

自治系统和地震孕育的组合模式

郭增建 秦保燕 荣代潞

(国家地震局兰州地震研究所)

摘 要

1992年我们首先把物理学中自治系统和非自治系统的概念应用于地震成因和地震预报研究中。本文在此基础上结合地震孕育的组合模式进行了讨论。并讨论了非自治系统中的整步现象及其中一些有关系统振荡周期的定量关系,并进而讨论了自治系统概念和这些定量关系在研究大震发生的时间规律和大震预报方面的应用价值。

关键词: 自治系统; 非自治系统; 组合模式; 地震预报

前 言

自治系统是物理学中的一个概念,它广泛地应用于力学和电学中研究系统的振动或振荡。如果一个系统所受的外部作用不显含时间变量而输出周期振动,这样的系统就称为自治系统。如外部作用为交变的,系统输出多种周期,此称为非自治系统。1992年,郭增建等人首先把自治系统的概念应用于地震成因和地震预报的研究中,其中也包括非自治系统的讨论^[1]。这里所说的系统是指具有某种静摩擦极限的活动断层,它在太平洋板块和印度板块对中国大陆的挤压下积累弹性应变能到一定程度就快速错动而发震,然后再周期性的重复这个过程。如板块挤压力是稳定的,则断层发震的过程是自治系统,如板块挤压力是周期性的作用着,则断层发震的周期要受到挤压力周期的制约(即所谓整步现象),此时断层发震的过程是非自治系统。但中国大陆内有介质强度高的地方,也有强度低的地方,有粘滑断层,也有蠕滑断层,它们受板块挤压力作用后相互间的耦合如何以及最后发生强震的情况又如何尚未讨论。故本文拟按震源孕育的组合模式并结合自治系统和非自治系统理论对上述问题进行讨论,并相应讨论有关的大震预报问题。

一、组合模式讨论

根据我们以前的研究^[2],组合模式是应力积累单元和其两端的应力调整单元组合而成为一个孕震体。其中最简单的形式是调整单元为蠕滑断层段,如图1所示。图中 p 为板块作用传来的压应力。当整个孕震系统受到稳定的压应力 p 的作用后,由于调整单元耐剪强度弱,故积累不很高的应力就产生滑动了,在此滑动过程中可能伴有一些小震或其他前兆;然后调整单元再积累应力,并再滑动,如此反复进行。就这个意义来说,调整单元是自治系统。而积累单元因介质耐剪强度高或断层面上静摩擦极限高,因之积累应力的时

间长,故发震的时间间隔也长。就稳定的板块压力作用来说,积累单元也是自治系统;但就调整单元对积累单元周期性加力来说,积累单元又是非自治系统。

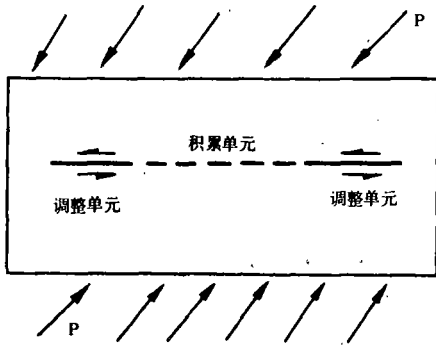


图 1 组合模式简图

Fig.1 Sketch of combination model

如果在组合模式中调整单元是个调整场或调整区,则这个调整场内因受的区域应力相同且介质性质也近似,所以其内尽管有许多大小不同的调整单元和积累单元,但其各自的发震时间应相近(因有相互作用),这样就会形成地震活动的高潮期。高潮期过后进入间歇期,然后又形成高潮期,如此反覆进行。这个调整场内的发震和滑动情况虽然很复杂,其总体情况带有统计性质,但毕竟它是在统一的具有一定方向的区域应力作用下的,且与介质强度更高的积累单元相邻,故每次调整场活动高潮的后果都给积累单元增加剪应力。这样调整场的总体如同一个自治系统,积累单元因受到调整场的周期性加

