

[文章编号] 1671-9727(2010)02-0155-05

# 汶川大地震“远端效应” ——龙泉驿地热异常成因探讨

程建<sup>a</sup> 王多义<sup>a</sup> 李得力<sup>b</sup> 庞河清<sup>a</sup> 王帅成<sup>a</sup> 李军<sup>c</sup>

(成都理工大学 a. 能源学院, b. 沉积地质研究院, c. 信息工程学院, 成都 610059)

**[摘要]** 应用遥感地质解译、土壤氦气测量、地温测量以及地电测试等技术方法,结合现场勘查和相关地质资料,对成都市龙泉驿点状地热异常现象的成因机制进行探讨。龙泉驿断层被南北向和北东—南西向的次级断层切割,断层遥感影像清晰。断层上方土壤中出现极高的氦气浓度异常,从旁侧向地热异常点逐渐升高,显示断层的活动性和良好的渗透性,沿断层有流体上升。断层上方近地表局部填充的块状疏松土壤起到“导热管”的作用。发震于龙门山逆冲推覆造山带的汶川大地震及其余震的剧烈运动,使成都前陆盆地中的岩块沿中三叠统下部滑脱层滑动,产生大量构造热。热流沿滑脱层向远端的前陆隆起——龙泉山传递,通过龙泉驿断层面上溢流,并经“导热管”在地表形成点状地热异常。龙泉驿地热异常的主导因素是汶川大地震引发的构造热产生的地震地热异常“远端效应”。龙泉山断裂带不可能发生较大的破坏性地震。该地区可能有丰富的地热资源,值得进一步研究。

**[关键词]** 汶川大地震;地热异常;遥感地质解译;氦气测量;地电;活动断裂

**[分类号]** P314; P315.09

**[文献标识码]** A

2008年10月7日成都市龙泉驿区同安镇某居民临街铺面约3~4 m<sup>2</sup>范围内的水泥地面突然发热。住户敲碎约20 cm厚的水泥地板观察,除了泥土被加热而散发出淡淡的泥土味并未发现其它异常。测试土壤温度98℃。10天后,即10月17日笔者再次测量,温度为89℃。其后住户向土壤中加入大量的水,还原了水泥封盖。半个月后(10月25日)再次敲开水泥地面测量,仍有46℃。高温持续一个多月后逐渐变冷消失。对于此土壤高温现象一些人感到不解,甚至恐慌,对其成因也众说纷纭。有人认为地下某种物质在燃烧,也有人认为是地下电缆漏电。对于上述说法笔者均不敢苟同。理由如下:(1)同安镇电力部门称该区域没有埋设电缆,也没有发现用电异常。2008年10

月17日,有关部门切断了该区域所有供电10 h,该处地温也未见下降。(2)此处高温是突然出现的,先维持在较高温度(98℃)然后平稳下降。如果是燃烧加热或电热加热,温度都应该是持续上升。同时,在水泥密封的地下深处缺乏如氧气、明火等燃烧条件;也没有任何燃烧的迹象,如燃烧通常产生的烟、气、声等。

作者利用遥感地质解译和土壤氦气测量等技术方法进行勘查,结合区域地质情况和汶川大地震及其余震综合分析,认为这是地震地热异常的“远端效应”,主要与汶川大地震及其余震、龙泉山断裂的活动性,和当地的特殊地质条件有关的地热异常现象。

**[收稿日期]** 2009-05-12

**[基金项目]** 国家自然科学基金应急项目(40841012)

**[作者简介]** 程建(1984—),男,硕士研究生,研究方向:石油地质学与构造地质学, E-mail:monster4321@sina.com。

### 1 研究区遥感地质解译

地热异常点发育在龙泉山大背斜中段西侧的龙泉驿断层附近。龙泉驿断层走向北东,倾向南东,倾角  $35^{\circ}\sim 70^{\circ}$ ,全长 120 km,是本区起控制作用的主要断裂。邓起东(1994)、黄祖智(1995)、徐水森(2006)等认为龙泉驿断层在早更新世有明显活动,在中、晚更新世有微弱活动,具有明显的分段特征<sup>[1, 2]</sup>。

