

广西河池地区的地震活动及发 震机制的岩石实验解释

梁 芳

(广东省地震局)

摘 要

本文讨论了广西河池地区地震活动的时空分布、应力场“窗口”效应和小震级高烈度等特征,并利用岩石实验的某些结果对该区地震的发震机制作了一些定性解释。该区是一个两组断裂交汇的应力敏感区,地震是在低应力条件下在极不均匀介质中原有裂隙发生粘滑的结果,其特殊的地体环境不可能构成蕴育大震的条件,其地震活动不会对邻近的龙滩库坝区造成威胁。

一、引 言

广西河池地区是桂北的一个小震密集区,1973年底以来,曾陆续发生百余次小地震,它们大多分布在位于断裂交汇部位的河池—六圩一带,发震地点相当集中。这些地震虽然震级较小但却具有较高的烈度,从而引起了人们的关注^[1, 2]。由于该区邻近待建的红水河大型水电枢纽工程——龙滩水库,其地震活动对库坝区会产生何种影响也是人们所关心的问题。

本文探讨了该区地震的时空分布特征及其与构造的关系、应力场“窗口效应”等问题,并用某些岩石实验结果对发震机制进行了一些定性解释,同时对该区的地震危险性进行了估计。

二、地质构造背景

河池地区在大体构造位置上属桂北迭隆以南的桂林—河池拗陷,为加里东运动后期形成的沉积拗陷带。该地区广泛发育上古生界地层,底部为陆相至滨海相碎屑岩,其上部以碳酸岩建造为主。区域构造线方向以北东和北西向为主,其次为南北向,局部呈东西向。河池、宜山、柳州一线,因受基底构造控制发育有东西向褶皱,同时受北面桂北迭隆向南滑移的影响而形成向南突出的近东西向的弧形构造,倒转褶皱及断层发育。较大的断裂有都安—马山断裂、南丹—河池断裂以及河池至宜山、灵川等区域性断裂。

河池地区位于宜山东西向弧形构造西翼反射弧之西端,主要出露石炭系灰岩,为一岩溶

区。区内北东和近东西向两组断裂相互交错, 节理发育, 新构造运动表现强烈。

三、地震活动特点

1. 现代地震以小震居多

河池地区历史上仅记到过3级左右的地震2次, 即1875年 $3\frac{1}{2}$ 级和1898年 $3\frac{1}{2}$ 级地震。但其震中位置皆无法确定。1960年11月5日在河池县西南九圩公社发生了一次5级地震, 宏观震中为 $24^{\circ}.6N, 107^{\circ}.7E$, 震中烈度Ⅵ度, 河池、宜山、都安、柳江、柳城等县有震并有不同程度的破坏〔8〕。该次地震极震区长轴为北西向, 可能与九圩附近的北西向断裂活动有关。这是河池地区迄今为止记到的最大的一次中强震。

1973年以前该区未设地震台, 3级以下地震无法控制。1973年12月河池台开始记录, 至1986年底共记到小震144次, 其中 $M_L \leq 1.0$ 级地震88次, 占地震总数的60%, $M_L \geq 2.0$ 级地震仅有11次。1974—1987年发生的全部地震所释放的总能量为 253.92×10^{11} 焦耳, 相当于一次3.7级地震释放的能量。可见该区现代地震以小震居多。

2. 地震时空分布的成丛性

图1给出了河池地区地震随时间的分布。由图可见, 地震随时间的分布是不均匀的, 相对集中在两个时段, 即1974—1978年和1982—1986年, 其间相隔3年几乎没有地震发生。这两个时段中又以1974和1983年的地震频度最高, 分别达到31次, 而其它年份平均只有8次。由图1还可看到, 每一时段中的地震通常是成丛发生的。每“丛”地震往往对应着一个小序列。小序列中的“主震”一般都是2—3级的小地震。如1974年5—8月和1983年6月份的地震丛便分别对应两个独立的小序列。

