

地震探勘石油簡介

吳 陶

一、地震探勘之歷史

一八四八年英國研究地震專家馬立特(Mallet)曾利用人造彈性波以研究地殼之性質，至一八七八年美國人阿鮑特(Abbott)研究地震波之傳遞速度成功，一八八八年史克美特(Schmidt)開始應用時間距離記錄(Time-Distance Record)，以決定地震波速度與地層深度之關係，最後至一九一三年美國人福斯登(Fessenden)乃將地震探勘法正式列為地球物理探勘方法之一。

但是地震探勘法至一九二三年始應用於石油探勘，因在美國德克薩斯州及墨西哥灣平原為尋找鹽丘(Salt Dome)，曾鑽七百六十五口探井(Wildcat)，僅發現一處鹽丘，乃改由德國地震公司利用折射地震法(Refraction Seismic Method)探勘，隨後復用扇形折射法(Fan Shooting)繼續探勘，大著成效，在一九二四年至一九二六年間在該區內發現數以百計之淺層鹽丘，於是地震探勘之說乃盛極一時。

折射地震法之缺點為受深度限制，對於深層無

法探勘，因此至一九三〇年僅發現淺層鹽丘，但深層構造尚未明瞭，此時反射地震法(Reflection Seismic Method)在俄克荷馬州(Oklahoma)試用成功，因此法係直接接受反射地震波，不受深度限制，使用此法於此海灣平原其深層構造亦告探勘成功，此後世界各地凡屬探勘石油或調查地下構造無不樂於使用地震探勘法，故譽為地球物理探勘方法中最重要之一。

二、地震探勘之基本觀念

地殼係由一層層具有不同彈性之岩層所組成，因各岩層之彈性不同，其對於地震波之傳遞速度亦有快慢之別，而地震波在地下進行之路線與光波原理完全相同，光波如遇兩種密度不同之物質接觸面，如由空氣中進入水中則起反射或折射，地震波遇兩種傳波速度不同之岩層接觸面時，如由傳波速度慢者進入傳波速度快者，亦起反射或折射作用，而回至地面。地震探勘即根據上述原理，自地面發出地震波(Seismic Wave)進入地下，然後再由地面檢波器內接收反射或折射之地震波，度量地震波

自發出至折回所需之時間，可以計算出各岩層之深度傾角及其性質。

地震探勘之主要因素即為岩層之傳波速度，一般岩層之傳波速度隨深度而增加，岩石愈堅硬愈緻密，其傳波速度亦愈高，茲將各種普通岩石之傳波速度列表於下：

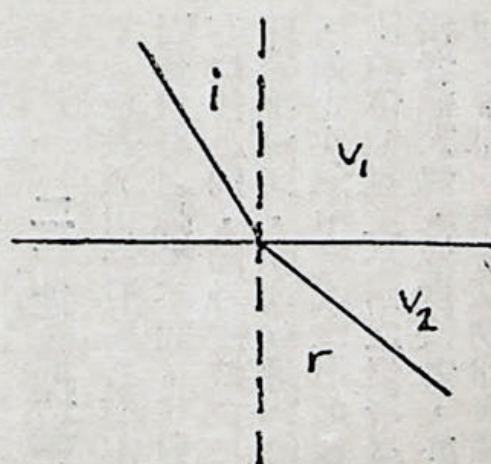
岩 石	傳 波 速 度 呎/秒
沖 積 層	1000—11000
黏 土	6000—8000
頁 岩	6000—11000
砂 岩	8000—11000
石灰質砂岩	11000—14000
岩 鹽	15000—17000

上表所列傳波速度之範圍略嫌過大，為求正確之結果，必須在探勘區域內鑽取岩心 (Core Drilling)，實際調查該區域內各岩層之傳波速度，以作計算深度之根據。

III、折射地震探勘法 (Refraction Seismic Method)

