

电信遥测与地震台网

国家地震局地球物理研究所四室 著

地震出版社

电信遥测与地震台网

国家地震局地球物理研究所四室

地震出版社

1982

内 容 提 要

本书主要叙述电信遥测原理和技术。结合电信传输地震台网,详细地阐述了使电信技术和遥测技术结合而产生的电信遥测技术的各个组成部分,包括传输设备、传输线路、信息拾取、记录、时间服务系统等。书中还介绍了地震传输台网的专用和辅助设备以及观测系统的标定方法,对电信传输设备的维护及故障处理作了说明,同时对电信遥测在国防、气象、矿山等各方面的应用也作了简要叙述。

本书可供从事地震台网及台站观测技术人员、地球物理研究人员及大专院校有关专业师生参考,还可供气象、地质、国防等方面工作的工程技术人员参考。

电信遥测与地震台网

国家地震局地球物理研究所四室

地 震 出 版 社 出 版

北 京 复 兴 路 63 号

北 京 印 刷 二 厂 印 刷

新 华 书 店 北 京 发 行 所 发 行

各 地 新 华 书 店 经 售

850×1168 1/32 $9\frac{1}{4}$ 印张 234 千字

1982年4月第1版 1982年4月第1次印刷

印数: 0,000—2,000

统一书号: 13180·138 定价: 1.15 元

前 言

电信遥测是一门比较新的技术，它是一种把电信技术和遥测技术结合起来的综合技术。电信技术一贯是以传递人的语言和文字为其主要目的。随着科学技术的发展，电信技术的使用范围越来越广，传真技术可以将图片传至几千公里之外，电视信号通过电信线路也可以传至全国各地。电信技术为遥测技术服务也得到了广泛的应用，将几百几千公里外的各种物理信号通过电线路传递到某一个中心进行处理的技术已经在世界各地得到了广泛的应用。遥测技术是随着科学技术发展而产生的，特别是空间技术的发展更进一步促进了遥测技术的发展，但是地面对地面的遥测技术却没有空间对地面遥测技术发展那么迅速。其主要原因就是因地面对地面遥测有很多困难。把电信技术和遥测技术结合起来，就使地面对地面遥测技术得到了发展。其中最突出的例子就是地震遥测台网的建立。六十年代美国林肯实验室建立的大孔径地震台阵，就是采用无线、有线、微波等电信技术将 525 个地震台的地震信息遥测至林肯实验室以监视世界上的核爆炸。其后在美国其他地区，在日本、加拿大等很多国家都采用电信技术建立起遥测地震台网。我国于 1966 年在北京地区利用电信技术建立了北京电信传输地震台网。最初采用简单的电信遥测方法将 8 个地震台的信息传至北京台网中心，以对北京地区地震活动进行监视，现在已经发展成为采用较先进遥测技术、使用电子计算机进行处理的、遥测多种地球物理信息的大型电信遥测地震台网。

由于电信技术一般是传递语言及文字的，而遥测技术主要是对远距离的各种物理量进行测量。且测量的物理量之种类、幅度、频率、动态范围都和电信传输的语言及文字不同，这就需要使遥测技术和电信技术结合起来，利用电信技术使遥测信号得以传递，这就是电信遥测技术的任务所在。

目前电信遥测绝大部分是采用通讯电路的音频话路,用以进行遥测数据的传递。首先就需要把遥测信息变成电信信息,也就是变成音频信息。转换的设备我们称为电信遥测设备。经常使用的转换的方法有模拟方法和数字方法。由于电信通话频带很窄,因此不管用哪一种方法来进行转换,都要求尽最大努力在这个有限通带里传送更多的信息。这一点和空间遥测是有很大差别的。在模拟方法中最常用的是调频方法,这个方法的优越性是抗干扰性强。我国自己研制的8路调频遥测地震仪就是这种设备,它不仅可以做地震遥测还可以做地磁、气象、水文、生物电等遥测使用。美国也有8路地震遥测系统,同我国设备比较,在频率分配上有所不同。其它国家也都有类似的设备。数字方法最常用的是采用脉冲编码的方法,一般使变换的数码率适应电信传输数码率,大多在4800比特或2400比特。由于我国目前还没有数传专门电路,因此遥测设备还带有数传机。为了扩大测量动态范围,数字方法的放大器都选用浮点自动增益或可变增益放大器。

