

出版说明

为适应我国社会主义革命和社会主义建设新时期总任务的需要，遵照毛主席关于“要学新本领，要真正懂得业务，懂得科学和技术，不然就不可能领导好”的教导，积极响应华主席关于“极大地提高整个中华民族的科学文化水平”的号召，石油工业战线正在迅速掀起一个学习科学技术的热潮。

为了满足石油战线广大干部学习科学技术的需要，我们组织编写了《石油工业干部科技学习丛书》，作为石油工业干部学习石油科学技术的基本读物。丛书以华东石油学院为主负责编写，并由副院长朱亚杰教授担任主编。

丛书内容包括八个专业，即石油地质、石油地球物理勘探、矿场地球物理测井、钻井、油气田开发开采、石油天然气储运、石油炼制、海洋石油开发等。每个专业又分若干专题编写，分册出版，各专题既可独立成章又有科学上的联系。

丛书内容着重阐述石油科学技术的基础知识和现代科学技术动向；文字力求简明扼要，深入浅出，并附有思考题。

编写这类丛书还是初步尝试，加之水平所限，时间仓促，不妥之处在所难免，恳切希望读者批评指正，以便修订完善。

石油工业出版社

一九七八年八月

目 录

一、地震勘探	1
1. 地震波的基本概念	2
2. 地震勘探仪器设备及野外工作方法	8
3. 地震资料的数字处理和成果解释	15
二、重力勘探	26
1. 重力勘探的原理	26
2. 重力仪及重力测量工作方法	27
3. 重力资料解释和重力勘探的作用	28
三、磁法勘探	32
1. 磁法勘探的原理	32
2. 磁法资料解释和磁法勘探的作用	35
四、电法勘探	35
1. 垂向电测深法	36
2. 大地电流法与大地电磁法	37
3. 瞬变电法	41
4. 激发极化法	42
5. 磁电法	44
思考题	46

石油工业发展初期，是用纯地质学的方法，根据地面出露的岩石（露头）去寻找油气藏的。后来石油勘探转入各种覆盖区，例如大平原、沙漠、海洋等。在这些地方见不到露头，如靠大量钻井也不合算，因此发展了一种能够看透覆盖层和岩层的勘探方法——地球物理勘探（简称物探）。

物探为什么有如此特殊的本领呢？因为它是用仪器观测来自地下的种种物理现象（电、磁、重力、地震等）。这些物理现象都与地下构造有关，所以分析了观测结果，就能推断地下地质构造，进而寻找油气藏。

目前用于找油的物探方法主要有重力勘探、磁法勘探、电法勘探、地震勘探。其中重力、磁法、电法用于了解区域构造特征，一般在勘探的开始阶段采用。地震勘探的精度高，效果好，是详查细测构造所必不可少的。因而地震勘探成为最重要的找油物探方法。

一、地震勘探

什么是地震勘探呢？地震勘探是利用地震波勘测地质构造、寻找油气藏的方法，它和天然地震不是一

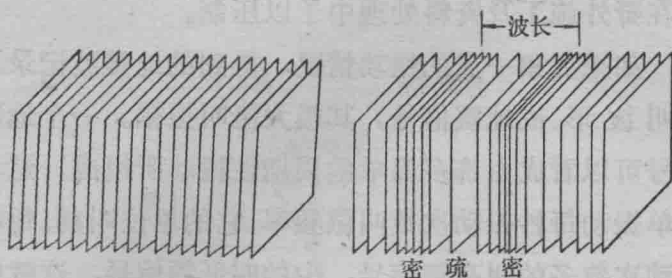
码事。天然地震是一种可怕的自然灾害，地震勘探是一种应用地球物理技术。然而二者在道理上却有不少相似之处，例如在研究天然地震和地震勘探时，都致力于掌握和运用地震波的传播规律。因此我们首先来说说有关地震波的一些基本概念。

1. 地震波的基本概念

自然界中有许多波动现象，如水波、声波、电磁波等等。地震波也是一种波，它是当固体或液体中的质点振动时，因彼此牵连而将运动状态向四外传播的一种运动方式。在某一瞬间，初始运动状态所达到的位置可以在介质中构成一个曲面，叫做波前。例如往水池中投一石子，水面就会出现一个逐渐扩大的圆环，这就是水波的波前。显然，在均匀地下介质中，点震源产生的波前是逐渐扩大的球面。

