

试论海丰震群的某些特点

魏柏林 薛佳谋 章林之 吴贤吉·

(广东省地震局)

1981年1月,广东省海丰梅陇一带发生一系列小震群,至今仍未停止,但已处于衰减过程。统计1981年1—5月,共发生小震1800次,其中 $M_L \geq 1.0$ 为477次, $M_L \geq 2.0$ 为15次,最大震 $M_L = 4.2$,震源深度3—7.5公里,平均深度5公里。它以明显的三个特点区别于其他小震群:(一)震级小,社会影响大;(二)烈度偏高;(三)P波初动有八种类型,相对较大的地震前后无甚变化。

一、震级小,社会影响大

广东省海丰县是一个人口密集、具有许多侨眷侨属及港澳同胞亲友居住的滨海地方。小震,可能造成大的社会效应,这次海丰震群就是一个明显的例证。

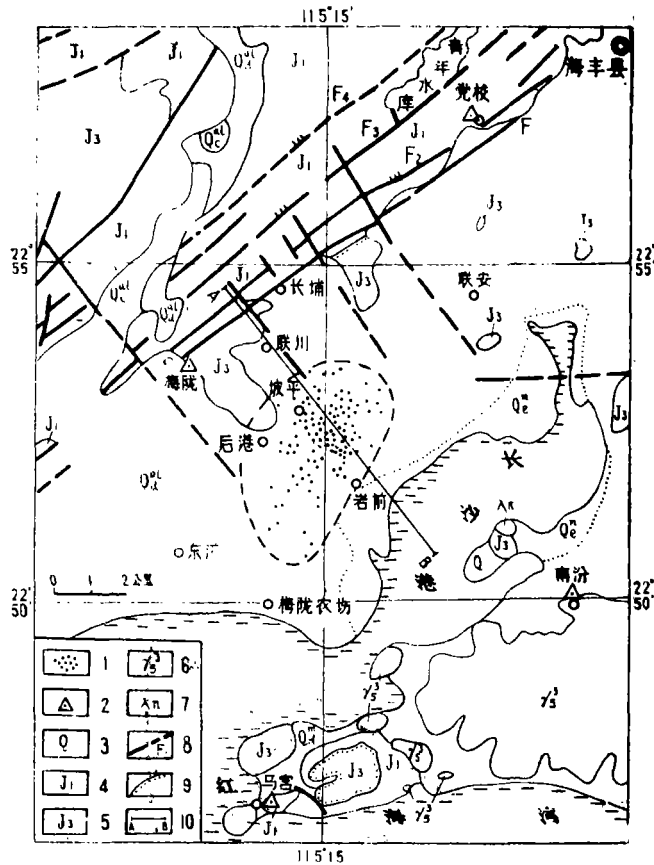
1981年1月份以来,海丰梅陇地区小震活动日趋频繁,2月21日梅陇地震台竟记录到130次小震,有感地震也不断增加。2月26日2时发生一次 $M_L 3.3$ 级地震,海丰县城强烈有感,房屋摇动,屋瓦作响,许多熟睡者梦中震醒,甚至不少人惊逃户外,这是近几年未曾发生过的强有感地震。2月27日,我们在海丰县城周围架设起三台DSL-1地震仪。经过一段时期的监视,依梅陇台及三个流动台资料,定出震中在梅陇东南方向3—5公里联安公社坡平一带,震源深度3—7.5公里,多数集中在5公里左右,小震分布范围 5×8 平方公里。根据震源线,震源体小,且又发生在较破碎的介质-砂页岩中,又没有其它宏观、微观异常的出现,因此,判断这次地震是一个小震群,不是大震前震,近期内不会发生大于 $5^{1/2}$ 级以上的地震。尽管我们作了一次无强震的预报,也向当地政府和群众作了宣传解释,但在当时谣言四起,以讹传讹的情况下,仍制止不住群众的外流,更有甚者是3月30日上午10时至下午2时左右,汕尾镇东风、新丰、新虾、前进等4个中海渔业大队先后有197条渔船、乘载着男女老幼6365人,以防地震为名、离开汕尾港,分别开赴香港、惠东、平海及马宫、后门等渔港,其中驶靠香港的船只有106条、4099人。以至于香港大公报、文汇报和星岛日报等对此都纷纷加以报导,号称“百五渔船挟地震之谣扬帆而来,海陆丰五千人闯大庙湾”,“误信将有地震谣传,海陆丰三千渔民乘船来港(避震)”,“广东省地震局到海丰调查证实无大规模地震先兆”……。这一震惊中外的事件发生后,港英当局及香港天文台曾先后来电询问我局及国家地震局分析预报中心,我们一致认为海丰地震属小震群,近期内无大震。我们亦通过报纸、电台、电视向当地及外流群众作宣传解释,在现场的同志一方面严密监视震情,一方面配合当地政府向群众宣传地震知识,如实报导近期无大震的科学依据,在当地党政部门的积极努力下,很快使外流的渔民先后返回,安定了人心,恢复了农渔业生产。即使在4月9日发生一次较大的 $M_L 4.2$ 级地震,也未造成任何影响,群众情绪仍较稳定。这样一小震,造成了如此大的影响甚属罕见,这和特定的环境是分不开的。

