

# 南华北盆地群地温场研究

张 鹏<sup>1</sup>, 王良书<sup>1</sup>, 刘绍文<sup>2</sup>, 李 成<sup>1</sup>, 丁增勇<sup>1</sup>

(1. 南京大学地球科学系, 南京 210093; 2. 南京大学地理与海洋科学学院, 南京 210093)

**摘要** 本文根据在南华北地区收集到的 13 口井的系统测温资料, 结合该地区已公开发表的地热资料, 对南华北盆地群的地温梯度分布特征进行了研究; 同时依据前人的热导率资料, 对南华北盆地群的大地热流分布特征进行了研究. 分析结果表明, 南华北盆地群现今地温梯度变化范围一般为 13.0~39.9℃/km 之间, 平均 25.3℃/km. 大地热流值在 30~89.6 mW/m<sup>2</sup> 之间, 平均热流值为 53.7 mW/m<sup>2</sup>. 和中国东、西部盆地现今地温相比, 整体表现为一温盆. 总体而言, 拗陷区热流及地温梯度较小, 而隆起区相对较高, 横向差异明显. 地温场平面展布主体为 NW—NWW 向, 与盆地构造格局一致. 地温梯度与大地热流的分布受构造格局的控制, 新生代构造—热事件决定了盆地群的现今地温场特征.

**关键词** 南华北盆地群, 地温梯度, 大地热流

中图分类号 P631

文献标识码 A

文章编号 1004-2903(2007)02-0604-05

## Geothermal field in the south huabei basins

ZHANG Peng<sup>1</sup>, WANG Liang-shu<sup>1</sup>, LIU Shao-wen<sup>2</sup>, LI Cheng<sup>1</sup>, DING Zeng-yong<sup>1</sup>

(1. Department of Earth Sciences, Nanjing University, Nanjing 210093, China;

2. School of Geographic and Oceanographic Sciences, Nanjing University, Nanjing 210093, China)

**Abstract** Based on the geotemperature data of 13 systematic temperature logging wells in the South Huabei Basins, in combination with geothermal information that has been published in this area, we here present the geo-temperature gradients distribution characteristics of this region. Furthermore, integrated with thermal conductivity information, the distribution characteristics of heat flow in this region are also analyzed. The results show that the geotemperature gradients present day of the South Huabei Basins vary from 13.0℃/km to 39.9℃/km, with an average value of 25.3℃/km. The heat flow values of the South Huabei Basins are between 30 mW/m<sup>2</sup> and 89.6 mW/m<sup>2</sup>, with an average value of 53.7 mW/m<sup>2</sup>. The South Huabei Basins can be described as a “mild” basin in a whole, compared with the geothermal fields of the basins in eastern and western China. Generally, the distribution of heat flow values and geo-temperature gradients vary laterally much, with lower ones in depression areas and higher ones in uplifts areas. The direction of geothermal field distribution is NW—NWW, consistent with the tectonic framework. The distribution of geotemperature gradients and heat flow are mainly governed by its tectonic framework. The tectono-thermal events occurred in Cenozoic are the controlling factors for the distribution characteristics of geothermal field.

**Keywords** the south huabei basins, geotemperature gradient, heat flow

## 0 引 言

地温场在油气生成和盆地演化过程中起着重要的作用. 研究盆地的地温场, 不仅对油气勘探具有重要的指导意义, 而且还可以为盆地的成因动力学和

构造热演化等基础问题的探讨提供科学依据和约束. 现代地温场的研究包括揭示现代地温随深度变化规律、地温梯度及大地热流的空间分布特征等内容. 上世纪 80 年代以来, 许多学者对华北地区的地温场作过较深入的分析研究<sup>[1~7]</sup>. 龚育龄等<sup>[8]</sup>对渤

收稿日期 2006-07-10; 修回日期 2006-08-20.

基金项目 中石化项目《南华北盆地群的油气选区评价》资助.

