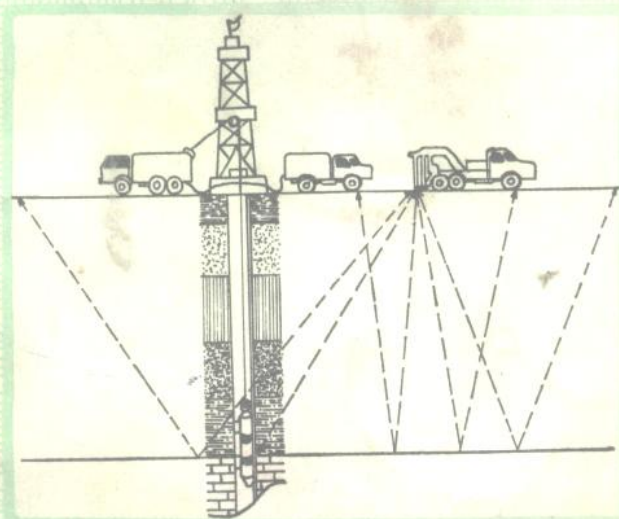


地震测井

谢明道编



石油工业出版社

e

地震测井

谢明道 编

石油工业出版社

0

目 录

第一章 地震测井的基本原理	1
第一节 地震测井概述	1
第二节 地震速度测井的意义与基本原理	4
第三节 垂直地震剖面法的意义与基本原理	7
第四节 微地震测井的意义与基本原理	21
第二章 地震测井的野外工作方法	22
第一节 陆上地震速度测井的施工程序	22
第二节 海洋地震测井野外工作方法	32
第三节 垂直地震剖面法的野外工作方法	45
第四节 微地震测井的野外工作方法	52
第三章 地震测井仪器	55
第一节 地震测井仪器——采集系统简述	55
第二节 几种测井仪器的比较	55
第三节 专用地震测井仪器——数字勘探系统DSS-10	57
第四章 地震测井检波器及其技术参数	62
第一节 我国石油工业部对地震测井检波器规定的技术 标准	62
第二节 DJ-3型地震测井检波器	64
第三节 DJ-8型地震测井检波器	67
第五章 地震速度测井的关键部分——下井部分	71
第一节 性能可靠的测井检波器	71
第二节 测井检波器系的采用	72

第三节	正确联接检波器系中的检波器	72
第四节	各主要测井工作道的摆布	73
第五节	精心搞好绝缘	74
第六节	重视采用耐压耐温测井材料	75
第七节	下井过程中的地面监视	75
第六章	地震测井中的干扰及其克服	76
第一节	常见的几种干扰及其克服方法	76
第二节	垂直地震排列中的主要干扰——管道波及其克服 方法	82
第七章	地震速度测井与微地震测井资料的整理和解释	88
第一节	室内整理	88
第二节	计算测井速度	89
第三节	地震测井速度综合图	90
第四节	地震测井速度在确定地震层位中的应用	91
第五节	微地震测井资料的解释	94
	附录：用在地震勘探方面的“微电测井”	95
第八章	垂直地震剖面资料的整理、解释与应用	98
第一节	垂直地震剖面资料的整理与解释	98
第二节	垂直地震剖面的应用	108
第九章	人工合成技术与地震测井	127
第一节	人工合成地震记录	127
第二节	合成速度测井曲线	131
第三节	合成垂直地震剖面	135
第四节	地震测井在人工合成技术中的作用	145
第十章	地震测井平均速度与几种主要速度的关系	147
第一节	几种主要速度	147
第二节	地震测井平均速度与速度谱所测速度对比实例	152
第三节	地震测井平均速度与声波测井速度对比实例	157

第十一章	地震测井资料的计算机处理	165
第一节	常规地震测井资料和微地震测井资料的计算机处 理	166
第二节	垂直地震剖面资料的数字处理	169
第十二章	地震测井的技术要求	198
第十三章	地震测井的劳动组织与管理	201
第一节	地震测井的劳动组织	201
第二节	测井前物资与用具的准备	204
附 录	地震测井应用图表	206
参考文献		259

