

文章编号: 1006-6616 (2001) 03-0238-07

# 南海北部大陆架盆地热结构

张 健<sup>1</sup>, 宋海斌<sup>2</sup>

(1. 中国科学院研究生院, 北京 100039; 2. 中国科学院地质与地球物理所, 北京 100029.)

**摘 要:**南海北部大陆架盆地地热研究发现, 各盆地深部温度结构和地壳热流在地表热流中所占比例不均一。其中, 珠江口盆地地壳热流贡献小于 25%, 由陆向洋方向递减; 莺歌海盆地中部地壳热流贡献小于 30%, 向 NE 方向递增; 北部湾盆地地壳热流贡献在 38% ~ 42% 之间稳定变化。分析表明, 此区各盆地热结构的不均一性与大陆架地壳减薄、软流圈热物质上涌等因素有关。

**关键词:**南海北部大陆架; 热流构成; 莫霍面温度

中图分类号: P314.2

文献标识码: A

## 0 引言

南海北部大陆架是南海海盆和华南大陆两大构造单元之间的洋、陆交接带。此交接带上发育有珠江口、莺歌海、琼东南和北部湾等含油气盆地<sup>[1]</sup>(图1)。深部地球动力学研究表明<sup>[2]</sup>, 南海及其北部大陆边缘海深部不同规模的地幔流, 导致洋陆交接带壳、幔之间出现冷、热物质交换的不稳定和热结构的不均一, 并对其上边缘海盆地内的热结构产生重要影响。

盆地热结构和热体制既是深部构造演化的反映<sup>[3]</sup>, 也是盆地内有机质演化的重要基础。盆地地热条件是油气形成和聚集的重要的决定因素, 因此, 研究南海北部陆缘盆地的热结构对于找寻海上油气资源具有重要意义。

本文通过对深部温度的计算模拟, 揭示南海北部大陆架含油气盆地的地热结构特征, 为南海北部大陆架构造热演化研究和油气勘探提供依据。

## 1 计算方法

南海北部陆架地区大地热流值在 60 ~ 80mW/m<sup>2</sup> 之间变化, 总体上, 向洋盆方向热流值增高<sup>[4,5]</sup>。各盆地地表热流分布不均一, 较高热流主要分布在珠二坳陷及其以南地区, 莺歌

收稿日期: 2001-04-08

基金项目: 国家自然科学基金项目(40074022)和国家重点基础研究发展规划项目(G2000047604)

作者简介: 张健(1963—), 男, 1997年获中国科学技术大学固体地球物理学博士学位, 1999年从中国科学院地质研究所博士后出站, 现为中国科学院研究生院副教授, 主要从事地热、重力和地球动力学研究。

