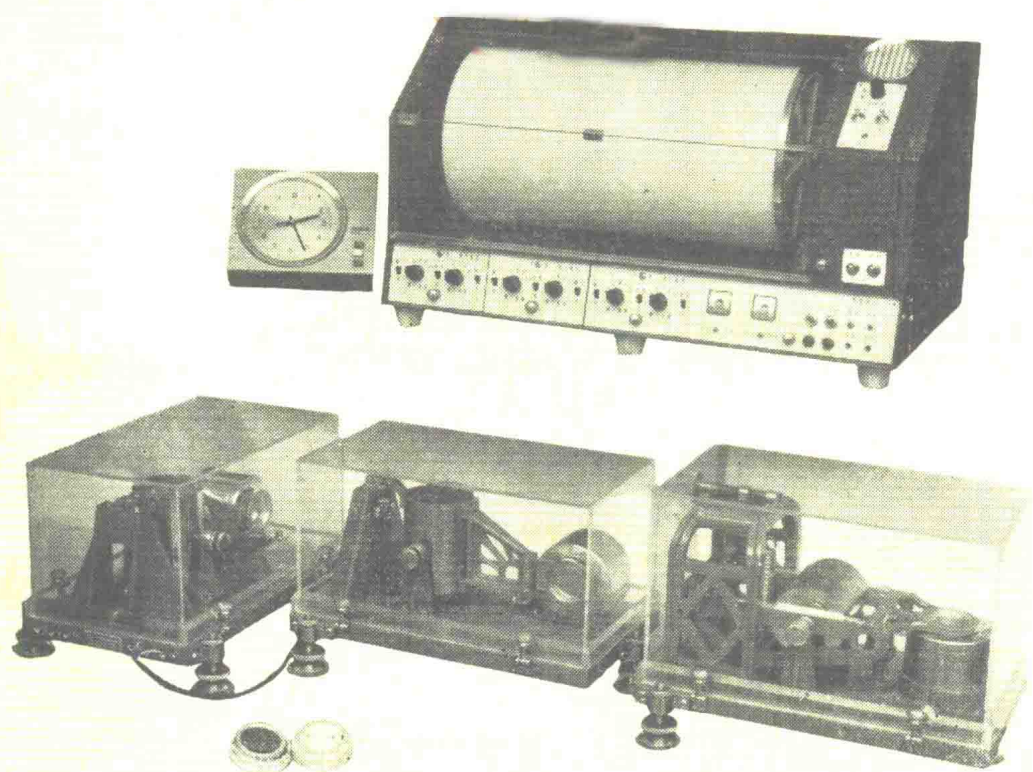


电子放大地震仪

沈梦培等 编著



地震出版社

电 子 放 大 地 震 仪

沈梦培等 编著

地 震 出 版 社

1 9 8 2

内 容 简 介

本书介绍了我国地震台站广泛使用的电子放大地震仪器的基本原理、设计特点和仪器特性等方面的知识,讨论了拾震器、电子放大器、磁电式记录笔、电子放大地震仪器系统的有关理论和实践中的一些问题。为了使读者了解仪器的性能,本书中专门讨论了仪器的频率特性和脉冲特性。书中还扼要介绍了仪器的时间服务系统和辅助设备,最后还对国外地震仪器做了简要的介绍。

本书可供地震仪器的研制人员、地震观测人员、大专院校有关专业师生参考。

电子放大地震仪

沈梦培等 编著

*

地震出版社 出版

北京复兴路 63 号

北京丰台区岳各庄印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行

各地新华书店经售

*

787×1092 1/16 15 1/4 印张 370 千字

1981 年 5 月第一版 1982 年 7 月第二次印刷

印数 3001—6000

统一书号: 13180·91

定价: 2.30 元

前 言

我国是一个多地震的国家，历史上发生过多次强烈地震，早在一千八百多年前，张衡创造了世界上第一台地震观测仪器——侯风地动仪。漫长的封建统治严重阻碍了我国科学技术的发展，使我国落在西方工业先进国家的后面。地震科学也不例外。旧中国只有少得可怜的几个地震台站，仪器陈旧落后，根本无法监测广大国土上的地震活动。新中国成立后，我国的地震科研事业得到迅速发展，全国各地普遍建立观测台站，获得许多观测资料，为地震科学研究和测报工作提供了有效的依据。战斗在地震战线的科研技术人员辛勤劳动，吸收外国先进技术并结合我国实际情况，研制成功多种地震观测仪器系统，装备了遍布祖国各地的地震观测台站。随着无线电技术的飞速发展，在地震观测仪器系统中大量应用先进的电子线路，逐渐形成新的体系——电子放大地震仪器系统。它们的灵敏度高，体积小，重量轻，使用管理方便，已在全国地震台站中广泛使用。今后将随着科学技术的飞跃发展，广泛应用遥控、遥测和计算机等方面的新技术，我国的地震观测系统和数据处理系统将逐步走向现代化。

电子放大地震仪器涉及的知识广泛，仪器的种类也很多，本书在我们多年工作的基础上，着重介绍我国目前广泛使用的电子放大测震仪器的基本原理、设计特点、使用要求和仪器特性等方面的内容。由于水平所限，书中谬误不妥之处在所难免，恳请读者批评指正。

本书主要由沈梦培编写，其中第九章由赵松年编写，第六章由孟繁喜编写，第二章的第六、八、九节和第十一章的第一节由赵子玉编写。

本书原稿由马丽云等同志审阅，冯洛玕同志也审阅过部分原稿，提出不少宝贵意见；书中插图由宋志敏等同志绘制；整理稿件过程中得到张荣昌、武建敏同志大力协助，作者在此深表感谢。

