

内蒙古西部额济纳旗及邻区二叠系烃源岩热演化与油气的关系

韩伟, 姜亭, 李玉宏, 魏建设

HAN Wei, JIANG Ting, LI Yu-hong, WEI Jian-she

中国地质调查局西安地质调查中心, 陕西 西安 710054

Xi'an Center of Geological Survey, China Geological Survey, Xi'an 710054, Shaanxi, China

摘要: 分析了额济纳旗及其邻区二叠系烃源岩热演化史与油气生成的关系。根据镜质组反射率、包裹体均一温度、磷灰石裂变径迹等资料得出研究区达到最大埋深时的古地温梯度, 分析额济纳旗地区热演化史的信息, 进一步研究了热演化与油气生成的关系。研究表明, 额济纳旗地区在白垩纪达到最大埋深, 古地温梯度为 $4.1\sim 5.5^{\circ}\text{C}/100\text{m}$ 。通过与邻区查干凹陷比较分析, 认为额济纳旗地区古地温梯度高于现今的地温梯度, 二叠系烃源岩热演化程度主要受古地温场的控制。热演化史与油气关系的研究结果表明, 额济纳旗部分地区二叠系烃源岩在晚二叠世已进入油气生成期, 生烃阶段以干气为主, 在早白垩世热演化程度达到最高。

关键词: 额济纳旗地区; 二叠纪; 热演化史; 古地温梯度; 磷灰石裂变径迹

中图分类号: P534.46; P618.13

文献标志码: A

文章编号: 1671-2552(2011)06-0911-05

Han W, Jiang T, Li Y H, Wei J S. The relationship between the thermal evolution of Permian source rocks and oil and gas in Ejina Banner and its vicinities, western Inner Mongolia. *Geological Bulletin of China*, 2011, 30(6): 911-915

Abstract: This research aims at analyzing the relationship between the geothermal evolution of Permian source rocks and hydrocarbon generation in Ejina Banner and its vicinities. Based on the information of vitrinite reflectance, temperature data of liquid-phase inclusions and apatite fission tracks, the authors measured the paleogeothermal gradient of Ejina Banner area when it reached maximum gradient. Based on an analysis of the geothermal evolution history of Ejina Banner area, the authors investigated the relationship between the geothermal evolution and hydrocarbon generation. The results indicate that Ejina Banner area reached maximum gradient in Cretaceous period, with the paleogeothermal gradient being $4.1\sim 5.5^{\circ}\text{C}/100\text{m}$. A comparison with the neighboring Chagan sag has revealed that the paleogeothermal gradient of Ejina Banner area was higher than its modern geothermal gradient. The Permian source rock geothermal evolution was mainly controlled by the paleogeothermal field. The research on the relationship between the geothermal evolution history and hydrocarbon generation indicates that some parts of Ejina Banner area entered into the hydrocarbon generation period in Late Permian. During the hydrocarbon-forming phase, the dry gas was dominant. In the Early Cretaceous period, the geothermal evolution of this area reached its maximum level.

Key words: Ejina Banner area; Permian; thermal history; geothermal gradient; apatite fission-track path

额济纳旗位于内蒙古西部, 西临北山, 北至中蒙边境, 前人大多针对该区域的中生界开展工作, 对石炭系—二叠系研究程度很低, 主要原因是他们认为该区缺少良好的烃源岩^[1-4]。但是中国地质调查局启

动的《西北中小盆地群油气资源远景调查》项目发现额济纳旗及其邻区二叠系发育有多组烃源岩, 并且有着良好的油气资源前景^[1-5]。

沉积盆地古地温场与油气生成、运移和聚集成

收稿日期: 2011-01-24; 修订日期: 2011-04-20

资助项目: 中国地质调查局国土资源大调查项目《西北地区中小盆地群油气资源远景调查》(编号: 1212010733506)资助

作者简介: 韩伟(1981-), 男, 助理工程师, 从事石油天然气勘探与开发研究。E-mail: hw_198196@163.com

藏有着十分密切的关系,而且对于盆地油气资源评价和寻找有利的生油区都有很重要的意义^[6]。前人基本上没有对该区二叠系烃源岩古地温进行过研究,本文运用多种方法分析了研究区多条实测剖面中烃源岩样品的古地温信息,针对二叠系古地温梯度进行研究,探讨二叠系烃源岩热演化的情况,为下一步油气勘查工作提供依据。

