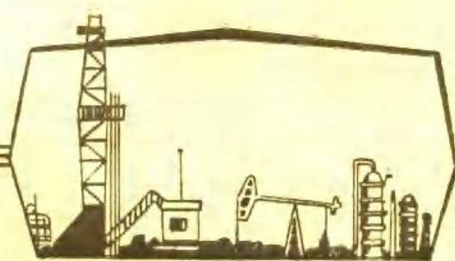


高等学校教学用书

# 地震勘探仪器原理

刘仲一 主编



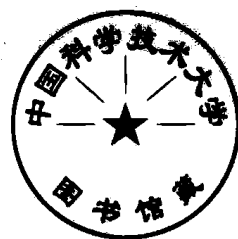
石油工业出版社



高等学校教学用书

# 地震勘探仪器原理

刘仲一 主编



石油工业出版社

## 前 言

本书是华东石油学院编写的《地震勘探原理》、《地震勘探资料数字处理方法》、《地震勘探仪器原理》等一套教材之一，是为地球物理勘探专业讲授地震勘探仪器原理课而编写的。全书由地震勘探仪器基础、地震信息的采集、记录、显示以及数控型仪器介绍等五个部分组成。重点介绍了目前在生产中常用的数字地震仪的工作原理，同时也用相当的篇幅介绍了集中式数控地震仪的基本原理、分布式数控地震仪的现状和发展趋势。

为了加深对地震勘探仪器的设计思想、技术要求、技术指标以及技术措施等问题的理解，在本书的第一部分编入了地震波的基本性质、对仪器的基本要求、与数字化地震仪器有关的基本理论等方面的内容并作了粗浅地讨论。

为了突出地震勘探仪器的基本原理，本书对地震信息的采集、记录与显示等重要内容的讨论较为详尽。为适应地震勘探仪器迅速发展的形势，本书对近几年来数字地震仪中普遍采用的相位编码原理作了比较详细的说明。对集中式数控地震仪的基本原理和几种新型分布式数控地震仪的概貌也作了比较详细的介绍。

本书在编写过程中，得到西安石油仪器厂、石油部物探局仪器厂、石油部引进管理处的大力支持和帮助。华东石油学院牟永光副教授、董敏煜副教授和江汉石油学院张昌义副教授对全书的体系及选材都提出过宝贵的意见并作过具体指导。物探局仪器厂的罗维炳工程师、曹玉瑄工程师、唐小南工程师对第十五章的编写工作给予了热情地帮助并进行了认真的审阅。罗维炳工程师还亲自编写了第十六章，并担负了全书的主审工作。华东石油学院潘正良讲师对全书进行了具体地审阅。

本书除供教学外，也可供从事实际工作的同志参考。

由于编者水平有限，书中错误与不妥之处一定不少，敬请批评指正。

# 目 录

## 第一部分 地震勘探仪器基础

第一章 概述 .....	( 1 )
第一节 地震勘探仪器的任务 .....	( 1 )
第二节 地震勘探仪器的类型 .....	( 2 )
一、集中式固定逻辑控制型数字地震仪框图 .....	( 3 )
二、集中式数控型数字地震仪框图 .....	( 6 )
三、分布式数控型数字地震仪框图 .....	( 9 )
第二章 地震波的性质及对仪器的要求 .....	( 13 )
第一节 地震波的本质 .....	( 13 )
一、地震扰动与球面扩展 .....	( 13 )
二、反射和透射 .....	( 15 )
三、反射波的本质 .....	( 16 )
第二节 地震波的频谱特性及与仪器的关系 .....	( 18 )
一、频谱分析的几个概念 .....	( 18 )
二、脉冲通过线性系统 .....	( 29 )
三、滤波器的设置 .....	( 33 )
第三节 地震波的传播规律及对仪器的要求 .....	( 39 )
一、近源效应 .....	( 40 )
二、地层效应 .....	( 40 )
三、对仪器的要求 .....	( 41 )
第三章 地震波激发与接收的两个问题 .....	( 44 )
第一节 可控震源——连续振动法 .....	( 44 )
一、问题的提出 .....	( 44 )
二、相关分析的几个概念 .....	( 44 )
三、连续振动法原理 .....	( 49 )
四、对相关子波的讨论 .....	( 50 )
五、可控震源的记录仪器特点 .....	( 52 )
第二节 检波器的原理 .....	( 53 )
一、检波器的运动方程 .....	( 54 )
二、检波器的特性 .....	( 56 )
第四章 地震信息的数字化 .....	( 60 )
第一节 采样 .....	( 60 )
一、理想采样 .....	( 60 )
二、采样序列频谱的周期延拓 .....	( 61 )
三、采样定理 .....	( 62 )
第二节 假频干扰及其抑制 .....	( 67 )
一、假频现象 .....	( 67 )
二、假频的性质 .....	( 67 )
三、去假频滤波器 .....	( 70 )

