

# The Research of Temperature Anomaly of Maoya Thermal Spring in Litang, Sichuan and Its Ability on Reflecting Earthquake

Guilan Qiu

Sichuan Earthquake Administration, Chengdu Sichuan  
Email: 285108546@qq.com

Received: Nov. 8<sup>th</sup>, 2018; accepted: Nov. 22<sup>nd</sup>, 2018; published: Nov. 29<sup>th</sup>, 2018

---

## Abstract

The Maoya thermal spring in Litang, Sichuan is susceptible on earthquake's anomaly on western Sichuan; the temperature of the spring has obvious change before a lot of earthquake. After sorting out the historic temperature materials of the thermal spring, the mainly anomaly's features before earthquake are temperature's sudden rising-fall after rising-earthquake eruption and temperature's sudden rising-sustaining-earthquake eruption. The sudden fall could also indicate earthquakes but is not effective as the sudden rising. The optimal time interval of anomaly's appearance and earthquake's eruption is 40 days to 50 days. The temperature's anomaly is not a great indicator factor of  $M5$  earthquake within 200 kilometers of the thermal spring but it has preferable reflection of  $M6$  earthquake within 300 kilometers and the magnitude bigger than  $M6$  within 600 kilometers. The ratio for earthquake's eruption and the anomalies of the last two affairs could reach 58% and 59%.

## Keywords

Temperature of Maoya Thermal Spring in Litang, Features of Anomaly, Ability on Reflecting Earthquake

---

# 四川理塘毛垭温泉水温异常特征及映震能力研究

邱桂兰

四川省地震局, 四川 成都  
Email: 285108546@qq.com

收稿日期: 2018年11月8日; 录用日期: 2018年11月22日; 发布日期: 2018年11月29日

## 摘要

四川理塘毛垭温泉是川西地区的地震异常敏感泉,自记录以来,该水温在很多强震前出现了明显的异常变化。通过对理塘毛垭温泉水温历史资料的梳理,认为理塘毛垭温泉水温的异常特征主要以突升-回落-发震和突升-持续-发震异常为主,其下降异常变化也能对应地震,但效果明显不如上升异常。对异常出现时间与发震时间的相关性研究表明,异常出现至发震的最优势时间为40天~50天以内。对异常映震情况研究表明,该温泉的水温异常对周围200 km范围5级地震映震能力较弱,对周围300 km范围6级地震和600 km范围内6级及以上地震效果较好,占比分别为58%和59%。

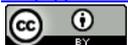
## 关键词

理塘毛垭温泉水温,异常特征,映震能力

Copyright © 2018 by author and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

## 1. 引言

水温观测是我国地震前兆观测手段之一,在地震短临预报中发挥着重大的作用。我国的水温观测开始于1966年邢台地震后,当时群众发现了大量的与地震相伴的水温、地温异常实例,并利用它进行了地震预报的尝试。比如1975年2月4日海城地震前观测到了大面积的水温增温现象、1976年5月云南龙陵7.6级地震前观测到了温泉水温升高、1976年7月唐山地震前在当地的人民公园等多处观测到水温异常和地温升高异常。在日本洞斐湖、壮瞥等温泉地区,1975年至1977年3年间的监测结果表明,温泉水温的变化与火山地震的月频度曲线非常吻合。伊豆半岛6.3级地震前三天,距震中20 km处温泉温度升高了1.8℃。1970年苏联达格斯坦6.5级地震前数天,距震中30 km的深井中,温度升高了1℃~3℃。以上观测事实表明,水温的异常变化与地震的发生有密切的关系。

## 2. 理塘毛垭温泉基本概况

理塘毛垭温泉又名川-51泉,位于四川省理塘县城西5公里的毛垭乡(图1)。1975年2月1日正式作为地震前兆观测点,主要观测水温变化,至今已有近44年的连续观测资料。1985年经验收后该泉被纳入国家地震局地下水网。该泉水温异常对应地震的能力显著,是我国地下水“十大灵敏点”之一。自观测以来,该温泉水温观测一直沿袭传统温度计人工观测方法,水银温度计和酒精温度计循环使用,水温在30°~70°间变化。2013年10月,该温泉进行了数字化观测改造,观测池仍为原模拟观测时的观测池。同时,我国背景场项目在该温泉附近的全华地带布设了9个测点(图2),分别观测温泉水温变化。其观测仪器使用的均是中科光大的ZKGD3000-N型地下流体监测设备,包括水温传感器和水位传感器。图2中10号测点为本研究测点。

