

地震数字处理 与电子数字计算机

石油化学工业部石油地球物理勘探局计算中心站编著

石油化学工业出版社

地震数字处理 与电子数字计算机

石油化学工业部石油地球物理勘探局
计算中心站编著

石油化学工业出版社

内 容 提 要

本书主要介绍电子数字计算机的一般工作原理、结构及程序设计的基础知识,并且还系统地阐述了地震勘探资料数字处理的常规方法,对水平叠加、频谱分析、数字滤波、速度谱、叠加偏移等手段从基本知识到处理方法和具体应用都作了扼要地介绍。

本书可作为地震勘探战线广大工人、技术人员及有关院校师生了解地震数字勘探知识的一本参考书。

地震数字处理与电子数字计算机

石油化学工业部石油地球物理勘探局计算中心站编著

石油化学工业出版社出版

(北京和平里七区十六号楼)

石油化学工业出版社印刷厂印刷

石油化学工业出版社发行

开本 $787 \times 1092^{1/32}$ 印张 $5^{1/4}$ 插页1 字数115千字 印数1—5,500

1977年1月北京第1版 1977年1月北京第1次印刷

书号15063·油117 定价0.45元

内部发行

目 录

引言	1
第一章 电子数字计算机的工作原理及其结构	4
第二章 程序设计基础	10
第一节 进位计数制及其转换	10
第二节 程序设计基础	18
第三节 电子数字计算机是如何实现地震资料数字处理的	22
第三章 地震资料的预处理	27
第一节 数据解编	27
第二节 特殊道处理	28
第三节 振幅控制	28
第四节 抽道集	34
第四章 水平叠加	36
第一节 动校正	36
第二节 切初至	44
第三节 水平叠加	51
第四节 叠加后的各种处理手段	53
第五章 频谱分析	67
第一节 什么叫频谱分析	67
第二节 波的合成与分解	67
第三节 地震波的频谱分析	69
第四节 参数选择	74
第五节 频谱的整理与应用	75
第六节 地震波的频谱特征	78
第七节 频谱定理	82

第六章 数字滤波	90
第一节 数字滤波的基本知识	90
第二节 数字滤波在计算机上的实现	94
第三节 几种常用的滤波手段	99
第七章 速度谱	108
第一节 速度的概念	108
第二节 速度谱的原理	111
第三节 叠加速度谱	114
第四节 相关速度谱	117
第五节 参数的选择	122
第六节 速度谱的应用	123
附 录 水平层状介质中共中心点的时距关系	125
第八章 叠加偏移	129
第一节 问题的提出	129
第二节 叠加偏移原理	134
第三节 在150机上叠加偏移的实现	139
第四节 叠加偏移处理的有关问题	145
附 录 在 $V(Z)=V_0(1+\beta Z)$ 的介质的情况下,地震波 的等时线方程	147
第九章 数字处理中的几种特殊处理	152
第一节 人工合成地震记录	152
第二节 亮点	159

引 言

在毛主席无产阶级革命路线指引下，随着我国石油工业高速度发展的大好形势，我国石油地震勘探在实现数字化方面也有了大踏步的迈进。近年来，我们已用我国自行设计制造的第一台百万次集成电路电子数字计算机，用自己设计编制的程序系统，实现了石油地震勘探资料的数字处理，并取得了良好的地质效果，揭开了我国地震数字化技术的新的一页。一九七五年中仅150机，就处理了地震记录48万5千多张次。根据数字处理的地质资料，进行解释，钻探成功率显著提高。石油地震勘探数字化为发展我国的石油工业显示了极为广阔的前景，它是石油地震勘探的发展方向。

地震勘探数字技术是近十几年来出现的一项先进技术，它的主要优点是处理速度快，自动化程度高，处理手段多，而且经过反复处理后的讯噪比不受影响，资料质量好，精度高（见图0-1，0-2）。

地震资料的数字处理，是一项涉及面很广的新技术，它包括电子数字计算机、程序设计、地震勘探物理-数学模型等。在本书中我们将简单讨论计算机的工作原理、程序设计基础和地震数字处理的物理-数学模型及其在电子数字计算机上的实现。为了适应野外勘探的需要，在处理程序设计中可分别进行预处理、常规处理、叠偏处理与特殊处理以及求取处理参数的分析处理，如频谱分析、速度分析等。在这些处理内容中，方法是多种多样的，上机程序的编制也涉及到