1 区域地质背景

额济纳旗及邻区处于中朝克拉通与塔里木克拉通、天山—兴安造山系与秦岭—祁连山—昆仑造山系的交切、复合地带。晚古生代古亚洲洋闭合,该区进入内陆盆地演化阶段,阿尔金断裂—恩格尔乌苏断裂以南的华北板块缺失下古生界沉积,以元古宙变质岩为裂谷盆地的基底(变质基底),其北则以下古生界为基底(褶皱基底)^[1]。研究区位于该断裂以北,基底为下古生界,其上依次填充石炭系、二叠系、侏罗系、白垩系,三叠系很少出露。本次研究的目的层二叠系,东部由下至上分为阿木山组上段、埋汗哈达组、阿其德组和哈尔苏海组;西部由下至上分为干泉组上段、双堡塘组、菊石滩组、金塔组和方山口组。

研究区构造演化与沉积演化经历了太古宙—古元古代结晶基底形成阶段和前南华纪沉积变质基底形成阶段。沉积盖层发育经历了南华纪—早中泥盆世洋陆演化阶段、晚泥盆世—二叠纪后造山伸展阶段和二叠纪之后的陆内造山演化阶段,形成了古生代与中生代的叠合盆地^[3]。

2 古地温研究

叠合盆地演化具有长期性、构造演化的多阶段性和多期的抬升剥蚀。不同构造演化阶段具有不同的构造热体制,因而具有复杂的构造热演化历史^[6-7]。研究区就处于叠合盆地的背景中,这也给古地温研究带来了很大的难度。

2.1 样品的相对深度转化

热演化史研究都以样品深度与其热演化信息的关系为基础。由于所采样品均来自露头剖面^[1],所以首先要将样品所在的实测剖面图向柱状图进行转化,再从图中得出相对的取样深度,进而求得 2 个样品相对的深度差,以供研究所用。

2.2 热演化程度

镜质组反射率作为有机质成熟度指标被广泛应

用于盆地分析和油气地质研究中。笔者系统整理了额济纳旗地区各剖面镜质组反射率数据,对其与深度的剖面关系进行了分析(图 1)。从图 1 可以看出,镜质组反射率值随埋深深度的增大而呈线性增加。表明额济纳旗地区古地温主要以传导型为主,无明显的热对流存在^[8]。

2.3 古地温恢复

2.3.1 镜质组反射率反映的古地温信息

根据研究区内的埋藏史图,笔者认为研究区是在白垩纪达到最大埋深的(图 2)。因此,镜质组反射率与深度的关系主要反映了额济纳旗地区二叠系烃源岩在白垩纪达到或接近最大埋深时的古地温场状况。根据额济纳旗地区镜质组反射率与深度的关系,利用 Barker 和 Pawlewicz 建立的最大埋藏温度(T_{\max})与平均镜质组反射率(R_o)之间的关系式 $\ln(R_o) = 0.0096T_{\max} - 1.4$,近似地求出地层经历的最大古地温,即用 2 个样品之间的温度差除以深度差求取古地温梯度^[8-9](表 1)。

从表 1 可以看出,研究区各条剖面的 R_o 值差别较大,个别甚至达到过成熟状态,从 R_o 平面分布特征来看,这种差别是由构造动力的差别造成的。在构造变形相对较弱的区带,受埋藏史的控制, R_o 主要分布在 0.79%~1.29% 之间(表 1),处于成熟阶段,如杭乌拉剖面(埋汗哈达组)、埋汗哈达剖面(埋汗哈达组)等。在构造变形较强或强烈的区带,有机质演化程度除与埋藏史有关外,还受构造动力作用的显著影响,有机质演化到达过成熟, $R_o > 2.0\%$ (芦苇井剖面等),最大可达到 3.82%。