毛垭温泉地处理塘盆地中北部边界,海拔高程3960米。该温泉出露于川滇地块中偏北的义敦-理塘、理塘-德巫断裂带与甘孜-理塘-稻城断裂带的交汇部位。义敦-理塘、理塘-德巫断裂带左旋切割了形成于中生代的近南北向甘孜-理塘-稻城断裂带及三迭纪等的沉积地层,在这个0.6 km<sup>2</sup>的范围内,毛垭温泉的分布恰好在上述构造的接合部位(图3),多个泉眼组成了一个温泉群[1]。毛垭温泉群主要分布在

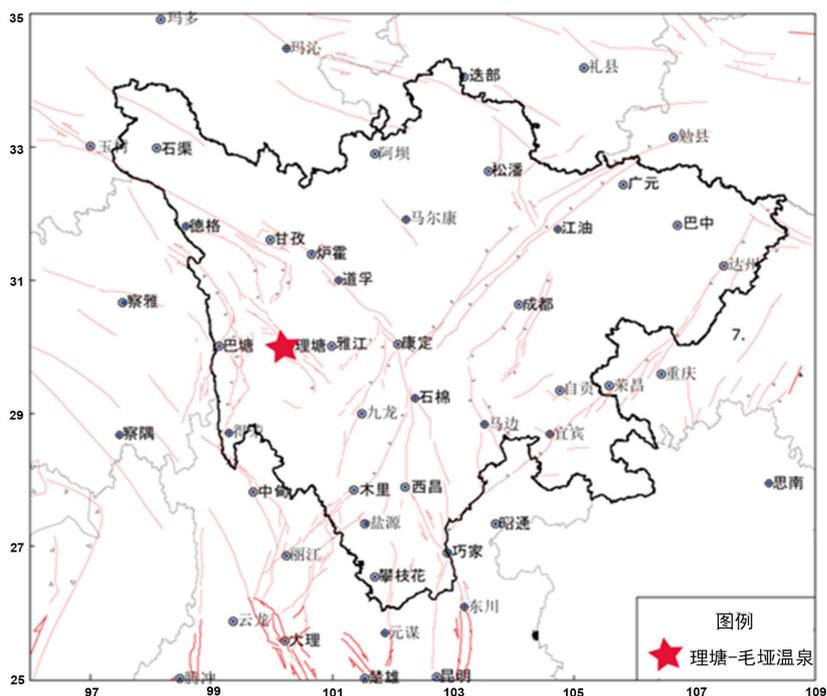


Figure 1. Geographic location of Maoya thermal spring  
图 1. 理塘毛垭温泉地理位置图



Figure 2. Observation points of Maoya thermal spring  
图 2. 理塘毛垭温泉测点分布图

北北向义敦 - 理塘与理塘 - 德巫两条断裂斜列重叠段的岩桥区部位, 处于靠近理塘 - 德巫断裂带北西端, 距离这两条断裂 800 m 左右。且毛垭温泉还处在南北走向的甘孜 - 理塘 - 稻城断裂被义敦 - 理塘断裂带左旋断错的位置上。

前人研究认为观测点及附近水文地质环境为浅部少量冷水与深部富含热水型的隐伏热窗口区。根据观测区的水文地质环境条件和测点的受力及裂隙演变方式, 目前观测到的地震前后水温的异常变化, 其绝大部分不是地层的地热场分布的改变和大地热流增加所引起, 而是由于地震能量的积累释放造成的微裂隙张合与演化所引起的不同深度、不同温度的地下水或地下气串层、混合比发生改变的结果。

温泉点附近出露的地层为三迭系上统曲嘎寺组灰白色灰岩, 其西南侧有大片印支期花岗岩、黑云母花岗岩分布, 东北侧有零星花岗岩出露。泉水类型为大型地热上升泉, 水质为  $\text{HCO}_3\text{-Na}$  型。泉水具有深循环

