

沙湾小震活动特征

詹士高

(新疆维吾尔自治区地震局)

新疆沙湾地区从一九七五年十二月二十五日至一九七六年四月底,发生小震群。一九七六年元月小震活动达最高峰,其后逐步缓慢衰减,至四月中、下旬基本趋向稳定。在近四个月的时间内,共发生小震1000多次,其中 $M_s \geq 0.8$ 级的地震785次。一天中最高可记录到 $M_s \geq 0.8$ 级的地震69次。整个序列中最大震级为3.6级。根据能量 $E = 10^{11.8+1.5M}$ (尔格) 计算,整个序列共释放能量 8.7521×10^{17} 尔格,约相当一次4.1级地震。

$M_s \geq 0.8$ 级地震频次震级统计表

表 1

t	N	M_s				合 计
		0.8—1.0	1.1—2.0	2.1—3.0	3.1—3.6	
75.12.25—31		7	57	12		76
76.1.1—31		21	151	30	6	208
2.1—29		43	248	15	1	307
3.1—31		24	113	12		149
4.1—17		8	40	2		45
75.12.25—76.4.17		98	609	71	7	785

能量释放统计表

表 2

时间	释放能量(尔格)	占总释放百分比
75.12.25—31	3.474×10^{16}	3.97%
76.1.1—31	6.1050×10^{17}	69.75%
2.1—29	1.7654×10^{17}	20.17%
3.1—31	3.943×10^{16}	4.51%
4.1—17	1.400×10^{16}	1.60%
75.12.25—76.4.17	8.7521×10^{17}	

一、地震地质概况与近期地壳垂直形变特征

沙湾小震活动发生于天山北缘一套中、新生代地层复式褶皱前沿与准噶尔地块相衔接的边缘地带,位处1906年玛纳斯8级大震极震区的边缘外侧。玛纳斯大震后七十多年中,附近还没有发生过强烈的破坏性地震。小震活动区南侧为区域内主干断裂—霍尔果斯断裂呈东西展布,再往南约30多公里,是与玛纳斯8级大震发生有关的准噶尔南缘大断裂(清水河断裂);震区西侧有第四纪新断裂露头点分布,其断层时代,大致相当于全新世早期。此外,附近还

依据物探资料确定的隐伏断裂存在。总之，沙湾及其邻近地区地质构造是比较复杂的，新构造运动也比较强烈。但从目前所掌握的资料来看，还找不出这次小震活动与震区具体某一断裂有确切的联系。

根据震区东南侧卡子湾流动水准测量资料，自一九七一年以来，按相邻两测点之间观察，每年每公里垂直形变幅度在0.00—0.45mm间变化，与天山北缘其它流动水准测线比较，属垂直形变量变化较小的地区。形变曲线没有显示趋势性变化和显著加速现象。从跨越霍尔果斯断裂的两个测点来看，断层两盘位移量也很小（图1.2.3）。本区形变最大量值

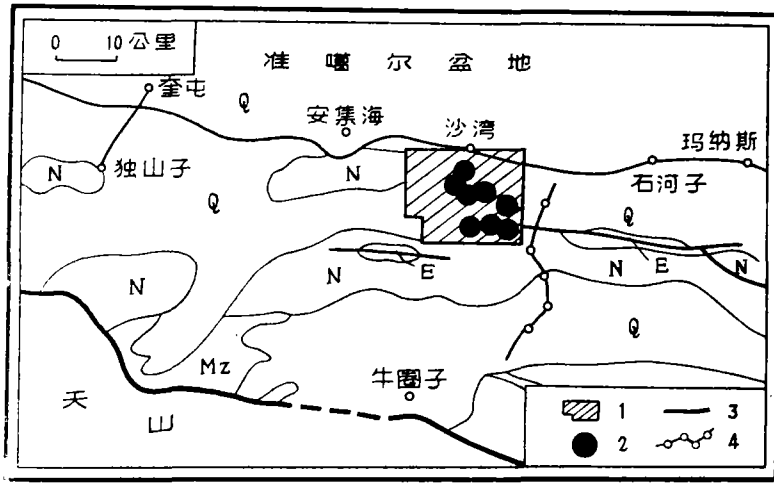


图1 沙湾小震活动地质地理位置图

1. 小震活动分布范围 2. $3.0 \leq M_s \leq 3.6$ 3. 断裂 4. 推测水准测量路线

0.45/年·公里仅相当于 0.45×10^{-6} 弧度的变化。而目前短水准倾斜失量大致要大于 2.0×10^{-6} 弧度的变化才视为异常。因此，我们认为沙湾这次小震活动没有以较大地壳形变存在为背景，震源应力场属低应力作用状态。