二、震级小,烈度偏高

海丰震群发生在华南地洼区东南部,位于以莲花山断裂为Ⅱ级构造单元界线的浙粤地穹系和闽浙

*参加海丰地震调查的还有:林纪曾、姚梅尹、王振才、王正尚、谢明富、刘昌谋、秦乃岗等

地洼系的交界线上,且属于后者的海丰地洼中。震区的地壳结构仅出露地洼构造层,它是由10—50米第四系砂砾、粉砂、粘土和5000—6000米厚下侏罗统砂页岩及中上侏罗统火山岩组成,震区东南有花岗岩侵入(图1),并有许多小型岩脉贯入。该套岩层经燕山运动强烈的褶皱断裂,支离破碎。而从震源深度在5公里左右来看,震群就发生在这套较破碎的砂页岩中,这也正如茂木清夫所指出的那样:在较破碎的岩石介质中易产生震群。



圆形,长轴NE向,长约18.8公里,短轴NW向,长约8公里(图2)。

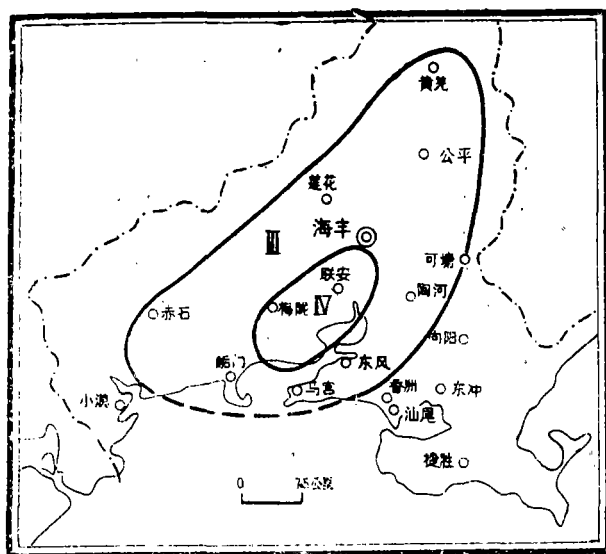


图2 海丰县1981年2月26日3.3级地震等烈度线图

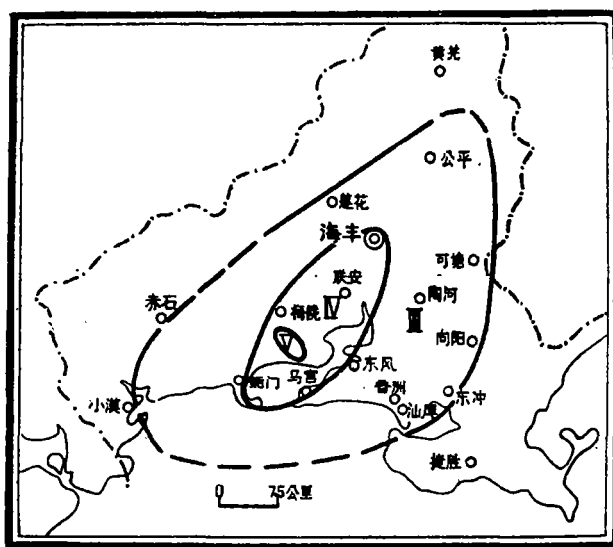


图3 海丰县1981年8月14日3.4级地震等烈度线图

Ⅲ度区范围较大,北到黄羌,南至汕尾,东达赤坑,西抵赤石,形态亦为椭圆,长轴NE向约56.3公里,短轴NW向约25.5公里(图2)。

(二) 8月14日3.4级地震的烈度分布(图3)