作者简介 张鹏, 男, 1981 年生. 南京大学地球科学系构造地质学专业博士研究生. 研究方向为盆地构造与地球动力学. (E-mail: zhang-peng2002@nju.org.cn)

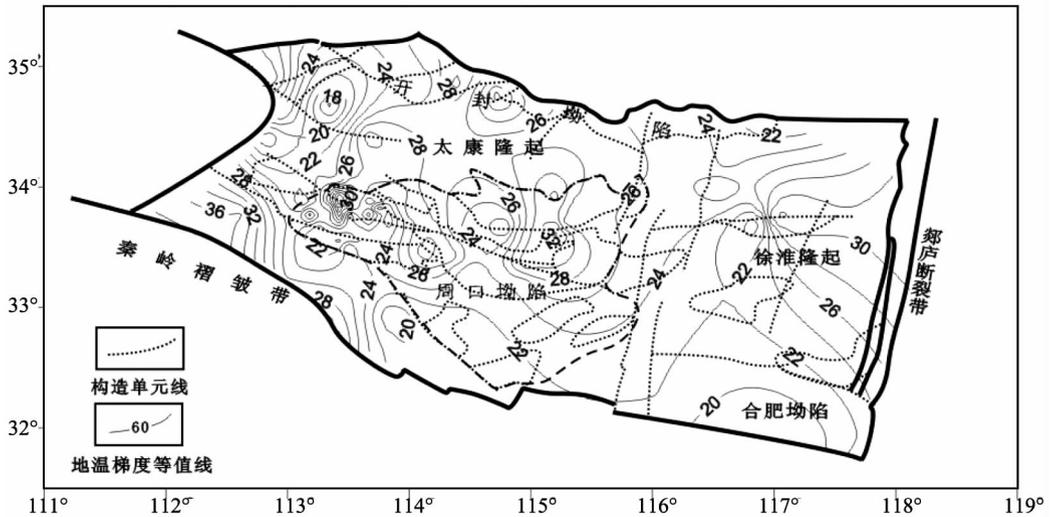


图 1 南华北盆地群构造单元与地温梯度等值线图

Fig. 1 Tectonic unit sketch and geothermal gradient contour of the South Huabei basins

海湾盆地群的地温场的研究得出渤海湾盆地的平均地温梯度为  $34.7^{\circ}\text{C}/\text{km}$ , 平均热流值为  $64.4 \text{ mW}/\text{m}^2$ . 胡圣标等<sup>[9]</sup>根据热流数据统计得出渤海湾盆地的平均热流值为  $69 \text{ mW}/\text{m}^2$ , 南华北盆地群的平均热流值为  $56 \text{ mW}/\text{m}^2$ . 但对南华北地区的地温场尚未有系统的研究. 本文根据在南华北地区最新取得的井温资料和前人的研究成果, 对南华北盆地群的地温场与大地热流特征进行了较详尽的论述.

南华北盆地群位于华北块体南部及其边缘, 南与秦岭—大别造山带相邻, 东以郟庐断裂为界与下扬子区相邻, 西接豫西隆起区, 北以焦作—丰沛大断裂为界, 分别与太行山、内黄、鲁西等隆起相邻. 南华北盆地群主要发育开封坳陷、太康隆起、周口坳陷、徐淮隆起、合肥坳陷几个构造单元. NWW 至近 EW 向、NE—NNE 向断裂控制了南华北盆地群内部的次级构造单元的形成和演化<sup>[10]</sup>.

## 1 井温资料的处理

本研究利用的井温资料来源于南华北地区的油气勘探. 一般而言, 系统测温数据是在完井之后静井 4~7 天甚至数月后进行地温测井时获得的地温数据, 能很好地反映地层温度. 在该地区共收集到了 13 口井的系统测温资料, 这 13 口井分布于南华北盆地群的各个构造单元, 多数井的连续测温深度为 2000~4000 m. 这些测温井的平面展布及测温深度保证了地温场研究的代表性和可信性.

由各井的井深—温度曲线(图 2)可以看出: 各井上端的井温接近于本地区的地表年平均气温, 井温随深度的加大而增高, 呈现出较好的线性变化特征. 可见采用的井温资料是线性较好的、代表传导性地温特征的井温数据, 能够反映地层的真实温度.

## 2 南华北盆地群地温场特征

本区恒温带的深度  $Z_0$  取  $20 \text{ m}$ <sup>[2]</sup>, 恒温带温度  $T_0$  定为  $14.5^{\circ}\text{C}$ . 若某一深度  $Z$  的地温为  $T$ , 则该测温点的地温梯度  $G$  可用下面的公式来确定:

$$G = \frac{T - T_0}{Z - Z_0}. \quad (1)$$

依据上式对收集到的 4 口勘探井的试油测温数据(见图 2)进行了计算, 得出了它们的地温梯度值. 而对于系统测温资料, 不同单位和研究者采用的地温梯度计算方法存在差异, 本文采用最小二乘线性回归法对系统测温井的地温梯度进行了计算. 同时结合该地区已公开发表的地温梯度值<sup>[2~4]</sup>, 进行了统计分析. 最后绘出了南华北盆地群的地温梯度等值线图(见图 1).

