

问题讨论

中国东南地区各造山带大地热流特征

胡圣标 汪集旻

(中国科学院地质研究所, 北京)



本文依据近几年在我国东南地区取得的125个大地热流数据, 以区内造山带或造山带内主要大地构造单元为单位, 分析和比较了各单元的大地热流特征。报道了反映各单元区域热背景的代表性热流值变化范围和平均值, 为研究区内各造山带构造-热演化历史提供了重要参数。

关键词 中国东南 造山带 大地热流特征

大陆造山带通常以较高的热流值和较大的热流变化为其特征, 同时, 不同时代形成的造山带及造山带内不同的大地构造单元, 往往由于差异的构造-热演化历史而具有其特征的背景热流值, 因此, 大地热流被认为是研究造山带形成与演化的地球动力学过程的一个重要参数。中国东南大陆地区造山带的大地构造属性, 已为多项造山带的地质和地球物理标志所证实, 但关于区内造山带的形成机制是陆内造山^[1], 还是碰撞造山^[2]; 以及区内存在一条^[3], 还是多条^[4]造山带, 目前尚有不同认识。

自1986年开始, 已相继在东南地区获得了一大批可靠的热流数据(截止1991年底, 共125个)。根据地表热流的区域分布格局, 东南地区可划分为三个具有不同地表热流特征的“热”单元, 即由湘、鄂和赣西北组成的扬子低热流单元, 由浙、闽(长乐—南澳断裂以西地区)、粤和赣南组成的华南高热流单元, 以及闽粤沿海低热流单元。这三个相互独立的热-构造单元的存在可能反映了东南地区微古陆块的拼贴及碰撞造山过程中构造-热事件叠加改造后的热流图案。本文在此基础上, 依据李继亮(1992)^[4]所提出的东南地区造山带及造山带内大地构造相划分方案, 进一步分析和比较了各大地构造单元的大地热流特征, 并简要讨论了它所包含的大地构造涵义。

1 造山带及大地构造相划分

根据现有地质资料和近几年的野外考察, 中国东南地区可初步划分出晚元古代的江南造山带, 早古生代的华南造山带和三叠纪的浙闽造山带以及白垩纪的闽粤沿海造山带^[4]。造山带的空间分布及造山带内碰撞大地构造相的划分见图1。

造山带的弧前和弧后前陆褶皱冲断带虽然均系造山作用后期形成的前陆盆地经褶皱冲断而成, 但它们的深部构造背景却存在显著差异, 弧前冲断带根基于俯冲壳楔末端的稳定陆壳上; 弧后冲断带座落在仰冲壳楔前端活动大陆边缘的弧后盆地背景上, 从而也就决定了两者在地表热流

注: 国家自然科学基金(编号: 949011)和中国科学院地质研究所岩石圈构造演化开放实验室联合资助项目(编号: 9012)。

本文1992年8月收到, 1993年3月改回, 王毅编辑。

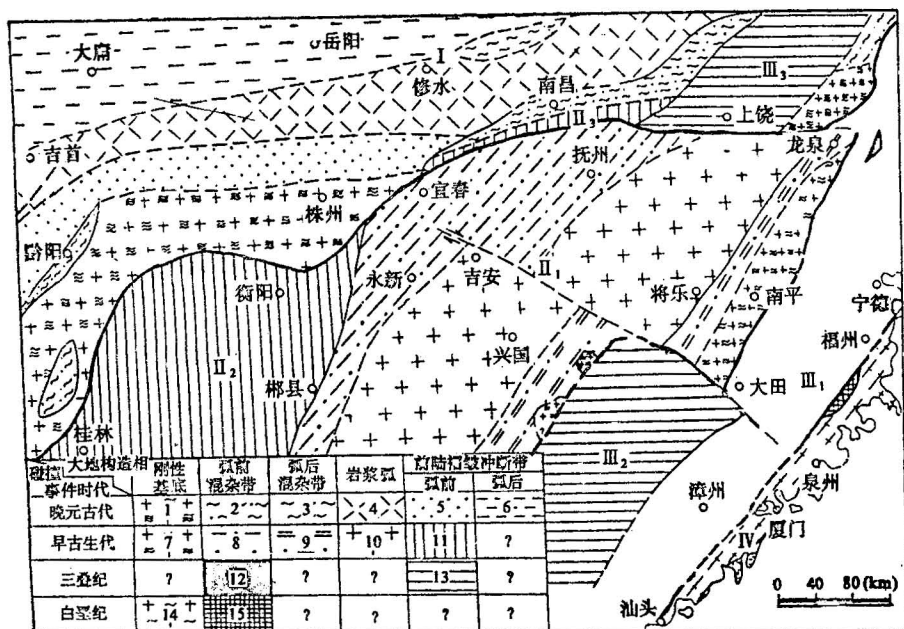


图 1 中国东南地区造山带及大地构造相划分^[6]

