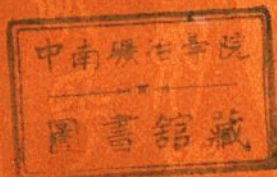


233659

# 世界石油勘探和开发 技术资料

第三分册

## 野外地球物理勘探新技术



中国工业出版社

## 編者的話

为了多快好省地开发我国油、气田，茲将国外有关的石油地质勘探（海上勘探）、地球物理勘探、钻井和采油等方面的技术文献資料編譯整理成“世界石油勘探和开发技术資料”一书，供我国石油工作者参考。全书共分六个分册：

第一分册——大油区勘探和地球化学勘探；

第二分册——海上石油勘探；

第三分册——野外地球物理勘探新技术；

第四分册——矿场地球物理测井新技术；

第五分册——油田开发；

第六分册——钻井工艺与技术。

\* \* \* \* \*

参加本分册編譯工作的有：鄺維彥、牛毓荃、陈俊生、杜世通、姚先觉等同志，技术审訂工作由地质勘探司勘探处担任。

## 目 录

一、磁帶地震仪及其整理装置	1
二、相关分析在地震勘探中的应用	30
三、在复杂地震地质条件下地震波调节方向接收法 (PHIT) 应用的地质效果	66
四、复杂条件下的地震勘探方法	95
五、投重法地震勘探	179
六、国外試用无线电波法直接寻找油、气的可能性	201

# 磁帶地震儀及其整理裝置

【摘要】 本文詳細敘述了磁帶記錄的方法，如直接 藕頻和脈沖寬度 調制錄放法的基本原理，並提出以磁帶記錄為輸入數據的地震靜態與動態的校正方法與儀器設備，資料自動整理儀器和新方法等。

## 一、引 言

由於磁帶記錄具有許多優點，自從 1921 年磁帶記錄的發明後，磁帶記錄技術逐步的應用到各個科學技術和工業部門上去，並於 1956 年廣泛的應用於地震勘探上，漸漸的接近完全代替了照像記錄式地震儀，1961 年磁帶地震儀佔所有使用的地震儀的百分比為：資本主義國家 80%，其中西半球為 75%，東半球為 88%，各地區的情況：西歐 85%，非洲 98%，美國 77%，南美 53%，墨西哥 27%，中美西部群島 82%，磁帶記錄可以真實的將地層彈性波傳播情況記錄在磁帶上，磁帶上的記錄可以隨意方便的回放，而不需要像照像記錄那樣用液體化學藥品和暗室設備進行記錄的定影與復制等，消磁後的磁帶可以重用，在回放過程中，可以進行靜態和動態的校正，選擇適當的混波比和濾波擋，採用不同的組合法，和採用資料自動整理儀器，迅速的提出了正確的地層資料，提高了勘探質量和勘探速度，降低成本和解決一些以前所不能解決的複雜地區的勘探問題。

## 二、野外磁帶地震儀

不同類型野外磁帶地震儀的基本目的要求是一樣的，其最終目的是在各種野外條件下，迅速的取得豐富的正確的地層資料，作為進一步分析的根據，因此，野外磁帶地震儀除了錄放的主要部份外，是一套具備各種輔助設備的完整儀器，圖 1 為採用半導體和印制綫路的，T<sub>1</sub>-551 型直接記錄野外磁帶地震儀的原理圖。

