

地震预报研究

第一辑

国家地震局分析预报中心

地震预报研究

(第一辑)

目 录

(I) 论文全文

地震预报综论

- 地震预报现状.....丁国瑜 梅世蓉 马宗晋 (1)
- 从唐山地震的前兆特征看强震的孕育过程及综合预报强震的初步探讨.....
.....梅世蓉 (8)
- 渐进式地震预报及其三个理论问题的讨论.....马宗晋 (13)
- 地震大形势的研究.....高旭 马宗晋 (20)

地震构造分析

- 亚欧地震系的地震构造特征.....马宗晋等 (24)
- 中蒙大陆中轴构造带及其地震活动.....马宗晋等 (31)
- 美国与中国大陆地震构造的比较.....马宗晋 (45)
- 中国第四纪活动断裂分区与地震活动性.....强祖基等 (51)
- 小尺度地幔对流, 壳下应力场与华北地震.....朱岳清等 (61)

地震活动性研究

- 地震类型与震源机制.....刘蒲雄等 (70)
- 强余震活动的持续时间.....付征祥 (81)
- 大震孕育过程的地震活动图象.....刘蒲雄等 (87)
- 强震前大范围地震活动性参数的时空扫描.....黄德瑜等 (97)
- 大地震前后区域地震活动聚散及其讨论.....付征祥 (105)
- 大地震后短时间内余震活动时空分布的某些研究.....吕培苓 (112)
- 用单台四震相法讨论唐山地震的波速异常.....姜秀娥等 (119)
- 大陆地震活动图象分析.....陈章立等 (128)

强震序列衰减的两种主要方式·····	焦远碧等	(141)
--------------------	------	---------

地震预报前兆方法探讨

从华北地区强震活动的规律性, 论危险区划分的一个途径·····	梅世蓉	(149)
变化磁场及其跨跃式预报方法·····	丁鉴海等	(159)
地磁“红绿灯”法统计检验·····	李献智等	(165)
总磁场强度的空间相关性及其在地震预报中的应用·····	杜安娜等	(169)
地下水氧浓度临震突跳现象·····	杨玉荣等	(177)
用马尔科夫链做中强震迁移预报·····	冯 义	(182)
旱震关系与大地震中期预报·····	耿庆国	(192)
地震前兆数据功率谱分析方法·····	邢如英等	(202)
关于视电阻率法测报大震若干技术问题·····	桂燮泰等	(212)
关于地电阻率法预报地震机制探讨·····	汪志亮	(221)
地下水化学组分变化与地震·····	张 炜	(231)

地震前兆特征分析

亚欧大陆地震活动的空间谱分析·····	朱岳清等	(251)
全球地震活动与宇宙环境的关系·····	高旭等	(264)
地震前地下水位的短期及临震变化异常·····	汪成民等	(267)
大震前水化(水氧)的前兆特征·····	鄂秀满等	(277)
唐山7.8级地震孕震过程及中期前兆分析 ·····	张国民等	(292)
唐山强震前后北京, 天津周围地区应力的变化过程·····	华祥文	(302)
京津及文坝地区部分井孔地下水气氢, 氧, 碳同位素比值初探·····	穆松林	(317)
华北大地震前大气压力变化特征研究·····	黎令仪	(322)
唐山地震前京津地区水氧异常场的某些特征·····	李宜瑚	(327)
唐山地震前地电阻率临震异常的可能原因·····	关华平等	(336)
京津地区水氧突跳与短临预报·····	张宗智	(340)
唐山地震前后的重力变化·····	马 丽等	(344)
唐山地震重力前兆特征·····	吴 兵等	(349)
唐山地震形变前兆场探讨·····	何世海	(358)
唐山地震前地磁场 Z 分量的变化·····	李献智	(364)
华北地磁场长期变的空间分布模式及其应用·····	卢振业等	(366)
唐山地震的地磁长期变化异常探讨·····	李存悌等	(373)
丰镇5.8 级地震前地电阻率的异常特征·····	王国庆	(383)
唐山地震前后地磁 Z 分量功率谱异常·····	卢振业等	(387)

预报方法的实验研究

视电阻率异常的一种可能机制.....	贺国玉等	(394)
单轴压力下样品破裂过程中几种化学参数变化的实验结果.....	罗光伟等	(399)
火车产生的磁场对地磁台的影响的实验研究结果.....	邓顺兴	(404)
埋设水管对地电阻率观测的干扰.....	赵成达	(412)
地磁日变幅的月相效应.....	丁鉴海等	(419)
地下水氡含量观测图象的分析.....	杨玉荣等	(428)
地震前后地下水位异常动态与岩体裂隙演变.....	汪成民等	(441)
关于潮汐因子 δ 的干扰因素及预报地震问题的讨论.....	邢玉安	(448)
用多道维纳滤波方法处理唐山地震前后的大灰厂三种形变资料.....	韩大字等	(456)
台站重力观测资料干扰因素的分析.....	李 贵	(463)
京棉一厂热水井水色度对部分项目的干扰及排除.....	杨舜娟	(472)
地磁格值仪的温度效应及校正.....	郑香媛等	(484)
论简易有效的模拟数学模型和目前京津地区的形变异常.....	何世海等	(486)

其它

论中国地震台网的监测效能.....	吴开统等	(496)
龙陵地震序列初期余震的“平均”节面解.....	杨懋源等	(502)
中国东部各区域台网报出的 M 震级比较.....	冯 浩	(505)
固体潮汐理论值计算.....	郝钦文	(510)
断层活动与重力段差变化关系的探讨.....	吴 兵等	(522)

