

地震丛书



地震仪器概论

中国科学院地球物理研究所 编著

科学出版社

地震丛书

地震仪器概论

中国科学院地球物理研究所 编著

科学出版社

1978

内 容 简 介

本书为地震丛书之一。主要内容分为两部分：第一部分共四章。第一章介绍地震仪的基本概念和组成；第二章讲述组成拾震器(检波器)各部分的构造和基本原理；第三章谈地震仪器的放大记录方法；第四章讲述记录器的装置。第二部分共三章分别介绍我国常用的几种地震仪及其标定方法。

本书可供广大地震工作者、地球物理工作者参考。

地 震 丛 书 地 震 仪 器 概 论

中国科学院地球物理研究所 编著

*

科学出版社出版

北京朝阳门内大街 137 号

中国科学院印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

*

1975年9月第 一 版 开本：850×1168 1/32

1978年4月第二次印刷 印张：9 11/16 插页：3

印数：14,931—34,530 字数：254,000

统一书号：3031·280

本社书号：441·13—15

定 价：1.20 元

限 国 内 发 行

前 言

自然界各种自然现象中，地震是一种对人类有很大危害性的自然现象。因此“人们为着要在自然界里得到自由，就要用自然科学来了解自然，克服自然和改造自然，从自然里得到自由。”

地震学就是人类研究地震的一门自然科学。在震害学中，为了研究地震各个领域中的不同问题，建立了各种不同的分科，测震学就是其中的一个分科。测震学就是观察、测量地震时所引起地面振动的一门科学，观测这种振动主要是用地震仪器进行的，通过地震仪器将地面的运动过程记录下来。地震仪器也是研究地震预报的一种不可缺少的工具。

地震仪器的发展有着它自己的历史。很早以前，为了同地震这个自然敌人作斗争，人们就开始想方设法地将这一种自然现象记录下来，以便摸清本质掌握客观规律，从“必然”走向“自由”，这样就产生了各种各样的地震仪器。在这方面，我们的祖先张衡在公元 132 年就已经创造出一种能够觉察地震的仪器——候风地动仪。这是世界上第一架观测地震的仪器。今天，地震仪器已经发展到灵敏度很高的阶段，新技术的应用和电子计算机的运用使地震观测系统面貌一新，到目前为止，已经基本上构成了综合配套的地震观测系统，它可以记录位移 10^{-8} 厘米的微弱振动，频段也已经扩展成几百秒到几百赫兹。

地震仪器也是一种测量振动的仪器。它在许多工程振动和机械振动的测量方面也有广泛的应用。近年来，利用地震仪器侦察地下核爆炸是一种行之有效的方法。

这本书主要是介绍地震观测所用的仪器。要在一本书中把地震仪器的所有问题都详细介绍，这显然是不可能的。所以这里只提到有关地震仪器的一些基本的和主要的方面，给台站管理工作

人员和从事测震仪器设计人员一些有关地震仪器的基本知识。至于进一步了解地震仪器的理论和性能可以参阅有关地震仪器方面的专著。本书在介绍我国设计制造的仪器时，有些还处在试验阶段，尚未正式鉴定，仅供读者参考。

本书主要由王耀文同志编写，其中第六章第八节是琴朝智同志编写，还有个别素材是我所其他同志提供的。

目 录

第一部分 地震仪器的基本原理

第一章 地震仪器的基本概念和组成部分	1
第一节 有关振动方面的几个基本概念	1
1. 简谐振动	1
2. 单摆——数学摆	3
3. 复摆——物理摆	4
第二节 地震仪器的基本概念和组成部分	5
第二章 拾震器	10
第一节 摆的基本型式	10
1. 铅直摆	10
2. 倒立摆	13
3. 水平摆	15
4. 竖直摆——竖直向拾震器的摆	18
第二节 换能器和阻尼器	27
1. 换能器的几种型式	27
2. 动圈型或磁电型换能器	28
3. 压电晶体型换能器	30
4. 电容型换能器	33
5. 阻尼器的几种类型	38
6. 电磁阻尼器	39
第三节 拾震器的基本原理	41
1. 有阻尼的摆的固有运动	41
2. 外力作用下摆的运动方程	45
3. 外力作用下摆的强迫振动	48
4. 记录不同地动参量的条件	54
5. 初动的分析	55

