

DIZHENG YIQI GAILUN

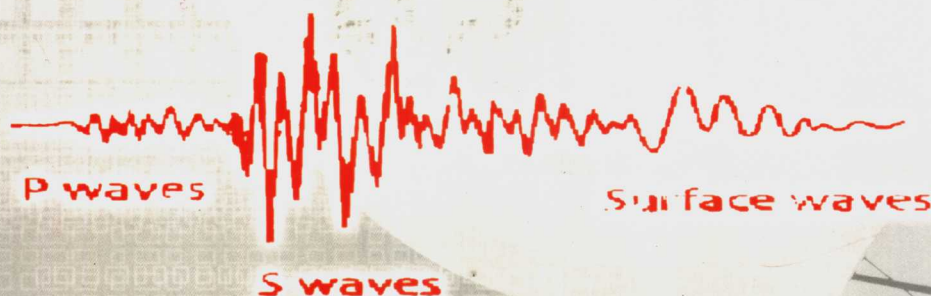
地震仪器概论

[挪威] 吉恩斯·哈佛斯可夫

编著

[西班牙] 杰纳德·阿格斯尔

宋彦云 赵建和 编译
陈会忠 刘瑞丰 校核



安徽大学出版社

地震仪器概论

编 著	[挪 威]	吉恩斯·哈佛斯可夫	
	[西班牙]	杰纳德·阿格斯尔	
编 译	宋彦云	赵建和	
校 核	陈会忠	刘瑞丰	
参加人员	王凤霞	戚 浩	张学应
	戈 宁	尹晓明	张有林
	凌学书	张佑龙	崔卫兵
	李志平	童国林	徐 燕

安徽大学出版社

图书在版编目(CIP)数据

地震仪器概论/(挪)哈佛斯可夫,(西)阿格斯尔编著;
宋彦云,赵建和编译. —合肥:安徽大学出版社,2005.12
ISBN 7-81110-090-8

I. 地... II. ①哈... ②阿... ③宋... ④赵...
III. 地震仪器—概论 IV. TH762.2

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2005)第 141910 号

地震仪器概论

[挪 威] 吉恩斯·哈佛斯可夫
[西班牙] 杰纳德·阿格斯尔

编著 赵建和 编译
宋彦云

出版发行 安徽大学出版社
(合肥市肥西路3号 邮编 230039)
联系电话 总编室 0551-5107719
发行部 0551-5107784
电子信箱 ahdxcps@mail.hf.ah.cn
责任编辑 高 兴
封面设计 孟献辉
经 销 各地书店

印 刷 合肥市创新彩印厂
照 排 合肥述而文化传播有限公司
开 本 850×1168 1/16
印 张 15
字 数 352 千
版 次 2005 年 12 月第 1 版
印 次 2005 年 12 月第 1 次印刷

ISBN 7-81110-090-8/T·89

定价 38.00 元

如有影响阅读的印装质量问题,请与出版社发行部联系调换

前 言

由国际著名地震学家吉恩斯·哈佛斯可夫、吉纳德·阿格斯尔编写的《地震仪器概论》(Instrumentation in Earthquake Seismology)一书,可以说是当今国际地震观测技术最新发展和技术成果应用的精髓,它从理论和实际地震观测应用两个方面系统地叙述了地震仪器的基本工作原理,尤其是阐述了宽频带地震计在现代地震学中的真正意义和科学价值。

“十五”期间,为提高整体防震减灾能力和地震监测现代化水平,我国已开始大规模地实施中国数字地震观测网络系统工程建设,在全国建设几十个区域宽频带数字地震台网。因此,这本书的中文版问世,对促进当前我国数字地震观测技术新发展和“十五”中国数字地震观测网络系统工程建设具有现实的指导意义。在得到哈佛斯可夫教授热心支持和 Geotech 公司莱尼·奥塞斯库博士热情帮助以及美籍华人王德明先生指导下,同时,得到国内地震观测技术领域的一些资深专家和老师精心审阅和指导,我们加班、加点,在尽可能短的时间里将其翻译出来,并尽可能做到字句准确,既基本反映作者原来思想,同时使国内同行能够读懂。但由于我们的水平有限,加上时间仓促,难免会有不准确甚至错误之处,希望读者能给我们及时指出。