(II) 论文摘要目录

中强地震的前兆特征及其预报中存在的问题与强震共性和特性的讨论.....	丁鉴海等	(526)
地下氢气与地震预报.....	王基华等	(526)
我国地下水位动态观测网的布局原则, 建网方法与效果评价.....	汪成民等	(527)
利用地下水化学成分变化预报地震十二年——手段评价.....	张炜等	(528)
全球地震活动的某些特征及其与宇宙环境的可能联系.....	高旭等	(529)
太阳活动影响地震的证据.....	刘德富等	(530)
亚欧大陆地震活动性的某些特征.....	朱岳清等	(531)
陆区板内地震发生的一种可能原因.....	刘德富等	(531)
唐山强余震预报问题的探讨.....	张肇诚	(531)
对唐山地震前兆的分析.....	李献智	(532)

丰镇地震破裂参数·····	卓钰如等	(533)
华北成串强震整体孕育过程的探讨·····	刘蒲雄	(534)
唐山地震的重力异常·····	吴 兵	(534)
唐山地震地磁短周期变化及可能的物理机制·····	杜安娜等	(534)
形变台的干扰因素分析及台站设计·····	杨军	(535)
昌黎台地电阻率的年变化·····	关华平等	(535)
有年变的地电阻率异常识别·····	汪志亮	(535)
在我国发现的地震前地下流体异常的实例·····	石慧馨等	(536)
中国一些活动板缘地带的热流体地球化学特征·····	石慧馨	(536)
岩石标本受压时间和氧射气量的实验结果·····	罗光伟等	(536)
地下水中某些化学组分短, 临变化特征·····	杨玉荣	(537)
唐山大震前京区地球化学异常特征·····	李宣瑚	(537)
京棉一厂地热井水氧气总的主要干扰与排除·····	杨舜娟	(538)
唐山震前地震活动的异常图象·····	黄德瑜等	(539)
区域震群与唐山大震·····	姜秀娥等	(540)
华北强震前的区域震群活动特征·····	姜秀娥等	(540)
大地震前后区域地震活动迁移·····	付征祥	(540)
华北强地震余震震群应力场“窗口”效应·····	姜秀娥等	(541)
自动挑选地震信息和绘制震中分布图程序·····	朱岳清等	(541)
用计算机绘制形变电阻率年变化曲线图程序介绍·····	邢如英等	(541)

地震预报现状

丁国瑜 梅世蓉 马宗晋

回 顾

本世纪六十年代以来,全球大约有二十余次7级以上强震发生于大城市或工业中心的附近,给人类造成了很大的灾难和损失。这些灾害再一次引起了许多国家对地震预报的关心。一些地震较多的国家,制定并逐步开展了较全面的研究计划,大大推进了地震预报研究的发展。七十年代以来,关于预报的物理基础和各种预报方法的探索尤为活跃。板块构造、地震波速变化、地震粘滑机制、膨胀理论、地震的诱发与控制、海城地震的预报成功,在南关东、加尔姆、沿圣安德烈斯断层等地的系统研究都是引起了广泛注意的事件或课题。在上述工作的基础上,加上近代观测技术的提高,地震预报取得了较快的进展。这主要表现在:

1、近些年来对地震前兆现象的研究有了很大的发展

人们从不同地区大量的震例中获得了许多相类似的前兆现象,为探索建立具体预报地震三要素的方法提供了事实依据。从而把早期多半是时间、地点很粗略的统计性的长期趋势性预报,推进到了根据这些前兆现象进行确定性的短期(月以至天)实验预报的新阶段。而且已有几个国家取得了预报成功的少量实例。

2、一系列前兆现象的取得,为多个震例前兆资料的对比综合研究,对孕震过程物理模式的讨论提供了条件,推进了对大量经验性预报方法理论基础的深入研究。

七十年代以来,以膨胀理论为代表的种种蕴震假说的提出,地震预报物理基础的讨论以及室内和野外现场的各种实验工作的开展,反映了企图对各种前兆现象和地震全过程给予综合的理论说明的意向。从预报方法角度看,这项工作对判断各种异常现象是否前兆,判断它们处于地震孕育过程中的什么阶段,使经验性的预报方法具有更科学的理论基础是有重要意义的。

3、近年来对震前现象的观测,不仅从内容上日益丰富,而且从观测范围及时间上都更加广泛和系统。

因此,对地震具体孕育过程的讨论和认识增多了,不约而同地提出地震蕴育阶段的概念,提出了大体相似的长、中、短、临预报阶段的划分,提出了探索合理的预报程序问题。而且已在一些地区,运用这一思路,进行了或正在进行着具体的预报实验。

对已经取得的经验和方法、当今的预报水平应当给以如何的评价呢?1976年以前,由于波速异常和预报物理基础问题的讨论以及我国海城地震预报的成功,曾经一度给人们以预报问题可能较快解决的印象。但1976年一系列大地震在未能预报的情况下相继袭击了城市和乡村,一些初步总结出的预报三要素的方法和经验,不断遇到了新现象和新问题的挑战。在相似的观测条件和预报方法的情况下,海城地震预报成功而唐山地震预报失败;美国南加州隆