特征,循环深度大于 1500 米,热储温度为 148.2℃ [2]。断裂带构造裂隙为温泉水通道,温泉水的来源是中深层循环热水与浅层地下水补给冷水混合体,其水温水量的变化受区域构造应力的控制。

该温泉观测环境干扰小,2009 年前,水温在 40℃~66℃ 范围内变化,2010 年后,该水温几乎在 40℃ 以下波动,最低温度达到 24.8℃。其变化能反映这一区域构造应力场的动态变化信息,是理想的地震前兆温泉观测点。

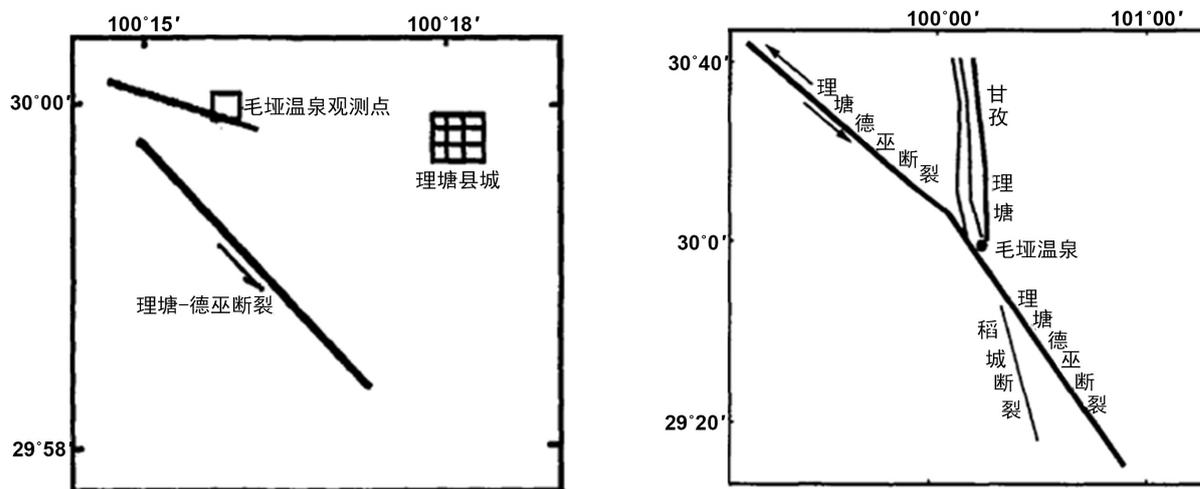


Figure 3. Location of Maoya thermal spring

图 3. 理塘毛垭温泉位置图

### 3. 异常特征分析

#### 3.1. 观测资料概况

根据中国地震局对观测资料预报效能评估依据及标准,对该温泉资料的预报效能评估重点考察资料质量和映震效果,主要包括:基础资料、资料质量、影响因素和震例评估。其中,基础资料包括测点与构造关系、控制观测点情况、测点配套性、历史基础资料等。资料质量包括测值合理性、稳定性、连续性、信息反映能力(如地震响应、固体潮、气压效应)、长期动态特征、年动态特征、辅助观测资料、资料长度等。影响因素是看观测点有无影响因素、气象因素、环境因素、观测设备因素、其它因素、观测环境严重破坏或干扰因素无法确定因素等。震例评估包括是否、具有长趋势异常、年度异常、短临异常的震例、有多少震例、无异常并在无震判定中起作用等等。通过以上对该温泉资料的预报效能评估,其评价级别为 A 类观测点,即优秀级的观测点,观测资料可信度较高。

#### 3.2. 异常特征分析

按照水温的增减,温泉水温异常有上升和下降两种。按异常的变化形态,可分为:阶跃变化、脉冲变化、周期和振幅变化及趋势性变化或渐变四种。

**资料的选取:**地震目录的选取是基于中国震例的要求,本研究选取理塘毛垭温泉周围 200 km 范围 5 级地震、300 km 范围 6 级地震、500 km 范围 7 级地震,共 35 次地震作为研究目标(表 1)(包括余震),对理塘毛垭温泉的水温异常特征进行分析。理塘毛垭温泉资料选取 1975 年 2 月至 2017 年的观测整点值。