在这里,我们再一次衷心感谢那些帮助和支持我们完成这项译文工作的老师、专家和同行们。

联系 Email: jianhe 560282@sina. com

yanyun@seis. ac. cn

译 者

2005 年 10 月 25 日

目 录

第 1 章 绪论	1
1.1 地震计	3
1.2 地震记录仪	5
1.3 台站与台网	7
1.4 台阵	8
1.5 仪器校正与标定	8
第 2 章 地震计	10
2.1 惯性地震计	11
2.2 地震计频率响应	12
2.3 地震计频响与谱变换的选择	15
2.4 速度型地震计	16
2.4.1 初动约定	18
2.5 仪器响应曲线与不同表达形式	18
2.6 阻尼系数	22
2.7 地震计结构	23
2.7.1 伍德·安德森短周期扭转式地震计	24
2.7.2 长周期地震计	25
2.7.3 Garden-gate 摆	25
2.7.4 倒立式摆	26
2.7.5 拉科斯特摆	27
2.8 地震计标定线圈	29
2.9 有源地震计	29
2.10 加速度计	30
2.11 速度型宽频带地震计	32
2.12 扩展系统频响、反向滤波与负反馈	33
2.13 地震计自身噪声	39
2.14 地震计参数	46
2.14.1 频率响应	46
2.14.2 灵敏度	46

2.14.3	地震计动态范围	47
2.14.4	地震计线性度	48
2.14.5	地震计交叉干扰	48
2.14.6	地震计增益与输出	48
2.15	地震计举例	49
2.15.1	频率 4.5Hz 勘探型检波器	49
2.15.2	短周期地震计 型号 L4C	49
2.15.3	加速度计(Kinemetrics 公司浅层仪)	49
2.15.4	宽频带地震计(Streckeisen 公司 STS-1 与 STS-2 地震计)	50
2.15.5	负反馈地震计(Lennartz 公司 LE-3D 型)	51
2.15.6	井下地震计	51
2.16	地震计参数概述	52
2.17	怎样选用地震计	54
第 3 章	地动噪声	57
3.1	噪声观测	57
3.2	噪声功率谱	59
3.3	功率谱与测量幅值之间关系	59
3.4	地动噪声源	63
第 4 章	模数转换器	64
4.1	一个模数转换器举例——Flash ADC	65
4.2	ADC 的一般基本特性	66
4.3	一种典型模数转换器(ADS)~斜率式模数转换器	68
4.4	多通道模数转换器(ADC)	69
4.5	大动态模数转换器	70
4.6	过采样技术在改善动态范围方面应用	70
4.7	$\Sigma\Delta$ 数模/模数转换器(SDADC)	73
4.8	假频信号	78
4.9	去假滤波器	78
4.10	模数转换器一些实例	82
第 5 章	地震记录仪	84
5.1	模拟放大器	84
5.2	模拟滤波器	86
5.3	模拟记录	89
5.4	数字记录仪	91
5.5	数字化	92

5.6	数据时间标志	93
5.7	存储介质与环形缓冲器	95
5.8	地震触发器	96
5.9	触发参数与设置简述	99
5.10	通信与数据下载	101
5.11	公用数据接收系统	103
5.12	数据采集仪应用	104
5.13	新一代数据采集记录仪	105
5.14	数据采集记录仪举例	106
5.15	数据采集记录仪列表	109
5.16	如何选用数据采集记录仪	111
第6章	仪器频率响应	113
6.1	线性系统	114
6.2	谱分析与傅里叶变换	117
6.3	噪声功率谱	121
6.4	时域与频域仪器响应校正	122
6.5	频域响应函数一般表达式	124
6.6	数字去假滤波器	126
6.7	仪器校正和极性	127
6.8	联合响应函数曲线	128
6.9	确定响应函数信息的一般方法	131
第7章	地震台站	137
7.1	地震台站地理位置	137
7.2	台址选择与台基噪声测量	138
7.3	地震台仪器安装	141
7.3.1	一般情况	141
7.3.2	举例	141
7.4	地震计安装	142
7.4.1	宽频带地震计安装	143
7.4.2	井下地震计安装	146
7.4.3	理想超长周期(VLP)台站应该怎样?	147
7.5	流动台架设	148
7.6	雷电与过压保护	149
7.7	电源	150
7.7.1	交流供电	150
7.7.2	电池组	151

7.8 其他电源	154
7.8.1 太阳能供电	154
7.8.2 风力发电	156
第8章 地震台网	158
8.1 地震台网的用途	159
8.2 台网布局	160
8.3 实际台网和虚拟台网	162
8.4 实际地震台网	163
8.5 虚拟地震台网	165
8.6 如何选建实际地震台网与虚拟地震台网	169
8.7 地震数据传输	169
8.8 模拟数据传输	170
8.9 无线信道	171
8.9.1 单双工信道	171
8.9.2 点对点或点对多点无线网络	173
8.9.3 扩频通信	173
8.9.4 无线信道构成与设备	174
8.9.5 无线中继站	177
8.10 电话与卫星	179
8.11 数字数据传输协议与应用举例	180
8.11.1 连续数据传输	180
8.11.2 TCP/IP 通信协议	181
8.11.3 地震数据压缩	183
8.11.4 地震数据纠错	184
8.11.5 地震数据传输与标时	184
8.11.6 通信与信号流程	185
8.12 地震台网举例	185
8.12.1 全球监测系统(IMS)	185
8.12.2 南加州地震监测台网(SCSN)	186
8.12.3 挪威国家地震台网	187
8.13 地震台网运行	188
8.13.1 实际运行	188
8.13.2 数据处理	189
8.14 如何建设地震台网	190
第9章 地震台阵	192
9.1 台阵基本布局	193