起现象究竟是否是大震前兆？日本东海何时将发生大震？以及对波速变化和多种前兆现象不同认识的讨论等等；反映了地震预报和预报方法问题的复杂性。

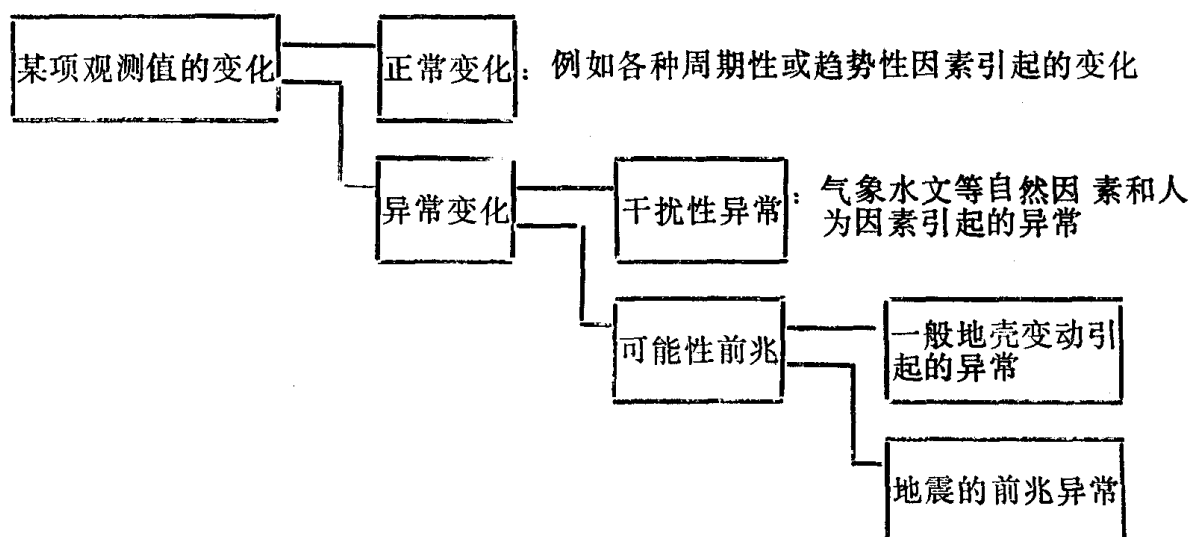
所以，总的看来可以说，运用目前对地震前兆现象的认识所建立的一些预报方法，有可能对部分地震作出某种程度的预报，但是由于地震有关现象的复杂性和当前取得的经验的局限性，地震预报和预报方法都还存在大量问题。因此为了进一步提高预报水平，总结现有的经验，讨论地震预报方法的现状，研究它存在的问题，探讨改进它的方向，是很有必要的。

前兆及其在预报中的运用

利用观测地震前兆进行预报是当前地震预报最主要的一种方法。这方面的工作非常之多。一般往往用前兆持续时间的长短、前兆异常幅度的大小、空间分布范围的大小、前兆的发展阶段等作为预报地震三要素的依据。当前在预报实践中大量的经验和方法都是属于这一类的。但是由于对地震和一些前兆的物理机制还不清楚，而与地震现象有关的因素和条件又极其复杂，这种根据前兆现象进行预报的方法还是经验性的，还存在着许多的问题。下面择要作一些讨论。

1. 地震前兆的判定

在总结分析大量震前观测资料的基础上，已提出了十几类，数十种的宏、微观“前兆”。但至今还没有一种被确认是震前必然出现的前兆现象。实际上现在已知的前兆还只能说是一种可能的前兆。在利用这些前兆进行具体预报时，首先需要进行对异常现象的一系列判别工作。以力求从中找出一些可据以作出预报的可靠信息。一般说大致的判别程序如下：



在识别正常变化和干扰异常方面，已积累了一些经验和方法，但判别的工作有时仍很困难，如正常的周期变化本身就很复杂，有时也并不易于识别，而叠加在周期变化之上的震前异常若量级很小时，则难于择出。又如降雨可导致地形变观测出现干扰异常，但降雨又可与断层的地震活动有关，这都增加了分辨是否前兆的困难。可能性前兆是地壳变动所引致的力学、物理、化学的异常现象，它们是否预示未来一定发生地震，还要看异常的发展，但有时

分辩至这一步，已可以作为进行趋势性预报的一种依据了，所以称之为可能性前兆。

2、前兆现象在时间上的分布

震前不同种类异常出现的早晚是不同的,而且表现的形式也不一样。有的异常表现为较长时间的持续发展,在发展过程中还可表现出不同动态的变化;另一些异常则表现为突发性特点,包括观测值的急剧变化和突然出现的现象等。前者可称为缓变式前兆,后者可称为突发性前兆。

根据我国近几年发生的十余次7级左右震例,有些资料表明一些缓变式的前兆现象在其发展过程中,在震前几十天至几个月的时间内,异常现象有加速、转向、恢复等明显的动态变化出现,而在临震阶段则出现突发式异常较多。

关于各类前兆持续时间的长短与震级的关系，力武常次、米雅契金等曾作过统计。根据我国的震例资料，也进行了统计。与力武的结果（A式）相比，同一震级前兆出现的时间要短（B式）。

$$\text{Log}_{10} T = 0.76M - 1.83 \dots\dots\dots (\text{A})$$

$$\text{Log}_{10} T = 0.38 M - 0.34 \text{---} \dots\dots\dots (\text{B})$$

这种差别与各类异常出现时间的早晚不同有关。力武的统计中,强震的前兆主要是用的形变和波速比异常等资料。B 式则以中期的多种前兆异常为依据,因之所得结果不同。所以在利用前兆持续时间讨论与震级的关系时,应结合考虑选用的前兆种类。

不同前兆反映了地震孕育过程中不同的侧面。有的是在孕震初期就很明显（如地形变、空区等），宜用于长、中期趋势性预报。有的则是在短临阶段才有明显显示（如水氡值的突跳变化、动物习性异常等），宜用于作短临预报的依据。

3、前兆现象在空间上分布

前兆的空间分布与地点和震级的预报有关。一般说来,未来的震中往往位于前兆异常现象出现相对集中的地区。根据前兆现象出现范围的大小来讨论与震级关系的工作很多。大量有关地形变异常区的大小,围空区的大小,以及其它一些前兆现象的空间分布范围与震级的统计分析,都大致反映了震级与前兆分布范围的大小,是呈正相关关系。但震源的深浅、应力状态的不同、地质构造的不均匀性、观测条件的差异等,都会造成地震前兆现象在空间表现上的差别。因而使得这一关系可以呈现出复杂的情况。例如一些实验工作表明,标本的应变前兆曲线形态在不同部位(如在压入区与压出区)就有明显的不同。所以,它们只能定性地说范围与震级大小的正相关,用来作准确的计算还有不少问题。