本书结合我国电信传输地震台网的实际,介绍电信遥测原理和技术,特别是地震和地磁信息遥测的基本原理。对遥测信道——电信电路及遥测设备的组成作了较详细的叙述。对地震、地磁数据的拾取,汇集及记录,观测系统的标定方法也作了必要的叙述。同时总结了北京电信传输地震台网实际观测经验,叙述了电信遥测设备维护及故障处理。为了促进遥测技术的交流,在本书中还介绍了电信遥测技术在其它领域中的应用。

本书主要由陈会忠和张孟申执笔,第九章由顾子明执笔。参加本书编写工作的还有夏恩山、李月生、王凤霞、肖秀华。附录由蔡多整理。本室其他同志也作了许多有益的工作。

本书是在秦馨菱研究员指导下编写的,他审阅了全部书稿。

编者一九八一年

目 录

第一章 电信遥测原理和方法	(1)
第一节 无失真传输系统	(1)
第二节 地震信号的直接传输	(5)
第三节 地震信号的远距离多路传输	(9)
第四节 频率调制	(10)
第五节 调频系统中的噪声	(14)
第六节 调频系统输出信杂比的改善	(23)
第七节 调频多路系统的干扰问题	(29)
第八节 调频和调相的关系	(33)
第二章 电信遥测地震设备	(36)
第一节 地震观测对遥测设备的要求	(36)
第二节 调频系统基本参数的确定	(37)
第三节 PTY-8 地震信号遥测设备	(39)
第四节 单元电路原理	(42)
第五节 单路和三路地震信号遥测设备	(61)
第三章 传输线路	(63)
第一节 通信电线路	(63)
第二节 线路的一次参数	(66)
第三节 均匀传输线上的电压和电流关系	(73)
第四节 线路的二次参数及传播速度	(75)
第五节 载波话路	(82)
第六节 载波机	(85)
第七节 通信电路与地震信号传输	(93)
第八节 无失真传输线和无失真传输通道	(95)
第九节 地震信号传输通道的相移	(98)

第十节	地震信号传输的时延·····	(100)
第十一节	通信线路质量对地震信号传输的影响·····	(104)
第四章	地震观测传感器·····	(111)
第一节	地震计的构成及其对地面振动的检测·····	(111)
第二节	地震计的基本参数及其对地震观测的 影响·····	(116)
第三节	电信传输地震台网对地震计的要求·····	(120)
第四节	地震计的常数测定·····	(121)
第五章	记录与标定·····	(130)
第一节	笔绘记录·····	(130)
第二节	磁带记录基本原理·····	(136)
第三节	磁带记录中的调制与解调·····	(140)
第四节	磁带记录的抖动补偿·····	(143)
第五节	触发式磁带记录·····	(145)
第六节	地震延时器·····	(146)
第七节	地震触发器·····	(150)
第八节	磁带记录的计时及回放定位器·····	(158)
第九节	台网记录的系统标定·····	(159)
第六章	时间服务系统·····	(169)
第一节	时间服务在地震观测中的作用·····	(169)
第二节	机械时钟·····	(170)
第三节	石英钟·····	(172)
第四节	数字钟·····	(178)
第五节	时间的校准·····	(182)
第七章	地震台网及其它电信遥测·····	(186)
第一节	传输地震台网·····	(186)
第二节	传输地震台网的作用·····	(187)
第三节	台网的测定范围·····	(189)