第三节 量化 .....	( 71 )
一、量化与编码 .....	( 71 )
二、量化误差 .....	( 73 )
第四节 保持器 .....	( 76 )
一、概念 .....	( 76 )
二、零阶保持器 .....	( 77 )
三、一阶保持器 .....	( 78 )
<b>第二部分 地震信息采集系统</b>	
第五章 微弱地震信号的前置放大 .....	( 82 )
第一节 总体介绍 .....	( 82 )
一、任务与要求 .....	( 82 )
二、框图 .....	( 83 )
第二节 基本放大节 .....	( 84 )
一、输入输出电阻 .....	( 84 )
二、闭环放大倍数 .....	( 85 )
第三节 滤波器原理 .....	( 86 )
一、复平面及网络特性 .....	( 87 )
二、二阶传递函数通式 .....	( 92 )
三、二阶有源低通滤波器 .....	( 94 )
四、二阶有源高通滤波器 .....	( 97 )
五、二阶有源陷波器 .....	( 98 )
第六章 低电平采样 .....	( 102 )
第一节 采样开关 .....	( 102 )
一、开关的组成和子样的时序 .....	( 102 )
二、开关的结构 .....	( 103 )
三、开关组件 .....	( 103 )
第二节 采样地址的形成 .....	( 104 )
一、节拍、序列和微指令 .....	( 104 )
二、地址形成电路的组成 .....	( 106 )
第三节 串扰的抑制 .....	( 109 )
一、串扰的来源 .....	( 109 )
二、采样时序 .....	( 110 )
第七章 瞬时浮点放大 .....	( 112 )
第一节 总述 .....	( 112 )
一、任务与要求 .....	( 112 )
二、方案 .....	( 114 )
三、特性 .....	( 116 )
第二节 电路说明 .....	( 117 )
一、差分输入级 .....	( 117 )
二、基本放大节 .....	( 118 )
三、零漂校正 .....	( 119 )
第三节 比较器 .....	( 120 )
一、主放增益跳变图 .....	( 120 )
二、比较器工作原理 .....	( 122 )

三、振幅预测 .....	(124)
第四节 主放逻辑控制 .....	(127)
一、总体结构及输入指令 .....	(127)
二、增益方式的确定 .....	(130)
三、浮点增益分析 .....	(131)
四、增益码的寄存 .....	(135)
第五节 二采保持 .....	(136)
第八章 模/数转换 .....	(138)
第一节 概述 .....	(138)
一、几点说明 .....	(138)
二、框图 .....	(139)
第二节 单元电路简介 .....	(141)
一、参考电源 .....	(141)
二、T网及T网开关 .....	(142)
三、双极性比较器 .....	(145)
第三节 A/D转换逻辑控制 .....	(146)
一、节拍及启动逻辑 .....	(146)
二、极性判别 .....	(147)
三、试码与定标 .....	(148)
<b>第三部分 数字地震信息的记录</b>	
第九章 记录格式与编排 .....	(152)
第一节 基本要求 .....	(152)
一、对记录格式的要求 .....	(152)
二、记录格式的段落划分 .....	(153)
第二节 记录格式 .....	(155)
一、记录的详细内容 .....	(155)
二、几个重要数据的确定 .....	(157)
第三节 记录时序 .....	(157)
一、关于节拍和序列的详细说明 .....	(157)
二、辅序列 .....	(158)
三、记录的时间概念 .....	(159)
第四节 记录方式 .....	(162)
一、不归零制 .....	(162)
二、相位编码制PE (Phase Encoded) .....	(163)
第五节 记录编排 .....	(163)
一、框图 .....	(163)
二、变码器 .....	(164)
三、尾数寄存器MM .....	(166)
四、阶码寄存器MGE .....	(167)
五、写编排 .....	(168)
第十章 相位编码 .....	(170)
第一节 特点 .....	(170)
第二节 数据寄存 .....	(171)
一、相位编码节拍 .....	(171)

二、输入寄存器 .....	(171)
三、缓冲寄存器 .....	(173)
第三节 写矩阵 .....	(175)
一、写前序 .....	(175)
二、写数据 .....	(176)
第四节 相位编码 .....	(176)
一、前后行数据寄存 .....	(176)
二、前后行数据比较 .....	(177)
三、相位编码的形成 .....	(178)
<b>第四部分 地震信息的显示</b>	
第十一章 磁记录信息的读出 .....	(182)
第一节 信息恢复 .....	(182)
一、信息读出的两个主要问题 .....	(182)
二、信息恢复电路框图 .....	(183)
三、读放大及微分 .....	(184)
四、零值检测及积分 .....	(187)
第二节 轨时钟(读出节拍)的重建 .....	(188)
一、目的和方案 .....	(188)
二、电路原理 .....	(190)
第三节 磁钟的形成及同步读出 .....	(193)
一、多路编排和寄存 .....	(193)
二、磁钟的形成和代码的同步读出 .....	(196)
第十二章 读解编及子样处理 .....	(199)
第一节 读解编 .....	(199)
一、读解编电路要解决的问题 .....	(199)
二、解编时序 .....	(201)
三、读行计数 .....	(202)
四、子样数据的解编 .....	(205)
第二节 回放概述 .....	(207)
一、要求 .....	(207)
二、回放单元框图 .....	(209)
三、回放节拍与序列 .....	(210)
第三节 存储器与运算器的功能 .....	(213)
一、存储器 .....	(213)
二、运算器 .....	(215)
第四节 码制变换与真值恢复 .....	(218)
一、码制变换 .....	(218)
二、真值恢复 .....	(219)
第五节 自动增益控制(AGC) .....	(223)
一、概念 .....	(223)
二、窗口测试 .....	(225)
三、延迟时间测试 .....	(228)
四、增益值修正 .....	(230)
第十三章 模拟地震信号的恢复 .....	(233)