Fig.1 Division of orogenic belts and tectonic facies in SE China^[6]

I—晚元古代江南造山带；II₁—早古生代华南造山带；II₂—湘东前陆褶皱冲断带；II₃—萍-乐拗陷；III₁—三叠纪浙闽造山带；III₂—闽西南前陆褶皱冲断带；III₃—浙西、赣东北前陆褶皱冲带；IV—白垩纪闽粤沿海造山带；图中粗、细实线分别代表造山带和次级构造单元边界，虚线表示推测的边界

I—Jiangnan Orogenic Belt of Late Proterozoic age; II₁—Huanan Orogenic Belt of Early Palaeozoic age; II₂—East Hunan foreland thrust and fold belt; II₃—Pingxiang-Leping depression; III₁—Triassic Zhe-Min Orogen; III₂—Southwest Fujian foreland thrust and fold belt; III₃—West Zhejiang and Northeast Jiangxi foreland thrust and fold belt; IV—Coastal Fujian-Guangdong orogen. the bold and fine lines in Fig.1 represent the boundaries of orogenic belts and sub-tectonic provinces. respectively, broken lines represent the inferred boundaries

和深部热状态上的差异。因此，在中生代及更年青的造山带地区，地表热流可作为区分弧前和弧后前陆褶皱冲带的一个标志。鉴于这种特殊的大地构造意义，本文将前陆褶皱冲带作为一个特殊的大地构造单元讨论其大地热流特征。

2 造山带的大地热流特征

研究区内实测热流值变化于 35.6—209mW/m²，代表性热流值介于 35.6—95.7mW/m²。受浅部热干扰因素和深部构造背景的影响和控制^[6]，地表热流表现出明显的局部和区域变化(图2)。下面以造山带为单位分述其大地热流特征。

2.1 晚元古代江南造山带 (I)

江南造山带于晚元古代碰撞形成后，除浙西、赣东北地区在浙闽造山带形成过程中，又作为前陆区接受沉积，然后褶皱冲断而构成三叠纪浙闽造山带的前陆褶皱冲带 (III₃)外，其余部分(I)均保持了构造稳定发展(图1)，地表热流因长时间的热松弛(thermal relaxation)而较为均一，前陆褶皱冲带间以及造山带的主体在热流特征上已不存在明显区别。整个碰撞造山带内实测热