第四节	北京电信传输地震台网的观测系统·····	(193)
第五节	北京地震台网仪器的频率特性和动态 范围·····	(197)
第六节	地震遥测技术在其它方面的应用·····	(198)
第八章	电信传输地震台网的维护·····	(204)
第一节	台网设备的可靠性·····	(204)
第二节	电信传输地震台网监测设备·····	(209)
第三节	台站维护·····	(218)
第四节	台网中心的维护·····	(222)
第五节	台站和线路故障的判断·····	(227)
第六节	分盘电路的维修·····	(235)
第七节	直接传输系统的维修·····	(237)
第九章	地磁信息传输·····	(240)
第一节	北京地区地磁台网概述·····	(240)
第二节	质子旋进式磁力仪原理简介·····	(242)
第三节	台站的探测器·····	(244)
第四节	中心控制与记录系统·····	(244)
第五节	比测·····	(268)
第六节	传输质量检查·····	(273)
附录 I	绝对电平和功率, 电压及电流的 对照表·····	(275)
附录 II	对于不同 n 和 β 值时贝塞尔函数 $J(\beta)$ 值·····	(281)
附录 III	拾震器频率特性数据·····	(283)
附录 IV	V-D 换算表·····	(285)

第一章 电信遥测原理和方法

第一节 无失真传输系统

如绪论所述，把遥测技术和电信技术结合起来而组成的电信遥测技术，首先实现了对地震信息的遥测。电信遥测技术把一个地震台网的地震台信号都传输至一个中心，实现了多个观测点，一个中心点的遥测系统。这与火箭、卫星等遥测不同，它们均为一点发送多点接收的遥测。

无论任何遥测，都要求所传递的信号不失真，这样才能真实地反应遥测信息本来面目，以便使研究人员从遥测得到的资料进行科学的研究。这就要求遥测系统是一个无失真传输系统。

一、线性系统及其滤波特性

对于一个无失真系统，首先要求它是一个线性系统，不管信号在过程中有何种变换和逆变换，但这个系统的输入和输出必须是线性的。所谓线性系统就是用迭加原理表征的系统。这意味着若 $r_1(t)$ 是激励函数 $f_1(t)$ 的响应函数， $r_2(t)$ 是另一个激励函数 $f_2(t)$ 的响应函数，则激励函数 $f_1(t) + f_2(t)$ 的响应函数便是 $r_1(t) + r_2(t)$ 。一般说对于任意常数 α 和 β ，激励函数 $\alpha f_1(t) + \beta f_2(t)$ 的响应函数是 $\alpha r_1(t) + \beta r_2(t)$ 。

在确定一线性系统对于给定的激励函数的响应时，我们可以利用迭加原理。一个激励函数可以表示为一些较简单的函数之和，这些函数的响应能够计算出来。任意一个激励函数 $f(t)$ 可以由傅里叶（或拉普拉斯）变换方法获得系统的响应。

在电子学中，我们设计一个线性系统，也只能做到在一定范围内是线性的，并且它的响应特性都是在一定频率范围内的响应

特性。

对于给定的系统，输入信号 $f(t)$ 产生一个响应信号 $r(t)$ ，这就相当于依据该系统的特性处理信号 $f(t)$ 。若输入信号的谱密度函数是 $F(\omega)$ ，则响应的谱密度函数便是 $F(\omega)H(\omega)$ ，此处 $H(\omega)$ 为系统的传输函数。因此，系统改变了输入信号的谱密度函数。

这样一个系统的功能类似一种对各个频率分量的滤波器。通过这个系统，某些频率分量增强了，某些频率分量被衰减，而某些频率分量则没有改变。同时，每个频率分量在传输过程中都受到不同的相移。系统按照其滤波特性改变谱密度函数，这种改变按照传输函数 $H(\omega)$ 来实现，以传输函数表示系统对不同频率分量的响应。因此 $H(\omega)$ 象一个对不同频率的加权函数，所得响应就是经过传输后的谱密度函数 $F(\omega)H(\omega)$ (图1.1)。

