

## 渤海盆地地温场研究\*

肖卫勇 王良书 李 华 李 成 王国强

(南京大学 南京 210093)

蔡东升 罗毓辉

(中海石油研究中心渤海研究院 天津 300452)

**摘 要** 根据 8 口井的系统测温资料和 142 口井的油层测温资料,计算并绘制了渤海盆地的地温梯度分布图。渤海盆地新生代盖层的平均地温梯度为  $3.3^{\circ}\text{C}/100\text{m}$ ,其中凹陷区地温梯度为  $2.5\sim 3.5^{\circ}\text{C}/100\text{m}$ ,凸起区地温梯度为  $3.0\sim 4.5^{\circ}\text{C}/100\text{m}$ 。地温梯度分布与盆地成因和断裂构造的关系十分密切。研究结果表明,渤海盆地高地温梯度带对应于地壳减薄带、岩石圈伸展带和深部断裂带。此外,还计算了特征深度和部分烃源岩层底界面上的温度,并绘制了相应的地温分布等值线图。烃源岩现今温度的高低主要与其埋深相关,渤海盆地现今“液态窗”的深度范围一般为  $2000\sim 4500\text{m}$ ,而在辽东湾地区其下限接近  $5000\text{m}$ 。

**关键词:** 渤海盆地 地温梯度 地温场

渤海盆地位于华北断块区东部(图 1),面积约  $5\text{万 km}^2$ 。盆地东临胶辽断隆区,西临黄骅拗陷,北临辽河

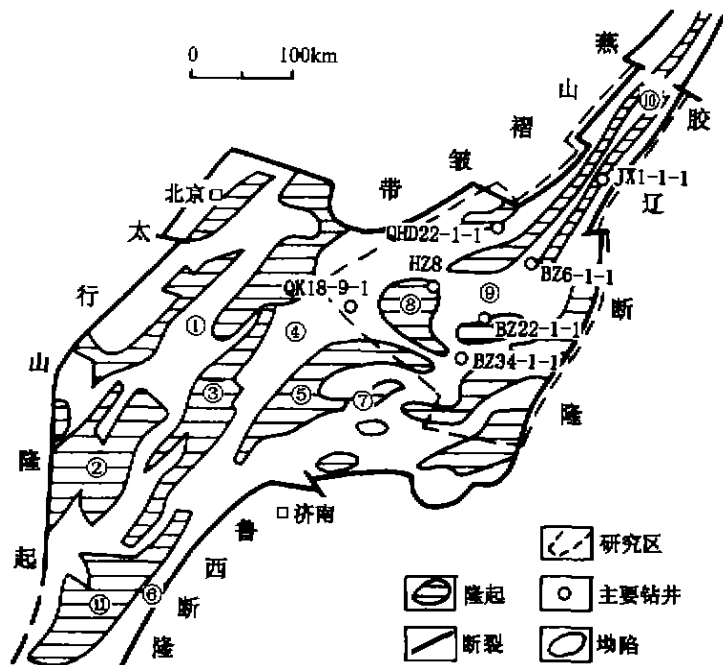


图 1 渤海盆地的区域构造背景(据田在艺,1994)

①冀中拗陷;②邢衡隆起;③苍县隆起;④黄骅拗陷;⑤埕宁隆起;⑥临清拗陷;  
⑦济阳拗陷;⑧海中隆起;⑨渤中拗陷;⑩辽河拗陷;⑪内黄隆起

拗陷,南临济阳拗陷。新近发现的蓬莱 19-3 特大油田是我国迄今在海上发现的最大油田。从石油地质条件看,渤海盆地与周围陆区油田相差不多,而渤海盆地的勘探面积约  $5\text{万 km}^2$ ,等于济阳拗陷和辽河拗陷面积之和,因此其油气勘探前景良好。温度在油气生、运、聚过程中起着重要的作用<sup>[1,2]</sup>。20 世纪 90 年代以来,区域地温场的研究一直是含油气盆地研究的热点<sup>[3~8]</sup>。研究盆地的地温场,不仅可为认识盆地成因演化提供依据,而且可为进一步研究盆地的热演化史奠定基础,对油气勘探评价起重要作用。陈墨香等<sup>[9]</sup>早在 1984 年即根据钻孔测温资料,对渤海盆地的地温场特征作了初步研究,得出了“在高凸低凹相间的构造格局下,高热阻的盖层和较高热导率的基岩相配置,是控制地壳浅部地温场的最主要因素”等结论。近 10 多年来,随着渤海盆地油气勘探的进展,不断积累了许多新的地温

