

# 板块内部地震预报的研究

陈颢\*

**【摘要】** 地球科学的发展,特别是板块运动的发现,使得过去20年期间板块边缘地震预报的研究有了很大的进展。但板块内部地震的预报研究仍然是世界性的科学难题。攻克这个难题的努力可以分成两个方面:一是以确定板块内部未来地震的地点和强度为主的长期预报研究,包括:板内地震的构造环境和孕育过程的阶段性特征,大陆地区强震危险性和地震灾害的预测等;二是以确定未来大地震发生时间为主的短期预报研究,包括强化地震前兆的观测,改进观测技术,以及前兆的分析和机理研究等。

## 一、进展与现状

地震预报是地球科学中一个最复杂,同时也是最迫切的问题。下面简要回顾近20年来研究工作的进展与现状。

### 长期预报(几年至几十年)

美、苏等国科学家都认为长期预报研究工作在过去20年中有了很大的进展。这一领域的研究可追溯到1958年美国华莱士<sup>[1]</sup>提出,后来由凯里·西发展的考古地震学关于地震重复周期的研究技术和成果。1965年,苏联费道托夫<sup>[2]</sup>对堪察加、千岛群岛和日本的一些大的浅源地震的研究,提出了地震空区理论,它是研究板块边缘地震中长期预报中使用较多的方法。

由于这些理论和实践上的进展,不少科学家对于长期预报研究持十分乐观态度。例如萨道夫斯基认为,在苏联地震预报的地点问题已经解决。美国的麦克坎(McCann)等人10年前编制了“主要板块边缘地震危险性区划图”,该图勾出环太平洋的地震空区中,已经有8个空区为大震发生所填满。对长期地震预报成果的应用导致了日本确定东海等8个地区作为强化观测区,美国选定了帕克菲尔德地区作为地震预报实验场,苏联和中国也都各自建立了地震预报实验场。

上述结论主要是针对发生在板块边缘的地震而言的。实际上,由于板块交界处的俯冲带是板块边缘的主要构造。地震多发生在俯冲带附近,问题只不过是发生在俯冲带(或转换断层)这一段或那一段的问题,因而对于预报这些地震的地点而言,问题比较简单。对于发生在板块内部的地震来说,情况则完全不同。板块内部的构造十分复杂,地震的发生与构造的关系是个待研究的问题。对于长期预报而言,未来地震发生地点的问题根本没有解决。因此,研究板内地震的预报问题,从科学上来说比研究板块边缘地震难度要大,从社会、经济角度来说,意

\* 国家地震局副局长、研究员

义也更大。

### 中期预报(几月至几年)

近年来,在研究板内地震的中期预报研究方面取得了可喜的进展。大陆地震的活动在空间上分布是不均匀的(地震主要发生在一些地震带或地震区);在时间上分布也是不均匀的(某个地震区有地震的活跃期与平静期之别)。特别当我们以一至几年的时间尺度来考虑问题,情况更是如此。因此中国科学家充分利用了地震活跃的这种特点来进行中期预报。

这种科学思路还可以从另外的角度来说明。我们目前还不清楚每一次地震发生的具体过程,可以把一次地震看成是一只黑盒子。在不清楚每只黑盒子内部情况下,我们研究由许多单个的黑盒子组成的一组黑盒子,研究每个盒子间的相互作用,从总体上研究这组盒子的统计特征并利用这些特征对未来作出一定程度的预测。不过这种中期预报的方法是统计性、经验性的,不仅缺乏物理基础方面的支持,而且实际应用时往往会出现滞后效应(地震活跃期到来之前,对未来地震预测往往偏低,而当地震发生之后,经常有许多“前兆”报告提出来,对未来地震的预测可能会偏高)。但对于板内地震的中期预报来说,它仍不失为一种方法,我们尚难估计这种研究工作进一步的前途如何,但这种科学思路的出现,为十分困难的板内地震预报研究带来了一线希望。

1977年日本的宇津德治<sup>[3]</sup>提出地震预报的概率问题,后来他的公式由安艺敬一所改进,与此同时,各国的地震区划中都使用了概率方法。美国对地震预报的强调,不再是给出中期确定性(Deterministic)预报,而是对某一地区未来时段中发生一定强度地震的条件概率作出估计。从这个角度看,国际上对中期预报的思路是一致的。