第一章 地震测井的基本原理

第一节 地震测井概述

近年来，地震勘探技术发展很快。与之相应地震测井技术工作也在迅速发展。目前地震测井可分为横波测井(图 1-1-1)及纵波测井(图 1-1-2)。按纵波测井方法而论，又可分

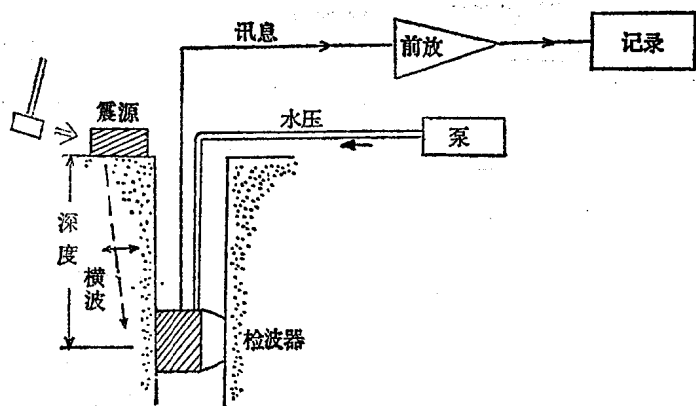


图1-1-1 横波地震测井示意图

为三种：第一种是传统的地震速度测井；第二种即近年发展起来的垂直地震剖面，它可以称之为地震速度测井的扩展；第三种为微地震测井。以上三种地震测井的主要用途，概述如下：
地震速度测井：它主要用来求取平均速度及层速度，有的单位

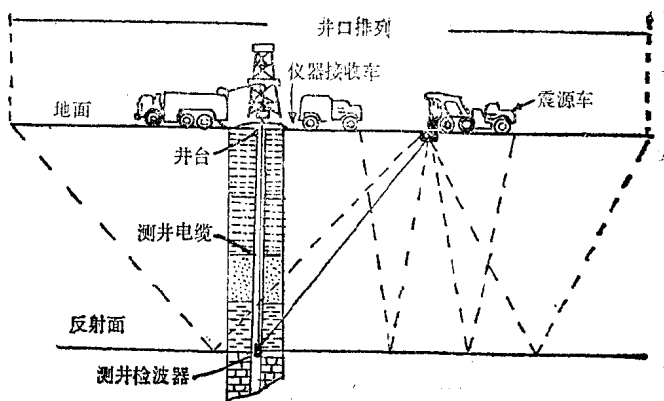


图1-1-2 地震测井示意图

曾试用其续至波解决地质问题。它是我国目前主要的地震测井方法。无论在一般深井、中深井还是大于6000米的超深井中都广泛采用。

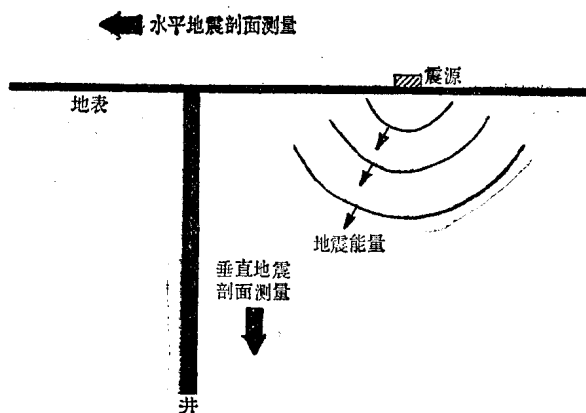


图1-1-3 垂直和水平地震剖面测量基本图形

垂直地震剖面：它是近年由地震速度测井发展起来的一种地震测井方法。所谓垂直剖面是针对水平剖面而言。垂直地震剖面法的接收排列与震源不处于同一水平面内；水平剖面法是接收排列和震源处于同一水平面内，它们的基本图形如图1-1-3所示。

