

岩石层和震源的数字地震成像

——数字地震学发展的回顾与展望*

王培德 陈运泰

(国家地震局地球物理研究所)

摘 要

本世纪70年代以来由于在地震观测系统中大量使用了数字仪器,因而使数字地震学得到迅速发展。本文概述了数字地震学的发展过程及其在探索地球内部结构、地震震源过程、地壳和上地幔的应力状态中所取得的成就。作者提出应开展岩石层和震源的数字地震成像的研究工作,并以该项研究课题来带动我国数字地震学的发展。文章对于岩石层和震源的数字地震成像研究的意义、内容和方法作了详细的阐述。

地震是一种会给人类生命和物质财富带来严重损害的自然现象,它是在地球内部具有特定结构的条件下,由其内部和外部的作用力引起运动所形成的物理过程。地震学的基本任务就是分析和研究用地震仪记录到的地震图,以了解地球内部各个部分介质的特性、应力状态及其变化、地震发生的原因和发展的过程等问题,为人类抗御和减轻地震灾害服务。从19世纪70年代近代地震仪产生以来,地震学家使用它来对地震进行观测,并在此基础上发展了近代地震学。需要强调指出的是,从那时起到20世纪70年代的一百多年来,地震学家主要依靠的是模拟记录的地震图。运用这些记录,地震学家对于地球内部结构和地震发生地点、时间、地震机制等的了解都取得了辉煌的成绩。由于在这一时期地震仪在制作技术上所受到的限制,只能在远距离记录大地震的低频率成分

(大地震—远距离—低频率)或者是在近距离记录小地震的高频率成分(小地震—近距离—高频率)。这种状态无论是对于了解地球内部结构还是对于了解震源过程来说都受到了相当程度的制约。随着微电子技术的发展,从本世纪70年代起,地震观测系统中大量采用了数字记录的方式,从而使地震学的发展出现了一个新的飞跃,数字地震学就是在这个飞跃基础上

产生的一个重要学科。当前流行的数字地震仪主要有两大类,一种是用在固定台站的数字地震仪,记录的是地面运动的位移或速度;另一类是用于流动或地震近场观测,记录加速度的数字地震仪。它们一般都具有大动态范围、宽记录频带以及易于和计算机联接、可直接进行数据分析的优点。后一类数字地震仪一般还带有稳定度很高的内部时钟和记忆存储单元,将传统地震仪和传统强震仪的功能结合起来,从而泯灭了地震学家和地震工程学家在观测手段方面的界线。用大动态范围、宽频带数字地震仪在靠近震源区得到的地震近场记录携带了有关源和介质的更为丰富的信息。为深入了解地震震源过程和震源区的应力状态提供了有力的手段。

一、全球范围内数字地震学的发展概况及趋势

自数字地震仪应用到地震学研究中以来,全球范围内无论在台网建设还是在利用其取得的资料进行科学研究方面都取得了很大的进

* 本文的很多内容取自1991年2月在北京召开的就发展我国数字地震学问题座谈会上的专家发言。在此谨向与会专家表示深切的谢意。

步。从1986年开始,国际大地测量和地球物理联合会(IUGG)成立了世界数字台网联合会(FDSN),推动了数字地震学的发展。目前已经建成的覆盖全球的台网如全球数字地震台网(GDSN)在确定世界各地较大地震的震源参数(包括地震矩张量)等方面起了很大的作用;国际加速度仪发展计划(IDA)致力于超长周期地震动的观测与记录,其观测结果对于确定地球自由振荡的振型、研究地球内部结构具有很好的效果;以法国为主发展的地球透镜(GEOSCOPE)计划,在十年中取得了很多成果。不少国家为了解本国的地壳和上地幔构造、地震活动特点在自己本土上也都建立了数字地震台网,例如美国、加拿大、意大利等。日本有致力于太平洋俯冲带研究的海神(POSEIDON)计划。还有一些针对特定的科研课题进行的观测和研究项目,像TDP计划在确认上地壳的各向异性、横波分裂上具有较大的影响。国际上数字地震学发展的另一特点是强调地区和国际合作,强调各研究集体之间的联合及国际间的合作。美国的一些科学研究机构和高等学院的地震学合作研究会(IRIS, Incorporated Research Institutions for Seismology)计划,选择有意义的课题将观测仪器集中使用,以期用较小的代价获得最大的成果。欧洲地震学观测与研究系统(ORFEUS, Observatories and Research Facilities for European Seismology)计划,推动了欧洲地震学的联合与发展。

