

# 新疆一些中强震前后的波速比异常

王桂岭 吴秀莲 敖雪明

(新疆维吾尔自治区地震局)

## 前 言

近年来,国内外都观测到了不少地震前波速比出现异常的实例,并提出了种种解释。但是,地震前是否都能观测到波速比异常,至今在国际上仍有争论。因而,利用波速比预报地震的方法有待更多的实际震例来检验。至于一些震源孕育模式,例如努尔和肖尔茨<sup>[8,9]</sup>等人提出的扩容进水模式,虽能定性解释波速比异常的一般过程,但要完满地解释实际观测到的波速比异常的具体时空分布特性,还存在很多矛盾和困难。因此,取得更多的波速比异常的实际资料,不仅能促进波速比预报地震方法的发展,而且可为不同震源孕育模式的检验与改进提供一些补充依据。

本文分析研究了新疆14次中强震( $M_s \geq 4.5$ )前后的波速比异常,给出并讨论了一些共同特性,同时提出了异常区叠加与发展的两组震例。最后,本文对所得的初步结果的物理解释进行了简单的讨论。

所研究的14次地震当中,一部分曾作过不同程度的中期预报,取得一定效果,另一部分地震由于资料不及时等原因,系震后总结,预报情况详见表1。此外,我们曾利用异常叠加的平面特性,较好地预报了1978年4月22日库尔勒西北5.8级地震的地点,但由于对异常叠加的时间特性认识不足,未能准确预报震级。

## 一、方法与资料

我们采用文献<sup>[1]</sup>的方法,算出平均波速比  $\gamma_0 = V_{P0}/V_{S0}$  (以下简称波速比)。  $\gamma_0$  的精度大致可分三类, A类为  $\delta_{\gamma_0} \leq 0.03$ , B类为  $\delta_{\gamma_0} \leq 0.05$ , C类为  $\delta_{\gamma_0} \leq 0.1$ 。C类精度的  $\gamma_0$  值仅供分析时参考。

所用资料系新疆地震台网观测结果。台站位置、部分中强震震中及相应的波速比异常区如图1所示。新疆地区波速比探索工作的不利因素是地震台网稀且观测精度较差,但中强震的频繁发生,又给我们提供了较多的检验机会,致使短期内能取得较多的波速比前兆震例。

表 1  
波速比异常的特征量

序号	日期	震中位置		震中地区	震源深度 (公里)	震级 $M_s$	震前异常		震后异常 持续时间	正常平均波速比	主震时刻波速比	平均异常幅度	震源断层类型	予报情况及效果
		北纬	东经				负异常 $\Delta T_0$	异常持续时间 $\Delta T$						
1	1973.6.3	44°26'	83°32'	精河东南	33	6.0	>14个月	60天	16个月	1.740	1.769	0.07	以水平运动为主的逆断层	未开展波速工作,震后总结
2	1974.1.4	40°9'	77°7'	阿合奇西	30	4.8	5个月	38天	约6个月	1.750	1.818	0.08	以水平运动为主的逆断层	未开展波速工作,震后总结
3	1974.9.29	40°5'	77°9'	阿合奇西南	15	5.5	13个月	50天	约15个月	1.750	0.07	0.07		未开展波速工作,震后总结
4	1974.9.30	43°10'	88°20'	达坎城		5.0	8个月	不明显	8个月	1.730	1.757	0.10		震前作出有趋势异常,未予正式予报
5	1975.1.14	43°6'	86°8'	庙儿沟	27	4.8	15个月	30天	16个月	1.730	1.750	0.06	以垂直运动为主的正断层	震前作出有趋势异常,未正式予报
6	1975.5.27	40°5'	77°8'	三岔口		5.0	5个月	3天	5个月	1.750	0.07	0.07		未及吋搜集资料,震后总结
7	1975.9.10	39°6'	78°6'	巴楚		5.3	8个月	不明显	8个月	1.750	0.07	0.07		未及吋搜集资料,震后总结
8	1976.1.10	42°09'	83°13'	库车东北	20	5.6	11个月	约60天	13个月	1.740	0.08	0.08	水平运动与垂直运动相等的正断层	震前有中期趋势予报意见,效果较好
9	1976.8.3	41°03'	77°45'	阿合奇西		5.1	8个月	20天	近9个月	1.750	0.08	0.08		未及吋搜集资料,震后总结
10	1976.11.17	41°21'	78°40'	乌什西北		4.7	10个月	不明显	10个月	1.750	0.07	0.07		震前有中期趋势予报意见
11	1977.7.23	42°01'	83°12'	库车东北	22	5.5	12个月	约3个月 <sup>*2</sup>	15个月	1.740	1.770	0.08	以水平运动为主的逆断层	未及吋搜集资料,震后作出
12	1977.11.22	44°04'	84°07'	苏四棵		4.5	10个月	35天	11个月	1.730	1.724	0.05		震前有中期予报意见,效果较好
13	1977.12.19	39°53'	77°30'	西克尔	33	6.1	23个月	72天	约25个月	1.750	0.08	0.08	以水平运动为主的正断层	未及吋搜集资料,震后总结
14	1978.4.22	41°57'	85°50'	库尔勒西	26	5.8	22个月	76天	约24个月	1.740	1.735	0.09	以水平运动为主的逆断层	震前有予报,予报地点效果较好,由于异常叠加,未报具体震级

