

文章编号: 1006-6616 (2003) 02-0106-07

辽河盆地东部凹陷古地温演化研究

殷秀兰², 武红岭¹, 马寅生¹, 王小凤¹, 吴铁生²,
陈正乐¹, 白嘉启¹, 王庆丰², 郑治宇²

(1. 中国地质科学院地质力学研究所, 北京 100081;

2. 辽河石油勘探局勘探开发研究院, 辽宁 盘锦 124000)

摘要: 基于化学动力学原理, 采用镜质组反射率模拟计算法, 对辽河盆地东部凹陷 14 口井的古地温演化进行了恢复, 重建了各时期平均古地温柱。总结了古地温演化的总体特征, 认为研究区古近纪古地温演化特点是 E_{s_3} 高, $E_{s_{1-2}}$ 低, $E_d - N$ 高, 为波状高地温演化。区域上, 凹陷内部呈南北高、中央低的趋势, 南部黄金带、二界沟及北部牛居地区的地温梯度一般在 $35^\circ\text{C} \sim 40^\circ\text{C}/\text{km}$, 而中段相对较低 ($29^\circ\text{C} \sim 35^\circ\text{C}/\text{km}$)。

关键词: 辽河盆地; 东部凹陷; 古地温演化, 地温梯度

中图分类号: P314

文献标识码: A

0 前言

在含油气盆地中, 影响有机质成熟度的因素主要是有机质埋藏时间和所经历的温度, 因而确定沉积物的埋藏史和所经历的古地温对于研究有机质成熟度和评价盆地含油气远景十分重要^[1-4]。所以, 20 世纪 90 年代以来, 地温演化的研究一直是含油气盆地研究的热点^[5-8]。本文采用镜质组反射率模拟计算法, 对辽河盆地东部凹陷 14 口井的古地温演化进行了恢复, 总结了古地温演化的总体特征。在此基础上, 探讨了东部凹陷的古地温演化与油气生成关系, 为油气远景预测提供有价值的依据。

1 区域地质背景

辽河盆地是下辽河拗陷的陆地部分, 是渤海湾裂谷系的一部分^[9]。根据其地质构造特点, 可将盆地分为东部凹陷、西部凹陷、大民屯凹陷、沈北凹陷、东部凸起、中央凸起、西部凸起等次一级构造单元 (图 1)。盆地基底结构十分复杂, 由太古宙花岗岩、中、新元古界碎屑岩和碳酸盐岩及古生界沉积岩组成。新生界最厚可达 9400m, 为盆地的主要含油层

收稿日期: 2003-3-28

基金项目: 本文由中国地质调查局地质调查项目资助 (编号: DKD2104011)

作者简介: 殷秀兰 (1968-), 女, 副研究员, 主要从事盆地构造与流体等方面的研究。

系。古近系分 3 组，房身泡组为玄武岩和紫红色泥岩组成，沙河街组为湖相砂 - 泥互层，属类复理石建造；东营组为泛滥平原相和湖相砂 - 泥岩。新近系分为两组，主要为砂、砾岩沉积，属类磨拉石建造。主要烃源岩为沙河街三、四段的暗色泥岩。