前兆的空间分布，一般说来是愈接近震中区，异常幅度愈大些，异常出现的时间也愈早些。已有很多震例都表明大体符合这一情况。但是，有时在震中区附近或距震中很远的外区，会出现多个同时发展的异常现象集中的地区，如唐山地震前，在北京附近的几个断裂带出现了地形变、地下水等等的异常现象。再者，有些异常并不在震中区表现最强、出现最早。如海城地震前，首先是海城以南辽东半岛南端的地形变和地磁出现明显异常，临震异常也是先在外围的丹东地区(距震中140公里)出现。这些情况都会直接影响发震地点和时间的判断。

各类前兆的异常幅度与震级的统计关系是复杂的。如波速比下降值, b 值的大小与震级大小多无明显关系。地形变、地磁、重力的异常变化的幅度, 从理论上推算应与震级有关, 但由于观测条件, 地震特点等等差别, 也往往只能给出大致的估计。

从上述一些问题的情况可以看出,无论是前兆本身的确定,还是用前兆进行地震三要素的预报,还有大量有待进一步深入研究的问题。由于前兆现象的复杂性,而进行的观测往往又是很局限的,现有的一些有关前兆的认识也是从有限的震例中得出的,它们还远不能全部反映客观存在的复杂情况。因之利用前兆进行地震三要素的预报中,不可避免地要带来虚报和漏报。在现在的这一情况下,怎样尽量减少虚报、漏报,并提高预报的准确性呢?除了对上述问题本身作进一步深入的工作以外,在许多地区开始了对多种指标综合判断以进行预报的探索。它的实质就是分析各类前兆在时间上、空间上以及组合上的物理力学关系。种种蕴震模式的讨论就是这类性质的工作。许多震例表明,一次大地震前的多种异常现象在时、空分布上经常不是散乱无序的。多种异常现象往往在空间上集中出现,在时间上发展同步或相关,反映了它们在物理力学上有着密切的内在联系。运用这些特点并结合对大区域地震活动背景的认识对异常作出综合分析,将会有助于减少判断的片面性,提高预报的准确度。

地震预报的阶段

从许多有关地震前兆现象的资料看,它们的出现、发展和变化是地震孕育过程各个阶段的反映,也是大区域地壳变动与震源逐步形成和暴露过程的反映。地震预报阶段的划分也正是以这一点为基础。对地震孕育阶段有着不同的划分意见,但大体相似,并多与岩石力学实验中的破裂过程相比拟。

不同的预报阶段有不同的任务、不同的预报依据和方法。下面按照对一次强震可能经历的长期、中期、短期、临震、余震五个阶段,作扼要说明:

1. 长期预报

长期预报往往是关于某一个地区地震活动的趋势估计和概率性预报。长期预报多是根据对地震活动性(如地震活动的阶段性、周期性、重复性、填空区、大震迁移……)的研究,区域地壳形变的研究,活动构造的研究,以及地球环境和宇宙因素与地震活动关系(如地球自转、太阳活动……)的分析,运用统计、相关分析的方法作出的。预报的地区和时间尺度都比较大,往往还很难于判定将来发震的具体地点和时间。有人称此阶段为预报的预备阶段。

2. 中期预报

对超前几个月以至一、二年时间的中期预报,除了利用一些统计预报方法外,主要是根据震前相应的时间出现的一些前兆而作出的。如地震活动出现异常的条带状分布,能量释放的加速, b 值下降,波速、地壳形变、重力、电阻率、地磁、地应力、地下水位以及一些水化学成分等出现的明显的趋势性异常变化等。在大面积上进行重复测量(地形变、重力、地磁等)以寻找中期异常的方法,已得到较普遍的运用。依地壳应变而言,中期异常大致可超过 1×10^{-6} 的量级,按目前的观测精度,这样量级的异常是能够确定的,从而圈出显示有中期异常的地区。利用这些趋势性异常进行中期预报,区别出年变和较长时间的周期性变化是一个特别要注意的问题。此外,在一较大范围内,可能同时出现几个有中期异常显示的地区。它可能是在大区域应力加强的情况下,由于地壳结构的不均匀性,出现多个应力集中点的反映。其中那一个发展为未来的震源区,在中期预报阶段往往是难于判定的。所以中期预报的任务就是在长期预报有地震危险的地带,圈定一个或几个有中期异常集中的地区,并分别作

出震级和时间的估计，更有目标的加强各种监测工作。许多重点监视区大量工作的布署就是这样确定的。一些成功预报例子，也是在中期预报为短临预报提供了背景和目标的的前提下取得的。

3. 短期预报

许多中期异常进入短期阶段的主要标志常反映在观测曲线出现形态的明显变化上。如速率明显加大、反向等。在大震前几天到几个月的时间内，往往在震源区附近出现更多更明显异常现象。多种异常往往集中在某一个活动构造带上，并表现出有同步性或有联系地变化，或有规律地由外围向震中区迁移集中的现象。上述表现有助于作出进入短期预报阶段的判断。这些现象可能反映着区域的应变沿着某一地带的激化，开始了微破裂的串通和断裂的稳态蠕动阶段。分析这些现象，可作为进一步选定发震区、作出短期预报的依据。在利用上述异常特点进行短期预报时，要特别注意季节性因素(降水、温度变化等)和周围环境因素的干扰。

4. 临震预报

由于在临震前发出预报有重大的实际意义，它是取得预防实效的关键。因此人们对临震前兆现象的探索特别注意。目前已有不少关于临震前出现特殊前兆现象的报导，如地电流、电磁波干扰、地声、地光、地下水位变化、长周期的地旋、前驱波、水化学成份变化、动物习性异常以及小震的密集—平静等。有一些震例的资料表明震前几小时、几天出现的临震异常往往具有突发性的特点。有些短期异常发展到临震时常常出现幅度上的剧烈变化、异常点数量的急剧增多或异常显示区域的迅速集中等现象。这对判断发震时刻是有意义的。但是实践表明，根据这些现象作出临震的判断还有许多困难。因为引起突发性异常的干扰因素很多(如高空、气象、天文因素的突然变化等)，异常持续时间又短，不易鉴别。再者地震前又可能出现几次异常现象的高潮，这就容易造成虚报。