第一节 总述 .....	(233)
一、电路结构 .....	(233)
二、单极性D/A转换原理 .....	(234)
第二节 D/A转换器 .....	(236)
一、框图 .....	(236)
二、D/A转换过程 .....	(238)
第三节 反多路转换 .....	(239)
第十四章 剖面显示仪原理 .....	(241)
第一节 总体设计思想 .....	(241)
一、功能 .....	(241)
二、总体框图 .....	(244)
第二节 接口 .....	(252)
一、计算机与剖面仪的连接规定 .....	(252)
二、控制程序的实现 .....	(256)
三、SQ、KQ系统 .....	(260)
第三节 D/A转换系统 .....	(263)
一、电路结构及功能 .....	(263)
二、“取控”及“移控”的形成 .....	(265)
第四节 波形多路开关 .....	(266)
第五节 波形变面积 .....	(269)
一、波形变面积电路 .....	(269)
二、24阶梯波发生器 .....	(271)

#### 第五部分 数控型地震仪介绍

第十五章 SK-8000数控地震仪 .....	(275)
第一节 数据采集部件 .....	(275)
一、采集部件框图 .....	(275)
二、前放和多路开关 .....	(276)
三、游标型浮点放大器 .....	(278)
四、单极性比较A/D转换器 .....	(283)
五、格式变换器 .....	(293)
第二节 计算机对采集部件的控制 .....	(296)
一、计算机与外部设备的连接 .....	(296)
二、采集部件控制器 .....	(306)
三、采集部件接口逻辑 .....	(309)
第三节 应用程序调用举例 .....	(316)
一、系统软件概述 .....	(316)
二、ICT页面 .....	(318)
三、采集叠加程序执行过程 .....	(321)
第十六章 新型数控地震仪介绍 .....	(325)
第一节 概述 .....	(325)
一、遥测多道数控地震仪发展的必要性 .....	(325)
二、分布式遥测地震仪的数据传输方式 .....	(326)
三、分布式采集站 .....	(331)
四、数控型的中央控制纪录系统 .....	(332)



第二节 典型分布式数控地震仪——WAVE III .....	( 333 )
一、“波三”仪器主体——记录系统的特点.....	( 333 )
二、排列终端方框图 (见图16-10) .....	( 334 )
三、高性能数据采集处理机 (方框图) .....	( 339 )
第三节 光纤数传型地震数据采集系统——MDS-14.....	( 339 )
一、MDS-14仪器的特点.....	( 339 )
二、光导纤维电缆 .....	( 339 )
三、采集站 (RU) .....	( 341 )
四、记录仪数据提取站 (RTU) .....	( 341 )
五、中央控制器 (CCU) .....	( 342 )
六、MDS-14数字记录部分.....	( 342 )
第四节 无线电数传、控制型遥测地震仪——MYRIASEIS和SGR II .....	( 343 )
一、MYRIASEIS“万道”数控地震仪特点.....	( 343 )
二、SGR II型分组式地震遥测数据采集系统特点.....	( 344 )
第五节 实时相关叠加器 .....	( 347 )
一、实时相关叠加器特点 .....	( 347 )
二、CS2502实时相关叠加器.....	( 348 )
三、FPCS全精度相关叠加器 .....	( 350 )
参考文献 .....	( 352 )

# 第一部分 地震勘探仪器基础

## 第一章 概 述

### 第一节 地震勘探仪器的任务

多年来的实践证明,地震勘探是探明地下地质构造寻找油、气藏的一种行之有效的地球物理勘探方法,因而它受到了很大的重视。随着现代科学技术的飞跃发展,特别是由于计算机技术的普遍应用,地震勘探技术也在很短的时间内由信息采集、数据处理直到成果显示都全面地实现了“数字化”,而且这种数字化的进程还在不断地向更高级的阶段发展。

地震勘探技术在数字化道路上发展的过程中,与信息采集、数据处理以及成果显示相对应的数字化地震勘探仪器更是得到了优先的发展。可以说,如果没有相应的数字化地震仪器,那么,地震勘探本身的数字化也只能停留在理论阶段而不会有效地付诸实践。

按照以往的概念,地震勘探仪器主要指的是接收地震信息的野外地震仪。像五十年代使用的光点式野外地震仪,六十年代使用的模拟磁带野外地震仪。但是在数字化地震勘探领域中,地震勘探仪器的概念应该有更加广泛的含意:除了对地震信息进行采集的野外数字地震仪以外,对数字地震信息进行专门数字处理的阵列处理机(ATP)、矢量浮点处理机(VFPP)和其他类型的叠加器、褶积器等,以及对计算机处理后的数字信息进行成果显示

的剖面显示仪各种类型的专用设备等等都应该属于地震勘探仪器的范畴之内。因为它们都是围绕着对地震信息的采集、处理和显示而设计的专业仪器。从图1-1中可以示意地看到现代数字地震勘探中,从数据采集、数据处理到成果显示之间在硬件连接上三者之间的关系。它们在地震勘探的不同阶段担负不同的任务,从而组成一个不可分割的整体。

