

# 南北地震带北段硅热流值\*

王非 梁恕信 师水月 张必敖

(国家地震局兰州地震研究所)

## 摘 要

本文根据 C. A. Swanberg 和 P. Morgan 提出的利用地下水中二氧化硅达到平衡状态时的温度与实测的大地热流值之间的经验公式, 计算了南北地震带北段的硅热流值, 并作出了硅热流值等值线图。研究结果显示了该地区的硅热流值整体上属于中等正常值, 其高值区属于弱正异常。本文还讨论了硅热流值与地质构造的关系。

**关键词:** 南北地震带; 硅热流值; 二氧化硅地温计

## 一、原理与计算方法

温度和大地热流是表征地球热状态的重要参数。在地表数公里内, 利用深井或钻孔可以直接测量温度; 采取岩样测试热导率进而可以计算出大地热流值。但是由于测试条件和经费的限制, 直接测量温度和热流比较困难, 况且地球深部的温度亦无法直接测量, 因而许多学者提出温度的间接估算法, 其中 Truesdell (1976) 根据石英在水中的溶解度对温度的依赖关系提出二氧化硅地温计的传导方程<sup>(1)</sup>:

$$T_{\text{SiO}_2} = \frac{1315}{5.205 - \log[\text{SiO}_2]} - 273.15 \quad (1)$$

式中  $T_{\text{SiO}_2}$  为硅地温( $^{\circ}\text{C}$ ), 溶解的  $\text{SiO}_2$  以  $\text{mg/l}$  表示。使用公式(1)估算地下温度, 要求地下水在由深部向地表取样点运动时, 既没有硅的沉淀作用, 也没有混入硅含量不同的其它类型的地下水。迅速上升到地表形成热泉的热具备这些条件。另外, 沉积岩内的水也基本上能满足上述条件。C. A. Swanberg 和 P. Morgan (1980) 将公式(1)用于美国和埃及十万余个地下水中硅含量数据的分析, 并建立了硅地温与实测的大地热流值之间的线性关系式<sup>(2)</sup>:

$$T_{\text{SiO}_2} = m q_s + b \quad (2)$$

式中  $q_s$  为硅热流值(利用地下水二氧化硅含量估算的热流值), 单位为  $\text{mW/m}^2$ ;  $m$  和  $b$  为常数。 $m$  代表与地下水循环的最小平均深度和岩石热导率相关的数值, 单位为  $^{\circ}\text{Cm}^2/\text{mW}$ ;  $b$  代表当地多年平均地表温度, 单位为  $^{\circ}\text{C}$ 。

1981年他们根据公式(1)和(2)做出美国硅热流值图, 其形态与传统的用实测资料编

制的大地热流等值线图基本相似,近代构造活动区与主要地热区均落在最高等值线所圈定的范围内。国内张知非<sup>[3]</sup>、万天丰<sup>[4]</sup>等学者应用此方法分别研究了川西和福建硅热流值的分布,也发现硅热流值的分布与区域断裂、构造活动区和地热异常区分布吻合较好。大量的实例表明,硅热流值在研究区域热状态和地热资源评价上有重要意义。但硅热流值的估算方法存在明显的不足。由于不同晶形二氧化硅,诸如石英、玉髓、方英石和非晶质二氧化硅的溶解度不同,这就降低了二氧化硅地温计的精度。水中PH值的高低,取样前后二氧化硅的聚合或沉淀,地表水和大气水的混合等都会造成二氧化硅地温计的误差。另外,利用二氧化硅溶解含量所计算出的温度通常偏低,其原因部分与硅酸( $H_2SiO_3$ )的分析测定方法有关。综合分析诸多因素对硅热流值估算的影响,该方法的精确度约为 $7.5 \pm 0.07 mW/m^2$ ,与实测大地热流的精度基本相同。

考虑到硅地温的确定有较大的误差,因此必须获取大量的数据才能得到较高精度的硅热流值。Swanborg 和 Morgan 规定在 $1^\circ \times 1^\circ$ 经纬网格内,要有100个以上的水样,且二氧化硅地温计温度的标准偏差应小于 $25^\circ C$ 。后来他们认为,只要有若干个可以提供二氧化硅地温计温度极限值的地下水样,并且它们的标准偏差不大于 $25^\circ C$ 时即可保证硅热流值的精度,如果其标准偏差超过 $25^\circ C$ ,则应补采水样,否则硅热流值的可信度降低。

