

<http://www.geojournals.cn/georev/ch/index.aspx>

研究简讯

大陆碰撞造山带复合叠加型岩石圈热结构

——以云南三江地区为例

徐 青 汪缉安 汪集旻

(中南工业大学, 长沙) (中国科学院地质研究所, 北京)



在获得云南一批大地热流、岩石放射性生热率数据的基础上, 结合研究区地质-地球物理资料, 提出并建立了云南三江地区大陆碰撞造山带复合叠加型岩石圈热结构模式。这一模式有助于了解云南三江地区三叠纪以来构造作用产生的深部热背景, 从地热学角度探讨了区内岩浆岩、火山岩和变质岩的分布规律。

关键词 碰撞造山带 热流 复合叠加

1 大陆碰撞造山带岩石圈热结构特点

大陆碰撞造山带岩石圈热结构是当前理论地热研究中的一个前沿课题^[1]。

在逆冲推覆造山过程中, 地表热流变化主要由下述三种热贡献控制: 1)、岩石放射性元素衰变产生的热; 2)、深部热流从一个推覆断片向另一个断片的传导; 3)、逆冲断片运动产生的摩擦热。其中摩擦热有严格的时空限定, 它存在于逆冲推覆作用过程中并有一定的滞后效应。对放射性元素衰变产生的热和深部热流, 通常用“剥层法”^[2]和地表热流(q_0)与生热率(A_0)间的线性关系来表达。对逆冲推覆断片叠加地区, q_0 - A_0 线性关系不能全面揭示岩石圈的热结构, 这是因为, 逆冲推覆断片叠加地区, 按 F. Birch 等人^[3]对 q_0 - A_0 线性关系的解释, q_0 - A_0 直线在纵座标上的截距 q_r 代表地幔热流, 事实上, q_r 还包括了下伏断片中放射性元素的热贡献。P. Molnar^[4]正是基于此种思想, 采用双层指数模型结构, 对逆冲推覆断片发育的喜马拉雅地区岩石圈热状态进行了理论研究。另外, 由于逆冲推覆作用扰动了地温场, 存在热松弛效应, 因此, 大陆碰撞造山带逆冲推覆过程中, 岩石圈热状态、热演化是极其复杂的, 只有建立了具体研究区的地质构造模型, 才可弄清其岩石圈热结构。

2 三江地区地质构造模型

云南三江地区广泛分布的中-酸性侵入岩类、火山岩系和变质岩明显成带状沿断裂带出露^[5],

注: 本文为国家自然科学基金项目《滇西地区古特提斯构造演化》及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课题。

本文 1991 年 9 月收到, 1992 年 3 月改回, 王毅编辑。

滇西地区处于欧亚板块和印度板块汇聚部位^[6]。重力和地震资料揭示区内地壳厚度变化具有带状特征^[7]。地壳厚度由中生代末期的平均 15 km 达到目前的 50 km 左右(普遍超过 40 km),在水平方向上地壳剧烈收缩,有过数百公里的地壳挤压缩短^[7]。地壳纵向增厚与横向收缩的变形特点是中生代末至新生代初期印度洋板块与欧亚板块的陆壳发生碰撞,且印度大陆不断向北东方向推进的区域性挤压作用所致^[8,9]。三江地区中地壳普遍存在低速层,下地壳也存在低速层,且大地电磁测深也出现与此对应的低阻层^①,说明存在明显有利于逆冲推覆的滑脱面,这是该区广泛发育逆冲推覆体的先决条件。在一些构造岩浆带上(如临沧-勐海花岗岩带,哀牢山变质带等)存在着明显的重力负异常,表明这里存在着地壳增厚现象,造成这种现象的原因,则可能是由于逆冲推覆作用,使不同地块间复合叠加^[10]。临沧花岗岩基和澜沧江双变质带是由西边的大洋板块向扬子陆块俯冲以及海西-印支期地体之间的碰撞造成的^[11]。构造活动强度的时空变化从含锡花岗岩全岩 Rb-Sr 等时线年龄^[12]及板块活动规律^[5,13,14]可窥一斑,总的趋势是东部早、西部晚。通过上述分析,建立三江地区地质构造模型如图 1。