井温资料的分析结果表明, 南华北盆地群现今地温梯度变化范围一般为  $13.0 \sim 39.9^{\circ}\text{C}/\text{km}$  之间, 平均  $25.3^{\circ}\text{C}/\text{km}$ . 地温梯度较小, 变化范围不大. 在区域上低于邻区的渤海湾盆地( $34.7^{\circ}\text{C}/\text{km}$ )<sup>[8]</sup> 和苏北盆地( $30.0^{\circ}\text{C}/\text{km}$ )<sup>[11]</sup>, 也低于华北块体上的其他盆地, 如鄂尔多斯( $28.0^{\circ}\text{C}/\text{km}$ )<sup>[12]</sup>、泌水盆地( $26.2^{\circ}\text{C}/\text{km}$ )<sup>[12]</sup>.

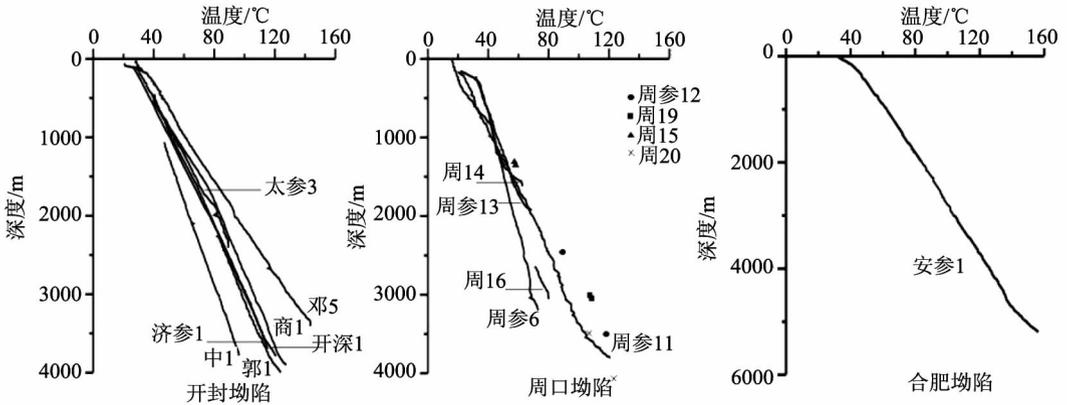


图2 南华北盆地群各井井深—温度图

Fig. 2 Relationship between depth and temperature of wells in the South Huabei basins

在南华北盆地群地温梯度等值线上(图1),体现了地温场平面分布的整体轮廓。区域地温主要受地质构造格局的控制,主体呈NW—NWW向,其次是NE—NNE向,反映了该地区的整体构造形态。多数地区地温梯度都在 $20\sim 32\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{km}$ ,地温梯度普遍较低。各拗陷的地温梯度分布特征如下:

开封拗陷平均地温梯度为 $24.7\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{km}$ 。在济源凹陷西侧地温梯度较高,在 $30\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{km}$ 以上。中牟、黄口、民权各凹陷地温梯度在 $24\sim 30\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{km}$ 之间。

周口拗陷平均地温梯度为 $25.1\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{km}$ 。地温梯度分布南北差异较大;南部凹陷带梯度低于中部和北部,只有 $20\sim 24\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{km}$ 左右。中部地温梯度较高,在平顶山凸起和郸城凸起有两处地温梯度在 $30\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{km}$ 以上,谭庄—沈丘凹陷和倪丘集凹陷地温梯度在 $22\sim 28\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{km}$ 之间。周口拗陷北部地温梯度在 $22\sim 28\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{km}$ 左右,鹿邑凹陷存在低于 $22\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{km}$ 的低梯度区。

合肥拗陷只有一口系统测温井安参1井,地温梯度为 $21.7\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{km}$ 。此外还有几处地区地温梯度高于 $30\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{km}$ ,都分布在在太康隆起和徐淮隆起上。太康隆起和徐淮隆起平均地温梯度为 $25.7\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{km}$ ,略高于拗陷的平均地温梯度 $24.9\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{km}$ 。从平面展布而言,拗陷区的地温梯度小于隆起区,可能是热折射效应所致。

