

# 大同一阳高地地震地热异常与机理初探

杨修信 陈沅俊  
易志刚 吕悦军 赵京梅

(国家地震局地壳应力研究所)

## 摘 要

1989年10月大同一阳高地地震前后,距震中约75km的三马坊地热测点的高精度地温观测仪器(分辨率 $0.0001^{\circ}\text{C}$ ),记录到持续50多天、温度上升幅度达 $0.15^{\circ}\text{C}$ 的明显的地热异常。本文研究了该异常变化的特点。在总体上,异常为幂函数型升温形态。在地震发生前几天,地热异常呈现“相对下降—下降速率变缓—急剧回升—短时平稳—地震发生”的过程。本文还对地热异常的机理进行了初步探讨。

近些年来,国内外一些学者注意到热在地震孕育和发生过程中的作用,并开展了有意义的研究工作<sup>[1,2]</sup>。自我国高精度地热动态观测系统研制成功并投入野外试验观测以来,在地热前兆研究方面取得了一些新的进展<sup>[3]</sup>。自1989年10月18日开始,山西省大同一阳高发生了最大震级为 $M_s 6.1$ 的强震群。震中区以东约75km的河北省阳原县三马坊地热动态观测点,在震前观测到了明显的地热前兆异常。本文分析了该地热前兆异常特征,并对其机理进行了初步探讨。

## 一、测点和观测仪器概况

三马坊地热观测点处在北东向桑干河断裂和北北西向化稍营断裂的交汇部位(图1)。观测井为200米深的自流井,井孔封闭良好。测温探头位于水下10多米深处。在正常情况下,其流量、温度保持基本稳定(图2a)。

地热观测使用付子忠等研制的SZW型高精度数字式石英温度计。其测温分辨率为 $0.0001^{\circ}\text{C}$ ,稳定性为 $0.01^{\circ}\text{C}/\text{年}^{[4]}$ 。通过滇西地震实验场十多个台站多年的连续观测使用,证明该温度计适用于野外条件下的地热前兆观测,并有较好的地震短临前兆监测能力。

1) 付子忠, 澜沧—耿马7.6级地震地热前兆异常, 1989。





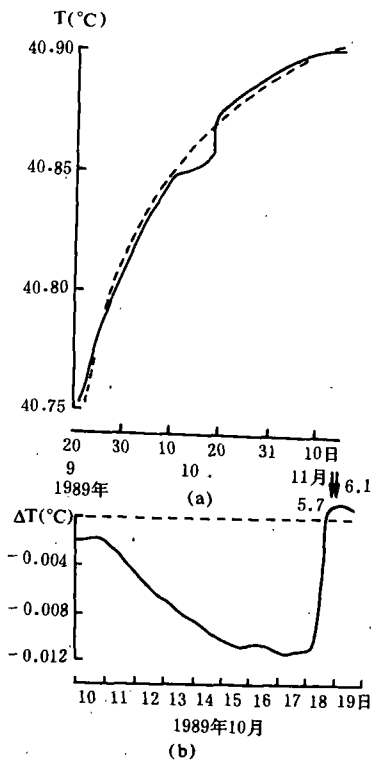


图 3

(a) 用幂函数对三马坊地热异常观测值的拟合结果

(实线为观测值, 虚线为拟合曲线)

(b) 大同—阳高地震前几天温度观测值偏离幂函数拟合基线的温度残差曲线

Fig. 3 (a) The result of fitting the observed values of geothermal anomaly to a power function  
 (b) The temperature residual curve deviating from the fitting datum line of the power function several days before the Datong—Yanggao earthquake

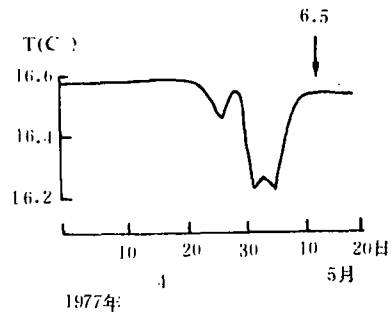


图 4 1977年5月12日唐山6.5级地震前唐山人民公园井(震中距65km)记录到的地温异常变化(据文献〔6〕)

Fig. 4 The geotemperature anomaly recorded at the well of the People's Park in Tangshan before the Tangshan Ms6.5 earthquake, on May 12, 1977

### 四、地热异常机理初探

前已述及,三马坊地热观测点位于桑干河断裂带上。而大同—阳高地震的控震断裂——六棱山山前断裂亦属于桑干河断裂带。可见该测点与此次地震在构造上有密切的联系。

野外观测和实验研究表明,地震前,震中周围与之有关联的断层会出现蠕动。断层蠕动可能是产生地震前兆的原因之一。地形变、地下水的异常变化就可能与断层蠕动有关〔6,7〕。华北北部断层位移测量资料的分析结果表明,在大同—阳高地震前后,该地区存在着明显的断层蠕动现象〔8〕。断层蠕动作为一种剪切摩擦滑动,必然会产生一定的热量。我们拟从地温变化与断层蠕动的关系,探讨三马坊地热异常的机理。