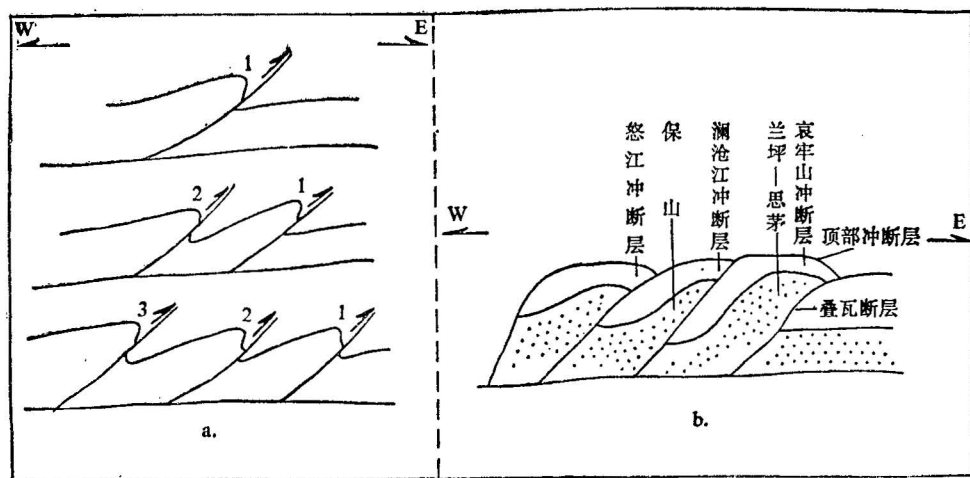


图 1 三江地区构造模式示意图

Fig. 1 A sketch map of tectonic model across Three Rivers Region

a—上叠式逆冲推覆构造发育顺序; b—逆冲推覆复合叠加构造模式

a—Developing sequence of superposed-type thrust nappe structures; b—compound superimposed model of thrust nappe structure

3 复合叠加型岩石圈热结构

3.1 放射性元素衰变产生的热与地幔热流

我们在文献^[15,16]报导了云南地区(主要是三江地区)的岩石放射性生热率、热导率数据和 29 个热流值,根据这些数据计算出的云南深部热流见表 1。云南岩石圈热结构可划分为三大基本类型: 1)、 $q_0 > 80 \text{ mW/m}^2$, $q_m > 50 \text{ mW/m}^2$, $q_m/q_0 > 59\%$, $q_m/q_c > 1.5$, 具有典型活动区的热结构特征,腾冲、丽江地区为其代表; 2)、 $q_0 < 56 \text{ mW/m}^2$, $q_m < 30 \text{ mW/m}^2$, $q_m/q_0 < 46\%$, q_m/q_c 比值较低,具有典型稳定地质区的热结构特征,滇东南区属此类型; 3)、热结构特征介于上两类型之间的中间过渡型。总起来看,云南地区平均热流值相对较高。滇西三江地区热流西高

① 孙洁等,滇西地区地壳上地幔电性结构与地壳构造活动的关系,国家地震局地质研究所科研报告,1988,

表 1 地幔热流(q_m)、地壳热流(q_c)和地表热流(q_o)组成关系
Table 1 The relationships among mantle heat flow (q_m), the crust heat flow (q_c) and surface heat flow (q_o)

热 流 \ 分 区	腾冲地区	昆明地区	丽江地区	永平地区	澜沧地区	保山地区	普洱地区	华坪地区	滇东南地区
$q_o(\text{mW/m}^2)$	94.0	86.1	89.3	70.9	66.6	67.0	63.6	74.2	56.0
$q_m(\text{mW/m}^2)$	58.2	54.0	52.8	34.9	33.1	28.0	29.5	38.7	27.6
$q_m/q_o(\%)$	61.9	62.8	59.2	49.3	49.8	41.8	46.4	52.2	44.8
q_c/q_m	0.6	0.6	0.7	1.0	1.0	1.4	1.1	0.9	1.2
q_m/q_c	1.6	1.7	1.5	0.9	0.9	0.7	0.8	1.1	0.8

东低且高低相间起伏,反映了“条”“块”相间的构造格局。

3.2 逆冲推覆作用产生的摩擦热

上面的分析仅考虑岩石放射性生热和地幔热流,在三江地区已发现,由于逆冲推覆岩片复合叠加,地壳热流 q_c 贡献较大,与地幔热流的比值大于 1。三江地区变质岩、岩浆岩和火山岩呈线状分布表明,在逆冲推覆造山过程中还要考虑摩擦生热的贡献。

计算模型把沿逆冲推覆断面的摩擦热和由于扰动的热梯度的松弛效应结合起来,计算公式见文献^[17]。计算结果表明,对本文所考虑的各种模型参数,剪切带温度可比正常地壳温度高 300℃