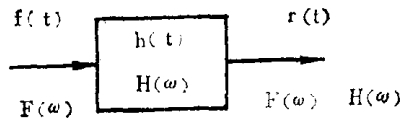


图1.1 传输函数

输入信号具有谱密度 $F(\omega)$ ，如系统响应为 $H(\omega)$ ，则响应的谱密度是 $F(\omega)H(\omega)$ 。

每一个系统，都是由很多部分组成的，每一部分都有它自己确定的响应，因而要用数学计算方法得到整个系统的响应，工作量将是很大的，也是较困难的。我们知道，系统所包括的各个环节的四端网络的方程式是很复杂的，因而我们往往用较简便的方法测定出系统的响应，而不是去做那些复杂的计算。以图1.2(a)所示的最简单的R-C网络为例，如果把一个矩形脉冲加到此网络的输入端 $a a'$ 上，其响应便是网络输出端 $b b'$ 上观察到的输出

电压 $v_o(t)$ 。

图1.2(b)是输入波形, (c)是输出波形, 图1.2(d)是网络滤波特性的幅度曲线。根据输出电压和输入电压, 网络的传输函数 $H(\omega)$ 是 $1/(j\omega + 1)$, 即 $H(\omega) = 1/(j\omega + 1)$, 其中幅度特性为 $A(\omega) = 1/\sqrt{1 + \omega^2}$ 。

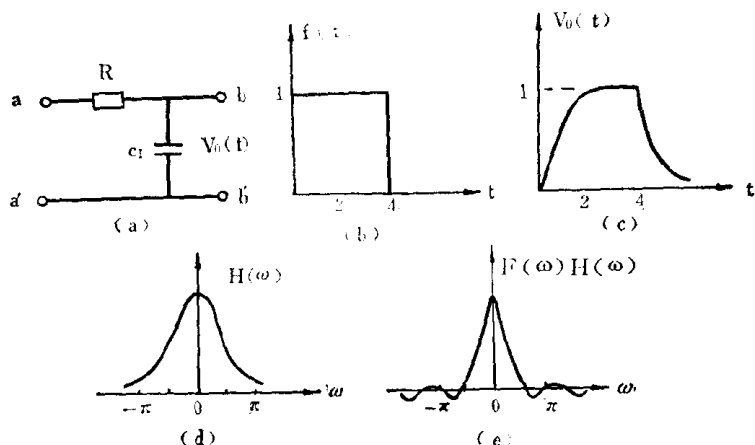


图1.2 网络的低通特性

我们先不管相位特性, 就其幅度特性来说, 此网络对高频衰减很大, 而对低频衰减很小, 所以这个网络是低通滤波器的一种最简单形式, 其响应的谱密度函数的幅度是 $|F(\omega)H(\omega)|$, [见图1.2(e)]。

响应函数 $v_o(t)$ 是输入信号经过失真的复制品, 造成失真的原因就在于网络不容许输入信号的所有频率分量均等地通过, 其中高频分量受衰减最大。这表现在响应电压的上升和下降特性上, 输入信号在 $t = 0$ 时急剧上升, 这里包含着很高的频率分量。由于网络不容许高频分量通过, 所以输出电压不能随之迅速变化, 因此 $u_o(t)$ 的上升和下降比输入信号缓慢。看来线性系统也不能做到无失真传输。

二、无失真传输

为了使信号无失真传输，系统必须能均等地衰减所有频率分量，即 $H(\omega)$ 对于所有频率应具有恒定的幅度。不过，这个要求对于保证无失真传输还是不充分的；每个频率分量的相移也必须满足一定的关系才行。可以想像，尽管信号的所有频率分量以同样的衰减通过系统，如果在传输过程中它们受到不同的相移，就会迭加成完全不同的输出信号。

