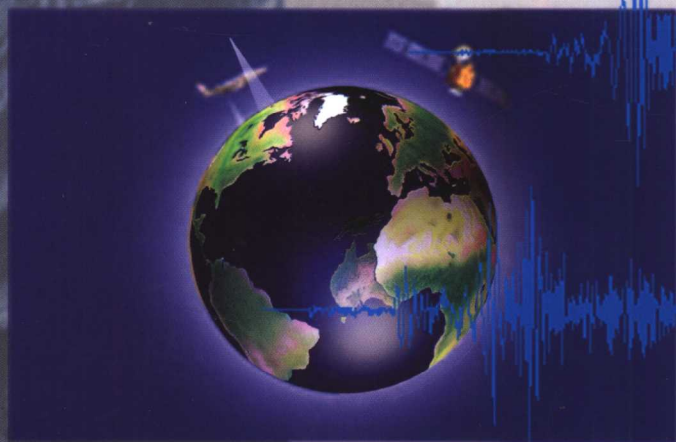


数字地震监测技术系统系列教材

地震前兆数字观测 公用技术与台网

中国地震局监测预报司 编



地震出版社

数字地震监测技术系统系列教材

地震前兆数字观测公用技术与台网

中国地震局监测预报司 编

地震出版社

2003

图书在版编目 (CIP) 数据

地震前兆数字观测公用技术与台网/中国地震局监测预报司编. —北京:

地震出版社, 2003.6

ISBN 7-5028-2194-5

I. 地... II. 中... III. ①地震前兆-地震观测-数字技术 ②地震前兆-地震观测-地震台网 IV. P315.72

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2003) 第 013631 号

内容简介 本书以我国“九五”国家科技攻关项目关于数字化地震前兆台网设计的相关内容为基础, 结合“九五”中国数字化地震前兆台站(网)技术改造项目中的实施技术, 详细讲述了我国在“九五”计划期间建成的 29 个省级区域数字化地震前兆台网和它的 220 个数字化前兆台站中所使用的技术原理, 仪器设备和软件设计与使用。书中重点介绍了数字化地震前兆台网的设计思路、关键技术环节及数字化前兆台网中的关键设备, 包括: 地震前兆数据采集器, 通信设备和通信软件, 供电和避雷技术, 数字化地震前兆台站技术系统集成, 地震前兆数字观测台网的技术构成、运行和数据共享等。本书适合地震前兆监测第一线的设备维护人员和台站观测人员使用, 也适合管理人员使用。

数字地震监测技术系统系列教材

地震前兆数字观测公用技术与台网

中国地震局监测预报司 编

责任编辑: 陈晏群

责任校对: 王花芝 郭京平

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: 68423031

门市部: 68467991

传真: 68467972

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: 2003 年 6 月第一版 2003 年 6 月第一次印刷

开本: 787×1092 1/16

字数: 615 千字

印张: 24

印数: 0001~2000

书号: ISBN 7-5028-2194-5/P·1148 (2760)

定价: 60.00 元

版权所有 翻印必究

(图书出现印装问题, 本社负责调换)

