

震源物理研究在判定潜在震源区中的应用

秦保燕

(国家地震局兰州地震研究所)

在地震烈度区划工作中,潜在震源区的判定起着十分重要的作用。本文试图应用我们以往在震源物理方面的研究对潜在震源区的判定作一结合,以期对今后的地震烈度区划工作有所裨益。

一、最大地震强度判定

1.按构造规模估计最大地震强度 这个方法应用于构造运动较强烈的地域,且该地域内某些地段上已有历史大震发生。按构造规模估计最大地震强度,М.В.Гзовский曾在1957年进行过一些初步探讨^[1],但其依据的公式纯属理论假设。1965年郭增建与本文作者进一步探讨了这个问题。认为震源体的线性长度是由地下深处的发震构造分段特征决定的,而地面上的地质构造也是由地下深处的构造运动决定的,因之深处构造的分段特征也会以某种程度反映到地表构造上来。这样由地表显示的构造分段规模可推求一旦该段全部长度发生断层错动时(即发震)所相应的震级,这个震级就是该段的最大地震强度。当时在进行具体的构造分段时仅注意到两点,即在一个大的垂直差异运动强烈的构造带上其差异运动变弱的地方为分段处,或者垂直差异运动强烈地带在延伸途中转化为其它走向构造之处也为分段处。这样,我们就可把一个很长的垂直差异运动带分成许多段,假设将来各自分段释放地震能量,则各段断层错动时所释放的能量相应着该段的最大地震强度。1965年我们用上述方法曾对嘉峪关地区的地震强度作了估计,提供建设单位参考,当时所用的公式是

$$M = 3.3 + 2.1 \log L \text{ (公里)} \quad (1)$$

这个公式的特点是L近似代表震源断层长度,其目的是可由地表发震断层段预报未来大震的地点和强度^{*1*2}。虽然这一预报已具有明确的物理意义,但它还没有提升到物理模式这一高度。

2.由组合模式判定潜在震源区 1973年郭增建和作者等人对震源端部条件进行了研究,提出了震源是由应力积累单元和其两端的应力调整单元共同组合而成的模式,简称组合模式^[2],该模式明确的提出了岩石强度较低,静摩擦极限较小的应力调整区(简称为调整单元)是震源分段的地方。后来又具体提出寻找各种调整单元的指标如下^[3]:

(1)活动断裂交汇区(平面相交);(2)高温异常区或温泉出露地区;(3)发生很大地震但离今时间不长的地区;(4)小震和中强震长期活跃的地区;(5)地震波Q值较低的地区;(6)发射的地震波周期较长的地区;(6)小震应力降较大的地区;(8)固体潮变化大的地区;(9)“富含流体的地区;(10)深部气体易于逸出的地区;(11)张应力区或压力减小的地区。

在以
学者认为
是应力集
区,我们
调整单元
上;
区域应
的应力;
去,以
遇到调
放段的
整单元
值得指
提出一
(
用固
于与
即可
小震
集区;
据应
1976
的。

出的
和应
的大
产生
质不
质
确
积
大
当
发
显
震
当
8

在以上所述的调整单元指标中，关于构造交会和应力降的指标需要加以说明。过去不少学者认为断裂交汇地区为应力集中区，我们认为这个地方介质强度弱应为调整区，其附近才是应力集中区。另外，对于小震应力降来说，前人认为小震应力降大的地方为高强度介质区，我们则认为小震应力降大的地方是高强度与低强度交界区，也就是应力积累单元与应力调整单元的交接地区。因为这里有让位条件，小震错动幅度大，因之应力降大。

上述调整单元的介质特点或应力状态在大震孕育和发生中起有重要作用。地震前，在大区域应力场作用下，由于调整单元介质强度弱或断层面的摩擦强度低，它们不能承受很高的应力就产生塑性变形或滑动了。这样就把应力转移调整到介质比较坚硬的应力积累单元上去，以加强那里的应力积累最后导致大震发生。地震时，震源断层面发生快速破裂传播，当遇到调整单元时，断裂传播停止，大震事件结束。这样，震前的积累单元长度与震时应力释放段的长度是相等的。因之由积累单元的长度就可求出震级。由此可知，在震前找到应力调整单元是很重要的，当然也要知道区域主压应力方向，这可由震源机制资料大致加以决定。值得指出的是，地震资料是反映地下深处情况的，因之充分利用很重要的。下面我们进一步提出一些判断调整单元和积累单元的测震学指标。