为了无失真传输，要求响应是输入信号的准确复制品，复制品的幅度可以有所不同，重要的是波形不能失真。一般来说复制品还可以有某些时延，因此可以说：倘若响应是 $Rf(t-t_0)$ ，则信号 $f(t)$ 所经历的是无失真传输。此时响应是输入信号 $f(t)$ 的精确复制品，而幅度是原信号的 R 倍，并且延迟了 t_0 秒。为了实现无失真传输，需要 $r(t) = Rf(t-t_0)$ ，根据网络的时移特性，我们有 $R(\omega) = F(\omega)H(\omega) = RF(\omega)e^{-j\omega t_0}$ ，所以对于无失真系统，要求 $H(\omega) = Re^{-j\omega t_0}$ 。传输函数的幅度 $|H(\omega)|$ 为 R ，它对所有频率均是常数。而相移则正比于频率：

$$\theta(\omega) = -\omega t_0 \quad (1.1)$$

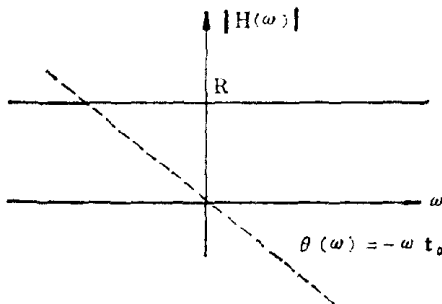


图1.3 无失真传输系统的幅度和相位特性

如果两个不同频率的分量移动同样的时间间隔，其相应的相位变化就应和频率成正比。例如：若信号 $\cos \omega t$ 移动 t_0 秒，则所得

信号 $\cos\omega(t-t_0)$ 可以表示为 $\cos\omega(t-t_0) = \cos(\omega t - \omega t_0)$, 其信号的相移是 $-\omega t_0$, 它和频率 ω 成正比。严格地讲, 公式(1.1)应该为

$$\theta(\omega) = n\pi - \omega t_0 \quad (1.2)$$

式中 n 是正的或负的整数。因为外加相位 $n\pi$ 最多只改变信号的符号, 所以无失真系统的相位函数必须满足公式(1.2)。

目前, 任一系统的幅度恒定性常由带宽来表示。一个系统的带宽一般定义为幅度 $|H(\omega)|$ 保持在大于其频率中心处的幅度值之 $1/\sqrt{2}$ 倍(即 3db)的频率区间。其 $|H(\omega)|$ 曲线示于图 1.4。

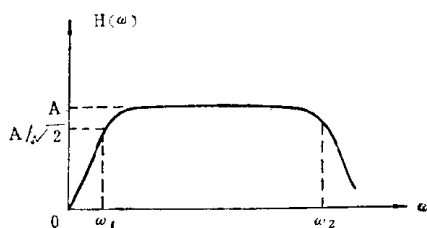


图1.4 系统的 $|H(\omega)|$ 曲线和带宽

为了无失真传输, 系统需要有无穷大的带宽, 这一点是不能实现的。实际上, 系统只要具有有限的但相当大的带宽, 就可以获得满意的无失真传输。对于一定的物理信号, 能量总是集中在一定带宽之内, 因此仅需构成能传送包含大部分信号能量的频率分量的系统, 所衰减的很小一部分的频率分量只引起很小的失真, 因为这些分量只携带很少能量。当然这种“无失真”不是绝对的, 它只是人为地将失真降至很小, 以至可以忽略不计。

第二节 地震信号的直接传输

在地震观测特别是微震观测中, 提高信杂比是提高信号放大的先决条件。提高信杂比有很多方法, 除了在观测仪器的设计中尽量降低观测系统的噪声外, 选择良好的台址是很重要的。过