作 者

本书所用符号

A	线圈面积	J_S	拾震器摆系统的转动惯量
B	磁感应强度	J_B	记录笔的转动惯量
C	电容	K	放大器的放大倍数
D	直径	L	指示摆长
D_V	弹簧中径	L_V	弹簧长度
d	变距离差动电容的距离	L_0	弹簧的初始长度
d_V	弹簧钢丝直径	L_g	弹簧的几何长度
E	直流电源电压	l	笔杆长度
E_S	杨氏弹性模量	l_0	折合摆长
e	电动势	$M, m,$	物体质量
F	地震仪的放大倍率	M_S	摆锤质量
f	频率	N	线圈圈数
f_y	预应力	n	相对周期(归一化周期)或相对频率
f_S	拾震器的固有频率	$n_B = f/f_B$	记录笔归一化频率
f_B	记录笔的固有频率	P	电流偏向系数
G	电动常数	P_S	拾震器电流偏向系数
G_S	拾震器动圈换能器工作线圈的电动常数	P_B	记录笔电流偏向系数
G_C	拾震器标定线圈电动常数	p	运算符号(拉普拉斯变换算子)
G_B	记录笔电动常数	$Q(\omega)$	频率特性(幅度-频率特性)
G_V	弹簧切变模量	$Q_S(\omega)$	拾震器频率特性
g	重力加速度	$Q_B(\omega)$	记录笔频率特性
H	磁场强度	R	电阻
H_S	拾震器阻尼项系数	R_i	输入电阻
H_B	记录笔阻尼项系数	R_o	输出电阻
$H(j\omega)$	传递函数	R_0	重锤质心到悬点或旋转轴的距离
$H_A(j\omega)$	放大器传递函数	R_D	阻尼电阻
$H(p)$	传递函数的运算表达式	R_a	中肯电阻
h	高度	R_{aS}	拾震器中肯电阻
i	电流	R_{aB}	记录笔中肯电阻
I_c	集电极电流	R_{DS}	拾震器阻尼电阻
I_b	基极电流	R_S	拾震器工作线圈内阻
I_e	发射极电流	R_C	拾震器标定线圈内阻
i	水平摆拾震器旋转轴与铅垂线的夹角	R_2	记录笔线圈电阻
J	转动惯量	R_g	电流计线圈电阻

r	圆半径	x_c	振动中心位移幅度
S	灵敏度	Y	记录笔绘振幅
$S_S(f)$	拾震器换能灵敏度	Z	阻抗
$S_{S\theta}$	拾震器动圈换能器电压灵敏度	Z_i	输入阻抗
S_W	拾震器电容位移换能器灵敏度	Z_o	输出阻抗
$S_B(f)$	记录笔换能灵敏度	α	拾震器脉冲标定的初相位或脉冲特性的初相位
S_U	记录笔电压灵敏度	β	衰减比
S_I	记录笔电流灵敏度	β_{SF}	拾震器—放大器之间耦合分压系数
$S_{FB}(f)$	放大器—记录笔系统灵敏度	β_{FB}	放大器—记录笔之间耦合分压系数
$fS_{FB}(f)$	放大器—记录笔系统微分输入灵敏度	$\gamma(\omega)$	相位特性
T	周期	$\gamma_S(\omega)$	拾震器的相位特性
T_s	拾震器固有周期	$\gamma_B(\omega)$	记录笔的相位特性
T_f	仿摆滤波器特征周期	δ	超量
T_B	记录笔固有周期	ε	介电常数
T_{BB}	补摆滤波器特征周期	ε_S	拾震器运动方程阻尼系数
t	时间	ε_B	记录笔运动方程阻尼系数
t_s	升起时间	ζ	长周期拾震器直角三角形悬挂的角度
u	电压	θ	拾震器摆系统的偏转角度
u_i	输入电压	λ	对数阻尼缩减
u_o	输出电压	τ	时间常数
V	电压(交流)幅值	φ	记录笔系统的偏转角度
V_i	输入交流电压幅值	ψ	记录笔脉冲特性的初相位
V	振动阻尼缩减	ω	圆频率
v	交流电压	ω_S	拾震器的固有圆频率
v_i	输入交流电压	ω_B	记录笔的固有圆频率
v_o	输出交流电压		
w	旋绕比		
X	地动位移幅度		
x	摆动位移幅度		

目 录

第一章 地震观测和测震仪器	(1)
§ 1-1 地震观测仪器的发展	(1)
§ 1-2 地震观测仪器的分类	(7)
第二章 拾震器	(11)
§ 2-1 拾震器的工作原理和固有周期	(11)
§ 2-2 拾震器重锤系统的自由运动与阻尼	(19)
§ 2-3 拾震器的幅频特性和相频特性	(21)
§ 2-4 换能器	(23)
§ 2-5 拾震器的检拾能力和换能输出	(31)
§ 2-6 DS-1 型短周期拾震器	(34)
§ 2-7 LS-1 型便携式短周期拾震器	(39)
§ 2-8 KS-1 型中长周期拾震器	(43)
§ 2-9 GS-1 型长周期拾震器	(48)
第三章 记录笔	(55)
§ 3-1 记录笔的工作原理	(55)
§ 3-2 积分型记录笔和线性型记录笔	(59)
§ 3-3 记录笔的标定	(61)
§ 3-4 振子式积分型记录笔	(66)
§ 3-5 DB 型墨水记录笔	(67)
§ 3-6 直线记录笔	(70)
第四章 测震放大器	(71)
§ 4-1 低噪声器件的选择	(72)
§ 4-2 用负反馈稳定放大倍数	(74)
§ 4-3 用负反馈提高输入电阻	(76)
§ 4-4 用负反馈控制输出电阻	(78)
§ 4-5 降低直流耗电的措施	(79)
§ 4-6 积分电路	(79)
§ 4-7 直流工作点的稳定	(81)
§ 4-8 提高单级放大级的放大倍数	(83)
§ 4-9 67 型微震放大器	(84)