进行中期预报所依据的统计学特征中,目前大部分是测震学方面的结果,其原因主要是它们提供的是有关地震活动整体的(而非局部或某一特定地点)直接的信息。目前其他的前兆观测还难以提供这样的信息。它们提供的信息或者是有关某一点的,或者是与地震关系还不那么显而易见。所以,发展能提供更多的信息的测量对于中期预报研究是至关重要的。

### 短期预报(几天至几月)

1975年中国海城7.3级地震的预报成功已成为国际上公认的短期地震预报的典型例子。海城地震发生之前,在辽东半岛地区很短的时间内观察到大量的异常现象,如小地震数目急剧增加,跨断层形变测量的加速,地下气体的逸出,地磁变化异常和大量的动物异常行为等。这些异常现象被看成是与地震孕育过程有关的地震前兆,据此成功地作出了短期预报。海城地震开辟了利用前兆现象预报地震的道路。所谓地震前兆,它应该具有重复性<sup>[4]</sup>。一次地震的前兆应在另一次地震前重现,一个地区地震的前兆应该在另一个地区地震之前重演。遗憾的是,前兆具有重复性的例子不多。如1978年日本伊豆半岛近海7级地震前,发现地震活动性,体应变等许多异常现象。但在1980年5月伊豆半岛近海6.7级地震前,却没有观测到类似的变化。

这些问题可以归结为:究竟什么是地震的前兆?这是全世界科学家共同探索的课题。在寻求地震前兆的科学问题上遇到了不断的挫折和挑战。是我们观测的时间尚短,观测项目不全面,努力不够,没有找到真正的前兆呢?还是在观测分析前兆的某些环节上存在着问题?

综上所述,由于地球科学的发展,特别是板块运动的发现,推动了板块边缘地震的预报研究,取得了明显的进展。但对于板块内部地震的预报问题,我们在过去20年中作的主要事情

是进一步正视了研究工作的困难和问题。

## 二、困难和问题

从方法论来说,地震预报研究方法可以分为两大类,一类是推理法,另一类是归纳法。

### 推理法

地震预报研究中的推理法是通过研究震源物理和地震模式进行的。在震源物理或震源力学方面,近年来最显著的特点是这种研究已成为众多学科的共同目标<sup>[5]</sup>。利用地震波仍是研究地震和震源过程的主要方法,但地质学研究在认识断裂过程现象的物理过程越来越起更大的作用。理论、实验和观测研究还包括以下方面:岩石的剪切破裂和摩擦滑动,特别是与动力学滑动有关的不稳定性的研究;断裂过程中障碍物(Asperity)和壁垒(Barrier)的作用;不均匀性在断裂过程的影响;断层的地质学研究;孔隙水对断层活动的影响;震源参数的地震学研究;地震的强地震运动研究等。

地震模式研究是从一定的理论前提出发,提出地震发生的模式,推导各种可能的前兆及不同前兆之间的关系,然后通过实践的检验来修改模式。过去 20 年中,曾提出过许多模式。值得指出的是,国外学者提出的各种地震模式主要是针对板块边缘地震的。而板内地震与构造的关系尚不清楚,这给震源物理和地震模式的研究带来了极大的困难。傅承义先生 1971 年就警告不要过分受地震断层成因说的束缚<sup>[6]</sup>,将注意力只集中在断层所存在的地点。除此以外,推理方法还受到缺乏深部状态资料、模式检验时间周期长等条件限制。作为归纳法的地震模式的研究对于预报是重要的,它将给出关于地震成因和地震孕育过程本质性的理解。但目前阶段这种方法还很难对地震预报给出实用性的指导。

### 归纳法

归纳法是根据有限数目的地震震例,总结出经验性规律推广应用于未来的地震。地震预报中的归纳法主要是利用地震前兆预报地震。经验性的地震前兆有两个来源:一是根据过去历史上的地震,总结归纳出地震前的各种前兆现象,外推今后发生地震之前也会出现类似的前兆现象。二是根据实验室岩石破裂的实验结果,推测天然地震可能会发生的前兆现象。

目前归纳法,是利用前兆预报地震的主要方法。所观测的前兆种类在不断增加,现在已有:测震前兆( $b$  值、空间、缺震、周期性分析等)、地磁、地电、重力、地下水、水化学、水氡、地形变、倾斜、地应力、断层蠕动、孔隙压力、深源断层气、震源电磁波、地温和其他的一些天文、气象(触发)因素等。分析前兆的方法也在不断地发展,包括:时间序列分析、概率分析、模糊数学分析和图像识别等。