资料。本文根据这些新资料对渤海盆地的地温场特征作了综合分析,对控制盆地浅层地温场特征的地质因素进行了深入探讨。

# 1 井温资料的收集和处理

**1.1 井温资料分析** 可用于地温场研究的井温资料一般有系统测温 and 试油温度两类。钻井过程中,由于地层打开、泥浆注入等因素的影响,地层原始地温的分布遭到破坏。完井后,地下温度的分布逐渐趋于平衡,这时,由上而下系统测得的温度资料对于研究地温场和大地热流值是非常重要的。一般情况下,由于系统测温资料较少,研究现今地温场必须借助于大量的油层测温资料。

本文收集了渤海盆地 8 口井(H2、CFD13-1-1、12B13-1、BZ22-1-1、PL7-1-1、BZ25-1-1、SZ36-1-11、BZ27-4-1)的系统测温资料。图 2 是这 8 口井的系统测温曲线。由图可见,各井系统测温的温度与深度之间呈良好的线性关系,它们能反映地层的温度。

此外,还收集了 142 口井的 882 个油层测温数据。这些数据一般为一口井在几个深度上的油层的温度。图 3 是这些数据的温度-深度关系图。

渤中(BZ)区块各井主要位于渤南凸起和黄河口凹陷,在相同深度上,渤中区块的井温一般比其它地区高;而辽东湾(SZ、JZ、LD、L、JX)的井温在相同深度上一般比其它地区低(图 3)。

