

对基岩应变与基岩地电前兆和地震发震时间之间所遵循的二倍时关系的初步探讨*

吕大炯 高建国 李守中
(中国科学院物理研究所) (北京大学)

由于地震机理的复杂性,前兆现象和地震三要素之间究竟存在何种规律性的联系,尚未完全揭示。目前仍处于探索阶段。

近来,在一些地震预报工作中,提出了二倍时方法。认为某些前兆的出现时刻与发震时刻之间满足二倍时关系。具体地说,就是若前兆P出现的时间为 t_1 ,前兆Q出现的时间为 t_2 ,两次前兆间的时间间隔 $\tau = t_2 - t_1$,则可以预言在 $t_3 = t_1 + 2(t_2 - t_1) = t_1 + 2\tau$ 时,有可能发生一次相应的地震(图1)。在有些二倍时法中前兆是某种物理量发生突变或异常,在另外一些二倍时法中,前兆也可以是某种物理量达到极值或约定值。在简单情况下,P和Q就是相继出现的两次前兆。在复杂情况下,P和Q也可以是从若干个前兆中,利用由经验得到的选择规则挑选出来的两次前兆。

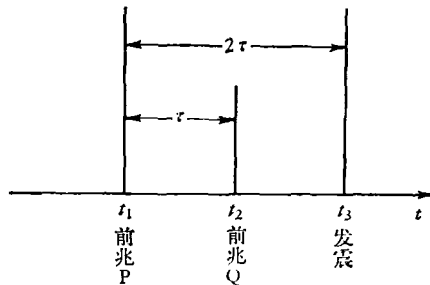


图1 用二倍时关系预报地震示意图

作为预报手段,二倍时方法在预报发震时间上显得特别简单,这或许是它引起人们注意的一个原因。但这也招致了疑问:人们往往直观地担心它是否把复杂的问题过分简化了;自然界中哪曾看到过一种物理现象,在时间关系上有这样的规律呢?

另一类怀疑是由于某些用二倍时法所作的预报中,并没有限定必须选取相邻的两次前兆,而是在某些情况下可以选取相隔较远的两个前兆来确定发震时间。这样一来,各种选择所对应的发震时间就比较多。加之,在目前水平下,震中位置的预报问题尚未完全解决。因此,在地球上频繁发生的地震面前,即使在时间上报准了,人们也还会怀疑二倍时法究竟是规律呢,还是巧合。反之,当发生虚报或漏报时,预报工作者也往往不能肯定到底是由于二倍时法本身就不成立

呢,还是由于我们对前兆的辨认、分类和选择等方面没有完全掌握。

确实,在没有彻底了解前兆现象和地震活动的内在联系之前,要从众多的前兆和发震数据中,整理出某种经验公式,本来是头绪纷纭,就象在波尔理论建立之前,人们企图从光谱波长来揭示原子内部奥秘一样,困难是可以想见的。但不管怎样,二倍时法既已在一些预报工作中被人们作为经验公式来试用,并且对于某些种类的前兆已初步显示出成效,那么,对它进一步加以探讨,应该是有益的。

当然,作为前提的问题是应该用尽可能详尽的数据,判断这些前兆和发震时刻之间的二倍时关系究竟是规律还是巧合。在这方面,我们曾以激光锁相应变仪记录到的基岩(相对)应变突跳和基岩地电的电流异常波形作为前兆信息与地震时间对照。数据整理的结果表明,这两种方法中出现的二倍时关系都不能简单地归之于偶然性。关于这一点,我们在前一篇文章^[1]中,已作了初步论述。本文拟对如何解释上述结果提出一些初步设想。