《数字地震监测技术系统系列教材》编委会

主 编：阴朝民

副主编：孙其政 钱家栋 张 金 高荣胜 吴书贵
牛之俊

编 委：庄灿涛 付子忠 张少泉 吴忠良 吴 云
高玉芬 车用太 陈会忠 宋彦云 孙建中
宁为民 余书明 孙为民 熊道慧

《地震前兆数字观测公用技术与台网》编写组

组 长：付子忠

秘 书：赵 刚

成 员：黄锡定 周振安 王子影 王秀英 余书明
秦久刚 梁焕贞 郭柏林 于世亮 王继哲
李成日

前 言

“九五”计划期间，在中华人民共和国科学技术部和财政部的支持下，中国地震局开始了使用现代技术改造传统的地震前兆台网的工作。科技部支持的国家重点科技攻关项目“中短期（一年尺度）强地震预报技术研究”中设置了一个旨在改造传统地震前兆台网的科技攻关课题，该课题对我国模拟记录地震前兆台网的技术现状做了认真的科学分析，提出了以数字化、综合化改造模拟记录地震前兆台网的思路，并完成了设计。该设计将地震前兆观测台网作为一个完整的观测技术系统，进行了系统集成设计。主要内容包括：根据所有前兆仪器进行传感器化改造或智能化设计的要求，对传感器化改造的前兆仪器要求统一接口信号标准，对智能化设计的前兆仪器要求统一通信标准，这为在台站一级实现前兆仪器的系统管理和综合观测创造了条件；设计了高精度通用地震前兆数据采集器，为传感器化改造的前兆仪器的数据采集和联网创造了条件；设计了光隔离的前兆台站用现场总线，为地震前兆数据采集器和智能化设计的前兆仪器接入观测系统、实现统一管理、实现多台前兆仪器的电气隔离创造了条件；设计了基于电话拨号信道、台站用通信单元及RS-232C口切换电路，为遥测组网创造了条件；设计了台站供电避雷系统，为观测系统连续可靠工作创造了条件；设计了地震前兆通信控制软件并与硬件系统集成，在实现前兆台网自动采集基础上，实现了前兆台网的自动遥测和人工管理的双重功能，同时实现了对所有前兆仪器的工作参数管理及数据格值转换；设计了基于计算机网络的前兆台网中心工作平台，实现了对全省前兆台站的管理、收集数据、数据库管理前兆数据、数据库复制实现前兆数据共享，大大提升了前兆台网的技术水平。为了实现上述系统设计的思路，制订了前兆传感器接口协议、地震前兆通信控制协议、前兆数据格式和前兆数据文件结构及文件名的约定，制订了地震前兆数据库结构、数据复制的相关规定等，为系统设计的实现、软硬件研制、系统运行奠定了基础。

为了使上述设计实用化并在全中国推广，在中国地震局的统一领导下，完成了山东省地震前兆实验台网的设计、建设、技术联调、考核运行及技术改进。取得成功经验后，在财政部支持的项目“中国数字地震前兆台站（网）技术改造”项目中完成了全国29个省市自治区前兆台网，包括220个数字化前兆台站的数字化技术改造（约占全国专业前兆台站的三分之一）。

“九五”数字化地震前兆台网的改造,在技术上的最大变化是使用现代电子技术、数据通信技术、计算机网络技术对传统模拟地震前兆台网的改造,使地震前兆台网在性能上、功能上得到了巨大的提升,这将有力地推动地震研究水平的提高,促进了地震观测数据的共享。

本书以我国“九五”国家科技攻关项目关于数字化地震前兆台网设计的相关内容为基础,结合“九五”中国数字化地震前兆台站(网)技术改造项目中的实施技术,详细讲述了我国在“九五”计划期间建成的29个省级区域数字化地震前兆台网和它的220个数字化前兆台站中所使用的技术原理、仪器设备和软件设计与使用。

为了使工作在地震前兆监测第一线的管理人员和台站观测人员能全面掌握数字化地震前兆台网技术,能在观测工作中运用这些技术,完成台站仪器正常运行,及时发现故障及时排除,提高数字化地震前兆台网的运行管理水平。本书第一章详细介绍了我国数字化地震前兆台网的设计思路、关键技术环节,为以后阅读各章打下基础;第二章详细讲述了数字化地震前兆台网中的关键设备——地震前兆数据采集器的指标、原理电路、指标测试、故障判断检查等内容;第三章详细讲解了数字化地震前兆台网中使用的数据通信技术、通信设备和通信软件;第四章讲解了地震前兆台站的供电和避雷技术及应用;第五章讲解了数字化地震前兆台站技术系统集成;第六章在对数字化地震前兆台站技术了解的基础上,讲述了数字化地震前兆台网的技术构成、运行和数据共享。附录则给出了与台网技术密切相关的约定和其他必要的知识。

总之,本书侧重在数字化地震前兆台网的构成原理、数字化地震前兆台网中应用的新技术方面,这些也是数字化地震前兆台网与模拟地震前兆台网区别最大的地方。掌握了本书的内容,对于掌握数字化前兆台网的正常运行是至关重要的。

参加本书编著的执笔人员有:付子忠等(绪言、第一章、第六章、附录1和附录2),周振安等(第二章、附录4),黄锡定等(第三章、第四章、第五章和附录3)。付子忠负责全书统编,周振安、赵刚负责全书编排和部分图件整理。

本书的编写过程中得到了中国地震局监测预报司领导,参加96-913-02科技攻关课题的同事,参加95-01-02项目的各省市自治区的工程技术人员的支持和帮助,在此一并表示感谢!

