



数字地震仪

1000 10000 1000 10000 10000 10000 1000



石油化学工业出版社

数 字 地 震 仪

西安石油仪器一厂科技情报组 编

石油化学工业出版社

近几年来,数字地震仪在国外发展较快。为了便于大家了解国外数字地震仪的发展概况及现状,由西安石油仪器一厂科技情报组《数字地震仪》编写组主要根据国外资料编写了《数字地震仪》一书,以供读者参考。本书重点介绍数字地震仪及其基本单元电路的工作原理。全书共分八章,包括多道转换器、地震放大器、采样-保持器、模-数转换器、磁记录器、监视器及数字地震仪等方面的内容。书后列有附录,以备查考。

本书在编写过程中,考虑并吸收了长春地质学院、成都地质学院、华东石油学院、646厂、东方红炼油厂以及有关石油地质学校等单位所提供的宝贵意见。对各单位的大力支持和协助,我们深表感谢。

本书可供地震勘探技术人员、技术工人、领导干部以及有关院校师生参考。

数 字 地 震 仪

西安石油仪器一厂科技情报组编

(根据燃料化学工业出版社纸型重印)

*

石油化学工业出版社 出版

(北京安定门外和平北路16号)

燃料化学工业出版社第二印刷厂 印刷

新华书店北京发行所 发行

*

开本 $787 \times 1092^{1/32}$ 印张 $4^{5/8}$ 插页 3

字数101千字 印数1—7,050

1975年7月新1版 1975年7月第1次印刷

书号15063·油57 定价0.52元

目 录

第一章 概述	1
第一节 石油的用途及其勘探方法	1
第二节 数字地震仪的优点	3
第三节 计数制	5
第四节 数字地震仪的主要组成部分	19
第二章 多道转换器	21
第一节 多道转换器的选通逻辑	22
第二节 多道转换器	26
第三章 地震放大器	27
第一节 概述	27
第二节 二进制增益放大器	29
第三节 瞬间浮点增益放大器	47
第四章 采样-保持器	52
第一节 采样原理	52
第二节 采样方式	60
第三节 采样-保持器	61
第五章 模-数转换器	64
第一节 概述	64
第二节 逐位电压反馈比较式模-数转换器的工作原理	64
第三节 单极性模-数转换器	67
第四节 双极性模-数转换器	80
第六章 磁记录器	82
第一节 概述	82
第二节 数字记录方法	83

第三节 磁带的记录格式	91
第七章 监视器	104
第一节 数字自动增益控制	104
第二节 译码网络	105
第三节 数-模转换器	113
第四节 监视器	121
第八章 数字地震仪	122
第一节 概述	122
第二节 数字地震仪的工作原理	122
附录：一、SN328型数字地震仪的技术指标	131
二、SN338型和DFSⅣ型数字地震仪的性能对比	133
三、门电路	135

第一章 概 述

第一节 石油的用途及其勘探方法

石油的用途很广。大部分交通运输工具，各种机器，都需要动力燃料和润滑油。在动力燃料中，石油占有重要地位，而润滑油皆为石油产品，如汽油、柴油、煤油、仪表油、机械油及变压器油等。因此，如果没有石油，交通运输就要受到很大影响，不少机器也要停止运转。石油又是重要的石油化工原料，它的产品多至几千种，主要化工产品有塑料、合成橡胶、合成纤维、合成洗涤剂、合成氨、医药、农药、炸药和基本化工原料等。在国防工业方面，石油也是极为重要的战略物资，飞机、坦克、舰艇及核武器等等全都离不开石油。

石油既然这么重要，那么石油到底埋藏在什么地方呢？要了解这个问题，首先要知道储存石油的岩层——储油层的特性。储油层最主要的有两类：一类是具有连通性和渗透性的粒间孔隙，如砂岩、粉砂岩；另一类是具有连通性的裂缝和溶解孔穴（或溶洞），如白云岩、石灰岩。不论粒间孔隙还是裂缝（或溶孔），仅只是储存石油或作为通道的一个条件，仍不能形成工业性油、气流。要想找到有开采价值的油、气藏（或油、气田），还必须寻找（勘探）适合油、气聚集的地质构造——储油构造。这种适合聚集油、气的地层和构造条件，则称为圈闭。从目前看来，主要储油构造仍是背斜构造。当然，在地层圈闭油藏、断层遮挡油藏、礁块油藏及盐丘等油