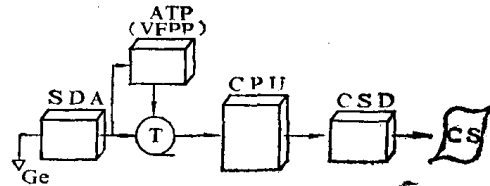


图 1-1 数字地震勘探仪器的相互关系

图中的SDA为数据采集系统,它接收来自地震检波器(Ge)的信号并把它们转换成以3位阶码、14位尾数表示的二进制浮点数然后记录在磁带T上,这就是数字地震信息的原始资料。这些原始资料被送到数据处理中心由中央处理机CPU(一般为通用电子计算机)进行数据处理后便得到勘探成果的数字资料。这些成果资料经过剖面显示仪CSD显示以后就是以波形变面积形式出现的时间剖面或深度剖面。这样,从数据采集→数据处理→成果显示一个地震勘探的全过程就算完结,余下的任务就是配合地质资料,钻井测井资料等对勘探成果进行地质解释了。有时为了节约主机(中央处理机)的时间,或为了节省主机的内存,在得到原始的数字地震资料后,将这些资料送入具有地震勘探专用处理程序的阵列处理机(ATP)或矢量浮点处理机(VFPP)进行预处理或某些常规处理,将处理的结果重新记录在磁带

上然后再送往CPU进行更高级的处理工作。因此，ATP或VFPP就成为处理地震勘探资料的专用计算机。它可以与采集系统一起配备在野外勘探阶段，也可以配备在处理中心担负预处理的任务。ATP或VFPP实质上是一种数字电子计算机，与通用机不同的是它们专用来处理地震资料。所以，有了电子计算机的基本知识后，完全可以理解它们的工作原理。因此，在本书中，对它们就不做专门的讨论和介绍了。本书的重点在于采集系统（相当野外数字地震仪的主体部分）和显示系统。

对于野外数字地震仪来说，根据勘探目的的要求，它应当担负以下几项任务：

(1) 不失真的接收反映不同地下地质结构的地震波。我们知道，与石油和天然气勘探有关的地震波具有能量弱（特别是深层反射或折射），动态范围大（100~120dB左右）、视频率低、频带范围较宽（20~60Hz）、传输中掺杂高、低频干扰以及波组特征较为复杂等特点。因此欲不失真地接收它们，就要求仪器能够适应地震波的特点具有大动态范围、低噪声、低漂移、宽频带和压制干扰等能力，从而提高对地震波记录的精度和信噪比以便尽量保留地震波的动力学特征。

(2) 将接收到的地震波按照一定的时间间隔（如1ms，2ms或4ms）进行采样（时间量化），并将每个子样转换成以3位阶码、14位尾数表示的二进制代码。其目的在于：a) 这种二进制代码可以被电子计算机所识别和运算、便于进行数据处理；b) 具有阶码和尾数的浮点数能够扩大数值表示的范围因而可以提高仪器对地震波记录的动态范围。这在以往的光点式地震仪和模拟磁带地震仪是做不到的。

(3) 能够将大量的二进制浮点数（地震波离散的子样量化值）以允许的漏码率和记录密度记录在磁带上作为原始资料，以便在计算机上进行数据处理。

(4) 对某些类型的仪器不仅能完成接收由爆炸震源激发的地震波的任务，而且也能接收由可控震源或其它类型震源（如海上用的汽枪震源，电火花震源）激发的地震波。

(5) 为保证记录的可靠性和资料的完整性，除了记录地震信息本身以外，对于与数据处理和成果解释有关的参考资料：如炮号、测线号、队号、年月日以及勘探方式（反射法还是折射法）、记录长度、仪器因素等也都能够以二进制代码的形式记录在磁带上。

(6) 为评价地震信息记录的质量，仪器还应能够实现对记录资料的监视回放任务以便在野外及时调整工作方法和仪器因素。

已如前述，之所以对野外数字地震仪提出上述任务和要求，是由勘探目的和地震波本身的物理特性所决定的。因此，要想深入理解数字地震仪的总体要求和设计思想，必须对它所接收的对象——地震波的特点有所认识。为此，在后面的内容中，专门安排了一部分与此有关的章节。

前已说明，本书的重点是放在与采集和显示有关的内容上。关于对显示仪器的要求以及它所担负的任务，将在讨论这些内容时再加以说明，此处只想着重说明采集方面的一些概况。

## 第二节 地震勘探仪器的类型

随着现代信息传输理论、自动控制理论以及模拟和数字电路理论的发展，同时随着新工艺、新器件、新材料的不断出现和创新，在地震勘探仪器方面也随之飞速发展起来。其中一个很大的刺激因素是人类对于能源的需求不断增长，因而一些发达的工业国家在石油和天然

