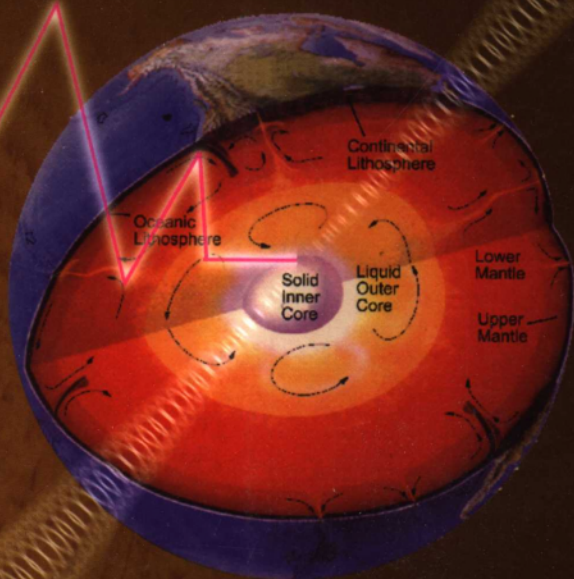




“十五”中国地震预报科技攻关成果系列丛书

华北地区强地震短期前兆特征 与预测方法研究

中国地震局监测预报司



地震出版社

华北地区强地震短期前兆特征与预测方法研究



地

版

P315.732.2
1

ISBN 7-5028-2637-8/P·1242
(3266) 定价: 48.00 元



责任编辑 / 姚家榴
封面设计 / 邢秀芬

ISBN 7-5028-2637-8



9 787502 826376 >

“十五”中国地震预报科技攻关成果系列丛书

华北地区强地震短期前兆特征 与预测方法研究

中国地震局监测预报司

地震出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

华北地区强地震短期前兆特征与预测方法研究/中国地震局监测预报司.

—北京:地震出版社, 2005.6

(“十五”中国地震预报科技攻关成果系列丛书)

ISBN 7-5028-2637-8

I. 华… II. 中… III. ①大地震—地震前兆—研究—华北地区 ②地震观测—方法—华北地区 IV. P315.732.2

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2005) 第 041881 号

地震版 XT200400264

华北地区强地震短期前兆特征与预测方法研究

中国地震局监测预报司

责任编辑:姚家榴

责任校对:张晓梅

出版发行:地震出版社

北京民族学院南路 9 号

邮编:100081

发行部:68423031 68467993

传真:88421706

门市部:68467991

传真:68467991

总编室:68462709 68423029

传真:68467972

E-mail: seis@ht.rol.cn.net

经销:全国各地新华书店

印刷:北京地大彩印厂

版(印)次:2005 年 6 月第一版 2005 年 6 月第一次印刷

开本:787×1092 1/16

字数:468 千字

印张:18.25

印数:001~500

书号:ISBN 7-5028-2637-8/P·1242 (3266)

定价:48.00 元

版权所有 翻印必究

(图书出现印装问题,本社负责调换)

丛书编委会

主 任：岳明生

副主任：阴朝民 高荣胜

委 员：张晓东 张天中 张永仙 苏有锦 王海涛

蒋海昆 尹京元 刘耀炜 车 时 刘桂萍

李永林 黄蔚北

本书编委会

主 编：张永仙 孙佩卿

编 委：王林璞 郑文俊 刁桂苓 于龙伟 马 丽

啜永清 薛 艳 吴永加

顾 问：罗兰格 高 旭

序 言

地震预报，尤其短时间尺度的预报作为当代自然科学领域里一个难度很大而富有魅力的前沿课题吸引着一代又一代的地震科技工作者为之奋斗不息。其魅力不仅在于地震孕育、发生的许多奥秘有待我们去揭示，更重要的是在于成功的预报可以使许多国人免遭罹难。自从 1966 年我国正式开展地震预报研究与实践以来，我们既有过不少预报成功的欣慰，也经历了许多遭受挫折的悲痛与沉思。但成功与挫折都给我们以有益的启示，说明地震预报决不是“占星术士”的卜算。在现阶段对某些大地震在震前作出一定程度、乃至较成功的科学预报是有可能的，但要对多数大震作出准确的预报，还需要我们长期坚持不懈、坚韧不拔的努力。在人类历史的长河中，人们对任何复杂事物的认识都有一个从不怎么全面、不怎么深入、不怎么准确到逐渐全面些、深入些的过程。毫无疑问，对认识地震孕育发生过程来说，也是如此。只要认真查阅一下近几个五年计划地震预报攻关研究的成果，必然会得出这样的结论，只要认真研读一下国家“十五”科技攻关项目“强地震短期预测及救灾技术研究”成果，就可以看出，我们的认识又有了新的提升。