9.2	台阵传递函数	196
9.3	台阵仪器特性	197
9.4	遥测台阵	198
9.5	流动台阵举例	200
第 10 章	仪器标定与测试	202
10.1	测试设备与测试信号记录	202
10.2	地震计参数	203
10.2.1	地震计自振周期	203
10.2.2	地震计阻尼	205
10.2.3	测定标定线圈灵敏度	207
10.2.4	地震计输出初动与方位	208
10.2.5	谐波法测量频率响应	209
10.2.6	Lissajous 图形	211
10.3	地震计绝对标定法	212
10.3.1	振动台标定法	212
10.3.2	地面振动标定法	213
10.3.3	分段标定法	214
10.3.4	倾斜法测定加速度计灵敏度	215
10.4	标定脉冲的应用	216
10.5	采集记录仪	219
10.6	测量仪器自身噪声	221
附录一		224
附录二		227

第1章 绪论

地震学是与观测仪器紧密相关而又非同寻常的一门自然科学。然而,从真正意义上,地震学有实质性飞跃发展大约出现在20世纪初,或许还更早一些。这主要是当时研制出了高灵敏度地震观测仪与授时系统,使得地震定位得以实现。更重要的是通过准确地测量到真实的地面运动,为研究地震波的衰减规律提供了依据。同样,地震里氏震级大小测定也是依据地震图上记录到的地震地动位移来计算的。参阅(图1.1)。

地震定位能力与快速测定震级需要地震观测仪能够满足以下两个基本条件:①有精确的时间;②测定相应频率地震波形的记录与实际地面运动之间存在关系。

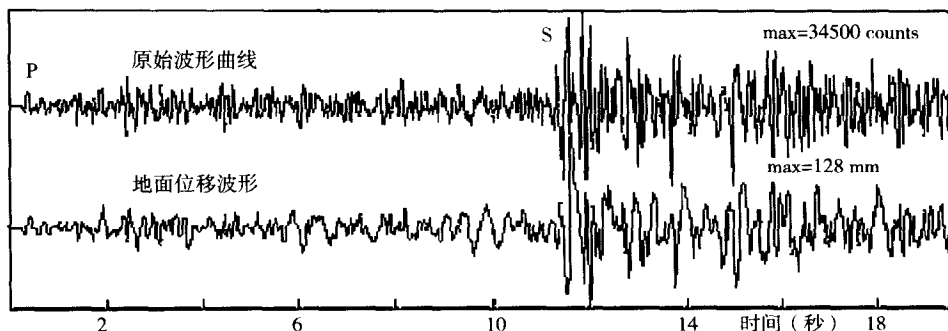


图 1.1

顶端原始波形是数字记录一个3.0级地震波形,震中距120km。最大幅值用数字描述(称为“康特数”)。下端记录波形是通过计算转换成的真实地动位移信号(单位nm),可以用于计算震级。震中距与P波与S波之间到时差成正比例。因此,若有3个台站记录就可以进行地震定位。上述是固有周期1秒的速度型地震计记录波形。

通常情况,地震学家都希望能够获取到他们认同的地震数据,因此,他们希望地震观测仪黑匣子和数据处理软件都能够恰到好处地给出正确的地面运动,同时,也能顾及到一些更深层次的问题(图1.1),这与驾驶一辆轿车而没有更多时间去考虑轿车是如何工作的道理十分相似。结果,一旦轿车停下来或发生故障,就不知所措,地震观测仪工作情况也是如此。对一位尚未操作过地震观测仪的地震学家来说,掌握一些地震观测仪最基本的知识是有必要的。于是,他们使用几台地震仪获取不同地方的观测数据就能够计算出真实的地面运动。

目前,大部分地震观测仪是由一些非地震学家们安装调试与运行维护。因此,拥有一批熟悉、掌握地震观测仪器这方面的专业人群是十分必要的。所以说,地震观测仪器对地震学家并非是他们专长。

