

DOI:10.13409/j.cnki.jdpme.202107015

江苏地震监测发展历程*

江昊琳, 郑江蓉, 何斌, 鲍海英, 代宪鹏, 单菡, 王大伟

(江苏省地震局, 江苏南京 210014)

摘要: 江苏地震监测工作始于1930年南京北极阁地震台的创建, 经过几代地震工作者的不懈努力和探索创新, 地震监测能力和技术水平发生了质的飞跃。回顾江苏地震监测系统发展历程, 从1932年6月维歇尔地震仪正式投入观测, 到现今在全省分布的涵盖测震、地磁、地电、形变、流体的多学科地震监测网络。地震监测历经了地震仪器从外国引进到完全自主研发, 从模拟观测到数字化网络化观测, 从人工识别波形到AI自动识别地震事件的飞速发展。近年来, 随着科学技术的日新月异, 观测技术的不断发展, 地震观测设备的不断完善更新, 覆盖全省的测震台网、前兆台网、流动监测网取得了丰富的地震监测成果, 获取的大量观测数据被广泛应用于地震速报、地震预测研究、地震灾害防御、地震紧急救援以及地震科学研究, 为江苏的经济社会快速发展提供了坚实的地震安全保障。鉴往知来, 回顾江苏地震监测的发展历程, 致敬老一辈科学家的励精图治, 地震监测科技发展薪火相传, 服务全省高质量发展, 书写江苏地震监测新的发展史。

关键词: 江苏; 地震监测; 发展历程

中图分类号: P315 **文献标识码:** A **文章编号:** 1672-2132(2021)04-0909-08

Development of Earthquake Monitoring in Jiangsu Province

JIANG Haolin, ZHENG Jiangrong, HE Bin, BAO Haiying, DAI Xianpeng, SHAN Han, WANG Dawei
(Earthquake Administration of Jiangsu Province, Nanjing 210014, China)

Abstract: Jiangsu earthquake monitoring began with the establishment of Nanjing Beijige Seismic Station in 1930. Through the unremitting efforts, exploration and innovation of several generations of seismic workers, the ability and technical level of earthquake monitoring have made a great progress. Looking back on the development of Jiangsu earthquake monitoring system, we can find that it has developed from the operation of weicher seismograph in June 1932 into a multidisciplinary observation network covering the whole province including seismometry, geomagnetism, geoelectricity, deformation and fluid. Seismic monitoring has gone through a process from introducing foreign seismic instruments to completely independent research and development of devices, from analog observation to digital network observation, from manual waveform recognition to AI automatic recognition of seismic events. With the rapid development of science and technology in recent years, the continuous development of observation technology, and the innovation and updating of seismic observation equipments, rich seismic monitoring results have been achieved from the seismic observation network, precursor network and mobile monitoring network covering the whole province. A large number of obtained ob-

* 收稿日期: 2021-07-15; 修回日期: 2021-08-03

作者简介: 江昊琳(1984—), 女, 工程师。主要从事台站管理工作。E-mail: 69834952@qq.com

通讯作者: 郑江蓉(1966—), 女, 正研级高工。主要从事地震监测预警方面的研究。E-mail: 402199707@qq.com

servation data have been widely used in earthquake quick report, earthquake prediction research, earthquake disaster prevention, earthquake emergency rescue and earthquake scientific research. It has provided a solid earthquake safety guarantee for the rapid economic and social development of Jiangsu. Things present are judged by things past. This paper reviews the development process of earthquake monitoring in Jiangsu, pays tribute to the efforts of the older generation of scientists. The development of earthquake monitoring science and technology is passing down from generation to generation, serving the high-quality development of the whole province, and writing a new development history of earthquake monitoring in Jiangsu.

Keywords: Jiangsu; earthquake monitoring; development history

引 言

地震监测是防震减灾工作的关键环节,是地球科学研究的重要基础。早在公元132年,我国张衡就发明了世界上第一台可以感应地震的仪器“候风地动仪”,并成功的记录到陇西大地震。1897年日本人在台北建立候测所,安装了格雷·米尔恩(Gray-Milne)地震仪进行地震观测。1907年法国人在上海佘山台安装了大森式(Omori)无阻尼水平向地震仪、维歇尔(Wiechert)地震仪、伽-魏式(Galitzin-Wilip)地震仪等进行地震观测,获取了大量地震记录。1909年德国人在青岛建立观象台,安装了维歇尔(Wiechert)水平地震仪开展地震观测,同时还开展了地磁观测。这个时期,随着国外地震科学技术的大量涌入,我国也涌现出一批卓有建树的地震学者,对近代发生在中国大陆的数次大地震进行科学考察。1917年在对安徽霍山 $6\frac{1}{4}$ 级地震现场调查后编制了我国现代第一张地震烈度图^[1],在地震调查工作中,以翁文灏、竺可桢、李善邦、秦馨菱等为首的科学家认识到必须建立中国人自己的地震观测台,北京西山鹫峰地震台和南京北极阁地震台成立,江苏地震监测事业就此拉开序幕。

