



遥测地震仪原理

孙传友 高光贵 编

遥测地震仪原理

石油工业出版社



遥测地震仪原理

孙传友 高光贵 编



石油工业出版社

(京)新登字082号

内 容 提 要

本书以地震信号流程为主线,介绍了遥测地震仪整机的基本原理,重点讨论了电缆、光缆和无线电传输三种类型的遥测地震仪共同涉及的基本理论和它们之间的主要区别。

本书具有面广、线粗、内容新的特点。可作为大专院校地震勘探仪器课程的教学用书,也可供从事数字地震仪研制、使用、维修和管理的工程技术人员参考。

遥测地震仪原理

孙传友 高光贵 编

*

石油工业出版社出版

(北京安定门外安华里二区一号楼)

北京昌平第一排版厂排版

北京顺义燕华印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行

*

787×1092毫米 16开本 18¹/₄印张 460千字 印1—2,500

1992年2月北京第1版 1992年2月北京第1次印刷

ISBN 7-5021-0644-8/TE·612

定价: 5.40 元

前 言

地震勘探仪器是野外进行地震数据采集的专用设备。它包括震源、检波器和数字地震仪三大部分。目前国内外使用的数字地震仪有常规地震仪和遥测地震仪两大类。遥测地震仪是在常规地震仪基础上发展起来的新型仪器，它正越来越多地被应用于高分辨率三维地震勘探之中。

本书以地震信号流程为主线，介绍了遥测地震仪整机的基本原理。重点讨论了电缆、光缆和无线电传输三种类型的遥测地震仪共同涉及的基本理论及它们之间的主要区别。全书分为七章：概论、数据采集系统、数据传输系统、数据的压缩和处理、记录系统、监视系统和控制系统。第七章第二节由高光贵编写，其余章节由孙传友编写。全书由孙传友主编。

本书初稿曾作为江汉石油学院地震勘探仪器课的试用讲义。该讲义打印前，由李光祖教授仔细审阅过。打印成册后，请牛毓荃高级工程师审阅了概论部分，廖良平、王同军分别审阅了有关SN368、MDS—16和Opseis 5500部分，罗维炳高级工程师主审了全书。此次出版前，根据上述同志的审查意见对初稿进行了修改。借此机会，我们对这些同志的指导和帮助表示衷心感谢。

在本书编写和修改过程中，武汉水利电力学院丁传和同志、西安石油仪器总厂张在陆高级工程师、物探局洪祖扶高级工程师、西安石油学院吕郊副教授给予了热情的帮助和鼓励。在此，向他们致谢。

由于编者水平有限，加之时间仓促，书中存在不少缺点和错误，敬请读者批评指正。

编者

1990年8月

目 录

第一章 概论	1
第一节 地震波的特征及其对地震仪的基本要求.....	1
第二节 常规地震仪的原理框图及其局限性.....	5
第三节 遥测地震仪的优越性和基本组成.....	8
第二章 遥测地震仪的数据采集系统	12
第一节 输入电路和前置放大器.....	12
第二节 滤波器.....	20
第三节 模拟—浮点数转换电路.....	35
第四节 子样数据暂存器.....	68
第三章 遥测地震仪的数据传输系统	70
第一节 电缆传输系统.....	70
第二节 光缆传输系统.....	86
第三节 无线电传输系统.....	97
第四章 地震数据的压缩和处理	114
第一节 叠加器.....	114
第二节 相关器.....	122
第三节 相关叠加器.....	133
第四节 阵列处理机.....	158
第五章 遥测地震仪的记录系统	141
第一节 数字磁带机基本原理和组成框图.....	141
第二节 磁带记录格式.....	143
第三节 SEG—D格式写编排电路.....	154
第四节 磁带记录密度与磁带记录方式.....	165
第五节 GCR写格式和写电路.....	171
第六章 遥测地震仪的监视系统	180
第一节 GCR读电路.....	180
第二节 SEG—D格式读解编电路.....	189
第三节 数字AGC.....	192
第四节 数模转换器和反多路开关.....	204
第五节 回放滤波器.....	205
第六节 静电照相示波器.....	211
第七章 遥测地震仪的控制系统	217
第一节 SN368地震仪的控制系统.....	217
第二节 Opseis 5500地震仪的控制系统.....	268
参考文献	287

第一章 概 论

第一节 地震波的特征及其对地震仪的基本要求

众所周知,地震勘探是一种有效的地球物理勘探方法。而地震勘探仪器则是地震勘探在野外进行地震数据采集的专用设备,它的基本任务是把在地表激发的并在地层中传播后返回地表的地震波接收并记录下来,经处理中心处理后,可得到一张能形象反映该地区地下地质情况的地震剖面图。从理论上讲,地震勘探仪器应包括激发地震波的“震源”、接收地震波的“检波器”和记录地震波的“地震仪”三部分。这三部分在野外地震数据采集过程中是互相联系、缺一不可的。但比较起来,地震仪对地震信息记录的数量和质量的影响最大,并在一定程度上影响着地震勘探的地质效果。所以被认为是地震勘探仪器的核心部分。

因为“地震仪”能把返回地表的地震波记录下来,并为勘探工作者提供了推断地下地质情况的依据。所以为了帮助勘探工作者准确、细致地推断地下的地质情况,就要求地震仪尽可能真实地把地震波的各种特征如实地记录下来,既不丢失任何有用的信息,也不增添任何不需要的成分,这是衡量一个地震仪性能好坏的标准,也是设计和制造地震仪的基本要求。为了深入理解这个问题,让我们先来看看到达地面的地震波是怎样形成的?它有哪些特征?然后再研究要把这些特征记录下来,地震仪应具备哪些性能?