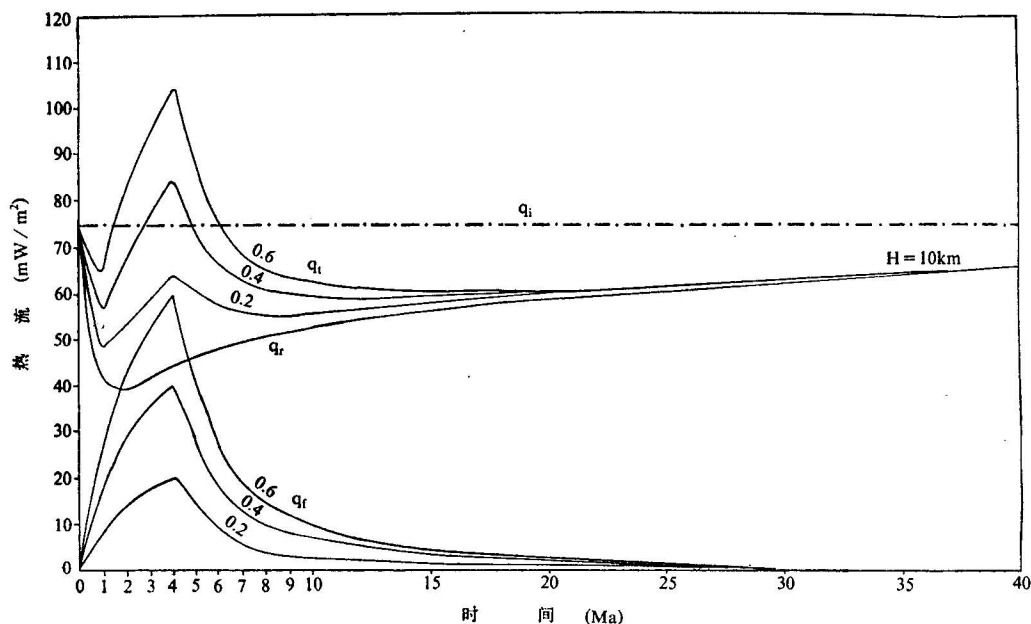


图 2 10 km 厚断片在 4 Ma 时间逆冲推覆 100 km, 摩擦系数分别为 0.6、0.4、0.2 时的热流 q_t 随时间变化曲线, q_t 是传导热流 q'_t 与摩擦生热 q_f 之和 (没考虑放射性元素生热), q_c 是没考虑岩石放射性元素生热时的区域平衡热流 (根据 Brewer 1981, 公式 A-10, A-11 绘制)。把该图的 q_t 向上平移 q_c (放射性元素生热) 个单位即可成为逆冲推覆断片叠加区热流随时间变化图

Fig. 2 Surface heat flow (q_t) curves with time for slab 10 km thick, frictional coefficient (f) being 0.6, 0.4, 0.2, respectively. Thrusting distance 100 km during 4 Ma. q_t is the sum of conductive heat flow (q'_t) and frictionally generated heat flow (q_f)

左右, 导致靠近断层出现渐变变质作用, 与三江地区所观察到的等变质度线 (等变质级) 平行或近于平行逆冲断层相一致。当逆冲推覆断片厚 10 km, 在 4 Ma 时间位移 200 km, 摩擦系数为 0.6, 逆冲推覆剪切过程中出现高达两倍于背景热流的热流值。图 2 为 10 km 厚断片, 在 4 Ma 时间推覆 100 km, 三种不同摩擦系数下的热流曲线 (没考虑岩石放射性元素的热贡献)。因此, 逆冲推覆作用过程中地表热流主要由三部分构成, 它们是 1) 地壳热流 (岩石放射性元素的热贡献); 2) 来自地幔的传导热流 q'_r , 由于逆冲推覆扰动了原始地温梯度, 存在热松弛效应; 3) 摩擦生热。摩擦热具有瞬时效应, 摩擦生热产生的热扰动很快 ($2t_1$ 时间, t_1 为逆冲推覆作用时间) 消失, 但是逆冲推覆作用扰动的热梯度恢复则需较长时间, 图 3 给出不同厚度的逆冲推覆断片恢复到区域平衡热流 q_i 的时间。图 2 和图 3 表明摩擦生热和扰动的热梯度恢复时间尺度的不同。因此, 逆冲推覆构造广泛发育的地区, 岩石圈热结构的三种热流分量是变化的, 总的规律是: 当 $0 < t < 2t_1$, $q_i - q'_r < q_c$ 时, 地表出现高热流值, t 从逆冲推覆作用开始算起; 当 $2t_1 < t < t_2$ 时, 地表观察到的热流值相对较低, t_2 为 $q_c + (q'_r - q_i) = 0$ 时的时间, q'_c 为逆冲推覆作用使地壳增厚部分的岩石放射性热贡献; 当 $t > t_2$, $q'_c > q_i - q'_r$ 时, 地表出现高热流值。