“强地震短期预测及救灾技术研究”坚持“研、用”结合的原则，既及时地把研究所得到的新认识应用于地震预报实践，又把预报实践中遇到的新问题、发现的新现象作为攻关研究的重要内容；坚持把普遍性寓于特殊性之中的思想方法，在华北、西南、西北、东南等地区强地震短期前兆特征研究的基础上进行归纳和综合分析，既重视强地震短期前兆的共性表现，又注意不同地质构造之间的差异；坚持在继承基础上的创新，既重视已有研究成果预报经验的应用和常规方法的完善，又立足于创新，通过数值模拟、岩石力学实验和数字化观测资料的应用等，加强强震孕育物理过程和前兆机理及相应的预报新理论、新方法的探索。

从而取得了一批既在科学认识上富有新意，又有重要实用价值的研究成果。所编印、出版的这套丛书正是“十五”攻关的这些阶段性成果的集中体现。它既是广大地震科技工作者集体智慧的结晶，又将为广大地震科技工作者深入的地震预报研究与实践提供新的借鉴与思考。

这套丛书为“十五”期间地震预报攻关研究阶段性成果的总结，既为我们提供了许多新的认识，也为我们留下和提出许多新的问题。这意味着“十五”预报攻关研究的总结是新的深入研究的开始。面对地震灾害的威胁，广大同行一定会继续以严谨的科学态度，扎扎实实的工作作风，坚韧不拔的精神，立志地震预报理论、技术、方法的创新，在未来地震预报实践中谱写新的篇章，铸造成功预报的新的辉煌，更好地服务于国家、造福于人民。

陈章立

2004年9月1日

前 言

华北地区是我国政治、文化、经济发达地区，同时也是地震灾害严重的地区之一，历史上曾发生过多次 8 级强震（如 1303 年山西洪洞 8 级、1668 年山东郯城 8½ 级和 1679 年的河北三河 8 级大震）；在近代，1966~1976 年短短 10 年的时间内华北地区发生了 4 次 7 级强震（邢台、渤海、海城、唐山）。1976 年的唐山 7.8 级地震由于未能做出预报，造成 24 万余人死亡，16 万余人受伤，整个城市毁于一旦。然而，1975 年海城 7.3 级地震因成功的短临预报而挽救了无数人的生命。1998 年的张北地震因发生在年度地震危险区，使地震灾害有较大的减轻，但由于未能做出短临预报意见，造成了这一人口密度并不高的地区 29 人死亡的损失。可见，地震短期预报方法研究具有重要的现实意义。

为了总结华北地区 30 多年的短期预测实践，提炼有效的短期预测方法，在“十五”国家科技攻关计划项目《强地震短期预测及救灾技术研究》（编号：2001BA601B）《强地震短期预测技术研究》课题（编号：2001BA601B01）中，设立了《华北地区强地震短期前兆特征与预测方法研究》（编号：2001BA601B01-01）专题，负责人为张永仙、孙佩卿。该专题共设六个子专题，名称和负责人分别为：华北地区成组强震和单发强震短期阶段异常特征差异性研究（孙佩卿）；华北地区强震的地震活动性短期预测方法研究（王林瑛）；华北地区强震短期前兆的判别标志与方法研究（郑文俊、马丽）；华北地区强震短期综合预测方法研究（张永仙）；数字化地震资料在华北地区强震短期预测中的应用（刁桂苓、啜永清）；岫岩地震序列的数字化地震观测资料的研究（于龙伟）。其中，地震活动性短期预测方法研究、前兆短期预测方法研究、短期综合预测研究三个子专题与现行的地震短临跟踪工作体制相吻合，对解决实际工作中经常面临的短期预测问题有很好的指导意义。此外，华北地区地震成组与单发地震短期阶段异常特征差异性的研究，对判断华北地区是否进入中强地震活跃时段具有很好的参考意义。随着地震台网数字化改造的推进，数字化资料的处理方法、预测方法是摆在预测人员面前的问题，本专题设置的两个子专题，一个是研究地震波参数用于地震短期预测的探索研究，另一个是根据数字化台网建立后获得的具有前震序列的岫岩地震波形资料进行的深入细致的研究，取得了许多有意义的结果，为今后深入研究数字波形资料奠定了较好的基

