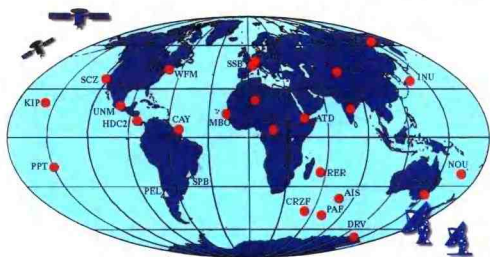


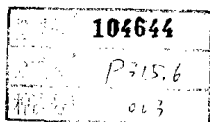
数字时代的 地震观测

陈颢 主编



地震出版社





数字时代的地震观测

陈 颢 主编

S2129/08



地震出版社

1998

内 容 提 要

本书介绍了现代地震观测的各个方面:有代表性的国家地震台网;全球或区域地震观测与研究的组织、计划;国际地震中心;地震学研究联合会;国际数据中心和地震分析软件等。

数字时代的地震观测

陈 颀 主编

责任编辑:宋炳忠

责任校对:王花芝

*

地震出版社 出版

北京民族学院南路9号

北京地大彩印厂印刷

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 10.375印张 26千字

1998年1月第 版 1998年1月第一次印刷

印数 001—600

ISBN 7-5028-1494-9/P·914

(1944)定价:20.00元

《数字时代的地震观测》编委会

主 编 陈 颢

编 委 孙其政 庄灿涛 陈建民

吴忠良 赵仲和

《数字时代的地震观测》编写组

孙其政 (绪言)

徐 进 (第一章第一节, 第二章第三节)

彭克银 (第一章第二节, 第三章, 第五章第五节)

刘 杰 (第一章第三、六节)

陈祺福 (第一章第四节, 第二章第二、四节)

陈 凌 (第一章第五节, 第二章第一节)

刘桂萍 (第一章第七节, 第二章第七、八节)

张永仙 (第二章第五、六节)

杨 青 (第四章)

黄志斌 (第五章)

周克昌 (第六章, 第二章第六节)

姜丽萍 (第七章)

赵仲和 (全书统编)

目 录

绪 言 现代测震学概论	(1)
第一章 有代表性的国家地震台网概况	(7)
第一节 美国国家地震台网	(7)
第二节 加拿大国家地震台网	(10)
第三节 俄罗斯联邦地震台网和地震预报系统	(13)
第四节 挪威地震台网	(21)
第五节 英国 1994~1995 年的地震监测	(24)
第六节 澳大利亚国家地震台网	(35)
第七节 德国快速地震信息系统	(37)
第二章 全球或区域地震观测与研究计划	(41)
第一节 数字化地震台网联盟	(41)
第二节 地球探测器计划 (GEOSCOPE)	(43)
第三节 海神计划 (POSEIDON)	(49)
第四节 GEOFON 计划	(56)
第五节 MEDNET 计划	(61)
第六节 欧洲地震学观测与研究设施 (ORFEUS)	(64)
第七节 地中海东部地区联合地震观测计划 (JSOP)	(67)
第八节 欧洲—地中海地震危险估计和预防中心	(71)
第三章 PANDA: 进行区域地震研究的一种流动台阵	(74)
第一节 背景	(74)
第二节 PANDA 台阵的配置	(75)
第三节 在线数字记录系统	(77)
第四节 讨论	(78)
第四章 国际地震中心 (ISC)	(83)
第一节 历史沿革	(83)
第二节 基本工作	(84)
第三节 管理	(87)
第四节 和其他机构的关系	(89)
第五节 会员情况	(90)
第六节 新趋势及未来计划	(90)
第五章 地震学研究联合会 (IRIS)	(93)
第一节 概述	(93)
第二节 全球地震台网 (GSN)	(96)
第三节 大陆岩石圈台阵研究计划 (PASSCAL)	(100)

第四节	IRIS 的数据管理系统 (DMS)	(104)
第五节	第八届 IRIS 年会	(109)
第六章	国际数据中心 (IDC)	(111)
第一节	GSETT-3 系统简介	(111)
第二节	IDC 的组织机构	(113)
第三节	IDC 技术系统概述	(115)
第四节	GSE 消息	(116)
第五节	IDC 数据访问工具	(118)
第六节	IDC 的数据产品	(128)
第七节	IDC 的数据库系统	(131)
第八节	IDC 的数据处理	(134)
第七章	地震分析软件 SEISAN	(141)
第一节	SEISAN 简介	(141)
第二节	SEISAN 的结构	(142)
第三节	安装 SEISAN	(145)
第四节	使用 SEISAN	(149)
第五节	使用 SEISAN 的日常工作	(157)
主要参考文献		(159)

绪言：现代测震学概论

(一)