第三章 放大器——放大记录的方法	62
第一节 地震仪器放大的一般原理(机械杠杆和光	
杠杆放大记录的方法)	62
1. 地震仪器放大的一般原理	62
2. 机械杠杆放大记录法	64
3. 光杠杆放大记录法	67
第二节 电流计放大记录法和电流计记录地震仪的	
运动情况	72
1. 电流计放大记录法	72
2. 电流计放大记录法的基本原理	74
3. 电流计记录地震仪的运动方程	78
4. 电流计记录地震仪的固有运动	84
5. 电流计记录地震仪反应地面运动的情况	90
6. 耦合系数对放大倍数的影响	99
7. 初动的分析	101
8. 记录地动参量的几种可能性	104
第三节 地震仪器电子(晶体管)放大方法	107
1. 晶体管放大器的基本概念	108
2. 晶体管微震仪放大器	133
第四章 记录器	141
第一节 笔绘记录	141
1. 摆式记录笔	141
2. 振子型记录笔	147
3. 记录笔的运动情况	150
4. 笔绘记录地震仪记录地面运动的情况	153
第二节 照相记录——振子系统	157
第三节 滚筒记录器和其他记录装置	161
1. 烟纸(或墨水)记录器	161
2. 照相记录器	166
3. 其他记录装置	169
第四节 记时装置和辅助设备	179
1. 记时钟	180

2. 计时装置中常用的几种基本线路及大地震警报器	194
3. 稳压器	198

第二部分 几种常用地震仪

第五章 地震仪器的发展过程	201
第一节 验震器的发展情况	201
第二节 地震观测仪器的发展情况	203
第六章 地震观测台上常用的几种地震仪	208
第一节 64 型地震仪	208
第二节 65 型地震仪	216
第三节 DD-I 型地震仪	219
第四节 维开克型振动仪	227
第五节 基式地震仪	230
第六节 513 型中强震仪	233
第七节 QZY 型强震加速仪	238
第八节 763 型长周期地震仪	243
第七章 地震仪器常数测定	252
第一节 拾震器常数的测定方法	252
1. 与仪器机械结构有关的常数测定方法	253
2. 拾震器工作常数(基本参数)的测定方法	255
第二节 电流计记录地震仪常数的测定方法	267
1. 电流计记录地震仪中有关拾震器部分的常数测定方法	268
2. 电流计记录地震仪中有关电流计部分的常数测定方法	268
3. 电流计记录地震仪的静态放大倍数 $\bar{V}$ 和振幅频率特性 U 的测定	275
第三节 笔绘记录地震仪常数的测定方法	281
1. 放大器-记录笔部分的常数测定方法	281
2. 笔绘记录地震仪总放大倍数的测定方法	287
附录 $v-D$ 表	293

第一部分 地震仪器的基本原理

第一章 地震仪器的基本概念 和组成部分

地震仪器是观测地震所引起的地面振动的仪器，装置在地震台上，能将地面运动自动地记录下来。地震仪器也是振动观测仪器中的重要仪器，主要观测振幅范围从 10^{-7} — 10^{-8} 厘米到 10 — 10^2 厘米、频率从几十赫兹到百分之几赫兹范围内的振动。

在介绍地震仪器的基本概念以前，我们先引入几个有关振动方面的基本概念。

第一节 有关振动方面的几个基本概念

在自然界和工程上，振动是一种比较普遍的现象。振动的含义很广，因此要精确地下一个定义是比较困难的。力学中所指的振动一般可以理解为物体或者质点在某一位置附近相隔一定时间作来回重复的运动。日常生活中经常遇到的钟摆运动就是振动的一种形态，地震时地面的运动也可以看作是一种振动的形态。物体或质点在平衡位置附近振动的幅度，称为振幅。物体或质点来回振动一次所经历的时间，称为振动的周期，一般用秒来量度。物体或质点在单位时间(秒)内振动的次数，称为频率，它的单位是赫兹。周期的倒数是频率，频率的 2π 倍称为角频率(或称圆频率)，它表示物体或质点在 2π 秒时间内的振动次数。

