

海拉尔盆地热演化史研究

陈守田^{1,2} 刘招君³ 于洪金²

(1. 石油大学 盆地与油藏研究中心, 北京 102249; 2. 大庆石油管理局, 黑龙江 大庆 163412; 3. 吉林大学 地球科学学院, 吉林 长春 130026)

摘要:海拉尔盆地现今为中地温场,中低大地热流特征,镜质体反射率随埋深增大而逐渐增大。不同层位、不同凹陷烃源岩热演化程度不同,乌尔逊、贝尔凹陷镜质体反射率值最大,热演化程度高。应用镜质体反射率法恢复了古地温及古地温梯度。海拉尔盆地古地温高于今地温,南屯组沉积前具有较高的地温梯度,可达 $(4.0 \sim 5.8) \times 10^{-2} / \text{m}$ 。乌尔逊、贝尔凹陷古地温梯度高,生油门限浅,有利于油气的生成。而另外一些凹陷生油门限较深,不利于油气的生成。

关键词:海拉尔盆地;古地温;古地温梯度;热演化

中图分类号:P618.13

文献标识码:A

文章编号:1671-5888(2004)01-0085-04

Researches of thermal evolution history in Hailaer basin

CHEN Shou-tian^{1,2}, LIU Zhao-jun³, YU Hong-jin²

(1. Basin and Reservoir Research Center, University of Petroleum, Beijing 102249, China; 2. Daqing Petroleum Administration, Daqing 163412, China; 3. College of Earth Sciences, Jilin University, Changchun 130026, China)

Abstract: Hailaer basin is characterized by middle geotemperature and middle on lower terrestrial heat flow. Vitrinite reflectance rises with increase of buried depth. The thermal evolution of source rock is different in different horizon and depression. Vitrinite reflectance is the greatest in Wuerxun and Beier depression, the degree of thermal evolution is the highest. Based on vitrinite reflectance, palaeogeotemperature and palaeogeothermal gradient are evaluated, palaeogeotemperature is higher than present geotemperature in Hailaer basin. Geothermal gradient was higher before Nantun Formation was deposited, it is $(4.0 \sim 5.8) \times 10^{-2} / \text{m}$. Palaeogeothermal gradient is higher in Wuerxun and Beier depressions, and oil-producing threshold is shallow, which is of advantage to formation oil and gas. Oil-producing threshold is deep in other depressions, it is of disadvantage to formation oil and gas.

Key words: Hailaer basin; palaeogeotemperature; palaeogeothermal gradient; thermal evolution

海拉尔盆地位于内蒙古自治区呼伦贝尔盟境内,为新生代的多次旋回、叠合式、断陷-拗陷型盆地,具两隆三拗的构造格局,即扎赉诺尔拗陷、嵯岗隆起、贝尔湖拗陷、巴彦山隆起、呼和湖拗陷。盆地一级构造单元进一步细分为16个凹陷、3个凸起^[1]。盆地基底为海西印支期花岗岩以及布达特群、兴安岭群。盆地内充填侏罗系、白垩系以及第三系、第四系。侏罗系、白垩系为盆地内主体沉积地层,从下至上为:铜钵庙组、南屯组、大磨拐河组、伊敏组以及青元岗组,主要为扇三角洲、冲积扇、滨浅

收稿日期:2003-01-30

基金项目:中国石油天然气集团公司资助项目(2002404-02)

作者简介:陈守田(1968-),男,黑龙江大庆人,高级工程师,石油大学博士后,主要从事地震资料解释及石油地质综合研究, Tel:0459-4103831, E-mail: chensht@wt.dq.cnpc.com.cn.

通讯联系人:刘招君(1951-),男,黑龙江哈尔滨人,教授,博士生导师,主要从事沉积学与石油地质等方面的教学与科研工作, E-mail: liuzhaojun@jlu.edu.cn.