这些大型研究计划的工作内容主要集中在地球内部结构、地壳和上地幔的横向不均匀性和各向异性、地震震源的时-空过程、地震矩张量、非均匀震源面的描述和近场强地面运动、区域应力场的变化和地球动力学等方面的科学问题。

对于地球内部结构的研究有许多进展。从利用长周期面波研究全球大尺度结构发展到利用短周期地震波研究中、小尺度结构;从单纯利用走时数据反演地球内部速度结构发展到利用波形、频谱、相位等动力学参数建立地壳的

三维速度结构的图像并研究介质的衰减、散射、孔隙度等特性参数和各向异性等问题。地球内部大尺度不均匀性和各向异性的研究为全球构造和地球动力学(如板块俯冲、消减带、缝合线以及地幔对流等)提供了证据。比如,通过这些研究证实了日本岛下面太平洋板块向下俯冲的现象;获得了菲律宾海消减带的详细图像;提出了伊豆半岛的碰撞分界线;获得了兴都库什的大陆地壳的消减带的证据等。在中、小尺度的地球内部细结构研究方面则致力于研究一些特定地区的区域性地质、地球物理事件,如震源区的深部构造背景、介质应力状态、地震过程、火山地热异常区的深部结构等提供依据。比如说明了美国西部地壳和上地幔中存在某些与地热有关的低速块体;发现加州中部有一个向东倾斜的低速区;加州南部软流层中存在强烈的异常,获得了圣安德烈斯断层和相邻断层区内的详细三维结构等。

最近几年地震学界对于地壳介质各向异性的研究,特别是上地壳裂隙介质的各向异性研究非常引人注目。1973年卡宾和诺波夫(Garbin and Knopoff)从理论上指出了介质中定向排列的裂隙可能导致岩石中弹性波速度呈现较强的各向异性。随后对此问题的研究在理论探讨和实验观测两个方面都迅速发展起来。数字地震仪的应用对它的发展起到了很好的作用。1985年克兰平等(Crampin et al.)报导了他们在土耳其北安纳托利亚观测到横波分裂的现象后,苏联、英国、日本、加拿大、美国 and 法国也都发表了类似的报告,近年来中国在这一领域的研究工作也取得了一定的进展。从横波分裂的地震观测中可以得到裂隙的走向、裂隙的倾角、裂隙的密度和裂隙的纵横比等四个参数,这些参数与地下应力状态密切相关,是了解地下应力状态的有力手段,有可能对于地震预报起到积极作用,因而得到国际地震学界的重视。

对于震源的研究工作则由到时、波形振幅、部分振动波形拟合向全波形拟合发展。对震源的描述从简单的剪切位错点源发展到地震矩张

量,对地震破裂过程的描述从有限移动源发展到复杂的破裂时空过程。以记录为依据,反演震源详细的时空特性的震源层析成像就是震源研究领域最新的进展。研究工作的重点是非均匀震源面的描述和近场强地面运动与区域应力场的关系。国际上在此领域的研究工作已经可以详细描述地震震源面各个部位的应力降与位错量的分布。

地球物理学的发展已经证明地球的上部是由一些巨大的板块所组成的,板块之间的相互运动使得在其边缘和内部积累了应力,应力的快速释放就成为地震。研究地球内部应力的分布及其变化对于了解和预测地震的形成过程具有重要的意义。60年代初建成的世界标准地震台网(WWSSN)通过在全球范围内地震的定位,对板块学说的创立起到了重要的作用。70年代起世界数字地震台网的投入运行以来,利用其优良的记录特性和波形反演技术大批测定了地震的震源机制和地震矩张量,为分析地下应力状态提供了丰富的信息。例如,现已证明许多地区的区域应力场存在大范围的统一的、与板块运动相联系的特性,多数地区最大水平主压应力的方向与板块绝对运动速度的方向一致。很多地区最大主压应力是水平方向,但是中等主压应力则垂直于地面,走滑型地震是板内地震最常见的地震类型;大面积处于张应力作用的地区一般是地形表面相对较高的地区,受到强烈挤压的逆断层活动曲折地分布在一些带状区域内。对于应力降定量化的研究证明,构造地震的应力降可以达到100巴左右的数量级,板内地震的应力降高于板块边缘地震的应力降,这对于分析地震过程和估计地震复发周期具有重要意义。已经发现地壳中的深大断裂(如美国西部的圣安德烈斯断裂和新西兰阿尔卑斯断裂带)引起了应力方向的局部偏转,这表明断裂带可能是较低的剪切应力带。