1. 简谐振动

位移与其加速度成比例的运动称为简谐振动。或者说：凡可

以用时间的正弦函数或余弦函数表示其位移变化的运动称为简谐振动,简谐振动是一种比较简单的振动。如果位移用 X 来表示,时间用 t 来表示,则简谐振动可以写成

$$X = X_m \sin (nt + \gamma), \quad (1-1-1)$$

或

$$X = X_m \cos (nt + \gamma), \quad (1-1-2)$$

式中 X_m 是振动位移的最大振幅, n 是振动的角频率, 它与周期 T 的关系为 $n = \frac{2\pi}{T}$ 。 $(nt + \gamma)$ 称为周相, 它能够确定振动质点的运动状态。 $t=0$ 时的周相是 γ , 称为初相。初相为零的简谐振动表示在图 1-1 上。

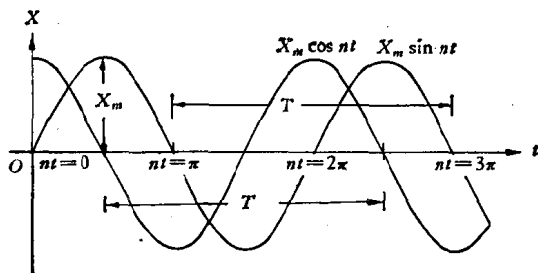


图 1-1

将简谐振动的位移对时间微分,可以得到这种运动的速度,即

$$\frac{dX}{dt} = X_m n \cos (nt + \gamma), \quad (1-1-3)$$

或者

$$\frac{dX}{dt} = -X_m n \sin (nt + \gamma). \quad (1-1-4)$$

从简谐振动的位移和速度的表示式中可以看到, 它们的周期是一样, 而振幅之间差一个角频率 n 。所以角频率较大的简谐振动, 速度振幅 ($X_m n$) 要比位移振幅 (X_m) 大。

将速度对时间 t 微分, 可以得到简谐振动的加速度, 即

$$\frac{d^2X}{dt^2} = -X_m n^2 \sin (nt + \gamma) = -n^2 X, \quad (1-1-5)$$

或

$$\frac{d^2 X}{dt^2} = -X_m n^2 \cos (nt + \gamma) = -n^2 X. \quad (1-1-6)$$

简谐振动的加速度也具有相同的周期。从(1-1-5)式或(1-1-6)式看到,在简谐振动中,质点加速度的大小与其离开平衡位置的位移成正比,加速度的方向和位移相反。

2. 单摆——数学摆

在长为 L_0 的细线末端悬挂一个小球,一经推动,小球就在铅垂面对称于它平衡位置来回地摆动。如果悬线的重量和小球的重量相比可以忽略不计,而小锤的直径比悬线的长度小得多时,则这种装置称为单摆——数学摆(图 1-2)。

当小球偏转一个很小的角度 θ 时,作用在小球上的重力 Mg (M 为小球的质量, g 为重力加速度)分解成两个分力 $Mg \cos \theta$ 和 $Mg \sin \theta$ 。前面一个分力 $Mg \cos \theta$ 与悬线张力平衡。后面一个分力 $Mg \sin \theta$ 与悬线垂直,它的方向是要减小小球的偏转角度,使小球回复到平衡位置。这个力称为回复力。

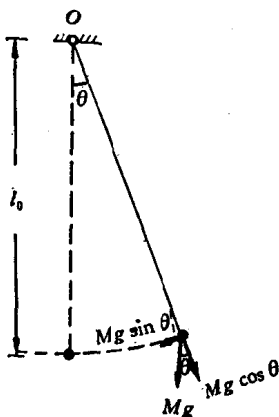


图 1-2

在偏转角 θ 较小,因而 $\sin \theta \approx \theta$ 时,小球的运动方程根据牛顿第二定律可以用下式表示:

$$M \frac{d^2(l_0 \theta)}{dt^2} = -Mg \sin \theta \approx -Mg \theta,$$

或

$$\frac{d^2 \theta}{dt^2} = -\frac{g}{l_0} \theta. \quad (1-1-7)$$

比较(1-1-5)式和(1-1-7)式可以看到,在偏转角 θ 较小时,单摆的运动也近似地是简谐振动。由此可得单摆的角频率 n_1 为

$$n_1 = \sqrt{\frac{g}{l_0}}, \quad (1-1-8)$$

而单摆的周期 T_1 为

$$T_1 = 2\pi \sqrt{\frac{l_0}{g}}. \quad (1-1-9)$$

将(1-1-8)式代入(1-1-7)式, 可得单摆的运动方程为

$$\frac{d^2\theta}{dt^2} + n_1^2\theta = 0 \quad (1-1-10)$$

从上面的分析中可以看到, 只有在偏转角较小的情况下, 单摆的周期公式, (1-1-9) 式才成立。所以在测量单摆的周期时, 摆幅不能太大。

3. 复摆——物理摆

任何物体都可以在重力作用下绕水平轴在平衡位置附近摆

动, 这种摆称为复摆或物理摆。如图 1-3 所示, 设 O 点是复摆的转动轴, C 点是复摆的重心, 它们之间的距离为 R_0 , 则当摆偏转一个较小的角度 θ 后, 在摆上作用有力矩 $MR_0 g \sin \theta$, 在这个力矩的作用下, 摆得到角加速度 $\frac{d^2\theta}{dt^2}$, 力矩的作用是要减小摆偏转的角度, 使摆回复到平衡位置, 所以这个力矩称为回复力矩。

在偏转角较小, 因而 $\sin \theta \approx \theta$ 时, 摆的运动方程可以用下式表示:

$$J_1 \frac{d^2\theta}{dt^2} = -MR_0 g \sin \theta \approx -MR_0 g \theta \quad (1-1-11)$$

式中 J_1 为摆的转动惯量。(1-1-11)式可以改写成

$$\frac{d^2\theta}{dt^2} = -\frac{MR_0 g}{J_1} \theta \quad (1-1-12)$$

比较(1-1-5)式和 (1-1-12) 式可以看到, 在偏转角 θ 较小时, 复摆

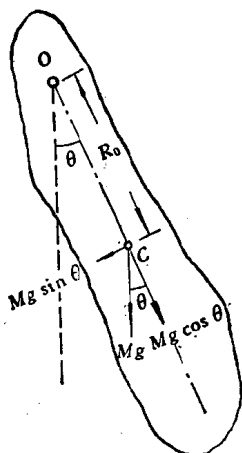


图 1-3

的角频率 n_1 为

$$n_1 = \sqrt{\frac{MR_0 g}{J_1}}, \quad (1-1-13)$$

而复摆的周期 T_1 为

$$T_1 = 2\pi \sqrt{\frac{J_1}{MR_0 g}}. \quad (1-1-14)$$

关于复摆的折合摆长和振动中心，我们将在第二章第一节摆的基本型式中详细地加以介绍。

第二节 地震仪器的基本概念和组成部分

伟大领袖毛主席教导我们：“我们看事情必须要看它的实质，而把它的现象只看作入门的向导，一进了门就要抓住它的实质，这才是可靠的科学的分析方法。”

因此，我们学习和使用地震仪器时必须首先掌握它的基本概念，即地震仪器是怎样记录地动的。

我们知道，当地面运动时，固定在地面上的一切物体，都随地而动，人和其周围的一切东西也都不例外地跟着地面运动，因此很难找到一个基准点来衡量地面运动的大小。所以，采用什么方法建立起一个可以衡量地面运动的基准点（坐标系统），这将是地震仪器中要解决的主要矛盾，捉住了这个主要矛盾，一切问题就迎刃而解了。

利用物体所固有的惯性，可以比较完善地解决这个矛盾。

大家知道，任何物体都有一种惯性，这种性质保持物体原有的静止状态或匀速直线运动状态。当相对地面为静止的物体受到外力（地面冲击）被迫运动时，由于物体的惯性，在开始的一刹那时间，仍然保持在相对静止状态中。这种惯性作用在我们日常生活中是常常遇到的，例如我们乘公共汽车就会体会到这种惯性作用。当一辆停着的公共汽车突然向前开动时，立在公共汽车上的人就会向后倾倒；当一辆匀速开动的公共汽车突然刹车停止时，车

上立着的人就会向前扑倒。这一现象表明,由于人们的惯性作用,因此在开始的一刹那时间,仍想保持他原来运动的状态。因此我们就可以利用这种惯性作用得到的相对静止来衡量地面运动的大小。