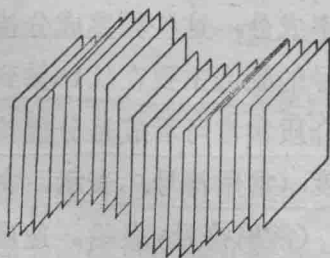
地震波是一种很复杂的波，可以用不同方式分类。如果按照介质质点运动方式，可把地震波分成纵波、横波、面波三类。

(1) 纵波 质点振动方向与波传播路径平行的波，也叫胀缩波，因为它是介质一疏一密地交替变化而向四外传播的波（见图 1 b）。相邻两个压缩带（或膨胀带）之间的距离叫做波长。当前地震勘探主要是利用纵波。



(a) 没有波

(b) 纵波



(c) 横波

图 1 地震纵波及横波的示意图

(2) 横波 质点振动方向与波传播路径垂直的波，也叫剪切波。因为它伴随着介质的交替剪切变形而向四外传播（见图 1 c）。目前国外正将横波与纵波一起用于研究岩性岩相和直接找油。

(3) 面波 沿地面附近传播的波。其主要部分使质点在铅垂面内做椭圆运动。面波被当做干扰波，

应在野外施工及资料处理中予以压制。

如果观察一点的振动情况，得到的地震波记录通常叫波形，或地震信号，其极大值叫振幅。一个地震信号可以看成由许多简单的周期性振动所组成。这种简单振动每秒振动次数叫做频率，它的单位叫赫。每秒振动次数多的叫高频信号，少的叫低频信号，这就好象声音的高低音调一样。因此，一个地震信号中包含许多不同频率的波（音调），用专门术语说叫做含有许多不同的频率成分，这些频率成分构成频谱。例如有用地震波信号的频谱主要在从10赫到80赫范围内。

实际地下介质常常可看成是分层均匀的，即在每层中岩石的密度（常用符号 ρ 表示，密度单位是克/厘米³）及速度（常用符号 v 表示，速度单位是米/秒）保持不变。那么地震波在地层分界面上将要产生什么现象呢？这就好象光线射到水面上一样，将要产生反射和透射。我们把入射波射线与界面法线（垂线）夹角称为入射角、把反射波及透射波（透过波）与法线的夹角分别称为反射角及透射角（图2）。那么可以确定以下两个规律：

- 1) 入射角等于反射角。
- 2) 入射角的正弦与透射角的正弦之比，等于界面两边的介质速度之比。

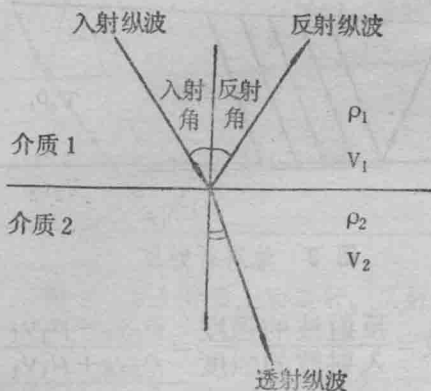


图 2 地震波的反射和透射

前一规律帮助我们用几何作图法确定反射波路径。后一规律说明当波从低速介质进入高速介质时，透射角将大于入射角。如果入射角加大，透射角也随着加大。待到透射角等于 90° 时，透射波就要平行于界面“滑行”。这种滑行波对界面的扰动，使得在盖层中产生了向上的波，这称为地震折射波(图3)。利用折射波的称为折射波法地震勘探，目前主要用于煤田和工程地质，在石油勘探中用得较少。石油勘探中主要用反射波法地震勘探。

反射波的强弱与界面两边岩层的密度及波速有关。如用足标指示岩层，则

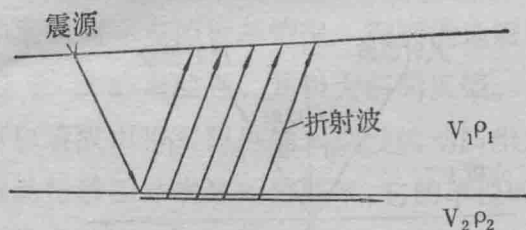


图 3 地震折射波

$$\text{反射系数} = \frac{\text{反射波的强度}}{\text{入射波的强度}} = \frac{\rho_2 v_2 - \rho_1 v_1}{\rho_2 v_2 + \rho_1 v_1} \quad (1)$$