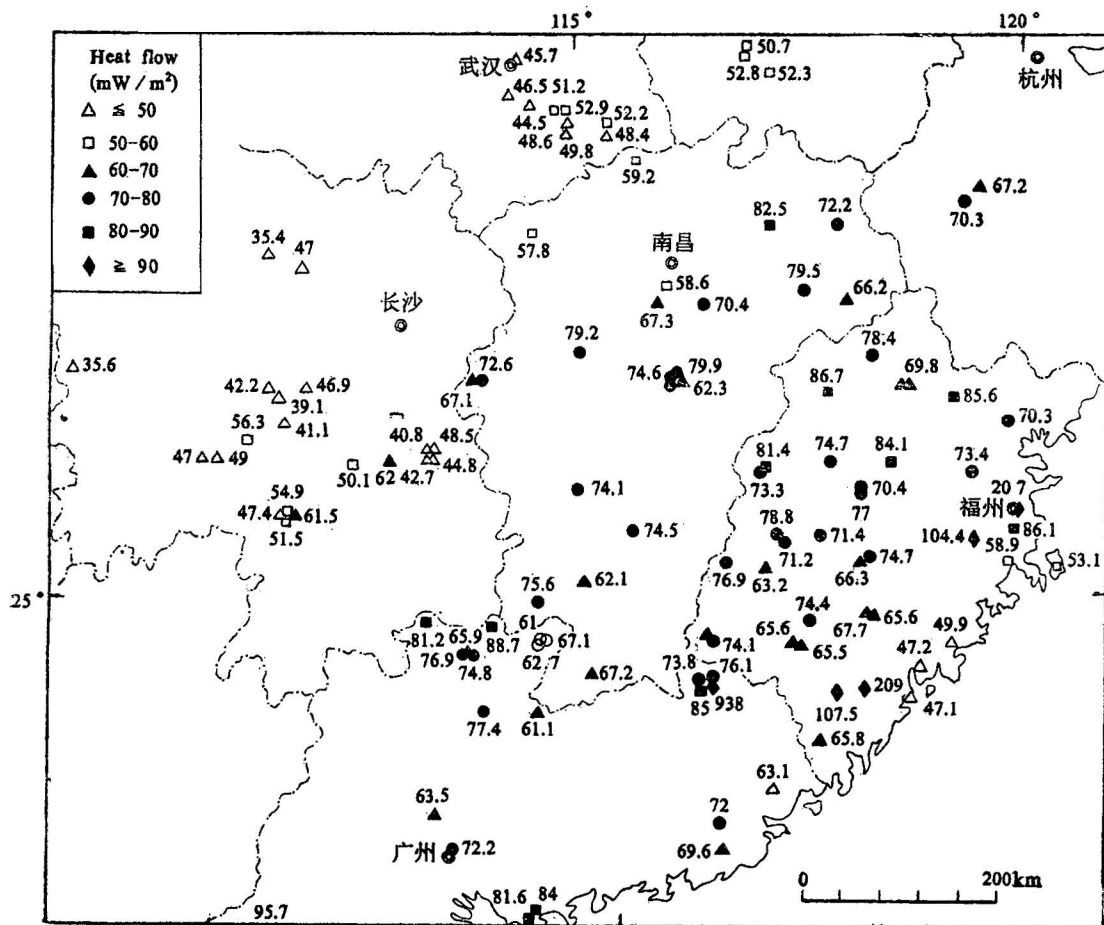


图 2 中国东南地区热流分布格局
Fig. 2 Heat flow pattern in Southeast China

流值变化于 $35.6\text{--}69.2\text{mW/m}^2$, 热流值的变化及其分布明显地取决于地壳浅层热导率结构。较高的热流值($64.1\text{--}69.2\text{mW/m}^2$)集中分布于黄石、大冶一带高热导率($3.34\text{--}3.61\text{W/mK}$)的石灰岩分布区,而低热流值($45.7\text{--}59.2\text{mW/m}^2$)则分布于热导率较低($1.66\text{--}3.07\text{W/mK}$)的砂砾岩分布区。研究表明,由于热流折射引起的热流向灰岩区的汇聚量可达 $13.7\text{--}19.4\text{mW/m}^2$ 。校正后的代表性热流值变化范围为 $35.6\text{--}59.2\text{mW/m}^2$ (图3a),平均 49.7 ± 5.5 (20) mW/m^2 。其热流特征类似于前寒武纪大陆地壳区。

2.2 早古生代华南碰撞造山带(II)

华南碰撞造山带作为早古生代造山作用的产物,在中生代又部分地经受了构造和热事件的叠加,出露有大面积中生代火山岩,结果导致华南碰撞造山带为区域地表热流变化最大的造山带。造山带的前陆褶冲带与造山带的主体之间,以及前陆褶冲带内部,在热流特征上具有显著的变化。

2.2.1 华南造山带(II)