根據斯涅爾折射定律 (Snell's Refraction

Law)，入射角 I 之正弦與折射角 r 之正弦之比，應等於上下兩介質傳波速度之比。



圖三—1 折射定理

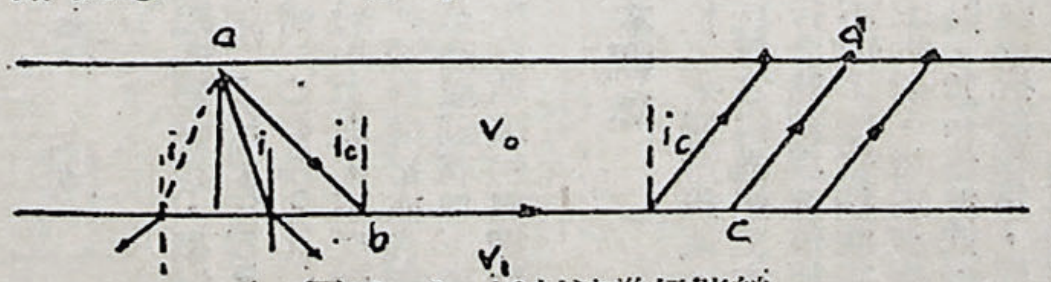
$$\frac{\sin I}{\sin r} = \frac{v_1}{v_2}$$

在折射地震法中折射角須等於 90° ，即折射波須沿接觸面方向折射進行，因 $r = 90^\circ$ ，

$$\sin r = 1,$$

$$\sin I = \frac{v_1}{v_2} = \sin i_c$$

i_c 為臨界角 (Critical Angle) 故入射角須等於臨界角，地震波方能沿接觸面折射進行，再根據



圖三—2 折射波進行路線

海金斯小波定律 (Huygens' Wavelet Law)，地震波復以同樣臨界角折射回至地面，而為地面檢波器所接收，如圖三—2 所示。如入射角小於臨界角時，則地震波繼續深入地下，而不能回至地面。

各檢波器 (Detector) 沿射孔 (Shot Hole) 排列成一直線，當地震波發出後，各檢波器度量接收折射回來之第一到達波 (First Arrival) 所需之時間 T ，並就各檢波器與射孔間之距離 X ，作成時間距離曲線圖 (Time-Distance Curve)，因 $T = \frac{X}{V}$ ，時間距離曲線之傾度 (Slope) 應等於 $\frac{1}{V}$ ，故如圖三—3 上曲線傾度發生變化，即表示地震波遇及兩種傳波速度不同之地層接觸面，此傾度變化處與射孔間之距離稱為臨界距離 (Critical Distance) X_c 。根據此臨界距離 X_c 及由岩心實際調查所得之地層傳波速度 V_0, V_1 ，可用下式計算折射地層之深度 Z 。

$$Z = \frac{X_c}{2} \frac{V_1 - V_0}{V_1 + V_0}$$

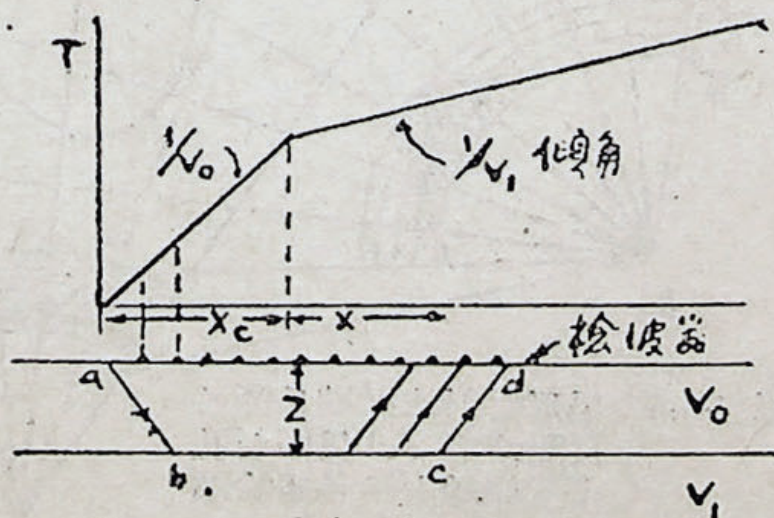
此法對於尋找淺層鹽丘功效甚大如利用扇形折射法 (Fan Shooting)，並以圖三—4 所示方法探勘，則更能準確勘定鹽丘之位置；蓋因鹽丘之傳波速度最快，約 15000—17000 呎/秒，折射波經過