力,因之是一个非自治系统。按照物理学中非自治系统的“整步现象”可知,积累单元发生的大震可由调整单元的动态来预报。

二、整步现象

自治振荡系统是在单向外力或恒定能量供给下系统本身作一定周期 T_0 振动的系统。自治系统的周期取决于系统本身的结构特征,当自治系统形成后,如有另一个外供周期力作用到自治系统上,若自治系统本身的周期 T_0 与此外供周期 T 相近,或 T_0 近于 T 的整数倍 n ,则自治系统的周期不再以 T_0 出现,而是准确等于 T 或 nT ;即:

$$T_0 = T$$

$$\text{或} \quad T_0 = nT, \quad n = 1, 2, 3, \dots \quad (1)$$

这就叫做自治系统的整步现象。式中 n 为非零的正整数。当 $n=1$, $T_0=T$, 表示自治系统的周期与外供周期相一致,如 $n=2$, $T_0=2T$, 自治系统周期为外供周期的二倍,这种周期可称为可公度周期。当 T_0 与 T 的比例近于两个不太大的整数 n , m 的比例时,在自治系统中也可看到整步现象,此时自治系统的周期所取之值为:

$$T_0 = \frac{n}{m} T, \quad (2)$$

如果 $n=3$, $m=2$, 则 $T_0 = \frac{3}{2} T$, 这实际上接近黄金分割值了。如果 $n=5$, $m=3$, 则 $T_0 = \frac{5}{3} T$, 此时就更接近黄金分割值了。

以上的整步现象是进行不同时间尺度大震预报的基础。它可被分为层次来讨论。

1. 超长期预报

这是大震整个孕育时间尺度的预报, 约百年到千年的量级。当调整场的活动高潮出现若干次后, 大震在相继的活动高潮中发生, 即大震发生与次强地震活动高潮的周期“整步”了。这可举陕西关中地区 3000 年的地震活动史来讨论^[3]。在这 3000 年中破坏性地震曾出现 4 次高潮, 其间歇期约 600—800 年。前三次高潮可视为调整场的活动, 它们给介质强度更高的且具有发生特大地震孕震体的地区加力, 待第 4 次调整场的活动高潮来临时, 著名的关中 $8\frac{1}{4}$ 级特大地震就发生在此高潮中, 此震时曾死人 83 万。以上整步现象就是可公度性的实质。

2. 长期预报

这是指太阳活动的 11 年周期和月亮轨道 18.6 年赤纬变化周期等与大震发生的“整步”。这是外因与内因结合的整步。在某一地区, 并非在上述每个周期时都发震, 而是在若干周期后的某次周期发震。即 (1) 式中 $n > 1$ 。

3. 短临预报

当震源系统已处于不稳定状态时, 其对外因作用的整步现象是不稳定状态下的整步现象。此时弱小的具有某种周期的外因也可作为周期性的外供力使震源系统出现与外因周期相关的整步现象。秦保燕的研究指出*, 不少大震前的前兆出现若干次起伏, 以 $n=3$ 最多, 1976 年唐山大震前的小震调制比异常也出现了 3 次起伏。

二、调整场的空间范围

按照自治系统和非自治系统理论, 积累单元发生的大震可由调整单元或调整场中的地震活动和其他前兆来预报, 因之人们就很关心调整单元和调整场的范围了。

对于单个组合模式来说, 自治系统的统计范围究竟能达到多远, 这主要取决于震源体的尺度以及端部剪切应变的大小。震源体愈大, 剪应变愈大, 则调整范围愈大。根据文献[4]的研究, 前兆场的半径 R 为:

$$R \text{ (公里)} = 10^{0.508M - 1.377} \quad (3)$$

那么一个 7.5 级地震其调整场半径约为 270 公里。应当指出, 在自然界中, 调整单元不都是如图 1 所示的简单形式。它可能是调整区, 而且不仅仅限于分布于积累单元的两个端部。另外调整单元还可与更外围的蠕滑断层或某些弱区相连接从而形成较大范围的调整系统。这个调整系统在定常外力作用下成为一个自治系统, 它使得一个大震孕育过程中的前兆在较大范围内得以表现。按文献[5]的研究, 这个系统的范围大致可按一个大震震源体的 10 倍来考虑:

$$\text{即} \quad d = 10 \cdot L \text{ (公里)} \quad (4)$$

其中 L 为震源体尺度。考虑到 $M = 3.3 + 2.1 \log L$, 则有^[1]:

$$d = 10^{0.48M - 0.57} \quad (5)$$

对于一个 7.5 级地震来说, 这个范围的尺度可达 1000 公里, 即前兆出现的震中距可达 500

* 秦保燕等, 震源系统 r_m 和 S_m 起伏加剧的时空特征与强震的中短期预报, 1993.

公里。由于震源端部的调整单元往往是不对称的,即有一个调整单元的调整能力很强,另一个相对较弱,所以调整系统的范围实际上要小于(5)式中的 d 值,但较发育的调整单元其调整场则可达到 $d/2$ 值。

四、关于调制模式与自治系统

调制模式是我们在1977-1978年提出的进行中期和短临预报的模式,后来进一步作了论证。该模式实际上是震源系统发展到不稳定状态下的整步现象,这种整步现象支持和保证了用调制模式预报大震发生时间的可能性。当 n 已知时,可准确预报发震时间;当 n 不知道时,可按公度性预报时间。根据我们的统计,大震前中短期前兆有许多是呈起伏变化的,而且它们中有不少起伏为 $n=3$ 次时大震就发生,例如海城地震前较大范围内小震频次、水氡、地气、地应力前兆与外因调制形成3次起伏,以及起伏的时间特征是有倍九天特征等^[6]。这实际上是震源系统不稳定状态下的整步现象。

对于大震预报来说,不同时间尺度的整步现象以及嵌套关系值得今后进一步研究。整步现象的引入,改进了地震预报中认为发震概率随时间均匀增长的观点。它是跨越式预报的物理基础之一。

五、结束语

最后应当指出,大地震的孕育和孕震系统较之力学和电学中的振动或振荡系统要复杂得多。本文仅利用自治系统和非自治系统的概念结合组合模式进行了一些讨论。可以看出,这种概念在研究大震前兆起伏特征和大震的时间序列特征方面有广阔的应用前景,从而对大震的长期、中期和短临预报有重要意义。当然在本文中我们只讨论了在震源侧旁水平加力的情况,事实上震源底部也有力作用。例如垂直力的作用以及立交模式中深部剪切蠕滑线对震源的加力作用都需进一步研究。

参考文献

- [1]郭增建、秦保燕、李革平,未来灾害学,地震出版社,PP.304-309,1992.
- [2]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,Vol.16,1973.
- [3]郭增建,1556年1月23日关中大地震,地球物理学报,Vol.6, No.1, 1963.
- [4]郭增建、秦保燕,地震成因与地震预报,地震出版社,PP.79,1991.
- [5]凯依利斯巴罗克,岩石圈和地震预报中的混沌,分形与混沌在地球科学中的应用(陈颙等著),学术期刊出版社,1989.
- [6]秦保燕、白建华,前兆起伏加剧与短临地震预报,西北地震学报,Vol.11, No.4, 1989.

AUTONOMOUS SYSTEM AND THE COMBINATION MODEL OF FORMING EARTHQUAKE SOURCE

Guo Zengjian, Qin Baoyan, Rong Dailu

(*Earthquake Research Institute of Lanzhou, SSB, China*)

Abstract

The concept of autonomous system in physics was firstly applied to the studies on seismogenesis and earthquake prediction. On this basis the authors have gone to further step to discuss autonomous system combining with the combination model. It is pointed out that for single seismogenic body the adjusting elements may appear a characteristic of periodic movement before the occurrence of a great earthquake and form fluctuation aggravation of precursors. For large seismogenic system the time variation of seismicity of large area appears a certain periodic characteristic. The synchronization in autonomous system and some quantitative relations about oscillation period have been applied in generation of earthquakes. The theory of autonomous system and non-autonomous system are important for earthquake prediction.

Key Words: Autonomous System; Non-autonomous System; Combination Model; Earthquake Prediction