垂直地震剖面法，于五十年代末期先后为苏、法等国提出。苏联科学院地球物理研究所在1959年提出用续至波解释地质现象，随后在不同的地区进行了大量试验，六十年代中期投入实际生产，并取得了较好的地质效果。七十年代初期，美国引进了这项技术，后来西方一些石油公司、地球物理公司和测井公司，都在大力开展该方法的研究与服务。它是一种高分辨率的工具，也可进行速度分析、研究地震波随深度而变化的滤波作用。它有许多优点，为了具体说明其用途，下面引用1982年出版的中国石油地球物理代表团赴美考察报告中的叙述加以说明：

1. 接收点在介质内，加之在低速带以下激发(炸药震源)，部分避开了复杂层的影响，可以记录到比较单纯的波，从而有较高的分辨率和信噪比。

2. 在表层条件恶劣的地段，例如厚砾石层地区，且潜水面很深的地段，利用现有井孔，将垂直地震剖面转换成常规水平剖面，可以研究地下地质构造。

3. 普通地震测井方法只能获得井底以上的资料，而垂直地震剖面显然可以得到井底以下的反射，借以帮助确定是否需要继续向深部钻进。

4. 由于记录波形比较单纯，便于更准确地提取子波，确定反射系数与吸收系数等，以提高分辨率和研究岩性的参数。

5. 可以更好地识别多次波。

6. 可以同时记录纵波及横波，通过两者的速度研究岩性，利用横波的偏振可以研究介质的各向异性。

垂直地震剖面在西方国家，目前还多在3000米左右的中深井中采用，我国大港油田也在试用测井的续至波，解释地质现象。胜利油田开始采用带有推靠器的检波器进行该项试验。不过，要真正用垂直地震剖面法完成以上地质任务，还需具备做垂直地震剖面的条件：即先进的高采样数字地震仪器；可在深井中能固定的多分量测井检波器及计算机处理技术。

微地震测井：它是地震测井的一种工作方法。即把在深井中进行地震测井的原理应用在炮井或浅井中来。其目的在于了解降低速带变化的情况，为地震勘探提供依据。

以上三种方法的具体内容，将在以后章节中详细叙述。

第二节 地震速度测井的意义与基本原理

1. 地震速度测井的意义

地震速度测井是目前地震勘探求取平均速度和求取地层层速度的直接手段。利用求取的速度资料，除可提供较准确的地层沉积厚度，预告新井层位及构组地震剖面外，对进行地层地震学，人工合成记录，都给出了很重要的依据。目前，多次覆盖地震勘探方法已广泛采用，声波测井也在地震解释中普遍采用，虽然能给出一些速度参数，诸如：均方根速度以及超声波测井速度等等。利用它们也都可换算成为平均速度。然而，由于地震测井速度是取自较直接的，受影响变异小，所以，到目前为止，只有用地震速度测井所求的平均速度才可代表该地区真实的平均速度。因而，也只有它对验证各个换算出的“平均速度”起着极重要的作用。无论国内外，在地震勘探领域中非常重视研究速度的今天，基本上都有这样的认为——首先要

确保地震测井工作。为此，一方面既要改善地震测井技术装备，以提高测井效率；另一方面又把地震测井列入完井的测井系列中去。无可非议，当前的地震测井工作本身又是一项繁琐的工作，从事速度研究的人们，都在探索企图用少量地震测井，进而发展为用非地震测井方法，以获取或换算出当地的真实平均速度，来进行地震资料的处理与解释工作。