鹽丘折射返回地面所需之時間必較未經鹽丘者為早，根據時間距離曲線上所顯示之時間相差 ΔT 之地位，即可決定鹽丘之位置。

折射波因須在地下接觸面上進行相當距離後方能再行折射回至地面，故地面檢波器與射孔必須相距較遠，是

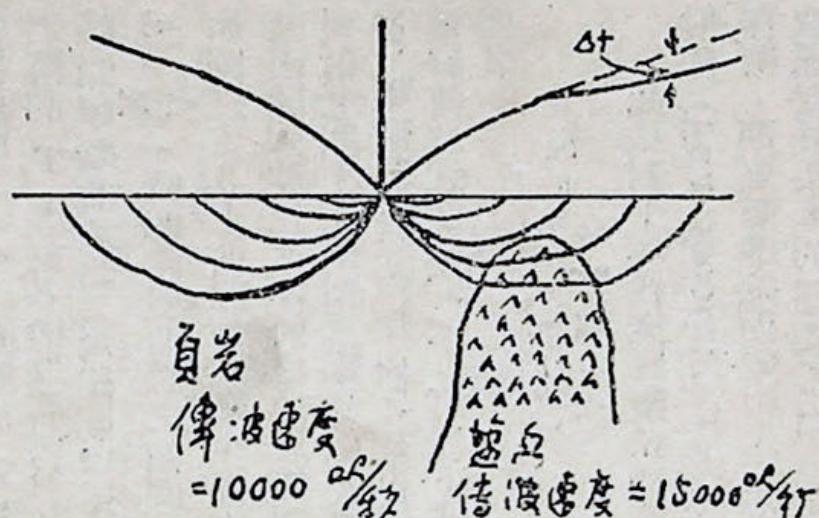
以所能探勘之深度因之甚淺，實為折射探勘法之缺點，且此法僅能作出一層地層之地下構造等高線圖，對於地下地質情形表示不夠明顯，因此再經研究與改良，乃有反射地震探勘法之產生。