笔者对龙泉驿同安镇地区的 ETM 遥感图像(图 1)进行地质解译,发现在龙泉驿断层两侧还发育了一些次级断层(图 2 中  $F_1\sim F_7$ )。 $F_1, F_2, F_3$  走向近南北,规模比较小。 $F_4$  断层近南北走向,与龙泉驿断层小角度斜交。 $F_5$  与  $F_6$  大致平行,走向北东-南西,成组出现,斜切龙泉驿断

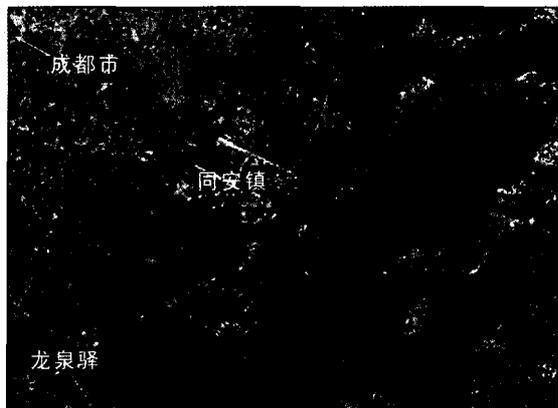


图 1 成都市龙泉驿区同安镇地区 ETM 遥感图像  
Fig.1 ETM remote sensing image of the Tongan town, Longquanyi, Chengdu

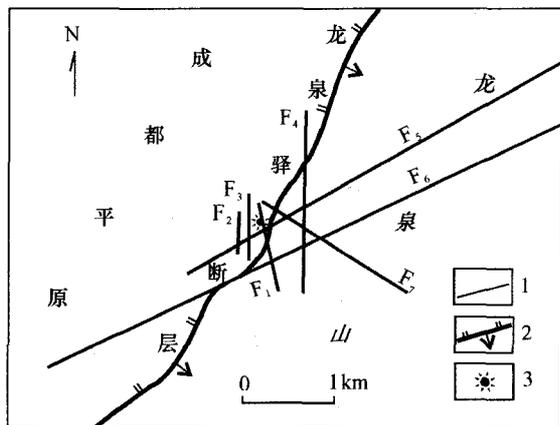


图 2 同安镇地区遥感地质解译图  
Fig.2 Geological remote sensing image of the Tongan town

1. 遥感解译的断层;
2. 逆断层;
3. 地热异常位置

层。 $F_7$  走向北西-南东,与龙泉驿断层大角度相交。地热异常点处于  $F_1$  和  $F_5$  断层与龙泉驿断层的交汇处。

龙泉驿断层及次级断层线性影像清晰,横穿山脊、沟谷,直线延伸,在成都第四纪覆盖物上仍可见线性影像;断层三角面和断层崖沿断线发育;影纹、色调带界面清晰。这些地貌标志表明龙泉驿断层第四纪以来的活动性<sup>[3~5]</sup>。

### 2 土壤氡气测试

2008 年 10 月 25 日,笔者在研究区内选取了 3 个土壤氡气测点埋设探杯( $\alpha$  杯)。探杯  $P_1$  埋在地热异常点上, $P_2$  在  $P_1$  北东  $35^{\circ}$  方向 15 m 远处, $P_3$  在  $P_2$  正东方向 15 m 远处。探杯埋深均为 30 cm。2 h 后(一般埋杯时间应为 4 h,由于时间关系缩短为 2 h)采用 KZ-DO2 型  $\alpha$  杯测氡仪测量,测得 3 个探杯的 CMP(每分钟计数)是: $P_1:1145$ ;  $P_2:738$ ;  $P_3:544$ 。

氡气是地质体中放射性元素 U 和 Ra 等衰变产生的,其浓度表示在地下孔隙中的富集程度<sup>[6]</sup>。由于氡气是惰性气体,向上垂直运移能力很强,可以通过断层和破碎带从地下深处向地表运移,所以氡可以提供地下深部的信息,对断裂和裂隙的反应很灵敏。在同一条断层上,近期活动的地段氡的浓度相对较高。据此可以推测断层破碎带及其活动性<sup>[7, 8]</sup>。

本次土壤氡气测量的三个测点氡值都是高异常。如果埋杯时间达到 4 h 的话,土壤氡 CMP 可能会超过 2 000,甚至更高。如此之高的氡 CMP,表明该处地下基岩中存在断层,该断层具有活动性。正因为该断层的活动,使得地下的氡气大量释出。