发震时间的确定，触发因素(日月潮汐等)是一个不应忽视的问题。此外，有些震例表明震前的动物习性异常，有些穴居动物(蛇、鼠等)出现较早，而大牲畜(牛、马等)往往出现比较晚，这种次序关系也可在判断发震时间时参考。关于临震突发性异常在空间上出现的情况，也是一个复杂的问题。从现在的一些资料看，出现异常数量仍是以震中区为最突出。但有些震例(如松潘7.2级地震)表明，临震异常开始时并不一定先在震中区最明显，而是在外围的某些点上突出；发震前才在震中区集中出现。这一情况是否普遍存在，还需继续观察和研究。在突发性异常此起彼伏的出现过程中，要求指出很小的地震危险区是困难的，所以直至这个阶段还往往是不得不同时注意几个地点发震的危险性。

5. 余震预报

一次强震之后，强余震的危害有时仍然很大。尤其是所谓“晚期强余震”，常常是发生于人们已经认为地震危险期已过的时候，因而常常造成很大的伤亡。对余震的讨论很多。余震预报较主震似乎稍容易些，发震地区比较明确，但仍有许多预报问题需要回答。例如已发生的强震是否主震？地震的序列类型如何？余震的震级多大？何时发生？是否会有晚期强余震等等。

由于强震的发生，必然会引起相当范围内应力场、各种地球物理场的变化，震后突发性

异常在某些地点上有时更加剧烈，这时的震情判断就更为复杂。一次大震之后，根据一些与地震前兆表面上很相似的异常现象，继续预报还有大震，从而造成虚报的事是屡见不鲜的。多种异常现象是强震之后的后效？还是未来强余震的前兆？还是周围受牵连地段将发生地震的前兆呢？都是需要研究和回答的问题。

强震之后对大小余震的序列及其分布的深入研究，提供了许多有关余震预报的经验。例如强余震前小震活动表现密集、平静的特点、触发因素与余震的周期性等，有助于强余震发震时间的判断；能量衰减的分析配合前兆现象的分析有助于强余震震级的推算等。有关“晚期强余震”的研究相对较少，对它的含义也还是不清楚的。从1978年海城6.0级地震的资料看，强余震往往是发生于余震分布区中的一个空区之内，可能是震源破裂区的一个残连段的破裂。

总的看来，地震三要素的预报常常是在长、中、短。临不同阶段预报的过程中逐步明朗的。震级预报的基础主要在于中期预报阶段；而地点的预报在中期预报阶段还往往是多点的，需要根据短期和临震前兆的发展情况才可能进一步选择；时间的预报，除根据短期和临震阶段异常的特点判断外，还应注意触发因素的分析。在整个的预报过程中，随着对前兆组合情况及其时、空变化的研究，配合地震地质条件的分析，还应对未来地震的类型，甚至破裂机制给出判断。这对震时震动特点和震害预测都是有意义的。

此外一些资料表明，在很短的时期内即完成了孕育和发震的过程的突发性地震也可能是存在的。突变理论在地震预报中的运用也是一个值得注意的问题。

几个问题

前兆现象的研究是地震预报的核心问题。现在已提出的可能性前兆很多，但它们往往仅是根据有限地区的震例概括出来的，观测的时间也很短，而且对其物理基础研究的还很少，运用它们进行实际的预报时还存在着大量的问题和困难。因此，今后的一个重要任务仍然是要取得大范围 and 长时间的可靠实测资料，并相应地研究它们的物理实质，为鉴别前兆的真伪，探寻必震的前兆创造条件。

在运用前兆现象进行地震预报中，地震类型的不同和前兆的多样性的关系是近来已开始引起人们注意的一个问题。对地震类型的讨论虽然由来已久，但有关不同类型地震前兆特点的研究还很少。现已有一些资料表明，地震的前兆特征，如有前震、异常的种类、发展的过程、组合形式、临震异常的表现、震源机制、等震线的形态以及余震活动的特点等，常常是有些地震相同，有些地震不同。在运用一些预报经验和方法时，如果地震类型相近就可望成功；如果差别很大，机械搬用，则难免失败。

区别震源有关的前兆和区域应力场上的一般异常现象，是另一个引人关切的问题。现实的资料表明，震源作为一个应力集中点看待，它往往不是孤立的形成和发展的。在地壳活动过程中，可以形成多个的应力集中点，出现多个有异常现象显示的地区，而其中只有少数导致发震的应力集中点，这就是震源。发震的与不发震的这些应力集中点，因为有同一应力来源的影响，有时可能在一些应力集中点上出现与相距很远的地震在时间上表现有密切相关的异常现象。此外，地震活动往往在大范围内也是密切关联的，有时大地震连续发生，它们的前兆以及后效

现象就构成了相互重叠的复杂关系。这些情况大大增加了地震预报的复杂性，特别是增加了预报地点的困难。往往由于对震源区的前兆与一般应力集中的异常区分不清楚而造成虚报。

因此不仅要研究单个震源的前兆特征，而且还应对整个构造应力场、前兆场进行整体的探讨，开展对大区域地壳运动(包括固体潮等地壳正常动态)与地震关系的深入研究。并从实践中探索鉴别地震前兆与一般应力集中点上的异常现象，以及一般地壳运动引起的各种异常现象的方法。这对选定可能的发震区，减少在其它地区的虚报都是很有意义的。

