

中国东南地区强震活动的对偶现象

谢 广 林

(国家地震局地震研究所)

摘 要

中国东南地区, 强震($M \geq 4$ 级)往往在一个断裂带中呈对偶活动, 它们和构造形状中的斜方式和单斜式的对称性一样, 反映了应力作用和地壳运动的对称性, 但由于影响发震过程的有关因素的差异, 对偶的两次地震的震级差为0—1级, 间隔时间为几个月至近百年, 震中间距为15—300公里, 而这些参数又与本区的具体条件密切相关。自公元1500—1977年期间, 本区强震的对偶活动占所发生强震次数的61%, 它具有一定的普遍性, 因此在地震预报中具有一定的参考价值。

一、资料的选取

自公元1500年以后, 中国东南地区才有比较多的强震资料, 各地震带也先后进入新的地震活动周期。因此, 确定1500年为所取资料的下限, 并以1976年国家地震局出版的《中国地震震中分布图》为准, 补充有关省(区)的地震目录, 使上限截止于1977年底。

强震震级定为 $M_s \geq 4\frac{1}{2}$ 级。虽然有些5级左右的地震与4—4 $\frac{1}{2}$ 级地震配套对偶, 但为数甚少, 不影响本文的主要观点。大震后在原震中区发生的强余震不予统计, 只统计其主震。水库地震, 因属于诱发地震类型, 也排除在外。

本文讨论的区域范围包括河南省南半部、安徽、江苏、湖北、湖南、广西、广东、江西、福建、浙江、上海等十一个省、市、自治区。台湾省是一个地壳运动强烈区, 地震频度高, 震级大, 推测对偶地震的参数与其它省(区)差异太大, 故未统计。黄海、东海、南海等海域中的强震, 因发震构造不清楚, 难以配套对偶, 也未予统计。

自公元1500年至1977年, 统计区内共发生强震124次, 其中76次地震分成38对, 分别出现在一些断裂带中(表1), 明显地表现出对偶活动。这种对偶活动的出现率, 占本区强震次数的61%, 说明对它们的研究具有一定的意义。

二、强震对偶活动的基本条件与参数

强震活动的对偶现象, 不是指任意两次地震的配套, 而是两次地震应该在同一构造条件

东南地区 1500—1977 年的对偶地震

表 1

省(区、市)	对 偶 地 震	控 制 对 偶 的 构 造
广 西	①封开(广东)—阳朔, ②临桂—灵川, ③北流—武宣, ④灵山—平山圩—灵山石塘, ⑤田林—平果。	①梧州—昭平断裂带, ②桂林断裂, ③武宣—北流断裂带, ④东兴—灵山断裂, ⑤右江断裂带。
广 东	①廉江—廉江西北, ②高鹤—南海, ③饶平北—揭阳, ④海丰—永定(福建), ⑤澄海—漳州(福建), ⑥汕头—安溪(福建), ⑦顺德南—澳门。	①蒲北—湛江断裂*, ②南海—高鹤断裂, ③陆丰—潮安断裂, ④政和—海丰断裂带, ⑤、⑥汕头—南断裂, ⑦澳门—四会断裂。
湖 南	①益阳—岳阳, ②会同一—泸溪, ③湘乡南—湘乡。	①益阳—岳阳断裂, ②辰溪—怀化断裂带, ③湘乡断裂。
湖 北	①天门东—沔阳, ②黄冈总路咀—黄冈城东, ③黔江北(四川)—咸丰黄金洞, ④麻城城关—麻城北, ⑤保康—远安马良坪。	①郎君—脉旺断裂*, ②巴河断裂, ③咸丰—黔江断裂带, ④麻仁—团风断裂带, ⑤保康—远安断裂带。
河 南	①郾陵—张潘, ②潢川—光山。	①尉氏—许昌断裂*, ②潢川—光山断裂*
安 徽	①无为—扬州(江苏), ②霍山—霍山东北, ③五河—定远南, ④九江(江西)—安庆殷家汇, ⑤霍山—六安东。	①长江断裂带, ②霍山断裂* ③庐庐断裂带, ④长江断裂带, ⑤霍山断裂*。
江 苏	①盱眙—盐城, ②镇江—溧阳	①盱眙—建湖断裂带, ②茅山断裂带。
浙 江	①松江(上海)—海盐, ②富阳—海宁。	①松江—海盐断裂, ②杭州—桐庐断裂带。
江 西	①瑞金—宁化, ②寻乌—会昌南, ③石城—寻乌东北。	①、②、③河源—邵武断裂带。
福 建	①诏安—惠安西南, ②武平—长汀, ③南澳(广东)—泉州东海中, ④泉州东南—莆田。	①长乐—诏安断裂带, ②河源—邵武断裂带, ③福建近岸海域断裂带, ④长乐—诏安断裂带。

