

709
5626083
地震监测与预报方法
清理成果汇编

测震学分册

国家地震局科技监测司

83



地震出版社

地震监测与预报方法清理成果汇编

测震学分册

国家地震局科技监测司

地震出版社

1989

内 容 提 要

利用测震学前兆预报地震是目前地震监测预报的重要途径之一,本文集汇总了这方面的清理研究成果。全书共收入论文40余篇,重点介绍了地震活动空区与条带,地震活动相关性, b 值与介质特征,以及综合研究与预报评分等方面的清理结果。本书比较系统、全面地反映了我国近20年来利用各种测震学前兆预报地震的思路、方法与效能,对从事地震、地球物理研究的科技人员有重要的参考价值。

地震监测与预报方法清理成果汇编

测震学分册

国家地震局科技监测司

责任编辑:陈非比

地质出版社 出版

北京复兴路63号

北京朝阳展望印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行

全国各地新华书店经售

787×1092 1/16 23.25印张 595千字

1989年2月第一版 1989年2月第一次印刷

印数: 0001—1100

(平) ISBN 7-5028-0152-9/P·98

(543) 定价: 10.00元

前 言

大陆是人类的主要活动地区，发生在大陆的地震虽只占全球地震的15%，但大震给人类造成的损失却占全球地震损失的85%。我国是世界大陆区地震分布最广的国家，据1970—1980年的统计，地震造成的伤亡和损失比世界其他各国的总和还多。地震预报研究的紧迫性显明地摆在我国地震工作者面前。

不少事实表明，地震是有前兆的，对某些类型的地震，有可能作出一定程度的预报并减轻灾害。然而实践也告诉人们，地震前兆现象是相当复杂的，目前离准确预报地震三要素尚需走较长的路。当前，地震预报中有几个突出的问题有待解决。首先是如何识别和排除各种干扰，可以说，地震预报水平的提高是随着对于干扰因素认识的深化而不断提高的；其次要设法寻找反映地震前兆的灵敏点和优化观测方法，一些大样品模拟实验表明，同一试件中不同区域的反应可以有很大差别；第三要弄清不同地质构造条件下，不同等级地震的异常的对应范围，这对地点预报至关重要；第四要研究不同类型地震长、中、短、临前兆的判据，这是一项战略性的任务。

为了解决上述问题，国家地震局自1983年起，用了两年多的时间，组织了2200余人，对各种前兆观测方法多年来的工作进行了全面清理，并对华北地区和南北地震带10年强震危险区的判定方法进行了系统研究。

1. 地震监测与预报方法的清理研究

包括各类前兆方法的清理，计有测震、地形变、水位、水化、重力、地电、地磁、地应力和综合分析等9个方面。具体清理内容为：

(1) 观测仪器的评价 仪器参数、所测物理量，各类仪器的对比、稳定性、抗干扰性能，提高观测精度的方法等。

(2) 观测条件的清理 台站水文地质条件、岩性、环境干扰源、最佳观测条件，相应的野外与室内对比试验等。

(3) 观测信息的处理 干扰因素的典型图象与识别方法，频谱分析与卓越周期的研究，各种测量方法的试验等。

(4) 监测与预报能力的评价 现有预报方法的依据与科学思路，震例（包括正例与反例）剖析，预报效能的评价等。

2. 强震危险区的判定与研究

以华北地区和南北地震带为研究区，从清理过去的危险区划分原则与方法入手，结合动态应力场随时间变化的资料，探求10年时间尺度的危险性判定方法，以填补通常的烈度区划与每年地震趋势判断之间的一个空档。这是国民经济建设与预报探索之必须。

以上两项工作是国家地震局近三年来的重点科研项目，其工作程序是：首先分单项进行系统的清理研究，并在此基础上针对各类专题撰写成论文或工作报告；然后分单项进行交流和评比，并对各单项的总报告进行横向交流与评比；最后，组织有关人员将清理中有价值的

成果按统一要求进行编纂，汇集成册陆续出版。

《地震监测与预报方法清理成果汇编》汇集了各种前兆观测方法的清理研究成果，将按不同专业分若干分册出版。这套成果汇编不仅是邢台地震以来地震预报工作的科学总结，而且反映了符合我国国情的地震预报研究的前沿成果。它不仅对当前的工作具有实际意义，而且也今后的科研攻关奠定了一定的科学基础。

希望本书的出版能给我国地震事业带来新的进步，并能为各国学者了解我国地震预报的进展提供方便。

国家地震局科技监测司

1986年9月

本 分 册 说 明

1983年初，国家地震局确定要从科学上总结地震预报各类方法的效能，动员了所属各单位对各类方法进行系统的分析、总结，并定名这项任务为“清理攻关”任务。1983年5月初，又组织了工作方案的论证，分别成立了各类方法的清理攻关领导小组。地震预报地震活动前兆清理领导小组成员为许绍燮（组长）、冯德益、刘正荣、金安蜀、韩渭宾、刘蒲雄。1983年6月下旬在福州正式制订了工作计划。局与科技司的领导对工作提出了明确的要求。在会上确定各地区统一需要清理的必做项目为：空区、条带、相关性、“窗口”效应、诱发前震、地震序列特征（衰减）等。这六项以外的其他内容作为各单位的自选项目，不受限制。这样做既有共同项目，便于相互比照；又有自选项目，可以充分发掘各种预报信息。