1 江苏地震监测发展

1.1 战火纷乱中的南京地震监测

1930年,南京国民政府中央研究院气象所在南京北极阁气象台后广场建造地震台观测室,在金咏深先生具体负责下,南京北极阁地震台于1932年6月下旬正式投入观测,它和北京鹫峰地震台一起成为我国自行筹建最早的近代地震观测台站^[2]。1932年6月下旬,17吨重的维歇尔式水平向地震仪正式

投入观测,7月8日14时45分19秒(GMT)记录到第一个地震到时。1937年卢沟桥“七·七”事变,日军占领北京,北京西山鹫峰地震台被迫停止工作,随着抗日战争的全面爆发,南京北极阁地震台也停止工作,两台同时毁于战火。南京北极阁地震台从1932年正式观测到1937年被迫停止工作的五年时间内,共记录地震1410次,出版《地震季报》4期16卷^[3]。

同期,南京国民政府中央研究院物理研究所丁燮林所长负责筹建地磁台,定址于紫金山天文台西北坡的平坦之地。因地磁观测房结构特殊、建设选料严格,直至1936年才建设完成,命名为中国南京紫金山地磁台。1937年分别安装英国、德国和丹麦等国的绝对测量仪和相对测量仪,产出地磁数据和磁照图,但仅观测半年后,迫于战火撤离南京。

1946年抗日战争胜利后,北碚地震台和北碚地磁台随中央研究院迁回南京。北碚地震台更名为南京水晶台地震台。1947年,在中央研究院气象研究所赵九章所长的主持下,谢毓寿先生和秦馨菱先生修复了南京北极阁地震台的大维歇尔地震仪并投入观测^[4]。北碚地磁台更名为北极阁地磁台,按期测定地磁绝对和相对分量。

1.2 曙光初照地震监测工作

1949年4月南京解放,人民政府接管中央研究院,拨给经费安置工作人员和维持地震监测工作。新中国成立后仅一个月,中央人民政府组建了中国科学院。1950年4月,中国科学院地球物理研究所所在南京成立,设置气象、地震、地磁和地球物理勘探4个方面的研究内容。1951年,地球物理研究所将南京北极阁地震台和水晶台地震台合并成立南京鸡鸣寺地震台(图1),配备有霓式地震仪、伽-魏式地震仪、大森式地震仪、维歇尔地震仪等仪器进行

地震观测(图2)。1954年李善邦先生在霓式地震仪的基础上,重新设计完善改进,成功研制51式地震仪,在南京教育仪器厂生产了100套,布设在西宁、武威、兰州、银川、包头、大同、太原等黄河流域地区,这是我国使用自己制造的地震监测仪器自行建立的第一批地震观测台站。20世纪60年代初,地震工作者成功研制了高灵敏度短周期的62型三分向光记录地震仪和64型三分向光记录地震仪,安装于南京鸡鸣寺地震台,极大的提高了小地震的监测能力。这些工作的开展为全国的地震监测台网布局与建设、观测仪器设备研制、人才培训和江苏省地震监测工作的发展奠定了坚实的基础。



图1 南京鸡鸣寺地震台摆房(20世纪50年代摄)

Fig.1 Observation room of Nanjing Jimingsi Seismic Station (taken in 1950s)



(a) 垂直向地震仪

(b) 水平向地震仪

图2 大维歇尔特垂直向地震仪(摆锤重1.2吨)和大维歇尔特水平向地震仪(摆锤重20吨)

Fig.2 Large vichet vertical seismograph (pendulum weights 1.2 tons) and large vichet horizontal seismograph (pendulum weights 20 tons)

1.3 地震监测工作快速发展

1966年河北邢台6.8级地震后,周恩来总理亲临地震现场指挥抗震救灾,随后指示要建立地震机构,加强地震科学研究,开展地震监测预报。根据周总理的指示,国家科委和中国科学院组成地震办