2. 地震速度测井的基本原理

在一个新探区，要正确解释地震勘探成果，其中一个主要深度函数，即是地震测井的平均速度，获取它的基本原理与方法如下：

目前，地震速度测井，主要是采用深井内接收，炮井中激

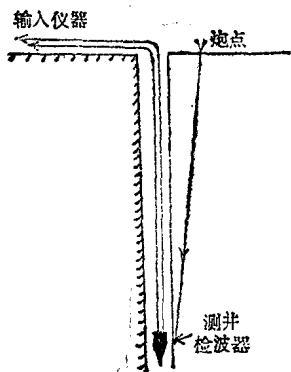


图1-2-1 地震测井示意图

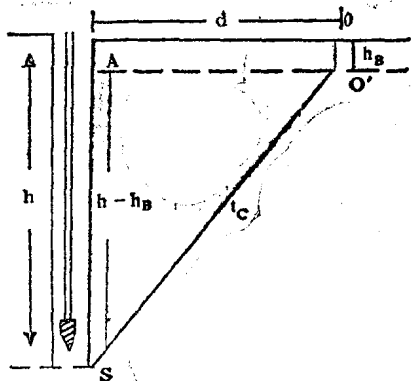


图1-2-2 地震测井速度的计算

发。将测井检波器用电缆放入深井中，在地面或炮井中激发，使地震波的穿透直达波初至时间 t_c （观测时）为检波器所接收。测井时，由井底向上依次接收，一直到深井的上部井段，理想情况下，可一直测至距地面150米左右处。每隔一定深度 h 所接收的时间，即为波自地面以平均速度经地层垂直传播到地震

测井检波器所停置的深度时间。用已知深度和所观测到的时间算出它们的平均速度，并按井的深度有顺序地把它系统地完整起来，即成为所要测的该井的平均速度，图1-2-1所示为地震测井时接收与激发的示意图。

计算速度从炮井底 O' 算起(见图1-2-2)，因此

$$O'S = \sqrt{d^2 + (h - h_B)^2} \quad (1-2-1)$$

设波在均匀介质中沿 $O'S$ 传播的时间为 t_c ，则波沿 $AS = h$ 传播的时间 t ，可用下式算出：

$$\frac{t}{h} = \frac{t_c}{\sqrt{d^2 + (h - h_B)^2}}$$

$$\text{因此 } t = \frac{h}{\sqrt{d^2 + (h - h_B)^2}} \cdot t_c \quad (1-2-2)$$

式中 d 为深井至炮井距， h 为测井检波器测井时停放深度； h_B 为炮井深度(即炸药放置深度)； t_c 为从测井记录上读出的初至时间。

我们可利用近炮井距点的资料，根据式(1-2-2)求得时间 t ，再根据下式计算平均速度：

$$\bar{V} = \frac{h - h_B}{t} \quad (1-2-3)$$

用远炮井距点的资料，计算波沿 $O'S$ 方向传播的速度，这种速度叫做射线速度。

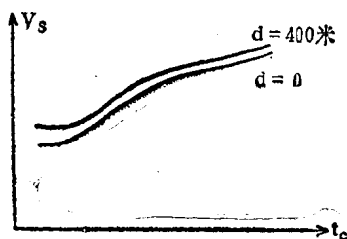


图1-2-3 射线速度比较

$$V_{rp} = \frac{O'S}{t_c} = \frac{\sqrt{(h - h_B)^2 + d^2}}{t_c} \quad (1-2-4)$$

射线速度的特点是大于平均速度，在浅层尤其显著，深层则接近平均速度，图1-2-3为炮井距 $d = 400$ 米与 0 米时，射线速度的比较。

第三节 垂直地震剖面法的意义与基本原理

1. 垂直地震剖面法的意义

垂直地震剖面法实际上就是地震速度测井技术的扩展。它不仅利用了直达波信息，而且还充分利用了各类续至波信息。通过对这些地震波的分析，能获得大量有益的信息。利用这些信息研究波场、波速、岩层产状、岩石孔隙度等为直接找油找气提供了可能性。

垂直地震剖面法较水平地震剖面法有许多优点：

(1) 水平地震剖面法是在地表布置地震检波器以研究地震波场，解释来自地下反射界面的信息。而垂直地震剖面法是沿井孔布置地震检波器接收地震波。这样，地震波的运动学与动力学特征就更明显，更灵敏。