它是研究区内热流测点最多(31个)的区域。区内实测热流值变化于 $61.1\text{--}101\text{mW/m}^2$ 。带

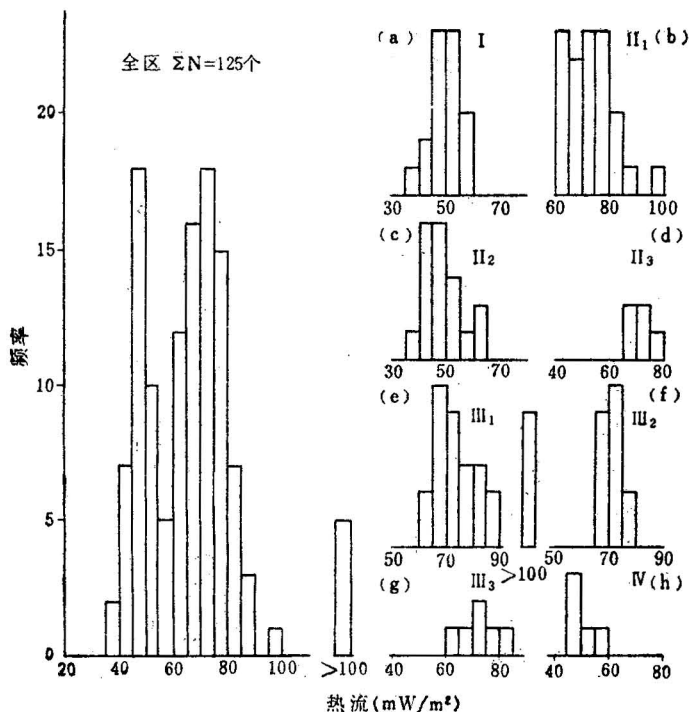


图3 中国东南地区及各构造单元热流频率分布直方图
(图中各构造单元代号见图1)

Fig. 3 Histogram of heat flow data in SE China and each tectonic provinces (See Fig. 1 for province codes)

内较广泛地覆盖或出露中生代燕山期的火山岩和花岗岩,推覆构造发育,地势起伏,山川交错,地表热流因此而表现出明显的局部变化,浅部因素的干扰比较明显(表1)。其中,热流地形校正量高达 $17.5\text{mW}/\text{m}^2$ 至 $+9.5\text{mW}/\text{m}^2$;垂向地下水运动的干扰也较大,如赣州潭口ZK₁孔,垂向地下水干扰量达 $-11.2\text{mW}/\text{m}^2$;地壳浅部热导率结构的不均一性也对地表热流产生了一定影响,如江西兴国ZK₃₁₂孔,它位于一背斜核部,核翼部热导率的差异比值为1:1.24,使得热流向背斜核部的汇聚量达 $19.1\text{mW}/\text{m}^2$,导致地表热流高达 $98.8\text{mW}/\text{m}^2$ 。此外,地壳浅层局部生热率异常的存在,是该造山带内浅部热干扰的另一特点。江西乐安相山两个铀矿区热流测孔中矿层的异常生热率值高达 $3.4-6.4\text{mW}/\text{m}^2$ 。经浅部热状态分析和校正后,华南造山带内区域代表性的热流值范围为 $61-95.7\text{mW}/\text{m}^2$ (图3b),平均 $72.6\pm 8.3(31)\text{mW}/\text{m}^2$;类似于中生代造山带的热流特征,反映了中生代构造-热事件的叠加与改造。

2.2.2 湘东前陆褶冲带(II₂)和萍-乐拗陷(II₃)

湘东前陆褶冲带(图1)作为华南造山带前陆褶冲带的一部分,以较低的地表热流值($39.1-66.0\text{mW}/\text{m}^2$)为特征(图2c),平均 $49.1\pm 7.0(17)\text{mW}/\text{m}^2$,与西侧的江南造山带相近;而与东侧的华南造山带截然不同,相对而言,热流值明显偏低。热流值的这种空间变化说明了湘东地区具有与江南造山带相似的深部构造背景,这与该区的大地构造性质——弧前前陆褶冲带^[4]是一致的。

● 周文斌,相山地区大地热流与成矿期古水热系统分析,硕士学位论文,华东地质学院,1988。

表 1 中国东南地区各造山带大地热流特征
Table 1 Heat flow characteristics of orogenic belts in SE china