在沙湾小震活动开始后我们又对穿越震区另一条水准测线进行复测，其结果同样表明：沙湾附近的地壳形变特征，基本处于正常的运动状态。因而，沙湾小震活动，没有较大地壳变形的背景形存在。

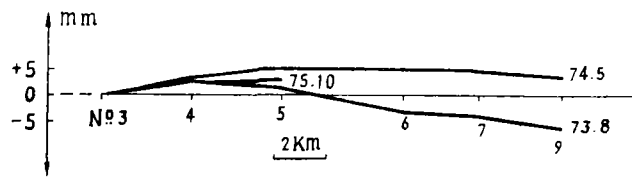


图2 卡子湾长水准测量形变图

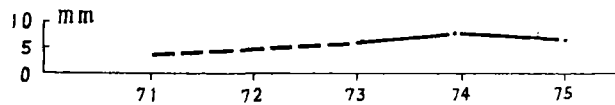


图3 霍尔果斯断裂（卡子湾）垂直位移年弯曲线

二、小震活动特征

1. 小震的震源分布：小震活动分布在北纬 $44^{\circ}11' - 44^{\circ}20'$ ，东径 $85^{\circ}30' - 85^{\circ}45'$ ，

南北宽约16公里，东西长约20公里的地带。根据沙湾台 \bar{P} 波初动和震中距来看，小震主要密集在沙湾县城东南方向10公里左右的地区，面积仅为300多平方公里，这与宏观资料所确定的小震主要活动区域基本符合（图1）。

小震活动从一开始就密集在一个相当狭小的区域，震源位置比较稳定。

根据对几个较大地震的计算，其震源深度是8—12公里，个别为16公里（表三）。

另外，沙湾台记录的纵、横波的到时差多数为1.5—2.0秒，少数为1秒左右。若假设虚波速度每秒为8公里，其震源距一般小于16公里。因此，上述计算的震源深度平均约在10公里左右。

天山北缘破坏性地震的震源深度一般为20—30公里，大致位于康氏面附近；这次沙湾小震活动的震源深度大致位于中生代地层底部和古生代地层顶部相接合的部位，属浅部地质构造发震。

2. 小震活动随时间变化特征：小震活动的日频度（图4）和逐日能量释放曲线（图5）均表现出时强时弱，波浪起伏的变化。由图4和图5可以看出较大峰值出现在一月中、下旬和二月下旬，小震活动水平较高。从三月份开始小震活动则处于缓慢的衰减阶段，而四月则逐步趋向稳定。

在沙湾小震活动过程中，较大地震（ $M_s > 3.0$ ）均具有一个小的完整序列（图6.7）。上述小震活动特征表明：沙湾小震活动随时间变化的特征为时起时伏、强弱交替出现，最后作缓慢的衰减。没有显著的密集—平静现象。没有出现过某些大震前那样的小震动步步加强、能量释放显著加速的现象，这可能是小震群的一个标志。

