

再论华南沿海温泉分布与地震活动关系

钟建强 詹文欢

(中国科学院南海海洋研究所)

P315.2

提要 华南沿海温泉和地震的关系是通过断层这一桥梁实现的, 它们中存在既相辅相成又互为消长的两个因素。初步提出衡量断层热震关系的 α' 值概念, 探讨温泉和地震之间可能存在的关系。

关键词 华南沿海 温泉 地震 热震关系 断层活动, 华南地区

断层活动是华南沿海产生地震和部分温泉的根本原因^[1-5, 7]。断层对温泉的形成具有

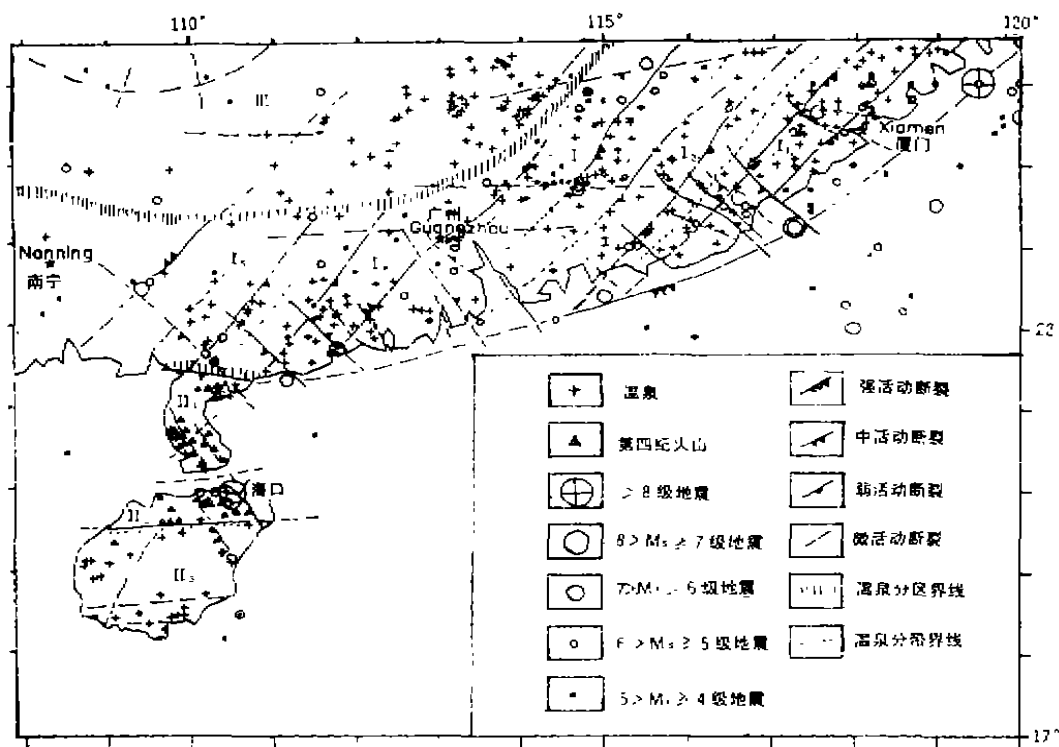


图 1. 华南沿海温泉与地震分布图

Fig. 1 Distribution of hot springs and earthquakes along South China Coast

I. 闽粤桂温泉区: I₁. 汕头—厦门温泉带, I₂. 莲花山温泉带, I₃. 河源温泉带, I₄. 阳江温泉带, I₅. 廉江—灵山温泉带; II. 雷琼温泉区, II₁. 雷州半岛温泉带, II₂. 琼北温泉带, II₃. 琼南温泉带; III. 南岭温泉区,

两方面的意义：一是作为热水运移通道，二是作为热源；断层对地震活动的控制作用非常明显。

断层活动时，断层面两侧的岩石由于磨擦而温度升高。假设温泉A, B, C, ……，N是由同一断层活动引起的，它们与断层面的距离为 $L_a, L_b, L_c, \dots, L_n$ ，其中， $L_a < L_b < L_c < \dots < L_n$ ，根据热运动原理，温泉泉温（T）将随着其位置远离断层面而逐渐降低，即 $T_a > T_b > T_c > \dots > T_n$ 。当 L_n 足够大时， T_n 将不受断层活动的影响，即泉温与断层活动无明显关系。

根据上述原理，得知温泉分布与主要活动断层存在较密切关系的有：汕头—厦门带、莲花山带、阳江带和河源带；廉江—灵山带和南岭区、雷琼区的温泉分布与已知的活动断层的关系不甚明显。而地震活动明显沿带分布的有汕头—厦门带、莲花山带、阳江带、河源带和廉江—灵山带。温泉带与地震带的展布基本一致（图1）。