通过一年多的工作，1984年10月9—14日在重庆召开了清理成果学术交流会。在会上宣读的报告有105篇，其中提交出书面报告的为101篇。提交报告的篇幅很大，估计总页数可达3000页。在此基础上，经过会议评定，选出了其中42篇汇编成本书出版。地震预报的地震活动前兆总的清理结果由许绍燮执笔写成总结报告。地震局科技司陈章立同志，地球物理研究所李学良同志均参加了组织领导工作。

目 录

地震预报的地震活动前兆清理总结 (1983.6—1984.10).....	许绍燮(1)
---------------------------------------	--------

地震空区与地震条带

地震空区及其可能的预报效能.....	薛峰	陈章立(15)
强震前的地震空区与其前兆特征.....	孙次昌	章淮音(23)
孕震空区在地震预报中的应用.....	陆远忠 王炜 沈建文 施玉芳	王小喜(34)
四川省强震前弱震活动空区的研究.....	韩渭宾	席敦礼(41)
华北地区几次大震前地震活动空区的探讨.....	武建建	金安蜀(49)
河北及其邻区强震前地震空区的判定.....	张嘉延 李淑莲 胡新亮 张青荣	何艳英(58)
北京地区的地震围空性.....		郁曙君(66)
同幕重复地震空区图象的重现性.....	魏光兴	刁守中(76)
海城地震前的地震空区.....	顾浩鼎	周元夫(81)
地震条带及其预报效能估计.....	刘蒲雄	陈章立(89)
四川6级以上地震前地震活动条带的特征(摘要).....	韩渭宾	席敦礼(100)
华北中强地震前的地震活动条带特征(摘要).....	戴英华 张青荣 陈连柱	赵明淳(101)
宁夏及其邻区中强地震前的地震活动图象.....		李孟奎(102)
闽、台地区地震条带与地震空区的讨论.....	张尚识	彭美凤(108)

地震活动的相关性

新疆伊宁-玛纳斯地区与邻区地震活动的相关性.....	王桂岭 敖雪明	杨成荣(119)
南北地震带的地震相关性与步进特征.....		程万正(126)
震情窗口和震情地带的研究.....	王泽皋 孙国学 刁桂苓 姚殿义	李志民(137)
	郭妍 许玲	
华北震群应力场“窗口”效应.....	姜秀娥 单锦芬	邱竞男(152)
诱发前震与地震危险区判定.....	赵根模 刁桂苓	郭瑞芝(163)
地震频度衰减与地震预报(摘要).....		刘正荣(176)
前兆性震群活动特征的研究.....	朱传镇 王林瑛	黄蓉良(177)
内蒙古地区震群活动特征及其与中强地震的关系.....	耿洪 章爱娣	曹刚(187)
林县小震活动研究.....	谢智	王勤忠(195)
华北强震前小震的“密集-平静”特征及其初步解释.....	林邦慧 胡小幸	张卫平(203)
	王新华	

b 值及介质特征

b 值时空扫描与地震预报	黄德瑜	张宇霞	(215)
关于 b 值的研究	李全林	陈锦标	(224)
四川几个地震带(区)的 b 值变化与地震预报	韩渭宾	席敦礼	(234)
关于 b 值估计方法的讨论	高运龙		(243)
北京地区 V_P/V_S 随时间的变化——观测结果及其在地震预测中的应用	金安蜀		(249)
唐山强震前后京津唐张地区小震初动符号的时空分析	阎明	赵仲和	(256)
强震前单台小震综合断层面解变化特征的研究	孙加林	武慧聪	王俊成 (265)
根据地震波谱变化探讨强震的孕育过程	胡祚春	郑治真	刘元壮 (276)

综合研究及其他

江苏省中强地震的地震活动图象	程德利	王铮铮	谢华章	杨彩霞	(285)
广东及其邻区近期地震活动特征的分析	赵毅	林纪曾	谢明富		(293)
辽宁及邻近地区的地震活动图象	赵振	于军	付东辉	谷光裕	唐铭麟 (300)
单台地震目录在研究四川地震活动异常中的应用	廖志和				(313)
在新疆北天山地震带应用断层总面积法预报地震的效能	王六桥	李善因			(320)
长江中下游地区地震活动的屈曲菱图象	严尊国				(326)
新丰江6.1级地震前测震学指标的异常特征	谢明富	林纪曾	赵毅		(331)
“地震串”图象的模糊识别	冯德益	林命邈	蒋淳	吴国有	(342)
地震预测意见与地震前兆预测能力的模糊评判	冯德益	林命邈	蒋淳		(348)
分析识别地震学前兆的人机联合处理系统 ISARP83 ——阶段报告	杨建思	赵仲和			(355)

