

● 全国地震台站观测岗位资格培训系列教材

地震学与地震观测

(试用本)

中国地震局监测预报司 编

地震出版社

全国地震台站观测岗位资格培训系列教材

地震学与地震观测

(试用本)

中国地震局监测预报司 编

地震出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

地震学与地震观测: 试用本/中国地震局监测预报司编. —北京: 地震出版社, 2007. 11
(全国地震台站观测岗位资格培训系列教材)

ISBN 978 - 7 - 5028 - 3192 - 9

I. 地… II. 中… III. 测震学 IV. P315.6

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2007) 第 114368 号

地震版 XT200500210

地震学与地震观测 (试用本)

中国地震局监测预报司 编

责任编辑: 江 楚

责任校对: 庞娅萍

出版发行: **地震出版社**

北京民族学院南路 9 号

邮编: 100081

发行部: 68423031 68467993

传真: 88421706

门市部: 68467991

传真: 68467991

总编室: 68462709 68423029

传真: 68467972

E-mail: seis@ht.rol.cn.net

经销: 全国各地新华书店

印刷: 北京地大彩印厂

版 (印) 次: 2007 年 11 月第一版 2007 年 11 月第一次印刷

开本: 787 × 1092 1/16

字数: 454 千字

印张: 17.75

印数: 0001 ~ 2000

书号: ISBN 978 - 7 - 5028 - 3192 - 9/P · 1339 (3881)

定价: 43.00 元

版权所有 翻印必究

(图书出现印装问题, 本社负责调换)

《全国地震台站观测岗位资格培训系列教材》编委会

主 编：李 克

副主编：赵仲和 宋彦云 李 明

编 委：钱家栋 吴忠良 刘耀炜 吴 云 滕云田

余书明 杨心平 孙为民 王 峰 熊道慧

《地震学与地震观测》（试用本）编写组

（按姓氏笔画排序）

刘瑞丰 陈会忠 孟晓春 赵仲和 黄志斌 薛 兵

薛 峰

序

20 世纪 90 年代以来,中国地震局先后在“九五”、“十五”期间实施了数字化、网络化的改造和建设项目,地震监测基本实现由模拟观测向数字化、网络化的重大转变。面对大量数字化设备和新技术的综合应用,如何保障观测网络正常、可靠、稳定、连续地运行,从而提供可靠观测资料,这是广大地震台站工作人员面临的现实挑战。毋庸置疑,只有通过继续教育,领会和接受新技术、新装备,才能熟练应用并使之充分发挥作用。

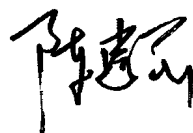
众所周知,防震减灾事业和地震科学的发展,有赖于观测的创新与拓展、监测技术的革命与进步,地震监测的基础地位与作用是十分重要的,地震台站的首要任务是监测,以便及时获得可靠的观测信息。当然,仅仅如此还不够,应当促进台站监测同科研、预测的有效结合。为此,许多关注和从事地震台站观测工作的同志逐渐达成一种共识,地震台站观测人员需要具备相当的有关学科知识,不断增强自身的业务素质,提高工作的综合水平。另外,许多年轻人员进入地震观测岗位后,要求接受继续教育来学习和掌握相关地学知识的愿望也十分迫切。

同样重要的是进入新世纪以来,国家行政和科技体制改革要求,事业单位今后须实行岗位考核竞争上岗以促进事业的良性发展。中国地震局认真贯彻国家要求,决定逐步推行“观测岗位资格考核制度”,以实现地震监测规范化管理,达到规范观测队伍、提高人员素质、保障监测质量的目的。观测岗位资格考核是一项系统性的工作,在岗位资格考核前,对被考核人员进行必要培训,是保障考核工作顺利开展的重要环节。作为地震观测岗位资格考核与考前培训的基本保障,需要有一套适于培训工作的教材。