础。本专题在一些方面取得了较大进展。例如,引入了态函数方法后,利用地震活动资料提取到了唐山、海城地震前的短临异常信息,突破了过去认为的在地震活动性分析中只有前震资料能够实现短临预测的认识;引入地震震源机制一致性参数后,提取到中强以上地震前的短期异常;通过地震精定位工作,两个独立子专题获得了相似的研究结果,即在中强地震前发现了4级地震的立体围空图像,而且地震有序发生;在前兆台点密集和均匀分布的地区,地震前兆异常中水准和水位异常在地震短期阶段显示出一定的象限性分布,象限性分布特征与震源机制关系密切,节线的交汇处即为震中。这样,通过前兆异常信息的空间分布特征获得了识别源兆和场兆的方法,比过去依靠单项前兆异常特征识别源兆和场兆的方法有所进步,而且与震源物理过程联系起来,向物理预报目标迈进了一步。

该专题投资119万元,11个单位(原中国地震局分析预报中心、河北省地震局、中国地震局地球物理研究所、天津市地震局、山西省地震局、辽宁省地震局、中国地震局综合观测中心、北京市地震局、中国科学院力学研究所、北京师范大学、中国地震局地壳应力研究所)40余位研究人员历时近3年完成了此项研究工作。除子专题负责人外,参加本专题的研究人员还有(按子专题序号排列):兰从欣、张跃刚、边庆凯、曹新来、张学民、王勤彩、陈佩燕、白彤霞、刘蒲雄、韩丹、王俊国、吴晓芝、何巧云、车兆宏、田山、邵永新、简春林、刘善华、李勇、王惠敏、平建军、余怀中、薛艳、尹祥础、吕梅梅、高景春、张淑亮、胡新亮、李广平、孙文福、张萍、吴野、曹凤娟、杨红艳、李芳、于笑非等。本书是在专题研究报告的基础上重新归纳、编辑出版的,希望能够较全面地把主要研究结果展现给读者。

本书各章的主要作者均在每章第一页的页下标注,全书的统稿和排版、编辑由张永仙、孙佩卿、薛艳和吴永加负责完成。本书是专题全体参加人员研究成果的体现,其中还体现了中国地震局监测预报司和规划司、原中国地震局分析预报中心(现地震预测研究所)、河北省地震局、中国地震局地球物理研究所、天津市地震局、山西省地震局、辽宁省地震局等单位领导和管理部门的精心管理和大力支持,以及专题顾问罗兰格和高旭教授和本项目和课题负责人张晓东的悉心指导,编著者向他们致以诚挚的感谢。

