

# 陕甘宁川的温泉分布与强震活动

林思城 阎贤臣 韩 芝

(兰州地震研究所)

地球内部的温度和能量分布,是地壳各种构造运动和物理化学过程的主导因素。温泉是被地下热源加热的深部地下水,它在一定程度上反映着地壳深部区域热状态及其变异。研究温泉出露规律、成因类型及泉水物理化学性质的变化等,对于探讨地壳深部热状态、区域应力状态和孕震构造活动特征及其与地震活动的关系,进而研究预测发震标志是有意义的。本文着重统计分析陕、甘、宁、川、四省(区)温泉和七级以上强震震中空间分布规律、以及温泉成因类型和新构造活动的关系。并从地球内部能量释放、地质构造和孕震模式方面、初步讨论了强震震中与温泉分布规律在空间上内在联系的地球物理意义。

## 一、温泉与新构造活动

据不完全统计,我国已经发现的温泉多达2500多处<sup>(1)</sup>,而陕、甘、宁、川四省(区)已发现的温泉或地热异常点也有200余处。它们主要集中分布在川西、甘肃东部及陕西关中地区。根据温泉的形成条件,它们大致可以分为深成渗入循环型、岩浆余热型及层状封存型等成因类型。其中前两种类型分布较广泛,与地质构造及强震活动的关系也较为密切。为了与南北带南段的情况进行分析对比,我们还收集了云南地区480余处温泉及七级以上强震活动等有关资料。

在空间分布上,总的分布特点是温泉南多北少、西多东少;水温南高北低,流量南大北小。总而言之,南段的水热活动要比北段强烈得多。温泉的这种空间分布特点,在某种程度上反映了这一地区新构造活动的轮廓、活动方式及强度的差异特征。例如,温泉密集出露、地表地热显示强烈的滇西、川西地区,也是新构造运动十分强烈的地区。那里新生代岩浆活动频繁,火山喷发岩广泛出露,挽近活动断裂到处可见,水平错动和垂直断距都相当可观,有的甚至切割了第四系洪积、坡积层;高山矗立,河流深切,地貌差异悬殊;地震活动频度高、震级大。南北带北段与南段相比,总体看来,新构造活动弱、地震活动频度较低。但在温泉出露较多的秦岭北麓及渭河谷地,新构造运动也比较强烈,挽近活动断裂较为发育,新生代断陷盆地沉积了巨厚的新生界地层,如关中盆地超过7000米。而仅有层状封存型温水出露的四川盆地及完全没有温泉出露的鄂尔多斯台地,都是比较稳定的地块,新构造活动相当微弱。因此,我们可以根据温泉分布情况及水热活动特点,大体上判断一个地区的新构造运



