

中国数字地震学的发展战略问题*

陈运泰 吴忠良

(中国地震局地球物理研究所, 北京, 100081)

摘 要 “九五”期间中国国家数字地震台网、区域数字地震台网和流动数字地震台网的建设, 为发展中国数字地震学提供了有利条件。如何发挥这一新的观测系统的效益, 是跨世纪中国地震学发展的核心问题之一。本文结合国家数字地震台网建设项目的实际, 讨论“十五”期间中国数字地震学的发展战略问题。建议通过“现代地震参数”的测定来发挥数字地震台网对于防震减灾的效益; 通过开展数字地震学基础研究来促进现有观测系统的改进。关于中国数字地震学更长远的发展目标, 建议对新近提出的“数字地球”给予充分的关注。

关键词 地震观测; 数字地震学; 科学发展战略

70年代以来, 电子反馈技术和数字化技术在地震观测中的应用给地震学带来一次革命性的变革。宽频带、大动态、高精度、准实时、定量化成为地震观测研究的主要发展趋势。IRIS/GSN, GEOSCOPE, GEOFON 等全球性数字地震台网; USNSN, CDSN, MedNet, POSEIDON 等区域性数字地震台网; Graefenberg, NORSAR 等数字地震台阵, 以及 PASSCAL, PANDA 等流动数字地震台阵的发展, 使数字地震学成为跨世纪地震学发展的主要方向。

“九五”期间, 中国地震局建设了中国国家数字地震台网、区域性数字地震台网和流动地震台网。数字地震观测系统的建设使地震记录的存储、复制、分析变得十分方便; 宽频带、大动态的地震记录中包含了模拟记录所没有的丰富的信息。这在中国地震学的发展中是一个具有重要意义的发展。

台网的建设仅仅是一个开始。如何发挥这一新的观测系统的效益, 是目前中国地震界讨论很多的问题之一。这里我们试图结合国家数字地震台网建设项目的实际, 讨论“十五”期间中国数字地震学的发展战略问题。我们主要考虑的问题有 3 个: 第一, 使用现有的数字地震观测系统可以做什么; 第二, 应该怎样不断地改进现有的数字地震观测系统; 第三, 数

字地震观测系统的未来发展方向是什么。对于第一个问题, 我们建议通过“现代地震参数”的测定来发挥数字地震台网的效益; 对于第二个问题, 我们建议通过开展数字地震学基础研究来促进现有的观测系统的改进; 对于第三个问题, 我们提出把“数字地球”作为我国数字地震学的长远发展战略。

1 现代地震参数

1.1 数字地震台网的价值

由于地震波传播速度的有限性和地震波形的复杂性, 数字地震台网在测定基本的地震参数(时空强等)方面受到与模拟地震台网一样的限制。这是一个需要从一开始就明确的基本概念。但是另一方面, 数字地震台网可以给出很多模拟记录不能给出、或者至少在可以接受的时间内不能给出的信息, 这是数字地震台网的价值所在。

数字地震波形具有可以方便地进行时间域和频率域分析的特点, 例如可以方便地进行滤波、反褶积、希尔伯特变换、地震仪仿真、偏振分析、波形相关性分析、波形迭加处理、与理论走时的比较、自动定位和自动产生报告、频

* 中国地震局地球物理研究所论著, 99AC2032。

谱分析、波形反演等,因此可以比模拟记录更快地提供更多、更可靠的地震参数。提供更多的地震参数的目的之一是扩展地震目录的自由度,从而增强利用地震目录进行地震危险性估计的预测能力和在减轻地震灾害中的作用。

1.2 “现代”地震参数

数字地震台网也能像模拟地震台网一样,提供地震的发震时刻、震中经纬度、震源深度、震级等参数。传统震级的测定,主要是 M_L , m_b , M_S 的测定,可以通过仿真模拟记录的方法实现。这对于保持地震目录的连续性是必要的。

通过位移波形的积分或频率域中的测量,可以测得地震矩(并由此推算矩震级)。通过频率域中的分析,还可以测量拐角频率,并由此推算地震的震源尺度、平均位错和平均应力降的数量级。通过位移波形的振幅和宽度的分析,可以给出震源机制(走向、倾角、滑动角)、破裂尺度和破裂速度。利用数字地震资料,使用波形相关分析和“主事件”方法,可以对震群的相对位置进行精确定位,从而勾画出清晰的发展构造。通过波形的比较可以求得震群的“相对矩张量”,所得结果对判断强震/强余震危险大有帮助。