对于基岩地电的二倍时关系,我们试用固体潮模型来解释(图2)。在通常情况下,岩石所受主应力 f_1 小于产生地电异常波形的阈值 f_E 。此时地电随时间的变化呈平稳曲线。当较大地震在孕育时,震中区岩石所受主应力 f_1 将逐渐增加。在第一级近似中,可以认为它随时间的关系是线性上升的。同时,还有固体潮产生的周期性应力 f_2 叠加在前述应力上。总应力 $f = f_1 + f_2$ 呈逐渐上升的波浪式形式。我们设想,当总应力超过产生地电异常波形的阈值 f_E 时,地电记录中出现异常波形。它达到极大值的时间对应的是固体潮峰值附近(图2中的P、Q点)。假定发震(岩石破裂)的阈值 f_B 正位于发生地电异常波形的阈值 f_E 以上而又与之邻近的区域(如图2所示),则由于固体潮的周期性,发震时刻正好位于两个地电异常极大值之后的二倍时附近就不是太奇怪的事了。如果震中区主应力 f_1 的增加在总应力 f 超过 f_E 后,不是继续上升,反而回落到出现地电波形异常前的数值,则 f 就达不到发震

* 1977年4月7日收到。

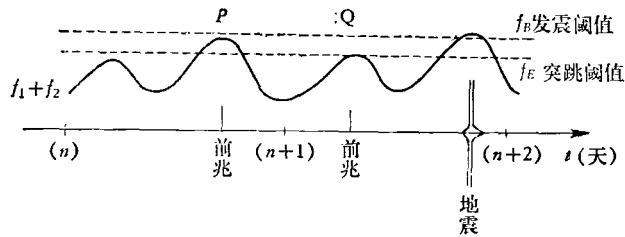


图2 解释二倍时关系的固体潮模型图

阈值 f_B , 震情暂时缓和, 等待震中区主应力 f_1 周期性的下一次回升的来临。

在上述设想中, 二倍时关系来源于固体潮的周期性, 并且要求岩石在达到发震阈值 f_B 之前有一个与此阈值相近的产生地电异常波形的阈值 f_E 。

关于岩石破裂前产生压电效应的现象已有人从实验上观察到了。从我们的数据中看到, 地电异常波形出现的时间与震中区的固体潮的峰值有一定的对应关系。另外, 注意到历史上大部分主震(浅源地震)的发震时间和震中区的固体潮某一方向的极值也存在一定的对应关系(有的文献由于不是按某一方向统计的, 因此未找到对应关系)。这些是我们这一设想的实验依据。

1976年11月12日5.7级唐山地震, 1976年11月15日6.9级宁河地震, 1977年3月7日6.0级迁安地震, 1977年5月12日芦台地震及其他震例, 都与上述模型符合得很好。

对于激光锁相应变仪测到的应变突跳, 它和发震时间之间也符合二倍时关系, 不过时间间隔 τ 的数值与地电法得到的 τ 不同。而当它所推算出来的发震时间与地电法相符时, 地震发震时间的预报就往往是成功的。

为解释激光锁相应变仪测得的突跳与地震之间的二倍时关系, 让我们来寻找突跳与固体潮偏差的关系。所谓固体潮偏差是采用激光锁相应变仪测得的应变整点值, 取其全日周期或半日周期的频谱, 得到相应的振幅平均值与经验所给定的振幅数学期望值的差值(简称振幅偏差), 作出偏差值逐日变化的函数图(图3)。结果发现, 应变突跳往往出现在偏差值超过一定数值的日子里。但并不是偏差大的日子里一定出现应变突跳(构造

运动只有达到激烈程度时, 才会产生突跳)。这个情况使我们有理由推测, 应变突跳的出现是和上述偏差值超过某一阈值相联系的。

激光应变仪记录到的应变慢变化部分与固体潮不一致的程度, 反映了测量点上受到某种未知力量影响的程度。突跳既然往往在这种偏差超过一定限度时出现, 可以推测应变突跳与这种未知的力量之间有着内在联系。

从上面所描述的实验事实可以看出, 应变突跳是地壳构造运动达到一定激烈程度的产物。因此可以推论, 某种未知的周期较长的运动被已知的固体潮所调制, 而应变突跳与这种周期较长的运动峰值的关系可能类似于地电异常波形与固体潮周期运动峰值的关系。因此, 应变突跳往往在相隔一定时间间隔的固体潮峰值相对应的时间内出现。在特殊情况下, 这种周期运动就是固体潮本身。