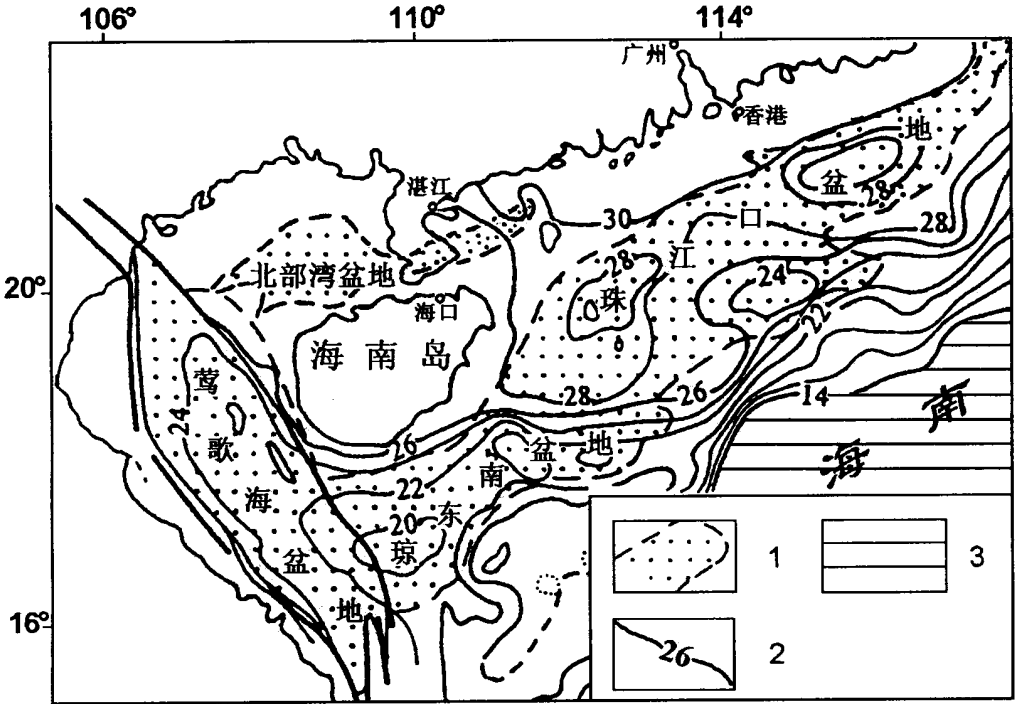


图 1 南海北部大陆架新生代盆地分布图

Fig.1 Distribution of main Cenozoic sedimentary basins in the northern margin of the South China Sea

1. 第三纪盆地；2. 莫霍面深度/km；3. 洋壳

海盆地东部与琼东南盆地西部，北部湾盆地的涠西南凹陷等地区。

地表大地热流主要来自幔源热供给及地壳放射性元素生热。通过区分大地热流中地壳放射性元素衰变产生的热贡献和来自地幔深部的热贡献，不但可以了解地壳的热结构，而且可以揭示深部地幔热信息。如果以  $Q_s$ 、 $Q_m$ 、 $Q_c$  分别表示地表、地幔和地壳热流， $A$  表示地壳放射性元素生热率， $H$  表示地壳厚度，可得<sup>[3]</sup>：

$$\begin{cases} Q_s = Q_m + Q_c \\ Q_c = \int_0^H A(x, y, z) dz \end{cases} \quad (1)$$

根据大地热流值及相关的热物性参数<sup>[3]</sup>，可计算南海北部大陆边缘区的深部温度和热流分布，具体计算公式为<sup>[3]</sup>：

$$\begin{cases} T_z = T_s + \sum_{i=1}^n \frac{\{ Q_s - A_{i-1} Z_{i-1} \} (Z_i - Z_{i-1}) - A_i (Z_i - Z_{i-1})^2}{2K_i} \\ Q_z = Q_s - \sum_{i=1}^n A_i Z_i \end{cases} \quad (2)$$

式中  $T_z$  为  $Z$  深度处温度， $Q_z$  为  $Z$  深度处热流， $T_s$  为地表温度， $K$  为热导率， $i$  为深度层序号。

南海热流数据主要集中于北部和南部陆缘。南海目前共有热流测点 584 个<sup>[4,5]</sup>, 其中南海北缘热流测点达 230 个, 占总数的 39.38%。热流值主要来源于石油钻井的平衡温度测量及孔底温度测量<sup>[4,5]</sup>。南海北缘热流分布统计特征如表 1 所示。

南海北缘平均热流值为  $74.9\text{mW}/\text{m}^2$ 。热流趋势分析表明<sup>[5]</sup>, 此区热流值沿 NW—SE 方向, 从陆向洋逐渐增大, 个别地段的地热异常与断裂带和岩浆、水热活动有关。在北部湾盆地及陆架中部, 热流值一般为  $60\text{mW}/\text{m}^2$  左右, 陆架与陆坡转折处达  $80\text{mW}/\text{m}^2$  左右, 大陆坡下部增加到  $100\text{mW}/\text{m}^2$ 。北部陆缘东部热流等值线的走向大体呈 NE、NNE 向, 与主体构造线的走向一致, 北部陆缘西部热流等值线则呈 NW 向展布。北缘几个重要沉积盆地中, 莺歌海盆地热流最高, 为  $84.1\text{mW}/\text{m}^2$ ; 莺-琼盆地平均地表热流值  $78.7\text{mW}/\text{m}^2$ ; 珠江口盆地西部热流为  $82.0\text{mW}/\text{m}^2$ ; 东部热流为  $67.0\text{mW}/\text{m}^2$ , 平均地表热流值  $71.9\text{mW}/\text{m}^2$ ; 北部湾盆地热流偏低, 为  $61.2\text{mW}/\text{m}^2$ 。