藏中也找到了工业性油、气流。

以上讲的是储油层和储油构造的简单概念。至于如何才能找到油、气田，这就涉及到石油勘探方法的问题了。目前，常用的方法有地质调查、地球物理勘探、地球化学勘探及钻探等。在上述方法中，地球物理勘探法中的人工地震方法是比较有效的。它采用炸药或非炸药震源激发地震波，波在地层中传播时，遇到分界面就产生反射、折射，然后回到地表，用地震仪记录反射、折射回来的地震波，从而了解地下的构造及岩性，以提供钻探井位，评价含油远景。截至目前为止，地震勘探还只能作为间接找油的一种比较有效的方法。

地震仪的发展过程大致分为三个阶段，即光点记录、模拟磁带记录和数字磁带记录。前两种记录方式的动态范围小，自动增益控制使地震信号失真，无法恢复信号的真幅度。因此，这两种方法只能说明地层及其异常所在，解决在哪里找油的问题，但不能判断地层的岩性。数字地震仪的动态范围大，能记录全部地震信息，用数字电子计算机处理地震数据时，可恢复信号真值，求得层速度和衰减系数，据此确定岩性。换言之，利用数字地震资料不但能判断构造，而且能鉴别岩性，这就是数字地震仪比模拟地震仪优越的地方。

数字地震仪于1962年问世。由于这种地震仪具有许多优点，因而很快得到了推广。根据生产实践的需要，近几年来，对数字地震仪作了下述重要改进：

1. 增益控制方式。最早采用的是模拟增益控制，后来发展到二进制增益控制，到目前为止，较新颖的是瞬间浮点增益控制；

2. 动态范围。从74分贝提高到200分贝；

3. 道数。由24道扩展到96道，最高可达254道；

4. 记录格式。由二进制记录格式发展到瞬间浮点记录格式。

第二节 数字地震仪的优点

目前,在油、气勘探工作中,地震勘探乃是最有效的方法之一。为了进一步提高地震勘探的地质效果,以便精确地确定探井井位,必须从地震勘探方法、仪器及地震资料处理诸方面着手改进。

六十年代,在地震勘探工作中,广泛采用多次覆盖技术。实践业已证明,应用多次覆盖技术可有效地消除多次反射干扰,提高信噪比,使记录质量提高一个等级,因此,它已成为解决复杂地震地区的主要方法之一。除此之外,利用多次覆盖资料可获得速度谱,进而研究地层的岩性及其变化。在二维多次覆盖的基础上,出现了三维多次覆盖。利用三维多次覆盖可求得地层速度、判断地层倾斜、确定断层及构造基本类型等。通常采用四次覆盖,或六次覆盖,有时采用十二次覆盖,甚至二十四次覆盖。以往用模拟电子计算机处理多次覆盖资料,它的缺点是效率低,由于转录过程而使信噪比降低。若改用数字电子计算机处理多次覆盖资料,便可克服上述缺点。

处理野外地震资料的速度随处理方法不同而异。以绘制地震时间剖面为例,模拟电子计算机的处理速度为10张/小时,数字电子计算机的处理速度为275张/小时。

地震信号很小,约达1微伏。近几年来,微弱信号的接收技术发展很快,现已引进地震勘探技术之中,并初见成效。如相关分析、频率滤波、反滤波等。采用这些新技术,计算工作量特别大。例如,用相关分析法处理一张地震记录,需

要作 250 万次乘、加运算。若用人工计算, 由于效率甚低, 容易产生计算错误, 根本无法用于生产。但用速度为 100 万次/秒的数字电子计算机进行运算, 仅需几秒钟便可完成, 且无计算错误, 因此, 它具有实用价值。

用数字电子计算机处理地震资料时, 若增加一些辅助设备, 可自动绘制地震时间剖面、深度剖面及特征剖面(能谱、频谱、速度谱)。综合利用地震波的运动学和动力学特征, 可自动对比层位, 进而自动绘制构造图, 既提高了工作质量, 又提高了工作效率。

数字电子计算机在地震资料处理工作中已获得广泛应用。由于采用了这种新技术, 迫使在野外直接获得数字地震记录, 以便送入数字电子计算机进行资料处理。否则, 必须增加一台模拟-数字输入机, 先把模拟地震信号转换成数字地震信号, 才能送入数字电子计算机, 继而进行资料处理。结果, 不但增加了设备, 而且降低了记录精度。因此, 在野外有必要用数字地震仪取代模拟地震仪。