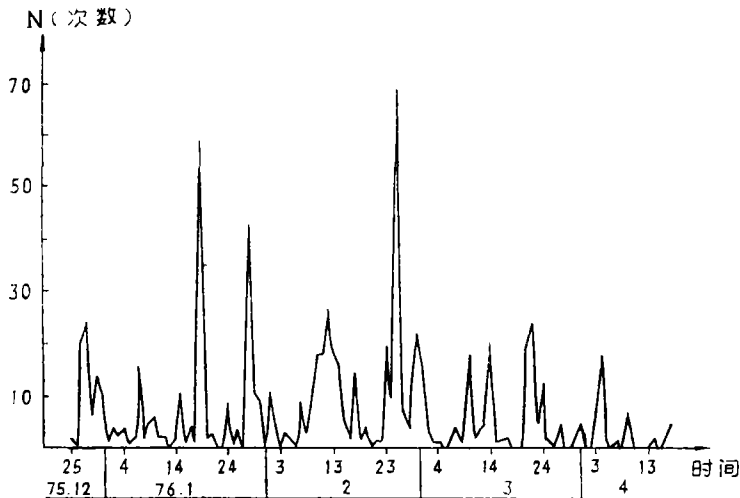


图4 $M_s \geq 0.8$ 级地震频度图

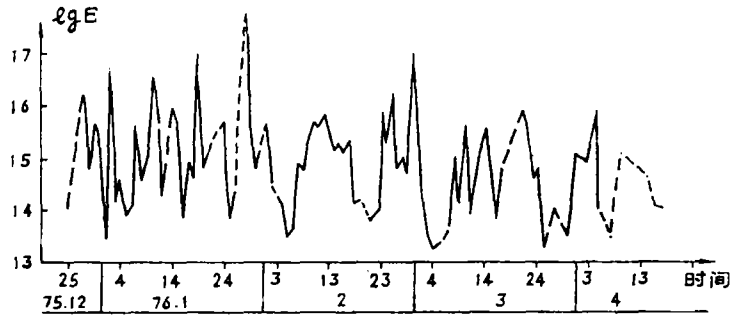


图5 逐日能量释放曲线图

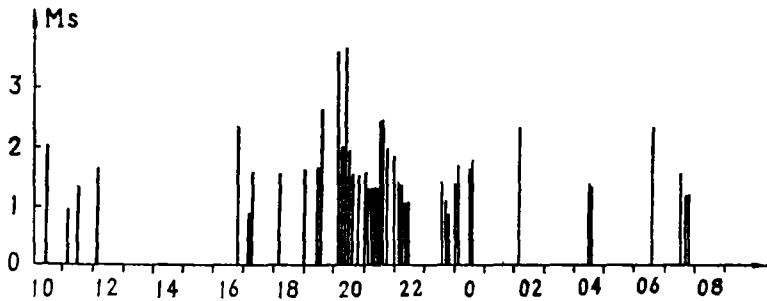


图6 76年元月28日小震群序列M—t图

3. 级差变化特征：凡属震群型地震序列，则没有一个地震在震级上明显超过其它的地震。沙湾小震活动序列明显具有这个特点。

首先，我们把 $M_s \geq 3.0$ 级的地震，按在序列中出现的顺序排列如下：

3.4→3.2→3.1→3.2→3.6→3.6→
3.4→3.0

如上所列，级差变化范围很小，没有一个震级特别突出的地震。

为了进一步观察级差变化范围，按逐日取出三个最大震级的地震 (M_1, M_2, M_3)， $M_1 \geq M_2 \geq M_3$ 。以 $M_1 - M_2$ ， $M_2 - M_3$ 的级差值进行统计。在 $M_1 - M_2$ 中有62组数据， $M_2 - M_3$ 有58组数据。由于地震的发生有一定的随机性，以一天为单位统计，自然会出现某些较大的级差值，但由于震群本身的性质所决定，出现级差变化大的应占极少数，级差变化小的应有极优势的分布。级差变化在0.0—0.4区具间有明显的优势分布(图8、9)。 $M_1 - M_2$ 和 $M_2 - M_3$ 两条曲线具有明显的相似特征。