• 1Y。开始回返到正常带值到主震发生之间的时间。 • 2。出于Y。回返期间先后发生3次1级地震,故 $\Delta T$ 偏长。

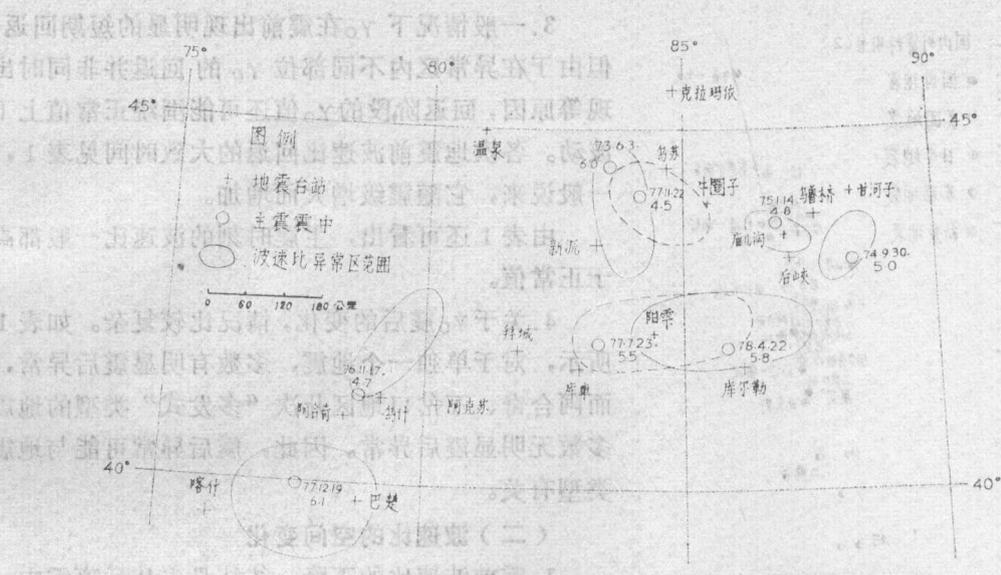


图1 新疆地震台站分布, 部分中强震震中及波速比异常区平面图

## 二、新疆一些中强震前后波速比的异常变化

新疆14次中强震前后波速比的异常变化, 大体符合冯德益[1、2、3]、冯锐[4]等人研究的结果。对于多次地震异常时空叠加的情况, 将在本文第三部分另行讨论。初步结果如下:

### (一) 波速比的时间变化

1. 波速比异常的形态一般表现为下降——回返——发震——震后异常等阶段。

图2给出了几个震例。

2. 从波速比出现异常到主震发生之间的全部时间称为异常总持续时间, 记为T, 近似地与震级M呈单对数直线关系, 大体符合冯德益[2]等人给出的经验公式:

$$M_s = 4.25 + 1.45 \lg \Delta T(\text{月}) \pm 0.7$$

由图3可见, 南疆地区的多次地震符合较好, 而北疆地区的1975年元月庙儿沟4.8级地震和1977年11月乌苏四棵树4.5级地震(两次均为“单发式”地震类型)等异常总持续时间较一般结果偏长, 可能与地震类型和地区有关, 尚待进一步探讨。