公室。1971年8月国务院发布国发56号文,撤销中央地震工作小组办公室,成立国家地震局作为中央地震工作小组的办事机构,由中国科学院代管,专门负责全国地震监测、预报、科研工作。1971年11月国家地震局南京地震大队成立,南京鸡鸣寺地震台由中国科学院地球物理研究所移交南京地震大队。

1974年溧阳5.5级地震的发生,加快了我省地震监测工作进程,为实现以地震预测为目标的观测与研究,须建立地壳形变、水文地质、地球化学、大地测量等多学科多测项的地球物理监测台站和台网。此后在全省范围内陆续建立了18个专业地震台、13个市县台、4个企业台和60个群众骨干测报点。为了监测郯庐断裂带的地震活动,在宿迁附近增设灌云台、新沂台、泗洪台;为监测黄海地震活动,在南通增设海安台,在盐城增设射阳台。加强地下水动态观测网建设,在全省范围内勘选深井28口,开展水温水位观测。为了加强郯庐断裂带的地震监测,1977年在郯庐断裂带上布设了4条研究地壳水平形变的跨断层流动水准测量;为了加强茅山断裂带的地震监测,1978年在苏南茅山断裂带上布设4条跨断层流动水准测量;1978年开始在郯庐断裂带和茅山断裂带布设重力测量测线,并逐渐建成苏北重力监测网和苏南重力监测网。在此基础上,1987年建成了江苏流动重力观测网络。我省1978年开始电磁波观测研究,1980年至1984年,全省还开展流动地磁观测,一些市县测报点还进行动物活动节律的宏观地震异常观测。由此,覆盖全省的多学科多测项多方法的地震前兆观测网络基本建成^[5]。

在各省相继建立地震监测台的同时,我国地震工作者完全独立自主完成DD-1型短周期地震仪、PK-1中长周期地震仪和763长周期地震仪的设计生产。这些仪器在各地震台安装运行,形成了从短周期到长周期配套的地震观测系统,建成了以南京、北京、长春、泰安、广州、武汉、成都、昆明、拉萨等30个地震台组成的大地震速报网,负责对发生在中国境内的5.5级以上、边境附近的6.0级以上、世界范围的7.0级以上地震的参数测定与速报工作,这是我国第一次实现真正意义上的全国范围内的大震速报监测系统。

为了进一步提高区域小震监测能力和速报能力,1981年我省采用国家地震局768工程无线遥测

技术(超短波及微波传输)及设备,开始组建由10个子台、2个中继站和1个数据处理中心组成的苏南无线遥测地震台网(图3),遥测地震台网实施无人值守、统一时间服务、集中实时记录,通过有线多路调频方式传输,处理人员在地震发生后可以快速测定地震基本参数,1984年12月全部建设完成并投入试运行。江苏省是我国较早开展遥测地震台网建设和观测的省份之一,苏南遥测地震台网建成后江苏陆地部分地区地震监测能力提高到2.0级,人工处理使地震速报可以在30分钟内完成。

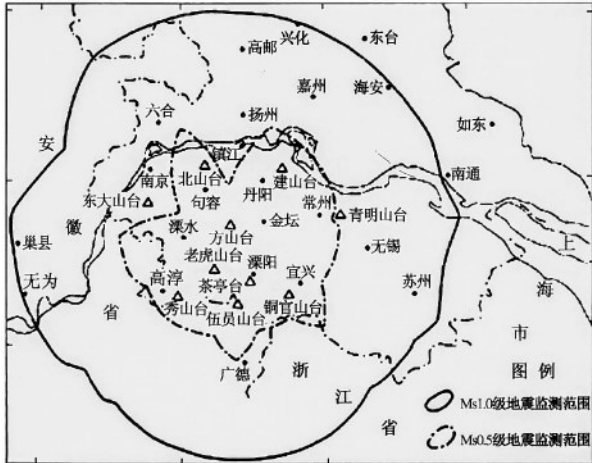


图3 苏南无线地震传输台网子台分布及监测能力图
Fig.3 Distribution and monitoring capacity of substations of wireless seismic transmission network in southern Jiangsu