陈践发等^[2]认为,这主要是研究区受热动力和

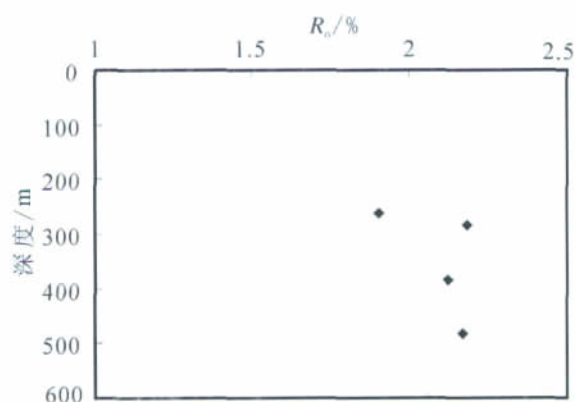


图 1 古洞井剖面镜质组反射率与深度的关系
Fig. 1 The relationship between vitrinite reflectances and depths in Gudongjing

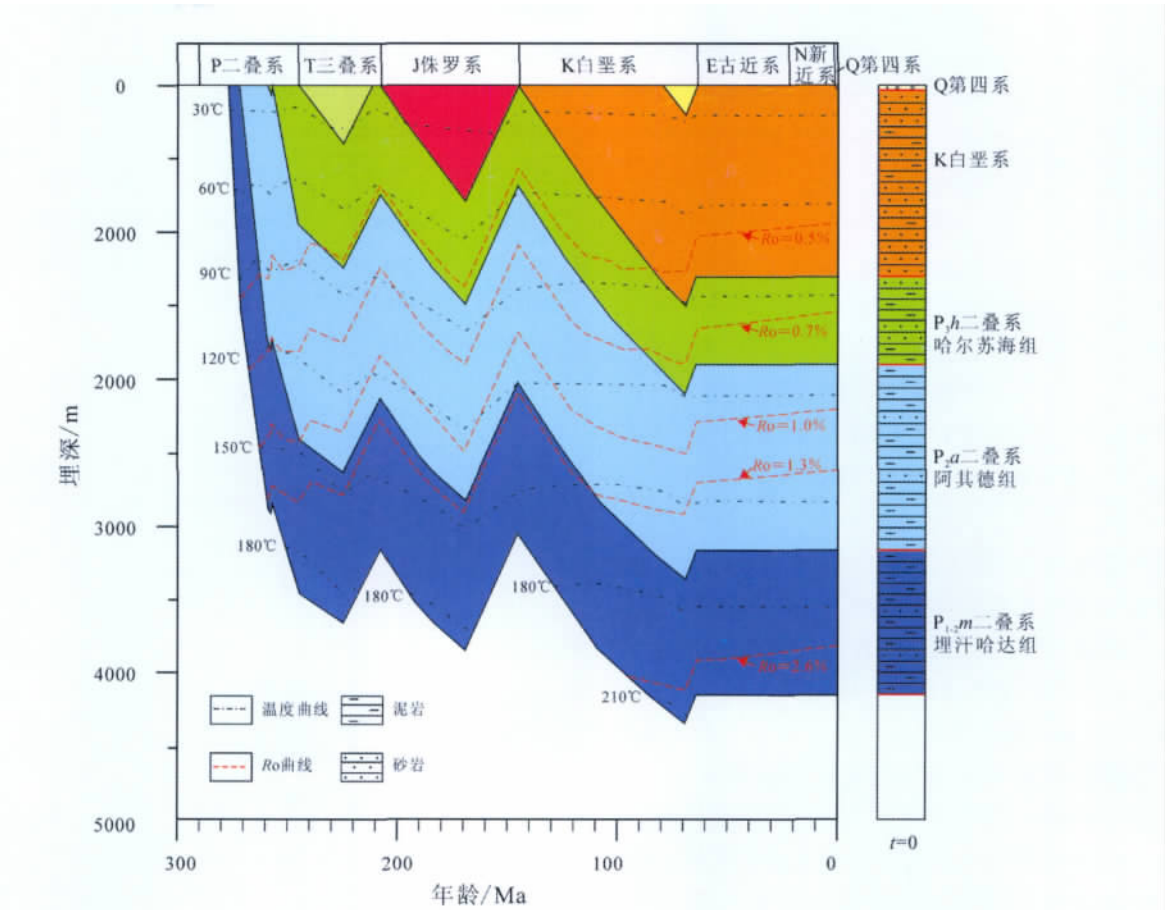


图 2 额济纳旗埋汗哈达地区烃源岩埋藏史①
Fig. 2 Burial history of source rocks in Maihanhada area of Ejin Banner