这次地震于8月14日21时34分发生在梅陇农场附近,震中烈度达V度。

V度区:范围较小,在月池、仓兜和梅陇农场一带,普遍感到剧烈震动,屋瓦作响,并听到两次地声,而且产生一些地裂缝及结构物的轻微损坏。如:梅陇公社梅尖大队老田寮村罗宅两层楼房女儿墙柱上部相对下部发生右旋扭裂,前墙及内墙均产生裂缝。月池大队港尾村产生地裂,裂缝沿原来的

田畦分布,方向近东西向,长8.5米,宽5—9厘米,可见深度1.05米。在梅陇仓兜徐展奇家的泥土地面,原有老裂缝扩大。梅陇农场卫生院东墙被拉开、最宽处达5—6厘米。V度区形态亦呈椭圆状,长轴NW向约4.5公里,短轴NE向宽约2.3公里(图3)。

IV度区:普遍感到剧烈震动,床屋摇动,屋瓦作响,睡者惊醒,酒瓶碰撞,桌上桔子滚落落地,渔船摇晃,放在桌上的碗中骰子也在跳动。其范围北到海丰城,南至后门、马官、东至东风。长轴NE约27.8公里,短轴NW约11.3公里(图8)。

III度区:仅部分人有感。其范围北至公平以北,南至汕尾,东至可塘以东,西达赤石附近。长轴NE向约57公里,短轴NW向约30公里(图3)。

(三) 4月9日4.2级地震烈度分布图(图4)

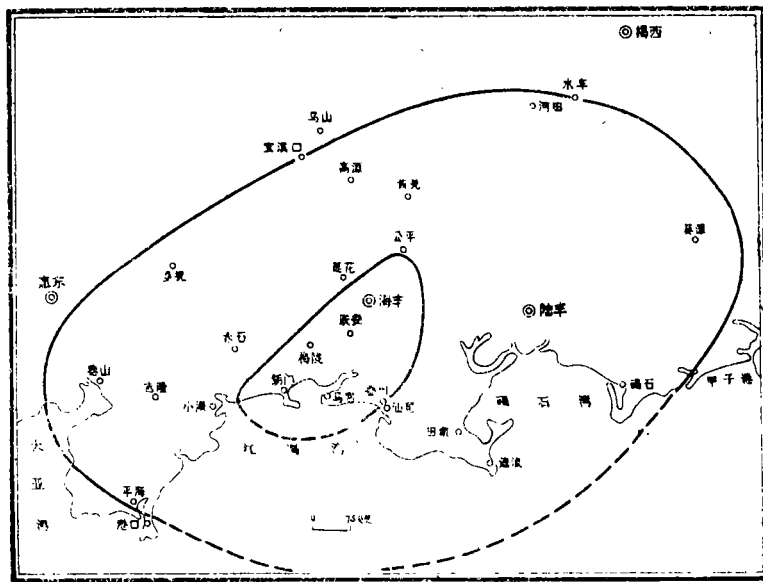


图4 海丰县1981年4月9日4.2级地震等烈度线图

4月9日9时03分,在梅陇东南坡平一带发生 $M_L 4.2$ 级地震。它是这次震群中最大的一次地震。震中最高烈度为V度,等震线呈椭圆形,长轴NE-SW向,长短轴长度之比约为2:1(图4)。

V度区:包括梅陇农场场部、大温分场和联安公社坡平大队南侧。农场场部室内办公者明显感到上下震动,梅尖大队场员吴忠宏家厅、屋地面、原宽5—6厘米的裂缝加宽至7—8厘米;竹符大队,农场场部及大温分场的菜地,旧缝加宽,或产生约5~6厘米的新裂缝。农场卫生院外墙附加的临时宿舍,两墙交接处于3月14日地震已裂开,这次又再次加宽,卫生院晒菜的地上原有裂缝加宽约1厘米左右。位于大温至坡平间的一加工厂,石板门框受震歪斜,门只能半开。联安坡平大队的室内绝大多数人有感,并听到地声自南来,门窗和室内木隔板均见明显震动。长轴NE约5.2公里,短轴NW约3.8公里(图3)。这次地震波及面较大,远至香港尚有个别人在室内有感。

综观三次地震的烈度分布,可以找到它和构造介质有一定的联系:

(1) 2月26日和4月9日地震烈度线虽不对称椭圆状,长轴NE、短轴NW。NE-SW向衰减较NW-SE向慢,这和本区主干断裂海丰-梅陇断裂走向有关;烈度线衰减在NW-SE方向亦不对称,以海丰-梅陇断裂为界,NW衰减较快,SE衰减较慢;这又可能和海丰-梅陇断裂向SE倾斜有关。