从地温梯度的垂向分布特征来看:在中新生界地层中,随井深的增加,总体上地温梯度呈下降的趋势,但变化并不大。这是由于随深度增大,岩石因压实作用导致孔隙变小,从而使岩石的物性发生变化所致。

### 3 南华北盆地群大地热流特征

大地热流是表示地球内部热状态的一项物理量,也是研究区域地温场的基本参数。它反映区域地热状态和地质构造背景,尤其对研究区地质构造的发展、深部地壳结构特征具有重要意义。数学表达式为:

$$q = -k \frac{dT}{dz}, \quad (2)$$

其中 $q$ 为大地热流(单位 $\text{mW}/\text{m}^2$ ), $k$ 为岩石热导率(单位 $\text{W}/\text{m}\cdot\text{K}$ ), $\frac{dT}{dz}$ 为地温梯度(单位 $^{\circ}\text{C}/\text{m}$ ),“—”号表示地温梯度增温方向垂直指向地心,与热流传导方向相反。

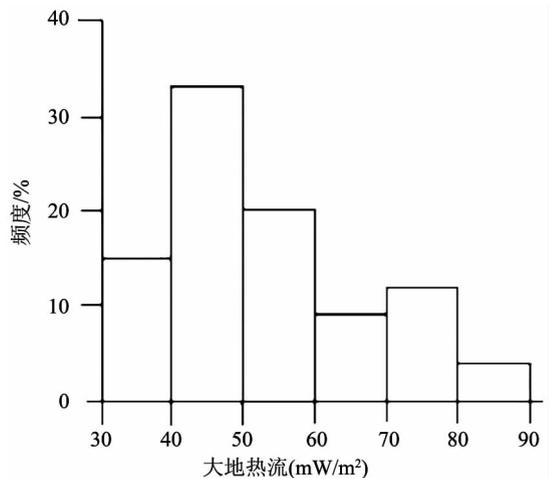


图3 南华北盆地群大地热流直方图

Fig. 3 Frequency histogram of heat flow value in the South Huabei basins

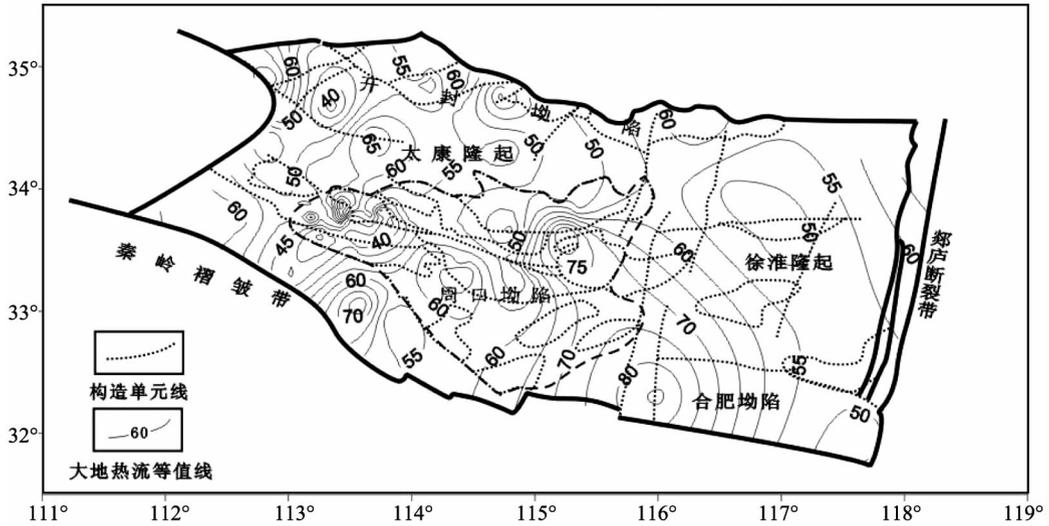


图 4 南华北盆地群大地热流等值线图

Fig. 4 Heat flow contour of the South Huabei basins

本区热导率资料比较少,因此在计算大地热流时综合了前人给出的热导率资料和邻区济阳拗陷的热导率资料<sup>[6]</sup>,利用各井系统测温曲线上线形较好的层段进行计算,得出了这 13 口井的大地热流值.另外还采用“热阻法”<sup>[12]</sup>,对 4 口试油测温井的大地热流值进行了估算.