地震研究涉及到要解决许多的科学问题，这些问题构成了地球物理学中一个极为重要的领域——地震学的研究对象。概括起来，地震学主要有四个方面的研究内容：一是研究震源，包括天然地震、火山喷发和人工爆破三类震源的破裂物理过程，各种参数测定，震源机制等。二是通过这些震源来研究地球的性质和结构，如横向不均匀性、各向异性、衰减问题、地球模型与分层结构等。三是通过对震源和地球结构的研究探索地震预报。四是研究地震的工程性质问题，如研究地震时地和建（构）筑物的振动，及确定建（构）筑物抗震设防的物理依据；为研究地震区域划分和解决某些地质问题所必需的地震活动性与地震危险性分析的研究等。

地震学研究的领域是相当广阔的，而且还在不断扩大，研究成果也在逐步深化。地震学的研究方法通常有两种：一种是正演方法，已知震源和地球模型，原则上可以计算出地球表面上任何一点的地面振动。另一种是反演方法，根据观测到的地震资料，推算出震源情况和地球模型，无论用哪一种方法，就同一次地震而言，理想的结果应该是一致的。也就是说，正演方法在理论上假设的震源和地球模型与反演方法推算出的震源和地球模型应当是一致的。尽管今天的科学技术水平还不可能取得这样的理想结果，但随着科学技术的飞速发展和研究水平的不断提高，两者会逐步地逼近。

(二)

上述四个研究领域和两种基本研究方法均涉及到一个共性问题——地震观测技术。获得准确的、可靠的、连续的观测资料和数据始终是一项重要的、基础性的工作。早在公元132年，东汉太史令张衡就创制了世界上第一台能够觉察地震的仪器——候风地动仪，并测到了远在千里之外的一次地震。这说明该仪器能测定地震的方位，张衡本人懂得地震振动从震源向外传播的道理。西方人直到一千五百多年后才提出震源传播的概念，又经过二百多年才发明近代地震仪。系统地用近代仪器观测地震时地的振动，开始于19世纪末20世纪初。一百多年来，地震观测方法与技术有了飞跃的进步，并逐步形成了一门独立的学科——测震学。测震学沿着两个方向发展：从观测技术上讲，由最初的简单地震仪发展成为复杂的观测系统；从观测方法上讲，由最初的单台观测发展成为组成台网或布置台阵观测，台网也由地方性台网向较大孔径的区域性台网乃至全球性台网发展。

科学技术发展到今天，按照地震信息的记录状态，地震观测系统可以分为两大类：模拟地震观测系统和数字地震观测系统。地震信号本身是模拟量，即它是随着时间连续变化的，其幅值从一个量到另一个量中间是不间断的连续值。如果将模拟的地震信号经锐截止低通滤

滤波器滤除观测频带外的干扰信号后，用一串在时间上等间隔的脉冲对模拟地震信号进行采样，在时间轴上可得到一串离散的模拟地震信号，再输入模数转换器（必要时在输入前用保持器）将这串离散的模拟信号转换成一串与之相对应的数字信号。当然，由数字信号也可转换成模拟信号，即把数字信号输入到模数转换器，将其转换成离散的模拟信号，再经低通滤波器平滑后给出连续的模拟信号。在地震观测中，凡最终产出的记录是模拟信号的称为模拟观测，其技术系统亦称之为模拟地震观测系统。如果单个地震台的最终产出记录是数字信号，遥测台网在地震台上进行了模数转换而最终产出记录是数字信号，这种观测称为数字观测，其相应的技术系统称为数字地震观测系统。无论哪一种观测系统，其组成的基本单元均包括：地震信号拾取（由摆、换能器和阻尼器组成的地震计，又称拾震器来完成）、地震信号传输（可利用信道有：几 m 至几百 m 间的短距离多芯电缆直接传输、几 km 至几百 km 间的中距离有线或超短波无线传输、几 km 至几千 km 的远距离以及上万 km 的超远距离有线、超短波中继或卫星传输）、地震信号记录（有机械杠杆或光杠杆放大的直接记录、电流计放大记录、电子放大可见笔绘记录和磁介质记录等）、地震信号处理（记录图纸的常规处理、在无数数据采集功能的计算机系统进行的人机结合处理、在带有数据采集功能的计算机系统中进行的联机 and 脱机处理）和时间服务标记（由时钟和接收机共同完成）。数字地震观测系统还有一个区别于模拟地震观测系统的关键设备——地震数据采集设备及其配套的超低噪声前置放大器和去假频滤波器等。