圖三—5 為扇形折射法 (Fan Shooting) 之實際情形，係在預知有鹽丘 (Salt Dome) 之區域內，四周鑽以射孔，放炮，各射孔復以檢波器成扇狀排

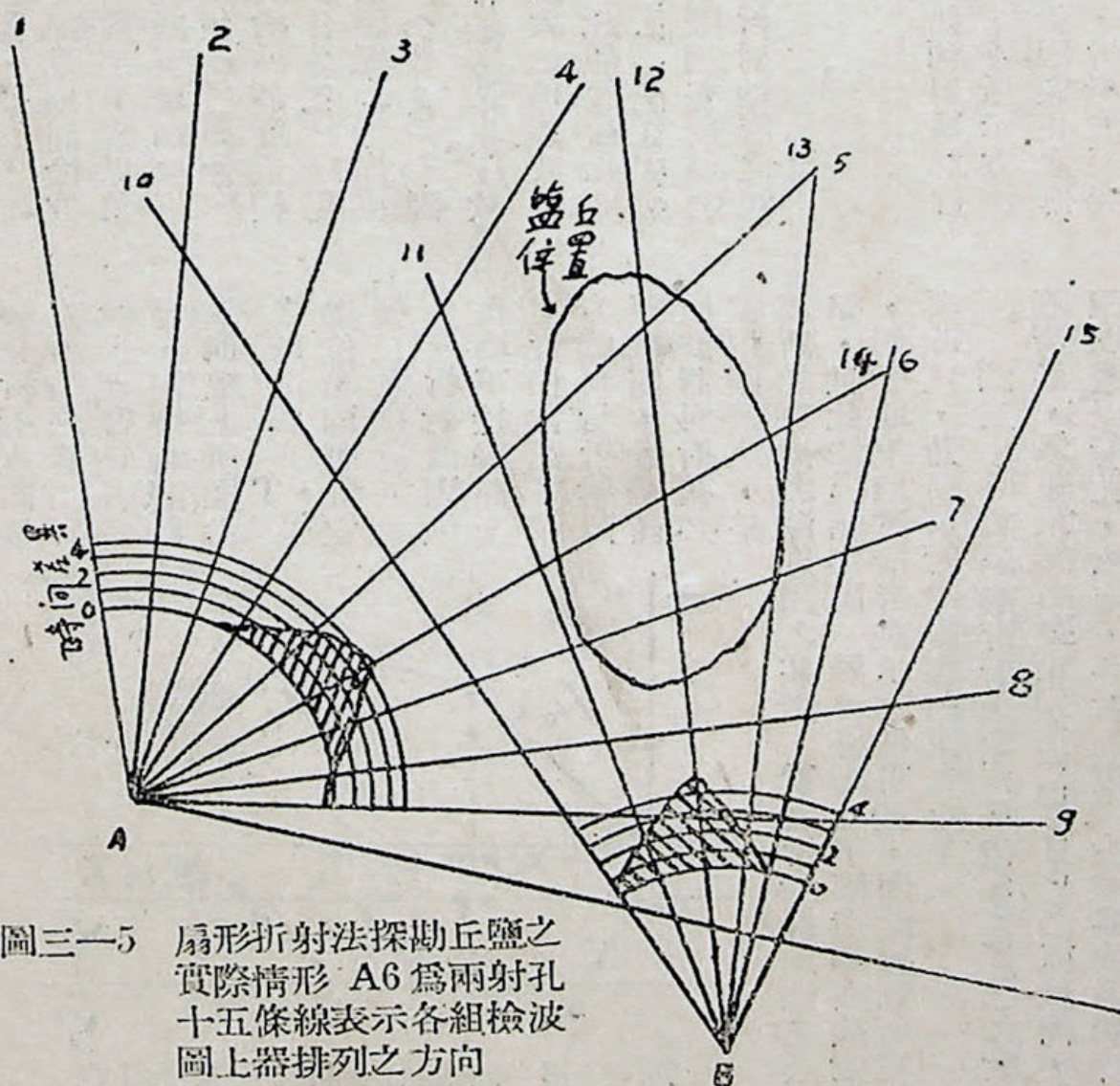


圖三—3 時間距離曲線及深度計算

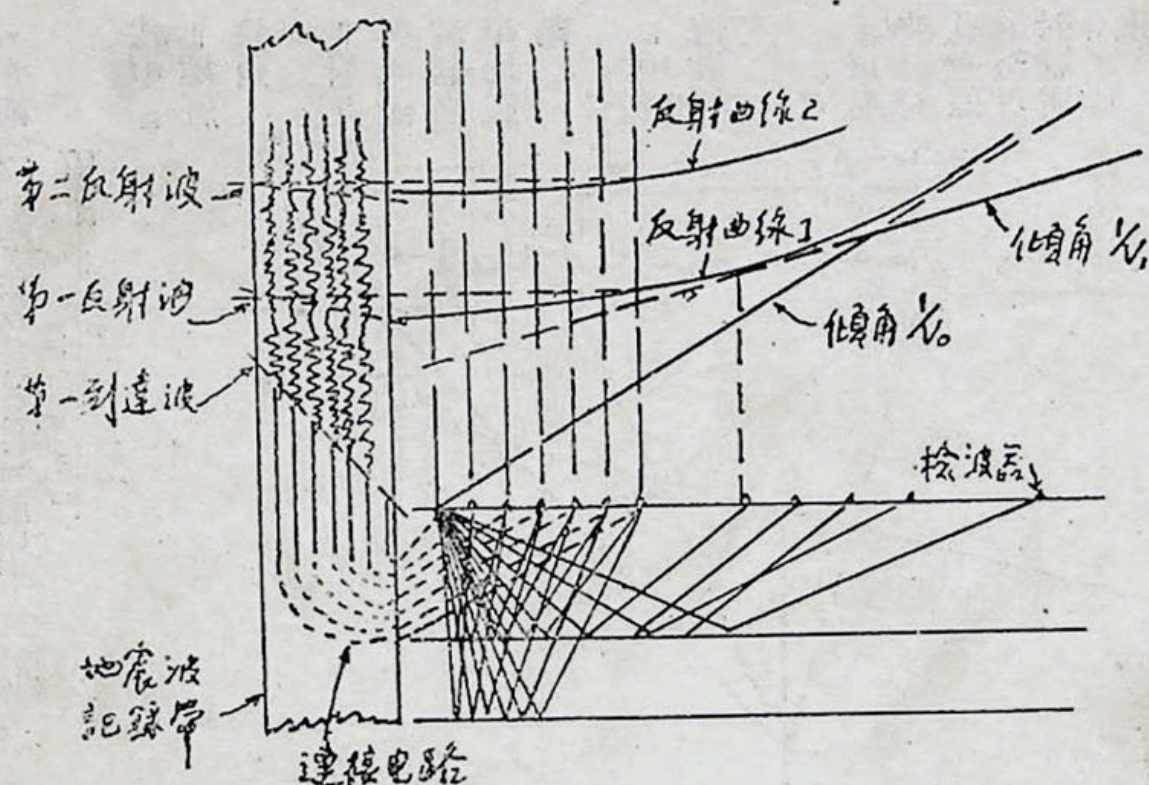
列，由於地震波經過鹽丘者到達各檢波器較速，乃有時間差異 (Time lead)，蔭線部分即表示時間差異之多少，各射孔蔭線部分共同所指之區域，即可正確指示鹽丘之實在位置。