同时,从公开发表的大地热流数据<sup>[2~4]</sup>,中进行搜集和筛选,获得了南华北盆地群地区的 58 个大地热流实测数据(去除了代表局部异常的 D 类数据),热流估算数据 17 个,以及外围的 35 个数据作为约束.

根据大地热流数据的统计分析结果,得出了大地热流直方图(图 3),可以看出,全区热流主要分布在 30~60 mW/m<sup>2</sup> 三个区段.其中在 40~50 mW/m<sup>2</sup> 之间分布频率最大,反映了南华北盆地群具有较低的热流背景.但热流分布并不集中,有部分地区热流较高,达 90 mW/m<sup>2</sup> 以上,这可能是测量误差所引起的.

同时作出了南华北盆地群的大地热流等值线图(见图 4),总体而言南华北盆地群的大地热流分布特征如下:

(1)南华北盆地群的热流范围在 30~89.6 mW/m<sup>2</sup>,平均热流值为 53.7 mW/m<sup>2</sup>.与华北地块其他盆地相比,远低于渤海湾盆地(69 mW/m<sup>2</sup>)<sup>[9]</sup>和汾渭地堑(73 mW/m<sup>2</sup>)<sup>[9]</sup>,具有低热流值这一特征.

(2)南华北盆地群的热流在拗陷部位较低,而在

隆起部位较高.拗陷区平均热流值为 51.3 mW/m<sup>2</sup>,而隆起区平均热流值为 55.9 mW/m<sup>2</sup>.例如周口拗陷的郸城凸起和平顶山凸起都形成了两处热流值在 60 mW/m<sup>2</sup> 以上的高热流区,而鹿邑凹陷和襄城凹陷热流值都低于 50 mW/m<sup>2</sup>,体现了热流与构造的相关性,同时也反映了热折射效应的影响.

(3)各拗陷的热流特征略有不同,体现出一定的横向差异性.开封拗陷大地热流分布范围基本在 45~65 mW/m<sup>2</sup> 之间,平均热流值为 52.2 mW/m<sup>2</sup>,济源拗陷西部稍高,达到 70 mW/m<sup>2</sup> 以上.周口拗陷大地热流分布范围在 40~70 mW/m<sup>2</sup> 之间,平均热流值为 51.1 mW/m<sup>2</sup>,与开封拗陷接近.合肥拗陷仅有的安参 1 井的热流值为 47.7 mW/m<sup>2</sup>,难以反映合肥拗陷的热流分布状况.

(4)大地热流的平面展部特征也反映了盆地的整体构造形态.与地温梯度的分布类似,热流分布也是主体呈 NW—NWW 向,其次是 NE—NNE 向.

#### 4 讨论与结论

研究表明,南华北盆地群整体地温梯度在 13.0~39.9°C/km 之间,平均 25.3°C/km.大地热流值在 30~89.6 mW/m<sup>2</sup> 之间,平均热流值为 53.7 mW/m<sup>2</sup>.与中国大陆地区的其它地质单元相比,热流值高于中国西部地区的塔里木盆地(44 mW/m<sup>2</sup>)<sup>[14]</sup>与准噶尔盆地(42.3 mW/m<sup>2</sup>)<sup>[15]</sup>等低温冷盆,而低于东部的渤海湾盆地(69 mW/m<sup>2</sup>)<sup>[9]</sup>和松辽盆地(70 mW/m<sup>2</sup>)<sup>[9]</sup>等高温热盆.按照中国

油气盆地地热分区标准<sup>[16]</sup>,南华北盆地群整体表现为一“温盆”。

热流数据统计表明,地质单元的大地热流值随其经历的最后一期构造—热事件年龄的增加而减小<sup>[17]</sup>。研究表明,岩石圈尺度的热扰动和热松弛时间约为 62 Ma<sup>[18]</sup>。即岩石圈的构造—热事件,如岩石圈的伸展减薄而导致的岩浆侵位、火山喷发等造成的热异常,在 62Ma 以后,由于热扩散将不复存在。因此南华北盆地群 62Ma 以来的新生代构造演化过程才是现今低热流的直接原因。

北华北地区与南华北盆地群地温场特征存在较大差异:渤海湾盆地平均地温梯度为 34.7℃/km,平均热流值为 69 mW/m<sup>2</sup>,均大大高于南华北盆地群。渤海湾盆地地温场分布主体呈 NE—NEE 向,而南华北盆地群地温场分布主题呈 NW—NWW 向,这是受各自地区构造格局控制的结果。