如何运用上述技术系统针对不同目的与要求进行地震观测是测震学研究的另一个重要方面。从时间尺度上看，有用于长期、连续监测某一空间范围的地震活动情况，由若干建立在固定地点的地震台和一个资料分析处理中心组成的固定观测地震台网；有为了地震学和地震预报研究的需要，或在发生强震后监视震区余震活动情况，临时架设由若干个地震台和一个资料处理中心组成的流动地震台网，一旦任务完成即可撤离。从空间尺度上看，有跨度约在十余 km 至几十 km 的地方地震台网，它由几个或十多个地震台及一个资料处理中心组成，主要用于监视某一特定地区，如大型水电站、油田等地震活动；有跨度约在几百 km、由十多个至数十个地震台及一个台网中心组成的区域地震台网，在我国用于监视省内及邻省交界区的地震活动性；有跨度在几千 km、由数十个至上百个地震台及一个台网中心组成的跨国跨地区或全国性（中国、美国等国）地震台网，以及由一百多个地震台和统一的台网中心组成的用于监视全球地震活动或监查地下核试验的全球性地震台网等。从地震信号传输上看，为满足防震减灾对地震信息的快速分析处理的要求和实时地震学研究的需要，建立了区域性的、全国性的或全球性的遥测地震台网。从拾取微弱地震信号和探测远处地下核试验的地震信号出发而发展起来的地震台阵，全球约有 30 多个，已成为全球地震监测网的重要组成部分，也是国际核试验地震波核查网的主力军。地震台阵与台网相比有两个主要特点：一是一组地震计在与所观测地震波波长相相当的孔径范围内有规则地排列；二是数据处理系统对这组地震计的输出信号能及时进行各种组合分析，从而压低干扰背景，突出有用地震波信号和获取有关震源及地球内部构造的信息。

(三)

地震观测的对象主要是地动位移、速度或加速度。地面运动是由质点的位移矢量的三个

分量 and 绕质点的三个转动量来确定的。在离震源较远处，当地震波通过时，由于波长比质点运动的振幅大得多，故转动量很小，因此，通常仅记录地面运动的三个分量。而在震源附近，则除记录运动的三个分量外，尚需记录三个转动量。由最弱到最强的天然地震，以及各种人工爆破和其他干扰所引起的地面运动，其频率范围可跨 6 个数量级，约在 $0.0003 \sim 100\text{Hz}$ ($10^4 \sim 10^{-2}\text{s}$) 之间（如，固体潮 10^4s ，地球自由振荡 10^3s ，长周期面波和体波 $10^2 \sim 10\text{s}$ ，地脉动 $5 \sim 10\text{s}$ ，短周期体波 1s ，强地面运动 $10^{-1} \sim 1\text{s}$ ，地壳高频地震应力波 $10^{-2} \sim 10^{-1}\text{s}$ ）。地面运动的幅度变化范围可达 10^9 ，地面运动加速度约在 $10^{-7} \sim 1$ 个 g 之间。由于地面运动的频率范围很宽，幅度变化范围（动态范围）也很大，如何才能得到可以覆盖上述范围的宽频带大动态范围的地震观测系统，使之能够完整地、真实地记录到全部信息，这既是地震学家们热切盼望的，也是测震技术专家所孜孜追求的。

前面提到的模拟地震观测系统远远不能适应上述要求，它有三个明显的缺陷：一是记录频带窄。模拟记录的短周期和长周期地震数据在传统上是分高频带方式记录的，目的是为了取得较好的检测效能。然而，这种采用频带滤波法来提高信噪比的做法，在抑制微震噪声的同时使频带变窄，从而牺牲了有用的、而且又不能记录后完全恢复的信息。二是动态范围小，一般仅为 $40 \sim 46\text{dB}$ 。除了强震仪外，几乎没有什么地震仪不经预先调整可记录大地震，大量的令人感兴趣的地震信息由于过载记录而丧失。三是分辨率低，一般为 10^{-2} 量级。尽管模拟地震观测系统由于有上述缺陷，它所记录到的信息给深入进行地震学研究带来困难，但对某些不要求对地震学作深入研究的建网目的——如监视小范围地区的微震活动或中强震速报等，由于该系统设备简单、投资少、便于维护，仍有良好的使用价值。

60 年代以来，以数字电路和数字计算机的发展为主体的“数字化革命”几乎冲击了所有的科学领域，它给地震学、测震学带来的变化也是根本性的。数字地震观测系统使观测结果在逼近真实地面运动记录方面迈过了具有变革性的一大步。它与模拟地震观测系统相比有如下优点：频带范围宽，最宽的可达 6 个数量级；动态范围大，最大的可达 140dB ；分辨率高，可达 $10^{-6} \sim 10^{-7}$ ；线性度好，非线性低于 $1\% \sim 0.1\%$ ；观测精度高，模数转换部分优于 10^{-6} ，地震计部分优于 10^{-3} ；便于数据存贮、交换和计算机处理；可直接采用数字传输新技术，使得在传输过程中几乎不损失精度；便于实现地震台站观测智能化，等等。数字地震观测系统无论对微小地震、中强地震和远处强震均能得到完整的、失真很小的数字信号记录，可为地震学进一步深入开展震源、地球内部构造、地球自由振荡、岩石圈和地震成像等基础研究提供全面优质的记录。由于有了数字信号记录，使地震学家对地震记录的解释由过去的辨认一个个地震震相，发展到可能对整个波形的解释。整个波形提供的信息比几个震相提供的信息要丰富千万倍。由数字地震记录和对这些记录作解释的理论所组成的、以定量地震学为理论核心的数字地震学为地震学的发展开创了一个新纪元。