碰撞造山带	次级构造单元	实测热流 (mW/m ²)		热流测试孔中主要浅部干扰因素	最大扰动量	区域背景热流 (mW/m ²)	
		变化范围	平均值 (n)			变化范围	平均值 (n)
江南碰撞造山带(I)	江南造山带(I)	35.6—69.2	55.3 ± 9.6 (20)	1) 热导率侧向变化	1) -19.4	35.6—59.2	49.7 ± 5.5 (20)
华南碰撞造山带(II)	华南造山带(II ₁)	61.1—101.0	75.3 ± 9.9 (31)	1) 地形起伏 2) 地下水活动 3) 热导率侧向变化 4) 生热率局部异常 5) 断层剪切摩擦	1) -17.5—+9.5 2) -11.2 3) -19.1 4) -6.4 5) -6.7	61.0—95.7	72.6 ± 8.3 (31)
	湘东前陆褶冲带(II ₂)	39.1—66.0	50.1 ± 7.3 (17)	1) 膏盐烟窗效应 2) 地下水活动	1) -4.0* 2) ?	39.1—62.0	49.1 ± 7.0 (17)
	萍-乐拗陷(II ₃)	67.1—89.1	75.4 ± 8.7 (6)	1) 地下水活动	1) -16.5	67.1—79.5	72.7 ± 5.6 (6)
浙闽碰撞造山带(III)	浙闽造山带(III ₁)	42.6—209.0	93.3 ± 48.4 (20)	1) 地下水活动 2) 地形起伏 3) 断层剪切摩擦 4) 热导率不均一 5) 抬升与剥蚀作用	1) -120—+2.4 2) -0.8—+6.0 3) -1.4 4) -13.5 5) -3.0	65.9—86.1	74.4 ± 7.8 (15)
	闽西南前陆褶冲带(III ₂)	63.2—93.8	72.3 ± 7.5 (18)	1) 地形起伏 2) 地下水活动	1) -3.5—+6.1 2) +5.6	63.2—93.8	73.6 ± 7.5 (18)
	浙西赣东北前陆褶冲带(III ₃)	64.7—92.1	75.4 ± 12 (5)	1) 热导率侧向变化 2) 断层剪切摩擦	1) -19.9 2) -1.9	64.7—82.5	71.4 ± 6.8 (5)
闽粤沿海造山带(IV)	闽粤沿海造山带(IV)	45.5—56.6	50.5 ± 4.5 (5)	1) 地形起伏 2) 抬升与剥蚀作用 3) 断层剪切摩擦	1) +2.3 2) -2.5 3) -2.0	47.1—58.9	51.2 ± 4.9 (5)

* 据四川省地矿局攀西地质大队、四川省地矿局应用地球物理研究所, 1990.

萍乡-乐平拗陷(图1)也是华南造山带前陆褶冲带的一部分。与湘东地区所不同的是, 该带内地表热流值明显地偏高, 实测热流值介于67.1—89.1 mW/m², 平均75.4 ± 8.7 (6) mW/m²。其区域性热流值可能介于67.1—79.5 mW/m² (图3d), 平均72.7 ± 5.6 (6) mW/m²。沉积大地构造研究^①表明, 该带在中生代晚期发生了引张断陷, 乃至基性岩浆活动。因此, 带内较高的热流值是这一后期构造-热演化过程的反映。

2.3 三叠纪浙闽碰撞造山带(III)

在浙闽碰撞造山带内, 存在闽西南、浙西、赣东北等前陆褶冲带(图1)。这两个大地构造相内地表热流特征的研究及其与造山带主体的比较, 对整个碰撞造山带的构造演化, 尤其是对中生代时期板块活动格局的认识是十分重要的。

2.3.1 浙闽造山带(III₁)

① 彭海波. 萍-乐拗陷西段晚三叠世-晚白垩世沉积特征及其构造控制. 博士学位论文. 中国科学院地质研究所, 1988.

该带内地壳浅部热状态的变化是整个东南地区最为强烈的地区。水热活动、温泉密布是该带的一个显著特点。其实测热流值变化范围为 $41.6\text{--}209\text{ mW/m}^2$, 平均 93.3 ± 48.4 (20) mW/m^2 (图3e)。除地形起伏、热导率侧向变化、断层摩擦生热等因素的干扰(表1)外, 区域性地下水深循环所引起的热“迁移”, 是该带内高、低热流异常产生的根本原因。热水氢氧同位素^[6]、地热系统的数值模拟^[7,8]等项研究成果均证实了这一结论。经过热流校正和摒弃以热对流为主的异常热流值后, 浙闽造山带内具代表性的热流值仍较高, 介于 $63.1\text{--}86.1\text{ mW/m}^2$, 平均 74.4 ± 7.8 (15) mW/m^2 。该造山带内较高热流的特征与其中生代造山带的大地构造属性是相一致的。