构造动力影响的缘故,不属于区域变质,对整体烃源岩演化影响不大。

2.3.2 包裹体测温结果反映的古地温信息

包裹体均一温度是捕获流体的最低形成温度。在包裹体的地质应用中,一般可用矿物流体包裹体

的均一温度加上一定的校正值来代表包裹体形成的温度,即矿物结晶时的温度。在额济纳旗地区选取了 5 个剖面上包裹体发育较好的样品进行了包裹体均一温度测定,对测量结果再进一步筛选,结果表明,平均均一温度范围为 150.2~254.3℃。一般认为,当

表 1 额济纳旗地区镜质组反射率与古地温梯度的关系
Table 1 The relationship between vitrinite reflectance and palaeo-geothermal gradient in Ejin Banner area

| 地 名 | 层 位 | R_o 平均 值/% | T_{max} 平 均值/℃ | 古地温梯度 平均值/℃ · 100m ⁻¹ |
|----------|-------|-----------------|---------------------|-------------------------------------|
| 杭乌拉 | 埋汗哈达组 | 0.79 | 120.64 | 3.8 |
| 尼除滚哲勒德 | 哈尔苏海组 | 2.21 | 228.2 | 6.1 |
| 芦草井 | 菊石滩组 | 2.07 | 221.9 | 5.1 |
| 古硐井 | 菊石滩组 | 2.08 | 232.44 | 6.1 |
| 埋汗哈达 | 埋汗哈达组 | 1.29 | 173.68 | 5.6 |
| 整个额济纳旗地区 | | 1.76 | 198.22 | 5.3 |

表 2 额济纳旗地区二叠系包裹体测温与古地温梯度
Table 2 Microthermometric measurements of fluid inclusions
and palaeo-geothermal gradient in Ejina Banner area

| 样品位置 层位 | 乌哈西比 埋汗哈达组 | 哈尔苏海 哈尔苏海组 | 阿其德 阿其德组 | 尚丹 阿木山组 | 埋汗哈达 埋汗哈达组 |
|------------------------------|---------------|---------------|-------------|------------|---------------|
| 均一温度范围/℃ | 162~185 | 115~197 | 120~170 | 241~274 | 167~179 |
| 均一温度平均值/℃ | 170.3 | 153.9 | 150.2 | 254.3 | 172.7 |
| 测点数 | 4 | 21 | 5 | 11 | 6 |
| 样品数 | 1 | 4 | 1 | 2 | 1 |
| 古地温梯度/℃·100m ⁻¹ | | 3.9 | | 4.3 | |
| 平均古地温梯度/℃·100m ⁻¹ | | | 4.1 | | |

均一温度小于 150℃时,均一温度接近于形成温度,否则可认为其是形成温度的下限^[8]。

从表 2 中可以看出,样品均一温度分布范围不大,由于多数剖面只有 1 个样品,无法计算样品的深度差,只有哈尔苏海和尚丹剖面算出了古地温梯度,与镜质组反射率求得的结果相比结果明显偏小。这 2 条剖面的均一温度平均值均大于 150℃,所以可以认为这是地质历史上真实古地温的下限值。根据这 2 个剖面算出的古地温梯度也可认为是一个下限值,该值暂定为包裹体测温法得出的研究区古地温梯度的代表值。

2.3.3 磷灰石裂变径迹反映的古地温信息

该方法的原理是磷灰石中所含的 ²³⁸U 裂变时产生的碎片在磷灰石中会形成裂变径迹,在地质时间内随温度的升高径迹长度减小,密度降低。在 1~100Ma 时间段内,磷灰石裂变径迹的退火温度为 60~150℃,此温度正好与生油窗温度(60~130℃)比较接近,故被广泛地用于盆地古地温场的研究^[10~11]。

磷灰石裂变径迹年龄分布显示样品的表现年龄主要集中在 90~113Ma 之间,明显小于地层年龄,说明已受到退火作用。从图 3 可以看出,在深度 800m 左右,裂变径迹年龄减小为零,说明 800m 以下为完全退火带,小于-200m 为未退火带,-200~800m 为退火带。