基于以上诸多目的,中国地震局监测预报司组织编写了地震监测岗位培训系列教材,包括:《地球物理学概论》、《地震地质学》、《防震减灾法律法规》、《地震台站公用技术》、《计算机基础与网络》、《数字信号处理的 MATLAB 实现》、《地震学与地震观测》、《地震地下流体理论基础与观测技术》、《地震电磁学》、《地形变测量》。此套系列教材力求内容与地震监测实际工作紧密结合,符合台站技术的需求,理论深入浅出,内容较新、较详尽,既适合作为岗位资质考核的考试用书,也可以作为广大地震

监测一线工作人员的自学教材。

我相信，该教材的出版，将为台站观测岗位考核制度的逐步推行，为提高地震台站人员的业务素质，为奠定地震台站可持续发展的人才基础起到积极的保障和促进作用。

A handwritten signature in black ink, appearing to read '陈建军' (Chen Jianjun).

2007 年 8 月

前 言

本书是按照中国地震局监测预报司的总体要求和统一部署，由多人集体编写的测震台站专业技术人员的岗位培训教材。在成书之前，该书书稿曾在监测预报司组织的两期全国测震台站岗位培训班上与学员见面，收到了许多宝贵的修改意见和建议，在此基础上，本书稿得到了全面的修改。后来，经过地震出版社的精心编辑和校核，本书得以以新的面貌呈现给大家。

正如本书书名所显示的那样，书中包括了地震学基础知识和测震工作基本技能两部分。其中，前五章以介绍地震学与测震学基础知识为主，后五章以介绍测震台站和台网的建设、运行维护和数据处理的基本技术为主。因此，读者在使用本书的时候，不一定要从头到尾逐章阅读，可以根据自己的需要，有选择地优先阅读与自己的岗位任务紧密关联的部分。

本书中关于一些具体仪器和软件的描述以及引用的具体运行规范和约定，反映了“十五”中国地震监测网络工程建设后期我国测震台站和台网的实际运行状况。而当读者见到本书的时候，“十五”中国地震监测网络工程应该是总体完成验收并投入运行了。新的技术系统、新的专用软件、新的运行模式以及新出台的一系列技术规范，可能和本书中的个别内容有所不同，因此，读者在使用本书时要注意与新的实际情况结合，不拘泥于书中的一些具体要求。

本书第一章、第六章由孟晓春编写，第二章、第七章由黄志斌编写，第三章——四节和第四章由薛兵编写，第三章第五节由刘瑞丰编写，第五章由赵仲和编写，第八章由薛峰编写，第九章、第十章由陈会忠编写。在编写本书时引用了众多原创作者发表的文章和专著，希望读者以本书为线索，进一步去阅读相关的文章和专著。本书的编写者们愿借此机会向众多原创作者表示衷心的感谢。

目 录

第一部分 基本知识和理论

第一章 地震学基础	(3)
第一节 地震学与地震学的任务	(3)
一、地震学的发源、发展和现状	(3)
二、地震观测技术发展及现状	(4)
三、地震学的现状及发展	(5)
第二节 地震波基础知识	(6)
一、地震波的定义	(6)
二、弹性波产生的基本原理	(6)
第三节 地球结构	(16)
第四节 地震体波	(17)
一、近震地震波	(18)
二、远震地震波	(19)
第五节 近震走时规律	(21)
一、近震地震波走时特征	(21)
二、球对称介质中地震波的走时方程	(26)
第二章 地震基本参数的测定	(29)
第一节 震级的测定	(29)
一、测定震级的基本原理	(29)
二、震级的国家标准	(41)
三、地震能量	(43)
四、地震烈度	(44)
第二节 发震时刻和震源位置的测定方法	(47)
一、发震时刻的确定	(47)
二、震中位置的确定	(48)
三、震源深度确定	(51)
第三节 计算机辅助测定方法	(55)
一、计算机地震定位方法的基本原理	(55)
二、走时方程求解法	(57)
三、搜索法	(60)
四、遗传算法	(60)
五、远震定位的波阵面法	(61)
六、其他常用地震定位方法	(61)