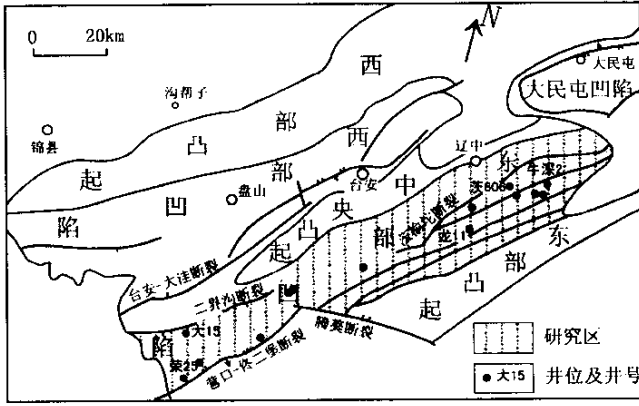


图 1 辽河盆地构造单元划分略图

Fig.1 Sketch map of structural units in Liaohhe Basin

东部凹陷是辽河盆地 3 大凹陷之一，为一北东走向的狭长构造，面积达 3950km²，是辽河盆地勘探最早的地区^[10]。由南向北依次发育了二界沟洼陷、驾掌寺洼陷、黄于热洼陷、于家房子洼陷、界东洼陷、牛居洼陷、长滩洼陷等负向构造单元以及荣兴屯构造带、大平房—桃园构造带、黄于热构造带、新开—董家岗斜坡带、大湾超覆带、三界泡潜山带、牛居—青龙台构造带、茨榆坨高垒带等正向构造单元。

2 东部凹陷古地温模拟研究

2.1 研究方法

古地温研究方法概括起来可分为 2 大类：一类是利用地层中生物及矿物地质温度计，通过直接测定其中的热变裂痕，来获取某种特定温度或最高埋藏温度，如包裹体测温法、裂变径迹法、牙形石法等；另一类是根据一定的数学物理或化学模型，通过模拟热演化来恢复古地温。本文采用的镜质组反射率模拟计算法，是由 Meddleton^[11,12]提出的古地温反演法，该法的特点是考虑了构造过程对镜质组反射率演化的影响，并不受样品数量的严格局限，还可重建某一个时期内的平均古地温。

Meddleton 的方法是根据 Shibaoka et al.^[13]的诺模图原理提出的，该图解的 R₀ 值可由下式描述：

$$(R_0)^{\gamma} = R^{\alpha} + bt_1 \exp(cTm) \dots \dots \dots (1)$$

其中：R₀：镜质组反射率

R：原始镜质组反射率，一般取 0.2%

t₁：给定时间段

Tm：给定时间段的平均温度

a、b、c 为参数，分别取 5.5、 2.8×10^{-6} 及 0.065。这样，在一个受热期内的 R_0 值为：

$$(R_0)^c = R^a + b \int_{t_0}^{t_1} \exp(cT(t)dt) \dots\dots\dots (2)$$

其中： $T(t) = T_0 + G(t)Z(t) \dots\dots\dots (3)$

- T_0 ：地表平均温度
- $G(t)$ ：不同时期地温梯度
- $Z(t)$ ：不同时期埋深

因此，可根据 (2) (3) 式，求出某一地质时期内的平均古地温梯度。

根据 R_0 计算值，可获得各相应时期至现今的平均古地温梯度。进一步可以采用年代系数的方法，获得各地质时期的古地温。

2.2 计算参数的选取

计算中需要给定两个参数： T_0 及 t ，其中 t 为地层界面的年代值，根据国际地层时代表^[14]及业渝光等^[15]确定出本区主要的地层界面的时间（见表 1）。

表 1 计算段各时代地层底界年代表 (Ma)

Table1 Age of each stratum for simulation (Ma)

Es ₄	Es ₃	Es ₁₋₂	Ed	Ng
45.4	43	38	36	24.6

2.3 计算结果

计算所用的 R_0 主要是根据在油田收集到的资料，同时补充了不同层位和岩性的样品 22 个，测试单位为中国矿业大学煤田实验室，从而保证了每口井的 R_0 数不少于 9 个。在取得各计算层 R_0 估值后（表 2），按公式 (2) (3) 计算，可获得各地质时期至今的平均古地温梯度。利用年龄系数进一步计算各井中各时代的地温梯度值，结果见表 3。

表 2 东部凹陷各井界面计算的 R_0 值

Table. 2 R_0 of wells in the eastern sag

井号	北段						南段						中段	
	龙 11	龙 42	牛 59	茨 19	茨 606	牛深 2	海 30	洼 18	大 15	荣 25	黄 66	黄 30	欧 6	湾 8
Ng-Q	0.448	0.281	0.275	0.296	0.361	0.237	0.27	0.347	0.308	0.22	0.243	0.462	0.309	0.228
Ed	0.506	0.444	0.439	0.427	0.477	0.430	0.420	0.556	0.638	0.598	0.455	0.635	0.334	0.308
Es ₁₋₂	0.526	0.505	0.519	0.511	0.567	0.604	0.483	0.614	0.793	0.964	0.628	0.756	0.415	0.423
Es ₃	0.660	0.643	0.601	0.588	0.570	0.769	0.642	0.696	0.821		0.784	0.815		0.835
Mz	0.712													

