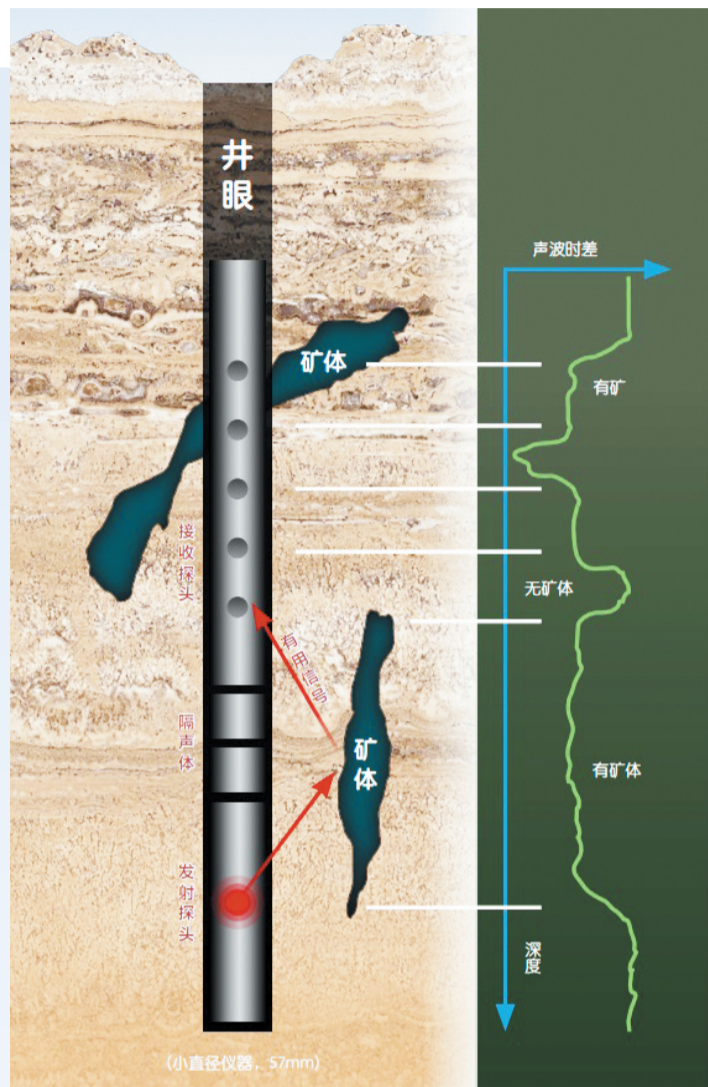


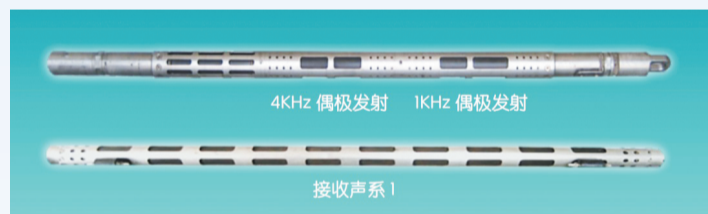
# 给大地做个B超 找出石油在哪儿

石油能源建设对我们国家意义重大,中国作为制造业大国,要发展实体经济,能源的饭碗必须端在自己手里。

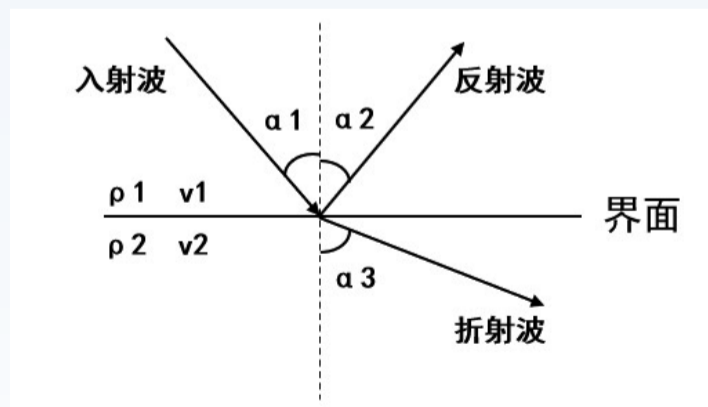
那么,我们国家的石油都藏在哪儿?在石油勘探的过程中,专业人员需要结合地质学知识,采用各种先进的勘探技术与方法,比如,用声音给大地做B超的声波测井技术。