## 二、南北地震带北段硅热流值分布

我们运用硅热流值估算法来研究南北地震带北段(东经 $102^\circ-108^\circ$ ,北纬 $33^\circ-42^\circ$ )热状态。所采用的地下水样的二氧化硅含量分析数据分别取自甘肃省水文一队、宁夏水文一队、二队、84994部队、兰州水文总站和兰州铁路局等单位的原始档案资料,共收集1990年底以前的数据3000多个,经整理后实际应用2254个。这些数据覆盖面积大,而且分布均匀(图1),数值分布也较合理(图2)。

数据的测定全部使用钼锑比色法,由于测试人员及时间的不同,精度有所差异,但基本可信。在整理数据时,我们将二氧化硅含量为7毫克/升以下的数据删去,防止了由于地表水和大气水的混合使二氧化硅浓度降低而对硅地温的影响,也剔除了碱性地下水中二氧化硅含量异常高的数值。整理后的数据能合理地反映地下深处温度的状况。

本文中b值是根据每个网格内各县气象台站记录的多年平均地表温度值进行平均而获得,从而减少了年平均地表温度值的地区性差异。在分析南北地震带北段不同构造单元地下水循环的最小平均深度、岩石的平均热导率以及实测大地热流值与硅地温计的相关关系的基础上,按不同构造单元分别取m值为0.53和 $0.65^\circ C m^2/mW$ 。

应用上述公式与数据,计算了南北地震带北段40个 $1^\circ \times 1^\circ$ 经纬度网格的二氧化硅地温计、标准偏差和硅热流值,其中编号为36、37网格的数据是取自张知非<sup>[3]</sup>的分析结果。所有参数都列于表1中。

由表1可见,硅地温值在 $30.9^\circ C-51.5^\circ C$ 之间,硅热流值在 $44.5-74.2 mW/m^2$ 范围内变化。在这40个网格的计算值中,二氧化硅地温计的标准偏差在 $15.6^\circ C$ 以内,远低于 $25^\circ C$ 的界限,因而硅地温与硅热流值的精度是可信的。其中有6个网格的取样数据少于

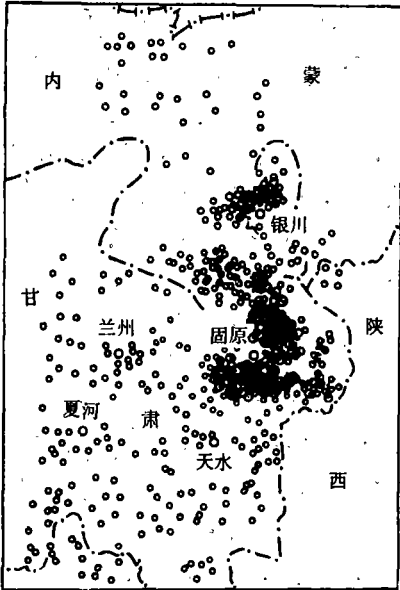


图1 南北地震带硅数据点位置示意图

Fig. 1 Distribution of silica sampling

硅热流等值线的展布方向与深大断裂带的走向基本吻合。民和一兰州一通渭一天水一清水一线,沿西秦岭北缘大断裂带,呈现一条北西西走向的硅热流为 $61-74\text{mW/m}^2$ 的高值带,在此高值带的南北两侧,硅热流值逐渐递减到 $45\text{mW/m}^2$ 左右。石嘴山一银川一固原一平凉一清水一线,沿鄂尔多斯西缘断裂带的西侧有一条南北走向的硅热流值为 $63-68\text{mW/m}^2$ 的高值带,在这条等值线的东西两侧,硅热流值均有所下降。从整体上看,南北地震带北段硅热流等值线呈现出南密北疏、东密西缓的特点,反映了该地区东南部构造复杂,西北部构造相对简单的特征。

目前在进行实测大地热流值时,一般将 $50-70\text{mW/m}^2$ 的热流值定为中等值, $50\text{mW/m}^2$ 以下的值定为低值,大于 $70\text{mW/m}^2$ 的值定为高值。按上述标准,则南北地震带北段绝大多数网格内的硅热流值为中等值,民和盆地的硅热流值高于 $70\text{mW/m}^2$ ,天水、清水网格的硅热流值接近 $70\text{mW/m}^2$ ,这与上述地区位于西秦岭北缘断裂带、沿断裂带温泉出露较多的情况相符合。沿该断裂带由西向东依次有永登药水沟、龙王沟、定西西巩驿、通渭义岗、汤池、武山洛门、天水马跑泉、天水金龙、清水汤峪等温泉。陈爱玲等认为在和政、漳县、武山、甘谷及天水一带存在一条近东西向的居里面隆起带,隆起带最小埋深为 $14\text{km}$ ,向南北两侧逐渐加深,该带的热异常现象与上地幔热源通过西秦岭北缘深大断裂向上传递有关<sup>(5)</sup>。固原、静宁和平凉地区位于北西向和南北向活动断裂的交汇区,来自断裂带的地下水二氧化硅含量普遍较高,计算出的硅地温在 $50^\circ\text{C}$ 左右,为本文研究区内的最高值。