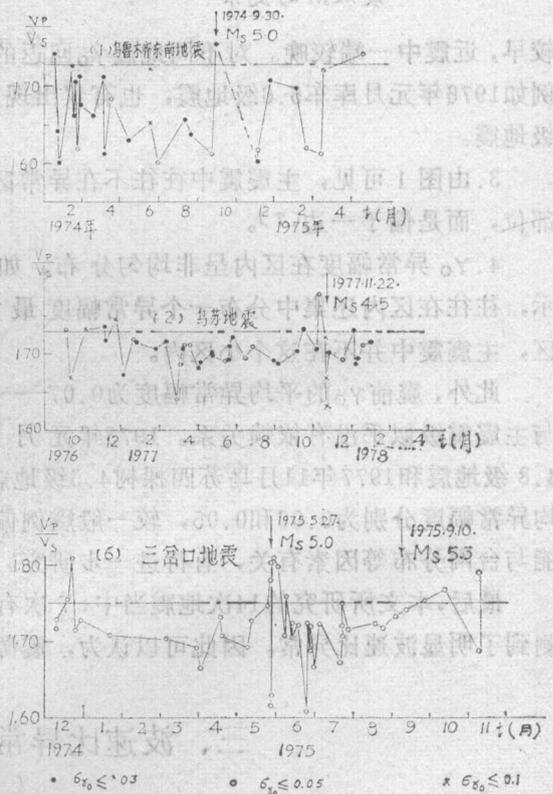


图2 波速比随时间变化曲线

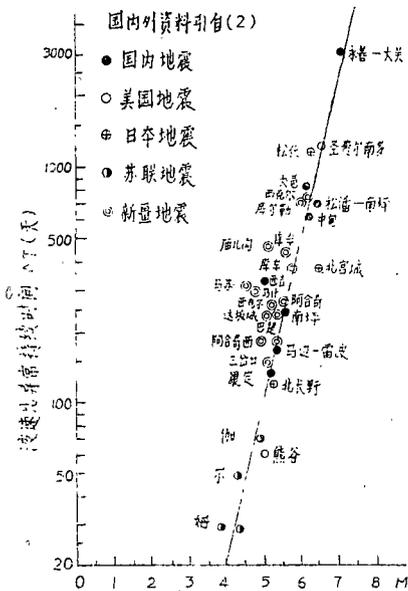


图3 波速比异常持续时间与震级M的关系

3. 一般情况下  $\gamma_0$  在震前出现明显的短期回返, 但由于在异常区内不同部位  $\gamma_0$  的回返并非同时出现等原因, 回返阶段的  $\gamma_0$  值还可能围绕正常值上下波动。各次地震前波速比回返的大致时间见表 1, 一般说来, 它随震级增大而增加。

由表 1 还可看出, 主震时刻的波速比一般都高于正常值。

4. 关于  $\gamma_0$  震后的变化, 情况比较复杂。如表 1 所示, 对于单独一个地震, 多数有明显震后异常, 而阿合奇、三岔口地区几次“多发式”类型的地震多数无明显震后异常。因此, 震后异常可能与地震类型有关。

### (二) 波速比的空间变化

1. 震前波速比的下降, 往往是先从远离震中一端开始, 然后逐渐扩展到整个异常区, 震中附近最后出现异常。

2.  $\gamma_0$  的震前短期回返, 一般也是远离震中一端较早, 近震中一端较晚。对不同地震  $\gamma_0$  回返的情况也有较大差异, 有的在异常区内较普遍, 例如 1976 年元月库车 5.6 级地震, 也有仅出现局部回返就发震的, 例如 1975 年元月庙儿沟 4.8 级地震。

3. 由图 1 可见, 主震震中往往不在异常区的中心部位, 而是偏于一边[7]。

4.  $\gamma_0$  异常幅度在区内呈非均匀分布, 如图 4 所示, 往往在区内还集中分布一个异常幅度最大的小区, 主震震中并不在这个小区内。

此外, 震前  $\gamma_0$  的平均异常幅度为 0.07—0.10, 与主震震级似乎没有依赖关系。1975 年元月庙儿沟 4.8 级地震和 1977 年 11 月乌苏四棵树 4.5 级地震  $\gamma_0$  平均异常幅度分别为 0.06 和 0.05, 较一般震例偏小, 可能与台网分布等因素有关, 有待进一步研究。

最后, 本文所研究的 14 次地震当中, 7 次有震源机制解, 其中 5 次地震为走滑型断层, 均观测到了明显波速比异常。因此可以认为, 震源的断层错动类型不会影响波速比异常的存在。