一、地震波的形成与特征

如果把某工区地层看作是一个系统,把震源激发产生的激发波形看作是这个系统的输入信号,那么到达地面的地震波就是这个系统的输出。对同一地层来说,如果震源和激发条件不同,它所产生的激发波波形也不同,那么到达地面的地震波波形就会不同;另一方面,在两个工区即使震源和激发条件完全相同,但由于地下地质情况不同,到达地面的地震波波形也不会相同。我们把震源及其激发条件对激发波波形的影响称为“震源效应”,把地震波在地层中传播时受到的各种影响统称为“地层效应”,到达地面的地震波波形便可认为是“震源效应”和“地层效应”共同作用的结果。影响地震波振幅、频率等特征的“地层效应”主要有以下三种。

1. 波前扩散

所谓波前扩散是指地震波从震源向四面八方传播,其散布的面积即波前阵面的面积随传播距离的增加越来越大的现象。因此,即使总能量没有变化,单位面积上的能量也会越来越小,从而使地震波的振幅也越来越小。在均匀介质中,这种波前扩散为球面扩散。设在半径为 r_1 和 r_2 的波前面上,地震波振幅分别为 A_1 和 A_2 ,则

$$\frac{A_2}{A_1} = \frac{r_1}{r_2} \quad (1-1)$$

即地震波的振幅与其传播距离成反比。

2. 吸收效应

地震波在介质中传播时,其总能量实际上并不是没有变化的,而是部分地逐渐被介质吸收。目前对其被吸收的原因虽看法不一,但一般认为,在均匀介质中吸收效应使地震波的振幅呈指数衰减。设起始振幅为 A_0 ,经过 t 时间后,振幅变为 A_t ,则吸收衰减为

$$H = 20 \log \frac{A_t}{A_0} = -\alpha f t (\text{dB}) \quad (1-2)$$

式中 f ——地震波的频率；
 α ——吸收系数。

由上式可见， H 正比于 $f \cdot t$ 。因此，波在地下旅行时间 t 越长，或者说反射层越深，其振幅则越小，换句话说，浅层反射波振幅比深层反射波振幅强。同时也可以看出，在相同旅行时的情况下，波的高频成分比低频成分振幅衰减要快。因此，在地震记录上，浅层反射波的振幅较强，且频率较高，而深层反射波的振幅较弱，且频率较低。

3. 反射和透射

地震波在遇到不同地层分界面时，会产生反射和透射。在有多个分界面时，将产生多次反射和透射。

假如界面上下地层密度为 ρ_1 和 ρ_2 、地震波速度为 V_1 和 V_2 。入射波振幅是 A_0 ，反射波振幅是 A_1 ，透过波的振幅为 A_2 ，反射系数为 R ，则地震波法向入射到界面上时有

$$\begin{aligned} A_1 &= A_0 \cdot R \\ A_2 &= A_0 (1 - R) \\ R &= \frac{\rho_2 V_2 - \rho_1 V_1}{\rho_2 V_2 + \rho_1 V_1} \end{aligned} \quad (1-3)$$

反射系数是反射法勘探中的重要参数，反射系数的大小取决于界面两侧的岩性。岩性差异越大，反射系数的绝对值越大，反射振幅越强。

目前，在地震勘探的实际工作中，主要应用的是反射波法。反射波法中的“一次反射”波即“一次波”是用来解决所提出的地质问题的主要波，故称为“有效波”，而不能用来解决地质问题的波统称为“干扰波”。因此，我们这里着重研究反射波的形成及其特征。

地下各个界面的反射波传到地面后，由安置在排列上的检波器转换成电压信号。如果不

考虑检波器接收到的干扰波，只考虑接收到的一次反射波，那么根据震源效应和地层效应的假设，可示意性地画出近源检波器输出的反射信号包络随时间变化的曲线，见图1—1。

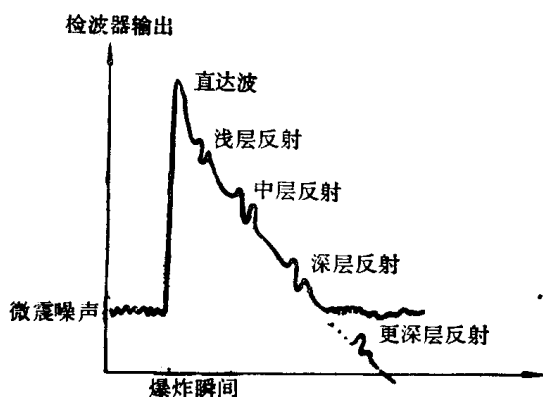


图 1—1 检波器输出信号包络的幅度曲线

考虑检波器接收到的干扰波，只考虑接收到的一次反射波，那么根据震源效应和地层效应的假设，可示意性地画出近源检波器输出的反射信号包络随时间变化的曲线，见图1—1。

在震源激发之前，地面由于风雨雷电、人畜活动、机器振动等产生一些微弱的震动，称为“环境微震噪声”。环境微震噪声使检波器产生微弱的输出电压。震源激发后，最先到达检波器的波是直接从震源传到检波器的直达波。由于直达波传播距离最短，能量最强，所以使检波器的输出电压突然增加。直达波过后，检波器电压急剧下降。在检波器电压持续下降的过程中，每当一界面反射波到达检波点时，检波器输出电压就发生在下降背景上的一次跳变。可以认为，信号整体衰减的总趋势是波前扩散和吸收效应造成的。而叠合在整体衰减曲线上的起伏，则是由各界面反射波的到达所致。当幅度比环境微震噪声还低的深层反射信号到达检波器时，这些深层信号便被环境微震噪声所淹没，因此检波器此后的输出基本上是环境微震噪声电压。

由图1—1可见,浅层反射比深层反射先到达检波器,各界面反射波的到达时间取决于地震波传播速度和反射界面的位置。与反射波到达时间有关的特征如到达时间、速度等称为地震波的“运动学特征”。如果地震仪在记录地震波时,能够同时记录一个精确的记时信号,那就可以从仪器得到的地震记录上测定出各界面反射波到达的时间,再结合速度参数就可推断出各反射界面的位置,由此在平面上可以进一步确定反射界面的构造形态。这种为确定地层构造形态的勘探,称为“构造勘探”。