前面在讨论地电时所列举的四个较大地震的震例与其他震例, 它们的基岩应变突跳前兆与相隔一定时间间隔的固体潮峰值相对应的时间符合得很好。我们在此特别举出1977年5月12日芦台6.7级地震为例。

对于1977年2月20日与1977年3月31日的应变反向群掉格, 可作中期预报: 推算时间为1977年5月9日(± 3 天), 1977年4月23日与1977年5月1日或3日的应变各自上下掉格可作短期预报: 推算时间为1977年5月9日(± 1 天)或5月12日(± 1 天), 1977年5月9日与1977年5月10日的反向掉格可作短临预报: 推算时间为1977年5月12日(± 12 个小时)。1977年5月12日的两次群突跳(与固体潮的峰谷值符合得很好)中的每次里面的较大的一个突跳(或掉格)的时间分别为10点12分和14点43

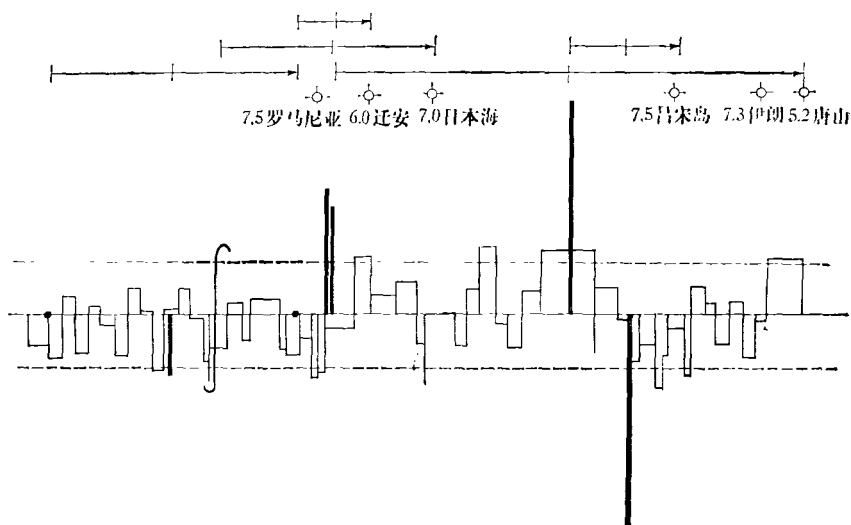


图3 固体潮偏差逐日变化函数图

分,可作临震预报:事先推算时间为1977年5月12日19点14分。实际上1977年5月12日19点17分发生芦台6.7级地震,时差仅3分钟。这次事先预报还包括震级6.5级,方位角 135° 的正确预报(而震中距的确定是错误的),因此就单台站而言,这次预报是成功的。

上述这一例子中的中期、短期、短临和临震预报中的二倍时关系之间并不存在矛盾,而是每个后者总是对其前者的精确度的修正。

从这里也可以看到,固体潮的绝对值对主应力的调制作用与应变突跳的关系。对于作为5月12日中期、短期、短临预报所用的突跳及其他震例表明,应变突跳并不是与相邻的固体潮有关,而是与相隔较远的固体潮的峰谷值相对应。我们可以认为,这是基岩受到比固体潮周期大的周期性应力所调制。而在特殊情况下,即对于临震预报所用的突跳而言,这种周期运动就是固体潮本身。

那么,一个需要回答的问题是:周期运动的结果为什么一定是二倍时关系,而不是三倍、四倍呢?