(四)

正因为数字地震观测系统具有上述显著的优点，自 80 年代以来，国际上开发新的数字地震观测技术和利用数字地震观测系统的各类台网开展各种研究和试验的科学计划在向前发展。

近十几年，随着微电子技术的飞跃发展，许多功能强、性能好、集成度高、体积小、功

耗低的新型电子元器件不断出现, 强劲地推动了各行各业的新技术革命。地震观测技术也进入了高科技时代, 一些新型地震仪器不断涌现, 其性能已远远超过了以往的设备, 为测震技术专家研制新一代数字地震观测系统和为地震学家进一步开展地震学研究提供了前所未有的良好的硬、软件环境。例如, 低漂移、低噪声和低功耗的集成运算放大器为放大微弱的地震信号提供了体积小、性能稳定的信号放大器; 采用高性能运算放大器和反馈技术研制出了宽频带、大动态范围、低失真度和高灵敏度、高精度、高分辨率的反馈型地震计, 比普通的开环地震计性能提高了几个数量级; 由于出现了采用过采样、数字滤波和抽取技术的 24 位高分辨率单片模数转换器芯片, 为研制具有相位失真低、锐带外衰减陡度的低通滤波和高精度、高线性度、高分辨率、大动态范围等优良性能的数据采集设备奠定了基础; 供有线和无线传输用的功能强、性能优良的调制解调器的出现, 为在一路话音线路内传输低误码率、高波特率的地震信号提供了关键设备; 各种高性能的微型计算机、工作站和网络服务器, 超大容量的存储设备, 高分辨率的彩色显示设备等硬件以及功能强、操作方便的操作系统, 开发工具平台、高级语言等软件不断推陈出新, 为大量的地震数据的处理、存储、交换和服务提供了较为理想的计算机系统的软件环境。

由于有了用上高新技术构成的新一代数字化地震观测系统, 用于多种科学目的和为军事、产业发展等服务的不同类型和空间尺度的现代化的地震台网(阵)不断涌现, 一些重大的区域性的或全球性的地震科学计划已经推出和执行, 有的已取得了明显进展。自 70 年代就开始建立“全球数字化地震台网”(GDSN), 它由地震研究观测台(SRO)、简易地震研究观测台(ASRO)和数字化世界标准地震台网(DWWSSN)等不同类型的台站组成, 由美国地质调查局(USGS)负责管理, 至今还在运行和发展中。利用该台网能够对全球每年大于 5.5 级的 200—300 个中强以上地震很快测定出地震参数和震源机制解, 利用这些资料首次得到了粗略的三维结构的全球模型, 对推动板块运动的地幔对流过程有了新的认识。80 年代中, 美国从事地震研究近 50 年的大学和研究机构建立了“地震学联合研究会”(IRIS), 向美国科学基金会(NSF)提出了 IRIS 计划。该计划包括四个方面的内容: ① 建立由 100 个新的数字化台站组成的新全球地震台网(GSN), 动态范围 140 分贝, 频带自 0 至 5Hz, 分辨率为 24 个二进制, 卫星实时传输。② 建立研究大陆岩石圈的由 1000 套地震仪组成的流动地震台阵(PASSCAL 计划), 动态范围 120dB, 频带从 0.01—200Hz; 高精度时间服务, 触发记录, 高密度存储(160—300MB)。③ 建立数据管理中心, 能对所有数据进行实时处理, 有大容量高速缓存和海量存储, 具有数据分发和存档功能, 并向各种用户提供服务。④ 建立计算中心, 具有巨型向量计算机和通信控制机, 为各种地震和地球物理问题提供可用的计算条件。这项计划正在进行中, 并在边建设、边发展中开展了多方面的科学研究。与该项计划和所采用的技术系统密切相关的另一项重大的国际性计划“国际地震核查监测网”(ISMS)及其相应的“国际地震数据中心”(IDC)正在筹建中, 该台网主要为“禁试”条约签订生效后监督地下核试验服务的, 它由 50 个基本 α 台(阵)和 130 个辅助台构成。由法国巴黎和斯特拉斯堡地球物理研究所(IPG)负责开发和管理的“全球长周期宽频带台网”(GEOSCOPE)仍在建设中, 它主要为开展地球探测透镜计划服务。除了这些全球性的台网和科学计划外, 一些跨国跨地区的区域性台网和科学计划也伴随出现。日本提出并正在推行建立“环西太平洋数字地震观测网”(POSEIDON, 即海神)计划, 该台网主要由 50 个宽频带大动态范围地震台网, 海底地震台网(观测点距离约 100km), 流动台网及数据