由1—3式可知,界面两侧岩性决定了该界面反射的强弱,由式(1—2)可知,相邻两界面间的岩性和距离将影响两界面反射的振幅衰减。总的来说,地层的构造和岩性将决定着反射波的形状。波的波形特征,称为地震波的“动力学特征”。如果地震仪在记录地震信号时,能将其波形不失真地记录下来,即完好地保留地震波的动力学特征,那就有可能设法从仪器得到的地震记录上测定出各界面的反射系数、相邻反射之间的振幅衰减,从而推测出界面两侧的岩性,甚至可直接确定在该层中是否有油气存在,这种勘探我们称为“岩性勘探”和“直接找油找气”。

二、对地震仪的基本要求

地震仪要把地震信号波形不失真记录下来,就必须在以下几个主要方面满足一定要求。

1. 动态范围

所谓动态范围是指某个物理量的变化范围。信号的动态范围是指信号的最大幅值与最小幅值之比的分贝数。而地震仪的动态范围是指地震仪所允许输入的最大振幅值 V_{imax} 和最小振幅值 V_{imin} 之比的分贝数,通常表示为

$$L_i = 20 \lg \frac{V_{imax}}{V_{imin}} \quad (1-4)$$

式中最大允许输入幅度 V_{imax} 是指使地震仪前放电路发生饱和或者是使模数转换器发生溢出的最小输入幅度。最小允许输入幅度 V_{imin} 一般用地震仪的等效输入噪声电平 V_{IN} 来代替。很显然, L_i 应该大于所需要记录的地震信号的动态范围。根据前面讨论的“地层效应”的规律可知,地震信号的最大幅度是从震源传到离震源最近的检波器的“直达波”的幅度,所需记录的地震信号的最小幅度是最深的勘探目的层的反射波到达检波点的幅度,因此需要记录的地震信号的动态范围主要取决于检波器离震源的水平距离和勘探目的层的深度。下面按照勘探目的层深度为6000m来估算一下离震源30m的检波点的地震信号的动态范围。假定反射面在6000m深处,反射系数为0.04。为简单起见,设此反射面以上的介质是均匀的,平均速度是3000m/s,平均振幅吸收系数 α 为0.5dB。反射波主频 f 为20Hz,故视波长 λ 为150m,反射波共走了12000m路程,也就是80个波长。据(1—2)式可得吸收衰减为40dB;界面反射系数为0.04,故反射波振幅减少28dB,据(1—1)式,波前扩散使反射波与直达波振幅相差 $20 \lg \frac{2 \times 6000}{30} = 52\text{dB}$,所以,综合这三种效应,直达波与深层反射波的振幅比用分贝数表

示,可达120dB。当然,对于不同的地层,其反射系数和岩性参数是不同的,计算出的信号的动态范围也不会相同,但对6000m深的勘探目的层来说,一般认为目前所需要记录的地震信号的动态范围 L_s 为100~120dB。因此,相应地要求地震仪器的动态范围 L_i 应大于100~120dB,今后地震勘探还会向更高分辨率发展,势必要求仪器能记录深层反射波的更高的频率分量。据(1—2)式可知,深层反射的高频分量传到地面的幅度会更微弱,因此这就要求仪器的动态范围还要更进一步扩大。

2. 频率范围

由于吸收效应的缘故,越是深层的反射波到达地面时其主频越低,越是浅层的反射波到达地面时其主频越高。因此,仪器通频带的低端边界即低截频应由有意义的最深反射面确定,仪器通频带的高端边界即高截频应由有意义的最浅反射面来确定。作为一个既适用于深层又适用于浅层的通用仪器来说,记录信号的频率范围应从几赫兹到几百赫兹。在后面我们将看到数字仪的高截频是由采样率限定的,因此对仪器高截频的要求,就决定了对采样率的要求。

3. 非线性失真(谐波失真)

当给一个系统输入一个频率为 Ω 的正弦波时,其输出中出现很多频率为 $k\Omega$ (k 为正整数)的新的频率分量的现象,称为非线性失真。谐波失真系数用来衡量系统产生非线性失真的程度,它通常用下式表示:

$$H = \frac{\sqrt{A_2^2 + A_3^2 + \dots}}{\sqrt{A_1^2 + A_2^2 + A_3^2 + \dots}} \times 100\% \quad (1-5)$$

式中 A_1 ——基波振幅;

A_k ——第 k 次谐波(频率为 $k\Omega$)的振幅。

谐波失真系数与输入幅度之间存在着图1—2所示的关系。在允许的输入幅度范围内谐波

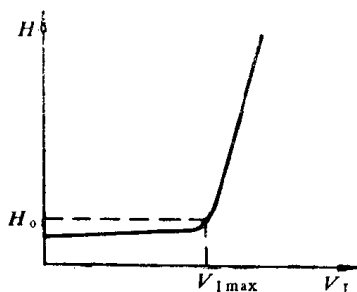


图 1—2 谐波失真与输入幅度的关系

失真系数很小而且变化不大。当输入超过最大允许输入幅度 V_{imax} 时,由于模拟电路会产生饱和或模数转换器会发生溢出,因此谐波失真系数将急剧增大。通常地震仪的谐波失真系数 H_0 都是在最大允许输入幅度下的测量值。很明显,地震仪的谐波失真系数越小则地震信号的保真度就越高。

4. 振幅记录精度

数字地震仪记录信号的方式是在对信号采样后把每个子样幅值用浮点二进制数记录下来。为了提高数字记录精度,除了要求模数转换器有较多的位数和主放大器有较高的增益外,还要求主放增益台阶和模数转换器本身都有很高的精度(见第二章),此外,磁带记录的漏码率也应该很小(小于 10^{-7})。