由于本书中涉及的内容广泛,在地震前兆台网中的应用也是崭新的,数字化地震前兆台网技术也在发展完善中,书中难免出现错误或不足,请关心我国前兆台网发展的专家、读者不吝指正。

编著者

2003年3月1日

目 录

绪 言	(1)
第一节 地震前兆观测	(1)
第二节 模拟地震前兆观测台网和数字地震前兆观测台网	(1)
2.1 模拟地震前兆观测台网	(2)
2.2 数字地震前兆观测台网	(2)
第一章 地震前兆台站数字观测技术	(4)
概 述	(4)
第一节 地震前兆台站数字观测系统的主要技术环节	(4)
1.1 地震前兆仪器	(4)
1.2 地震前兆台站现场总线	(10)
1.3 地震前兆数据采集	(13)
1.4 通信单元	(14)
1.5 时间服务	(16)
1.6 台站供电与避雷	(16)
1.7 台站软件	(17)
1.8 前兆通信控制协议	(18)
1.9 前兆数据格式、文件格式、文件名	(20)
1.10 信道更新和计算机网络应用	(20)
第二节 数字地震前兆台站的构成	(21)
2.1 台站结构的概念	(21)
2.2 主台型前兆台站	(21)
2.3 单纯主台型前兆台站	(23)
2.4 现场总线型子台	(24)
2.5 有线无人值守型子台	(26)
2.6 无线无人值守型子台	(27)
2.7 主台中的无线通信单元	(29)
第二章 地震前兆数据采集技术	(30)
概 述	(30)
第一节 地震前兆观测技术对数据采集器的基本要求	(31)
1.1 地震前兆数据采集器在前兆观测系统中的位置	(31)
1.2 前兆数据采集器的基本功能要求	(32)
1.3 数据采集器的指标要求	(34)
第二节 前兆数据采集器设计的关键技术	(35)

2.1	数据采集器的高精度设计问题及对策	(35)
2.2	低功耗设计问题及对策	(35)
2.3	系统的可靠性设计	(36)
2.4	与多种前兆传感器的接口问题	(37)
2.5	对地震前兆网络通信协议的支持能力	(37)
2.6	生产工艺问题	(37)
2.7	大数据量的存储问题	(38)
2.8	事件判别算法	(38)
2.9	整机结构安排及生产工艺问题	(38)
第三节	DSC-2 系列地震前兆数据采集器的设计	(38)
3.1	DSC-2 系列数据采集器的硬件设计	(38)
3.2	系统监控软件设计思路及功能说明	(61)
3.3	DSC-2 系列数据采集器的安装与调试	(71)
3.4	DSC-2 系列数据采集器的测试及故障分析处理	(76)
第四节	DSC-3 型地震前兆数据采集器	(89)
4.1	DSC-3 型数据采集的主要设计指标及功能要求	(89)
4.2	DSC-3 型数据采集器的硬件结构框图及工作原理	(89)
第五节	现场总线设备	(104)
5.1	地震前兆台站现场总线的构成	(104)
5.2	光隔离驱动器	(104)
5.3	现场总线的连接方法	(106)
第三章	地震前兆通信技术	(109)
概 述		(109)
第一节	前兆监测系统数据通信的技术要求和关键技术	(109)
1.1	满足前兆数据量的传送	(109)
1.2	通信的及时性与可靠性	(109)
1.3	通信联网	(110)
1.4	通信信道	(110)
1.5	通信协议	(110)
第二节	通信专用部件原理及应用	(110)
2.1	TYZ 型地震前兆台网中心有线通信单元	(111)
2.2	TK-1 型通信控制卡	(114)
2.3	TY-1 型地震前兆主台有线通信单元	(114)
2.4	TY-2 型地震前兆子台有线通信单元	(119)
2.5	TC-1 型地震前兆主台超短波通信单元	(122)
2.6	TC-2 型地震前兆子台超短波通信单元	(123)
2.7	安装调试及故障分析	(124)
第三节	时间服务用 GPS 接收机	(130)
3.1	指标与功能	(130)