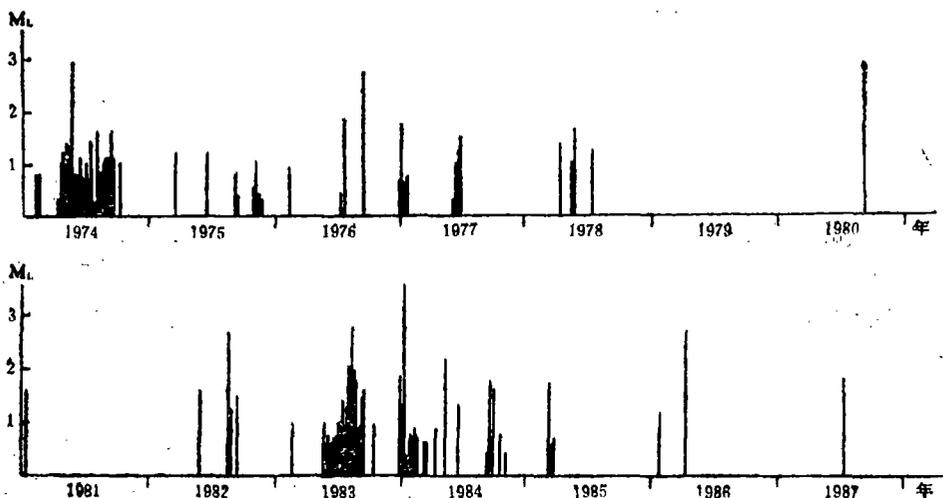


图1 河池地区地震时序图。

Fig. 1 The temporal series of earthquake in Hechi region

由于台网布局的限制，大部分微震不能被准确定位。但是，根据河池台 $\bar{S}-\bar{P}$ 值可以推知，这些地震大多分布在距该台15km范围内，绝大多数丛集于北东向和近东西向两组断裂的交汇部位。1974—1978年地震主要发生在六圩附近，外围有零星分布；1982年以后地震主要沿北东向断裂活动，显示了该断裂的近期活动性。图2为震中分布图。图中的影区即为根据河池台 $\bar{S}-\bar{P}$ 推测的小震密集区。

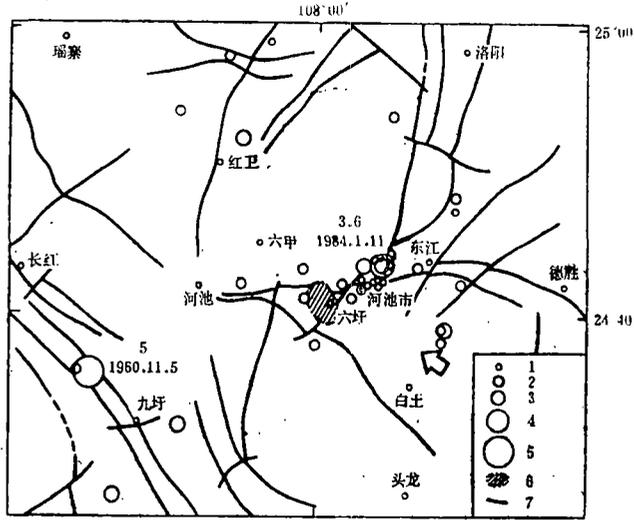


图2 河池地区构造与震中分布

- 1. $M_L=0.1-0.9$ 2. $M_L=1.0-1.9$ 3. $M_L=2.0-2.9$
- 4. $M_L=3.0-3.9$ 5. $M_L \geq 5$ 6. 小震密集区 7. 断裂

Fig. 2 Structure and epicentral distribution in Hechi region

3. 应力场“窗口”效应

一些小区域的频度较高的地震活动往往是较大区域内大震发生的前兆信息，这通常被称为应力场的“窗口”效应。邢台余震区和河南林县小震群即为典型例子〔4、5〕。

由河池地区 $M \geq 0.1$ 级地震的年频度图(图3)中可以看出，该地区1974和1983年的频度较高的地震活动皆与周围300km范围内的中强震有一定的对应关系。1974年5—9月，河池附近微震活动频繁，同年11月24日灵山丰塘发生 $M_s = 4.1$ 级地震；1983年6月河池地区微震频度增至27次/月，同年12月邻区天峨县龙鱼发生 $M_s = 4.8$ 级地震。其余频度低的年份周围地区无地震发生。因此，河池地区微震频度的变化似可作为一定区域范围内中强震的前兆信息，亦即具有某种“窗口效应”。这可能是由于该区恰好位于两组断裂的交汇处，特殊的构造部位对区域应力的微小变化甚为敏感。这种效应可能还与局部的介质条件以及区域构造应力的作用方式有关。