5. 记录道数

地震仪一开始是单道的,为了便于进行波的对比和提高野外生产效率,后来发展成为多道地震信号同时记录。随着多次覆盖技术的推广和覆盖次数的提高,要求进一步增加道数。高分辨率的地震勘探要求缩短道距至25m、10m甚至5m,而为了保持一定的排列长度,自然也要求道数多一些。特别是近年来,在三维地震勘探方法的应用日益增多的情况下,要求地震仪道数不断增加。在多道同时记录的情况下,为了确保地震记录的质量,还必须要求地震仪内部各地震道电路的振幅特性和相位特性保持良好的一致性,道与道之间的相互干扰(即道间串音)应很小(一般要求小于-80dB)。地震仪在记录各道地震信号的同时,还必须记录爆炸信号(或可控震源扫描信号)、井口信号和计时信号等辅助信号,通常所说的地震仪记录道数指的是地震道道数,辅助道不计算在内。

6. 稳定性和可靠性

地震仪器长年在野外工作,由于野外环境条件差,因而仪器发生故障的外部原因很多,

而地震仪一旦发生故障，整个地震勘探队的工作就将陷于停顿。所以要求地震仪有很高的稳定性和可靠性，并具有一定的自检能力和野外监视功能。

三、地震仪的发展简史及规律

半个世纪以来，随着地震勘探和电子技术的发展，地震仪也随之不断地发展。地震仪的发展史可以分为三代：第一代是模拟光点照相记录地震仪（简称光点仪）。第二代是模拟磁带记录地震仪（简称磁带仪）。第三代是数字磁带记录地震仪（简称数字仪）。从表 1.1 对这三代地震仪的对比可以看出，地震仪发展的基本趋势是使仪器越来越好地满足地震勘探对仪器的要求。每一代新仪器的出现都使地震勘探发展到一个新阶段，而地震勘探的新发展又对仪器提出更新的要求，这些新要求同电子工业发展的新成果相结合，便又会产生出新的仪器。因此，地震仪器的发展与整个地震勘探事业的发展及电子工业的发展是紧密联系在一起的，地震勘探的要求决定了地震仪器的发展方向，而电子工业的发展则是地震仪器发展的基础。这可以说是地震仪器发展的一条规律。

表 1.1 三代地震仪对比简表

	光 点 仪	磁 带 仪	数 字 仪
记录方式	光点照相记录	模拟磁带记录	数字磁带记录
电路器件	电子管	晶体管	集成电路
增益控制方式	自动增益控制	公共增益控制、程序增益控制	瞬时浮点增益控制
动态范围	20dB	40~50dB	100~120dB
记录道数	24	48	48~1024或更多
资料处理	人工处理	基地回放仪处理	数字计算机处理
使用年代	30~50年代	60年代	70年代至今

第二节 常规地震仪的原理框图及其局限性

一、数字地震仪的基本类型

所谓数字地震仪就是用数字形式将地震信号记录在磁带上的地震记录仪，它与过去的光点仪和磁带仪的根本区别在于它不是用模拟方式记录地震信号，而是先对地震信号进行离散采样，然后将每个子样的幅值量化，最后用二进制数将该样值表示并记录下来。目前国内生产和使用的数字地震仪型号很多，根据数据采集部件是在检波点还是在仪器车上可分为两大类：（1）集中式数据采集型。这类数字地震仪的共同特点是各道检波器输出的模拟电信号通过大线并行地传送到仪器车上的数据采集部件经采集后记录到磁带上。属于这一类型的数字仪有 DFS—V、SN338、MDS—10、国产的SDZ—751B、SDZ—120、SK—83以及国外新推出的SN358和 MDS—15B 等，这一类数字仪又称为“常规地震仪”。（2）分布式数据采集型，如 SN348、SN 368、MDS—16、DFS—V II、Opseis 5500、Myriaseis、SGR—II 等。这类数字地震仪的特点是，把由数据采集部件组成的“采集站”放置在检波点上，每个采集站与一道或几道检波器直接相连，各采集站将采集的数据用有线传输方式或无线电传输方式送至仪器车上的中央主机后记录下来。这类仪器因其数据采集部件在检波点而不在仪器车上故称为“遥测地震仪”。

数字地震仪按其控制方式不同又可分为逻辑型（由本身的逻辑系统控制）和数控型（由计算机控制）两大类。遥测地震仪都是数控型地震仪。常规地震仪的老产品多为逻辑型，而目前国外推出的常规地震仪的新产品 SN358、MDS—15B 为数控型地震仪。