**异常判断原则:**对温泉观测资料的主要分析方法有原始观测曲线法、低频信息提取法、高频信息提取法、干扰排除分析法、调和分析等等,但在日常震情跟踪过程中,原始观测曲线法和差分分析法是比较常用也比较适用的分析方法。其中原始观测曲线法也是《中国震例》研究中使用最多的方法。

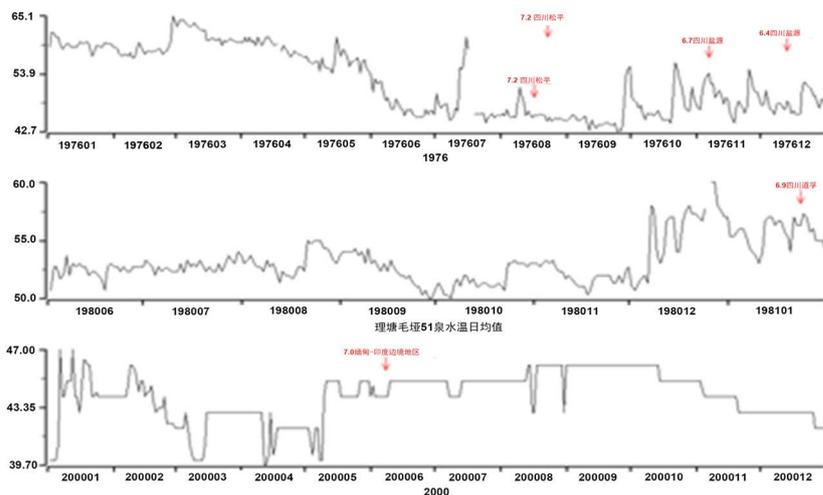
**Table 1.** Statistical table of M5/M6/M7 within 200 km/300 km/500 km of Litang thermal spring  
**表 1.** 理塘川 51 泉 200 km、300 km、500 km 范围 5 级、6 级、7 级以上地震统计表

序号	时间	经度	纬度	地点	震级	震中距(km)	异常类型	与震中的方位
1	1976.08.16	104.1	32.6	松平	7.2	461.2	上升 - 回落	北东
2	1976.08.23	104.3	32.5	松平	7.2	469.6	上升 - 回落	北东
3	1976.11.07	101.1	27.6	盐源	6.7	278.1	上升 - 回落	南东(近正南)
4	1976.12.13	101	27.4	盐源	6.4	297.1	上升 - 回落	南东(近正南)
5	1982.06.16	99.75	31.83	甘孜	6	211	上升 - 回落	北西(近正北)
6	1979.11.06	99.33	30.57	白玉	5	114.5	上升 - 回落	北西
7	1981.01.24	101.17	31	道孚	6.9	138.3	上升 - 回落	北东
8	1986.02.06	98.3	29.9	西藏芒康	5.1	194.4	无变化	正西
9	1986.08.07	100.8	29.28	理塘	5.6	92.8	无变化	南东
10	1989.04.16	99.25	29.93	巴塘	6.7	103.2	无变化	正西
11	1989.04.25	99.4	29.93	巴塘	6.7	88.8	无变化	正西
12	1989.05.01	99.52	30.02	巴塘	5.2	76.7	无变化	正西
13	1989.05.03	99.38	30	巴塘	6.4	90.4	无变化	正西
14	1989.05.03	99.42	30.02	巴塘	6.2	86.6	无变化	正西
15	1989.05.04	99.45	30.07	巴塘	5.1	73.5	无变化	正西
16	1989.07.21	99.25	29.92	巴塘	5.8	103.2	下降 - 回升	正西
17	1989.09.22	102.38	31.55	小金	6.6	262	无变化	北东
18	1990.04.09	99.35	29.92	巴塘	5.1	93.8	下降 - 回升	正西
19	1996.02.03	100.22	27.3	云南丽江	7	300.5	断流	南西(近正南)
20	1996.12.21	99.42	30.6	白玉	5.5	109.4	断流	北西
21	1999.06.01	98.5	29	西藏碧土	5	198.8	下降 - 回升	正西
22	2000.06.08	96.8	27	缅甸	7	480.7	上升 - 持续	南西
23	2001.02.14	101.08	29.4	雅江	5	99.7	趋势下降	南东
24	2001.02.23	101.1	29.42	雅江	6	99.8	趋势下降	南东
25	2002.08.08	100.02	30.87	新龙	5.4	101.4	无变化	北西
26	2008.05.12	103.4	31	汶川	8	315.5	上升 - 回落	北东
27	2010.04.14	96.7	33.1	青海玉树	7.1	488.9	下降 - 回升	北西
28	2011.04.10	100.9	31.3	炉霍	5.3	155.1	上升 - 回落	北东
29	2013.01.18	99.4	31	白玉	5.4	141.8	无变化	北西
30	2013.04.20	103	30.3	芦山	7	260.1	无变化	北东(近正东)
31	2013.08.12	98	30	西藏左贡	6.1	224.2	上升 - 回落	正西
32	2014.11.22	101.7	30.3	康定	6.3	137.1	趋势下降	正东
33	2014.11.25	101.7	30.2	康定	5.8	134.9	趋势下降	正东
34	2016.09.23	99.62	30.12	理塘	5.1	69.3	上升 - 回落	正西
35	2017.08.08	103.8	33.15	九寨沟	7	490.4	下降 - 回升	北东