地震波的动力学范围为 120 分贝。光点记录法的动力学范围为 20 分贝, 模拟磁带记录法的动力学范围为 45~60 分贝, 而数字磁带记录法的动力学范围为 84 分贝, 最高可达 200 分贝。由此得知, 数字地震仪能够更加真实地记录地震波。换言之, 它能够把波的动力学特征全部记录下来, 有助于应用地震波的动力学特征解决复杂的地震地质问题。数字地震仪以数字方式记录地震信号, 它采用的是饱和记录法。因此, 记录质量不受磁带移动速度及磁头和磁带间压力变化的影响, 并且使信噪比获得显著提高。

数字地震记录便于用无线电法直接传送到解释中心, 及时加以处理, 以指导野外工作。在海上进行勘探时, 每天要

完成几百公里长的测线，因此，采用数字地震仪的优点显得更加突出。

第三节 计 数 制

在日常生活中，经常要碰到一些数。长期以来，人们习惯应用的一种计数制是十进制计数制，它采用十个不同符号(0、1、2、3、4、5、6、7、8、9)的组合来表示任何一个数，它的规律是 $9+1=10$ ，即逢十进一，而每一个符号又因其在数中的位置不同具有着不同的含义。例如： $1973=1 \times 10^3 + 9 \times 10^2 + 7 \times 10^1 + 3 \times 10^0$ ； $1.973=1 \times 10^0 + 9 \times 10^{-1} + 7 \times 10^{-2} + 3 \times 10^{-3}$ 。

在日常生活中，除了惯用的十进制计数制之外，还广泛采用了其它一些计数制。例如，在表示铅笔的数量时，十二支为一打，十二打为一箩，这就是十二进制计数制，它的规律是逢十二进一。在计时系统中，采用的是六十进制计数制，即一分等于六十秒，一小时等于六十分。中药店选用的则是十六进制计数制，十六两等于一斤。

在数字地震仪中，采用了二进制、二十进制、二十六进制。现分别介绍如下。

一、二进制计数制

二进制计数制用两个不同符号 1 和 0 的组合来表示任何一个数，而数中每一位均包含有两种不同的稳定状态。因此，任何具有两种稳定状态的元件都可用来表示一位二进制数。事实上，具有这种性质的元件很多，例如继电器触点的吸合与释放，电子管或晶体管的通导与截止，指示灯的亮与灭，脉冲的有、无，电位的高、低等等。

二进制计数制的规律是逢二进一，即 $1+1=10$ 。它同十进制计数制一样，每个符号也因其数中的位置不同而有不同的含义，如： $1001=1\times 2^3+0\times 2^2+0\times 2^1+1\times 2^0$ ； $1.101=1\times 2^0+1\times 2^{-1}+0\times 2^{-2}+1\times 2^{-3}$ 。为了使大家对二进制数有一个量的概念，列举几个十进制数，用二进制计数制表示之，如表1.1。

表 1.1 二进制和十进制的换算

十进制数	等值的二进制数	十进制数	等值的二进制数
0	0	5	101
1	1	6	110
2	10	7	111
3	11	8	1000
4	100	9	1001

二进制计数制具有下述优点：

1. 十进制计数制需要十个不同的稳定状态，而二进制计数制仅需要两个不同的稳定状态。根据目前的电子技术水平，制造具有两个稳定状态的元件要比制造多稳定状态的元件容易得多。

2. 假设用十进制表示0到999的数值，必须用三位数，其中每一位数均包含有十种稳定状态，因此，共需三十种稳定状态。如果用二进制表示这一千个数，只用十位就足够了，因为十位二进制数最多可表示一千零二十四个数，它的每一位只有两种稳定状态，故总共仅需二十种稳定状态。由此得知，欲想表示同一个数，用二进制可大大减少设备量。

3. 数的传送可采用电位的高低、脉冲的有无等方法，因此工作稳定、可靠，抗干扰性强。

4. 四则运算极为简便，使其运算机构大为简化。
5. 便于应用布尔代数对开关线路进行分析或综合。
6. 适于应用数字电子计算机处理野外数字地震资料。

二、数的原码、补码、反码表示法

在运算过程中，不仅要正数进行运算，而且还要对负数进行运算。数字装置中表示负数的方法有三种，即原码、反码和补码。

原码 在初等代数中，负数是用“-”表示的，如-36，-64等。在数字地震仪中，利用一个元件的两种稳定状态“0”、“1”表示正、负数，规定“0”表示正数，“1”表示负数。我们把表示正、负数的这一位称为符号位。