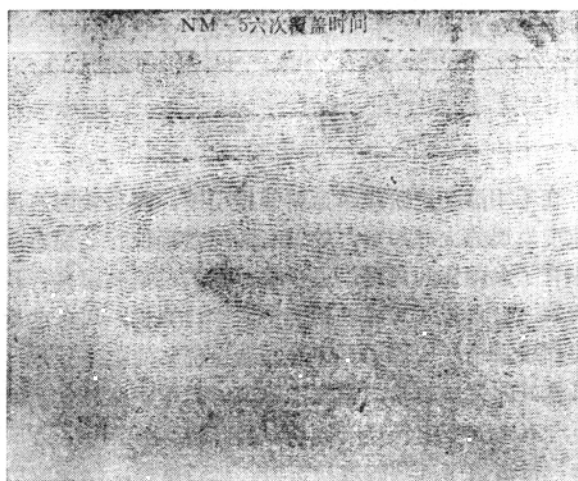


图 0-1 模拟时间剖面

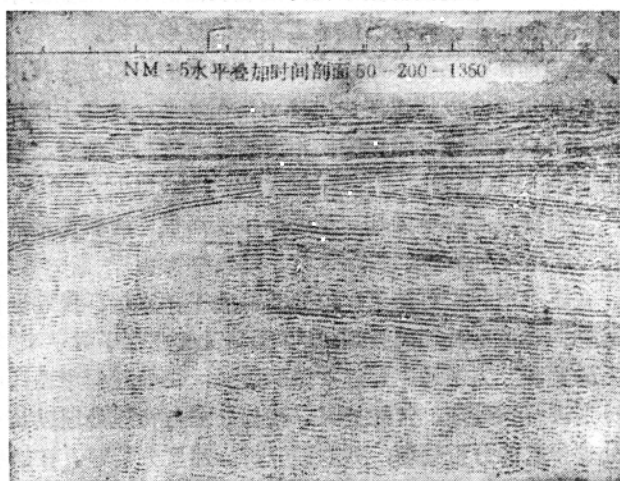


图 0-2 数字水平叠加时间剖面

很多技巧，所以，我们在这里只介绍现用的一种处理方法的原理与实现。

我们一定要在毛主席革命路线指引下，以阶级斗争为纲，坚持党的基本路线，坚持独立自主、自力更生的方针，全心全意地依靠工人阶级，狠抓革命，猛促生产，力争在不长的时间内，为实现地震勘探的数字化，进一步巩固、发展大好形势和石油工业的更大跃进作出贡献。

第一章 电子数字计算机的 工作原理及其结构

电子数字计算机是由电子元件构成的一种现代化的计算工具。它具有运算速度快、计算精度高等特点,能够自动地、高速度地进行大量复杂的计算。

在长期生产实践中,劳动人民创造了各种计算工具以满足生产发展的需要。早在古代,我国就已使用算盘,到了明朝已很流行。以后又有计算尺、手摇计算机等新的工具。解放以后,特别是无产阶级文化大革命以来,在毛主席革命路线指引下,我国的科学技术飞速发展。在短短的二十多年中,电子数字计算机从无到有,从小到大,自行设计制造成功第一台百万次大型集成电路电子数字计算机,并将它用于石油地震勘探中。电子数字计算机应用于石油地震勘探,可以高速度处理地震资料,帮助地质解释,提高勘探精度,为加速石油勘探创造了有利条件。