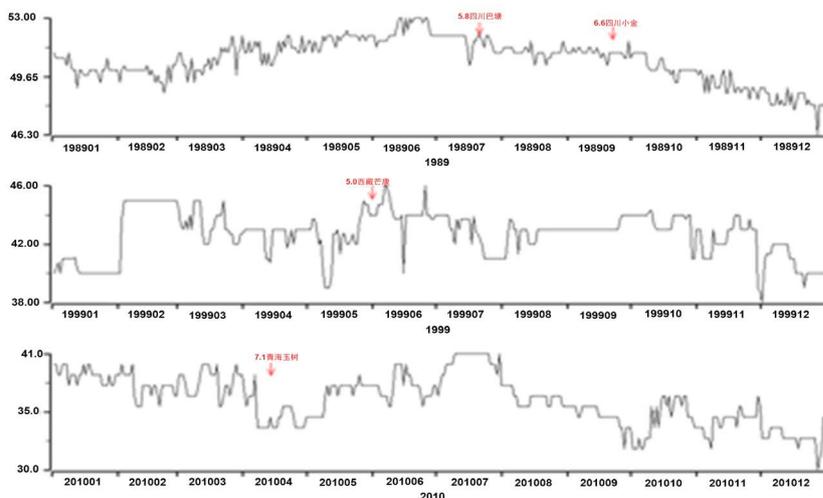
**异常判别方法：**根据日常工作中积累的经验，有每天上升 3℃法、3 天上升 6℃法。

根据对理塘毛垭温泉水温资料的分析认为，在 35 次地震前，理塘毛垭温泉的主要异常表现形式有五种：一是水温的大幅度上升(突升)-回落-发震(图 4)；二是水温大幅下降(突降)-回升-发震(图 5)；三是震前无明显大幅异常变化(图 6)；四是水温呈整体趋势变化(图 7)；五是温泉水断流，无资料。其中突升-回落-发震异常包括突升-回落至异常结束后发震和突升-持续，异常没有结束就发生地震(阶跃)。突降-回升-发震异常包括突降-回升，异常结束发震和突降-回升过程中发生地震。对于水温观测曲线的整体趋势性变化异常大多出现在每年的 8 月之后，这类变化是温泉水温本身的年变化还是异常变化，还需进一步确认。