南华北盆地群发育受控于三叠纪期间华北地块和华南地块的碰撞构造效应,随着构造作用的停止,盆地逐渐成型且稳定。华北克拉通在在新生代受太平洋板块俯冲作用和印藏碰撞影响,导致北华北地区岩石圈多期伸展,深部地幔上隆,形成高热异常并影响至今<sup>[6]</sup>。同时南部的南华北地区也处于整体拉伸的构造背景之下,在早第三纪发生了剪切拉张作用,进入断陷期<sup>[19,20]</sup>。但因受秦岭褶皱带和基底性质的影响,本区早第三纪裂陷作用较弱,莫霍面起伏小,幔源热流对盆地热流的贡献少,决定了南华北盆地群具有较北华北地区地温偏低的地质背景。

南华北盆地群地温场的分布受构造格局的控制,凸起区的地温梯度和大地热流值较高,而凹陷区则对应低地温梯度与低大地热流值,而盆地内这种隆坳相间的格局明显受岩石圈构造变形的影响。这表明南华北盆地群的地温场分布特征是新生代构造—热事件决定的。

**致 谢** 研究过程中,得到中石化勘探研究院、中原油田、南阳油田、胜利油田和江苏油田等单位和专业的大力支持 and 帮助,在此表示衷心的感谢!

## 参 考 文 献 (References):

- [1] 陈墨香. 华北地热[M]. 北京:科学出版社,1988.
- [2] 王均,黄尚瑶,黄歌山,等. 中国地温分布的基本特征[M]. 北京:地震出版社,1990.
- [3] 汪集旸,黄少鹤. 中国大陆地区大地热流数据汇编(第二版)[J]. 地震地质,1990,12(4):351~366.
- [4] 胡圣标,何丽娟,汪集旸. 中国大陆地区大地热流数据汇编(第三版)[J]. 地球物理学报,2001,44(5):611~626.
- [5] 孙占学,张文,胡宝群,等. 沁水盆地大地热流与地温场特征[J]. 地球物理学报,2006,49(1):130~134.
- [6] 龚育龄,王良书,刘绍文,等. 济阳坳陷大地热流分布特征[J]. 中国科学(D),2003,33(4):384~391.
- [7] 王永新,冯殿生,汪集旸,等. 辽河盆地东部凹陷现今地温场及热历史的研究[J]. 地球物理学报,2003,46(2):197~202.
- [8] 龚育龄. 中国东部渤海湾盆地热结构和热演化[D]. 南京:南京大学地球科学系,2003.
- [9] Hu S B, He L J, Wang J Y. Heat flow in the continental area of China: A new data set[J], Earth and Planetary Science Letters, 2000, 179:407~419.
- [10] 徐汉林,赵宗举,杨以宁,等. 南华北盆地构造格局及构造样式[J]. 地球学报,2003,24(1):27~33.
- [11] 王良书,李成,施央申,等. 下扬子大地热流密度分布[J]. 地球物理学报,1995,38(4):470~476.
- [12] 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.
- [13] Chapman D S, *et al.* Heat flow in the Uinta basin determined from bottom hole temperature data[J], Geophysics, 1984, 49(4):453~466.
- [14] 王均,汪集旸,沈继英,等. 塔里木盆地的大地热流[J]. 地球科学—中国地质大学学报,1995,20(4):399~404.
- [15] 王社教,胡圣标,李铁军,等. 准噶尔盆地大地热流[J]. 科学通报,2000,45(12):1327~1332.
- [16] 武守诚. 中国油气盆地的系统研究[J]. 石油学报,1993,14(4):20~34.
- [17] Pollack H N, Hurter S J, Johnson J R. Heat flow from the Earth's interior: Analysis of the global data set[J], Rev. Geophys., 1993, 31:267~280.
- [18] Turcotte D L, Schubert G. Geodynamics—Application of continuum physics to geological problems[M], New York: John Wiley and sons, 1982, 134~195.
- [19] 黄泽光,高长林,吉让寿. 南华北地区中生代盆地演化[J]. 石油与天然气地质,2005,(2):252~256.
- [20] 翟常博,黄泽光,林良彪. 南华北盆地中部凹陷结构分析及油气意义[J]. 石油实验地质,2005,27(4):353~359.