图

1. 油窗 ($R^{\circ} = 0.5\% \sim 1.27\%$); 2. 气窗 ($R^{\circ} = 1.27\% \sim 2\%$); 3. 未确定 ($R^{\circ} = 2\% \sim 4.5\%$)

Fig. 2 Diagram showing the depositional and burial history of the Du-101 well

1= oil window ($R^{\circ} = 0.5\%$ to 1.27%); 2= gas window ($R^{\circ} = 1.27\%$ to 2%); 3= undefined ($R^{\circ} = 2\%$ to 4.5%)

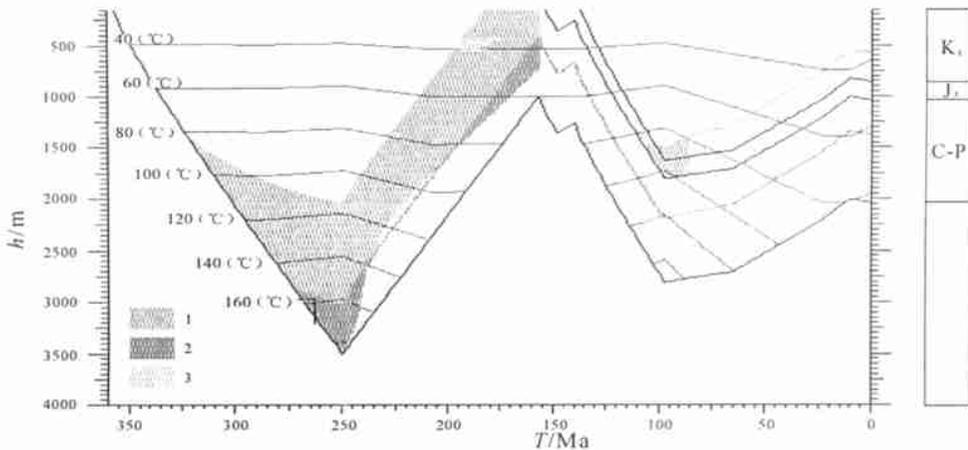


图3 拜4井沉积-埋藏史图

1. 油窗 ($R^{\circ} = 0.5\% \sim 1.27\%$); 2. 气窗 ($R^{\circ} = 1.27\% \sim 2\%$); 3. 未确定 ($R^{\circ} = 2\% \sim 4.5\%$)

Fig. 3 Diagram showing the depositional and burial history of the Bai-4 well

1= oil window ($R^{\circ} = 0.5\%$ to 1.27%); 2= gas window ($R^{\circ} = 1.27\%$ to 2%); 3= undefined ($R^{\circ} = 2\%$ to 4.5%)

成凝析气为主; 古近纪—第四纪沉积较薄, 烃源岩现今热演化程度, 基本维持白垩纪末期的格局, 只是部分地区, 如三肇地区、黑鱼泡南部地区, 地温超过 220°C , R° 大于 4.0% , 已进入干气死亡区。

5 烃源岩生烃史

在盆地石炭-二叠系烃源岩沉积埋藏史、有机质热演化史分析^[6]的基础上, 进行烃源岩生烃史研究, 发现其存在印支期、燕山期两期生烃高峰。

1. 印支期

晚二叠世, 石炭-二叠系烃源岩地温达到 90°C , 进入生油窗, 开始生成石油, 此过程持续约 10Ma , 直

至晚二叠世末期, 地温升至 180°C , 生成了部分湿气。该期间, 有效供烃区位于盆地东南部农安地区、西北部黑鱼泡地区和东北部滨北地区, 生油强度为 $(5 \sim 35) \times 10^5 \text{ t/km}^2$, 生气强度为 $(5 \sim 20) \times 10^8 \text{ m}^3/\text{km}^2$, 达到形成大中型油气藏的规模。之后, 晚三叠世—早中侏罗世发生挤压抬升运动, 地温降到 80°C 以下, 这一生烃过程被中断。

2. 燕山期

早白垩世晚期, 石炭-二叠系烃源岩地温又一次达到并超过 90°C , 开始第二期生烃, 此过程持续约 60Ma , 油、气共生。该期间, 有效供烃区位于盆地东南部农安地区、西北部黑鱼泡地区, 生油强度为 $(5 \sim$