2.3.2 闽西南前陆褶冲带 (Ⅲ₂) 和浙西赣东北前陆褶冲带 (Ⅲ₁)

位于浙闽造山带西侧的闽西南盆地被划归浙闽造山带的弧前前陆褶皱冲断带(图1), 该盆地内实测热流值变化于 $63.2\text{--}93.8\text{ mW/m}^2$ (图3f), 平均 72.3 ± 7.5 (18) mW/m^2 。校正(表1)后的平均热流值为 73.6 ± 7.5 (18) mW/m^2 , 比浙闽造山带略高, 而且地幔热流计算结果表明, 该区具有全区内最高地幔热流值(达 43 mW/m^2), 这种热流分布格局在现今该区的碰撞大地构造模式^[4]中难以得到合理解释, 如果把它作为弧后前陆褶冲带更为恰当。至少可以肯定, 闽西南盆地在晚古生代至早中生代曾经历过一定规模的伸展裂谷作用过程。

浙西、赣东北地区是晚元古代江南造山带的一部分, 其古生代沉积盖层于中生代早期发生褶皱形成了一系列的紧闭的线性褶皱及推覆构造, 并发育有中生代火山岩和侵入岩, 因而它被划归为三叠纪浙闽造山带的弧前前陆褶冲带^[4]。区内实测热流值变化于 $64.7\text{--}92.1\text{ mW/m}^2$, 平均 75.4 ± 12 (5) mW/m^2 。区内代表性热流值介于 $64.7\text{--}82.5\text{ mW/m}^2$ (图3g), 平均 71.3 ± 6.8 (5) mW/m^2 。1992年完成的浙江省热流测量结构进一步证实该区内热流值较高。所以它与江南造山带的深部构造性质应有本质的区别, 因而不大可能是浙闽造山带的弧前前陆褶冲带, 而更可能具有弧后前陆褶冲带的大地构造性质。因此, 浙闽造山带的两个前陆褶冲带的性质, 究竟是弧后还是弧前前陆褶冲带, 有待今后作更深入的研究。

2.4 白垩纪闽粤沿海造山带 (Ⅳ)

根据地表零星出露的蛇绿混杂岩和区域变质年龄, 认为闽粤沿海白垩纪造山带^[4], 以低地表热流($47.1\text{--}58.9\text{ mW/m}^2$)为特征(图3h), 平均热流值(51.2 ± 4.9 (5) mW/m^2)与晚元古代的江南造山带相近, 从而构成了一个十分独特的热-构造单元。它所具有的低热流特征与地表所出露岩石的变质热事件年龄(80—160 Ma)等极不协调, 低热流值对闽粤沿海地区白垩纪造山带是否存在未能提供证据, 相反, 它倒证明了西太平洋古陆^[1]的存在还可能提供了该区存在类似阿尔卑斯勒蓬廷(Lepontine)地区的二元地壳结构^[9]。

综上所述, 中国东南地区各造山带内, 各大地构造单元的大地热流特征很不相同, 它们来自浅层或深部不同的构造背景。热流值的局部变化起因于浅部因素的干扰而其区域变化则受控于深部构造背景和后期构造-热事件。江南造山带和浙闽造山带的晚元古代和早中生代造山带的属性, 可以从其大地热流特征上得到印证。早古生代的华南造山带中部分地区较高的地表热流可能反映了中生代构造-热事件的叠加与改造。闽粤沿海地区的低热流特征与目前将它划分为白垩纪造山带的认识不协调, 也许这种低热流特征表明该区存在二元地壳结构, 即地壳由上覆年青的中生代变质混杂岩与下伏古陆(西太平洋古陆的残留体)组成。所以, 它可能并非一个独立的白垩纪造山带, 而可能是浙闽造山带的弧前混杂带向前陆区推覆而成, 即仍属于浙闽造山带的一部分。

东南地区中生代造山带的前陆褶冲带中大地热流特征的研究及区域比较, 对这些构造单元大地构造性质(弧前或弧后)的厘定及后期构造-热演化的认识具有一定意义。闽西南盆地、浙西、

赣东北地区较高的热流特征, 以及相邻构造单元间热流的空间分布与变化, 揭示了它们在晚古生代至中生代早期曾经历过一定规模的引张断陷或裂谷发展过程, 也许将它们划归浙闽造山带的弧后前陆褶冲带更能解释其高热流特征。