地震预报的地震活动前兆清理总结

(1983.6—1984.10)

许 绍 燮

前 言

地震预报的地震活动前兆清理提供的成果篇幅很大,因之要详细总结颇为困难,必然是挂一漏万。故本文总结的要旨不在于求全,而是想用较短的篇幅,以展示地震预报地震活动前兆的预报效能,希望能给读者得到一个信度的概念。好在相当一部分的文字报告业已同时在本书发表,读者需要了解详细情况可参阅原报告。

地 震 空 区

各单位提供的清理报告中,地震活动空区的研究报告较多,至少有14篇。

利用空区预报地震的方法过去给人的印象是似有一定的预报能力,但勾划空区的不确定性太大。这次许多研究者都注意了提高勾划空区的客观性问题。他们不再只停留在直观的震中分布图形上,而是增加了比照空区内外的地震频数、能量、 b 值等参数的时间进程,从动态过程来规定空区的判据。在全面搜索中,他们试验了不同大小的时间窗与不同长短的滑动步长,作出了一整套的震中分布图,看看究竟能勾划出多少个空区。陆远忠等的报告指出,他们以大华北(30° — 43° N, 105° — 125° E) 13年(1970—1982年)的资料,用四种起算震级(M 分别为1.7, 2.0, 2.3, 2.6)与四种宽度时间窗(1.5年, 2年, 2.5年, 3年)组合,以半年为滑动步长,相继作出震中分布图,这样共作成16套总计约350幅震中分布图。在这些图中,首先勾划出预备空区,然后计算预备空区外与空区内的频数比,空区形成后与空区形成前的应变释放比。根据频数比值大于3,应变比值也大于3两条判据,最后判别为孕震空区的为87个。两条判据剔除了约88%的预备空区。如起算震级2.0、时间窗2年的这一组,在13年中共勾划出预备空区171个,根据两条判据,判别为孕震空区的有24个。这期间华北发生的5个6级左右地震(和林格尔、巴音木仁、溧阳、五原、海原)都能报出,即报准率为5/5,但虚报率达19/24。通过计算机进行各种组合的试配,较好的是起算震级为2.0、时间窗为两年的一组,删除3级以上震群,可报对4/5,漏报1/5,虚报10/14。

薛峰、陈章立等普查了全国东部5级以上、西部6级以上地震,判据是外环频度增加大于警戒线,且持续时间大于空区持续时间的1/4。1970—1983的13年资料中的28个空区,符合上述标准的为14个,其中12个对应地震,占86%;2个虚报。排除的14个中,实际有2个是对应着地震的。全部时间段应预报的地震总数是25次,故有13次是无空区或未能判定为空区,即漏报可达52%。孙次昌从全国 $M_L \geq 3$ 的震中分布入手,首先计算了各个网格(0.2° 纬度 $\times$ 0.1° 经度)内的 $M_L \geq 3$ 的频次,发现1970—1980年间我国13次强震中,12个前都能找到空

区。然后对比 $1^{\circ} \times 1^{\circ}$ 较大网格内的频次,发现各空区基本上都位于一个范围较大,较长时段内具有较强地震活动背景的地区,故空区不仅有平静的一面,还有其外围增强活动的另一面。作者指出大多数强震的空区,于震前几个月至几年内,在距未来主震不太远的地区(一般小于100km)常有一个或多个震群发生。

为了避免时间窗与滑动步长的难以穷尽,避免遗漏重要的空区,一些作者往往以 $R-t$ 图配合震中分布图来研究空区,这样在时间上的展示就不是离散的了。不少报告指出从 $R-t$ 图上观测到大地震前空区有先扩张,然后收缩的现象。 $R-t$ 图的弱点是图象依赖于原点的选择,强震常位于空区周边,如 $R-t$ 图的原点正巧选在未来的强震点上,则空区图象会受到畸变,甚至不显空区。但如该区地震成带分布,如我国鲜水河地震带,则作出按地理坐标的 $D-t$ 图研究空区最为有效。普查了四川的全部资料,自1970年7月至1983年6月,四川5级以上地震共有58次,可归并成16组,其中10组前有空区,占5/8;6级以上地震共7组,有空区的是6组,占6/7;7级以上地震2组,均有明显空区。据此资料,似地震愈大,有空区的可能性也愈大。

金仲明等报告,清理新疆天山地区1971—1983年的14次5—6级地震,发现6次有空区,8次没有,对比了有空区地震与无空区地震的具体情况,看来是否出现空区不单决定于地理位置或具体地体条件。如1976年1月10日(5.7级)与1979年3月29日(6.0级)发生在库车的两次地震,震中相距很近,后者有空区而前者没有。有无空区也不主要决定于地震类型,在有空区现象的6次地震中,既有双主震型,也有孤立型及主震余震型;在没有出现空区的8次地震中,也有双主震型和主震余震型。

郁曙君在详细研究北京马道峪地区1967—1983年5次4—5级地震的空区时发现,地震空区差不多可以在原地重复,因为这5次4—5级地震的震中位置纬度差不超过 $4'$,经度差不超过 $1'$,故非常有利于研究空区的重复性。作者也尝试了无震空区的判别,似无有效的分辨方法。