(1) 调制小震法 这是1982年本文作者提出的一种方法，*〔4，5〕其基本思路是利用固体潮或其它外因去判探地下介质的强度，介质弱的地方外因易于影响他们，因之小震易于与外因时间相关较好，介质强度高的地方，则小震与外因时间相关不好。利用这一点我们即可寻找应力积累单元和应力调整单元。具体来说就是把小震区分为与固体潮相关性好的小震（称调制小震）和与固体潮相关性不好的小震（称非调制小震），并把调制小震的密集区或调制小震带或带的交汇区定为应力调整单元。调制小震的空段即为应力积累单元。根据应力积累单元的段长，并由（1）式可求得未来地震强度。如1976年7月28日唐山地震和1976年8月16日松津地震前调制小震的空区和震后余震区大体相当，就说明这个方法是可用的。余震区的规模代表了主震的震源体规模，也即代表了震前的积累单元规模。

(2) 由动态空区确定应力调整单元和应力积累单元 这个方法是1983年本文作者提出的〔6〕。基本思路是这样的。在一个稳定的变化不大的区域应力场作用下，应力积累单元和应力调整单元要较短的时间内显示其地震活动性差异是比较困难的。如果用某种快速作用的力源突然加到某一地区，则这一地区便会产生新的应力并进行应力调整。由于地壳介质不均匀，这种应力调整活动将首先在弱介质区段表现出来，中强震密集分布的地区可确定为应力调整区，它们之间的空段为应力积累单元。在这个方法中我们选取已发生的大地震作为动力源。如1951年11月18日西藏当雄8级地震前，1934年在中、尼边境附近发生8.4级地震，地震后在当雄地区周围即显示了一次地震活动，基本上勾画了当雄大震的应力积累区，如图所示。此后在1947年当雄东南发生7.7级地震，1950年墨脱发生8.5级地震后，当雄周围再次出现地震活动，

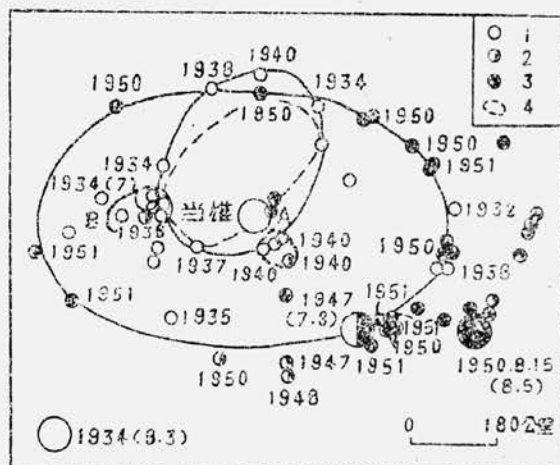


图1 1951年当雄地震前的中强地震活动
($M \geq 4.7$)

1. 1932—1940 2. 1846—1950.8
3. 1950.8.15—1951 4. 推断的调整单元

形成了一个较大的围空区,其中还显示了两个强地震相对密集区,如图1中的A区和B区。可以认为A区和B区之间的空段是当雄大震震源区。按空区的位置和长度可初步估计该区的地震地点和强度。

按照上述的方法判定应力调整单元时还可参考其它调整单元指标,以增加判据。例如1976年唐山地震前位于震源两端的宁河和迁安调制小震密集区附近就是天津热区和迁安温泉区,而在在这两个区域内小震应力降比震源区要大得多〔7〕。