§ 4-10	DDF-1 型放大器	(87)
§ 4-11	DDF/DKF-2 型通用放大器	(90)
§ 4-12	DDF-5 型低噪声放大器	(92)
§ 4-13	其它地震放大器	(96)
§ 4-14	放大器参数的测量方法	(99)
第五章	电子放大地震仪器系统	(101)
§ 5-1	线性放大器—积分型记录笔系统	(101)
§ 5-2	积分放大器—线性型记录笔系统	(104)
§ 5-3	DD-1 型短周期地震仪	(106)
§ 5-4	DK-1 型宽频带地震仪	(110)
§ 5-5	电子放大振子示波器记录仪	(112)
§ 5-6	速度和加速度记录仪	(116)
§ 5-7	DK-2 型宽频带地震仪	(119)
§ 5-8	仿摆滤波器和 DD-3 型短周期地震仪	(120)
§ 5-9	补摆滤波器和 DG-3 型长周期地震仪	(124)
第六章	时间服务系统	(128)
§ 6-1	石英钟和石英晶体振荡器	(128)
§ 6-2	混合式石英钟	(132)
§ 6-3	数字石英钟	(135)
第七章	辅助设备	(142)
§ 7-1	地震记录器的走纸机构	(142)
§ 7-2	地震仪器的电源	(149)
§ 7-3	地震报警器	(152)
第八章	地震仪器的标定	(154)
§ 8-1	拾震器参数的测量方法	(154)
§ 8-2	电子放大地震仪器分段标定方法	(165)
§ 8-3	拾震器—电容换能器和放大记录系统的标定	(169)
§ 8-4	脉冲标定简介	(172)
第九章	频率特性	(176)
§ 9-1	线性系统和频率特性	(176)
§ 9-2	系统的响应, 作用函数和反演问题	(181)
§ 9-3	电子放大地震仪系统的频率特性	(189)
第十章	脉冲特性	(196)
§ 10-1	初动特性	(196)

§ 10-2 平顶下降和超量.....	(203)
§ 10-3 脉冲特性.....	(207)
第十一章 国外测震仪器介绍	(213)
§ 11-1 拾震器.....	(213)
§ 11-2 记录笔.....	(219)
§ 11-3 测震放大器.....	(220)
附录一 本书中常用到的 MKSA 制与 CGSM 制单位之间的关系	(226)
附录二 v - D 表.....	(226)

第一章 地震观测和测震仪器

§ 1-1 地震观测仪器的发展

我国是世界上地震学发展得最早的国家，也是世界上最早用仪器记录地震的国家。公元132年（东汉阳嘉元年），张衡创制的地动仪，记录了陇西（甘肃）地震，它是世界上第一架地震观测仪器。

张衡的这一创造发明，由于历代封建统治的摧残，没有能留传下来。现在推测，候风地动仪内部构造可能是这样的：它的中央直立着一根上粗下细的棍子，像倒立着的酒瓶子一样；地震波传来时，棍子就随着地面运动而倒下去，推动地震波传来方向的曲杆，使龙嘴张开，龙口中衔着的铜丸就落到下面的蟾蜍口中。

比张衡发明候风地动仪晚一千六百多年，西方国家才出现了一些观测地震的验震器。十八世纪初法国人哈特·弗伊雷（Dela Haute Feuille）设计了水银验震器，仪器中间装着水银，边上有许多小孔，下面放着小盘，地震时水银从小孔中溢出来，流到小盘中。以后曾不断改进，制成一些能知道地震发生时刻和估计地震强度的验震器。但是由于验震器不能将地面运动全过程精细地记录下来，得不到更多可供研究的资料，因而逐渐被地震观测仪器所代替。

地震观测仪器是指能记录地震波的仪器。在地球上观测地震波有特殊困难，就是难得在地面运动时找到一个不动的参考点。在地面运动时，所有在地面上的物体都要跟着一起动，只有和地面“软连接”的物体，例如用一根细丝悬挂起来的摆锤 M （图1-1），在地面运动的瞬间能保持在原来的位置上不动。用摆锤作参考点来观测地面和摆锤间的相互运动，就可以做成观测地震波的仪器。物理学中这种简单的机构叫单摆，也叫铅直摆。在西方，较早使用的一台观测地震的仪器就是用铅直摆原理做的。这台仪器在摆锤下面伸出一个笔尖，笔尖下面放着细砂盘或者熏烟玻璃。地面运动时，笔尖在细砂盘内或熏烟玻璃上刻划出地动的痕迹，用这种简单的仪器记录到的地震图形，只能让我们了解地动的大致情况，例如能看出地面运动的最大振幅等；但是由于所有的图形都混杂在一起，不易辨认，也就不可能从中得到更多的东西。



图 1-1 单摆(铅直摆)

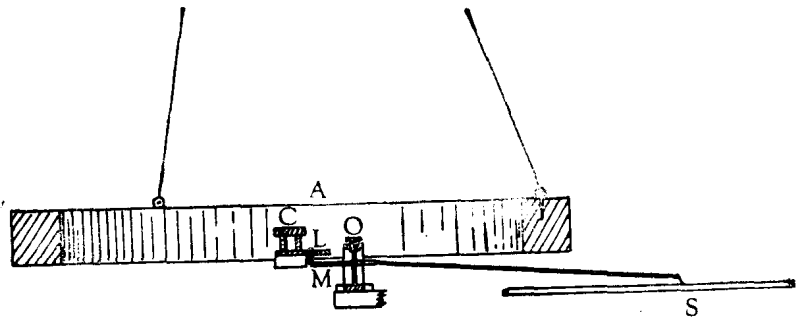


图 1-2 最早的一架铅直摆式地震仪
(引自 B.S.S.A. 1969.2. Vol. 59. Num.1. p. 197)