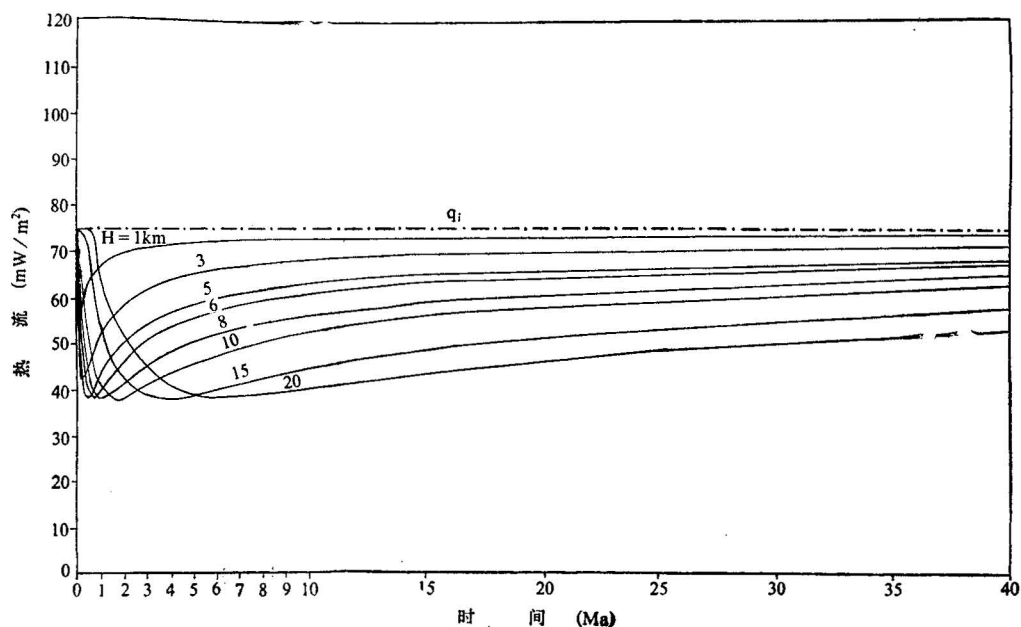


图 3 不同厚度断片逆冲推覆造成的热扰动恢复平衡所需时间

Fig. 3 The equilibrium time of the thermal disturbance returning to regional equilibrium heat flow (q_i) for thrust slabs of various thickness

图中曲线上的数字为断片厚度, 单位 km; q_i 是没考虑岩石放射性元素生热时的区域平衡热流 (根据 Brewer 1981, 公式 A-11 绘制)

The numbers on the curve of the diagram refer to the thickness of the slice (unit, km). q_i is the regional equilibrium temperature without considering the radiogenic heat production of the rock (drawn according to the formula A-11 of Brewer, 1981)

4 小结

1. 在已报导的云南地区 29 个大地热流数据^[15,16]基础上, 结合地质和地球物理资料, 提出了三江地区的复合叠加型岩石圈热结构, 并分别计算出构成该热结构的三种主要热流分量, q_c 由

于岩片叠加而增大, 随时间变化不大; 由于逆冲推覆作用, 摩擦热和深部热流随时间而变化, 前者具瞬时热效应, 后者由于扰动的热梯度而发生热松弛, 因此三种热流分量的叠加是随时间变化的。研究逆冲推覆造山带岩石圈热结构时, 必须考虑时间因素。