如有一个正数 x ，它的原码则为

$$[x]_{\text{原}} = 0 + x$$

当 x 为负数时，它的原码则为

$$[x]_{\text{原}} = 1 + |x|$$

原码对于乘、除法运算是很方便的，但对于加、减法运算却比较复杂，于是人们便找到其它表示负数的方法，这就是补码和反码。

补码 在介绍补码之前，先叙述一个日常生活现象。钟表因走时误差或停摆而与北京时间不符，需要对表。例如，现在北京时间是六点正，而时针却指在八点正，快了二小时，怎样把指针校准到六点呢？有两种方法，其一、把时针正拨十小时；其二、把时针倒拨二小时。若定为正拨是加法，倒拨是减法，便给我们一个启示，在一定条件下，可用加法代替减法。对上例而言，减2可用加10来代替。这时，称10为“-2”的补码。

引入补码这个概念之后,可使减法化为加法,这里利用了钟表只有十二个数这个特点,每当时针指在12点时,时针便回到原处,指在0点,结果丢失了一个12,称12为“模”。

同理,在二进制数的运算中,也具有丢失高位数码的特点,引入负数的补码后,便可用加法代替减法。负数可用它对1的补码形式表示,即模为1。实际上,负数的符号位为1,当把它也视为数的一部分时,负数则必须采用它对2的补码形式表示,即以2为模。

例如,求 -0.1100 的补码(以2为模),则得

$$10.0000 - 0.1100 = 1.0100$$

求补码的法则是:

当数 x 为正数时, $[x]_{\text{补}} = x$

当数 x 为负数,并以2为模时, $[x]_{\text{补}} = 2 + x = 10 + x$
式中 10——二进制数。

反码 求 -0.1100 对2的补码时,要用10.0000减去0.1100,在求补码的过程中,每一位都要向高位借位。如果用机器求补,则非常麻烦,因此,有必要寻找一种不用向高位借位的码。众所周知,十进制中不用向高位借位的数有:9,即 $(10-1)$;99,即 $(100-1)$;999,即 $(1000-1)$ 等等。二进制中不用向高位借位的数为 $1.11\cdots\cdots 11$,即 $(10.00\cdots\cdots 00 - 0.00\cdots\cdots 01)$ 。

若以上述一些数为模求补时,就不存在向高位借位的问题了。在二进制计数制中,若以它为模求补,发现一个规律:补码中的各位正好与原负数中对应位的数码相反,即在原负数中为0,在补码中则为1;原负数中为1,补码中便为0。据此特点,这种码被称为反码。

例如,求 -0.1100 的反码,则得1.0011

求反码的法则是:

当数 x 为正数时, $[x]_{\text{反}} = x$

当数 x 为负数时, $[x]_{\text{反}} = 1\bar{x}_1\bar{x}_2\cdots\bar{x}_n$

式中 $\bar{x}_i$ 是 x_i 的反码, 即

$$\begin{aligned} x_i = 0 & \quad \bar{x}_i = 1 \\ x_i = 1 & \quad \bar{x}_i = 0 \end{aligned}$$

下面推导 2 补码和反码的换算关系。对负数 x 而言, 它的反码为

$$\begin{aligned} [x]_{\text{反}} &= 1.\bar{x}_1\bar{x}_2\cdots\bar{x}_n \\ &= 1.11\cdots1 + x \\ &= 10.00\cdots00 - 0.00\cdots01 + x \\ &= (10.00\cdots00 + x) - 0.00\cdots01 \\ &= 2 + x - 0.00\cdots01 \\ &= [x]_{\text{补}} - 0.00\cdots01 \end{aligned}$$

即 $[x]_{\text{补}} = [x]_{\text{反}} + 0.00\cdots01$

也就是说, 负数 x 的补码等于它的反码末位加 1。

例如, 求 $x = -0.1100$ 的补码

$$\begin{array}{r} [x]_{\text{反}} = 1.0011 \\ +) \quad 0.0001 \\ \hline [x]_{\text{补}} = 1.0100 \end{array}$$