根据南海北部大陆边缘热流及莫霍面深度分布, 我们利用式 (1) (2) 计算了珠江口盆地、莺歌海盆地和北部湾盆地莫霍面温度和壳-幔热流构成。

## 2 计算结果

大地热流值与大地构造位置、地壳类型及厚度、断裂及岩浆、以及水热活动程度有关, 一般随区域构造活动程度的减弱及褶皱带或岩石的变老, 大地热流值逐渐变小。南海地热研究中, 原地矿部广州海洋地质调查局在广州—巴拉望地学断面研究中对岩石圈热状态开展过较详细的研究<sup>[6]</sup>。以此断面为典型研究剖面, 我们利用本文的计算方法计算了南海典型剖面热结构模式 (图 2), 该模式与前人结果<sup>[6]</sup>一致。进而, 本文还计算了南海北部大陆架盆地的热结构, 计算结果如下。

### 2.1 珠江口盆地

珠江口盆地呈 NEE 向展布 (图 1), 面积约为  $3.4 \times 10^4\text{km}^2$ , 占据了南海北部大陆边缘的主体部分。它是在早第三纪南海扩张背景中发育的、由拉伸作用形成的离散边缘型盆地<sup>[1]</sup>。珠江口盆地受深部地幔热作用, 活动性较强<sup>[2]</sup>。该盆地西部平均热流为  $82.0\text{mW}/\text{m}^2$ , 东部平均热流为  $67.0\text{mW}/\text{m}^2$ 。

计算表明 (图 3), 珠江口盆地莫霍面温度多在  $700 \sim 850^\circ\text{C}$  之间变化, 但局部高温达  $1000^\circ\text{C}$  以上 (盆地西半部), 最高温度出现在靠近中央海盆一侧。地壳热流在地表热流中所占的比例在 25% 以下, 且靠近中央海盆一侧, 沿陆缘向中央海盆方向, 地壳热流在地表大地热流中所占比例由 25% 下降至 15% 以下。

表 1 南海北缘热流分布统计特征

Table 1 Data of heat flow in the northern margin of the South China Sea

热流范围 ( $\text{mW}/\text{m}^2$ )	南海北缘西部	南海北缘东部
40 ~ 50	1	2
50 ~ 60	13	23
60 ~ 70	13	50
70 ~ 80	3	62
80 ~ 90	1	22
90 ~ 100	13	22
100 ~ 110	0	2
110 ~ 120	0	4
$\geq 120$	0	9
平均热流值	71.8	75.6
$\text{mW}/\text{m}^2$	74.9	