由于时间仓促、编者水平有限,书中观点和结论可能存在许多不完善甚至错误,欢迎广大读者批评指正。

张永仙 孙佩卿

二〇〇五年三月

目 录

第一章 华北地区强震的地震活动性短期预测方法研究.....	(1)
1.1 华北地区强震前地震活动性短期异常研究.....	(1)
1.2 华北地区强震短期时间预测指标	(17)
1.3 华北地区强震中短期预测方案	(33)
1.4 讨论和结论	(34)
第二章 华北地区强震短期前兆的判别标志与方法研究.....	(36)
2.1 华北地区多学科前兆资料无量纲异常参数提取方法研究	(37)
2.2 前兆异常空间分布与活动构造关系的研究	(48)
2.3 各学科地震短期前兆动态图像分析及其短期前兆标志提取	(60)
2.4 华北地区强震短期前兆判别标志的提取方法	(74)
2.5 华北地区短期地震趋势预测	(77)
2.6 结论与问题	(81)
第三章 华北地区强震短期综合预测方法研究	(83)
3.1 地震活动性短期异常综合判定研究	(84)
3.2 前兆综合短期异常信息的计算方法及异常指标	(99)
3.3 态矢量新方法在华北地区强震短期预测中的探索性应用.....	(109)
3.4 利用前兆异常形态的空间分布特征探索强震短期地点的预测.....	(115)
3.5 讨论和结论.....	(123)
附件 3.1 前兆综合信息计算软件使用说明	(125)
附件 3.2 华北地区有关月份的地震前兆信息场	(138)
第四章 华北地区成组强震和单发强震短期阶段异常特征差异性研究.....	(142)
4.1 成组地震与单发地震的划分方法及结果.....	(142)
4.2 成组地震前的异常特征.....	(147)
4.3 单发地震前的异常特征.....	(168)
4.4 成组和单发地震短期阶段异常特征及其差异.....	(184)
4.5 讨论和结论.....	(189)
第五章 数字地震资料在华北地区强震短期预测中的应用研究.....	(191)
5.1 小震震源机制一致性参数研究及强震短期前兆.....	(192)

5.2	震源物理参数及可能短期前兆(应力降、拐角频率等)	(206)
5.3	利用波形资料研究介质参数(地脉动、尾波 Q 值、波速比等)	(215)
5.4	讨论和结论	(234)
第六章	岫岩地震序列的数字化地震观测资料的研究	(235)
6.1	岫岩地震序列震源机制解及其参数的演化特征	(235)
6.2	岫岩地震序列频谱特征分析	(247)
6.3	岫岩地震序列波速比和振幅比异常分析	(249)
6.4	岫岩地震前后尾波振动持续时间比 τ_H/τ_V 变化	(254)
6.5	岫岩地震序列的应力降 $\Delta\sigma$ 异常分析	(258)
6.6	岫岩地震序列三维分布特征及其孕震过程的探讨	(261)
6.7	岫岩序列显著地震的地方平太阴时夹角分布特征	(269)
6.8	讨论和结论	(272)
参考文献		(276)

第一章 华北地区强震的地震活动性短期预测方法研究¹⁾

1.1 华北地区强震前地震活动性短期异常研究

1.1.1 资料分析处理

根据全国一级板块边界图、华北地区地质构造图、活断层图、6级以上强震危险区和潜在震源区图等,对华北地区1970~2002年的地震目录进行构造意义的分析处理。首先假定在活动的地质构造上或附近地区且潜在地震危险性较高的地区发生的地震,为与构造活动密切相关和发生地震危险性较强的地震,反之为随机地震。排除随机地震的方法是通过构造图的统一网格化,建立华北地区的构造和潜在震源区的分布位置的地理数据文件,将落入构造和潜在震源区内的地震保留,落入区外的地震作为随机地震删除,由此构造出新的地震目录。

被排除的随机地震约占原有地震的13%。在活动图像的研究中对比了两种目录的情况,基本排除的是大量 $M_L 2\sim 3$ 级地震,对 $M_L \geq 4.0$ 地震保留达到93%。由此进一步证明了 $M_L \geq 4.0$ 地震与活动构造和潜在震源区的关系更为密切。换句话说,注重分析 $M_L \geq 4.0$ 地震异常活动图像的本身就含有较为明确的构造意义(表1-1)。

表 1-1 保留地震和排除地震震级分布表($N=N_1+N_2$)

震级(M_L)	保留地震个数 $N_1=19719$		排除地震个数 $N_2=2879$	
	N_1	比例(N_1/N)	N_2	比例(N_2/N)
2.0~3.9	19273	85	2843	15
4.0~5.9	435	93	33	7
6.0~7.9	11	100	0	0

在本研究中,地震活动性预测方法的时空扫描计算时,分别使用了排除和不排除离散地震的目录,并对计算结果进行了对比。对比结果表明,排除离散地震后的目录计算结果随机涨落有所降低,但由于排除的地震十分有限,对结果的影响很小。在地震活动图像的识别中,个别地震的位置(主要是2~3级地震)对条带或空区的形成有较大的影响,因此仍使用了未经处理的地震目录。上述研究主要是证明了地震震级愈高与构造的关系愈密切,较大地震活动图像含有较多的构造活动信息。尤其在条带识别中本研究着重分析3级以上地震条带,也是基于上述研究结果。