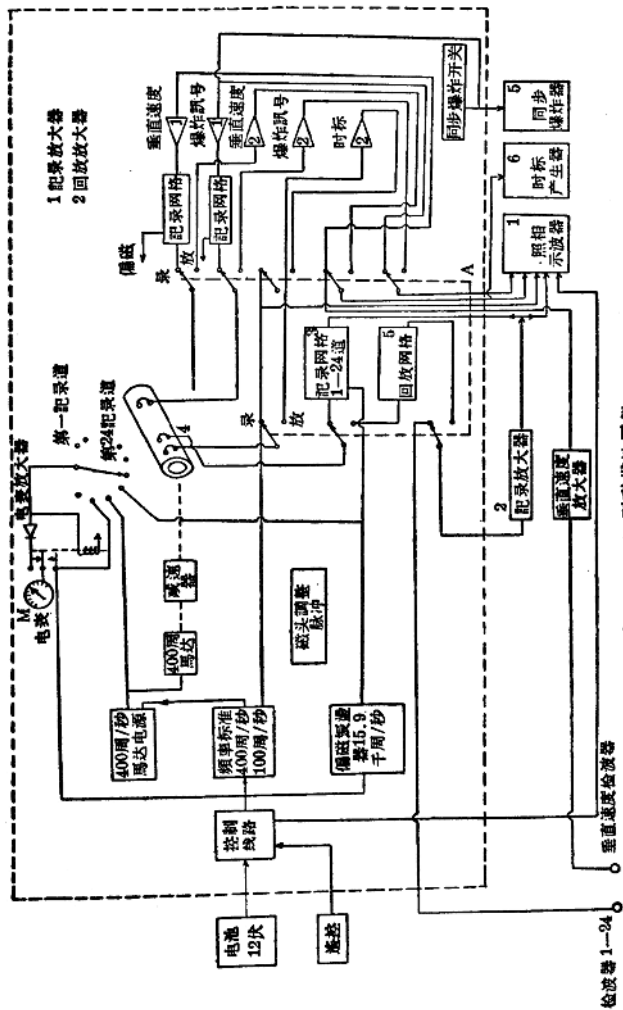


图 1 T<sub>1</sub>-551 型磁带地震仪

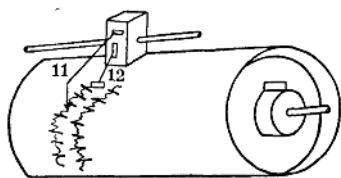
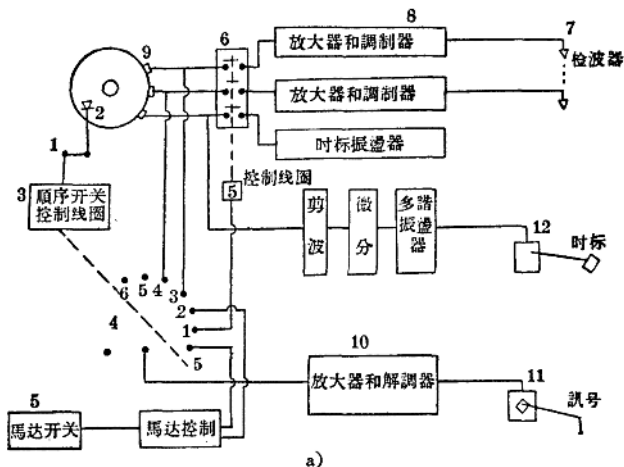
T<sub>1</sub>-551 型儀器未記錄前，先用电表 M 檢查儀器的性能，如電纜的通斷，電源電壓的高低，偏磁電流的大小等，以保證儀器性能良好，並將聯動開關 A 置於記“錄”位置用照像示波儀 1 觀察地面微震，及放大器的放大倍數的一致性。記錄前的準備工作，記錄時地震訊號經檢波器輸送至記錄放大器 2，訊號經放大器放大後在記錄網格 3 里和高頻偏磁電流相混合，混合後的訊號輸至磁頭 4 在磁帶上記錄，回放時，聯動開關 A 在“放”位置，磁頭 4 由磁帶上所感应的訊號輸至回放網格 5，經頻率補償後的訊號輸至記錄放大器 2，經放大後的訊號輸至照相示波器 1 進行記錄，根據照相示波器照出的圖片，鑑定記錄質量和決定是否需要重錄，圖中的時標產生器 6，同步爆炸器 7 等和普通地震儀同類型部件的功能是一樣的。

整套 T<sub>1</sub>-551 型儀器（圖中紅綫內各部件）的重量為 60 磅，工作時消耗能量為 10 安培和 12 伏，有 24 道訊號記錄，一道爆炸訊號，一道垂直速度，一道時標，總的共 27 道。