在地震学中有大量出版刊物都涉及观测仪器这个主题,并针对这个问题进行过专门论述,但是,有关地震观测仪器这方面的综合性书籍却寥寥无几。一本由Lee与Stewart

(1981)编写涉及微震台网专著对仪器方面进行过总体论述;早期的《地震观测实践手册》(威尔莫,1979)也仅是描述当时模拟地震观测仪,而且,有些内容已经过时;《新地震观测实践手册》(NMSOP,波尔曼等,2001)则是一本最新编写的有关地震仪器书籍,这本书的作者之一(JH)还是 NMSOP 的策划者,NMSOP 已涉及了许多有关地震观测仪器内容,但我们为什么还要写这本书呢?因为我们感觉到编写一本内容更广泛、更深层次涉及地震观测仪器的书是十分必要的。这本书是在 NMSOP 基础上并把所有问题集中在一本书里。编写一本使人们容易掌握地震观测仪器基本原理所必需的基础理论工具书。可以说,没有 NMSOP,编写此书就十分困难。然而,地震观测仪器的目标是什么?实际上,是观测真实的地面运动,这一点十分重要。然后进行波形记录并将数据传输到一个台网中心。虽然人们可以观测到地球内部十分微弱的地震活动,但是,地震学家更多是使用表面位移(单位米)。地震发生时,一个断层出现 2 米的位移,我们就说地表面发生了 2 米位移。另一方面,力与地表面峰值加速度之间有一定的关联,所以,工程师们认为加速度(米/秒²)就是常用的物理量,因而,经常被引用作地动测量单位。

我们知道,地震振幅变化范围是非常之大的。然而,地球的背景噪声(尤其在高频端)是可以确定测量地动信号最小幅度的下限,在频率 1Hz 处,典型的地动位移值大约是 1 纳米(参阅第 2 章),最大位移可达 1 米,这时最大动态范围达 10^9 。当然,人们最感兴趣的还是观测信号频带宽度,也就是频率观测范围,从 $10^{-5} \sim 1000\text{Hz}$ (参阅表 1)。具有挑战意义的是希望人们研制生产的地震观测仪器(包括地震计与记录器),至少能够覆盖较宽的频率范围和有较大的动态范围。

表 1 震源产生不同地震波典型的频率范围

频率(Hz)	测量类型
0.00001~0.0001	固体潮
0.0001~0.001	地球自由震荡波
0.001~0.01	地震面波
0.01~0.1	面波,P 波和 S 波,震级 $M>6$
0.1~10	P 波和 S 波,震级 $M>2$
10~1000	P 波和 S 波,震级 $M<2$

早期,模拟观测仪器通常用于记录一种典型的地面运动,比如速度。一般情况下,地震学家更希望记录到微小地动位移而不是地动速度信号,这容易分辨震相。同时,地动加速度峰值与结构地震震源直接相关,所以,工程师们经常使用是强地面运动加速度。当今,由于地震计与数据记录技术系统快速发展,微震观测与强震观测之间的差异已几乎不存在,微震记录仪能够记录强地面运动,强震记录仪也能像微震仪那样灵敏。