(2) 由于垂直地震剖面法的检波器位置在井中，紧靠或正好在反射界面上，若震源能避开复杂地表的影响，则有助于研究地震波在实际地层中的形成与传播规律。

(3) 在地表面或地下构造十分复杂的探区，利用垂直地震剖面法可以有效地研究地下构造的形态，圈定含油气范围，并估算油气储量。

(4) 垂直地震剖面法可用于预测未钻遇地层的地质情况，预报深部地层。

(5) 井中放置地震检波器可以接收来自上方波的能量，也可接收到来自下方波的能量。因而，可以有效地判断波的到达方向，并充分利用这一特点。

(6) 利用垂直地震剖面上波的单纯性，可以研究各类异常波。

(7) 由于垂直地震剖面法能利用三分量地震检波器。这就

有利于根据地震记录作定量分析。为直接找油找气、评价油气藏提供依据。

目前垂直地震剖面法在我国还处于研究阶段。但国外已能成功地用于实践。该法不论对提高信息采集的密度还是提高解释精度都是大有发展前景。

2. 垂直地震剖面法的基本原理

(1) 垂直地震剖面的获得及其特点

垂直地震剖面可用反射波法或折射波法进行测量。但折射波法的应用受到下列各条件的限制：

- 上覆地层的速度要小于下伏地层的速度。
- 地下地层中没有高速厚层存在。
- 要在盲区以外才能观测到。

我们把震源与检波器位于一条垂直线上的勘探方法叫纵测线法，如图1-3-1所示。若震源与检波器不在一条垂直线上的观测方法叫非纵测线观测法，如图1-3-2所示。

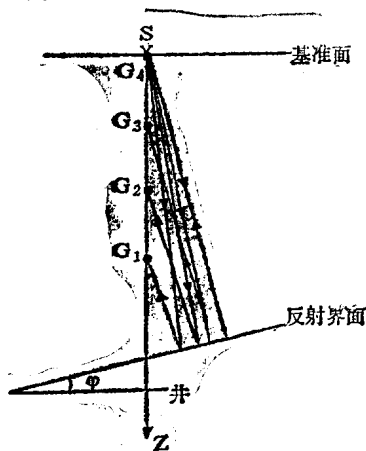


图1-3-1 纵测线法观测示意图

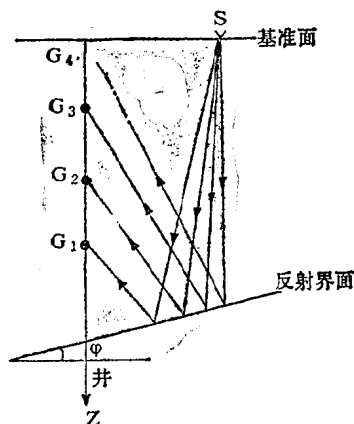


图1-3-2 非纵测线法观测示意图

用多道检波器下井(一般为六道),在地表面激发,称为反向反射观测法。而用一个三分量检波器下井(沿井壁移动,在距井口不同距离的点上激发)称为偏移垂直剖面法。

下面以二层水平反射界面为例来分析直达波、向上反射波、向下反射波、多次波到达地震检波器的射线路径。如图1-3-3所示。

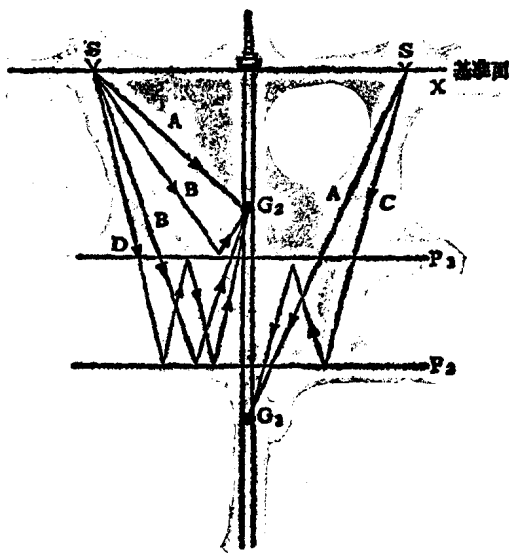


图1-3-3 同一激发点的波射线图

射线A表示直达波,射线B表示向上反射波,射线C表示向下反射波,射线D表示多次反射波。图1-3-3是来自同一震源的波。为了看上去清楚才把它们分别画在井口的两个对称“激发”点上。