2. 从地热学的角度论证了三江地区逆冲推覆构造的发育特点为上叠式逆冲推覆构造, 阐明了区内“条”“块”相间的构造格局。

3. 复合叠加型岩石圈热结构的提出, 对今后认识逆冲推覆构造广泛发育的秦岭及世界瞩目的喜马拉雅造山带的大地构造演化提供了新的思路。

参 考 文 献

- 1 Furlong K P, Chapman D S. Thermal state of the Lithosphere. *Reviews of Geophysics*, 1987, 25(6): 1255—1264.
- 2 汪集旻, 汪辑安. 辽河裂谷盆地地壳上地幔热结构. *中国科学*, 1986, B辑 (8): 856—866.
- 3 Birch F, Roy R F, Decker E R. Heat flow and thermal history in New York and New England, In: *Studies of Appalachian Geology: Northern and Maritime* (edited by Zen E, White W S, Hadley J B, Thompson J B Jr eds) Interscience New York, 1968. 437—451.
- 4 Molnar P, Chen W P, Padovani E. Calculated temperatures in overthrust terrains and possible combinations of heat sources responsible for the Tertiary granites in the Greater Himalaya. *J. Geophys. Res.*, 1983, 88(B8): 6415—6429.
- 5 陈炳蔚, 王铠元, 刘万熹, 蔡振京, 张勤文等. 怒江-澜沧江-金沙江地区大地构造. 中华人民共和国地质矿产部地质专报, 五, 构造地质、地质力学. 第2号北京: 地质出版社, 1987.
- 6 范承钧. 滇西区域地质特征. *云南地质*, 1982, 1(4): 323—336.
- 7 朱成男, 任允文. 从重力异常看三江地区的地壳构造轮廓. *云南地质*, 1983, 2(3): 227—235.
- 8 Molnar P, Tapponnier P. Cenozoic tectonics of Asia: Effects of a continental collision. *Science*, 1975, 189 (4201): 419—426.
- 9 Molnar P, Tapponnier P. Active tectonics of Tibet. *J. Geophys. Res.*, 1978, 83(B11): 5361—5375.
- 10 徐青. 三江地区逆冲推覆断层的热效应. *中国地球物理学会年刊*. 北京: 地震出版社, 1990, 244.
- 11 陈吉琛. 滇西花岗岩类时代划分及同位素年龄值选用的讨论. *云南地质*, 1987, 6(2): 101—113.
- 12 张玉泉, 谢应雯, 成忠礼. 三江地区含锡花岗岩 Rb-Sr 等时线年龄. *岩石学报*, 1990, (1): 75—81.
- 13 王铠元, 施加卒. 滇西构造变质带基本特征. 第二届全国构造会议论文选集. 第1卷, 北京: 地质出版社, 1981.
- 14 王铠元, 孙克祥, 卢瑞甫. 滇西地区大地构造演化. *青藏高原地质文集* (12). 北京: 地质出版社, 1983.
- 15 汪辑安, 徐青, 张文仁. 云南大地热流及地热地质问题. *地震地质*, 1990, 12(4): 367—377.
- 16 徐青, 汪辑安, 汪集旻, 张文仁. 云南大地热流及其大地构造意义. *大地构造与成矿学*, 1992, 16(3): 285—299.
- 17 Brewer J. Thermal effects of thrust faulting, *Earth Planet Sci. Lett.*, 1981, 56: 233—244.

A COMPOUND AND SUPERIMPOSED THERMAL STRUCTURE OF THE LITHOSPHERE IN THE CONTINENTAL COLLISION OROGENS

—A CASE STUDY OF THE SANJIANG REGION OF YUNNAN

Xu Qing

(*South-Central University of Technology, Changsha, Hunan*)

Wang Ji'an and Wang Jiyang

(*Institute of Geology, Academia Sinica, Beijing*)

Abstract

The thermal structure of the lithosphere in continental collision orogens is a frontier subject in the current study of theoretical geothermics. Based on systematic borehole geotemperature logging, terrestrial heat flow measurements and radiogenic heat production determination, combined with geological and geophysical data, a model of compound and superimposed thermal structure of the lithosphere in continental collision orogens in the Sanjiang region of Yunnan is proposed. This model is conducive to understanding the deep thermal setting produced by tectonism since the Triassic in the region. The distributive pattern of magmatic, volcanic and metamorphic rocks is discussed from the geothermal perspective.

Key words: collision orogen, heat flow, compound and superimposed

作者简介

徐青，男，生于1959年9月，1982年毕业于合肥工业大学地质系，1987年在成都地质学院获构造地质学硕士学位，1990年8月于中国科学院地质研究所获博士学位，现系中南工业大学博士后工作人员。从事地热学，构造地质学研究。通讯处：湖南长沙中南工业大学地质系，邮政编码：410083。