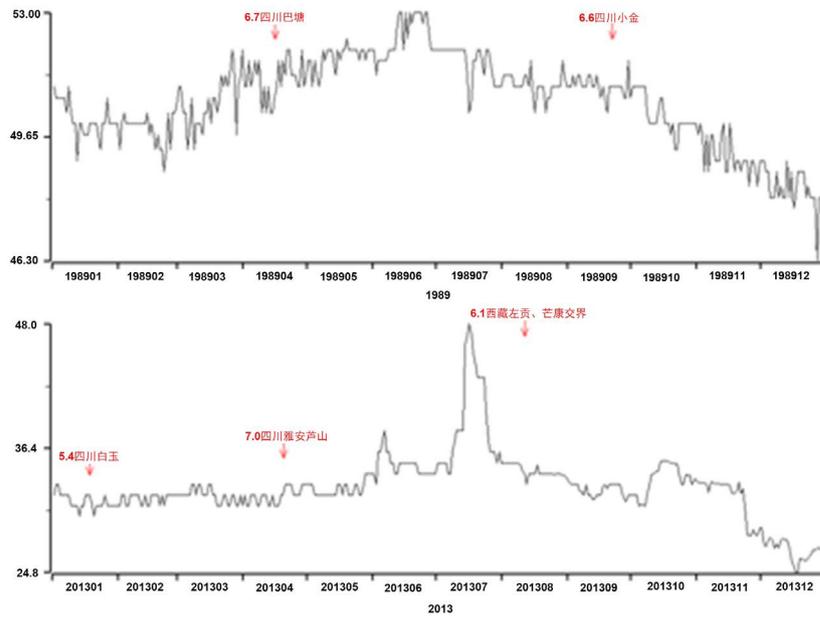
35 个震例中，震前无明显异常变化 13 次，占比为 37%；突升异常 12 次，占比为 34%；突降异常 4 次，占比为 11%；趋势性下降异常 4 次，占比为 11%；温泉断流期间，无观测资料，发生 5 级以上地震 2 次，占比为 6%。



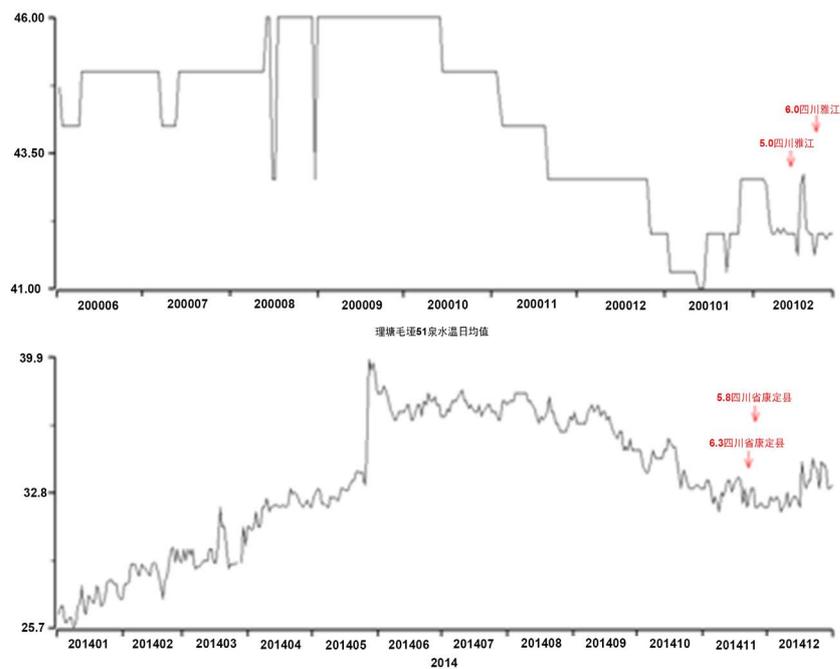
**Figure 4.** Sudden rising of Maoya thermal spring's temperature  
**图 4.** 理塘毛垭温泉水温突升异常



**Figure 5.** Sudden drop of Maoya thermal spring's temperature  
**图 5.** 理塘毛垭温泉水温突降异常



**Figure 6.** Regular trend of Maoya thermal spring's temperature before earthquake  
**图 6.** 理塘毛垭温泉水温震前无变化异常



**Figure 7.** Anomaly of trend drop of Maoya thermal spring's temperature  
**图 7.** 理塘毛垭温泉水温趋势下降异常

以上分析是基于所有破坏性地震的占比分析，若将各震级档区分开来，结果是：

8次7级及以上地震中，震前有突升-回落异常3次，占比为38%；突升-持续(阶跃)异常1次，占比为13%；突降异常1次，占比为13%；震前无明显异常变化2次，占比为25%；温泉断流1次。7级及以上地震中，异常形态主要以突升异常为主。