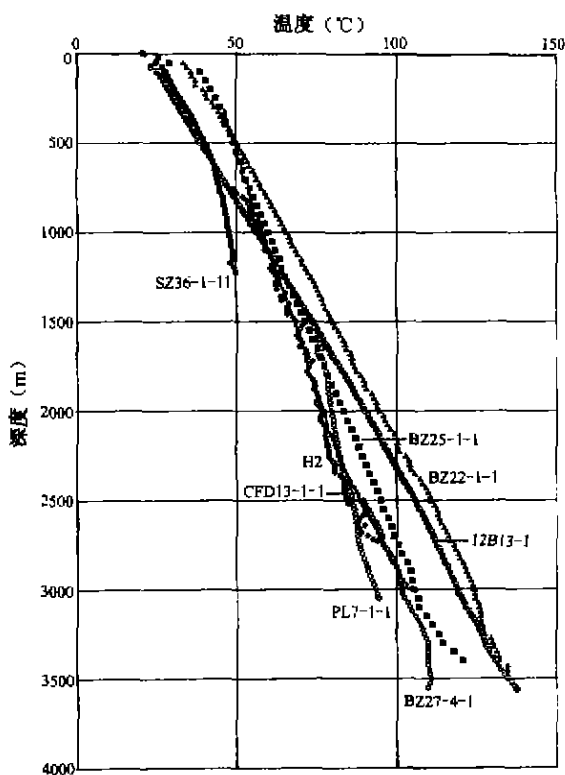


图 2 渤海盆地 8 口井的系统测温曲线

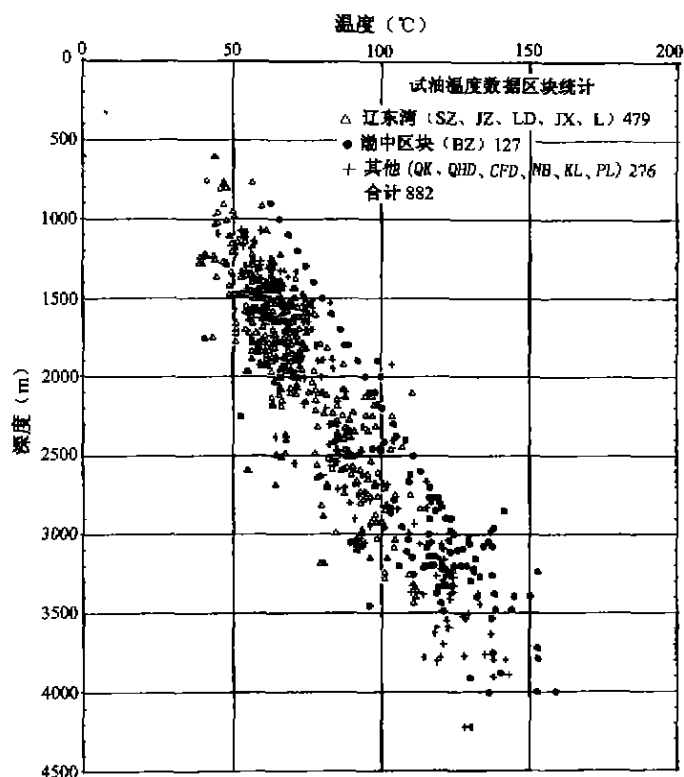


图 3 渤海盆地试油温度-深度关系图

由图 3 可以看出,这些测温数据的总趋势是温度随深度的增加而线性升高,表现出典型的传导型地温场特征。

**1.2 井温资料的处理** 渤海水深一般为几米至几十米,根据前人研究成果<sup>[10]</sup>,恒温带温度一般为 13℃(深度对应海底以下 10m)。如新生界内某一深度(H)的温度为 T,则盖层的平均地温梯度可由下式求得:

$$G = (T - T_{\text{H}}) / (H - H_{\text{H}})$$

式中,  $T_{\text{H}}$  为恒温带温度,  $H_{\text{H}}$  为恒温带深度。

在数据处理时,根据某一深度的温度数据计算恒温层至该深度的地温梯度,再将同一口井不同深度的温度值计算出来的地温梯度加以算术平均,即可得出该井的平均地温梯度(℃/100m)。

## 2 地温分布特征

**2.1 地温梯度** 地温梯度计算结果表明,整个渤海盆地的平均地温梯度约为  $3.3^{\circ}\text{C}/100\text{m}$ ,最低值为  $1.8^{\circ}\text{C}/100\text{m}$  (SZ36-2-1 井),最高值为  $4.7^{\circ}\text{C}/100\text{m}$  (HZ-4 井)。如果考虑地温梯度在不同深度上的变化,则地温梯度的变化范围为  $1.6\sim 5.7^{\circ}\text{C}/100\text{m}$ 。

图4示出了渤海盆地地温梯度与深度的关系。图4显示的总趋势是浅层地温梯度较高,且由浅到深梯度值逐渐变小,而当深度达到  $2000\sim 2500\text{m}$  后梯度值趋于稳定。

据王均等<sup>[11]</sup>,华北中生代沉积盆地盖层的地温梯度均有此规律。然而,不同地区地温梯度趋于稳定的大致深度却各不相同,鄂尔多斯盆地中侏罗统直罗组及下侏罗统延安组为  $1500\text{m}$ ,而华北盆地大港地区第三系约为  $2000\text{m}$ 。