3 东部凹陷古地温特征

3.1 古地温柱

根据上述 14 口井计算的结果，可建立不同井位的古地温柱，这是进行整个东部凹陷古地温研究的基础（图 2）。

表 3 东部凹陷各井古地温梯度表 (°C/km)

Table 3 Geothermal gradients of wells in the eastern sag (°C/km)

井号	北段						南段						中段	
	龙 11	龙 42	牛 59	茨 19	茨 606	牛深 2	海 30	洼 18	大 15	荣 25	黄 66	黄 30	欧 6	湾 8
Ng-Q	35.74	27.65	27.81	30.13	29.87	34.5	25.13	25.22	26.79	27.13	31.40	32.70	29.14	29.71
Ed	52.76	41.04	39.87	45.19	44.17	48.68	33.59	31.09	24.17	30.07	38.82	41.04	33.31	31.32
Es ₁₋₂	40.18	40.06	37.9	40.1	38.8	40.13	26.29	28.06	29.38	33.76	31.47	32.11	33.88	28.89
Es ₃	41.25	33.46*	35.28*	46.35	39.00	42.00*	34.78	34.13	36.10		33.54	38.72		29.46
Mz	38.74*													

* 为参考值

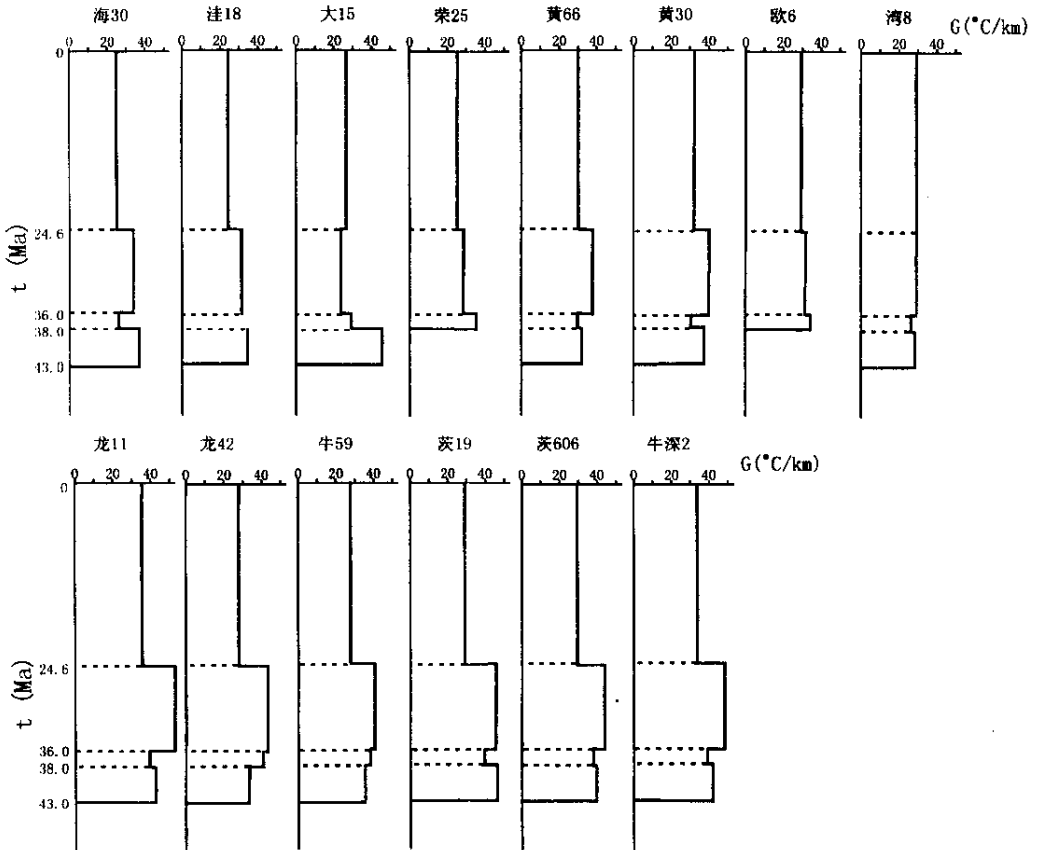


图 2 东部凹陷古地温柱

Fig.2 Paleotemperature column of the eastern sag in Liaohe basin

表 2 中列出了各地段或钻井剖面所可能恢复时段的古地温，图 2 中进一步补充了该地段或钻井剖面上所缺少的那些时段的古地温，从而形成了一条反映该剖面古地温演化的地温柱。

3.2 东部凹陷古地温主要特征