3.用横交断层止裂观点确定最大地震强度〔8〕这一方法的基本思路是:板内大区域的水平应力场在相当长的时间内是比较稳定的。在此情况,其内剪切断层发震时的错动事先可以知道。当一次大地震发生时,其传播着的剪切断层遇到横交的粘锁不好的静止断层时就可能止裂,因之横交断层也是截取震源断层长度的一个条件。对于地震强度的预测来说,我们在震前就要分出那一个是可能的发震断层,那个是横交止裂断层。下面由图2和图3作说明。由图2和图3可以看出,当传播断层的一个断层盘错动方向拉横向断层时,由于横向断层粘锁不好而被拉开,这样传播断层端部的拉应力很难传过横向断层。因此传过横向断层的仅有压应力,它引起的剪切应力大大衰减,逐使传播断层终止于横向断层处。在这种情况下,横向断层可以作为震源长度的分段点。反之,当横向断层仅位于传播剪切断层错动方向受压的这一侧时,由于拉力区在完整介质内传播,而压力通过横向断层损失较小,因而该横向支断层不能起到使传播的剪切断层停止的作用,所以不能把它作为震源的分段点考虑。



图2 双侧横交断层

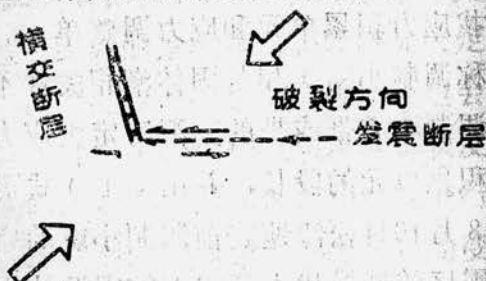


图3 单侧横交断层

4.立交模式 立交模式是1985年郭增建提出的〔9〕〔10〕。该模式的全面论述内容较多,这里不作介绍。我们这里仅论述其在地震烈度中的应用。前已述及,平面相交的断层,其交汇区介质破碎,不易积累应力。但如果是立交结构则岩石圈下层中的断层蠕滑时,可使上层脆性介质中的断层凹弯而易于锁住,这种立交状态的地区就易于应力集中,如图4所示。在具体应用时可分两种情况考虑。

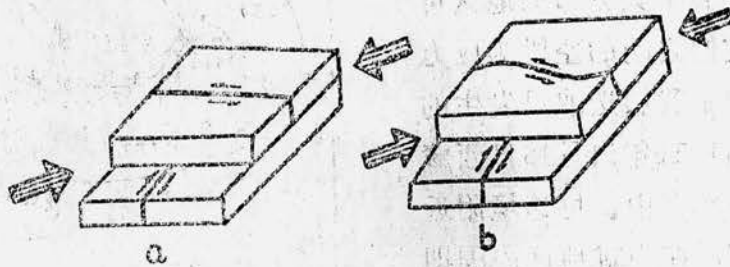


图4 立交模式示意图

a.立交构造 b.下部构造运动使上部构造弯曲

(1)短期长距离震中迁移线与地震大断裂带(在地表可以看到)的交汇区。在这种情况下前者反映地下深处有现代剪切滑移带存在。后者反映上地壳中有断层存在。它们两者形成立

交，其交会地区往往是大震孕育区。地震时极震区由地表的可见断层走向决定。

(2) 地震带与地表可见大断层的交汇 在这种情况下，前者为地下深部长期存在的剪切带，如南北地震带。它的相对运动可使上部断层带上凹弯，从而增大断层面的摩擦力以积累能量，形成大震震源。如西海固地区就是明显的例子。在这里地震大，地震重复性也相对高。当然立交构造也有退化的情况，这就是深部的滑移面与浅部的发震构造方向一致时的情况。此时，深部的滑移面对浅部的发震构造起到了防拐作用，因而也可形成大震。

二、大地震重复时间

从震源物理角度来看，一次大地震的发生是震源体从应力积累状态转化为应力调整状态的过程，因此其地震危险性必然下降。这一点符合我国大多数地震事实，即在相当长的时间内不重复发生类似强度的地震。这可以从以下三个方面的原因进行分析。