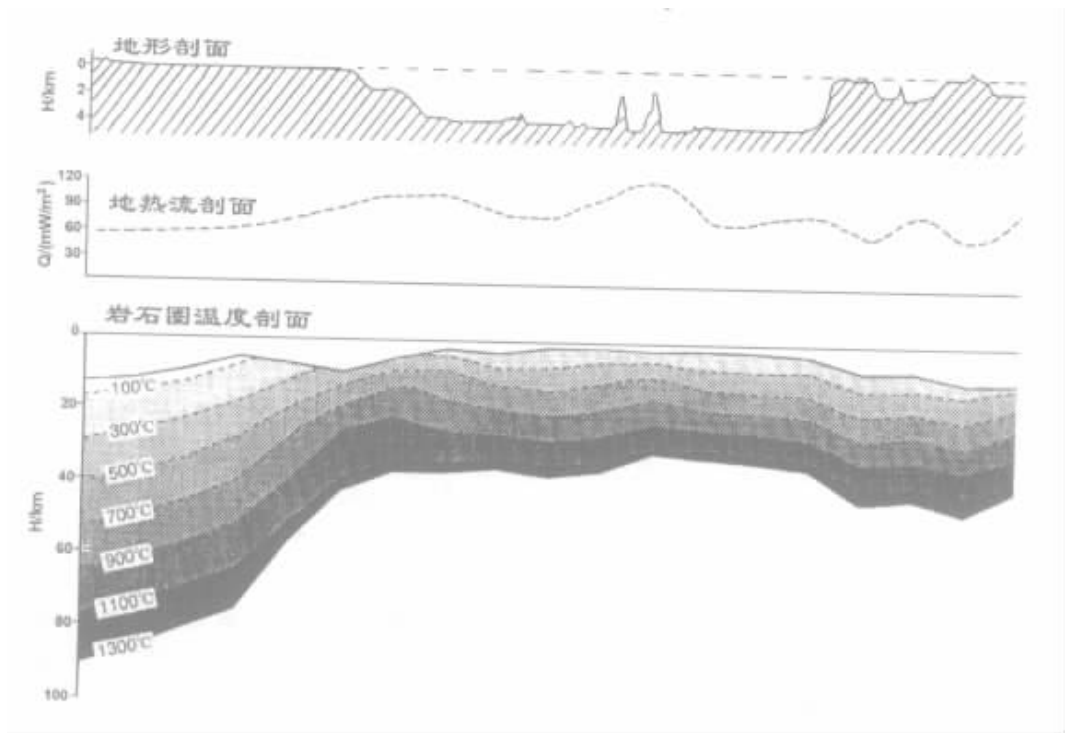


图 2 南海典型剖面热结构模式

Fig.2 Model of thermal structure through the South China Sea

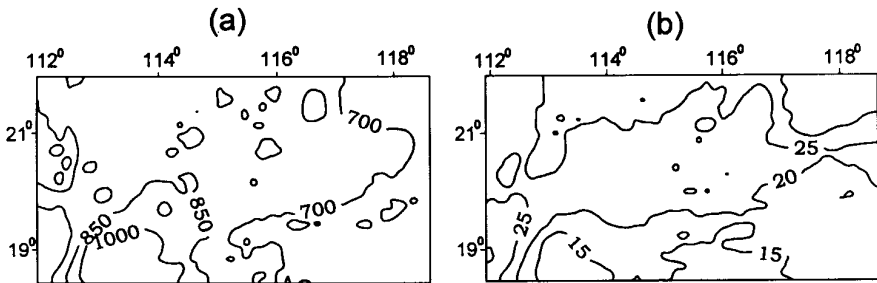


图 3 珠江口盆地热结构

Fig.3 Thermal structure of the Pearl River Mouth basin

(a). 莫霍面温度/°C ; (b). 热流构成 ( $Q_c/Q_s$ ) /%

### 2.2 莺歌海盆地

莺歌海盆地位于海南岛西南海域，西侧受 1 号断裂控制，呈 NW 走向（图 1）。莺歌海盆地是我国典型的高温高压含油气盆地，平均地表热流值高达  $84.1\text{mW}/\text{m}^2$ ，平均地温梯度  $42.07^\circ\text{C}/\text{km}^{[7]}$ 。

计算表明（图 4），莺歌海盆地莫霍面温度在  $700 \sim 750^\circ\text{C}$  之间，沿 1 号断裂向南、向洋盆一侧温度增高。地壳热流在地表热流中所占比例在  $30\% \sim 45\%$  之间，垂直 1 号断裂由 NE 向 SW 方向，地壳热流在地表热流中所占比例由  $45\%$  递减至  $30\%$  以下。