图 1-2 中画出詹姆斯·伊文 (James Ewing) 于 1883 年开始使用的铅直摆式地震仪，图中画出是仪器的剖面， A 是一个圆环形摆锤，用几根悬丝吊在教堂尖顶大厅中央，圆环中央 C 跨架着黄铜板 L ，板上的槽沟中装有杠杆 M ，杠杆 M 的另一端装着笔尖，伸向记录平面 S 。为了使记录波形不重叠在一起，记录平面作匀速旋转运动，记录平面是用细砂盘或熏烟玻璃做的。那时的地震记录图如图 1-3 所示。

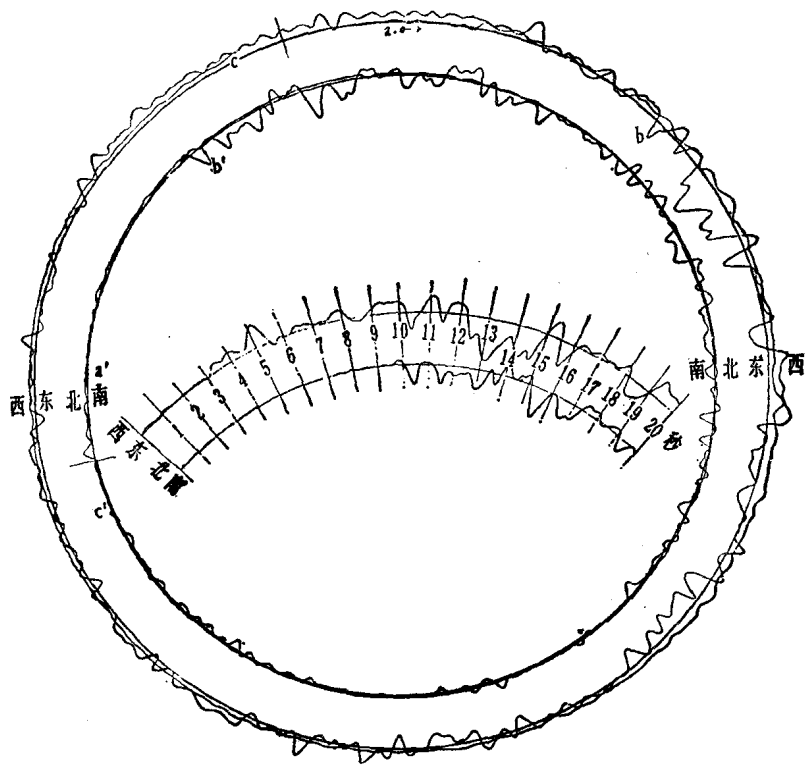


图 1-3 最早的一架铅直摆地震仪在砂盘上记录的地震图形
(引自 B.S.S.A. Vol. 59. Num. 1. p. 199)

简单的铅直摆式拾震器在实际应用中受到很多条件的限制，例如它拾拾短周期地震波比较方便，如用它拾拾周期为 0.50 秒的地震波，悬线长度有 0.2 米就够了，但是要拾拾周期为 5.0 秒的地震波，悬线长度就要超过 20 米。悬线长度限制了铅直摆拾拾长周期地震波。

后来发明的水平摆拾震器，解决了铅直摆遇到的难题，图 1-4 中是一个最早的水平摆式拾震器的模型。它是把一个圆柱形的重锤 M 固定在可以绕 $A-B$ 轴旋转的架子上；在 F 点伸出一个直的杠杆，杠杆的尖端可以装上记录笔尖。地震仪的记录部分也有了进步，把细砂盘或熏烟玻璃片改成一个沿螺旋线滚动的熏烟滚筒装置。

图 1-5 中给出机械杠杆放大的地震仪示意图。水平摆的重锤斜挂在运动系统的一端，运动系统的旋转轴和铅垂线有一很小的夹角 i ，笔杆是为增大放大倍数用的。

与此同时，还出现另一种拾拾水平向运动的摆，称为“倒立摆”。倒立摆的重锤在最顶端，尖端向下，就象酒瓶倒立着一样，两边用弹簧拉起来。

图 1-6 中给出的典型倒立摆式水平向地震仪，也是机械杠杆放大的地震仪。大重锤 M 倒立在垫板 K 上，在重锤 M 的上方装有一个和地面刚性连接的平板 P ，重锤顶部 N 接有两个连