根据地温梯度计算结果绘制了渤海盆地地温梯度分布图(图5)。部分缺少钻井的区域综合参考了相同构造上相邻钻井的数值,所作图件客观上反映了区域地温场的基本特征。

在渤海盆地地温梯度分布图(图5)上,沙垒田、石臼坨凸起一带有几个梯度值大于  $3.5^{\circ}\text{C}/100\text{m}$  的高地

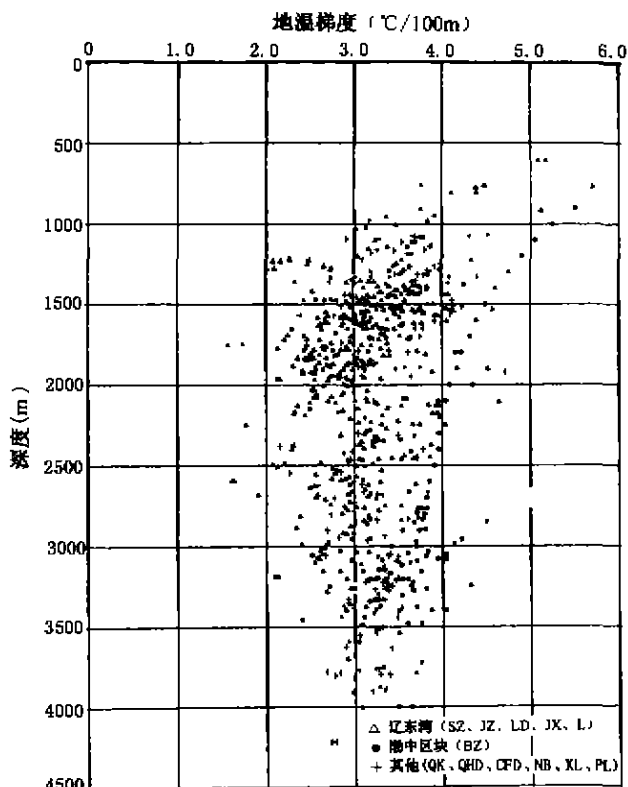


图4 渤海盆地地温梯度—深度关系图

温梯度区;北塘—南堡、歧口、沙南凹陷一带地温梯度则相对较低;渤南凸起—垦东凸起为一大片梯度值大于  $3.5^{\circ}\text{C}/100\text{m}$  的高梯度区;渤中凹陷及辽东湾大部则连成一片梯度值小于  $3.5^{\circ}\text{C}/100\text{m}$  的广大区域。因此,渤海盆地不同构造部位的地温梯度并不一样,凸起区地温梯度较高,一般为  $3.0\sim 4.5^{\circ}\text{C}/100\text{m}$ ,凹陷区地温梯度较低,一般为  $2.5\sim 3.5^{\circ}\text{C}/100\text{m}$ 。不过,渤海盆地总体地温梯度偏高,因为全球平均地温梯度仅为  $3.0^{\circ}\text{C}/100\text{m}$ <sup>[10]</sup>。

在统计和作图时发现,同样为凸起区,辽西凸起各井平均地温梯度比辽东凸起高,这主要是因为辽西凸起基底较高(浅),而辽东凸起基底较低(深)的缘故。当地热从下往上传导时,由于岩层热导率的差异而发生“热折射”作用<sup>[12]</sup>,造成热量向热导率相对较高的岩层(结晶基底)聚集。因此,基底凸起较高的区域,