二、常规地震仪的原理框图

逻辑型常规地震仪的原理框图大体可用图1—3来表示。

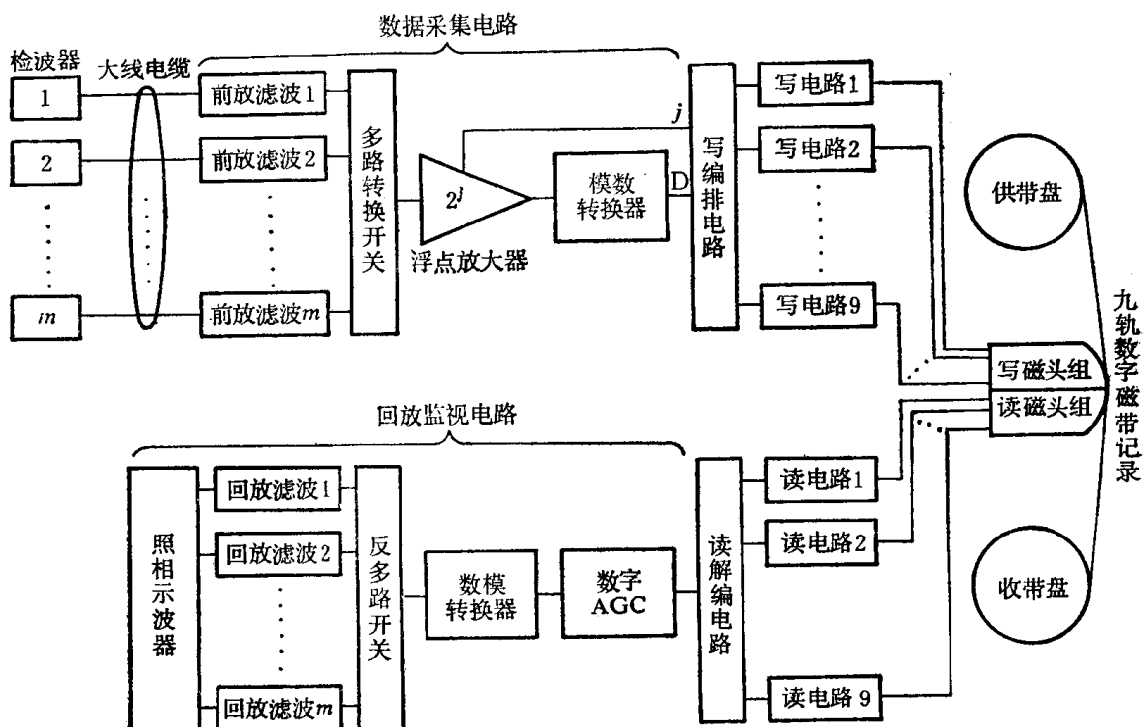


图 1—3 常规地震仪原理框图

人为激发产生的地震波经地层反射传到地表，由安置在排列上的检波器转换成电信号。各道检波器输出电压信号通过大线电缆并行地传送到各自对应的前置放大滤波器后分别进行固定增益放大和滤波，以提高信噪比和压制干扰。

多路转换开关是 m 个周期性依次导通和断开的电子开关，其输出端并接在一起，因此其功能好象一个高速旋转的单刀 m 掷开关。将 m 路并行输入的连续信号变为一串串行输出按道序排列的离散子样脉冲。

主放大器（又称浮点放大器）和模数转换器互相配合将多路转换开关送来的子样脉冲逐一转换成相应的浮点二进制数 $N = 2^{-j} \cdot D$ ，其中 j 为阶码， D 为尾数。

写编排电路的作用是把各子样的浮点二进制数和其它辅助数据，按规定的记录格式进行编排，依次分九路送往磁带机的九个写电路进行编码和放大，再由九个写磁头记录在恒速运动的磁带上，形成所需要的九轨数字磁带记录。整个数据采集和记录过程如图1—3上半部分所示。

为了监视野外生产情况以便及时改进野外工作方法，同时也为了检查仪器本身工作是否正常以及各种操作因素（如放大档、滤波档等）的选择是否合适，在常规数字地震仪中一般都设有简单的回放监视系统。回放的过程简单地说就是采集和记录的逆过程，如图1—3下半部分所示。

磁带恒速运动时，记录在磁带上的数字磁信号在读磁头中产生感应电压，经读电路放大整形和译码，恢复成数字电信号，读解编电路将按格式排列的子样数据恢复成按道序排列的

子样数据, 这些子样的浮点二进制数经数字AGC和数模转换器共同作用又转换成模拟量, 这样便得到按地震道道序排列的离散子样。

反多路开关是 m 个输入端并接在一起的电子开关, 其功能好比一个反接的单刀 m 掷旋转开关, 它把单路串行输入的离散子样脉冲, 按道序分离出来, 变为多路并行输出的离散子样。回放过程中反多路开关与记录时的多路开关是同步的。

各道信号的子样脉冲按道序分离出来后, 经过各自的回放滤波器滤波, 恢复成动态范围约 20dB 的连续模拟信号, 分别送到静电照相示波器中的各个检流计, 将各道信号的波形显示在静电照相记录纸上, 形成“野外监视记录”。

除GS—2000、SK—83和SN358, MDS—15B采用计算机控制外, 大多数常规数字地震仪的采集、记录和回放过程都采用固定程序的逻辑系统进行控制, 其逻辑系统的电路结构是根据采用的地震记录格式来设计的, 如果想要换另一种记录格式, 那就必须更换逻辑系统的写编排电路和读解编电路。

三、常规地震仪的局限性

常规地震仪作为地震勘探的主力仪器, 为勘探事业作出了不可磨灭的贡献, 而且今后一段时间内仍将继续发挥它的作用, 但是随着勘探事业的发展, 这类仪器越来越暴露出它的局限性。

我们知道, 经过多年的勘探工作之后, 一些埋藏较浅、表层地质条件简单的构造圈闭油田大多已被发现, 现在等待人们去寻找的都是一些埋藏较深、地质条件较复杂的小构造油田或岩性圈闭油田, 这就要求我们增大勘探深度和提高勘探的精度和分辨率。

增大勘探深度的问题, 对勘探仪器来说基本上是一个信噪比问题, 只有在深层信号的能量达到和超过施工现场的外界环境噪声水平时, 才有可能把深层信号记录下来。提高地震信号能量与随机噪声之比的主要方法是多次覆盖。如果覆盖次数为 k , 则理想情况下信噪比可以提高 $\sqrt{k}$ 倍, 但是实际工作中所能达到的覆盖次数恰恰决定于地震仪的道数 N , 假定每放完一炮后炮点与排列同时向前移动的道数为 a , 则对单边放炮而言, $k = \frac{N}{2a}$, 显然 a 的最小值为1, 因此最大覆盖次数为

$$k_{\max} = \frac{N}{2} \quad (1-6)$$

因此地震仪道数增加 m 倍, 就可利用多次覆盖技术使信噪比提高约 $\sqrt{m}$ 倍, 信噪比的提高, 增大了深层信号的抗干扰能力, 有利于增大勘探深度。

提高勘探精度的实质是提高分辨率。地震分辨率包括横向分辨率(能分辨的最小反射界面长度) $l_{\min}$ 和纵向分辨率(能分辨的岩性单元的最小厚度) $d_{\min}$,

$$L_{\min} = \sqrt{\lambda h} \quad (1-7)$$

$$d_{\min} = \frac{\lambda}{4} \quad (1-8)$$

$$\lambda = \frac{V}{f} \quad (1-9)$$

式中 h ——界面深度;