1. 电子数字计算机的主要部件

电子数字计算机对复杂的数学问题能自动地进行运算。要实现这些运算,电子数字计算机必须具备哪些部件才行呢?让我们先从简单的计算工具——算盘说起。

例如,野外地震勘探工作中,要算出某炮第20道的初至波到达时间 t 。从野外观测系统知道,排列是小桩号单边放炮,炮井离第一道检波器距离为300米,检波点间距60米,该地区初至波速度为1500米/秒。那么,数学计算式应是:

$$t(\text{秒}) = [300\text{米} + (20-1) \times 60\text{米}] \div 1500\text{米/秒}$$

演算开始，先用心算 $(20-1)$ ，将所得中间结果19记在纸上，再用算盘按乘法口诀做 $19 \times 60\text{米}$ ，得中间结果1140米，也同样记在纸上；然后再用加法口诀做 $1140\text{米} + 300\text{米}$ ，再得中间结果1440米；最后做除法 $1440\text{米} \div 1500\text{米/秒}$ ，所得到的结果，表明第20道初至波到达时间应是0.96秒。

在上面计算中，参加算题的有纸、笔、算盘以及使用工具的人。电子数字计算机要能自动地进行运算，也必须具备与上面相应的几个基本装置。

第一，要能进行数字运算，必须有相当于算盘的运算器。

第二，要有能用来寄存原始数据、运算步骤及保留中间结果的存储器，它们就相当于纸和笔。

第三，要使运算器及参与运算的所有设备都能有条不紊地进行工作，就要有相当于人的作用的控制器。

当然，单有上述三个装置还是不够的。因为机器必须按人的意图工作，即按照人们事先给出的数据及运算步骤进行运算；同时，机器算得的结果又需要表达出来给人知道，所以还需要有输入和输出设备等。下面结合计算机的简单框图来说明电子数字计算机的基本结构与功能。

2. 电子数字计算机的基本结构与功能

一般电子数字计算机的基本结构如图1-1所示。

(1) 运算器

运算器是计算机的基本部件。它能对数据进行加、减、乘、除等四则运算，还可以对数据进行逻辑加、逻辑乘等逻辑运算。

运算器是由几个寄存器（在运算中用来暂时存放数的元

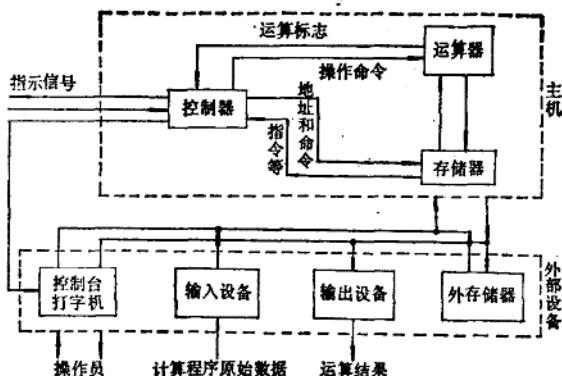


图 1-1 电子数字计算机简单框图

件)和全加器、乘法器等组成的。全加器是完成加、减运算的部件。例如,对某二个数作加法运算,一个寄存器中存放被加数,也可以存放前次运算的结果,这个寄存器又叫累加器。另一个寄存器中存放加数。当加法命令到来时,二个寄存器的数同时送至全加器,在全加器中完成二个数的相加,然后再将结果送回到累加器中。当然,这是最简单的过程,具体的还有对阶、求和、规格化等步骤。运算器实现乘法时,道理一样,只不过是复杂一些罢了。

(2) 存储器(通常称为内存器)

存储器是存储数据和指令用的。当表示数据及指令的信号到来时,它就把它保存或记忆住,需要时又可把它们传送出去。存储器内存放一个数或指令的地方叫做存储单元(相当于大楼中的房间)。单元号码称为地址(相当于房间门牌号)。当一个数或一条指令从存储器内取出或送入时,控制器要给出一个命令。从命令发出的时刻到将数或指令取出

或送入存储器的时刻，需要一段时间，这段时间叫做存取周期。存储器的容量和存取周期是两个重要的参数。

存储器的种类是很多的，例如磁心存储器、静电存储器、MOS（金属-氧化物-半导体）存储器等，目前大多数机器采用磁心存储器。

（3）控制器

运算器、内存储器虽然都是不可缺少的部分，但它们对整机来说还是局部，因此必须要有掌握全局的部件来控制运算全过程。控制器则是全机的指挥机构。电子数字计算机各个部分的工作都归它调动，以保证整个运算自动连续地协调进行。