通过数字地震波形的分析可以进行非构造地震事件(主要是人工爆炸、矿山塌陷、火山震颤等)和构造地震事件的识别,并为社会提供相应的信息服务。

通过矩张量反演,可以给出地震震源的双力偶分量的走向、倾角、滑动角和标量地震矩。非双力偶分量在常规测定中则通常难于测准。震源时间函数(STF)可以给出地震破裂复杂性的信息。矩矩张量(CMT)反演可以给出矩张量和矩心的位置。矩心位置和震中位置的差别可以用来推测发震断层面。矩张量可以用来估计地震烈度的分布,所得结果对减轻地震灾害有很大帮助。根据矩张量反演结果和宽频带速度波形的频率域积分,可以测定宽频带地震辐射能量。地震引起的地面永久位移与地震矩有关,因而地震矩的测定在地球动力学中更有意义;而地震辐射能量则与地震发生的过程有

关,因而在工程地震学中更有意义。通过能量和地震矩的比值可以估计视应力的数量级。用不同台站上的理论或经验格林函数对地震波形进行反褶积,可以得到不同台站上的相对震源时间函数(RSTF)。通过 RSTF 的多普勒效应,可以推断发震断层面、破裂长度和破裂传播速度。利用多个台站上的 RSTF 可以对地震过程进行层析成像。随着其分辨率的提高,可望给出关于震源过程的更多的重要信息。

通过数字地震波形分析和计算模拟,可以为地震小区划和工程地震提供有用的地震学输入信息,从而为震后重建提供依据。

对于发生在网外的地震,三分量数字地震波形分析使震相到时差和偏振参数的测定变得非常方便,从而可以通过震中距和方位角进行单台定位。在远震长周期记录上,可以清楚地看到来自地球深处的信号,对它们的传播过程的可视化将给社会公众带来特有的乐趣。对深源地震的报道将丰富社会公众关于地震和地球内部的知识,增加人们探索地球奥秘的兴趣。

2 台站的安装仅仅是第一步

2.1 “十五”期间面临的挑战

数字地震仪不是电视机或电冰箱。地震台站的安装只是地震工作的第一步。根据经验,一个地震观测项目中直接用于安装台站的经费最多不能超过全部经费的 1/3,另外的 2/3 应分别用于观测系统的维护(约 1/3)和地震学研究(约 1/3)。而这一点往往是发展中国家所经常忽略的问题。

“十五”期间面临的挑战性问题是,由于“九五”的建设基本上没有遵守上述“1/3 定则”,而是在安装台网的工作中几乎用掉了全部经费,因此台网的维护和台网效益的发挥将面临相当大的困难。其中的两个最大的困难,一是固定台网的维护,二是流动台网的观测和研究。

2.2 提高观测质量所需要的基础研究

在基础研究方面,为了不断提高数字地震台网的观测质量,有必要支持以下几个方面的研究:

(1) 完善和更新中国地震震相走时表和中国分区速度模型数据库,以提高地震定位的精度。这项工作在地震学中具有基本的重要性,并且是国际地震学观测与研究中的一项重要内容。近年来这项工作在一定程度上被忽视,这种情况必须扭转。

(2) 对不同来源的矩张量测定结果进行系统比较,对分区结构和格林函数进行标定,以提高地震矩张量测定结果的可靠性。

(3) 研究地震观测系统的优化理论,针对不同的目标,提出在现有的观测基础上进行优化的方案,以期用最小的投入得到最大的改进。

(4) 把理论地震学研究同观测地震学实践结合起来,建立理论地震图(格林函数)数据库和程序库,用来帮助进行震相分析。

2.3 提高观测质量所需要的管理措施

在台网管理方面,应该强调以下工作:

(1) 抓好面向台站工作者和管理工作者的数字地震学基础培训,组织编写简明扼要的、面向实际操作的数字地震学教材和数字地震观测手册。

(2) 抓好地震记录的分析工作,特别是地震震相分析工作,防止出现“观测系统数字化,分析质量走下坡”。在进行震相分析的过程中要破除3个“迷信”:①对年轻地震工作者来说,要认识到震相识别并不神秘,至少不像气功那样需要某些莫名其妙而高不可攀的“经验”和“感悟”;②对年长的地震工作者来说,要认识到数字化并不神秘,数字化的地震记录也无非是一种地震记录;③对管理人员来说,要认识到80%以上的常用震相的识别,并不需要特别长时间的培训和经验,而那些只有靠“经验”才能识别的震相,在研究和日常观测中的意义通常是有限的。