4. 小震级高烈度

河池地区地震的显著特点之一就是震级很小但却具有较高的烈度，一般0.5级(M_s)地震当地即有感，2.0级地震的震中烈度即可达到Ⅵ度，对地面和建筑物可造成较严重的破坏〔1、2〕。

一般认为，能够影响地表运动的因素有：震源机制特点，如断层运动的方向和幅度以及应力降大小；地震波传播路径，如岩石物性和分层情况；局部的地质条件，如土层和水成岩的物

性和层面方向等。若地基为表层和松软的冲积厚层则烈度高, 坚固地基则烈度低。可见烈度和地基情况关系极大。尤其是当入射地表层内的地震波重复反射, 使特定周期的波的相位互相重合加强而达到某一值时, 地基的振动则可变得特别大。地震波的周期又与波的种类、入射角及地基性质有关。当地震波入射到坚硬地基上, 其卓越周期很短, 在0.2秒以下; 若入射在松软地基上则周期越长。

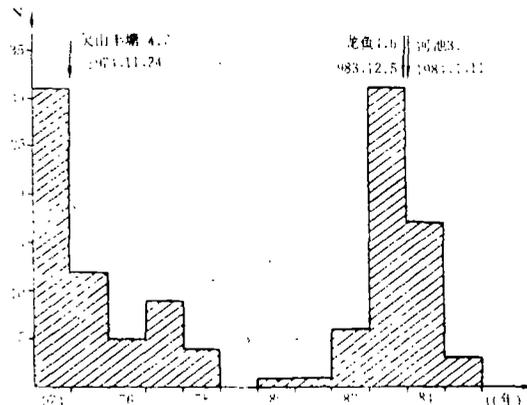


图3 河池地区地震频度图

Fig. 8 Seismic frequency in Hechi region

河池地区地震震级小但烈度高的原因是多方面的。主要可能和局部地质条件特别是与当地特殊的土层条件有关。该区建筑物一般建在第四系较厚的粘土层上, 地基不稳; 震区地下岩溶发育, 节理、裂隙纵横切割, 不均匀介质造成众多的反射界面导致入射波的重复反射; 周期相位重合加强了地面振动效应。再加之震源较浅, 一般为5 km左右, 地震波特别是剪切波的能量作用于地面, 使地面运动得以扩大从而大大提高了烈度。

四、发震机制的岩石实验解释

利用某些实验室的岩石力学实验结果, 可对河池地区上述地震活动特点和发震机制作一些定性解释。

实验室内对变形岩石样品声发射的测量结果表明, 岩样的声发射活动与天然地震活动性之间有许多可类比之处。在众所周知的茂木的著名实验中, 岩石变形时产生声发射的时间序列的明显差别与岩样的均匀程度密切相关。在很不均匀的岩样中, 声发射出现早且具群发形式, 相当于天然地震的震群型序列。河池地区的地壳介质品质因子 Q 值为23, 与用同一方法求得的相距110 km的龙滩水库区的 $Q = 360$ 相差一个数量级¹⁾。可见该区的地壳介质是极不均匀的。该区地震的群发性质亦可由此得到解释。

另外, 在对金属和岩石的实验中发现, 在对材料反复加载时, 当应力不超过以往所经历过的最高水平时, 没有或很少有声发射发生; 一旦应力超过以前材料经受过最大应力时, 声发射次数会显著增加。材料的这种对应力具有记忆的特性被称为声发射的凯撒(Kaiser)效应。图4给出了对房山花岗岩反复加载时的声发射记录⁶⁾。由图可见, 对新鲜岩石样品加载至 P_1 时, 岩样中产生了比较强烈的声发射, 且在这之前的加载过程中已记录到了许多

的声发射。但在第二次、第三次加载至峰值应力 P_2 和 P_3 时,声发射数目很少且几乎无任何“前震”性质的声发射出现。这一现象可以用来解释河池地区地震的时间分布特征。