这个相对静止的基准点在地震仪器中是用一块物体来取得的,这种物体在地震仪器中一般称为重锤。任何形式的重锤由于重力的作用不可能不与地面联系,漂浮于空间;重锤悬挂在空间总是需要与地面直接或间接地连接。因此地面的运动通过连接的支持物会给重锤一种影响。这种困难虽然很难克服,但是经过多次研究以后发现:如果在地震仪器中使用摆的形式,则当摆本身的周期与地动的周期相比为甚长时,摆就能够足够正确地反映出地面移动的大小。下面举一个例子说明这种现象。

把重锤 M 用弹簧吊起来,构成周期 T_1 足够长的振动系统。平衡时重锤上的指针 A 刚对准记录纸的 O 点,如图 1-4 a 所示。如果地面突然向上作冲击式运动,移动 Z 的距离后停止,则在开始的一刹那时间,重锤由于惯性作用,保持在原来的静止状态,不随地面而动,如图 1-4 b 所示。以后重锤由于弹簧的拉力作周期为 T_1 的往复运动,直到静止为止。静止时弹簧的伸长仍为 L ,重锤上的指针 A 仍指在记录纸上的 O 点,如图 1-4 c 所示,记录纸上画出的距离 Z 即表示地面移动的大小,所记的方向与地面移动的方向相反。

如果地面作上下的简谐运动,周期为 T_ω ,则当 $t = t_0 + \frac{T_\omega}{4}$ 时地面到达最高点(图 1-4 b), t_0 是地面开始动的时间。再经过 $\frac{T_\omega}{4}$ 的时间,地面从最高点回到原来的静止位置(图 1-4 d),经过 $\frac{3T_\omega}{4}$ 的时间地面到达最低点(图 1-4 e),以后又向上回复到原来的静止位置(图 1-4 f),完成一个往复周期运动。

现在来看重锤的运动。地面开始运动时,重锤由于惯性的作用,在开始的一刹那时间中仍然保持静止状态,如果重锤振动系统的周期 T_1 比地动的周期 T_ω 长得很多(即 $T_1 \gg T_\omega$),则当地面到

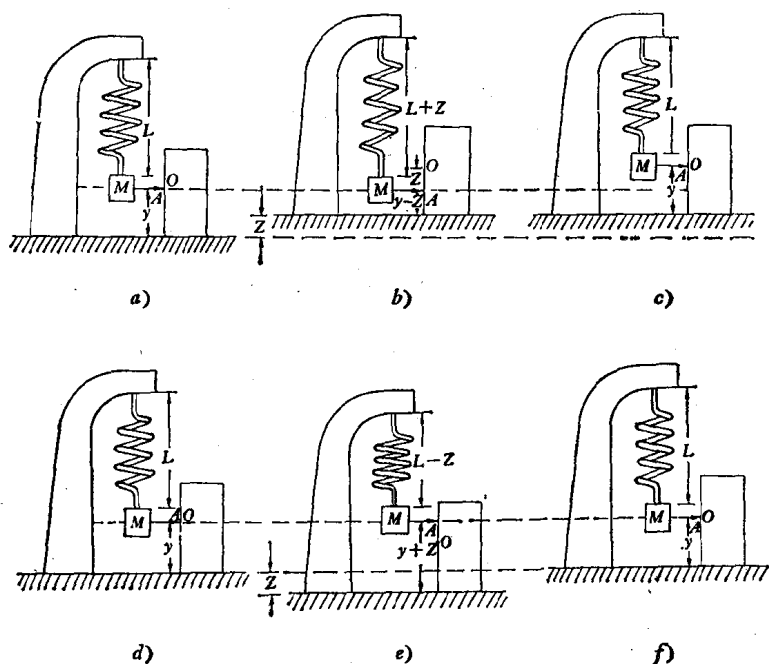


图 1-4

达最高点时,重锤由于本身周期很长,所以处在还没有动或刚开始要动的状态(图 1-4 b), 这时地面到达最高点后又很快地向下运动,回到原来的静止位置。这样一上一下很快地运动,使重锤跟不上地面的运动,结果重锤就停留在静止位置(图 1-4 d)或在静止位置的附近作微小的运动。接着地面又向下运动,情况完全和向上运动一样,由于地面运动的周期很短,周期很长的重锤振动系统也无法跟着地面动。因此在记录纸上就可以得到向上和向下移动 Z 距离的记录线条。