武建建等研究了以一批随机点模拟的震中分布图,发现如随机点数较少时,则随机形成空区的可能性较大;投入的点数增多,显示空区的随机性可以减少。另外空区内外频数的比值图有较明显的区别。

刁守中等系统收集了9组原地重复地震的空区,纵然两次地震震级相差一级,但它们的尺度与形状基本相同。他得到的结论与许绍燮研究两次溧阳地震的结果类似^[1],即震前空区的尺度不像震时地震效应那样与主震震级有直接依赖关系。这一事实在判断空区的机理上可能是一个重要的约束。

这次清理空区虽然大部分还是“倒”着做,即有了地震往前找空区。但也有相当一部分作者是“顺”着做了,即全面普查,看看究竟有多少空区,从而全面评价了它的能力。从总的结果来看,空区与地震不是一一对应的关系。空区更不像就是一个未发震的震源体。但空区与地震的关系也不是随心所欲的瞎凑。当从动态过程来判别时,空区的任意性可以大大减小。在讨论会上同志们强调指出,虽然空区还存在着不少问题,但空区的重要性是不容忽视的。如1983年11月菏泽5.9级地震,1984年5月南黄海6.0级地震前^[2],都有人正式报告了该地区存在着空区,而且预测的震级也基本上是正确的。

地震活动条带

地震活动分布中的条带图象具有一定的前兆意义，未来强震往往就发生在这个条带上。条带的震兆性是在我国的地震预报实践中逐渐受到重视的。在这次清理中，对于如何定义一个活动条带，大家下了不少功夫。有的从几何图形入手，总结为条带的长宽比要大于3—4，空段所占比例不应大于全长的1/3。有的从发展动态方面着眼，侧重于条带内外的频数、能量、 b 值等参数的时间进程，也是从动态过程来规定条带的判据。

刘蒲雄报告说，华北从1970年至1983年的13年中共可勾划出条带25次，其中16次对应地震，虚报9次，另有6次地震前则未发现条带。一般较大地震前，常出现两支共轭性条带。大震的条带长度较为稳定，一般在500km左右，不随震级变化。戴英华等试验了近年来无强震的常时中小地震活动带（如山西地震带），发现其条带内外的频数比的确比较平稳，与震兆性地震活动条带有明显区别。刘蒲雄认为条带是与大范围平静伴生的，与一般活动背景上的条带不同，条带上的频数是临震前几年才增加的，使人感兴趣的是大震的主破裂面往往与条带的方向一致；或者地震的震源机制解的两个节面，往往与一对共轭条带一致。韩渭宾研究的8个强震中有7个机制解与条带方向角差小于 22.5° 。如为随机碰撞，两者的角差应为 45° 内的任意角，既可小于 22.5° ，也可以大于 22.5° ，8次中要有7次小于 22.5° 的机率将小于0.04。此即表明我们有96%的信度可以说地震的破裂面是与条带一致的。

另一点值得注意的是，这次清理出来的条带多数不属于创导人所强调的那种活动性条带，而是与大范围平静伴生的条带。我们现在还不清楚，这是由于一开始时我们的引导工作没有做好呢，还是条带在实际分析中也有相当的困难。

相关地震

特定地区间的地震活动在发生时间上具有同步性。这种地震相关现象各地区先后有所报道。最初注意到这种现象的是北京-唐山（A区）与和林-凉城（B区）、朝阳-海城（C区）间的相关^{〔8〕}。这次清理中，李文英等将这几区的相关性追溯至早年的历史地震。结果表明在17世纪即存在着相关性。更早年的地震相关性不明显（也有可能是历史资料不全）。作者们认为，这几区的构造上有类同，均属燕山带，地震震源机制也相似。

敖雪明等找到的一对相关区是比较好的。伊宁-玛纳斯（A区）与喀什-柯坪（B区）两区自1900年以来的80多年中，均发生过一次8级地震与一次7级地震。两次8级地震相差只有52个月，两次7级地震竟只差了7个月。可见这两区所发生的地震，不仅在时间上相关，在震级上也是相当的。在新疆地区除A区、B区相关外，阿尔泰-富蕴（C区）也与A区相关，只是其相关性到1962年后才明显，似可认为应力情况随着时间是会有所变化的。纵观A、B、C三区地震相关情况，似有自西向东（B→A→C）顺序发震的步进迹象。

晏风桐等也找到了几对相关区。如滇南-滇西地震相关区，其相关性也是比较好的。程万正报告了中国中部大南北带内地震的相关性与步进性。作者在报告中展示的步进现象是今后工作中值得深入思考的。

李文英等较全面地研究了我国东部地区的地震相关现象。除了前面已经提到的燕山带上的相关区外,他们系统地研究了鄂尔多斯地块周边的地震相关性,认为东边与西边,南边与北边分别相关较好,同时四角间也有一定的相关性。大华北南部地区的相关性也很引人注目,如菏泽地区与黄海勿南沙地区的地震相关。日本海沟—东北深震—东北浅源地震的步进相关性也值得重视。