(3) 要结合观测实践,收集整理一批有代表性的地震记录,作为地震观测培训的材料。在我国地震专业的大学生、研究生课程中至今没有《震相识别》这一课,这是一个不容忽视的缺陷。

(4) 抓紧完善数字地震观测规范和数字地

震观测的质量控制方法,用质量管理来保证台网的高质量运行。

2.4 数字地震资料的应用

数字地震台网和其他一切观测系统一样,不可能是“万能”的,依靠数字地震台网只能实现一个有限的目标,并适当兼顾其他目标。然而要同时达到所有的目标,从原则上说是不可能的。

建立数字地震台网的最主要的目标是地震监测,它与社会需要之间的“接口”则是地震信息服务。与此同时,数字地震台网也可以作为地震构造研究和工程地震研究的骨架网络,亦可以应用于地下核试验的识别;鼓励地震预测研究人员使用“现代地震参数”以增加地震目录的内涵,也是一个现实的发展方向。

2.5 流动数字地震观测

一定要抓紧将宽频带流动数字地震台网应用于余震的近震源观测研究,主要是震源区深部细结构、余震精确定位、余震震源机制、余震与主震震源过程的关系、震区地震波传播异常和强地面运动的研究。这种近震源研究与近距离行星探测具有相似的重要性,在地震学和工程地震学中具有重要意义。

2.6 “对地哈勃望远镜”

包括全国、区域、流动3个层次的宽频带数字地震台网建设的一个直接的科学效益,是可以使对地观测的分辨率达到地球动力学和构造物理学研究所需要的特征尺度。这个分层次的观测系统构成了“对地哈勃望远镜”。这一“对地哈勃望远镜”在地球科学中的作用与哈勃望远镜在天文学中的作用相当。在“九五”之初建议、但因种种原因(其中一个重要原因是缺乏技术基础)未得到支持的“对地哈勃望远镜”计划,在新的条件下有了重新考虑的可能。直接针对地学假说的检验的观测计划,在“十五”期间开始具有相当的现实性。

3 从数字地震学到“数字地球”

3.1 “数字地球”

“数字地球”(Digital Earth)是美国副总统

阿尔·戈尔 1998 年 1 月 31 日在加利福尼亚科学中心的演讲中提出的概念,指的是“一种包含海量观测数据的、多分辨率的和三维的地球”的表示”。他将“数字地球”与遥感技术、地理信息系统、计算机技术、网络技术、多维虚拟现实技术等高新技术,以及可持续发展决策、农业、灾害、资源、全球变化、教育、军事等社会需求联系在一起。中国国家主席江泽民在 1998 年 6 月 1 日接见两院院士时曾提到这个概念。“数字地球”的概念提出后,在一些国家中引起积极的反响。科技界目前正在讨论“数字地球”的确切含义,但从本质上说,“数字地球”不是一个孤立的科技项目,而是一项整体性的、导向性的发展战略,它反映了科学技术、乃至经济和社会的跨世纪发展的国家目标。

“数字地球”概念的提出是第二次世界大战以来,特别是本世纪 70 年代以来“新技术革命”的一个自然的发展,其中特别值得提出的里程碑式的进展包括“地理信息系统(GIS)”、“信息高速公路(NII)”和“国家地理空间信息基础设施(NSDI)”等。地球科学通过资源问题、环境问题、自然灾害问题、地球信息问题的解决,在国家的发展中具有重要意义。以地学信息为突破口发展新一代信息技术,是一个历史的必然。地球科学是 20 世纪科学发展的“主战场”之一,在经历了对地观测的全球化、综合化、数字化之后,“以地球为纲”,将这些观测组织成一个有机的整体,是一个合乎逻辑的发展。因此,无论是否提出“数字地球”的概念,无论是谁和以怎样的方式提出“数字地球”的概念,与地球信息的集成和整体化有关的工作都是目前地球科学和信息技术发展的一个重要趋势。

3.2 数字地震学与“数字地球”

近年来,全球地震数据共享日益成为地震学发展的一个主要内容。这种情况一方面为多学科研究提供了方便条件,另一方面也为地震学本身的发展提供了机遇。注意到这方面的进展,有意识地发展我国的全球地震学、理论地球物理学、数字地球物理学、地球内部物理学