硅热流值低于 $50\text{mW/m}^2$ 的地区是甘肃岷县、迭部、舟曲一带以及内蒙腾格里沙漠的

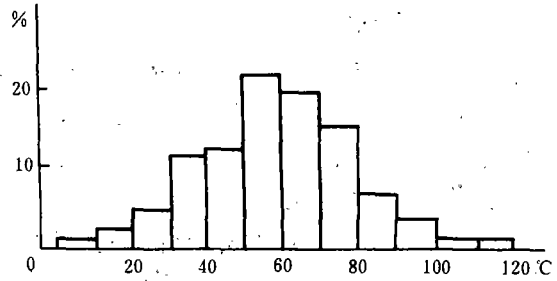


图2 南北地震带北段地下水 $T_{\text{siO}_2}$ 分布频率直方图

Fig. 2 Histogram of  $T_{\text{siO}_2}$  distribution frequency

15个,在表1中用括号标出,这些值仅作为参考。

我们计算出了各网格的平均热流值并做出了硅热流等值线图(图3),将硅热流等值线图与南北地震带北段构造图(图4)相比较可以看出,

表1 南北地震带北段硅热流值

编号	1°×1°经纬度网格 (以西南角标为准)	样品数 n*	1°×1°内平 均地温℃	$\bar{T}_{\text{sh}_2}$ ℃	标准偏差 ℃	硅热流值 $q_s$ 毫瓦米 <sup>-2</sup>
1	41—103	22	8.5	43.8	13.0	57.5
2	41—104	24	8.5	42.7	10.7	52.6
3	41—105	(5)	8.5	47.1	7.2	59.4
4	40—103	(13)	8.5	37.9	8.4	45.2
5	40—104	19	8.5	38.2	9.2	45.7
6	40—105	32	8.5	41.7	11.6	51.1
7	40—106	15	8.8	44.3	6.2	54.6
8	39—104	15	8.5	38.5	9.3	46.1
9	39—105	19	9.0	45.1	9.1	55.5
10	39—106	50	10.0	44.0	8.6	64.2
11	38—105	57	9.8	43.2	7.9	53.0
12	38—106	195	10.4	44.6	8.0	64.5
13	37—102	(7)	9.6	43.0	5.2	63.0
14	37—103	(6)	10.0	43.1	8.9	62.5
15	37—104	29	9.7	40.4	6.5	57.9
16	37—105	104	9.7	43.1	9.0	63.0
17	37—106	102	10.5	44.0	8.7	63.2
18	37—107	38	9.9	44.4	9.4	53.1
19	36—102	(14)	9.8	49.1	13.7	74.2
20	36—103	80	10.0	45.2	8.6	66.4
21	36—104	69	9.7	42.6	12.9	62.1
22	36—105	112	8.3	46.3	10.6	58.5
23	36—106	147	8.5	49.6	11.6	63.2
24	36—107	40	9.9	47.3	10.4	57.5
25	35—102	21	4.6	32.2	5.6	52.1
26	35—103	53	8.0	37.9	7.3	56.4
27	35—104	42	8.4	40.5	7.9	60.6
28	35—105	171	8.6	49.8	14.8	63.4
29	35—106	214	9.3	51.5	12.5	64.9
30	35—107	94	10.6	50.1	7.9	60.7
31	34—102	20	4.5	36.5	12.1	60.4
32	34—103	20	6.0	30.9	8.6	47.0

续表1 南北地震带北段硅热流值

编号	1°×1°经纬度网格 (以西南角标为准)	样品数 n°	1°×1°内平 均地温℃	$\bar{T}_{SiO_2}$ ℃	标准偏差 ℃	硅热流值 $q_s$ 毫瓦米 <sup>-2</sup>
33	34—104	58	9.3	41.4	10.8	60.6
34	34—105	127	11.0	47.0	15.6	67.9
35	34—106	135	10.0	46.3	9.2	68.5
36	33—102	21		43.3	12.8	55.7
37	33—103	(13)		38.5	10.9	48.5
38	33—104	17	11.5	35.1	6.0	44.5
39	33—105	32	12.5	46.3	11.5	63.8
40	33—106	36	14.0	47.4	11.2	63.0