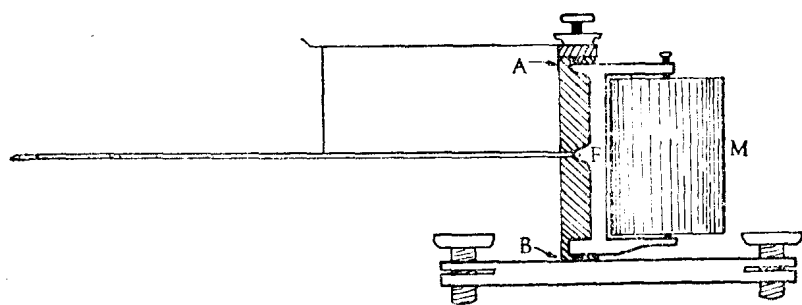


图 1-4 最早的一架水平摆拾震器

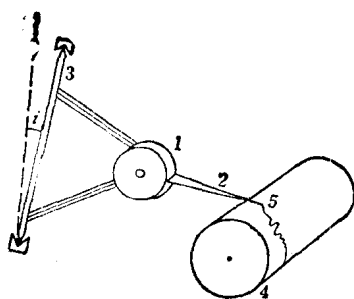


图 1-5 水平摆式拾震器机械杠杆放大式地震仪工作原理示意图

1. 重锤 2. 机械放大杠杆 3. 旋转轴 4. 滚筒 5. 笔尖

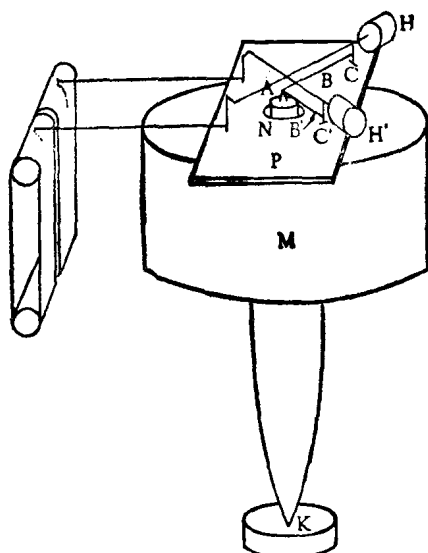
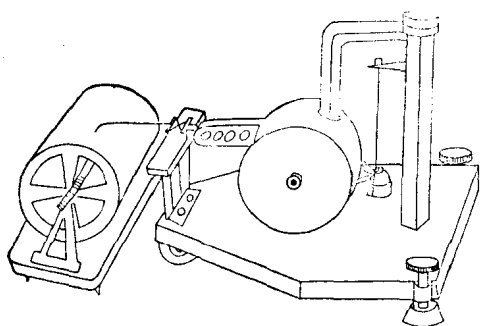


图 1-6 一种实际的倒立摆式拾震器机械杠杆放大式地震仪

杆 B 和 B' ，连杆 B 和 B' 用弹簧 C 和 C' 与阻尼器 H 和 H' 相接，然后通过接杆 A 和 A' 带动笔尖。当地面运动时，重锤 M 和平面 P 发生相对运动，通过连杆 B 和 B' ，接杆 A 和 A' ，让笔尖在滚动的纸卷上画出地震波形来。

倒立摆式机械杠杆放大地震仪，在十九世纪末和二十世纪初曾风靡一时。为了提高仪器的放大倍率（灵敏度），这些仪器的设计者，例如德国人维谢特（E. Wiechert），不断地增大仪器重锤的重量，从 10^2 公斤增加到 10^3 公斤，直到 1906 年做了一种重锤重量达 17×10^3 公斤的水平向倒立摆地震仪，它的最高放大倍率可达 2×10^3 左右。

机械杠杆放大的地震仪器靠增加重锤的质量来提高观测灵敏度，放大倍率仅仅两千倍级的仪器，重锤质量要用 17 吨重才行，现在看来真是不可思议的。此外，这种机械杠杆放大的仪器的灵敏度低，用它记录不到弱地震。在地面运动幅度不同时，仪器的固有周期也不相同，用它来记录较强地震时，还要根据幅度来修订仪器参数。现在我国地震台站上这种机械杠杆放大的地震仪器已为数不多了，一般只用来记录中强震或强震。513 式中强震地震仪是用水平摆机械杠杆放大地震仪，它的重锤质量为 100 公斤，固有周期 $T_s = 5.0$ 秒，通常仪器的



放大倍率约为 50 左右，是两个水平分向熏烟记录。图 1-7 中给出这种仪器的示意图。

两千倍放大倍率的地震仪只能够记录到一些强地震，地震研究工作还需要记录到小地震，势必要提高地震观测仪器的放大倍数。本世纪初，机械杠杆放大的地震仪已经大得不可再大了，显然不能用无限制地制造庞然大物的方法来继续提高仪器的放大倍率。1895 年瑞伯-帕什维兹

图 1-7 513 型水平摆机械杠杆放大式地震仪 (Von Rebeur-Paschwitz) 制造出一种照像记录地震仪，它的示意图如图 1-8 所示。这是一台水平摆式的拾震器，重锤及其运动系统绕 AB 轴线旋转，旋转系统上连着一面反射镜 M ，它可以反射从透镜聚焦来的光线，反射光线射到装有照像纸的记录滚筒上。这个水平摆长度只有 10 厘米，重量仅仅 42 克，固有周期可达 12—17 秒，整套仪器放大倍率可达百倍级。

图 1-9 中给出照像记录地震仪工作原理示意图。在重锤或运动系统其他部位贴上反光镜，让光源射来的光线反射到记录器的感光纸上，当重锤和地面发生相对运动时，感光纸就把相对运动的波形记录下来。照像记录地震仪器只是把放大用的机械杠杆改成光杠杆，减小了