参考文献	(65)
第三章 地震观测基础知识	(68)
第一节 地震观测目的、任务和特点	(68)
一、地震观测发展情况简介	(68)
二、地震观测的目的和任务	(69)
三、地震观测的特点	(69)
第二节 地震观测环境及其影响因素	(71)
一、影响地震观测的环境因素	(71)
二、地球背景噪声谱	(71)
三、地球背景噪声特征与井下地震观测	(71)
四、地震观测环境要求	(74)
五、影响地震观测的技术因素	(75)
第三节 数字地震观测基本概念	(76)
一、地震数据的采集与采样定理	(76)
二、地震观测系统的时间特性	(82)
三、线性动态系统和传递函数	(83)
四、传递函数的表达方式与频率特性计算	(86)
第四节 地震观测系统	(88)
一、模拟地震观测系统的构成	(88)
二、数字地震观测系统的构成	(90)
第五节 地震观测系统举例	(94)
一、全球地震台网	(94)
二、中国地震台网	(94)
三、地震台阵	(100)
参考文献	(102)
第四章 地震计基本原理	(103)
第一节 地震计原理	(103)
一、摆的悬挂方式	(103)
二、摆的固有运动	(105)
三、地面运动时摆的振动	(107)
四、传递函数与频率特性	(109)
第二节 地震计换能器和阻尼器	(111)
一、换能器	(111)
二、阻尼器	(115)
三、电磁阻尼器	(115)
第三节 反馈式地震计	(116)
一、反馈式地震计的一般原理	(116)
二、反馈式地震计的传递函数	(117)
第四节 常用地震计简介	(121)

一、JCZ-1 型超宽频带地震计	(121)
二、CTS-1 型甚宽频带地震计	(125)
三、BBVS-60 型力平衡反馈式宽频带地震计	(127)
四、FBS-3B 反馈式宽频带地震计	(130)
五、BKD-2B 反馈式地震计	(132)
参考文献	(134)
第五章 地震观测数据的应用	(135)
第一节 “新地震参数”的测定	(135)
一、震源力学模型	(135)
二、地震矩张量的常规测定举例	(143)
三、地震记录分析	(144)
四、 Q 值及其测定方法	(145)
五、由地震记录谱测定地震矩、应力降和震源特征尺度	(147)
第二节 地震预测的地震学方法	(148)
一、基于地震目录的地震预测方法	(148)
二、基于震相数据的地震预测方法	(154)
三、震源力学参数和地球介质参数在地震预测中的可能应用	(157)
第三节 对数据服务的要求	(158)
一、地震波形数据	(158)
二、地震目录	(161)
参考文献	(165)

第二部分 专业技能

第六章 震相的判读	(169)
第一节 地震记录特征	(169)
一、地震的一般记录特征	(169)
二、近震记录的特征	(169)
三、远震和极远震记录的特征	(170)
四、深震记录的特征	(172)
五、爆破与塌陷记录的特征	(173)
六、干扰的记录特征	(173)
第二节 地震性质的判断	(175)
一、地震远近的判断	(175)
二、地震深浅的判断	(175)
第三节 震相的识别	(176)
一、震相识别的原则	(176)
二、主要震相的识别方法	(177)
三、震相数据的读取	(180)