气勘探方面的仪器和设备上投入了巨大的研制和生产力量，促使这一领域大有三至五年就有一代新仪器新设备新方法相继问世的趋势。

仅就野外数字地震仪来说，从七十年代初期研制成功以来，不到十年的时间就由24道二进制增益控制型仪器发展到瞬时浮点增益控制型48至96道仪器，以及48至96道数控型仪器和300至500道遥测型分布式仪器。在此期间，仪器所使用的元器件已由小规模集成电路发展到中规模集成电路和大规模甚至超大规模集成电路。仪器电路的设计、装配和调校也 逐渐被计算机所代替（计算机辅助设计，计算机排列元件和焊接，计算机调校）增加了仪器的可靠性、稳定性和合理性。在采样速率方面，已经达到1ms/48道。对分布式仪器来说，甚至达到1ms/125道。在记录密度方面，已由800位/英寸反相不归零记录方式发展到1600位/英寸相位编码和6250位/英寸成组编码记录方式。目前已投入使用的数字地震仪大致可分为三种类型：（1）集中式固定逻辑控制型。一般为48道仪器，有的可扩展到60道，96道或120道；（2）集中式数控型。在野外工作的条件下，由小型计算机通过软件对地震仪实施控制，能适应爆炸震源或可控震源，具有对所采集的地震信息进行预处理的能力。一般也为48道或96道；（3）分布式数控型。由超大规模集成电路组成的微型计算机通过专用软件对仪器实施控制，最多采集道数可达500道直至1000道，适用于三维地震勘探。目前这三种类型的仪器已形成并存的局面，各有各的长处，各有各的用途。现阶段，集中式仪器仍然是数字地震勘探的主力。从我们学习的角度来说，这种仪器也应当作为重点。只是在本书的第五部分，对数控型仪器作一概要的介绍，有助于我们了解数字地震仪器发展的概貌。

### 一、集中式固定逻辑控制型数字地震仪框图

这是一种最早研制成功，目前正在广泛使用的一种数字地震仪。由于它较之数控型仪器具有造价低、轻便、灵活等特点，同时在原理、工艺、功能、性能等方面已趋成熟，使用效果显著，所以成为现阶段地震勘探的主力仪器。因此，这种仪器在各种类型的数字地震仪中，仍不失其典型性和代表性。这就是本书为什么以它作为重点讨论对象的基本原因。图1-2给出了这种仪器的总体框图。它是根据普遍使用的SN338型仪器绘制的。这种仪器由法国舍赛尔（Sercel）公司生产。现已由采样速率2ms/48道，记录密度800Bpi，反向不归零制（NRZI）记录方式的SN338B型仪器发展到采样率为1ms/48道，记录密度1600Bpi，相位编码（PE）记录方式的SN338HR型仪器。HR（High Resolution）即为高分辨率的意思。由此也可以看到数字地震仪向着高分辨率（采样率）、高记录密度方向发展的趋势。

为了提高生产效率，野外生产都采用多道检波器接收地震波。SN338HR型仪器可同时接收来自48道检波器输出的地震信号。另加一些附件则可扩展到96道。这些多道信号经输入插头板后，到达如图1-2所示的覆盖开关。当在接收信号时，覆盖开关仅起信号通道作用。在一炮的记录接收完了后，覆盖开关则按照多次覆盖工作原理自动进行换道。因此，覆盖开关是一个为了提高生产效率，在多次覆盖工作条件下（目前野外工作一般都采用多次覆盖的工作方法），能够按照公式  $x = \frac{N}{2n}$  自动换道的一种装置。公式中， $x$  为炮点移动道数， $N$  为排列中的接收道数， $n$  为覆盖次数。例如，当采用48道（ $N=48$ ）、覆盖次数为12（12次覆盖， $n=12$ ）时，炮点移动的道数则为  $x = \frac{N}{2n} = \frac{48}{24} = 2$ 道。这时，每放完一炮后，覆盖开关便自动换两道。