(注: 有*者为卫星照片判读断裂)

控制之下。本区强震对偶的构造条件大致有下列三种型式:

1. 同一条断裂中两次地震的对偶活动, 如广西桂林断裂的临桂与灵川地震(图1), 湖南湘乡断裂的湘乡南4 $\frac{1}{2}$ 级和湘乡城关5级地震等。有些断裂, 如广东北东向的潮安—陆丰断裂, 虽被一系列北北西向断裂所错开, 但仍控制饶平北与揭阳地震的对偶活动。本区同一条断裂所控制的对偶地震共22对, 约占对偶总数的60%。

2. 同一断裂中主干与分支断裂所发生的对偶地震共10对, 以福建近岸海域断裂带所控制的1600年广东南澳7级大震和1604年福建泉州海外8级大震的对偶最典型(图2)。据研究^[1], 近岸海域断裂带由两条平行断裂所组成。它们大致在水深25米和40米等深线附近, 在其途经的岛屿上可见到它们的构造岩。以40米等深线附近的断裂规模最大, 为本带的主干断裂, 并控制着泉州8级大震。而与其平行的25米等深线附近的断裂, 则是南澳1600年7级大震和1918年7 $\frac{1}{2}$ 级大震的孕震构造。

3. 同一断裂带中雁列式断裂所控制的对偶地震, 如咸丰—黔江断裂带所发生的两次地震(图3), 梧州—昭平断裂带所发生的封开5级地震(广东)和阳朔4 $\frac{1}{2}$ 级地震(广西)等, 共六对。

显然, 上述38对地震中每一对都有一定的控震构造。每对地震都在同一断裂带中遥相呼应。即是说, 两次地震必须具备构造成因联系, 彼此才可以配套对偶。

本区对偶的两次地震发震构造部位, 往往具有一定的相似性, 其中两次地震都发生在隆起区或沉降区的断裂交汇处的有12对, 受断陷盆地控制的9对, 发生在断裂端点的1对。虽然尚有16对的发震部位有所差异, 一般一次地震发生在隆起区的断裂交汇处, 另一次发生在断陷盆地或沉降区中, 但都与断裂的交汇点有关。总起来说, 38对地震绝大多数发生在北东至北东向断裂与北西或北北西向断裂的交汇处, 少数出现在与近东西向断裂的交汇处。因