圖 2 為一調頻式磁帶地震儀的記錄和回放部份原理圖。

圖 2 a 儀器的操作是由順序開關 4 自動控制的。記錄開始前將開關 1 接通，用馬達開關 S 開動馬達，使馬達帶動磁鼓轉動，當磁鼓轉至記錄開始位置時，接通微動開關 2，並通過開關 1 接通順序開關綫圈 3，綫圈 3 通電流後，使開關 4 接 1 位置，隨着使開關 6 的控制綫圈 5 接通電源，并使開關 6 接記錄位置，儀器開始記錄，記錄時，地震訊號由檢波器 7 輸至放大器和調制器 8，經放大和頻率調制的訊號輸至磁頭 9 在磁帶上記錄。磁鼓旋轉一周後，回到記錄開始前的位置時，磁鼓重新接通微動開關 2，和剛才所說的一樣，使順序控制綫圈 3 接通，控制綫圈隨即使開關 4 的接點 1 和電源斷開，與接點 1 相接的開關 6 及控制綫圈 5 上的電源亦同時被斷開，使開關 6 回復到原來的位置，磁頭 9 和記錄放大器 8 斷路，馬達和磁鼓亦停止轉動，記錄完畢，回放時，將開關 1 接通後，開動馬達，馬達帶動磁鼓轉動，當磁鼓使微動開關接通時，控制綫圈 3 使開關 4 上的接點 3 和解調放大器 10 接通，磁頭感应的回放電壓，經放大和解調後輸至筆尖檢流計 11 記錄，第一道回放記錄完畢後，開關 4 自動使放大器和解調器和第二道記錄道連接，直至各道自動順序回放完畢，馬達停止轉動，并

准备进行第二次爆炸记录，此仪器采用单道顺序回放，只须采用一个放大器和解调器，简化了设备。



b)  
图 2 调频磁带地震仪

此仪器有 24 道调频记录道，一道直接记录爆炸讯号，一道直接记录垂直速度记录，和 2 道直接记录时标记录，位于磁带记录始端的一边，用以检查磁带是否被扭卷和引起时间误差。应用笔尖检流计在纸鼓上的记录进行质量检查，如示于图 2 b，时标记号由时标笔尖 12 划出，纸鼓和磁鼓量同轴的，由同一马达带动，采用速度自动控制的

伺服馬达保持恒速要求。

不同类型的仪器在綫路設計和結構上是有些不同的，总的來說，磁帶野外地震儀具備下列几部份：（一）記錄部份，一般是多道的，和採用 24 道訊號記錄；（二）回放部份，一般採用單道順序回放，並應用回放記錄進行質量檢查；（三）監示裝置，一般採用光電檢流計，單道或多道的；（四）回放記錄器可以採用照像示波器，亦可採用墨水或電壓筆尖檢流器；（五）電源；（六）儀器檢查設備；（七）磁頭磁鼓和傳動馬達裝置，馬達可以採用音叉同步馬達磁滯馬達或速度自動控制伺服馬達；（八）通訊設備，一般採用電話或收發報機；（九）爆炸機檢波器和電纜等。

### 三、記錄方法

磁帶地震記錄儀目前一般採用三種方法：直接、頻率調制和脈沖寬度調制記錄法，直接記錄法是最早被採用的，後來為了提高記錄和回放質量，尤其是在多次錄放中，而採用了後兩種記錄法，目前還未應用到生產中去，而正在研究的為數字記錄法。

一）直接法 直接記錄法的原理如示於圖 3。

圖 3 中由檢波器 1 輸至放大器 2 的訊號經放大後，和偏磁振盪器 3 輸出的高頻訊號相混合，混合後的訊號經功率放大後輸至磁頭，在磁頭里產生一可變磁場，可變磁場的頻率和訊號頻率一樣，可變磁場的強度和訊號電流的大小成正比，可變磁場將以恒速通過磁頭縫隙的磁帶磁化，磁帶被磁化的程度和磁頭縫隙可變磁場的幅度成正比，由於磁帶磁滯曲綫的綫性不夠，借助於偏磁振盪器 3 的高頻訊號，以提高磁記錄的綫性範圍，回放過程剛和記錄過程相反，即當磁帶通過磁頭的縫隙時，磁帶里的可變磁矩在磁頭的綫圈上產生一感應電壓，到感應電壓的頻率和幅度的變化是和記錄時的訊號一樣