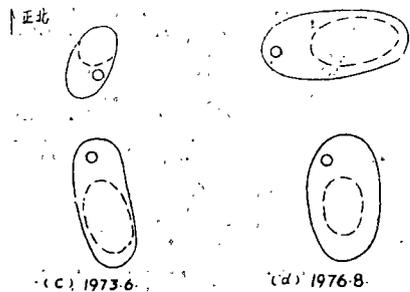


图4 波速比异常区及其大幅度异常小区平面位置示意图

## 三、波速比异常区的叠加与发展

在同一构造的相邻地段或几组构造的复合部位, 往往可能在不太长的时间内发生多次强震, 于是就出现了波速比异常区的叠加与发展问题。下面举出两组实际震例。

(1) 1977 年 7 月 23 日库车东北 5.5 级地震与 1978 年 4 月 22 日库尔勒西北 5.8 级地震波速比异常的时空叠加 (图 5、6)。

详细分析1977年7月库车5.5级地震后  $\gamma_0$  的平面分布，就可发现和1976年1月库车5.6级地震后  $\gamma_0$  在异常区内全面恢复的情况不同，出现了如图5示出的较为复杂的分布特征：在震中附近（图中A区）， $\gamma_0$  迅速恢复正常，相应的过程过程如图6（上）；异常区东部（图中B区） $\gamma_0$  继续异常；同时沿东西构造方向往东发展了一块异常区C。