归纳法的主要困难在于可供归纳的震例不多,特别是震前有(前兆)观测资料的震例更少。而且由于观测台站不多,观测不规范,每次得到的只是地震孕育时空过程中少数几个点的抽样数据,难以获得关于前兆孕育过程的总体概貌。正因为如此,过去 20 年获得的许多地震震例缺乏可比性。缺乏大量的全面的前兆数据是归纳法存在的根本问题。强化观测,加强国际合作都是解决这个问题的方法。

此外,震前观测到的大量异常现象,包含了地震前兆信息,也包含了大量的与地震发生无关的信息。异常现象并不等于地震的前兆,从异常中提取前兆,目前我们还缺乏办法,这种提

取方法的研究,从唯象角度来看,无疑是最有希望的地震预报突破口之一。

### 三、进一步研究的重点课题

地震预报是对未来发生地震的地点、强度和时间的预报。基于目前国际上对板内地震的研究现状,可以将地点和强度作为长期预报的重点研究课题,而将地震发生时间的预测作为短期预报研究的主要任务。

#### 1. 以确定板块内部地震发生地点和强度为主要目标的长期预报研究

##### (1) 板内地震孕震构造环境的研究。

板内地震发生的地点目前还没有找到明确的构造标志,目前地震深反射、可控震源、磁流体探测、CT 成象技术和深钻等都是探测深部构造有效的新方法和新技术,可以应用于构造环境的研究。为此,应选择几个发生过大地震的地区,对其深部环境进行详细的探查,以找出发震构造环境的普遍特征。研究中应以大地震或特大地震为主要目标,着重研究它们的环境和发震条件,以期能为解决板内地震危险区划提供依据和方法。

(2) 应用空间技术对板内现代应变场进行测量,从变形动力学预测未来地震的地点和强度。

70年代后期发展起来的空测地技术,精度高,可以在短时间内对大面积区域进行三维形变测量。这为长期地震预报的研究带来了新的希望。目前已应用的技术有:甚长基线干涉(VLBI)、人造卫星测距(SLR)和全球定位系统(GPS)。1990年前后,美国宇航局研制成功的全球激光测距系统(GLRS=Global Laser Ranging System)的使用,将使地球表面的变形测量更加精确和快速,为板块地震研究提供更多更新的数据和资料。

##### (3) 板内地震孕育过程的阶段性和周期性研究。

一次地震孕育过程中会表现出阶段性,一个地区的许多地震活动性在时间上常表现出时而活跃时而平静的周期性。地震活动在时间上的这种不均匀的发展,为几年至几十年的长期预报提供了地震强度的一种估计。例如一次大地震发生后,几十年内该地区再次发生大地震的可能性很小。因此,地震孕育构造环境是未来大地震发生的必要条件,而地震活动性的时间特征分析将成为地震发生的充分条件。

#### 2. 以确定未来地震发生时间为主要目标的短期预报研究

利用地震前兆是进行地震短期预报为主要方法,短期预报的进展主要取决于前兆资料的质量和数量,以及由数据资料中提取前兆信息的方法。

##### (1) 改进前兆观测系统,强化前兆观测。

预测是基础,今后在加强前兆观测时,应着重于以下几个方面:

——前兆观测项目的选定,观测布局方案制定应有明确的科学实验目的。英国 Crampin 的观测 S 波分裂,介质各向异性的工作是一个实验目的明确的例子<sup>[7]</sup>。

——观测台站、观测台网应在以长期预报为基础的重点地震监视区进行,应按照国内外地震预报实验场作法进行。

——各个重点监测试验区,前兆项目种类不宜过多,应因地制宜,但观测点应足够多,而且尽量三维布置观测点。应将流动观测点与固定观测点相结合。布设观测点应尽量规范化,以

增加观测数据和资料的可比性。以便能够将一次地震的结果与另一次地震相比较。

——国际板内地震前兆数据库的建立。

(2) 加强从异常现象中提取前兆信息的方法研究。

要获得地震的前兆信息,不仅需要布设必要的观测台站,而且要能从观测到的信号中提取真正的地震信息,这就要加强研究和软件开发。研究提取信息的方法将是今后地震预报的前沿课题。

——应用信息理论,对异常现象中地震前兆信息量的统计分析和检验。

——地震异常现象中,各种干扰因素的排除理论方法和技术。

——分形几何是描述大多数(但非全部)复杂现象的工具,对前兆现象的时空分布运用分形几何的分析,寻求描述复杂现象的普遍特征。具体作法可以是:单一种类前兆观测数据的时空结构复原;分形几何学结构分析(分形几何学的反问题);多种前兆数据时空结构的综合分析等<sup>[8]</sup>。