吸收与衰减特性是表征介质性质的另一个重要的物理量。国内外从60年代起便开始系统地研究Q值的机制及确定Q值的方法,如上升时间法、频谱比方法、谱模型方法和波列模型

方法等。近年来,安艺等又提出用尾波来研究Q值。地震波的波形依赖于震源函数和传播途径的性质,因而也包括地壳介质的Q值。弗兰克尔、汉克斯、克兰西克、谢尔鲍姆等(Frankel, Hanks, Cranswick, Scherbaum et al.)先后提出二维和三维联合反演震源参数和介质Q值的方法。现已发现,在某些大地震前后Q值有变化,例如夏威夷地震,千岛、堪察加地震,墨西哥 Petatlan 地震,日本中部山梨东地震,中国唐山地震等。因此,了解介质Q值结构及其随时间的变化对于研究介质的不均匀性和地震过程都是很有意义的。

在以上所论述到的领域,利用地震数字记录来进行研究,都可以取得更好的成绩,某些方面可以解决使用模拟记录难以解决的问题。由于数字地震台设备投资、维护和运行费用都要高于常规地震台网,对使用者的技术水平要求也要更高一些,因而地震的数字记录还不能完全取代地震的模拟记录,但由于地震的数字记录本身所具有为模拟记录所不能比拟的优良特性,它为地震学研究、信号传输、交换中所提供的便利条件,同时随着数字技术的推广、大规模集成电路芯片成本的不断降低,使用数字记录进行地震学研究的趋势必将得到迅速的发展。

二、我国数字地震学的发展概况

中国的数字地震学在过去十几年中由于国家地震局和有关部门的重视和支持,经过广大地震科学工作者和工程技术人员努力,已经有了良好的基础,现已建立起了比较完备的基础设施,在数字地震学的观测和研究方面取得了很大的进展。通过中美合作,于1987年建立起了全国范围内的中国数字地震台网(CDSN);通过中美、中法合作在滇西和甘肃河西走廊建立了小区域的地震数字台网。在北京、兰州、上海等地也建立了区域性的数字地震台网,已拥有可进行地震近场观测的流动观测台网,对于地震的近场地面运动进行了观测并取得了一些有意义的研究成果。由于参加了国际间的合作观测与研究,中国的地震科学工作者也获得

了利用全球范围内数字地震台网的资料进行研究的便利条件。

北京等地的区域数字台网的数据采集系统已完成了 DJS-131 型计算机到 IBM-PC 机的过渡,并且已经获得了一批地震的数字记录。可用于进行流动近场观测的数字地震仪的数量已达一百多台。国家地震局地球物理研究所、工程力学研究所、云南省地震局、福建省地震局等单位在河北省唐山地区、云南省剑川、洱源一大理、禄劝、澜沧一耿马等地区、山西省大同、江西省寻乌、新疆维吾尔自治区的马兰等地进行了天然地震和人工地震的近场记录,获得了大批地震的近场记录。利用这些记录在地震精确定位、确定地震震源机制、震源参数和发震构造、确定区域地壳的品质因数、地震矩张量反演、确定地震的震源时间函数、研究近场地面运动特性等方面都取得了成绩。地球物理勘探大队将数字地震仪应用于人工地震测深,也取得了很好的效果。

各个研究集体也同时发展了一批用于数据处理和科学研究使用的计算机软件,例如数据回放与处理、到时读数、震源定位、求解震源机制、水平分层半无限介质和水平分层介质中理论地震图计算、各向异性介质中理论地震图计算、矩张量反演、三维地壳速度结构反演、确定震源时间函数的正则化方法及反褶积方法、加速度衰减曲线拟合、地震动反应谱计算等程序。所有这些进展为在我国进一步开展数字地震学研究创造了很好的基本条件。