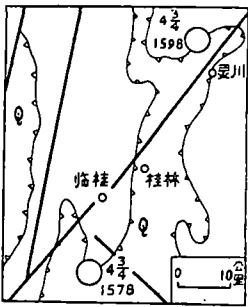


图1 桂林断裂的对偶地震

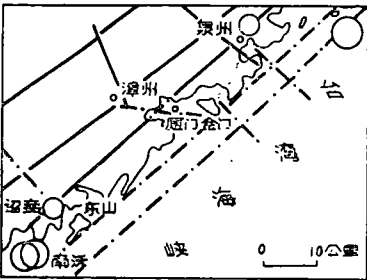


图2 福建近岸海域断裂带的对偶地震

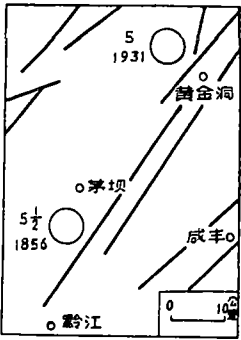


图3 黔江断裂带的对偶地震

此，除了对偶地震的控震构造之外，与其交汇的其它断裂在发震过程中也具有重要的作用。

但是，对偶的两次地震并不重复发生在同一地点，而是具有一定的间距。本区对偶地震震中相距最小者15公里，而以南澳和泉州两次大震的震中相距最大，达到285公里。从表2可以看出，两个震中相距100公里以内者最多，共计24对，其它间距也有一定比例，说明在一定距离内，对偶地震的间距主要与断裂带的规模和有利的发展震构造部位相关。

表3说明，对偶的两次地震间隔时间一般较长，其中最长者达89年（1562年江西瑞金5级地震和1651年福建宁化5½级地震），而以3—30年者最多。

东南地区38对对偶地震的

震 中 间 距

表 2

震中间距	15— 50公里	51— 100公里	101— 200公里	201— 300公里
对 偶 数	13	11	9	5
百 分 比	34%	29%	24%	13%

东南地区38对对偶地震的

间 隔 时 间

表 3

两次地震 间隔时间	几个月 — 2年	8— 30年	31— 60年	61— 90年
对 偶 数	6	17	10	5
百 分 比	16%	45%	26%	13%

公元1500年以来，本区各地震带一般可分二至三个地震活动期，因此在配套对偶时，规定两次地震都要在同一地震活动期中，否则不能配套。例如浙江1574年庆元5½级地震和1866年景宁5级地震，虽然都发生在政和一海丰断裂带中，而且相距仅65公里，但由于它们处在不同的地震活动周期，所以将其排除在外。一般说来，在同一个地震活动周期中，一条断裂带的某一地段，往往出现一对对偶地震。虽然个别断裂带出现两对以上，但没有在某一地段重复出现，而是转移到另一地段或是在另外的分支断裂上。如河源—郡武断裂带中，1520年和1535年对偶的两次地震受其分支—武平断裂和长汀断裂所控制，而1562年和1651年对偶的两次地震则转移到瑞金—宁化地段。即是说，当一条断裂带某一地段出现一对对偶地震以后，将有一个较长的稳定时期，一般要到新的地震活动周期时，才可能在原地段重复出现另一对对偶地震。

本区对偶地震的震级差大者为1级，而相差0至0.1级者占37%（表4）。另一方面，震级差与对偶的间隔时间和震中相距无关。例如在14对震级差为0—0.1级的地震中，两次地震的间隔时间从几个月至77年，震中相距24公里至234公里（表5）各有差异，虽然这三

者并不存在比例关系，但是分析了对偶地震的震级差以后，便可用来预测未来对偶地震的震级。

东南地区38对对偶地震的

震级差

表4

震级差	0级 (包括0.1级)	$\frac{1}{4}$ 级	$\frac{1}{2}$ 级	$\frac{3}{4}$ 级	1级
对偶数	14	10	4	2	8
百分比	37%	26%	11%	5%	21%

14对0—0.1级震级差的间隔

时间与震中间距

表5

间隔时间	几个月—2年	8—30年	31—60年	61—90年
对偶数	8	6	8	2
震中间距	15—50公里	51—100公里	101—200公里	201—300公里
对偶数	5	4	2	8

三、对偶原因的初步讨论

地震和构造形状一样，都与应力和地壳运动密切相关，也是应力和地壳运动的一种表现形式。而构造形状的对称性是一种常见现象，不论是劈理、节理、线理，或是褶曲和断裂等都可以见到。例如平行直立的褶曲系统具斜方对称性，两条互相交叉的雁列式张裂隙带也呈斜方对称，但一条雁列式张裂隙带则是属于单斜对称构造。在一个理想的造山带中，其中心的对称性大致是斜方式的，边缘则变为单斜式的（图4），而这个造山带则是应力和地壳运动作用于岩层的结果，所以G·威尔逊〔2〕和M·P·毕令斯〔3〕等认为，构造形状的对称性反映了应力和地壳运动的对称性，构造对称与地壳运动的对称是可以直接对比的。因此，作为应力释放与地壳运动的一种表现形式的地震，也可能存在着对称性活动，如本区强震活动的对偶现象就是例证。