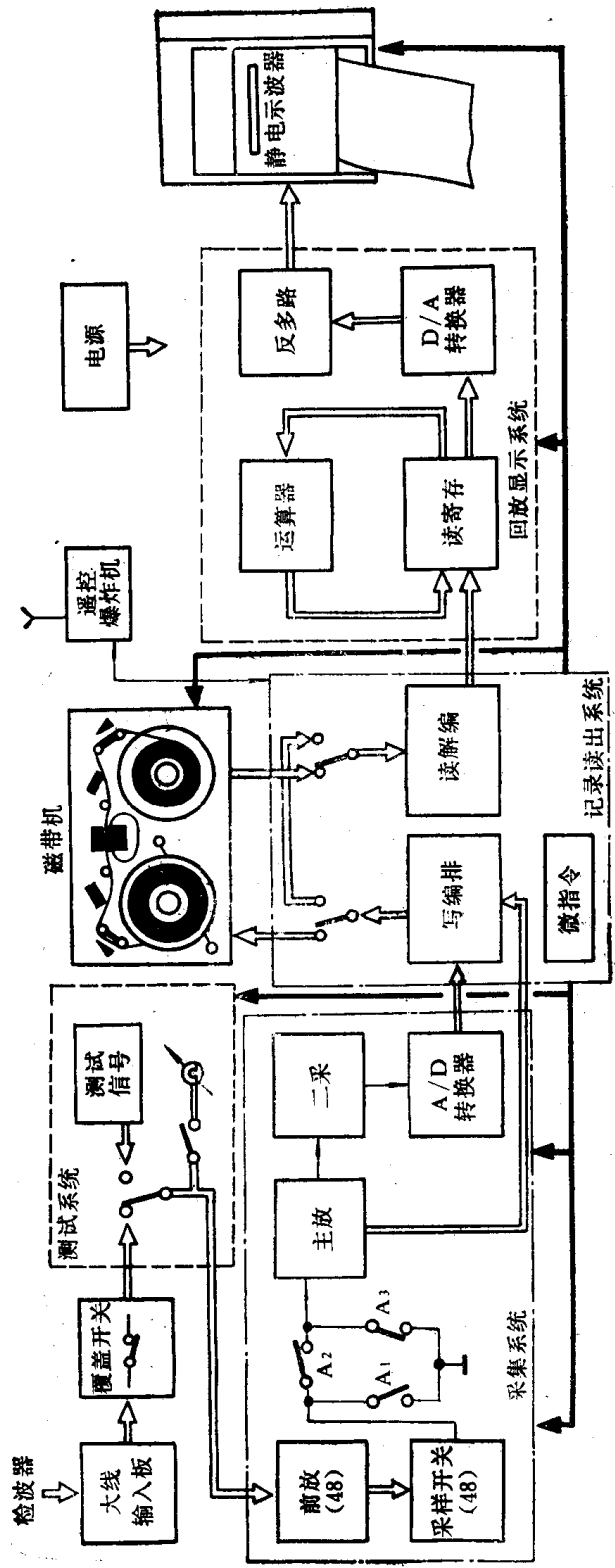


图 1-2 集中式固定逻辑控制型数字地震仪总框图

从检波器输出的地震信号一般都比较微弱而且掺杂着各种干扰信号，所以必须经过前置放大器的放大，并在放大的过程中要对各种干扰信号进行滤波之后方能向下一级传递。

为了最终将地震信号进行二进制编码，所以要对被前置放大器放大后的信号进行离散采样，这一采样任务就由采样开关来担负。采样就是每隔一定的时间间隔(如  $\Delta t=1\text{ms}, 2\text{ms}, 4\text{ms}$ 等)对地震信号取值一次，而每次取值的时间又很短(37 $\mu\text{s}$ 左右)，这样就把连续变化的地震信号变成宽度仅为37 $\mu\text{s}$ 左右、 $\Delta t$ 时间出现一次的离散脉冲序列。这些脉冲幅值的包络仍与连续地震信号一致，如图1-3所示。可以想象，采样开关要想实现上述功能，它必然是一个在开启脉冲序列控制下时通时断的电子开关。地震信号经过采样开关后便以离散的脉冲序列传递给主放大器。主放大器又称瞬时浮点放大器。它对每一个子样都要进行放大，但放大倍数却不一定是个固定值。在子样幅值较小时，主放自动地取较高的放大倍数；子样幅值较大时，主放又自动地取较低的放大倍数。总之，主放对每一个子样要自动选取一个“最佳增益”，使被放大以后的子样值能够落到2V到8V之间，其目的在于使子样进行14位二进制

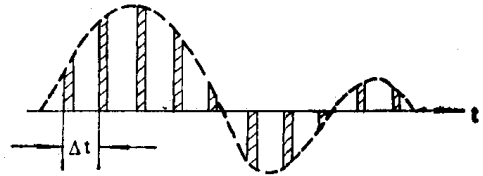


图 1-3 采样示意图

编码后能在编码的最高位(或次高位)上有“权”，以便尽量提高编码记录精度。主放的放大倍数以4为底。最低放大倍数为 $4^0$ ，最高放大倍数为 $4^7$ (相当于 $2^0\sim 2^{14}$ )，因此，主放的动态可达84dB~90dB。主放有两路输出，一路是被放大后的子样，称为尾数，被送往模/数转换器对其进行14位二进制编码；一路是所取的放大倍数，称为阶码，它以3位二进制数表示被送往写编排器以备记录在磁带上。这样，一个子样值经主放放大和A/D转换器编码后，就变成3位阶码，14位尾数的二进制浮点数，可表示为 $N=2^{-j}\times S$ 。其中N为子样值，j为3位二进制数表示的阶码，S为14位二进制编码表示的尾数。一个地震信号子样用二进制浮点数表示以后，其表示数值的动态范围可达168dB，即以4为底的3位阶码( $2^0\sim 2^{14}$ )可表示84dB，14位尾数( $2^{14}$ )也可表示84dB，所以浮点数的动态范围可达168dB。这一点，是数字地震仪优于其他类型仪器的最大优点，这是不失真地接收各种类型地震波，保持其动力学特征的根本保证。

经过主放和A/D转换器之后，已经完成了对地震信号子样由模拟量变为数字量的转换工作。这些被转换后的代码便被写编排器按照预先规定的记录格式进行数据编排，并将编排好的数据送往磁带机，被磁带机记录在9轨0.5英寸宽的磁带上。记录格式是由勘探地球物理协会(Society of Exploration Geophysicsts)统一规定，为国际上各种数字地震仪所共同使用的。目前最常用的是SEG-B格式，另外还有SEG-C格式也被某些仪器所采用。这样，某一套地震仪所得到的资料(记录在磁带上)，可以拿到任一配备有处理地震资料程序的计算机上进行处理。

当已经得到用浮点数表示的地震信息并把它们记录在磁带上以后，数字地震仪就算完成了它所担负的数据采集任务。但为了能在野外条件下及时看到采集的效果，在各种数字地震仪中都设置了回放显示系统，以便能把从磁带上读出的二进制代码再恢复成连续变化的波形并通过静电示波器将这些波形显示出来，这样才能供仪器使用人员及时评价记录质量。图1-2上读解编以后的各部件就是为回放监视记录而设置的回放显示系统。虽然这一部份与数据采集系统一起构成了野外数字地震仪的整体，但从其功能来看，却属于地震资料显示系统的范畴。所以本书将这部份内容安排在有关显示系统的章节中了。