当前,数字地震记录已很容易把加速度量转换成速度量,(参阅图 1.2)。

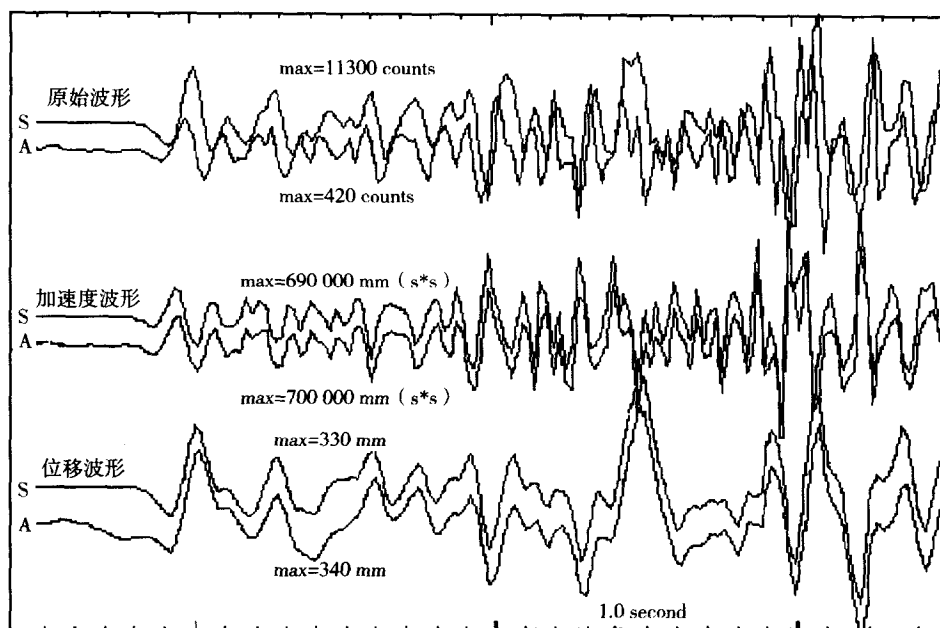


图 1.2

此图为位移与加速度记录波形图。图中地震波是 P 波信号最初几秒时间记录,图 1.1 中所示,(S)是地震计记录波形,(A)是加速度计记录波形。顶端波形为原始记录(单位康特)。地震计输出与加速度计输出波形十分相似,但高频部分幅度不同,中间波形是加速度信号,底端波形是位移信号(频带范围 1~20Hz),这些波形十分相似,幅度基本相同。上述例子表明,采用现代观测仪器和数据处理技术,加速度计与速度型地震计可以获得相同的效果。

1.1 地震计

在参考文献《地球浅论》一书中,阐述的有关地震观测方法所谈及测量地面运动都是以地震计安装位置(也就是地面)为参考点的,目前,地震计大多是基于悬挂质量块惯性工作原理,就是说,在外力作用下质量块产生瞬时运动响应。地面与悬挂质量块之间的相对运动是地面运动的函数(参阅图 1.3),这个摆动运动系统有一个谐振频率 f_0 ,即,

$$f_0 = \frac{1}{2\pi} \sqrt{k/m} \quad (1.1)$$

公式(1.1)中 k 表示弹性系数, m 表示摆锤质量。当地面位移频率接近谐振频率时,就会产生较大的相对运动(取决于信号衰减程度);当然,当摆动低于谐振频率时,相对位移就变小(参阅第 2 章)。

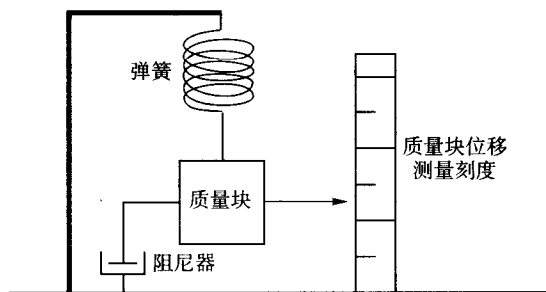


图 1.3

描述惯性地震计的工作原理。阻尼可以是机械的,通常使用是电磁式。

如果观测场地并非是一个十分稳定而又僻静的地方,那么,安装的地震计会随着场地运动发生移动,因此,就不能直接测量地面运动位移与速度。根据惯性原理,若产生一个非零加速度运动,我们只能观测到地面运动。如果把一台地震计安装在行驶的火车上,我们只能测量到火车加速或制动过程。正如地震学家所说,不可能直接测量到地动位移,只有在测量到地动加速度后,进行两次数学积分后得到。相当低频率位移产生非常低的加速度。

$$\ddot{u} \propto f^2 u \quad (1.2)$$

在公式(1.2)中, u 为地动位移, f 为对应频率。我们知道,研制一台低频响应较好的地震观测仪相当困难,因此,要求一台地震计能够记录下全频段甚至到直流加速度是相当困难的,当然,记录到超低频位移就更困难了。近些年来,地震观测仪器研发工作已取得了很大的进展,现在,人们已研制生产出了低频响应好的地震传感器。

较早些时期,人们研制出的低频响应性能好传感器是一个机械式伺服系统,它采取多种方式获取一个较为理想的低频谐振频率。但是,要研制生产出一台自振频率的远低于0.03Hz的工作性能稳定的地震计在当时是不可能的。目前,机械式地震计自振频率一般在1.0Hz附近(短周期)。目前,测量较低频率信号地震计工作原理大多基于力平衡式加速度工作原理(FBA)。

在外力作用下,质量块会出现相应的变化,所以,地震计质量位移与外部加速度变化呈线性正比关系,甚至零频。正如第2章所述,这种线性正比关系不能完全对应谐振频率以上频率,这时地动加速度对应质量块位移与频率平方成反比。我们知道,组成一个(如一小质量块或硬弹簧,参阅公式1.1)高频振动系统十分容易,它可以借用弹簧悬挂质量块测量位移工作原理研制加速度计,其工作频率低于自振频率。在理论上,至少可以研制出机械式加速度计。现在的主要问题是测量质量块位移,低频范围的加速度实际上十分微弱。由于地动速度变化随频率升高而降低,零频时速度为零。速度换能器(输出电压与相对地面运动的质量块运动速度呈正比)并非是一个十分理想的选择,即使有一个恒定的加速度,我们也很难做到准确测量。今天,虽然已有人研制出一种特殊位移换能器,但仍然十分困难。地震学家们需要的是高精度度、大动态范围的信号转换器。不管怎样说,现在人们已经能够研制生产出高灵敏度、高精度的微型位移传感器了。也就是目前人们广泛使用的力平衡式传感器(图1.4)。