地震的触发因素问题是地震预报中的一个老问题了。对地震发生的时间受其它因素(天文因素及各种外部场等)影响的相关性的研究很多。有人认为有关，有人认为无关，安艺敬一还提出了对这两种可能的解释。关于水库、注水、核爆等诱发地震的问题以及降水、干旱等气象因子与地震的关系，也是人们注意研究的一个课题。从许多事实看来，宇宙因素和地球环境，包括各种外部场的扰动与地震关系的研究，在地震预报中，尤其是在临震阶段判定发震时间可能有重要意义。它是一个不可忽视的问题，但必须恰当地运用，否则将会导致虚报。

回顾地震预报研究的历史现状，可以看到，它从占星术士的卜算到运用科学方法，从只是个人的探索到成为一个被广泛研究的科学领域，从只是定性地趋势性估计到逐渐敢于进行大震的临震预报，是有很大发展的。尤其是近十几年，在许多国家开展了大量的探寻地震前兆的观测工作，取得了许多有关地震活动规律及有关前兆现象的资料和认识，出现了不少对它们的物理基础的理论探讨，积累了一些进行确定性预报的经验。尽管这个科学难题还未解决，人们对逐步解决地震预报问题的信心已大大地增强了。但是经验表明，那种企图找出一种可以预报所有地震的万应灵药的想法，可能在目前并不现实。这是由于和其他许多地学问题一样，这一研究对象及其有关因素具有极端的复杂性所决定的。因而主要还是要进行大量的实地观测，通过对多学科领域更广泛的调查，观测资料的分析与实验，理论的研究，揭露地震现象的内在实质，地震预报的状况将随着取得的认识的深度与广度的扩展而逐步得到改善。

(上接第12页)

震，其关系也不甚相同，这些复杂情形是不能忽视的。

在配套前兆异常相对集中分布的范围内和中小地震包围的地区内包含着未来的地震震中，异常出现较早，幅度最大而又有加速、转折交变化的观测点比较靠近震中。

仅仅根据趋势异常要想对发震时间作出明确判断是根本不可能的。关于发震时间预报问题基本依据只能是短临前兆，唐山地震的短临前兆显示出特殊的复杂性，这方面的问题将另作讨论。

从唐山地震的前兆特征看强地震的孕育过程及综合预报强震的初步探讨

梅世蓉

摘 要

本报告从分析唐山地震前出现的三批趋势异常特征出发,提出唐山地震孕育过程大致可分为四个阶段;然后,根据从唐山地震取得的认识,结合震前数年的预报实践,提出综合预报强震的初步设想,共分三节:

- 一、唐山大震前的趋势异常
- 二、对唐山地震孕育过程的初步剖析
- 三、孕育强震的综合判据

唐山地震前在京津唐张地区观测到许多异常现象,按手段进行分析总结的报告已经不少。作者不想对现象本身再去进行细致分析,而是从各手段的总结中挑出那些较可靠的震前异常,对它们进行综合分析,从综合的角度去研究孕震过程,最后以孕震过程的初步认识为基础,提出综合预报强震的初步设想。

唐山大震前的趋势异常

根据目前的了解和认识,唐山地震的趋势异常大致可以归纳为三批:

第一批异常大致从1967年开始,主要包括区域地震活动性异常与地形变异常。

第二批异常大致从1970年以后陆续出现,包括测震、重力、地电、水氡、水位、海平面等方面的异常。

第三批异常从1975年3—4月以后陆续出现,包括外围地区的短水准、断层位移、地磁、地应力异常等。

异常的成批出现反映了孕震过程的不同阶段

在这众多的异常中,测震学提供的异常最早、也最多。1966年以前,在京津唐渤等地区,总体说来,并没有发现什么明显异常。当时地震活动水平不高,强度不大,大小地震的比例正常,小震空间分布零散, P波初动也很杂乱,唐山及其附近处于4级以上地震的空区内。这些情况表明:当时全区的平均应力水平不甚高。然而,1966年邢台地震后,情况就开始变化,全区地震活动水平增高。1967年河间地震后不久,延庆就发生5.5级地震。同年涿鹿、四海一带先后出现震群活动。在全区地震活动水平增长的背景上,津、唐、滦地区也明显活动起来,尤其是河间地区。从京津唐张的西区、中区和东区各项指标看,这一地区活动性最高。从小震频度变化曲线看,1967年开始上升,至1969年达到高峰之后,1970年以丰南地震为转折,小震频度逐渐减小,而中等地震(4级以上)却有所增强。与此同时,在丰润、宝坻、玉田一带相继出现震群活动,表征这一地区应力水平在提高。由地震波谱测出的区域剪

切应力 τ_0 值,在唐山、丰南一带最高(870 巴),这是该区应力增强的直接证据。1972年以后,昌黎台P波初动矛盾比开始减少。1973年起,在唐山地区出现b值的明显下降,低值区位在唐山东南部。同时,唐山附近地质上的菱形块体内停止小震活动,外围地区中小地震活动频繁,形成中小地震包围的空区,1973年以后,活动强度越来越强,4—5级地震接连发生。所有这些都表明,该区应力已增长到更高水平。

就在测震学指标显示出多项异常的地区内,大面积水准测量也在这里观测到明显异常。有趣的是:水准异常也大致从1967年开始。在这以前唐山及其附近地区为下沉区,下沉速率为0.3毫米/年,1967年转为上升,每年平均上升为11.1毫米/年,1970—1972年转为下降,其速率为10.8毫米/年,1973—1975年又转为上升,速率为2.7毫米/年。还有一个有意义的事实是:隆起中区所在的丰南地区正是早期空区内开始个别发生个别地震的地区,也是剪应力最高的地区。1970年以后,当小震频度由上升转为下降,这一地区也由上升转为下沉,而且下沉区由西南开始向东北方向扩展。唐山震区在1970年以前下沉并不明显,相对其北西及南东方面,它还是下沉区中的隆起区。但是,1970年后加速下沉,下沉区向东北方向伸展。将水准变化具有前述那种形态的地区圈划出来,正好在震中附近长约60—70公里、宽约50公里的范围内,震前1967—1969年形变速率加快,约为1954—1967年期间形变速率的10倍左右,相对于周围地区形成局部隆起。