(2) 3月14日3.4级地震V度区的长轴为NW向,这可能与海丰-梅陇断裂的共轭断裂有关。这次地震产生多处地裂、墙壁裂缝及女儿墙砖柱扭裂等烈度偏高现象,再经4月9日4.2级地震时,裂缝

又有加大。这样小的地震，产生了超过新中国烈度表的V度破坏，个别地方可达Ⅷ度，究其原因，可能与这一带围海造田，地基松软有关。据该处打井资料：底部原为4米海沙，上为20米粘土，再上又为60厘米海沙，顶部有8米软泥。由这种沙和粘土交互成层的松软地基，容易引起烈度偏高。

三、八个P波初动组合类型

近年来，国内外有不少文献报导震源应力轴取向问题，甚至提出大震前由P波初动的紊乱而趋向一致时，将发生大震，并以此作为大震前的短临前兆指标。

我们利用全省台网记录较清晰的P波初动符号对2月26日 $M_L 3.3$ ，3月14日 $M_L 3.4$ 和4月9日 $M_L 4.2$ 作了震源机制解（见表1和图5、6、7），它们的机制解都类似，反映构造应力场较稳定。同时，对 $M_L \geq 1.0$ 级的地震的P波初动亦进行了统计：（1）若以单台统计，P波初动一致性大大增加，如梅陇台统计结果“—”号为总数的84%；（2）以4个台的P波初动组合来看，则一致性降低，共

表 1

发震日期	震中位置		震级 (M_L)	深度 (公里)	节 面 I			节 面 II			P 轴		T 轴		N 轴	
	ϕ	λ			走向	倾向	倾角	走向	倾向	倾角	方位	仰角	方位	仰角	方位	仰角
1981.2.6	22.9	115.3	3.3	5.7	324	SW	70	43	SE	65	92	8	185	32	357	57
1981.3.14	22.9	115.3	3.4	5.6	324	SW	78	51	SE	75	92	8	185	19.5	0	71
1981.4.9	22.9	115.3	4.2	5.8	322	SW	70	49	SE	67	91	2	183	30	358	59

有八个类型，I类仅占62%。另外，以 $M_L 4.2$ 为界统计其I类地震的前后变化，仅有2%的差别，看来是相当稳定的。现将八个类型分别简述如下：

I类：这种机制解数量最多，占统计的62%，它和三次较大地震机制解基本一致。P波初动呈明显四象限分布，P轴近于E-W向，倾角很小，接近水平，两个节面为NW和NE向，属走滑型（表2，

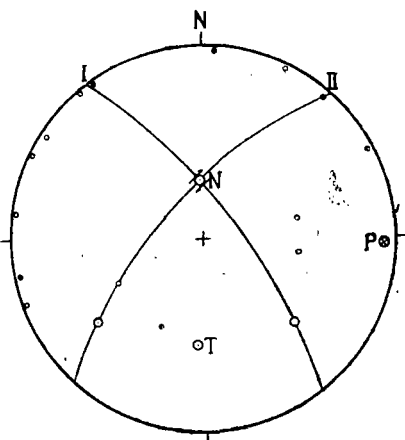


图5 1981年2月26日海丰 $M_L 3.3$ 级地震断层面解
黑点示P波初动向上，空圈示P波初动向下，
(震源上半球投影)

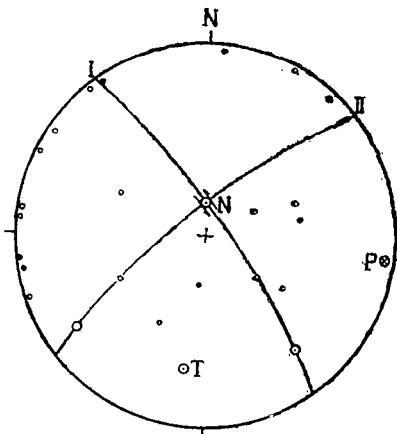


图6 1981年3月14日海丰 $M_L 3.4$ 级地震断层面解

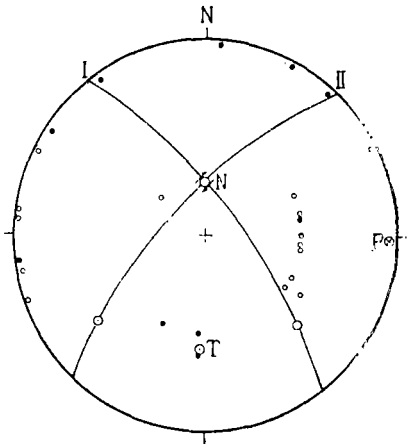
图 8—1)