实际上岩石密度的变化较小，但速度变化较大。一般说橄榄岩、花岗岩波速高，沉积岩波速较低。波速往往随着岩层埋藏深度的加大而加大，此外还和岩石结构、孔隙率、饱和度等许多因素有关。密度乘速度得到一个物理量叫做波阻抗或声阻抗。从(1)式可以看出，当岩层的声阻抗不同时，反射系数不等于零，这才可能产生反射波。当地下存在不同声阻抗的许多地层时，在每个界面上都会发生透射及反射现象(图4)，反射波法就是通过观察各界面上的反射波来测定各界面的。

实践证明，地震波可以在地层间多次来回反射以后才到达地面。这种波叫多次反射波，简称多次波。在海洋勘探中产生于海水层的多次波叫做鸣震或混

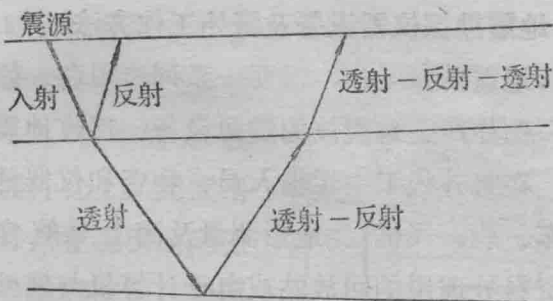
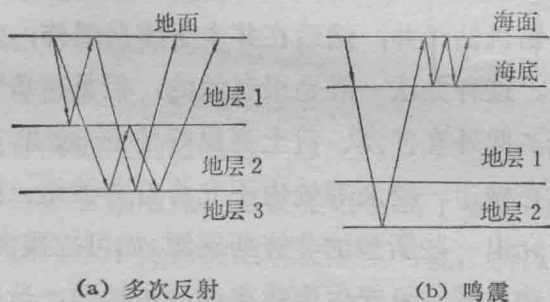


图 4 多个界面上的透射、反射波



(a) 多次反射

(b) 鸣震

图 5 多次波与鸣震

响。多次波和鸣震都是常见的干扰波。

当地震波遇到断层的棱角，粗糙不整合面等小尺度构造时，会产生以其为“新震源”而向四外传播的次级波，叫做绕射波。绕射波是一种干扰波，但是在记录上正确认出绕射波也可以帮助解释复杂构造。同样，对于来自凹界面的回转波、断层面的断面波等虽则都视为干扰波，但在解释中也可资利用。

2. 地震勘探仪器设备及野外工作方法

进行地震勘探工作，需要一系列专用和一般的仪器设备，例如产生地震波的震源设备、接收地震波的地震仪，在野外施工中运输人员、物资和仪器的交通工具（车、船、飞机）、地形测量及海上导航定位的仪器、资料处理用的回放站或电子计算机与辅助设备等等。就地震勘探来说，它的专用设备主要用于激发和接收地震波。激发地震波在陆地上常用的是井中炮，即用钻机钻浅井，然后在井中下炸药爆炸，以产生地震波。这种办法一般是很有效的，但是很费钱，效率也低。此外在沙漠、黄土高原等地区效果并不好，同时在城市、堤坝等处也不允许打井放炮。因而近年来研究出一些新型的非炸药震源，如可控震源（一种车装气动机械，可产生连续震动冲击地面，造成地震信号）、气爆震源（在一组钢质容器中同时引爆混合气体，以在地面产生地震波）和重锤（数吨重钢块从高处掷下以产生地震波）等。在海上震源采用电火花、空气枪、蒸气枪等。

接收地震波的地震仪是一套感受、放大和记录地震波电子仪器。其中对地震波的感受器叫做地震检波器。

陆上用地震检波器是一个把机械振动变成电振

动信号的装置。它主要由磁钢和导线线圈组成（图6）。磁钢固定在检波器外壳上，线圈用弹簧片吊在磁钢的间隙中。当地震波到达地面时，插在土壤中的检波器便随之运动。此时，线圈由于惯性而形成相对磁钢的振动。线圈切割磁钢间隙内的磁场因而感应出变化电流，这就是（变成了电流的）地震信号。

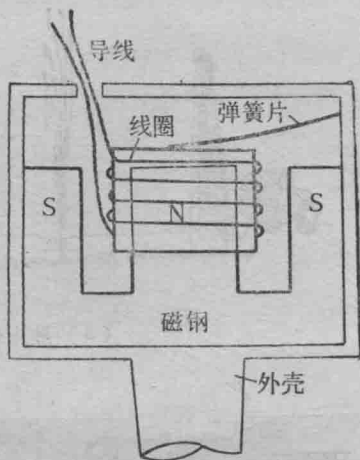
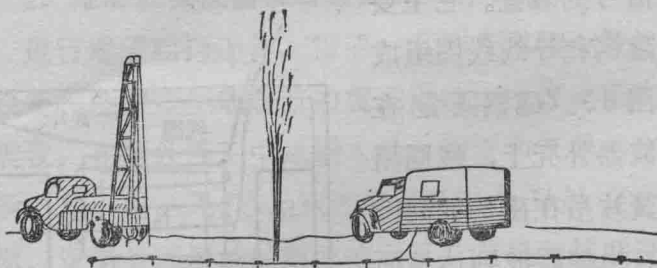