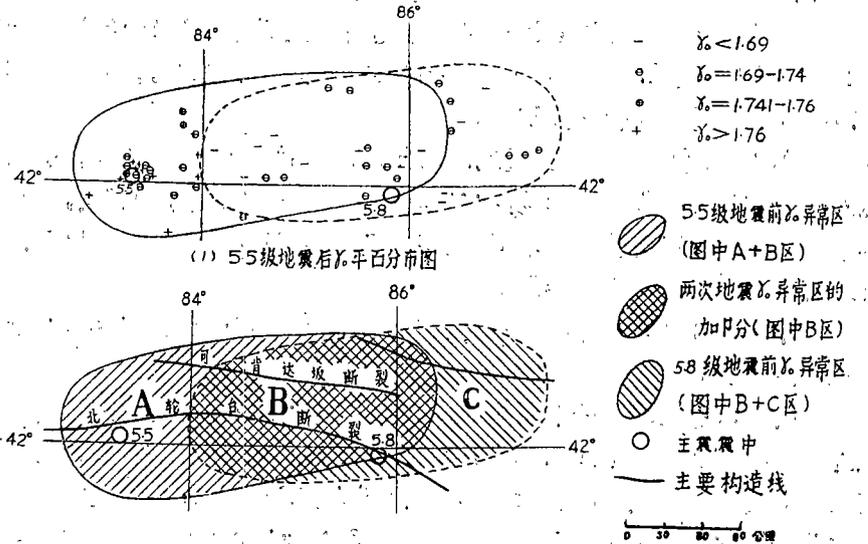


图5 1977.7.23库车5.5级地震与1978.4.22库尔勒5.8级地震异常区部分叠加图

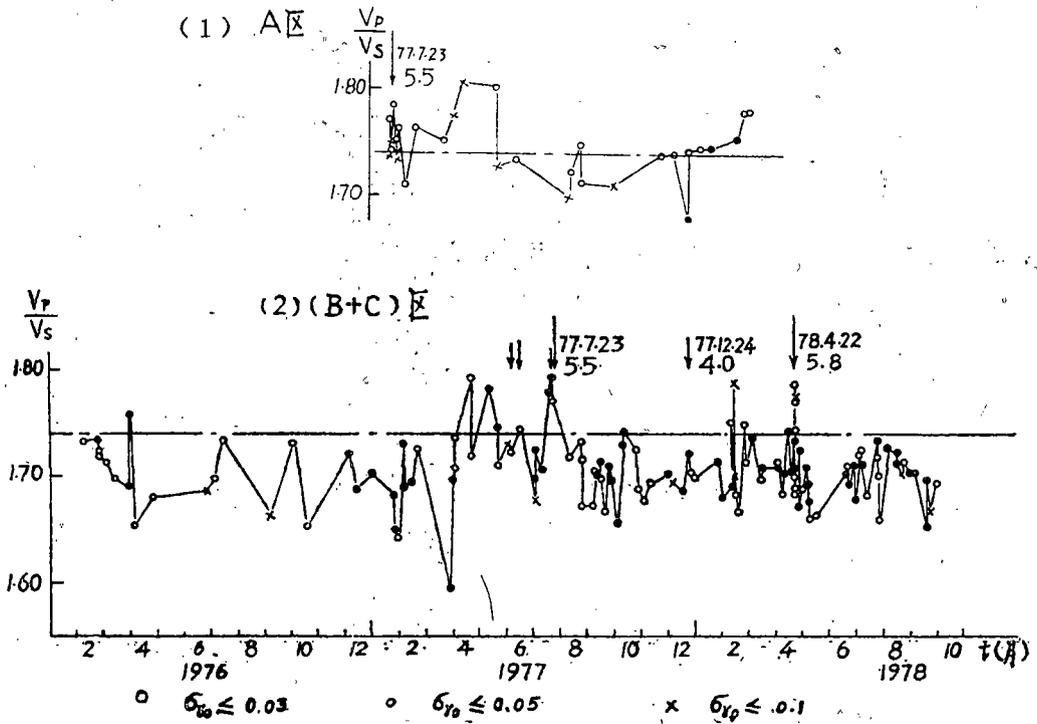


图6 1977.7.23库车5.5级地震前后波速比随时间变化曲线

上述特征相当于原异常区(A+B)于震后沿构造向东迁移并形成一个新异常区(B+C), 或者说是原异常区西部收缩东部扩展。1978年4月22日库尔勒西北5.8级地震就是在B、C区交界处发生的。

追踪(B+C)区内波速比异常的点子, 绘出相应的时间过程曲线如图6(下); 其中C区只画异常出现后的 $\gamma_0$ 值。由图可见, 1976年4月就开始出现异常, 1977年4—7月出现回返, 7月23日在(A+B)区内发生库车5.5级地震, 震后 $\gamma_0$ 又出现异常, 到1978年2月再次回返, 4月22日发生库尔勒5.8级地震。5.8级地震 $\gamma_0$ 异常的时间若从1976年4月起算, 异常总持续时间为24个月, 符合一般结果。

B区的 $\gamma_0$ 异常, 不仅反映了5.5级地震的异常, 同时也反映了5.8级地震的异常。实际上, 它是这两次地震孕震过程综合影响的结果。1977年4—7月 $\gamma_0$ 的回返, 说明了5.5级地震发生前其孕震过程对B区起着主导作用。而5.5级地震以后,  $\gamma_0$ 立即又显示出异常, 说明5.8级地震已取代5.5级地震而起主导作用。

(2) 1976年8月3日阿合奇西5.1级地震与1977年12月19日西克尔6.1级地震波速比异常的时空叠加(图7、8)

阿合奇—西克尔地区, 是近南北向的普昌断裂和近东西向的柯坪断裂的交汇地带, 经常发生中强地震。图7实线表示1976年8月3日阿合奇西5.1级地震前 $\gamma_0$ 异常区的范围, 其长轴方向与近南北的普昌断裂走向大体一致。5.1级地震发生后,  $\gamma_0$ 出现如下分布特征(见图7): 震中附近(图中A区) $\gamma_0$ 迅速恢复, 相应的时间过程见图8(上); 异常区南部