我国数字地震学发展目前还存在一些问题,例如:区域数字台网的工作还不够正常,部分记录仍然为单方向记录,也不能把全部的记录都转化为数字量;适用于流动观测的数字地震仪归属于不同的单位,力量比较分散,部分设备的利用率不高,缺乏维修设备和技术人员使得部分出现故障的仪器不能够及时得到修复;不同研究单位的科研水平差别较大,从总体上看,在资料解释和利用、发表科研成果等方面与国际先进水平相比有一定的差距。此外,在协同工作、避免重复性劳动、采取适当的政

策以利于资料的交换使其充分发挥作用等方面还须有所改进。

三、岩石层和震源的数字地震成像研究的目的和意义

按照我国目前在数字地震学领域所具备的条件,在“八五”期间应积极开展岩石层和震源的数字地震成像研究。

岩石层和震源的数字地震成像研究的基本任务是:集中我国现有的、可进行流动观测的数字地震仪,选择地震活动性较高的地区对地震进行近场观测,取得近场地震观测资料;充分利用区域性的数字地震台网、中国数字地震台网及可资利用的全球数字地震台网的记录,以近代地震震源理论和地震波传播理论为指导分析、研究和解释这些记录,以期对下列问题的物理图像得到更多的了解:中国大陆的岩石层结构、地震震源区地壳的细结构;中国及其邻区板块结合区、大陆构造结合部位和活动断裂区的应力状态及其变化;中国大陆板内地震的震源机制和地震的破裂过程;为探索 and 解决对于地震预报有意义的地震学中的基本问题、提高我国地震科学研究水平,为中国人民和全人类抗御地震灾害的事业做出贡献。

岩石层和震源的数字地震成像研究工作的战略目标是实现对岩石层构造和发生于岩石层内的地震震源过程的同时反演。考虑到这一问题的复杂性和艰巨性,战略上宜分阶段解决这一难题。首先,尽量采用一些震源效应显著的方法确定特定地区和震源区岩石层的详细结构;然后,研究清楚复杂的岩石层结构对于精确测定震源参数的影响,尽量采用那些结构的效应不显著或结构效应可以很好控制、掌握的方法,精确测定震源参数,阐明震源过程;最后,在充分了解结构和震源效应的基础上实现对岩石层构造和震源过程的同时反演。

四、岩石层和震源的数字地震成像研究的具体内容

岩石层和震源的数字地震成像研究可分为

三个部分。

1. 中国大陆的岩石层结构研究

利用不同范围固定式的数字台网的资料以及在震源区临时布设的密集的数字地震台网所获得的近场地震记录,研究中国大陆及其邻近地区、地震震源区的地球内部结构,包括构造特征、横向不均匀性和介质的各向异性。探索与地震发生有关的地质构造特征,研究用横波分裂等方法监测地下应力变化的可能性、寻找对于地震预报有意义的方法。可以包括的内容有:

(1) 震源区地壳介质的细结构及其不均匀性 利用流动的小孔径数字台网、区域数字台网和常规的区域台网得到的地震记录以及人工爆破的 PmP 、 SmS 走时残差进行震源区的三维速度结构成像。并利用波形振幅重建三维速度分布的层析技术。速度成像包括: P 波速度三维成像、 S 波速度三维成像、 V_p/V_s 三维成像。通过对于近场地震波运动学和动力学特性的研究,如振幅谱、衰减、相位谱、频率谱等,发现并确定震源区地下间断面以及各种地质异常体。分别利用频谱比、谱模型化等体波方法,研究震源区介质二维及三维 Q 值结构,在获得一次强震和中强地震全过程的条件下,研究地震前后 Q 值随时间的变化。在以上地壳结构的图像研究的基础上研究地震过程的深部背景。