1981 年澳大利亚学者 J.F.Lovering 等研究了澳大利亚 Otway 盆地的 2 口探井,得到磷灰石径迹退火带的温度范围为 70~125℃^[12]。本文也取 70~125℃为退火带的温度范围,利用这个温度范围的差值和退火带对应的深度范围的差值,可以估算出古地温梯度值

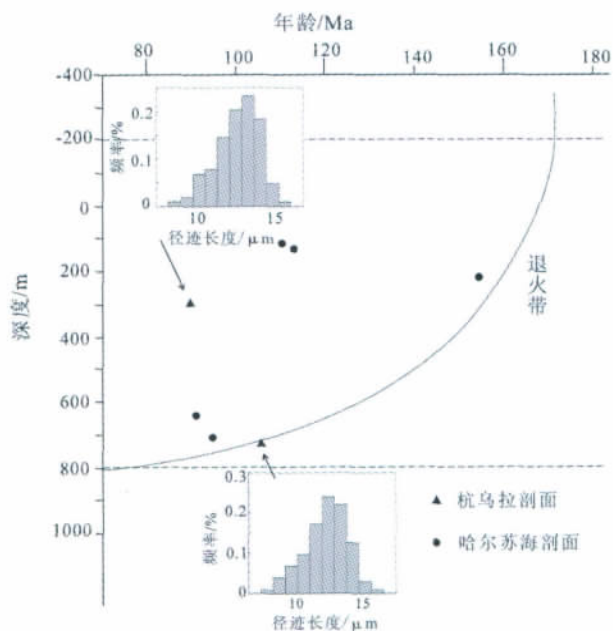


图 3 额济纳旗地区磷灰石裂变径迹年龄与深度的关系

Fig. 3 Diagram of apatite fission-track ages versus depths in Ejina Banner area

约为 5.5℃/100m,与镜质体反射率法估算的值近似。

2.3.4 3 种方法确定的古地温梯度对比

以上 3 种方法恢复的额济纳旗地区古地温梯度各不相同,这主要是不同剖面、不同样品的差异所造成的。另外,3 种方法特性的差异和样品数量不同,分析结果的代表性就不同,都会影响最后的研究结果。但以研究区目前的研究程度还不能消除这些影响,所以本文用 3 种结果进行综合分析。其中包裹体测温法得出的结果最小,为 4.1℃/100m,镜质组反射率法与磷灰石裂变径迹法得出的结果较为相似,

为 $5.3\sim 5.5^{\circ}\text{C}/100\text{m}$,明显高于包裹体测温法所得的结果,可作为研究区古地温梯度的上限。因此笔者初步认为,额济纳旗地区在白垩纪达到最大埋深,本文所求得的古地温梯度为白垩纪时的古地温梯度,在 $4.1\sim 5.5^{\circ}\text{C}/100\text{m}$ 之间。

由于研究区勘探程度低,可用的热演化方面的资料匮乏,笔者借鉴位于额济纳旗东部同样隶属银-额(银根-额济纳旗)盆地的查干凹陷的一些热演化资料进行对比分析。据叶加仁等^[13]的研究,查干凹陷白垩纪时的古地温梯度为 $4.8^{\circ}\text{C}/100\text{m}$,而现今的地温梯度仅为 $1.88\sim 3.24^{\circ}\text{C}/100\text{m}$,明显小于古地温梯度,这与查干凹陷在白垩纪时期处于拉伸隆起、地层减薄的构造背景是一致的。额济纳旗地区白垩纪也处于拉伸的构造环境,所以笔者推测额济纳旗地区白垩纪时的古地温梯度也大于现今的地温梯度,说明烃源岩的热演化程度主要受古地温场的控制。

3 讨论

额济纳旗及邻区属于叠合盆地,有着多期次的构造演化,有关盆地埋藏史的资料十分匮乏。本文利用埋汗哈达剖面实测埋汗哈达组、阿其德组的厚度,获得的流体包裹体均一温度、镜质组反射率(R_o)等资料,结合地球物理资料和邻区钻井获得的上覆地层的厚度,分析研究区的埋藏史(图2)。笔者认为,研究区晚泥盆世—二叠纪盆地进入后造山伸展阶段,盆地相对稳定,在晚二叠世沉积厚度达到阶段性最大,该时期部分烃源岩就已进入成熟阶段,二叠纪晚期—三叠纪开始进入陆内造山阶段,以抬升为主,沉积厚度减薄,到早侏罗世—早白垩世,受燕山运动的影响,经历了沉降与抬升的转换,早白垩世末期开始到晚白垩世,研究区(银-额盆地)进入平稳的拗陷沉降阶段,沉积了厚度巨大的砂泥岩组合,达到了最大沉积厚度,二叠系烃源岩热演化程度也达到了最高,开始进入主要生烃期。