由横跨唐山断裂测线的各点高程差变化看,在离断层稍远的北侧上升,南侧下沉;在靠近断层处是逐年下沉,表明在紧靠断层的20公里范围内呈现应变积累。断层附近的应变积累可看作是与地震时所产生的实际位错方向相反的假想位错,借用张郢珍循此思路所得的初步结果,有助于对隆起转下沉这个现象的理解。她用倾滑断层在断层两侧引起的垂直位移曲线来拟合水准观测资料,结果是:当倾角为 70° ,断层宽度与长度之比为0.2时,理论计算结果与实际资料符合最好。这个结果说明,从1970年以后唐山断层区可能发生过蠕动。

流动重力在震前测得重力异常,它从1971年开始,1974年以后加快上升,至1975年累积变化达130 微伽,从1975—1971年重力差的平面分布看,变化最大的地区在唐山—山海关带上的唐山、滦县。

以上这几方面趋势异常对我们理解唐山地震的孕震过程有着基本意义。除此之外,在1972—1973年还有下列异常应当指出:

以唐山、昌黎为中心的地电阻率趋势下降异常,大致从1973年开始;

以田疃、安各庄为代表的水氛异常也从1973年开始;

塘沽海平面从1971—1975年上升8厘米;

唐山、宁河、天津一带深井水位从1972—1973年以后普遍下降,唐山下降速率达40厘米/月,这些趋势异常集中在菱形块体内或其西南。

1975年以后(海城地震在二月发生),唐山外围地区出现短水准、地应力、断层位移异常,昌黎地磁垂直分量自1975年11月下降,至震前下降量达8伽玛左右。

以上这一系列震前异常是否都是唐山地震的前兆,它们之间表面上显示的那些同步变化包含什么物理意义,是偶然的巧合,抑或必然的联系?弄清这些问题显然对预报地震来说有着十分重要的意义。因此,必须研究地震的孕育过程,从物理上去鉴别这些现象和孕震过程的联系。作者想从已有的理论成果中吸取食粮,结合唐山前的具体资料,作些初步探讨。

对唐山地震孕震过程的初步剖析

根据目前正在发展的地震破裂理论,地震是由于地壳岩石内的微裂隙在构造应力场作用下,其数量和大小缓慢增加,并形成新裂隙。在裂隙的相互作用下,发生裂隙加速变化进入非稳态发展的结果。从这个基本理解出发,大破裂前必然存在着不同的阶段性。各国学者对大破裂前的阶段划分有种种不同的方法和名称,但是以下三个基本阶段却是共同的:

(I)弹性变形阶段;

(II)非弹性变形阶段;

(III)非稳态阶段。

根据唐山地震的实际资料,其震前异常分批出现并显示出明显的不同特征,唐山地震的孕育过程作如下的理解。

鉴于唐山地震处于燕山带与平原带的交汇部位,位于菱形块体之中,从大的方面看,是一个应力集中的有利部位,但在历史上块体内又没有破坏性地震的记载,地质构造图上也没有给出重要的活断层。因此,设想该块体内的断层处于长期锁住状态。经过唐山大地震,该断层不仅活动,而且大为扩展。在这个锁住段内及其附近的岩石内存在着微裂隙,在构造应力场作用下,经过长时期的孕育而成。这个过程究竟有多长,难以说清,大致上可以分为四个大阶段:

(I) 1967年以前很长时期属于弹性变形阶段

在这个阶段中,震源孕育体中的介质和微裂隙都要发生弹性变形。在弹性变形的后期,对于定常的驱动速度,闭锁段内部的正应力和切应力都以不同的速度平稳地增长,在闭锁段端部达到极大值。由于断层处于锁住状态,自然要表现为地震的空区。同时,由于总体上的平均应力在这个阶段不高,地震活动水平不高的现象也是合理的,形变测量也未显示出违背线性变化的异常。

(II) 1967—1969年属于非弹性变形阶段

1966—1967年邢台、河间地震后改变了华北块体北部地区的应力状态,使唐山地区地壳深部应力有所加强。据罗焕炎等的计算结果,1969年渤海地震前,唐山地区应力比别区强,大震后唐山地区应力进一步增强三倍。当应力超过岩石的极限应力后,闭锁段岩石就要发生非弹性变形(包括塑性变形)和微裂缝的扩展,同时伴随着体积膨胀,非弹性变形从闭锁段开始不断向内部扩展,因而造成唐山及其周围地区从1967年后至1969年间的地面隆起及小震频度的增强。

在这个阶段中,在闭锁段的完全弹性区内正应力和切应力都在增加。可是,在非弹性变形区内,切应力增加更快。当切应力达到断层面的临界摩擦力时,断层面的局部破裂将会开始。1970年以后的事态发展可能就是这种情形。

(III) 1970—1972年新层面局部破裂阶段(前兆蠕动阶段)

如前所述,当闭锁段某处的切应力达到临界摩擦力时,断层面开始局部破裂,并伴随着两侧介质的前兆蠕动。1970年5月25日丰南地区发生了一个引人注目的4.6级地震,是闭锁

段局部破裂的实际证据。同时,唐山西南地区的地面转为下沉,塘沽观测到海平面上升,这些都可以作为断层蠕动的一种表现。张郅珍利用水准测量反演,导出1970年后,地壳内发生了将近8厘米沿断层的蠕动。