1) 本章作者王林瑛、王俊国、刘蒲雄、陈佩燕、吴秀芝、何巧云、王秀英等。

1.1.2 华北地区强震前地震活动性短期异常

板内中强震成组孕育的理论、模拟和震例研究表明:中强地震的孕育从空间演化上存在“场”到“源”的形成过程,从时间上存在从平稳态到临界态的转化过程。在地震活动性与地震孕育过程关系研究中,首先需要系统和深入地研究中强地震前后在不同孕震阶段的时空前兆图像的特征,在大量震例研究的基础上进行与孕震过程关系的解析。

强震前后地震活动性异常的研究中发现,在从“场”的演化到“源”的形成过程中,板内成组强震孕育的前期,场的演化带有明显的整体性,是由构造应力场的演化导致,而在后期,随着“源”区的逐渐形成,受震源的孕育、发震和破裂过程的控制,前兆特征的局域性逐渐增强。前震和前震序列的出现是“源”区形成和标志进入临震失稳状态的重要信号(王林瑛, 1998、1999)。

地震短临预测的地震活动性方法中,成功率最高的无疑是直接前震或直接前震序列。通常意义的直接前震,一般在主震前几分钟或几天发生;前震、主震和余震均处在主震震源区内,是震源区同一失稳过程的结果。除了前兆地震和前兆震群外,还有另一种广义前震,即所谓前兆地震活动序列,它是指某一地震序列发生前数年、数十年间反映序列孕育发展全过程的地震活动的时序集合(陆远忠等, 1985)。瞬时前震,指的是在较大地震之前非常短的时间内(一般为一天或几天内)发生的、距离较大地震很近的小地震(陈运泰等, 2000)。根据前震的定义,基本将广义前震限定在强震孕育区内或边缘,直接前震与未来强震的孕育区的关系更为密切。显然,这些前震的发生部位应与一般同等量级的地震的介质条件和环境不同。

上述定义大都以定性为主,如何从已有的大量实际震例分析和统计中(林邦惠, 1994),得到定量的前震时间空间强度的估计,对于判断和识别前震十分重要。考虑到华北地区前震样本太少,本研究为此对全国大陆地区的 141 例主震事件的前震进行了系统的研究。

1. 直接前震与主震的时间和空间分布特征

为了深入研究广义前震和直接前震,考察了全国大陆地区 1970 年以来 141 例东部(东经 105° 以东) $M_S 5.5$ 级以上,西部 $M_S 6$ 级以上强震前前震发生的情况。统计结果表明:全国大陆地区强震前有直接前震的地震为 16 个(表 1-2),占 11%(16 / 141),有广义前震的地震 60 个,占 43%(60 / 141)。但困难的是,并非所有 $M_L 4.7 \sim 5.9$ 地震后都会发生强震,在这类地震中符合广义前震或直接前震条件的比例很低,直接前震更是凤毛麟角(朱传镇, 1996)。

在全国大陆地区 1970 年以来 $M_L 4.0 \sim 5.9$ 地震发生过 5683 次,有广义前震的占其中的 2%(125/5683),有直接前震的仅占其中的 0.6%(35/5683)。虽然在百分之十左右的 6 级以上地震前存在前震,但只有将前震从大量的中等显著地震中有效的识别出来,方可对这部分 6 级以上地震作出有效的中短期或临震预测。可见,广义前震或直接前震的识别至关重要,特别是孤立的直接前震的识别,既具有明显的短临预测意义,也同时具有很高的预测难度。

(1) 直接前震与主震的时间分布特征。

为了进一步了解直接前震与主震的时间分布特征,本章对确定的 16 次直接前震与主震的时间间隔进行了统计,结果表明:在直接前震中,与主震的时间间隔小于 20 天的占 94%,小于 10 天的占 69%,小于 1 天的占 38%(表 1-3)。为进一步确定前震与主震时间分布的显著