中心组成，其主要目的是用于研究西太平洋一带的构造动力学。由欧洲地球物理学会发起，13个欧洲国家共同推行的“欧洲数字地震观测与研究”(ORFEUS)计划，主要目的是要使欧洲地震学家们在宽频带测震学领域继续保持自世界上第一个宽频带数字化地震台阵——德国的格拉芬堡台阵以来的领先地位。该计划主要内容包括：在已有的数字地震台站基础上扩建约37个宽频带地震台站；加密设置兼容的便携式宽频带地震仪；建立用于交换数字化宽频带地震资料的欧洲地震资料中心。

(五)

我国数字地震观测技术的开发最早始于70年代后期。国家地震局地球物理所研制出了“基准地震台现代地震观测系统”(BSO)，768工程也开发了整套观测设备，但由于受当时只能立足于国内的电子技术和计算机整体水平的限制，难以推向应用。1983年中美双方达成原则协议，由美方提供设备，共同建设“中国数字化地震台网”(CDSN)。经双方努力，1987年通过技术评审和验收后正式投入运行。该台网由九个台站和设在北京的台网数据管理中心与台网维修中心组成。每个台站均可获取三分向短周期、宽频带、长周期和超长周期四种频带的数字记录。1993年双方合作又进行了二期技术改造，其内容主要放在地震台上的工作站数据系统、台网数据管理中心的计算机系统和数据传输等方面，改造后的技术系统将同IRIS台网和ISMS台网一致。与此同时还增建了拉萨和西安两个台站。该台网是目前世界上最先进的地震台网之一，且其正常运行率已连续多年居世界同类台网之首。

为了独立自主地发展我国现代测震学，我国地震工作者于1989年编写了《中国数字地震观测与研究计划报告》，在该报告的指导下，通过实施“八五”国家科技攻关项目，全面、系统地研制出了开展宽频带数字地震观测所需要的整套设备与软件。经国家有关主管部门批准立项，“九五”期间将利用这些装备和技术建设“中国数字地震观测系统”。其内容包括：由47个甚宽带和宽带地震台、卫星实时传输链路和台网数据中心组成的国家基本台网，另有30个采用电话拨号方式传送数据的宽频带地震台作为该台网的辅助台站；建设大约15个区域遥测地震台网，每个台网由10~30个数量不等的无人值守短周期或宽频带地震台、无线或有线传输信道和台网中心组成；由140套便携式地震仪(短周期60套，宽频带80套)组成的流动地震观测系统；由30个强震台、30套流动强震仪和数据中心组成的强震台网；由30个无人值守强震台组成的首都圈强震遥测台网和地震动强度(烈度)速报网；以及试验性地震台阵、大地震预警和报警系统等。这些系统建成后，将使我国地震学研究真正进入现代化地震学阶段，它的一个重要分支——实时地震学必将在防震减灾事业中发挥巨大作用。

(六)

正如上面提到的，“九五”期间我国将全面、系统地建设中国数字化地震观测系统，任务是光荣的，也是艰巨的。高质量、高水平、高效能地建设好中国的数字化地震观测系统，并能够在地震学、地震预报等研究中和为防震减灾事业服务中发挥重要作用，这是赋予我国地震工作者的历史使命。在大力发挥我们自身能力的同时，也必须充分利用国际上先进的技

术、科学的方法和高水平的成果，以及管理上的成功经验等。

本着“洋为中用，以我为主”的原则，在陈顺院士和赵仲和研究员的主持下，编写了《数字时代的地震观测》一书。本书以较大篇幅介绍了不同类型和用途的数字化地震台网及相应的科学计划，其中包括：有代表性的国家地震台网，如美国、俄罗斯、加拿大、澳大利亚、英国、法国、挪威等；跨国家跨地区的区域性地震观测与研究计划，如日本发起的建立环西太平洋数字地震台网的海神（POSEIDON）计划，由欧洲地球物理学会发起、涉及13个欧洲国家的“欧洲数字地震观测与研究”（ORFEUS）计划，德国推进的“地中海地区甚宽带、高分辨率地震台站网络”（MEDNET）计划和“地中海东部地区联合地震观测”（JSOP）计划等；全球性地震观测与研究计划，如法国的“地球探测透镜”（GEOSCOPE）计划，德国的“地学研究台网”（GEOFON）计划等。本书的另一部分主体内容是详细介绍了当前在全球有重要影响的几个地震机构及其开展的工作，如位于英国的“国际地震中心”（ISC）、美国的“地震学研究联合会”（IRIS）及其开展的观测与研究计划，为国际地震核查服务的、现在位于美国、将来迁至维也纳的“国际数据中心”（IDC）等。本文还介绍了一种用于区域地震研究的流动台阵（PANDA）和一种现在广泛流行使用的地震分析软件（SEISAN）。