第七章 地震参数测定方法	(184)
第一节 人工测定地震基本参数	(184)
一、发震时刻确定	(184)
二、震级确定	(184)
三、震中位置的测定	(185)
第二节 计算机辅助测定地震基本参数	(187)
一、人机交互区域台网处理系统	(187)
二、国家数字化地震台网中心时实处理系统	(187)
参考文献	(188)
第八章 资料产出	(189)
第一节 地震台站	(189)
一、单台观测数据的产出和报送	(189)
二、地震速报数据产出和报送	(192)
三、数据的管理	(194)
第二节 遥测地震台网中心	(195)
一、遥测地震台网中心的数据分析处理系统	(195)
二、地震目录与地震观测报告的数据产出	(196)
三、遥测地震台网中心的地震速报	(200)
四、波形数据管理	(203)
参考文献	(204)
第九章 台站(网)的建设	(205)
第一节 台站勘址	(205)
一、地震台站的功能	(205)
二、地震台站技术系统构成	(205)
三、台址选择	(206)
四、地震台站台基噪声测试与分析	(208)
第二节 台站建设	(220)
一、测震台观测室与仪器基墩建设	(220)
二、观测室建设	(220)
三、台站仪器安装要求	(222)
第三节 雷击灾害的防护	(223)
一、雷电灾害	(223)
二、雷击防护的基本原理	(224)
三、接地方法	(225)
四、接地要求	(226)
第四节 遥测台网中心	(226)
一、台网中心的任务	(226)
二、台网中心选址	(226)
三、台网中心建设	(226)

四、台网中心技术系统构成	(227)
五、台网中心功能及数据处理	(228)
六、台网中心管理	(229)
七、观测动态范围与台网监控能力计算	(229)
第十章 台站(网)的运行	(232)
第一节 台站和台网技术系统要求	(232)
一、地震台站和台网	(232)
二、台站地震仪的配置与要求	(233)
三、安装与标定	(233)
四、遥测地震台网的台站仪器配置与技术要求	(234)
五、遥测地震台网的任务、布局、观测系统主要技术指标	(235)
第二节 数据传输与中继	(236)
一、无线传输方式概述	(236)
二、超短波通信方式	(238)
三、微波通信方式	(241)
四、卫星通信方式	(242)
五、扩频通信方式	(243)
六、数字数据通信(DDN)传输	(246)
七、数字信号转接方式	(250)
八、网络传输技术的应用	(250)
九、观测规范的相关规定	(253)
第三节 运行与质量监控	(254)
一、时间服务	(254)
二、脉冲监视	(254)
三、系统维护	(254)
四、地震观测系统的故障诊断方法	(254)
五、系统的传递函数和幅频特性测定与计算	(255)
参考文献	(270)

第一部分 基本知识和理论

第一章 地震学基础

通过本章，使学员对地震波基本理论有所了解，理解地震学基本概念，掌握地震波传播规律、地震震相的基本特征。具体包括：了解地震学的发源、发展和现状，了解地震学的基本任务和工作内容；掌握地震波的定义，了解地震波产生的基本原理；掌握地震体波的传播方式，掌握面波的产生方式与种类；掌握平面波入射平界面时的反射定律、折射定律，了解球对称连续介质中地震波的折射规律；掌握近震和远震地震波的种类、名称和传播路径；掌握直达波、反射波及首波的走时方程，了解其走时曲线形态和走时表。要求学员了解公式的基本原理和式中各参数的含义，不要求学员记忆公式推导过程。

第一节 地震学与地震学的任务

一、地震学的发源、发展和现状

由于岩石突然破裂或人工震动引起的大地的震动称为地震。地震是突发性、破坏性极强的自然灾害。早在战国时期，中国的《竹书纪年》中就有“夏帝发七年（公元前 1831 年）泰山震”的记载。康熙年间关于地动山摇的记载更是十分丰富，日本等国家对这种现象的记载也十分丰富。但由于当时文化思想所限，人类对这种自然灾害现象只能理解为神在操纵。随着社会文明程度的发展，地质学家们开始认识到地震是地质构造带运动带来的自然现象，并开始对其进行解释。公元 132 年，著名科学家张衡发明了候风地动仪，并用它验证了地震的发生，记录到了地震发生的方位和时间。18 世纪中叶，欧洲人开始注意到地震与地质条件的关系及其对建筑物的影响。19 世纪末，出现了罗西（M. S. de Rossi）和佛利尔（F. A. Forel）烈度表。但直到 19 世纪末 20 世纪初，格雷（T. Gray）、米尔恩（J. Milne）、伊文（J. A. Ewing）、维歇尔（E. Wiechert）、伽利津（B. Galitzin）等人先后研制成功不同类型的地震仪，获得了震相丰富的地震记录，地震波这种大地振动现象才被人们认识，并将这种现象与欧洲科学家伽里略（G. Galileo）、胡克（R. Hooke）、柯西（A. L. Caucay）、泊松（S. D. Poisson）、斯托克斯（G. H. Stokes）等人所研究的波动理论联系起来。这也是经典地震学研究的起源。