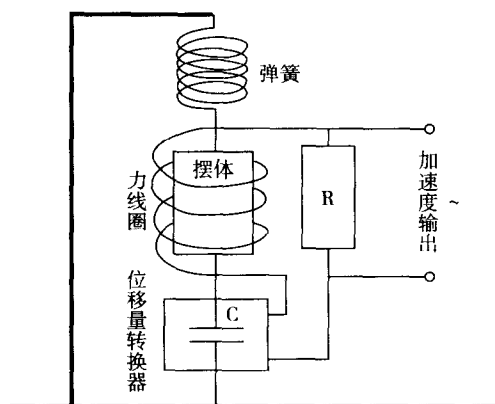


图 1.4

力平衡式加速度计工作原理。位移转换器通常是一个电容器 C , 电容量的变化反映质量块的位移变化。正比于位移转换器的输出电流使力作用在质量块上, 使其保持相对稳定。

力平衡式加速度计(FBA)有一个反馈线圈, 由于我们希望能够测量质量块运动最大加速度, 因此, 反馈线圈内就会存在一个与质量块惯性力大小相等、方向相反的电磁力。同时, 位移转换器也会发送一个电流到工作线圈和负反馈网络中的电阻 R 上, 电流的方向与质量块运动方向都相反, 产生的作用力始终阻止质量块运动。质量块的微小加速度变化会产生一个微弱的电流, 反之, 加速度增加, 电流增大。实际上, 变化电流与地动加速度呈线性正比, 所以, 我们测量电阻 R 上的输出电压就可以测出地动加速度。

目前, 差不多所有的现代强震观测仪和宽频带地震计(频响范围 $0.01 \sim 50\text{Hz}$)都是基于 FBA 工作原理。地震计若连接一个集成电路或接入一个反馈电路中之后, 地震计输出电压与速度变化将呈线性正比。根据惯性原理, 地震计电压输出必然会存在一个低频极限(零频处速度为零)范围, 而且, 这个频率极限范围大小由地震计的机械—电子质量因素确定。目前, 超宽频带地震计低频极限大约可达 0.0025Hz , 这已经比纯机械式地震计的极限频率低多了。由于质量块几乎处于静止状态, 因此, 基于 FBA 工作原理使地震计具有线性高的特点, 可以获得较大的动态范围。最好的这类地震计动态范围一般大致在 $10^6 \sim 10^8$ 之间。

总而言之, 自振频率在 1Hz 以上传感器大多数是机械式地震计, 基于 FBA 原理, 大部分加速度计与宽频带地震计, 由非常复杂的机械结构和许多电子元器件组成, 至今, 人们还是认为地震仪仍是一个黑匣子, 使用者对它的了解掌握甚少。在这里, 我们希望使用者尽可能仔细阅读一下第 10 章中有关地震仪标定章节的部分内容, 以便能够做一些地震仪的功能测试与检查。

1.2 地震记录仪

当前, 地震观测仪面临的新挑战就是既要完整记录地震波形又要确保记录波形质量, 不过, 由于模拟记录地震图既迅速又直观, 所以至今仍有一些人还在使用(图 1.6)。但是, 模拟记录的动态范围十分有限(对应 10^8 就是 200 倍)放大倍数, 同时, 模拟记录设备

购置和运行费用十分昂贵,已经很少再去安装使用它。而今,以模拟信号方式输出的模拟记录已寥寥无几,大都采取数模转换方式。

现在,除非地震记录技术可以适应于大动态与宽频带地震计的发展,否则,它难以对地震学的发展有很大帮助作用。近20年来,数字记录技术的发展几乎是与地震计的研发进展同步。模拟信号转换成数字信号就是对连续变化信号进行离散采样。见图1.5。