(2) 大陆岩石层结构 利用中国数字地震台网(CDSN)和区域性的数字地震台网(如北京台网、昆明台网、兰州台网、四川台网和陕西台网等),遥测台网的数字地震记录或可数字化的地震记录,研究中国大陆及其邻近地区大陆岩石层的结构和横向不均匀性。其中包括 P 波的三维速度结构成像,利用长周期面波反演地壳和上地幔的结构。对于中国大陆及其邻近地区上地幔和深部构造的研究,有必要使用全球数字地震台网的资料,目的在于探索上地幔“低速带”与一级间断面的分布,为上地幔及其驱动力的研究做出贡献。利用面波和 S 波测定大陆区域性的 Q 值结构,研究 Q 值结构在中国大陆的区域性特征。并利用各区域台网

和流动小孔径台网得到近场地震记录中的尾波研究 Q 值的小区域特性,研究其分布与活动构造的关系。

(3) 横波分裂与震源区介质的各向异性 利用地震近场记录中的横波记录研究其偏振特性。区分中分裂的快、慢波,根据质点运动轨迹判断偏振方位和速度矢量端线,研究介质裂隙的排列、走向、裂隙密度和纵横比等;研究较大地震前后这些裂隙特性随空间的变化,研究与介质各向异性有关的可用于地震预报的标志。利用中国数字地震台网和区域数字地震台网记录的远震横波记录(SKS , PKS 等)和长周期 S 波的分裂研究中国大陆区域上地幔的各向异性;利用上地幔各向异性介质中的长周期面波的传播特性研究大陆地区的动力学问题。

2. 震源的层析成像

利用目前拥有的观测手段所能获得的近场地震的数字记录,进一步揭示复杂地震的破裂过程、探索其形成原因,并研究复杂地震的破裂过程对于近场地面运动的影响。其内容有:

(1) 震级的规范化标定 继续利用中国数字地震台网的记录,通过仿真处理得到标准伍德-安德森地震记录图,以此按里克特所给的定义确定 M_L ,并与中国现行短周期地震仪的记录及其量规函数测定的 M_L 作对比,修正其不合理的部分,为建立我国符合 M_L 原始定义的震级标度打下基础。同样的技术措施也可以应用在宽频带加速度记录地震仪上。探讨利用原始数字记录测定持续时间震级的标度,实现统一测定的公式。利用中国数字地震台网提供的宽频带记录,以 M_s 标准定义进行震级测定。积极进行谱震级、矩震级的研究工作。

(2) 地震的精确定位 利用流动小孔径流动台网和区域台网的地震波到时的读数,实现地震的精确定位。在此基础上实现断层面上的最小二乘拟合,研究主震和余震在断层面上的分布,研究地震凹凸体模式或障碍体的具体形式。经流动台网高精确定位的地震事件作为主导事件,建立区域台网因地壳的横向不均匀性所形成的台站校正值。利用计算理论地震图

与实际观测资料相比较的方法,辨认地下界面反射、折射与地表折射所形成的复杂震相,提高识别震相的能力和定位精度。

(3) 地震的震源特性 利用流动台网、区域台网记录中的P波初动符号、S波偏振方向、振幅比等确定震源机制解,并与其他手段相结合确定所研究地震的发震构造。以均匀半无限介质和水平分层半无限介质理论地震图的计算方法拟合所记录的地震图,确定震源参数和震源机制,反演地震矩张量。以正则化方法、反褶积方法确定震源时间函数。在上述工作的基础上将地震的近场记录与远场的数字记录相结合、扩大资料利用和研究工作的范围。做到对各观察地震的震源过程都给出一个较为明确的结论。

(4) 复杂震源过程的层析成像 在近场强地面运动的数字记录的基础上,努力实现从部分波形拟合向全记录波形拟合的过渡,考虑应力降和位错量都不均匀的断层面模型,实现复杂震源过程的层析成像。

3. 岩石层应力场及其成因

研究中国大陆及其邻近地区的应力场;例如喜马拉雅山地区是印度板块和欧亚板块的碰撞区,它的运动状态对于我国内陆地震的形成和发展具有重要意义,有必要对其周围地区的应力场加以深入研究。研究板内不同地区构造变形和运动特点,如局部抬升、地壳的缩短和拉伸、块体旋转和剪切扭动等,值得注意的问题还有川滇块体向南滑动、鄂尔多斯地块相对周围地区顺时针转动、华北盆地的局部拉张。需要了解板块内部各部分的相对运动,块体运动对断裂带上滑动与闭锁区的影响、局部受压与受张地区的运动特性等问题。通过对应力场的研究勾画出更为清晰的区域和局部地区构造运动图像,确认构造应力场的地区差异,更明确地判断张性和压性断层活动区,探索板块边界的作用力转换为板块内部块体和断裂运动的方式和具体过程。研究内容包括:

(1) 中国大陆岩石层的应力状态 主要是详细研究区域应力场和构造运动的状态。具

体内容包括:修订全国较大地震(西部 $M \geq 6$,东部 $M \geq 5$)的震源机制解,审核评定已有多解的震源机制解,从中挑选出与观测资料符合较好的解答,剔除明显不合理的解答;分析已经测定的地震矩张量和本课题执行期间各类数字台网所记录的地震的矩张量,尤其重视鉴别地震类型含糊不清或已有解答明显相互矛盾的地震,探索地震矩张量可能表现出的区域性压缩或膨胀分量;研究板内地震和板块间地震应力降的差异,使用不同震源模式估计应力降,探讨震级测定误差对于应力降估计的影响。该项工作已有了一定基础,现在需要进一步工作。

(2) 震源区应力场的分布与变化 利用小孔径流动台网精确测定的震源位置,确定发震断层的上下界面和内部的不均匀性,探讨特定的地质构造在区域应力场作用下产生运动的具体形式,在可能的条件下圈定滑动地段和闭锁地段。利用体波初动方向、振幅比等手段测定局部应力场的基本参数,分析构造运动的特点。

(3) 大地震前后区域应力场的变化 在以上两项研究工作的基础上,考虑横波分裂研究对于应力场变化所能提供的信息,研究大地震前后区域应力场的变化。通过对于丰富的地震资料的研究,配合分析已有的其它地球物理资料(重力、形变、电磁测深等),明确勾画出中国及其邻区构造运动的分区,并提出分区构造运动与周围板块相互作用的模式。在了解构造应力场总体特性的基础上,寻找规模较大的断裂带或地震带对于应力场的影响和应力场的局部变化。检验对于地震活动空区、条带划分的合理性,提出根据应力场和局部构造运动特性估计地震危险区的新依据。通过对于应力降的数值分析,估计断裂运动速率,鉴别蠕动段和闭锁段,深化板内强震孕育过程的认识。

由于对地震工程界来说,在地震发生时所获得的近场强地面运动资料无论对地震危险性分析和结构抗震而言都具有重要意义。因而近场强地面运动的记录可以直接为地震工程服

务,即发表近场强地面运动的加速度记录,反应谱,提供峰值加速度衰减的经验公式,并可在探讨地面运动特性与场地条件方面进行研究。

4. 实现岩石层和震源的数字成像总体目标的要求

以岩石层和震源的数字地震成像为总体目标,来促进我国数字地震学的发展。由于该项工作需要兼顾观测与研究、涉及多学科和较多的部门和单位,因此按整个系统考虑需要达到以下三方面的要求。

(1) 建立和完备有效的观测系统 提高 CDSN 和区域数字台网对于地震的记录能力,尤其是区域数字台网的记录能力,扩大三分量记录在全部记录中的比例,在“八五”期间的第一、二年内达到将台网内可以记录到的地震全部以数字形式记录下来的水平。集中足够数量的流动数字地震仪,选择适当的观测地点作较为长期的野外观测,取得一批对于岩石层和震源的数字地震成像研究工作和对于地震工程有价值的地震近场数字记录。有必要建立仪器设备维修中心,负责仪器设备的维修工作,主要是 PDR-1, DCS-302, DR-200 等型号的数字地震仪及其回放系统。

(2) 建立数字记录的集散体系 建立必要的管理机构负责记录数据的收集和管理。制定数据收集和管理的办法,以达到既能够鼓励野外观测又能够照顾从事分析和研究的科研人员方便地使用资料的目的。同时解决一些技术问题,使得进行交换的数据格式规范化便于用户使用。做到观测数据收得起、发得出、用得上。

(3) 大规模组织对于记录数据的分析和研究 在我国地震科学界组织具有一定学术水平和科研能力的科学工作者,按讨论制定的研究科目,以实际记录为依据开展研究工作,取得一批具有说服力、高水平的研究成果。