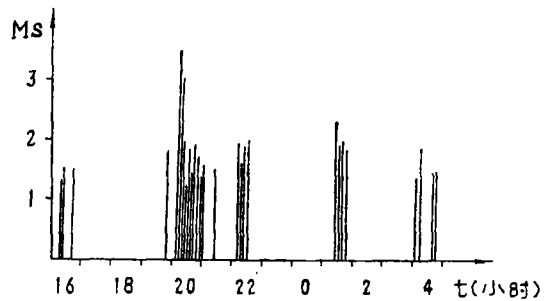


图7 76年2月29小震群序列M—t图

两条曲线当 $x \geq 0.1$ 时, 均呈幂函数形式衰减。

M_1-M_2 曲线的函数近似表达式为:

$$N = 1.12x^{-1.266} \quad (\text{当 } x \geq 0.1)$$

M_2-M_3 曲线的函数近似表达式为:

$$N = 0.925x^{-1.450} \quad (\text{当 } x \geq 0.1)$$

x 为级差值, N 为某一级差值相应的次数。

如上所述, 说明沙湾小震活动的级差变化范围很小, 震级不突出, 具有一般震群性地震的特点。

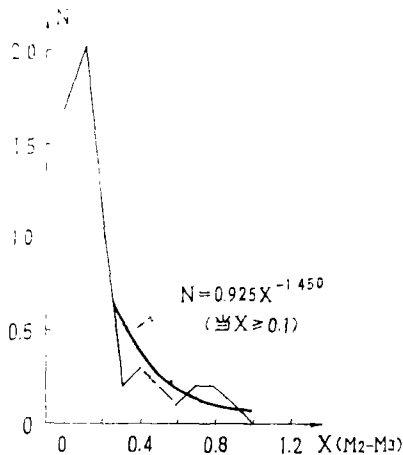


图8 级差(M_1-M_2)变化分布曲线

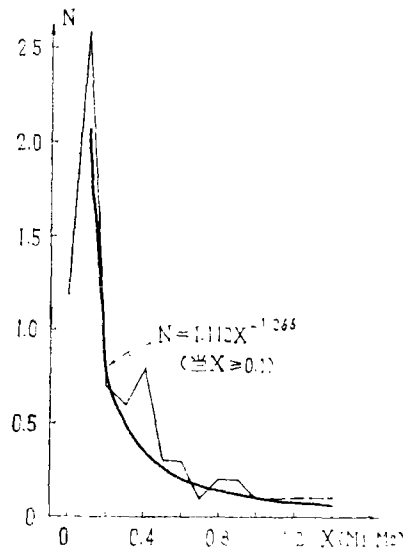


图9 级差(M_2-M_3)变化分布曲线

4. 地震的大小比例关系

(1) 具有较高 b 值的地震活动序列。按累计频次, 依 $\lg N = a - bM$ 式, 用最小二乘法求得 $\lg N = 4.27 - 1.05M$, b 值为1.05。此外, b 值随时间变化始终保持在0.80以上(图10), 具有较高 b 值, 而且远远高于天山北缘和南缘一般破坏性地震的前震序列 b 值。

(2) b 值曲线的待补空缺和补空地震的发生。沙湾小震活动过程的地震大小分布, 基本按一定的比例关系出现。如果在某一时间段出现比例关系失调, b 值曲线呈现待补空缺, 很快就会作自然的补充调整, 发生补空性质的地震。如图10(a)。(b)出现待补空缺, 一九七六年元月二日发生3.4级补空性地震。一九七六年元月二十八日两次3.6级地震发生前, 也出现待补空缺。

(3) 利用 b 值曲线外震级。在监视沙湾小震活动过程中, 利用 b 值曲线外推可能发生最大地震震级估计, 取得较为满意的结果。其原因可能由于沙湾小震活动频度高, 有足够地震次数来满足统计的要求, 同时沙湾台位处震区, 对地震取得较全的记录, 地震的大小比例关系比较协调等有关。

(4) b 值随时间的高低变化与能量释放的强弱变化基本一致。低 b 值时间段为一九七六

年元月份中、下旬，其中元月底为最低值，其后逐步回升，至二月底三月初b值回升接近初始值1.0左右，逐步趋向稳定。从地震序列的能量释放来看，元月份释放能量约占总释放70%，其次是二月份占20%，其它各月份占极少数。因此，b值的高低随时间变化与地震能量释放的强弱变化基本是相互对应。如果把b值高低变化，理解为震源应力场状态在不同时间段强弱的体现，那么大致符合这次沙湾震群活动的全过程。