只考虑沿断层走向的蠕动位移。在某些假设条件下,断层带物质温度的上升量  $\Delta T$  与断层蠕动位移  $u$  之间的关系可表示为〔9〕:

$$u \sim \Delta T \rho a c / \tau \quad (2)$$

式中  $\rho$ 、 $c$  分别为岩石的密度和比热,  $a$  为断层半宽度,  $\tau$  为断层面上剪应力。根据有关研究结果〔10〕选取 (2) 式中的参数后,即可由实测温度变化通过 (2) 式求得断层的蠕动位移(图5)。

从计算结果可以看出：

1、由断层蠕动位移与其所产生的温度变化间的线性关系式(2)易见，图5示出的蠕动位移曲线总体亦呈幂函数形态，与实际观测到的许多断层蠕动曲线形态一致<sup>(7)</sup>。这在某种意义上说明，三马坊的地热异常变化与断层蠕动确有一定的关系。由于缺乏桑干河断裂蠕动的连续观测资料，尚无法对反演结果进行对比分析。

2、据三马坊地热动态观测结果，大同一阳高地震前近一个月内，测点温度升高约0.12℃。由(2)式可以求得，产生这样的温度变化量所相应的断层蠕动累积位移量约为1.86cm。断层沿其走向的这一蠕动速度，与实际观测到的一些断层的蠕动速度，以及按均匀应变积累与弹性位错理论反演得到的某些地震前震中区周围断层的平均走滑速度吻合<sup>(7,10)</sup>。这说明，从地温变化与断层蠕动的关系去探讨大同一阳高地震前后三马坊地热异常的机理，二者在量级上是适宜的，因而具有一定的合理性。

断层蠕动是区域应力场增强的一种反应，也是向相关断裂(包括本断裂)端部和闭锁区转移应力和弹性应变能的一种形式，因而它可能促成或加速附近震源的孕育。在孕震后期，震源区应力高度集中，震源应力场作用范围比震源体本身的尺度要大得多。因此，距大同一阳高地震震中75km的三马坊测点，在这一阶段可能受到震源应力场的作用。在临震阶段，应力集中程度最高的闭锁区端部进入塑性变形状态，并出现裂隙的扩展、连通和断层的预滑移。震源体的这一变化过程，会导致其周围地区一定范围内的附加应力状态发生明显的转折变化<sup>(12,13)</sup>：原来被压缩的地区，此时可能变为受拉张或压应力相对减弱；原来的膨胀区，此时可能改为受压缩或压应力相对增强。显然，发震断层在临震阶段的预位移方向与震时的错动方向一致。据大同一阳高地震震源机制解资料<sup>(10)</sup>，10月18日和19日几次5级以上地震的震源机制解基本一致。18日22时57分首次5.7级地震的破裂面走向为28°，压力轴方位252°。这样，震源体在临震前的演化，便造成三马坊测点所在区域相对受到拉张应力的作用(图6)。

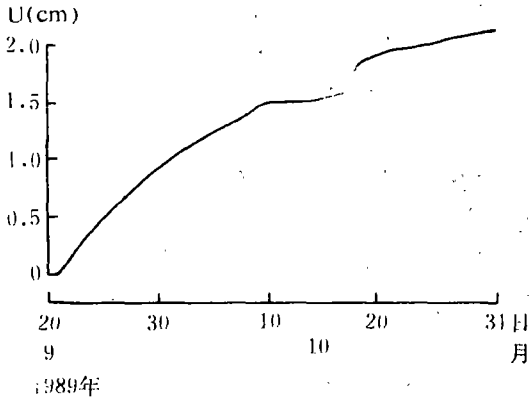


图5 由实测温度资料反演得到的断层蠕动位移曲线

Fig. 5 The displacement curve of the fault creep inverted by the observed temperature data

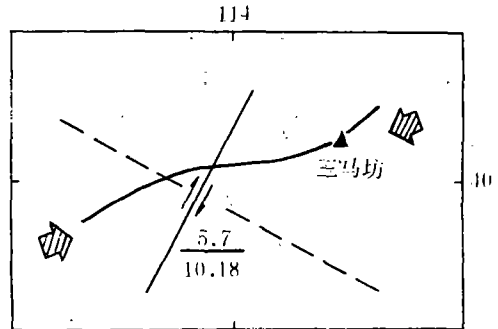


图6 1989年10月大同一阳高地震震源模式和测点位置简图

Fig. 6 Sketch of the seismic source model of Datong-Yanggao earthquake in Oct. 1989 and the location of Sanmafang Observatory