12次6级地震中，震前有突升异常变化的5次，占比为42%；无异常变化的5次，占比为42%；趋势下降变化的2次，占比为17%。由于1976年的盐源地震和1989年的巴塘地震均属于震群，每次震群若按1次地震计算，震前有突升异常变化的4次，占比为50%；无异常变化的2次，占比为25%。突升异常变化为6级地震的主要异常形态。

15次5级地震中，震前有突升异常变化的3次，占比为20%；无异常变化的9次，占比为60%；趋势下降变化的1次，占比为7%。5级地震前，水温异常不明显。

以上分析表明，破坏性地震前，理塘毛垭温泉若有异常，主要以突升异常变化为主。

### 3.3. 异常变化与发震时间相关性分析

前面的研究结果显示，理塘毛垭温泉的异常特征有突升和突降异常，两者均有在异常持续过程中发生地震的现象，故在此选取异常开始与发震时间进行研究。

基于中国震例选取理塘毛垭温泉300 km范围6级地震、500 km范围7级地震共选取了20个震例进行时间序列研究。其中，7级及以上地震中，异常开始至发震时间最短为6天，最长46天；6级地震中，异常开始至发震时间最短18天，最长119天，以异常开始至发生地震40天左右的居多。

基于理塘毛垭温泉周围600 km范围共选取了43次6级及以上地震，从异常开始到发生地震最短时间为6天，最长为120天，其中以50天左右为优势发震期，10%的地震发生在异常出现后的第4个月前后。

## 4. 映震能力分析

### 4.1. 基于中国震例选取理塘毛垭温泉周围200 km范围5级地震、300 km范围6级地震、500 km范围7级地震的映震能力分析

基于中国震例选取了理塘毛垭温泉周围200 km范围5级地震、300 km范围6级地震、500 km范围7级地震共35次，其中5级地震15次，6级地震12次，7级及以上地震8次(表2)。

8次7级及以上地震中，震前有异常变化的地震5次，占比为63%；震前无明显异常变化的2次，占比为25%；1次断流。7级及以上地震前，理塘毛垭温泉的映震能力较强。

12次6级地震中，震前有异常变化的地震7次，占比为58%；无异常变化的5次，占比为42%。震群型地震若按1次地震计算，震前有异常变化的6次，占比为75%；无异常变化的2次，占比为25%。理塘毛垭温泉的水温异常变化对6级地震的映震能力也较强。

15次5级地震中，震前有异常变化的5次，占比为33%；无异常变化的9次，占比为60%。理塘毛垭温泉的水温异常变化对5级地震的映震能力较弱。

**Table 2.** Statistical table of anomalies before earthquakes for Litang thermal spring

**表 2.** 理塘毛垭温泉震前异常情况统计表

异常变化/震级	5级	6级	7级及以上
有异常变化	33%	58%	63%
无异常变化	60%	42%	25%
备注	1次断流无资料	2次趋势变化难以确认异常性质	1次断流无资料

为更好地对理塘毛垭温泉水温异常的可靠性进行评价，对其进行地震预报能力评分，其 $R$ 值的计算方法为：

$$R = \frac{n_1^1}{N_1} - \frac{n_0^1}{N_0} \quad (1)$$

其中： $n_1^1$  报对地震次数， $N_1$  应预报地震总次数， $N_0$  预报研究总时间， $n_0^1$  预报占用时间。

方法一：每天上升 3° 分析方法

$R_{6\text{级}} = 7/12 - 34/515 = 0.517 > R_0 (R_0 = 0.274)$ ， $R$  值有 97.5% 的置信度。

$R_{7\text{级}} = 4/8 - 26/515 = 0.449 > R_0 (R_0 = 0.352)$ ， $R$  值有 97.5% 的置信度。

方法二：差分分析法

$R_{6\text{级}} = 10/12 - 63/515 = 0.711 > R_0 (R_0 = 0.286)$ ， $R$  值有 97.5% 的置信度。