去由于交通、通讯和生活条件等限制，常常不能在某个最佳点上建台观测。这对地震工作是一个很大损失。使用地震信号传输技术后，我们就可以在最佳台址设台。

一、短距离直接传输

为使地震观测有一个好的台基，可以将拾震器放到距离台站一公里左右、环境安静的基岩上，而将记录器放在台站上。因为距离较短，拾震器的信号可以用屏蔽线直接传输给记录器。为降低外界对传输线的干扰，应将传输线埋在地下，将导线密封于人工管道中，注意防潮、绝缘。在一公里以内传输采用双芯屏蔽线（话筒线）而不会引起很大干扰。在一公里以上至三公里左右的距离内传输，则需用屏蔽更好的电缆线，如井下电缆。这样，就是传输三个分向的信号也不需要很多线。这种方法 的优点是简单、经济、维护方便，摆房里不需电源，平时也不需要检查。在定期进行标定时，可利用两根导线的屏蔽外皮作为手摇电话机的通话线。如果分段标定，则在记录仪器室进行标定就可以了。使用这样的传输方式最好将拾震器的阻尼电阻直接接在拾震器上。如果每天对系统进行脉冲标定，可增加一对导线作为控制线。

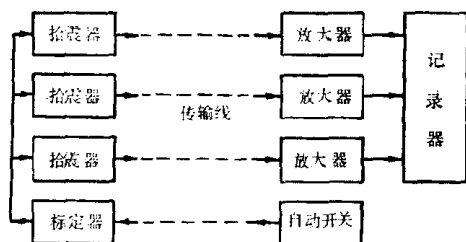


图1.5 短距离直接传输原理图

二、中距离直接传输

摆房距离记录仪器室 5—10 公里时采用的传输方法称为中距离传输。

拾震器输出的信号是很微弱的，在长5—10公里左右的导线中传送将不可避免地混入很多噪声，使传输的信噪比降低。为了提高信杂比，必须在传输之前将拾震器的输出信号放大，然后将放大的信号送到传输线上。由于大信号传输，对线路要求不高，只要一对内阻不太大的实线就可以了。一般用直径为3毫米的铁线即可。用铜线当然更好，不过造价太高。接线方法见图1.6。

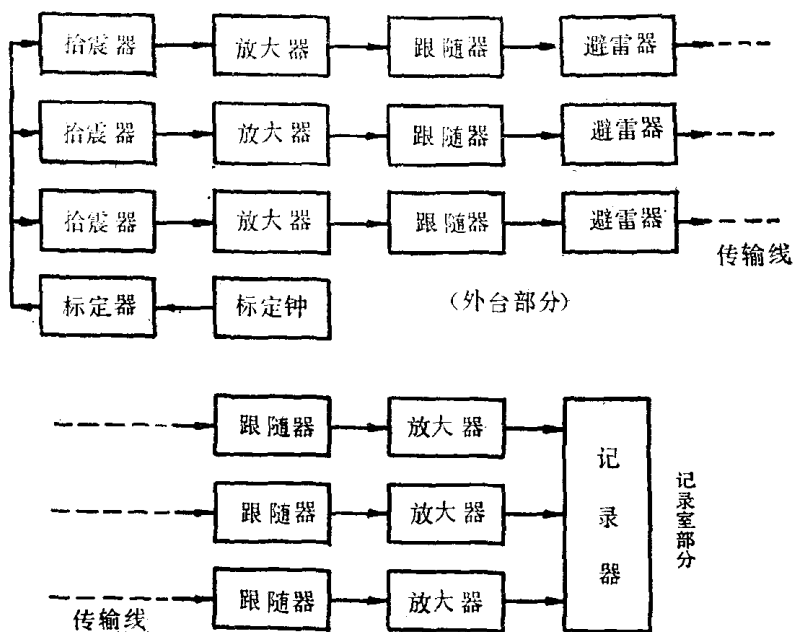


图1.6 中距离直接传输原理图

使用DD-1地震仪的台站，可按照DD-1说明书中的连接进行传输。使用67型放大器则采用图1.7所示的方法连接。

在记录中心使用熏烟记录笔时，因它的灵敏度较高而容易推动，只加一级跟随器就够了。如果用墨水笔记录，则还需加一级功率放大器，以便有足够的信号功率去推动笔头。由于熏烟记录笔是积分笔，所以采用线性放大器，将拾震器输出的速度量，经