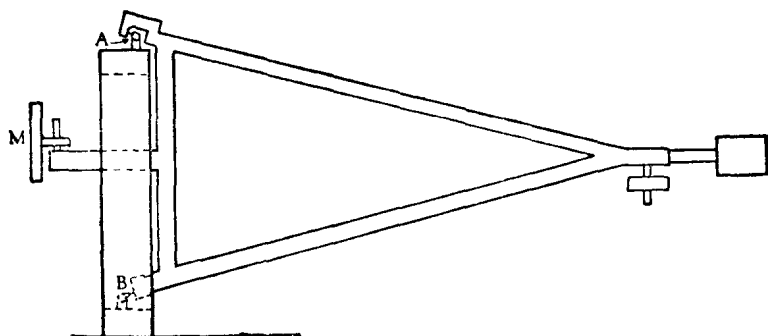


图 1-8 瑞伯-帕什维兹提出的水平摆 (照像记录用)结构示意图

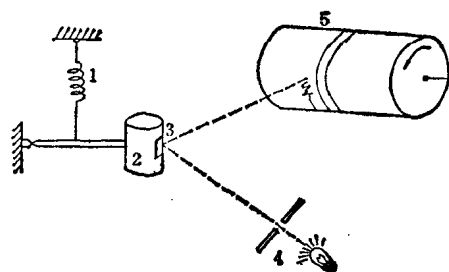


图 1-9 地震仪照像记录工作原理示意图

1. 弹簧 2. 重锤 3. 反光镜片
4. 光源 5. 照像纸滚筒

仪器重量和体积，其它方面则远远不够。当整套仪器放大倍率调到千倍或数千倍时，摆锤的零位变化会使反射光点偏离很大，甚至偏出记录系统（实际上地震仪器长时间工作过程中，摆的机械零位总是需要调整，因为地倾斜等种种原因引起机械平衡位置偏移，使反射光点在记录器上偏移，整套仪器的放大倍数愈高，光点的偏移愈多）。此外，照像记录地震仪和机械杠杆放大记录地震仪的拾震部分和记录部分必须放在一起使用，地震台站的管理人员必须在记录器附近照管仪器，因而会影响拾震器的工作，增添噪声干扰背景，限制整套仪器放大倍率的提高。

照像记录地震仪器在我国地震台站上早已停止使用，但是照像记录的方法在其它观测仪器中应用较多，例如石英倾斜仪、地磁仪器等多用照像记录。

本世纪初，开始有了电流计放大记录的地震仪器，它的基本设计方法和理论是俄国人伽

利津(Б. Б. Голицын)提出的。电流计放大记录的方法是先把重锤系统在地面运动时所检拾到的机械运动能量用换能器转变为电能，再用灵敏的电流计记录下来。在这种地震记录系统中，地震仪可以分成以下几部分，如图 1-10 所示。其中拾震器从结构功能上可以分成两部

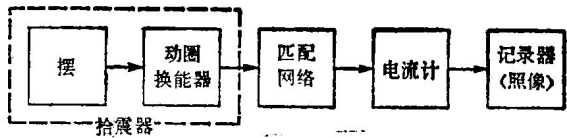


图 1-10 电流计放大记录地震仪方框图

分，一部分是检拾地面运动的重锤系统，可称为拾震部分；另一部分是将重锤运动的能量转换成电能的换能系统，称为换能部分。

图 1-11 中给出基尔诺斯(Кирнос)式水平向拾震器的示意图，从图上可以清楚地看到拾震器部分的重锤及动圈型换能器。

图 1-12 中给出电流计的实体照片和振子系统示意图。图中，电流计线圈 1 装在 N—S 磁极靴形成的磁场中，两端与扁平的磷铜悬丝 2 连接，悬丝除了悬挂线圈外，还起导电的作

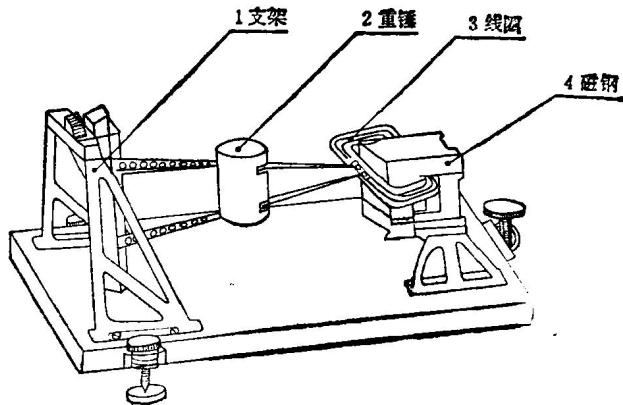


图 1-11 基尔诺斯式水平向拾震器

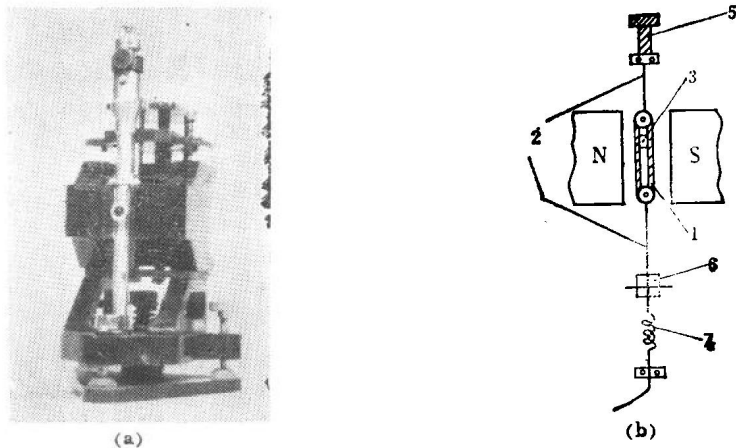


图 1-12 电流计放大地震仪中的电流计

a. 基尔诺斯式地震仪中所用电流计 b. 振子系统示意图

用，在线圈中心装有小镜片 3，下段悬丝接小弹簧 4，小弹簧的另一端与支架紧连，上段悬丝的另一端固定在轴 5 上，当电流计线圈中有电流通过时，磁场对电流作用使电流计线圈转动，线圈上的小镜片也随着转动，将光线聚束后照射到小镜片上，从小镜片上反射的光线随小镜片转动而在照像记录纸上来回运动。