圖三—4 折射探勘法勘定鹽丘位置



圖三—5 扇形折射法探勘丘鹽之實際情形 A6 為兩射孔十五條線表示各組檢波圖上器排列之方向



圖四—1 反射波經過路線，反射曲線及地震波記錄圖

四、反射地震探勘法

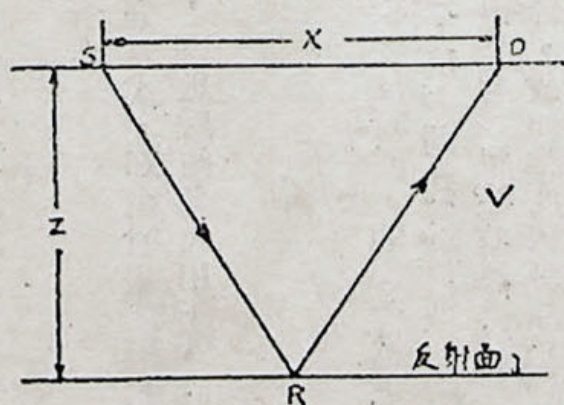
(Reflection Seismic Method)

地震波進入地下遇及傳波速度不同地層之接觸面，如其入射角大於臨界角時，則一部分震波反射折回地面，為檢波器所接收，另一部份地震則繼續深入至次一接觸面時再行反射，地面各檢波器接收各反射波，記錄于地震波記錄帶上，然後根據射孔發出震波與反射波到達檢波器所需之時間 t ，及檢波器距射孔間之距離 X ，可用下式計算各該反射接觸面之深度 Z 。