### 3 地电异常

2008 年 10 月 17 日,在同安镇地热异常点土壤中进行了地电测试,测得电压为 24 V。有人怀疑是电缆漏电,但是电缆漏电的电压应该远远高于 24 V。如果不是电缆漏电,那就只能是地电;可是大地电场一般都是毫伏级的,至今还没有发现如此之高的地电值。大地电场与地震存在相关性,被认为是一种可靠的短临地震前兆信息<sup>[9]</sup>。2008 年 10 月 17 日,就在测试地热异常点土壤电压的当天,在龙泉山断裂带上的中江、简阳

两地发生 2.5 级和 2.1 级地震。龙泉驿同安镇的土壤中的异常电压是否与这两次地震有关值得进一步深入探讨。

#### 4 地热异常成因分析

地热的来源,从全球意义上讲是重力分异和岩石放射性元素衰变产生的热<sup>[10]</sup>。从局部意义上讲,断裂活动产生的构造变形通常是地热异常的诱发动力<sup>[11~13]</sup>。断裂活动和岩块的摩擦引起的构造热才对地热起着控制作用。当断面上的摩擦力和剪切应力都是 100 MPa 的数量级时,即使错动 1 mm 的幅度,也能使断面达到熔化的程度<sup>[11]</sup>。

深大断裂的剧烈活动引起强烈构造地震,往往还会引发与地震相伴生的地热异常。这种地热异常一般出现在与震中有一段距离的远端且与发震断裂有一定联系的断裂带上。许多地震都产生过这种地热异常:1975 年辽宁海城 7.3 级地震时,30 km 外的鞍山、营口等地曾记录大幅度的夜间增温(13~16℃);1976 年四川松潘 7.2 级地震时,在 170 km 外的江油至都江堰之间,沿龙门山断裂带多处喷出高达 120℃ 的热气;1976 年云南龙陵 7.6 级地震时,13 km 外的巴拿掌温泉水温由 80℃ 上升到 91℃(震后 10 d 恢复正常)<sup>[11]</sup>。笔者将这种出现在与震中有一段距离与发震断裂有一定联系的断裂带上的地热异常称为地震地热异常的“远端效应”。5.12 汶川大地震后,在发震断裂映秀—北川断裂北段的青川县发现了低温地热,可见蒸汽升高达 2~3 m,地表蒸汽的温度约

45℃(李勇,邓斌,2009)。除此之外还没有发现与汶川大地震有关的其他地热异常。距汶川地震震中的 50 km 的龙泉山断裂带上发现的地热异常,可能是该地震地热异常“远端效应”的典型例证。

龙泉山断裂带构造上属于龙门山逆冲推覆造山带前缘第四纪前陆盆地的前陆隆起(图 3)。晚白垩世—新近纪由于青藏高原向东挤压,以及扬子地块的阻挡,造就了龙门山褶皱逆冲断层及与其伴生的四川前陆盆地(张家声等,2004)。前陆盆地中的中三叠统以上岩层沿中三叠统底部的滑脱层(图 3 中部虚线所示)向东逆冲、反冲,形成了龙泉山断层传播褶皱<sup>[14, 15]</sup>。发育在龙泉山背斜西侧的龙泉驿断层为本区的主控断层(图 3)。

5.12 汶川大地震震动了全中国甚至亚洲,必然使川西前陆盆地中的岩体震动;而中三叠统底部滑脱层上、下岩体的震动很可能不一致,甚至上部岩体向东错动,岩块间会产生摩擦,其机械能绝大部分都可能转化成了热能。同时,中三叠统底部埋深超过 6 km,按地温梯度 20℃/km 计算,其中流体的温度也可能达 140℃ 以上。由于上覆盖层的阻隔,热流主要沿着滑脱层向龙泉山断裂带传递。如前所述,龙泉驿断层是活动性断层,且由于在同安镇地段被规模较大的次级断层切割错动(图 2 中 F<sub>4</sub>—F<sub>7</sub>)而由阻滞封闭变得局部开启,热流就可以通过断层破碎带从深部向上迅速传递至近地表。