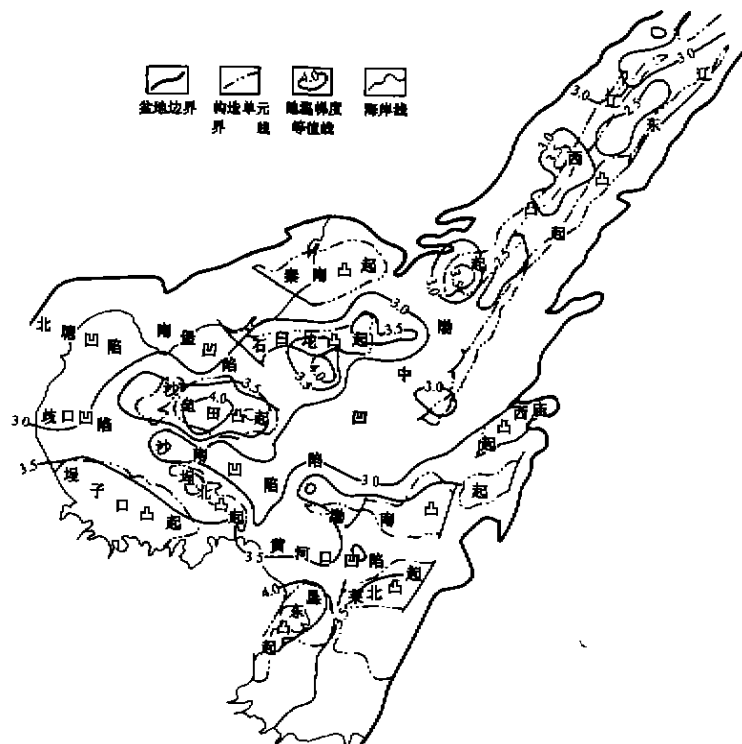


图5 渤海盆地地温梯度分布图

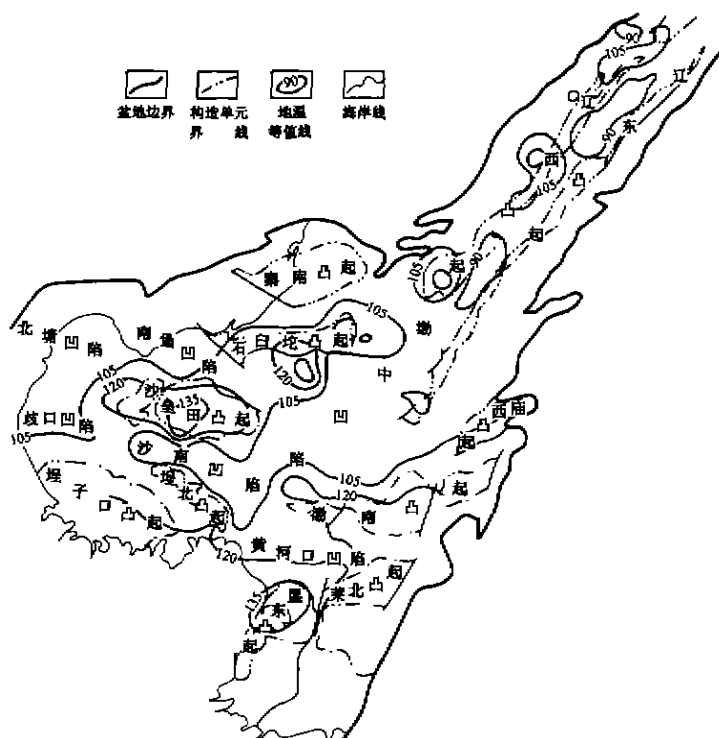


图6 渤海盆地3000m深度地温分布图

50℃的高温分布区,而歧口、沙南和渤中凹陷大部分在45℃左右。

渤海盆地2000m深度的温度介于60~90℃;沙垒田和垦东凸起形成了大于90℃的高温异常区;渤南和石臼坨凸起局部也大于90℃;辽东湾南部主要受辽5井控制,也表现为大于90℃的局部高温异常区。整个辽东湾地温普遍小于70℃,但依然显示出3个地温相对偏高的区域。歧口、沙南、渤中凹陷地温介于70~80℃。

在渤海盆地3000m深度地温分布特征图(图6)上,可以看到随深度加大,全盆地地温升高到90~140℃,基本上都处在生油的“液态窗”之中,除3个高温异常区外,辽东湾地温大多在90℃左右。沙垒田、垦东、渤南和石臼坨凸起都形成了120℃以上的高温区,而歧口、沙南和渤中凹陷大多在100℃左右。

渤海盆地4000m深度温度约介于120~160℃。沙垒田、垦东、渤南和石臼坨凸起及辽东湾3个高温异常区出现了大于160℃的区域。歧口凹陷、沙南凹陷和黄河口凹陷在140℃左右,渤中大部分介于120~140℃,辽东湾大部分区域在120℃左右。