湖、深湖、半深湖沉积。海拉尔盆地的发育演化主要经历了地壳隆起、断陷阶段、坳陷阶段、萎缩阶段 4 个阶段^[2]。

海拉尔盆地的热演化史研究一直为人们所关注。其现今地温场已作过深入研究,但古地温研究相对薄弱。作者在前人工作的基础上,对不同层位烃源岩热演化程度进行了对比分析,恢复了古地温梯度及大地热流值,探讨了古地温与油气的关系。

1 现今地温场

海拉尔盆地现在呈中地温场、中低大地热流特征。据目前掌握的 10 口井实测地温资料的统计,盆地地温梯度为 $(1.5 \sim 3.5) \times 10^{-2} \text{ }^{\circ}\text{C}/\text{m}$, 平均为 $2.6 \times 10^{-2} \text{ }^{\circ}\text{C}/\text{m}$ 。从各凹陷情况看,最高的是红旗凹陷海参 6 井为 $3.81 \times 10^{-2} \text{ }^{\circ}\text{C}/\text{m}$, 其次是呼和湖凹陷地温梯度为 $3.05 \times 10^{-2} \text{ }^{\circ}\text{C}/\text{m}$, 最低为乌尔逊凹陷,其北部为 $(2.455 \sim 2.46) \times 10^{-2} \text{ }^{\circ}\text{C}/\text{m}$, 南部为 $2.31 \times 10^{-2} \text{ }^{\circ}\text{C}/\text{m}$, 其它凹陷为 $(2.87 \sim 2.90) \times 10^{-2} \text{ }^{\circ}\text{C}/\text{m}$ 。全区的地温梯度变化不大,根据居里面计算的平均地温梯度的变化趋势反映为北东走向,巴彦山隆起-伊敏凹陷反映为地温梯度低值区,最低地温梯度为 $2.1 \times 10^{-2} \text{ }^{\circ}\text{C}/\text{m}$, 汗乌拉凸起反映为地温梯度低值区,地温梯度最低为 $2.5 \times 10^{-2} \text{ }^{\circ}\text{C}/\text{m}$, 地温梯度高值区主要分布在扎赉诺尔和锡林贝尔。

根据 55 块样品的热导率(表 1),按 8 口井实测地温梯度资料相配套进行了大地热流值计算,乌尔逊凹陷热流值最低,北部和南部分别为 0.99 HFU 和 0.91 HFU,平均为 0.96 HFU。红旗凹陷最高为 1.48 HFU,其它凹陷为 1.15 ~ 1.20 HFU,盆地平均为 1.20 HFU,与全球平均值相比属中低值。

表 1 海拉尔盆地岩石热导率(K)

Table 1 Rock heat conductivity of Hailaer basin

编号	井号	井深/ m	层位	K/ TCU
1	海参 1	1 569	y ₁	4.10
2	海参 1	1 816.3	d _上	3.64
3	海参 1	2 068.5	d _上	4.83
4	海参 1	2 555.12	d _下	3.64
5	海参 1	3 500 ~ 3 501	n _下	4.17
6	海参 1	1 570.7	y ₁	3.18
7	海参 1	2 067.55	d _上	5.05
8	海参 1	2 357.42	d _上	4.89
9	海参 1	2 358	d _上	4.04

续表 1

编号	井号	井深/ m	层位	K/ TCU
10	海参 4	936	d _上	2.85
11	海参 4	1 182.7	d _上	2.99
12	海参 4	1 282	d _下	2.53
13	海参 4	1 582.5	n _上	3.64
14	海参 4	1 636.2	n _上	4.06
15	海参 4	1 848	n _上	4.22
16	海参 4	1 186.24	d _上	4.58
17	海参 4	1 731.4	n _上	4.84
18	海参 4	1 864	n _上	4.92
19	海参 4	2 735.64	t	4.53
20	乌 8	1 301.5	n _上	5.00
21	铜 1	1 249.3	n _上	8.00
22	海参 5	1 357	y ₁	3.16
23	海参 5	1 562	d _上	3.28
24	海参 5	1 889.5	d _下	4.77
25	海参 5	2 409	n _上	4.57
26	海参 5	2 636.25	n _上	3.77
27	海参 5	1 772	d _上	3.24
28	海参 5	2 229.5	d _下	3.77
29	海参 5	2 531.5	n _上	3.70
30	海参 5	3 090.3	p _z	5.22
31	海参 6	1 613.37	n _下	6.89
32	海参 6	2 098.2	t	4.11
33	海参 6	2 204.15	t	4.04
34	海参 6	2 460.76	t	3.56
35	海参 6	2 555.95	x	4.67
36	海参 6	1 141.3	n _上	2.07
37	海参 6	1 706.07	n _下	3.61
38	海参 6	2 204.65	t	4.79
39	海参 8	1 422.13	d _上	5.46
40	海参 8	1 907.92	d _下	4.94
41	海参 8	2 802	t	5.22
42	海参 8	1 808.59	d _下	2.63
43	海参 8	2 014.68	d _下	4.00
44	海参 8	2 247	n _上	3.59
45	海参 8	2 479.5	n _下	2.74
46	海参 7	409.6	y ₁	1.32
47	海参 7	1 528	n _上	3.16
48	海参 7	1 659	n _上	2.04
49	海参 7	700	d _上	2.50
50	海参 7	956	d _下	2.84
51	海参 7	1 324	d _下	4.05
52	海参 7	1 783	n _上	4.18
53	乌 7	2 842	n _下	3.93
54	乌 3	3 205	t	4.15
55	海参 5	2002	d _下	3.52