为了能使图1-2所示的各个部件按照一定的时序关系和逻辑条件协调动作，也为了在使用和调校仪器过程中提高其自动化的程度，数字地震仪也像计算机那样设立了逻辑控制电路用以产生各种微操作指令实施对仪器各部分的自动控制。目前已经投入使用的各种类型的集中测控数字地震仪，虽然不像集中式数控型地震仪那样配备有专门的操作程序和应用程序等软件系统，但其逻辑系统仍可产生200多条微操作指令以固定程序的形式对仪器进行控制。所以其自动化程度仍然是比较高的。

通过以上对集中测控型仪器框图的粗浅介绍可以看到，地震勘探赋予数字地震仪的基本任务，这种仪器是能够胜任的。经过后续章节的讨论将会进一步使我们看到上述结论的正确。

## 二、集中式数控型数字地震仪框图

### 1. 功能

数控地震仪是一种用小型计算机进行统一控制的地震数据采集和处理系统，功能比较齐全，手段比较灵活。概括起来，它能实现下述功能：

(1) 能适应各种震源，特别是可控震源。这不仅可以在爆炸震源不易得到资料的地区（如我国的新疆、青海等地区）开展地震勘探工作，而且有利于压制干扰、突出有效波，从而改善记录质量，提高勘探精度。

(2) 用计算机统一控制并可通过人机联控控制终端（键盘和CRT显示）来确定和显示操作参数。同时利用诊断程序可以迅速、自动地对操作故障进行寻迹，这就大大提高了操作的可靠性。

(3) 对采集到的地震数据以32位浮点数的高精度进行实时处理，完成浮点垂直叠加和多道相关。在应用程序的配合下，还可在野外完成某些数字处理的常规程序，如动静校正、数字滤波、水平叠加、偏移叠加、功率谱等多种预处理程序。

已投入使用的数控地震仪以美国Geo-Space公司生产的GS-2000型仪器较为典型。另

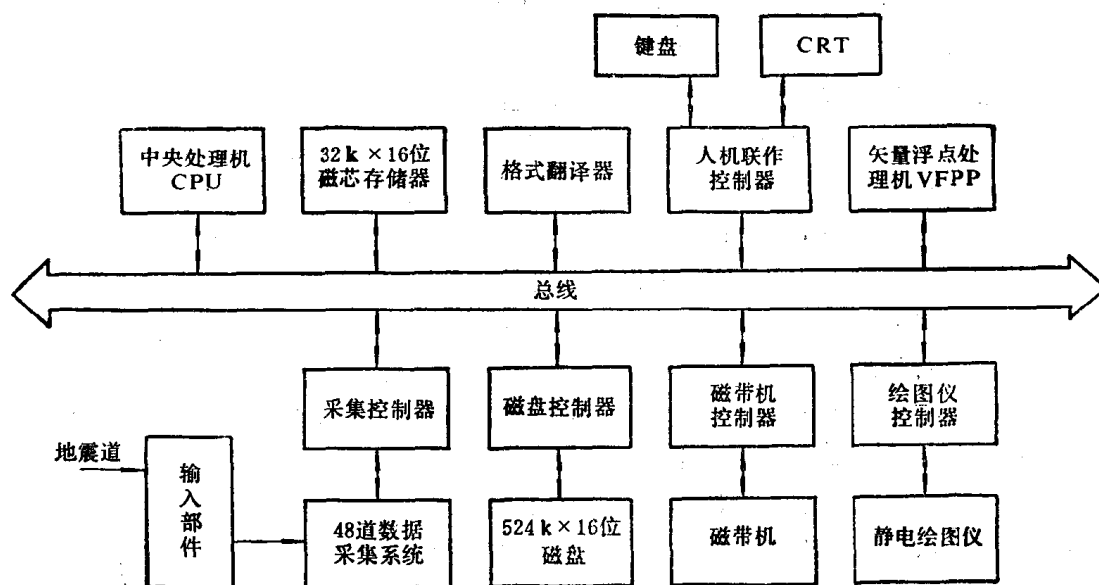


图 1-4 集中式数控地震仪框图

外尚有美国Texas Instrument公司装配的TIMAP型仪器,这种仪器是以TIMAP小型计算机为控制、处理机,以DFS-V型数字地震仪为数据采集系统、另备人机联作终端、打印、绘图设备而组成的。

## 2. 组成

图1-4所示的集中式数控地震仪框图是以GS-2000型仪器为基础绘制的。它由三大部分组成:

(1) 地震数据输入和采集系统。这一部份与轻便型仪器相似,包括输入面板、覆盖开关、前放、多路开关、浮点放大、A/D转换以及代码编排等部件。

(2) 控制和运算系统。由PDP11/25小型计算机,磁芯、磁带、磁盘存储器,人机联作终端(键盘和CRT显示)和矢量浮点处理机(VFPP)等组成。

(3) 打印绘图系统。由高速静电打印绘图仪组成。可绘出地震监视记录,打印出字母、数字形式的各种参数和数据,也可绘制时间剖面。

## 3. 如图1-4所示的数控地震仪有以下几个特点

(1) 采用双向单总线信息通讯结构。采集系统、磁盘、磁带机、绘图仪、矢量浮点处理机等,甚至计算机中的内存和运算部件都可以外围设备的身分“挂”在单总线上。而主机CPU则通过单总线对整个系统进行控制。