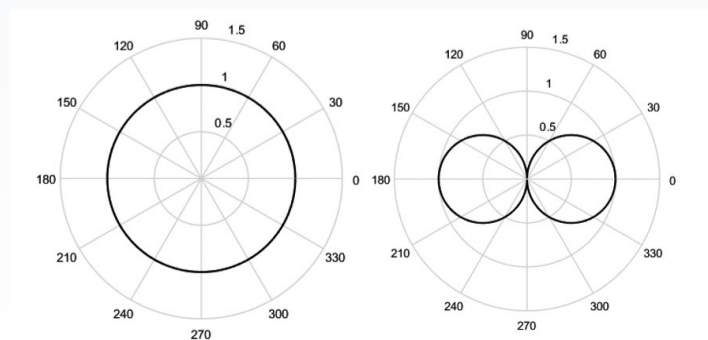
声波测井示意图



横波远探测成像测井仪器



声波在界面处的传播规律(斯奈尔定律)



## 找石油,总共分几步?

石油勘探的步骤,我们可以用传统医学中的“望闻问切”来概述。

首先地质学家会结合地质知识确定可能存在油气田的地区和范围,这一步叫做区域概查,相当于“望闻问切”中的“望”和“闻”。

然后利用人工地震方法推断地下岩石的结构,这一步叫做区域普查,相当于“问”,可以大体确定地下哪些位置上存在油气储层;

接下来,工程师会钻开潜在油气田的第一口井——探井,进行区域详查,相当于“切”,石油工程师们开始体察地球“跳动的脉搏”。

仅仅打开一口探井还不够,如果想要了解油气层的位置以及油气的开采价值则需要结合一些高科技的现代手段,这正是测井技术大显身手的时候。利用先进的测井技术,我们可以给地球“做B超”“拍CT”,对地下几千米处的油气层作出厘米级的精确判断。

## 测井,到底在测什么?

测井的过程相当于医院检查的过程,而测井仪器就是一台先进的医学影像设备。通过先进的测井方法可以确定地层的性质,进一步对地层进行准确的评价,从而确定地层是否含有油气、含油气量的多少、油层厚度以及评估油气可采量。

测井被称为“石油工业的眼睛”,因为在漆黑而又高温的地下,无法直接观察到地层岩石信息,必须通过测井仪器记录数据并传输到地面,这个过程就好比人的眼睛接收到光信号,并处理成图像供我们辨别。

通常测井方法分为四种:

声学法,类似于医院的B超检查,向地层发射声波,反射或折射回来的声波就会携带着地层信息;电学法,类似于给大地做心电图,观察其中的异常电信号来确定油气藏位置;核物理方法,类似于给大地拍X光片,利用放射性的方法检测地层;核磁共振方法,类似于医院里的核磁共振检查,可以很精细地检测地层。

## 给大地做个B超

声学测井方法较其他方法更环保、成本更低,并且能够获得许多至关重要的地层岩石力学参数。

当我们走在沙滩和柏油路上时,脚下的感受是不同的。声波在不同介质中传播时,它的“感受”也不尽相同,这是因为不同介质中声波的

速度、衰减及频率变化等特性是不同的。

根据斯奈尔定律,反射波的折射角会根据反射界面上下介质的密度( $\rho$ )与传播速度( $v$ )的乘积的不同而变化,含有石油的地层与普通地层密度、传播速度不同,其接收到的波形就会不同。