本书的内容涉及面广、信息丰富、水平先进，还较为全面、系统地反映了当前地震学和测震学的一些前沿性、先导性问题及其发展方向，是一本值得阅读、学习的好书。

第一章 有代表性的国家地震台网概况

第一节 美国国家地震台网

美国地质调查局 (USGS) 的国家地震信息中心 (NEIC) 建立了美国的宽频带数字化地震台网。这个国家台网由大约 150 个台站组成, 这些台站分布在美国本土的 48 个州, 以及夏威夷、阿拉斯加、波多黎各和弗吉利亚群岛上面。所有台站的资料通过双向卫星传输, 由台站传输到位于美国科罗拉多州博尔德的记录中心。台网设计的目标是, 除了阿拉斯加的少部分以外, 所有发生在美国的震级大于或等于 2.5 级地震, 至少被 5 个台站完全地记录到。该国家台网记录到的全部地震资料, 通过只读光盘 (CD-ROM) 分发给科学界用户。

一、引言

地震发生的频度、地震的地理分布和地震的震级等参数对于评定地震危险性和确定重要工程的设计和建筑规范是十分重要的。把这些参数综合在一起就代表了一个地区的地震活动性, 而地震活动性的资料只有通过地震台网才能得到。多年来, 科学家和政府的许多机构已经认识到在美国建立高质量的国家地震台网的重要性。通过美国地质调查局和美国核管理委员会 (NRC) 的共同努力, 美国国家地震台网已经建成。美国地质调查局负责建设台网并负责台网的运转。而美国核管理委员会则向地质调查局提供一部分经费支持。

该台网由大约 150 个台站组成。这些台站分布在美国本土的 48 个州, 以及阿拉斯加、夏威夷、波多黎各和弗吉利亚群岛。这个国家台网除阿拉斯加部分地区以外, 可以对发生在全美国的 2.5 级或 2.5 级以上的地震进行检测、定位, 并确定它们释放的能量大小。这种检测能力比以前美国大部分地区检测地震的能力提高了许多倍。但是, 即使在美国国家地震台网完全建成以后, 在某些地区, 仍然需要建立一些附加的密集的地震台网。原因是为了检测一些非常小震级的地震 (比国家地震台网能检测的 2.5 级还要小); 为了非常准确地测定地震的位置, 人们往往需要非常密集的区域台网。这种密集区域台网往往用于一些地震危险地区的研究任务, 如地震预报和地震强地面运动的估计等。

国家地震台网所记录到的资料和数据是高质量的, 国家地震台网分布在全国, 几乎均匀地监测全国的地震活动 (图 1-1)。在美国所进行的地震研究, 包括那些利用密集的区域地震台网所进行的研究, 都以高质量的国家台网资料作为基础。区域性密集台网可以很自然地认为是国家地震台网的一种补充。

二、美国国家地震台网的设计目标

美国国家地震台网的设计目标是:

- (1) 检测全国发生的 $m_b \geq 2.5$ 的所有地震, 并进行地震定位;
- (2) 对全国 $m_b \geq 2.5$ 的所有地震, 在地震发生 30min 内, 报告地震参数;
- (3) 减少建造台网的风险, 并尽可能降低建造台网的费用;
- (4) 尽量减低台网建成后的运转费用;

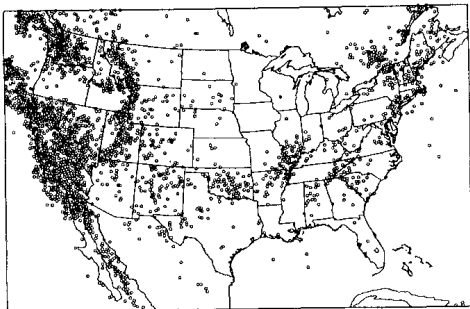


图 1-1 美国大陆地区的地震分布

- (5) 将地震台站选在低噪音的地点；
- (6) 搜集波形资料；
- (7) 尽快将资料对外发布。

国家台网对全国 $m_b \geq 2.5$ 的地震进行检测和定位。这种能力保证了能够对美国所有的有感地震进行精确的定位。在地震发生后 30min 之内报告地震参数，这一点十分重要，因为这样可以使得国家地震信息中心 (NEIC) 能够尽快地向紧急事务办公室、政府部门和社会公众发布地震消息。