首先,对于临震预报而言(短期、中期预报可以类推),我们寻找的这些前兆的阈值和发震阈值非常接近(值得指出,产生压电突跳和应变突跳的阈值这一参量包含了震中区岩石固有特性及应力积累程度这两个要素,因此,以这些突跳作为地震前兆具有重要意义)。一般在发现这样的信息后,地震不久就会发生。反之,若有两个前兆,它和地震的发震时间之间离得还较远,则由于周期性运动,在这两个前兆和地震之间必然还会有比这两个前兆更强烈的前兆信息,如果主应力近似可以看作是线性上升的话。那么如果能够从突跳波形的形态上辨认出哪些是更为临震的波形,则这些更为临震的波形出现的时间和地震发震时间仍然符合二倍时关系。问题就归结于如何识别哪两个是真正的临震波形,而二倍时关系的成立并不受影响,因此,当主应力是线性上升,并被周期性应力所调制,且能够正确地确定临震前兆信息的种类及辨认出哪两个是真正的临震前兆时,那么,二倍时关系就是自然的。

关于如何正确地辨认出哪两个是可以根据二倍时关系推算来作预报的临震前兆的问题,我们根据经验初步总结出几种方法。例如基岩地电法中,由于固体潮每天有一个大潮和一个小潮,因此,一般由与两个大潮的峰值时间相对应的前兆构成二倍时法中用来推算的两个数值。而在这两个大潮之间的小潮峰值相对应的时间可以并不出现十分突出的前兆。但在第二个大潮后的这一小潮的峰值相对应的时间,则由于主应力线性上升的缘故也出现十分突出的前兆。它与第二个大潮的峰值时间也组成一对与发震时间之间满足二倍时关系的前兆。这样,两次推算给出差不多同一时间,这就便于地震预报工作者进行识别。

又如,在激光应变仪测量基岩应变的情况下,当两个相邻的反向掉格(掉格阈值是人为选定的)出现时,由二倍时关系推算出的时间即为离测量点一定距离范围内的大震的发震时间。

另外,还应利用两种或多种可靠的手段配合来进行预报。若能推算到同一时间(准确到小时的量级),就可作为临震预报的依据。为什么不同手段出现的前兆在时间上并不精确同步,但却能推算到差不多同一时间?我们初步认为它可能和各种手段反映了地壳不同层次所受的应力状况有关。

例如,对于基岩地电突跳可能较好地反映在高温高压下的深层岩石的应力突变;而激光锁相应变仪测到的应变突跳可能是较好地反映浅层或表层岩石的应力突变。此外,激光锁相应变仪记录的突跳在某一时段内往往和本台站的南北向固体潮的峰谷值符合得较好,而基岩地电突跳在同一时段内则往往和本台站的東西向固体潮的峰谷值符合得较好。说明不同层次的岩石所受主应力的方向不同。

不同岩层所受主应力的方向不同,进而它们又各自受到不同周期的能使其产生突变的力的调制。因此前兆的出现并不同步,且它们各自在作周期性变化。当它们所受不同周期的周期性作用力同步地达到峰或谷值时,岩层被折断的几率最大,释放能量的几率最大,亦即地震发震时间预报成功的可能性最大。这可能就是需要利用多种手段,采用重合法预报地震发震时间的道理。

由于地壳是三维立体的(地壳厚度及地球表面积),又由于地球上各处地震的频繁性,因此,其前兆和地震在时间上可以是交替发生的。可见,如果仅用单项手段进行二倍时关系的简单统计,而轻易作出否定或肯定的预报,是应当避免的。

综上所述,我们可以总结一下地震发生和发展的过程以及地震前兆出现的程序:地壳的构造运动引起固体潮发生偏差,当固体潮偏差较大时,会产生地壳岩层的部份破裂,从而使基岩应变发生突跳(中、短期预报);在岩层部份破裂的基础上,由于尔后的构造运动,岩层再进一步破裂,使基岩应变再一次发生突跳(短临预报);由于构造运动的周期性,使得运动达到了激烈时的突跳和地震之间满足二倍时关系。反映不同岩层应力特性的多种可靠手段,都推算到一个同步的时间,才可能对应地震。

这里需再一次强调:我们在使用激光测得的应变突跳和基岩地电异常波形这两种手段的实践过程中发现,二倍时关系不能用偶然性来说明,但本文所提出的解释还是很初步的,目的是为了推动进一步的探讨;二倍时法的适用范围也有待于今后作更深入的研究来加以确定。