由于电流计的转动惯量很小，用拾震器拾拾地面运动能量推动电流计运动，再用光杠杆放大电流计的运动过程，可使整套仪器系统得到较大的放大倍率。例如当短周期拾震器的重锤质量为 5.0 公斤，电流计放大记录的仪器放大倍率可作到 $10^4-3 \times 10^4$ ；重锤重量 110 公斤的贝尼奥夫(H. Benioff)电流计放大光记录地震仪放大倍率可达 1.2×10^5 。

近 30 年来，现代电子技术逐渐应用到地震观测仪器中，特别是发明了省电的半导体器件以后，在现代的地震仪器中，使用电子放大器日趋普遍。电子放大地震仪器的方框图如图 1-13 所示。

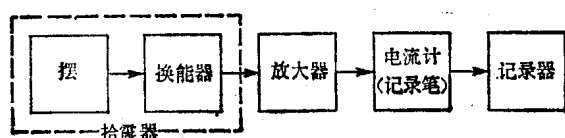


图 1-13 电子放大地震仪器的方框图

使用电子放大器的地震仪有五个突出的优点：

1. 提高了整套仪器的灵敏度。用电子放大器放大换能器输出的地震信号，整套地震仪器系统的放大倍率增到 10^5 数量级并不困难，甚至可以达到 10^6 。因为只要精心制做电子放大器，降低放大器的本机噪声，就可以达到这种要求。在这里须特别指出：放大倍率超过 $(2-3) \times 10^5$ 的仪器要精心选择台址才能使用，否则因地脉动干扰幅度过大，会湮没地震信号，过高的放大倍率已无实际意义。

2. 使用电子放大器的地震仪器体积小，重量轻。现在使用普通三极管作成的电子放大器，其输入电阻高于 2 兆欧，使用结型场效应管放大器的输入电阻高于 10 兆欧，这样馈入放大器输入端信号所需的功率很小，因此拾震器的重锤质量可以用得较小。例如我国现在使用的 LS-1 型拾震器重锤质量只有 0.25 公斤左右，配用电子放大器后，整套仪器放大倍率可达 $5 \times 10^5-10^6$ 。

使用低噪声高输入电阻的放大器后，设计拾震器的要求有了质的变化，那就是整套仪器放大倍率和重锤几乎没有关系，从而能大大减轻拾震器的重量，缩小拾震器的体积。一整套单分向流动地震仪重量低于 15 公斤，整套三分向流动观测地震仪重量不超过 35 公斤。缩小地震仪器的体积和重量，无论从深入地震现场考察，还是从地震仪器发展来看，都是非常有意义的。

3. 使用电子放大器后，高灵敏度的地震仪器实现了可见记录。用功率放大器可以推动电流计或记录笔，用熏烟或墨水记录方式(还可热敏、压敏或静电等方式)将地震图形记录在纸上，便于及时处理。把地震记录从暗室中解放出来，不仅管理、使用方便，而且还提高了速报地震参数的速度。

4. 使用高精度时间服务系统，提高时间服务精度。电子放大地震仪器系统使用石英钟作时间服务信号源，可以保证时间服务精度在 0.1 秒以内，有特殊需要时，精度还可提高。

数字化石英钟系统还可实现自动对时,自动校正钟差。这样对于仪器系统所记录地震波参数的时间精度有很大提高。

5. 便于把遥测技术应用到地震观测中来。地震信号可以通过有线传输和无线传输等方式,从各个地震台站遥传到中心站来集中记录,可消除各台的测时误差,准确地确定地震参数。

综上所述,应用电子技术后,提高了地震观测仪器灵敏度,缩小了体积和重量,实现了可见记录,应用遥测和计算技术后,将许多台站的地震信号集中起来记录、分析与处理。还可以利用磁带机做记录设备,存贮地震信息,待使用时重新放出,使其复现。应用数字化技术,研制数字地震仪器,使地面运动过程用数字表示出来,直接送到电子计算机中进行数据处理,这样就大大地简化了资料分析处理工作。

§ 1-2 地震观测仪器的分类

现在世界上有许多观测地震的台站,记录到的物理量有地动位移、地动速度和地动加速度等;记录方式也是多种多样(包括直接记录、照像记录、电流计光记录、熏烟记录、墨水记录和磁带记录等)。地震仪器的灵敏度范围很宽,放大倍数从几倍、几十倍、直到千倍、万倍、十万倍,甚至百万倍。记录的地震波的周期范围也很宽,大约从 0.05 秒到 100 秒。在一个大型地震台站上,地震仪常常有好几种,互相配套,可以记录到各种量级和不同频率的地震波;而一些区域台或地方台仅有短周期微震仪器。用它来记录地方震,监视本地区地震活动。有的地震台站上仪器是几十年前开始架设的,有的地震台站是新建的。这样,就使得目前在地震台站上使用的地震仪器型号很多,尤其是外国过去习惯用个人的名字命名地震仪器,因此显得型号复杂。其实若按地震观测原理来分类,还是非常清楚的。

观测地震主要是用各种类型的地震仪器记录地震信息,通过分析记录波形,可以确定地震参数(震中位置、震级和发震时刻),了解地震波在地壳内传播特性,通过地震波来研究地球内部构造和地震活动规律、地震震源的物理机制等等。地震时产生两种波,一种叫做体波,其中又分成纵波(P 波)和横波(S 波),它们可以在地球内部传播。另外一种叫做面波,它们只限于近地表层附近传播,是体波激励衍生出来的,所谓瑞雷波(R 波)和勒甫波(Q 波)就是常见的面波。一般说来,体波周期较短,面波周期较长。体波中纵波周期短,速度较快从震源最先传到地震台站,然后是横波。面波落在最后。记录一个较大地震的地震波时,先记录到的是体波,后面是面波。面波有时要持续很长时间(视震级而定)。