性, 扩大了前震时间间隔的统计范围, 图 1-1a 为不同统计间隔的前震的比例, 图中可见在 50 天内, 尤其是 30 天内, 前震的比例明显高于其他统计时间。直接前震与主震的时间相隔很短, 优势的时间间隔分布在 25 天以内(图 1-1a)。

表 1-2 直接前震与主震参数以及时间间隔和空间距离表

序号	直接前震	主震	与主震间隔时间/d	与主震间隔距离/km
01	1974.07.23, M_L 4.8 39° 14', 73° 23'	1974.08.11, M_L 7.4 39° 24', 73° 48'	18	40
02	1975.01.19, M_L 5.6 32° 24', 78° 36'	1975.01.19, M_L 7.1 32° 36', 78° 36'	≤1	22
03	1975.02.04, M_L 5.1 40° 41', 122° 35'	1975.02.04, M_L 7.4 40° 42', 122° 42'	≤1	10
04	1975.04.28, M_L 5.2 36° 23', 80° 24'	1975.04.28, M_L 6.4 36° 15', 80° 09'	≤1	27
05	1976.05.29, M_L 5.6 24° 27', 98° 52'	1976.05.29, M_L 7.5 24° 33', 98° 45'	≤1	16
06	1976.10.29, M_L 4.0 27° 29', 101° 07'	1976.11.07, M_L 6.9 27° 30', 101° 05'	8	3
07	1977.12.15, M_L 4.3 40° 11', 77° 50'	1977.12.19, M_L 6.4 39° 54', 77° 25'	3	47
08	1978.09.28, M_L 4.5 39° 30', 74° 54'	1978.10.08, M_L 6.3 39° 30', 74° 48'	10	8
09	1979.03.18, M_L 4.3 42° 10', 83° 44'	1979.03.29, M_L 6.3 41° 54', 83° 27'	10	37
10	1979.07.31, M_L 5.0 40° 54', 108° 26'	1979.08.25, M_L 6.3 41°14', 108°07'	24	45
11	1985.08.23, M_L 4.8 39° 24', 75° 24'	1985.08.23, M_L 7.4 39° 35', 75° 36'	≤1	26
12	1989.04.23, M_L 4.1 23° 31', 99° 30'	1989.05.07, M_L 6.5 23° 29', 99° 29'	14	3
13	1992.07.24, M_L 4.2 29° 25', 90° 10'	1992.07.30, M_L 6.7 29° 35', 90° 15'	6	20
14	1995.06.30, M_L 5.8 22° 03', 99° 03'	1995.07.12, M_L 7.3 21° 59', 99° 04'	12	8
15	1999.11.25, M_L 4.4 40° 32', 123° 02'	1999.11.29, M_L 5.9 40° 32', 123° 02'	≤1	0
16	2002.06.17, M_L 5.1 33° 58', 94° 04'	2002.06.29, M_L 6.3 34° 06', 94° 18'	12	26

(2) 直接前震与主震的空间分布特征。

与直接前震和主震时间分布特征的分析相同，根据确定的 16 次直接前震与主震空间距离进行了统计，结果表明：直接前震与主震的空间距离小于 30km 的占 75%，小于 10km 的占 38%(图 1-1b，表 1-4)。

表 1-3 前震与主震时差统计表(根据 16 例前震统计)