3.2 安装与使用	(130)
第四节 地震前兆通信控制软件.....	(132)
4.1 安装及环境要求	(132)
4.2 功能介绍	(134)
4.3 软件使用	(135)
4.4 多路转换卡初始化软件	(156)
4.5 模拟前兆数据报送编辑软件	(158)
第五节 前兆数据的FTP和E-Mail传输.....	(162)
5.1 前兆数据的传输方式	(162)
5.2 FTP和E-Mail在前兆数据传输中的应用.....	(162)
第四章 地震前兆台站供电避雷和接地技术	(163)
概 述.....	(163)
第一节 供电和避雷的基本要求.....	(163)
第二节 供电技术.....	(165)
2.1 净化、稳压、安全可靠的交流供电技术和供电系统.....	(165)
2.2 稳压、连续的直流供电技术和供电系统.....	(166)
第三节 避雷技术.....	(167)
3.1 防直接落雷	(167)
3.2 防感应雷	(168)
第四节 接地技术.....	(169)
4.1 接地系统的施工	(170)
4.2 接地体的布局	(171)
4.3 地电阻的测试	(172)
4.4 接地装置的验收、维护和修理.....	(173)
第五节 供电避雷系统设备.....	(173)
5.1 DK-2A系列电源控制器.....	(174)
5.2 ZH-1型交流电源避雷箱.....	(178)
5.3 ZHDL-1型电话防雷器	(180)
第五章 地震前兆台站数据处理软件与技术系统集成.....	(182)
概 述.....	(182)
第一节 地震前兆台站数据处理软件.....	(182)
1.1 台站数据库和地震前兆台站数据处理软件功能	(182)
1.2 台站数据库的创建	(185)
1.3 数据入库	(189)
1.4 库结构查看及删除测项	(190)
1.5 系统日志管理	(192)
1.6 台站日志管理	(194)
1.7 打印报表	(201)
1.8 数据导出	(202)

1.9	曲线处理	(204)
第二节	前兆台站数字观测技术系统集成.....	(209)
2.1	集成设计的主要依据	(209)
2.2	系列化设备的分类及适用范围	(210)
第三节	前兆台站数字观测技术系统安装、调试与维护.....	(221)
3.1	前兆台站数字观测技术系统安装	(221)
3.2	前兆台站数字观测技术系统调试	(234)
3.3	前兆台站数字观测技术系统维护与故障处理	(236)
第六章	地震前兆数字观测台网.....	(240)
概 述		(240)
第一节	全国地震前兆数字观测台网.....	(240)
1.1	全国台网和中国地震局计算机网络	(240)
1.2	省际前兆数据交换	(242)
第二节	省级地震前兆数字观测台网.....	(242)
2.1	省级数字化前兆台网的网络拓扑结构	(242)
2.2	台网中心构成	(243)
2.3	前兆台网中心地震前兆数据库	(246)
第三节	台网中心数据处理服务软件.....	(247)
3.1	数据库操作	(247)
3.2	连接数据库	(249)
3.3	前兆信息表的建立	(250)
3.4	前兆数据入库	(255)
3.5	绘制前兆时序曲线	(260)
3.6	数据操作	(262)
3.7	数据库缺数统计	(266)
3.8	数据库缺数扫描	(267)
第四节	台网运行和产出.....	(268)
4.1	数字化地震前兆台网运行	(268)
4.2	台站运行和产出	(268)
4.3	台网中心运行和产出	(270)
第五节	分布式数据共享.....	(272)
5.1	前兆数据共享的方式	(272)
5.2	SQL Server6.5 复制.....	(273)
5.3	SQL Server6.5 安装.....	(275)
5.4	数据库复制举例	(284)
5.5	SQL Server 2000 的复制.....	(292)
附录 1	地震前兆观测系统接口约定	(306)
一、	地震前兆传感器与数据采集器的接口约定	(306)
二、	地震前兆台网通信协议	(306)

三、地震前兆数据文件分类及文件名约定·····	(314)
四、地震前兆数据文件中台站号码的约定·····	(319)
五、原始数据文件名中数据采集号的约定·····	(321)
六、原始数据文件名中页号的约定·····	(321)
七、前兆手段代码和手段代码缩写·····	(321)
附录 2 台网中心前兆数据库相关约定 ·····	(327)
一、各省前兆台网中心 Win NT 域名称、计算机名 ·····	(327)
二、前兆数据库中信息表结构约定·····	(329)
三、前兆数据库中数据库表结构·····	(333)
附录 3 前兆台站数字观测系统的工程设计举例 ·····	(335)
一、什么样的设计方案是合理的·····	(335)
二、工程设计的主要内容和步骤·····	(335)
三、工程实施的步骤·····	(341)
四、某综合台数字化地震前兆台站公用技术工程实施方案设计（设计举例）·····	(342)
附录 4 数字化基础知识 ·····	(348)
一、集成电路基础知识·····	(348)
二、模拟-数字转换器 ·····	(356)
参考文献 ·····	(369)