λ ——地震反射波波长;

V ——地震反射波的传播速度;

f ——地震反射波的频率。

可见,提高地震分辨率的核心问题是增大地震信号的频带宽度,特别是提高高频成分的能量。在后面我们将看到,它要求地震仪相应提高采样速率,即缩短采样周期 T_s 。

对地震信号频率的要求决定了对道间距的要求,为了保证不产生空间假频,在有面波存在的条件下,要求道间距 Δx 小于或等于地震信号最小波长的四分之一,即

$$\Delta x \leq \frac{\lambda}{4} \quad (1-10)$$

速度是地震勘探解释的重要参数。为了求准深层速度仅仅提高信噪比,得到深层记录还不够,还必须有足够的排列长度,才能保证有足够的正常时差。为此一般认为,最大炮检距应与界面深度相当。这样为了扩大勘探深度就应增加排列长度,而提高分辨率又要求缩小道距,因而就需要增加道数。

多测线记录的三维地震勘探和纵横波同时采集的地震勘探等新方法也要求大量增加数据采集系统的记录道数。

由于仪器道数的增加和采样周期缩短,就要求常规地震仪的浮点放大器和模数转换器的工作速度(单位时间内转换的子样数)应大大提高,然而,浮点放大器和模数转换器的工作速度总是有限的,当道数的增加和采样率的提高超过其工作速度极限时,单由一个浮点放大器和模数转换器进行那么多子样的浮点数转换就转换不过来了。为此,一些常规地震仪采用扩展箱体的办法(即多个数据采集部件和多个磁带机并行工作)使道数扩展到96道、120道。1984年美国推出的新产品MDS-15B甚至还采取了扩展大线的办法(即多条大线多个采集部件并行工作,配用高密度磁带机)使道数扩展到960道,但它们仍没有跳出用大线电缆传送各道模拟信号到仪器车上集中进行数据采集的框框。因而不能根本上解决上述各种矛盾。我们知道,每道检波器的输出送至地震仪需用两根芯线,道数增多,电缆芯线相应增多,长度也相应加长,这不仅使大线加粗加重使用不方便,而且使芯线折断的故障率增高,检修更困难,道数增多,近道远道大线长度差异加大,道间一致性更难保证,更为重要的是,地震信号在大线上长距离地以模拟量的形式传输很容易受到工频电网、大气静电感应,天电等各种电磁干扰的影响和道间串音的影响,使信噪比下降,因此,一般一条大线电缆的道数限制在120道以内。

由于采用模拟大线电缆和集中式数据采集的常规地震仪难于适应地震勘探多道、高采样率、高信噪比的要求,而电子工业的发展,大规模集成电路的出现,可使模拟数字电路制作得更紧凑小巧,更便宜,功能更强,因此从70年代开始,分布式数据采集和采用数据传输技术的遥测地震仪便逐步发展起来。

第三节 遥测地震仪的优越性和基本组成

一、遥测地震仪的优越性

遥测地震仪是在常规数字地震仪的基础上发展起来的,地震信号在遥测地震仪中的传输通道与其常规数字地震仪中基本相同(见图1-1)。但遥测地震仪与常规地震仪相比,在以下几个主要方面有较大的不同。

遥测地震仪没有数据采集电路同检波器之间的大线电缆,而是使用放在检波点上的采集站,由各采集站将检波器输出的模拟信号转变为数字信号后向外传送。由于数字信号传输的抗干扰能力较强,因此在检波点与仪器车之间取消大线后,不仅减轻了野外工作的负担,而

且也避免了大线所固有的道间串音、天电干扰、工频干扰等问题。此外，由于每一采集站只接收一道或几道信号，所以可以进一步提高采样率而且还可采用低速的模数转换器。由于遥测地震仪排除了常规地震仪那些限制记录道数的因素，其道数扩展只受到数据传输速率的限制，因此遥测地震仪的道数可多达上千道甚至上万道。

遥测地震仪由于道数多、采样率高，不能采用象常规数字地震仪那样的中等密度的数字磁带机，而必须采用高密度的数字磁带机。常规数字地震仪采用 SEG—B 地震记录格式进行记录，遥测地震仪则大多采用 SEG—D 格式进行记录。

遥测地震仪均采用计算机对整个系统进行可编程控制，要增加系统的新功能，可不做硬件上的修改，只要添加新程序就可以了。因此，采用计算机控制，系统的功能就大大增强了。

道数的不断扩展和分辨率的提高，不仅要求解决模数转换速度不适应的问题和提高记录密度，而且由于总的数据量急剧增加，也使计算中心的计算机的数据处理工作量几倍甚至几十倍地增加。由于数控型仪器在野外可用计算机对数据进行部分预处理，这样就压缩了数据量，减轻了计算中心的工作负担。

一般逻辑型地震仪只是将磁带上记录的数据经简单的 AGC 处理后，用照相示波器显示成监视记录，借此定性检查仪器的工作情况和野外生产情况，而对记录质量的判断完全凭人们的经验，并没有什么定量依据，而数控型地震仪可用计算机对记录数据及时地在现场进行处理，能对有效波和干扰波进行定量测量，随时计算出数据采集的信噪比，甚至还可以绘制出时间剖面，这样就能及时地选定最佳的野外方法和最佳的仪器参数，以获得高质量的地震记录。

此外，由于数控型地震仪配备了成套的诊断和测试软件，可以使操作员全面检查各个部件的性能指标，并且可以很方便地显示出有故障的部件，有的诊断软件还可检查出具体的有故障的器件。因此，便于维护检修，而且操作方便，自动化程度高，可以杜绝因操作不当引起的废炮。