Ⅱ类：这类地震数量次之，占统计总量18%。它的P轴为NE66°，节面Ⅰ走向291°，节面Ⅱ走向21°，P波初动亦成四象限分布，亦属走滑型。但整个参数相对三次较大地震的机制解的参数左旋了40°（表2，图8—2）。

Ⅲ类：发生这类地震仅有9次，占总数6.6%。P波初动“+”、“-”号偏于一边，P轴比较陡立，T轴方位与NE向断裂走向接近一致，属正断层倾滑型（表2、图8—3）。

Ⅳ类：这类地震较少，仅发生2次，作出机制解误差较大，但可大致看出P波初动“+”、“-”号分布的趋向各偏一边，两个节面走向大致与NE向主干断裂走向接近平行。P轴相对三次较大地震右旋了30多度。属逆断层倾滑型（表2，图8—4）。

V类：这类地震发生8次，占总数5.8%，P波初动“+”、“-”号呈四象限分布，作出迭加综合机制解的各

图 7 1981年4月9日海丰M_L4.2级地震断层面解

海丰小震综合迭加机制解

表 2

类 型	节 面 Ⅰ			节 面 Ⅱ			P		T		N	
	走 向	倾 向	倾 角	走 向	倾 向	倾 角	方 位	仰 角	方 位	仰 角	方 位	仰 角
I	330	SW	60	58	SE	78	104	2	195	16	9	74
II	291	NE	75	21	NW	87	66	8	335	12	188	75
III	314	SW	65	314	NE	25	223	70	43	20	314	0
IV	35	NW	80	35	SE	10	125	35	305	55	35	0
V	2	NW	70	89	SE	78	317	6	224	12	60	66
VI	303	SW	65	39	NW	77	263	26	169	8	65	62
VII	45	NW	80	45	SE	10	315	55	135	35	45	0
VIII	310	SW	80	310	NE	20	40	25	220	70	310	0