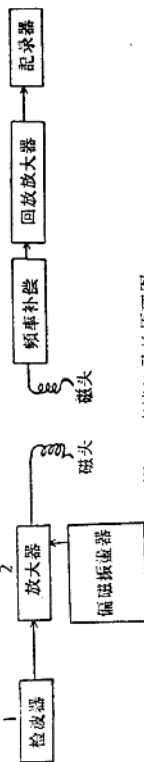


圖 3 直接法錄放原理圖



的，图 4 b 为一直接法录放线路。

图 4 a 为相移或高频偏磁振荡器，图 4 b 为一直接法录放放大线路，记录时，开关  $\Pi$  接于  $A_1$  的位置上，输入变压器  $T_1$  的初级线圈接检波器，录放线路是由 2 级电压放大 ( $V_1$  和  $V_2$ ) 及一组功率放大 ( $V_3$ ) 所组成， $V_3$  的输出接记录磁头，回放时，并关  $\Pi$  接 B 的位置，接通了频率补偿线路  $R_3 C_3 R_6$ ，回放磁头接  $T_1$  的初级线圈，经  $V_1 V_2$  和  $V_3$  放大后的讯号由  $V_3$  输出至记录器， $R_3 C_3$  和  $R_6$  的频率补偿线路，使讯号幅度衰减 6 分贝/音阶，补偿回放磁头感应电压随讯号频率而增加的特性，即回放讯号频率每增加一音阶时磁头感应讯号幅度增加了 6 分贝。记录时采用恒流线路，记录电源不受讯号频率的影响，因而记录放大器不须要频率补偿。

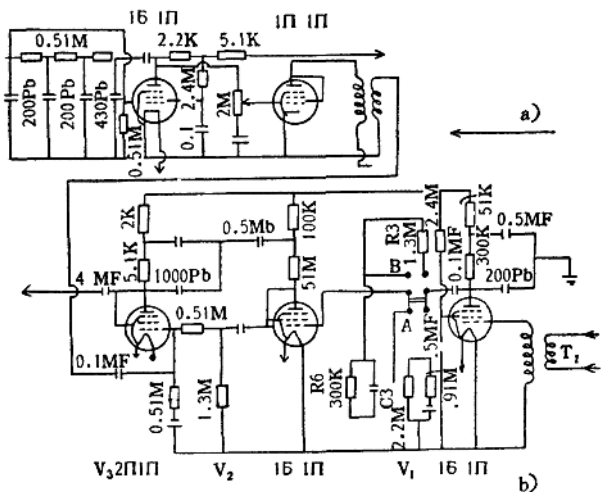


图 4 直接法录放线路

直接法的线路一般比较简单，传动系统的速度变化不引起频率畸变，缺点是频率范围受磁头的频率特性所限制，低频特性较差，一般只能达到 20 周/秒，录放时，讯号大小易受磁带质量和磁头和磁带向

压力松紧的影响，引起幅度畸变，在比较好的条件下，录放精确度可达1%，讯号噪音比可达50分贝，畸变不大于3%，偏磁振荡频率一般为由5千周/秒至15千周/秒，根据磁带特性等因素决定：

二) 频率调制器(7) 调频录放原理如示于图5。

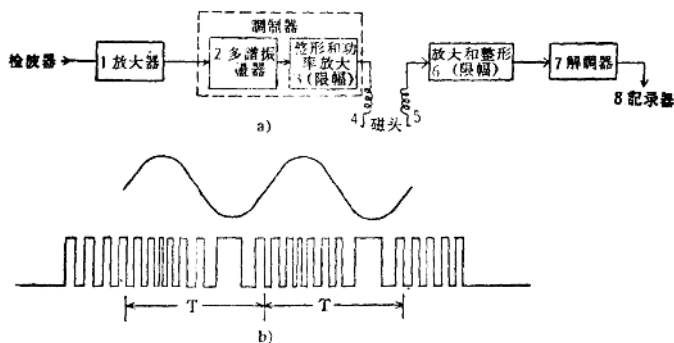


图5 调频录放原理图

图5 a中检波器输至放大器1的讯号，经放大后调制多谱振荡器2，多谱振荡器输出的讯号频率的大小正比于调制讯号的大小（即放大器输出讯号），多谱振荡器输出讯号频率变化的重复率等于输入讯号的频率如示于图5 b。在调制过程中将输入讯号幅度的变化转换为频率的变化，调频讯号由多谱振荡器2输出至功率放大器和整形3，整形和放大后的讯号输至记录磁头4记录。回放时，由回放磁头5输出的带有幅度干扰的讯号，经6放大和整形（亦即限幅）后，消除了幅度干扰，无幅度干扰的讯号输至解调器7，恢复了未调制前的地震讯号。解频后的讯号输至记录器8进行记录。解调器可以采用比例检波器，谐振线路或其他型式的线路，解调器将输入讯号频率的变化转换为幅度的变化，同时调频磁性记录原理和直接法相同，不同的是调频记录不需要偏磁高频讯号以提高磁记录的线性范围，这是由于调频记录和记录讯号的幅度无关的原故。