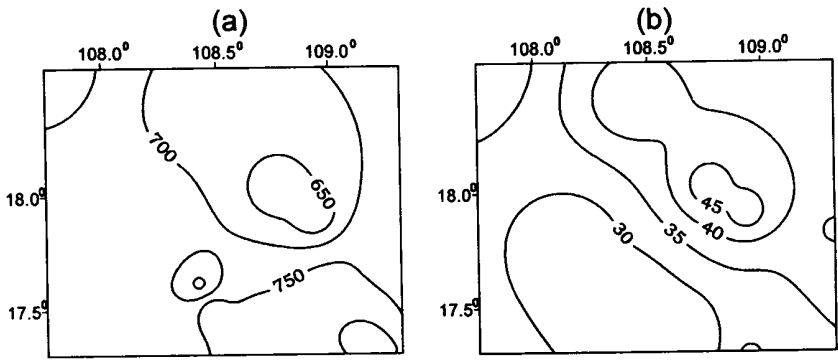


图 4 莺歌海盆地热结构

Fig.4 Thermal structure of the Yinggehai basin

(a). 莫霍面温度/°C ;(b). 热流构成 (Qc/Qs) /%

### 2.3 北部湾盆地

北部湾盆地主体部分在北部湾海域, 规模相对较小(图 1)。盆地总体轮廓近 EW 向, 向东延伸到海南岛北部和雷州半岛, 向南以海南隆起与琼东南盆地相隔。北部湾盆地地热流偏低, 平均地表热流值为 61.2mW/m<sup>2</sup>。

计算表明(图 5), 北部湾盆地莫霍面温度在 700 ~ 800°C 之间波动, 总的趋势是由北向南, 向海南隆起方向温度降低, 在局部高热流区, 莫霍面温度可达 800°C 以上。此区热流构成稳定, 盆地内地壳热流在地表热流中所占比例在 38% ~ 42% 之间变化, 波动幅度不大。

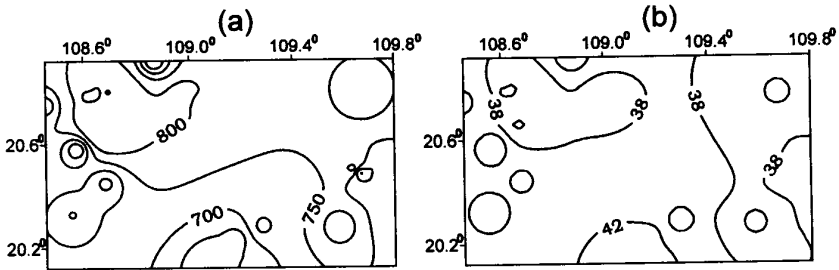


图 5 北部湾盆地热结构

Fig.5 Thermal structure of the Beibuwan basin

(a). 莫霍面温度/°C ;(b). 热流构成 (Qc/Qs) /%

## 3 讨论与结论

前人的研究成果表明<sup>[8,9]</sup>: 自白垩纪晚期以来, 南海北部大陆边缘岩石圈在拉伸构造背景下减薄和裂隙, 珠江口、莺歌海、琼东南和北部湾等陆缘含油气盆地相继发育形成。这些盆地的断陷规模从西北向东南方向增大, 反映了随着南海北部基底拉张, 地壳向洋一侧伸展拉薄的过程。

在南海北部大陆边缘地区，由陆架、陆坡至中央海盆，地壳厚度逐渐减薄，热流逐渐递增<sup>[3]</sup>，说明地表热流分布主要受深部热作用控制。在南海形成演化过程中，深部高温地幔对大陆边缘产生过强烈的热作用<sup>[2]</sup>，特别是在南海北部大陆边缘地区，地幔热物质不断上涌并熔化附近的岩石，在地壳内形成局部熔融区。

计算表明，南海北部大陆边缘地区沉积盆地的热结构具不均一性。热结构的不均一不但受到陆缘岩石圈拉伸减薄和裂隙的控制，还受南海扩张过程中深部地幔热物质上涌的影响。在北部陆缘盆地中的高热流分布区，如珠二拗陷及其以南地区、莺歌海盆地东部与琼东南盆地西部、北部湾盆地的涠西南凹陷等地，莫霍面温度已远高于居里温度（图 3a、图 4a、图 5a），表明磁性层下界面（居里面）比莫霍界面浅，显然受到地壳减薄拉伸后的深部热作用控制。在珠江口盆地、莺歌海盆地东部与琼东南盆地西部，莫霍面温度的高值区均出现在中央海盆一侧，热流分布明显地与岩石圈减薄程度呈正相关。