1. 震源区介质的完整性受到破坏 大震后由原来较完整均匀的大的弹性储能体转化为分散的小的弹性储能体而小的储能体仅能发生中、小震，而不能发生大震。

2. 震源区介质强度下降 大震发生后，震源断层面及其附近已十分破碎，此时不仅介质强度变弱，而且深部高温物质以及周围的高温流体可以充填到大震震源区裂隙之中，以致造成整个震源区介质的弱化。

3. 震源区应力水平下降 大震后原来在震源区积累的剪切应力能得到释放，此后又发生大量余震。绝大多数的弹性应变能得到释放。这样大震后震源区的应力水平相当低。

由以上三点可以推断大震源区地震危险性下降，安全度上升。但这种安全究竟能保留多久，这就是大地震的重复问题。大地震的重复时间的讨论一般指7级和大于7级的地震来说的。因为这类地震发生时在震源区造成的破裂，升温，弱化等后效比较大。对于这类地震，大地震的重复时间包括两个时段，即

$$T = t_1 + t_2 \quad (2)$$

t_1 是大震区介质强度和均匀度或完整性恢复所需时间。 t_2 为大区域构造力作用下震源区重新积累一次大震应变能所需时间。对于前一段时间 t_1 可用热传导方法计算地震后震源断层面附近的高温薄层随时间恢复到原来温度状态所需的时间。对于后一时段 t_2 可用滑动速率计算。由于目前难以取得震源地方的温度资料，故暂时不能精确的计指 t_1 ，而只考虑 t_2 以作为大震重复时间，这样这偏于安全。1973年郭增建与作者给出了错动幅度与震级 M 之间的关系式[2]

$$D = 10^{0.52M - 1.25} \quad (3)$$

式中 D 以厘米计，当知道某一地区的构造运动速度 V ，则重复时间 t_2 为[2]

$$t_2 = \frac{D}{V} \quad (4)$$

根据1984年中国活动构造分布的各地区位移速率的数据[11]，取其平均值为10毫米/年，将该数值代入(4)式可得不同震级下大震和破坏性地震时重复周期，如表1所示。

表1 按平均位移速率计算地震重复时间

震 级	8.5	8.0	7.5	7.0	6.5	6.0
重复时间(年)	1480	813	446	246	135	74

实际上不同的震源区地震的后效差别很大,因此在计算大震后介质恢复时间 t_1 时要特别慎重。目前已发现两种类型的地震,一种是地震重复时间特别长,另一种是地震重复时间比较短。我国的大震大多数属于第一种。根据古地震考察,8—8.5级地震重复时间约4000~5000年。这一数据比表1的计算结果大得多。这类地震看来地震后效严重,介质强度和完整性的恢复时间比较长。另一种类型重复时间比较短。例如1600年南澳岛附近发生过一次7级地震,在1918年又发生了 $7\frac{1}{4}$ 级地震,重复时间为318年。按平均构造运动速度推算,重复时间为331年。这一结果大体与实际情况相符。应当指出,断层的平均滑动速度有垂直运动和水平运动,不能只考虑一个分量。另外断层旁侧其它断层的组合关系也对地震重复时间有影响。因此地震重复时间应根据当地活动断层的水平位移和垂直位移速率的合成速率进行估计。我们认为地震重复时间短的地区应当具备压力较高的构造运动条件,因为只有压力较高的情况下,大震后震源区内的破碎块体才能产生压焊效果。并把分散的,不完整的块体连接成一个整体,并在大震后很快恢复积累剪切应力的能力。1986年郭增建与作者提出了一种对压构造观点,如图5所示。这种构造组合是由两个与发震断层近乎垂直的蠕滑断层在构造力作用下滑动并对发震断层加压,这样发震断层受到两种力的作用,区域力和蠕滑断层滑动时所加的力。由于断层面上压力加大,使大震后效很快消失,加速了应力积累过程,从而使大震重复时间较短。