陕甘宁川滇五省(区)七级以上强震震中与温泉分布关系统计表 表一

省名	编号	发震时间	震中位置			震级	震中附近温泉出露与地热异常概况
			经度	纬度	参考地名		
陕 西	1	1501.1.19	110.1	34.8	朝邑	7	震中区西面和北面30—50公里的蒲城、合阳县出露有30°—40℃的温泉群。
	2	1556.1.23	109.7	34.5	华县	8	震中区西南30—50公里的临潼、兰田等处出现40°—60℃的温泉，北面的蒲城、合阳县也有温泉出露。
甘 肃	8	143.10.	105.3	34.7	甘谷	7	震中西南约30公里处有武山温泉出露。
	4	743.8.19	106.3	34.7	清水附近	7	震中附近有清水温泉出露。
	5	1125.8.30	103.7	36.1	兰州西	7	震中西约60—70公里有水登药水沟、龙王沟温泉出露。
	6	1352.4.18	105.3	35.6	会宁东	7	震中西约30公里有西巩驿温泉，南约30—40公里有义岗、通渭温泉出露。
	7	1654.7.21	105.5	34.3	天水西南	7 $\frac{1}{2}$	震中位于武山温泉东南、天水伯阳温泉西南，距离均约50多公里。
	8	1718.6.19	105.2	32.2	通渭南	7 $\frac{1}{2}$	震中位于通渭温泉、武山温泉和漳县温泉之间。
	9	1879.7.1	104.7	35.0	武都	7 $\frac{1}{2}$	震中西北的西和县城东及西部的舟曲九龙峡有低温矿泉出露。
宁 夏	10	1927.5.21	102.6	37.6	古浪	8	震中西部的冷龙岭北麓、东南部的毛毛山南麓有低温温泉出露，距离约60—70公里。
	11	1561.7.25	106.2	37.4	中宁	7 $\frac{1}{4}$	震中东北约50公里的上滚泉一带有地热异常显示，表现为泉温(19℃)较当地年平均气温(9℃)高得多。
	12	1622.10.25	106.3	36.5	固原	7	震中北部有双井子温泉(26.7℃)出露。
	13	1709.10.14	105.3	37.4	中卫南	7 $\frac{2}{1}$	附近未见温泉出露。
	14	1739.1.8	106.5	38.9	银川、平罗	8	震中西部暖泉附近及南部灵武县城一带有地热异常显示，表现为泉水温度较当地年平均温度高得多。
	15	1920.12.16	105.7	36.5	海原	8 $\frac{1}{2}$	震中东部固原附近有双井子温泉及硝口、臭水沟H <sub>2</sub> S矿泉出露。
	16	1920.12.25	106.3	35.6	泾源附近	7	该震为海原大震余震，宏观震中在打拉池至景泰这一段。
四 川	17	1954.7.31	104.2	38.8	腾格里沙漠	7	附近未见温泉出露。
	18	1536.8.19	102.2	28.2	西昌、冕宁之间	7 $\frac{1}{4}$	温泉密集出露在震中东部40—70公里的越西、喜德、昭觉一带。
	19	1786.6.1	102.1	29.7	泸定南	7 $\frac{1}{2}$	温泉密集出露在震中北部约30公里的康定一带。
	20	1850.9.12	102.3	27.8	南昌	7 $\frac{1}{2}$	震中区有一些低温(小于40℃)温泉出露，但中高温(50—70℃)热泉密集出露在震中东南50—70公里的普格、宁南一带。
川	21	1866.4	99.8	31.7	甘孜	7	震中区有温泉出露，高温热泉(75℃—96℃)分布在震中东南40—50公里的雅砻江东岸。
	22	1870.4.11	99.0	30.0	巴塘	7 $\frac{1}{4}$	震中区有低温温泉出露，中高温温泉(60℃以上)出露在震中东北30—40公里的义教一带。

陕甘宁川滇五省(区)七级以上强震震中与温泉分布关系统计表 续表

省名	编号	发震时间	震中位置			震级	震中附近温泉出露与地热异常概况
			经度	纬度	参考地名		
四川	23	1933.8.25	103.7	32.0	茂汶北	7 $\frac{1}{2}$	震中西南50—70公里的汶川、理县有中低温温泉(30—42℃)出露。
	24	1948.5.25	100.3	29.7	理塘南	7 $\frac{1}{4}$	高温温泉(80℃以上)密集出露在震中北部30—40公里的理塘县城西北一带。
	25	1955.4.14	101.8	30.0	康定折多塘附近	7 $\frac{1}{2}$	震中区有温泉出露,高温温泉(90℃以上)集中出露在震中东南部20—30公里处。
	26	1923.8.24	100.8	31.3	炉霍、道孚之间	7 $\frac{1}{4}$	震中区内有40℃左右的中温温泉出露。高温温泉主要分布在震中西北30—40公里的甘孜附近。震中南部的道孚县城一带也有很多中温温泉出露。
	27	1973.2.6	100.6	31.4	同上	7.9	
	28	1976.8.16	104.2	32.7	松潘、平武之间	7.2	震中西部50公里的漳腊县有低温温泉(29℃)出露。
	29	1976.8.23	104.2	32.5	同上	7.2	
云南	30	1515.6.17	100.8	26.6	永胜西南	8	温泉主要密集出露在其西部50—60公里的金沙江畔。
	31	1733.8.2	103.1	26.2	东川	7 $\frac{1}{2}$	震中区内有温泉出露,但更高温度的温泉却出露在其南部50多公里的寻甸一带。
	32	1833.9.8	103.0	25.1	嵩明杨林	8	温泉主要分布在震中东部的寻甸、宜良、弥勒一线。
	33	1925.8.16	100.2	25.7	大理洱海中	7	震中区有温泉出露,但大量温泉密集出露在距震中30—50公里的南北两端(洱源、弥渡一带)。
	34	1941.5.16	99.4	23.7	耿马附近	7	震中区有温泉出露,但高温温泉(80℃以上)密集出露在震中东部50—60公里的临沧一带。
	35	1941.12.26	100.1	22.2	澜沧勐遮	7	震中区南北两端30—50公里处及东部地区出露多处85℃以上的高温温泉。
	36	1950.2.8	100.1	21.7	勐海西南	7	震中东部30—50公里处有多处90℃以上的高温温泉出露。
	37	1970.1.5	102.7	24.0	通海	7.7	震中区内有数处25°—30℃的温泉出露。在震中东部及南部50—60公里的华宁、个旧、元江一带,大量出露60℃以上的中高温温泉。
	38	1974.5.11	103.9	28.2	永善大关	7.1	温泉分布在震中东部30—50公里的盐津、宜良一带,水温45°—70℃。
	39	1976.5.29	98°38'	24°22'	龙陵	7.3	震中区内有温泉出露,但温泉分布最密集、水热活动最强烈的地段是在其北西50—60公里的腾冲地区,其次,在震中东部的怒江东岸、施甸、永德一带也有很多高温温泉出露。
40	1976.5.29	98°45'	24°33'	龙陵	7.3		