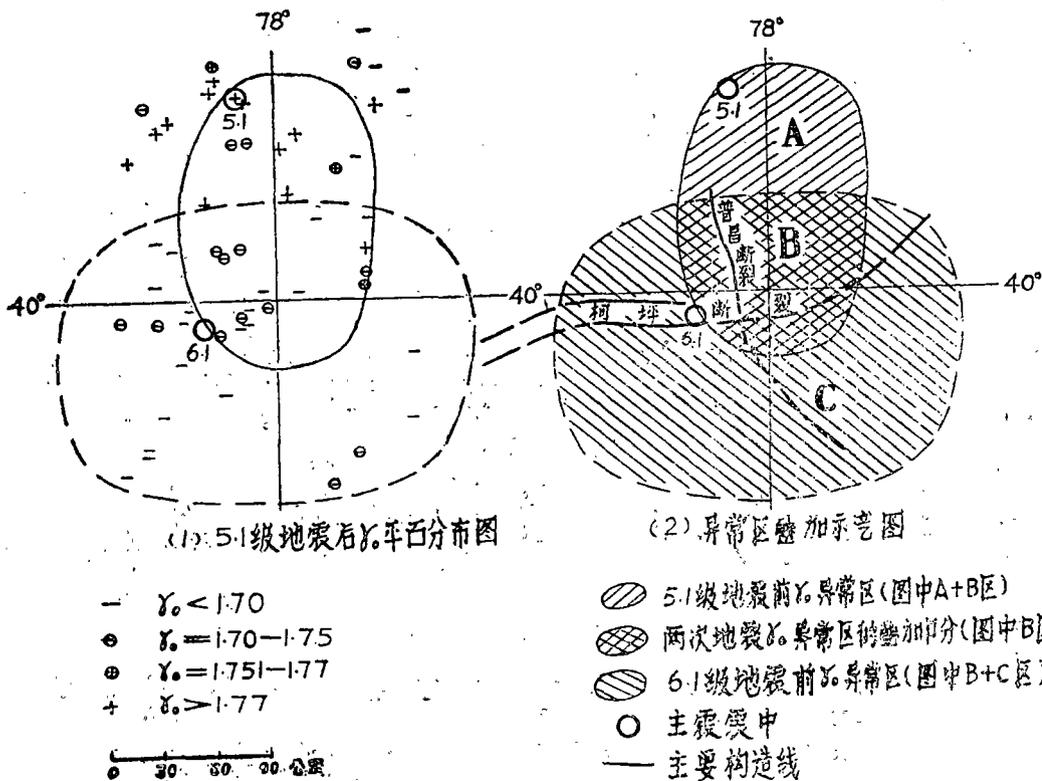


图7 1976.8.3阿合奇西5.1级地震与1977.12.19西克尔6.1级地震异常区部分叠加图

(图中B区)  $\gamma_0$  继续异常;  $\gamma_0$  异常沿柯坪断裂向东、西、南三个方向发展了一块C区。

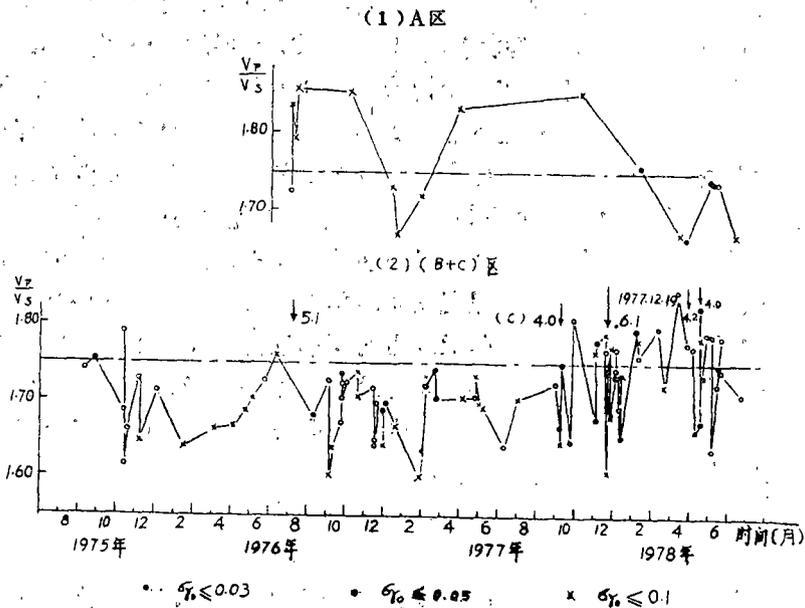


图8 1976.8.3阿合奇西5.1级地震前后波速比随时间变化曲线

这样, (B+C) 区就成为一个新的  $\gamma_0$  异常区。西克尔地震就发生在B、C交界处。B区为两个地震波速比异常在空间上的叠加区。

追踪 (B+C) 区内  $\gamma_0$  异常点, 可得出  $\gamma_0-t$  曲线 (见图8(下)), 其中C区只取异常出现后的  $\gamma_0$  值。6.1级地震  $\gamma_0$  异常的起始时间应为1975年11月, 中间经过1976年7月回返, 然后又继续异常, 到1977年10月再次回返, 12月19日发生西克尔6.1级地震, 整个异常持续时间是25个月, 符合一般结果。 $\gamma_0-t$  曲线中, 1976年7月的回返, 显然是5.1级地震影响所致。