为了保证在有限经费条件下，减少风险和降低经费支出，人们需要对风险和经费支出进行分析。最大的风险在于安装在记录中心的重大仪器设备。为了减少这种风险，美国地质调查局在国家地震台网中使用了最现代的处理系统，这种系统是近年来由国家地震信息中心 (NEIC) 开发的 (图 1-2)，而且所有的台站硬件都经过了严格的考验。

应当尽一切可能将地震台站设在低噪音的地点，因为台站所在之处的背景噪音越小，整个台网的总监测能力就越高。

国家地震台网应当产生第一流的地震数据资料，动态范围应足够大，而且尽可能使记录的频带作得宽一些 (15Hz 至直流)。台网所提供的资料，不论是地震资料还是强震资料，都是三分量的资料。

在将全国甚至全球地震资料提供给科学界方面，NEIC 发挥了重要的作用。对于来自美国国家地震台网 (图 1-3) 的资料，国家地震信息中心制订了专门的工作程序，尽快地把地震资料向外送出，使每一个有兴趣的用户都具有平等的权利，尽快得到地震的波形记录资料。

美国的许多地方都有地震发生，因此，监视地震活动性是很重要的。美国地质调查局的任务之一，就是不断地监视全国的地震活动，并且把地震的发生、地震的位置和地震灾害通

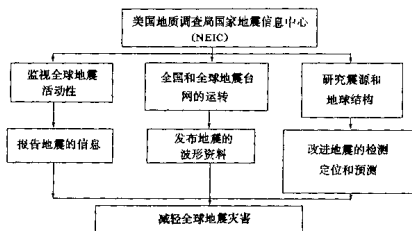


图 1-2 美国国家地震信息中心的主要任务

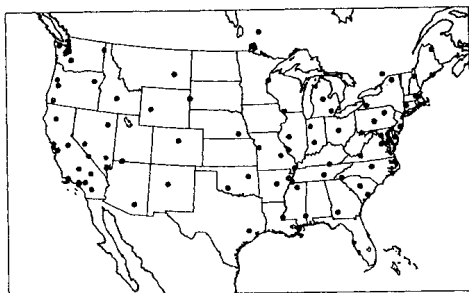


图 1-3 美国国家地震台网在美国本土的分布图

知紧急事务办公室。当然，社会公众也十分关心地震的发生。此外，增进对美国大地构造和地壳结构的认识将无疑有助于对地震资料的分析，美国地质调查局在这方面安排了许多研究工作。

为了对国境附近的地震进行精确的定位，显然需要一些位于美国国外的地震台站配合进行检测，这些台站起到一种控制作用。在建立国家地震台网时，对上述的一些国外台站亦作了相应的安排。

三、台站的特点

每个地震台站都装备有三分量的地震仪。这些地震仪都是宽频带的（15Hz 到直流），在经费许可范围内，地震仪的动态范围尽量做得高一些。资料按每秒 80 个样进行数字化取样，利用台站的一台小计算机和适当的软件，这些资料可被检测出来。然后这样三分量宽频带的

资料传输至 NEIC。

每个地震台站都装备有微型计算机、卫星发射器和天线，台站的资料将在传输前附加时间标记。

除了上述的设备外，所有国家地震台网的每个台站还装备三分量强震仪，对于大幅度的信号，强震资料的采样率是每秒 80 个样。在台站对强震资料进行信号检测。强震仪的动态范围高达 210dB，这可以保证即使发生大地震时，记录也不会出格。

四、资料传输

台站至记录中心的资料传输是通过卫星通信来实现的。每个台都装备有一卫星天线，其直径一般小于 2m，而 NEIC 接受来自所有台站资料，利用的是一个大的卫星天线和相应的电子设备。总的卫星接收站位于 NEIC。这种卫星传输方式使我们可以方便地把地震仪放在环境噪音很低的地方，而这种环境噪音低的地方大多是远离电话线的。利用这种近实时的卫星传输，费用低（远远低于利用长途电话线传输的费用）而且风险小。

对于大多数台网来说，利用 Ku 波段（14~16GHz）的时分多路存取（TDMA）卫星传输技术是运转费用最低的。位于 NEIC 的卫星传输总站控制了 56~96 kbps 卫星通道的多路传输器，这种传输系统可以保证有足够多的传输通道可以同时传输多路资料，特别是在北美洲发生大地震时，仍有足够的通道可以使用。

五、资料分析

NEIC 安装了一套实时地震处理系统，这套系统是高度模块化的，它可以满足国家地震台网的要求。而且只要增加少许的硬件设备，这套系统可以非常容易地扩展以满足新的要求。