根据表 1 的分析结果可以看出, 东部凹陷在新生代以来地温梯度变化幅度不大, 平均的古地温梯度约 $32^{\circ}\text{C} \sim 35^{\circ}\text{C}/\text{km}$, 一般均在 $30^{\circ}\text{C} \sim 40^{\circ}\text{C}/\text{km}$ 范围内。古近纪早期(沙三段)古地温梯度普遍较高 ($> 33^{\circ}\text{C}/\text{km}$), 晚期(沙一、二段)明显减小, 东营期-新近纪以后又有较大的回升, 这样在新生代形成了一个不完全对称, 却又明显的马鞍形发展历史。

从横向上对比, 凹陷内部古地温也存在着一定程度的差异, 总体上呈现南北高、中央低的趋势。在南段黄金带地区及北段牛居地区古地温梯度均为 $35^{\circ}\text{C} \sim 40^{\circ}\text{C}/\text{km}$, 而中间地段的高力房子—于家房子, 古地温梯度在 $29^{\circ}\text{C} \sim 35^{\circ}\text{C}/\text{km}$ 之间变化。

中生代末较高的古地温梯度和新生代鞍形地温演化特征, 使我们能很好地将其与本区地质历史特点联系起来。燕山运动使本区从一个稳定地块进入相对活动的阶段, 形成断陷带, 对应的是相对高热期, 到古近纪早期, 强烈的断陷仍在明显地继续, 而且热的传导需要一个过程, 所以地温仍然较高。古近纪晚期开始, 本区进入相对稳定阶段, 表现为强烈沉降的大大减弱, 地热活动也随之衰退, 但亦存在一些小规模的热事件影响。新近纪以来, 东部凹陷的地热状况总的发展趋势仍是逐步衰退, 岩浆活动零星分布, 不利于凹陷地温的保存。但由于时间短, 新近系和第四系松散沉积物又起着一定的“隔热”作用, 使地温场还保留着前期遗留下来的较高地温和地温梯度的特点。

4 东部凹陷古地温演化与油气生成的关系

含油气盆地的油气特征与盆地的古地温演化有着十分密切的联系, 这一点在本区表现尤为突出^[16]。本区在中生界及更老层位中也有良好的生油物质条件, 但因燕山期强烈岩浆活动形成的过高古地温破坏了它们的油气演化过程, 烃源层不易保存, 而古近纪以来的高地温史 ($G > 30^{\circ}\text{C}/\text{km}$) 则有利于新地层中有机质的油气演化, 使古近系成为重要的油源层, 而且在古近纪末-新近纪末就已达到大量生烃的温度, 所以古地温演化在油气生成中占有重要的位置。