(4)四川西昌地区,该区沿安宁河断裂带和则木河断裂带曾发生过两次七级以上地震,震中区内仅见个别低温温泉(30℃左右)出露,而大量的中高温温泉却出露在震中东部30—60公里的越西、喜德至普格、宁南一带(图4)。

(5)1970年1月5日的通海7.7级地震发生在曲江断裂带上。震中区内有几处30℃左右的低温温泉出露,而在震中东部及南部50—70公里处(烈度为六一七度区)却大量出露60℃以上的中高温温泉和90℃以上的高温温泉(图5)。

(6)1976年5月29日龙陵7.3级和7.4级地震,发生在腾冲——瑞丽弧形断褶带向东弯曲最强烈地段。震中区内有温泉出露。但是在震中西北50—70公里的腾冲地区,地表地热活动极为强烈,大量出现喷气孔、沸泉、热泉、毒气孔及地下热河等,天然热流量达 $6.1 \times 10^4$ 大

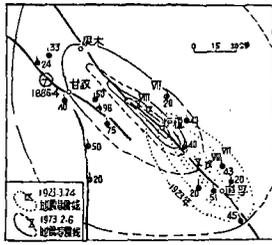


图 3 四川甘孜—炉霍地区温泉与强震震中分布图

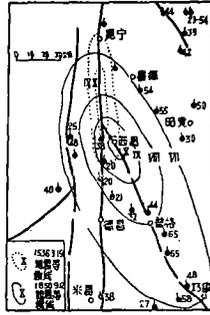


图 4 四川西昌地区温泉与强震等震线图

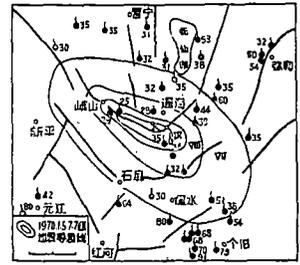


图 5 通海地区温泉分布与地震等震线图

卡/秒<sup>[2]</sup>。在震中东部的怒江东岸及施甸、永德一带也大量出露高温热泉。

参阅有关地震的等震线资料<sup>[8]</sup>，还可以看出：震中烈度大于十度的地震，温泉或地热异常“中心区”多处在 7—8 度区，震中烈度小于十度的地震，温泉密集“中心区”多处在 6—7 度区。显然，震源体并不与地热异常“中心区”重合，而是位于其边缘。

### 三、温泉分布和强震震中相关关系的讨论

温泉分布和震中位置在空间上的关系为此密切，是有深刻的地质背景和地球物理意义的。

地球通过地壳内部发生地震等构造运动和各种形式的放热活动，来调整其内部的能量分布，使总内能保持最小的能级状态。目前，大家普遍认为地球每年向外空排放的热能要比每年地震活动所释放的平均能量大 2—3 个数量级<sup>[4—5]</sup>。但地球内部能量的释放，在空间上和时间上都是不均匀的。温泉密集区往往是地热正常区，热流值一般要比地球平均热流值（1.5 微卡/秒·[厘米]<sup>2</sup>）高得多。说明地壳深处可能存在着近似熔融状态的物质或上地幔向上拱起，使地壳处于更不稳定状态，局部地段易发生显著差异运动、集中应力而发震。因此，从能量与孕震关系上看，温泉密集带和新构造运动强烈区、强震带基本上是一致的。

其次，从地质构造上看，活动断裂带往往是地下热水通向地表的主要通道。大量资料表明，南北带上水热活动强烈地段多是处在活动断裂带附近，尤其是处在几组断裂交汇部位或主干断裂的次级断裂上。而强震也往往发生在这些活动断裂的特定部位。因此在空间分布上，温泉密集带与强震震中在总体上是一致的。

