

南北地震带北段地温场的初步探讨

张必敖 董治平 韩友珍

(国家地震局兰州地震研究所)

摘 要

本文利用39个地温梯度值及估算的热流值讨论了本区地温场的分布特征。并求取了居里等温面。结果表明: (1) 全区平均地温梯度为 $3.2^{\circ}\text{C}/100\text{m}$, 平均热流值为 1.5HFU ; (2) 居里面的深度为14—34公里, 强震主要发生在居里等温线的梯度带上。最后就地温场与地震的关系做了初步分析。

一、引言

南北地震带地震频度高、强度大, 有史以来仅在北段就发生6级以上地震30多次, 其中7—7.5级地震9次, 8—8.5级地震4次^[1]。一些地震工作者先后从地震地质、震源物理、深部构造及地球物理诸方面对南北地震带进行了深入研究。

众所周知, 地球内部是热的, 而正是这种热活动推动了地球的演化和发展。地球内部热量的产生和传递是造成地球上各种构造活动和地震活动的重要原因^[2]。我们利用钻孔测量数据、地温梯度及估算的热流值, 利用根据上地幔高导层估算的热流值, 结合温泉点的分布, 拟对南北地震带北段的地温场做一初步探讨。研究区范围大致为北纬 33° — 40° , 东经 103° — 108° 。

二、资料的整理与分析

1. 垂直地温梯度

文中使用了在这一地区实测的20个和从外单位收集的40多个测温数据。测孔深度大约为100—4000米。根据孔内介质、静井时间及井温曲线进行了分类, 筛选出50多个稳态测温数据, 对矿区及个别近距离的井孔, 取地温梯度的平均值, 计算出39个地温梯度值, 结果见表1。最后求得全区平均地温梯度 $\frac{dT}{dz} = 3.2^{\circ}\text{C}/100\text{m}$, 与全球平均地温梯度 $(3^{\circ}\text{C}/100\text{m})$ 相近。

*参加地温测量及收集资料工作的还有孙彤影同志。

表1

南北地震带北段的热流值

编号	地点	地质构造单元	孔深 (m)	静井 时间	热流估算段				热流值 q(μcal/ cm ² ·s)
					范围(m)	主要岩性	地温梯度 (℃/100m)	热导率K (mcal/cm ·s·℃)	
1	天水地震台	天水盆地	390	7天	30-390	沙质泥岩、灰岩	4.16	5.0	2.08
2	礼县石桥	西礼盆地	268	4月	50-190	含砾泥岩、砂岩	3.21	4.5	1.44
8	西和邓家山	西秦岭褶皱带	387	7天	150-387	石灰岩	1.90	6.0	1.14
4	成县厂坝	西秦岭褶皱带	240	半年	30-240	结晶灰岩	3.24	6.0	1.94
	成县厂坝	西秦岭褶皱带	220	半年	40-220	灰岩石英片	2.3	5.5	1.27
	成县厂坝	西秦岭褶皱带	330	半年	40-220	石灰岩	2.6	6.6	1.56
*							2.71		1.95
5	定西地震台	新生代盆地	401	2年半	160-250	粘土岩、粉砂岩	4.0	4.0	1.6
					300-400	砂砾岩、砾岩	4.2	5.0	2.1
*							4.15		1.85
6	兰州兰石厂	兰州盆地	995	1年	10-500	粘土岩、砂岩	4.18	4.5	1.88
7	窑街煤田	新生代盆地	563	7天	60-395	细砂岩、砾砂	3.4	6.0	2.04
	窑街煤田	新生代盆地	806	4天	60-770	细砂岩、含砾砂岩	2.37	6.0	1.42
	窑街煤田	新生代盆地	918		300-900	砂岩	3.3	6.0	1.98
*							3.02		1.81
8	民勤红柳园	阿拉善地块	304	1年	100-300	Q	2.0	3.5	0.7
9	石咀山钢厂	银川地堑	100	1年	60-100	Q	5.75	3.5	2.01
10	平罗县地办	银川地堑	120	1年	25-115	Q	18.8	3.5	6.6
11	贺兰常信	银川地堑	3543	1年	100-350	Q, N	1.64	4.0	0.66
12	海源盐池	西(吉)、海(原)	306	1年	100-165	Q	3.08	3.5	1.23
13	固原七营	固(原)弧形	269	1年	115-220	N, Q	2.57	4.0	1.03
14	西吉沙岗子	构造区	312	1年	130-150	Q花岗岩长岩	4.5	5.5	2.48
	西吉沙岗子	构造区	391	1年	100-160	粉、细砂岩	2.0	5.5	1.1
*							3.25		1.79
15	西吉蒙室	西海固弧	293	1年	90-125	砂质泥岩	4.86	4.0	1.94
16	西吉王民井	形构造区	320	1年	90-315	泥岩、砂岩	3.46	4.5	1.56
17	崇信赤城	鄂尔多斯地块	990	半天	100-990	砂质泥岩、砂岩	2.03	5.0	1.02
18	靖远新岭	新生代盆地	1475		50-1470	页岩、砂岩	2.32	5.5	1.28
19	靖远王家山	新生代盆地	934		50-930	页岩、砂岩	2.97	5.5	1.63
	靖远王家山	新生代盆地	990	4天	40-700	页岩、砂岩	2.42	5.5	1.33
*							2.7		1.48
20	鄂托克旗	鄂尔多斯地块	1870	4月	200-1700	砂岩	1.4	6.0	0.84
21	灵武磁窑堡	鄂尔多斯地块	1985	4月	80-1740	细砂岩、含砾砂岩	2.84	6.0	1.70
22	盐池高沙窝	鄂尔多斯地块	3055		40-2990	砂岩	1.63	6.0	0.98
23	盐池天池	鄂尔多斯地块	4348		140-4335	砂岩	1.8	6.0	1.08
24	盐池李庄子	鄂尔多斯地块	1856		250-1820	砂岩、泥岩	3.01	5.0	1.51
	盐池李庄子	鄂尔多斯地块	1424		40-1420	砂岩、泥岩	3.38	5.0	1.69
	盐池李庄子	鄂尔多斯地块	1233	2月	130-1230	泥岩、砂岩	3.0	4.5	1.35
	盐池李庄子	鄂尔多斯地块	1120		780-990	泥岩、砂岩	4.0	4.5	1.80
	盐池李庄子	鄂尔多斯地块	1876	12天	260-1020	砂岩、砂质泥岩	2.45	5.0	1.23
*							3.17		1.58