通过这次清理找到的相关区计有:燕山带的海城—朝阳—唐山,北京,和林—凉城,巴音木仁—五原;新疆的乌恰—柯坪,玛纳斯—伊宁,阿勒泰—富蕴,且末—若羌;云南的滇西,滇南;四川的贡嘎山南北;华北南界,黄海;鄂尔多斯块体对边与四角。可以认为这种地震相关性在我国大陆是普遍存在的,不是个别地区的个别现象。

令人振奋的是相关性除了全国普遍存在外,还发现相关区边侧往往存在着地势的显著变化。许绍燮给出了这些相关区与地势的关系。如燕山带的A、B、C三区,海城、唐山的海拔高度仅为二三百米,但其相关区附近边侧均有一二千米的高山。新疆的A、B区边侧正是新疆著名的胜利峰(7439m)与慕士塔格峰(7546m),其他各组相关区也都有类似情况。再一个值得注意的现象是这些相关区间的距离大致都差不多,约为四五百至五六百公里的尺度,这些现象为我们认识地震构造提供了新的机会。

地震窗

地震窗、震情窗、震群窗口效应,类似的名称不少,这些都是我国地震监视预报实践中使用的口头语。所谓地震窗,其实质是地震活动密集点的活动性涨落,与其周围较大范围发生的较大地震有相关性。这与上节相关地震中的区与区的相关极为类似,只是此处的相关是点与面的相关。故地震窗的实质应是地震相关点。从广义来说,也是一种地震相关。在这次清理中,报告观测到的地震窗不少。据不完全统计,计有邢台、海城、唐山等余震区,以及林县、太原、霍山、松潘、马边、乌鲁木齐、长岛等常时震群区。

王泽皋等给出的邢台震情窗,取邢台红山台($S-P$) $\leq 8.5s$ 的地震年频次,凡偏离正常衰减(余震数增多)后,均对应了华北地区的强震。王桂岭等报告了石场震情窗。石场地震台记录的($S-P$) $\leq 8s$, $M_L \geq 1.0$ 级的地震活动性增加后,对应着本区300km内的5级地震,作者计算的 R 值为0.45。水磨沟震情窗也得到了类似的结果, R 值为0.54。

程万正给出了九龙窗。九龙位于四川康定附近,窗口的边长为33—62km,取四川台网每月正式提供的地震目录,计算发生在窗口内地震的月频次。出现小震丛后2月内,有本区5.8级以上地震。

地震窗如同相关地震一样,在实际地震预报监视中应用的意义是很显然的。在会商会上人们经常提到地震间的相关性,有时本地还没有出现什么震情,但从相关性的角度已引起人们的警惕了。故有同志建议,是否可以进一步普查地震窗、相关地震等,以期构成全国性的地震相关网。毫无疑问,这在地震预报中是有实用价值的。

诱发前震

一次大地震发生后不长时间(如半年)内,在其周围较大范围内发生的显著中强地震

(一般为4级左右),往往预示着未来的大震将会位于这些地区。天津局同志称其为诱发前震,地球所有同志称为响应地震。松潘在1976年8月16日发生了7.2级地震,在这次主震发生前,当地的小震每每受到外区发生强震的激发。如1973年2月6日炉霍发生7.6级地震,1974年5月11日永善发生7.1级地震,1976年5月29日龙陵发生7.5级地震,都曾激发了本地的小震活动。而最后在1976年8月16日本地发生了强震。这就是诱发前震的例证。这是一个颇为诱人的思路。其在地震预报中的价值是显而易见的。以往的报告中给出了不少支持这种思路的震例。但人们不知道反例如何,必须证明作者不是报喜不报忧。

在这次清理中,天津局与河北局合作对1970—1983年的西南地区地震和1965—1984年华北地区地震作了统计,对于西南 $M_s \geq 6.7$ 地震,取有效预报期1—4年,有效预报半径为110 km,作者认为评分 R 值可达0.67;对于华北 $M_s \geq 6.3$ 地震,取有效预报期1—11年,有效预报半径为130 km,评分 R 值可达0.58。

何淑韵系统地整理了响应地震资料。她将每次大震后半年内发生的4级以上地震都作出了图,把这些地震作为响应地震,检查其预报能力如何。作者以大震发生后半年内发生的4级以上地震为圆心,以150 km的范围为半径画圆,结果未来的大震基本都落入距响应地震150 km的范围内,即都位在大圆内。这些图件给人直观的印象是很不错的。即使你审阅了她的全部图件,直观印象也没有什么变坏。作者综合了1966年3月到1984年6月的全部响应地震,共29次,然后以历次大震为圆心,150 km为半径作大圆,结果响应地震落入圆内的为23次,占 $23/29=79\%$ 。现在的问题是响应地震落入圆内的比例是多少。综合了大震后半年以外的非响应地震,共有99次。而落入圆内的为66次,占 $66/99=67\%$ 。故响应地震的净增益只是 $79\% - 67\% = 13\%$ 。据作者报告,如以山西带以外地区统计,上述净增益可提高到24%。是否真正具有预报能力,答案仍应是肯定的。