图6为一调频式磁带录放线路，图6 a为记录线路，讯号由检波器输至平衡电压放大级 $V_1$ 和 $V_2$ 的栅极，由 $V_1$ 与 $V_2$ 放大后的讯号输

至多諧振盪器  $V_3$  与  $V_4$  的柵极, 通过調整  $V_3$  与  $V_4$  柵极的电位, 頻率調制多諧振盪器, 多諧振盪器的調頻訊号輸至功率放大和限幅器  $V_5$ , 放大和限幅后的訊号輸至磁头記錄在磁带上, 图 6 b 为回放綫路, 回放时由磁头輸入的感应訊号輸至  $V_1$  的柵极, 接着为  $V_2$ 、 $V_3$ 、 $V_4$  所放大 (电压放大), 再由  $V_5$  限幅器限幅, 限幅后的訊号和由  $V_6$  输出的 55.5 千周/秒, 高频訊号在混波器里混波, 产生以 60 千周/秒为中間頻率的調頻訊号, 此訊号經  $V_7$ 、 $V_8$  电压放大后輸至諧振式解調器  $V_9$ , 解調后再經  $V_{10}$  放大, 放大后的訊号由阴极輸出器  $V_{11}$  輸至記錄器,  $V_{11}$  最大輸出为 1 伏。

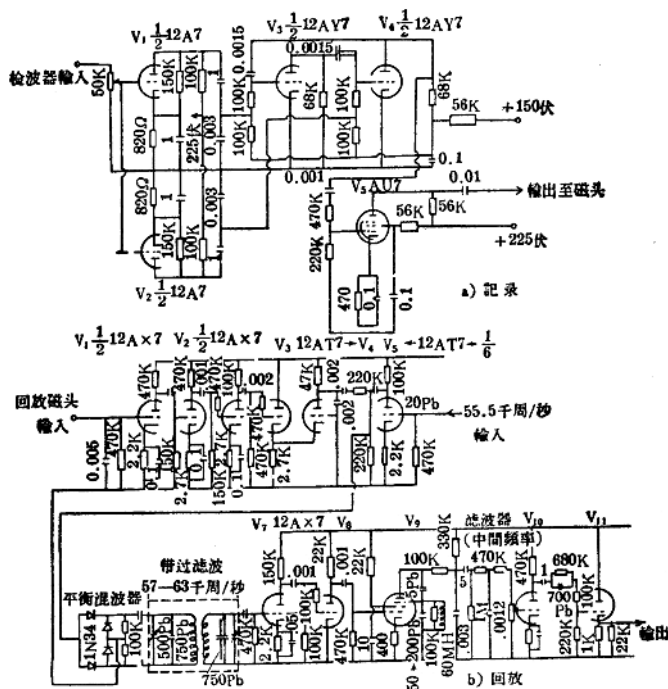


图 6 調頻录放綫路

在調頻法中，由于訊号幅度的变化轉換成为頻率的变化，記錄和回放的低頻范围不受磁头頻率特性所限制，其綫性范围也不受磁带磁滯曲綫所影响，調頻式磁带地震儀的頻率下限一般可达数周/秒，或至零周/秒，調頻中間頻率一般为由2千周/秒到4千周/秒，頻率偏移由50%至75%，上述回放中間頻率提高至63千周/秒，为的是簡化解調綫路，采用較简单的諧調式解調綫路，录放时，調頻訊号不受磁带质量的不均匀性和磁头与磁带間压力松紧的影响，降低了对磁带质量和机械結構方面的要求，在多次录放中，不易受幅度干扰和噪音的影响，有利于資料的自动整理和积分勘探法，其抗扰性能比直接法高，調頻式磁带地震儀的訊号噪音比一般可达60分貝，畸变小于1%，录放精确度可达1%，缺点是磁鼓速度的不稳定引起調頻作用，从而引起幅度畸变。