有意思的是,在自然界中的确存在着遵从二倍时

关系的现象。核磁共振实验中的“自旋回波”效应就是自然界中精确地遵从二倍时关系的一例。在“自旋回波”实验中，磁性样品处于稍有不均匀的外磁场内，样品各部分的核磁矩均绕外磁场作拉摩旋进。但其旋进频率因磁场不均匀而稍有差别。先在时间 t_1 加上某种

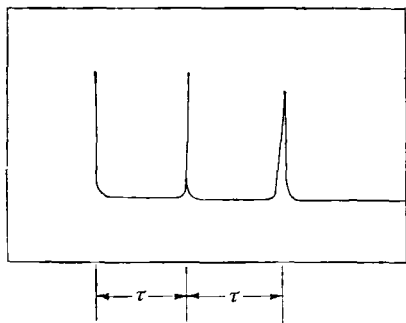


图4 回波效应图

作用，使各部分磁矩“同步”（此时将出现一个讯号）。然后，由于旋进的频率稍有不同，处于不同部分的磁矩便各自以一定的速率逐渐“散开”（讯号消失），如果在瞬间 t_2 用某种方法再使核矩各按原来的速率“聚拢”，则在 $t_1 + 2(t_2 - t_1)$ 时，各部分核磁矩就会重新回到“同步”状态，讯号再次出现。用适当的装置可以观察到这种现象。图4表示出自旋回波效应，它和地震预报中的二倍时关系颇为相似。

物理本质不同的微观世界和宏观世界中，出现这种颇为相似的图象，仅仅是形式上的，还是反映它们都遵从某种相似的运动规律？这是值得进一步研究的问题。

参 考 文 献

[1] 吕大炯、高建国，《物理》，6-3 (1977)，169。

(上接 371 页)

把它简单地归结为动电或静电，而是“把电流的性质和应力的性质结合在一起的更高的形式”（第 268 页）的电，是动电和静电这两种电的运动形式的统一。这样，恩格斯就以唯物辩证法揭示了各种电运动形式的辩证关系：它们既是相互区别的，又能够在一定的条件下实现相互转化。

(3) 电和磁的对立统一。

实验表明：同方向（同名）的电流互相吸引，反方向（异名）的电流互相排斥；而磁极间的相互作用则恰恰相反：同性（同名）磁极相斥，异性（异名）磁极相吸。电流和磁体所表现的这种完全相反的现象，在 1822 年安培提出了关于物质磁性的“分子电流”假说之后，得到了统一的解释。

安培认为，一切磁现象都是由于电荷的运动产生的，电流的方向与所产生的磁场的方向遵从右手螺旋法则。任何物质的分子都存在着分子电流，相当于一个元磁体。这些分子电流的不规则排列使整个物体不显磁性，分子电流的规则（或近似规则）排列就使物体显示出磁性。这样，磁体间的相互作用就可归结为电流间的相互作用：同名磁极的相互作用（排斥）相当于异

名电流的相互作用；异名磁极的相互作用（吸引）相当于同名电流的相互作用。恩格斯指出，电和磁之间这种既有质的区别，又有内在联系的对立统一的辩证关系，正是“自然辩证法的一个很好的例子”（第 268 页）。

(4) 电运动与化学运动之间的联系。

各种运动形式是相互联系、相互转化的。某种具体运动形式的存在是暂时的，不同运动形式的相互转化却是无限的。通过摩擦和碰撞，机械运动可以转化为热运动和电运动；而在一定的阶段上，它们又可转化为分子和原子的变化即化学变化。

但是，当时的科学家们由于受到形而上学思维方式和狭隘分工的限制，局限在自己的科学堡垒之中，看不到由于运动形式之间的相互联系和转化而决定的各门学科之间的联系，在研究电对化学反应的影响时，物理学家认为这是化学上的事情，化学家则认为这是物理学上的事情。“这样，在分子科学和原子科学的接触点上，双方都宣称与己无关，但是恰恰就在这一点上可望取得最大的成果。”（第 268 页）电化学和其它各种中间性、过渡性的边缘科学的发展，证实了恩格斯的这个预言。

(全文完)