$R_{7\text{级}} = 5/8 - 30/515 = 0.618 > R_0 (R_0 = 0.328)$ ， $R$  值有 97.5% 的置信度。

可见，理塘毛垭温泉对其周围 300 km 范围 6 级地震和 500 km 范围 7 级地震的映震能力较强。在该温泉水温出现异常后，周围 300 km 范围 6 级地震和 500 km 范围 7 级地震的可能性较大。

#### 4.2. 基于理塘毛垭温泉周围 600 km 范围 6 级及以上地震的映震能力分析

理塘毛垭温泉位于川滇菱形块体中北部，川滇地区是我国地震多发区，平均每年都有数次 5 级、6 级地震发生，为更加了解该温泉对周围强震的映震情况，本研究扩大了研究范围为温泉周围 600 km 范围 6 级及以上地震。

1975 年 2 月至 2017 年，理塘毛垭温泉周围 600 km 范围内共发生 6 级及以上地震 43 次，其中突升(回落)异常 25 次，突降异常 3 次，无变化情况 10 次，4 次地震期间因断流无观测资料，趋势性下降异常 1 次。若排除余震和震群型地震按 1 次地震计算，共 27 次 6 级以上地震中，突升(回落)异常有 14 次，占比为 52%；突降异常 2 次，占比为 7%；无变化情况 7 次，占比为 26%，3 次地震期间因断流无观测资料，趋势下降 1 次。由此可见，理塘毛垭温泉水温的异常变化，对周围 600 km 范围 6 级及以上地震的映震能力较强，有 59% 的 6 级以上地震前会出现异常变化，异常变化尤其以水温的上升 - 回落异常及上升 - 持续异常对应地震效果较好。

对理塘毛垭温泉周围 600 km 范围 6 级地震前水温异常进行地震预报能力评分情况为：

$R_{\text{差分法}} = 28/43 - 84/515 = 0.49 > R_0 (R_0 \approx 0.163)$ ， $R$  值有 97.5% 的置信度。

$R_{3\text{度法}} = 24/43 - 72/515 = 0.42 > R_0 (R_0 \approx 0.167)$ ， $R$  值有 97.5% 的置信度。

$R_{3\text{天6度法}} = 18/43 - 54/515 = 0.31 > R_0 (R_0 \approx 0.152)$ ， $R$  值有 97.5% 的置信度。

## 5. 结论

根据前面对理塘毛垭温泉观测资料的分析认为：

1) 理塘毛垭温泉是地震的敏感点，其敏感范围主要是温泉周围 600 km 范围内的 6 级及以上地震，对其周围 200 km 范围内的 5 级地震映震较弱。

2) 理塘毛垭温泉水温异常的特征主要有：突升 - 回落 - 发震、阶跃变化、突降 - 回升 - 发震、无明显异常变化、趋势变化异常。以上特征中，6 级及以上地震前的异常主要以突升 - 回落 - 发震和阶跃变化为主。

3) 异常开始至发震时间最短为 6 天，最长为 120 天，其中以异常出现 40~50 天左右为优势发震期。

4) 根据对 6 级及以上地震的空间分布看，该水温异常出现后，以 200~600 km 范围内的 6 级以上地震居多，但异常对应地震的方位无明显显示，异常幅度大小与震级关系不明显。

## 基金项目

中国地震局监测、预测、科研三结合课题(CEA-JC/3JH-16230X)资助。

## 参考文献

- [1] 龙德雄, 黄辅琼, 官致君, 等. 四川理塘毛垭温泉地质构造环境及成因分析[J]. 四川地震, 2006(1): 34-40.
- [2] 李军, 黄圣睦, 闻学泽. 理塘毛垭温泉水温异常研究[J]. 四川地震, 2005(3): 10-16.

### 知网检索的两种方式:

1. 打开知网页面 <http://kns.cnki.net/kns/brief/result.aspx?dbPrefix=WWJD>  
下拉列表框选择: [ISSN], 输入期刊 ISSN: 2163-3967, 即可查询
2. 打开知网首页 <http://cnki.net/>  
左侧“国际文献总库”进入, 输入文章标题, 即可查询

投稿请点击: <http://www.hanspub.org/Submission.aspx>

期刊邮箱: [ag@hanspub.org](mailto:ag@hanspub.org)