参 考 文 献

- 任纪舜, 陈廷愚, 牛宝贵, 刘志刚, 刘凤仁. 中国东部大陆岩石圈的构造与成矿. 北京: 科学出版社, 1990.
- 许靖华. 薄壳板块构造模式与冲撞造山运动. 中国科学, 1980, (11): 1081—1089.
- Hsu K J, Li J, Chen H, Wang Q, Sun S, Segor A M C. Tectonics of South China, Key to understanding West Pacific geology. Tectonophysics, 1990, 193 (1): 9—39.
- 李继亮. 中国东南地区大地构造的基本问题. 见: 李继亮主编, 中国东南海陆岩石圈结构与演化研究. 北京: 中国科学技术出版社, 1992, 1—16页.
- Hu Shengbiao, Xiong Liangping, Wang Yihua, Zhao Ping, Wang Jiyang. Heat flow measurements in Southeast China. Advances in Geoscience (2), Beijing: China Ocean Press, 1992, 210—214.
- 庞志和, 樊志成, 汪集扬. 漳州盆地地热系统的氢氧同位素研究. 岩石学报, 1990, (4): 75—82.
- Hochstein M P, Yang Z and Ehara S. The Fuzhou geothermal system (P. R. China): Modelling study of a low temperature, fracture zone system. Geothermics, 1990, 19 (1): 190—196.
- 胡圣标, 熊亮萍. 漳州地热系统数值模拟研究. 中国地质大学地质科技情报, 1990, 9 (4): 65—71.
- Bradbury H J, Nolen-Hoeksema R C. The Lepontine Alps as an evolving metamorphic core complex during A-type subduction: Evidence from heat flow, mineral cooling ages, and tectonic modelling. Tectonics, 1985, (4): 187—211.

HEAT FLOW CHARACTERISTICS OF OROGENIC BELTS IN SOUTHEASTERN CHINA

Hu Shengbiao and Wang Jiyang

(Institute of geology, Academia Sinica, Beijing)

Abstract

Heat flow characteristics of orogenic belts, including foreland thrust and fold belts in southeastern China, are presented in this paper. Low heat flows ($35.6\text{--}59.2\text{ mW/m}^2$), with a mean of 49.7 ± 5.8 (20) mW/m^2 , are observed in the Jiangnan orogen of Lateproterozoic age. The Early Palaeozoic South China orogenic belt is characterized by an elevated heat flow (72.6 ± 8.3 (31) mW/m^2 and a variation range from 61.0 to 95.7 mW/m^2), but its foreland thrust and fold zone, excluding the Pingxiang-Leping depression zone where higher heat flows ($67.1\text{--}89.1\text{ mW/m}^2$) associated with Mesozoic tectonothermal events are observed, are found to have a low heat flow ($39.1\text{--}62\text{ mW/m}^2$), with a mean of 49.1 ± 7.0 (17) mW/m^2 . The Zhejiang-Fujian orogenic belt of Triassic age shows an average heat flow of 74.4 ± 7.8 (15) mW/m^2 , with a range from 65.9 to 86.1 mW/m^2 , and its foreland thrust and fold belts located in southwestern Fujian and western Zhejiang and northeastern Jiangxi appear to be similar to the orogenic belt itself in respect to the heat flow characteristics. Surprisingly, the coastal Fujian-Guangdong orogenic belt of Cretaceous age is associated with a low heat flow

(51.2 ± 4.9 mW/m²), ranging from 47.1 to 58.9 mW/m².

The heat flow data show the attributes of the Late Proterozoic and Mesozoic Jiangnan and Zhejiang-Fujian orogenic belts and confirm the existence of the Mesozoic tectonothermal events superimposed on the South China orogen. Moreover, the low heat flow in the coastal Fujian-Guangdong orogenic belt probably suggests a duplex structure in the upper crust.

Key words: Southeastern China, heat flow characteristics, orogenic belt

作 者 简 介

胡圣标, 1963年1月生, 1985年7月毕业于成都地质学院地质系地质学专业, 1988年7月和1991年7月先后获中国科学院地质研究所构造地质学专业理学硕士和博士学位, 现任该所地热与数学地质研究室助理研究员。邮政编码: 100029。