1.4 地震监测数字化网络化改造建设

1.4.1 “九五”数字化改造初期

进入九十年代,随着我国经济的快速发展和人民生活水平的迅速提高,地震对社会经济生活的影响显著增大,只有用高新技术改造和建设地震监测等技术系统,才能有较坚实的观测与实验基础减轻地震灾害对社会经济生活的影响^[6]。为此,中国地震局在“九五”期间推进了若干重点项目,包括“中国数字化地震观测台网建设”、国家重大科学工程“中国地壳运动观测网络建设”、“全国地震前兆台网技术改造”等。数字化地震观测台网的建成,标志着我国地震观测向现代化方向迈进了一大步。全国部分地震前兆观测技术改造使地震前兆监测能力有了一定程度的提高^[7]。

在“中国数字化地震观测台网建设”江苏分项和“全国地震前兆台网技术改造”江苏分项以及江

苏省人民政府共同资助下,1999年建设完成了由南京、徐州、连云港等8个子台和南京数字台网中心组成的第一期江苏数字地震台网。2001年开始对江苏地震遥测台网进行技术升级改造,数据采集由16位改为24位,同时将常熟、南通、无锡和靖江4个流动子台改为数字地震台网固定子台,将宿迁台、大屯台、冶山台改造成数字子台,增加了江苏地震台网的台站密度和监测能力;其后将南京国家数字地震台甚宽带地震记录和连云港区域数字地震台宽频带地震记录实时传输接入到江苏数字地震台网中心。

与此同时,江苏对全省地震前兆监测台网也进行了数字化改造和观测环境改造,由于经费有限,且部分前兆数字化仪器尚不成熟,经过多次调整后,确定对6个形变、4个流体、3个电磁台站的36套前兆观测设备进行数字化改造,并相应增加了气象三要素辅助观测系统、改造了避雷系统,在南京建设了前兆区域台网中心,通过专用通信网将全省数字化前兆观测资料实时传输到前兆区域台网中心;与国家前兆台网中心、学科中心进行各种数据交换,实现数据共享;建立统一的各类前兆数据规范和标准,实现数据存储、数据维护、数据更新等数据库任务^[8]。

1.4.2 “十五”以后数字化全面升级改造

江苏地震观测系统经过“九五”数字化建设,初步形成了一定规模的数字地震监测体系,但仍存在数字化台站数量少,分布不均匀,中部和北部地区监测能力不足的问题。“十五”到“十二五”期间,中国地震局实施了“中国数字地震观测网络”和“中国地震背景场探测项目”工程,在省政府资助下实施了“江苏省地震监测台站加密及应急系统扩建工程”和“江苏省防灾减灾基础能力提升工程”等。通过这几大工程的实施,江苏全省现有包括32个深井台站(含1个海岛台)和42个地面台(含1个海岛台)共74个数字测震台站(图4),加上76个强震动台站组成江苏省数字化测震观测台网(图5),实现了全省陆地2.0级、苏南苏北局部地区1.5级、陆地边界100 km范围内海域约为3.0的地震监测能力,对于网内2.5级以上地震的基本参数(发震时刻、震中位置、震级、震源深度等)可在1分钟内完成自动初步测定,6分钟左右产出正式结果。同时为了提高对网缘地震的监控能力,从中国地震台网中心共享河

南、山东、安徽、浙江、上海5个省(市)共32个台站的实时波形数据,扩大了对邻省周边地区的地震活动的监控能力^[9]。经过这一时期的数字化地震观测台网建设,采用数字地震记录和人工智能自动处理技术相结合,使我省测震台网对地震速报三要素的测定精度有了较大的提高,实现了一分钟产出自动速报结果,并为研究发震机理和地下介质结构等提供了大量重要基础数据。

与此同时,江苏前兆台网的数字化和网络化建设也同步实施,优化调整了地震前兆各学科观测项目的布局,建成了由55个台站192套地球物理观测仪器组成的江苏地震前兆观测数字化台网,包括磁电、形变、地下流体等三大学科(图6),基本实现100 km左右有一个前兆观测台站,保证前兆观测的