(5) 应变释放特征：应变释放曲线的包络线主要可分为 S_1 和 S_2 两段(图12)。两段曲线分别近似表示为：

$$S_1 = (6.64 \lg t + 1.11) \times 10^8 \text{ 尔格}^{1/2}$$

$$S_2 = (45.50 \lg t - 43.20) \times 10^8 \text{ 尔格}^{1/2}$$

S_1 反映一九七五年十二月底至一九七六年元月上旬的应变释放特征。 S_2 反映一九七六年元月中旬至三月末的应变释放特征。 S_2 的斜率比 S_1 大。元月份和二月份应变释放有较大的

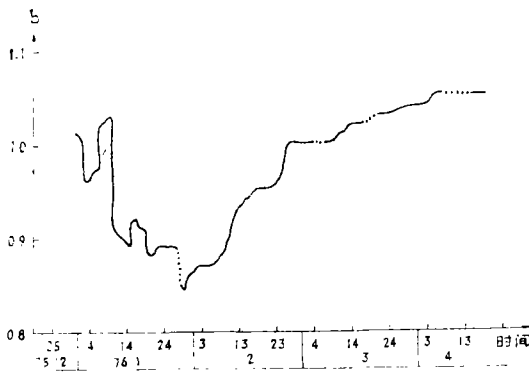


图11 b—t图

间歇性，每次间歇过后就有一股较大的震群出现。三月份的应变积累与释放几乎等同，因此包络线与实际释放曲线接近重合。四月份开始，由于小震活动明显处于衰减阶段，释放曲线形态弯转而趋向平稳状态。至此，沙湾小震活动也就进入一个新的相对稳定阶段。

应变释放曲线的斜率，为应变释放的平均速率，一般也假定为震源体内应变积累的速率。根据这个假定，利用应变释放曲线外推未来可能发生地震的震级。由于沙湾小震活动在不同时间段的应变释放基本按照曲线包络线的斜率变化。因此，在采用这种惯用方法外推震级时，与b值曲线外推震级一样，取为得了较为满意的结果。

(6) 近台 \bar{p} 波初动符号和波型的稳定性：从始到终，近台 \bar{p} 波初动符号相当稳定。根据沙湾台统计，垂直分向初动清楚的有474个。“十”号有435个，占总数 91.77%， “—”号有39个，占8.23%，显示近台 \bar{p} 波初动符号有极优势的分布。同时，波型特点从始到终也比较稳定。上述现象，一般被认为反映震源应力场比较稳定的特征。但按沙湾小震活动的特

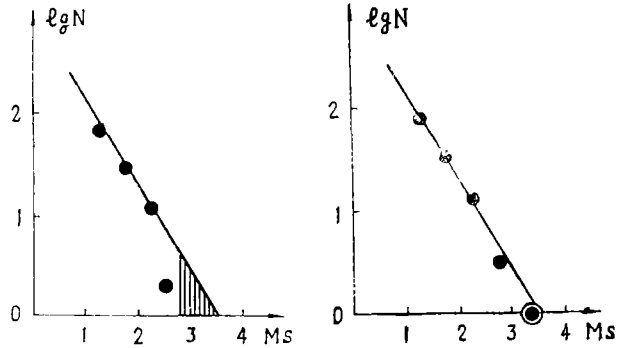


图10 a.76.1.1按累积地震次数作出的b值图出现待补缺，取数时间75.12.25—76.1.1.
b.76.1.2发生3.4级补空性地震，取数时间75.12.25—76.1.2.

由于沙湾小震活动在不同时间段的应变释放基本按照曲线包络线的斜率变化。因此，在采用这种惯用方法外推震级时，与b值曲线外推震级一样，取为得了较为满意的结果。

应变释放曲线的斜率，为应变释放的平均速率，一般也假定为震源体内应变积累的速率。根据这个假定，利用应变释放曲线外推未来可能发生地震的震级。由于沙湾小震活动在不同时间段的应变释放基本按照曲线包络线的斜率变化。因此，在采用这种惯用方法外推震级时，与b值曲线外推震级一样，取为得了较为满意的结果。