过记录笔的积分得到位移量的记录。如果采用线性笔则必须在放大器中加入积分网络，将速度量变为位移量。

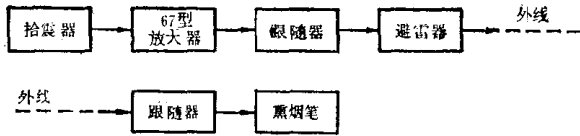


图1.7 使用67型放大器时中距离直接传输方框图

在传输过程中，台站上的放大器输出最好保持0.5伏左右的直流分量，这个直流分量能够帮助值班人员检查线路是否良好。

这种传输容易出现50周（市电）干扰，接线不适当就会引入这种干扰，严重影响记录质量。50周干扰太大还会将放大器阻塞，使仪器无法正常工作。主要的解决办法是合理连接。摆房里的仪器系统都是采用接“零”而不接地的连接，使这些仪器全部对地绝缘良好，而拾震器的外壳及标定线圈的一端必须与放大器的零位相连接。摆房里往往比较潮湿，必须注意绝缘问题，摆线最好架空，不与大地接触。另外，传输线路对地绝缘不良也会引入较强的50周干扰，发现后应立即排除。

三、长距离直接传输

为了在一个地区组成地震观测网而将信号集中于一个测震中心记录，以便迅速、全面地取得地震数据，往往还需要长距离直接传输。

架设一对实线只能直接传输一个单分向地震信号，这是很不经济的。在有些地方，电信部门可以加上一个单路或三路载波机，利用这对实线同时传送一路或三路电话。如果是铜线，可以加一个十二路载波机，同时供十二对用户通话使用。同时我们还可以借用通信线路的实线部分来传送地震信号而互不影响。

长距离直接传输的方框图与图1.7相同，但是它遇到的问题要比中、短距离传输时多。

下面分析了几种传输方式的特点。

1. 中距离和短距离传输比较经济,且方便,它适用于地方台站。

2. 长距离直接传输能解决远距离传输问题,为建设地区性的测震中心提供必要条件。但是线路架设费用太高。如果与电信部门合作可以大大降低费用,然而只能传输一个分向的地震信号。

3. 长距离传输线路中间接头多,通过转换电信局多,容易出现接触不良现象,接触不良会引起线路阻抗变化,或造成线路不通。阻抗变化超出一定范围时会使信号严重衰减,整个系统放大倍数改变,在地震震级的分析中造成误差。

4. 长距离直接传输线路受风沙影响较大,容易瞬间混线,造成记录笔乱打现象。另外,传输线路附近的树木逐年生长,在刮风时,树枝接触传输线也造成绝缘不良或混线。一百公里的传输距离内,需要两千根电线杆,只要其中一根线杆对地绝缘不好就可引入很强的地气干扰。雷雨季节长距离传输线所受干扰更大,避雷设施不周时可能击毁测震仪器设备,危及人身安全。

第三节 地震信号的远距离多路传输

对于地震研究而言,一个台站的观测数据是不够的,特别是开展地震预报的研究工作,需要把较大区域内所观测的数据迅速集中处理,这就要把各个台站观测到的信息传送到一个较远的中心。另外,一个地震的孕育和发生的过程常常伴随着多种地球物理量的变化。所以,还要观测分析这些地球物理量的变化,研究它们与地震的关系。这就要对这些物理量的信息进行观测并把它传输到记录分析中心。仅就测震而言,地震信号的频率范围和动态范围是很宽的,要设计一种频响范围很宽、动态范围很大而不失真的地震仪是很困难的。所以测震工作者设计出了微震仪、中