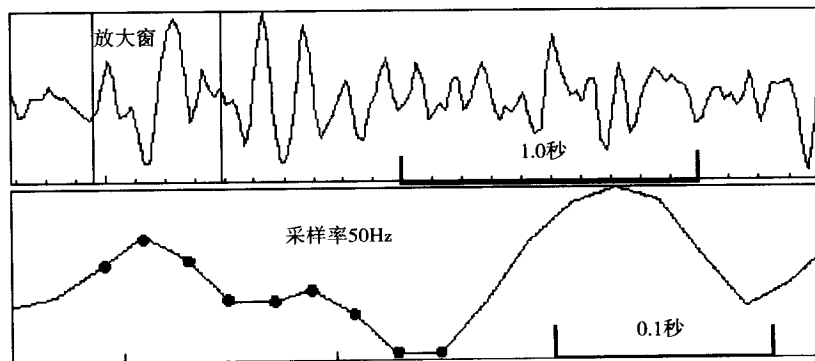


图 1.5

显示地震信号的数字化采样过程。顶端波形是低分辨率信号,在放大窗中,底部是高分辨率波形信号。在放大窗里,离散采样过程显而易见。采样点均用黑点标注。

数据采集器把连续变化的电压信号转换成数字,工作方式与一台数字电压表十分相似,不同之处是在一个幅度连续变化信号上每秒钟取样次数。根据采样图可以知道,两个采样点之间的信息会丢失,因此,人们希望数据采集后不会发生时间间隔的变化。从采样图上,进一步了解到数据采集器有两个基本参数:采样间隔(步长用时间表示)与分辨率(步长用幅值表示),一个步长表示数据采集器输出相应的一组数字。如果需拾取高频率信号,就应该提高采样率(采样率过高会影响系统增益),但是,采样率至少应是记录信号频率的2倍。用幅度表示步长取决于数据采集器的分辨率,它满足最小步长条件。性能最好的数据采集器一般分辨率可达100nV,其相应输出为1个数字。然而,一般情况下数据采集器动态范围至少应是多少呢?如果数据采集器输出1个数字对应真实输入信号(假设数据采集器自身噪声输出为零),那么,最大输出数字应该对应其最大动态范围。数据采集器有12位、16位和24位,它是用数字来描述数据采集器的输入值。12位转换器有 2^{12} 个转换台阶,24位转换器有 2^{24} 个台阶或依次表示为 $\pm 2^{11}$ 或 $\pm 2^{23}$,其动态范围分别为2048或 8.4×10^6 。目前,使用的数据采集器大都是24位的。但是,数据采集器输入端短路时,实际输出count数字并不等于零,这样数据采集器要达到24位性能就寥寥无几。因此,目前的数据采集器很难匹配到最好的地震计。虽然极少数数据采集器可以达到24位的性能,而大多数的24位数据采集器性能也只能接近21~22位动态范围水平。

从物理结构上来看,作为两个相对独立单元数据采集与数据记录实际上又是一个整体,记录部分尽管有些还使用了固态存储器,但现在已经变成硬盘,总的发展趋势就是采用功能愈来愈强大的计算机系统。为降低系统功耗,市场上已出现了一些微处理器单元。当前,地震观测技术的主流发展趋势就是需要研制生产新一代低功耗具有微处理器技术主板的PC机以及已标准化的高性能软件,如通信软件。这些软件已经可以替代生产厂

家研制的固定用于专用数据记录系统的软件。

自从用于记录数据的大硬盘问世以来,已不再存在大容量数据存储的问题,数据连续记录已经很容易地实现。通常情况下,所有的数据采集记录仪都有一个数据存储单元,主要用于分时方式的实时事件数据存储,即事件触发装置。观测系统的运行程序就是实时监控、检测和接收台站信号并判断是否有地震事件发生。

1.3 台站与台网

现在,我们把一个功能比较完善的观测系统用于野外监测。如果我们希望能够记录到1纳米微弱的地动信号,就不应该将地震计随意地安装在一个地方。因为除地表自然背景噪声外,在频率1Hz处的地动信号可能会出现大于1纳米的振动(参阅第3章),这时,我们就必须考虑存在其他噪声的干扰因素,如交通、风动等引起噪声。在一个台站确定安装地震计位置之前,必须对台基进行背景噪声测试与数据分析(参阅第7章)。高灵敏度地震计也会因工作环境温度变化引起的扰动产生严重的低频干扰,这一点对于宽频带地震计更需特别加以关注。一般情况下,短周期地震计的安装十分简单方便,而宽频带地震计的安装则十分费时费劲,在一些地方,由于地表噪声干扰原因还需要安装井下地震计。当然,另一种改善台站地震观测信噪比的重要途径是建地震台阵(参阅第9章)。