龙泉驿地热异常在地表的出露形式不是大面积的地温升高,而是高温呈点状分布。这与当地

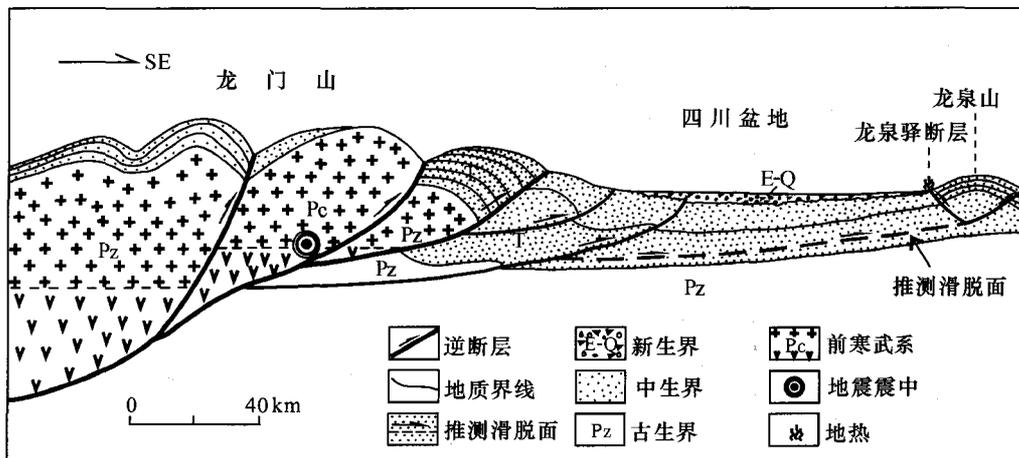


图 3 龙门山推覆构造带及龙泉山背斜构造示意剖面图

Fig. 3 Cross section through the nappy structural belts of the Longmenshan to the Longquanshan anticline

特殊地质条件有关。地热异常点 4~5 m<sup>2</sup> 范围内的土壤是新填的块状土(该处以前有一深坑),土质很疏松,而它周围土壤胶结比较紧密。小范围的这种土壤疏松形态起到了类似“导热管”的作用(图 4)。从深部传至近地表的地热流就可能通过“导热管”集中向上传送至地表形成点状地热异常。而在周围土壤胶结致密的区域热流则难于逸出地表,所以没有出现大范围的地温异常带。汶川大地震的地热异常“远端效应”就这样形成了。

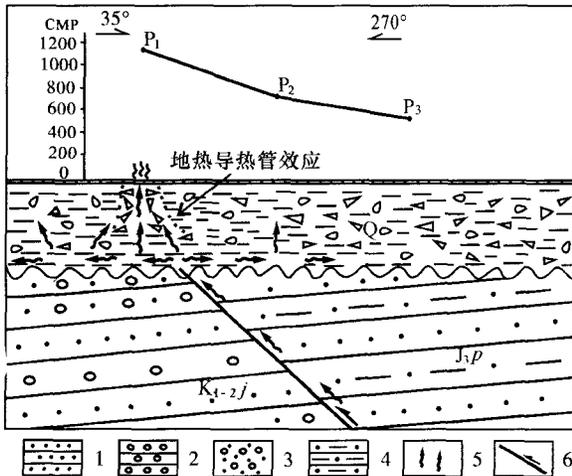


图 4 地热流近地表传导示意图

Fig. 4 Geothermal conduct through near-surface  
 P<sub>1</sub>. 气气测量点; Q. 第四系土层; K<sub>1-2j</sub>. 夹关组;  
 J<sub>3p</sub>. 蓬莱镇组。1. 砂岩; 2. 砾岩; 3. 砂砾石层;  
 4. 砂质黏土岩; 5. 地下热流; 6. 龙泉驿断层

地热是地震应力释放的一种表现,是地震引起的构造活动的产物,并非是由于龙泉山断裂的活动引起的能量聚集。同时,龙泉驿断层虽然有一定活动性,但是龙泉驿断层切割比较浅,不具备孕育强地震的能力,因此不会发生较大的破坏性地震。

### 5 结论和建议

a. 龙泉驿同安镇地热异常的主导因素是汶川大地震引发的构造热产生的“远端效应”。其形成与汶川大地震中川西前陆盆地中的岩块沿中三叠统下部滑脱层错动、龙泉驿断层的活动性和当地特殊的地质条件有关。