K 值单位为非法定计量单位,1 TCU = $10^{-3} \text{ J}/(\text{cm} \cdot \text{s} \cdot ^{\circ}\text{C})$

海拉尔盆地同东部一些张性盆地相比^[3~5],属低地温场地区(表 2),但在低地温背景上也有局部高地温场出现,可能与燕山期花岗岩的侵入有关,这就提供了寻找有利生油层转化地区的线索。

表 2 海拉尔盆地与中国东部一些张性含油气盆地地温梯度对比^[3,4]

Table 2 Comparison of geothermal gradient between Hailaer basin and oil/gas basin of eastern China^[3,4]

盆地名称	地温梯度 ($\times 10^{-2} \text{ } ^\circ\text{C} \cdot \text{m}^{-1}$)	盆地名称	地温梯度 ($\times 10^{-2} \text{ } ^\circ\text{C} \cdot \text{m}^{-1}$)
松辽盆地	4.2	渤海湾盆地	3.6
二连盆地	3.5	下辽河盆地	3.4
海拉尔盆地	2.6	江汉盆地	3.1

2 不同层位热演化程度对比分析

海拉尔盆地镜质体反射率与深度关系表明,镜质体反射率随埋深增大而逐渐增大(图 1),不同凹陷由于古地温梯度、后期剥蚀厚度的差异,镜质体反射率曲线有所不同。

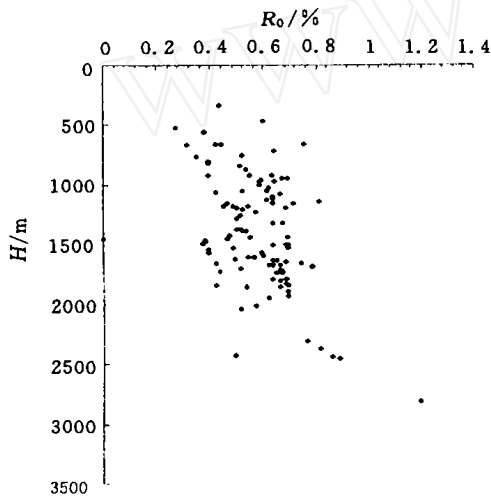


图 1 海拉尔盆地 R_o - H 关系散点图

Fig. 1 The scatter diagram of vitrinite reflectance ratio - high relations in Hailaer basin

南屯组在乌尔逊凹陷中, R_o 值从凹陷周围向凹陷中心逐渐增高,凹陷中心 R_o 值最高可达 1.2 % (图 2)。在贝尔凹陷 R_o 值可达 0.7 %,呼和湖凹陷可达 0.7 %,查干诺尔凹陷可达 0.6 %,呼伦湖凹陷可达 0.6 %,赫尔洪德凹陷仅为 0.38 %,乌固诺尔凹陷为 0.53 %,红旗凹陷为 0.45 %。