NEIC 的这套处理系统的功能主要有：精化信号检测、确定信号参数、信号组合、初定地震位置、储存波形信号及相关的震中信息、提供人机对话，最后提供最终的震中报告。

实时处理是在一台 32 位微机上进行的，该微机与局域网（LAN）相连，通过局域网与数据库相连。这种与 LAN 网相连的微机可以满足迅速分析各种地震资料的需求。

六、资料的公布

美国地质调查局负责迅速地把国家地震台网的资料和数据提供给科学研究人员。地震波形数据的公布有两种方式：一种是通过卫星传输的广播模式，由 NEIC 发布；另一种是准实时的，用户可以用高速网络从 NEIC 的波形数据库中调用。凡是国家地震台网记录到的地震波形资料，都由 NEIC 整理后，以只读光盘形式向外界提供。

经过处理的国家地震台网数据整理成为地震震中报告，这份报告是 NEIC 的快速测定震中任务（QED）的产物。得到地震震中报告有好几种方法，一种是通过拨号电话，进入 NEIC 的计算机，这种以 800 开头的电话是免费的。另一种是通过各国的世界气象组织（WMO）的通信渠道进入 NEIC 的计算机而调出地震震中目录。最后一种方法，NEIC 将每个月的地震目录登在美国地震学会的一份杂志上，该杂志名为“Seismological Research Letters”。

第二节 加拿大国家地震台网

早在 60 年代，加拿大就建立了由 24 个几乎与 WWSSN 具有相同性能的地震台组成的

加拿大标准地震台网,包括三分量短周期和长周期地震仪。从70年代开始,逐渐在加拿大东南部和西南部建立起数字遥测台网,称为加拿大东部遥测台网(ECTN)和加拿大西部遥测台网(WCTN)。由于预算减少和成本增加,在最近10年,标准台站已经开始关闭。1988年魁北克Saguenay地震为建立完全现代化的地震台网提供了机会。其结果是加拿大国家地震台网(CNSN)取代了标准和区域(短周期垂直分量)模拟台网,同时使东西部遥测台网得到改进。

加拿大国家地震台网包括分布于加拿大境内的5个甚宽带(VBB)地震台和15个宽频带(BB)地震台,外加6个短周期(SP)辅助地震台。不久将增设1个甚宽带地震台、12个宽频带地震台和40个以上短周期地震台。台站的数据均以实时方式遥测传输到加拿大东部和西部的检测、处理和存贮中心。全部资料以SEED格式存入光盘,而最新3天的资料由AutoDRM系统以邮件方式提供。从甚宽带台站记录到的连续资料在大约1个月后将输送到数字化地震台网联合会(FDSN)的资料管理中心。

一、台网设计目标

在加拿大,可为地震学所用的资源是有限的。国家地震台网为加拿大地震学计划提供基本资料。该计划的目标是监视加拿大境内的地面运动,为震源、地震灾害、地球深部结构以及地下核爆破的研究提供资料。所有加拿大境内的3.5级以上以及重要的政治经济地区的2级以上地震必须定位。应公众的要求,所有较大地震和有感地震必须迅速定位并给出震级。此外,还必须给出较长时间尺度详细的地震分布和地震频度资料,作为建筑物结构抗震规范的依据。加拿大国家地震台网必须满足如下需要:

- (1) 近实时监测全国地震活动;
- (2) 为加拿大地震的性质和原因的研究提供资料;
- (3) 为全球地震活动评估提供帮助;
- (4) 提供加拿大境内监测到的地下核爆破资料;
- (5) 为全球范围的地震研究提供加拿大境内记录到的资料;
- (6) 为数字化地震台网联合会提供连续的资料。

上述目标并不总是相容的,因而有时不得不作出一些妥协。例如,甚宽带地震仪不能覆盖局部和区域地震活动或监测核试验所需要的所有频率范围,而在现有条件下尚不能为VBB台站配备辅助的高频检测设备。加拿大已建成的甚宽带地震台站之间的距离超过1500km,而宽频带台网大致上可覆盖全部国土,短周期地震台站则分布在地震活跃地区。

二、仪器设备

甚宽带地震台站配备有Wielandt-Streckeisen STS-1 VBB地震仪,宽频带地震台站配备有Guralp-CGM3-ESP或CMG-3T设备。一种由加拿大地质调查局(GSC)开发的24位数字化仪从上述探测设备获取资料。通过锁相环使采样与Omega或GPS时钟同步。宽频带和甚宽频带的采样速率均为每秒40次。采用有限脉冲响应(FIR)去假滤波器使频带宽度达到最大,从而使甚宽带(VBB)和宽频带(BB)系统的响应形状在15Hz以上频率范围内与地震计响应形状保持一致。与其他类型的数字化仪相比,该数字化仪的设计与性能高度一致,其噪声低(小于1位rms),具有可容纳6h资料的内置内存(RAM)。它允许由各种因素引起的卫星信号的少量丢失以及网络数据系统的短暂中断。除上述RAM缓冲器外,没有其他的当地记录资料功能。与资料传输、远距离标定和时间校验有关的通信问题已经解决。为使