**2.3 部分烃源岩底界面的地温分布** 根据各井的地温梯度和相应岩层的埋深,折算出部分烃源岩底界面的地温,并借助绘图软件绘制出相应的等值线图。这里选取的是东营组底界面地温分布图(图7)和沙河街组一温

其上覆沉积岩层地温梯度也相应较高。

此外,整个长条状的辽西凸起显示有3个局部高地温梯度区(图5),这一分布特征与3条北东东向断层分别与辽西1号断层切交有关。自北而南这3条断层分别是锦州19号断层、旅大4号断层和秦南凸起东南缘断层。渤南凸起一带有大片高地温梯度区,梯度值达3.5℃/100m以上,这一分布特征与营盘断裂带在该处走向由北东转折为北北东有关。

**2.2 地温分布** 由地温梯度折算各个深度的温度,并据此绘制了渤海盆地1000~4000m深度的地温分布图。图6是3000m深度的地温分布图。

从渤海盆地深度1000m地温分布的情况来看,全盆地1000m深度的温度约介于40~55℃。辽东湾地温普遍较低,但前述3个局部高温异常区显得非常突出(图5)。石臼坨、沙垒田、渤南和垦东凸起一带是大于

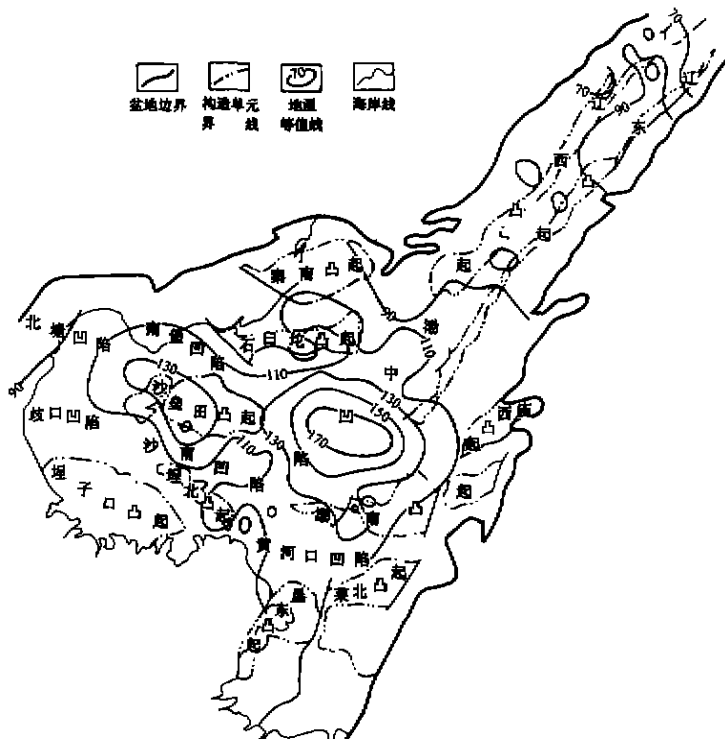


图7 东营组底界面地温分布图

段底界面地温分布图(图8)。

在馆陶组底界面,辽东湾一带是全盆地地温最低地区,温度 $50\sim 70^{\circ}\text{C}$ 。渤中凹陷存在一个巨大的高温区,温度 $90\sim 110^{\circ}\text{C}$ 左右,歧口凹陷和沙垒田凸起局部也达到 $90^{\circ}\text{C}$ ,其它地区均未达到 $90^{\circ}\text{C}$ ,温度分布主要受馆陶组的埋深控制。沙垒田凸起部分高温异常区的存在主要是由于其地温梯度高。

在东营组底界面地温分布图(图7)中,渤中凹陷中心部分显示一个大于 $150^{\circ}\text{C}$ 的高温区,已超出“液态窗”的下限。沙垒田西面和南面显示两个 $120^{\circ}\text{C}$ 以上的区域,辽东湾大部分区域地温小于 $90^{\circ}\text{C}$ ,而全盆地多数地区介于 $90\sim 120^{\circ}\text{C}$ ,均处于“液态窗”内。