综上所述, 正数的原码、反码、补码三种形式是完全一样的, 只有负数才有这三种形式的差别。

三、二进制数的四则运算

二进制数的四则运算和十进制数的四则运算一样, 包括加、减、乘、除。现分别叙述如下。

加、减法 二进制数加法的运算法则是

$$0 + 0 = 0$$

$$0 + 1 = 1$$

$$1 + 0 = 1$$

$$1 + 1 = \boxed{1} 0$$

式中 $\boxed{1}$ ——进位数。

二进制数减法的运算法则是

$$0 - 0 = 0$$

$$1 - 0 = 1$$

$$1 - 1 = 0$$

$$10 - 1 = 1$$

由于引进了补码和反码，减法可用加法来取代。在实际应用中，多数采用补码，这里仅讨论它的加、减法运算。

例 1：设 $x = +0.0101$ ； $y = +0.0011$ ，求 $x + y$

$$\begin{array}{r} 0.0101 \\ +) 0.0011 \\ \hline 0.1000 \end{array}$$

例 2：设 $x = +0.1010$ ； $y = +0.1101$ ，求 $x + y$

$$\begin{array}{r} 0.1010 \\ +) 0.1101 \\ \hline 1.0111 \end{array}$$

两个正数相加，其和为负数，显然这是错误的。原因在于位数所限，进位进到符号位上了，这种现象称为“溢出”。识别溢出的方法是符号位采用二位，即“00”表示正数，“11”表示负数。为了对负数作加法运算，应采用变形补码。求变形补码的法则是：

当数 x 为正数时， $[x]_{\text{变补}} = x$

当数 x 为负数时， $[x]_{\text{变补}} = 2^2 + x$ (即以 4 为模)

例 3： 设 $x = +0.0100$ ， $y = +0.1001$ ，求 $x + y$
变形补码计算：

$$\begin{array}{r} 00.0100 \\ +) 00.1001 \\ \hline 00.1101 \end{array}$$

用变形补码求得之和同原码求得之和相等。

例 4： 设 $x = +0.0101$ ， $y = -0.0110$ ，求 $x + y$
变形补码计算：

$$\begin{array}{r} 00.0101 \\ +) 11.1010 \\ \hline 11.1111 \end{array}$$

例 5： 设 $x = +0.0110$ ， $y = -0.0101$ ，求 $x + y$
变形补码计算：

$$\begin{array}{r} 00.0110 \\ +) 11.1011 \\ \hline \boxed{1} 00.0001 \end{array}$$

乘法 两数相乘，采用原码形式最为简便。相乘时，分成两部分，一部分是符号位的运算，另一部分是两数绝对值的运算。

两数相乘，积的符号等于被乘数、乘数符号之和，即

正正得正	$0 + 0 = 0$
正负得负	$0 + 1 = 1$
负正得负	$1 + 0 = 1$
负负得正	$1 + 1 = \boxed{1} 0$

负负得正，出现 $\boxed{1}$ 。若符号位以 2 为模， $\boxed{1}$ 将被丢掉，运算结果是正确的。这种运算方法称为“按位加法”，

即不考虑进位。

两数绝对值相乘，乘法规则是：

$$0 \times 0 = 0$$

$$0 \times 1 = 0$$

$$1 \times 0 = 0$$

$$1 \times 1 = 1$$

例 6：设 $x = 0.1101$ ； $y = 0.1010$ ，求 $x y$

0.1101	被乘数	
×) 0.1010	乘数	
0000 1101 0000 1101 } 部分积		
0.10000010 积		

由此得知，被乘数与乘数各位相乘得对应的部分积，而乘积等于部分积之和。实际上，乘法可归结为这样一种运算，即乘数中包含有几个 1，就在对应的位置上重写几次被乘数，然后相加。换言之，乘法运算实际上是由加法运算及移位操作组成的。

除法 两数相除，采用原码形式。符号位的运算和乘法一样，绝对值的运算一般采用两种方法：其一、正余数法，也称为恢复余数法；其二、加减交替法。分别简述如下。

1. 正余数法。在二进制计数制中，商数的每一位取值为“1”或“0”。从被除数或中间余数中减去除数，够减时余数为正，相应位的商为“1”，余数左移一位；不够减时，余数则为负，商为“0”，恢复余数（余数加除数）并