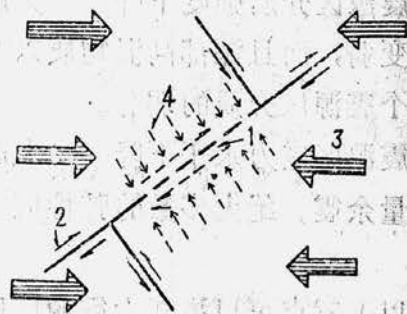


图5 对压构造简图

1. 应力积累单元
2. 蠕滑断层
3. 构造力源
4. 断面上的正应力

三、发震构造减震作用和加震作用

一般来说,一次大地震发生后其震源地方的地震危险程度下降,然而它对其它相邻构造影响如何呢?以往在地震烈度区划图中所用的构造类比原则是把每一发震构造体的地震危险性独立考虑的,然而构造之间的运动实际上并不独立。1984年郭增建与本文作者提出了减震构造的判别原则^[12]:

1. 平行同旋减震,即平行同旋的两个构造,其中一个地震后对另一个构造的地震危险性要减弱(当然要在减震的范围内),如图6a所示。

2. 平行异旋加震,这种情况在块体间有相对运动时出现,如图6b所示。

3. 底震垂减,即底断层发震后,与其垂直的垂断层要减震,但垂断层应与底断层中部成垂直。如图6c所示。

4. 垂震底继,即当垂断层先发震,则底断层会继续发震,特别是图6d中的A区。

在以上的减震问题中,减震距离为:

$$R = \frac{20}{1.11} \cot\left(\frac{\pi}{2} \cdot \frac{100}{D}\right) \quad (5)$$

式中R为减震距离,D为不同震级地震的断层错动幅度。(5)式是假设断层的下界面为20公里,离断层R处的位移为100公分的情况求得的。由该式可知,不同错动幅度的地震其减震距离不同,而错动幅度与震级有关,其模量关系如表3所示。

由表3可以看出,大地震的减震距离随M增大而增大。这种计算显然是偏于安全的计算,实

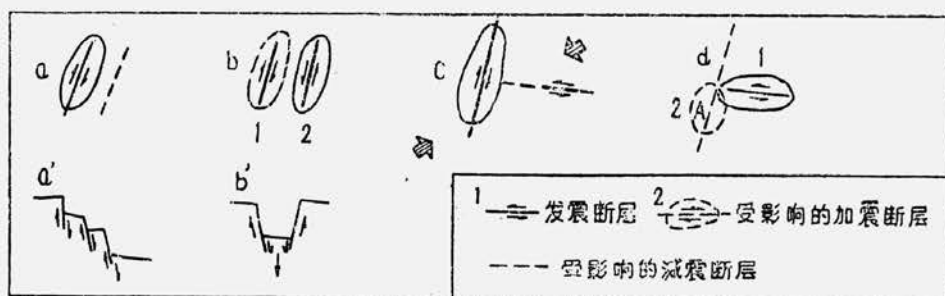


图6 减震构造和加震构造的类型图

a. 同旋减震 (水平面内) a'. 同旋减震 (铅直面内) b. 异旋加震 (水平面内) b'. 异旋加震 (铅直面内)
c. 底震垂减 c'. 垂震底继

表3 震级、震源错动幅度与减震距离

M	8.5	8.0	7.5	7.0
D厘米	1480	813	446	246
R公里	160	90	50	25

实际的减震距离可能更大，特别是刚发生不久的大震。

以上讨论的只是减震距离。对于被减震的那个发震构造的减震长度一般可按已发地震的断层长度考虑。如果发震段端部为蠕滑断层，则减震的长度也可随之加长。此外在蠕滑断层两侧的平行断层（同旋）或与蠕滑断层正交的粘滑断层，按照上述的观点均可以认为是安全区。因此，在大震应力场释放区范围内，某些断层是否会发震应按前述的四条原则进行判别。

结束语

地震危险性的研究是一项十分细致的工作，涉及的面很广，问题很复杂。本文仅探讨了地震危险性研究中的部分问题——潜在震源区，最大地震强度，大震区对周围发震断层的影响问题。关于大震后在较短时间内，例如几十年内可能发生的最大地震强度问题以及水库地震问题，我们将另文作专题讨论。

参考文献 (略)