从渤海盆地沙一段底界面地温分布图(图8)可以看出,渤中凹陷地温大于 $150^{\circ}\text{C}$ 的高温区的范围较东营组底界面地

温分布图的对应高温区略为扩大,而盆地其它地区(除沙一段缺失区外)大多在 $90\sim 120^{\circ}\text{C}$ 之间,均处于“液态窗”内。

在沙二段底界面上,由于深度增加,渤中凹陷地温大于 $150^{\circ}\text{C}$ 高温区范围较沙一段对应高温区扩大。盆地其它地区(除沙二段缺失区外)大多在 $90\sim 120^{\circ}\text{C}$ 之间,均处于“液态窗”内。辽西等地区沙二段底界面温度低于 $90^{\circ}\text{C}$ 的原因是这些地区沙二段的埋藏太浅。

### 3 结论

(1)渤海盆地平均地温梯度为 $3.3^{\circ}\text{C}/100\text{m}$ ,其中凹陷区地温梯度为 $2.5\sim 3.5^{\circ}\text{C}/100\text{m}$ ,凸起区地温梯度为 $3.0\sim 4.5^{\circ}\text{C}/100\text{m}$ 。地温梯度分布与盆地成因和断裂构造的关系十分密切。从辽东湾到渤南凸起和垦东凸起,有5个局部高地温梯度异常连成一线,与辽东湾的北东向主断裂方向一致。渤西(石臼坨凸起—沙垒田凸起)的2个高局部异常也呈北东向。区域高地温梯度带与深部热传导较强有关。因此,区域高地温梯度带对应于盆地形成过程中的地壳减薄最强带或深部断裂带。我们认为,渤海盆地中的高地温梯度带对应于地壳减薄带、岩石圈伸展带和深部断裂带。这种岩石圈强伸展分布区可用右旋拉分模型<sup>1)</sup>来解释,因此,渤海盆地地温梯度分布特征为揭示其成因类型为右旋拉分盆地提供了依据。

(2)渤海盆地浅层地温场分布特征与盆地成因密切相关。高地温区的形成与基底凸起和深断裂有关。“液态窗”的深度范围一般为 $2000\sim 4500\text{m}$ ,而在辽东湾地区其下限接近 $5000\text{m}$ 。

(3)烃源岩现今温度的高低主要与埋深相关。辽东湾、沙南凹陷等地区馆陶组—沙二段埋深相对较浅,故其底界温度较低。辽东湾地区的3个局部高地温异常区与这3个地区地温梯度较高有关。渤中凹陷馆陶组—沙二段底界面高地温的主要原因是其埋深大。渤中凹陷的馆陶组现今全部处在“液态窗”之内,而下伏东营组和沙河街组在凹陷中心部位已超出“液态窗”的下限,仅在凹陷边缘埋深较浅处仍处于“液态窗”之内。