\* 括号内的数值仅作参考

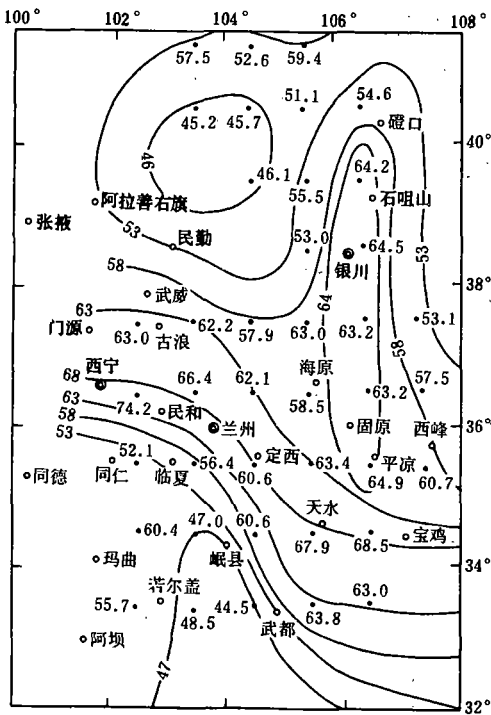


图3 南北地震带北段硅热流等值线图  
Fig. 3 Isogram of silica heat flow

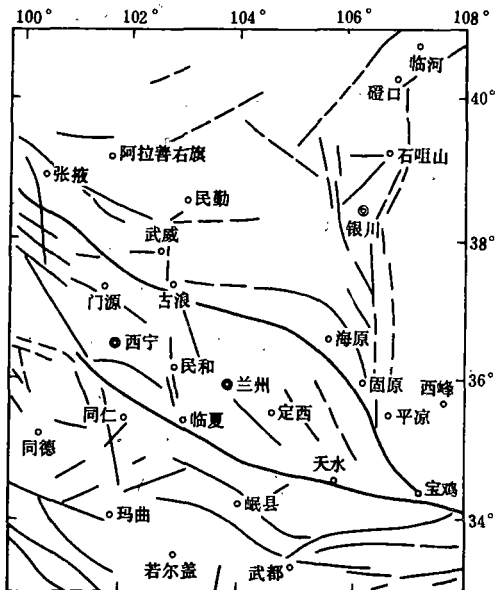


图4 南北地震带北段构造图  
Fig. 4 Tectonics in the northern segment of North-South Seismic Belt

西缘。对于后者,由于其位于稳定的阿拉善地台上,构造简单,硅热流值偏低是合理的。

纵观南北地震带北段的硅热流值,在整体上属于中等正常值,在高位区硅热流值的变化只能属于弱正异常,比世界上其它许多热异常值要低得多。

### 三、结束语

实践证明,利用地下水二氧化硅地温计来估算热流值是可行的。尤其在目前由于经费和测量条件不足,传统的实测大地热流的工作难以全面开展的情况下,硅热流估算法更有其实际意义。但是这种方法还存在一些问题,如不能详细、精确地研究某一地点的热状态,只能对大区域内的热流值进行估算,因此它不能代替大地热流值的实测工作,但可以为大地热流值的实测工作提供一个大致轮廓,及提供合理的布局方案和趋势分析。总之,硅热流法是值得进一步研究和探讨的。

### 参考文献

- (1) Truesdell, A. H., Summary of section III, Geochemical techniques in exploration, Proc. 2nd U. N. Symp., On the Development and use of Geothermal Resources, Vol. I, 53—79, Washington, 1976.
- (2) Swanberg, C. A., and Morgan, P., The silica heat flow interpretation technique; Assumptions and applications, Jour. Geophys. Research, Vol. 85, No. B12, 7206—7214.
- (3) 张知非, 川西硅热流, 大自然探索, No. 6, 130—135, 1987.
- (4) 童永福、万天丰等, 福建硅热流值, 福建地质, No. 3, 1987.
- (5) 陈爱玲等, 南北地震带北段(武都—青钢峡)深部构造和地震活动, 近期强震危险性判定与研究, 地震出版社, 1989.

## SILICA HEAT FLOW IN THE NORTHERN SEGMENT OF NORTH-SOUTH SEISMIC BELT

Wang Fei, Liang Shuxin, Shi Shuiyue, Zhang Bi'ao

(*Earthquake Research Institute of Lanzhou, SSB, China*)

### Abstract

Based on C. A. Swanberg and P. Morgan's empirical formula between temperature of silica equilibrium state in groundwater and practical earth heat flow data, this paper calculates the silica heat flow values in the northern segment of North-South Seismic Belt, and gives the outline of silica heat flow isogram of this region. The result shows that the silica heat flow as whole is middle normal value, and the high silica heat flow region is feeble anomaly. In addition, the relation between silica heat flow and tectonics is also discussed.

**Key Words:** North South Seismic Zone; Silica Heat Flow; Silica Earth Thermometer