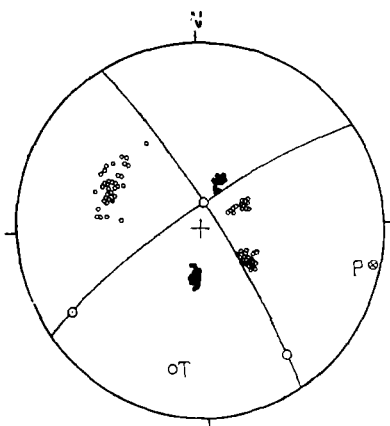


图 8—1 海丰震群Ⅰ类综合机制解：黑点示P波初动向上，空圈示P波初动向下（震源上半球投影）

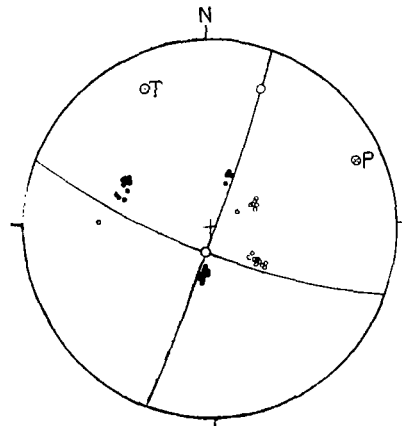


图 8—2 Ⅱ类

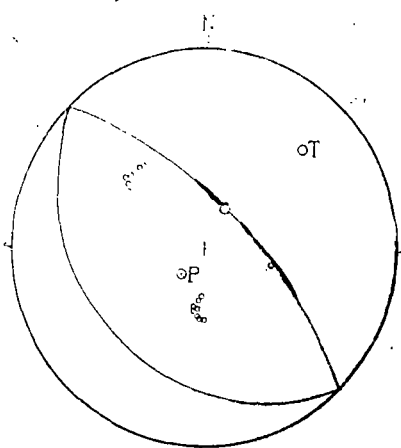


图 8-3 III类

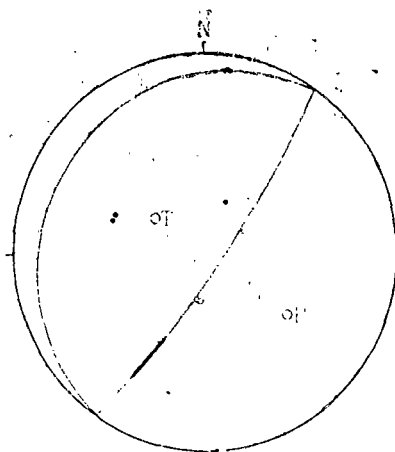


图 8-4 IV类

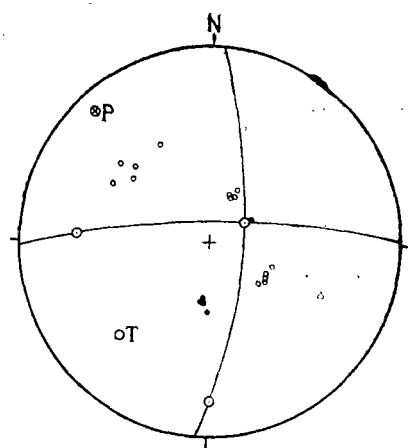


图 8-5 V类

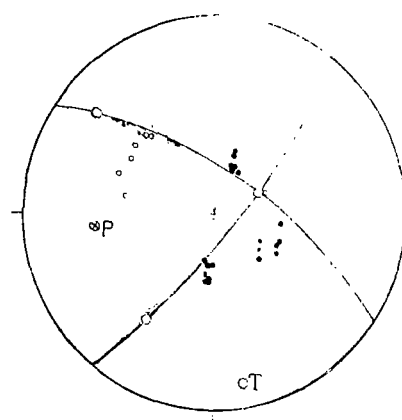


图 8-6 VI类

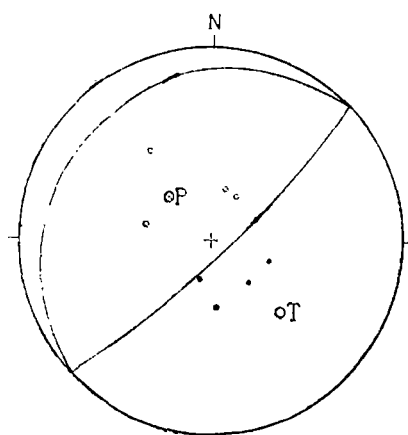


图 8-7 VII类

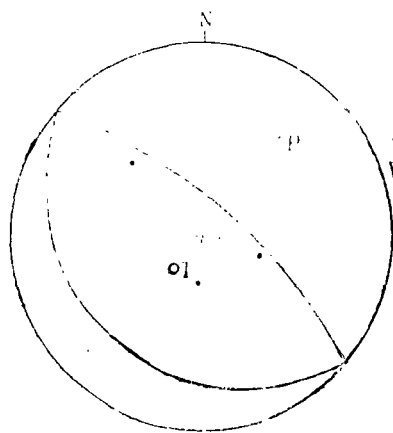


图 8-8 VIII类

参数相对三次较大地震右旋了近 45° ，T轴与NE向断裂走向接近平行，属走滑型（表2，图8—5）。

Ⅵ类：这类地震亦发生过7次，占总数的5.1%。P波初动呈四象限分布，其机制解的节线与**I类**的相似，只是各参数略有一些变化，应属**I类**的过度类型（表2，图8—6）。

Ⅶ类：为数甚少，仅发生过2次。P波初动“+”、“-”号各偏于一边，虽然迭加机制解有一定误差，但可看出一个大致趋势，属正断层倾滑型（表2，图8—7）。

Ⅷ类：仅发生1次，虽然P波初动“+”、“-”号各偏一边，但和**Ⅲ类**、**Ⅳ类**、**Ⅴ类**都不一样，所作机制解虽然误差较大，但可看出一个大致趋向，应属逆断层倾滑型（表2，图8—8）。

这八类地震它们之间有些什么成因关系呢？显然**I类**（包括三次较大地震）和**Ⅶ类**地震是由于岩块沿着NE向和NW向断裂作相对粘滑作用的结果，尤如图9所示，发生在 S_2 岩块互相错动部位（A、B部位）。其它六类地震的震源机制解则是沿着NE或NW断裂滑动过程中，滑动岩块（ S_2 ）对其前、后邻接岩块产生平行于滑动方向的压应力（前方邻接岩块）或张应力（后方邻接岩块）的转换应力场所引起的剪切破裂。