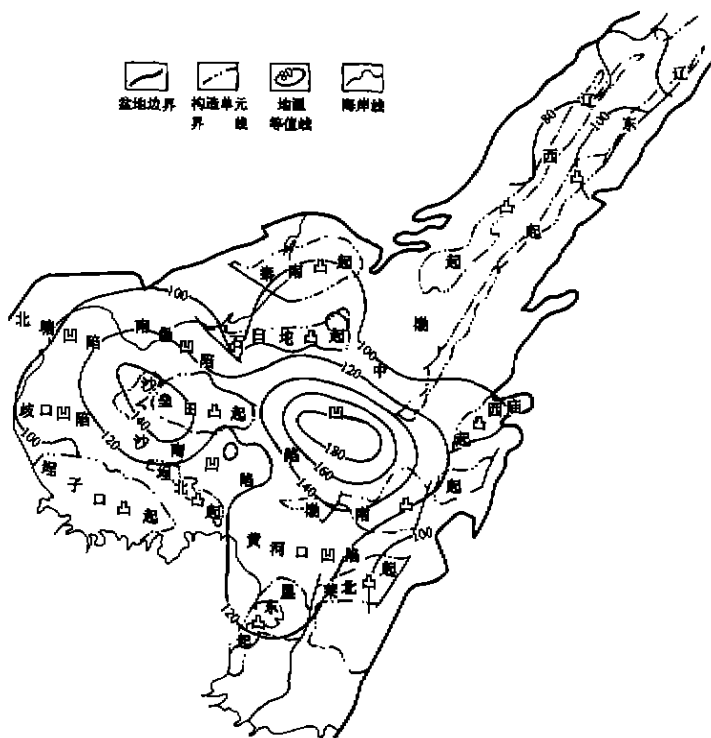


图8 渤海盆地沙一段底界面地温分布图

1) 卢华复, 胡圣标, 王良书等. 渤海盆地热历史、构造—热演化史与断裂活动及油气成藏的关系, 1998

## 参 考 文 献

- 1 Cao S, Lerche I. Geohistory, thermal history and hydrocarbon generation history of Navar in basin Cost No. 1 Well, Bering Sea, Alaska. *Journal of Petroleum Geology*, 1989, 12(3): 325~352
- 2 Feinstein S, Kohm B P, Steckler M S, Eyal M. Thermal history of earsten margin of the Gulf of Suez, I. Reconstuction from bore hole temperature and organic maturity measurements. *Tectonophysics*, 1996, 266, 203~220
- 3 王良书, 施央申. 油气盆地地热研究. 南京: 南京大学出版社, 1989
- 4 汪集安, 汪集阳. 中国大陆沉积盆地地热特征与油气资源. 见: 赵重远主编. 含油气盆地地质学进展. 西安: 西北大学出版社, 1993
- 5 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. *地球物理学报*, 1995, 38(4): 469~476
- 6 王良书, 李成, 杨春. 塔里木盆地岩石层热结构特征. *地球物理学报*, 1996, 39(6): 794~803
- 7 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
- 8 胡圣标, 张容燕, 罗敏晖等. 渤海盆地热历史及构造-热演化特征. *地球物理学报*, 1999, 42(6)
- 9 陈墨香, 黄歌山, 汪集安等. 渤海地温场特点的初步研究. *地质科学*, 1984, (4): 392~399
- 10 陈墨香等. 华北地热. 北京: 科学出版社, 1988
- 11 王均, 黄尚瑶, 黄歌山等. 华北中新代沉积盆地的地温分布及地热资源. *地质学报*, 1983, (3): 304~318
- 12 熊亮萍, 张菊明. 热流的折射与再分配. *地质科学*, 1984, (4): 445~454
- 13 田在艺, 张庆春. 中国含油气沉积盆地论. 北京: 石油工业出版社, 1996

(编辑: 项光)

## GEOTEMPERATURE FIELD IN BOHAI SEA

Xiao Weiyong Wang Liangshu Li Hua Li Cheng Wang Guoqiang

(Nanjing University, Nanjing)

Cai Dongsheng Luo Yuhui

(Bohai Institute of CNOOC Research Center, Tianjin)

## ABSTRACT

Using temperature data measured from whole hole in 8 wells and oil intervals in 142 wells, the geotemperature gradient in Bohai Sea is calculated and contoured. An average gradient for Cenozonic cover is 3.3°C/100m, with 2.5 to 3.5°C/100m in sags and 3.0 to 4.5°C/100m in uplifts. The distribution of geotemperature gradient is closely related to basin origin and fault structures. This study shows that the zones with higher geotemperature gradient in Bohai Sea are in accordance with crust thinning, lithosphere stretching and deep faulting belts. Moreover, temperatures for special horizons and some source bases are calculated and contoured respectively, indicating that present temperature of source rocks depends mainly on their depth. In Bohai Sea, the today's "liquid hydrocarbon window" is 2000 to 4500 meter in depth, with the maximum depth near 5000 meter in Liaodongwan area.

**Key words:** Bohai Sea; geotemperature gradient; geotemperature field