三) 脉冲宽度調制  
脉冲宽度調制的原理示于图7。

图7 a 为調寬記錄原理图，訊号由检波器輸至放大器1，放大后輸至单稳态多諧振盪器(調节器)2的輸入端和稳定的鋸齒波3相比，

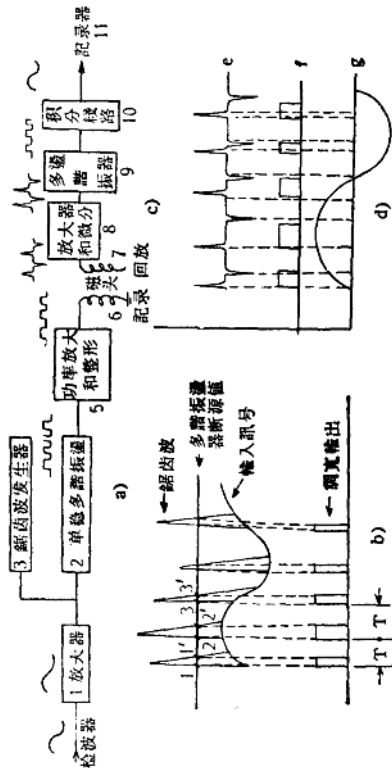


图7 脉冲宽度調制

如图 7 b 所示，由相比得的锯齿波宽度  $1-1'$ ， $2-2'$  等控制多谱振荡器输出至方波的宽度如图 7 b 所示，输入讯号幅度愈大，单稳多谱振荡器输出脉冲的宽度亦愈大，但脉冲前沿和周期  $T$  保持不变，单稳多谱振荡器输出的调宽脉冲输出至功率放大器和整形级 5 放大和整形后，输出至记录磁头 6 在磁带上记录。回放时，由磁头 7 感应的微分讯号在放大器 8 里进一步放大和微分后（如图 7 d 中的 e 所示），用以触发一单稳态多谱振荡器 9，恢复了原来记录时的调宽脉冲如图 7 d 中的 f 所示，单稳多谱振荡器的输出调宽脉冲经积分线路 10 的作用恢复了未调制前的讯号，如图 7 d 中的 g 所示，图 7 c 为回放解调原理图。

宽度调制所用的锯齿波的频率一般由 800 周/秒至 1,600 周/秒，脉冲宽度变化由 50% 至 80%，讯号噪音比一般可达 50 分贝，频率范围一般由数周至 300 周，畸变小于 1%，录放精确度可达 0.5%。

脉冲宽度调制具有频率调制的优点，即录放时频率不受磁带质量和磁头与磁带间压力松紧的影响，线性范围也不受磁带磁滞特性所限制，传动速度的不稳定引起的调频畸变影响较调频法少，图 8 为一调宽磁带地震仪的图片。

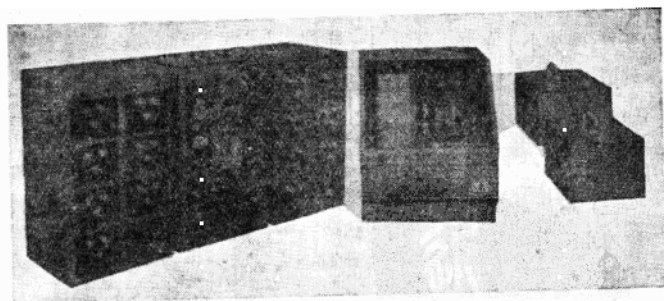


图 8 脉冲调宽磁带野外记录仪

图 8 的宽度调制磁带地震仪具有如下的特点：1) 全套仪器共有 6 件，仪器外壳是铝制的；2) 用 2 道光电检流计顺序检查记录前各记录道的情况；3) 记录放大器有程序和自动增益控制线路；4) 只有一道备有滤波器和自动增益控制的回放放大器；5) 用电源或墨水笔尖和纸鼓