(3) 模拟实验中岩石破坏前兆的分析和机理研究。

模拟实验包括实验室岩石样品实验、野外中尺度实验和数值模拟实验等。模拟实验可以加快关于前兆现象的认识循环周期,有助于前兆机理的研究。

### 3. 预报的基础研究

(1) 震源区、孕震区及其周围地质环境组成的非线性动力学系统的研究。

地震的失稳运动只可能发生在非线性系统之中,非线性系统的研究将成为地球科学与物理学等学科交叉渗透的会合点。因此震源物理学向着包括孕震区及其周围介质所组成非线性系统的研究方向发展,已成为国际研究地震成因的趋势之一。

(2) 形成研究板内地震的科学思路

日本、美国科学家对于研究板块边缘地震已初步形成了一套科学思路,主要是围绕着断层和板块边缘的一套研究思路。目前,研究板内地震急需发展一套思路,才能使得板内地震研究目标更明确。

## 四、展 望

(1) 本世纪最后10年,是国际减轻自然灾害的10年,也是中国大陆地震活动性呈起伏增长的10年。大陆地震多属板块内部地震,其发生的环境,孕育的过程更为复杂,对人类社会的威胁也更大。这将为从事地震预报研究的科学家,既带来了机遇,也使之面临着挑战。

(2) 目前,地震预报已不单纯是个科学问题,它具有了强烈的社会性。预报的高度探索性和对预报要求迫切性这一点,在中国比世界上任何国家都更为突出。这既可能使科学家们处在进退两难的尴尬场面,也有可能使这方面的科学研究得到社会的支持而获得优先的发展。

**基于地震预报的现状和以上情况,可以展望:**

(1) 地震预报将成为地球科学上优先发展的领域之一,也将成为地球科学与其他学科交叉渗透最广泛、最深入的领域之一。现代非线性科学的发展,观测系统的改进,将会给研究工作带来新的动力。

(2) 我们能够预报一些地震,取得成功,但我们又不能预报大多数的地震,而遭挫折。随

着实践经验积累,理论和实验工作的深入,取得成功的机会会有所增加,但失败与挫折并存的局面不会根本改变。

(3) 地震预报研究,将由纯自然科学角度,转向与社会科学结合,这可能是未来地震预报研究的发展趋势之一。

### 参 考 文 献

- [1] Wallace, R. E., Time-history analysis of fault scarps and fault traces—a longer view of seismicity: *Proceedings of 6th world conference on earthquake engineering*, New Delhi, India, 1, 766—769, 1977.
- [2] Fedotov, S. A., N. A. Dolbilkina, V. N. Morozov, V. I. Myachkin, V. B. Preobrazensky, and G. A. Sobolev, Investigation on earthquake prediction in kamchatka, *Tectonophysics*, 14, 279—286, 1970.
- [3] Utsu, T., Probabilities in earthquake prediction, *J. Seism. Soc. Japan*, Ser. 2, 30, 179—185, 1977.
- [4] 陈颀: 地震预报研究中几个科学问题, *中国地震*, 4, 2, 1—8, 1988.
- [5] Das, S., J. Boatwright, and C. H. Scholz, Earthquake source mechanics, *Geophys. Monography*, 37, Maurice Ewing, 6, AGU, 1986.
- [6] 傅承义, 地球十讲, 科学出版社, 1977.
- [7] Crampin, S., Evaluation of anisotropy by shear-wave splitting, *Geophysics*, 50, 142—152, 1985.
- [8] 平田隆幸, 新的地震观与分数维, 该文在陈颀编著的《分形与分维在地球科学中应用》一书50—62页, 学术期刊出版社, 1988.

## PREDICTION STUDY OF INTRAPLATE EARTHQUAKES

Chen Yong

(State Seismological Bureau)

### Abstract

Based on the discovery of plate tectonics, the study of interplate earthquake prediction has seen great advances in the past 20 years. But for the intraplate earthquake, the prediction problem still has been a scientific puzzle in the world. We proposed that two aspects in intraplate earthquake prediction studies should be emphasized: first, long-term prediction study aimed at determining the location and magnitude of future earthquakes, including evaluating the seismogenic environmental conditions; investigation earthquake recurrence cycle; analyzing seismic risk and estimation the earthquake losses caused by the future earthquakes. Second, short-term prediction study aimed at determining the occurrence time of future earthquakes, including: developing and implementing the precursory observational techniques, improving the methods for analyzing earthquake precursors and investigating precursor mechanism.