图6 地震检波器原理

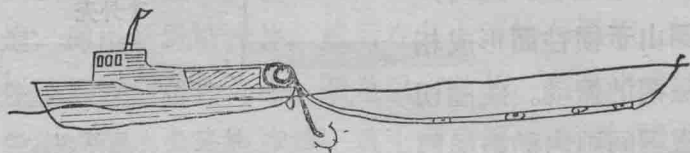
而感应出变化电流，这就是（变成了电流的）地震信号。在海水中传播的地震波是压力波，所以海洋检波器的主要部分是压电晶体，利用压电效应将压力信号直接变成电信号。

从检波器得到的电信号经电缆送到车上或船上的仪器内，进行放大和记录。实际上采用许多检波器—放大器同时记录的形式，称做多道记录（图7）。为了压制干扰增强有效波，在一点附近把好几个检波器连在一起，当做一个检波器，叫做检波器组合。

老式地震仪用电子管放大器放大地震信号，然后使光点检流计偏转，在感光纸上直接得到地震波形的



(a) 陆上地震勘探



(b) 海上地震勘探

图 7 地震勘探示意图

照相记录（图 8）。这种记录的整理和解释都很麻烦，而且所记录的地震波品质也不高。因此到五十年代中期发展了模拟磁带地震仪。模拟就是连续的意思，这种仪器把放大后的连续地震信号先录在磁带上，然后在基地的回放仪上以最好的方式回放成波形记录（图 8）或地震剖面。这种把每道记录经一定校正而排列起来的剖面通常叫时间剖面。若把波形的一半“染黑”，就叫变面积记录。此外还有别的显示方式，目的都为了直观、便于解释（图 9）。