前震与主震时差/d	0~1	0~10	11~20	21~30
比例	6/16=38%	11/16=69%	4/16=25%	1/16=6%

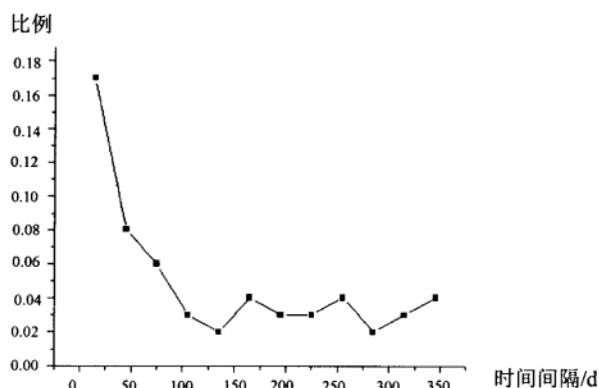


图 1-1a 直接前震与主震的时间间隔优势分布图

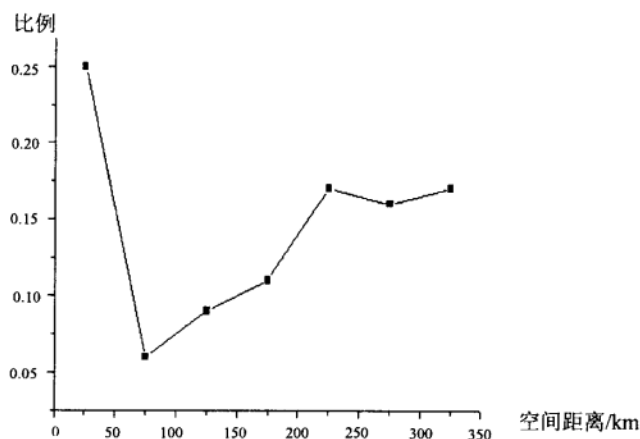


图 1-1b 直接前震与主震的空间间距优势分布图

图 1-1b 为扩大统计的空间区域所得的距离分布曲线，由图可见直接前震与主震的优

势空间距离也是很近的。优势分布在 50km 范围内, 间隔 200km 以上的比例有所升高, 原因是空间间隔越远, 统计的环形面积随之很快增大, 落入的地震也越多, 同时很可能与 4~5 级地震正常的分布间隔有关。尽管如此, 在 50km 的间距内仍表现出显著高的比例分布特征。

表 1-4 前震与主震间距统计表

前震与主震间距/km	0~10	11~20	21~30	31~40	41~50
比例	6/16=38%	2/16=13%	4/16=25%	2/16=13%	2/16=13%

(3) 主震与前震的震级差的分布特征。

首先根据上述特点定义前震: $M_L 4.0 \sim 5.9$, 空间间距在 50km 范围内, 为增加统计的样本, 将时间差扩大到 60 天内。再考察符合条件的前震事件与主震事件的震级差别的分布特征, 由此得到前震与主震震级差的优势分布, 给出前震与主震震级差较为客观的定义。图 1-1c 为前震与主震震级差统计结果图。图中可见, 震级差的优势分布在 1~1.5 级之间, 震级差小于 1 级与震群相似, 因此前震与主震震级差定义在 1 级以上较为合适。上述研究的统计结果表明: 可给出前震的定量判据:

- 直接前震一般发生在主震事件前 30 天内;
- 直接前震一般发生与主震事件相距 50km 的范围内;
- 直接前震与主震事件的震级差在 1 级以上。

如果一旦能将直接前震加以准确识别, 则预测的分辨率可达到 30 天和 50km 范围内, 未来主震的强度比前震高 1 级以上, 预测的时空强分辨率都是很高的。

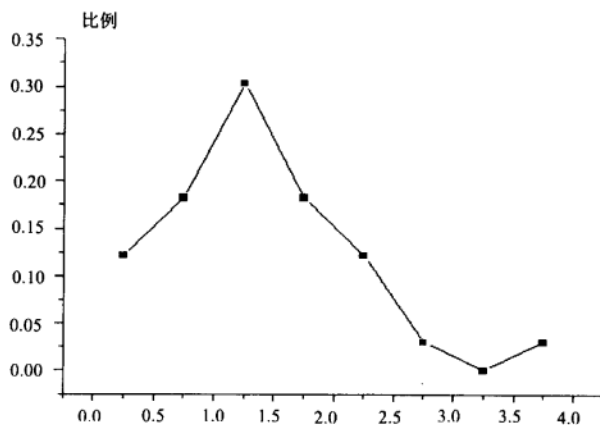


图 1-1c 直接前震与主震的震级差的优势分布图

2. 1998 年张北 6.2 级地震的广义前震的前兆特征

广义前震和直接前震与同等量级的一般地震是否存在震源及周边环境介质特性的差异, 目前在学术界仍存在较多的争论。一部分学者认为, 广义前震和直接前震与同等量级的一般地震不存在震源介质特性的差异, 未来强震的大小不取决于初始破裂, 而是取决于终止破裂,