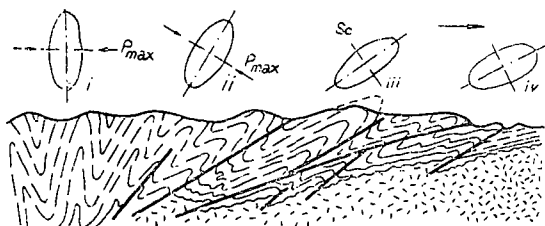


图4 理想造山带中的斜方对称构造
与单斜对称构造

控制本区地震对偶活动的断裂以北北东和北东两组断裂为主，共计32对，另有6对为北西和北北西断裂所控制。这四组断裂在第四纪时期基本上在南东东至近东西向的主压应力作用之下〔4〕，主压应力方向在广东、福建为120°左右，到苏北偏转为90°—100°。卫星照片上这些断裂的影象标志、两侧的地貌形态和水系变形等表明，北东向断裂呈右旋扭动，北北西向断裂呈左旋扭动，而北北

东向和北西向断裂因局部应力场的变化和边界条件的影响，有的呈左旋，有的呈右旋。但是这些断裂的两盘即有相对平移，又有垂直错动，相当于力偶作用于断层面而发生的旋转，所以属于单斜式对称活动。单斜对称只有一个对称面，它与压扭性断裂的滑动方向斜交，对称面两侧的应力作用大致相当，因此对偶地震的震级差别不大。

典型构造的光弹实验表明，剪性裂纹在单轴压缩下，同一裂纹的类似部位，如端点、拐点、交汇点等，各点的应力集中程度大体相近〔5〕。即是说在相同的应力作用过程中，同一断裂的类似构造部位所发生的地震的震级可能相差不大。但是，由于岩石性质、有效压力、断裂摩擦系数、温度和水的作用等差异，以致影响断裂的粘滑和发震过程〔6〕，并使有些对偶地震的震级差达到1级。

一般地说,对偶的两次地震的间隔时间,与应力作用的强度和地壳运动的速度密切相关。当应力作用较强和地壳运动加剧的速度较快时,间隔时间较短,反之则较长。但是在同一区域应力场控制下,各断裂对偶地震的间隔时间并不一致。因为这还与各断裂的活动速率等有关,它们大体上也成正比关系。

但是,在一条断裂带中并不一定同时出现两个应力集中地段。有些地段断裂的摩擦系数比较大,阻止了断裂以蠕动形式来释放应变能。因此,这一地段首先成为闭锁段,应力在此集中并积累到足以克服摩擦阻力时,便以突然滑动和产生地震的形式来释放应变能,从而产生了与其对偶的另一次地震。

对偶地震间隔时间的长短还与各地的具体条件密切相关。本区对偶地震间隔时间之所以比较长,似乎与下列几点有关:

1. 本区新构造运动的强度不大,在沉降区(包括盆地),第四系沉积厚度一般在100—200米,只有局部地区超过300米。在隆起区,早更新世阶地的相对高度一般也在200米之内。若以新第三纪末期的剥夷面起算,新构造运动的上升幅度约300米左右(部分地区达500米),说明本区地壳运动的强度和速率都不大。这是对偶地震间隔时间比较长的一个基本因素。

2. 地应力作用的时间有长有短^[7],并与地壳运动的速率相适应。从上面的讨论可看出,当本区的地壳从相对稳定转入到加剧运动时,地应力作用仍属于一个长时间的增加过程,增加的强度不大,以致应变积累的速度较慢,地震频度不高,震级不大,对偶的两次地震的间隔时间也较长。