遥测地震仪具有常规地震仪所没有的许多优越性。从 1976 年第一台遥测地震仪问世到现在，遥测地震仪发展趋势良好，新产品层出不穷，仪器型号已达二十多种。

二、遥测地震仪的基本组成

遥测地震仪虽然品种型号很多，但它们基本上都是由采集站、数据传输部件和中央主机三部分组成，而且各型号地震仪的采集站和中央主机也大同小异，只是数据传输方式有几种不同的类型。

遥测地震仪的采集站的组成大体上可用图 1—4 表示。

图中虚线框内为数据采集电路，它包括四部分：输入电路和前置放大器；滤波器；模拟浮点数转换电路；数据暂存器。图 1—4 表示的是每站只接收一道地震信号的采集站，有的遥测地震仪一个采集站接收和采集几道甚至十几道地震信号，对应每一道地震信号都有一个输入电路，一个前放电路和一组滤波器，而模拟浮点数转换电路则只有一个公用的。采集站内的控制电路大多为单片微处理器，其任务是接收中央主机的遥控指令，对采集站各部分的工作进行检测和协调控制。数据传输接口电路按照数据传输方式的要求，对传送的地震数据进行并行、串行转换或调制，供数传部件传输，同时它还把中央主机通过数据传输部件发来的指令转送给采集站内的控制电路。采集站电源可由仪器车通过电缆供电或由采集站本身配备的轻便电瓶（或太阳能电池）供电。

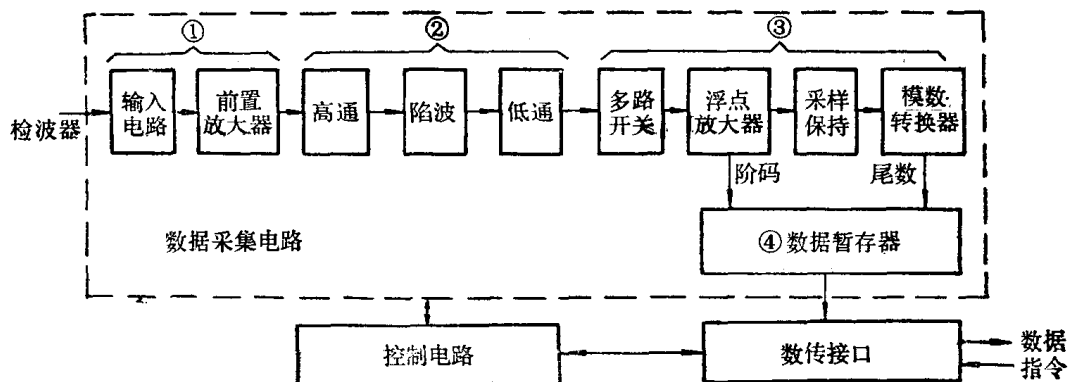


图 1—4 采集站组成框图

中央主机多安装在仪器车内，它在操作员的命令下，对各采集站进行控制，并把采集站传来的地震数据记录在磁带上，同时它还可对地震数据进行某些处理以压缩记录数据的数据量或对采集效果进行现场监视。

中央主机的组成如图1—5所示。

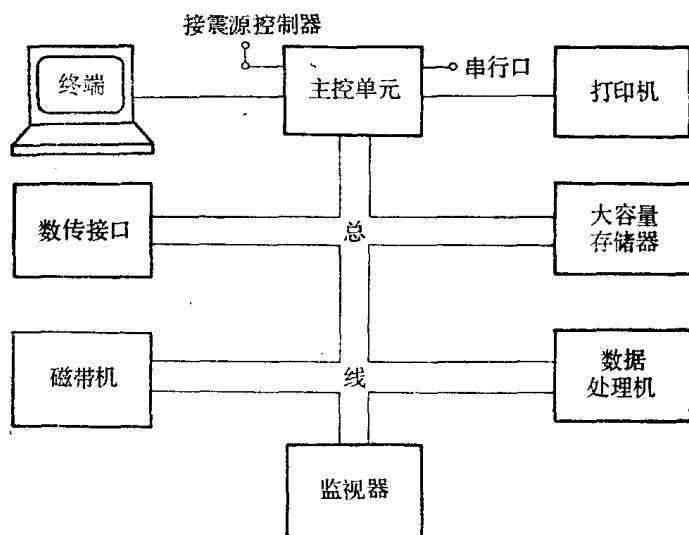


图 1—5 中央主机组成框图

主控单元为一个微型或小型计算机，操作员与计算机的对话通过键盘或打印机进行，操作员用键盘输入各种参数和命令，计算机按照操作员的命令控制仪器系统的各部分，执行操作员指定的性能检测、故障诊断、数据采集和处理等项任务，并把操作员要求了解的信息显示或打印出来。数传接口根据主控单元的指令产生对采集站的控制信号，同时接收采集站送来的状态信息和地震数据，并将它们转换成便于处理和记录的形式。在采用可控震源工作时，地震数据先由数传接口送至大容量存储器，然后送到数据处理机（相关叠加器或阵列处理器）进行相关叠加，相关叠加后送到磁带机记录下来（有些无线电遥控或遥测型的遥测地震仪不能配用可控震源，中央主机内没有配备大容量存储器和能进行相关运算的处理机）。在采用炸药震源时，地震数据一般不进行相关叠加而是直接送磁带机记录下来。监视器对记

录的数据进行必要的处理后,通过绘图仪或示波器显示出来,使操作员能及时了解记录的质量以便决定是否采取改进措施。

三、遥测地震仪的基本类型

根据采集站与中央主机的联系方式不同,遥测地震仪可分为:电缆传输、光纤传输和无线电传输三种基本类型。目前,我国引进最多的是电缆传输的遥测地震仪,主要型号有:SN368、SN348、Wave—Ⅱ三种。其次是无线电遥测地震仪,引进型号有:Opseis5500、Myriaseis、Digiseis、Telseis等。MDS—16和DFS—VⅡ这两种光纤遥测地震仪,我国也已引进。