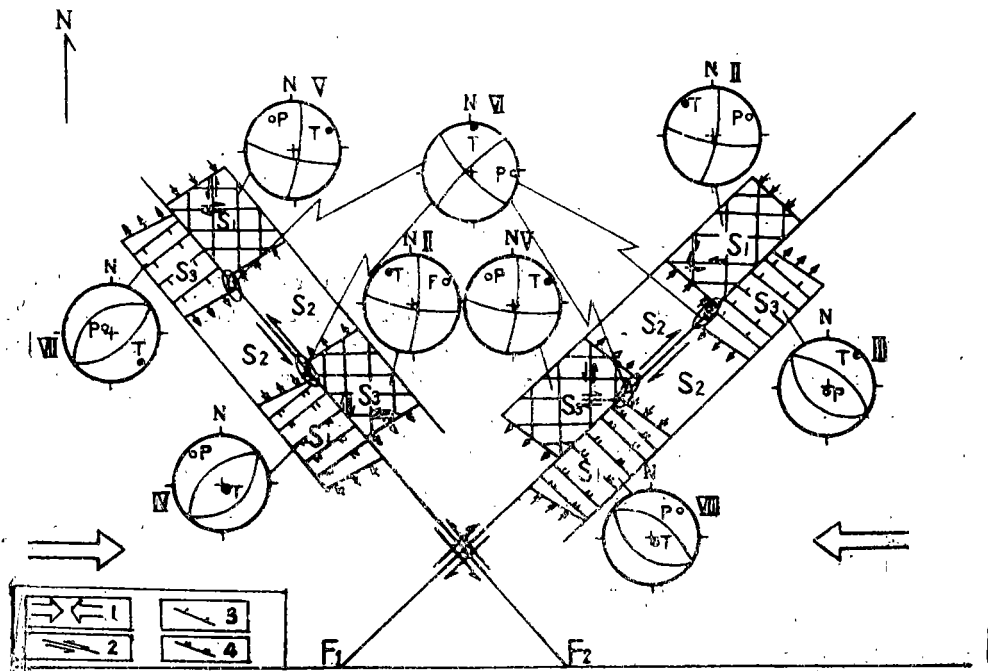


图9 粘滑及转换应力场所引起剪切破裂的各种类型机制图解

F_1 海丰—梅陇断裂， F_2 与 F_1 共轭的NW向断裂， $S_1S_2S_3$ 同图10；1.区域构造应力场主压应力轴图，2.平推断裂，3.正断裂，4.逆断裂

如图9、10所示，滑动岩块（ S_2 ）在沿着老断裂（ F_1 或 F_2 ）继续滑动过程中，对前方邻接岩块（ S_1 ）的挤压不断加大，同时，对后方邻接岩块（ S_3 ）的引张也不断加大，其必然结果在 S_1 岩块挤压区和 S_3 岩块引张区产生一个不同于区域构造应力作用方式，我们把它称之为转换应力场（其主压、主张、中间应力轴分别用 f_1 、 f_2 、 f_3 来表示）。在 S_1 岩块中主压应力轴（ f_1 ）平行 S_2 岩块滑动方向且与构造应力场主压应力轴P约成 45° 交角，而中间应力轴（ f_2 ）与主张应力轴（ f_3 ）则在垂直 f_1 的面内呈 $0^\circ-180^\circ$ 的变化（图10—1），同理在 S_3 岩块中，其转换应力场 f_3 平行 S_2 岩块运动方向且与P轴成 45° 交角，而 f_2 与 f_1 则在垂直 f_3 面内呈 $0^\circ-180^\circ$ 变化（图10—2）。由于这种转换应力场在 S_1 和 S_3