我们生活的地球表面,由于多种原因,总是存在着微小的振动,例如风、交通运输、人和动物的活动、海浪等等都会引起地面微微颤动,我们把这些小颤动叫做“地脉动”。这些地脉动对观测地震造成干扰背景。在大多数台基比较好的台址上,脉动干扰和频率(周期)的关系,可从图 1-14 看出:频率较高(周期较短)时,脉动干扰较大,这种干扰是风和人干扰(人和动物活动、交通运输)等造成的。而在周期 3—8 秒范围内,地面脉动干扰突然增大很多倍,是由远处海浪引起的,这种干扰在海上风浪大或刮台风时是非常大的。在周期很长的部分,也有长周期地脉动背景,风和气压的变化对长周期脉动有影响。正是地面有各种各样的地脉动干扰,在整个频率(周期)范围内,影响着地震仪器灵敏度的提高。想在整个频率范围内制造一台高灵敏度宽频带地震仪,虽然技术上有可能,但实际上是没有用的。真正具有实用价值的,是在干扰水平较低的短周期范围内的高灵敏度微震仪,在周期为 10—100 秒

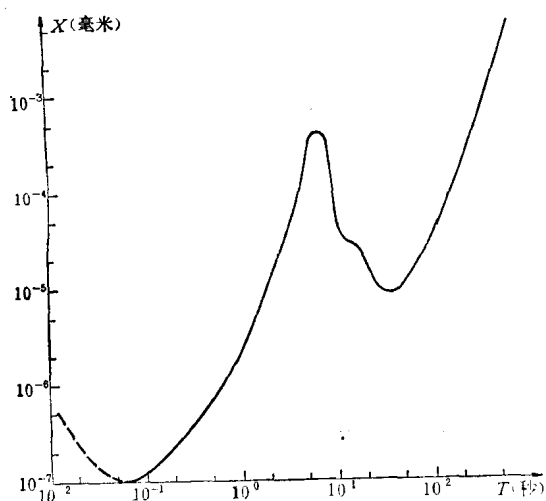


图 1-14 宁静的台基条件下地脉动干扰背景

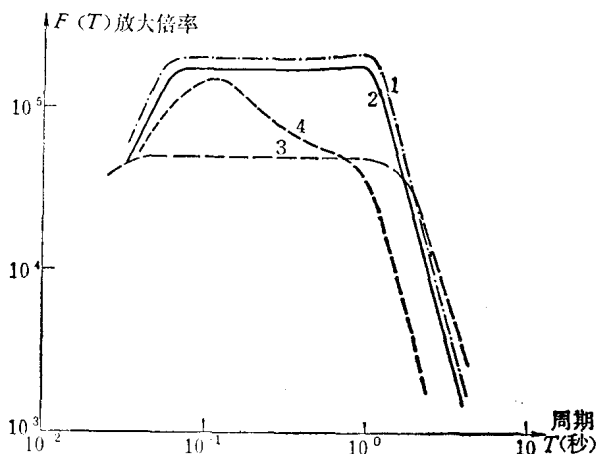


图 1-15 常用短周期地震仪的频率特性

1. DD-3-1 型 2. DD-1、DL-1 型 3. 65—67—63A 型
4. 64 型(可见记录)

范围内长周期地震仪的灵敏度也可以比较高。而宽频带地震仪的灵敏度是比较低的，只能做到千倍级。所以，从频率范围去划分，可把地震仪器归为三类。

一、短周期地震仪

在高频干扰和海浪干扰峰之间，有一个地脉动幅度较低的频率范围（大约在 1.0 赫—30 赫之间），频带在这范围里的地震仪器，叫做短周期地震仪。短周期地震仪主要用来观测地方震、区域地震、近震和远震的纵波部分。本世纪五十年代以前，短周期地震仪配用电流计光记录，拾震器固有周期取在 1.0 秒附近，电流计周期取在 0.2—0.1 秒之间，整套仪器最高放大倍数约为 10^4 — 10^5 倍。五十年代后，用电子放大器来提高整套仪器的灵敏度，最高放大倍率可达 10^6 以上。频率特性可根据频带要求，用电子滤波器来选择。

我国地震台站上所使用的 64 型和 62 型地震仪器，是按电流计光记录要求而设计配套的地震仪；63A 型短周期地震仪（包括 65 型短周期拾震器—67 型放大器—63 型积分型记录笔组成的可见记录仪器）是我国六十年代的电子放大地震仪器；DD-1 型，DL-1 型，DSL-1 型和 DD-3 型地震仪则属于七十年代的电子放大短周期地震仪。图 1-15 中给出这几种短周期地震仪的频率特性。

二、长周期地震仪

在海浪干扰引起的脉动极大值以外的长周期范围，可以使用长周期地震仪来观测地震面波。目前国外地震台站广泛应用长周期地震仪进行地震观测，通过分析长周期地震波（面波）来研究地壳内部构造和确定地震参数。按照台基情况，它们的放大倍数可调到 10^3 — 10^4 倍，频率特性如图 1-16 所示。

早期的长周期地震仪也是采用电流计光记录式的，拾震器的固有周期调到 20—30 秒，电流计的固有周期较长（80—100 秒）。现在可用电子线路作出“补摆特性”的滤波器，实现电子放大滤波的长周期地震仪。

三、宽频带地震仪

由于海浪干扰引起地面脉动的影响，使高灵敏度宽频带地震仪没有实用价值，但是较低