順序記錄回放訊号。

四) 数字記錄法 目前, 野外磁帶地震仪还未采用数字記錄法, 此法是处在研究与探索的阶段, 数字記錄法是将輸入的連續訊号数字化。后以間断的数碼的方式記錄, 数字化是采用模拟数字轉換器实现的, 模拟数字轉換器有各种形式, 如比較电压編碼器, 电子示波管編碼器, 和脉冲時間編碼器等, 图 9 为比較普遍应用的脉冲時間模拟数字轉換器的原理图, 从检波器、輸至放大器 2 的訊号經放大后, 輸至脉冲宽度調制器 3, 脉冲宽度調制器輸出的脉冲宽度正比于輸入訊号幅度, 如述于“脉冲宽度調制”一节, 此脉冲調宽器的取样脉冲为 400 周/秒, 为輸入最大訊号 200 周/秒的 2 倍, 足以保証調宽的准确度, 調制器輸出的脉冲 4 控制电子門 6 的通断時間, 脉冲宽度愈大, 由計数脉冲产生器通过电子門的脉冲 10 愈多, 計数脉冲 10 輸至計数器 7, 并被轉換成数碼 11, 数碼可以是 2 进的, 也可以是 10 进的, 一般采用 2 进数碼, 数碼以零与 1 的脉冲方式在磁帶上記錄, 附表为 10 进数和 2 进数碼的关系。

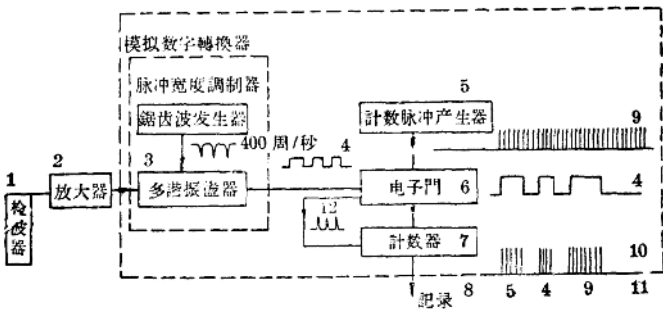


图 9 模拟数字轉換器

附表 数碼关系

10 进制	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
2 进制	0	1	10	11	100	101	110	111	1000	1001	1010
記錄波形											

回放时，可以将不連續的数碼通过数字——模拟轉換器，变换成为連續模拟量，如电压等，而以电压的形式进行剖面记录或对其他随动元件进行伺服控制。

数字记录法不仅有脉冲宽度調制和調頻法的优点，而且还具有极大的动态范围，不受磁帶和調制器的限制，只受放大器的振幅特性限制，当记录数字为10个时，记录的动态范围可达60分貝。

#### 四、資料自动整理仪器

由于磁帶记录的可回放性能和近代計算技术的发展，使地震資料的自动整理成为可能，資料整理仪器有半自动的，全自动的，机械的，电子的，連續模拟式的和断續的数字机等等。但其总的功能与目的都是将野外的原始地震记录校正，消除噪音与干扰，最后自动繪出地层剖面图，仪器結構一般就分为輸入，計算整理和輸出三个主要部份。

自动仪的一般校正，由于地形的起伏，低速帶地层的松軟，和检波器距离的不同等所引起的地层分界面定位的誤差，前两种因素所引起的地层定位校正称为静态校正，后一种称为动态校正。自动仪一般采用混波与普通  $L_c$  或  $R_c$  滤波器以消除噪音与干扰，但是新的方法和延迟綫，相关滤波，数字滤波等亦已采用，而获得很好的效果。

静态和动态的校正，目前一般采用三种方法，即可动磁头，可动磁鼓，和延迟綫或其他的方法，可以根据不同的校正法設計自动資料整理仪器。

一) 延迟綫 延迟綫是根据阻抗原件引起的相位移动原理而設計的，可以采用  $L_c$   $\Pi$  型紙通过滤波延迟綫，亦可采用半导体和电容与电阻的时延迟綫，前者的缺点为体积较大，图10为采用后一种方法的延迟綫仪，面版前每两个插孔間的时近为一毫秒，每一排插孔的串联时近为40毫秒，仪器的总时近为160毫秒，用延迟綫可以进行静态校正，配以适当的电子开关取样装置亦可以进行动态校正。