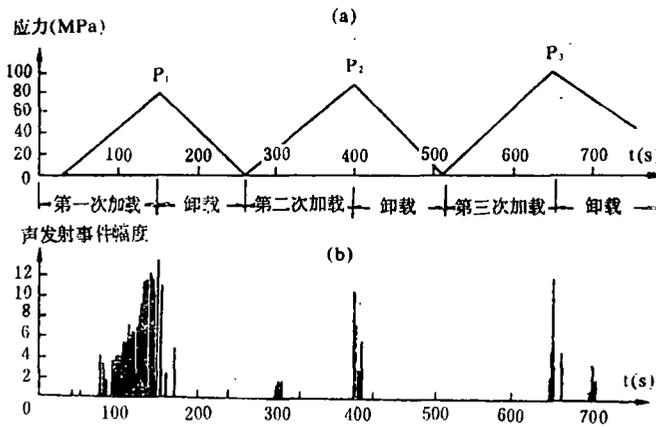


图4 对花岗岩反复加载时声发射事件随时间的分布(据于小红)

Fig. 4 AE event vs. time graph for one-axial repeated loading on granite sample

从河池地区的地震序列图中(图1)我们发现,在1974年5月7日2.9级地震小序列的“主震”前曾发生较多的“前震”,但在以后几次同量级地震前皆无“前震”发生,且“小序列”中的地震数目也显著减少。这一现象与岩石对应力具有记忆性的Kaiser效应相类似。另外,由图1还可看到,1983—1987年地震活动的时间分布又按前面的规律重复了一次,即1983年6月22日2.8级地震前后的微震很多,但其后几次小序列的主震前后微震数目却逐次减少。岩石声发射的实验研究表明,在较低的应力条件下,不同方向载荷作用下岩石的声发射Kaiser效应相互独立,各自记忆相应方向的应力历史〔7〕。上述不同时段的地震活动规律的重复性可能是由于岩石内部微破裂发展方向的独立性造成的。假设在上述两个不同时段内,震源应力场主压应力作用方向有了某些偏转,在不同方向的应力作用下,地壳岩石内部的微破裂可沿不同方向独立发展,即首先沿最易破裂的方向产生粘滑发生一系列小地震,继而另一方向破裂发生另一系列微震。1974—1978年的地震大多分布在六圩一带近东西向的断裂带附近;1982—1986年地震则主要沿北东向断裂活动,两个不同时段地震空间分布的差异亦证实了上述推论。

通常断裂带内应力的分布是不均匀的,交汇区附近的应力分布最为复杂。与最大主压应力方向对应的菱形交汇区夹角附近的剪应力最大,是易于破裂部位。实验研究表明,声发射数目的多少及时间分布又与不同的断层组合有关〔8〕。图5给出不同断层组合下主破裂前声发射总数与断层面和主压应力轴 σ_1 的夹角 θ 的关系。纵坐标表示声发射总数,横坐标为一组断层面与 σ_1 的夹角。曲线上的数字表示模型中另一组断层面与 σ_1 的夹角。由图可见, θ 为 30° 或 45° 的断层与任何方向断层组合时声发射数目较低,其中 θ 为 30° 或 45° 的断层与另一组 30° 或 0° 的断层组合时,声发射数目最低。而与 θ 为 90° 或 60° 断层组合时,声发射数目则很高。可见声发射数与断层组合有关。河池地区频繁的微震活动看来亦与该区的断层组合方向有关。

1) 陈益明,广西龙滩水库区天然地震震源机制、介质Q值与震源参数特征,1986。

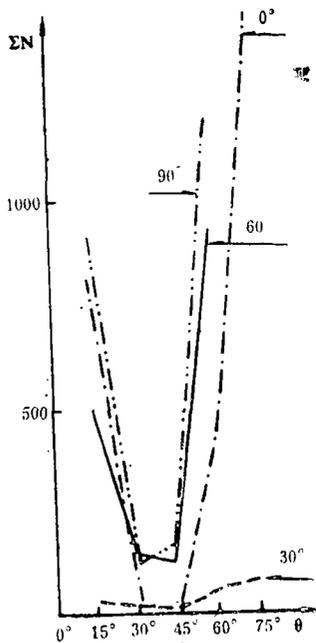


图5 不同断层组合下主破裂前声发射总数(据马瑾等)

Fig. 5 The total of acoustic emission at different fault combinations before the main fracturing