绪 言

第一节 地震前兆观测

国际上相当重视地球物理场观测,并十分关注与地震关系的研究。比较知名的观测台网有 INTERMAGNET 地磁台网,澳大利亚地磁台网,日本形变观测台网、GPS 观测网,美国圣安德烈斯试验场台网,希腊的地电台网(VAN)等。从技术上看,这些台网都使用了数字化观测仪器,使用电话拨号、卫星或超短波无线通信方式收集数据,这些数据一般都集中在相关研究机构里进行管理,并在科研人员中进行交换。有些数据可以从因特网上得到。例如日本的地形变观测由京都大学管理,火山观测、地磁、地下水由东京大学管理,GPS 由国土地理院管理,而地震预报由气象厅牵头管理等。总之国际上这些台网都有很强的学科研究方向,兼顾地震预报研究,但都不称为地震前兆台网。

我国自 1966 年邢台地震后,开始进行大规模地震前兆观测,全国范围内建成了 400 多个省级地震前兆观测台站和一批地方地震前兆观测台站;研制了一批地震前兆观测仪器并在前兆台网中使用;取得了地震前兆台网的建设和运行管理经验;取得了大量观测资料,在地震预报实践中发挥了重要作用。从邢台地震开始到 20 世纪 90 年代中期,是我国模拟地震前兆观测技术蓬勃发展的时期。

我国第九个五年建设计划期间,国家对地震前兆观测技术的研制和数字化地震前兆台网建设给予了重大支持,独立自主设计的“中国数字地震前兆台网”,结合中国防震减灾需求和分省管理的实际需要,将前兆台网设计成数字化、综合化,以省为单位管理,全国联网共享数据的方式。在数字化水平、多种手段综合观测,为预报研究和防震减灾任务服务等方面,有重大进展。实际观测表明,中国数字化前兆台网在运行自动化水平、数据连续率和技术上达到了国际同类台网的先进水平。

可以说,世界上没有哪一个国家像中国这样重视地震前兆观测和地震预报的研究了。

第二节 模拟地震前兆观测台网和数字地震前兆观测台网

地震前兆观测台网由观测区域内若干个地震前兆观测台站组成,每个地震前兆观测台站安装了若干套地震前兆观测仪器对不同的前兆量进行连续观测,所有这些台站由区域内的一个部门进行统一管理。由于观测区域的不同因此存在着不同的地方性地震前兆观测台网,其中包括省(市、自治区)地震前兆观测台网等。这些前兆观测台网之间通过数据交换共享观测数据完成各自的地震监测预报任务。各省(市、自治区)地震前兆观测台网共同组成了全国地震前兆观测台网。

2.1 模拟地震前兆观测台网

模拟地震前兆观测台网的主要技术特征是：地震前兆观测台站使用的前兆观测仪器是模拟式仪器，观测工作必须有人参与，例如处理曲线、调整量程、录入数据、报送数据等。

我国自 1966 年邢台地震以来，建设的就是模拟地震前兆观测台网。这个台网在 30 年的时间里取得了突飞猛进的发展，研制、使用了数十种地震前兆仪器，包括使用电子电位差计进行模拟划线记录的伸缩仪、水管倾斜仪、体积式钻孔应变仪、多分量压容应变仪、钻孔倾斜仪，使用照相记录的金属水平摆倾斜仪、石英摆倾斜仪、重力仪、感应磁变仪、地磁偏角仪，纯机械自动记录的断层活动测量仪，使用专用划线记录器的浮子式水位仪，人工观测的视电阻率仪、压磁地应力仪、水氡仪、水汞仪，短水准仪等。80 年代研制了一批技术先进的新型前兆观测仪器，不仅主要技术指标有了重大进展，在记录方式上也有了很大进步，包括数字式现场打印记录的地热前兆观测用数字式温度计、数字打印记录的地电阻率仪、数字打印记录的电容式钻孔差应变仪、带电涡流传感器的划线记录石英摆倾斜仪、改进的数字记录的质子旋进式磁力仪等。

到 90 年代中期，我国模拟地震前兆观测台网的台站已遍布全国各地，建成了 400 多个专业地震前兆台站，这些台站有 1700 多台前兆仪器，形成了一定的监测能力。

我国模拟地震前兆观测台网在 30 多年里积累了大量观测数据，为我国地震预报研究提供了丰富的观测事实，在前兆观测方法研究、前兆仪器研制方面积累了许多宝贵的经验。

这些仪器的共同特征是使用模拟的、人工的记录方式，当时的一批先进的数字式前兆仪器可以在台站自动打印记录，但仍需人工录入数据。模拟记录技术决定了在台站要有较多的台站观测管理人员；数据产出量不大，信息量小，每天每个分量只有 1 组观测数据，自动记录仪器可以得到 24 组数据；人工读数、量图、绘图工作量大，数据处理速度慢，需要不同前兆专业人员管理；信息传送时间延迟，不利于临震预报；模拟方式数据处理困难，不利于数据共享，也不利于综合分析研究等。90 年代初，模拟记录技术带来的问题逐步显现，前兆台网发展速度减慢，越来越不能适应地震预报任务和地震预报研究对前兆观测的需求。