除了用阻抗元件設計延迟綫外，亦可用固定磁头和磁鼓述于“延迟綫滤波法”一节。

二) 可动磁头校正和資料整理 可动磁头校正原理如图11所示。时近校正值决定于磁头与磁鼓的相对位置和磁鼓的速度，用可动

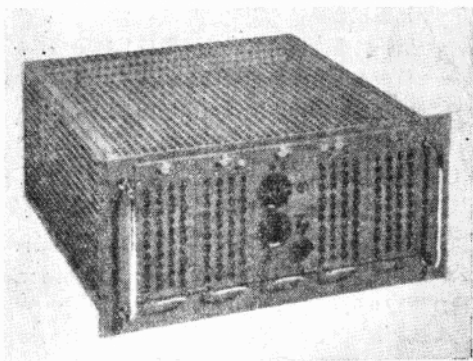


图 10 延迟线仪

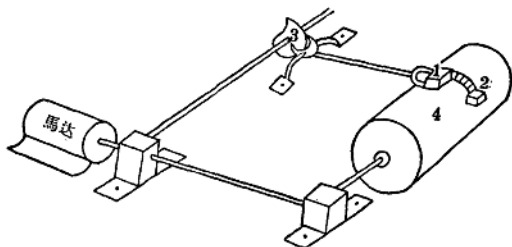


图 11 可动磁头装置

磁头校正时，磁鼓的零时起始位置是固定不变的，时近用改变磁头的位置而完成，图11中磁头2为静态校正磁头，校正范围一般可达±50毫秒，静态校正值不随时间而变化，是一固定值，磁头位置调整后即固定不动，一为动态校正磁头，动态校正值随着记录时间的变化而变化，动态的瞬时校正值由凸轮3移动磁头1的位置而产生。凸轮的边缘形状是根据动态校正公式(1)造形的，从而满足了动态校正对可动磁头位移的要求。公式(1)为：

$$\Delta T = t_N - t_0 = \sqrt{t_0^2 + \left(\frac{dN}{V}\right)^2} - t_0 \quad (1)$$



式中  $\Delta T$ ——动态校正值；

$t_0$ ——反射波垂直传播时间示于图 12 b；

$t_N$ ——检波器反射波抵达时间示于图 12 b；

$dN$ ——检波器距爆炸点的距离示于图 12 b，

$V$ ——地震波在岩层中的传播速度。

公式 (1) 中的检波器离爆炸点距离是一个固定值，不随地质条件和记录时间而变化，但地震波在岩层中的传播速度  $V$  是随着岩层的物理参数而变化的，在同一地质条件下， $V$  值的变化规律是一样的，可以根据公式 (1) 和按照不同的检波器距离  $dN$  和同一地质条件下  $V$  值，绘成图 12 a 的动态校正曲线族。

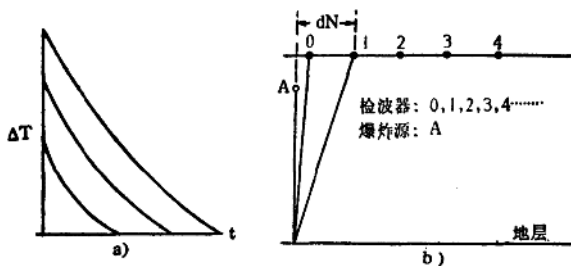


图 12 动态校正原理图

凸轮亦可以按照图 12 a 的曲线造形，曲线 1、2 与 3 等代表同一地区里不同检波器所需的动态校正曲线，曲线 1、2 与 3 相应于图 12 b 中检波器 1、2 与 3 所需的动态校正。在不同的地质条件地区里，须重新计算动态校正，和加工相应的凸轮。

进行动态与静态校正时，首先将野外的未校正原始记录回放，回放出来的信号输至图 11 中的固定磁头 2，并将信号再次记录在磁带 4 上，磁带 4 上的记录信号由可动磁头 1 回放。回放出来的信号可以输至其他设备进一步处理，从磁头 2 的记录和磁头 1 的回放，完成了全部地震资料的校正过程，固定磁头 2 进行静态校正，可动磁头 1 进行动态校正，如上所述固定磁头 2 的位置经调整后即固定不变，可以采用普通型式的磁头，感应电压随着信号频率和鼓速的变化而变化磁头，