大磨拐河组下段(简称大下段)在乌尔逊凹陷中,北部 R_o 值较小,为 0.5 % 左右,南部 R_o 值较大,

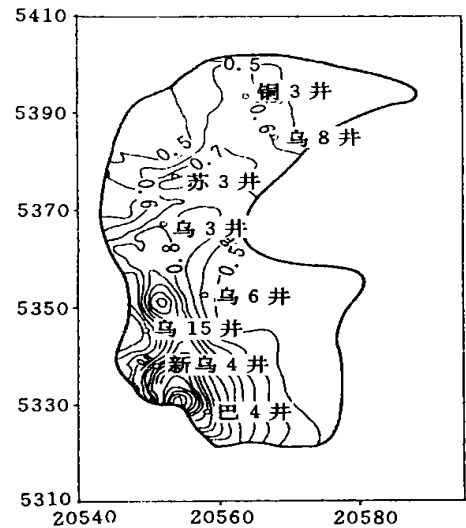


图 2 乌尔逊南屯组中部现今 R_o 等值线图

Fig. 2 The present vitrinite reflectance ratio contour in the middle of Nantun Formation

均在 0.5 % 以上(图 3),最大可达 0.82 %,在贝尔凹陷, R_o 值为 0.8 %,查干诺尔 R_o 值为 0.69 %,乌固诺尔为 R_o 值 0.44 %。

从以上南屯组、大下段镜质体反射率的平面分布来看,乌尔逊、贝尔凹陷镜质体反射率值最大,表明其热演化程度高。大下段在乌固诺尔等凹陷 R_o 值小于 0.5 %,热演化程度低。

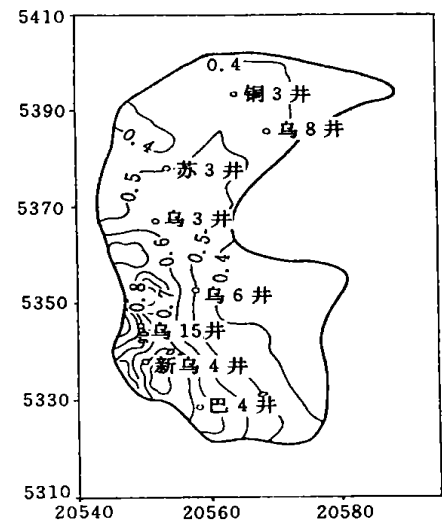


图 3 乌尔逊大磨拐河组下段现今 R_o 等值线图

Fig. 3 The present vitrinite reflectance ratio contour on the top of lower Damoguaihe Formation

3 古地温恢复

本次古地温梯度的求取主要应用 Easy R_o 模拟

模型,根据古热流和古热导率来求取。

由于镜质组 R_o 的热成熟过程同干酪根熟化过程的机理相同,皆遵从一级化学反应动力学原理^[6],即 Arrhenius 方程:

$$K = A \exp(-E_a/RT)$$

其中 K 为反应速度; A 为一常数,有时称为频率因子; E_a 为活化能; R 为通用气体常数; T 为绝对温度(K)。

因此,许多学者相继提出按化学反应动力学模型来拟合 R_o 史,模拟出的 R_o 称为 Easy R_o ^[7]。对于某一井点来说,通过不断调整古地温梯度值来正演模拟 Easy R_o ,使之与化验分析的实际 R_o 相符,从而认为这时的古地温梯度是正确的。

从单井模拟的古地温梯度,在南屯组沉积以前具有较高的地温梯度,海参1、4、5、6、7、8井南屯组时期地温梯度分别为 4.8×10^{-2} , 5.0×10^{-2} , 3.95×10^{-2} , 5.8×10^{-2} , 4.77×10^{-2} , 2.66×10^{-2} /m; 而现今的地温梯度为 2.31×10^{-2} , 2.34×10^{-2} , 3.32×10^{-2} , 3.81×10^{-2} , 3.05×10^{-2} , 2.51×10^{-2} /m。盆地形成之初,大地热流较高,随着盆地的形成,大地热流下降,到伊敏组末期下降到现今的大地热流值。