#### 四、讨 论

据以上所述的初步研究结果, 我们认为, 郭增建等同志提出的震源孕育的组合模式<sup>[5]</sup>能较好地解释波速比异常的一些主要特性:

(1) 在构造应力作用下, 调整单元由于介质强度较弱, 首先产生张性微裂缝导致  $\gamma_0$  降低, 此即早期出现的  $\gamma_0$  异常, 积累单元由于岩石强度较大, 产生张性微裂缝较晚。这就导致  $\gamma_0$  的震前下降先从远离震中 (调整单元) 处开始。又由于积累单元两端应力最为集中, 裂缝最密集, 因而可能产生一个  $\gamma_0$  异常幅度最大但一般不包括主震震中在内的小区。

(2) 按照文献<sup>[6]</sup>, 当地震小时, 积累单元长度较小, 由于应力在积累单元两端集中, 其所集中的高应力区就把整段连通而很快发生错动并形成地震, 因此小震的孕育时间短。当积累单元的长度大时, 尽管两端的应力集中, 但中间很长一段断层面两侧剪应力还未达到耐剪强度, 所以大震还不发生, 直到中间较长地段剪切应力接近强度极限时, 才突然发生整段错动而引起大震, 因此, 大震孕育的时间长。

(3) 同样按照〔6〕, 断层面的予滑, 使其原来储存的高应力有所减小, 引起原有裂缝闭合, 造成震前  $\gamma_0$  的短期回返。对于大震, 其断层面积较大, 因之产生予滑时, 有些部位先, 有些部位后。这样,  $\gamma_0$  回返的时间就长一些。因此,  $\gamma_0$  回返的时间随震级增大而增加。

(4) 在区域应力场作用之下, 在一个构造的相邻地段(如库车——库尔勒地区), 或几组构造的复合部位(如阿合奇——西克尔地区), 有可能出现几个应力集中部位。这些部位摩擦阻力较大或岩石耐剪强度较高, 因此成为应力积累单元, 而其间及两侧成为调整单元。随着应力的逐步积累, 两个积累单元之间共用的调整单元首先出现张性微裂缝, 即扩容, 波速比开始出现异常。当应力集中到某一限度, 以致使某一积累单元断层面上的剪切应力超过摩擦阻力时, 该处就首先错动发震, 疏通阻塞段而转化为调整单元。其后果是, 该地震震中附近  $\gamma_0$  迅速恢复, 并加速了另一相邻积累单元应力的积累过程, 导致了异常区的发展与迁移, 这就说明了发震地点为什么与异常区迁移方向有关。按照〔5〕的观点可以推论, 当两个断裂带交汇时, 其交汇部位属共有的调整单元, 这样, 构造交汇地区就可能成为各分枝构造上地震前波速比异常的叠加区。

#### 参 考 文 献

- 〔1〕冯德益、谭爱娜、王克芬, 近地震波速异常与地震预报, 地球物理学报, 17, 2, 1974。
- 〔2〕冯德益、郑斯华、盛国英、付征祥、高世磊、罗瑞铭、李炳灿, 我国西部地区一些强震及中强震前后波速比异常的初步研究(一)——波速比异常, 地球物理学报, 19, 3, 1976。
- 〔3〕冯德益、王周元、顾瑾平、盛国英、高世磊, 我国西部一些强震及中强震前后波速异常的初步研究(二)——波速异常区及其特性, 地球物理学报, 20, 2, 1977。
- 〔4〕冯锐、庞庆衍、付征祥、郑建中、孙次昌、李宝祥, 海城地震前后地震波速比的变化, 地球物理学报, 19, 4, 1976。
- 〔5〕郭增建、秦保燕、徐文耀、汤泉, 震源孕育模式的初步讨论, 地球物理学报, 16, 1973。
- 〔6〕国家地震局兰州地震大队综合分析预报室, 地震前纵横波速度比回返原因的讨论, 地震战线, 4, 1975。
- 〔7〕冯德益, 1974年5月云南省永善——大关7.1级强震前波速比的异常变化, 地球物理学报, 18, 4, 1975。
- 〔8〕C.H.Scholz et al., Earthquake Prediction: A physical basis, Science, V181, N4102, 1973。
- 〔9〕Amos Nur, Dilatancy, pore fluids, and premonitory variations of ts/tp travel times, Bull. Seism. Soc. Am, 62, 5, 1972。