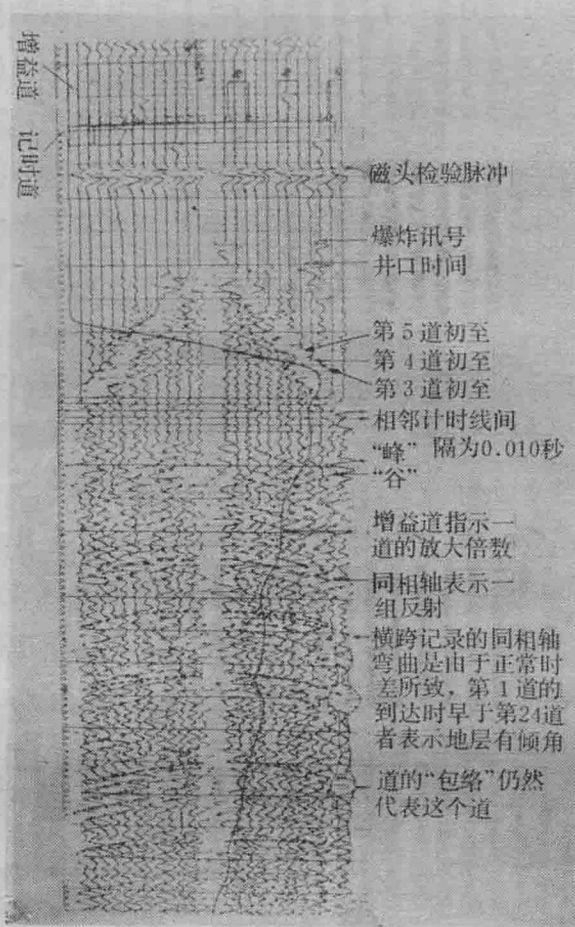


图 8 波形地震记录

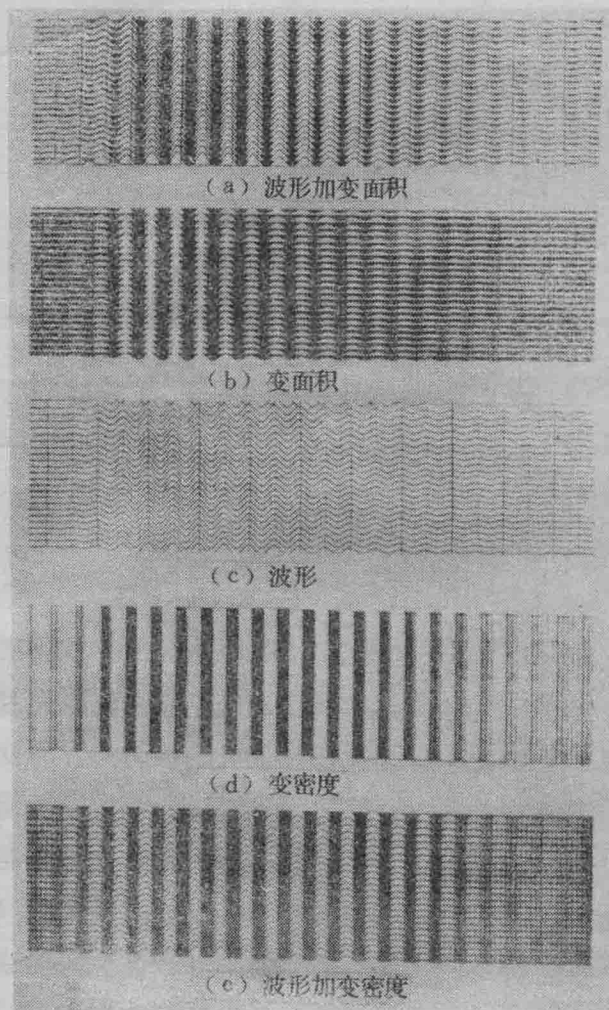


图 9 显示方式

模拟磁带仪的第一个优点是提高了记录品质。这包括两方面的指标，一是使仪器可在更宽的频率范围内记录地震信号，二是加大了记录的动态范围。动态范围是个重要的概念。它表征仪器可以无畸变地记录最强与最弱信号的范围。由于来自浅、中、深层地震波的能量（强弱）差别很大，为了将它们一次都真实地记录下来就必须改善仪器动态范围。发展到模拟磁带地震仪，比光点照相地震仪动态范围提高十倍多。

模拟磁带仪的另一重大优点是可以选用各种参数多次回放处理，以求得最佳成果。这一优点在后来的数字磁带地震仪中得到进一步发展。

数字地震勘探是在六十年代中发展起来的。最简单的方式是对模拟磁带记录取样（即按一定时间间隔读数，也叫离散化或数字化）得到数字地震记录，然后用电子计算机处理。不过目前已广泛使用数字地震仪，在野外就直接用数字方式进行地震记录了。

由于地震勘探多采用多道观测方式，所以数字地震仪的记录方式要麻烦一些。以24道地震仪为例，首先，要在很短时间（约0.1毫秒）内依次完成从1到24道的读数和记录。然后经过一定采样间隔（可选为1毫秒，2毫秒或4毫秒）后再依次完成上述从1至24道的取样和记录。这种方式叫多路化（图10）。

数字地震仪的记录动态

范围比模拟磁带地震仪又大十倍多，因而记录中含有更多的信息。这就为数字处理中利用地震波的波动特征创造了条件。

目前反射波地震勘探最常用的野外工作方法是所谓共深度点水平叠加法（或称多次覆盖）。如果地层接近水平，在测线的A、B、C…点布置震源，而且分别在对称于中心点P的D、E、F…等点接收（图11）。这时，几条射线都在同一个界面点Q上反射，此点称为共深度点。显然这几道记录中都含有Q点的深度信息。如何把这个信息突出出来呢？不难看出，因为这几道对应波的路径不同，所以直接把它们叠加在一起并不能突出反射波。但是，如果把它们的路径都校正为P点激发、Q点反射，然后又回到P点接收的情况（自激自收），就可以叠加了。这种对传播时间的校正称为动校正。把共深度点道都作了动校正后，就把各道的反射波到达时间对齐了，经叠加后当然加强了反

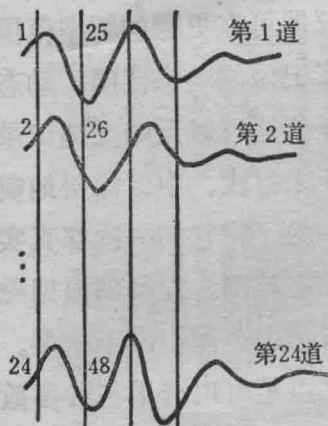


图 10 数字地震仪的多路化记录方式

试读结束，需要全本PDF请购买 www.ertongbook.com