2.2 数字地震前兆观测台网

数字地震前兆观测台网的主要技术特征是地震前兆观测台站使用的前兆观测仪器是数字式仪器；观测工作自动进行，数据量大幅度增加，精度提高；观测数据可以通过仪器的通信口传送到计算机，台站的前兆仪器可以集中管理，所有台站可以在前兆台网中心管理下，组成遥测台网；各台站的观测仪器产出的数据可以由前兆台网中心自动收集、自动处理，数据传输更及时；观测数据由数据库管理，可以实现更广泛的数据共享；前兆数据处理也完全在计算机中使用专用的软件来完成。

数字化地震前兆台网是使用全新技术构建的、不同于模拟地震前兆台网。这些技术包括：

(1) 数字化的地震前兆观测仪器：首先要提高前兆仪器的精度、稳定性和可靠性，先进的传感器技术的引用、高精度 A/D 转换器的使用、智能处理技术的运用，使前兆仪器的精度指标、分辨率指标、稳定性指标、可靠性指标都有一定程度的提高；由于单片机、微处理器的运用，使前兆仪器的功能指标大幅度提升。可以很方便地管理采集测量过程，提高采样率；可以很方便地采集多个通道的前兆数据；可以很方便地配备打印口连接打印机，打印观测数

据或直接绘制观测曲线；可以很方便地配备通信口（例如 RS-232C 串行通信口）实现与计算机的通信，也可以外接 MODEM 实现远程通信、遥测组网等。这些功能是模拟前兆仪器所不具备的，数字化地震前兆仪器大大提升了前兆观测技术的水平。

(2) 数据通信技术的应用：摆脱信函、电话语音、电报、电台等落后的报送前兆数据方式，直接从观测仪器得到观测数据然后由数据库管理，是地震前兆数据通信的任务。数据通信技术的应用，可以大大提高数据通信的可靠性、减少传输错误、减少传输时延、提高效率，也为使用多种通信信道实现地震前兆台网的遥测组网奠定了基础。

(3) 系统集成设计和遥测组网技术的实现：为了实现地震前兆观测台网的自动组网遥测，必须对数字化地震前兆台网进行系统集成设计。集成设计的内容包括：前兆台站中前兆仪器的集成联接方法、前兆仪器与传感器的接口界面、前兆仪器的通信接口界面、数据通信信道的管理和切换、时间服务、供电和避雷等。通过前兆台网的系统集成设计，使建成的数字化地震前兆台网能按预想的工作方式自动工作，更便于运行管理，最大限度的提高工作效率和提高观测质量，提供更丰富的观测信息，更及时的获得观测数据，更大范围实现数据共享。这些都是模拟观测台网不具备的功能，这些功能大大提高了地震前兆台网的能力和水平。

(4) 地震前兆数据库的设计与实现：地震前兆台网每天都要产出大量的观测数据，供给很多人使用，大量的数据不使用数据库管理是不可想象的。地震前兆数据库的设计与实现，可以及时地将观测数据入库，在计算机网络上（局域网和因特网）实现数据共享；各省分析预报中心的分析预报人员和研究人员使用数据库的数据就像使用自己计算机上的数据一样方便，分析会商会上，不同学科的预报人员使用数据库的数据进行综合分析会商没有任何障碍。数据库技术的应用极大地方便了数据的使用，促进了地震预报科学水平的提高。

(5) 新型地震前兆通信处理软件的研制：在数字化地震前兆台网中全新的地震前兆通信软件与台网硬件结合，能高效地完成台网的运行管理，减少通信环节，及时发现台网故障，保证台网的正常运行；新型地震前兆数据处理软件与数据库紧密结合，使数据处理水平大大提高，为深入研究地震前兆现象和前兆机理提供了极大的帮助。

总之，大量新技术的引入，一定会使数字化地震前兆台网以崭新的面貌出现，会以比模拟地震前兆台网更强大的功能为地震监测预报提供更丰富的信息。

第一章 地震前兆台站数字观测技术

概 述

数字化地震前兆台站使用现代电子技术、数据通信技术、现代传感器技术对传统模拟地震前兆台站进行改造,使地震前兆台站在性能上、功能上得到了巨大的提升。在设计上解决了:

- (1) 提供电压、电流、频率量和 RS-232C 接口前兆仪器接入能力;
- (2) 综合形变、电磁、流体学科观测的思想和实践;
- (3) 集中控制管理能力;
- (4) 无人值守能力;
- (5) 前兆传感器、数据采集、时间服务、现场处理、数据通信、供电和避雷、星型组网的系统设计;
- (6) 模块化设备组合适用于不同结构前兆台站。

本章集中讲解数字化前兆台站中使用的关键技术,这对深入理解数字化前兆观测技术是非常重要的。

第一节 地震前兆台站数字观测系统的主要技术环节

1.1 地震前兆仪器

1.1.1 地震前兆仪器分类

从地震预报研究的角度看,一切服务于地震预报研究的仪器都可称为地震前兆仪器,例如测量地震波形的地震仪,对地震观测的空间观测仪器如卫星远红外观测、GPS 观测仪,前兆台站定点观测仪器等。本书仅涉及前兆台站定点观测仪器。前兆台站定点观测仪器可以从不同角度进行分类。

按测量对象分类,地震前兆仪器可分为测量地磁场的质子旋进式磁力仪,磁通门磁力仪和地磁倾角偏角仪(DI 仪);测量大地电场的地电场仪;测量大地电特性的地电阻率仪;测量地应变场分量的伸缩仪,水管倾斜仪,垂直摆倾斜仪,钻孔倾斜仪,体积式应变仪,钻孔应变仪;测量断层活动的断层活动自动测量仪;测量地下流体动态变化的钻孔水位仪,微量气体测量仪;测量地下温度变化的地热观测仪等。

按记录方式分,有人工观测记录前兆仪器,例如水准仪,早期的电感地应力仪,DDC-2A 电阻率仪等;有光记录前兆仪器,例如早期水平摆倾斜仪、感应磁变仪、重力仪等;有模拟划线、打点自动记录仪器,在台站可以得到曲线记录,例如伸缩仪、水管倾斜仪等;有现场打印的数字式前兆仪器,例如用于地热观测的数字式温度计、地电阻率仪等。

我国在“九五”计划期间研制了一批数字记录、RS-232C 串口通信的前兆仪器，例如 SZW-1A 型数字式温度计（V2000 版，用于深井地热观测）、LN-3 型水位仪（用于水位观测）、磁通门磁力仪（用于地磁相对观测），三分量质子旋进磁力仪（用于地磁场分量观测）、ZD-8B 型地电仪（用于地电阻率观测）、ZD-9 型地电场仪（用于大地电场观测）等。

随着地震前兆观测技术的深入发展，新的地震前兆仪器也将不断地被研制出来。

1.1.2 地震前兆仪器的主要技术指标

1. 分辨率

分辨率是数字仪器最低位 1 个字代表的被测量大小，也是仪器可观测到的最小被测量的变化。例如温度传感器的分辨率是 0.0001°C ，水位传感器的分辨率是 1mm 水位变化，应变仪的分辨率是 1×10^{-9} 应变，地磁仪器的分辨率是 0.1nT 等。

但这并不意味着无限制地提高二次仪表的分辨率就可以提高前兆仪器的分辨率。前兆仪器的可靠分辨率由前兆传感器的稳定性、噪声制约。

2. 灵敏度

单位被测量变化引起的传感器输出的变化为灵敏度。例如测量地热前兆的温度传感器的灵敏度约为 $1000\text{Hz}/^{\circ}\text{C}$ ，水位传感器的灵敏度为 0.2mV/mm 水位变化等。

3. 精度

测量的准确程度，可用绝对精度或相对精度表示。例如温度传感器的绝对精度是 0.03°C ，水位传感器的相对精度是 0.1%。有关标准把精度分成若干等级加以管理。

精度指标必须用计量手段，由上一级标准检定给出。精度指标是在一定条件下的精度，例如计量仪器在温度范围 $(20 \pm 1)^{\circ}\text{C}$ 保证精度，地震前兆仪器保证精度的温度范围不应小于 $0 \sim 40^{\circ}\text{C}$ 。脱离该条件，精度指标不能保证。另外，一次检定测试给出的精度只能保持一段时间内有效（例如 1 年），超过该时间段，必须重新检定。有效期的长短由仪器的长期稳定性指标决定。

4. 精密度

对不变的被测量对象进行连续多次测量，可用均方误差表示测值的分散程度，这是由偶然误差决定的。设计合理的实验测试方法测量仪器的精密度，是检验仪器分辨率指标的最有效方法，即所测试的精密度值与仪器分辨率值相当，则给定的分辨率是可信的。