第三，根据郭增健、秦宝燕等同志提出的震源组合模式<sup>[6]</sup>，我们认为：高温温泉密集中心的地壳内部较邻近地区温度高，岩石的塑性较大；而且，温泉出露部位往往裂隙发育，岩石也较破碎，强度不高，属于调整单元。在区域应力作用下，它不易积累巨大的应力，而是容易把应力传递给邻近温度较低、刚性强度较大的地段——积累单元，使相邻的断裂带上积累起强大应力而发震。因此，强震震中往往位于温泉密集中心的边缘或邻近地段。我们还

认为：大震震中附近的地热异常中心不仅起了调整单元的作用，而且其本身还可能产生热弹性应力附加于积累单元上，因为这种地区往往有深部物质上涌穿插，若上复岩层传热性能差，热流体的热能排除和散发不畅，将使局部岩层受热，温度越来越高，体积增大，上部地壳出现隆起，产生热应力场。此热应力的水平分量迭加到区域应力场上，加速了邻区积累单元的应力集中，利于大震孕育和发生。这些认识与某些研究结果是一致的，如与大地测量、大地电磁测深、地震波速比研究等提出的大地震常常发生在急剧隆起带的边缘或重力异常过渡带、地壳低阻层附近或波速异常区边缘〔7〕等结果是一致的。

#### 四、结 语

1. 南北地震带上温泉多出露在地壳差异运动强烈地段，在一定程度上反映了地壳深处的温度差异情况。温泉出露的空间分布与活动断裂带是一致的。根据温泉、特别是高温温泉出露情况和水热活动特征，大体上可判断一个区域的新构造活动强度。

2. 据统计分析，南北地震带上七级以上强震多发生在活动断裂带的某一特定部位上，而这一特定部位，一般处在中高温温泉密集中心外围30—60公里的边缘地带范围内。我们认为这与温泉密集中心区地壳深处的热应力源有关。中高温温泉密集中心区，是地热正异常明显区，其深部由于热扩张产生热弹性应力场，此应力自中心区（调整单元）向外围调整，并迭加到区域构造应力场上，使中心区边缘地段应力加速积累，直至发生强震。因此，上述分析结果可以做为预测未来强震危险区的参考标志。如果配合地形变测量，对温泉热水进行动态（包括温度、水压、流量）和化学组分（包括溶解气、水质、微量元素）长期观测可能对预报地震有较好效果。

3. 本文仅从现有温泉出露特点、空间分布与历史地震震中分布进行粗略的分析研究得出的初步认识。关于温泉密集“中心体”（地热正异常区）的大小和深处温度分布、以及温泉的演化、地热史与强震在时间上的相关分析等问题还有待进一步深入研究。

（本文1981年9月7日收到）

#### 参 考 文 献

- 〔1〕魏斯禹等，中国的地热学研究，地球物理学报，20，2，1979。
- 〔2〕腾冲地热资源联合调查组，云南省腾冲地区地热资源考察报告 1974。
- 〔3〕中国地震等烈度线图集，地震出版社，1979。
- 〔4〕傅承义，地球十讲，科学出版社，1976。
- 〔5〕P.J威利著（朱夏译）地球动力学，科学出版社，1978。
- 〔6〕郭增健、秦宝燕等，震源孕育模式的初步讨论，地球物理学报，16，2，1973。
- 〔7〕冯德益等，波速异常区时空特征的某些研究，西北地震学报，第1卷第1期，1979。

## DISTRIBUTION OF HOT SPRINGS AND THE GREAT EARTHQUAKES IN THE SOUTH-NORTH SEISMIC ZONE

Lin Sicheng Yan Xiancheng  
(*The Seismological Institute of Lanzhou*)

### Abstract

In this paper, the distributive regularity of more than 680 hot springs and the epicenters of 40 great earthquakes of magnitude  $\geq 7$ , the relation between hot springs of different origins and new tectonism in Shanxi, Gansu, Ningxia, Sichuan, Yunnan, are statistically discussed. It is found that the great earthquakes usually took place near or in the edge of a locality rich in hot springs.

The authors have preliminarily researched the causes closely related the epicenters to hot springs from the earth releasing energy, tectonic motion and the model of the formation of earthquakes. It is considered relative to thermal stress at depth because underground temperature of a locality rich in hot springs is higher, plasticity of rock is greater and rock is easier to break and it is a regulative unit under regional stress. And owing to the fact that local thermal stress proceeded from the difference of temperature at depth in horizontal direction adds up to regional stress, and tremendous stress is accumulated in the locality where the temperature of rock is lower and its intensity is greater (accumulate unit). Therefore, the great earthquake occurs.