电子数字计算机的运算过程完全是按人们事先安排好的步骤进行的。同时，它对每一步都自动进行分析，根据分析结果自动形成对各部件的控制信号，使运算器、存储器等部件按其发来的信号协调地完成操作。控制器的主要组成部分有负责全盘的中央控制器，有负责分析研究命令执行的指令控制器等。

以上三器，通常就叫做计算机的主机部分。下面介绍外部设备。

（4）输入设备

输入设备用来把题目的原始数据以及安排的计算步骤输入到计算机里。目前国内应用的通常是光电纸带输入机，即人们把原始数据及计算步骤，用机器能识别的纸孔的形式穿成纸带。国外目前通常用的是卡片阅读机，即人们把原始数据和计算步骤穿成一叠卡片。然后，再通过光电输入机或卡片阅读机将纸带上或卡片上的信息送入主机。

（5）输出设备

输出设备是把电子数字计算机计算的结果告诉人们，通常有行式打印机（宽行及窄行两种）和x-y绘图仪等。前者是把机器内保存的数据打印在纸上告诉人们，后者是将计算结果以曲线形式告诉人们。

（6）外存储器

外部设备中，通常还具有外存储器。磁带机、磁鼓机、磁盘机等外存储器就是一般计算机中常用的。它们常常补充内存储器容量的不足。外存储器的存取速度通常比内存储器的存取速度要慢。它们上面保存的原始数据和中间结果，可以由主机在需要用时自动地调入机器内。

此外，还需要有控制台电传打字机，它是实现人对机器的控制的渠道。

电子数字计算机还必须要有供给整个机器的电源设备以及各种附加设备。如通风冷却设备、各种调试设备等。

3. 处理地震资料对计算机的要求

用于处理地震资料的电子数字计算机，除了具有一般计算机的共同设备外，还必须具有以下专用的输入和输出设备。

（1）模拟数字磁带输入机

数字计算机是采用数字量进行运算的，而野外模拟磁带上记录的是连续变化的地震信息，不能满足机器的需要，需要有一个把连续曲线变成离散数据的模-数转换装置，通常称为模拟磁带输入机。该输入机可以根据人们的需要对模拟量进行1毫秒、2毫秒和4毫秒的间隔采样。

对野外的数字磁带也要通过数字磁带输入机送入机器。

（2）剖面显示仪

剖面显示仪是专供计算机作地震资料处理后的成果显

示——地震时间剖面图或地震深度剖面图用的。它的显示形式有波形加变面积增辉时间或深度剖面、波形加增辉时间或深度剖面、波形时间或深度剖面以及点阵图形等。

该设备主要由控制线路、电源、卷纸和示波部分组成。

根据各型号计算机的不同，对该设备的要求也不同。

如国内 SDZ-722A 型显示仪上采用照相电子示波器多路开关，一次可显示24道，照相纸采用成卷分张步进的办法，可以连续或间断显示。显示剖面，可以以地震测线为单位，而不受测线长度的限制。

第二章 程序设计基础

第一节 进位计数制及其转换

1. 几种进位计数制的表示法

(1) 十进制数的表示法

我们一般常用的计数制是十进制的，即“逢十进一”。例如：9128 + 872 = 10000。一个十进制数由 0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9 十个不同数字符号（数码）所组成。也就是说每一位可能有十种情况。例如，506.43 这个十进制数表示 6 个 1，0 个 10，5 个 100，4 个 $\frac{1}{10}$ 和 3 个 $\frac{1}{100}$ 相加的值。可写成数学式为：

$$\begin{aligned}(506.43)_+ &= 5 \times 100 + 0 \times 10 + 6 \times 1 + 4 \times \frac{1}{10} + 3 \times \frac{1}{100} \\ &= 5 \times 10^2 + 0 \times 10^1 + 6 \times 10^0 + 4 \times 10^{-1} + 3 \times 10^{-2}\end{aligned}$$

对任意一个十进制数 D_+ 可用 (2-1) 数学式表达：

$$\begin{aligned}D_+ &= K_n \cdot 10^n + K_{n-1} 10^{n-1} + \dots + K_1 10^1 + K_0 10^0 \\ &\quad + K_{-1} 10^{-1} + K_{-2} 10^{-2} + \dots + K_{-m} 10^{-m} \quad (2-1)\end{aligned}$$