3. 控制本区对偶地震的活动断裂,第四纪时期的垂直断距一般为数十米至百余米(福建近岸海域断裂的断距可能较大),卫星照片所反映的两盘水平扭动量多数在1—2公里以内,它们与华北、西北、西南的强烈活动断裂相比,往往不及其活动断距的一半。这说明断裂的活动强度和速率都不大,所以积累一个强震能量的时间必然较长,因此对偶地震的间隔时间也较长。

4. 本区的构造岩往往将断裂两盘固结在一起,使它们表现为整体性运动。因此要使其重新破裂和错动,若应力作用不强,则需要较长时期的应力作用过程。而在弱应力作用下,岩面会随着时间的延长,继续不断地发生弹性形变,并远远超过快速强应力作用所发生的形变程度还不至于破裂^[8],从而延长了对偶地震的间隔时间。

5. 有些断裂的活动虽然比较显著,但本区的降水量和地表水比较丰富,多年平均年降水量在1000—2000毫米以上,致使有的断层面或破碎带完全为水所充满,这时断层面上的摩擦力就比无水时小^[9],断裂容易滑动,并以稳定的蠕滑形式来释放能量。但是当水流入新发育的裂隙时,它的润滑作用则加速岩石的破裂错动过程和产生地震。就是说,当一条充满水的断裂的某一地段产生一次强震以后,全断裂可能进入稳定的蠕滑过程,只有经过长期的应力作用,并在另一地段积累应变能和产生新裂隙时,才可能发生一次新地震与其对偶。

综上所述,在单斜式和斜方式对称构造中,尽管对称面两侧的作用力大致相当,但由于各种因素的影响,对偶地震的震级不一定等同,间隔时间也有长有短。因此必须结合当地的地壳运动、应力作用、断裂活动特征等因素进行分析,才可能较确切地提出对偶地震的基本参数。

(本文1980年6月20日收到)

参 考 文 献

- [1] 王耀东等, 福建东南部近岸海域断裂与地震, 西北地震学报, Vol. 1, №. 3, 1979.
- [2] Gilbert Wilson, The Tectonic Significance of Small Scale Structures, and Their Importance to the Geologist in the Field, Ann. Soc. Geologique de Belgique, June, 1961.
- [3] M.P. 毕令斯, 构造地质学, 地质出版社, 张炳熹等译, 1973.
- [4] 邓起东等, 中国构造应力场特征及其与板块运动的关系, 地震地质, Vol. 1, №. 1, 1979.
- [5] 潘秋叶等, 典型构造的光弹实验, 地震战线, №. 3, 1979.
- [6] 张文佑等, 初论断裂的形成和发展及其与地震的关系, 地质学报, №. 1, 1975.
- [7] 李四光, 谈地震地质问题, 地震地质, 科学出版社, 1973.
- [8] 李四光, 探讨岩石力学性质和各种类型的构造体系应力活动方式, 地质力学概论, 科学出版社, 1973.
- [9] 郭增建等, 水在震源地方的作用, 震源物理, 地震出版社, 1979.

**A DUAL PHENOMENON OF STRONG SHOCK ACTION
IN SOUTHEAST CHINA**

Xie Guang-lin

(*Institute of Seismology, State Seismological Bureau*)

Abstract

In Southeast China, strong shocks ($M \geq 4\frac{3}{4}$) often present dual activities along a fault zone. Along with the symmetric feature of rhombic and monoclinial types in geological structure, it reflects the symmetric feature of tectonic stress and crust movement. Because of the difference of some factors which affects the process of earthquake occurring, the difference between magnitudes of the two earthquakes in pairs reaches 0-1 M, the interval is from several months to near hundred years, and the distance of epicenters is 15-300km. These parameters are closely related to the regional concrete conditions.

The strong shocks occurred in pairs make up 61 per cent of the total strong shocks in this region, during 1500—1977, it indicates that it has rather an universal feature that the earthquakes often occur in pairs. Therefore, the discovery is useful for earthquake prediction.