而地下流体温度与地壳应力应变状态的关系显示<sup>(1,15)</sup>，测点周围受压缩时，其温度一般为上升，拉张应力则一般对应温度下降。于是，由大同一阳高地震临震前的震源活动，便导致三马坊地温呈现下降型前兆异常(图3b)。

## 五、结语

1989年10月大同一阳高地地震是在区域应力场增强的背景上发生的。区域应力场的增强,使得某些方向上的断层出现蠕动或蠕动加速,从而使断层物质温度上升。从三马坊地热观测点所处的构造部位,地热异常的幂函数形态和温度异常的幅度来看,这次持续50多天的升温地热异常,可能与桑干河断裂带的蠕动生热有关。它是区域应力场增强的一种效应和征兆,而不一定与某一次地震的孕育、发生有确定的和直接的联系,因而是一种“场兆”。

在大同一阳高地地震临震前的较短时间内,震源应力场对三马坊地温的变化产生了较明显的作用。它所引起的测点温度的变化,呈“下降一回升”形态。这是三马坊测点记录到的、有地震前兆意义的地热异常,是来自震源的前兆信息——“源兆”。它可从临震前震源区的预位移对周围地壳应力应变场—地温场影响的角度得到某种解释。

感谢付子忠副研究员和地热组对本工作的支持。

(本文1991年4月10日收到)

## 参考文献

- [1] K. Mogi, H. Mochizuki and Y. Kurokawa, Temperature changes in an artesian spring at Usami in the Izu Peninsula (Japan) and their relation to earthquakes, *Tectonophysics*, Vol. 159, 1989.
- [2] 王林英、朱传镇,唐山地震和海城地震前地温的异常变化, *地震研究*, Vol. 7, No. 6, 1984.
- [3] 尤传侠,澜沧—耿马地震前后的地温异常变化, *地震研究*, Vol. 13, No. 2, 1990.
- [4] 付子忠、吕国贤, SZW-1型数字式钻孔温度计, *地震*, No. 1, 1984.
- [5] 杨修信、陈沅俊等,三马坊地热动态观测对附近地震活动的反应, *地震*, 待刊.
- [6] 马宗晋、傅征祥等,1966—1976年中国九大地震,地震出版社,1982.
- [7] R. L. Wesson, Dynamics of fault creep, *J. G. R.*, Vol. 93, 1988.
- [8] 高忠宁、蒋成恩等,大同一阳高6.1级地震断层位移测量前兆异常特征, *地震*, No. 4, 1990.
- [9] A. H. Lachenbruch, 摩擦生热、液压和断层运动阻力,金安蜀译, *国外地震*, No. 10, 1981.
- [10] 陈沅俊、杨修信等,震前地温的微变化与断层蠕动, *地震学报*, 待刊.
- [11] 张郅珍,唐山地震前地壳的异常隆起及无震蠕动, *地震学报*, Vol. 3, No. 1, 1981.
- [12] 郭增建、秦保燕,震源物理,地震出版社,1979.
- [13] 杨修信、陈沅俊,深部闭锁断层周围的应力场、应变场, *中国科学·B辑*, No. 8, 1989.
- [14] 张诚、曹新玲等,中国地震震源机制,学术书刊出版社,1990.
- [15] I. Furiya and H. Shimamura, Groundwater microtemperature and strain, *Geophysical Journal*, Vol. 94, 1988.

A STUDY ON THE GEOTHERMAL ANOMALY AND MECHANISM  
OF THE DATONG—YANGGAO EARTHQUAKE

Yang Xiuxin,      Chen Yuanjun

Yi Zhigang,      Lu Yuejun,      Zhao Jingmei

*(Institute of Crustal Dynamics, SSB, Beijing, China)*

**Abstract**

Before and after the Datong—Yanggao earthquake in October 1989, a high precision thermometer (resolution  $0.0001^{\circ}\text{C}$ ) installed at the Sanmafang Observatory, which is about 75 km from the epicenter, recorded a significant geothermal anomaly. The amplitude of the anomaly is  $0.15^{\circ}\text{C}$  and the duration time is over 50 days. This paper discusses the characteristics of the abnormal temperature variation. As a whole, the variation has a shape of increasing temperature with a type of the power function, and is a temperature effect due to the fault creeping caused by the increase of regional stress field. Several days before the earthquake, the geothermal precursory anomaly showed a process that is, "declining—decline rate slowing down—sharply rising—short—term stableness—an earthquake occurring". The mechanism of the geothermal anomaly is also studied preliminarily.