单总线由58条双向线组成。其中地址线18条,数据线16条,控制线2条,另外还有奇偶校验线,中断请求线、总清线、电源故障线等共22条。所谓双向线是指信号可以沿总线两个方向传输,输入、输出线是可逆的。这样使得某些外围设备寄存器既可以作为输入,也可以作为输出。

在单总线上两个外围设备进行联系时,服从“主从”关系。即某一外围设备由主机中断程序控制在排队器中排上队而取得使用总线控制权后,该设备就成为主设备,与之相联系的那个外围设备就成为从设备。例如,在地震数据采集系统要对被激发的地震信号进行采集时,就要向CPU发出中断请求,经过排队机构取得优先权后,便成为此刻控制单总线使用权的主设备。如果要把采集到的数据寄存在32k磁芯存储器中,侧磁芯存储器就成为从设备。在单总线上,主从设备之间以问答的方式进行响应。即主设备发出对从设备的控制信号后必须收到从设备的回答,反之,从设备也必须得到主设备的回答响应后二者才能建立通讯联系。

当有两个以上外部设备同时请求使用总线时,主机将利用优先级排队器和中断程序批准优先级高的外围设备获得总线使用权。与此同时CPU正在执行的程序被“挂起”(中断)而执行获得总线使用权的外部设备的服务程序。当设备功能被满足以后,CPU回到原来被中断的程序。上述中断过程是采用“向量中断”来实现的,即外部设备在向CPU发出中断请求时,还发出该设备服务程序的首地址。

(2) 具有多种存储器设备,使用灵活并可提高整个系统的工作速度。

主机具有32k字(16位字长)的磁芯存储器(内存)用以读出或写入采集到的数据和各种应用服务程序。同时也可存入或读出被处理过的各种数据。在单总线系统中,内存总是从设备。

作为存储部件的另一外部设备是磁盘。用它存储采集数据以及实时采集、叠加、相关和测试程序。实际上在正常工作情况下,操作人员通过人机联作系统(键盘、CRT显示)将操作内容、操作参数、仪器因素等资料以及预先制定的操作和应用子程序都可存入磁盘或从磁盘调往内存。同时在实时或非实时对采集数据进行处理时,也可将暂时不用的数据存入



磁盘。在数控地震仪中，磁盘的规格为524k×16位容量，定头128轨，所以它是一个大存储量的存储设备，有利于对大数据量的地震信息进行存储。

磁带机也是一种外存设备。用它存储地震信息的最后成果（包括被VFPP处理后或未经处理的资料）以供计算中心的大型计算机作进一步的数据处理。所用的磁带机也为9轨，0.5英寸，SEG-B格式，或IBM格式，或DEC格式。

(3) 利用矢量浮点处理机VFPP (Vector Floating Point Processor) 可以实时地对地震信息进行数据处理。VFPP实际上是一台专用计算机，它也是以一种外围设备的身分挂在单总线上。它具有以32位浮点字的格式执行加、减、乘、除等运算和快速付氏变换、复数运算等功能。它运算的数组由VFPP的源起始地址、变址增量、浮点字计数和目的地址寄存器所确定，故称其为“矢量”。

(4) 带有人机联系作终端，大大提高了操作自动化程度。利用终端键盘（上面有数字、字母、标点符号等）可以输入所需要的采集、测试程序，可以建立或修改采集、相关等各种参数。这些程序和参数一般先存入磁盘，然后由磁盘调往主机内存。利用示波显像管CRT (Cathode Ray Tube) 可以显示测试结果，监视系统运行情况，显示错误和状态。这就为准确无误的操作提供了很大的方便。

(5) 配备比较完善的软件系统。软件系统可分为两类：一类是应用程序，用于地震数据的采集和处理，实际上为系统子程序；另一类是操作系统程序，也就是管理程序，用它来完成一套特定的操作流程。

应用程序大致有：

- a) 人机联作控制终端程序，它是一套参数建立程序。通过终端设备建立全部操作参数。
- b) 叠加程序。利用这一程序可以将现时采集到的数据与原来存储在磁盘中的数据进行叠加。
- c) 相关程序。用它完成32位浮点字的实时相关（利用频域中的快速付氏变换）。
- d) 功率谱程序。用它计算和绘制被选地震道的功率谱。绘出的图形表示成分贝数与最大功率谱。
- e) 采集系统测试程序。用来检查采集系统硬件的特性。

另外还有输入/输出程序，绘图程序，系统维修程序等等。根据需要，还可编制数字滤波、动静校正、水平叠加、偏移叠加等处理程序。可见，利用这一套应用程序，在野外条件下就可以实现有关地震数据的初步处理，为更高级的数据处理打下基础。

操作程序是一种以中断为基础的管理程序，为面向磁盘的多功能操作系统。大致功能为：

- a) 根据外围设备的优先级次序，安排应用程序。
- b) 控制数据输入和输出。
- c) 按照应用程序的要求，适时地将存于磁盘上的程序调往内存。
- d) 向磁盘装入目的程序。

通过上述介绍可以看到，与集中逻辑型地震仪相比，集中式数控型仪器在操作自动化、使用灵活性和对数据的处理能力等方面，都具有很大的发展和独自的特点。但是，这样一来，它的设备就必然很庞大、很复杂，造价也就非常昂贵，这就限制了它的普遍应用范围。同时从对地震数据的基本采集功能来说，这两类仪器并无太大差别。综合考虑经济性，实用性，