二

断层活动时，其两盘作相对运动，剪切力为 σ ，移动距离为L，则断层所作的功P为

$$P = \sigma \cdot L \qquad \dots\dots (1)$$

热能和动能分别是功的一种形式，两者可以互相转化。由于某条断层在一定时期内的大地构造属性和物理化学特征是相对稳定的，因此，热能和动能的转化率 α （ $\alpha = E_{\text{动}}/E_{\text{热}} \cdot 100\%$ ）在该时期内也可看作是恒定的。断层活动的热动效应，是解决断层热震关系的关键。为讨论方便，可假设某断层在某时期内所产生的地震动能（ $E_{\text{震}}$ ）和温泉热能（ $E_{\text{泉}}$ ）之和 P' 是相对恒定的，定义地震动能和温泉热能的比率为

$$\alpha' = E_{\text{震}}/E_{\text{泉}} \cdot 100\% \qquad \dots\dots (2)$$

由（2）式可知， α' 值越高，断层以地震（突变）释放能量越多，其地震活动性越大，如汕头—厦门带、阳江带， α' 值越低，断层以温泉（蠕变）释放能量越多，其地震活动性越低，如莲花山带。通过对 α' 和温泉资料的统计，可估计断层未来地震活动的趋势，同样，也可由 α' 和地震活动来推测断层的热能（温泉）储量。现把华南沿海各带的 α' 值的初步统计值列于表1。

表1 华南沿海主要温泉—地震断层带 α' 值
Tab. 1 α' values of main hot-spring earthquake fault zones along South China Coast

温泉—地震断层带	历史地震记录以来地震能量（ $\times 10^{12}J$ ）	历史地震记录以来温泉能量（ $\times 10^{16}J$ ）*	α'
汕头—厦门	958.9	821.6	0.12
莲花山	21.0	126.9	0.02
河源	222.4	215.3	0.10
阳江	279.6	225.1	0.12

* 假设历史时期的温泉年平均带出能量与现代的相同。

断层活动使断面两侧的岩石由于磨擦而温度升高。随着温度升高,相继而来的是孔隙水压增高,从而提高了断层中的水压梯度,使地下水受热后沿断层通道向上和向两侧移动,同时把热量带走;水压增加,还使岩石的抗剪力减少而易于破裂,不利于积累巨大能量,导致小震频繁发生或出现较明显的宏观地质现象,如潮州归湖、丰顺汤坑、普宁流沙、海丰梅坑、广州等,它们都是温泉密布和3级以下或3级左右地震频繁发生的地方,形成温泉与小震共存和共长的现象^[7]。

华南沿海第四纪以来区域应力场方向以SEE向为主,在该应力场作用下,NW向断层以张或张剪性为主,利于温泉形成;NE向断层以压或压剪性为主,利于积累应力而孕育较强地震。由于区域深大断层多为NE向继承性断层,NW向断层规模较小(一般仅十几—几十千米),这就使得华南沿海主要活动带呈NE走向的条带。然而,强震(或中强地震)一般只能由活动性较强的区域深大断层形成,而这些断层大多是NE向压或压剪性断层,它们易积累巨大应力发生强震(或中强地震),但却由于断面受压闭锁而不利于温泉出露,形成强震(或强中地震)发生部位少有或没有温泉分布的“空白窗”现象,如阳江、河源、潮州、漳州等,而震中二、三十千米以外则常形成环形温泉群。值得一提的是,在今后寻找热水(或温泉)资源时,应着重注意与活动性较强的断层交切且活动性相对较低的张性断层靠近前者的段落。本区的温泉主要分布在NE向中、弱活动断层沿带,与NE向中、弱活动断层交切的NW向或近EW向张性弱、微活动断层上。对照温泉和地震的空间分布发现,同一断裂的不同段落,活动方式存在一定差异,其中一些段落表现为温泉分布,另外一些段落则表现为地震活动,如NW向下蓬断裂、榕江—丰顺断裂,地震与温泉空间上存在一定距离的现象是由于断裂不同段落局部拉张或挤压造成的(如图2)。