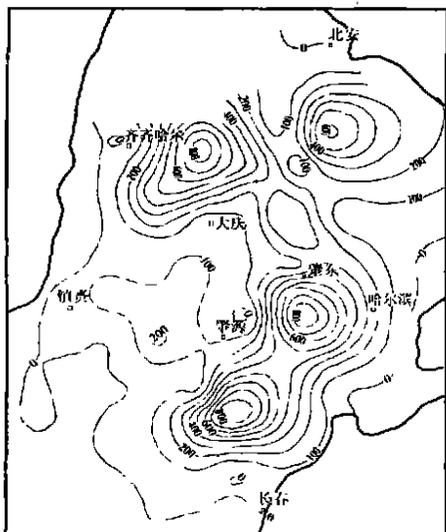


图4 松辽盆地石炭-二叠纪烃源岩等厚图

Fig. 4 Isopach map of the Carboniferous-Permian source rocks in the Songliao Basin

$25) \times 10^5 \text{ t/km}^2$, 生气强度为 $(5 \sim 40) \times 10^8 \text{ m}^3/\text{km}^2$, 生气强度超过了生油强度。东北部滨北地区仅少量生油, 生油强度为 $(3 \sim 8) \times 10^5 \text{ t/km}^2$ 。

3. 喜马拉雅期

嫩江运动以后, 石炭-二叠系烃源岩基本上不能

形成有效生烃。仅西北部黑鱼泡地区因抬升幅度较小, 燕山期的生烃过程得以持续, 生成少量干气, 生气强度为 $(3 \sim 10) \times 10^8 \text{ m}^3/\text{km}^2$ 。

综上所述, 松辽盆地石炭-二叠系由于经历的构造演化复杂, 造成其沉积埋藏史、热演化史及生烃史的复杂性。经过以上这种烃源岩的“三史”研究, 尤其是其具备二次生烃潜力, 可以认为松辽盆地深层天然气勘探具有很好的前景, 最近盆地深层天然气勘探成果也证明了这一点。

参考文献:

- [1] 余和中, 韩守华, 等. 松辽盆地古生代构造演化[J]. 大地构造与成矿学, 2001, 25(4): 389-396.
- [2] 余和中. 松辽盆地及周边石炭纪-二叠纪地层岩相古地理特征[J]. 沉积与特提斯地质, 2001, 21(4): 70-83.
- [3] 窦立荣, 徐树宝. 松辽盆地天然气的地球化学特征和成因类型[J]. 石油勘探与开发, 1991, 18(3): 16-23.
- [4] 高瑞祺, 蔡希源. 松辽盆地油气田形成条件与分布规律[M]. 北京: 石油工业出版社, 1997. 164-173.
- [5] 李景坤, 孔庆云, 等. 松辽盆地北部深层气源对比[J]. 大庆石油地质与开发, 1999, 18(1): 5-7.
- [6] 郭占谦, 杨兴科. 中国含油气盆地的多种生烃机制[J]. 石油与天然气地质, 2000, 21(1): 50-52, 64.

The Carboniferous—Permian source rocks in the Songliao Basin

YU He-zhong^{1, 2}, CAI Xi-yuan³, HAN Shou-hua², XU Yun-jun²

(1. China University of Geosciences, Beijing 100083, China; 2. Hangzhou Institute of Petroleum Geology, Hangzhou 310023, Zhejiang, China; 3. China National Petrochemical Cor., Ltd., Beijing 100083, China)

Abstract: The Carboniferous-Permian source rocks are ubiquitous in the Songliao Basin. The depositional and burial history of the source rocks may be divided into three types: steadily deep burial, equilibrium burial and ephemeral shallow burial types. The geotemperatures of the source rocks went once again up to or exceed 90°C during the late Early Cretaceous, resulting in the second stage of the oil and gas generation in the basin. During this period, the gas-generating intensity was greater than the oil-generating intensity. The valid source areas include the Nong'an district in the southeastern part and Heiyupao district in the northwestern part of the basin. This paper focuses on the modeling and reconstruction of the depositional and burial history, organic matter thermal evolutionary history and hydrocarbon generation history of the Carboniferous-Permian source rocks with the aid of basin simulation. The results in the study are believed to be important to the gas exploration in the deeper levels and the oil exploration in the Mesozoic and Cenozoic strata.

Key words: Songliao Basin; Carboniferous-Permian; source rock; depositional and burial history; organic matter thermal evolutionary history; hydrocarbon generation history