续表

编号	地点	地质构造单元	孔深 (m)	静井时间	热流估算段			热流值 $q(\mu\text{cal}/\text{cm}^2\cdot\text{s})$
					范围(m)	主要岩性	地温梯度 ($^{\circ}\text{C}/1.00\text{m}$)	热导率K ($\text{mcal}/\text{cm}\cdot\text{s}\cdot^{\circ}\text{C}$)
25	盐池马儿庄	鄂尔多斯地块	1770		310-1760	砂岩、砂质泥岩	3.3	5.0
26	盐池王家场	鄂尔多斯地块	2040		40-2040	砂岩、砂质泥岩	2.84	5.0
	盐池王家场	鄂尔多斯地块	1900		300-1510	砂岩、砂质泥岩	2.82	5.0
*							2.83	6.0
27	定边东红庄	鄂尔多斯地块	1770		1000-1600	砂岩	1.43	6.0
								1.415
								0.86
								(1.17)
28	定边冯地坑	鄂尔多斯地块	1930		200-1900	砂岩	1.73	6.0
29	环县洪德	鄂尔多斯地块	3780		800-3780	K, J	1.69	4.5
30	环县曲子	曲子隆起	1210		800-1210	K, J	2.46	4.5
								4.5
	环县曲子	曲子隆起	1639		141-1630	K, J	3.77	4.5
								1.70
*								1.41
31	华池柔远	鼻状隆起	1396		1260-1410	泥岩、砂岩	3.33	4.5
	华池张川	鼻状隆起	1494		1340-1457	泥岩、砂岩	3.42	4.5
	华池柳湾	鼻状隆起	1498		1350-1470	泥岩—砂岩	4.85	4.5
*								4.5
								3.87
32	华池悦乐	鄂尔多斯地块	4640		350-4100	细砂岩、泥岩	2.29	6.5
*								1.49
								(1.69)
								1.59
33	华池城壕	鄂尔多斯地块	1111		1050-1080	细砂岩、灰岩	3.94	5.0
34	庆阳马岭	鄂尔多斯地块	1724	7天	1582-1724	泥岩、砂岩、灰岩	3.24	5.5
								1.78
								(1.90)
	庆阳马岭	鄂尔多斯地块	1450		1200-1290	砂岩	2.0	6.0
*								1.20
								(1.50)
								1.60
35	庆阳北关	鼻状隆起	1820	7天	1010-1818	细砂岩、泥岩	2.19	5.0
	庆阳电厂	鼻状隆起	1827		1515-1700	砂岩、泥岩	3.35	5.5
*								1.84
								2.77
								1.47
36	合水固城	鄂尔多斯地块	1932		1510-1636	J	3.25	4.5
37	灵台县龙门	鄂尔多斯地块	3561		200-3500	白云岩、砂岩、泥岩	2.01	6.0
38	六盘山肖家湾	鄂尔多斯地块	3202		800-3100	K	2.11	4.5
*								0.95
								(0.89)
								0.92
39	古浪裴家营	武威盆地	100		50-100	Q, N	2.4	4.0
*	全区平均值						3.24	
								1.52