随后，地震波的传播理论，即在地球介质中，纵波、横波、面波的形成和传播特征的研究迅速地开展起来。伴随而来的是根据地震资料得到了较清晰的地球内部构造的模型；1935 年，里克特（C. F. Richter）提出了震级标度；1940 年，杰弗瑞斯和布伦（H. Jeffreys AND K. E. Bullen）编制了全球两层地壳构造的远震走时表。这时，地震学的研究才发展到较成熟的阶段。

回顾地震学的发展历程，地震观测技术的发展始终是地震学发展的依托。地震激发的地震波是宽频谱的，其频率可以从几十赫兹直至上百秒、上千秒、数小时甚至延伸到固体潮汐，并不存在某个频段上的空白。但另一方面，从第一台地震仪诞生到以后的相当长时间内，地震仪大都由于受到其机械周期的限制，动态范围只能达到 40dB，无法将地震波完全

记录下来。直到 20 世纪 70 年代 STS-1 地震计（我们常称为瑞士摆）诞生了，并首先成功地在德国格拉芬堡台阵运行。它采用了力平衡负反馈技术，在 0.1-300s 区间内的频率特性是平坦的，其动态范围为 140dB；系统运行稳定，采用模数转换技术，计算机处理存储、显示。从而成为了最具代表性的数字地震仪，当然同时代的还有 SRO 井下观测系统。数字地震仪使宽频带、大动态观测得以实现。

我国从“八五”开始进行自己的数字地震仪研制，“九五”完成了 JCZ-1 超宽带地震计、CTS-1 甚宽带地震计等不同带宽、不同功能的数字化地震仪的研制，其中 JCZ-1 型地震计的频带为 50Hz 至 360s，360sDC，实现了全频带观测，解决了地震超宽频带观测问题。

建立地震台网是提高监测能力和监测水平的重要途径。法国在全球范围内建立了 Geo-Scope 台网，美国在全球范围内建立了 IRIS 台网等。每个国家都根据自己的目的与需要，已经建立或正在建立不同规模的地震台网或台阵。我国的地震工作在解放后有了迅速的发展，组建和调整了机构，建立了全国地震观测台网、电信遥测台网、数字化观测台网，并整理出版了大量的历史地震资料，特别是 1966 年邢台地震以后，多学科、多途径的地震科研工作全面地开展起来。“九五”期间，我国建立了全国数字地震台网和省区域数字地震台网。“十五”期间进行的中国数字地震观测网络建设项目更使我国地震台网建设达到了一个新的水平。

二、地震观测技术发展及现状

地震观测技术是指地震仪器的研制、地震台网的建设以及地震资料的分析处理。地震观测技术的发展主要是地震仪器的发展，近年来地震观测技术的发展主要包括如下方面：

1. 宽频带、大动态范围测震传感器

在未来相当长的时期里，超宽频带、甚宽频带、宽频带地震计仍然是数字地震台网的基本、骨干仪器。

2. 低噪声、宽频带信息——井下宽频带地震计

井下技术可以解决我国许多地区无恰当地震台台址问题，井孔可以直接打到基岩上，从而可以较好地解决因基岩不好、大气压槽的干扰等因素给观测技术带来的限制，使台网布局更加合理。