4 古地温与油气关系

从古地温演化可知,海拉尔盆地是逐渐降温的,因此要判断生油期首先要对埋藏史进行恢复,然后考虑烃源层古今地温的变化。从海拉尔盆地贝尔凹陷海参5井埋藏史图可知,主要沉降期在早白垩世早期,南屯组烃源岩在大磨拐河组末期开始生烃,伊敏组末期进入生烃高峰期;大下段烃源岩在伊敏组一段末期开始生烃,伊敏组之后至今进入生烃高峰期。中生代早白垩世地温梯度高,生油门限浅,有利于油气的生成。如以1100 m古生油门限的古地温值为60 计算,则现今的地温60 点的深度已降低到1500 m。因此,海拉尔盆地主要生油期在早白垩世,伊敏组以后,地层抬升,遭受剥蚀,生烃作用减弱,第三纪以来地温梯度减小,沉降幅度也小。因此大磨拐河组下部生烃作用停止,南屯组生烃作用减慢。

与贝尔凹陷相似,乌尔逊凹陷主沉降期在早白垩世(图4),该凹陷古地温梯度高,生油门限较浅,从大下段沉积时期开始生烃,到伊敏组末期为油气生成高峰期。生油门限浅,所有潜在烃源层均进入

生油窗范围,成熟条件对有机质向烃类转化极为有利。

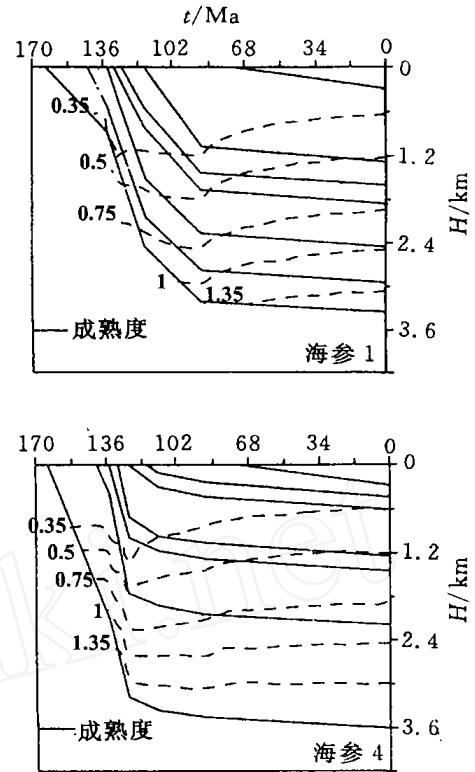


图4 乌尔逊凹陷典型井埋藏史成熟史图

Fig. 4 The burial and maturity history of typical well in Wuershun depression

呼和湖凹陷和1井主沉降期为早白垩早期,但生油门限较深,一般为1200 m,南屯组生油岩在伊敏组进入生油门限,到青龙岗组进入生烃高峰,由于该凹陷埋藏较深,烃源岩成熟。

海拉尔盆地另外一些凹陷如旧桥、莫达木吉、乌固诺尔凹陷等,古地温梯度低,生油门限较深,一般在南屯组,生油高峰门限层位在铜钵庙组或其以下地层。凹陷中有利的潜在烃源层处于低成熟阶段,受成熟度影响,有机质向烃类的转化条件相对较差。

5 结论

海拉尔盆地古地温高于今地温,在南屯组沉积以前具有较高的地温梯度,到伊敏组末期下降到现今的地温梯度。烃源岩热演化程度主要受古地温控制,不同层位、不同凹陷烃源岩热演化程度不同。高古地温场的配合是促进海拉尔盆地主力生油层在伊敏组末期进入大量生烃期的关键。

(下转92页)