$$Z = \frac{1}{2} \sqrt{V^2 t^2 - X^2}$$

式中 V 為地震波經過地層之平均傳波速度，此傳波速度可由探勘區內鑽取岩心中實際度量，以作正確之計算。

至于地層傾角 (Dip)，係根據前後兩個檢波器接收反射波到達之時間差 Δt

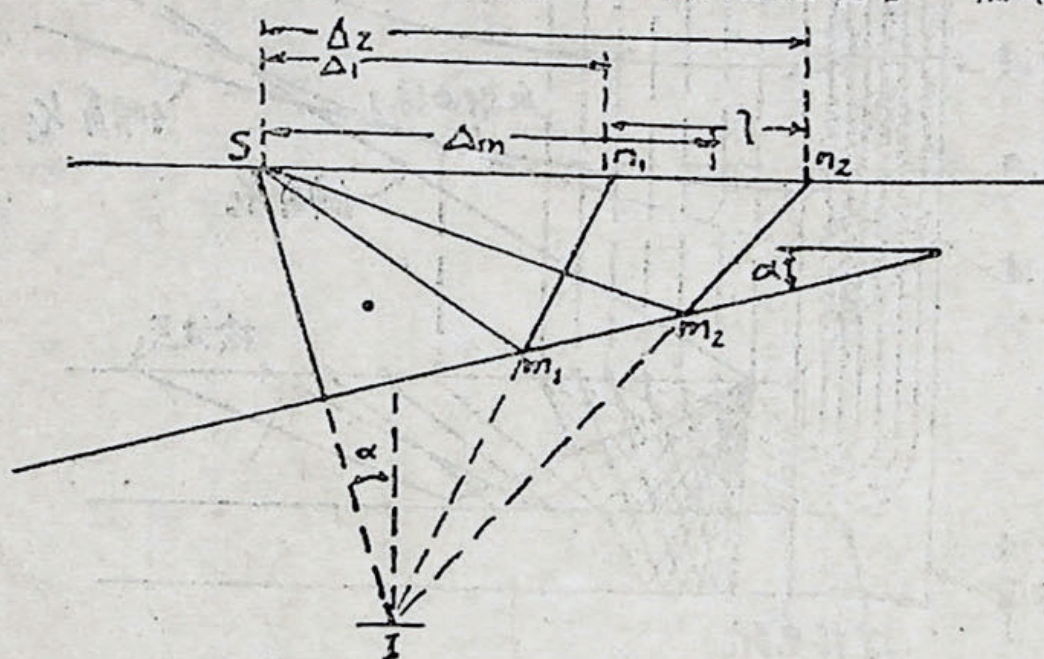


圖四—2 深度計算法

，亦稱時間越差 (Stepout) 而用下式計算之。

$$\sin \alpha = \frac{\Delta m}{V t_0} - \frac{V t_m t_d}{t_0^2}$$

式中 α 地層傾角
 Δm 兩檢波器與兩檢波器之平均距離
 V 地層波速
 t_0 反射波垂直進至反射層所需之時間



圖四—3 傾角計算法

t_m 兩檢波器接收反射波之平均時間
 t_d 時間越差

Δm 兩檢波器間之距離

通常檢波器之排列多為分列式，即在射孔之兩側，此時 $\Delta m = 0$ ， $t_m = t_0$ ，則地層傾角可用下式計算之。

$$\sin \alpha = -\frac{V t_d}{Z}$$

如距離近之檢波器首先收到反射波，則 t_d 為正數，地層為上傾 (Updip)，反之則 t_d 為負數，地層為下傾 (Down dip)，但普通一組檢波器排列往往與地層傾斜方向不相符合，故如測度地層傾角時，最好利用兩組檢波器排列 (Two spread of detectors) 成直角相交，如此可得立體之地層構造圖，而獲更正確之走向 (Strike) 與傾角 (Dip)。

此法為地球物理探勘方法中最有價值之一種，雖然工作耗費較大，然所得結果却較正確而合理，因此法不受深度限制，地震波可深達三〇〇〇—八〇〇〇公尺，而其射孔與檢波器之距離較近，最多不超過四〇〇公尺，故較折射地震探勘法為優，且對於地層無論深淺，均可作出數層地層之地下構造等高線圖，在缺乏其他地下地質資料之區域內，此法對於地下構造之尋覓，井位之勘定，其功效實非

其他地球物理探勘方法所能比擬。

反射地震探勘之實際操作方法可分為下列兩種：

①對比反射法 (Correlation Shooting) 在一哩內鑽四個射孔，放炮四次，然後度量各處檢波器接收反射波到達之時間，並就四個地震波記錄帶上同相之週波，正確對比 (Correlation)，求出各反射層之深度，而繪出地下構造等高線圖，此法用于地質單純而顯明之地區內最為理想。

②傾角反射法 (Dip Shooting) 根據各檢波器接收反射波到達之時間越差，計算各地層之傾角，畫出地層橫斷面圖，再行製出地下構造等高線圖，此法適用於地層零亂傾角甚大之地區，但在地層異常複雜區內，可用連續斷面反射法 (Continuous Profiling)，即將地面檢波器之排列交互重疊，首尾相接，如此雖耗費較大，然所獲地下地質之資料將可更豐。

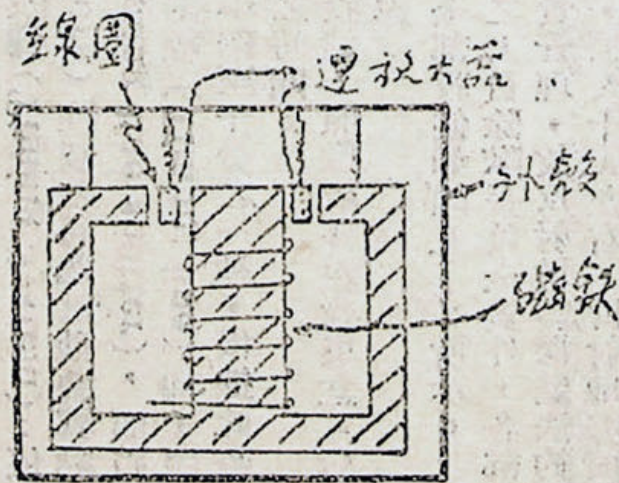
反射地震探勘法在斷層、鹽丘、扭曲等構造區內，往往不易測得良好之結果，此時多賴折射地震探勘法輔助明瞭之。

五、地震探勘之設備及人員

①鑽井設備 (Drilling Rig)：在陸地上為使炸藥發揮最高效用而使震波深入地下，須鑽射孔 (Shot Hole) 以安置炸藥，射孔之深度不一，視孔內水面而定，通常在四百公尺。至于在海上或湖沼中則不需鑽井設備，僅將炸藥浸入水中五至十五呎使其爆炸即可得相同效果。