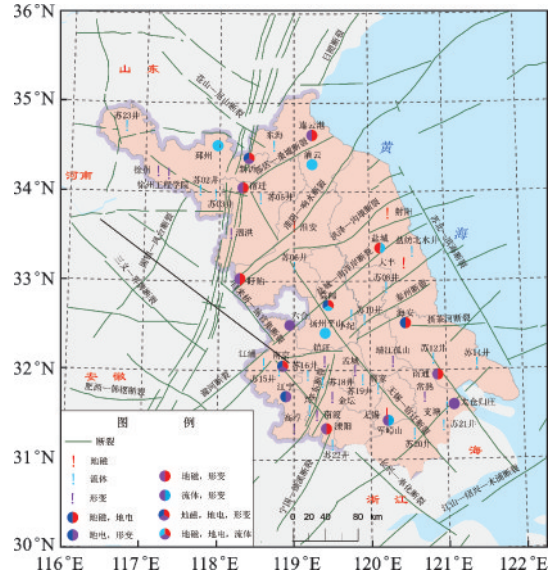


图6 江苏省地球物理台站分布

Fig.6 Distribution of geophysical stations in Jiangsu Province

信息量和观测精度,观测数据通过光纤实时传输到江苏前兆台网数据库,实现了观测仪器的数字化、数据采集的自动化和数据传输的网络化。

为有效监测郟庐断裂和茅山断裂的活动,上世纪八十年代在郟庐断裂带布设了城岗、马陵、晓店、重岗4处流动短水准观测场地,在茅山东侧断裂上布设了薛埠、竹矿、曹山、芳山4处流动短水准观测场地(图7),其后又多次对观测场地进行改造,观测仪器也逐步更新为数字化水准仪。

江苏省重力监测网以绝对重力测量和相对重力测量相结合为特色,从1978年开始经过多期建

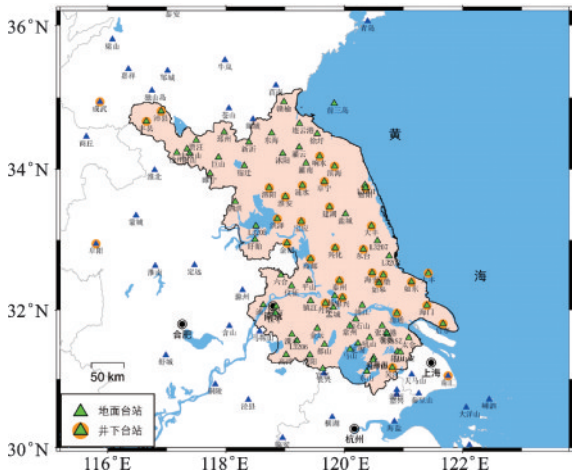


图4 江苏省测震与强震动台站分布

Fig.4 Distribution of seismic and strong motion stations in Jiangsu Province

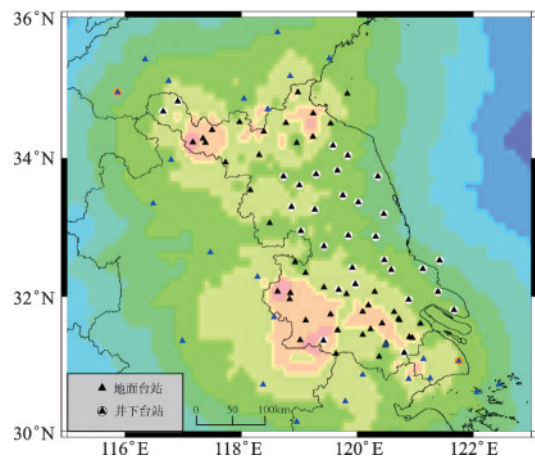


图5 江苏省测震台网地震监测能力

Fig.5 Seismic monitoring capacity of seismic network in Jiangsu Province

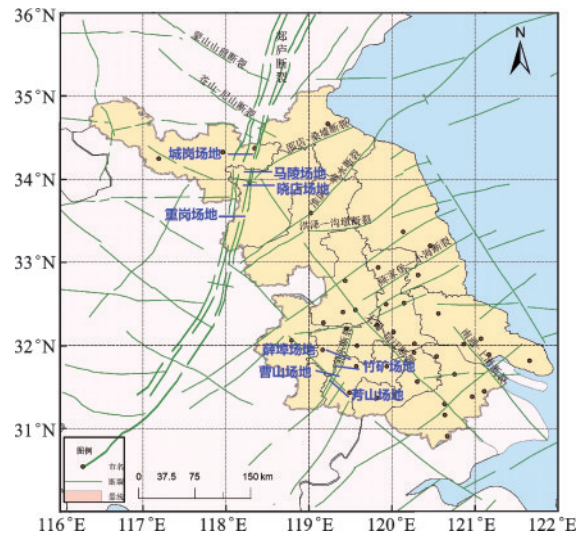


图7 江苏省跨断层流动水准及主要断裂分布

Fig.7 Cross fault mobile level and distribution of main faults in Jiangsu Province