b. 龙泉驿断层切割比较浅,不具备孕育强地

震的能力,不会发生较大的破坏性地震。

c. 重要工程设施要避免避开龙泉驿断层,不要建在该断层带上。

d. 龙泉驿地区可能有丰富的地热资源,建议加强勘查研究,开发地热资源。

### [ 参 考 文 献 ]

[1] 徐水森,任寰,宋杰. 龙泉山断裂带地震活动性浅析[J]. 四川地震,2006,119(2):21-27.  
 [2] 王伟涛,贾东,李传友,等. 四川龙泉山断裂带变形特征及其活动性初步研究[J]. 地震地质,2008,30(4):968-976.  
 [3] 邹谨敬,邵顺妹. 活动断裂的遥感影像研究[J]. 环境遥感,1995,10(3):182-187.  
 [4] 杨金中,聂洪峰,李景华. 遥感技术在浙江东部穿山半岛地区活动断裂调查中的应用[J]. 国土资源遥感,2003,(4):50-53.  
 [5] 郑文俊,郭华,袁道阳,等. 遥感影像信息在活动断裂研究中的应用[J]. 高原地震,2002,14(2):15-20.  
 [6] 孟广魁,何开明,班铁,等. 氦、汞测量用于断裂活动性和分段的研究[J]. 中国地震,1997,13(1):43-50.  
 [7] 任明甫. 利用断层气(土气)探测琼北地区的断裂活动性[J]. 华南地震,2000,20(1):66-70.  
 [8] 张炜,王吉昌,鄂秀满,等. 水文地球化学预报地震的原理和方法[M]. 北京:教育科学出版社,1988.  
 [9] 郝建国,潘怀文,毛国敏,等. 准静电场异常与地震——一种可靠短临地震前兆信息探索[J]. 地震地磁观测与研究,2008,21(4):10-17.  
 [10] 夏邦栋. 普通地质学[M]. 北京:地质出版社,1995.  
 [11] 王春林. 华南地区温泉地震和活动性断裂的研究[J]. 华南地震,1982,2(4):9-15.  
 [12] 徐纪人,赵志新,石川有三. 青藏高原中南部岩石圈扩张应力场与羊八井地热异常形成机制[J]. 地球物理学报,2005,48(4):863-868.  
 [13] 孙爱群,牛树银. 地幔热柱演化及其地热效应——华北地热异常的深部构造背景[J]. 地球学报,2000,21(2):182-188.  
 [14] 刘树根,罗志立,赵锡奎,等. 龙门山造山带—川西前陆盆地系统形成的动力学模型及模拟研究[J]. 石油试验地质,2003,25(5):432-438.  
 [15] 陈社发,邓起东,赵小麟,等. 龙门山中段推覆构造带及相关构造的演化和形变机制[J]. 地震地质,1994,16(4):404-420.

## Research on the Wenchuan earthquake “endpoint effect”: On the geothermal anomaly in Longquanyi, Chengdu, China

CHENG Jian, WANG Duo-yi, LI De-li,  
PANG He-qing, WANG Shuai-cheng, LI Jun

*College of Energy Resources, Chengdu University of Technology, Chengdu 610059, China*

**Abstract:** By use of the geologic remote sensing, soil radon measurement, geoelectric survey, ground temperature measurement, in combination with the related geologic information and site survey, this paper studies the mechanism of “spotted geothermal anomaly” in Longquanyi of Chengdu. The Longquanyi fault cut by its secondary faults has trends of N-S and NE-SW. These faults have a clear remote sensing image. The concentration of the soil radon above the faults is very high, moreover, from the exterior to the spotted geothermal anomaly, the concentration of the soil radon heightens gradually. All the evidences indicate that the Longquanyi fault has activities and high permeability and some fluid can rise through this fault. The loose soils locally distributed over the fault work as a “heat pipe”. The Wenchuan earthquake was triggered by the Longmenshan overthrust nappy belt. Vigorous movements of the Wenchuan earthquake caused the rocks of the Chengdu foreland basin to dislocate along with the Middle Triassic lower slip horizon and generated a great quantity of structural heat, then the heat transferred along the slip horizon to the Longquanshan Mountain —— the uplift foreland of the Longmenshan nappy structural belts. Finally, the heat could rise through the active Longquanyi fault and come into being spotted geothermal anomaly on the surface with the help of the “heat pipe”. The main cause of the geothermal anomalies maybe the earthquake “endpoint effect” of structural heat triggered by the Wenchuan earthquake. No destructive earthquake will happen in Longquanshan, and there will be a good exploration prospect of geotherm. Longmenshan is worth further researching.

**Key words:** Wenchuan earthquake; geothermal anomaly; remote sensing; radon measurement; geoelectricity; active fault