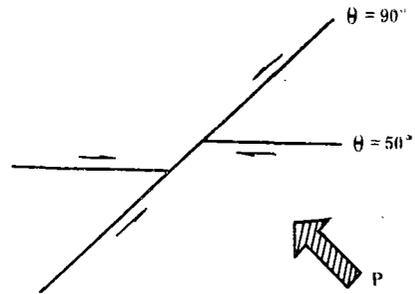


图6 构造组合与主压应力方向示意图

Fig. 6 Diagram of structural fault combinations and the direction of principal pressure stress

吴时平等根据广西及邻区29次地震震源机制结果得到主压应力优势方向为NW—NWW，P轴的极密等值线图显示出P轴的优势方位为 120° 〔9〕，林纪曾等曾得到桂东南地区的主压应力方向为 $N30^{\circ}W$ 〔2〕。因此，广西地区的区域应力场总体方向应为NW—SE向，大约为 130° 。1984年1月11日河池3.6级地震的震源机制解P轴方向为 132° 〔1〕，也和区域主压应力方向一致。河池地区位于两组断层的交汇处，一组走向大致为 40° ，另一组走向约为 80° 。两组断层与区域主压应力方向的夹角分别为 90° 和 50° 。图6给出了该区构造组合与主压应力方向关系的示意图。这样的断层组合是有利于声发射数目的提高的。这也许是该区小震频繁发生的原因。由图1可知，绝大部分地震沿断层交汇处的两个楔形区分布，表明该处的剪应力最大。在区域应力作用下，地壳岩石中微破裂面上不断发生一系列间歇的不稳定摩擦滑动——粘滑，从而引起了成丛小震的发生。

五、结 语

河池地区是一个两组断层交汇、岩溶发育、地壳介质十分破碎的地区，对区域应力场的变化非常敏感。在较低的区域构造应力作用下，不稳岩体中的原有裂隙发生间歇性的粘滑而引发了成丛的地震。由于局部土层及地基条件的影响，该区地震具有小震级高烈度的特点。该区受断裂规模过小、介质过于破碎等特定的地体条件的限制，基本上不具备蕴育强震的地质构造条件。加之现代区域构造应力场在本区的作用较弱，故不致发生较大的破坏性地震，亦不会对相距110km的龙滩水库大坝造成威胁。但是，由于本区小地震往往具有较高的

2) 林纪曾等：琼北地区的震源应力场研究报告，1985。

烈度,对当地的建筑物和设施可造成一定程度的破坏,应予以足够重视,采取必要的抗震措施。

(本文1988年1月6日收到)

参 考 文 献

- [1] 郑明生等,河池市3.0级地震宏观烈度及震前动物异常,华南地震,Vol. 5, No. 2, 1985.
- [2] 廖建裕,罕见的小震级高烈度的地震,华南地震,Vol. 7, No. 3, 1987.
- [3] 广西地震志,广西人民出版社,1982.
- [4] 姜秀娥等,邢台震群的应力场“窗口”效应,地震, No. 2, 1981.
- [5] 王泽皋等,林县小震群,地震, No. 2, 1981.
- [6] 于小红等,声发射的凯撒效应及其在震害学中的应用,地震地磁观测与研究, Vol. 5, No. 2, 1984.
- [7] 方亚如,岩石声发射Kaiser效应的方向独立性,地震地磁观测与研究, Vol. 7, No. 2, 1986.
- [8] 马瑾等,断层交汇区附近的变形特点与声发射特点的实验研究,地震学报, Vol. 5, No. 2, 1983.
- [9] 吴时平等,广西地震活动性研究,华南地震, Vol. 7, No. 1, 1987.

A INTERPRETATION ON THE SEISMICITY AND MECHANISM OF EARTHQUAKE OCCURRED IN HECHI REGION, GUANGXI USING THE RESULTS OF ROCK EXPERIMENT

Liang Lao

(Seismological Bureau of Guangdong Province)

Abstract

In this paper, we have discussed the temporal-spatial distribution of seismicity, "window effect" of stress field and the feature for small in magnitude but high in intensity in Hechi region, Guangxi. A qualitative interpretation for the mechanism of earthquakes occurred in this region has been done using some results of rock experiment.

The region is situated in two intersecting faults and it is sensitive to stress. The research result shows that the seismicity attributed to stick slip of existing fracture under low stress in very inhomogeneous medium. Special geological setting can not compose a condition preparing great earthquakes and the seismicity can not constitute a threat to Longtan reservoir region nearby.