②炸藥點燃設備 (Firing Device)：多用電鈕使炸藥爆炸，發出地震波，並有適當電信設備，傳達發射時間至記錄站。

③檢波設備 (Detector)：目前所用者多為電磁式 (Electromagnetic)，亦稱地音儀 (Geophone)，其構造如圖五—1



圖五—1 地音儀之構造

所示，係以磁鐵 (Magnet) 固定，而以線圈 (Moving coil) 為慣性體 (Inertia body)，由于地震波之作

用，使之發生微動，線圈與磁鐵間乃起相對運動 (Relative Motion)，而生電流。

檢波器之使用多在六至十個，其排列 (Spread) 有在射孔兩側者稱為分列式 (Split Spread)，有在射孔一側者稱為單向式 (Unidirectional Spread)，有在射孔四周成線狀放射排列者稱為放射式 (Radial Spread)，後者用于扇形折射法。

④放大濾波設備 (Amplifier-Filter System) 放大器與無線電中所用者相同，將檢波器送來之微小電流放大至 10^6-10^7 倍，再經濾波器，排除地面波 (Ground roll) 及其他雜波，而將最有利于地震探勘之二五—六〇每秒週電流波送至記錄器。

⑤記錄設備 (Record System) 可分顯流計 (Galvanometer) 與波動儀 (Oscillograph) 兩種，兩者作用相同。

(a) 顯流計：係以一包以金屬之石英細絲 (Metal-coated quartz fine wire) 置于一強力磁場內，當電流通過時，此細絲受磁場作用發生偏折，而將投影 (Image) 記錄于照相紙上。

(b) 波動儀：係以一帶有小鏡之線圈 (tiny coil) 置于一永久磁場內，當電流通過此線圈時，

此線圈發生轉動而將射入之光線經小鏡屈折反射記錄于照像紙上。

⑥時間記錄設備 (Timing System)：係以一音叉 (Tuning fork) 控制之同速電動機轉動時間分劃刻度盤 (Timing line shutter)，而將百分之一秒之時間分劃線 (Timing line) 印于照像紙上，時間讀數可準確至千分之一秒，根據此時間分劃線以計算正確之時間。

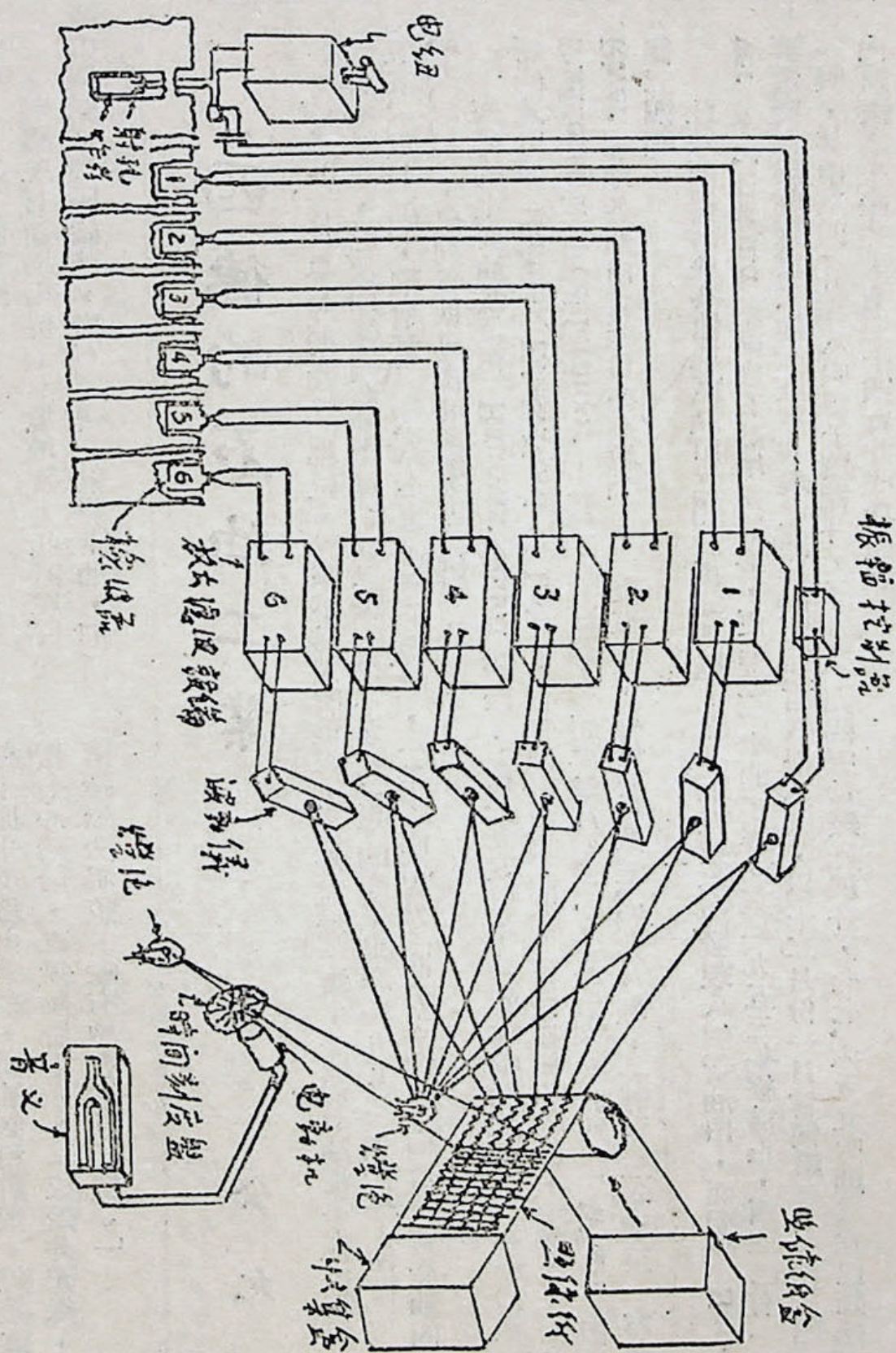
⑦顯影定影設備：照像紙多在收集盒 (Collector) 內顯影定影。

地震探勘之全部設備如圖五—2 所示。

地震探勘隊之人員除隊長負全責外，各部分設備均須有專人負責管理，故反射地震探勘法約需技術人員五至七人，工人十人左右，折射地震探勘法所需人員約為反射法之倍。

六、地震探勘對臺灣之重要性

臺灣光復不久本公司即對臺灣作有重力探勘，西部嘉義附近海岸平原原有優良之顯示，國外地質專家馬逸士 (Myers) 康寧漢 (Cunningham) 等復相繼來臺調查，認為西部平原儲油可能很大，均力荐使用地震探勘從事勘測，石油公司地質及工程人



圖五—2 地震探勘之全部設備

員均有以下之一致見解：

「臺灣現有礦場均位于山麓地帶，此區地層受造山運動，地層破碎，岩石緊密，猶能產油，則西

部平原未受造山運動，儲油必將更豐，但該區表面覆有沖積層，既無地層露頭，又乏鑽井記錄，地下構造無法明瞭，唯有地震探勘是賴。」

西德的石油工業

公允

西德，在世界石油工業的地位，向來不爲人所重視，可是這幾年來，西德石油從業人員們埋頭苦幹的結果，已使西德的石油產量大放異彩，拿一九五三年的產量來和一九五二年相比，便由一、七五五、〇〇〇噸，躍增至一、八七九、〇〇〇餘噸，一年之內增加了四分之一，平均每天可產油四二、五〇〇桶，已列爲世界產油國第十八位了。

西德的主要油礦是在 Hanover Celles 省區，在一九五三年該省曾產油九二二、六一〇噸，新的油田如 Hohne, Edess-Nord 及 Leherde 也先後發現。而在 Ensländ 省內，主要之油田爲 Ruehertwist-Ruehlermoor，共一九五三年之產量爲八七三、九五二噸。此外在 Weser Ems River 等地各油田之產量亦有增加；一九五二年之產量爲四三、四六八噸，一九五三年增至一六七、四三四噸。

此外西德對於其他地區油田之開發更屬積極，在一九五三年內發現八個新油田，而對於 Hannover 及 Ensländ 兩區之石油地質情形，更有進一步的了解。至一九五三年終爲止，西德已有一百套鑽機在展開探鑽工作，全年共鑽進油井深度一百八十萬呎，以十二月份一月言便鑽了一五一、四一呎，其中三四、五一呎屬於鑽探井，二九、一九四呎爲鑽延展井，七七、六九九呎則爲在已知油田內所鑽之生產井，有三十四口井成功產油。