注: 1. * 表示取均值

2. 加括号的热流值为收集

2. 热流值

因为没有在本区取得实测的岩石热导率值, 所以热流值只能用类比的岩石热导率估算。本文采用的各类岩石热导率K (毫卡/厘米·秒度) 均选自文献[3]—[7]和1)。各类岩石热导率的取值范围为片岩: 2—4, 泥岩(粘土岩): 3—4, 页岩: 3—6, 石灰岩: 5—7, 砂岩、砾岩: 4—10, 花岗闪长岩: 6.5—7.5, 第四系和新第三系(Q, N): 3.5—

4, 侏罗系和白垩系(J、K): 4.5。

根据地温梯度值和岩石热导率值用一维热传导方程 $q = -K \frac{dT}{dz}$ 算出大地热流值(表1), 求得全区平均热流值为1.52HFU。这一结果与大陆平均热流值($q_{陆} = 1.46 \pm 0.46$)^[5]也很接近。此外, 根据匈牙利学者A·Adma(1978)提出的地壳、上地幔高导层埋深与大地热流值之间的经验公式 $H = h \cdot q^{0.8}$ ^[8], 计算了27个热流值(平均值为1.44HFU)作为参考资料。各个计算点及其热流值均标在图1上。从上述计算结果来看, 热流值基本一致, 这说明估算热流值具有一定的可信度。

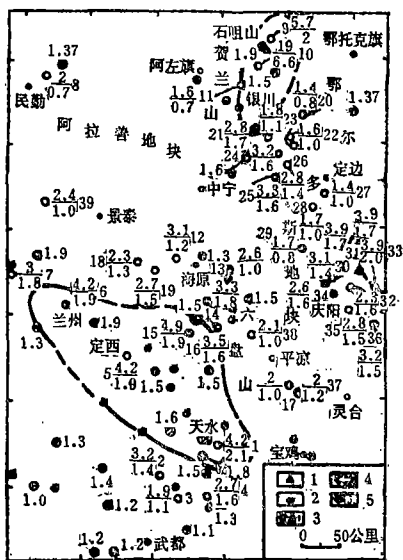


图1 南北地震带北段的地温分布

1.热异常点 2.温泉 3.地温梯度/热流值 4.推测热异常区 5.根据上地幔高导层埋深估算的热流值。

Fig.1 The geothermal distribution in the northern part of north-south seismic belt

三、地温场与地质构造的关系

本文把地温梯度在 $4^{\circ}\text{C}/100\text{m}$ 以上, 热流值在1.5HFU以上作为判断热异常区的两项指标, 据此在图1上大致划出两个热异常区, 即银川地堑和天水—兰州区。

1.银川地堑热异常区大致呈北北东向展布, 三个测点的平均地温梯度约为 8°C , 平均热流值3.1HFU, 高出正常值一倍, 其值之高可与现代大陆裂谷相比拟。其中平罗点地温梯度异常高, 很可能与地堑内隐伏的深大断裂^[9]活动引起的局部热对流有关, 地表热异常点的存在可以与此相互印证。另据物探资料推测, 有南北向超壳断裂延伸到银川地堑²⁾。电磁测深的结果表明, 银川地堑上地幔第一高导层埋深仅60公里(图2), 其东西两侧则深达100公里以上, 说明该区地幔强烈上隆³⁾。因此地幔上隆与深断裂活动是导致银川地堑高热异常存在的主要原因。

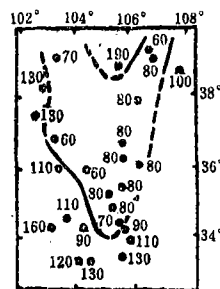


图2 南北地震带北段上地幔隆起图

图中数字为深度(单位: 公里)