即初始破裂到终止破裂的尺度,因此地震无法预测。但是,震源物理的孕震理论和大量的岩石破裂实验表明,破裂通常是以形成裂纹系和裂纹系之间的隔堤遭到破坏,并使之合成主断裂的方式进行的。在地壳介质中,与载荷条件和介质的非均匀性有关的微裂纹达到相当集中的程度时,裂纹的相互作用和生长贯通是雪崩阶段的基础条件。可见,微裂纹达到相当集中的体积决定了未来强震的大小,而且微裂纹的密度对于源区介质与非源区介质是有明显差异的。对于前震预测意义的不同认识,源于地震发生机制本身的多样性,但是对于预滑模型或瞬间前震模型来说,前震和广义前震的中短期预测意义仍是十分重要的。

本研究利用 1997 年以来首都圈数字地震台网记录的数字化波形资料,计算了首都圈地区 1997 年以来精选出的 151 次小震的环境应力值(陈培善, 1993、1998),以分析研究广义前震或直接前震附近地区环境应力背景 τ_0 值与一般地震的差异。图 1-2 为计算所得的矩震级 M_w 和 M_L 震级的对比图。由图可见,矩震级 M_w 和 M_L 震级在 5 级以下具有很好的线性关系, b 值的估计误差极小。图 1-3 为矩震级 M_w 和 M_L 震级与环境应力 τ_0 值关系图,矩震级 M_w 和 M_L 震级与环境应力值的大小无关。151 次地震事件中,只有 8 次 τ_0 值达到 7MPa 以上,占 5%。图 1-4 为首都圈地区 116° 以西地区环境应力 τ_0 值随时间的变化,与 $M-t$ 图类似,纵坐标为 τ_0 值。该区 1997 年后,发生过两次 5 级以上地震:①1998 年 1 月 10 日,张北 M_S 6.2 地震;②1999 年 11 月 1 日,大同 M_S 5.6 地震。在这两次地震前,环境应力 τ_0 值明显增加,震后降低。最为引人注意的是 1999 年 5 月 21 日的张家口 M_L 4.7 级地震,这是一次典型的广义前震事件,与主震的时间间隔 230 天,距离 68km。

如果考虑震级对环境应力值可能的影响,由表 1-5 也可见到,1999~2001 年 4 月计算精度较高的、大致同等级大小的 23 次 4~4.9 级地震的环境应力值,除 1997 年 5 月 25 日张家口广义前震(信号震)达到 10.4MPa 外,其余全部低于 5.5MPa 以下,高应力背景的异常显著性是非常突出的。尽管这仅是一次震例,但其与一般地震应力背景的显著差异是令人信服的,使我们看到了数字地震资料所含有的十分重要的信息。

上述统计结果表明:前震与主震和余震同处于主震震源区内,是震源区同一失稳过程的结果。张家口广义前震高应力背景的研究事实也证实:如果广义前震和直接前震与未来强震在时空分布上存在必然联系,则广义前震和直接前震,尤其是直接前震所辐射的地震波中很可能含有未来强震孕育区的大量本质性信息。如何提取与源区介质性质密切相关的重要信息,如何从这些信息对比中找到一般中等显著地震与广义前震和直接前震的介质物理性质的特征和差异,并能根据震源介质参数的特征识别前震(广义和直接),在日常地震监测预报工作中予以应用和逐渐完善,使其具有短临预测的分辨率和重要的短临预测的实用价值,是今后研究的主要目标。

表 1-5 首都圈地区 1997~2001 年 4 月 23 次 4~4.9 级地震环境应力值和震级表

序号	年	月	日	时	分	秒	纬度(°)	经度(°)	M_L	M_w	τ_0 /MPa
1	1997	5	25	14	58	37	40.68	114.87	4.7	4.5	10.4
2	1998	1	10	21	50	32	41.18	114.33	4.3	4.1	4.9
3	1998	1	11	11	31	45	41.08	114.42	4.4	4.2	5.1
4	1998	1	12	2	41	56	41.03	114.43	4.3	4.1	4.7