当断层面发生局部破裂的地区,自然要出现一个卸载过程,于是张开的微裂要逐渐闭合,介质的弹性变形也会恢复,这是1970年以后地面转为下沉的一个可能原因。由此看来,在1970至1972年间出现的几个突出事件:1970年5月的丰南地震;1970年开始的唐山附近地区的下沉;塘沽观测的海平面上升;小地震频度下降和下沉区自西南开始等现象都可以统一地由断层的局部破裂和沿断层的前期蠕动来解释。

在这个阶段,在完全弹性区,正应力和剪应力的增长速度都在加快。

(IV) 1973—1975年间为裂缝增长,应力高度集中阶段—包体形成阶段

参考Brady的包体理论,当形变带出现以后,它在物理上的行为相当于一个嵌入基质(膨胀的和膨胀的)中的低模量弹性包体——软包体。这种弹性对照性的存在,就使形变带及其附近的主应力发生转动,应力值也要发生变化。其变化程度依赖于形变带与周围物质间的差异程度。随着形变带应力状态的改变,由于形变带的应力集中效应,使新的裂缝更加发展,在前期发生局部破裂区,应力集中因子更大,新裂缝增长最多,形成微破裂的密集区,在形变带内形成一个包体,在形变带内 σ_1, σ_2 应力系统作用下,内部产生一组附加压应力 σ_1 和张应力 σ_2 ,由于 σ_1, σ_2 的存在对周围介质要产生影响,使包体的震源区(即大破裂前断层要发展进去的区域)内剪应力减小,从而使震源区内的裂缝闭合,震源区外的剪应力增加。联系唐山地震的具体情况,作者认为唐山西南的丰南的地区相当于包体,在它的东北和西南侧是包体的震源区。由于剪应力的减小,裂缝闭合。因此从1973年以后,这两个震源区,实际是整个菱形块体内部变成一个完全的空区。块体外相当于包体的震源区外,由于剪应力的加强,因此地震活动性大大增强,形成一个鲜明的中、小地震包围的“地震围空区”。空区之外,地震活动总体是加强。同时,震源区内的应变能量密度继续增加,当膨胀阶段所有裂缝都闭合时,达到它的最大可能值,结果震源区成一个弹性上比周围介质更为坚硬的部分。正是由于1973年后弹性应力在震源区内的高度加强,引起一系列取决于应力大小的物理量出现明显异常: b 值减小; P 波矛盾比减小;电阻率下降;重力值上升;水氧含量上升等。这样,对1973年以后的主要异常也可以得到统一解释。

这里还有一个很重要的问题需要解释,为什么1975年以后,而不是更早才在外围地区出现异常的问题。作者的理解是:在弹性体中一个平衡力系的影响范围是很有限的,随着距离成指数衰减。只有当震源区的应力水平达到极大时,它才能影响到比较远的地方。

按照以上理解,在本文第一部份中所列出的那些趋势异常似乎都得到了基本的解释。换句话说,这些异常现象的产生是有一定物理基础的。因此,把这些异常现象与唐山地震的孕育过程联系起来,当作孕育唐山地震的可能前兆就不能说是没有道理的。

孕育强震的综合判据

根据唐山地震提供的认识,结合八年来的预报实践,一个强烈地震孕育到后期,将要发生一系列前兆信息。这些信息在不同阶段,显示出不同特征。地震越大,开始发出信息的时间越早,越多,影响范围也越大,异常的形态越复杂。在这种情况下,依靠短时期的少量观测

是不能解决问题的。作者认为为了作出是否有强震在孕育的判断,必须抓住以下几个环节:

1. 总观地震全局, 分析地震活动的全过程

从全局分析中,找出那些地震活动带是当前这个高潮期中的主体活动带。一般情况下,强震总是发生在这个主体活动带中。然后,从主体活动带中寻找那些具有发生大地震的地质条件,而又是地震活动的空白地段,进而分析这些空白地段周围地震活动的时间进程。如果地震活动水平接近一个常数,表明尚未孕育强震或处于孕震的早期,离发震时间还很远。如果相反,出现地震活动水平逐年增长的总趋势,并有地形变速率加快现象与之配合,表明应力积累已达到相当水平。这样的地区应当作为可能在孕育强震考虑。一旦外围地区地震活动增强到高峰之后,并转为下降时,出现一个反常高活动地区包围的低活动区或地震空白区,在外围还显示出震群、震堆现象时,这样的地区就应当列为可能在孕育强震的近期地震危险区。

2. 立足于地震活动性分析, 注视前兆异常的出现

如果只有地震活动性方面的少量异常,而无任何前兆异常配合,不能作中期预报。反之,如果只有前兆观测台出现异常(如外围地区),而无地震活动性的异常背景,这样的地区也不能作为强震孕育区。只有地震活动背景异常早已存在,前兆异常又陆续出现,而且随着时间推移,异常的数量增多,异常幅度加大的地区,才能从中期预报角度,将其圈划为强震危险区。

3. 判定强震孕育区要遵循一定的准则

当异常成堆出现在某个地区,不一定就是孕育地震的反映。这里有三个问题必须分辨:

A. 鉴别异常的性质,排除异常是干扰的可能性;

B. 分析异常的物理机制是否合理;

C. 分析异常产生的源泉是来自当地或来自远处。

作者认为,作为孕育地震的前兆,应当具有以下几点特征:

a. 具有配套性;

b. 具有共同的物理含义;

c. 具有一定的变化趋势,既不能停留在一个水平上,也不能起起伏伏毫无规则地变化;

d. 同类异常具有相近的起始时间与转折时间;

e. 空间分布具有相对的集中性;

f. 不同手段的异常,其展布的范围应当大体相近;

g. 由异常持续时间估计的震级和由展布范围估计的震级应大体相适应。

4. 将异常的性质判定为可能的地震前兆之后,就需要大致估计一下未来地震的三要素。

首先应由前兆异常持续时间和展布范围估算震级,应当注意的是不同类型的前兆服从的经验关系可能不同。不同地区的同类前兆服从的关系也不一样,甚至同一地区的不同时段的地

(下转第7页)