震群、前余震系列

前震是很难识别的,这是研究地震的人都熟知的事实。对于一个地震系列,刘正荣认为当系列衰减系数 h 值小于1时,则这个系列是前震系列,后继还有较大地震; h 值大于1,这个系列是余震系列,主要地震已经发生。震群中有不少是属于前震系列性质,故有前兆震群之称。这次清理攻关中,清理的必做项目包括有这方面的内容。

刘正荣报告说,他已尽可能收集了国内的各个地震系列,同时还包括世界其他国家的一些地震系列,总计共有108个系列。其中:

有震的34次而 $h < 1$ 的占24次,故百分比为 $24/34=72\%$ (可报出70%);

无震的74次而 $h < 1$ 的占3次,故百分比为 $3/74=4\%$ (自然概率);

扣除自然概率后的对应概率66%, $R=0.66$ 。按此评分结果应是有比较强的预报能力(指对回答有无的问题)。

陈农报告在四川地区共收集到58次地震系列。验证 h 值的预报效能为:

有震的30次而 $h < 1$ 的占23次,故百分比为 $23/30=77\%$ (可报出77%);

无震的28次而 $h < 1$ 的占12次,故百分比为 $12/28=43\%$ (自然概率);

扣除自然概率后的对应概率34%, $R=77\% - 43\% = 0.34$ 。仍有预报能力。

陆远忠等提出用表征小震群能量释放均匀程度的 U 值来判别前震系列。 U 值的定义为:在

一个震群序列中释放90%的应变能需要的最短时间 $T_{0.9\Sigma\sqrt{E}}$ 与全序列所持续的时间 T 之比。他们研究了 $105^{\circ}-128^{\circ}.5E$, $30^{\circ}-43^{\circ}.5N$ 范围内, 1970.1—1979.12间的35个震群。结果是高 U 值 (>0.5) 的震群之后往往会有中强震发生, 而低 U 值 (<0.5) 震群之后不易发生中强震。具体的数字为:

高 U 值震群21次, 满足有震条件的17次, 对应率为81%;

低 U 值震群14次, 满足无震条件的12次, 对应率为86%;

$R = (81\% + 86\%) - 1 = 0.67$ 。具有相当的预报能力。

朱传镇等也提出了一种识别前兆震群的特征量——归一化熵值 K , 它也表征着震群中能量分布的均匀度。 K 值定义为:

$$K = - \sum_{i=1}^N P_i \log_2 P_i / \log_2 N,$$

$$P_i = \frac{E_i}{\sum_{i=1}^N E_i},$$

N 为震群中地震按从大到小排列时的顺序号, E_i 为第 i 号地震的能量。分析实际震群认识到, 当 N 达到4时, K 值已基本稳定。此即表明一个震群只要抓住“老大”, “老二”, “老三” “老四” 四个地震来研究即行了。更有甚者, “老大” 与 “老二” 的级差 ($M_1 - M_2$) 基本上控制了 K 值。如作者们最后总结出来的, $K \geq 0.8$ 为有震标志。则当 “老大” 与 “老二” 的震级差达到0.3级时, 这个地震系列即属余震系列, 为无震标志。此语言虽总结得有点简单化, 但容易记忆, 发人深思。朱传镇报告说他们统计了106次震群, 其中:

$K \geq 0.8$ 的有40次, 满足有震条件的25次, 对应率为63%;

$K < 0.8$ 的有68次, 满足无震条件的47次, 对应率为70%;

$R = (63\% + 70\%) - 1 = 0.33$ 。已具有一定的预报信息。

作者认为 K 值的优点是只要抓住震群中的几个较大的地震即可求值, 不像 b 值需要有足够的频次才能计算。作者认为, 联合使用 K 值与 b 值, 可能会更有效地识别前兆震群。

陈农与陆远忠等都给出了前兆震群指标值随时间的变化进程, 由于震例还太少, 目前还难以进行定量的对比。

关于余震持续时间与剩余能量 (剩下余震的最大震级) 的估计, 刘正荣采用的方法经实践证明较为有效。

b 值-震级序列

黄德瑜等对 b 值作了全国扫描。他们以经纬度各1度的区间, 3年时间窗, 用最小二乘对东部地区进行了全面 b 值扫描。可用资料从1970年开始, 按滑动步长半年连续作图, 共得 b 值扫描图23张。全部14年资料中, 低 b 值异常有18次, 其中12次有震, 占百分数 $12/18 = 67\%$ 。这期间发生强震15次, 可报出12次, 占 $12/15 = 80\%$, 经计算, 预报所占时域的百分数 (作为随机碰撞的自然概率) 为37%, 故净对应百分数为43%, 即 $R = 0.43$ 。具有一定的预

报能力。

对西南地区做了1971年以来的扫描。 b 值异常13次,报对地震7次,占 $7/13=54\%$ 。这期间有地震11次,报准率为 $7/11=64\%$ 。这期间预报占用的百分比为35%,故 $R=0.29$ 。