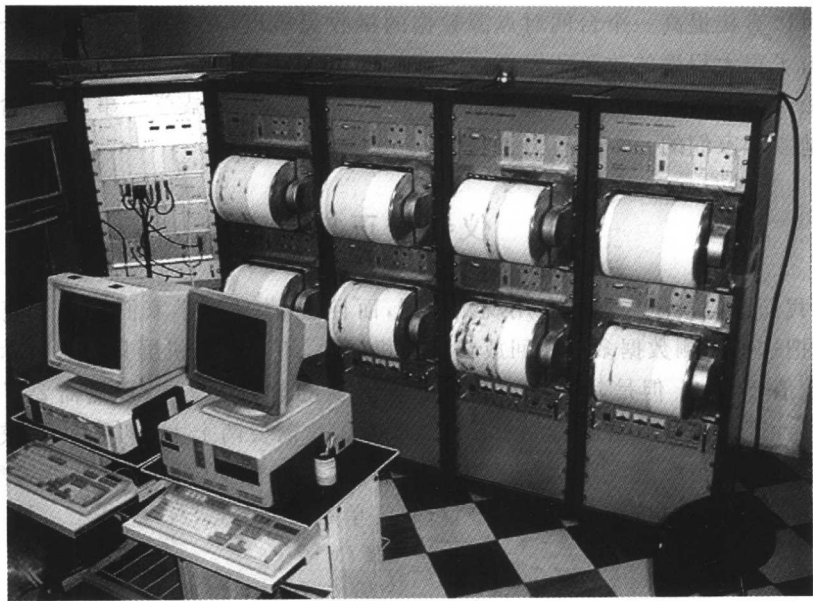


图 1.6

为美国安德鲁西地震台网记录中心,台网由模拟信号接收记录中心与模拟台站组成,台网中心采用PC机进行模拟地震信号数字化,事件触发存储在硬盘中。此外,数据记录以模拟波形存储在滚筒记录器上。照片中我们看到的是台网监视区域某处正发生一个震群的例子。滚筒记录方式使我们能够十分直观地观察到监测区域近期的地震活动情况。

通常情况下,一个地震台是不能当做台网进行地震定位的。但是,建一个地震台网的主要问题是台站的数据传输。目前,数据传输技术已经有了快速发展,它完全改变了我们过去建设地震台网的观念。早期认为,一个台网就是一个诸多紧密关联的观测系统,是一个由数百公里外模拟无线遥测台站组成的经典微震台网,就是把台站的模拟观测数据发送到台网中心进行数字记录(参阅图 1.6)。而当今正在建设的一些地震台网是采用数字传输方式。这时,未来台站的发展趋势将成为一个庞大计算机网络的独立节点,人们可以通过专用网络软件,把这些台站连接起来组成虚拟地震台网,这样的台网明显有别于以往的经典实时地震台网。在虚拟地震台网中,通信网络系统设计与台站自身建设是相对独立的。这时,台站数据传输完全基于无线超短波、卫星或公共数据传输信道网络。

1.4 台阵

一个地震台就是观测地面运动波传播时一个点的样本,而在一个区域布设一组地震台就是对这个监视区域的运动波进行取样,把全部采集的波形数据样本进行聚合处理,我们称这一组地震台就是一个“地震台阵”。线性结构台阵用于地震探测已有很长一段时间了,而目前的台阵主要是采用二维或三维处理方式,主要用于进行震源研究、地震波传播与地下结构探测等。

台阵可以直接提高一个台网对点源数据的接收灵敏度,台阵观测信噪比(SNR)比起单个台站有了很大程度的改善和提高。台阵的应用领域已在不断延伸,近几年来,从全球地震学与核试验监测到地方与区域性地震学研究,包括火山地震学。事实上,台阵观测已成为今天地震学家们的一个强有力工具。

1.5 仪器校正与标定

现在,我们已记录了大量的有用观测数据,而且,一些地震学家们也正在使用这些观测数据,并把这些观测数据多次地回放在计算机屏上,不过计算机屏只能显示波形最大幅度比如数值 23838。但是,我们希望知道的是真实的地面运动,我们更需要了解到真实地面运动与计算机数值输出之间存在着什么关系。这需要两个主要步骤:(1)获取地震计与数据采集器的真实参数,包括实验室的仪器标定参数,至少应有厂家提供的参考手册。(2)能够计算观测系统的响应函数 $T(f)$,可以简单定义如下:

$$T(f) = \frac{Z(f)}{U(f)} \quad (1.3)$$

f 为频率; Z 为记录信号; U 为真实地面运动。如果我们已知系统的响应函数 $T(f)$,就可以计算出真实的地面运动信号。但事情并非那么简单,因为系统的响应函数可以采取多种方法来确定,同时,又取决于观测数据格式与台网的数据处理系统,要得到一个真实的结果也并非容易之事。采用响应函数方法进行数据处理往往容易把问题弄混淆。图 1.1 与 1.2 描述的就是一个用仪器频率响应校正记录信号的两个例子。

如果人们完全采纳了本书中所叙述的方法,那么,地震学家们就可以通过在一个比较