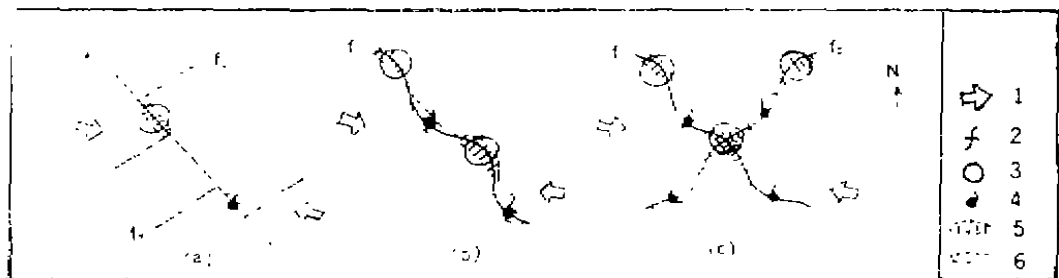


图2. NW向断裂与温泉和地震分布

Fig. 2 Distribution of hot springs and earthquakes along NW trending faults

2. 区域应力场方向; 2. 断层; 3. 地震; 4. 温泉; 5. 局部挤压; 6. 局部拉张。

需要指出的是,对华南沿海地热异常区和热流分布的认识还很肤浅。目前作为判断地热异常区的标志仍以温泉为主,而温泉的分布还受水文地质条件的控制,这就可能得出没有或少有温泉分布地区是低地热异常区或非地热异常区的结论。实际上,本区强震发生的部位常常也是高地热异常区的组成部分,由于震中附近少有或没有温泉而被误认为是低地热异常区

或非地热异常区。如历史上曾发生过强震的潮汕平原和泉州平原，由于第四系广泛覆盖其上，地表上难形成温泉出露，过去曾被认为是低地热异常区，现在通过钻探和地球物理等方法的研究发现，这些地区同样属高地热异常区。

另外，由 $E = C(T - T_0)qt$ （其中， C 为系数， T_0 为当地平均气温， t 为时间）可知，若断层活动的热量（ E ）恒定，则温泉泉温（ T ）与地下水补给量（相当于温泉流量 q ）成反比，因此，在地下水补给和循环条件好的地区，地热异常可能会变得平缓些，更甚者将出现非地热异常的假象。

四

温泉密集区或高地热异常区，地壳温度高，岩石处于非弹性状态，密度变小，并常有許多裂隙，因此，地震波在通过这个区域时其振幅衰减比正常的要快得多， P 波走时也比预期的慢。利用地震波振幅衰减较快和 P 波滞后的现象，我们可确定新的高地热异常区和为寻找热水田（或温泉）服务。

高地热异常区常与地壳减薄、莫氏面上拱及地幔物质上涌有关。高地热异常区的地壳深处可能存在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的差异运动和集中应力而发震，如汕头—厦门带地壳厚 28—30km，康氏面深 20—25km，断层切穿地壳，中地壳还存在一层埋深 13—14km，厚 3—4 km，速度 5.0—5.9km/sec 的低速层（该低速层目前仅发现于汕头—厦门带），它与上地幔物质上涌和迁移有关^[6]。由于这些特殊因素的存在造成有别于华南沿海其它地热带 的汕头—厦门高地热带。对该带潮州东山湖温泉泉水中 CO_2 碳稳定同位素分析表明，其 CO_2 源自上地幔^[5]。同时，该带又是华南沿海地震活动最强烈的地震带。

在温泉密集区，其地下可能存在较高的地热异常。这就使得岩石的脆性和塑性变形埋藏下限变浅，因此，在断裂切割深度相同的条件下，其地震震源深度下限也随之变小；也就是说，除断层切割深度和地壳结构外，地壳温度的高低将明显左右地震活动的深度下限。同样，震源深度下限也可作为地热异常高低的指标之一，震源深度下限越小，地热异常越高。华南沿海自西北向东南温泉密度增大、泉温升高，中、高温温泉比例上升的现象^[7]，似乎与该区震源深度同方向上反而增大相背，这一“矛盾”是由于把“震源深度下限”与“震源深度”两个概念相等同引起的。华南沿海地震活动主要发生在康氏面及其以上，断层切割深度（最大震源深度）由西北部的几千米逐渐加深到东南部的二、三十千米，断裂切割深度远未到脆性和塑性变形埋藏下限（震源深度下限），可能仅在汕头—厦门带及雷琼盆地等局部地区断层切割深度达到震源深度下限，目前已知的最大震源深度琼山和阳江为 15km，漳州、南澳和潮州为 18km，河源为 20km，江西龙南为 23km，海南岛南部为 33km。上述可能暗示了地幔物质上涌或地幔上拱引起的高地热异常区仅存在于华南沿海的有限地区，如汕头—厦门带、雷琼盆地。