壳-幔热流结构（图 3b、图 4b、图 5b）表明，除北部湾盆地和莺歌海盆地 1 号断裂东侧（对应海南隆起），地壳热流在地表热流中所占比例不足 30%，说明南海北部大陆边缘珠二拗陷和莺歌海盆地等高热流区与地幔底侵、热物质上涌有密切关系。通过对下地壳高速带的分析<sup>[4,8]</sup>，推测这些高热流区从新生代至今可能一直是地壳张裂、地幔底侵的活动区。

南海北部陆缘盆地热结构的不均一性受各自所处构造位置的制约。洋、陆交接带是不同壳-幔结构的两种构造单元的过渡带，具不稳定的物质和能量结构。莺歌海盆地发育于古红河断裂带上，深部活动热流体运移导致局部高温异常<sup>[7]</sup>。北部湾盆地是陆壳基础上发育的热沉降浅拗陷，所以地壳热流比例相对高且稳定。琼东南盆地和珠江口盆地位于洋盆边缘，不但受到较强烈的地幔热作用和地壳向洋一侧的伸展拉薄作用，而且由于其地壳内部具分层流变结构<sup>[2,8]</sup>，活动性较强，故表现出明显的向洋一侧莫霍面温度增加地壳热流贡献减少的特点。

## 参 考 文 献

- [1] 龚再升, 李思田. 南海北部大陆边缘盆地分析与油气聚集 [M]. 北京: 科学出版社, 1997. 9~126.
- [2] 张健, 汪集. 南海北部陆缘带构造扩张的深部地球动力学特征 [J]. 中国科学 (D 辑), 2000, 30 (6): 561~567.
- [3] 张健, 汪集. 南海北部大陆边缘深部地热特征 [J]. 科学通报, 2000, 45 (10): 1095~1100.
- [4] Nissens S S, Hayes D E, Bochu Y, et al. Gravity, heat flow, and seismic constraints on the process of crustal extension: northern margin of the South China Sea [J]. Journal of Geophysical Research, 1995, 100 (B11): 22447~22483.
- [5] 何丽娟, 熊亮萍, 汪集, 等. 莺歌海盆地构造热演化模拟研究 [J]. 中国科学 (D 辑), 2000, 30 (4): 415~419.
- [6] 地质矿产部广州海洋地质调查局. 广州—巴拉望地质学断面 [A]. 中国岩石圈结构构造的地质地球物理研究 [C]. 北京: 地质出版社, 1989.
- [7] 张健, 葛社民, 熊亮萍, 等. 利用井温分布估算莺-琼盆地地下流体运移速度 [J]. 地质力学学报, 2000, 6 (2): 1~5.
- [8] Bochu Y, Dennis E H. Lithospheric deformations under the effect of an extensional stress field [J]. Journal of the Geological Society of China, 1998, 41 (4): 517~534.
- [9] 施小斌, 周蒂. 南海北部陆缘岩石圈热-流变结构 [J]. 科学通报, 2000, 45 (15): 1660~1665.

## THE THERMAL STRUCTURE OF MAIN SEDIMENTARY BASINS IN THE NORTHERN MARGIN OF THE SOUTH CHINA SEA

ZHANG JIAN<sup>1</sup>, SONG Hai-bin<sup>2</sup>

(1. *The Graduate School of the Chinese Academy of Sciences, Beijing 100039, China;*

2. *The Institute of Geology and Geophysics, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100029, China.*)

**Abstract** : Geothermal study, for main sedimentary basins of the northern margin of the South China Sea, reveals that the distribution of temperature at depth is different. Especially, the constitutions of heat flow among these basins are not uniform with respect to each other. Calculation shows that in Preal River Mouth basin the contribution of crustal heat flow is lower than 25% and decreased by degrees from margin to sea. In Yinggehai basin, the contribution of crustal heat flow is lower than 30% and increased by degrees along the northeast direction. In Beibuwan basin, the contribution of crustal heat flow varies between 38% and 42%. The results suggest that the instability of thermal structure in this region can be attributed to the thinning of marginal crust and the up flowing of hot material of asthenosphere.

**Key words** : Northern Margin of the South China Sea; constitution of heat flow; temperature of Moho