- [2] 徐乐昌. 地下水模拟常用软件介绍[J]. 铀矿冶, 2002, (1): 33-38.
XU Le-chang. Introduction to common software products modeling groundwater[J]. Uranium Mining Metallurgy, 2002, (1): 33-38.
- [3] 林学钰, 侯印伟, 邹立芝, 等. 地下水水量水质模拟及管理程序集[M]. 长春: 吉林科学技术出版社, 1988: 8-124, 139-284.
LIN Xue-yu, HOU Yin-wei, ZOU Li-zhi, etc. Software collections of modeling and management for groundwater quantity and quality[M]. Changchun: Jilin Science and Technology Press, 1988: 8-124, 139-284.
- [4] 薛禹群, 吴吉春. 面临 21 世纪的中国地下水模拟问题[J]. 水文地质工程地质, 1999, (5): 1-3.
XUE Yu-qun, WU Ji-chun. The problems of groundwater modeling in China facing the 21st [J]. Hydrogeology and Engineering Geology, 1999, (5): 1-3.
- [5] 章光新, 邓伟, 李取生. REMAX 在吉林省西部地下水资源管理中的应用[J]. 长春科技大学学报, 2001, 31(3): 279-283.
ZHANG Guang-xin, DENG Wei, LI Qu-sheng. The application of REMAX software in groundwater resources management in the west Jilin Province [J]. Journal of Changchun University of Science and Technology, 2001, 31(3): 279-283.
- [6] 卢文喜. 地下水模拟预报工程中降水量的预报[J]. 勘察科学技术, 1995, (4): 8-10.
LU Wen-xi. Precipitation forecasting of groundwater modeling and forecasting engineering [J]. Investigation Science and Technology, 1995, (4): 8-10.
- [7] 苏福喜. 用年际变量自相关法作秋季降水量预报[J]. 陕西气象, 1997, (1): 16-18.
SU Fu-xi. Autumn precipitation forecasting by inter-annual variable auto-correlation method [J]. Shaanxi Meteorology, 1997, (1): 16-18.
- [8] 贾海峰, 郑耀泉, 丁跃元, 等. 灰色-时序组合预测模型及其在年降水量预测中的应用[J]. 系统工程理论与实践, 1998, 4: 122-126.
JIA Hai-feng, ZHENG Yao-quan, DING Yue-yuan, et al. Grey-time series combined forecasting model and its application in annual precipitation [J]. Theory and Practice of Systems Engineering, 1998, 4: 122-126.
- [9] 邓聚龙. 灰色系统基本方法[M]. 武汉: 华中理工大学出版社, 1988: 59-60.
DENG Ju-long. Basic methods of gray system [M]. Wuhan: Press of Huazhong University of Science and Technology, 1988: 59-60.

(上接 88 页)

参考文献:

- [1] 张长俊, 龙永文. 海拉尔盆地沉积相特征与油气分布[M]. 北京: 石油工业出版社, 1995: 1-8.
ZHANG Chang-jun, LONG Yong-wen. The feature of sedimentary facies and oil/gas distribution in Hailaer basin [M]. Beijing: Petroleum Industry Press, 1995: 1-8.
- [2] 陈守田, 刘招君. 海拉尔盆地含油气系统[J]. 吉林大学学报: 地球科学版, 2002, 32(2): 151-154.
CHEN Shou-tian, LIU Zhao-jun. Oil system in Hailaer basin [J]. Journal of Jilin University: Earth Science Edition, 2002, 32(2): 151-154.
- [3] 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 Zhan-li, XIAO De-ming, CHI Yuan-lin. Restoration of the Palaeogeotherm in Songliao basin [J]. Petroleum Geology and Oilfield Development in Daqing, 2001, 20(1): 13-14.
- [4] 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: 150-157.
REN Zhan-li. The research of tectonic-thermal evolution history in north china sedimentary basin [M]. Beijing: Petroleum Industry Press, 1999: 150-157.
- [5] Green P F, Duddy I R, Gleadow A J W, et al. Apatite fission track analysis as a paleotemperature indicator for hydrocarbon exploration [A]. In: Naeser N D, McCulloch T H, eds. Thermal history of sedimentary basin — methods and case histories [C]. New York, Springer-verlag, 1989: 191-196.
- [6] 艾伦 P A, 艾伦 J R. 盆地分析——原理及应用[M]. 北京: 石油工业出版社, 1995: 258-271.
Allen P A, Allen J R. Basin analysis: principles and applications [M]. Beijing: Petroleum Industry Press, 1995: 258-271.
- [7] Sweeney J J, A K Burnham. Evaluation of a simple model of vitrinite reflectance based on chemical kinetics [J]. AAPG Bulletin, 1990, 74: 1559-1570.