五、开展岩石层和震源的数字地震成像研究方法

为开展岩石层和震源的数字地震成像研

究,技术上需要采取以下一些措施。

加快北京台网使用微机实现地震数据采集的步伐,并且逐步向其他台网推广,增加三分量记录的台站以适应研究工作的需要。使用适当的操作系统,配备磁带机实现记录数据的标准化存储,并建立数据的交换与使用的规范。

国家地震局地球物理研究所已经实现了使用近场记录反演地震矩张量的研究,使用中国数字地震台网反演地震矩张量的研究工作也接近完成。鉴于使用地震矩表达地震参数在判断地震类型、确定破裂过程和应力场作用方面的重要作用,目前研究工作应迅速扩展。在中国数字地震台网和区域台网的范围内以一两年的时间做到发表以地震矩张量为参数的地震目录。中国数字地震台网和区域台网已经记录到的地震凡可以进行矩张量计算的也都给出结果。

在对地震活动性进行仔细研究的基础上,选择一个或两个地震危险性较高的地区用40至80台数字磁带记录地震仪和其他类型的便携式地震仪布设成密集的小孔径流动台网,用半年至一年的时间,监测当地微小地震活动,等待记录可能发生的中强和强烈地震,希望得到包括中强和强烈地震发生之前小地震活动、主震和余震在内的一个完整的地震序列的近场记录,为研究工作准备充分的资料。并在野外将进行实时的地震记录回放、处理和波形分析,以高于地方区域台网的精度确定地震的震源位置。可以考虑的地震高危险区如云南省下关、丽江一带,思茅、普洱地区,四川省石棉地区,盐源、宁蒗地区,甘肃省河西走廊,陕西省汾、渭地区等。

此步骤是研究工作能否取得较大成果的非常重要的一个环节,尤其是观测地点选择得好坏将直接影响成果的取得,同时,它也是非常困难的一个问题。对于地点的选择须经过认真的论证。我国是一个多地震的国家,历史资料和对地震活动性现有的研究结果有助于确定观测地区。在“八五”期间,依靠参加研究工作的专家和工作人员已经积累的丰富经验,只要

积极地工作,有可能获得足够的近场地震记录,为研究工作在资料方面奠定基础。

在获得地震近场资料的地点,可以用高频地震仪作小尺度的人工地震剖面测深,以求详细了解震区地质结构与地震的关系。

对于强余震的近场记录,虽然其意义不能与在等待状态下获得主震记录相比,但避开了预报这个难点,震级较大的强余震记录在科学上仍不失其重要性。因此,必须把握时机,去争取获得强余震的记录。为此需组织有流动观测能力的单位做好室内准备工作,做到随时可奔赴国内和国外、邻国的周围地区记录大地震发生以后的强余震。

通过近几年的工作,无论是中国数字台网、区域数字台网还是小孔径流动数字台网都已经获得了一批地震的记录数据,对现有的资料作必要的整理,按所考虑的三个主要研究工作范围,选择比较完备的数据,开展研究工作是很有必要的。对于等待资料的课题则应先着手准备计算程序,并且利用现有的数据初步检验计算方法的正确和合理性。

地震学的定量化和数字化是其发展的必然趋势。我们相信,中国的数字地震学必定会有迅速的发展,并为世界地震学的发展做出贡献。

DIGITAL SEISMIC IMAGING OF THE LITHOSPHERE AND EARTHQUAKE FOCUSES——REVIEW AND PROSPECTS OF DIGITAL SEISMOLOGY

Wang Peide and Chen Yuntai

(Institute of Geophysics, SSB)

Abstract

As digital seismographs have been widely used in seismic observational systems, digital seismology has developed rapidly since the 1970s. The paper outlines the development process and the results obtained in probing the internal structure of the Earth, processes at earthquake focuses as well as stress conditions of the crust and upper mantle. The authors put forward that the research work on digital seismic imaging of the lithosphere and earthquake focuses should be launched, so that the research task can promote the developments of digital seismology in China. The paper gives a detailed description of the significance of such research, the contents and methods of digital seismic imaging of the lithosphere and earthquake focuses.