方面的研究力量,将有助于我国在经费条件不够的情况下充分利用现有的地震数据信息资源,并准备在未来世纪做出与“地震大国”相匹配的贡献。

在数字地球的视野中,反应速度不再是地震观测系统的“专长”。近年来,通讯技术和卫星遥感技术的发展,已经开始对地震观测系统提出挑战:通讯的方便和快捷使公众对于“等待结果”越来越缺乏耐心,而越来越多地要求“透明的”、“实况的”信息,这就越发使得地震观测系统的反应速度问题成为一个突出的问题;通讯网的覆盖越来越密,使得通讯系统对于有感地震的反应速度实际上开始逐渐接近甚至超过地震观测系统的反应速度,在很多地震(例如日本阪神地震、中国张北地震)中,新闻媒体往往走在地震观测系统或防震减灾系统前面,记者往往走在地震学家的前面;由于空间技术的发展,使用以光速传播的信号卫星遥感系统对大地震的反应显然比使用以声速传播的信号的地震监测系统在反应速度上更具优势。注意发展“空间地震学”,将是下一代数字地震学的一个重要的发展方向。

另一方面,相对于卫星和通讯系统,地震观测系统显然具有无法取代的优势。因此也许可以设想,未来的防震减灾工作的一个可能的技术框架是“卫星和通讯系统管大地震,地震台网既管大地震又管小地震;卫星和通讯系统管速度,地震台网既管速度又管精度;卫星和通讯系统管地表,地震台网既管地表又管深部,即:“天大地小、天快地慢、天粗地细、天浅地深、天地协同”。而目前的首要问题是,地震观测系统应该正视挑战,认清自己的优势和不足,不失时机地调整自己的方向。发展数字地震学基础研究,使地震观测系统逐渐可以通过常规观测给出更多的信息,则是一个紧迫的科学问题。

在“数字地球”的框架下,“群测群防”的概念、规模和职能将有新的扩展。一个具有一定的可能性的设想是,发展让公众参与的“透明的”地震学,也就是说,地震观测部门在

“数字地球”上把所有有关的信息,包括实时记录地震波形、走时曲线、地理信息等,都提供给公众,让公众自己去进行地震定位和灾情判断。同时,地震部门也在最初给出计算机自动确定的参数,在最后给出权威性的参数测定结果。这种“透明的”地震学有助于社会公众通过参与去理解地震学的问题、困难和作用。

未来世纪的地震观测台将逐步建成多分量、层次化、数字化的观测系统,主要由国家建立的作为基础设施的通讯网络将成为把不同的观测台联结成一个有机整体的主要手段,以地震观测系统为骨干向这个目标努力,是一个现实的发展方向。

密集观测现在是制约地震学发展的一个关键性问题,这个问题在“数字地球”的框架下尤为突出。应该说,20 世纪的数字地震学所解决的,仅仅是与时间轴相对应的宽频带问题,而

与空间轴对应的宽频带问题实际上还没有解决。为此,发展造价低廉、整体性能好、“傻瓜式”操作,“火箭布雷式”布设,通过便捷的通讯设施与计算机联接的新型数字地震仪将是未来数字地震学发展的一个重要方向。这类地震仪有两个发展前途:①主要为社会公众、特别是教育部门服务的“个人地震仪”(PS);②主要为研究机构和产业部门服务的“小型地震仪”。这两者都有巨大的市场。

致谢:陈章立局长建议作者进行这方面的研究。中国地震局 9501 项目(测震学)科学计划组、中国地震局测震学科协调组、中国地震学会地震学专业委员会、中国地震局科学技术委员会地球物理专业组的部分专家提出宝贵意见,谨此表示感谢。

(收稿日期:1999-01-08)

Developments of Digital Seismology in China: a Discussion on Strategy

Chen Yuntai and Wu Zhongliang

(Institute of Geophysics, CSB, Beijing, 100081)

Abstract The installations of the national, regional and mobile digital seismograph networks in China during the time of the Ninth Five-Year Plan have provided Chinese seismology with unprecedented opportunities of developments. To make full use of such observational system is one of the key problems in developing digital seismology in China in the turn of the centuries. Based on the state-of-the-art of the construction of the national digital seismograph network, this paper briefly discusses the strategy of the developments of digital seismology during the time of the Tenth Five-Year Plan. It is suggested that “modern earthquake parameters” should be measured and used to explore the information from the new observational system for earthquake preparedness and disaster mitigation, and that basic researches of digital seismology should be carried out to improve the existing observational system. For the long-term strategy, it is suggested that attention should be paid to the newly proposed idea of “Digital Earth”.

Key words seismological observation; digital seismology; strategy for development of sciences