图1-3-4是沿井孔向下移动地震检波器时所得到的垂直地震剖面图。横轴表示井深。纵轴表示单程旅行时间。同样用A

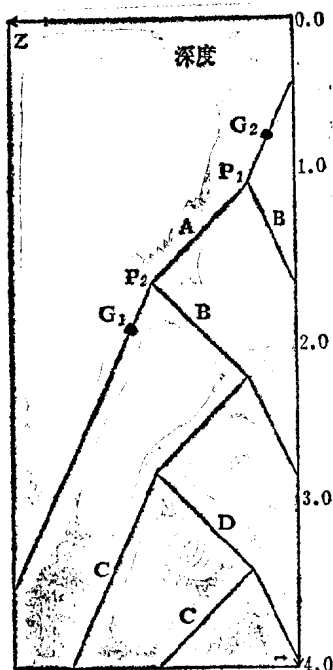


图1-3-4 沿井孔向下移动地震
检波器时所得到的垂直地震剖面

表示直达波同相轴，B表示向上反射波同相轴，C表示向下反射波同相轴，D表示多次波同相轴。

(2) 均匀介质情况下的直达波时距曲线

在均匀介质情况下，设波的传播速度为V，在井中连续观测如图1-3-5所示。激发在S点，井口在O点，G为检波器的位置。由图可知： $OS = d$ ， $OH_1 = H$ 。

$$\overline{H_1 S^2} = \overline{OS^2} + \overline{OH_1^2}$$

设波的传播时间为t，

$$\text{则 } t = \frac{1}{V} \overline{H_1 S}$$

$$= \frac{1}{V} \sqrt{\overline{OS^2} + \overline{OH_1^2}}$$

$$= \frac{1}{V} \sqrt{d^2 + H^2} \quad (1-3-1)$$

公式(1-3-1)为直达波在均匀介质中传播的时距曲线方程。

(3) 一个反射界面的时距曲线方程

a. 向上反射波的时距曲线方程：

设反射界面以上的介质为均匀介质，波在该介质中的传播速度为V。如图1-3-6所示。G为接收点，S为激发点，O为井口， φ 为地层倾角， S^* 为虚震源，Z为井口到反射界面的垂直距离，H是激发点到垂直于反射界面的距离。由图可知波所走的射线路径为S→F→G。

设地震波的传播时间为 t

$$\text{则: } t = \frac{1}{V}(SF + FG) = \frac{1}{V}S \cdot G$$

(1-3-2)

由图中的三角形关系可知

$$\overline{GS}^2 = \overline{GB}^2 + \overline{S \cdot B}^2$$

(1-3-3)

$$GB = 0A = 0S + SA$$

(1-3-4)

$$\because 0S = d \quad SA = 2H \sin \varphi$$

$$\therefore 0A = d + 2H \sin \varphi$$

$$BS = 2H \cos \varphi - h$$

则公式(1-3-2)可写成:

$$t = \frac{1}{V} \sqrt{(2H \sin \varphi + d)^2 + (2H \cos \varphi - h)^2} \quad (1-3-5)$$

公式(1-3-5)是在地层上倾方向激发所得到的时距曲线方程。

如果将激发点移到下倾方向, 不难得知向上反射波的时距曲线方程为:

$$t = \frac{1}{V} \sqrt{(2H \sin \varphi - d)^2 + (2H \cos \varphi - h)^2}$$

从时距曲线的公式中看出反射时间 t 与接收点位置, 激发点位置, 地层倾角 φ 及速度 V 有明确的内在联系。后面将用这些参数来研究地质构造。

b. 向下反射时距曲线方程:

设反射界面之上的速度为 V , 如图1-3-7所示, 由图中的三角形关系 $\Delta 0G'A \cong \Delta 0GA$, $\Delta ABS'' \cong \Delta ABS'$ 。

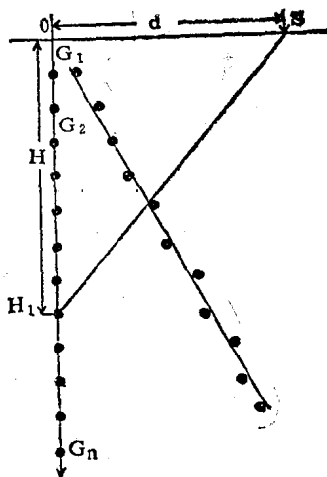


图1-3-5 直达波时距曲线图