3. 井下综合观测系统研制

将宽频带地震计、倾斜仪、地温仪甚至应变仪制作成一个综合仪器下井，可以在同一地点获取不同物理量观测信息，既降低了成本，又可以了解这些物理量临震前的相关信息。

4. 海底地震计（井孔式）

该项目“十五”期间已开始实施，但仍须投入较大精力才能获得进展。我国海域辽阔，利用海底地震仪获取海底结构信息对于取得海洋资源具有战略意义。

5. 人工震源及相关接收机的研究

人工震源及其接收机（地震计）构成一整套灵活可移动的地下构造探测系统，对这种系统的要求是振荡功率小，接收机具有极高的从地背景噪声中提取信号能力。

6. 小型化、智能化、无线收发信息、低成本地震计

为了完成在地震活动区或震后现场的监测，以及探测活动断层，需要临时组成大密度台网，小型、智能化、无线通讯的地震仪为组成这类台网提供了可能。

7. IP 化的地震仪

在地震仪上采用 IP 技术可通过公用通讯网直接传输地震数据,形成十分灵活的虚拟台网,为充分利用数据,降低通讯成本提供极大方便。测震仪器 IP 化已在“十五”的数字化地震仪上实现,并运用于中国数字地震网络工程建设中。

8. 高密度的台网建设

“十五”台网建设目标实现以后,我国台网密度大大增加。高密度的台网利于以更高的信噪比近距离获取地震信息,因此,建设高密度台网是必要的。

9. 地震警报系统

利用高灵敏度数字地震台网及强震台网的检测能力,可以在大地震发生时,对距震中稍远一些的地区发出预警,以减少因地震造成的灾害。

三、地震学的现状及发展

地震学是研究地震的发生、地震波的传播及地球内部结构的学科,它包括地震学基本理论、地震学应用和地震观测技术等。就现阶段而言,地震学研究主要有如下方面:

1. 浅源地震震源物理

地球上绝大部分地震的震源位于地壳内部,属于浅源地震。地震的发震时间、空间位置及震级三要素是描述地震震源的基本参数。随着地震学的发展和对地震震源研究的不断深入,地震学家发现地震三要素不足以描述地震震源的状况。现代地震学赋予了震源参数更丰富的内涵,如震源时间函数、地震矩张量、震源的时空破裂过程、破裂速度等等。

2. 深源地震震源物理

我国吉林省是深源地震的多发区,是天然的深源地震试验场。对深源地震震源的研究是地震震源研究的重要组成部分,它将大大推动人类对地震产生机制的理解与认识。

3. 人为地震震源物理

跟天然地震相比,人为地震主要指核爆、化爆等人工地震。多年来,世界上没有停止过对核爆炸的研究。核爆炸的地震学研究一直是核爆炸研究的重要分支,为和平利用核能、维护世界和平发挥着重要作用。我国从事核爆炸地震学研究已有多年的历史,为我国的国防建设做出了积极的贡献。今后,对核爆炸的地震学研究依然是十分必要的。化学爆炸的地震学研究将会对国家的经济建设发挥积极作用。

4. 地震事件的精确定位

地震事件的定位问题是地震学的传统问题。理论上讲,地震事件的定位问题似乎很简单。但由于地震事件的复杂性以及对地震波传播介质的认识水平,地震事件的定位,尤其是对地震震源深度的定位,一直是困扰地震学家的问题。近年来,尽管地震学家做出了不懈的努力,提出了许多定位方法,定位结果也有很大改进,但是,地震事件的定位仍需要地震学家付出巨大的努力。

5. 地震的起始与成核

地震“成核”是指地震发生时,地震断层从闭锁状态到以几千米每秒的破裂速度的过渡阶段。地震的“成核”是否普遍存在?地震的起始时间与地震的大小究竟是什么关系?如何监测地震的成核过程?这些都是国际地震学界讨论的热点问题。

6. 典型地震带物理特征研究

根据断层的分布特征和地震活动性图像,我国已划分出多个地震带。然而,由于受地震