据作者报告,对西北、华南地区,在清理资料中没有应报大震,但却出现了6次 b 值异常,全部虚报,是一个值得注意的问题。

高运龙等报告用 $12\text{月}\times 300\text{km}$ 作大面积 b 值时间扫描,或用 $12\text{月}\times 150\text{km}$ 作大面积 b 值空间扫描,对于检测 b 值异常都很有效。

以上两个单位均是采用了最小二乘原则求取的 b 值,他们认为二乘 b 值比似然法求得 b 值预报能力强。但我们知道用二乘原则求 b 值时对高震级地震非常敏感,在数据窗中进出一个高震级地震,可使求得的 b 值有显著的变化。那么 b 值还有多少独立意义,就成了问题。

关于 b 值的正负异常问题,共同的认识是,大震前近源区 b 值下降,外围区 b 值上升。也有一些报告指出缺震、断层面积累积和具有较好的效果。

密集-平静——时间序列

时间序列 $N(t)$ 是提供震兆信息的一个重要来源。上面提到的空区、条带的地震频次内外比就是利用了 $N(t)$ 的一种特征。地震窗也是应用了 $N(t)$ 的特征。地震活动的密集-平静现象是我国开展地震预报工作中最早引起注意的震兆现象。还在邢台地震工作的初期,现场监测的同志就利用它初探了地震预报。这一震兆现象在海城地震预报中,特别是对石硼峪地区的短临预报也起到了决定性的作用

在这次清理中,林邦懋等再次研究了邢台地震的密集-平静现象。在邢台地震系列中,3月8日6.8级与3月22日7.2级两次主震前的密集-平静现象比较清楚,但3月26日的6.2级强余震前的密集-平静现象就不那么清晰了。详细研究了这三次地震的余震区后,发现第一、第二次主震后紧接着的余震基本上是布满全区的;但3月26日6.2级震后紧接着的余震则偏在全区的东北部。若这些紧接着的余震正反映了该大震的震源区,则第一、二次的主震震源区大体上占满全余震区,而26日6.2级地震的震源区只为余震区东北的一部分。作者将这一部分地震区分出来,并作其 $N(t)$ 图,此时26日6.2级地震前的密集-平静现象就比较清晰了。海城主震与1978年5月18日一次6级强余震前亦有密集-平静现象。

韩渭宾等系统分析了几次强震前震中地区 $N(t)$ 图的特征,发现频数是有异常的。但因频数这个参量对统计区内是否包括震群极为敏感,故除了上述对于余震区、震群点、以及空区、条带内外等具有明显空间范围的 $N(t)$ 较易处理外,一般地区的 $N(t)$ 分析,在划定区界上是一难题,以致使 $N(t)$ 图常呈现出极为复杂的图象。

地震波速度比

波速比当前存在的主要问题是检测精度问题,即究竟能否测得波速变化的问题。利用地球所北京台网资料所作的检测报告,由于它是电信传输,集中记录,故不存在各台钟差问题,其测定波速比的误差较小。金安蜀将所有观测到的值,按0.01的间隔分组,将各组的频次画成直方图,发现1967年至1976年的结果是一个均值为1.72,方差为0.05左右的正态分布。但

在低值一侧偏离正态随机分布较大,附加有明显的非随机因素。而1977年至1983年的结果则是一个均值为1.73,方差在0.06左右的正态分布,低值方面虽仍略有偏移,但与1976年以前比则少多了。这说明这一段时间内检测到的非随机低值少得多了。再则,偏离它的均值的机率是不对称的,负值多而正值少。这也说明我们目前的精度至少可以检测到负异常。1977—1983年期间,在京津地区的31次(组) $M_L \geq 3.5$ 地震中,有15次在震前不同程度地检测到了低异常。在其余16次未检测到异常的地震中,14次发生在周围30 km范围内无地震台的地方,此外尚有4次出现异常后而无 $M_L \geq 3.5$ 地震发生。

天津局与兰州局的报告展示了两地武威地震前观测到几乎完全相似的极为复杂的波速变化时间进程。这类震例如能再次观测到几个,则对波速变化极为复杂的时间进程必将刮目相看,重新认识。可惜现在只有一个震例,这是巧合呢,抑或是真的反映了一种我们完全没有理解的客观实际,我们将拭目以待。

在重庆讨论会上,同志们对溧阳震前观测到的爆炸地震波的四震相视波速异常甚为重视。由于该视波速只需不同震相的相对到时,不受台站钟差影响,故观测到的波速异常具有足够的信度。

虽然国外对波速比的变化有很大的争论,主流也由高潮而趋于低潮,但就我国取得的资料判断,我们认为波速比的变化不是有无的问题,而是提高精度的问题。

尾波—— Q 值

利用地震图上的尾波测定介质的 Q 值,这是近几年才发展起来的方法,可喜的是这次清理中已有了一些结果。

金安蜀等报告指出海城地区前震时期的 Q 值为 $255 \pm 10\%$,而大震后余震期的 Q 值为 $358 \pm 9\%$,有明显的变化。辽宁河栏地震台(距海城主震震中约60 km)观测到的 S 波振幅随时间的衰减曲线,各个前震间,或各个余震间的相似关系是很好的——衰减曲线互相平行,说明求得的 Q 值散度不大;但前震与余震间的差别则很大。这说明大震后 Q 值有了变化——介质有了变化。