5. 稳定性（漂移）

仪器精度指标随时间或环境条件变化的程度代表仪器的稳定性或漂移。有漂移或稳定性不够好的仪器在测量不变的被测量对象时，其测值会随时间向一个方向漂移，或随环境条件（例如温度）变化而正相关或负相关的变化，前者称时间漂移或时间稳定性，后者称温度漂移。

时间稳定性可分为长期稳定性和短期稳定性，依测量目的或方法不同“长期”或“短期”的尺度也是不同的。

地震前兆仪器用于地震前兆观测，最重要的技术要求是高稳定性、高可靠性。

高稳定性是对地震前兆仪器最重要的要求，这是由地震前兆观测的基本要求决定的。仪器精度指标随时间或环境条件变化的程度代表仪器的稳定性或漂移。

地震前兆观测是在前兆仪器的整个寿命中连续不断进行的（可能在 10 年以上），在仪器连续产出的数据中，既包含被测对象的变化（这其中可能包含地震前兆信息），又包括仪器自

身指标随时间而发生的变化(时间漂移),这两种变化迭加在一起,为提取被测对象的变化(这其中可能包含地震前兆信息)带来了困难,甚至是难以识别的。因此对前兆仪器提出严格的稳定性要求是必要的。时间稳定性指标可分为短期稳定性和长期稳定性,这里的“长期”和“短期”与前兆异常持续时间有关,一般“短期稳定性”可指1天至1个月,在临震前兆异常判别中有重要作用;而“长期稳定性”可指1个月至1年甚至10年,在中短期地震前兆异常判别中有重要作用。

温度漂移与被测对象的变化(这其中可能包含地震前兆信息)同样叠加在一起,当温度漂移较大时,将在观测数据中增加日周期和年周期变化,为异常识别带来麻烦。

温度稳定性指标可以通过温度实验的方法给出。

时间稳定性指标可以通过定期检定的方法给出。有的仪器长期稳定性指标很难直接测出,需要使用比较复杂的分析方法加以判断。

6. 稳定性和分辨率的关系

被测量发生和分辨率大小相同的变化,仪器可以测到,但若这个变化是在很长的时间里才完成,这时仪器的漂移已经大于分辨率的值,也就是说漂移已起主要作用,这时不能说仪器测到了这个变化。所以分辨率也和稳定性有关。地热观测仪器的短期稳定性若为 $0.0001^{\circ}\text{C}/\text{d}$,则在24小时内观测到的大于 0.0001°C 的温度变化是可靠的而不是仪器自身的时间漂移;地热观测仪器的长期稳定性若为 $0.01^{\circ}\text{C}/\text{a}$,则在1年内观测到的大于 0.01°C 的趋势性温度变化是可靠的而不是仪器自身的时间漂移。

7. 稳定性和精度的关系

精度是通过定期对仪器的检定认定的,由于仪器存在漂移,仪器必须定期检定,或者通过检定确定仪器的漂移量,这是确定仪器长期稳定性指标的重要方法。

长期稳定性指标决定了仪器的检定周期,当仪器漂移量大于精度指标时,必须再次检定,若不检定必须降低精度等级使用。

8. 分辨率与精度的关系

分辨率与精度指标不同是经常存在的。通常分辨率指标优于精度指标,一般不会出现精度指标优于分辨率指标的情况。例如:数字电压表的精度为 0.003% ,而分辨率为7位半(数字电压表的分辨率用位数表示)。在地震前兆观测中,这个现象也是存在的,例如:地形变观测分辨率为 10^{-9} 应变,而标定精度为 1% ;地热观测温度分辨率为 0.0001°C ,而温度精度为 0.03°C 等。出现分辨率指标优于精度指标的情况,一般是由于检定设备的精度指标低于分辨率指标造成的。例如 0.0001°C 分辨率的被检定温度计,检定时使用的标准温度计精度是 0.01°C ,则给出的被检温度计的精度不会超过 0.03°C ;伸缩仪的分辨率为 1×10^{-9} 应变,但标定装置的精度只有 1% 等。

9. 观测精度

观测精度是一段时期观测数据的均方根误差,这个误差由仪器分辨率、短期稳定性和被测量的环境变化共同决定的。因此,一台高分辨率、高稳定性的仪器,在稳定的被测量环境下观测能得到高的观测精度,而同一台仪器在不稳定的被测量环境下观测得到的观测精度就低。

10. 精度指标表述中容易混淆的概念

精度是由误差决定的,而误差又分为系统误差和偶然误差。不同误差对精度的影响,使