根据3种方法恢复的额济纳旗地区白垩纪时的古地温梯度高于现今的地温梯度,烃源岩的热演化程度主要受古地温场的控制。从有机质成熟度来看,二叠系烃源岩在二叠纪晚期有少部分开始进入低成熟阶段,随着后来上覆白垩系厚度的不断加大,石炭系—二叠系烃源岩逐渐进入成熟—高成熟阶段,局部甚至达到过成熟。通过上述模拟,二叠系烃源岩热演化程度在晚白垩世达到最高。

4 结论

综上所述,笔者认为研究区在晚白垩世达到最大沉积厚度,热演化程度达到最高,并通过所采样品求得了白垩纪时古地温梯度为 $4.1\sim 5.5^{\circ}\text{C}/100\text{m}$ 。区内二叠系烃源岩热演化程度主要受古地温场的控制,部分二叠系烃源岩在二叠纪末进入低成熟阶段,随着后期环境的改变,在早白垩世末—晚白垩世开始进入成熟阶段,局部甚至达到过成熟。二叠系有机质成熟与否,主要受热动力和构造动力的影响,个别样品达到过成熟不属于区域变质,对烃源岩演化的影响不大。因此,二叠系烃源岩是本区重要的一个生油层位,有良好的勘探前景。

致谢:文章写作过程中得到西安地质调查中心卢进才教授级高级工程师、西北大学任战利教授及一些同事的指导和帮助,在此表示真诚的感谢。

参考文献

- [1]卢进才,陈高潮,魏仙样,等.内蒙古西部额济纳旗及邻区石炭系—二叠系沉积建造与生烃条件——石炭系—二叠系油气地质条件研究之一[J].地质通报,2011,30(6):811—826.
- [2]陈践发,卢进才,石正勇,等.内蒙古西部额济纳旗及其邻区石炭系—二叠系烃源岩的发育特征和生烃潜力评价[J].地质通报,2010,29(2/3):346—350.
- [3]卢进才,魏仙样,魏建设,等.内蒙古西部额济纳旗及其邻区石炭系—二叠系油气地质条件初探[J].地质通报,2010,29(2/3):330—340.
- [4]卢进才,魏仙样,魏建设,等.内蒙古西部额济纳旗雅干地区二叠系埋汗哈达组烃源岩的特征[J].地质通报,2010,29(2/3):341—345.
- [5]卢进才,魏仙样,李玉宏,等.额济纳旗土壤油气地球化学特征及其意义[J].新疆石油地质,2009,30(1):6—8.
- [6]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.
- [7]任战利,刘丽,崔军平,等.盆地构造热演化史在油气成藏期次研究中的应用[J].石油与天然气地质,2008,29(4):502—506.
- [8]崔军平,任战利,肖晖.海拉尔盆地呼和湖凹陷热演化史与油气关系[J].中国地质,2007,34(3):522—527.
- [9]邱楠生,胡圣标,何丽娟.沉积盆地热体制研究的理论与应用[M].北京:石油工业出版社,2004.
- [10]任战利.利用磷灰石裂变径迹法研究鄂尔多斯盆地地热史[J].地球物理学报,1995,38(37):39—349.
- [11]苗建宇,周立发,邓昆,等.吐鲁番坳陷二叠系烃源岩地球化学与沉积环境的关系[J].中国地质,2004,31(4):424—430.
- [12]李善鹏,邱楠生.磷灰石裂变径迹方法研究沉积盆地古地温——以东营凹陷为例[J].西南石油学院学报,2003,25(4):4—8.
- [13]叶加仁,杨善华.银-额盆地查干凹陷温压场特征及其油气地质意义[J].天然气工业,2003,23(2):15—19.
- ①卢进才,等.银-额盆地及其邻区油气基础地质调查可行性报告.2010.