式中的 10 称为计数制的基数，即十进制的基数为 10。

(2) 二进制数的表示法

电子数字计算机上广泛采用的计数制是二进制的，即

“逢二进一”。例如，两个二进制数相加， $1011+101=10000$ 。一个二进制数只有 0、1 两个不同的数码，即每位只有两种可能的情况。例如，二进制数 101.11 写成数学式为：

$$(101.11)_2 = 1 \times 4 + 0 \times 2 + 1 \times 1 + 1 \times \frac{1}{2} + 1 \times \frac{1}{4} = 1 \times 2^2 + 0 \times 2^1 + 1 \times 2^0 + 1 \times 2^{-1} + 1 \times 2^{-2}$$

对于任意一个二进制数 B_2 可用 (2-2) 式来表示。其基数为 2。

$$B_2 = Q_n \cdot 2^n + Q_{n-1} \cdot 2^{n-1} + \dots + K_1 \cdot 2^1 + K_0 \cdot 2^0 + K_{-1} \cdot 2^{-1} + K_{-2} \cdot 2^{-2} + \dots + K_{-m} \cdot 2^{-m} \quad (2-2)$$

因为二进制数每一位只有两种状态，0 或 1。故非常容易用一个具体的物理状态来表示。如，电平的高或低，有脉冲或无脉冲，导线通或导线断，灯亮或灯灭，开关扳上或扳下等都可以分别表示二进制数的 1 或 0。例如，4 个灯，亮 (●) 和灭 (○) 的状态为：●●○○。则可以用来表示 1101 这个二进制数。如果用物理状态表示十进制数，则每位可能十种状态，这就复杂得多了。但二进制数的缺点是表示同一数值，二进制书写位数较多。

(3) 八进制数的表示法

八进制数，基数为 8，即“逢八进一”。例如，两个八进制数相加， $7432+346=10000$ 。八进制数由 0，1，2，3，4，5，6，7 八个数码组成。任意一个八进制数可用 (2-3) 式来表示。

$$C_8 = P_n \times 8^n + P_{n-1} \times 8^{n-1} + \dots + P_1 \times 8^1 + P_0 \times 8^0 + P_{-1} \times 8^{-1} + P_{-2} \times 8^{-2} + \dots + P_{-m} \times 8^{-m} \quad (2-3)$$

从 (2-1)、(2-2) 和 (2-3) 式看出，三个式的结构是

相同的，只是基数分别为10、2和8。这样，我们可以写出一个任意进位制数的表达式：

$$S_J = K_n J^n + K_{n-1} J^{n-1} + \cdots + K_1 J^1 + K_0 J^0 + K_{-1} J^{-1} + K_{-2} J^{-2} + \cdots + K_{-m} J^{-m} \quad (2-4)$$

即

$$S_J = \sum_{i=-m}^n K_i J^i$$

式中 K_i ——0, 1, 2, …, (J-1)中任意一个数码；

m, n ——正整数；

J ——进位制基数。

2. 十进制数，二进制数和八进制数之间的转换

(1) 十进制整数转换成二进制整数

举例说明：把十进制整数725转换成二进制数，

$$\begin{aligned} (725)_{10} &= (K_n K_{n-1} \cdots K_1 K_0)_{10} = \\ &= K_n 2^n + K_{n-1} 2^{n-1} + \cdots + K_1 2^1 + K_0 2^0 \\ &= 2(K_n \cdot 2^{n-1} + K_{n-1} \cdot 2^{n-2} + \cdots + K_1) + K_0 \end{aligned}$$

等式两边除以2，得：

$$\begin{aligned} \frac{725}{2} &= 362 + \frac{1}{2} = (K_n \cdot 2^{n-1} + K_{n-1} \cdot 2^{n-2} \\ &\quad + \cdots + K_1) + \frac{K_0}{2} \end{aligned} \quad (2-5)$$

一个数要相等，整数部分和小数部分要对应相等，等式左边为小数，与右边小数相等，

$$\frac{1}{2} = \frac{K_0}{2} \quad K_0 = 1$$

再将(2-5)式写成：