Fig.2 The uplifts of the upper mantle in the northern part of north-south seismic belt

2. 兰州—天水热异常区大致呈北西西向展布, 4个测点的地温梯度值(平均在 4.3°C 以上)与热流值($\geq 1.9\text{HFU}$)几乎相等, 排列有序且高于周围地区。有8个温泉水出露在该异常区, 7个温泉分布于周围。5个根据高导层换算的热流值均大于或等于 $1.5 (1.5\sim 1.9)\text{HFU}$ 。由物探资料反演结果²⁾可知, 区内有秦岭北缘 NWW 向超壳断裂及与之平行的深大断裂发育。该区上地幔第一高导层埋深约 60—80 公里(图 2)³⁾, 与相邻地区相比也属于上地幔隆起区。所以, 该热异常区的存在也是由上地幔隆起及深大断裂的活动引起的。

除上述两个热异常区外, 位于鄂尔多斯地块内的华池附近有两个测点, 其平均地温梯度约等于 4°C (3.91°C), 平均热流值在 1.85HFU 以上。这两个点恰好处于鼻状构造隆起部位, 其热异常很可能与构造隆起有关。

就总体地温场的分布情况看, 由北而南, 从银川地堑东缘到六盘山以东的鄂尔多斯地块, 地温逐渐降低, 平均地温梯度及热流值分别小于 2.5°C 和 1.35HFU 。贺兰山以西的阿拉善地块的数据虽少, 但参考高导层热流值及周边地区的测温值估计, 地温有降低之趋势。按一般规律, 稳定地块的地温梯度及热流值不会超过正常值 (3°C , 1.46HFU)。天水西南隶属西秦岭褶皱带, 为大片基岩隆起山地, 由礼县、西和及成县三个测点和高导层热流值推测应属低地温场, 个别温泉的出露可能与活断裂有关。

四、居里温度面与地震活动性的关系

为了进一步了解深部地温场的状况, 我们用表 1 中列出的地温梯度值计算了本区的居里等温面, 计算结果见图 3。由图 3 可以看出, 尽管计算点分布不均, 等温线多属推测性质, 但是居里面的基本轮廓是很清楚的, 等温面隆起与图 1 中的热异常区相对应, 隆起最大值在银川地堑, 深度在 10 公里以上, 天水—兰州地区约 12—13 公里, 华池一带大于 14 公里。阿拉善地块和鄂尔多斯地块等温面埋深约 35 公里, 最深可达 40 公里。在水西南基岩隆起区居里面

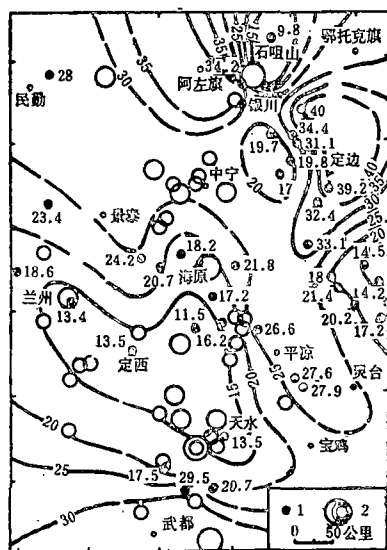


图 3 南北地震带北段居里面和强震分布图

1. 居里等温线(公里) 2. 6—8.5级地震

Fig. 3 The distribution of strong earthquakes and Curie isothermal surface in the northern part of north-south seismic belt

2) 廖元模等, 南北地震带北段深部构造特征与地震, 1985,

3) 林长佑, 南北地震带北段 5—10 年地震危险区的判定, 1984。

逐渐埋深。本文得出的居里面的分布特征与陈爱玲⁴⁾利用航磁资料反演的兰州—天水地区的居里等温面的分布特征相吻合。此外, 居里面的起伏与图2给出的上地幔起伏相对应, 因此可以说图3反映出了本区的深部地温场基本特征。