李用普等报告说震前尾波衰减 α 近源区小,即 Q 大;远源区大,即 Q 小。这一结果与前述结果似并不协调,但二者都报告观测到了震前 Q 值的变化。这是可喜的进展,使我们观测介质性质的变化又多了一种方法。

初动符号——主应力方向

大震前震源周围地区发生的小震的初动符号会发生变化。初动符号矛盾比、震源机制解主应力方向也会发生变化。有关这类震兆时有报道,但我们还没有取到较强的证据。阎明等在这次清理中取得了较有说服力的证据。他们的分析特点是“结合区域构造,适当划分小区,尝试不同时段”,在过细解剖的基础上,然后再合理组合。他们以白家疃台为基准,对于京津唐张地区的地震,凡震中方位角为北东 60° 至南西 60° 的划为东南区;震中方位角为南西 60° 至北东 60° 列入西北区。他们发现在唐山大震前后这两区矛盾符号比的变化是互补的。西北区由大变小——从24.3%变到15.0%;而东南区正相反,由小变大——从19.5%变到

41.2%。若不是进行合适的分区,这种矛盾符号在大震前后的变化现象是不易显示的:全区矛盾符号在大震前后的变化,仅从21.8%变到31.5%,看来这种变化被东南、西北两区的互补性抵消了。文中还报道,从若干小区的综合节面解来看,唐山大震后主压应力轴的方位较震前方位顺时针偏转了 10° 以上,尤以唐山南区最为明显。

地震波谱

胡祚春、郑治真等清理总结了近几年来他们利用波谱探索震兆的工作。对1966年邢台地震、1975年海城地震、1966年云南中甸地震、1974年永善地震与1976年唐山地震前后其附近地区中强地震($M_s=4.5-5.5$)进行了研究,通过波谱确定其震源断层面面积(S),并引入平均断错 $F=M_s-C\log S$ 。结果表明:前震 F 值较高,为4.0左右,强余震期间 F 值仍保持较高数值,余震时 F 值急剧下降,正常情况下 F 值范围在3.5上下波动。也研究了中强以下较小地震($M_L=2.5-3.9$)的平均断错(F'),对海城地震的前余震测得结果为:前震的 F' 值约3.0,余震的 F' 值围绕2.5波动;前震的应力降($\Delta\sigma$)为数巴,余震的应力降为1巴以下。对太原、临汾地区1980—1983年间的震群($M_L=2.0-3.0$)的35次小震,测得其 $\Delta\sigma$ 和 F' 值均低于大震前小地震的相应数值。台湾地区 $M_L=3.4-5.0$ 地震的平均断错 F' 及应力降 $\Delta\sigma$,均高于大陆地震的相应数值,看不出随时间有明显变化。对滑坡及煤矿塌陷地震也进行了波谱分析,借助于拐角频率 f_0 求得的等效滑坡长度及等效塌陷长度与实际情况基本接近,这似乎可作为用波谱分析的方法来计算地震的等效破裂面长度的佐证。但由于 F 值与震级 M 大小有关,故测定 F 值的精度还依赖于测定震级的精度,而后者的精度一直难以提高,这是一个关键问题。

多维识别

前面我们择要报告了十多项震兆的清理结果。就100多份原报告提及的震兆项目则远不止这些。同时,同一项震兆项中,又有多种多样的提取方法。现在的问题是这些众多的震兆项之间有什么样的关系。问题的一方面是如此众多的项目,如何综合,才能提高识别能力;问题的另一方面是它们是否互相独立,是否都有必要。解决这类问题就是多维识别。

一个地震,我们常用 X, Y, Z, t, M 五个参数去表述它。反过来,一个地震也就为我们带来了这五个参数的信息。通常所谓的地震是一个 X, Y, Z, t, M 五维震情空间的量也就是这个意义。目前我们对震源的知识有了很大的改善,除了上述的五个参数外,诸如断层面积 A ,破裂长度 L ,位错大小 D ,破裂速度 V ,应力降 $\Delta\sigma$ ……等等,以及广义的震源——震源周围介质的波速 V ,衰减因素 Q 值等等参数都提供了深部的重要信息。故震情空间已远不是五维了,我们现姑且称它为多维空间。作为我们预报对象的灾害性大地震,毫无疑问是这个多维空间中的一些点。作为我们当前研究对象的地震活动前兆,如空区、条带、震群……等等,它们也是这个多维空间的一些特殊域,只是它们在时间上应出现在大震以前,因之有预报应用价值。多维识别的任务就是要识别出这类早于大震的图象,特别是寄希望于在较多维的空间中识别能力会有所提高。

王碧泉等报告了她们在这方面的努力。她们移植了自动控制等领域中较为成熟的模式识