点,无法据此直接作为判断震情发展趋势的依据,即P波初动符号的稳定显示,并不一定意味着有大震的背景存在。

三、发震构造的分析推断

沙湾小震活动不属大震前的前震序列,不属主破裂前的微破裂过程。根据区域地质资料分析,也很难解析为如某些国外文献所报导的那种一属于火山作用岩浆侵入和地热活动密切相关的震群型地震。

沙湾小震群属浅部地质构造发展,按平均震源深度10公里计,对比区域地层剖面,震源大致位于中生代地层底部和古生代地层顶部。

无论是古生代或中生代地层,均径过多次构造运动改造,留下了各式各样地质历史时期的

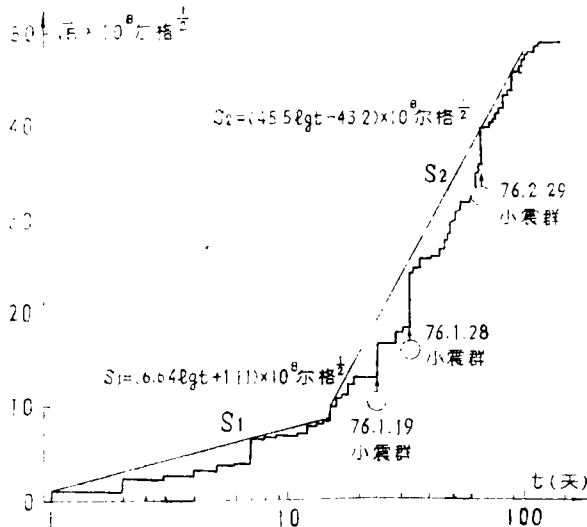


图12 沙湾小震活动应变累积释放曲线

构造变动形迹。其中与这次小震活动有密切关系的地质结构面,可能就是存在于岩层本身的节理裂隙面。当区域构造应力的主应力方位与某组节理裂隙面呈合适角度,而且应力积累达到足以使岩层沿某一组接近相互平行的节理裂面产生错动,就会引起频次很高的小震发生。地质岩块沿规模大小不等的节理裂隙产生错动的现象,在自然界里是一种很普遍的可见的地质现象,在此不多叙述。

震区地壳形变特征表明,沙湾小震活动属较低应力作用水平所引起,这一应力作用,还达不到使区域内某一主干断裂产生错动,而只能使岩层的节理裂隙产生错动。

从沙湾和目前所知道的我国若干小震群型地震的震源深度均较浅。这样,地表的自由表面和震源上部一套可塑性较大的沉积岩层,均从空间上为震源沿节理裂隙面错动提供了有利条件,即它在构造应力活动水平较低的情况下有利于产生错动。

这种浅层和规模较小的局部的构造发震,不可能在较大范围内观察到前兆量的显著变化。即使在小震活动区附近,也必然是微弱的反应。因为介质只是处在低应力的作用状态。

对于一个局部的小区域来看,一组接近相互平行的节理裂隙面,其规模大小差别不大。因此,所引起的错动必然是以小震活动型式为主的高b值的地震序列。所以b值是一个统计量,同时也反映了在构造应力作用下介质的破裂特征。这种发震构造不可能出现类似大震前震级显著突出的信号震发生。同样也不可能出现大震前那种由于小破裂基本完成,而主破裂处于临介状态下的短暂的平静现象。

从沙湾和我国一九七六年山西太原北格的小震群型地震来看,近台P波初动符号均比较一致。这种现象如果作为一组接近平行的节理裂隙面,在构造应力场比较稳定的状态下产生同一方式错动的结果,那是比较好理解的。而且可以和大震前的前震序列P波初动符号的

稳定性从机制上加以区别。

综上所述, 根据区域地质构造特点作出的发震构造的分析推断, 基本上能够解释沙湾或类似沙湾的小震群型地震的一般特征。但这也仅仅是一种定性的理想推断。

主要参考文献

1. 山西省局分析预报研究室 太原北格震群的特点与分析, 山西地震, 1977年第3期 19—24页。

2. D.P.Hill A model for earthquake Swarms, Journal of Geophysical Research, 82, 1347—1352, 1977。