有线(电缆或光纤)传输的遥测地震仪比较适合于平原、沙漠等开阔地区使用。在山区、沼泽地、森林、海滩等地区,使用无线电传输或组块式遥测地震仪则比较合适。

遥测地震仪的主要缺点是造价较高。在道数为120道时,遥测地震仪的价格一般为常规地震仪的3~5倍,但1000道的地震仪在每次爆炸中所覆盖的面积要比96道地震仪所覆盖的面积约大十倍以上。因此,从获得最佳的性能价格比和降低每道数据采集的成本考虑,当每条测线的检波点数较少时,还是以使用常规地震仪为宜,而超过几百道时则使用遥测地震仪为佳。

最近,国外新推出的电缆遥测地震仪有:I/O System one,光纤遥测地震仪有MDS—18,无线电遥测地震仪有Myriaseis—Ⅱ等。在国内,正在试生产的型号有YKZ 480和SK—4,此外,无线电遥测地震仪和其他新型的电缆遥测地震仪也正在研制之中。

就组成结构而言,遥测地震仪比常规地震仪更复杂,但就内部“信号”而论,它们都只有两种信号:地震信号和控制信号。如果我们追踪地震信号激发、接收、采集、传输、记录和显示的全过程,就可把地震信号所通过的各个部分联结成如图1—6所示的一条“流水线”似的地震信号通道。如果我们追踪控制信号就可发现在地震仪中存在着一个“宝塔”形的控制系统,控制着信号通道各个部分,以保证地震信号采集、传输、记录和显示过程有条不紊地进行。控制系统是为信号通道服务的,信号通道是地震勘探仪器的核心。因此,本书将以图1—6为基本线索,研究遥测地震仪整机的工作原理。

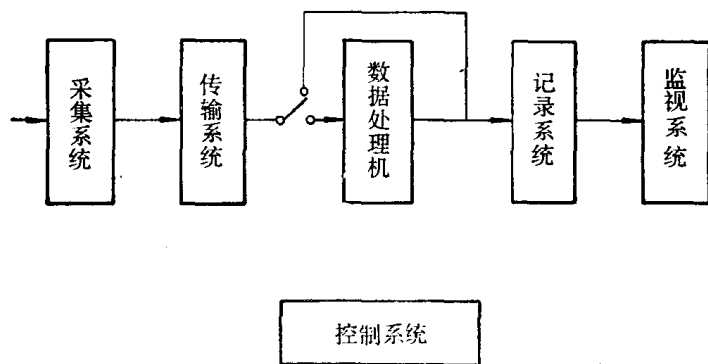


图 1—6 遥测地震仪的地震信号通道框图

第二章 遥测地震仪的数据采集系统

地震数据采集电路是指对由检波器送来的模拟电信号进行放大、滤波和模数转换的电路。无论是常规地震仪还是遥测地震仪,它们都设有地震数据采集电路,而且从图1—3和1—4可以看出,两者的数据采集电路的基本组成是相同的。常规地震仪数据采集电路和遥测地震仪数据采集系统的主要区别在于:常规地震仪的采集电路设置在仪器车上,而遥测地震仪的采集电路设置在采集站里。遥测地震仪的采集站除包括地震数据采集电路外,还包括数据传输部件和控制部件。为了区别起见,我们在本书中把采集站中的地震数据采集电路称为遥测地震仪的采集系统。

从各种类型的数字地震仪的产品广告上可以看出,仪器性能指标中的很大一部分是描述数据采集电路的,数据采集电路的性能基本上决定了地震仪的性能。

由图1—4和图1—3可见,地震数据采集电路可以分为四大部分:输入电路和前置放大器;滤波器;模拟浮点数转换电路;数据暂存器。下面分四节进行讨论。

第一节 输入电路和前置放大器

一、输入电路

1. 对输入电路的要求

采集站的输入电路是根据输入信号电压和干扰电压的特点而设计的。因此,要深入理解输入电路的设计原理,必须先了解从检波器输入到采集站输入端的信号电压和干扰电压的特点。

每道检波器与采集站之间是用未经屏蔽的两根绝缘导线连接起来的,我们把它称做“小线”,采集站与仪器车的连接线称为“大线”。从小线送至采集站输入端的电压包括两部分:一部分是检波器产生的地震信号电压。此信号电压经两根小线加至采集站的两个输入端,故称为差模信号电压。一般说来,地震信号电压比较微弱,大不过几毫伏,小不到一微伏。另一部分是干扰电压。干扰电压的来源主要有三个方面:风砂与雪粒同小线碰撞摩擦产生静电干扰;工频电网通过小线的天线效应以及小线对地的漏电电阻和分布电容等途径进入小线形成的交流电干扰;雷电产生的强大的电磁波,它即使在几百公里远处,也能在小线上感应出峰值达好几伏的脉冲电压。这些干扰电压以两种方式存在:一种方式是存在于两根小线之间,称为差模干扰;另一种方式是存在于两根小线与地之间,称为共模干扰。同一道检波器的

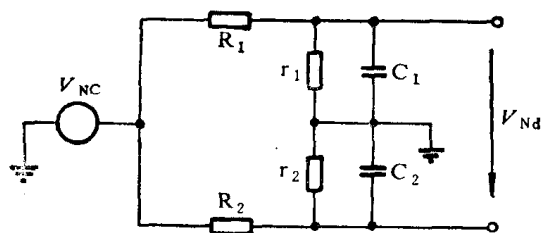


图 2—1 共模电压转换成差模电压

的两根小线虽然基本上相同,但它们的电阻(R_1 、 R_2)和它们对地的漏电电阻(r_1 、 r_2)及分布电容(C_1 、 C_2)不可能完全相同,这些参数的不平衡就使一部分共模干扰电压 V_{Nc} 转换成差模干扰电压 V_{Nd} ,如图2—1所示。

$$V_{Nd} = V_{Nc} \left(\frac{Z_1}{R_1 + Z_1} - \frac{Z_2}{R_2 + Z_2} \right) \quad (2-1)$$