李典常根据震级（ M ）—频度（ N ）关系—— $\log N = a - bM$ ，对美国西部地热异常区进行分析，认为高地热异常区存在 b 值升高的特征^[4]。利用这一震群特性，可对华南沿海各个震源区的 b 值进行分析，确定各个震源区的地热异常特征，探讨 b 值的热震效应含义，这将有助于温泉与地震关系的研究。

五

对温泉和地震的空间分布特征的研究表明,它们是断层体系中既相辅相成又互为消长的两个侧面。一方面,两者之间存在正相关关系,即中、高温温泉密集区地震活跃,温泉稀少区地震微弱;另一方面,温泉的过度集中反而降低了该地段的地震(尤其是强震)活动性^[7]。

假设两条各自独立的断层M和N,除活动性M较N强外,其它地质条件和物理化学特征均相同,由此,其热能—动能转化率 α 或 α' 是相同的。由于

$$E_{m震}/E_{m泉} = E_{n震}/E_{n泉} = \alpha',$$

而断层所做的功P有

$$P_m > P_n,$$

也即

$$P_{m'} > P_{n'},$$

因此

$$E_{m震} > E_{n震},$$

$$E_{m泉} > E_{n泉}.$$

也就是说,温泉和地震之间存在正相关关系。例如汕头—厦门带和阳江带,由表1可知其 α' 值是相近的。由于前者的构造活动性较后者的强,因此,温泉带出的能量和地震释放的能量前者均较后者大得多。

又设M和N的活动性相同。 P' 值也相等,由于

$$E_{m震} + E_{m泉} = E_{n震} + E_{n泉} = P',$$

$$E_{m泉} > E_{n泉},$$

因此

$$E_{m震} < E_{n震},$$

$$\alpha_{n'}' < \alpha_n'.$$

也就是说,温泉过度发育,也会降低该部位或该断层的地震活动性,断层以蠕滑为主,莲花山带就是这样的例证之一。

六

温泉既可诱发地震,也可降低地震活动的强度^[7],它们的相互作用统一于断层体系中。

在本区,产生强震的构造部位常常并非是非低地热异常区或非地热异常区,而是高地热异常区内相对低地热的地方^[7],如果地温反差增大,该部位的地震活动性可能会进一步增强。因此,在地震预防方面,应密切关注高地热异常区内地温反差较大的地震构造部位。而强震产生的地方,岩石裂隙较少,断层相对闭锁。因此,也就不利于地下热水的补给和运移而形成温泉,这可能是强震震中附近温泉稀少或没有温泉的又一原因。

温泉分布和地震活动的关系,是通过断层活动这个桥梁实现的。对这一问题的认识,将有助于了解华南沿海地震活动的地热背景和构造力源。对温泉和地震关系的探讨,还将为开发和利用地热资源以及减轻地震灾害提供理论依据。

在本文写作过程中, 承蒙周蒂博士和刘以宣研究员提出宝贵意见。由于笔者水平和资料所限, 有些结论目前仍属推测, 难免有不少缺点和错误, 乞望指正。

参 考 文 献

- 〔1〕范光禄等, 长乐—诏安断裂带热震关系的研究, 华南地震, 1982, 2 (2)。
- 〔2〕王春林, 华南地区温泉地震和活动性断裂关系的研究, 华南地震, 1982, 2 (4)。
- 〔3〕黄坤荣, 华南地区温泉热释放与地震关系, 华南地震, 1983, 3 (4)。
- 〔4〕李典常, 地热基础讲座, 国外地质, 1984, (3)。
- 〔5〕李运贵, 桑浦山断裂构造带活动性研究, 华南地震, 1987, 7 (1)。
- 〔6〕廖其林等, 福州—泉州—汕头地区地壳结构的爆炸地震研究, 地球物理学报, 1988, 31 (3)。
- 〔7〕钟建强等, 华南沿海温泉分布与地震活动关系初探, 华南地震, 1990, 10 (4)。

ANOTHER DISCUSSION ON THE RELATIONSHIPS BETWEEN THE DISTRIBUTION OF HOT SPRINGS AND SEISMICITY ALONG SOUTH CHINA COAST

Zhong Jianqiang and Zhan Wenhuan

(South China Sea Institute of Oceanology, Academia Sinica)

[Abstract] The relationships between hot springs and earthquakes along south China coast has been accomplished by the bridge of a fault. They have two factors of the fault system which not only complement but also contradict each other. The concept of α' which is the measurement of thermal and seismic relation is preliminarily proposed. And other possible relationships between hot springs and earthquakes are also discussed in this paper.

[Key words] South China coast; Hot spring; Earthquake; Thermal and seismic relations; Fault