从此看到,如果重锤振动系统的周期 T_1 比地动的周期 T_0 长得很多(即 $T_1 \gg T_0$), 摆锤就能正确地反映出地动的大小。在这种情况下,重锤就可以作为一个相对的基准点,用来衡量地面运动的大小。同时可以清楚地看到,纸上的记录并不是重锤的运动,而是地面的运动,记录纸上所记录到的是反向的相对运动。

如果地面慢慢地向上移动,也即是 $T_1 \ll T_0$ 的情况,则重锤将随地面而动,结果重锤的指针 A 就始终指在记录纸的 O 点,或者在 O 点附近作微小的振动,反映不出地面移动的正确情况。

如果地面运动的周期 T_0 与重锤振动系统的周期 T_1 相同,这时会产生共振现象,使记录到的运动有很大的畸变。

虽然不可能制造一个周期为无限大的摆振动系统,因而也就不可能得到一个相对地面是完全静止的基准点。但是,如果我们能够制成一个摆振动系统,它的周期与所需研究的地动周期相比为甚长时,则也就能足够正确地反映出地面移动的大小。

上面已经提到,当地面作冲击式的运动时重锤(即摆振动系统)会受到一个冲击的外力,这时相对地面来讲,重锤也好似在作冲击式的运动。但是当地面静止时,重锤本身却不会立即静止不动,它将以本身的固有周期仍往复地振动着,一直到它振动的能量完全消失为止。这种往复振动着的摆本身的固有振动,会使摆反映地面运动发生畸变,如果地面在摆固有振动未静止时又开始运动,由于记录上混杂有摆的固有振动,得到的记录自然是不真实的。因此必须想法除去这种摆的固有振动,也就是用一种装置来吸收摆固有振动的能量。这种装置在地震仪器中称为阻尼器。利用阻尼器可以吸收一部分,有时甚至是大部分摆固有振动的能量。不过以后将会看到,过大的阻尼作用会减低地震仪器的灵敏度。

地震观测表明,地震时除了震中地区会有较大的地动外,一般讲来,地面的移动量是很微小的,常常只有几个微米或不到一个微米。这样微小的移动量在记录上显然无法觉察到,有时由于机械系统中的摩擦,甚至反映不出来。因此必须把它放大后才能显示出来。放大地面运动的这一部分称为放大记录部分,或者称为放大器。在地震仪器中,有些仪器利用直接的机械杠杆或光杠杆系统放大,有些仪器把重锤(或摆)机械运动的能量用换能器转变成电能,并用电流计或电子放大器放大。所谓换能器就是把机械运动的能量转变为电能的一种转换装置。由于电子技术的不断发

展, 电子(晶体管)放大器目前在地震仪器中占据着很重要的地位。

用换能器转换成电信号的地动信号, 有的直接或者经过调制(调频或调幅)以后, 用导线输入到电流计或记录笔中去; 有的经过振幅、频率或位相调制以后, 用发射装置发出并由接收装置转送到记录装置中去。经过放大后的地动信号, 最后用记录器记录下来。在地震仪器中记录主要是采用波动模拟的形式(即普通地震波动记录形式), 但在有些仪器中是先将地动信号直接转变为数字的形式, 记录下来。

在分析研究中常常需要知道地震发生的时刻和震动随时间变化的过程, 因此在地震仪器中有时间记录装置。这种装置把正确的时间记号固定在记录纸上, 称为记时装置——记时器。

因此地震仪器(图 1-5)的主要组成部分有摆(包括重锤), 阻尼器, 换能器, 放大器, 记录器和记时装置。有时常常把摆、阻尼器和换能器合称为拾震器。

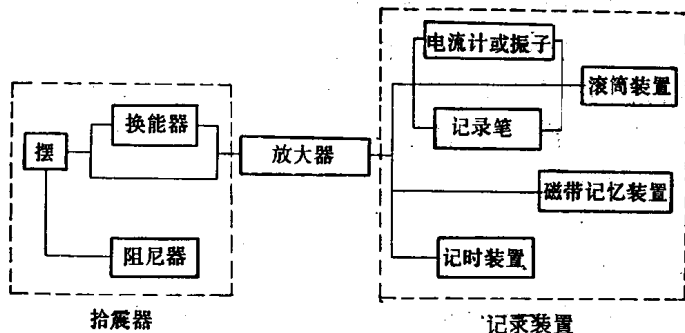


图 1-5