声波测井就是以探测岩石等介质的声学特性差异为基础而提出的一种研究钻井地质剖面评价固井质量等问题的测井方法,主要分为声波速度测井和声波幅度测井。

声波速度测井测量地层声速,接收到的波形与地层声速有关,地层声速又与地层的岩性、孔隙度及孔隙流体性质等因素有关。根据声波在地层中的传播速度,就可以判断地层中是否存在含油气。声波幅度测井就是通过测量声波幅度的衰减变化来认识地层特点以及井筒自身情况的一种测井方法。

## 如何从“一孔之见”到“一孔远见”?

两个人说话时,双方距离越远,越难以听清对方的话。与我们小时候玩的游戏类似,如果藏在柜子里说话,外面人听到的声音会小很多,同理,声波在井孔中更容易沿着井轴方向传播,而传播到井外的声波幅度是很小的,所以常规声波测井的探测范围通常在井周几厘米到十几厘米范围内,并不能探测很远的距离,因此测井技术常常被人们称为“一孔之见”。那么如何改变这一现状呢?就要在声波频率和指向性上做文章。

一般来说,在同一介质当中,声波的频率越高,衰减也就会越大,传播距离就会变短。所以,第一个改进点就是要把声源频率调低。此外,两个人在交流时,如果正对着对方,那么说话时彼此都能听得清楚,但是如果一个人转过身去朝着另一个方向,那么对方就不太容易听清,这说明声波的定向发射和接收具有更好的效果,因此,第二个改进点就是让声波的发射和接收具有方向性。

要想测得远且“听得清”,就需要把声源频率调低,同时让声波“带上瞄准镜”,也就是具有指向性。

随着技术的发展进步,使用低频声波的远探测测井技术实现了井周数十米甚至上百米的探测范围,测井技术真正从“一孔之见”走向了“一孔远见”。

声波远探测技术分为单极纵波法和偶极横波法。

单极纵波法是利用井中单极子声源向井外辐射纵

波,并接收从井外地质体反射回来的纵波确定地质体位置。单极子发出的声波的波形图宛如水滴在平静的湖面而泛起的涟漪,向四面八方传播,各个方向的声波是相同的,故单极声源无指向性,因此单极纵波远探测技术存在着探测深度浅、无法判断反射体方位的技术局限性。

偶极横波远探测技术使用的声源频率约为2至5kHz,相较于普通声学测井声源10至20kHz的频率范围,频率更低,故偶极横波远探测技术能实现较深的横向探测距离。而且偶极子源的能量辐射是不对称的,偶极子源通过在一个方向上施加压力,在对应相反的方向上施加拉力(在一个方向上“吸气”,在另一个方向上“呼气”),故使井壁产生扰动,形成轻微的挠曲,在地层中直接激发出纵波与横波。

与单极子声源相比,偶极声源相当于由普通音响换成了立体声音响,因此偶极声源的指向性具有方向性,偶极声源的信号各个方向上有差异,采用多分量(多个接收方位)的偶极发射和接收,可以确定反射体界面的方位。

由于具有较远的探测距离和方位性,偶极横波远探测技术在实现单井成像的同时,由于实现了更远的探测范围,多口相邻井的探测范围会相互补充,借此可以完成井间联动的多井远探测反馈体系,对区域地层实现比地面地震勘探更精准的探测。

这就好像是一个个孤立的都市向四面八方辐射出了公路网络,我们可以借助交通工具领略其它城市的美丽风光。

在仪器方面,横波远探测成像测井仪已经实现低频、大功率的发射技术,具有良好的远场声辐射覆盖性及方位灵敏度,因此具有广阔的实际应用价值。

长期以来,国外在高端测井仪器方面一直对我国实行技术垄断。2021年,中国科学院声学研究所固体声学和深部钻测团队研制的多分量横波远探测成像测井仪器创纪录地在8340米的深度上成功获取合格测井资料,得到了井中径向50米范围内清晰的地质构造成像图。

这是国产横波远探测测井仪首次在8000米以深地层中成功获取声学成像结果,创造了该国产仪器在深度探测方面的纪录,达到了国际同类仪器领先水平,对支撑我国“深地”战略目标、保障国家能源安全具有重要的意义。