自相关与互相关函数等的自动计算功能。初步实现了省级区域数字地震台网观测系统“健康状态”和“波形数据质量”的准实时监控,并被中国地震局测震学科组列为面向全国省级数字地震台网推广应用的技术成果。

自主研发的“江苏省前兆数据库信息服务与管理平台”,实现了前兆数据库测项查询、各类日志查询、基础信息查询、自动化值班、自动统计和资料下载等功能。自主研发的“江苏省地震设备运维平台”包含仪器安装、故障处理、仪器维修三大主线业务流程,保证了对仪器生命周期各类信息的全面记录,能够高效管理人员、合同、仪器、差旅、快递等基础信息,同时该系统支持二维码信息生产打印,保证对省内仪器信息全覆盖和统一管理。自主研发的“江苏省地震观测环境保护范围查询平台”将各地震观测点位经纬度统一至百度地图,并归纳各地震观测台站观测手段,按照《地震台站观测环境技术要求》及《地震台站建设规范》等相关标准规范要求,建立基于百度地图 API 接口的地震观测环境保护范围查询平台,用于各规划部门和各市地震局依法开展地震监测环境保护^[10]。

2018年研发地震事件类型智能识别软件系统,实现了从事件实时自动识别触发,“机器人”判定到事件参数信息产出发布的全自动流程。系统已向全国测震台网开放服务接口,提供事件类型在线判定服务,用户将未知事件类型的波形文件上传至服务平台,从检测到事件至参数信息发布,全程可在2分钟以内完成,地震事件类型的识别准确率超过90%,大大提高了地震监测台网对非天然地震事件的识别能力,拓宽了地震监测台网服务领域。

2.3 科研能力显著增强

江苏省地震局地震监测队伍建设和人才培养成果斐然。在首届全国地震速报竞赛中,江苏测震台网获得全国地震速报竞赛总决赛团体第一和个人第一的好成绩。第二届速报竞赛获全国团体三等奖和华东区域团体第二名,第三届速报竞赛获全国团体第四和个人第二名的好成绩。中国地震局与阿里云联合举办余震捕捉 AI 大赛,将大数据、人工智能与地震业务相结合,通过提供大地震前后多个地震站的海量监测数据,让参赛选手捕捉余震数量、发生时间等相关信息。全球共有1143支队伍参赛,江苏省地震局组成的队伍最终获得总决赛全

国第五名的好成绩。江苏省地震局以华东片区前兆仪器维修中心运维辐射华东五省,形成了测震、前兆、监测软件开发、仪器研发等若干个科研项目团队。

近年江苏省地震监测队伍先后承担国家自然科学基金项目、省社会发展项目、省产业前瞻与关键核心技术项目、省自然科学基金项目、中国地震局地震科技星火计划项目、三结合等各类科研项目,2018~2020年获批江苏省科技厅项目2项、地震行业专项1项、仪器研发专项1项、星火计划3项、局长基金项目1项、监测预报科研三结合项目22项,获得国家发明专利2项,实用新型专利12项,软件著作权17项,10篇论文被SCI/EI收录,20篇论文发表于核心期刊。

3 结 语

从90年前南京诞生了中国人自己建设的第一个地震观测站,67年前南京生产了第一批我国自主研发的地震观测仪器,到现今建设形成覆盖全省的测震、形变、流体、磁电等多学科多手段,全部使用国产化观测仪器的数字化地震观测网络系统;从当年手工量取地震波形、电报发送地震三要素,到现今人工智能识别地震事件、光纤专网实时传输,是新中国成立后数代地震工作者不懈努力和探索奋斗的共同成果。

随着国家经济的快速发展,人民群众对地震安全保障提出了更高的要求,进一步提高全省地震监测能力、地震预警能力和地震烈度速报能力,最大限度地保护人民生命财产安全,体现以人民为中心的发展理念,实现江苏地震监测事业现代化,是我们这一代地震工作者肩付的历史使命。

参考文献:

- [1] 江苏省地震局. 华夏第一台:南京地震台建台七十周年记[M]. 北京:地震出版社,2003.
- [2] 江苏省地震局. 江苏省地震监测志[M]. 南京:河海大学出版社,2008:22-23.
- [3] 谢毓寿. 纪念李善邦教授100周年诞辰暨南京地震台建台70周年[C]//纪念南京基准地震台建台70周年论文集. 北京:地震出版社,2002:3-5.
- [4] 许绍燮. 忆南京基准地震台50年代初期的一二事[C]//纪念南京基准地震台建台70周年论文集. 北京:

