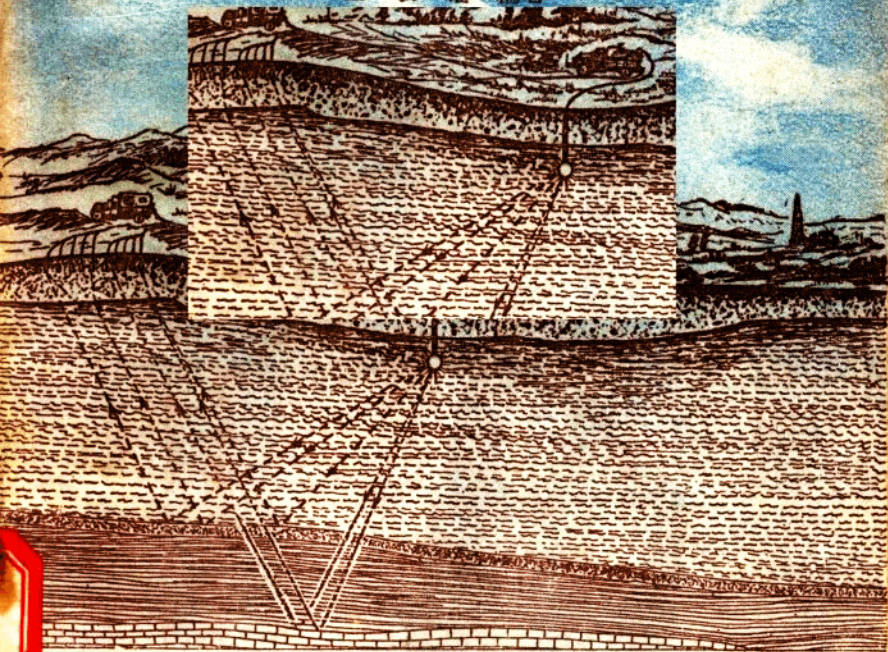


石油工人學習叢書

地震勘探

王敬耀 編著



石油工業出版社

內 容 提 要

本書通俗地介紹了地震勘探的原理和設備。并重點介紹進行勘探時所採取的方式和採用的方法，以及在野外工作中的工作程序。從敘述怎樣進行綫路普查、地震測井、反射震和折射法的應用，談到地形測量、鑽井、爆炸、接收、整理、對比、校正，以及應怎樣利用地震資料繪制構造圖和構造簡圖。

本書可供石油地質勘探部門地震技工學習用，也可供其他部門從事地震勘探的人員參考。

統一書號：15037·265

石油工人學習叢書

地 震 勘 探

王 敬 耀 著

石油工業出版社出版(地址：北京六鋪炕石油工業部十號樓)

北京市書刊出版業登記證出字第082號

北京市印刷一廠排印 新華書店發行

787×1092毫米開本 * 印張1 $\frac{1}{4}$ * 27千字 * 印1—1,200冊

1957年5月北京第1版第1次印刷

定價(11)0.28元

665.
TW224

目 录

第一节	概說	1
第二节	地震勘探的基本原理	3
第三节	地震仪	8
第四节	地震勘探的基本方式和方法	16
第五节	地震勘探的野外工作	23
第六节	地震记录的整理和解释	32
第七节	用地震勘探法寻找油田的实例	40

第一节 概 說

地球物理勘探法是一門新兴的探矿方法。它与地質勘探方法不同的地方是：采用一种物理仪器，在地面、井下、空中或海面上，間接地探測地下地層的情况。將所得到的資料經過一系列的分析解釋和綜合研究以后，就可提供地下几百公尺、甚至几千公尺处的地質構造情况，以及構造是否有儲存矿藏的可能性等資料，以便进一步着手进行鑽探和开采工作。

地球上的矿藏資源很多，但并不是遍地都是，如以面积相比，有用的矿藏資源佔地的面积是不大的。因此，我們不可能攜帶着地球物理仪器到处寻找矿藏，这就需要地質家們給划定一个区域或范围。地質家們根据岩石的露头、岩層的分佈走向、岩石的性質和年代，初步提出地区的地質資料。然后再在划定的范围内进行地球物理勘探工作，以便寻找埋藏在地下的宝藏。

利用人造地震法寻找矿藏是地球物理勘探方法中最有成效的一种方法(見圖1)。苏联在1926年就开始应用这种勘探方法，最初是用初至波折射法，后来又利用反射法。1939年又采用了最新的对比折射法，使过去因为受某些自然条件限制沒有办法解决的問題得到了解决。

地震勘探方法是寻找石油矿床最有成效和实用价值的方法，这在苏联早已为事实所証明。苏联采用地震勘探方法发现了大批的新油田。当然，这除了說明苏联是世界上石油儲

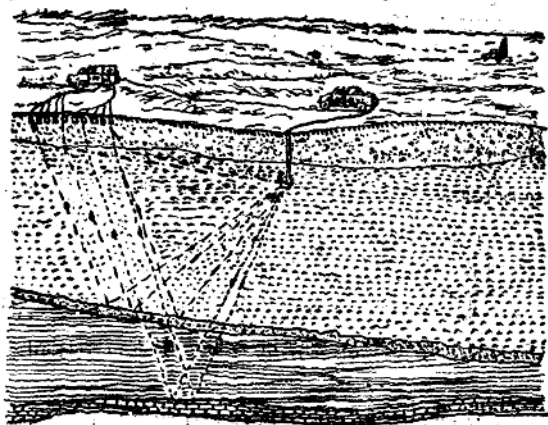


圖 1. 反射波法地震勘探

量最多的国家之一外，同时也说明苏联的自然科学、勘探技术的先进，已经达到逐渐控制自然和利用自然的地步。

在解放前，我们是沒有地震勘探这项事业的，所以也就談不到对这种方法的介绍和研究。一直到解放以后，地震勘探方法才被各地質单位所重视，地震勘探队伍也一天天地壮大起来，并且在1955年我国也自己制造成功勘探时所用的工具——地震仪。这就给今后我国地球物理勘探事业的发展，打下了有利的基础。

在这里，我们简单地谈一谈地震勘探方法在我国石油工业中的应用情况。1950年，我国成立了第一个地震勘探队，并在江苏江陰地区开始第一次的試驗性工作。当时的目的是为了培养地震勘探人员和掌握地震勘探的操作技术，后来都得到了相当好的成果。1951年，苏联大批支援我国的地震仪

器源源不絕地運到我國後，陝北、甘肅、新疆、四川、青海等地區的石油工業地質單位都先後地成立了地震勘探隊，並展開了大規模的地震勘探工作。由於我們學習了蘇聯的先進工作方法，在很短的時間內，上述地區都獲得了大批的寶貴資料。並且利用這些資料發現了一些新的儲油構造。這說明採用地震勘探方法是尋找石油礦藏非常有效的方法。

第二節 地震勘探的基本原理

介紹地震勘探方法以前，我們先談一些地震勘探的基本原理。

一、岩石的彈性因素

如果我們對一件固體物施加壓力，它就會產生兩種變形——體積變形和形狀變形(切變)；見圖2。一個平行六面體的物體，因作用力的影響改變了體積，但它的形狀卻保持不變，這就叫做體積變形。如果體積不變而形狀改變的，就叫做形狀變形(切變)。這兩種變形永遠是同時發生的。取消作用力以後，物體就會恢復到原來的狀態，這是一般彈性體的特性。

岩石也有這種彈性體的特性。在岩石中間，用炸藥引起了爆炸震動，距離破壞圈以外的岩石就發生變形，也就是岩石質點發生位移。這種位移運動是一個質點一個質點由近而遠地向各個方向傳播，並且隨距離漸漸減弱，但如果從每一點來說，從開始抵達這一點到離開這一點是一個傳播過程，

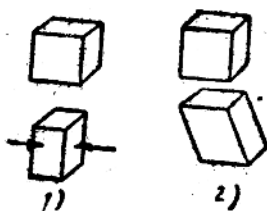


圖 2 形變
1—體積形變；2—形狀形變
(切變)。

这就形成了地震波。
地震波傳播的時候，同岩石的彈性系數和比重有關。彈性系數是一種物體在受到外力時伸長或縮小後的值同原來的值的比例。比重是一種物體在測定溫度時的重量與同體積水在 4°C 時重量的比。因為岩石的致密、膠結和疏松程度不同，它的彈性系數和比重也就不相同，所以它的傳播速度也不相同。除此以外，地震波的傳播還同縱波、橫波有關，縱波的傳播比橫波快得多，所以地震勘探的任務主要是研究縱波。

二、地震波的种类

人造地震同天然地震的唯一差異是兩種地震波的周期不一樣。人造地震所產生的地震波周期，一般在 $0.01-0.1$ 秒之間，即頻率在 $10-100$ 周/秒；自然地震的周期是在幾秒到幾十秒之間。

從理論上講，地震波在均勻的地層中發生，只有縱波和橫波兩種(見圖 3)。縱波僅有體積形變，并向同波的傳播一致的方向前進。橫波是垂直於地震波傳播的方向，是受了形狀形變(切變)影響而產生的。因地層中有不同的分界面，所產生的波型也就不同。如縱橫折射波、縱橫反射波等，與這些波同時產生的還有表面波。

在實際工作中，我們所遇到的只有三種波型——直达波、折射波和反射波(見圖 4)。直达波以速度 V_1 沿地面傳

播，折射波在远离 M 点以后才出现，只有反射波在 O 点附近或远离 O 点都能观测到。



圖 3 地震波傳播圖

1—質點位移方向；2—波傳播方向。

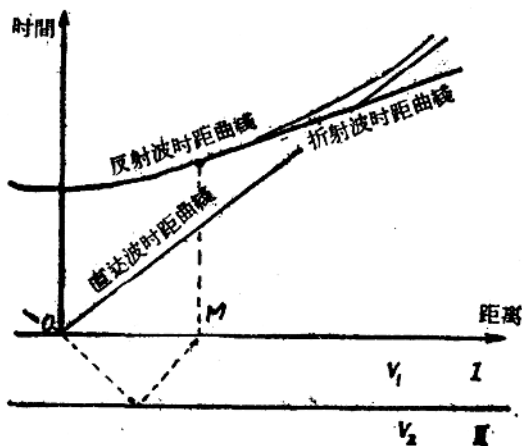


圖 4 各种波的射綫和时距曲线圖

三、地震波的傳播和傳播速度

地震波是音波的一种，所以它可以用音波的一般規律来

說明。下面我們談談惠更斯原理和費爾瑪原理。

惠更斯原理 在向前推進的一個“波障面”的每一點上，可以假定為一個獨立的、新的音源，設所研究的介質中音波的傳播速度為常數，就以這些新音源為中心而成一系列的圓球。在後一時間，那前進中的波面的位置，正切於各個小的球面，這個面就叫做波前。這個原理主要是說明波在每一點上都是一個小震源，源源不絕地向外推移。

費爾瑪原理(最小時間原理) 地震射綫就是正交於波面的法綫。由一個音源傳遞到某一點的射綫，為傳播時間最短的綫。如音源同該點間介質的音速不一致，射綫不會是一條直綫，而是一條需時最少的路綫。

地震波向外傳播時，有“波障面”、“波障尾”、“位相”(見圖5)。如介質不變，則三者的關係是固定的。地震波的能量，在傳播中會被介質吸收，終於逐漸消失。地震波頻率越高，被介質吸收越多。所以在反射法勘探中，勘探深層的一波一般採用的頻率較低，使能得到較強的反射能量，就是這個原因。

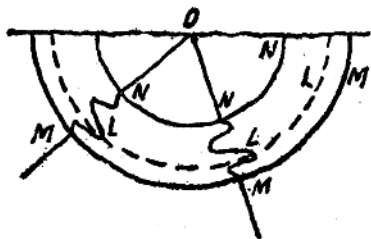


圖5 地震波傳播時的“波障面”M，“波障尾”N，“位相”L

地震波的傳播速度同岩石的致密程度、岩石的濕度有關，同樣的岩石因為埋藏深度不同，也具有不同的速度，一般是埋藏深度越大，傳播得越快。岩石縱波傳播速度見表1。

四、反射波、 折射波的形成

地震勘探法中产生弹性振动的方法是爆炸，爆炸常常是在地下数公尺或数十公尺处，或者在地面上进行。爆炸时，就在地表面引起

了表面波，因为它是沿地面传播，不能穿透地层，这一类型的波我们不去研究它。主要是研究爆炸时所产生的向下传播的纵波。这种波遇到地层间的分界面时，会发生两种现象。一种是波沿着分界面滑行一段距离再折射上来，这叫做折射波；另一种是波射到分界面时就反射上来，这叫做反射波。

在地面布置观测线时，因为两种波回到地面上的时间不同，可以分为两个区域：离爆炸点近、只能观测到反射波的区域叫做反射区域；离爆炸点远、只能观测到折射波的区域叫做折射区域。一般反射法的测量距离在1—1.5公里左右，而折射法测量在4公里以外。当然，这两个区域的划分也不是绝对的，有时候反射波和折射波也可以同时观测到。因为地下分界面不是一两个，所以观测到的波也有好几个的。

根据波到达的时间的不同，可以绘出时距曲线(参考图4)，由时距曲线中可以看出直达波、反射波、折射波的曲线形状是各不相同的。

表 1

岩石名称	传播速度,公尺/秒
风化地层	100—500
砾石、碎石、干砂	200—800
粘土	1200—2500
砂岩	1500—2500
粘土质页岩	2700—4800
石灰岩	2500—6000
岩盐	4200—5500

第三节 地震仪

进行地震勘探时，必须把爆炸所产生的反射波和折射波记录下来。我们可以根据波反射或折射回来的时间、岩石的传播速度，计算出地下某一深处有分界面。这种记录波形的仪器就叫做地震仪（见图6）。它是由检波器、放大器、示波仪和一些必要的辅助设备组成的。下面我们介绍一下仪器各部分的性能和特征。

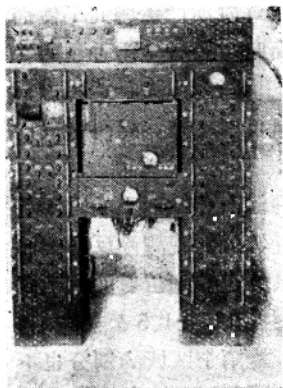


图6 中国制26-55-1型地震仪

一、检波器

地震检波器（见图7）是一种很灵敏的接收微弱振动的器具。它的主要原理是利用电磁关系把机械能转变为电能。工作时，它被放在地面上或土坑中，当震波由地层分界面反射或折射上来时，随着波的振动检波器外壳同惯性体之间就发生相对位移，通过检波器内部的惯性关系将机械能转变为电能，而产生小能量的交变电压，由两根导线接出来。因为它的能量很弱，所以需要经过放大，再传到记录部分去。

检波器的型式很多，现在常用的有两种——电磁式（如苏联的СП-48型）、电动式（如苏联的СПМ-16型和中国的54-1型）。电磁式检波器的优点是灵敏度高，但体积较大，

阻尼又因气候的变化而变动。电动式檢波器的优点是体积較小，而且内部不用灌注阻尼液体，但灵敏度較低。

平常應該注意三点关于檢波器的性能——灵敏度或

机电耦合系数、自然頻率、阻尼系数。下面我們就分別談一談。

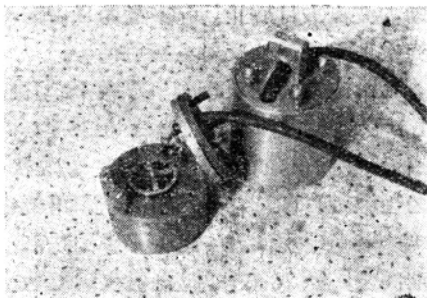


圖 7 51-1 型檢波器

灵敏度 因为地震波能量微弱，檢波器就必须非常灵敏。它的灵敏程度可以用一个例子来说明。如果把檢波器擱在地上，在它的近旁掉下一根細針，并由此而引起振动，檢波器就能把細針掉落而产生的振动波拾到。

自然頻率 一般地震勘探爆炸时所产生的波的頻率是在几週到几十週。因为观测的目的不同，希望产生的頻率也就不同。比如勘测淺層时頻率用得較高，勘测深層时頻率用得較低。因此檢波器也就需要制造出恰好同它最相适应的頻率值，于是每种檢波器就必须註明它的自然頻率。

阻尼系数 地震波振动檢波器的可动系統后，由于惯性体关系，它一时不能靜止下来，它会連續地自由振动数次，振动時間較長，而地震波傳播的時間是非常短促的。这样，就把反射波或折射波同檢波器自身振动的波混淆起来，使观测者沒有办法分辨得出。所以必須設法加一阻尼器，或利用金屬在磁場中活动时产生的渦流作用，使它在波傳遞到時振

动，波离去时静止，它本身的自由振动受到遏止。这样才能真实地记录波的反射或折射情况。

檢波器的技术数据 苏联 48 型檢波器的灵敏度为 0.8—1.0 伏/厘米/秒，自然频率为 35 週/秒，阻尼为油液。中国 54-1 型檢波器的灵敏度为 0.4—0.5 伏/厘米/秒，自然频率为 19.5 週/秒，它是利用渦流作用来达到阻尼的目的。

一套地震仪需要配备多少檢波器，要看地震仪是多少道而决定，如 26-55-1 型地震仪需要 26 只檢波器。这些檢波器的性能必须一致。有时在野外工作时，如采用檢波器組合法和联合組合法，所需檢波器的数量就需增加好几倍，甚至几十倍。

二、放 大 器

放大器(見圖 8)的原理同一般無綫电的放大器没有什么不同。当地震檢波器傳来的微弱交变电压經過几級电子管放大后，它的能量便可以被记录下来。这种放大器除了依

照原来形状把訊号电压放大几万倍外，还有另外两种作用：

1. 濾波作用

在放大器綫路中，裝有濾波網絡，它用一只旋扭变換網絡的最大频率响应

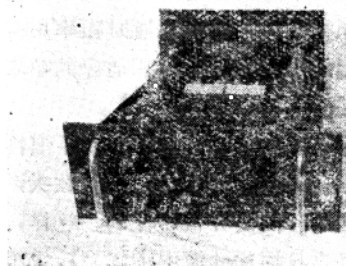


圖 8 54-1 型放大器

和“寬”“窄”特性。根据工作地区地震波频率的不同，采用放

大器的不同頻率特性曲線，使需要的地震波順利地通過，將其它頻率的或高、或低的波減弱或除去。

2. 自動振幅控制作用 它是把從淺層傳來的強訊號和從深層傳來的弱訊號維持在相等輸出幅度上的裝置，有了它就不會使有的訊號跳出了照相紙，有的訊號微弱得記錄不出來。

一般放大器是用3—5只電子管，採用電阻電容耦合法。一套地震儀需要多少放大器，也必須看這個地震儀是多少道而決定，如26-55-1型地震儀有26道放大器。放大器除了上面所提到的作用外，還需要特別注意的是：每道放大器都必須一致，相位差必須在規定的限度以內，也就是說，當每道放大器輸入同樣訊號時，它所輸出的形狀應該完全相同。放大器還必須真實地把原來的波形放大，不能發生畸變或失真。因此，放大器上所用的零件、部件都必須經過嚴格的選擇，務求性能一致。

現在我們用54-1型放大器作例子來說明一下。54-1型放大器是由5只電子管組成的，3只電子管放大，2只作自動振幅控制用。第一級放大同第二級輸入之間，裝有電容器和阻流圈組成的濾波裝置，可以由裝置在面板上的旋扭變換濾波檔。濾波檔共分6檔，頻率最大值是35—65週/秒。面板上還有2只旋扭，各分10檔，一只旋扭調節放大倍數，另一只旋扭調節輸出振幅的大小。為了方便起見，每兩道放大器裝在一起，如從面板上看，它有6只調節旋扭。

三、示波儀

示波儀(見圖9)是由電磁系統、光學系統、計時系統、卷紙傳動系統組成的。

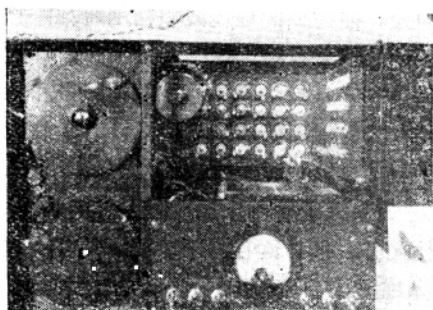


圖 9 26-55-1 型示波儀

位置上。工作时，把它插进电磁场的空隙。本来它是静止不动的，当经过放大器传来的讯号电压传到线圈的两端时，线圈内就会有电流流过，接着线圈就会产生一种磁场。这个磁场同原来的磁场系统的固定磁场之间就会发生吸引或排斥的作用，线圈就会偏转，偏转时小镜片就会跟着转动。另外用小灯泡把光线照射到线圈的反射镜片上，它就把偏转距离反射到转动着的照相纸上。这样，就可以获得原来波形的振动情况。

检流计的电流常数是 $4-5 \times 10^{-6}$ 安培/公厘，它所需的数量是根据地震仪来决定的，如 26-55-1 型地震仪有 26 只检流计。为了记录断时讯号，可另外用一只检流计担任记录工作。

示波仪中的光系比较简单，只包括两部分，一部分是把检流计光点偏转反射到照相纸上去，另一部分是把计时线射到照相纸上去。经过适当地装置，可以从示波仪察看屏中观察到光点的动态。这样，既便于调整又便于操作。

示波仪中装有计时马达(同步马达)，它是由音叉振荡器

检流计是示波仪中最重要的部件。它是用比头发还细的漆包铜丝绕成一个狭长的小线圈，在线圈的导流片上粘上一块反射镜片。检流计是安装在一个固定的位置

傳來的訊號電壓推動的，馬達的軸心上連接一只圓罩，圓罩上等分 10 條窄縫，其中有一條較粗。圓罩里裝有一只直絲燈泡。馬達轉動時，光綫從窄縫中射出，經過光系到達照相紙上，劃出等分的計時綫，照相紙上每秒鐘記上 100 條垂直綫，綫同綫之間代表百分之一秒。每十分之一秒有一條較粗的綫。根據計時綫，可以計算地震波的到達時間。

卷紙傳動系統是由儲紙筒、卷紙筒、卷紙馬達和一些齒輪組成。啓動馬達開關，卷紙筒便以每秒傳動照相紙 30—40 公分的速度，帶着照相紙轉動。卷紙筒里附裝有切紙刀，每次接收完畢，可以把紙切斷，在車內特設的暗室中進行顯影。

照相紙的寬度為 20 公分，每卷長為 50 公尺或 20 公尺。

四、輔助設備

地震儀是整套裝在汽車上的。車上有特設的車廂，儀器是裝在車廂的前部，儀器架的底腳固定在車上，架上除了示波儀和放大器外，還有一些必要的輔助設備——混波器、半自動振幅控制器、音叉振盪器、電話放大器、電池台、測量面板、電源控制板等。下面就分別介紹一下這些設備的用途。

1. **混波器** 是利用一種裝置把收到的波彼此輸送一部分能量。這樣做可以加強有效波，減弱干擾波。現在採用的方法有雙路混合和總混合兩種。雙路混合是這一道給另一道 $\frac{1}{2}$ 的能量，另一道再給下一道 $\frac{1}{2}$ 的能量，這樣一道一道地傳遞下去。總混合是每一道分給相鄰兩道 $\frac{1}{4}$ 能量，分給再間隔的兩道 $\frac{1}{16}$ 能量等。26-55-1 型地震儀是採用總混合綫路。

2. **半自动振幅控制器** 爆炸时产生的表面直达波强度很大，往往会影响记录的初至波。因此，用半自动振幅控制器可以减弱爆炸时最初产生的干扰波，等反射讯号到达时，这种装置已不起作用，就可以很清楚地把反射波接收下来。但必须注意，进行折射波勘探时，这种装置是不用的。

3. **音叉振荡器** 是利用强迫音叉振荡的方法，使振荡器振动稳定。音叉用 50 或 100 週/秒的頻率，經過电子管放大，輸入到示波仪中去推动計时馬达。这种装置是示波仪計时裝置的开动所不可少的，音叉的稳定度也是非常主要的一种特性，所以音叉的材料需要用低膨胀系数的合金鋼来制造(如用爱林伐^①)，以达到頻率不受温度变化的影响。

4. **电话放大器** 是仪器操作員同爆炸員联系工作时用的設備。我們知道，地震波的傳播速度快，時間短，往往只有几秒鐘。引起爆炸的时间同实行記錄的时间必須密切配合，不能差几分之一秒，尤其在反射法測量时更須統一步調。平时操作員同爆炸員相距 1—2 公里，这就必須有通訊工具。爆炸員用輕便式电话机同操作員联系。爆炸时，必須把炸藥引發的一瞬間(断时訊号)記錄在照相紙上，借以計算爆炸瞬間同初至波、反射波，或折射波到达時間的間隔，这是由电话放大器内部的电路裝置来达到目的的。

5. **電池台** 里面裝着放大器自动振幅控制用的閉鎖電池和通訊用的喇叭。这种設備在 26-55-1 型地震仪上单独成件，但較新出品的同类地震仪上已把它附屬在其它部件中。

6. **測量面板** 是用来檢查仪器的外部綫路和内部綫路

① 爱林伐是一种鉄、鎳、鉻的合金，它的彈性温度系数極小。