从图 2、图 3 可以看出, 北段牛居地区在东营期末以前具有较高的古地温, 使得沙河街下部油源岩在沙河街末期开始大量生油, 以后继续向高级阶段演化, 该区东营组可达到成油的温度条件 ($85^{\circ}\text{C} \sim 100^{\circ}\text{C}$), 牛深 2 井在沙一段末期 ES_3 地层、东营期末 ES_3 和 ES_1 地层的古地温均已达开始生烃的温度。青龙台地区(龙 42, 龙 11)在沙一段末期 ES_3 地层未能达生油门限温度, 主要的生油期在东营期末或稍晚。中段高力房地区古地温较低而且没有明显变化(欧 6 井), 在东营期末只有部分 ES_3 地层达到大量生烃温度。南段黄于热地区古地温较高, 与牛居地区相近, 在沙一段末 ES_3 地层、东营期末 ES_3 和部分 ES_{1-2} 地层古地温可达大量生烃温度。而荣兴屯地区古地温低于黄于热区, 主要在东营期末成油, 局部要延至馆陶期。

5 结论

由于燕山运动使本区从一个稳定地块进入相对活动的新历史阶段, 形成区域断陷带, 相对应的是相对高热的历史期。古近纪早期强烈断陷仍在明显继续, 地温梯度保持高值 ($> 35^{\circ}\text{C}/\text{km}$), 平均值可达 $37.2^{\circ}\text{C}/\text{km}$ 。古近纪晚期, 本区进入相对稳定阶段, 地热活动也随之衰退, 地温梯度在 $33^{\circ}\text{C} \sim 35^{\circ}\text{C}/\text{km}$ 之间变化, 新近纪时期本区持续稳定。纵向上, 古近纪古

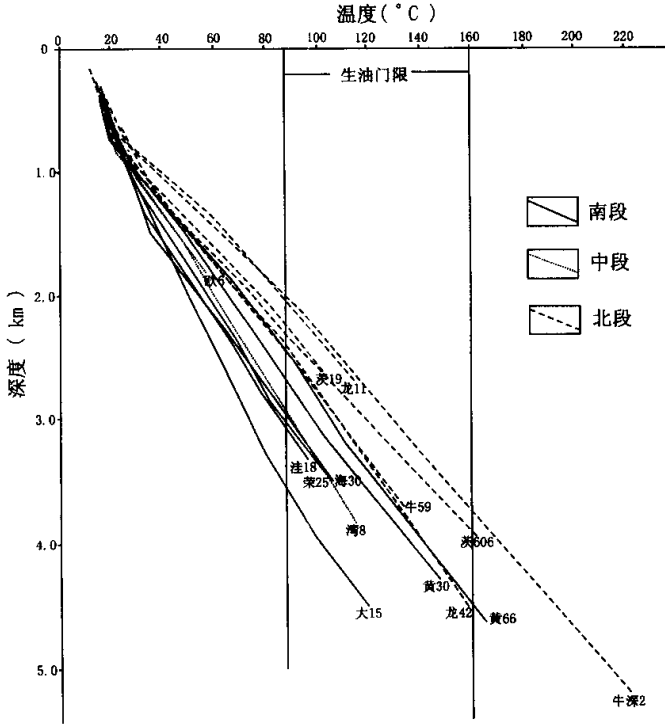


图 3 东部凹陷不同区段古地温演化曲线图

Fig.3 Evolution curve of the paleotemperature of several areas in the eastern sag

地温演化特点是 E_{S_3} 高、 E_{S_1-2} 低、 $E_d - N$ 高，为波状高地温演化。横向上，凹陷内部呈南北高、中央低的趋势，南部黄金带、二界沟及北部牛居地区的地温梯度一般在 $35^\circ\text{C} \sim 40^\circ\text{C}/\text{km}$ ，而中段相对较低 ($29^\circ\text{C} \sim 35^\circ\text{C}/\text{km}$)。