由图3可以看出, 大部分地震都发在居里等温线梯度带上, 显然这些地震的发生主要受本区现代构造应力场的控制。但是震中分布于高低温异常过渡带上, 不可能与由此而起引起的温度差无关。经粗略估算在20公里深度(相当于本区平均震源深度)上, 水平温度梯度约为 $3.0-33.5^{\circ}\text{C}/\text{km}$, 由此而产生的热应力很可能是壳内地震发生的一个重要原因。参照文献[10]、[11]的做法, 取居里温度为 560°C , 上述高温区和低温区的居里面深度分别取14公里和34公里, 则得到相应的平均地温梯度为 $4^{\circ}\text{C}/\text{公里}$ 和 $16.5^{\circ}\text{C}/\text{公里}$ 。用这两个值计算, 在地下10—20公里深处, 上述高低温区之间的水平温差分别为 235°C 和 470°C 。这说明本区在地壳超过10公里以下的深度上, 居里等温线梯度带两侧地块有一个约 $200^{\circ}\text{C}-400^{\circ}\text{C}$ 的温度差, 该结果比京津唐地区计算结果^[11]高一个数量级。由这个温度差估算的最大热应力 σ_T 大于 10^9 达因/厘米²。若将这个力叠加到区域构造应力场上, 在温度较低, 刚性较大的岩石中容易引起应力集中而形成强震。本区众多强震的发生说明了地热异常区(带)沿着地震震中高度集中、构造活动强烈并具有高热流的地壳相对狭窄的地带展布^[12]。

五、结 论

1. 南北地震带北段存在高地温梯度和高热流值, 热异常区具明显的分区性, 而鄂尔多斯地块和阿拉善地块则具有相对的低地温梯度和低热流值。

2. 地热异常与活动断裂、深部构造关系密切。天水—兰州和银川地堑热异常区除受深大断裂活动的影响外, 还与地幔的隆升有密切关系, 深大断裂的活动沟通了深部热对流, 因而在银川地堑出现异常高的地温梯度和热流值。

3. 地震的发生与热异常的分区展布而产生的水平温差有关, 用构造应力场与热应力场的叠加来解释本区强烈的地震活动似乎更为合理。

在收集资料过程中, 长庆油田指挥部给予了大力协助, 在此表示感谢。

(本文1986年10月2日收到)

参 考 文 献

- [1] 兰州地震研究所, 陕甘宁青四省(区)强地震目录, 陕西科学技术出版社, 1985.
- [2] 李荫亭等, 地幔对流与板块构造动力学, 全国地热学术会议论文集, 科学出版社, 1981.
- [3] O、卡普迈耶等, 地热学及其应用, 北京大学地质系译, 科学出版社, 1981.
- [4] 北京大学等, 地震地质学, 地震出版社, 1982.
- [5] 中国科学院地质研究所, 地热研究论文集, 科学出版社, 1978.
- [6] 张汝惠等, 唐山及其邻区热流值的分布, 地震地质, Vol. 4, No. 4, 1982.
- [7] 熊亮萍等, 区域构造形态对地温场影响的有限单元计算, 地球物理学报, Vol. 26, 增刊, 1983.
- [8] Adam, A., Geothermal effects in the formation of electrically conducting zones and temperature distribution in the earth, Phys. Earth Planet., Vol. 17, P21-28, 1978.
- [9] 李孟奎等, 1739年平罗8.0级地震的震源构造及其孕育特征, 地震地质 Vol. 6, No. 3, 1984.
- [10] 郝书俭, 谈谈地壳中的居里面, 地震成线, No. 5, 1980.
- [11] 郝书俭, 京津唐地区居里等温面及其与地震的关系, 地球物理学报, Vol. 25, No. 8, 1982.
- [12] 王维勇等, 地热基础理论研究, 地质出版社, 1982.

4) 陈爱玲等, 武都—青铜峡地带深部构造与地震活动, 1984.

PRELIMINARY RESEARCH ON THE GEOTHERMAL FIELD IN THE NORTHERN PART OF NORTH-SOUTH SEISMIC BELT

Zhang Biao Dong Zhiping Han Youzhen
(*Lanzhou Seismological Institute, State Seismological Bureau*)

Abstract

This Paper deals with the features of geothermal field in the investigated area. By means of the data of 38 geothermal gradient and their calculated heat flow values, Curie isothermal surface has been calculated. The results are:

1. The mean geothermal gradient in this investigated area is $3.2^{\circ}\text{C}/100\text{m}$; and the mean heat flow value is 1.52 HFU .

2. The depth of Curie isothermal surface in the different regions changes from 14 km to 34 km below sea level. In the belt of Curie isothermal gradient occurred strong earthquakes principally. Finally the preliminary study was done on the relationship between geothermal field and the occurrence of earthquakes.