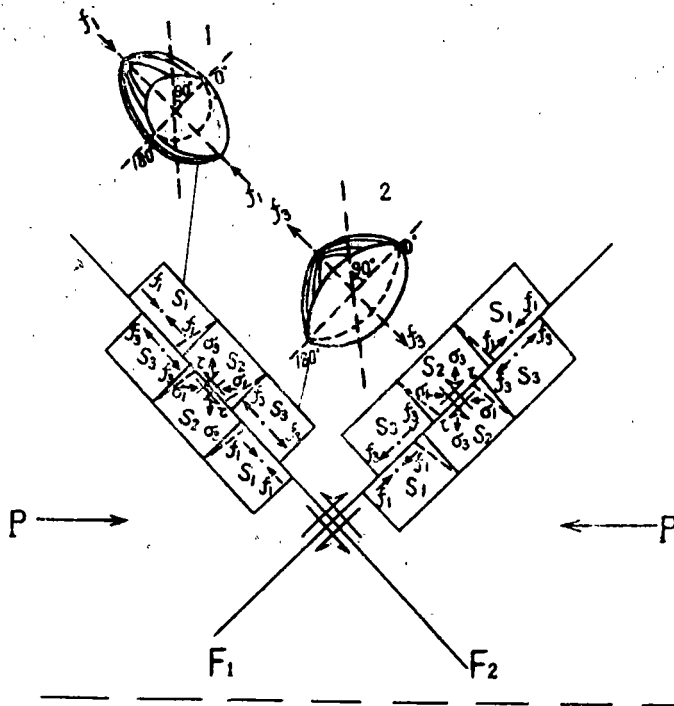


图10 滑动岩块沿老断裂滑动所产生的转换应力场示意图 $F_1 F_2$ 老断层, P 构造应力场主压应力方向; S_2 滑动岩块, S_1 、 S_3 前后方邻接岩块; $\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3, \tau$ 为 S_2 中的主压, 中间、主张、剪切应力; f_1, f_2 为 S_1 、 S_3 中主压、主张应力; 1 示 S_2 中 f_1 平行 S_2 滑动方向, f_2, f_3 在垂直 f_1 面内呈 $0^\circ \sim 180^\circ$ 变化; 2 示 S_2 中 f_2 平行 S_2 滑动方向 f_1, f_3 在垂直 f_2 面内呈 $0^\circ \sim 180^\circ$ 变化。

岩块中重新分布, 其内部不同平面上产生了正应力 f_n 和剪应力 t , 可表示为:

$$f_n = \frac{f_1 + f_3}{2} + \frac{f_1 - f_3}{2} \cos 2\alpha$$

$$t = \frac{f_1 - f_3}{2} \sin 2\alpha$$

当 $\alpha = 45^\circ$ 时, 则剪应力 t 最大, 因此, 产生了与转换应力场 f_1, f_3 成 45° 交角的共轭剪切破裂面。上述六类地震就是沿着新剪切面发生的。

按 f_2 与 NE 向断裂或 (NW 向断裂) 的关系再分两种情况:

(1) f_2 近于铅直且与 NE 向 (或 NW 向) 断裂面接近平行, 这时, 转换应力场所引起的剪切破裂面与 NE 向 (或 NW 向) 断裂面约呈 45° 左右交角 (图 9), 产生走滑型地震。如在 NE 向断裂的 S_1 岩块中产生 II 类地震, 所有震源参数相对粘滑产生的三次较大地震及 I、VI 类地震左旋了近 45° (图 9)。在 S_3 岩块中则产生 V 类地震, 相对粘滑产生的地震右旋了近 45° (图 9)。若发生在 NW 向断裂中, 则 S_2 产生 II 类, S_1 产生 V 类 (图 9)。

(2) f_2 近于水平且与 NE (或 NW) 向断裂接近正交, 这时由转换应力场所产生的地震为倾滑型 (图 9)。沿 NE 向断裂, 在 S_1 岩块中, 因 f_1 平行 S_2 岩块滑动方向, 显然产生 IV 类地震 (图 9), 即逆倾滑型。其 P 轴相对粘滑所产生的地震机制解的 P 轴左旋近 45° ; 在 S_3 岩块中, 因 f_3 平行 S_2 岩块滑动方向, 则产生 III 类地震 (图 9) 即正倾滑型。其 T 轴相对粘滑型的 T 轴右旋近 45° 。在 NW 向断裂中则在 S_1 岩块产生 IV 类地震 (图 9), 即逆倾滑型, 其 P 轴相对粘滑型 P 轴右旋了近 45° ; 而在 S_3 岩块则

产生Ⅵ类地震（图9）即正倾滑型，其T轴相对粘滑型T轴左旋近 45° 。

综上所述，三次较大地震和Ⅰ、Ⅵ类是岩块粘滑的结果，其震源机制解三个主应力轴向与构造应力场基本一致；其他六类则是转换应力场所引起的剪切破裂，它们的主应力轴向与构造应力场不一致，但有成因的联系。

四、结 语

从海丰震群的P波初动符号的统计到目前震群发展的趋势表明，小震的P波初动一致性或具有优势方向，并不一定是大震的前兆信息，在地震序列中相对大震的前后P波初动取向不一定有很大差别，它也可以是比较稳定的。在P波初动的组合类型中只有Ⅰ、Ⅵ类和三次较大地震机制解类似，是沿NE或NW向断裂粘滑作用的结果，其他六类则是转换应力场所引起的剪切破裂，后者是引起P波初动不一致的根本原因。

参考文献从略