通过东部凹陷古地温演化研究所揭示出的古地温演化与油气地质间的规律性认识，可能具有一定的普遍意义，对今后的油气预测和勘探起到积极的作用。

参 考 文 献

[1] Dow W. G. Kerogen studies and geological interpretations [J]. J. Geochem. Explor. , 1977 , 7 : 79 ~ 99 .
 [2] B. P. 蒂索, D. H. 威尔特. 石油形成和分布 [M]. 石油工业出版社, 1982 .
 [3] Mckenzie D. Some remarks on the development of sedimentary basins [J]. Earth planet Sci. Lett. 1987. 40 : 25 ~ 32 .
 [4] 朱芳冰. 辽河盆地西部凹陷源岩热演化及生烃史研究 [J]. 地质科技情报, 2000 , 19 (3) : 53 ~ 56 .
 [5] 王缙安, 汪集. 中国大陆沉积盆地地热特征与油气资源 [A]. 见赵重远主编: 含油气盆地地质学进展 [C]. 西安: 西北大学出版社, 1993 .
 [6] 王良书, 李成, 施央申, 等. 下扬子区地温场和大地热流密度分布 [J]. 地球物理学报, 1995 , 38 (4) : 469 ~ 476 .

- [7] 王良书, 李成, 杨春. 塔里木盆地岩石层热结构特征 [J]. 地球物理学报, 1996, 39 (6): 794 ~ 803.
- [8] 熊振, 王良书, 李成, 等. 胜利油气区东营凹陷现今地温场研究, 高校地质学报, 1999, 5 (3): 312 ~ 321.
- [9] 姚继峰, 廖兴明, 于天欣. 辽河盆地构造分析 [J]. 断块油气田, 1995, 2 (5): 21 ~ 26.
- [10] 张占文, 李宗飞, 任作伟. 辽河东部凹陷浅层气成藏控制因素 [J]. 断块油气田, 1997, 4 (6): 11 ~ 14.
- [11] Meddleton M. F. Tectonic history form vitrinite reflectance [J]. Geophysic. J. R. Astr. Soc., 1982a, 68 : 121 ~ 123.
- [12] Meddleton M. F. and Schmidt P. W. Paleothermometry of the Sydney basin [J]. J. Geophys. Res. 1982b, 87.
- [13] Shibaoka M. and Bennett A. J. R. Pattern of diagenesis in some australian sedimentary basins [J]. Aust. Petrol. Explor. Ass. J., 1977, 77 : 58 ~ 63.
- [14] 王鸿祯, 李光岑. 国际地层时代表 [M]. 北京: 地质出版社, 1990.
- [15] 业渝光, 刁少波, 戴春山, 梁鸿德, 王仁厚. 辽河盆地第三系砂岩层 ESR 测年的初步研究 [J]. 海洋地质与第四纪地质, 1997, 17 (1): 17 ~ 24.
- [16] 秦承志, 王先彬, 林锡祥, 妥进才, 周世新. 辽河盆地埋藏史及烃源岩成熟度演化史的数值模拟 [J]. 沉积学报, 2002, 20 (3): 493 ~ 498.

RESEARCH ON THE EVOLUTION OF THE PALEOTEMPERATURE OF THE EASTERN SAG IN LIAOHE BASIN

Yin Xiu-lan¹, Wu Hong-ling¹, Ma Yin-sheng¹, Wang Xiao-feng¹, Wu Tie-sheng²,
Chen Zheng-le¹, Bai Jia-qi¹, Wang Qing-feng², Zheng Zhi-yu²

(1. Institute of Geomechanics, Chinese Academy of Geological Sciences, Beijing, 100081, China ;

2. Academy of Exploration and Research, Liaohe Petroleum Bureau, Panjing, 12400, China)

Abstract : The eastern sag is one of the three rich-hydrocarbon sags in Liaohe basin. Based on the chemical dynamic theory and digital simulation of vitrinite reflectances, the paleotemperatural evolutions of 14 wells in the eastern sag are shown, and then the geothermal gradient of every period during cenozoicera is reconstructed. That reveals the total characteristics of paleotemperatural evolution in the eastern sag. The geothermal evolution is flexuous since Tertiary, that is high paleotemperature in the early Shahejie, low in the middle-late Shahejie and high again in the Dongying stage to Neogene. To total region, the geothermal gradients (35°C ~ 40°C) are higher in the southern and northern part than that (29°C ~ 35°C/km) in the central part.

Key words : liaohe basin ; eastern sag ; paleotemperature ; geothermal gradient